



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΑΚΡΙΒΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΔΥΟ ΕΠΟΧΙΚΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ

Όλγα Ν. Ρετσιλίδου

ΜΥΤΙΛΗΝΗ 2017

Copyright © Όλγα Ν. Ρετσιλίδου, 2017.

Copyright © ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
Όλγα Ν. Ρετσίλιδου

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΑΚΡΙΒΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΔΥΟ ΕΠΟΧΙΚΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ιωάννης Χατζόπουλος, Ομότιμος καθηγητής, (Επιβλέπων)

Δίας Χαραλαμπόπουλος, Καθηγητής, (Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής)

Ιωάννης Ματσίνος, Αναπλ. Καθηγητής, (Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής)

Παναγιώτης Δημητρακόπουλος, Αναπλ. Καθηγητής

Κωνσταντίνος Καλαμποκίδης, Καθηγητής

Νικόλαος Σουλακέλλης, Καθηγητής

Σωτήριος Κουκούλας, Αναπλ. Καθηγητής

© Όλγα Ν. Ρετσιλίδου, 2017.

© ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΡΙΒΗ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΔΥΟ ΕΠΟΧΙΚΕΣ
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ
ISBN

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ιωάννη Χατζόπουλο, Ομότιμο Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για την ευκαιρία εκπόνησης αυτής της Διδακτορικής Διατριβής. Η στήριξη και οι πολύτιμες συμβουλές του τόσο σε επιστημονικό όσο και σε προσωπικό επίπεδο με ενθάρρυναν να ολοκληρώσω την παρούσα διατριβή, καθώς κατά την πορεία όλων αυτών των χρόνων αρκετά γεγονότα επηρέασαν την αφοσίωσή μου σε αυτό το σκοπό. Τον ευχαριστώ από καρδιάς για τη συμπαράσταση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου κ. Κωνσταντίνο Καλαμποκίδη. Οι συμβουλές του και οι διορθώσεις του ήταν πολύ χρήσιμες για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Επίσης, τον ευχαριστώ για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετάσχω στην ερευνητική ομάδα του ερευνητικού προγράμματος AEGIS, το οποίο υποστήριξε τη διατριβή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τόσο τα μέλη της τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής όσο και της επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, που με τίμησαν με τη συμμετοχή τους και για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους: τον κ. Δία Χαραλαμπόπουλο, Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, τον κ. Ιωάννη Μασίνο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, τον κ. Παναγιώτη Δημητρακόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, τον κ. Νικόλαο Σουλακέλλη, Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, τον κ. Σωτήριο Κουκούλα, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Ευχαριστώ το εργαστήριο Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου για την παροχή πρωτογενών δεδομένων. Ευχαριστώ τους συνεργάτες του προγράμματος AEGIS, Γιώργο Τάταρη και Παλαιολόγο Παλαιολόγου για την παροχή απαραίτητων πληροφοριών σχετικά με τις περιοχές μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, στους γονείς μου Νίκο και Αρετή για την ηθική και οικονομική στήριξή τους, καθώς και στον αδελφό μου Πασχάλη που ήταν πάντα δίπλα μου. Τους ευχαριστώ ολόψυχα για τη συνεχή ενθάρρυνση, εμπιστοσύνη και συμπαράσταση. Επιπλέον, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Βασίλη που μοιράστηκα μαζί του όλες τις αγωνίες μου, για την υπομονή και βοήθειά του.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης για τη χαρτογράφηση της βλάστησης με σκοπό την εκχώρηση των χαρακτηριστικών των καυσίμων σε κάθε κατηγορία βλάστησης. Η «σύνδεση» ή «έμμεση χαρτογράφηση με δεδομένα Τηλεπισκόπησης» είναι η πιο συνηθισμένη προσέγγιση χαρτογράφησης της καύσιμης ύλης στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών.

Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης του συστήματος πολυφασματικής απεικόνισης νέας γενιάς RapidEye δύο εποχών για τη χαρτογράφηση της βλάστησης σε 5 περιοχές μελέτης: τη Ρόδο, την Καστοριά, τη Χαλκιδική (με το Άγιο Όρος), τη Δυτική Αττική και τη Μεσσηνία. ($\approx 10,000$ χλμ²). Κάθε μια από τις περιοχές αυτές αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση μελέτης με διαφορετική μορφολογία και κλίμα, και διαφορετικού βαθμού και τύπου ανθρωπογενών επεμβάσεων στο φυσικό περιβάλλον.

Έπειτα από μια ενδελεχή βιβλιογραφική ανασκόπηση που εστιάζει στα ζητήματα που ανακύπτουν κατά την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης και μεγάλης έκτασης, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την ακριβή ταξινόμηση της βλάστησης. Η προτεινόμενη στρατηγική ταξινόμησης περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ για την αντιμετώπιση των τεχνικών προβλημάτων που αναδεικνύονται κατά την ταξινόμηση της βλάστησης σε ετερογενή τοπία μεγάλης έκτασης με τη χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης.

Αρχικά, σχεδιάστηκε μια χωρικά προσαρμοσμένη προσέγγιση για την ταξινόμηση της βλάστησης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μελετών έχει προτείνει μεθόδους για προσεγγίσεις ταξινομήσεων σε εικόνες πολύ υψηλής και υψηλής χωρικής ανάλυσης (όπως για παράδειγμα τα αντικειμενοστραφή μοντέλα). Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη προσεγγίσεων που να επιτρέπουν την εφαρμογή τεχνικών Τηλεπισκόπησης σε δεδομένα μεγάλης έκτασης. Η ταξινόμηση βασίστηκε στην τμηματοποίηση των περιοχών μελέτης σε επιμέρους χωρικές οντότητες επεξεργασίας, προκειμένου να αντισταθμιστεί όσο το δυνατό η φυσική μεταβλητότητα που παρουσιάζει η βλάστηση (χωρικά εξαρτώμενες διαβαθμίσεις των ιδιοτήτων της) στις μεγάλης έκτασης περιοχές μελέτης. Επιπλέον, η τμηματοποίηση οδήγησε σε μείωση του υπολογιστικού φόρτου που αποτελούσε ένα επιπλέον σημαντικό ζήτημα.

Ακολούθησε η εφαρμογή μιας ημί - αυτόματης προσέγγισης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης στην κλίμακα φυσικό / ανθρωπογενές περιβάλλον. Λόγω των πολλαπλών συσχετισμών μεταξύ των κατηγοριών που διακρίνουν το φυσικό από το ανθρωπογενές περιβάλλον και της μεγάλης μεταβλητότητας της φασματικής απόκρισης των διαφόρων κατηγοριών που συνθέτουν το ανθρωπογενές περιβάλλον, ιδίως λόγω της υψηλής χωρικής

ανάλυσης, είναι δύσκολο να καθοριστεί ένα σύνολο γενικά εφαρμόσιμων κανόνων για μια αυτοματοποιημένη ταξινόμηση. Για την παραγωγή του πρώτου επίπεδου κλιμάκωσης («από πάνω προς τα κάτω») υψηλής χωρικής ανάλυσης, η προσέγγιση που αναπτύχθηκε συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της οπτικής ερμηνείας και της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας λαμβάνοντας υπόψη την ετερογένεια του τοπίου. Στόχος ήταν να είναι εφαρμόσιμη σε οποιαδήποτε περιοχή μελέτης και να μπορεί να επαναληφθεί για μελλοντική παρακολούθηση.

Για την ταξινόμηση της φυσικής βλάστησης εφαρμόστηκε μια «ασαφής» ή «μαλακή» ταξινόμηση. Αναμφισβήτητα, οι παραδοσιακές «σκληρές» ταξινομήσεις έχουν ένα κύριο εμπόδιο: την αδυναμία τους να εκπροσωπούν σωστά τα συνεχή φαινόμενα. Λόγω της συνεχούς φύσης της βλάστησης, αλλά και της εμφάνισης μικτών εικονοστοιχείων κυρίως μεταξύ των ορίων των τάξεων, πραγματοποιήθηκε η προσαρμογή του τυπικού αλγόριθμου της μέγιστης πιθανότητας για την εξαγωγή πληροφοριών σε κλίμακα υπό - εικονοστοιχείου. Επιπλέον, οι προσαρμογές των ορίων απόφασης του ταξινομητή έγινε με βάση τοπικά δεδομένα αναφοράς και εκπαίδευσης (έπειτα από την τμηματοποίηση των περιοχών μελέτης σε υπό-ενότητες επεξεργασίας), και όχι με βάση ενός συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης που να έχει προέλθει από δείγματα που κατανέμονται σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανίχνευση των αλλαγών της φυσικής βλάστησης έπειτα από τη σύγκριση μετά-ταξινόμησης του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI). Προκειμένου να εντοπιστούν τυχών διά - εποχικές μεταβολές του χωρικού προτύπου της φυσικής βλάστησης, χαρτογραφήθηκε η μέγιστη χωρική έκταση της πράσινης βιομάζας που παρατηρείται την άνοιξη, καθώς και η μέγιστη κατά την ξηρότερη περίοδο για κάθε περιοχή μελέτης. Με τη χρήση τεχνικών ΓΣΠ η προτεινόμενη προσέγγιση περιλαμβάνει αναλυτικές πληροφορίες αλλαγής «από-σε».

Για την αξιολόγηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων επιλέχθηκε ένα σχήμα τυχαίας δειγματοληψίας. Ο συνολικός αριθμός των σημείων αναφοράς διαμορφώθηκε αναλογικά με την έκταση που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία κάλυψης γης στην συνολική έκταση κάθε περιοχής μελέτης, καθώς και με τη σημαντικότητα της κάθε κατηγορίας στην ακριβή χαρτογράφηση της φυσικής βλάστησης. Οι συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια πινάκων σύγχυσης.

Η συνολική ακρίβεια κυμαίνεται μεταξύ 78,5% (Χαλκιδική) και 89,5%(Καστοριά) (88% Ρόδος, 87,4% Δυτική Αττική, 84,7 Μεσσηνία), ενώ οι τιμές Kappa του Cohen υπολογίστηκαν ίσες με 0,86 για τη Ρόδο, 0,88 για την Καστοριά, 0,74 για τη Χαλκιδική, 0,85 για τη Δυτική Αττική και 0,79 για την Μεσσηνία. Προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα των παραγόμενων χαρτών σε τοπική κλίμακα και να εξεταστεί η επίδραση του κατακερματισμού των περιοχών μελέτης σε επιμέρους μονάδες επεξεργασίας έπειτα από την εφαρμογή μιας χωρικά προσαρμοσμένης προσέγγισης για την ταξινόμηση της βλάστησης, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της ακρίβειας για κάθε επιμέρους χωρική μονάδα επεξεργασίας των περιοχών μελέτης. Η

περαιτέρω ανάλυση της αξιολόγησης της ακρίβειας έδειξε ότι οι χαμηλότερες ακρίβειες ελήφθησαν για μη κυρίαρχα είδη και για εκτάσεις με προσμείξεις διαφορετικών ειδών ή με διαφορετική συγκόμωση και τύπο σήματος υποβάθρου.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συνδυασμός των τεχνικών Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ που αναπτύχθηκαν στην παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί μια αποτελεσματική προσέγγιση για τη χαρτογράφηση της φυσικής βλάστησης σε περιοχές μεγάλης έκτασης με περίπλοκα και ετερογενή τοπία, όπως του Ελλαδικού χώρου. Ωστόσο, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι αδυναμίες που διαπιστώνονται, συζητούνται περαιτέρω επεκτάσεις της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

ABSTRACT

In the present PhD thesis, high resolution spatial satellite imagery was used to map vegetation in order to assign fuel characteristics to each vegetation class. "Association" or "Indirect Mapping with Remote Sensing Data" is the most common approach for fuel mapping in forest fire management. High spatial resolution satellite imagery of two seasons from the new generation multispectral imaging system RapidEye were used for mapping vegetation in five study areas: Rhodes, Kastoria, Chalkidiki, West Attica and Messinia ($\approx 10,000 \text{ km}^2$). Each of these areas is a special case study due to different topography and climate, and different type and degree of human interventions in the natural environment.

After a thorough literature review on issues that arise in classification of high spatial resolution and large extended satellite imagery, a novel methodology for the accurate classification of vegetation is presented. The proposed classification strategy includes a set of remote sensing and GIS techniques to address technical issues raised when using high spatial resolution for the classification of vegetation in large extended heterogeneous landscapes.

Initially, a spatially adaptive classification approach was designed. Over the past few years, quite a large number of studies have proposed methods for classification approaches when using very high and high spatial resolution images (such as object-oriented models). However, there is still a lack of approaches that permit the application of Remote Sensing technics in large scale data. The classification was based on the segmentation of the study areas into individual spatial processing entities in order to compensate as possible the natural variability of vegetation (spatially dependent gradients of its properties) in the large study areas. In addition, segmentation led to a reduction in computational load, which was another important issue.

Then, the satellite images were stratified into natural and man-made environment areas via a semi-automatic object-oriented classification approach. Due to the multiple correlations between categories that distinguish natural from human environment and the high variability in the spectral response of the different categories that make up the human environment, particularly because of high spatial resolution, it is difficult to determine a set of generally applicable rules for an automated classification. To derive the first high spatial resolution scaling layer ("top-down"), the developed approach combines the advantages of visual interpretation and object-oriented image analysis, taking into account the heterogeneity of the landscape. The goal was to be applicable to any study area and be repeatable in case of future monitoring.

For the classification of the natural vegetation a "fuzzy" or "soft" classification was applied. Undoubtedly, traditional "hard" classifications have a major barrier: their inability to properly represent continuous phenomena. Due to the continuous nature of vegetation and the occurrence of mixed pixels mainly between classes' boundaries, sub-pixel information was

extracted after adapting the standard Maximum Likelihood algorithm. Additionally, the adjustments of the classifier's decision boundaries were based on local reference and training data (after the segmentation of the study areas into processing sub-units) rather than using a training data set derived from samples distributed across the whole study area.

Finally, a post-classification comparison using the Normalized Vegetation Index (NDVI) was performed to map bi -seasonal natural vegetation change. In order to identify any inter-seasonal changes in the spatial pattern of natural vegetation, the maximum spatial extent of the green biomass observed in the spring and in the dry period was mapped, for each study area. Using GIS techniques, the proposed approach includes detailed "from-to" information of change.

To evaluate the accuracy of the classifications, a random sampling scheme was selected. The total number of reference points was proportional to the area covered by each land cover category in the total area of each study area and to the importance of each category in the accurate classification of the natural vegetation. Comparisons were made with the help of confusion tables.

The overall accuracy ranges between 78.5% (Chalkidiki) and 89.5% (Kastoria) (88% Rodos, 87.4% Western Athens, 84.7 Messinia), while Cohen's Kappa values calculated as equal to 0.86 for Rhodes, 0.88 for Kastoria, 0.74 for Chalkidiki, 0.85 for West Attica and 0.79 for Messinia. To assess the quality of the produced maps at local scale and to examine the impact of spatial fragmentation of the study areas on individual processing units after the application of a spatially adapted approach for the classification, conducted an accuracy assessment of each spatial processing unit of study areas was performed.

The results show that the combination of Remote Sensing and GIS techniques developed in this PhD thesis is an effective approach for mapping natural vegetation in large areas with complex and heterogeneous landscapes such as in Greece. However, in order to address the identified weaknesses, further extensions of the proposed methodology are discussed.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	vi
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xiv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	xv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xviii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xx
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ - ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ.....	xxiii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Αντικειμενικός σκοπός - στόχοι διδακτορικής διατριβής.....	1
1.1.1 Τοποθέτηση του προβλήματος	3
1.1.2 Σκοπός και στόχοι	5
1.2 Πρωτοτυπία διδακτορικής διατριβής.....	8
1.2.1 Χάρτες καύσιμης ύλης με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής.....	8
1.2.2 Εφαρμογή μιας προσέγγισης σε μεγάλη έκταση	8
1.2.2.1 Αντιμετώπιση ζητημάτων δεδομένων μεγάλου όγκου (big data issues)	8
1.2.3 Συμβολή της διδακτορικής διατριβής στην τρέχουσα έρευνα	9
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ	11
2.1 Τηλεπισκόπηση - Παρατήρηση της Γης	11
2.1.1 Έννοιες της Τηλεπισκόπησης	11
2.1.2 Χρήσεις των τηλεπισκοπικών δεδομένων.....	13
2.1.3 Πλεονεκτήματα χρήσης τηλεπισκοπικών δεδομένων.....	15
2.1.4 Εφαρμογές με τη χρήση τηλεπισκοπικών Δεδομένων	16
2.2 Κλίμακα και Τηλεπισκόπηση.....	19
2.2.1 Το «Θέμα Κλίμακα».....	21

2.2.2 Στοιχεία και συστατικά της κλίμακας.....	23
2.2.2.1 Γενικοί κανόνες που διέπουν τη σχέση μεταξύ χωρικής ανάλυσης (ή «κόκκου») και γεωγραφικής κλίμακας (ή έκτασης)	27
2.2.3 Διαστάσεις της Κλίμακας.....	28
2.2.4 Είδη Κλίμακας	30
2.2.5 Ζητήματα Κλίμακας και τα μεθοδολογικά ζητήματα που ανακύπτουν	34
2.2.5.1 Κλιμάκωση.....	35
2.2.5.2 Επιδράσεις της Κλίμακας.....	37
2.2.6 Γιατί είναι σημαντική η κλίμακα;	41
2.3 Δεδομένα Τηλεπισκόπησης	42
2.3.1 Ψηφιακή Εικόνα: το «παράθυρο» μέσα από το οποίο παρατηρούμε τη Γη	44
2.3.1.1 Ανάλυση της ψηφιακής εικόνας : η κλίμακα μέτρησης των δορυφορικών παρατηρήσεων	45
2.3.2 Κλίμακα παρατήρησης στην Τηλεπισκόπηση: ο πληθυσμός χωρικής δειγματοληψίας	46
2.3.2.1 Η εγγενής κλίμακα ενός συστήματος τηλεπισκόπησης.....	48
2.3.2.1.1 Μέγεθος της μικρότερης χωρικής μονάδας δειγματοληψίας του αισθητήρα και η μικρότερη μονάδα («κόκκος») της ψηφιακής εικόνας	48
2.3.2.1.2 Σύστημα/καθεστώς και διάστημα δειγματοληψίας.....	49
2.3.2.2 Στήριξη μικρότερης χωρικής μονάδας δειγματοληψίας του αισθητήρα και μέγεθος εικονοστοιχείου	52
2.3.2.3 Γεωμετρικές παράμετροι και χωρική απόκριση του μέσου καταγραφής.....	53
2.3.3 Ραδιομετρικές και χωρικές ιδιότητες της εικόνας.....	55
2.3.3.1 Ραδιομετρική κλίμακα	55
2.3.3.2 Διάκριση και αναγνώριση χωρικών χαρακτηριστικών της σκηνής.....	56
2.3.4 Χωρική ανάλυση και μέγεθος εικονοστοιχείου	59
2.3.5 Κατηγοριοποίηση αισθητήρων βάση χωρικής ανάλυσης	61
2.3.6 Φασματικοί παράγοντες στην Τηλεπισκόπηση	62
2.3.6.1 Η φασματική κλίμακα της εικόνας	63
2.3.6.2 Φασματικές υπογραφές ή ταυτότητες.....	65
2.3.7 Κλίμακα και χρονικές ιδιότητες της εικόνας.....	67
2.3.8 Δυνατότητες και πλεονεκτήματα της χρονικής ανάλυσης.....	67
2.3.8.1 Χρήση χρονοσειρών δεδομένων για τη διάκριση ειδών βλάστησης	68
2.3.8.2 Δυσκολίες με την χρήση χρονοσειρών δεδομένων.....	70
2.3.9 Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών της κλίμακας των δεδομένων τηλεπισκόπησης	71
2.4 Ταξινόμηση.....	75
2.4.1 Προσεγγίσεις Ταξινόμησης.....	78
2.4.1.1 Κατηγοριοποίηση των προσεγγίσεων ταξινόμησης.....	78

2.4.1.2 Προσεγγίσεις ταξινόμησης του «σοφού» εικονοστοιχείου	82
2.4.1.2.1 Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση	83
2.4.1.2.2 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	84
2.4.1.2.3 Παραμετρικοί ή μη παραμετρικοί αλγόριθμοι.....	85
2.4.1.2.4 Ο ταξινομητής της Μέγιστης Πιθανοφάνειας	86
2.4.1.3 Προσεγγίσεις ταξινόμησης για την επίλυση του προβλήματος μικτών εικονοστοιχείων - φασματικής σύγχυσης.....	90
2.4.1.3.1 Προσεγγίσεις ήπιας ταξινόμησης (ανά υπό-εικονοστοιχείο)	92
2.4.1.3.2 Προσεγγίσεις ταξινόμησης που η μικρότερη μονάδα ταξινόμησης αποτελείται από ομάδα εικονοστοιχείων	96
2.4.2 Αξιολόγηση της ακρίβειας της ταξινόμησης.....	102
2.4.2.1 Συστατικά αξιολόγησης της ακρίβειας μιας ταξινόμησης	104
2.4.2.1.1 Σχεδιασμός δειγματοληψίας	104
2.4.2.1.2 Σχέδιο απόκρισης	105
2.4.2.1.3 Ανάλυση.....	107
2.4.2.2 Ζητήματα που ανακύπτουν σχετικά με την αξιολόγηση της ακρίβειας.....	112
2.4.3 Επιλογή δεδομένων και αλγορίθμων στην ταξινόμηση	117
2.5 Τηλεπισκόπηση και χαρτογράφηση της βλάστησης	119
2.5.1 Χαρτογράφηση καύσιμης ύλης	122
2.5.1.1 Καύσιμη ύλη.....	122
2.5.1.2 Κατηγοριοποίηση της καύσιμης ύλης	123
2.5.1.3 Κατηγοριοποίηση των μεθόδων χαρτογράφησης καύσιμης ύλης	124
2.5.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και αναγνώριση ειδών.....	125
2.5.3 Κλίμακα και ταξινόμηση ειδών βλάστησης.....	129
2.5.3.1 Σχέσεις μεταξύ χωρικής ανάλυσης και διαχωρισμού χαρακτηριστικών	129
2.5.3.2 Υψηλή χωρική ανάλυση και ταξινόμηση.....	133
2.5.4 Υπάρχει βέλτιστη χωρική ανάλυση;	135
2.5.5 Κατηγορική ή θεματική κλίμακα	136
2.5.5.1 Ζητήματα που ανακύπτουν σχετικά με την κλίμακα ταξινόμησης της βλάστησης στην Τηλεπισκόπηση.....	138
2.5.5.1.1 Αναντιστοιχία ορολογίας.....	138
2.5.5.1.2 Χωρικές μονάδες και σήμα υποβάθρου.....	139
2.5.6 Επιλογή χωρικής και θεματικής ανάλυσης	139
2.5.7 Ταξινόμηση μεγάλων εκτάσεων - Οικότυποι, συνθήκες και ηλικία φύλλων	141
2.5.8 Επιδράσεις τοπογραφίας και μη - ισότροπης ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	142
2.5.9 Μέθοδοι για την ταξινόμηση των ειδών	144
2.5.9.1 Φαινολογία	144
2.5.9.2 Φασματικά παράγωγα των οπτικών παθητικών δεδομένων.....	144
2.5.9.2.1 Ο δείκτης NDVI	146

2.5.9.3 Επιλογή δεδομένων αναφοράς	147
2.5.9.4 Αλγόριθμοι ταξινόμησης	152
2.5.9.5 Ορισμός ενός επιτυχημένου αποτελέσματος.....	154
3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΡΙΒΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ	
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	155
3.1 Αντικείμενο της μελέτης.....	156
3.2 Περιοχές εφαρμογής και δεδομένα.....	157
3.2.1 Περιοχές εφαρμογής	157
3.2.2 Δεδομένα	159
3.2.2.1 Ομοιογένεια.....	159
3.2.2.2 Χαρακτηριστικά.....	160
3.2.2.2.1 Χωρική Κλίμακα	160
3.2.2.2.2 Φασματική Κλίμακα.....	161
3.2.2.2.3 Χρονική Κλίμακα.....	162
3.2.2.3 Το δορυφορικό σύστημα RapidEye και η χαρτογράφηση τύπων βλάστησης	162
3.2.3 Δεδομένα επίγειας πραγματικότητας (πεδίου) και Χρήση επιπρόσθετων δεδομένων από άλλες πηγές	164
3.3 Σχεδιασμός Μεθοδολογίας	165
3.3.1 Συνοπτική περιγραφή μεθοδολογίας	167
3.4 Συλλογή δεδομένων	170
3.5 Προετοιμασία δεδομένων.....	171
3.5.1.1 Υπολογισμός δεικτών βλάστησης.....	171
3.5.1.2 Γεωμετρική σύμπτωση / εγγραφή (Geometric Registration).....	171
3.6 Σχεδιασμός του πλαισίου της ταξινόμησης.....	173
3.6.1 Διαστρωμάτωση σε Φυσική / Μη φυσική Βλάστηση	173
3.6.1.1 Περιγραφή κατηγοριών ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.....	173
3.6.2 Ταξινόμηση ειδών φυσικής βλάστησης.....	175
3.6.2.1 Περιγραφή κατηγοριών φυσικής βλάστησης.....	175
3.6.2.1.1 Ρόδος	175
3.6.2.1.2 Καστοριά	177
3.6.2.1.3 Χαλκιδική.....	179
3.6.2.1.4 Δυτική Αττική.....	182
3.6.2.1.5 Μεσσηνία.....	184
3.7 Μέθοδοι.....	187

3.7.1 Σχεδιασμός μιας χωρικά προσαρμοσμένης προσέγγισης για τη χαρτογράφηση της βλάστησης.....	187
3.7.1.1 Ρόδος.....	190
3.7.1.2 Καστοριά	190
3.7.1.3 Χαλκιδική	191
3.7.1.4 Δυτική Αττική	192
3.7.1.5 Μεσσηνία	193
3.7.2 Παραγωγή πρώτου επίπεδου πληροφορίας στην κλίμακα Φυσική Βλάστηση - Φυσικό περιβάλλον / Μη Φυσική Βλάστηση - Ανθρωπογενές περιβάλλον	194
3.7.2.1 Τοποθέτηση του προβλήματος - Διερεύνηση τεχνικών τηλεπισκόπησης.....	194
3.7.2.2 Ανάπτυξη μεθοδολογίας	197
3.7.2.2.1 Προσέγγιση υψηλής χωρικής ανάλυσης	199
3.7.2.2.2 Προσέγγιση χρησιμοποίησης συμπληρωματικών χωρικών δεδομένων	206
3.7.3 Ταξινόμηση ειδών φυσικής βλάστησης	207
3.7.3.1 Τοποθέτηση του προβλήματος - Διερεύνηση τεχνικών τηλεπισκόπησης.....	207
3.7.3.2 Ανάπτυξη μεθοδολογίας	209
3.7.3.2.1 Χωρικά προσαρμοζόμενη εφαρμογή του ταξινομητή Μέγιστης Πιθανοφάνειας	209
3.7.3.2.2 Πεδία Εκπαίδευσης	210
3.7.3.2.3 Εφαρμογή ασαφούς ή «ήπιας» ταξινόμησης	216
3.7.3.2.4 Τεχνικές μετά-ταξινόμησης (post- classification techniques)	218
3.7.4 Ανίχνευση των αλλαγών φυσικής βλάστησης λόγω εποχικής διακύμανσης της χλωροφύλλης	220
3.7.4.1 Τοποθέτηση του προβλήματος - Διερεύνηση τεχνικών τηλεπισκόπησης.....	220
3.7.4.2 Ανάπτυξη μεθοδολογίας	222
3.7.5 Αξιολόγηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων	228
3.7.5.1 Σχεδιασμός δειγματοληψίας δεδομένων αναφοράς.....	228
3.7.5.2 Σχέδιο απόκρισης	233
3.7.5.2.1 Πηγές δεδομένων αναφοράς	233
3.7.5.2.2 Πρωτόκολλο αναγνώρισης	234
3.7.5.3 Ανάλυση.....	234

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ..... 236

4.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων σε θεματικούς χάρτες ..	236
4.1.1 Θεματικοί χάρτες ανά σκηνή επεξεργασίας	236
4.1.1.1 Ρόδος.....	237
4.1.1.2 Καστοριά	240
4.1.1.3 Χαλκιδική	244
4.1.1.4 Δυτική Αττική	247
4.1.1.5 Μεσσηνία	249
4.1.2 Θεματικοί χάρτες ανά περιοχή μελέτης	251

4.2 Αξιολόγηση της ακρίβειας.....	257
4.2.1 Παρουσίαση των εκτιμήσεων της ακρίβειας των ταξινομήσεων	257
4.2.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων εκτίμησης της ακρίβειας	264
4.2.2.1 Σύγκριση μεταξύ συνολικής ακρίβειας και πλήθους κατηγοριών της ταξινόμησης κάθε περιοχής μελέτης.....	264
4.2.2.2 Σύγκριση μεταξύ συνολικής ακρίβειας και έκτασης κάθε περιοχής μελέτης	265
4.2.2.3 Ανάλυση της ακρίβειας ανά χωρική μονάδα επεξεργασίας.....	267
4.2.2.3.1 Ρόδος	267
4.2.2.3.2 Καστοριά	277
4.2.2.3.3 Χαλκιδική.....	286
4.2.2.3.4 Δυτική Αττική.....	293
4.2.2.3.5 Μεσσηνία.....	297
5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	301
5.1 Τρέχουσα έρευνα και συνεισφορά της διατριβής	301
5.1.1 Ταξινόμηση υψηλής χωρικής ανάλυσης στην κλίμακα Φυσικό / Ανθρωπογενές περιβάλλον.....	303
5.1.2 Χωρικά προσαρμοσμένη προσέγγιση ταξινόμησης φυσικής βλάστησης.....	305
5.1.3 Δια-εποχιακές χρονικές μεταβολές της βλάστησης.....	308
5.2 Γενικά συμπεράσματα και εμπειρικές παρατηρήσεις	310
5.2.1 Δυνατότητες της προτεινόμενης μεθοδολογίας.....	312
5.3 Μελλοντική δυνητική εξέλιξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας.....	313
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	314
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ	A-1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΗΜΙ - ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ...	B-1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ - ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	Γ-1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ - ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	Δ-1

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 Ένα εννοιολογικό μοντέλο των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο σύστημα της Γης.....	17
Σχήμα 2.2 Οι έννοιες της στήριξης (As και Ts) της έκτασης (Ae and Te) και της κάλυψης: αριστερά παράδειγμα χωρικής κάλυψης (10/64), δεξιά χρονικής κάλυψης (4/6)	26
Σχήμα 2.3 Οι τρεις διαστάσεις της κλίμακας	28
Σχήμα 2.4 Μοντέλο γήινης επιφάνειας.....	29
Σχήμα 2.5 Είδη Κλίμακας γεωχωρικών δεδομένων.....	33
Σχήμα 2.6 Τα κύρια στοιχεία σε ένα σύστημα ηλεκτρο-οπτικής τηλεπισκόπησης (τύπος συστήματος whiskbroom) (πηγή (Schowengerdt, 2007))	44
Σχήμα 2.7 Η οπτικοποίηση της στήριξης μιας μεμονωμένης παρατήρησης ενός εικονοστοιχείου ως μέρος μιας εικόνας	53
Σχήμα 2.8 Συσσωρεύσεις σε φασματικό χώρο με τρις φασματικές ζώνες.....	75
Σχήμα 3.1 Τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας επιλεγμένων επιφανειών σε σχέση με τις φασματικές ζώνες RapidEye.....	163
Σχήμα 3.2 Ιεραρχικό μοντέλο κάλυψης γης και διαστρωμάτωση σε φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.....	173
Σχήμα 3.3 Σχηματική αναπαράσταση του σχεδιασμού μιας χωρικά προσαρμοσμένης προσέγγισης για την ταξινόμηση.....	189
Σχήμα 3.4 Σχηματική αναπαράσταση ημί - αυτόματης προσέγγισης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης.....	202
Σχήμα 3.5 Σχηματική αναπαράσταση προσέγγισης χωρικά προσαρμοζόμενης εφαρμογής του ταξινομητή Μέγιστης Πιθανοφάνειας και εφαρμογής «ήπιας» ταξινόμησης.....	219
Σχήμα 3.6 Σχηματική αναπαράσταση προσέγγισης ανίχνευσης των αλλαγών φυσικής βλάστησης λόγω εποχικής διακύμανσης της χλωροφύλλης.....	225

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1 Διάγραμμα ροής εργασιών	166
Διάγραμμα 4.1 Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης Ρόδου	258
Διάγραμμα 4.2 Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης της Καστοριάς.....	259
Διάγραμμα 4.3 Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης της Χαλκιδικής	261
Διάγραμμα 4.4 Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης της Δυτικής Αττικής	262
Διάγραμμα 4.5 Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης της Μεσσηνίας	263
Διάγραμμα 4.6 Σύγκριση συνολικής ακρίβειας και πλήθους κατηγοριών ταξινόμησης για κάθε περιοχή μελέτης	265
Διάγραμμα 4.7 Σύγκριση συνολικής ακρίβειας και έκτασης κάθε περιοχής μελέτης	266
Διάγραμμα 4.8 Ρόδος σκηνή 2: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	268
Διάγραμμα 4.9 Ρόδος σκηνή 3: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	270
Διάγραμμα 4.10 Ρόδος σκηνή 7: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας	270
Διάγραμμα 4.11 Ρόδος σκηνή 8: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	271
Διάγραμμα 4.12 Ρόδος σκηνή 6: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	272
Διάγραμμα 4.13 Ρόδος σκηνή 4: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	273
Διάγραμμα 4.14 Ρόδος σκηνή 5: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	274
Διάγραμμα 4.15 Ρόδος σκηνή 9: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	274

Διάγραμμα 4.16 Ρόδος σκηνή 1: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών.....	275
Διάγραμμα 4.17 Τιμές του συντελεστή kappa < 0,7 για τις σημαντικές κατηγορίες ανά τμήμα επεξεργασίας της Ρόδου.....	276
Διάγραμμα 4.18 Καστοριά σκηνή 1: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών.....	278
Διάγραμμα 4.19 Καστοριά σκηνή 6: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας	279
Διάγραμμα 4.20 Καστοριά σκηνή 2: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για των σημαντικών κατηγοριών	281
Διάγραμμα 4.21 Καστοριά σκηνή 3: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών.....	281
Διάγραμμα 4.22 Καστοριά σκηνή 5: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών.....	282
Διάγραμμα 4.23 Καστοριά σκηνή 4: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών.....	283
Διάγραμμα 4.24 Καστοριά σκηνή 7: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών.....	284
Διάγραμμα 4.25 Τιμές του συντελεστή kappa < 0,7 για τις σημαντικές κατηγορίες ανά τμήμα επεξεργασίας της Καστοριάς.....	285
Διάγραμμα 4.26 Χαλκιδική σκηνή 1: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών.....	288
Διάγραμμα 4.27 Χαλκιδική σκηνή 3: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών.....	289
Διάγραμμα 4.28 Χαλκιδική σκηνή 2: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών.....	290
Διάγραμμα 4.29 Χαλκιδική σκηνή 4: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών.....	291
Διάγραμμα 4.30 Τιμές του συντελεστή kappa < 0,7 για τις σημαντικές κατηγορίες ανά τμήμα επεξεργασίας της Χαλκιδικής.....	292
Διάγραμμα 4.31 Δυτική Αττική σκηνή 3: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	294

Διάγραμμα 4.32 Δυτική Αττική σκηνή 1: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	296
Διάγραμμα 4.33 Δυτική Αττική σκηνή 2: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	296
Διάγραμμα 4.34 Τιμές του συντελεστή $k_{\alpha} < 0,7$ για τις σημαντικές κατηγορίες ανά τμήμα επεξεργασίας της Δυτικής Αττικής.....	297
Διάγραμμα 4.35 Μεσσηνία σκηνή 1: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	299
Διάγραμμα 4.36 Μεσσηνία σκηνή 2: Ο υπό όρους συντελεστής K_{α} για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών	300
Διάγραμμα 4.37 Τιμές του συντελεστή $k_{\alpha} < 0,7$ για τις σημαντικές κατηγορίες ανά τμήμα επεξεργασίας της Μεσσηνίας	300

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Επίπεδα παρατήρησης και κλιμάκωση	36
Εικόνα 2.2 Ορισμός των βασικών παραμέτρων ενός σαρωτή και απεικόνιση δύο μεθόδων σάρωσης και των τεχνικών χαρακτηριστικών της ψηφιακής εικόνας.....	47
Εικόνα 2.3 Γενική ιδέα της απόστασης δειγματοληψίας.....	51
Εικόνα 2.4 Μερικοί από τους πιο κοινούς λόγους δημιουργίας του προβλήματος των μικτών εικονοστοιχείων	57
Εικόνα 2.5 Η επίδραση του χωρικού συγχρονισμού μεταξύ του πλέγματος εικονοστοιχείων και ενός στόχου στη γήινη επιφάνεια	58
Εικόνα 2.6 Σύγκριση της χωρικής και φασματικής δειγματοληψίας RapidEye.....	64
Εικόνα 2.7 Συμβιβασμοί μεταξύ χωρικής, φασματικής και χρονικής κλίμακας των τηλεπισκοπικών εικόνων	71
Εικόνα 2.8 Μηχανισμοί αλληλεπίδρασης δασικών θόλων. Αλληλεπιδράσεις φωτός-βλάστησης οπτικών παθητικών αισθητήρων. Σημαντικές περιοχές μήκους κύματος.....	126
Εικόνα 2.9 Σχέση μεταξύ χωρικής ανάλυσης και ακτίνας αντικειμένων γήινης επιφάνειας	131
Εικόνα 2.10 Τυπική ιεραρχία των μονάδων βλάστησης.....	137
Εικόνα 3.1 Οι περιοχές εφαρμογής	157
Εικόνα 3.2 Σκηνές επεξεργασίας Ρόδου	190
Εικόνα 3.3 Σκηνές επεξεργασίας Καστοριάς	191
Εικόνα 3.4 Σκηνές επεξεργασίας Χαλκιδικής	192
Εικόνα 3.5 Σκηνές επεξεργασίας Δυτικής Αττικής	193
Εικόνα 3.6 Σκηνές επεξεργασίας Μεσσηνίας.....	194
Εικόνα 3.7 Σχέση μεταξύ υπό εξέταση αντικειμένων και χωρικής ανάλυσης	209
Εικόνα 4.1 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Ρόδου (Α) της υπό περιοχής 1 (Β) της υπό περιοχής 2 (Γ) της υπό περιοχής 3	237
Εικόνα 4.2 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Ρόδου (Δ) της υπό περιοχής 4 (Ε) της υπό περιοχής 5 (Ζ) της υπό περιοχής 6 (Η) της υπό περιοχής 7	238
Εικόνα 4.3 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Ρόδου (Θ) της υπό περιοχής 8 (Ι) της υπό περιοχής 9	239

Εικόνα 4.4 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Καστοριάς (Α) της υπό περιοχής 1 (Β) της υπό περιοχής 2	240
Εικόνα 4.5 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Καστοριάς (Γ) της υπό περιοχής 3 (Δ) της υπό περιοχής 4	241
Εικόνα 4.6 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Καστοριάς (Ε) της υπό περιοχής 5 (Ζ) της υπό περιοχής 6	242
Εικόνα 4.7 Θεματικός χάρτης βλάστησης Καστοριάς της υπό περιοχής 7	243
Εικόνα 4.8 Θεματικός χάρτης βλάστησης Χαλκιδικής της υπό περιοχής 1	244
Εικόνα 4.9 Θεματικός χάρτης βλάστησης Χαλκιδικής της υπό περιοχής 2	244
Εικόνα 4.10 Θεματικός χάρτης βλάστησης Χαλκιδικής της υπό περιοχής 3	245
Εικόνα 4.11 Θεματικός χάρτης βλάστησης Χαλκιδικής της υπό περιοχής 4	246
Εικόνα 4.12 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Δυτικής Αττικής (Α) της υπό περιοχής 1 (Β) της υπό περιοχής 2	247
Εικόνα 4.13 Θεματικός χάρτης βλάστησης Δυτικής Αττικής της υπό περιοχής 3	248
Εικόνα 4.14 Θεματικός χάρτης βλάστησης Μεσσηνίας της υπό περιοχής 1	249
Εικόνα 4.15 Θεματικός χάρτης βλάστησης Μεσσηνίας της υπό περιοχής 2	250
Εικόνα 4.16 Θεματικός χάρτης βλάστησης Ρόδου	252
Εικόνα 4.17 Θεματικός χάρτης βλάστησης Καστοριάς	253
Εικόνα 4.18 Θεματικός χάρτης βλάστησης Χαλκιδικής	254
Εικόνα 4.19 Θεματικός χάρτης βλάστησης Δυτικής Αττικής	255
Εικόνα 4.20 Θεματικός χάρτης βλάστησης Μεσσηνίας	256
Εικόνα 4.21 Χάρτες σύγκρισης συνολικής ακρίβειας και στατιστικής kappa των ταξινομήσεων για κάθε σκηνή επεξεργασίας της Ρόδου	267
Εικόνα 4.22 Χάρτες σύγκρισης συνολικής ακρίβειας και στατιστικής kappa των ταξινομήσεων για κάθε σκηνή επεξεργασίας της Καστοριάς	277
Εικόνα 4.23 Χάρτες σύγκρισης συνολικής ακρίβειας και στατιστικής kappa των ταξινομήσεων για κάθε σκηνή επεξεργασίας της Χαλκιδικής	287
Εικόνα 4.24 Χάρτες σύγκρισης συνολικής ακρίβειας και στατιστικής kappa των ταξινομήσεων για κάθε σκηνή επεξεργασίας της Δυτικής Αττικής	293
Εικόνα 4.25 Χάρτες σύγκρισης συνολικής ακρίβειας και στατιστικής kappa των ταξινομήσεων για κάθε σκηνή επεξεργασίας της Μεσσηνίας	298

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες (οπτικοί και ραντάρ)	13
Πίνακας 2.2 Ορισμοί που σχετίζονται με την ορολογία και τις έννοιες της κλίμακας.....	22
Πίνακας 2.3 Φιλοσοφικές απόψεις του χώρου: η διαφορά μεταξύ απόλυτου και σχετικού χώρου.....	34
Πίνακας 2.4 Στοιχεία χωρικής κλίμακας δορυφορικών εικόνων	49
Πίνακας 2.5 Παράγοντες που προσδιορίζουν την χωρική ανάλυση της εικόνας λόγω της τροποποίησης των χωρικών ιδιοτήτων της σκηνής από τον αισθητήρα.....	55
Πίνακας 2.6 Διάκριση / διαχωριστικότητα αντικειμένων.....	59
Πίνακας 2.7 Κατηγορίες χωρικής κλίμακας οπτικών δορυφορικών δεδομένων	62
Πίνακας 2.8 Οι βασικές φασματικές περιοχές που χρησιμοποιούνται στην παρατήρηση της γης.....	63
Πίνακας 2.9 Παράγοντες που προσδιορίζουν τη φασματική ανάλυση της εικόνας	65
Πίνακας 2.10 Παράγοντες που επηρεάζουν την διάκριση / διαχωριστικότητα αντικειμένων με βάση τις φασματικές τους υπογραφές.....	66
Πίνακας 2.11 Οι δυνατότητες της διαχρονικής ανάλυσης.....	68
Πίνακας 2.12. Περίληψη των τεχνικών ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων	81
Πίνακας 2.13 Χώρο - συναφείς τεχνικές ταξινόμησης	99
Πίνακας 2.14 Παράδειγμα πίνακα σφάλματος.....	108
Πίνακας 2.15 Κατηγοριοποίηση των τιμών της στατιστικής $Kappa$	112
Πίνακας 2.16 Περίληψη των προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης στη διαχείριση πυρκαγιών	124
Πίνακας 2.17 Δορυφόροι που έχουν πιο συχνά χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση της βλάστησης, χαρακτηριστικά και χωρική έκταση εφαρμογής.....	140
Πίνακας 3.1 Προδιαγραφές του συστήματος RapidEye	163
Πίνακας 3.2 Θεματικές περιοχές χρήσης δεδομένων RapidEye και ενδεικτικές δημοσιεύσεις	164
Πίνακας 3.3 Κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης Ρόδου.....	177
Πίνακας 3.4 Κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης Καστοριάς.....	179
Πίνακας 3.5 Κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης Χαλκιδικής.....	182

Πίνακας 3.6 Κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης Δυτικής Αττικής	184
Πίνακας 3.7 Κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης Μεσσηνίας	186
Πίνακας 3.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φωτοερμηνείας και κατάτμησης με τη χρήση του λογισμικού eCognition για την οριοθέτηση αντικειμένων του πραγματικού κόσμου....	203
Πίνακας 3.9 Όρια τιμών NDVI	226
Πίνακας 3.10 Πίνακας δια- εποχικής αλλαγής περιοχών βλάστησης σύμφωνα με το δείκτη NDVI	226
Πίνακας 3.11 Πίνακας υπολογισμού μεγέθους δείγματος Ρόδου	229
Πίνακας 3.12 Πίνακας υπολογισμού μεγέθους δείγματος Καστοριάς	230
Πίνακας 3.13 Πίνακας υπολογισμού μεγέθους δείγματος Χαλκιδικής.....	230
Πίνακας 3.14 Πίνακας υπολογισμού μεγέθους δείγματος Δυτικής Αττικής.....	231
Πίνακας 3.15 Πίνακας υπολογισμού μεγέθους δείγματος Μεσσηνίας.....	232
Πίνακας 3.16 Μέγεθος δείγματος για τις περιοχές μελέτης	233
Πίνακας 4.1 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Ρόδου	257
Πίνακας 4.2 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Καστοριάς	258
Πίνακας 4.3 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Χαλκιδικής	260
Πίνακας 4.4 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Δυτικής Αττικής	261
Πίνακας 4.5 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Μεσσηνίας	263
Πίνακας 4.6 Ρόδος σκηνή 2: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	268
Πίνακας 4.7 Ρόδος σκηνή 3: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	269
Πίνακας 4.8 Ρόδος σκηνή 7: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	269
Πίνακας 4.9 Ρόδος σκηνή 8: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	270
Πίνακας 4.10 Ρόδος σκηνή 6: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες ...	271
Πίνακας 4.11 Ρόδος σκηνή 1: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες ...	272
Πίνακας 4.12 Ρόδος σκηνή 4: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες ...	272
Πίνακας 4.13 Ρόδος σκηνή 5: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες ...	273
Πίνακας 4.14 Ρόδος σκηνή 9: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες ...	273

Πίνακας 4.15 Καστοριά σκηνή 1: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	278
Πίνακας 4.16 Καστοριά σκηνή 6: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	279
Πίνακας 4.17 Καστοριά σκηνή 2: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	280
Πίνακας 4.18 Καστοριά σκηνή 3: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	280
Πίνακας 4.19 Καστοριά σκηνή 5: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	280
Πίνακας 4.20 Καστοριά σκηνή 4: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	282
Πίνακας 4.21 Καστοριά σκηνή 7: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	283
Πίνακας 4.22 Χαλκιδική σκηνή 1: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	287
Πίνακας 4.23 Χαλκιδική σκηνή 3: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	288
Πίνακας 4.24 Χαλκιδική σκηνή 2: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	289
Πίνακας 4.25 Χαλκιδική σκηνή 4: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	290
Πίνακας 4.26 Δυτική Αττική σκηνή 3: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	294
Πίνακας 4.27 Δυτική Αττική σκηνή 1: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	295
Πίνακας 4.28 Δυτική Αττική σκηνή 2: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	295
Πίνακας 4.29 Μεσσηνία σκηνή 1: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	298
Πίνακας 4.30 Μεσσηνία σκηνή 2: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες	299

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ - ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ

A/D	Analog/Digital
APAR	Absorbed Photosynthetically Active Radiation
BRDF	Bi-directional Reflectance Distribution Function
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CBIR	Content Based Image Retrieval
CCD	Charge Coupled Devices
DMC	Disaster Monitoring Constellation
DN	Digital Number
ECHO	Extraction and Classification of Homogeneous Objects
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
ETM	Enhanced Thematic Mapper
FOV	Field Of View
FWHM	Full Width at Half Maximum
GEOBIA	Geographic Object-Based Image Analysis
GFOV	Ground-projected Field Of View
GIFOV	Ground-projected Instantaneous Field of View
GIS	Geographic Information Systems
GSD	Ground Sample Distance
GSI	Ground-projected Sample Interval
HRV	High Resolution Visible
HSR	High Spatial Resolution
IFOV	Instantaneous Field of View
IRS	Indian Remote Sensing Satellites
LAI	Leaf Area Index
LWIR	LongWave InfraRed
MAUP	Modifiable Areal Unit Problem
MLC	Maximum Likelihood Classifier
MMU	Minimum Map Unit
MRFs	Markov Random Fields
MSS	Multispectral Scanner System
MWIR	MidWave InfraRed
NAO	North Atlantic Oscillation
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDVI RE	Normalized Difference Vegetation Index Red Edge
NIR	Near InfraRed
NIR	Near Infrared
OBIA	Object Based Image Analysis
P	Panchromatic
PCA	Principal Component Analysis
POES	Polar Orbiting Environmental Satellites
SOM	Self Organizing Maps
SPOT	Satellite Pour Observation de la Terre
SVM	Support Vector Machine
SWIR	Short Wave InfraRed
TCT	Tasseled Cap Transformation
TIR	Thermal InfraRed

TM	Thematic Mapper
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
V	Visible
VHR	Very High Resolution
VHSR	Very High Spatial Resolution
ΓΣΠ	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή
Η/Υ	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
M.K.Y.	Μοντέλο Καύσιμης Ύλης

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικειμενικός σκοπός - στόχοι διδακτορικής διατριβής

Η όλη ερευνητική προσπάθεια είχε επιχειρησιακή εφαρμογή στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος AEGIS¹ το οποίο είχε ως στόχο την ανάπτυξη ενός Διαδικτυακού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Web GIS) για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών, με σκοπό την πιθανή μείωση των προκαλούμενων ανθρώπινων, περιβαλλοντικών και υλικών απωλειών, φιλοδοξώντας να συνεισφέρει στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών, παρέχοντας πρόσβαση σε ένα μεγάλο πλήθος από δεδομένα και λειτουργίες. Το σύστημα αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε σε 7 διαφορετικές περιοχές μελέτης υψηλού κινδύνου, μεγάλης αξίας και έντονης χρήσης του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος της Ελλάδας. Το σύστημα ενσωματώνει μεθοδολογίες χωρικής εκτίμησης του κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς και μοντελοποίησης της συμπεριφοράς πυρκαγιών ([.http://aegis.aegean.gr/](http://aegis.aegean.gr/)).

Η βλάστηση παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την κατανόηση της συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς, συμπεριλαμβανομένης της ανάφλεξης, της ανάπτυξης και της ταχύτητας διάδοσης, και επομένως είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση της πρόληψης των πυρκαγιών και την επιχειρησιακή αντιμετώπισή τους εφόσον συμβούν (Ayanz et al., 2011).

¹ Το έργο με τίτλο «Πληροφοριακό Σύστημα Πρόληψης και Διαχείρισης Δασικών Πυρκαγιών», Ακρωνύμιο AEGIS (κωδικός 1862), υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Πράξης "ΑΡΙΣΤΕΙΑ" του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» με Δικαιούχο τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο-ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους. Επιστημονικός υπεύθυνος έργου: Κώστας Καλαμποκίδης, Καθηγητής.

Ο Leblon (2005) επισημαίνει, πως ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς είναι το είδος και τα χαρακτηριστικά της βλάστησης, καθώς αντιπροσωπεύουν το σύνολο των καυσίμων που διατίθενται για την πυρκαγιά (Leblon, 2005).

Οι περισσότεροι από τους ερευνητικούς στόχους του προγράμματος AEGIS, όπως η ανάπτυξη χωρικού συστήματος εκτίμησης του κινδύνου ανάφλεξης, η προσομοίωση συμπεριφοράς πυρκαγιάς και πιθανοτήτων καύσης, καθώς και οι υπολογισμοί των αναμενόμενων επιπτώσεων, στηρίζονται στην ύπαρξη αξιόπιστων χωρικών δεδομένων βλάστησης.

Οι χάρτες βλάστησης χρησιμοποιούνται παγκοσμίως ως δεδομένα για τη διαχείριση των φυσικών πόρων, την υποστήριξη και το σχεδιασμό διατήρησης οικοσυστημάτων και ενδιαιτημάτων, για το σχεδιασμό συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, για τη χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής κ.α. (Franklin, 2013). Οι τεχνικές Τηλεπισκόπησης, από το 1980 έχουν αναγνωριστεί ως ένα αποτελεσματικό και αποδοτικό εργαλείο για την καταγραφή δασικών μεταβλητών, καθώς οι ψηφιακές δορυφορικές εικόνες μπορούν να παράσχουν πληροφορίες για τη δασική κάλυψη, τη δασική υγεία και βιωσιμότητα, τη δασική οικολογία και την κάλυψη γης (Kohl et al., 2006; White et al., 2016). Η ταξινόμηση των δασικών ειδών βρίσκεται μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών στους τομείς της διαχείρισης και της διατήρησης των δασών, και η σημασία των χαρτών αυτών είναι μεγάλη είτε ως αυτόνομα προϊόντα είτε ως εισροές σε διάφορα μοντέλα για τη διαχείριση των δασών (Fassnacht et al., 2016).

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτέλεσε η χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων για τη χαρτογράφηση της βλάστησης σε 5 από τις 7 περιοχές μελέτης για τις οποίες εφαρμόστηκε και αναπτύχθηκε το σύστημα AEGIS: για τη Ρόδο, την Καστοριά, τη Χαλκιδική (με το Άγιο Όρος), τη Δυτική Αττική και τη Μεσσηνία. Ο αντικειμενικός σκοπός ήταν η τροφοδότηση του συστήματος AEGIS με δεδομένα βλάστησης για την ακριβή εκτίμηση της καύσιμης ύλης.

Δεδομένου ότι σε ένα σύστημα μοντελοποίησης οποιουδήποτε φυσικού φαινομένου το κρισιμότερο σημείο αφορά στην ακρίβεια των δεδομένων εισαγωγής, καθώς όσο ακριβέστερα είναι τόσο ακριβέστερη θα είναι και η αναπαράσταση του πραγματικού χώρου και τόσο ακριβέστερες προβλέψεις μπορούν να γίνουν από αυτό (Retsilidou & Hatzopoulos, 2013), ένα σύστημα που στοχεύει στη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών και την ποσοτικοποίηση της εκτίμησης του κινδύνου έναρξης και διάδοσης δασικών πυρκαγιών θα πρέπει να βασίζεται σε επικαιροποιημένα και αξιόπιστα δεδομένα.

Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης θα έπρεπε να είναι υψηλής χωρικής ανάλυσης καθώς η ακρίβεια των τύπων βλάστησης και της χωρικής τους ακολουθίας κρίνεται καθοριστική. Με βάση τα

δεδομένα της βλάστησης υπολογίζεται η καύσιμη ύλη και προσομοιώνεται η διάδοση της πυρκαγιάς.

1.1.1 Τοποθέτηση του προβλήματος

Η εκπροσώπηση της γήινης επιφάνειας μέσω των εικόνων της τηλεπισκόπησης, περιλαμβάνει τόσο τα χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος (όπως φυσική βλάστηση, γεωμορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά), όσο και αυτά του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (όπως καλλιέργειες, κτίρια, δρόμοι κ.α.). Επιπλέον, οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις περιλαμβάνουν και αντικείμενα που προκαλούνται από την ηλιακή ακτινοβολία, και τη διάχυση του φωτός στη γήινη επιφάνεια (όπως η σκίαση).

Όσο μεγαλύτερη σε έκταση είναι μια περιοχή μελέτης τόσο περισσότερα χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας θα αναπαριστώνται σε μια εικόνα τηλεπισκόπησης. Όσο μεγαλύτερη είναι η φυσιογραφική ετερογένεια αλλά και η ετερογένεια του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, τόσο αυξάνονται και οι αδυναμίες των μεθόδων ταξινόμησης.

Με την αύξηση της διακριτικής ανάλυσης ενός αισθητήρα, έρχεται εκ νέου αύξηση της ετερογένειας των χαρακτηριστικών μιας εικόνας τηλεπισκόπησης με συνεπακόλουθα επιπλέον προβλήματα στην εφαρμογή τεχνικών και μεθόδων ταξινόμησης. Από την άλλη πλευρά στην τηλεπισκόπηση η ανάλυση και η έκταση δεν είναι απλώς χωρικά χαρακτηριστικά, αλλά ενσωματώνουν και φασματικά, χρονικά, και ραδιομετρικά χαρακτηριστικά (Key et al., 2001).

Βασική έννοια για την περιγραφή και την εξήγηση της πολύπλοκης ιεραρχικής οργάνωσης του γεωγραφικού κόσμου αλλά και για την περιγραφή της σπουδαιότητας ή του μεγέθους των δεδομένων μιας μελέτης είναι η έννοια της κλίμακας. Στην ενότητα 2.2 «Κλίμακα και Τηλεπισκόπηση» συζητούνται οι έννοιες της κλίμακας και οι επιπτώσεις τους στην επιστημονική έρευνα.

Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης έχουν μια κλίμακα μέτρησης που χωρικά αναφέρεται συνήθως στο μέγεθος εικονοστοιχείου, ραδιομετρικά σε φωτεινότητα η οποία βαθμιδοποιείται σε διακριτά επίπεδα, και φασματικά στο μήκος κύματος, ή φάσμα μηκών κύματος, δηλαδή στο πλήθος και το εύρος των φασματικών ζωνών που έχει δυνατότητα να καταγράψει ο δέκτης κατά τη διαδικασία λήψης της εικόνας (Richards, 2013). Η ενότητα 2.3 εστιάζει στην έννοια της ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων ως μια ιδιότητα που περιλαμβάνει τα στοιχεία και συστατικά της κλίμακας.

Αντιθέτως οι μονάδες και οι διαδικασίες της φύσης υπάρχουν σε πολλές κλίμακες με αποτέλεσμα οι περισσότερες εικόνες του πραγματικού κόσμου να περιέχουν αντικείμενα σε

μια ποικιλία κλιμάκων. Ιδιαίτερα όσον αφορά στο ελληνικό τοπίο, είναι πολυσύνθετο και χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλη ετερογένεια ενώ το γενικό πρότυπο διαφέρει από περιοχή σε περιοχή.

Έτσι οι πληροφορίες που μπορούμε να συλλέξουμε με τη χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης συσχετίζονται με τη χωρική ανάλυση (εικονοστοιχείο) καθώς θα έχουμε την τάση να μετρήσουμε περισσότερες μεταβλητές σε υψηλής χωρικής ανάλυσης δεδομένα. Συσχετίζονται όμως και με την έκταση, καθώς εάν η χωρική ανάλυση είναι δεδομένη και σταθερή, μια αύξηση στην έκταση θα ενσωματώσει τυπικά μεγαλύτερη χωρική ανομοιογένεια, καθώς μία μεγαλύτερη ποικιλία τύπων ή στοιχείων του τοπίου θα περιλαμβάνεται εντός της περιοχής που μελετάται (υπό ενότητα 2.2.6). Κατά συνέπεια ανακύπτουν μεθοδολογικά ζητήματα σε σχέση με την κλίμακα (υπό - ενότητα 2.2.5).

Επιπλέον, η χαρτογράφηση της βλάστησης με τη χρήση εικόνων τηλεπισκόπησης αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα λόγω διαφόρων ζητημάτων που ανακύπτουν και συζητιούνται αναλυτικά στην ενότητα 2.5 «Τηλεπισκόπηση και χαρτογράφηση της βλάστησης».

Για παράδειγμα, η βλάστηση παρουσιάζει μια ιδιαίτερη φυσική μεταβλητότητα, με αποτέλεσμα παράγοντες όπως ο χώρος, ο χρόνος και η κατάσταση (π.χ. φαινολογία, υγεία) να μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά ανάκλασης του ίδιου είδους με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η δυνατότητα αναγνωσιμότητας / διαχωρισιμότητας των ειδών. Ιδιαίτερα όσον αφορά στην ταξινόμηση της βλάστησης σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, σύμφωνα με την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας ανακύπτουν διάφορα ζητήματα που αφορούν (υπό-ενότητα 2.5.7): α) στις διαφορές που παρατηρούνται στη δομή του θόλου ή τη σύνθεση χρωστικής για διάφορους οικοτύπους και τύπους πλαστικότητας για το ίδιο είδος και σχετίζονται με μεταβλητές συνθήκες της τοποθεσίας, β) στις διαφορές ανάκλασης λόγω διαφορετικής ηλικίας των φύλλων του ίδιου είδους για διαφορετικές θέσεις και γ) στις διαφορές που προκύπτουν από τη χρήση πολλαπλών σκηνών για την κάλυψη μιας μεγάλης περιοχής μελέτης, λόγω παραλλαγών στις συνθήκες της ατμόσφαιρας, της γήινης επιφάνειας, της προσπίπτουσας ηλιακής γωνίας κ.α.

Η πολυπλοκότητα των ατμοσφαιρικών και τοπογραφικών επιδράσεων αυξάνεται από τη μη Λαμπερτιανή συμπεριφορά ανακλαστικότητας πολλών επιφανειών ανάλογα με την προβολή και τη γεωμετρία φωτισμού, αλλά και από την «επίδραση του δέντρου», δηλαδή τη διακύμανση ανακλαστικότητας κάθε μεμονωμένης δομής θόλου λόγω του φωτισμού (ηλιόλουστη κόμη - σκιές) (υπό-ενότητα 2.5.8). Επιπλέον, κατά τη χαρτογράφηση μεγάλων εκτάσεων θα ποικίλει επίσης ο τύπος του σήματος υποβάθρου (π.χ., γυμνό έδαφος έναντι βλάστησης υπό-ορόφου) ανάλογα με την τοποθεσία και με τη διαφορετική συγκόμωση των συστάδων (υπό-ενότητα 2.5.5.1.2).

1.1.2 Σκοπός και στόχοι

Η ταξινόμηση της κάλυψης γης έχει εφαρμοστεί για δεκαετίες (King, 2002; Briem et al., 2002), με την εφαρμογή διάφορων αλγορίθμων ταξινόμησης, εκ των οποίων καθένας εμφανίζει συγκεκριμένα προβλήματα που περιορίζουν τη χρήση του (Bharatkar & Patel, 2013). Έτσι, παρά τη μακρά περίοδο εφαρμογής μεθόδων ταξινόμησης για την εξαγωγή της κάλυψης Γης, ακόμα υπάρχει το ενδιαφέρον είτε για την ανάπτυξη νέων τεχνικών ταξινόμησης ή για την προσαρμογή των παλιότερων (Liu et al., 2002b, 2003), είτε την εφαρμογή πολλαπλών ταξινομητών (διαδικασία συνδυασμού ανεξάρτητων αλγορίθμων ταξινόμησης) για τη βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης των χαρτών κάλυψης γης (Briem et al., 2002; Debelr et al., 2002; Liu et al., 2002b).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία εξακολουθεί να υπάρχει μια ισχυρή ανάγκη βελτίωσης της ακρίβειας των θεματικών χαρτών ταξινόμησης, κατά συνέπεια υπάρχει ανάγκη για την ανάπτυξη προσεγγίσεων που να μπορούν να απαντήσουν στις νέες προκλήσεις που αντιμετωπίζονται λόγω της προόδου στις τεχνολογίες των αισθητήρων και της διαθεσιμότητας δεδομένων εικόνας υψηλής ανάλυσης. Έτσι, όπως οι Warner κ.α. (2009) επισημαίνουν έχει προκύψει και ένα νέο πρόβλημα: «Πώς μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που χρησιμοποιούμε, έτσι ώστε αυτά να είναι πιο αποτελεσματικά για μια συγκεκριμένη εφαρμογή ή για ένα ερευνητικό πρόβλημα;».

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι έπειτα από την ενδελεχή διερεύνηση τεχνικών τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) για την αντιμετώπιση των μεθοδολογικών ζητημάτων που ανακύπτουν κατά την ταξινόμηση της βλάστησης με τη χρήση δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης και μεγάλης έκτασης (όπως αυτά που συζητήθηκαν, 1.1.1), να προτείνει μια μεθοδολογική προσέγγιση με βασικές κατευθυντήριες γραμμές:

- Την ακριβή αποτύπωση της κάλυψης γης στο σύνολο της έκτασης κάθε περιοχής μελέτης και την αντιμετώπιση των ζητημάτων της κλίμακας και των συνακόλουθων μεθοδολογικών ζητημάτων
- Τη βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων δορυφορικών δεδομένων για την ταξινόμηση της βλάστησης με τη χρήση εποχικών δεδομένων
- Τη δυνατότητα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε οποιαδήποτε περιοχή μελέτης
- Τη δυνατότητα επαναληψιμότητας της μεθοδολογίας με επικαιροποιημένα δεδομένα του ίδιου ή διαφορετικού αισθητήρα

- Τη δυνατότητα εφαρμογής αυτής της προσέγγισης και σε άλλους τομείς της διαχείρισης των φυσικών πόρων και της διατήρησης οικοσυστημάτων και ενδιαιτημάτων
- Την υπολογιστική αποδοτικότητα, καθώς θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα υψηλής ανάλυσης και πολλαπλών ημερομηνιών που αφορούν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές

Έπειτα από βιβλιογραφική έρευνα, στην ενότητα 2.4 συζητιούνται οι κυριότερες προσεγγίσεις ταξινόμησης στην Τηλεπισκόπηση καθώς οι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοσή τους (υπό-ενότητες 2.5.2, 2.5.4). Όπως οι Olofsson κ.α. (2014) επισημαίνουν «χωρίς μια αξιολόγηση της ακρίβειας, δεν υπάρχει κανένας τρόπος να επικοινωνηθεί η ποιότητα των χαρτών με ένα ποσοτικό και ουσιαστικό τρόπο». Στην υπό-ενότητα 2.4.2 συζητούνται τα βασικά συστατικά αξιολόγησης της ακρίβειας μιας ταξινόμησης καθώς και τα σχετικά ζητήματα που ανακύπτουν.

Προκειμένου να αναπτυχθεί μια μεθοδολογική προσέγγιση με τις παραπάνω κατευθυντήριες γραμμές, διερευνήθηκαν οι αντίστοιχες διαθέσιμες τεχνικές τηλεπισκόπησης. Τα προβλήματα που ανακύπτουν κατά την προσπάθεια αποτύπωσης της κάλυψης γης στο σύνολο της έκτασης μιας περιοχής μελέτης, συζητούνται στην υπό-ενότητα 3.7.2.1. Ενώ στην υπό-ενότητα 3.7.2.2 παρουσιάζεται η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την υποστήριξη ενός ιεραρχικού μοντέλου ταξινόμησης που αρχικά να διαχωρίζει το ανθρωπογενές από το φυσικό περιβάλλον έτσι ώστε να αποτελούν διαφορετικούς τομείς εντός των οποίων έπειτα να εφαρμόζεται η κατάταξη σε κατηγορίες των επιμέρους υποκατηγοριών που τους χαρακτηρίζουν.

Για την αντιμετώπιση των τοπικών διαφορών στη φασματική απόκριση των ειδών φυσικής βλάστησης λόγω της μεγάλης έκτασης των περιοχών μελέτης σχεδιάστηκε μια χωρικά προσαρμοσμένη προσέγγιση ταξινόμησης που παρουσιάζεται στην ενότητα 3.7.1. Στην υπό-ενότητα 3.7.3.1 παρουσιάζεται η διερεύνηση τεχνικών τηλεπισκόπησης για την ταξινόμηση δασικών ειδών με τη χρήση δεδομένων με μέγεθος εικονοστοιχείου 5 μέτρων. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας για την ταξινόμηση των ειδών φυσικής βλάστησης παρουσιάζεται στην υπό-ενότητα 3.7.3.2.

Για τη βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων δορυφορικών δεδομένων για την ταξινόμηση της βλάστησης, χρησιμοποιήθηκαν εποχικά δεδομένα για την ανίχνευση αλλαγών της φυσικής βλάστησης λόγω εποχικής διακύμανσης της χλωροφύλλης. Στην ενότητα 3.7.4, παρουσιάζονται οι συνήθεις τεχνικές ανίχνευσης αλλαγής με τη χρήση τεχνολογιών τηλεπισκόπησης και η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας με την αξιοποίηση των τιμών του δείκτη NDVI για 2 εποχές: μία κατά τη διάρκεια της άνοιξης (πρασίνισμα) και μία κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (γήρανση).

Η προτεινόμενη προσέγγιση εφαρμόστηκε σε 5 περιοχές μελέτης μεγάλης έκτασης που καθεμιά αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση μελέτης λόγω της διαφορετικότητας των οικοσυστημάτων και των τοπίων που διαθέτει. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4. Στην ενότητα 4.1 παρουσιάζονται οι θεματικοί χάρτες που προέκυψαν έπειτα από την εφαρμογή των προτεινόμενων τεχνικών, ενώ στην ενότητα 4.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων της ακρίβειας. Στην ενότητα 4.2.2 αναλύονται τα αποτελέσματα αυτά, προκειμένου να εκτιμηθεί περαιτέρω η ποιότητα των παραγόμενων χαρτών λόγω της εφαρμογής μιας προσέγγισης ταξινόμησης σε επιμέρους μονάδες επεξεργασίας.

1.2 Πρωτοτυπία διδακτορικής διατριβής

1.2.1 Χάρτες καύσιμης ύλης με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής δημιουργήθηκαν χάρτες καύσιμης ύλης υψηλής χωρικής ανάλυσης για πέντε περιοχές της Ελλάδας. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές παρατηρήσεις υψηλής χωρικής ανάλυσης του πολυφασματικού αισθητήρα νέας γενιάς RapidEye, από δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της βλάστησης, για να δημιουργηθούν σύγχρονοι και αξιόπιστοι χάρτες βλάστησης υψηλής χωρικής ανάλυσης. Οι χάρτες αυτοί αποτέλεσαν και τους χάρτες καύσιμης ύλης καθώς σε κάθε κατηγορία βλάστησης εκχωρήθηκαν τα χαρακτηριστικά των καυσίμων των περιοχών μελέτης.

1.2.2 Εφαρμογή μιας προσέγγισης σε μεγάλη έκταση

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μελετών έχει προτείνει μεθόδους για προσεγγίσεις ταξινομήσεων σε εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη προσεγγίσεων που να επιτρέπουν την εφαρμογή τους σε μεγάλες εκτάσεις. Η τρέχουσα βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι ο κυρίαρχος σκοπός των περισσότερων εργασιών είναι η εστίαση στη μεγιστοποίηση της ακρίβειας της ταξινόμησης με γνώμονα τα δεδομένα ή τον αισθητήρα συνήθως σε μια μικρή περιοχή δοκιμής.

Οι περισσότερες από τις προσεγγίσεις εφαρμόζονται σε μια μικρή περιοχή δοκιμής, μη λαμβάνοντας υπόψη μια μεγάλη ποικιλία οικολογικών συνθηκών, ενώ η επιλογή των περιοχών αυτών ή τουλάχιστον τα συλλεγόμενα δεδομένα αναφοράς θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν προκατάληψη λόγω των ιδανικών συνθηκών (ομαλό ανάγλυφο, πυκνές συστάδες, μικρός βαθμός μίξης ειδών, αραιός αριθμός ηλικιακών κατηγοριών, ομογένεια δασοκομικών πρακτικών, εύκολη πρόσβαση) (Fassnacht et al., 2016). Εργασίες που να στοχεύουν σε μεγαλύτερες γεωγραφικές εκτάσεις γενικώς υπό εκπροσωπούνται και τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά την εφαρμογή μεθοδολογιών σε δεδομένα μεγάλης έκτασης έχουν σπάνια αντιμετωπιστεί. Όπως οι Fassnacht κ.α. (2016) επισημαίνουν αυτό συνδέεται με έναν από τις πιο προφανείς περιορισμούς στην τρέχουσα γνώση, καθώς η αξία αυτών των εργασιών είναι περιορισμένη.

1.2.2.1 Αντιμετώπιση ζητημάτων δεδομένων μεγάλου όγκου (big data issues)

Ένα λόγος που συνήθως οι μελέτες μεγάλης χωρικής έκτασης συνδέονται με χαμηλή ανάλυση (ενώ η υψηλή ανάλυση είναι συνήθης σε μελέτες μικρής κλίμακας) είναι και οι

περιορισμοί που τίθενται λόγω υπολογιστικών πόρων (Lam & Quattrochi, 1992; Lam, 2004). Τα δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης δημιουργηθούν πρόσθετα προβλήματα όσον αφορά στην εξαγωγή πληροφοριών με τη χρήση Η/Υ, καθώς αυξάνεται το υπολογιστικό φορτίο για μια ανάλυση (Townshend, 1980; Markham & Townshend, 1981; Cushnie, 1987; Warner et al., 2009). Η ανάλυση και η έκταση συσχετίζονται ως ένα αποτέλεσμα των υπολογιστικών περιορισμών στη μέτρηση: καθώς η ανάλυση αυξάνει αυξάνεται επίσης και η υπολογιστική έκταση.

Από την άλλη πλευρά, πέρα από τη χωρική ανάλυση, τόσο η έκταση (το μέγεθος του πλαισίου) της εικόνας, όσο και ο αριθμός των φασματικών ζωνών, καθώς και η ραδιομετρική και χρονική ανάλυση προσδιορίζουν την κλίμακα και τον όγκο των δεδομένων (Richards, 2013). Μια αύξηση της ανάλυσης αυτών των ιδιοτήτων της ψηφιακής εικόνας, οδηγεί σε εντυπωσιακή αύξηση των διαστάσεων και της πολυπλοκότητας των δεδομένων, που απαιτεί διαχείριση, επεξεργασία και ερμηνεία μεγάλου όγκου δεδομένων και κατά συνέπεια, οδηγεί σε ένα πρόβλημα «Big Data» (μεγάλων δεδομένων).

Παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις σε επεξεργαστική ισχύ, εξακολουθούν να παραμένουν σημαντικά θέματα διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων (data-intensive issues) που προκύπτουν από της εφαρμογές τηλεπισκόπησης (Ma et al., 2015). Όπως οι Ma κ.α. (2015b) επισημαίνουν «εάν αυτές οι προκλήσεις δεν ξεπεραστούν καταλλήλως, τα δεδομένα τηλεπισκόπησης θα μετατραπούν σε ένα θησαυρό που δεν θα είμαστε σε θέση να εξερευνήσουμε».

1.2.3 Συμβολή της διδακτορικής διατριβής στην τρέχουσα έρευνα

Η επιδίωξη με την εκπόνηση της παρούσας διατριβής είναι η συμβολή της στην αντιμετώπιση των ζητημάτων που ανακύπτουν στον τομέα της τηλεπισκόπησης κατά την ταξινόμηση δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης και μεγάλης έκτασης, με τη σχεδίαση και πρόταση ρεαλιστικών μεθοδολογιών που να έχουν εφαρμογή στην πραγματική έκταση του χωρικού προτύπου όπου συμβαίνουν και μελετώνται διάφορα φαινόμενα.

Ο σχεδιασμός της προτεινόμενης μεθοδολογίας απαντά στα προβλήματα που ανακύπτουν:

- κατά την ταξινόμηση στο σύνολο της έκτασης μιας περιοχής μελέτης,
- λόγω τοπικών διαφορών στη φασματική απόκριση των ειδών φυσικής βλάστησης,
- κατά τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων,

με την ανάπτυξη μιας συλλογής τεχνικών και μεθοδολογιών που απαντούν στην αντιμετώπιση των επιμέρους ζητημάτων και ταυτόχρονα εφαρμόζονται σε μια ροή εργασιών, που

λαμβάνουν υπόψη τον όγκο των δεδομένων και την πολυπλοκότητα των χρησιμοποιούμενων αλγορίθμων με την πρακτική διαχείριση των δεδομένων σε απαιτήσεις υπολογιστικής μνήμης.

Συγκεκριμένα αναπτύχθηκε:

- Μια χωρικά προσαρμοσμένη προσέγγιση ταξινόμησης. Κάθε περιοχή εφαρμογής διαιρείται σε επιμέρους υπό τμήματα.
- Μια προσέγγιση ημί αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης υψηλής χωρικής ανάλυσης, για την διαστρωμάτωση των εικόνων στην κλίμακα Φυσική Βλάστηση - Φυσικό περιβάλλον / Μη Φυσική Βλάστηση - Ανθρωπογενές περιβάλλον
- Μια χωρικά προσαρμοζόμενη και «ήπια» εφαρμογή του ταξινομητή Μέγιστης Πιθανοφάνειας
- Μια προσέγγιση ανίχνευσης αλλαγής με τη χρήση τεχνικών ΓΣΠ που μπορεί να προσφέρει αναλυτικές πληροφορίες αλλαγής «από-σε».

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

2.1 Τηλεπισκόπηση - Παρατήρηση της Γης

Στις 23 Ιουλίου του 1972 εκτοξεύτηκε ένας μη επανδρωμένος δορυφόρος (αργότερα γνωστός ως Landsat) ως μέρος του προγράμματος «Earth Resources Technology Satellite (ERTS)». Ο πολυφασματικός σαρωτής (MSS) επί του σκάφους ERTS-1 σχεδιάστηκε ειδικά για τη συλλογή πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων για την ανάλυση και την παρακολούθηση των φυσικών πόρων της Γης.

Μέχρι σήμερα έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια για την ανάπτυξη κατάλληλων και επιστημονικά έγκυρων μεθόδων εξόρυξης πληροφοριών από τις ψηφιακές εικόνες (Jong & Meer, 2004), και μπορεί να βρεθεί ένας μεγάλος αριθμός σημαντικών βιβλίων που παρέχουν μια περιεκτική εισαγωγή στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης και στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνας π.χ. (Lillesand et al., 2014; Richards, 2013; Mather, 2011; Jensen, 2007; Schowengerdt, 2007; Richards & Jia, 2006; Jensen, 2004; Jong & Meer, 2004).

Η Τηλεπισκόπηση μπορεί πλέον να οριστεί ως ένας ώριμος επιστημονικός τομέας, με την έννοια ότι οι υποκείμενες βασικές φυσικές αρχές που τον διέπουν είναι καλά κατανοητές, ενώ οι εφαρμογές τηλεπισκόπησης εκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (Warner et al., 2009).

2.1.1 Έννοιες της Τηλεπισκόπησης

Μια θεμελιώδης αρχή που διέπει την Τηλεπισκόπηση είναι ότι τα διάφορα στοιχεία στην επιφάνεια της Γης (χερσαίας και θαλάσσιας) και στην ατμόσφαιρα αντανακλούν,

απορροφούν, μεταφέρουν ή εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε διαφορετικές αναλογίες σε όλο το φάσμα των μηκών κύματος (γνωστό ως ηλεκτρομαγνητικό φάσμα), και ότι οι διαφορές αυτές επιτρέπουν στα αντικείμενα αυτά να είναι μονοσήμαντα (Mather, 2011). Ως γνωστό, η ανθρώπινη όραση είναι ευαίσθητη σε πολύ μικρό τμήμα του συνολικού ηλιακού φάσματος που ανακλάται ή σκεδάζεται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης.

Στην Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται διάφορα είδη εργαλείων και συσκευών προκειμένου να καταγραφεί και να γίνει αντιληπτή από τον άνθρωπο, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ειδικά από την ορατή, εγγύς, μέση, θερμική και υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος καθώς και από την περιοχή των μικροκυμάτων (Jong & Meer, 2004; Jensen, 2007).

Οι μετρήσεις αυτές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γίνονται από όργανα όπως κάμερες, σαρωτές, λέιζερ, γραμμικές συστοιχίες και/ή συστοιχίες που βρίσκονται πάνω σε πλατφόρμες (αεροσκάφη ή διαστημόπλοια) (Jensen, 2007; Mather, 2011), και κατά συνέπεια καταγράφονται από ένα πλεονεκτικό σημείο μέσω ενός παρατηρητή ή οργάνου το οποίο δεν είναι σε φυσική ή στενή επαφή με το στόχο (Jong & Meer, 2004; Richards & Jia, 2006; Jensen, 2007; Mather, 2011). Στη συνέχεια οι μετρήσεις των φασματικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της Γης ή της ατμόσφαιρας μεταφράζονται σε πληροφορίες σχετικά με το ίδιο το αντικείμενο ή το φαινόμενο ή με τις διαδικασίες που σχετίζονται με αυτό (Jong & Meer, 2004; Jensen, 2004; Mather, 2011; Richards, 2013).

Η Τηλεπισκόπηση είναι το μόνο μέσο με τον οποίο ο άνθρωπος μπορεί να παρατηρήσει εξ ολοκλήρου την γήινη επιφάνεια. Κατά τον Mather (2011), η Παρατήρηση Γης με την χρήση της τηλεπισκόπησης είναι η ερμηνεία και κατανόηση των μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την ξηρά, την θάλασσα ή την ατμόσφαιρα σε συνδυασμό με την αναγνώριση των σχέσεων μεταξύ αυτών των μετρήσεων με σκοπό την αναγνώριση της φύσης και κατανομής των φαινομένων στην επιφάνεια της Γης ή στην ατμόσφαιρα.

Κατά συνέπεια με τον όρο Τηλεπισκόπηση αναφερόμαστε τόσο στα όργανα, δηλαδή στην χρησιμοποιούμενη τεχνολογία (αισθητήρες πλατφόρμες, συσκευές μεταφοράς και αποθήκευσης) όσο και στις τεχνικές και στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση ή επισκόπηση της επιφάνειας της γης, στην σχετιζόμενη δηλαδή μεθοδολογία (επεξεργασία, ανάλυση και ερμηνεία της καταγεγραμμένης ακτινοβολίας -ραδιομετρία, γεωμετρία, ανάλυση εικόνας κτλ.) (Jong & Meer, 2004; Mather, 2011; Wang et al., 2012), με σκοπό να συναχθεί η φύση και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους, της θάλασσας ή της ατμόσφαιρας, κατά τη στιγμή της παρατήρησης (Mather, 2011).

Ένας περιεκτικός ορισμός της τηλεπισκόπησης δίνεται από τον Jensen (2007) που ορίζει την Τηλεπισκόπηση ως : «την ανέπαφη καταγραφή πληροφοριών από την υπεριώδη, ορατή,

υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος καθώς και από την περιοχή των μικροκυμάτων, μέσω οργάνων όπως κάμερες, σαρωτές, λέιζερ, γραμμικές συστοιχίες και ή συστοιχίες που βρίσκονται πάνω σε πλατφόρμες (αεροπλάνα ή διαστημόπλοια) και την ανάλυση των πληροφοριών που λαμβάνονται μέσω οπτικής και ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας» (Jensen, 2007).

2.1.2 Χρήσεις των τηλεπισκοπικών δεδομένων

Από την έναρξη του πρώτου δορυφόρου παρατήρησης της Γης (1972) μέχρι σήμερα εκατοντάδες δορυφόροι είναι σε τροχιά και παρέχουν διάφορα τηλεπισκοπικά δεδομένα όπως οπτικά δεδομένα, πολυφασματικές και παγχρωματικές εικόνες, δεδομένα ραντάρ, τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα (Wang et al., 2012). Οι Wang κ.α. (2012) στο άρθρο ανασκόπησης της βιβλιογραφίας παρουσίασαν τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.1) σχετικά με τους πιο κοινά χρησιμοποιούμενους αισθητήρες (οπτικούς και ραντάρ) για την παρατήρηση της Γης.

Πίνακας 2.1 Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες (οπτικοί και ραντάρ)
(πηγή (Wang et al., 2012))

Δορυφορικό Πρόγραμμα	Δορυφορική Πλατφόρμα	Αισθητήρας	Χειριστής δεδομένων
Οπτικοί Αισθητήρες			
POES (Polar Orbiting Environmental Satellites)	NOAA 18	AVHRR	NOAA
EOS (Earth Observing System)	TERRA/AQUA	MODIS	NASA/USGS
Landsat	LANDSAT 5	TM	NASA/USGS
SPOT (Satellite Pour Observation de la Terre)	SPOT 4	HRVIR VEGETATION	Spot Image
	SPOT 5	HRG VEGETATION	Spot Image
IRS (Indian Remote Sensing Satellites)	IRS P6 (ResourceSat-1)	LISS III LISS IV AWiFS	ISRO (India Space Research Organization)
DMC (Disaster Monitoring Constellation)	Beijing-1	SLIM-6	DMC International Imaging Ltd
CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite)	CBERS-2B	CCD HRC IRMSS WFI	CAST (China)/INPE (Brazil)
Digital Globe Constellation	WorldView 2	WV110	DigitalGlobe Corporate
	QuickBird 2	BGIS 2000	DigitalGlobe Corporate
GeoEye	GeoEye-1	GIS MS	GeoEye Inc.
Radar			
RADARSAT Constellation	RADARSAT 2	SAR	CSA/MDA
TanDEM-X	TanDEM-X	TSX-SAR	DLR/Astrium
TerraSAR-X	TerraSAR-X	TSX-SAR	DLR/Astrium

Τα δορυφορικά δεδομένα αποτελούν δισδιάστατα δεδομένα εικόνας που αποκτώνται από αισθητήρες που βρίσκονται επάνω σε αεροσκάφη ή σε διαστημικές πλατφόρμες (Rajyalakshmi et al., 2016), και ανάμεσα στα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι άμεσα διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή (Richards, 2013) και παρέχουν ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες (Vaiphasa et al., 2011). Τα παραπάνω χαρακτηριστικά, καταστούν τα δεδομένα αυτά ως ένα πολύτιμο εργαλείο τόσο για τον εντοπισμό και προσδιορισμό των υλικών ή αντικειμένων της γήινης επιφάνειας, όσο και για την μέτρηση και αξιολόγηση των χωρικών και βιοφυσικών ιδιοτήτων ή χαρακτηριστικών τους (Jong & Meer, 2004; Richards & Jia, 2006).

Οι εικόνες τηλεπισκόπησης παρέχουν ακριβείς γεω-πληροφορίες γρήγορα, αποτελεσματικά και ολοκληρωμένα (Wu & Li, 2009; Shahbaz et al., 2012), με αποτέλεσμα να αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ), ως μέρος των γεωγραφικών βάσεων δεδομένων ή/και ως χάρτες (αποτελώντας το χαρτογραφικό υπόβαθρο) (Richards & Jia, 2006; Schowengerdt, 2007; Mather, 2011). Επίσης, χρησιμοποιούνται σε λογισμικά «Εικονικής Γης», που υλοποιούν διαδικτυακές απεικονίσεις όπως είναι το Google Earth™. Οι μέθοδοι που συνήθως χρησιμοποιούνται σε αυτή την κατηγορία χρήσης των εικόνων τηλεπισκόπησης είναι οι ονομαζόμενες διαδικασίες βελτίωσης της παρουσίασης της εικόνας (image enhancement procedures).

Προκειμένου να μετρηθούν και να αξιολογηθούν φαινόμενα ή διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της Γης οι τηλεπισκοπικές εικόνες χρησιμοποιούνται ως ποσοτικά δεδομένα για τον προσδιορισμό μεταβλητών σε ποσοτικές ή ποιοτικές κλίμακες μέτρησης. Συχνά ποσοτικά μέτρα ή ποσοτικές μεταβλητές, όπως οι δείκτες βλάστησης (που προέρχονται από βαθμονομημένα δεδομένα), συνδέονται μέσω ανάλυσης παλινδρόμησης με τις ιδιότητες της επιφάνειας της Γης, π.χ. θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας ή περιεχόμενο υγρασίας εδάφους (κλίμακα μέτρησης διαστημάτων (interval scale) ή αναλογική κλίμακα (ratio scale) μέτρησης) (Mather, 2011). Μέσω της διαδικασίας αναγνώρισης προτύπων, καθορίζονται ποιοτικές ή κατηγορικές μεταβλητές προκειμένου να παραχθούν περιγραφικές εικόνες (ονομαστική κλίμακα (nominal scale) που δείχνουν την κατανομή των μεμονωμένων τύπων κάλυψης της επιφάνειας της Γης (Mather, 2011). Οι εικόνες χρησιμοποιούνται δηλαδή για την εξαγωγή χρήσιμης θεματικής πληροφορίας (Jensen, 2004; Richards & Jia, 2006; Schowengerdt, 2007), που θα συζητηθεί στην ενότητα 2.4 Ταξινόμηση. Σύμφωνα με τους Turner κ.α. (2003), οι παραπάνω διαδικασίες ψηφιακής ανάλυσης εικόνας αποτελούν τις δύο προσεγγίσεις στην Τηλεπισκόπηση:

- την άμεση, που αναφέρεται στην άμεση παρατήρηση και μέτρηση μεμονωμένων οργανισμών, συνόλων ειδών, ή οικολογικών κοινοτήτων από εναέρια ή δορυφορικά συστήματα, και
- την έμμεση που βασίζεται στην ανίχνευση μέσω της τηλεπισκόπησης των περιβαλλοντικών παραμέτρων για τον καθορισμό της κατανομής και της αφθονίας των ειδών σε όλη την έκταση των τοπίων (Turner et al., 2003).

Το γεγονός ότι η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης συνδέεται άμεσα με την ποσοτική ανάλυση (Wu & Li, 2009), έχει ως αποτέλεσμα να ανακύπτουν σημαντικά ζητήματα - όπως η επίδραση της κλίμακας και η κλιμάκωση (ενότητα 2.2.5) - που αποτελούν μεταξύ άλλων τα πιο σημαντικά ερευνητικά θέματα στην Τηλεπισκόπηση π.χ. (Woodcock & Strahler, 1987; Lam & Quattrochi, 1992; Raffy, 1992; Moody & Woodcock, 1994; Marceau et al., 1994b; Quattrochi & Goodchild, 1997; Cao & Lam, 1997; Marceau & Hay, 1999; Chen, 1999; Treitz, 2000; Wu et al., 2000; Wu, 2004b; Ju et al., 2005; Warner et al., 2009; Wu & Li, 2009; Goodchild, 2011; Baker et al., 2013; Magdon & Kleinn, 2013). Στην ενότητα 2.2 συζητούνται οι όροι και οι ορισμοί της κλίμακας και τα σημαντικά ερευνητικά και μεθοδολογικά ζητήματα που ανακύπτουν.

2.1.3 Πλεονεκτήματα χρήσης τηλεπισκοπικών δεδομένων

Όπως είδαμε παραπάνω, οι τηλεπισκοπικές εικόνες παρέχουν τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές πληροφορίες με αποτέλεσμα την μείωση της πολυπλοκότητας και του χρόνου συλλογής πληροφοριών σε σύγκριση με τις αντίστοιχες παρατηρήσεις που βασίζονται σε εργασίες πεδίου (Wang et al., 2010; Vaiphasa et al., 2011).

Επιπλέον, λόγω της δυναμικής ικανότητας της τηλεπισκόπησης για συστηματικές παρατηρήσεις σε διάφορες κλίμακες (Richards & Jia, 2006; Xie et al., 2008), από τον τοπικό έως τον παγκόσμιο τομέα (Wang et al., 2010), τα δεδομένα τηλεπισκόπησης αποτελούν ένα ισχυρό μέσο για τη διεξαγωγή τοπικών, περιφερειακών και παγκόσμιων μετρήσεων (Wu & Li, 2009). Έτσι, η Τηλεπισκόπηση έχει αναγνωριστεί ως μια πιο εφικτή και αποτελεσματική τεχνολογία για τη χαρτογράφηση μεγάλων περιοχών, σε σύγκριση με την *in situ* παρατήρηση η οποία έχει προφανείς περιορισμούς σε χρόνο, κόστος και εργασία (Wang et al., 2009b), αλλά και μη δυνατότητα εφαρμογής σε μεγάλες και δυσπρόσιτες περιοχές.

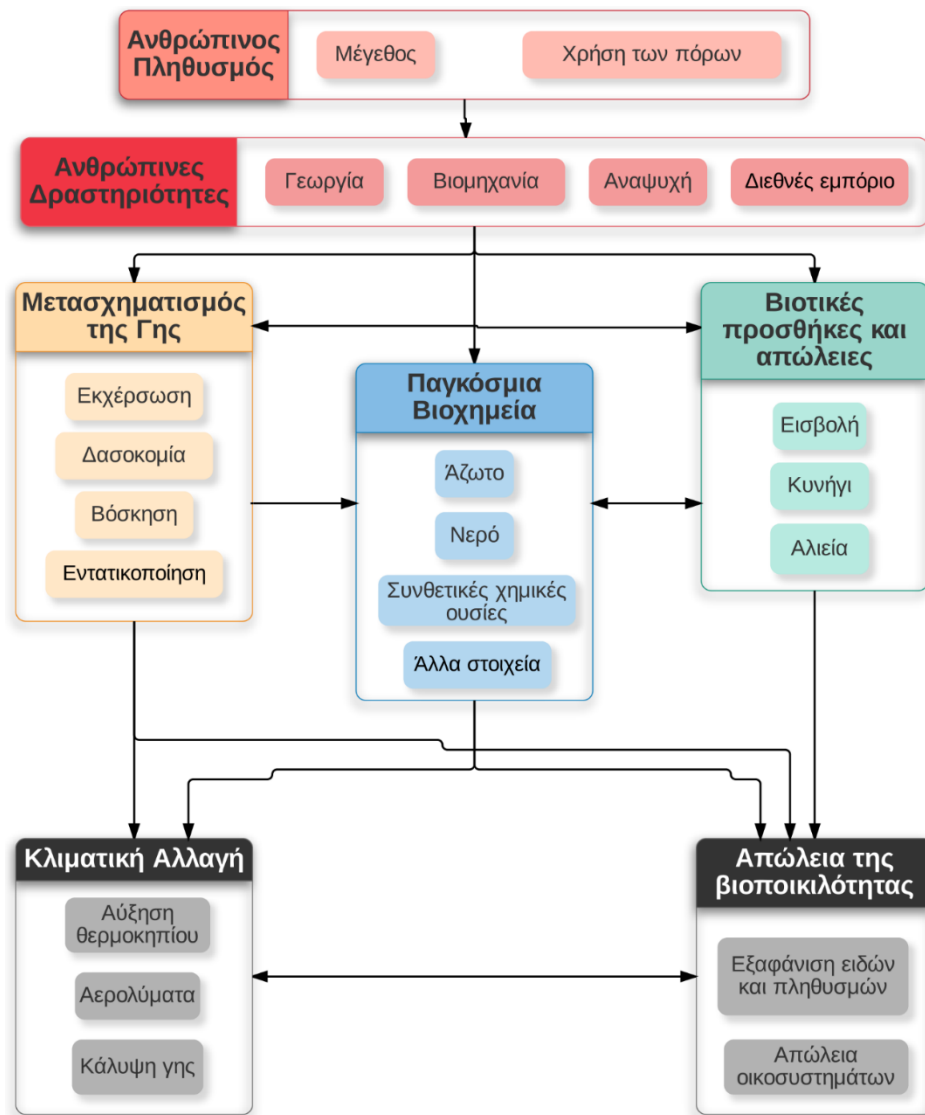
Από την άλλη πλευρά, οι τεχνολογίες δορυφορικής τηλεπισκόπησης συλλέγουν χρονικά δεδομένα με τη μορφή εικόνων σε πραγματικό χρόνο και σε τακτά χρονικά διαστήματα (Richards & Jia, 2006; Wu & Li, 2009; Rajyalakshmi et al., 2016), παρέχοντας την δυνατότητα απόκτησης συνεχών και συνεπών μακροχρόνιων δεδομένων παρατήρησης της Γης, από την

παρούσα στιγμή έως αρκετές δεκαετίες πίσω (Xie et al., 2008; Wang et al., 2010). Έτσι, η Τηλεπισκόπηση έχει αναγνωριστεί ως μία από τις πιο ισχυρές μεθόδους για τη δυναμική παρακολούθηση αβιοτικών και βιοτικών στοιχείων των οικοσυστημάτων καθώς δίνεται η δυνατότητα συνεχούς καταγραφής (παρακολούθηση) και διαχρονικών λήψεων (εκτίμηση των αλλαγών με την πάροδο του χρόνου) (Richards & Jia, 2006; Wu & Li, 2009; Rocchini et al., 2013).

2.1.4 Εφαρμογές με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων

Η δορυφορική Τηλεπισκόπηση, από την αρχή της ιστορίας της χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τις φυσικές περιβαλλοντικές διαδικασίες και τις επιδράσεις που απορρέουν από την αλληλεπίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων με το περιβάλλον, για την ανάλυση και διαχείριση των φυσικών πόρων και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών των δεδομένων τηλεπισκόπησης (Jong & Meer, 2004; Sheng et al., 2011).

Η αύξηση του πληθυσμού και η ταυτόχρονη ολοένα αυξανόμενη χρήση των πόρων, διατηρούνται μέσω μιας ακολουθίας ανθρώπινων δραστηριοτήτων όπως η γεωργία, η βιομηχανία, η αλιεία, και το διεθνές εμπόριο οδηγώντας σε μετασχηματισμό της επιφάνειας του εδάφους (μέσω της καλλιέργειας, της δασοκομίας και της αστικοποίησης), που έχει ως συνέπεια την αλλαγή των σημαντικότερων βιογεωχημικών κύκλων και την πρόσθεση ή απομάκρυνση ειδών στα περισσότερα από τα γήινα οικοσυστήματα (Vitousek et al., 1997) (Σχήμα 2.1). Επίσης, ένα άλλο βασικό ζήτημα είναι πως η περιβαλλοντική υποβάθμιση έχει συνδεθεί ευαπόδεικτα με προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία.



Σχήμα 2.1 Ένα εννοιολογικό μοντέλο των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο σύστημα της Γης (πηγή (Vitousek et al., 1997)).

Είναι προφανές ότι η Τηλεπισκόπηση μπορεί να διαδραματίσει ουσιαστικό ρόλο στην μέτρηση και παρακολούθηση όλης της ακολουθίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων αυτών στη Γη και στον άνθρωπο.

Η Τηλεπισκόπηση προσφέρει μια μοναδική δυνατότητα για την κατανόηση των περιβαλλοντικών αλλαγών μεγάλης κλίμακας που επηρεάζουν το κλίμα, τη βιοποικιλότητα και τους ανθρώπους, καθώς έχει την δυνατότητα να καλύπτει εκτεταμένες γεωγραφικές περιοχές με οικονομικά αποδοτικό τρόπο (Khatami et al., 2016). Για παράδειγμα, εφαρμόζεται για την μέτρηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων όζοντος στην ατμόσφαιρα, για την μελέτη της ωκεάνιας κυκλοφορίας, όπως το Ελ Νίνιο, το Ελ Νίνια και του φαινομένου της Ταλάντωσης του Βόρειου Ατλαντικού (North Atlantic Oscillation, NAO), για την αξιολόγηση

των επιπτώσεων στο κλίμα σε παγκόσμια και περιφερειακή κλίμακα και στην εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (Jong & Meer, 2004).

Επιπλέον, η Τηλεπισκόπηση μπορεί να παρέχει πληροφορίες χαρακτηριστικών «στόχων» στους φορείς λήψης αποφάσεων γρήγορα και ανά τακτά χρονικά διαστήματα (Buchanan et al., 2008; Rapinel et al., 2014), με σκοπό την χάραξη πολιτικής π.χ. για την κατάρτιση διαφόρων μέτρων αποκατάστασης, μέτρων για την προστασία των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος ή για την χάραξη αγροτικής πολιτικής. Για παράδειγμα η Ευρωπαϊκή Ένωση χρησιμοποιεί με επιτυχία εικόνες παρατήρησης της Γης που συλλέγονται καθ' όλη την περίοδο εκβλάστησης των καλλιεργειών για τον έλεγχο των γεωργικών επιδοτήσεων (Jong & Meer, 2004).

Έτσι, η Τηλεπισκόπηση παίζει ένα σημαντικό ρόλο σε ένα ευρύ φάσμα επιστημών π.χ. στη γεωγραφία, γεωλογία, γεωργία, γεωπονία, δασολογία, οικολογία, μετεωρολογία, ωκεανογραφία, χωροταξία και πολεοδομία καθώς και στην ιατρική (Jong & Meer, 2004; Sheng et al., 2011; Khatami et al., 2016). Ιδιαίτερα στα επιστημονικά πεδία της οικολογίας, της βιοποικιλότητας και τη διατήρησης, η Τηλεπισκόπηση έχει διαδραματίσει ένα πολύ σημαντικό ρόλο (Kerr & Ostrovsky, 2003; Turner et al., 2003; Wang et al., 2010).

Ένας κατάλογος εφαρμογών με την χρήση της τηλεπισκόπησης θα μπορούσε για παράδειγμα να περιλαμβάνει: παρακολούθηση των δασών και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, παρακολούθηση του αποθέματος και της ποιότητας των υδάτων/υγροτόπων και προστατευόμενων βιοτόπων, παρακολούθηση της γεωργίας και των αλλαγών κάλυψης/χρήσης γης και της αστικής ανάπτυξης, παρακολούθηση των δυναμικών του κλίματος, μελέτες της δυναμικής της βλάστησης και της βιοποικιλότητας, μελέτες της τοπογραφίας του βυθού, επιδημιολογικές μελέτες, μελέτες για την αξιολόγηση και την πρόβλεψη φυσικών κινδύνων και καταστροφών κ.α. (Jong & Meer, 2004; Wu & Li, 2009; Khatami et al., 2016).

2.2 Κλίμακα και Τηλεπισκόπηση

Από την εκτεταμένη βιβλιογραφία που υπάρχει σχετικά με την κλίμακα, γίνεται σαφές ότι η κλίμακα είναι ένα ζήτημα που απασχολεί πολλές επιστήμες, και ιδίως εκείνες που μελετούν φαινόμενα ενσωματωμένα στο χώρο και στο χρόνο (Goodchild, 2011). Πολλά βιβλία και άρθρα έχουν ασχοληθεί με την κλίμακα, με μια μεγάλη πλειοψηφία αυτών να επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες ειδικότητες, κυρίως από τους τομείς της γεωγραφίας και οικολογίας (Harvey, 1968; Watson, 1978; Woodcock & Strahler, 1987; Meentemeyer, 1989; Neill et al., 1989; Turner et al., 1989a, 1989b; Wiens, 1989b; Turner, 1990; Lam & Quattrochi, 1992; Levin, 1992; Jarvis, 1995; Cox, 1996; Howitt, 1998; O'Neill & King, 1998; Peterson & Parker, 1998; Marceau, 1999; Gibson et al., 2000; Marston, 2000; Brenner, 2001; McGarigal, 2001; Dungan et al., 2002; Grainger, 2004; Quattrochi & Goodchild, 1997; Sheppard & McMaster, 2004; Sayre, 2005; Wu et al., 2006a; Neumann, 2009; Swyngedouw, 2010; Goodchild, 2011; Lukinbeal, 2016) κ.α.

Ένα μεγάλο φάσμα επιστημονικών κλάδων έχει αναπτύξει και χρησιμοποιήσει ποικιλοτρόπως διάφορες έννοιες της κλίμακας (Marceau, 1999). Και αυτό δεν δημιουργεί έκπληξη καθώς σύμφωνα με τους Gibson κ.α. (2000), κάθε επιστημονική έρευνα «ρητά και σιωπηρά ενσωματώνει την κλίμακα μέσα στην διαδικασία εντοπισμού των αντικείμενων της έρευνας - η ίδια η πράξη της αναγνώρισης ενός συγκεκριμένου προτύπου σημαίνει ότι έχουν χρησιμοποιηθεί η κλίμακα, η έκταση και η ανάλυση» (Gibson et al., 2000). Οι επιστήμονες σχεδόν καθολικά αναγνωρίζουν τον κεντρικό ρόλο που παίζει η κλίμακα για τον προσδιορισμό του αποτελέσματος των παρατηρήσεων (Levin, 1992; Peterson & Parker, 1998), με αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών το ζήτημα της κλίμακας να απασχολεί τόσο τις φυσικές όσο και τις κοινωνικές επιστήμες (Swyngedouw, 2010), στις οποίες παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η σχέση μεταξύ προτύπου και διαδικασίας και η κλίμακα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος αυτής της σχέσης (Wu et al., 2006a).

Για παράδειγμα, η πολλαπλότητα της κλίμακας και η εξάρτηση προτύπου και διαδικασίας από την κλίμακα και οι σχέσεις τους, αποτελούν κεντρικό θέμα για την οικολογία (Levin, 1992; Wu & Loucks, 1995; Peterson & Parker, 1998), με τον Levin (1992) να επισημαίνει ότι η κλίμακα έχει χαρακτηριστεί ως «το θεμελιώδες εννοιολογικό πρόβλημα στην οικολογία, και ίσως και όλων των επιστήμων».

Αναμφισβήτητα όμως, η έννοια της κλίμακας είναι κεντρικής σημασίας για τη γεωγραφία (Watson, 1978; Woodcock & Strahler, 1987; Meentemeyer, 1989), καθώς είναι εγγενής σε ολόκληρη την γεωγραφική έρευνα. Είναι η επιστήμη που πρώτη εισήγαγε τον ορισμό της κλίμακας ως μια αναλογία. Οι γεωγράφοι παραδοσιακά θεωρούσαν την κλίμακα κυρίως με μια χαρτογραφική έννοια συσχετισμού της απόστασης ενός χαρακτηριστικού στο χάρτη, με την

πραγματική απόσταση αυτού του χαρακτηριστικού στην επιφάνεια της γης (Sheppard & McMaster, 2004). Όμως τα τελευταία χρόνια, η θεωρητικοποίηση της κλίμακας έχει επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει και τις βιολογικές διεργασίες (Zimmerer, 2000; Grainger, 2004; Neumann, 2009).

Έτσι, ενώ οι γεωγράφοι έχουν ασχοληθεί από καιρό με την έννοια του τόπου, του χώρου και του τοπίου (place, space, landscape: κεντρικοί όροι για τον καθορισμό και την κατανόηση της γεωγραφίας), τα τελευταία μόλις χρόνια έχουν στρέψει την προσοχή τους προς την έννοια της κλίμακας (Lukinbeal, 2016), αποκαλύπτοντας τις σημαντικές διαφορές στην κατανόηση της μεταξύ των υποκλάδων της γεωγραφίας (Sheppard & McMaster, 2004).

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 και του 2000 άρχισαν οι «συζητήσεις περί κλίμακας» στον κλάδο της ανθρωπογεωγραφίας (Lukinbeal, 2016), και το θέμα απασχόλησε πολύ σχεδόν όλους τους κλάδους της γεωγραφίας (πλην ίσως της χαρτογραφίας ή των GIS (Lukinbeal, 2016)), με αποτέλεσμα όπως οι Sheppard και McMaster (2004) επισημαίνουν, «οι αντιλήψεις για την γεωγραφική κλίμακα να εκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα σχεδόν τρομακτικής ποικιλίας». Έτσι, παρόλο που είναι ίσως περιττό να ειπωθεί ότι οι γεωγραφικές κλίμακες υπάρχουν και ότι με κάποιο τρόπο παίζουν ρόλο, είναι μάλλον δυσκολότερο και πιο περίπλοκο να θεωρητικοποιηθεί η κλίμακα και η κλιμάκωση των διαδικασιών (Swyngedouw, 2010). Και αυτό, κυρίως διότι διαφορετικές έννοιες της κλίμακας απασχόλησαν τους διάφορους κλάδους της γεωγραφίας (Sheppard & McMaster, 2004), αλλά και άλλους επιστημονικούς κλάδους κάνοντας δύσκολο κάθε σύγχρονο ορισμό της κλίμακας.

Βασικές εννοιολογικές και μεθοδολογικές ερωτήσεις έχουν απασχολήσει κατ' επανάληψη την επιστημονική κοινότητα που ασχολείται με το θέμα, αλλά χωρίς να δίδονται ικανοποιητικές απαντήσεις γενικά αποδεκτές (Harvey, 1982; Cox, 1996; Howitt, 1998; Brenner, 2001; Sheppard & McMaster, 2004). Έτσι, παρόλο που από καιρό υπάρχουν αντιπαραθέσεις σχετικά με τον ακριβή ορισμό και τη μέτρηση της κλίμακας και της ανάλυσης (Woodcock & Strahler, 1987) και έχουν αναγνωριστεί κάποια βασικά προβλήματα της κλίμακας (π.χ. η χωρική ετερογένεια) (Risser et al., 1984; O'Neill, 1986), και παρόλη την διαθεσιμότητα πλούσιας βιβλιογραφίας πολλών δεκαετιών, εξακολουθεί να υπάρχει σύγχυση σχετικά με ορισμένες έννοιες της κλίμακας και τις επιπτώσεις τους στην επιστημονική έρευνα (Marceau, 1999).

2.2.1 Το «Θέμα Κλίμακα»

Το γεγονός ότι υπάρχει σύγχυση σχετικά με ορισμένες έννοιες της κλίμακας, οδήγησε τους συγγραφείς που ασχολούνται με το θέμα της κλίμακας να αναφέρονται στο «θέμα κλίμακα» (the scale issue), με το πρώτο και πιο προφανές πρόβλημα να είναι σημασιολογικό. Ο όρος κλίμακα χρησιμοποιείται με διαφορετικές έννοιες στην επιστήμη, και με πολλές άλλες έννοιες στην κοινωνία γενικότερα (Goodchild, 2011).

Η κλίμακα μπορεί να ιδωθεί ως στοιχείο αντίληψης που είναι στενά συνδεδεμένο με τις αξίες, τη δικαιοσύνη, τις κοινωνικές συνθήκες και την πολιτική ή ως αντιπροσωπευτική αναλογία και πρακτική που επιτρέπει τη μετατροπή των τρισδιάστατων αντικειμένων (υλικών ή άυλων) σε δισδιάστατες απεικονίσεις (Lukinbeal, 2016). Η κλίμακα νοείται ως επιστημολογία για τις κοινωνικές επιστήμες και ως μια οντολογία για τις πρακτικές επιστήμες (Sayre, 2005; Lukinbeal, 2016).

Σε μία γενική έννοια, η κλίμακα αναφέρεται στις χωρικές διαστάσεις στις οποίες μπορεί να παρατηρηθούν και να χαρακτηρίζονται οι οντότητες, τα πρότυπα, και οι διαδικασίες (Marceau, 1999). Σε μια πιο τεχνική έννοια του όρου, η κλίμακα είναι ένα χαρακτηριστικό για το πώς παρατηρεί κανείς κάτι αντί του πράγματος που παρατηρείται (Sayre, 2005), αφού οι κλίμακες καθορίζονται με κριτήρια που εξαρτώνται από τον παρατηρητή (Allen & Starr, 1982).

Η κλίμακα έχει να κάνει περισσότερο με το πώς ο άνθρωπος παρατηρεί τον κόσμο, και ένα απλό παράδειγμα είναι η χαρτογραφική κλίμακα. Για ένα χαρτογράφο η κλίμακα αναφέρεται συνήθως στο αντιπροσωπευτικό κλάσμα, στην παράμετρο που καθορίζει την υπό κλίμακα επιφάνεια της Γης σε ένα φύλλο χαρτιού (Goodchild, 2011), ή σε μια οθόνη Η/Υ. Εάν όμως λάβουμε υπόψη και την χρονική διάσταση τότε το παράδειγμα γίνεται πιο χαρακτηριστικό, καθώς μια μελέτη που διεξήχθη σε ένα σημείο στο χρόνο, δεν μπορεί να δώσει σημαντική ενημέρωση σχετικά με τις διαδικασίες μακράς διάρκειας ή χαμηλής συχνότητας (Sayre, 2005). Η κλίμακα λοιπόν είναι συνυφασμένη με την παρατήρηση, και κατά συνέπεια με την Τηλεπισκόπηση που όπως έχει ήδη επισημανθεί αποτελεί συνώνυμο της παρατήρησης (της Γης) (σελ. 12).

Ο Lukinbeal (2016) επισημαίνει ότι «η κλίμακα βρίσκεται στον πυρήνα της οντολογίας και των επιστημολογικών πρακτικών τόσο της χαρτογραφίας όσο και των επιστημών GIS», και κατά συνέπεια και της τηλεπισκόπησης. Στις ενότητες που ακολουθούν κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια επισκόπηση των ορισμών που σχετίζονται με την ορολογία και τις έννοιες της κλίμακας, με βάση την έννοια της κλίμακας ως μια γενική - κεντρική ιδέα για την περιγραφή και την εξήγηση της πολύπλοκης ιεραρχικής οργάνωσης του γεωγραφικού κόσμου, αλλά και ως μια έννοια που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την σπουδαιότητα ή το μέγεθος των μονάδων

μιας μελέτης. Μια συνοπτική παρουσίαση των ορισμών σχετικά με την έννοια της κλίμακας παρουσιάζεται στον πίνακα παρακάτω.

Πίνακας 2.2 Ορισμοί που σχετίζονται με την ορολογία και τις έννοιες της κλίμακας
(τροποποιημένος από (Turner et al., 1989a))

Όρος	Ορισμός
Χαρτογραφική κλίμακα	Ο βαθμός της χωρικής μείωσης που υποδεικνύει το μήκος που χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει μια μεγαλύτερη μονάδα μέτρησης- αναλογία της απόστασης σε ένα χάρτη με την απόσταση από την επιφάνεια της γης που αντιπροσωπεύεται από τον χάρτη
Κόκκος	Το υψηλότερο δυνατό επίπεδο χωρικής ανάλυσης σε ένα δεδομένο σύνολο δεδομένων (π.χ., μέγεθος εικονοστοιχείου για τα δεδομένα εικόνες) ή η καλύτερη μονάδα διαχείρισης ή το κατώτερο επίπεδο οργάνωσης
Ελάχιστη Μονάδα Χαρτογράφησης	
Στήριξη	
Χωρική Ανάλυση	
Μονάδα διαχείρισης	
Ανάλυση	Ακρίβεια της μέτρησης
Κλίμακα μέτρησης	Το μέγεθος της περιοχής μελέτης, το ανώτερο επίπεδο ιεραρχικής οργάνωσης ή η υπό εξέταση διάρκεια του χρόνου
Έκταση	
Περιοχή Μελέτης	
Γεωγραφική Κλίμακα	
Κλίμακα Παρατήρησης	
Χρονική Διάρκεια Μελέτης	Ένταση της δειγματοληψίας στο χώρο ή στο χρόνο: ο λόγος της περιοχής δειγματοληψίας προς την έκταση της περιοχής μελέτης εάν πρόκειται για χωρική
Κάλυψη	
Πυκνότητα Δειγματοληψίας	Το διάστημα μεταξύ των γειτονικών μονάδων ενός φαινομένου ή γειτονικών μονάδων δειγματοληψίας ή ανάλυσης
Διάταξη	
Μεσοδιάστημα Δείγματος	
Υστέρηση	Ο τόπος μέσα σε μια βιοτική ιεραρχία (π.χ., οργανισμός, δήμος πληθυσμού)
Επίπεδο οργάνωσης	
Εγγενής κλίμακα	Οι «εγγενείς» ξεχωριστές κλίμακες (ή εύρη κλιμάκων) των φυσικών φαινομένων που ενυπάρχουν στο παρατηρούμενο σύστημα και καθορίζουν τη συμπεριφορά τους
Χαρακτηριστική κλίμακα	
Λειτουργική κλίμακα	
Απόλυτη κλίμακα	Η πραγματική απόσταση, κατεύθυνση, σχήμα και γεωμετρία.
Σχετική κλίμακα	Μια μετατροπή της απόλυτης κλίμακας σε μια κλίμακα που περιγράφει την σχετική απόσταση, κατεύθυνση, ή γεωμετρία με βάση κάποια λειτουργική σχέση (π.χ., η σχετική απόσταση μεταξύ δύο θέσεων με βάση την προσπάθεια που απαιτείται από έναν οργανισμό να κινείται μεταξύ τους).
Προέκταση	Η επαγωγή από γνωστές τιμές - η εκτίμηση μιας τιμής από τις συνθήκες του επιχειρήματος που δεν χρησιμοποιείται στη διαδικασία της εκτίμησης - η μεταφορά πληροφοριών ή δεδομένων (α) από μια κλίμακα σε μια άλλη (μέγεθος κόκκου ή έκτασης) ή (β) από το ένα σύστημα (ή σύνολο δεδομένων) σε ένα άλλο σύστημα στην ίδια κλίμακα
Κλιμάκωση	
Επαναδειγματοληψία	Μέθοδοι για την μεταφορά δεδομένων από μια κλίμακα σε μια άλλη
Χαρτογραφική γενίκευση	
Κλιμάκωση προς τα πάνω και προς τα κάτω	
Χωρικές επιδράσεις	Οι επιδράσεις της κλίμακας: Οι αλλαγές στο αποτέλεσμα μιας μελέτης που οφείλονται στη μεταβολή της κλίμακας διεξαγωγής της μελέτης
Πρόβλημα Τροποποιούμενης Επιφανειακής Μονάδας	
Το πρόβλημα ζωνών	
Πρόβλημα εξαγωγής συμπερασμάτων πολλαπλών κλιμάκων	

2.2.2 Στοιχεία και συστατικά της κλίμακας

1. Χαρτογραφική Κλίμακα

Η παραδοσιακή χαρτογραφική κλίμακα (ή κλίμακα χάρτη) (Wu & Li, 2006), είναι μία έννοια της κλίμακας με μακρά παράδοση στη γεωγραφία (Dungan et al., 2002). Μια ντετερμινιστική μέθοδος υπολογισμού της κλίμακας κατά τους Sheppard & McMaster (2004) που «προήλθε από την ιδέα του χάρτη ως μια γενική επινόηση μέτρησης / αποθήκευσης (παρά ως ένα μηχανισμό απεικόνισης κάποιας συγκεκριμένης κατανομής - όπως ένας θεματικός χάρτης)».

Στην χαρτογραφία και τα ΓΣΠ, η κλίμακα είναι μια μαθηματική έννοια, με τυπικό μέτρο το «αντιπροσωπευτικό κλάσμα» (Sheppard & McMaster, 2004), που εκφράζει την αναλογία μεταξύ των μετρήσεων του χάρτη και των πραγματικών μετρήσεων στο έδαφος (Lam, 2004; Wu & Li, 2006), τη σχέση δηλαδή ανάμεσα στην απόσταση ή έκταση που εκπροσωπείται στο χάρτη και την αντίστοιχη απόσταση ή έκταση στον πραγματικό κόσμο (Dungan et al., 2002).

2. «Κόκκος» (Grain), Ελάχιστη Μονάδα Χαρτογράφησης (Minimum Map Unit-MMU), Στήριξη (Support), Ανάλυση (Resolution)

2.1. «Κόκκος»

Στην οικολογία και σε άλλες επιστήμες της Γης, θεωρείται ότι η κλίμακα έχει δύο κύρια συστατικά ή συνιστώσες ή μέρη: τον «κόκκο» και την έκταση (grain and extent) (Turner et al., 1989a; Turner, 1989; Marceau & Hay, 1999; Turner et al., 2001; Sayre, 2005; Wiens, 1989b). Και η διάκριση μεταξύ κόκκου και έκτασης, γίνεται τόσο χωρικά όσο και χρονικά (Turner et al., 1989a).

Ο «κόκκος» αναφέρεται στο καλύτερο επίπεδο της χωρικής ή χρονικής διαθέσιμης ακρίβειας ή ανάλυσης μέσα από ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων (Turner et al., 1989a). Μπορεί να αναφέρεται σε ένα φαινόμενο ή σε δεδομένα, και υποθέτει ομοιογένεια στον χώρο ή/και στο χρόνο (Turner et al., 1989a; Wiens, 1989b). Σύμφωνα με την Marceau (1999), «αντιστοιχεί στις μικρότερες χωρικές μονάδες δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται για την συγκέντρωση μιας σειράς παρατηρήσεων». Κατά συνέπεια είναι το μέγεθος των επιμέρους μονάδων της παρατήρησης, δηλαδή, οι μικρότερες οντότητες που μπορούν να διακριθούν.

Ένα παράδειγμα «κόκκου» είναι το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV - instantaneous field of view) του αισθητήρα ενός συστήματος τηλεπισκόπησης, (το μέγεθος εικονοστοιχείου δεν είναι τόσο ακριβής όρος, χρησιμοποιείται για λόγους απλότητας (σελ. 59)) το οποίο με τη σειρά του σχετίζεται με την απόσταση εδαφικής δειγματοληψίας ή το στοιχείο εδαφικής ανάλυσης, ανάλογα με το γενικό πλαίσιο (Warner et al., 2009) (περαιτέρω συζήτηση 2.3.2). Ο «κόκκος»

λοιπόν μπορεί να θεωρηθεί ως το μέγεθος εικονοστοιχείων για τα κυψελοειδή (raster) δεδομένα, ή η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης για τα διανυσματικά δεδομένα (Wu & Li, 2006).

2.2. Ελάχιστη Μονάδα Χαρτογράφησης

Είναι η μικρότερη μονάδα (ή «κόκκος») που μπορεί να χαρτογραφηθεί, το μέγεθος της μικρότερης παρατήρησης ή μονάδας χάρτη, ή η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης (Warner et al., 2009; Franklin, 2013), και συνήθως αφορά γεωχωρικά δεδομένα διανυσματικής μορφής.

2.3. Στήριξη

Από τη δεκαετία του 1960, έχει χρησιμοποιηθεί, ο όρος «στήριξη», ένας γεωστατιστικός όρος που αναφέρεται στη μικρότερη έκταση ή σε ένα n-διάστατο όγκο, επί του οποίου ορίζεται μια παρατήρηση ή ένα στοιχείο, και περιλαμβάνει το μέγεθος, τη γεωμετρία και τον προσανατολισμό του χώρου αυτού, εντός του οποίου μπορούν να υπολογιστούν οι μέσες τιμές μιας μεταβλητής (Dungan et al., 2002; Atkinson, 2004; Wu & Li, 2006). Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο «κόκκος» και η στήριξη έχουν αρκετά παρόμοια σημασία, και έτσι συχνά έχουν χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά (Wu & Li, 2006) (Σχήμα 2.2). Όμως, η στήριξη μπορεί να διαφέρει από τον κόκκο, καθώς περιλαμβάνει και το γεωμετρικό σχήμα, το μέγεθος και τον προσανατολισμό. Στην ενότητα 2.3.2.2 αναλύεται η έννοια της στήριξης σε μια τηλεπισκοπική εικόνα.

2.4. Ανάλυση - Κλίμακα μέτρησης (Measurement Scale)

Στενά συνδεδεμένη με την κλίμακα είναι η έννοια της ανάλυσης, ένας όρος που ισχύει για τις παρατηρήσεις και την μελέτη και όχι για τα φαινόμενα. Η ανάλυση αναφέρεται στα μικρότερα διακριτά τμήματα ενός αντικειμένου ή μιας ακολουθίας, και συχνά καθορίζεται από την ικανότητα του οργάνου καταγραφής (π.χ. εικονοστοιχεία σε μια εικόνα τηλεπισκόπησης - ενότητα 2.3.2) (Lam & Quattrochi, 1992; Lam, 2004) ή από το μέγεθος της μικρότερης μονάδας δειγματοληψίας ή των μονάδων δειγματοληψίας (Gustafson, 1998), ή από το διάστημα δειγματοληψίας που χρησιμοποιείται σε μια μελέτη (Lam & Quattrochi, 1992; Lam, 2004). Στη βιβλιογραφία οικολογίας, η ανάλυση συχνά αναφέρεται και ως «κόκκος» (Lam, 2004).

Ανάλυση και Χωρική Ανάλυση

Στα χωρικά δεδομένα κυψελωδούς μορφής η ανάλυση συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μέγεθος της μικρότερης μονάδας παρατήρησης δηλαδή το εικονοστοιχείο. Εάν όμως ο ορισμός της ανάλυσης βασιστεί αυστηρά στις χωρικές πτυχές της μονάδα δειγματοληψίας, τότε θα αγνοεί το κρίσιμο στοιχείο των χαρακτηριστικών της κλίμακας

μέτρησης (Perry et al., 2002). Στην Τηλεπισκόπηση η ανάλυση δεν αφορά μόνο την χωρική έννοια (μέγεθος στοιχείου), αλλά και φασματικά, ραδιομετρικά (ικανότητα να καθοριστούν διακριτές φασματικές περιοχές) και χρονικά (συχνότητα των παρατηρήσεων) χαρακτηριστικά (Lausch & Herzog, 2002; Dungan et al., 2002; Schowengerdt, 2007; Wu & Li, 2009; Warner et al., 2009) (τα χαρακτηριστικά της τηλεπισκοπικής εικόνας συζητούνται στην ενότητα 2.3).

Με την χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων το μικρότερο αντικείμενο που μπορεί αξιόπιστα να ανιχνευθεί δεν έχει να κάνει μόνο με την χωρική ανάλυση (spatial resolution) της εικόνας αλλά και με την φασματική και ραδιομετρική ανάλυση, που προσδιορίζουν την ανάλυση της εικόνας και ταυτόχρονα την αναγνώριση των αντικειμένων (Dungan et al., 2002) (βλ. σελ. 56 και 65). Χωρίς την κατάλληλη φασματική ανάλυση δεν θα ήταν δυνατόν να αναγνωριστούν για παράδειγμα κάποιες κατηγορίες κάλυψης γης όσο μικρό και αν ήταν το εικονοστοιχείο μιας εικόνας (Dungan et al., 2002).

Για το λόγο αυτό, θα ήταν προτιμότερο η ανάλυση να θεωρείται συνώνυμο της κλίμακας μέτρησης και να διαχωριστεί από την χωρική ανάλυση. Ο Jensen (2000, 2007) ορίζει την χωρική ανάλυση ως «ένα μέτρο της μικρότερης γωνιακής ή γραμμικής απόστασης μεταξύ δύο αντικειμένων που μπορεί να διαχωριστεί από το σύστημα τηλεπισκόπησης». Με άλλα λόγια η χωρική ανάλυση αντιπροσωπεύει την επιφάνεια του εδάφους ή το μέγεθος της χωρικής δειγματοληψίας, από την οποία συλλέγονται και καταχωρούνται οι μέσες τιμές από τον αισθητήρα (Marceau, 1999), εκφράζοντας την φασματική ανάλυση της εικόνας. Στην ενότητα 2.3.4. συζητιέται περαιτέρω η χωρική ανάλυση των δεδομένων τηλεπισκόπησης.

Κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί ότι στην περίπτωση διανυσματικών χωρικών δεδομένων, κατά τη διάρκεια μεγέθυνσης τους στην οθόνη μπορεί να αυξηθεί μόνο η χαρτογραφική τους κλίμακα, αλλά όχι και η κλίμακα μέτρησης (δηλαδή η ανάλυση) η οποία παραμένει σταθερή (Lam, 2004).

3. Έκταση (Extent) - Γεωγραφική Κλίμακα - Κλίμακα Παρατήρησης- Περιοχή Μελέτης ή Χρονική Διάρκεια Μελέτης

Η έκταση υποδηλώνει συνήθως τη χρησιμοποιημένη περιοχή μελέτης ή κάποια μετρήσιμη περιοχή (Meentemeyer, 1989; Turner et al., 1989b), δηλαδή την έκταση της εφαρμογής: το συνολικό μήκος, εμβαδό ή όγκο του φαινομένου, της παρατήρησης ή της ανάλυσης (Dungan et al., 2002) (Σχήμα 2.2). Μπορεί να είναι η συνολική περιοχή μέσα στην οποία γίνονται οι μετρήσεις ή οι παρατηρήσεις ενός συγκεκριμένου «κόκκου» (O'Neill & King, 1998; Warner et al., 2009), για παράδειγμα η περιοχή που παρουσιάζεται σε μια τηλεπισκοπική σκηνή ή η συνολική έκταση της υπό εξέταση διαχείρισης ή αλλιώς το ανώτερο επίπεδο οργάνωσης μέσα σε μια ιεραρχία (π.χ. δάσος).

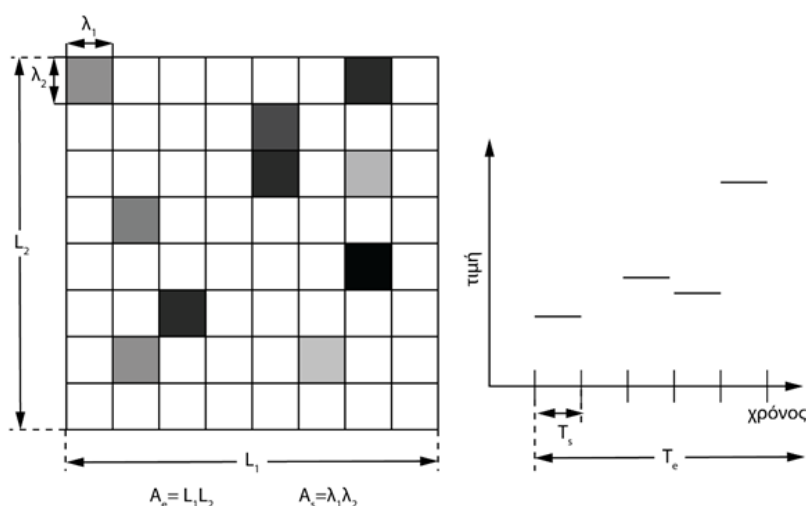
Ο όρος έκταση είναι ισοδύναμος με την κλίμακα παρατήρησης ή γεωγραφική κλίμακα, όταν αναφέρεται στη χωρική έκταση της μελέτης ή της περιοχής κάλυψης (και δεν είναι αντιστρόφως ανάλογη όπως η χαρτογραφική) (Lam & Quattrochi, 1992; Quattrochi & Goodchild, 1997; Lam, 2004; Wu & Li, 2006) - σύμφωνα με τους Lam και Quattrochi (1992) το μέγεθος ενός συγκεκριμένου χάρτη. Από στατιστική άποψη, η χωρική έκταση της έρευνας είναι η περιοχή που καθορίζει τον πληθυσμό δειγματοληψίας. Η έκταση όμως πέρα από την συνολική χωρική έκταση μπορεί να αναφέρεται και στη χρονική έκταση ή στο μέγεθος της μελέτης (Turner et al., 1989a; Wiens, 1989b).

4. Κάλυψη (Coverage) - Πυκνότητα Δειγματοληψίας (Sampling Density)

Η κάλυψη αναφέρεται στην ένταση της δειγματοληψίας στο χώρο ή στο χρόνο (Σχήμα 2.2), και μπορεί να οριστεί ως ο αριθμός των παρατηρήσεων ανά χρονικό διάστημα, επιφάνεια, ή όγκο (Bierkens et al., 2000). Έτσι η χωρική κάλυψη δεν πρέπει να συγχέεται με την έκταση, και μπορεί να παρασταθεί ως ο λόγος της περιοχής δειγματοληψίας προς την έκταση της περιοχής μελέτης (Wu & Li, 2006).

5. Διάταξη (Spacing) - Μεσοδιάστημα Δείγματος (Sample interval) - Υστέρηση (lag)

Η διάταξη είναι το διάστημα/μεσοδιάστημα ή υστέρηση μεταξύ των γειτονικών μονάδων ενός φαινομένου ή γειτονικών μονάδων δειγματοληψίας ή ανάλυσης (Dungan et al., 2002; Wu & Li, 2006) και μπορεί να είναι σταθερή ή μεταβλητή ανάλογα με το καθεστώς δειγματοληψίας (Wu & Li, 2006).



Σχήμα 2.2 Οι έννοιες της στήριξης (A_s και T_s) της έκτασης (A_e and T_e) και της κάλυψης: αριστερά παράδειγμα χωρικής κάλυψης (10/64), δεξιά χρονικής κάλυψης (4/6) (Πηγή (Bierkens et al., 2000))

2.2.2.1 Γενικοί κανόνες που διέπουν τη σχέση μεταξύ χωρικής ανάλυσης (ή «κόκκου») και γεωγραφικής κλίμακας (ή έκτασης)

Ο «κόκκος» (ή ανάλυση) και η έκταση τείνουν να είναι αντιστρόφως ανάλογα από την άποψη των διαθέσιμων δεδομένων που είναι δυνατόν να συλλεχθούν (Warner et al., 2009), καθώς η υψηλή ανάλυση συλλαμβάνει μεγαλύτερη μεταβλητότητα, η οποία με τη σειρά της απαιτεί μεγαλύτερα μεγέθη δείγματος (ακόμη και για μια μικρή ή μεσαία έκταση) (Sayre, 2005). Για να μελετηθεί για παράδειγμα ένα παγκόσμιο φαινόμενο σε «λεπτούς κόκκους», και ταυτόχρονα ακολουθώντας τα συνήθη πρότυπα της στατιστικής σημαντικότητας, κάποιος θα χρειαστεί ένα τεράστιο σύνολο δεδομένων - απίστευτα τεράστιο σε πολλές περιπτώσεις (Sayre, 2005). Λόγω και του περιορισμού της χωρητικότητας αποθήκευσης δεδομένων, μελέτες μεγάλης χωρικής έκτασης συχνά συνδέονται με «χονδροειδή» ανάλυση ενώ η υψηλή ανάλυση είναι συνήθης σε μελέτες μικρής κλίμακας (Lam & Quattrochi, 1992; Lam, 2004). Βέβαια, σε αυτή την εποχή της πληροφορίας, όπου η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται ένα μικρότερο πρόβλημα, τα δεδομένα υψηλής ανάλυσης χρησιμοποιούνται ολοένα και πιο συχνά σε μελέτες μεγάλης κλίμακας (Lam, 2004).

Επειδή λοιπόν είναι μάλλον ασυνήθιστο οι μελέτες μεγάλης κλίμακας (γεωγραφική ή κλίμακα παρατήρησης) να περιλαμβάνουν υψηλή χωρική ανάλυση (Lam & Quattrochi, 1992; Lam, 2004), οι όροι «γεωγραφική κλίμακα» και «χωρική ανάλυση» συχνά συγχέονται μεταξύ τους, αναμειγνύονται μαζί και αόριστα αναφέρονται ως «κλίμακα» (Lam & Quattrochi, 1992; Sheppard & McMaster, 2004). Ο κοινός ορισμός της χωρικής κλίμακας έχει να κάνει με τη γεωγραφική «έκταση» της περιοχής μελέτης, ενώ η χωρική ανάλυση παραθέτει τον βαθμό λεπτομέρειας των δεδομένων: η μελέτη των χρήσεων/κάλυψης γης για παράδειγμα σε μια συγκεκριμένη χωρική κλίμακα, θα μπορούσε να διεξαχθεί σε διαφορετικές χωρικές αναλύσεις δεδομένων, και κάθε διαφορετική ανάλυση, ή «κόκκος» θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα διαφορετικό εμπειρικό αποτέλεσμα (Sheppard & McMaster, 2004). Σε γενικές γραμμές, «λεπτόκοκκα» συστήματα δειγματοληψίας έχουν την τάση να παράγουν δεδομένα που θολώνουν τα πρότυπα «χονδροειδούς» κλίμακας (δηλαδή, υψηλό θόρυβο/λόγο σήματος), ενώ «χονδροκόκκα» συστήματα δειγματοληψίας σίγουρα θα χάσουν τα πρότυπα λεπτής κλίμακας (Wu et al., 2006b).

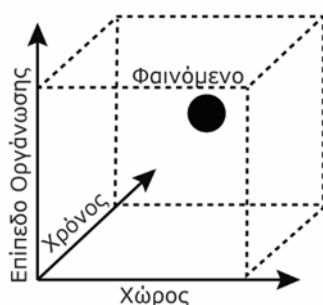
Συνοψίζοντας, σύμφωνα με τα παραπάνω:

- Η ανάλυση (ή κόκκος) και η έκταση συσχετίζονται ως ένα αποτέλεσμα των υπολογιστικών περιορισμών στη μέτρηση: καθώς η ανάλυση (ή κόκκος) αυξάνει αυξάνεται επίσης και η υπολογιστική έκταση.

- Οι πληροφορίες του περιεχομένου συχνά συσχετίζονται με την ανάλυση (κόκκο). Έχουμε την τάση να μετρήσουμε περισσότερες μεταβλητές σε υψηλής ανάλυσης (ή λεπτόκοκκες) μελέτες.
- Η ανάλυση (ή κόκκος) και η έκταση θέτουν τα κατώτερα και ανώτερα όρια της ανάλυσης των δεδομένων, και οποιαδήποτε συμπεράσματα σχετικά με την εξάρτηση από την κλίμακα σε ένα σύστημα περιορίζονται από την έκταση και τον κόκκο της έρευνας.

2.2.3 Διαστάσεις της Κλίμακας

Οι Wu & Li, (2006) διακρίνουν τρεις βασικές διαστάσεις της κλίμακας: χώρος, χρόνος, και οργανωτικό επίπεδο (Σχήμα 2.3). Η κλίμακα αναφέρεται στην χωρική ή χρονική διάσταση (π.χ., το μέγεθος της περιοχής ή το χρονικό διάστημα) (Turner et al., 1989a), και έτσι ο χώρος και ο χρόνος είναι οι δύο θεμελιώδεις άξονες της τρισδιάστατης έννοιας της κλίμακας των Wu και Li (2006). Ενώ η τρίτη διάσταση είναι το επίπεδο της οργάνωσης και αναφέρεται στον τόπο μέσα σε κάποια βιοτική ιεραρχία (π.χ., οργανισμό, δήμο, πληθυσμό) (Turner et al., 1989a), και είναι συνήθως κατασκευασμένη από τον παρατηρητή (Wu & Li, 2006).



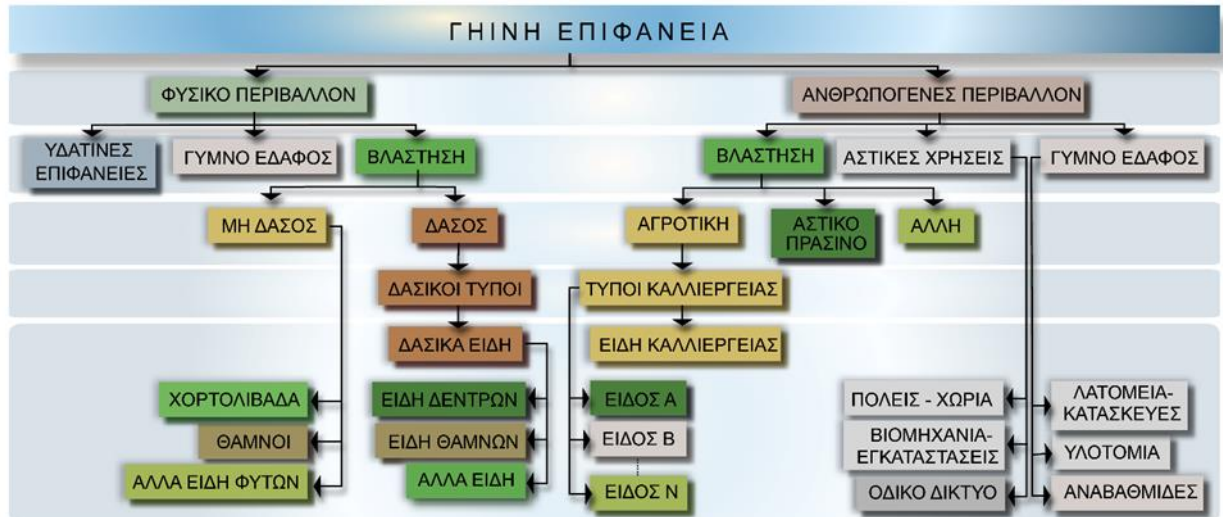
Σχήμα 2.3 Οι τρεις διαστάσεις της κλίμακας
(πηγή (Wu & Li, 2006))

Η εισαγωγή της τρίτης διάστασης της κλίμακας αποτελεί κατά την Sayre (2005) την «οντολογική στιγμή», όπου ο όρος κλίμακα δεν αναφέρεται πλέον στο μέγεθος των πραγμάτων, αλλά στις χωρικές και χρονικές σχέσεις μεταξύ τους (O'Neill & King, 1998; Howitt, 1998), σε διαδικασίες και σχέσεις μεταξύ οργανισμών ή άλλων μονάδων ανάλυσης (Sayre, 2005) (για τα δεδομένα τηλεπισκόπησης οι δύο θεμελιώδεις άξονες της τρισδιάστατης έννοιας της κλίμακας είναι η χωρική και χρονική ανάλυση, ενώ η τρίτη διάσταση είναι η φασματική ανάλυση).

Η κλίμακα τότε μπορεί να οριστεί ως ένα συνεχές (Marceau, 1999) στον χώρο και στον χρόνο. Εντός αυτού του συνεχές μπορούν να ανιχνευθούν διακριτά διαλείμματα ή κατώτατα όρια

που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα επίπεδα οργάνωσης μέσα σε ένα ιεραρχικό σύστημα της κλίμακας (Marceau, 1999).

Η οργάνωση του χώρου σε επίπεδα βασίζεται στην θεωρία της ιεραρχίας. Σύμφωνα με την θεωρία της ιεραρχίας - μια ιδέα πρωτοπόρος στην οικολογία (Levin, 1992), η ίδια η φύση υποδιαιρείται σε ένα ιεραρχικό σύστημα τόσο με κάθετη δομή επιπέδων, όσο και με μια οριζόντια δομή των «όλων» (Σχήμα 2.4) (McMaster & Shea, 1992).



Σχήμα 2.4 Μοντέλο γήινης επιφάνειας

Το όλον προέρχεται από την αρχαία ελληνική όλον = τα πάντα, το σύνολο, η ολότητα, το σύμπαν. Στα Πολιτικά του Αριστοτέλη, το όλον στην τάξη της φύσης προηγείται του μέρους. Ο Αριστοτέλης τονίζει ότι το όλον προηγείται του μέρους υπό την έννοια ότι δεν μπορεί να θεωρήσει κανείς κάτι ως μέρος ενός συνόλου, εάν δεν υπάρχει ήδη το σύνολο. Έπειτα το όλον το αποτελούν μέρη, τα οποία δε χάνουν μέσα στο όλον τη δική τους φυσιογνωμία.

Η παραπάνω θεώρηση του όλον μεταφέρει την ιδέα ότι τα υποσυστήματα σε οποιοδήποτε επίπεδο δρουν ως σύνολα σε σχέση με τα χαμηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας, αλλά είναι τμήματα μονάδων σε υψηλότερα επίπεδα (McMaster & Shea, 1992). Ένα επίπεδο οργάνωσης δεν είναι μια κλίμακα, αλλά μπορεί να έχει μια κλίμακα (O'Neill & King, 1998), και εννοιολογικά μπορεί να είναι οι λειτουργικές ή χαρακτηριστικές κλίμακες (βλ. παρακάτω σελ. 30) των οντοτήτων ή γεγονότων προς το χώρο και το χρόνο.

Εξ ορισμού, οι αλληλεπιδράσεις αναμένεται να είναι σημαντικά ισχυρότερες εντός των όλων από ό, τι μεταξύ των όλων σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο, και εντός ενός επιπέδου, παρά κατά την μετακίνηση στην σκάλα της ιεραρχίας επιπέδων (McMaster & Shea, 1992), όπου οι χαρακτηριστικές κλίμακες των οντοτήτων ή γεγονότων προς το χώρο και το χρόνο, τείνουν να αλλάξουν αναλόγως (Wu & Li, 2006).

2.2.4 Είδη Κλίμακας

Οι Dungan κ.α. (2002) προτείνουν πώς οι πιο διαδεδομένοι όροι για την κλίμακα μπορούν να γίνουν καλύτερα κατανοητοί μέσα σε τρεις κατηγορίες ή διαστάσεις: 1) φαινόμενο (π.χ. η χωρική δομή της βλάστησης και των διαδικασιών που την επηρεάζουν), 2) δειγματοληψία - χωρικές μονάδες ή μονάδες δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με το φαινόμενο, (π.χ. τετραγωνίδια (quadrats) στο έδαφος ή εικονοστοιχεία σε μια εικόνα) και 3) ανάλυση των δεδομένων, που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των συμπερασμάτων.

Οι Wu & Li (2006), καθορίζουν είδη κλίμακας τα οποία χαρακτηρίζουν σύμμετρα με τις τρεις κατηγορίες των Dungan κ.α.: 1) την εγγενή (κλίμακα δράσης του φαινομένου), και 2) την κλίμακα παρατήρησης (κλίμακα δειγματοληψίας) την οποία διαχωρίζουν σε άλλα είδη κλίμακας ανάλογα με την στόχευση της μελέτης (της συγκεκριμένης ανάλυσης), συμπεριλαμβάνοντας σε αυτή και την κλίμακα μοντελοποίησης ή ανάλυσης των Dungan κ.α. (2002).

Οι Lam & Quattrochi (1992) και Lam (2004) επικεντρώνονται στην χωρική κλίμακα για να περιγράψουν τέσσερεις διαφορετικούς τύπους ή σημασίες της κλίμακας για τις φυσικές επιστήμες και τα ΓΣΠ: 1) τη λειτουργική (επίπεδο στο οποίο λειτουργούν οι διαδικασίες), 2) τη γεωγραφική ή παρατήρησης (χωρική έκταση), 3) το επίπεδο της ανάλυσης ή κλίμακα μέτρησης (μεγάλης / μικρής κλίμακας, ποιότητα εικονοστοιχείου) και 4) τη χαρτογραφική (σχέσεις απόστασης).

Με βάση τις παραπάνω κατηγοριοποιήσεις από τους αναφερόμενους συγγραφείς, παρακάτω θα διακριθούν κάποια είδη κλίμακας, σε σχέση με την αναγνώριση χωρικών προτύπων με την χρήση δορυφορικών εικόνων .

1. Εγγενής - Λειτουργική - Χαρακτηριστική Κλίμακα

1.1. Εγγενής κλίμακα

Η εγγενής κλίμακα αναφέρεται στην κλίμακα στην οποία λειτουργεί στην πραγματικότητα ένα πρότυπο ή μια διαδικασία (Wu & Li, 2006). Ορισμένοι μπορεί να ισχυρίζονται ότι δεν υπάρχει εγγενής κλίμακα στη φύση, και ότι οι κλίμακες ή τα επίπεδα της ιεραρχίας είναι απλώς επιστημολογικές συνέπειες του παρατηρητή (Allen & Starr, 1982). Λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω ισχυρισμό και ταυτόχρονα συμφωνώντας με τους Wu & Li (2006) ότι «η παρατηρούμενη κλίμακα ενός δεδομένου φαινομένου είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ του παρατηρητή και της εγγενούς κλίμακας του φαινομένου», ότι δηλαδή οι εγγενείς κλίμακες υπάρχουν αλλά η ανίχνευση και ο καθορισμός τους γίνεται από

τον παρατηρητή, θα θεωρηθεί ότι η εγγενής κλίμακα είναι μια ευρύτερη αλλά παρόμοια έννοια με τη χαρακτηριστική και τη λειτουργική κλίμακα.

1.2. Χαρακτηριστική κλίμακα

Η έννοια της χαρακτηριστικής κλίμακας συνεπάγεται ότι πολλά, αν όχι τα περισσότερα φυσικά φαινόμενα, έχουν τις δικές τους ξεχωριστές «εγγενείς» κλίμακες (ή εύρη κλιμάκων) που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τους (π.χ., η τυπική χωρική έκταση ή η συχνότητα εκδήλωσης) και στις οποίες λειτουργούν (Wu & Li, 2006). Εννοιολογικά, οι χαρακτηριστικές κλίμακες μπορεί να εκληφθούν ως τα επίπεδα σε μια ιεραρχία (Wu, 1999).

Οι χαρακτηριστικές κλίμακες είναι εγγενείς στα φαινόμενα ενδιαφέροντος, επειδή ενυπάρχουν στο παρατηρούμενο σύστημα (Wu, 1999; Wu et al., 2006b) και κατά συνέπεια είναι δεδομένες και δεν αλλάζουν. Η ανίχνευση και ο καθορισμός τους όμως μέσω της παρατήρησης και ανάλυσης γίνεται με τη συμμετοχή του παρατηρητή, και για αυτό το λόγο μπορεί να τις χρωματίσει με υποκειμενικότητα (Wu, 1999; Wu et al., 2006b). Η υποκειμενικότητα στον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών κλιμάκων, πολλές φορές μπορεί να οδηγήσει στο πρόβλημα αναντιστοιχίας μεταξύ της εγγενούς και της παρατηρούμενης κλίμακας (Wu et al., 2006b).

Για τον λόγο αυτό, είναι εξαιρετικά σημαντικό η κλίμακα που επιλέγεται για μια μελέτη να είναι ανάλογη με την χαρακτηριστική κλίμακα του φαινομένου ενδιαφέροντος, βάση σχετικών εμπειρικών γνώσεων ή μέσω μιας ανάλυσης διερεύνησης κλίμακας (exploratory scale analysis) (Wu et al., 2006b).

1.3. Λειτουργική κλίμακα

Η λειτουργική κλίμακα βασίζεται στην θεώρηση ότι τα φαινόμενα και οι διαδικασίες συμβαίνουν και καθορίζονται από συγκεκριμένες κλίμακες (Lam & Quattrochi, 1992). Αναφέρεται ως η λογική κλίμακα στην οποία λαμβάνει χώρα και λειτουργεί ένα φαινόμενο ή μια γεωγραφική διαδικασία (δηλ. χωρική έκταση του περιβάλλοντος μέσα στο οποία λειτουργούν συγκεκριμένες διαδικασίες, π.χ. το δάσος λειτουργεί σε μια μεγαλύτερη κλίμακα από ότι ένα μεμονωμένο δέντρο) (Quattrochi & Goodchild, 1997; Sheppard & McMaster, 2004; Lam, 2004). Η λειτουργική κλίμακα αναφέρεται επίσης και ως «κλίμακα δράσης» (κλίμακα στην οποία το πρότυπο εκδηλώνει τη μέγιστη διακύμανση) (Lam, 2004) ή ως κλίμακα της διαδικασίας.

2. Κλίμακα παρατήρησης

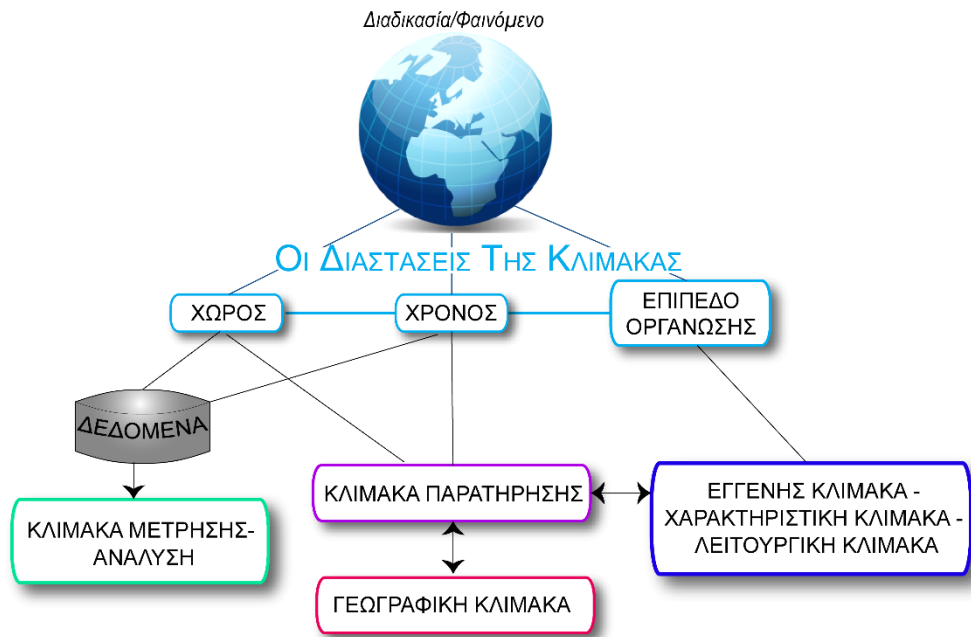
Η κλίμακα παρατήρησης είναι η κλίμακα στην οποία λαμβάνεται η δειγματοληψία ή οι μετρήσεις (Wu & Li, 2006), και για τις χωρικές διαδικασίες είναι η χωρική έκταση της μελέτης. Οι Wu & Li (2006), διακρίνουν διαφορετικές έννοιες της κλίμακας παρατήρησης:

- Όταν αναφέρεται στις χωρικές και χρονικές διαστάσεις ενός πειράματος αντιπροσωπεύει την πειραματική κλίμακα, η οποία είναι το πρωταρχικό κριτήριο για τη διάκριση μεταξύ πειραμάτων μικρο-, μεσο- και μακρο-κλίμακας.
- Για τις στατιστικές αναλύσεις είναι η ανάλυση και η έκταση στο χώρο και στο χρόνο, ενώ για τα δυναμικά μοντέλα είναι η κλίμακα ανάλυσης ή κλίμακα μοντελοποίησης (Wu & Li, 2006).
- Στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής διαχείρισης και σχεδιασμού, οι τοπικές, περιφερειακές και εθνικές νομοθετικές και κανονιστικές διατάξεις εισάγουν ένα άλλο είδος κλίμακας - την κλίμακα πολιτικής, η οποία επηρεάζεται από μια σειρά οικονομικών, πολιτικών, και κοινωνικών παραγόντων (Wu & Li, 2006).

Για τις χωρικές διαδικασίες η κλίμακα παρατήρησης αναφέρεται και ως γεωγραφική κλίμακα, και είναι η χωρική έκταση της μελέτης ή της περιοχής κάλυψης (όχι αντιστρόφως ανάλογη όπως η χαρτογραφική) (Lam & Quattrochi, 1992; Lam, 2004). Η έννοια της κλίμακας παρατήρησης για τα χωρικά δεδομένα διαφοροποιείται σε σχέση με αυτήν που της αποδίδεται από τους Wu & Li (2006), ότι δηλαδή είναι σύμμετρη με την κλίμακα δειγματοληψίας ή κλίμακα μέτρησης. Για τα χωρικά δεδομένα η κλίμακα μέτρησης αποτελεί ένα άλλο είδος κλίμακας.

3. Κλίμακα Μέτρησης ή Ανάλυση

Η κλίμακα μέτρησης, ή κοινώς ονομαζόμενη ανάλυση, αναφέρεται στα μικρότερα διακριτά τμήματα ενός αντικειμένου στην γήινη επιφάνεια και για τα τηλεπισκοπικά δεδομένα η κλίμακα μέτρησης ή ανάλυση αφορά τόσο στον γεωγραφικό χώρο όσο και στην περιοχή του φάσματος μέσα στην οποία γίνεται η καταγραφή της γήινης επιφάνειας μέσω του δορυφορικού συστήματος καταγραφής. Και έτσι διακρίνεται σε χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση (βλ. 2.3.1.1 Ανάλυση της ψηφιακής εικόνας : η κλίμακα μέτρησης των δορυφορικών παρατηρήσεων).



Σχήμα 2.5 Είδη Κλίμακας γεωχωρικών δεδομένων

Στο Σχήμα 2.5 αναπαριστούνται οι έννοιες της κλίμακας στην γεωχωρική ανάλυση και μοντελοποίηση. Για όλα τα γεωγραφικά φαινόμενα ή διαδικασίες μπορούμε να διακρίνουμε τις τρεις διαστάσεις της κλίμακας (χώρο, χρόνο και επίπεδο οργάνωσης). Το επίπεδο οργάνωσης περιγράφει την(ις) εγγενή(εις) ή χαρακτηριστική(ες) ή λειτουργική(ες) κλίμακα(ες) του φαινομένου ή της διαδικασίας η(οι) οποία(ες) μπορεί να οδηγήσει(ουν) στον ορισμό της κλίμακας παρατήρησης και αντίστροφα η κλίμακα παρατήρησης να ορίσει το επίπεδο συσσωμάτωσης ή αφαίρεσης των επιπέδων μιας ιεραρχίας (επίπεδο οργάνωσης) περιγραφής του γήινου φαινομένου/διαδικασίας. Η εγγενής κλίμακα, είναι η κλίμακα στην οποία οικολογικά φαινόμενα αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον και αποτελεί αναδυόμενη ιδιότητα της απόκρισης ενός οργανισμού στο περιβάλλον του, το οποίο μετριέται έμμεσα από την(ες) κλίμακα(ες) παρατήρησης και/ή κλίμακα(ες) ανάλυσης (Foody & Atkinson, 2002; Wu & Li, 2006; Lechner et al., 2012).

Από την άλλη πλευρά η κλίμακα παρατήρησης μπορεί να καθορίσει και την χωρική έκταση, την γεωγραφική κλίμακα μελέτης του φαινομένου ή διαδικασίας, αλλά και αντίστροφως η γεωγραφική κλίμακα ορίζει πολλές φορές και την κλίμακα της παρατήρησης (όπως συζητήθηκε ενοτ. 2.2.2.1). Κατά τη χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης, η κλίμακα παρατήρησης συχνά καθορίζεται από το μέγεθος εικονοστοιχείου αλλά και το επίπεδο οργάνωσης - που καθορίζει τη χωρική μονάδα ανάλυσης της μελέτης. Τέλος τα γεωχωρικά δεδομένα αφορούν τον χώρο και τον χρόνο μιας έρευνας και χαρακτηρίζονται από μια κλίμακα μέτρησης (εικονοστοιχείο για δεδομένα τηλεπισκόπησης).

2.2.5 Ζητήματα Κλίμακας και τα μεθοδολογικά ζητήματα που ανακύπτουν

Προκειμένου να αποσαφηνιστεί ο ορισμός και τη σημασία των ζητημάτων που ανακύπτουν σε σχέση με την κλίμακα, στην παρούσα διατριβή υιοθετείται η θεώρηση του χώρου των Meentemeyer (1989) και Marceau (1999), συμφωνώντας ότι η διάκριση αυτή συνεπάγεται και διαφορετικούς τρόπους αντιμετώπισης της κλίμακας. Σύμφωνα με την θεώρηση αυτή ο χώρος έχει δύο αναπαραστάσεις που συνυπάρχουν στα τρέχοντα επιστημονικά μοντέλα και μεθόδους: την απόλυτη και τη σχετική οπτική γωνία, που φέρει και διαφορετικό νόημα στην κλίμακα.

Πίνακας 2.3 Φιλοσοφικές απόψεις του χώρου: η διαφορά μεταξύ απόλυτου και σχετικού χώρου (πηγή (Meentemeyer, 1989))

Απόλυτος Χώρος	Σχετικός Χώρος
Ο χώρος μπορεί να υπάρξει ανεξάρτητα από οποιοδήποτε ζήτημα	Ο χώρος υπάρχει μόνο σε σχέση με τα πράγματα και τις διαδικασίες
Ο χώρος είναι ένα «container»	Ο χώρος ορίζεται από τα πράγματα και τις διαδικασίες
Σχετίζεται κυρίως με την καταγραφή και χαρτογράφηση	Σχετίζεται κυρίως με μελέτες των μορφών, των πρότυπων, των λειτουργιών, των ρυθμών, της εξάπλωσης
Ευκλείδειος χώρος	Μπορεί να περιλαμβάνει μη-Ευκλείδειο (μετασχηματισμένο) χώρο

1. Απόλυτο πλαίσιο

Στο απόλυτο πλαίσιο, η κλίμακα μπορεί να οριστεί ως λειτουργική (operational) κλίμακα και αναφέρεται σε ένα πρακτικό, τυπικό σύστημα που χρησιμοποιείται για να κατακερματίσει τον γεωγραφικό χώρο σε επιχειρησιακές χωρικές ενότητες (Marceau, 1999). Τέτοιες κλίμακες αποτελούν τα συστήματα αναφοράς που χρησιμοποιούνται για τον ακριβή εντοπισμό των αντικείμενων και των τοπολογικών τους σχέσεων στο χώρο (Marceau, 1999). Αυτή είναι η άποψη της συμβατικής χαρτογραφίας, της τηλεπισκόπησης και των επιστημών χαρτογράφησης (Meentemeyer, 1989), π.χ. απογραφή και διοικητικές μονάδες, διαίρεση σε ζώνες, ή οποιοδήποτε σύστημα χωρικής κατάτμησης που ορίζεται για μια συγκεκριμένη μελέτη (Marceau, 1999). Στο απόλυτο πλαίσιο όπως ο Meentemeyer (1989) επισημαίνει, ανάλογα με το σχήμα της ταξινόμησης και τις δυνατότητες διάκρισης, η δημιουργία της χωρικής ιεραρχίας είναι αρκετά απλή.

2. Σχετικό πλαίσιο

Ο «σχετικός» χώρος ορίζεται από τις χωρικές διαδικασίες, π.χ., η μετανάστευση και τα μοτίβα μετακίνησης, οι λεκάνες απορροής, η διασπορά των ρύπων, μέχρι και η διάδοση των ιδεών και πληροφοριών (Meentemeyer, 1989). Έτσι στο σχετικό πλαίσιο, η κλίμακα γίνεται μια μεταβλητή άρρηκτα συνδεδεμένη με τις χωρικές ενότητες, τα μοτίβα, τις μορφές, τις

λειτουργίες, τις διαδικασίες και τους υπό έρευνα ρυθμούς, και τότε μπορεί να οριστεί ως το παράθυρο μέσα από το οποίο ο ερευνητής επιλέγει να δει τον κόσμο (Marceau, 1999), και η προσέγγιση αυτή να οδηγήσει στον ορισμό του χώρου με την χρήση μη Ευκλείδειων όρων (Meentemeyer, 1989).

2.2.5.1 Κλιμάκωση

Η κλιμάκωση (scaling) είναι η μεταφορά δεδομένων ή πληροφοριών από μία κλίμακα σε μια άλλη (Jarvis, 1995; Wu & Li, 2006). Ένας συναφής όρος είναι η προέκταση (extrapolate) που ορίζεται ως η μεταφορά πληροφοριών (α) από μια κλίμακα σε μια άλλη (μέγεθος κόκκου ή έκτασης) ή (β) από ένα σύστημα (ή σύνολο δεδομένων) σε ένα άλλο στην ίδια κλίμακα με βάση γνωστές τιμές (Turner et al., 1989a).

- Απόλυτο πλαίσιο

Επαναδειγματοληψία (resampling) και Χαρτογραφική γενίκευση (cartographic generalization)

Στο πλαίσιο του απόλυτου χώρου, η κλιμάκωση πρωτίστως συνεπάγεται αλλαγή στη γεωμετρική δομή των δεδομένων και των αντίστοιχων χαρακτηριστικών τους, με τις τεχνικές της επαναδειγματοληψίας και της χαρτογραφικής γενίκευσης (Marceau, 1999).

Η επαναδειγματοληψία συνεπάγεται μια αλλαγή στα γεωμετρικά συστήματα συντεταγμένων και στα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύσουν τις γεωγραφικές οντότητες ή τα φαινόμενα (Marceau, 1999).

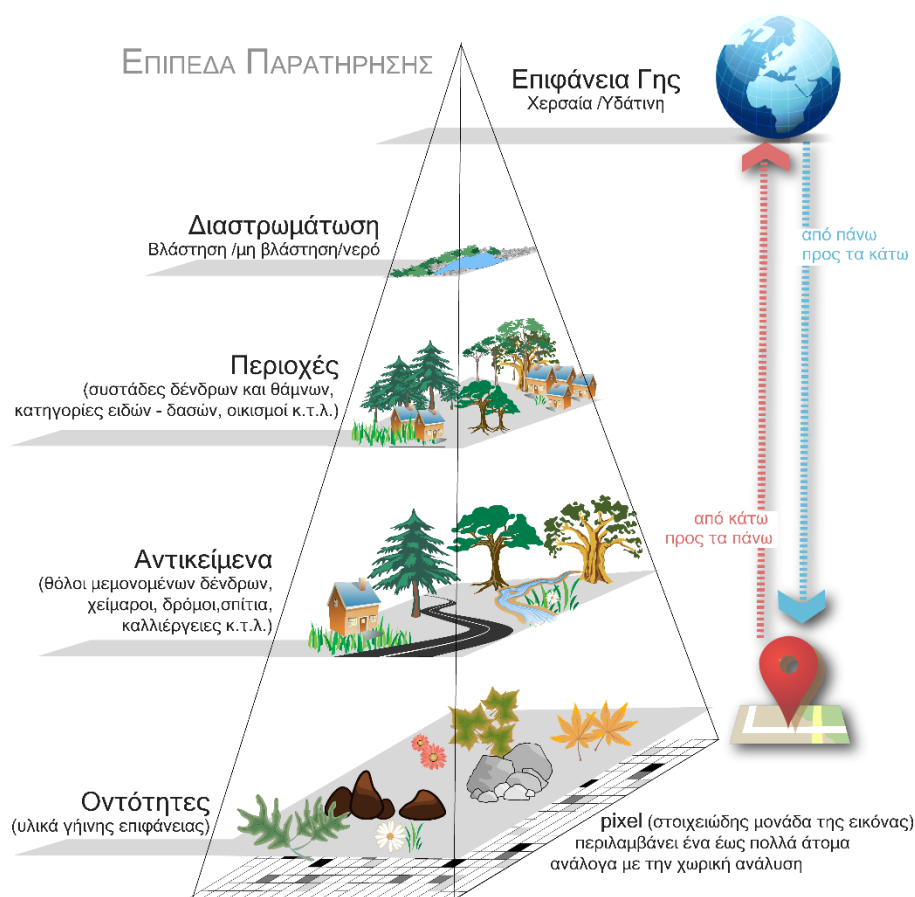
Η χαρτογραφική γενίκευση είναι η διαδικασία εξόρυξης της φύσης και της ποσότητας των πληροφοριών σχετικά με τα φαινόμενα που μπορούν να αναπαρασταθούν σε ένα χάρτη σε μια συγκεκριμένη κλίμακα (Marceau, 1999). Συνήθως απλοποιεί ή φιλτράρει τις πληροφορίες προκειμένου ένας χάρτης να επανασχεδιαστεί για μια μικρότερη χαρτογραφική κλίμακα. Περιλαμβάνει: την επιλογή (τον προσδιορισμό των κατηγοριών των χαρακτηριστικών που θα διατηρηθούν (Openshaw & Taylor, 1979)), την απλοποίηση (δηλ. τον προσδιορισμό των σημαντικών χαρακτηριστικών των δεδομένων, τη διατήρηση και την πιθανή υπερβολή, και την εξάλειψη ανεπιθύμητης λεπτομέρειας), την ταξινόμηση (προσδιορίζεται ως η κατάταξη ή κλιμάκωση και ομαδοποίηση των δεδομένων) και τέλος τον συμβολισμό (η διαδικασία γραφικής κωδικοποίησης των ομαδοποιημένων χαρακτηριστικών) (McMaster & Shea, 1992).

- Σχετικό πλαίσιο

Κλιμάκωση προς τα πάνω (upscaling) και προς τα κάτω (downscaling)

Από τη σχετική σκοπιά, η κλιμάκωση είναι ένα πιο πολύπλοκο εγχείρημα από ό, τι στο απόλυτο πλαίσιο, καθώς αντιπροσωπεύει τις έννοιες που συνδέουν διεργασίες σε διαφορετικά επίπεδα του χώρου (Marceau, 1999). Για οποιαδήποτε αλλαγή στην κλίμακα, θα πρέπει να

προσδιοριστούν οι λειτουργικοί παράγοντες σε μια συγκεκριμένη κλίμακα παρατήρησης, καθώς και η συνάφεια, οι περιορισμοί και οι ανατροφοδοτήσεις τους με εκείνους σε χαμηλότερες και υψηλότερες κλίμακες (Caldwell et al., 1993). Όπως επισημαίνεται από τον Jarvis (1995), αυτό που κάνει την κλιμάκωση μια πραγματική πρόκληση είναι η μη γραμμικότητα μεταξύ των διαδικασιών και των μεταβλητών και η ετερογένεια των ιδιοτήτων που καθορίζει τις τιμές των διαδικασιών. Ως εκ τούτου, η κλιμάκωση απαιτεί την κατανόηση της πολύπλοκης ιεραρχικής οργάνωσης του γεωγραφικού κόσμου όπου διαφορετικά πρότυπα και διαδικασίες συνδέονται με συγκεκριμένες κλίμακες παρατήρησης, και όπου οι μεταβάσεις μεταξύ των κλιμάκων βασίζονται σε κανόνες με γεωγραφικά νοήματα (Marceau, 1999). Για παράδειγμα, διαδικασίες που εμφανίζονται ομοιογενείς σε μικρή κλίμακα μπορεί να γίνουν ετερογενείς σε μια μεγαλύτερη κλίμακα (Lam & Quattrochi, 1992), και αυτή η χωρική ετερογένεια φαίνεται να περιορίζει την ικανότητά μας να μεταφράσουμε πληροφορίες από το ένα μέγεθος στο άλλο (Turner et al., 1989a).



Εικόνα 2.1 Επίπεδα παρατήρησης και κλιμάκωση

Η κλιμάκωση προς τα κάτω συνίσταται στη λήψη πληροφοριών σε μικρότερες κλίμακες για να αντληθούν οι διαδικασίες σε μεγαλύτερες κλίμακες (Jarvis, 1995), και περιλαμβάνει την μέθοδο «από-πάνω- προς-τα-κάτω» («top-down») που χρησιμοποιεί την έννοια του

περιορισμού για την πρόβλεψη των φαινομένων σε λεπτότερες κλίμακες, δηλαδή τον προσδιορισμό των περιορισμών που είναι σημαντικοί σε κάθε κλίμακα (Turner et al., 1989a). Η προσέγγιση top-down μπορεί να χρησιμοποιεί πολλές από τις ιδέες της θεωρίας ιεραρχίας για την παρέκταση ανάμεσα στις κλίμακες (Neill et al., 1989) (Εικόνα 2.1).

Η κλιμάκωση προς τα πάνω αποτελείται από την αποσύνθεση των συστατικών μιας πληροφορίας σε μία κλίμακα σε μικρότερες κλίμακες (Jarvis, 1995), με στόχο να χρησιμοποιηθούν πληροφορίες που είναι διαθέσιμες σε υψηλές κλίμακες για την πρόβλεψη φαινομένων σε ευρύτερες κλίμακες για τις οποίες λείπουν τα εμπειρικά δεδομένα (Turner et al., 1989a). Χρησιμοποιείται η προσέγγιση «από-κάτω-προς-τα-πάνω» (bottom-up) που αρχίζει με βάση μετρήσεις σε επίπεδο ατόμου ή οντότητας και προσθέτει κατάλληλους περιορισμούς για να εξηγήσει τα προκύπτοντα φαινόμενα σε ευρύτερες κλίμακες (Turner et al., 1989a)(Εικόνα 2.1).

2.2.5.2 Επιδράσεις της Κλίμακας

Οι επιδράσεις της κλίμακας (scale effects) συνήθως αναφέρονται στις αλλαγές στο αποτέλεσμα μιας μελέτης που οφείλονται στη μεταβολή της κλίμακας διεξαγωγής της μελέτης (Wu & Li, 2006). Είναι προφανές ότι οι επιδράσεις της κλίμακας σχετίζονται και αποτελούν αλληλένδετα ζητήματα με τις χαρακτηριστικές κλίμακες και το θέμα της κλιμάκωσης που συζητήθηκαν παραπάνω (σελ. 31 στο 1.2 και ενοτ. 2.2.5.1 σελ.35).

Οι επιπτώσεις της αλλαγής κλίμακας στη δειγματοληψία και στον σχεδιασμό του πειράματος, στην στατιστική ανάλυση και στην μοντελοποίηση έχουν τεκμηριωθεί καλά τόσο στην οικολογία όσο και στη γεωγραφία (π.χ. (Turner et al., 1989b; White & Running, 1994; Wu & Levin, 1994; Jelinski & Wu, 1996; Dungan et al., 2002; Wu, 2004b)).

- Χωρικές επιδράσεις και χωρικά πρότυπα

Επειδή τα χωρικά πρότυπα είναι συνήθως συγκεκριμένης κλίμακας έχουν δηλαδή τις δικές τους εγγενείς χαρακτηριστικές ή λειτουργικές κλίμακες, η συναγωγή της χωρικής διαδικασίας από ένα χωρικό πρότυπο είναι περίπλοκη.

Κάθε επίπεδο της ιεραρχίας σε μια πολυ-κλίμακη προσέγγιση, έχει μοναδικές ιδιότητες που δεν είναι απλά το άθροισμα των επιμέρους ιδιοτήτων. Όταν τα δεδομένα αθροίζονται χωρικά προκύπτουν νέες ιδιότητες (Bian, 1997). Αυτό μπορεί να επεξηγηθεί από το γνωστό δίλημμα των διαφορετικών διεργασιών που οδηγούν στο ίδιο χωρικό πρότυπο (Turner et al., 1989b), καθώς υποκείμενες διεργασίες και ιδιότητες του τοπίου παράγουν πολλές παρόμοιες σκηνές διάσπαρτα σε όλο το τοπίο, ενώ παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες και διαδικασίες που συνδέονται στενά με το τοπίο, θα έχουν ως αποτέλεσμα να προκύψουν και παρόμοια οικοσυστήματα (Treitz, 2000).

Η παραπάνω θεώρηση έχει μελετηθεί από τον τομέα της χωρικής στατιστικής, υπό τον όρο «Χωρικές επιδράσεις». Οι Anselin και Getis (1992), δίνουν μια ερμηνεία του όρου ο οποίος θεωρούν πως έχει δύο αλληλένδετες έννοιες. Η πρώτη ενσωματώνεται στον πρώτο νόμο της Γεωγραφίας του Tobler (1979): «τα πάντα έχουν σχέση με όλα τα άλλα, αλλά τα κοντινά πράγματα είναι πιο σχετικά από τα μακρινά». Αυτό σημαίνει απλά ότι θα πρέπει να περιμένουμε ισχυρότερες σχέσεις εντός και μεταξύ των μεταβλητών που επιλέγονται δειγματοληπτικά σε θέσεις που είναι χωρικά κοντά ή μία στην άλλη. Η πιο δυσχερής δεύτερη σημασία ωστόσο, είναι ότι λόγω του μεγέθους και της διαμόρφωσης των χωρικών μονάδων βρίσκουμε σχέσεις εντός ή μεταξύ των μεταβλητών που οφείλονται τόσο στη φύση των χωρικών μονάδων όσο και στη φύση των μεταβλητών που μελετιούνται. Ο πρώτος τύπος των χωρικών επιδράσεων μπορεί να διαχειριστεί, κατά το μεγαλύτερο μέρος με συμβατικές αναλυτικές διαδικασίες δεδομένων, αλλά όχι ο δεύτερος. Δεδομένου ότι όλα τα χωρικά δεδομένα υπόκεινται στο δεύτερο φαινόμενο, κάποιος πρέπει να το λάβει υπόψη κατά το σχεδιασμό των συστημάτων προς ανάλυση (Anselin & Getis, 1992).

Ένα χωρικό πρότυπο μπορεί να εμφανίζει ομαδοποιήσεις σε μία κλίμακα, αλλά τυχαίτητα σε μια άλλη. Ανάλογα με την κλίμακα παρατήρησης ως εκ τούτου, οι διαδικασίες που εμφανίζονται ομοιογενείς σε μικρή κλίμακα μπορεί να γίνουν ετερογενείς σε μια μεγαλύτερη κλίμακα (Lam & Quattrochi, 1992).

Η ανάλυση μπορεί να επηρεάσει τη γεωγραφική έρευνα;

Δεν αποτελεί έκπληξη, ότι οι γεωγράφοι (και άλλοι) έχουν ανακαλύψει ότι η ανάλυση, ή ο κόκκος μπορεί να επηρεάσει τη γεωγραφική έρευνα (Openshaw & Taylor, 1979). Η σχέση μεταξύ ανάλυσης και λειτουργικής κλίμακας για δεδομένα κυψελωτής μορφής είναι ευθεία: μπορούν να συναθροιστούν σε «χονδροειδέστερες» αναλύσεις προκειμένου να αντικατοπτρίζουν τις κυρίαρχες λειτουργικές/χαρακτηριστικές κλίμακες, στις οποίες όμως μπορεί να προκύψουν «νέες ιδιότητες». Μόνο εκείνες οι ιδιότητες που λειτουργούν σε κλίμακες μεγαλύτερες από το μέγεθος των αρχικών εικονοστοιχείων μπορούν να αποκαλυφθούν. Ως απόκριση στην εμφάνιση των νέων ιδιοτήτων αναμένονται αλλαγές στις αντίστοιχες λειτουργικές κλίμακες. Τέτοιες αλλαγές μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τις υπό μελέτη βιοφυσικές λειτουργίες, καθώς και με τις μεθόδους συνάθροισης που χρησιμοποιούνται (Quattrochi & Goodchild, 1997).

Η υψηλή ανάλυση μπορεί να αποκαλύψει την ετερογένεια των χωρικών προτύπων. Ένα εμφανές παράδειγμα αποτελεί η ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων, όπου είναι αναμενόμενο ότι η χρήση εικόνων διαφορετικής ανάλυσης θα οδηγήσει και σε διαφορετικά αποτελέσματα ταξινόμησης (π.χ. χρήση εικόνας με ανάλυση 5μ έναντι εικόνας 30μ). Είναι χαρακτηριστικό το παράδειγμα που δίνουν οι Lam και Quattrochi (1992): Έστω ότι σε μια περιοχή υπάρχουν

δέντρα ενός κωνοφόρου δάσους που ο κορμός τους έχει προσβληθεί από κάποια ασθένεια .Σε μικρή χωρική κλίμακα, τα μοτίβα των μολυσμένων μεμονωμένων δέντρων ή ομάδων δέντρων μέσα στο δάσος δεν θα είναι εμφανή, καθώς το μοτίβο των ασθενών δένδρων θα ενσωματώνεται ως μέρος του χωρικά ομοιογενούς κωνοφόρου δάσους. Σε μια μεγάλη γεωγραφική κλίμακα ωστόσο, ομάδες δένδρων που έχουν προσβληθεί θα εμφανίζονται ως μπαλώματα νεκρών δέντρων που μπορούν να διακριθούν εύκολα από άλλα δέντρα.

Όμως θα πρέπει να επισημανθεί ότι ακόμα και για μια συγκεκριμένη ανάλυση διαφορετικές χωρικές ενότητες (π.χ., διαφορετικοί τρόποι ομαδοποίησης) μπορεί να οδηγήσουν σε εντυπωσιακά διαφορετικά εμπειρικά ευρήματα (Openshaw & Taylor, 1979).

- Πρόβλημα Τροποποιούμενης Επιφανειακής Μονάδας (Modifiable Areal Unit Problem (MAUP))

Στην γεωγραφία, οι επιδράσεις της κλίμακας έχουν μελετηθεί για αρκετές δεκαετίες στο πλαίσιο του προβλήματος της τροποποιούμενης επιφανειακής μονάδας ή MAUP (Openshaw & Taylor, 1979; Openshaw, 1983; Jelinski & Wu, 1996; Marceau, 1999; Wu & Li, 2006). Οι Openshaw και Taylor (1979) παρείχαν αυτό που έχει γίνει το κλασικό παράδειγμα - το πρόβλημα MAUP, δείχνοντας ότι με την επανασυσσώματωση δεδομένων σε επίπεδο νομού της Αϊόβα μπορούσαν να παραχθούν συσχετίσεις που κυμαίνονταν από εξαιρετικά αρνητικές έως εξαιρετικά θετικές (Openshaw, 1983).

- Το πρόβλημα ζωνών (zoning)

Σύμφωνα με τους Jelinsky και Wu (1996) το MAUP έχει δύο συνιστώσες:

- Το πρόβλημα κλίμακας, το οποίο επικεντρώνεται στο πώς τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το μέγεθος των μονάδων παρατήρησης (εικονοστοιχεία στην τυπική ανάλυση τηλεπισκόπησης) το οποίο ποικίλλει.
- Το πρόβλημα ζωνών (ή συνάθροιση), το οποίο επικεντρώνεται στο πώς τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν καθώς το σχήμα, ο προσανατολισμός και η θέση των μονάδων ποικίλουν, ακόμη και αν ο αριθμός των μονάδων συσσωμάτωσης διατηρείται σταθερός (Jelinski & Wu, 1996).

Στην Τηλεπισκόπηση, η προσοχή συνήθως επικεντρώνεται στο πρόβλημα κλίμακας MAUP, και λιγότερο στο πρόβλημα ζωνοποίησης επειδή τα περισσότερα εικονοστοιχεία υποτίθεται ότι αντιπροσωπεύουν ένα παρόμοιο, περίπου τετράγωνο σχήμα² (Warner et al., 2009).

Σαφώς, και τα δύο προβλήματα κλίμακας και ζωνοποίηση MAUP ενδέχεται να είναι παρόντα όταν χρησιμοποιούνται βοηθητικά διανυσματικά δεδομένα σε μια ανάλυση με την χρήση τηλεπισκόπησης.

- Πρόβλημα εξαγωγής συμπερασμάτων πολλαπλών κλιμάκων (cross-scale inference) - «Οικολογική Πλάνη»

Το γεγονός ότι διαφορετικές χωρικές διαδικασίες λειτουργούν σε διαφορετικές κλίμακες, και συνεπώς οι ερμηνείες που βασίζονται σε δεδομένα μιας κλίμακας μπορεί να μην ισχύουν σε μια άλλη κλίμακα (Harvey, 1968; Stone, 1972), οδηγεί στο πρόβλημα εξαγωγής συμπερασμάτων πολλαπλών κλιμάκων (cross-scale inference) (King, 1997), που είναι στενά συνδεδεμένο με την κλιμάκωση.

Μπορεί να αναφέρεται στα προβλήματα που ανακύπτουν κατά την προσπάθεια συναγωγής της συμπεριφοράς ενός συστήματος σε μία κλίμακα από την παρατηρούμενη συμπεριφορά του σε μια άλλη, «χονδροειδέστερης» κλίμακας (Goodchild, 2011). Σε αυτή την περίπτωση ταυτίζεται με την γνωστή «οικολογική πλάνη» στην χωρική ανάλυση, όπου ένας ερευνητής υποθέτει ότι οι συσχετίσεις που παρατηρήθηκαν για τα σύνολα μπορούν να μεταφερθούν στο άτομο (Lam & Quattrochi, 1992; Warner et al., 2009; Goodchild, 2011) - προσέγγιση «από-πάνω- προς-τα-κάτω». Η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα παρατηρούμενα φαινόμενα σε διάφορες κλίμακες (κλιμάκωση) ή η χρήση υψηλότερης ανάλυσης από χαμηλότερης ανάλυσης δεδομένα, επιβεβαιώνουν επίσης αυτό το πρόβλημα (Lam & Quattrochi, 1992).

² Στην ενότητα 2.3.2.2 συζητείται ότι η τιμή του εικονοστοιχείου μπορεί να αναπαρασταθεί ορθότερα μέσα σε ένα τρισδιάστατο χώρο που αποτελεί την στήριξη, δίνοντας μια περιγραφή γιατί το σχήμα του εικονοστοιχείου υποτίθεται ότι είναι τετράγωνο.

2.2.6 Γιατί είναι σημαντική η κλίμακα;

- Μια αλλαγή της κλίμακας, θα έχει ως συνέπεια να αλλάξουν και οι στατιστικές σχέσεις μεταξύ των παρατηρούμενων χωρικών προτύπων.
- Όταν αλλάξει η κλίμακα μέτρησης μιας μεταβλητής του παρατηρούμενου χωρικού προτύπου, θα αλλάξει και η διακύμανση της μεταβλητής.
- Κρατώντας την έκταση σταθερή, μια αύξηση του «κόκκου» (ή μείωση της ανάλυσης) των μετρήσεων γενικά έχει την τάση να μειώνει την χωρική διακύμανση. Καθώς αυξάνεται ο «κόκκος» (ή το μέγεθος εικονοστοιχείου), περιέχεται μεγαλύτερο ποσοστό χωρικής ετερογένειας του συστήματος μέσα σε ένα δείγμα ή «κόκκο» και χάνεται στην ανάλυση, ενώ η μεταξύ «κόκκων» ετερογένεια (= διακύμανση) μειώνεται.
- Επιπλέον, κρατώντας σταθερό τον «κόκκο» (ή ανάλυση), μια αύξηση στην έκταση θα ενσωματώσει τυπικά μεγαλύτερη χωρική ανομοιογένεια, καθώς μία μεγαλύτερη ποικιλία τύπων ή στοιχείων του τοπίου θα περιλαμβάνεται εντός της περιοχής που μελετάται.
- Ομοίως, η αύξηση της χρονικής έκτασης θα ενσωματώσει μεγαλύτερη χρονική μεταβλητότητα, καθώς θα υπάρξει και ένα μεγαλύτερο εύρος συνθηκών.

Αυτές οι παρατηρήσεις έχουν σημαντικές συνέπειες για το χαρακτηρισμό των χωρικών προτύπων και τη συναγωγή των σχέσεων πρότυπο-διαδικασία, από τη στιγμή που υπάρχει μεγάλος βαθμός εξάρτησης στην έννοια της διακύμανσης.

2.3 Δεδομένα Τηλεπισκόπησης

Σε ολόκληρη σχεδόν τη γεωγραφική έρευνα, είναι απαραίτητο όχι μόνο να επιλεγεί η γεωγραφική περιοχή μελέτης (γεωγραφική κλίμακα) αλλά επίσης και η κλίμακα μέτρησης ή αλλιώς η ανάλυση των δεδομένων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν (Sheppard & McMaster, 2004).

Κάτι που είναι πιο εύκολα να επεξηγηθεί με την χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης, καθώς η μελέτη για παράδειγμα των χρήσεων / κάλυψης γης σε μια συγκεκριμένη χωρική κλίμακα, μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικές χωρικές αναλύσεις των δεδομένων (Sheppard & McMaster, 2004). Επιπλέον, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων τόσο των δεδομένων διαστημικών αισθητήρων όσο και των εναέριων, ποικίλλουν σε χωρικές, ραδιομετρικές, φασματικές και χρονικές αναλύσεις (Lu & Weng, 2007).

Η κατανόηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των διαφόρων τύπων δεδομένων είναι απαραίτητη για την επιλογή των κατάλληλων τηλεπισκοπικών δεδομένων (Lu & Weng, 2007), που αποτελεί το πρώτο βήμα για μια επιτυχή έρευνα με την χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων (Phinn, 1998; Phinn et al., 2000; Lefsky & Cohen, 2003; Lu & Weng, 2007).

Από την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου παρατήρησης της γης, ERTS (που αργότερα μετονομάστηκε σε Landsat-1) το 1972, ξεκίνησε η πρόοδος στην τεχνολογία των αισθητήρων. Από την δεκαετία του 1980 άρχισαν να γίνονται διαθέσιμα δεδομένα τηλεπισκόπησης σε ολοένα και πιο λεπτές χωρικές αναλύσεις (Cushnie, 1987), και η αύξηση της ανάλυσης των εικόνων απασχόλησε από νωρίς τους ερευνητές. Σε δημοσιευμένες εργασίες της εποχής συγκρίνεται το στιγμιαίο οπτικό πεδίο του Πολυφασματικού Σαρωτή (MSS) των 80 μ, με αυτό του θεματικού χαρτογράφου (TM) των 30 μ, και του αισθητήρα Υψηλής ανάλυσης στο ορατό (High Resolution Visible HRV) του SPOT με 20 μ στην πολυφασματική (XS) ή 10m στην παγχρωματική (P) λειτουργία (Cushnie, 1987).

Κατά την περίοδο των τεσσάρων δεκαετιών από την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου παρατήρησης της γης το 1972, η σειρά των δορυφόρων Landsat έχει καταγράψει σχεδόν 4,5 εκατομμύρια σκηνές εικόνων πάνω από την ξηρά και συνεχίζει (η τελευταία σειρά του Landsat-8, άρχισε να αποκτά εικόνες στις 18 Μαρτίου 2013) (Yu et al., 2014), ενώ από τότε έχουν εκτοξευθεί και χιλιάδες άλλοι δορυφόροι για την παρατήρηση των δυναμικών του εδάφους (Belward & Skoien, 2015).

Ταυτόχρονα έχει σημειωθεί και μια ουσιαστική πρόοδος στις τεχνολογίες των αισθητήρων (Clark et al., 2004; Kohl et al., 2006; Schowengerdt, 2007; Yu et al., 2014), και σήμερα είναι διαθέσιμη μια μεγάλη ποικιλία εικόνων μέσης και υψηλής ανάλυσης από διαφορετικούς αισθητήρες (Clark et al., 2004; Warner et al., 2009; Sheng et al., 2011).

Καθώς ο αριθμός των δορυφόρων παρατήρησης της Γης πολλαπλασιάζεται (Belward & Skoien, 2015), αυξάνονται και οι διαθέσιμες επιλογές για την προμήθεια κατάλληλων τηλεπισκοπικών δεδομένων για μια συγκεκριμένη έρευνα (Blaschke et al., 2004; Lu & Weng, 2007). Ωστόσο, ενώ σήμερα διατίθεται ένα ευρύ φάσμα δεδομένων, κατά ένα ειρωνικό τρόπο η επιλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι πιο δύσκολη από ό, τι στο παρελθόν (Chen et al., 2004; Warner et al., 2009).

Κατά το παρελθόν, λίγα τηλεπισκοπικά σύνολα δεδομένων ήταν διαθέσιμα, με αποτέλεσμα, οι ιδιότητες των διαθέσιμων δεδομένων να οδηγούν στον προσδιορισμό και τη φύση των προβλημάτων που θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν (Warner et al., 2009). Αξίζει να σημειωθεί ότι η χωρική ανάλυση των αισθητήρων επί του σκάφους των δορυφόρων έχει αυξηθεί από τα 80 m του Landsat-1 σε 0.41 m του GeoEye-1 (Orbview-5) (Yu et al., 2014). Η φασματική συχνότητα δειγματοληψίας έχει αυξηθεί σχεδόν 100 φορές, από μερικές φασματικές ζώνες σε μερικές χιλιάδες ζώνες (Schowengerdt, 2007; Yu et al., 2014). Πλέον έχουμε στην διάθεσή μας δεδομένα με διαφορετικές χωρικές αναλύσεις, εύρος ζωνών (bandwidth) και λειτουργίες φασματικής απόκρισης που δεν είναι κοινές για όλους του αισθητήρες (Wu & Li, 2009) με αποτέλεσμα να θεωρούνται ένα είδος "χειροποίητου" εξοπλισμού (Lu & Weng, 2007). Το γεγονός αυτό οδηγεί στην προηγούμενη ανάλυση των διαφορών μεταξύ των δεδομένων από διαφορετικούς αισθητήρες προκυμμένου να οδηγηθεί κανείς στην επιλογή των πιο κατάλληλων δεδομένων για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Έτσι, όπως οι Warner κ.α. (2009) επισημαίνουν, ενώ ένα σημαντικό μέρος της πρόωρης έρευνας στην Τηλεπισκόπηση με την χρήση του ERTS, ήταν απλώς να θέσουμε το ερώτημα, «Τι μπορούμε να κάνουμε με αυτά τα νέα δεδομένα;», σήμερα έχουμε μια απέραντη δεξαμενή δεδομένων τηλεπισκόπησης για να επιλέξουμε, και έτσι έχει προκύψει ένα νέο πρόβλημα: «Πώς μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που χρησιμοποιούμε, έτσι ώστε αυτά να είναι πιο αποτελεσματικά για μια συγκεκριμένη εφαρμογή ή για ένα ερευνητικό πρόβλημα; (Warner et al., 2009). Η σύνδεση όμως των απαιτούμενων πληροφοριών με την επιλογή δεδομένων παραμένει πρωταρχικής σημασίας (White et al., 2016).

Σε γενικές γραμμές, ο ορισμός ενός βέλτιστου συνόλου δεδομένων εξαρτάται εξ ολοκλήρου από τους στόχους της εφαρμογής όσον αφορά στις προδιαγραφές αξιοπιστίας ή ακρίβειας, από το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης για την οποία προορίζονται τα δεδομένα (Warner et al., 2009; Wu & Li, 2009; Lu & Weng, 2007), αν δεν ληφθούν υπόψη άλλοι παράγοντες που συνδέονται με το κόστος, τις κλιματολογικές συνθήκες (ιδιαίτερα ατμοσφαιρικές) τους χρονικούς περιορισμούς, το ανθρώπινο δυναμικό και τα τεχνικά

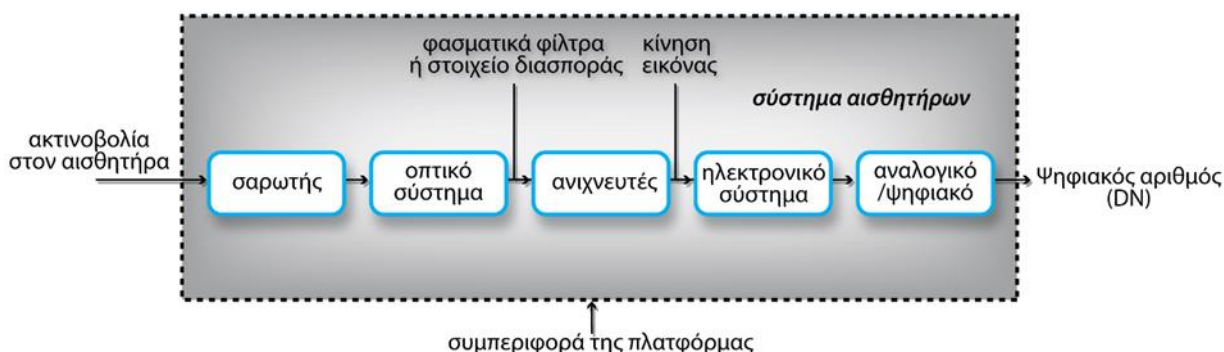
ζητήματα ερμηνείας της εικόνας (Franklin & Wulder, 2002; Lu & Weng, 2007; Xie et al., 2008; Deng et al., 2008; Wu & Li, 2009; Adam et al., 2014; de Klerk et al., 2016).

Έτσι εάν τα κριτήρια επιλογής περιοριστούν στους στόχους της εφαρμογής και στο μέγεθος και τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης τότε η επιλογή των καταλληλότερων δεδομένων θα εξαρτηθεί από τη σχέση μεταξύ του σκοπού της έρευνας και της ανάλυσης και έκτασης των διαθέσιμων εικόνων (Key et al., 2001). Η ανάλυση και η έκταση στην Τηλεπισκόπηση δεν είναι απλώς χωρικά χαρακτηριστικά, αλλά ενσωματώνουν και φασματικά, χρονικά, και ραδιομετρικά χαρακτηριστικά (Key et al., 2001).

2.3.1 Ψηφιακή Εικόνα: το «παράθυρο» μέσα από το οποίο παρατηρούμε τη Γη

Η περιγραφή σχετικά με τα χαρακτηριστικά των ψηφιακών εικόνων, θα επικεντρωθεί στον τύπο σάρωσης από παθητικούς οπτικούς αισθητήρες. Γενικά, οι λεπτομέρειες της κατασκευής ενός αισθητήρα και των στοιχείων του, ποικίλουν με τα μήκη κύματος ενώ οι διαστάσεις των οπτικών συστημάτων και των ανιχνευτών εξαρτώνται από τους περιορισμούς της μηχανικής για συγκεκριμένες φασματικές περιοχές, όμως όσον αφορά στον παραπάνω τύπο ανιχνευτών αυτοί λειτουργούν με τις ίδιες αρχές της οπτικής μεταφοράς ακτινοβολίας, σχηματισμού εικόνας και ανίχνευσης φωτονίων (Schowengerdt, 2007).

Ένας ηλεκτρο-οπτικός αισθητήρας μπορεί να μοντελοποιηθεί μέσω των διεργασιών που φαίνονται στο Σχήμα 2.6. Παρά το γεγονός ότι η συμπεριφορά της πλατφόρμας είναι εξωτερική από καθαυτό τον αισθητήρα, έχει σημαντικές επιπτώσεις στα τελικά χαρακτηριστικά και ποιότητα της εικόνας (Schowengerdt, 2007).



Σχήμα 2.6 Τα κύρια στοιχεία σε ένα σύστημα ηλεκτρο-οπτικής τηλεπισκόπησης (τύπος συστήματος whiskbroom) (πηγή (Schowengerdt, 2007))

Η λειτουργία σάρωσης αρχικά μετατρέπει την χωρική ακτινοβολία που φτάνει στον αισθητήρα σε ένα συνεχές χρονικά μεταβαλλόμενο οπτικό σήμα, το οποίο στους ανιχνευτές μετατρέπεται σε ένα συνεχές χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρονικό σήμα, το οποίο ενισχύεται

και υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία από τα ηλεκτρονικά του αισθητήρα. Τέλος, μέσω του μετατροπέα Αναλογικό / Ψηφιακό (Analog/Digital - A/D), πραγματοποιείται δειγματοληψία του επεξεργασμένου σήματος στο χρόνο και κβάντιση του σε διακριτές ψηφιακές τιμές DN (Digital Numbers), που αντιπροσωπεύουν τα εικονοστοιχεία της ψηφιακής εικόνας.

Η τιμή DN αντιπροσωπεύει ένα ψηφιακό αριθμό ο οποίος είναι ανοιγμένη τιμή της εκπεμπόμενης ενέργειας E_i σε Wm^{-2} και υπολογίζεται:

$$DN = \frac{E_{\min} + E_i}{E_{\min} + E_{\max}} 2^n \quad (1)$$

Όπου E_{\max}, E_{\min} η μέγιστη και ελάχιστη τιμή που μπορεί ο ανιχνευτής του δέκτη να καταγράψει,

E_i η τιμή που καταγράφεται στο συγκεκριμένο εικονοστοιχείο,

n το δυναμικό εύρος σε bits.

Ένα εικονοστοιχείο δημιουργείται κάθε φορά που το σύστημα αισθητήρων πραγματοποιεί ηλεκτρονικά δειγματοληψία στη συνεχή ροή δεδομένων που παρέχονται από τη σάρωση (Schowengerdt, 2007). Η ψηφιακή εικόνα αποτελείται από τα σημεία των ψηφιακών αριθμών, διατεταγμένα σε πεπερασμένο αριθμό γραμμών και στηλών έτσι ώστε να δημιουργούνται εικονοστοιχεία. Κάθε διακριτό εικονοστοιχείο αντιπροσωπεύει τη μέση ακτινοβολία, ένα μέσο όρο σε κάθε μια από τις τρεις διαστάσεις: του χώρου, του μήκους κύματος, και του χρόνου της αντίστοιχης περιοχής εντός της εν λόγω σκηνής (Kohl et al., 2006; Schowengerdt, 2007). Με άλλα λόγια ο αισθητήρας μετατρέπει την ακτινοβολία (που αντανακλάται και / ή εκπέμπεται) σε μια ψηφιακή εικόνα χωρικής κατανομής της ακτινοβολίας (Schowengerdt, 2007).

2.3.1.1 Ανάλυση της ψηφιακής εικόνας : η κλίμακα μέτρησης των δορυφορικών παρατηρήσεων

Καμία άλλη ιδιότητα των τηλεπισκοπικών εικόνων δεν αναφέρεται περισσότερο από την ανάλυση, και ταυτόχρονα με εσφαλμένη χρήση (Schowengerdt, 2007). Δεδομένου ότι οι παρατηρήσεις που λαμβάνουμε από τα συστήματα τηλεπισκόπησης είναι πιο εξειδικευμένες μέθοδοι μέτρησης σε σύγκριση με τις συμβατικές, καθώς περιλαμβάνουν φασματικές, χωρικές και χρονικές μετρήσεις, ενώ επιπλέον περιλαμβάνουν και μια αριθμητική ανάλυση που σχετίζεται με τα ίδια τα δεδομένα λόγω της ραδιομετρικής κβάντισης, ο όρος «ανάλυση» παρόλο που αποπνέει μια ισχυρά εύληπτη έννοια, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ποσοτικά

(Lausch & Herzog, 2002; Dungan et al., 2002; Schowengerdt, 2007; Wu & Li, 2009; Warner et al., 2009). Στην ενότητα αυτή θα συζητηθεί η έννοια της ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων ως μια ιδιότητα που περιλαμβάνει τα στοιχεία και συστατικά της κλίμακας.

Ο όρος ανάλυση όπως ήδη έχει αναφερθεί (σελ. 24) προσδιορίζει την ακρίβεια της μέτρησης. Αναφέρεται στο μέγεθος της μικρότερης μονάδας δειγματοληψίας ή των μονάδων δειγματοληψίας, στα μικρότερα διακριτά τμήματα ενός αντικειμένου ή μιας ακολουθίας αντικειμένων και συχνά καθορίζεται από την ικανότητα του οργάνου καταγραφής (Lam & Quattrochi, 1992; Lam, 2004). Η ανάλυση των ψηφιακών εικόνων εξαρτάται σαφώς από τον αισθητήρα και την πλατφόρμα (Kohl et al., 2006), καθώς σχετίζεται με την απόκριση και την διακριτική ικανότητα των δορυφορικών δεκτών (χωρική, ραδιομετρική και φασματική).

Έτσι, στις τηλεπισκοπικές εικόνες η ανάλυση ή κλίμακα μέτρησης αναφέρεται: χωρικά - σε διακριτά στοιχεία της εικόνας ή εικονοστοιχεία, ραδιομετρικά - σε φωτεινότητα η οποία βαθμιδοποιείται σε διακριτά επίπεδα, και φασματικά - στο μήκος κύματος, ή φάσμα μηκών κύματος, δηλαδή στο πλήθος και το εύρος των φασματικών ζωνών που έχει δυνατότητα να καταγράψει ο δέκτης κατά τη διαδικασία λήψης της εικόνας (Richards, 2013). Οι φασματικές ζώνες λέγονται και κανάλια καθώς και μπάντες (Χατζόπουλος, 2012).

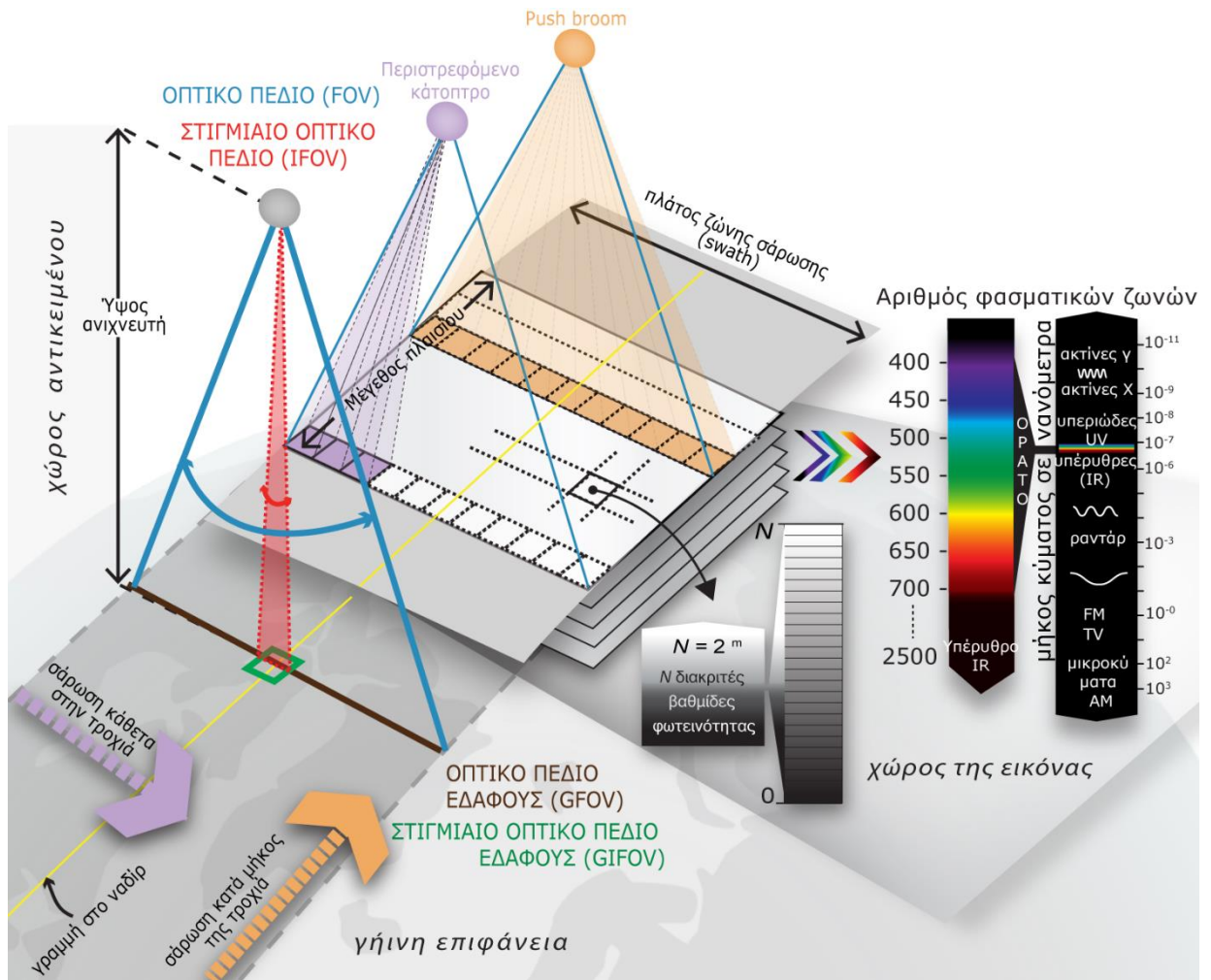
2.3.2 Κλίμακα παρατήρησης στην Τηλεπισκόπηση: ο πληθυσμός χωρικής δειγματοληψίας

Οι περισσότερες εικόνες καταγράφονται σε μια συνεχή λωρίδα καθώς η πλατφόρμα ανίχνευσης ταξιδεύει προς τα εμπρός κατά μήκος της δορυφορικής τροχιάς (Richards, 2013). Για όλους τους τύπους σαρωτών η συνολική περιοχή μέσα στην οποία γίνονται οι μετρήσεις ή οι παρατηρήσεις, καθορίζεται από το οπτικό πεδίο ή πεδίο όρασης (Field Of View - FOV) του αισθητήρα (Εικόνα 2.2) που είναι η πλήρης κάθετα της τροχιάς οπτική γωνιακή κάλυψη ή ανάλυση του σε όλη την επιφάνεια της γης (Richards, 2013; Schowengerdt, 2007).

Όταν η γωνία αυτή προβάλλεται πάνω στην γήινη επιφάνεια ορίζει το πλάτος των ισοδύναμων χιλιομέτρων εδάφους της λωρίδας/ζώνης (swath) της εικόνας, δηλαδή την έκταση ή κλίμακα παρατήρησης ή τη συνολική κάλυψη της περιοχής σάρωσης. Το οπτικό πεδίο εδάφους ή χωρικό οπτικό πεδίο (Ground-projected Field Of View - GFOV) είναι συνώνυμο του πλάτους της λωρίδας/ζώνης swath ενώ μερικές φορές αναφέρεται και ως το αποτύπωμα του αισθητήρα (Εικόνα 2.2 Ορισμός των βασικών παραμέτρων ενός σαρωτή και απεικόνιση δύο μεθόδων σάρωσης και των τεχνικών χαρακτηριστικών της ψηφιακής εικόνας).

Με άλλα λόγια η έκταση σάρωσης ή κλίμακα παρατήρησης της γήινης επιφάνειας ή αλλιώς η τηλεπισκοπική σκηνή αποτελεί τον χώρο των εικονοστοιχείων μιας εικόνας (Kohl et al., 2006),

και αντιπροσωπεύει την περιοχή μέσα στην οποία καθορίζεται ο πληθυσμός της χωρικής δειγματοληψίας ή το μέγεθος του δείγματος των μετρήσεων του αισθητήρα, ενώ ταυτόχρονα είναι και η κάλυψη, δηλαδή η πυκνότητα της χωρικής δειγματοληψίας. Στην Τηλεπισκόπηση η χωρική κάλυψη είναι ταυτόσημη με την έκταση καθώς ο λόγος της περιοχής δειγματοληψίας προς την έκταση της περιοχής σάρωσης είναι 1/1.



Εικόνα 2.2 Ορισμός των βασικών παραμέτρων ενός σαρωτή και απεικόνιση δύο μεθόδων σάρωσης και των τεχνικών χαρακτηριστικών της ψηφιακής εικόνας

Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζονται οι βασικές γεωμετρικές παράμετροι σάρωσης, καθώς και οι τύποι σάρωσης κάθετα και κατά μήκος της κατεύθυνσης τροχιάς της πλατφόρμας (ενός μόνο στοιχείου ανιχνευτή για κάθε οπτικό αισθητήρα). Η εικόνα δείχνει τη ζώνη σάρωσης να κεντράρεται στη γραμμή ναδίρ. Αν και αυτός είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος, θα μπορούσε επίσης να τοποθετηθεί προς την άκρη της γραμμής ναδίρ. Τα μεγάλα χρωματισμένα βέλη αντιπροσωπεύουν την κίνηση (στην κατεύθυνση κάθετα και κατά μήκος της δορυφορικής τροχιάς) σε σχέση με μια σταθερή γη. Στην πραγματικότητα, η γη περιστρέφεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σάρωσης, περίπου στη κάθετη της σάρωσης κατεύθυνση, δεδομένου ότι τα περισσότερα δορυφορικά συστήματα τηλεπισκόπησης είναι σε σχεδόν

πολική τροχιά. Αυτό οδηγεί σε μια παραμόρφωση ανατολής-δύσης στην επιφάνεια κάλυψης της πλήρους σκηνής. Τέλος ο τρόπος δημιουργίας του πλέγματος των εικονοστοιχείων της ψηφιακής εικόνας απεικονίζεται να επιτυγχάνεται είτε με την σάρωση στην κατεύθυνση κάθετα είτε κατά μήκος της τροχιάς, ενώ επίσης ορίζεται η ραδιομετρική και φασματική κλίμακα μιας πολυφασματικής εικόνας. Τα διακριτά πολυφασματικά κανάλια σε έναν οπτικό αισθητήρα δημιουργούνται συνήθως με την κατάτμηση της οπτικής δέσμης σε πολλαπλές διαδρομές και με την παρεμβολή διαφορετικών φασματικών φίλτρων σε κάθε διαδρομή ή απευθείας στους ανιχνευτές (Schowengerdt, 2007).

2.3.2.1 Η εγγενής κλίμακα ενός συστήματος τηλεπισκόπησης

2.3.2.1.1 Μέγεθος της μικρότερης χωρικής μονάδας δειγματοληψίας του αισθητήρα και η μικρότερη μονάδα («κόκκος») της ψηφιακής εικόνας

Οι μικρότερες χωρικές μονάδες δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται για την συγκέντρωση μιας σειράς παρατηρήσεων (δηλαδή ο κόκκος Marceau (1999)) εντός του πεδίου όρασης ενός αισθητήρα, είναι συνάρτηση του στιγμιαίου οπτικού πεδίου ή στιγμιαίου πεδίου όρασης (instantaneous field of view - IFOV) του συστήματος.

Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο του αισθητήρα είναι το γωνιακό οπτικό πεδίο του, η καλύτερη γωνιακή ανάλυση του αισθητήρα, ανεξάρτητα από το ύψος του, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2 και είναι ένα σχετικό μέτρο, διότι είναι μια γωνία και όχι ένα μήκος. Όταν όμως προβάλλεται πάνω στην επιφάνεια της γης, στο υψόμετρο λειτουργίας της πλατφόρμας, αντιπροσωπεύει την ορατή και καταγραφόμενη από τον αισθητήρα έκταση επιφανείας σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, όπως επιλύεται (συνέλιξη) από τα οπτικά του αισθητήρα (Forshaw et al., 1983).

Το προβαλλόμενο στο έδαφος στιγμιαίο οπτικό πεδίο (Ground-projected Instantaneous Field of View - GIFOV) εξαρτάται από το ύψος του δορυφόρου ($GIFOV = 2H * \tan \frac{IFOV}{2}$). Προσδιορίζει την πραγματική διάσταση στην επιφάνεια της γης σε ισοδύναμες μονάδες μέτρου (Kohl et al., 2006; Richards, 2013), καθώς αποτελεί την γεωμετρική προβολή του πλάτους (w), ενός ενιαίου ανιχνευτή πάνω στην επιφάνεια της γης (Schowengerdt, 2007). Κατά συνέπεια αντιστοιχεί στην ελάχιστη επιφάνεια γης που μπορεί ένας δέκτης στοιχειωδώς να καταγράψει και είναι το μέγεθος των επιμέρους μονάδων της δειγματοληψίας ή ανάλυσης της εικόνας. Πολλές φορές είναι αυτό που ονομάζουμε ανάλυση εδάφους ή χωρική ανάλυση και χρησιμοποιείται συχνά ως η ανάλυση του συστήματος (Lillesand et al., 2014).

2.3.2.1.2 Σύστημα/καθεστώς και διάστημα δειγματοληψίας

Η απόσταση όμως μεταξύ των γειτονικών μονάδων δειγματοληψίας, (δηλαδή το διάστημα ή υστέρηση μεταξύ των γειτονικών μονάδων δειγματοληψίας ή ανάλυσης σελ. 26) στο έδαφος σε μια ψηφιακή εικόνα (σαρωτή) δεν είναι απαραίτητα ακριβώς ίση με τις διαστάσεις του προβαλλόμενου πάνω στο έδαφος στιγμιαίου οπτικού πεδίου (Lillesand et al., 2014). Το προβαλλόμενο στο έδαφος διάστημα δειγματοληψίας (Ground-projected Sample Interval - GSI) ή όπως αλλιώς ονομάζεται η απόσταση δειγματοληψίας εδάφους/χωρικής δειγματοληψίας (Ground Sample Distance - GSD), ορίζεται από το καθεστώς ή σύστημα δειγματοληψίας (σελ. 26). Το διάστημα ή απόσταση χωρικής δειγματοληψίας ορίζει και την πυκνότητα δειγματοληψίας.

Χωρικά το καθεστώς της δειγματοληψίας των χωρικών κελιών θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ορίζεται κατά κύριο λόγο από τον τρόπο σάρωσης του αισθητήρα, που μπορεί να είναι είτε κάθετα στην τροχιά (Cross-track) είτε κατά μήκος της τροχιάς (Along-track scanner - «Pushbroom»). (Εικόνα 2.2). Τα διαστήματα δειγματοληψίας κάθετα και κατά μήκος της τροχιάς καθορίζονται από τους ρυθμούς δειγματοληψίας κάθετα και κατά μήκος της τροχιάς αντίστοιχα, και την ταχύτητα της πλατφόρμας κατά μήκος της τροχιάς (Schowengerdt, 2007).

Η κοινή πρακτική είναι ο σχεδιασμός των ρυθμών δειγματοληψίας να ορίζει το διάστημα δειγματοληψίας έτσι ώστε να ισούται με το GIFOV ενός ενιαίου ανιχνευτή (στο ναδίρ) με αποτέλεσμα τα χωρικά κελιά σάρωσης να εφάπτονται τόσο κατά μήκος της σάρωσης όσο και κάθετα σε αυτήν (Schowengerdt, 2007). Μερικά συστήματα όμως έχουν ένα υψηλότερο ρυθμό δείγματος κάθετα της τροχιάς που οδηγεί σε επικάλυψη των GIFOV (π.χ. Landsat MSS, AVHRR, KLM).

Πίνακας 2.4 Στοιχεία χωρικής κλίμακας δορυφορικών εικόνων

Όρος	Περιγραφή	Ορισμός
Κλίμακα παρατήρησης - Γεωμετρικές Παράμετροι Σάρωσης		
Οπτικό πεδίο ή πεδίο όρασης (Field Of View-FOV) (ακτίνια)	η πλήρης κάθετα της τροχιάς οπτική γωνιακή κάλυψη ή ανάλυση - χρησιμοποιείται από τους σχεδιαστές του συστήματος	έκταση ή κλίμακα παρατήρησης ή συνολική κάλυψη της περιοχής σάρωσης
Οπτικό πεδίο εδάφους ή χωρικό οπτικό πεδίο (Ground-projected Field Of View -GFOV) (χλμ.)	Η προβολή του FOV πάνω στην γήινη επιφάνεια - χρησιμοποιείται από τους χρήστες των δεδομένων πλάτος της λωρίδας (swath) σάρωσης, αποτύπωμα του αισθητήρα	Περιοχή που καθορίζει τον πληθυσμό ή την πυκνότητα της χωρικής δειγματοληψίας των μετρήσεων του αισθητήρα
Η εγγενής κλίμακα του συστήματος τηλεπισκόπησης - Μικρότερη χωρική μονάδα δειγματοληψίας («κόκκος») - Γεωμετρικές Παράμετροι εικονοστοιχείου -		
Στιγμιαίο οπτικό πεδίο ή στιγμιαίο πεδίο όρασης (Instantaneous Field Of View - IFOV)(ακτίνια)	η καλύτερη γωνιακή ανάλυση του αισθητήρα, ανεξάρτητα από το ύψος του	Καθορίζει τις μικρότερες δυνατές χωρικές μονάδες δειγματοληψίας

Στιγμαίο οπτικό πεδίο εδάφους ή χωρικό στιγμιαίο πεδίο όρασης (Ground-projected Instantaneous Field Of View (GIFOV) (μ.)	Η πραγματική διάσταση στην επιφάνεια της γης που μπορεί ένας δέκτης στοιχειωδώς να καταγράψει (στο ναδίρ) σε μια δεδομένη χρονική - γεωμετρική προβολή, καθορίζει γεωμετρικά την «χωρική ανάλυση»	Το μέγεθος των επιμέρους μονάδων της δειγματοληψίας ή ανάλυσης
Διάστημα χωρικής δειγματοληψίας (Ground-projected Sample Interval -GSI)	προβαλλόμενο στο έδαφος διάστημα δειγματοληψίας (στο ναδίρ) - καθορίζει γεωμετρικά την «χωρική ανάλυση»	Η απόσταση μεταξύ των γειτονικών χωρικών μονάδων δειγματοληψίας (κελιών)
Απόσταση δειγματοληψίας εδάφους απόσταση χωρικής δειγματοληψίας (Ground Sample Distance - GSD)		

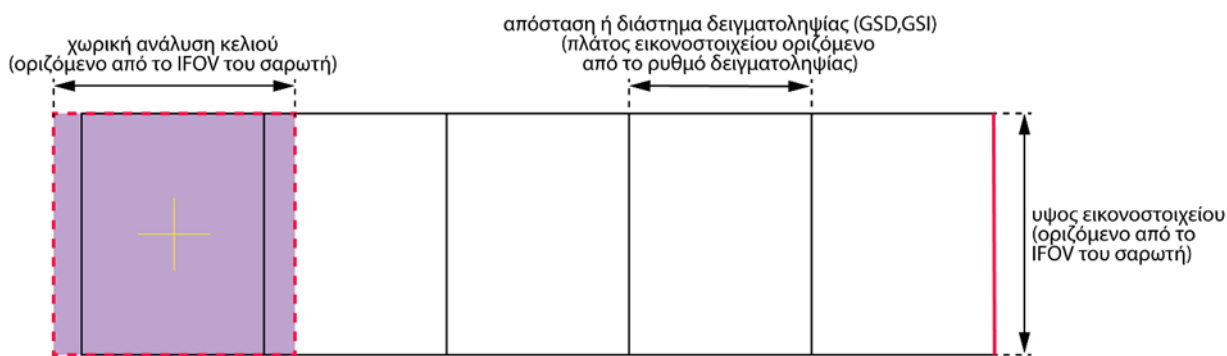
- Συστήματα σάρωσης κάθετα στην τροχιά (Cross-track)

Η σάρωση κάθετα στην τροχιά πραγματοποιείται από ένα περιστρεφόμενο πολλές φορές ταλαντευόμενο καθρέπτη, και τα συστήματα που την χρησιμοποιούν ανήκουν στα συστήματα οπτικομηχανικής σάρωσης (Χατζόπουλος, 2012). Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων σάρωσης είναι τα όργανα του Landsat (ο Πολυφασματικής Σαρωτής (MSS) και οι Θεματικοί Χαρτογράφοι (TM) και (ETM +)), των GOES, MODIS, AVHRR, SPOT Vegetation Instrument κ.α.

Το σύστημα αυτό μπορεί να φέρει μια γραμμική συστοιχία (ένα μόνο στοιχείο ανιχνευτή για να σαρώσει όλη τη σκηνή) ή μια παράταξη ανιχνευτών (που είναι τοποθετημένοι στο κέντρο ακριβώς κάτω από την πλατφόρμα, δηλαδή στο «ναδίρ») έτσι ώστε κάθε σάρωση (φασματικής ζώνης) να καλύπτει μια σειρά από κάθετες στην τροχιά ή λωρίδα σάρωσης γραμμές αντί για μόνο μία ώστε να επιτευχθεί παράλληλη σάρωση κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου σάρωσης του καθρέπτη. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα απεικόνισης είναι γνωστό ως σαρωτής whiskbroom (μεταφερόμενη σάρωση) (π.χ. Landsat TM με συστοιχία 16 ανιχνευτών της ίδιας φασματικής ζώνης).

Η εικόνα δημιουργείται από την κίνηση του δορυφόρου κατά μήκος της τροχιακής διαδρομής και με σάρωση κάθετα σε αυτή. Συνήθως το μέσο καταγραφής έχει ένα ευρύ οπτικό πεδίο (FOV), ενώ κάθε χωρικό κελί (GIFOV) σκανάρεται ένα-προς-ένα από πίσω προς τα μπρος κάθετα στην λωρίδα σάρωσης του αισθητήρα, με αποτέλεσμα το μέγεθος του κελιού να ποικίλλει ανάλογα με τη γωνία σάρωσης (συνήθως μπορεί να αυξάνεται στις κατευθύνσεις εκτός ναδίρ) αφού το IFOV είναι αυτό που καθορίζει το μέγεθος του κελιού.

Έτσι, το μέγεθος του κελιού στο έδαφος ή η απόσταση δειγματοληψίας εδάφους καθορίζεται από το χρονικό διάστημα της δειγματοληψίας ΔT (Lillesand et al., 2014). Κατά συνέπεια, οι γραμμικές διαστάσεις του εικονοστοιχείου διαμορφώνονται ως εξής: το πλάτος του εικονοστοιχείου θα είναι μια συνάρτηση μεταξύ του ρυθμού περιστροφής του καθρέπτη και του IFOV, ενώ το μήκος του μία συνάρτηση του IFOV, της ταχύτητας του αισθητήρα και του ρυθμού δειγματοληψίας.



Εικόνα 2.3 Γενική ιδέα της απόστασης δειγματοληψίας
(η εδαφική/χωρική ανάλυση του κελιού ισχύει για το ναδίρ, πηγή (Lillesand et al., 2014))

Στην Εικόνα 2.3 παρουσιάζεται η εδαφική/χωρική ανάλυση του κελιού (Ground resolution cell) που καθορίζεται από το στιγμιαίο οπτικό πεδίο του σαρωτή και η εδαφική απόσταση δειγματοληψίας (πλάτος εικονοστοιχείου που καθορίζεται από το ρυθμό δειγματοληψίας) (Lillesand et al., 2014).

- Συστήματα κατά μήκος σάρωσης (Along-track scanner - «Pushbroom»)

Οι σαρωτές αυτοί, έχουν μια γραμμική διάταξη χιλιάδων ανιχνευτών (pushbroom), που είναι ευθυγραμμισμένοι κάθετα στην τροχιά σάρωσης, η οποία σαρώνει όλο το πλάτος των συλλεχθέντων δεδομένων εν παραλλήλω, κάθετα στην τροχιά την ίδια στιγμή καθώς η πλατφόρμα κινείται (Schowengerdt, 2007). Η εικόνα δημιουργείται από την κίνηση του δορυφόρου κατά μήκος της τροχιακής διαδρομής του και το πλάτος της εικόνας (σε pixels) ισούται με τον αριθμό των ανιχνευτών. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι του SPOT HRV, Landsat-8 και οι κάμερες των ASTER, MERIS, ALI, IKONOS, MTI QuickBird κ.α.

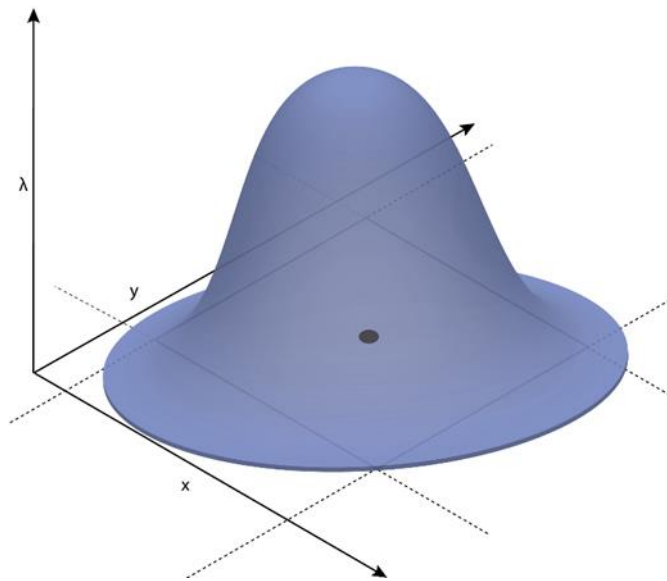
Οι αισθητήρες των συστημάτων κατά μήκος σάρωσης δεν χρησιμοποιούν οπτικο-μηχανική συσκευή και δεν έχουν κινούμενα μέρη. Η ακτινοβολία πέφτει απευθείας στη συστοιχία συσκευών συζευγμένου φορτίου (charge-coupled devices - CCD), η οποία βαθμονομεί την εκλαμβανόμενη ενέργεια και την μετατρέπει σε ψηφιακές μετρήσεις (Jong & Meer, 2004; Lillesand et al., 2014). Η ενέργεια καταγράφεται σε μία σειρά (στήλη) εικονοστοιχείων και σε μία σειρά ανά φασματική ζώνη (συστοιχία γραμμών, στην περίπτωση πολυφασματικών δεδομένων - συνδυάζει μια γραμμική συστοιχία pushbroom με ένα στοιχείο διασποράς (dispersing element)) (Lillesand et al., 2014). Τα μεγέθη των εικονοστοιχείων αντιστοιχούν στα κύτταρα CCD (ανιχνευτές της κάμερας που κατέλαβε τις εικόνες). Συνήθως, οι δορυφορικοί αισθητήρες pushbroom έχουν τετράγωνα εικονοστοιχεία στο φακό της κάμερας, πράγμα που σημαίνει ότι το μέγεθος τους είναι το ίδιο στην διάσταση x και y.

Αυτή η μέθοδος επιτρέπει ανίχνευση ενέργειας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (μεγαλύτερος χρόνος παραμονής του ανιχνευτή από ότι με τον σαρωτή κάθετης τροχιάς) και ως εκ τούτου οδηγεί σε μεγαλύτερα επίπεδα σήματος (μεγαλύτερος χρόνος δειγματοληψίας) και σε ένα στενότερο εύρος ζώνης παρατήρησης. Ως αποτέλεσμα έχουμε αύξηση της ραδιομετρικής ανάλυσης ή της δυνατότητας να εντοπιστούν πολύ μικρές διαφορές ενέργειας (Lillesand et al., 2014).

Η GSD στην κατεύθυνση κάθετα της τροχιάς σάρωσης ορίζεται από το IFOV ενός ενιαίου ανιχνευτή (Lillesand et al., 2014). Κατά μήκος της σάρωσης καθορίζεται και πάλι από το ρυθμό δειγματοληψίας ή χρόνο δειγματοληψίας ΔT και την ταχύτητα της πλατφόρμας (Schowengerdt, 2007; Kresse & Danko, 2012; Lillesand et al., 2014). Έτσι, το πλάτος του εικονοστοιχείου της εικόνας θα εξαρτάται από το IFOV του ανιχνευτή το οποίο διατηρείται ίδιο σε όλο το οπτικό πεδίο (FOV) αν αγνοηθεί η καμπυλότητα της γης, ενώ το μήκος θα εξαρτάται από την συνάρτηση της ταχύτητας του στιγμιαίου οπτικού πεδίου προς τα εμπρός (με την κίνηση της πλατφόρμας) και του ρυθμού δειγματοληψίας του ανιχνευτή.

2.3.2.2 Στήριξη μικρότερης χωρικής μονάδας δειγματοληψίας του αισθητήρα και μέγεθος εικονοστοιχείου

Το εικονοστοιχείο μπορεί να θεωρηθεί ως η μικρότερη μονάδα δειγματοληψίας μέσα σε ένα τρισδιάστατο χώρο εντός του οποίου υπολογίζονται οι τιμές της μετρούμενης μεταβλητής (δηλ. της ακτινοβολίας). Σε μια τηλεπισκοπική εικόνα, κάθε παρατήρηση γίνεται σε μια «στήριξη» (Σχήμα 2.7) που στην ουσία είναι κεντροβαρής και αναφέρεται ως λειτουργία σημειακής εξάπλωσης του αισθητήρα. Αυτό σημαίνει ότι η διακύμανση στο κέντρο μιας παρατήρησης συμβάλλει περισσότερο στην καταγεγραμμένη τιμή από ότι η διακύμανση στην περίμετρο, και ότι θα αναμένεται κάποια διακύμανση έξω από τα όρια των εικονοστοιχείων (τα «στηρίγματα» που αποτελούν μια εικόνα θα επικαλύπτονται) (Atkinson, 2004).



Σχήμα 2.7 Η οπτικοποίηση της στήριξης μιας μεμονωμένης παρατήρησης ενός εικονοστοιχείου ως μέρος μιας εικόνας

Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζεται η περιοχή του εδάφους όπως εκπροσωπείται από ένα εικονοστοιχείο και η περιοχή του εδάφους που τελικά συνεισφέρει στο παρατηρούμενο σήμα, και αυτό είναι η στήριξη. Η στήριξη υπάρχει για κάθε ξεχωριστή παρατήρηση (εικονοστοιχείο). Κατά συνέπεια η μετρούμενη ακτινοβολία εντός ενός εικονοστοιχείου αναμένεται να επηρεάζεται από την τυχόν ύπαρξη αντικείμενου/ων εντός της στήριξης που βρίσκεται εκτός της περιοχής που παριστάνεται, λόγω συνέλιξης με τα γειτονικά εικονοστοιχεία (θα συζητηθεί παρακάτω Εικόνα 2.4 (δ)).

Η στήριξη είναι μία από τις πολλές παραμέτρους του συνολικού πλαισίου δειγματοληψίας, που μαζί με το μέγεθος του δείγματος n , το σύστημα δειγματοληψίας και την πυκνότητα δειγματοληψίας, καθορίζουν ακόμη δύο κλίμακες μέτρησης ενδιαφέροντος: τη χωρική ανάλυση και χωρική έκταση (Atkinson, 2004).

2.3.2.3 Γεωμετρικές παράμετροι και χωρική απόκριση του μέσου καταγραφής

Οι χωρικές ιδιότητες της σκηνής τροποποιούνται περεταιίρω από τον αισθητήρα με δύο τρόπους: (1) την χωρική απόκριση του αισθητήρα και (2) την παραμόρφωση της γεωμετρίας (από εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες του αισθητήρα και της πλατφόρμας αντίστοιχα) (Schowengerdt, 2007).

Τα χωρικά χαρακτηριστικά της σκηνής, σταθμίζονται με την χωρική απόκριση του αισθητήρα. Κάθε όργανο μέτρησης ενός φυσικού σήματος περιορίζεται στο βαθμό λεπτομέρειας που μπορεί να συλλάβει, και το όριο αυτό αναφέρεται ως «ανάλυση» (ακρίβεια της μέτρησης) του οργάνου. Στους δορυφορικούς αισθητήρες διακρίνουμε δύο πτυχές, την χωρική και την φασματική απόκριση. Ως χωρική διακριτική ικανότητα ενός αισθητήρα καθορίζεται η ελάχιστη

διάκριση (βήμα) της χωρικής μέτρησης. Το βήμα της μέτρησης θα μπορούσε να θεωρηθεί το στιγμιαίο οπτικό πεδίο εδάφους ή η απόσταση δειγματοληψίας ή συχνότητα χωρικής δειγματοληψίας. Αυτές είναι οι γεωμετρικές παράμετροι του ελάχιστου μεγέθους του δείγματος, από τις οποίες όπως ο Schowengerdt (2007) επισημαίνει «εξαρτάται ο βαθμός και το είδος των πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν από τις ψηφιακές εικόνες».

Ως χωρική απόκριση θεωρείται η απόκριση του συνολικού συστήματος τηλεπισκόπησης σε ένα «χωρικό» σήμα (Schowengerdt, 2007). Τα χωρικά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας καθορίζονται από το σχήμα και το μέγεθος των αντικειμένων, την θέση τους, την κατανομή τους στον χώρο, την υφή τους κ.α. (Jong & Meer, 2004).

Πιο συγκεκριμένα, η χωρική απόκριση του αισθητήρα επηρεάζει τα χωρικά χαρακτηριστικά της σκηνής ως εξής: το μέγεθος της μικρότερης μονάδας δειγματοληψίας θα είναι μεγαλύτερο από το γεωμετρικό GIFOV, καθώς υπάρχει παραλλαγή του μεγέθους λόγω του χρόνου ολοκλήρωσης της καταγραφής (κάθετα στην τροχιά για whiskbrooms, και κατά μήκος της τροχιάς για pushbrooms), της αμαύρωσης των οπτικών συστημάτων, της παρεμβολής των ηλεκτρονικών φίλτρων (κάθετα της τροχιάς - whiskbrooms, αλλά όχι σύνηθες στην σάρωση pushbroom) και της διάχυσης ηλεκτρονίων του ανιχνευτή (αναποτελεσματικότητα μεταφοράς φορτίου - pushbroom) (Schowengerdt, 2007) (Πίνακας 2.5). Τα χωρικά χαρακτηριστικά της σκηνής σταθμίζονται με την χωρική απόκριση του αισθητήρα, η οποία περιλαμβάνει θόλωμα/αμαύρωση από τα οπτικά συστήματα, από την κίνηση της εικόνας, από τον ανιχνευτή, και τα ηλεκτρονικά των αισθητήρων (Atkinson, 2004). Η καθαρή χωρική απόκριση είναι η συνέλιξη όλων αυτών των παραγόντων, που μετατρέπονται σε ένα κοινό σύστημα χωρικών συντεταγμένων (Schowengerdt, 2007).

Άλλοι παράγοντες παραλλαγής των γεωμετρικών παραμέτρων της σάρωσης και της μικρότερης μονάδας δειγματοληψίας είναι ότι ενώ η προβολή των γωνιακών παραμέτρων FOV και IFOV αλλά και τις γραμμικής απόστασης δειγματοληψίας και ο υπολογισμός των αντίστοιχων γήινων αποστάσεων σε ισοδύναμες μονάδες του μέτρου, καθορίζονται για την προβολή ναδύρ, δηλαδή ακριβώς κάτω από το αεροσκάφος ή διαστημόπλοιο και άρα χωρίς την επιρροή της καμπυλότητας της γης, η προβολή των GSI και GIFOV εκτός ναδύρ θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αντίστοιχων γήινων αποστάσεων σε κάθε άκρο της GFOV λόγω της πλάγιας προβολής πάνω στη γη. Η καμπυλότητα της γης, είναι δυνατόν να μεταβάλλει τόσο το οπτικό πεδίο όρασης όσο και το υπολογιζόμενο ύψος μεταξύ της γήινης επιφάνειας και του επιπέδου των οπτικών του αισθητήρα. Επιπλέον, κατά την διάρκεια της σάρωσης πέρα από την κίνηση της διαστημικής πλατφόρμας υπάρχει και η κίνηση της γης με αποτέλεσμα να «κινείται» και η εικόνα και το GIFOV, ενώ ταυτόχρονα οι στόχοι της γήινης επιφάνειας αποτελούν μη παγωμένα (μεταβλητά) ίχνη με ανεξάρτητες και τυχαίες ταχύτητες.

Τέλος σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η τοπογραφία. Το ύψος κάθε σημείου στο έδαφος από ένα επίπεδο αναφοράς, επηρεάζει την θέση του στην εικόνα. Διαισθητικά μπορεί κανείς να καταλάβει ότι η μετατόπιση ενός σημείου της εικόνας από την ορθογραφική του θέση θα εξαρτάται από την οπτική γωνία πέρα από το ναδίρ και από το ύψος του αντικειμένου από το επίπεδο αναφοράς, και όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία εκτός ναδίρ και το ύψος του αντικείμενου, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η μετατόπιση της εικόνας (Schowengerdt, 2007; Hatzopoulos, 2008).

Πίνακας 2.5 Παράγοντες που προσδιορίζουν την χωρική ανάλυση της εικόνας λόγω της τροποποίησης των χωρικών ιδιοτήτων της σκηνής από τον αισθητήρα

Παράγοντας	Ορισμός / Αποτέλεσμα	Περιγραφή
Γεωμετρικές παράμετροι εικονοστοιχείου	Στιγμιαίο οπτικό πεδίο εδάφους (GIFOV)	Προσδιορίζονται από την χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα - (βήμα) της μέτρησης στο ναδίρ Σχετίζονται άμεσα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα
	Απόσταση χωρικής δειγματοληψίας (GSI/GSD)	
Χωρική απόκριση του μέσου καταγραφής	Θόλωμα /αμαύρωση (λόγω των οπτικών συστημάτων του αισθητήρα, των ανιχνευτών και των ηλεκτρονικών)	Παραλλαγή μεγέθους λόγω του χρόνου ολοκλήρωσης της καταγραφής, ρυθμός σάρωσης
		Αμαύρωση οπτικών συστημάτων
		Παρεμβολή των ηλεκτρονικών φίλτρων
		Διάχυση ηλεκτρονίων ανιχνευτή
		Ρυθμός εξόδου αναλογικού σήματος
Γεωμετρική παραμόρφωση	Παραλλαγή μεγέθους και θέσης των αντικειμένων (λόγω εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων του συστήματος)	Κίνηση της εικόνας αναδειγματοληψία της εικόνας GSI και GIFOV εκτός ναδίρ πλάγια προβολή πάνω στη γη
		Καμπυλότητα της γης
		Περιστροφή της γης
		Τοπογραφία

2.3.3 Ραδιομετρικές και χωρικές ιδιότητες της εικόνας

2.3.3.1 Ραδιομετρική κλίμακα

Το ποσό ακτινοβολίας για κάθε χωρικό κελί μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα και ψηφιοποιείται σε μια ακέραιη τιμή για κάθε εικονοστοιχείο, τον ψηφιακό αριθμό (DN) (Ενότητα 2.3.1 - Εξ.(1)). Για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ένας πεπερασμένος αριθμός μπιτ (bits), όπως γίνεται σε όλα τα ψηφιακά δεδομένα, προκειμένου να κωδικοποιηθούν ως δυαδικοί αριθμοί δεδομένα συνεχών μετρήσεων (Schowengerdt, 2007). Ο αριθμός των μπιτ δυαδικού κώδικα που απαιτούνται για να κωδικοποιηθούν οι εικόνες της τηλεπισκόπησης καθορίζει και τον μέγιστο αριθμό των διαθέσιμων επιπέδων φωτεινότητας της εικόνας (Kohl et al., 2006; Χατζόπουλος, 2012).

Οι τιμές των ψηφιακών αριθμών, κυμαίνονται από 0 έως μια δύναμη του 2 ($N = 2^m$), και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή m (πχ. $2^2 = 4$ επίπεδα φωτεινότητας, $2^8 = 256$, $2^{12} = 4096$), τόσο περισσότερο τα ψηφιοποιημένα δεδομένα προσεγγίζουν το αρχικό συνεχές σήμα που παράγεται από τους ανιχνευτές, και τόσο υψηλότερη είναι η ραδιομετρική ανάλυση του αισθητήρα (Schowengerdt, 2007).

Η Ραδιομετρική ανάλυση (radiometric resolution), αναφέρεται στο εύρος των διαβαθμίσεων (των διακριτών τιμών φωτεινότητας - γραμμοσκίες, ραδιομετρικές τιμές) που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας, δηλαδή στον αριθμό των μπιτ.

Η ευαισθησία καταγραφής του δέκτη, ο αριθμός δηλαδή των ψηφιακών επίπεδων που ένας αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιήσει για να εκφράσει τη μεταβλητότητα της φωτεινότητας των δεδομένων, ονομάζεται ραδιομετρική διακριτική ή διαχωριστική ικανότητα. Μερικές φορές αναφέρεται και ως δυναμικό εύρος (dynamic range) και σχετίζεται με το λόγο σήματος προς θόρυβο των ανιχνευτών (Richards, 2013).

Κάθε εικονοστοιχείο χαρακτηρίζεται από n ραδιομετρικές τιμές, όπου n είναι ο αριθμός των φασματικών διαύλων (μπαντών) της εικόνας, και οι τιμές αυτές αποτελούν τη φασματική δομή του εικονοστοιχείου. Η ραδιομετρική κλίμακα είναι η καλύτερη διάκριση που μπορεί να γίνει μεταξύ αντικειμένων που παρατηρούνται στο ίδιο τμήμα του φάσματος (Kohl et al., 2006). Ωστόσο, όπως ο Schowengerdt, (2007) επισημαίνει, «δεν είναι πάντοτε σημαντικά για τις μετρήσεις όλα τα μπιτ, όμως είναι σημαντικά ειδικά σε ζώνες με χαμηλά επίπεδα σήματος ή υψηλά επίπεδα θορύβου».

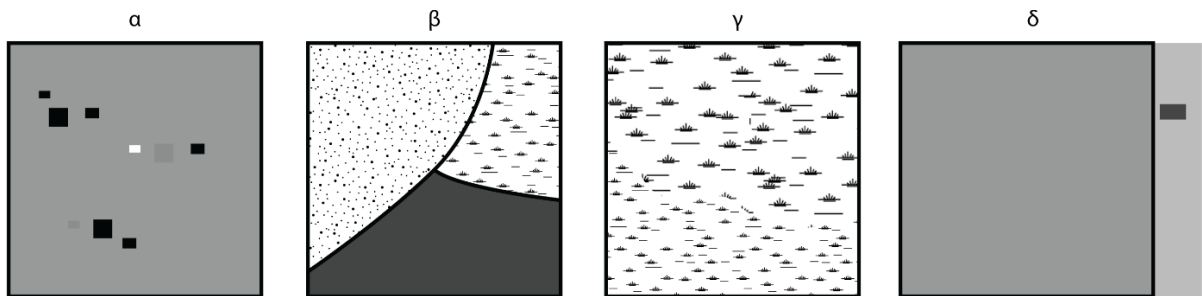
Εν κατακλείδι ένα εικονοστοιχείο χαρακτηρίζεται, σε πρώτο βαθμό από: τη χωρική διάσταση (που καθορίζεται από την GSI και το GIFOV) και τη ραδιομετρική τιμή (ποσοστό ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε αριθμητικές τιμές).

2.3.3.2 Διάκριση και αναγνώριση χωρικών χαρακτηριστικών της σκηνής

Ένα αντικείμενο, ανεξάρτητα από το μέγεθός του, δεν είναι διαχωρίσιμο εάν δεν υπάρχει ικανή αντίθεση ενάντια στο υπόβαθρο του, ενώ είναι δυνατό να ανιχνευθούν σημαντικά μικρότερα αντικείμενα εντός του εικονοστοιχείου, εάν η αντίθεση με το περιβάλλοντα φόντο είναι αρκετά υψηλή (Schowengerdt, 2007; Warner et al., 2009) (γενικώς, οι στόχοι χαμηλής αντίθεσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτεροι από ό, τι οι στόχοι υψηλής αντίθεσης προκειμένου να μπορούν να ανιχνευθούν). Στην περίπτωση αυτή έχουμε την εμφάνιση του λεγόμενου μικτού εικονοστοιχείου. Οι συχνότερες αιτίες εμφάνισης μικτών εικονοστοιχείων παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.4.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τέσσερα διαφορετικά εικονοστοιχεία, που το καθένα αντιπροσωπεύει ένα πρόβλημα ανάμιξης που παρατηρείται συχνά στις τηλεπισκοπικές εικόνες: (α) την ανάμιξη που προκαλείται από την παρουσία μικρών επιμέρους στόχων εντός της περιοχής που αντιπροσωπεύει το εικονοστοιχείο, (β) την ανάμιξη που δημιουργείται από το γεγονός ότι το εικονοστοιχείο εκτείνεται πάνω από το όριο διακριτών θεματικών τάξεων, (γ) την ανάμιξη λόγω της σταδιακής μετάβασης που παρατηρείται μεταξύ συνεχών θεματικών

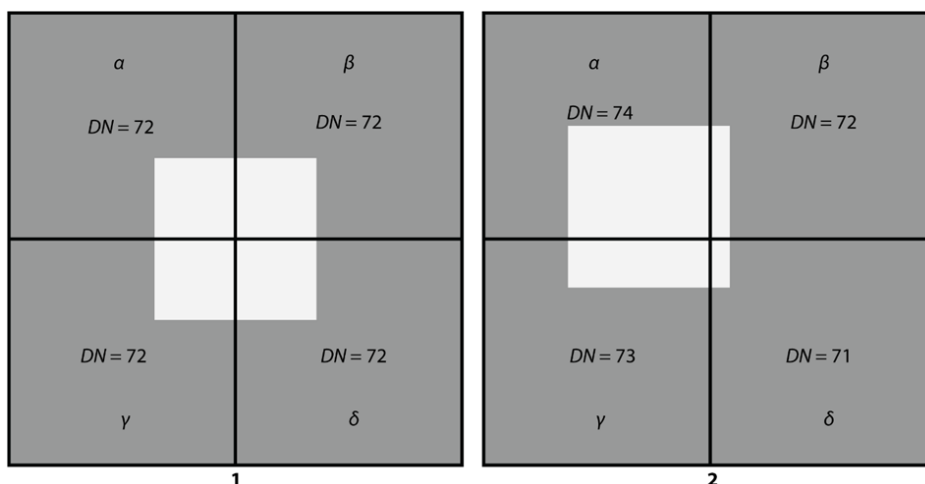
κατηγοριών και (δ) ένα πρόβλημα ανάμιξης λόγω της συμβολής ενός στόχου έξω από την περιοχή που αντιπροσωπεύεται από ένα εικονοστοιχείο, αλλά επηρεάζεται από τη συνάρτηση σημειακής εξάπλωσης (point spread function) (το pixel, εμφανίζεται επιφανειακά να είναι καθαρό, αλλά η φασματική απόκριση του επηρεάζεται από το μικρό αντικείμενο που βρίσκεται εκτός της περιοχής που παριστάνεται). Η ραδιομετρική τιμή ενός εικονοστοιχείου είναι μια συνέλιξη της ραδιομετρικής τιμής του ίδιου με τις τιμές όλων των γειτονικών εικονοστοιχείων (Atkinson, 2004).



Εικόνα 2.4 Μερικοί από τους πιο κοινούς λόγους δημιουργίας του προβλήματος των μικτών εικονοστοιχείων (πηγή (Atkinson, 2004))

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα αντικείμενο «υπό - εικονοστοιχείου» μικρότερο από το GIFOV μπορεί να ανιχνευθεί αλλά όχι να επιλυθεί, δηλαδή δεν είναι κατ' ανάγκη αναγνωρίσιμο εκτός από το γενικό πλαίσιο της εικόνας (Schowengerdt, 2007), καθώς δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί σε ποιο σημείο του εικονοστοιχείου εμφανίζεται (Warner et al., 2009). Επιπλέον, η μετρούμενη ακτινοβολία ενός μικτού εικονοστοιχείου εξαρτάται από τη θέση του αντικειμένου «υπό - εικονοστοιχείου» σε σχέση με το δείγμα (εικονοστοιχείο), αλλά και σε σχέση με ολόκληρο το πλήθος της δειγματοληψίας (πλέγμα εικονοστοιχείων της εικόνας).

Η επίδραση «sample - scene phase» από τον συγχρονισμό - phasing μεταξύ πλέγματος εικονοστοιχείων και θέσης των αντικειμένων (Schowengerdt, 2007), έχει ως αποτέλεσμα στην απόδοση της σχετικής θέσης των αντικειμένων στην εικόνα σε σχέση με την απόλυτη θέση τους στη γήινη επιφάνεια, αλλά και της δημιουργίας μικτών εικονοστοιχείων.



Εικόνα 2.5 Η επίδραση του χωρικού συγχρονισμού μεταξύ του πλέγματος εικονοστοιχείων και ενός στόχου στη γήινη επιφάνεια (πηγή (Schowengerdt, 2007))

Στην παραπάνω Εικόνα 2.5 παριστάνεται ένα αντικείμενο με εμβαδό επιφανείας στο 50% της επιφάνειας του GIFOV το οποίο στην πρώτη περίπτωση (1) βρίσκεται στα όρια μεταξύ τεσσάρων GIFOV καταλαμβάνοντας ισόποσα το 12,5% της επιφανείας του κάθε εικονοστοιχείου και ως αποτέλεσμα έχουμε μια μεταβολή στην ψηφιακή τιμή της μετρούμενης ακτινοβολίας στα αντίστοιχα εικονοστοιχεία της εικόνας από 70 σε 72 DN. Στην δεύτερη περίπτωση (2) το αντικείμενο καταλαμβάνει στα αντίστοιχα GIFOV: $\alpha = 31\%$, $\beta = 4\%$, $\gamma = 13\%$ και $\delta = 2\%$. Ως αποτέλεσμα η αναγνώριση του αντικείμενου θα γίνει στη θέση 2α, ότι δηλαδή βρίσκεται εξ ολοκλήρου στο εικονοστοιχείο 2α. Αλλά και πάλι θα είναι ανιχνεύσιμο (αλλά όχι διαχωρίσιμο) και στα υπόλοιπα 3 εικονοστοιχεία. Η επίδραση του χωρικού συγχρονισμού εικονοστοιχείων και στόχου, όπως ο Schowengerdt (2007) επισημαίνει «είναι απρόβλεπτη (και σχεδόν πάντα άγνωστη) για οποιαδήποτε εικόνα, κυμαίνεται από εικόνα σε εικόνα και το διάστημα ορίζεται σε $\pm 1/2$ εικονοστοιχείο με ίση πιθανότητα».

Παρακάτω (Πίνακας 2.6) παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου ή της σκηνής που σχετίζονται με την δυνατότητα εντοπισμού ή διαχωρισμού των αντικειμένων της γήινης επιφάνειας σε μια τηλεπισκοπική εικόνα. Βλέπουμε, λοιπόν, ότι η ραδιομετρική κβάντιση, σε συνδυασμό με τις ανακλάσεις του στόχου και του φόντου, και το GIFOV του αισθητήρα, όλα συνεργούν για να καθοριστεί η «ανάλυση» της εικόνας (Schowengerdt, 2007).

Πίνακας 2.6 Διάκριση / διαχωριστικότητα αντικειμένων

Χαρακτηριστικά αντικειμένου/στόχου ή της σκηνής	Ανιχνευσιμότητα - Διαχωριστικότητα
Μέγεθος σε σχέση με το GIFOV αισθητήρα	Γενικά θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο προκειμένου να διακρίνεται ως ξεχωριστό χωρικό χαρακτηριστικά
Αντίθεση λαμπρότητας σε σχέση με το φόντο	Ανεξάρτητα από το μέγεθός του, δεν είναι διαχωρίσιμο χωρίς αντίθεση ενάντια στο υπόβαθρο του
Θόρυβος της σκηνής ("σύγχυση")	Φυσική (ετερογένεια τοπίου), ατμοσφαιρική μεταβλητότητα - «ανάμειξη» υλικών - σκίες δημιουργούν θόλωμα της σκηνής και δυσχεραίνουν την δυνατότητα χωρικής διάκρισης των αντικειμένων (μικτά εικονοστοιχεία)
Θόρυβος του αισθητήρα	Αμαύρωση από τα οπτικά και ηλεκτρονικά του αισθητήρα (μικτά εικονοστοιχεία)
Μήκος κύματος	Η ικανότητα ανίχνευσης εξαρτάται από την φασματική ζώνη
Ραδιομετρική κλίμακα	Η καλύτερη διάκριση που μπορεί να γίνει μεταξύ αντικειμένων που παρατηρούνται στο ίδιο τμήμα του φάσματος
Θέση του αντικειμένου σε σχέση με τη χωρική δειγματοληψία (εικονοστοιχείο)	Η μετρούμενη ακτινοβολία εξαρτάται από τη συχνότητα δειγματοληψίας

2.3.4 Χωρική ανάλυση και μέγεθος εικονοστοιχείου

Η εγγενής χαρακτηριστική κλίμακα του συστήματος απεικόνισης καθορίζεται κατά κύριο λόγο από το στιγμιαίο οπτικό πεδίο του αισθητήρα, που είναι ένα μέτρο της περιοχής όρασης του εδάφους από ένα στοιχείο ανιχνευτή σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Το GIFOV και η απόσταση χωρικής δειγματοληψίας (GSI/GSD) καθορίζουν γεωμετρικά την χωρική ανάλυση της ψηφιακής εικόνας. Τα μέτρα αυτά αφορούν στις γεωμετρικές παραμέτρους του μεγέθους του χωρικού δείγματος του ανιχνευτή στο έδαφος. Έτσι, το μέγεθος της μικρότερης μονάδας της γήινης επιφάνειας που καταγράφεται από το στιγμιαίο οπτικό πεδίο ενός ανιχνευτή αναφέρεται στο μικρότερο χωρικό κελί που μπορεί ο ανιχνευτής να καταγράψει ενώ το διάστημα ή απόσταση χωρικής δειγματοληψίας αναφέρεται στην απόσταση μεταξύ ενός ζεύγους χωρικών κελιών, που στην ουσία καθορίζει και το μέγεθος του εικονοστοιχείου.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος μέτρησης της χωρικής διακριτικής ικανότητας βασίζεται σε αυτές τις γεωμετρικές ιδιότητες του συστήματος. Έτσι, συχνά ο όρος χωρική ανάλυση χρησιμοποιείται απλοϊκά για να αναφερθεί σε οποιαδήποτε από αυτές γεωμετρικές διαστάσεις (Lillesand et al., 2014). Κατά συνέπεια η έννοια της χωρικής ανάλυσης δίνεται σε μια ονομαστική κλίμακα που αναφέρεται στην χωρική ανάλυση ενός δείγματος που λαμβάνεται από τη θέση θέασης στο ναδίρ στο προβλεπόμενο ύψος του δορυφόρου.

Ωστόσο όπως είδαμε παραπάνω η εγγενής κλίμακα/ανάλυση μπορεί πολλές φορές να υποβαθμιστεί από άλλους παράγοντες που εισάγουν θόλωμα στην εικόνα (όπως μη κατάλληλη εστίαση, ατμοσφαιρική ανάκλαση, κίνηση του στόχου, αναδειγματοληψία της εικόνας). Επιπλέον οι γεωμετρικές παράμετροι δεν είναι καθοριστικές προς την διάκριση των μικρότερων οντοτήτων της σκηνής, καθώς αυτή είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων. Μια θεώρηση που βασίζεται αποκλειστικά στην γεωμετρία θα παραμελεί τις φασματικές ιδιότητες

του στόχου. Η χωρική ανάλυση είναι συνάρτηση τόσο του διαστήματος δειγματοληψίας (ή απόσταση δείγματος) μεταξύ οποιωνδήποτε δύο παρατηρήσεων σε ένα δείγμα και της συνέλιξης (Atkinson, 2004).

Ίσως ο πιο περιεκτικός ορισμός της χωρικής ανάλυσης να δίνεται από τον Jensen (2000): «ένα μέτρο της μικρότερης γωνιακής ή γραμμικής απόστασης μεταξύ δύο αντικειμένων που μπορούν να διακριθούν από τον αισθητήρα». Η δυνατότητα διάκρισης επηρεάζεται από το μέγεθος, την απόσταση, το σχήμα, το χρώμα, τα χαρακτηριστικά αντίθεσης και τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα (Jensen, 2000).

Όπως ο Schowengerdt (2007) επισημαίνει, η ραδιομετρική κβάντιση σε συνδυασμό με τις ανακλάσεις του στόχου και του φόντου και το GIFOV του αισθητήρα, όλα συνεργούν για να καθοριστεί η «ανάλυση» της εικόνας. Λόγω των μικτών εικονοστοιχείων και της χαμηλής αντίθεσης των περισσότερων σκηνών της Γης, τα αντικείμενα θα πρέπει γενικά να είναι πολλές φορές το μέγεθος του ενός εικονοστοιχείου, και/ή θα πρέπει να υπάρχει μια μεγαλύτερη αντίθεση στόχου προς φόντο προκειμένου να διακρίνονται ως ξεχωριστά χωρικά χαρακτηριστικά (Warner et al., 2009; Schowengerdt, 2007).

Λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά παραγόντων που υπεισέρχονται στις εικόνες (θόρυβο αισθητήρα, μη ομοιόμορφοι στόχοι και υπόβαθρα, μεταβλητή ηλιακή γωνία και τοπογραφία) μια κοινή δήλωση όπως «η ανάλυση της εικόνας είναι χ μέτρα» αναφέρεται πιθανώς ή στο GIFOV του αισθητήρα ή στην GSI, ή στο μέγεθος εικονοστοιχείου (Schowengerdt, 2007). Ειδικά το μέγεθος εικονοστοιχείου χρησιμοποιείται συχνά εναλλακτικά με την χωρική ανάλυση, χωρίς ωστόσο να είναι ακριβώς ισοδύναμες έννοιες (Warner et al., 2009).

Ο Atkinson (2004) περιγράφει τον λόγο που η χωρική ανάλυση και το μέγεθος εικονοστοιχείου χρησιμοποιούνται εναλλακτικά σε ένα μεγάλο μέρος της βιβλιογραφίας: «Η χωρική ανάλυση είναι συνάρτηση τόσο του διαστήματος δειγματοληψίας μεταξύ οποιωνδήποτε δύο παρατηρήσεων σε ένα δείγμα και της στήριξης. Σε μια τηλεπισκοπική εικόνα, το στήριγμα (προσεγγιστικά το εικονοστοιχείο) και η απόσταση του δείγματος είναι σταθερές και περίπου ίσες και σε κάθε περίπτωση με σταθερή αναλογία. Έτσι, η χωρική ανάλυση μπορεί να θεωρηθεί ως μια συνάρτηση της στήριξης μόνο».

Στην ψηφιακή εικόνα η ανάλυση περιορίζεται από το μέγεθος εικονοστοιχείου καθώς προσδιορίζει και το μέγεθος του μικρότερου αντικειμένου που μπορεί να διακριθεί στην εικόνα, π.χ. το μικρότερο διακριτό αντικείμενο δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το μέγεθος εικονοστοιχείου καθώς δεν μπορεί να επιλυθεί ακόμα και αν αυτό μπορεί να ανιχνευθεί. Κατ' αυτή την έννοια, η ανάλυση τελικά περιορίζεται από το μέγεθος των εικονοστοιχείων (Warner et al., 2009). Όμως ακόμη και εάν με την τεχνική της επαναδειγματοληψίας (resampling)

δημιουργηθεί ένα μικρότερο μέγεθος εικονοστοιχείου από το αρχικό, δεν θα οδηγηθούμε απαραίτητα σε μια υψηλότερη ανάλυση.

Τα δεδομένα που έχουμε στη διάθεσή μας είναι μια εικόνα χωρικής κατανομής της ακτινοβολίας η οποία έχει προέλθει από την ανακλώμενη ή/και εκπεμπόμενη ακτινοβολία των στοιχείων ή αντικειμένων της επιφάνειας της γης έπειτα από μετασχηματισμούς των ραδιομετρικών, χωρικών και γεωμετρικών ιδιοτήτων της ακτινοβολίας από τον αισθητήρα (Schowengerdt, 2007), και η χωρική (γεωμετρική) ανάλυση της εικόνας εκφράζεται από τον αριθμό των εικονοστοιχείων ανά μονάδα επιφανείας (Kohl et al., 2006). Η βασική χωρική μονάδα το εικονοστοιχείο, ορίζεται κατά κύριο λόγο από μεταβλητές εξαρτώμενες από τον αισθητήρα, με αποτέλεσμα να θεωρείται μια αυθαίρετη χωρική μονάδα (Foody, 2004a). Οι βασικές του ιδιότητες, όπως το μέγεθος, το σχήμα και η θέση καθορίζονται κατά κύριο λόγο από τον αισθητήρα (π.χ. το ύψος του, την οπτική γωνία, το οπτικό πεδίο κ.τ.λ.) και όχι άμεσα από ιδιότητες του εδάφους (Foody, 2004a).

Όμως το εικονοστοιχείο ως ένα στοιχείο της διδιάστατης ψηφιακής εικόνας αντιπροσωπεύει την μικρότερη μονάδα του χωρικού δείγματος, το υψηλότερο δυνατό επίπεδο χωρικής ανάλυσης που διατίθενται για επεξεργασία (Schowengerdt, 2007). Το μέγεθος του εικονοστοιχείου αναφέρεται στην μικρότερη εν δυνάμει MMU, και η επιλογή των δεδομένων γίνεται κατά κύριο λόγο με βάση το μέγεθος εικονοστοιχείου. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου αποτελεί μια βασική ιδιότητα των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων και στην παρούσα διατριβή θα αποτελέσει το κύριο ενδιαφέρον.

2.3.5 Κατηγοριοποίηση αισθητήρων βάση χωρικής ανάλυσης

Η έννοια της κλίμακας χρησιμοποιείται συνήθως για να κατηγοριοποιηθούν οι εικόνες ανάλογα με το μέγεθος εικονοστοιχείου. Σε γενικές γραμμές οι βασικές κατηγορίες τηλεπισκοπικών εικόνων διαχωρίζονται σε εικόνες υψηλής ή λεπτής (fine), μέσης και χαμηλής χωρικής ανάλυσης (Warner et al., 2009). Ωστόσο, δεν υπάρχει συναίνεση εντός της κοινότητας των ερευνητών που ασχολούνται με την Τηλεπισκόπηση σχετικά με τα όρια μεταξύ των κατηγοριών αυτών, με αποτέλεσμα αυτά να μην είναι σαφή και να χρησιμοποιούνται διαφορετικά από κάθε αναλυτή (Warner et al., 2009; White et al., 2016; Belward & Skoien, 2015), καθώς η έννοια της κλίμακας ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με το επίκεντρο της ανάλυσης, και ίσως και με το ιστορικό πλαίσιο της εποχής (Warner et al., 2009; Belward & Skoien, 2015).

Οι αντιλήψεις αλλάζουν καθώς αλλάζει και η τεχνολογία - η «υψηλή ανάλυση» του 1970 είναι βέβαιο ότι δεν θεωρείται «υψηλή» τέσσερις δεκαετίες αργότερα (Belward & Skoien, 2015). Μέχρι την έναρξη λήψης εικόνων του IKONOS 2 το 1999, όπου μια νέα γενιά δορυφόρων

γεννήθηκε με πολύ υψηλή χωρική ανάλυση (VHR) (Quick Bird τέλη του 2001) ως «υψηλή χωρική ανάλυση» θεωρούνταν η 20m χωρική ανάλυση του SPOT (Blaschke et al., 2004). Οι ευρέως χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες Landsat και SPOT τώρα ονομάζονται «μέσης ανάλυσης» (Blaschke et al., 2004).

Οι Franklin και Wulder, (2002a) Warner κ.α. (2009), Yu κ.α. (2014) και White κ.α. (2016) συμφωνούν στην παρακάτω τυποποίηση των κατηγοριών χωρικής ανάλυσης των αισθητήρων οπτικών δορυφορικών τηλεπισκοπικών συστημάτων (Πίνακας 2.7), παρόλο που πολλοί αναλυτές κατηγοριοποιούν την πολύ υψηλή ανάλυση ως αυτή των < 5μ. με αποτέλεσμα ως υψηλή ανάλυση να θεωρείται η ανάλυση των 5-10μ. (Belward & Skøien, 2015).

Πίνακας 2.7 Κατηγορίες χωρικής κλίμακας οπτικών δορυφορικών δεδομένων

Μέγεθος εικονοστοιχείου(m)	Χωρική Ανάλυση	Παράδειγμα δορυφορικών αισθητήρων
<1	Πολύ υψηλή	WorldView, QuickBird, OrbView-3
1-10	Υψηλή	IKONOS, SPOT5,
10-100	Μεσαία	ASTER, AWIFS, ETM+, MSS, SPOT1,4
100-1000	Χαμηλή	MODIS, MERIS
>1000	Πολύ χαμηλή	AVHRR, GOES, METEOSAT

Βέβαια είναι προφανές όπως οι Warner κ.α. (2009) επισημαίνουν, ότι η χωρική ανάλυση των σύγχρονων δορυφορικών αισθητήρων βρίσκεται κατά μήκος μιας αλυσίδας χαρακτηριστικών και ως εκ τούτου η προσπάθεια χαρακτηρισμού των αισθητήρων με απλούς περιγραφείς της χωρικής ανάλυσης είναι εγγενώς αυθαίρετη, καθώς η χωρική ανάλυση εξαρτάται από τις ραδιομετρικές φασματικές ιδιότητες τόσο του αντικειμένου που εξερευνάται, όσο και του πλαισίου εντός του οποίου θα αναζητηθεί (Warner et al., 2009).

2.3.6 Φασματικοί παράγοντες στην Τηλεπισκόπηση

Η ακτινοβολία που φθάνει στον αισθητήρα, όπως περιγράφεται στο 2.3.1, μεταφέρεται από τα οπτικά του αισθητήρα στον ανιχνευτή όπου σχηματίζεται η εικόνα. Οι κύριες οπτικές φασματικές περιοχές που χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση της Γης με την χρήση της τηλεπισκόπησης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.8). Αυτές οι συγκεκριμένες φασματικές περιοχές παρουσιάζουν ενδιαφέρον καθώς περιέχουν σχετικά «διαφανή» ατμοσφαιρικά «παράθυρα», μέσα από τα οποία (με εξαίρεση τις περιοχές με σύννεφα) μπορεί να παρατηρηθεί η γήινη επιφάνεια από απόσταση, με αποτέλεσμα να υπάρχουν ανιχνευτές που καταγράφουν αποτελεσματικά την ακτινοβολία σε αυτές τις περιοχές του φάσματος. Τα πιο κοινά οπτικά συστήματα τηλεπισκόπησης καταγράφουν δεδομένα από το ορατό έως το εγγύς και μέσο υπέρυθρο φάσμα (Richards, 2013).

Πίνακας 2.8 Οι βασικές φασματικές περιοχές που χρησιμοποιούνται στην παρατήρηση της γης.
 Τα όρια ορισμένων ατμοσφαιρικών παράθυρων δεν είναι διακριτά και μπορεί να βρεθούν μικρές παραλλαγές σε αυτές τις τιμές σε άλλες αναφορές (πηγή (Schowengerdt, 2007)).

Όνομα	μήκος κύματος	πηγή ακτινοβολίας	ιδιότητα επιφάνειας
Ορατό (Visible (V))	0.4-0.7μm	ηλιακή	ανακλαστικότητα
Εγγύς Υπέρυθρο (Near InfraRed (NIR))	0.7-1.1μm	ηλιακή	ανακλαστικότητα
Κοντινό Υπέρυθρο (Short Wave InfraRed (SWIR))	1.1-1.35μm 1.4-1.8μm 2-2.5μm	ηλιακή	ανακλαστικότητα
Μέσο Υπέρυθρο (MidWave InfraRed (MWIR))	3-4μm 4.5-5μm	ηλιακή, θερμική	ανακλαστικότητα, θερμοκρασία
Θερμικό ή Απώτερο Υπέρυθρο (Thermal or LongWave InfraRed (TIR or LWIR))	8-9.5μm 10-14μm	θερμική	θερμοκρασία
μικροκύματα, ραντάρ	1mm-1m	θερμική (παθητική), τεχνητή (ενεργητική)	θερμοκρασία (παθητική), τραχύτητα (ενεργητική)

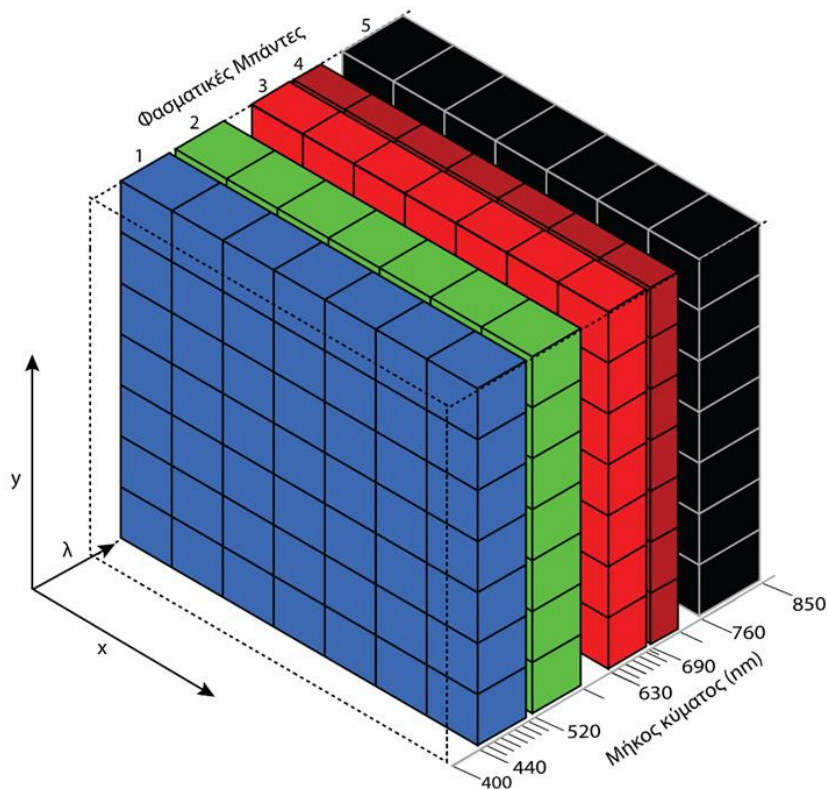
2.3.6.1 Η φασματική κλίμακα της εικόνας

Η φασματική κλίμακα των δορυφορικών δεδομένων καθορίζεται από τον αριθμό των φασματικών ζωνών και την φασματική συνάρτηση απόκρισης της κάθε ζώνης, στο Πλήρες Εύρος στο Ήμισυ του Μεγίστου (Full Width at Half Maximum, FWHM) (Wu & Li, 2009). Κατά την καταγραφή της κατανομής της έντασης φωτός του αισθητήρα συναρτήσει του μήκους κύματος, το πλάτος στο μισό του ύψους της κατανομής χαρακτηρίζει το φασματικό του εύρος.

Αυτή η στάθμιση της έντασης φωτός από το μήκος κύματος είναι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας της ικανότητας διάκρισης από τον αισθητήρα λεπτομερειών στο φασματικό σήμα και κατά συνέπεια της ικανότητας διάκρισης λεπτών φασματικών διαφορών (Wu & Li, 2009; Schowengerdt, 2007). Η φασματική θέση των ζωνών κατά μήκος της καταγραφόμενης κλίμακας της ακτινοβολίας είναι εξίσου σημαντική με το φασματικό εύρος της κάθε ζώνης για την ικανότητα ενός αισθητήρα να επιλύσει φασματικά χαρακτηριστικά, περιορίζεται όμως από τις ζώνες απορρόφησης (διάφορα συστατικά στην ατμόσφαιρα απορροφούν ακτινοβολία, π.χ., υδρατμοί και διοξείδιο του άνθρακα) και προσδιορίζεται περαιτέρω από τα προς μέτρηση χαρακτηριστικά ανάκλασης (π.χ. εάν ο αισθητήρας προορίζεται για εφαρμογές σχετικά με τη παρατήρηση της γης, οι ζώνες αυτές δεν περιλαμβάνονται ή αντίθετα εάν προορίζεται για εφαρμογές που έχουν να κάνουν με μέτρηση ατμοσφαιρικών παραμέτρων θα επιθυμείται να τοποθετηθούν στα προς μέτρηση χαρακτηριστικά ανάκλασης) (Schowengerdt, 2007).

Προκειμένου να αντιληφθούμε τα χαρακτηριστικά της φασματικής δειγματοληψίας ενός αισθητήρα θα μπορούσαμε να φανταστούμε ένα τρισδιάστατο συνεχή χώρο (x, y, λ), που ορίζεται από χωρικές συντεταγμένες (x, y) και φασματικό μήκος κύματος (λ), όπου μέσα σε αυτό το συνεχή χώρο αναπαρίσταται το τρισδιάστατο πλέγμα των εικονοστοιχείων όγκου της εικόνας. Βέβαια, όπως έχει ήδη συζητηθεί ο όγκος κάθε εικονοστοιχείου δεν είναι μια καλά

καθορισμένη περιοχή, αλλά εμφανίζει επικαλύψεις τόσο στις χωρικές όσο και στις φασματικές διαστάσεις με την ενσωμάτωση των όγκων των γειτονικών εικονοστοιχείων («στήριξη» σελ.52).



Εικόνα 2.6 Σύγκριση της χωρικής και φασματικής δειγματοληψίας RapidEye.

Αυτό το είδος απεικόνισης όγκου για τα χωρικά-φασματικά δεδομένα της εικόνας ονομάζεται «κύβος εικόνας». (εικόνα εμπνευσμένη από (Schowengerdt, 2007))

Στην παραπάνω Εικόνα 2.6 κάθε εικονοστοιχείο όγκου αντιπροσωπεύει την περιοχή χωρικής-φασματικής ενσωμάτωσης ενός εικονοστοιχείου της εικόνας. Παρατηρούμε ότι η φασματική δειγματοληψία δεν είναι συνεχής (η απόσταση δειγματοληψίας τροποποιείται για κάθε φασματική ζώνη). Η στενότερη ζώνη στο ερυθρό και η ζώνη ερυθρό άκρο της ακτινοβολίας προσδιορίζουν την υψηλότερη φασματική ανάλυση³ του αισθητήρα σε αυτές τις ζώνες καθώς και τα προς μέτρηση χαρακτηριστικά ανάκλασης (κυρίως της βλάστησης). Υπάρχουν συστήματα με σχετικά συνεχή φασματική δειγματοληψία (π.χ. AVIRIS).

Η ικανότητα του μέσου να καταγράφει λεπτομέρειες στο φασματικό σήμα καθορίζεται από το εύρος της φασματικής απόκρισης του όπως και στην περίπτωση της χωρικής ανάλυσης. Οι φασματικές ακτινοβολίες της σκηνής σταθμίζονται από την φασματική απόκριση του αισθητήρα σε κάθε ζώνη. Η φασματική απόκριση καθορίζεται από την αποκρισμότητα του

³ Όσο πιο στενές είναι οι ζώνες καταγραφής τόσο καλύτερη είναι η φασματική ανάλυση.

ανιχνευτή, την μεταφορά της φασματικής απόκρισης από το φίλτρο (για αισθητήρες με διακριτές φασματικές μπάντες) και από το πλάτος σχισμής του φασματόμετρου (υπερφασματικοί αισθητήρες).

Η φασματική ανάλυση, ορίζεται ως «ο αριθμός και η διάσταση (μέγεθος) των συγκεκριμένων διαστημάτων μήκους κύματος (που αναφέρονται ως μπάντες ή κανάλια) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στα οποία είναι ευαίσθητο ένα μέσο τηλεπισκόπησης» (Wang et al., 2012). Αξίζει να σημειωθεί ότι η φασματική ανάλυση αναφέρεται σε οπτικές εικόνες, και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ραντάρ ή τηλεπισκοπικά δεδομένα Lidar. Οι παράγοντες που προσδιορίζουν τη φασματική ανάλυση της εικόνας περιγράφονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.9).

Πίνακας 2.9 Παράγοντες που προσδιορίζουν τη φασματική ανάλυση της εικόνας

Παράγοντας	Ορισμός	Περιγραφή
Αριθμός των φασματικών ζωνών	Ο αριθμός των φασματικών διαστημάτων στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που έχει δυνατότητα να καταγράψει ο δέκτης	Περιοχές του φάσματος (μήκη κύματος) στις οποίες καταγράφεται η ακτινοβολία από τους ανιχνευτές μέσα από τα ατμοσφαιρικά «παράθυρα»
Εύρος φασματικών ζωνών	Εύρος των φασματικών διαστημάτων στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που έχει δυνατότητα να καταγράψει ο δέκτης	Πλήρες Εύρος στο Ήμισυ του Μεγίστου (Full Width at Half Maximum, FWHM) χαρακτηρίζει το φασματικό εύρος κάθε ζώνης
Φασματική θέση των ζωνών	Θέση των ζωνών κατά μήκος της κλίμακας μήκους κύματος	Προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά ανάκλασης προς μέτρηση
Φασματική απόκριση του αισθητήρα	Εύρος των τιμών ανάκλασης που μπορούν να συλληφθούν Καθορισμός της «ευαισθησίας» του οργάνου για κάθε φασματικό διάστημα (ακρίβεια της καταγραφής για κάθε ζώνη) θόρυβος	Αποκρισιμότητα του ανιχνευτή Μεταφορά της φασματικής απόκρισης από το φίλτρο (για αισθητήρες με διακριτές φασματικές πλάτος σχισμής του φασματόμετρου (υπερφασματικοί αισθητήρες)

2.3.6.2 Φασματικές υπογραφές ή ταυτότητες

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, το μήκος κύματος ή φάσμα μηκών κύματος, που χρησιμοποιείται στη διαδικασία λήψης της εικόνας είναι ίσως το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των δεδομένων εικόνας που παρέχονται από ένα σύστημα τηλεπισκόπησης, καθώς αποτελεί το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό για την αναγνώριση των αντικειμένων της γήινης επιφάνειας (με την ταξινόμηση εικόνας) (Robinove, 1981; Richards, 2013; Dungan et al., 2002). Η χωρική ανάλυση των εικόνων από μόνη της δεν επαρκεί ώστε κάποια αντικείμενα να εντοπιστούν μόνο από το σχήμα ή την χωρική τους λεπτομέρεια (Schowengerdt, 2007), καθώς χωρίς την κατάλληλη φασματική ανάλυση όσο μικρό και αν ήταν το εικονοστοιχείο δεν θα ήταν δυνατόν να διαχωριστούν κάποιες οντότητες της εικόνας σε σχέση με κάποιες άλλες (Dungan et al., 2002).

Η θεώρηση αυτή αποτελεί μια θεμελιώδη αρχή που διέπει την Τηλεπισκόπηση και σχετίζεται με το γεγονός ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι δυνατό να εντοπιστούν κάποια αντικείμενα μόνο με φασματικές μετρήσεις καθώς τα διάφορα στοιχεία της γήινης επιφάνειας ανακλούν

διαφορετικές αναλογίες φασματικού σήματος και οι διαφορές αυτές τα κάνουν μονοσήμαντα. Οι φασματικές μετρήσεις αφορούν στην μέτρηση των λεγόμενων φασματικών υπογραφών των υλικών επιφάνειας (βλάστηση, έδαφος, πετρώματα κ.α.), καθώς αυτές είναι διαφορετικές για κάθε διαφορετικό τύπο υλικού. Η φασματική υπογραφή ενός υλικού μπορεί να ορίζεται στην περιοχή ηλιακής ανάκλασης ως συνάρτηση του μήκους κύματος που μετρείται σε μια κατάλληλη φασματική ανάλυση (Schowengerdt, 2007). Η φασματική ταυτότητα επιτρέπει τον χαρακτηρισμό των οντοτήτων της γήινης επιφάνειας με βάση γεωφυσικές παραμέτρους (χημεία, ορυκτολογία, κλπ.).

Έτσι, ιδιαίτερα για τις εφαρμογές ταξινόμησης εικόνας, σύμφωνα με την σχετική βιβλιογραφία η φασματική πληροφορία θεωρείται πρωταρχικής σημασίας για μια επιτυχή ταξινόμηση. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις, διάφοροι παράγοντες (Πίνακας 2.10) δυσχεραίνουν την αναγνώριση των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας με βάση τις φασματικές τους υπογραφές λόγω των αβεβαιοτήτων που προκαλούνται (π.χ. από τη φυσική μεταβλητότητα για ένα συγκεκριμένο τύπο υλικού, την τροποποίηση των υπογραφών από τις ατμοσφαιρικές και κλιματικές συνθήκες, από την προσπίπτουσα ηλιακή γωνία ή τη μη ισότροπη ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, τη χαμηλή φασματική ανάλυση πολλών τηλεπισκοπικών συστημάτων κ.α.) (Schowengerdt, 2007; Liu & Li, 2014).

Πίνακας 2.10 Παράγοντες που επηρεάζουν την διάκριση / διαχωριστικότητα αντικειμένων με βάση τις φασματικές τους υπογραφές

Χαρακτηριστικά αντικειμένου/στόχου	Ανιχνευσιμότητα - Διαχωριστικότητα
Φυσική μεταβλητότητα	Χώρος, χρόνος, κατάσταση μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά ανάκλασης του ίδιου αντικειμένου (π.χ. στη βλάστηση φαινολογία, υγεία)
Φασματική ανάλυση τηλεπισκοπικών συστημάτων	Εύρος και θέσεις των φασματικών μηκών δειγματοληψίας
Ατμόσφαιρα	Τροποποίηση των υπογραφών από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (σύννεφα, νεφοκάλυψη)
Κλίμα	Τροποποίηση των υπογραφών από τις κλιματολογικές συνθήκες (βροχόπτωση, ξηρασία)
Ανάμειξη υλικών	Ετερογένεια τοπίου, ίδια φασματική απόκριση μεταξύ διαφορετικών υλικών
Σκίαση	Τοπογραφία, προσπίπτουσα ηλιακή γωνία
Συνάρτηση κατανομής ανάκλασης (BRDF) ⁴	Μη ισότροπη ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (non-lambertian surface)
Θόρυβος από τον αισθητήρα	Οπτικά και ηλεκτρονικά του αισθητήρα

⁴ Η συνάρτηση κατανομής της ανάκλασης BRDF (Bi-directional Reflectance Distribution Function) περιγράφει το φαινόμενο της μη ισότροπης ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (non-lambertian surface), το κλάσμα της ακτινοβολίας που έρχεται από μια συγκεκριμένη κατεύθυνση και αντανακλάται σε κάποια άλλη κατεύθυνση ως αποτέλεσμα του ύψους του στόχου και της γήινης επιφάνειας. Περιοχές της γήινης επιφάνειας με έντονο ανάγλυφο (απότομες κλίσεις) εμφανίζουν σε μεγάλο βαθμό το φαινόμενο της ανισότροπης συμπεριφοράς ανάκλασης.

2.3.7 Κλίμακα και χρονικές ιδιότητες της εικόνας

Η χρονική κλίμακα αφορά στο χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε ένας δορυφόρος να επανεξετάσει την ίδια περιοχή της Γης (Jensen, 2007; Lu & Weng, 2007), και εξαρτάται από το χρονικό βήμα της μέτρησης του δορυφόρου, τη διαχρονική διακριτική ικανότητα, δηλαδή τη συχνότητα επανάληψης ενός πλήρη τροχιακού κύκλου και εκφράζεται σε ημέρες (Kohl et al., 2006). Κατά συνέπεια η χρονική ανάλυση εξαρτάται από το ύψος πτήσης του δορυφόρου, δηλαδή από τις τροχιακές παραμέτρους του (ηλιοσύγχρονη ή πολική χαμηλού ύψους με μικρή επαναληψιμότητα λήψεων) και γεωστάσιμη (μεγάλου ύψους με μεγάλη επαναληψιμότητα λήψεων), από το πλάτος λωρίδας του αισθητήρα, και το γεωγραφικό πλάτος του στόχου.

Ο Landsat για παράδειγμα, έχει χρονική διάρκεια επανεξέτασης 16 ημερών, ο SPOT26 ημερών, και ο OrbView 3 ημέρες (Kohl et al., 2006). Ενώ ο RapidEye λειτουργεί με ένα σχηματισμό 5 οπτικών δορυφόρων, με πανομοιότυπες ηλιοσύγχρονες τροχιές που η συχνότητα λήψης είναι καθημερινά (εκτός ναδύρ) και 5,5 ημέρες (στο ναδύρ).

Όσο πιο μικρό το χρονικό βήμα επανεξέτασης της ίδιας περιοχής τόσο πιο υψηλή θεωρείται η διαχρονική ανάλυση ενός δορυφόρου. Ωστόσο η πολύ υψηλή ανάλυση δεν είναι αναγκαία για όλες τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης. Για παράδειγμα στην μετεωρολογία απαιτείται μεγάλη συχνότητα λήψεων (τουλάχιστον ανά ώρα), για την γεωργία μικρότερη συχνότητα (εβδομαδιαίως), ενώ για την γεωλογία μερικά εκατομμύρια χρόνια, με εξαίρεση γεγονότα όπως ηφαίστεια, κατολισθήσεις, διάβρωση και προσχώσεις, σεισμοί, ανεμοστρόβιλοι, κυματισμοί στις ακτές, τυφώνες, κλπ.

2.3.8 Δυνατότητες και πλεονεκτήματα της χρονικής ανάλυσης

Η υψηλή χρονική ανάλυση ενός αισθητήρα παρέχει την δυνατότητα λήψης εικόνων υψηλής ποιότητας, κυρίως για περιοχές με μεγάλη συχνότητα δυσμενών ατμοσφαιρικών συνθήκων (Lu & Weng, 2007), καθώς μπορεί να προσφέρει την δυνατότητα σπάνιας παρατήρησης για αυτές τις περιοχές (π.χ. χρονική στιγμή λήψης χωρίς νεφοκάλυψη). Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα να αποθανατιστούν φαινόμενα ταχείας αντίδρασης όπως πυρκαγιές και τυφώνες.

Επίσης δίνεται η ευκαιρία εποχικής ανάλυσης. Η εποχική ανάλυση έχει να κάνει με το γεγονός ότι η ίδια περιοχή σε διαφορετική χρονική στιγμή έχει διαφορετικές πληροφορίες (Χατζόπουλος, 2012). Η απόκτηση εικόνων της κατάλληλης εποχής είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντική για τις μελέτες βλάστησης, όπου ο χρόνος των φαινολογικών γεγονότων όπως η έναρξη βλάστησης και η γήρανση μπορεί να είναι τόσο πολύτιμα όσο οι φασματικές πληροφορίες (Key et al., 2001).

Από την άλλη πλευρά, η έννοια της χρονικής κλίμακας είναι πολύ χρήσιμη για την ανάλυση διαχρονικών αρχείων εικόνας, καθώς και για τις αναλύσεις ανίχνευσης αλλαγών με τη χρήση χρονοσειράς δεδομένων (Warner et al., 2009). Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.11) περιλαμβάνονται συνοπτικά οι δυνατότητες της διαχρονικής ανάλυσης των τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Πίνακας 2.11 Οι δυνατότητες της διαχρονικής ανάλυσης

Δυνατότητες	Παραδείγματα
Σπάνιες παρατηρήσεις	Σε περιοχές με δυσμενής ατμοσφαιρικές συνθήκες (εικόνες χωρίς νεφοκάλυψη)
Παρακολούθηση συνεχών διαδικασιών σε «πραγματικό χρόνο»	Μετεωρολογία
Παρακολούθηση βραχύβιων φαινομένων	Πλημμύρες, πετρελαιοκηλίδες, κλπ.
Κάλυψη φαινομένων ταχείας αντίδρασης	Πυρκαγιές, τυφώνες κλπ.
Εποχική ανάλυση	Η ίδια περιοχή σε διαφορετική χρονική στιγμή έχει διαφορετικές πληροφορίες
Ανίχνευση αλλαγών	Διαχρονική ανάλυση φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος (παρακολούθηση της ατμόσφαιρας και των ωκεανών, της αστικοποίησης κτλ.).

Ωστόσο, ο χρονικός «κόκκος» μπορεί δυνητικά να αναφέρεται σε δύο διαφορετικά χαρακτηριστικά : στην περίπτωση μιας σειράς μεμονωμένων εικόνων, ο «κόκκος» μπορεί να είναι η περίοδος μεταξύ των ημερομηνιών λήψης εικόνας, ενώ για μελέτες ανίχνευσης αλλαγών η χρονική έκταση των διαθέσιμων αρχείων εικόνας προσδιορίζει την περίοδο κατά την οποία μπορεί να παρατηρηθεί η αλλαγή (Warner et al., 2009).

2.3.8.1 Χρήση χρονοσειρών δεδομένων για τη διάκριση ειδών βλάστησης

Οι χρονικές πληροφορίες που περιέχονται σε χρονοσειρές δεδομένων τηλεπισκόπησης διαφορετικών εποχών αποτελούν σημαντικές πληροφορίες για τη χαρτογράφηση κάλυψης χρήσης γης με την χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης, ιδίως για τη διάκριση των τύπων βλάστησης π.χ. (Wolter et al., 1995; Mickelson et al., 1998; Lunetta & Balogh, 1999; Oetter et al., 2001; Langley et al., 2001; Liu et al., 2002a; Xiao et al., 2002; Dymond et al., 2002; Guerschman et al., 2003; Rötzer et al., 2004; Zhu & Tateishi, 2006; Capao et al., 2007; Carrão et al., 2008; Mathys et al., 2009; Gu et al., 2010; Hill et al., 2010; Stoffels et al., 2012; Jia et al., 2013, 2014). Η χρήση χρονοσειρών δεδομένων, αποτελεί μια εξαιρετική μέθοδο για την αξιοποίηση των φαινολογικών πληροφοριών για την διάκριση ειδών στην χαρτογράφηση της βλάστησης (Key et al., 2001; Fassnacht et al., 2016).

Σύμφωνα με την Επιτροπή Φαινολογίας του Διεθνούς Βιολογικού Προγράμματος των ΗΠΑ, φαινολογία είναι «η μελέτη της χρονικής στιγμής εμφάνισης επαναλαμβανόμενων βιολογικών γεγονότων, των αιτιών που σχετίζονται με την χρονική στιγμή εμφάνισής τους σε σχέση με τις υπάρχουσες βιοτικές και αβιοτικές δυνάμεις, και της συσχέτισης μεταξύ των φάσεων του ίδιου ή διαφορετικού είδους» (Lieth, 2013). Κατά τους Fassnacht κ.α. (2016) «η φαινολογία

περιλαμβάνει πολύ προφανείς διαδικασίες, όπως ο χρωματισμός των φύλλων στα φυλλοβόλα εύκρατα δάση το φθινόπωρο λόγω της γήρανσης (που σχετίζεται κυρίως με την ταχύτερη αποσύνθεση των χρωστικών της χλωροφύλλης σε σύγκριση με ανθοκυάνες και καροτενοειδή), και τα έντονα πράσινα χρώματα των φρέσκων φύλλων και βελόνων την περίοδο της άνοιξης καθώς και οι εκδηλώσεις ανθοφορίας» (Fassnacht et al., 2016).

Το γεγονός ότι τα διάφορα είδη βλάστησης έχουν συνήθως διαφορετικά χαρακτηριστικά φαινολογίας (Sayn-Wittgenstein, 1978; Lechowicz, 1995; Jia et al., 2014; Chuine & Beaubien, 2001; Lu & Weng, 2007), έχει ως αποτέλεσμα τα διαφορετικά αυτά προφίλ ανάπτυξης των ειδών βλάστησης να μπορούν να αποτυπωθούν σε χρονοσειρές δεδομένων τηλεπισκόπησης (Key et al., 2001; Jia et al., 2014; Lu & Weng, 2007).

Έχει αποδειχτεί από διάφορες μελέτες ότι οι χρονοσειρές δεικτών βλάστησης (π.χ., NDVI και EVI) είναι δυνατόν να περιγράψουν αρκετά καλά το αναπτυξιακό προφίλ της βλάστησης και μέσω αυτού να εξαχθούν οι πληροφορίες και για τους διάφορους τύπους κάλυψης γης (Reed et al., 1994; White et al., 2009; Xiao et al., 2002; Brown et al., 2013; Jia et al., 2014; Bohovic et al., 2016). Για παράδειγμα, η ημερομηνία έναρξης της πράσινης βιομάζας, η συνολική ολοκληρωμένη πράσινη βιομάζα με την πάροδο του χρόνου, και η μέγιστη πράσινη βιομάζα, έχουν χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης (Warner et al., 2009).

Από την άλλη πλευρά, η φαινολογία διαφέρει ανάλογα με το είδος, αλλά επίσης επηρεάζεται από παράγοντες όπως τη φωτοπερίοδο, την υγρασία και τη θερμοκρασία του εδάφους, τη θερμοκρασία αέρα, και τον φωτισμό από τον ήλιο (Sayn-Wittgenstein, 1978). Η σύνθεση πολυχρωμικών εικόνων έχει βρεθεί ότι είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για το χαρακτηρισμό του ετήσιου μοτίβου απόκρισης του οικοσυστήματος στις ετήσιες καιρικές συνθήκες (Loveland et al., 1995).

Ιστορικά, μελέτες φαινολογίας έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως για να τεκμηριώσουν συγκεκριμένα γεωργικά συμβάντα, όπως τη σπορά, την εμφάνιση, την καρποφορία και τη συγκομιδή (Reed et al., 1994), αλλά οι επιστήμονες της τηλεπισκόπησης έχουν αναπτύξει και διάφορες άλλες εφαρμογές που χρησιμοποιούν φαινολογικές πληροφορίες, όπως στην ταξινόμηση κάλυψης γης, στη βιογεωχημική μοντελοποίηση, στη χαρτογράφηση των δασών (Key et al., 2001). Ειδικά για τη χαρτογράφηση των δασών με την χρήση της τηλεπισκόπησης, υπήρξε αρκετά μεγάλη έμφαση σε αναλύσεις φαινολογίας (Everitt & Judd, 1989; Wolter et al., 1995; Mickelson et al., 1998; Dymond et al., 2002; Rötzer et al., 2004; Hill et al., 2010; Polgar & Primack, 2011; Stoffels et al., 2012, 2015).

Όπως οι Key κ.α. (2001) επισημαίνουν, με την χρήση χρονοσειρών εικόνων δίνεται η δυνατότητα αντιστάθμισης των περιορισμένων φασματικών πληροφοριών που προκύπτουν

λόγω των φαινολογικών διαφορών μεταξύ των βλαστικών ειδών, ενώ η αύξηση της χρονικής δειγματοληψίας μπορεί να υποκαταστήσει ένα μικρό αριθμό φασματικών ζωνών.

Πρέπει όμως να σημειωθεί, ότι η εποχική ανάλυση χρησιμοποιείται ευρέως με την χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης μεσαίας και χαμηλής ανάλυσης (Xiao et al., 2002; Brown et al., 2013) ενδεχομένως λόγω του ότι η απόκτηση και διαχείριση/επεξεργασία δεδομένων τηλεπισκόπησης υψηλής χρονικής και χωρικής ανάλυσης ταυτόχρονα είναι πολύ δύσκολη (Zhang et al., 2013b), αλλά και ο συνδυασμός εικόνων πολλαπλών ημερομηνιών παρουσιάζει ιδιαίτερες προκλήσεις (Key et al., 2001).

2.3.8.2 Δυσκολίες με την χρήση χρονοσειρών δεδομένων

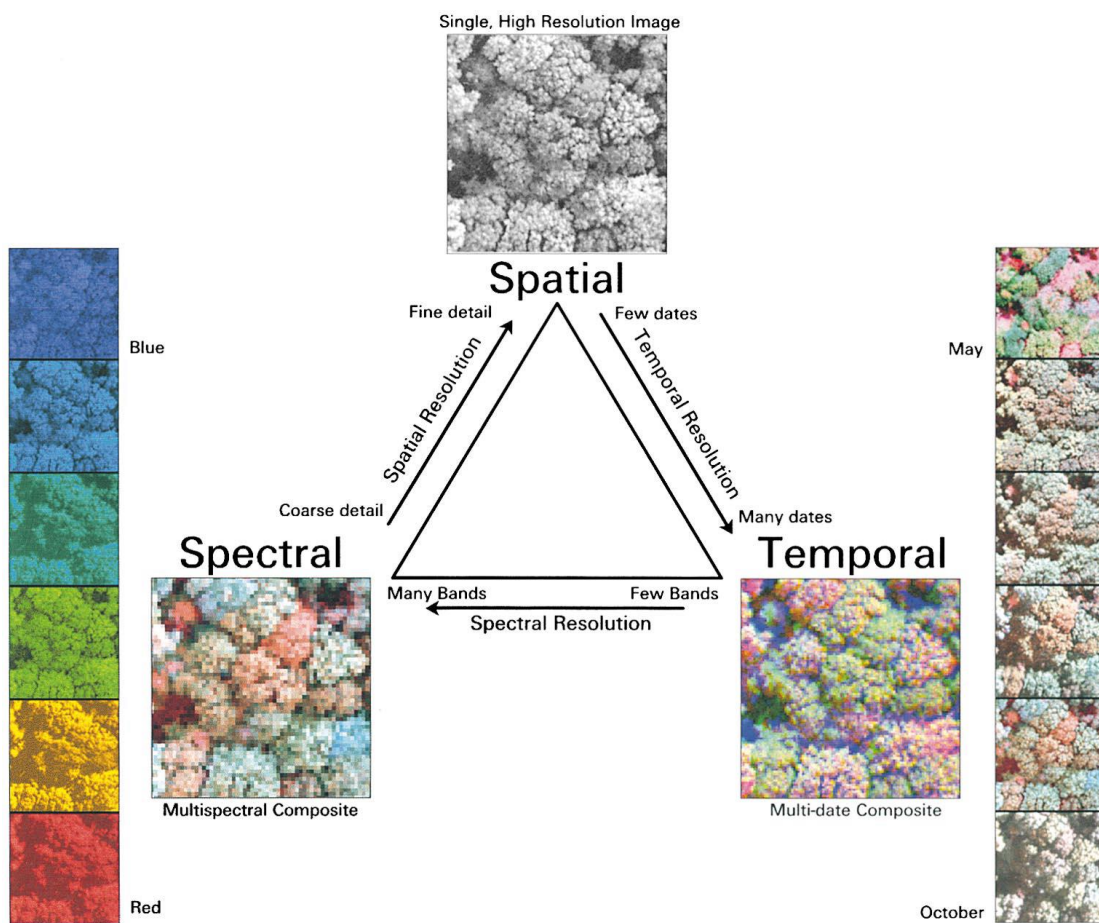
Οι κυριότερες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν με την χρήση διαχρονικών δεδομένων αφορούν στην απόκτηση δεδομένων στην κατάλληλη ποιότητα. Για παράδειγμα η ποιότητα των γεωμετρικών ιδιοτήτων της εικόνας είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε μη απόλυτη ταύτιση (coregistering) μεταξύ πολλαπλών εικόνων (Warner et al., 2009). Ακόμη και μια μη σύμπτωση της τάξεως 0,2 pixel μπορεί να προκαλέσει έως και 10% σφάλμα στην εκτίμηση της μεταβολής των φασματικών τιμών, ανάλογα με την ετερογένεια της σκηλής (Townshend et al., 1992).

Επίσης υπάρχει πολλές φορές δυσκολία απόκτησης εικόνων χωρίς νεφοκάλυψη κατά τη διάρκεια των βέλτιστων περιόδων, όπως η άνοιξη και το φθινόπωρο (βέβαια αυτό μπορεί να ξεπεραστεί εάν για μια μελέτη μπορούν να είναι κατάλληλες εικόνες με χρονική διαφορά 2 - 3 ετών) (Key et al., 2001; Kibret et al., 2016).

Τέλος, η υψηλή διαχρονική ανάλυση μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην αναγνώριση των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας, λόγω της αλλαγής των γωνιακών συνθηκών μεταξύ ήλιου και αισθητήρα για την ίδια θέση επί του εδάφους (π.χ. οι IKONOS, QuickBird διαθέτουν αισθητήρες που οι κεφαλές τους αλλάζουν κατευθύνσεις λήψης προκειμένου να μπορούν να στοχεύσουν εκτός ναδίρ μέσα σε ελάχιστο χρόνο ώστε να μειωθούν οι χρόνοι επαναληψιμότητας) (White et al., 2016). Αυτές οι διαφορετικές συνθήκες λήψης σε ένα δασικό περιβάλλον μπορεί να έχουν ως επίπτωση ένα δέντρο που είναι ορατό από μία γωνία να μην είναι ορατό από μια άλλη καθώς καλύπτεται από ένα άλλο, και ταυτόχρονα το φαινόμενο μη ισότροπης ανάκλασης να δημιουργεί περεταίρω «σύγχυση» μεταξύ εικόνων διαφορετικών χρονικών στιγμών (Wulder et al., 2008; Pacifici et al., 2014; Fassnacht et al., 2016).

2.3.9 Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών της κλίμακας των δεδομένων τηλεπισκόπησης

Μέχρι στιγμής, η συζήτηση έχει περιοριστεί σε καθεμία από τις διαφορετικές συνιστώσες της κλίμακας: χωρική, ραδιομετρική, φασματική, διαχρονική. Ωστόσο, είναι σαφές ότι αυτά τα χαρακτηριστικά των τηλεπισκοπικών δεδομένων συνδέονται: η αύξηση ενός τύπου ανάλυσης (π.χ. φασματική ανάλυση), θα οδηγήσει σε αλλαγές και σε άλλους τύπους ανάλυσης (όπως π.χ. στη χωρική ανάλυση) (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7 Συμβιβασμοί μεταξύ χωρικής, φασματικής και χρονικής κλίμακας των τηλεπισκοπικών εικόνων (πηγή (Key et al., 2001))

Αν και υπάρχει μια γενική τάση βελτίωσης της ανάλυσης καθενός από τα χαρακτηριστικά των νέων αισθητήρων, συμβιβασμοί μεταξύ όγκου δεδομένων και σχεδιασμού οργάνων έχουν ως αποτέλεσμα την τάση να τονίζεται ένα από τα τέσσερα κύρια χαρακτηριστικά των αισθητήρων υψηλής ανάλυσης σε βάρος των άλλων ιδιοτήτων (Key et al., 2001).

Για παράδειγμα, οι αισθητήρες πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης έχουν περιορισμένες φασματικές ικανότητες σε σύγκριση με αισθητήρες όπως του Landsat TM (Carleer et al.,

2005). Σε γενικές γραμμές, συνήθως υπάρχει ένας συμβιβασμός μεταξύ χωρικής και φασματικής ανάλυσης (Arlin et al., 1997; Key et al., 2001). Η φασματική ανάλυση εξαρτάται από την αναλογία του σήματος προς θόρυβο και αυτή η αναλογία είναι συνδεδεμένη με το στιγμιαίο οπτικό πεδίο, το ύψος της πτήσης, και τα οπτικο-ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων (Lillesand et al., 2014).

Μέχρι σήμερα, ένα μεγάλο μέρος των δορυφορικών εικόνων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης προσφέρει μια μόνο φασματική ζώνη στο παγχρωματικό κανάλι (π.χ., Quickbird-2 (0,60 m) και WorldView -1 (0,5 m), WorldView -2 (0,46 m), WorldView -4 (0,31 m)) (White et al., 2016). Έτσι, εάν για την ανάλυση μιας έρευνας απαιτείται μια εικόνα πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, θα πρέπει κανείς να αντιμετωπίσει την χαμηλή φασματική ανάλυση των δεδομένων. Η έκταση του στιγμιαίου οπτικού πεδίου, σχετίζεται με την φασματική ευαισθησία του αισθητήρα (Carleer et al., 2005), καθώς οι καταγραφές αισθητήρων μέσα από ένα στενό οπτικό πεδίο εξασφαλίζει το μεγάλο φασματικό εύρος των παγχρωματικών μηκών κύματος (π.χ., 400 nm έως 900 nm) που επιτρέπει και μικρότερα εικονοστοιχεία αλλά ταυτόχρονα δυσχεραίνεται η λήψη επαρκών επιπέδων μήκους κύματος (White et al., 2016).

Στο σχήμα των Key κ.α. (2001) (Εικόνα 2.7) παρουσιάζονται σχηματικά οι συμβιβασμοί που θα πρέπει να κάνει ο χρήστης όταν επιλέγει δορυφορικές εικόνες για μια συγκεκριμένη έρευνα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, εάν για την ανάλυση της έρευνας απαιτείται μια εικόνα πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, θα πρέπει να γίνει ο συμβιβασμός της φτωχής φασματικής ανάλυσης: για παράδειγμα μια εικόνα IKONOS-2, προφέρει μια μόνο ζώνη φάσματος στο παγχρωματικό κανάλι με 1 μέτρο IFOV. Επιπλέον δεδομένου ότι οι VHRS εικόνες συνήθως καλύπτουν μικρή χωρική έκταση, η χρήση τους για μεγάλες περιοχές έρχεται με επιπλέον γεωμετρική και ραδιομετρική επεξεργασία, καθώς για να καλυφθεί μια περιοχή ενδιαφέροντος, πρέπει να χρησιμοποιηθούν πολλές σκηνές (Falkowski et al., 2009).

Από την άλλη πλευρά, λόγω του μικρού στιγμιαίου οπτικού πεδίου των πολυ υψηλής ανάλυσης δορυφορικών αισθητήρων, η επαναληψιμότητα σάρωσης είναι πιθανόν να μην είναι τόσο συχνή. Γι' αυτό τον λόγο και η υψηλή χωρική ανάλυση συνήθως υποδηλώνει μειωμένη φασματική αλλά και χρονική ανάλυση, όπως διαφαίνεται και στην κορυφή του γραφήματος (Εικόνα 2.7).

Στην περίπτωση χρήσης πολυφασματικών δεδομένων υπάρχουν διαφορετικοί συμβιβασμοί που έχουν να κάνουν με την χαμηλότερη χωρική ανάλυση. Τα πολυφασματικά δεδομένα έχουν συνήθως μια χωρική ανάλυση μεγαλύτερη του 1 m (White et al., 2016). Στο παράδειγμα με την χρήση του IKONOS-2, τα τέσσερα πολυφασματικά κανάλια που διαθέτει έχουν 4 μέτρα ανάλυση.

Τέλος, με την χρήση δεδομένων πολύ υψηλής χρονικής ανάλυσης, με πολύ συχνή επαναληψιμότητα σάρωσης (περισσότερες από 2 φορές την μέρα) όπως οι εικόνες AVHRR 2, θα πρέπει να γίνουν συμβιβασμοί μεταξύ του ευρύτατου στιγμιαίου οπτικού πεδίου του 1 χιλιομέτρου και του 1 καναλιού στο ορατό και 1 στο εγγύς υπέρυθρο (τα υπόλοιπα κανάλια είναι 1 στο μέσο υπέρυθρο και 2 στο θερμικό ή απώτερο υπέρυθρο).

Οι Key κ.α. (2001) σύγκριναν την αξία των πολλών φασματικών ζωνών με εικόνες πολλαπλών ημερομηνιών για την ταξινόμηση μεμονωμένων ειδών φυλλοβόλων δένδρων. Η μελέτη τους έδειξε ότι μια ενιαία βέλτιστα επιλεγμένη πολυφασματική εικόνα η οποία αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια της αιχμής των χρωμάτων του φθινοπώρου οδήγησε σε σχετικά υψηλή ακρίβεια ταξινόμησης. Παρόμοια, όμως υψηλή ακρίβεια μπορούσε να επιτευχθεί και με την χρήση μιας μόνο μπάντας της εικόνας αλλά πολλών ημερομηνιών. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση πολυχρονικών δεδομένων είναι πιθανό να μπορεί να υποκαταστήσει τις περιορισμένες πολυφασματικές ιδιότητες των δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης (Key et al., 2001).

Όπως είδαμε τα δεδομένα τηλεπισκόπησης έχουν μια σειρά από χαρακτηριστικά (όπως η χωρική, φασματική και χρονική κλίμακα), και κάποιες φορές θα πρέπει να γίνονται κάποιοι συμβιβασμοί σε συνάρτηση με αυτά τα χαρακτηριστικά, καθώς είναι δυνατόν να επηρεάσουν το αντικειμενικό σκοπό μιας έρευνας (Rogan & Chen, 2004). Για παράδειγμα, τα πολυφασματικά δεδομένα μπορούν να προσφέρουν μια πιο ισχυρή αξιοποίηση αλγορίθμων για τον χαρακτηρισμό των συνθηκών βλάστησης (Xie et al., 2008), ενώ η υψηλότερη χωρική ανάλυση από παγχρωματικές εικόνες επιτρέπει κυρίως χειροκίνητες προσεγγίσεις ερμηνείας (Falkowski et al., 2009).

Συνοπτικά το σήμα ενδιαφέροντος στις παρατηρήσεις τηλεπισκόπησης επηρεάζεται από την χωρική ανάλυση του αισθητήρα (με τον υπολογισμό του μέσου όρου και/ή τον συγκερασμό της ανακλώμενης ακτινοβολίας πάνω από το μέγεθος του εικονοστοιχείου), την φασματική ανάλυση του αισθητήρα (με τον υπολογισμό του μέσου όρου των ζωνών απορρόφησης και/ή της συνολικής καμπύλης ανακλαστικότητας), τη λειτουργία φασματικής απόκρισης του αισθητήρα (το εύρος των τιμών ανάκλασης που μπορούν να συλληφθούν), τη διαδικασία απεικόνισης στα οπτικά συστήματα και τα μέρη ανίχνευσης του αισθητήρα και τις γεωμετρικές στρεβλώσεις που προκύπτουν από εσωτερικούς παράγοντες του αισθητήρα ή εξωτερικούς παράγοντες της πλατφόρμας (Jong & Meer, 2004).

Τόσο η έκταση (το μέγεθος του πλαισίου) της εικόνας, όσο και ο αριθμός των φασματικών ζωνών, καθώς και η ραδιομετρική και η χωρική ανάλυση προσδιορίζουν την κλίμακα και τον όγκο των δεδομένων που παράγονται από ένα συγκεκριμένο αισθητήρα (Richards, 2013). Η χωρική ανάλυση και το μέγεθος του πλαισίου σχετίζονται άμεσα με τα τεχνικά

χαρακτηριστικά του αισθητήρα (Richards, 2013), και καθορίζουν τα ανώτερα και κατώτερα όρια στις συχνότητες της χωρικής διακύμανσης που είναι ανιχνεύσιμες στα δεδομένα (Atkinson, 2004).

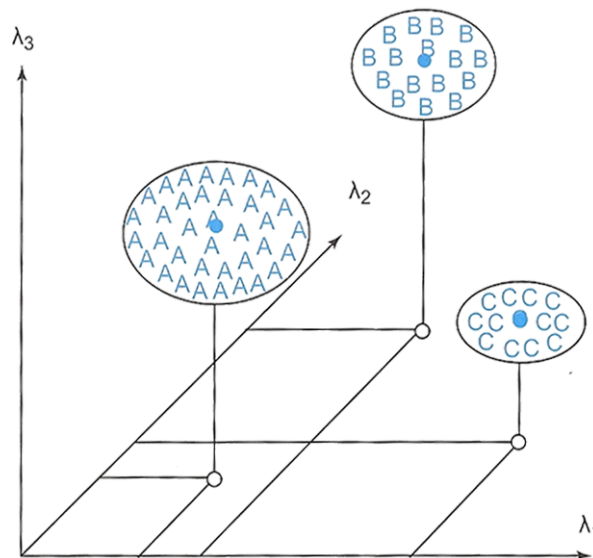
- Τα χωρικά και φασματικά χαρακτηριστικά της εικόνας επηρεάζονται από την χωρική απόκριση του αισθητήρα που περιλαμβάνει αμαύρωση της εικόνας (από τα οπτικά του αισθητήρα, από την κίνηση της εικόνας, τον ανιχνευτή και τα ηλεκτρονικά του αισθητήρα), με συνέπεια την αύξηση της χωρικής συσχέτισης, τη μείωση διακύμανσης εντός μιας ίδιας κατηγορίας υλικών και τη δημιουργία μικτών φασματικών διανυσμάτων.
- Τα φασματικά χαρακτηριστικά της εικόνας επηρεάζονται από τις φασματικές θέσεις και τα εύρη των ζωνών διέλευσης του αισθητήρα και από τα χαρακτηριστικά του θορύβου του αισθητήρα (οι φασματικές ανακλάσεις της σκηνής σταθμίζονται από την φασματική απόκριση του αισθητήρα για κάθε ζώνη), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διακύμανση όλων των υλικών επιφάνειας εξίσου.
- Τα φασματικά χαρακτηριστικά της εικόνας επηρεάζονται από την τοπογραφία στη σκηνή, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται συσχετίσεις μεταξύ των φασματικών ζωνών.
- Τα υλικά στην επιφάνεια της γης προσδιορίζονται (σε γενικές γραμμές) από τις εποχικές φασματικές υπογραφές οπτικό-ανάκλασης τους. Ως εκ τούτου, η διαχρονική ανάλυση είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των δορυφορικών εικόνων.

Οι παραπάνω είναι μερικές από τις αλληλεπιδράσεις που επηρεάζουν την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων τηλεπισκόπησης και το σχεδιασμό και την απόδοση των αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας που θα συζητηθούν σε επόμενες ενότητες.

2.4 Ταξινόμηση

Η ανάγκη για ταξινόμηση προκύπτει κάθε φορά που στην καθημερινή μας ζωή ένα αντικείμενο τοποθετείται σε μια συγκεκριμένη ομάδα ή τάξη ανάλογα με τις ιδιότητες του και αναμφισβήτητα μας βοηθά να προβούμε στη λήψη αποφάσεων (Nath et al., 2014). Η ταξινόμηση τηλεπισκοπικών εικόνων είναι μια πολύ σημαντική κατεύθυνση εφαρμογών ψηφιακής ταξινόμησης εικόνας με πολλές ομοιότητες με την γενική ταξινόμηση εικόνας (Lillesand et al., 2014). Από καιρό η έρευνα στον τομέα της ταξινόμησης των τηλεπισκοπικών δεδομένων έχει προσελκύσει την προσοχή των ερευνητών που ασχολούνται με την Τηλεπισκόπηση λόγω του ότι τα αποτελέσματα της ταξινόμησης αποτελούν τη βάση για πολλές περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές εφαρμογές (Lu & Weng, 2007).

Ένα προφανές παράδειγμα είναι η χρήση τηλεπισκοπικών εικόνων για την θεματική χαρτογράφηση των καλύψεων γης (που αποτελεί ένα εγγενές στοιχείο των εικόνων) με τεχνικές ταξινόμησης εικόνας (Alvarez et al., 2003; Arlin, 2004; Tseng et al., 2008; Adam et al., 2014; Franklin & Wulder, 2002). Οι τεχνικές ταξινόμησης εικόνας αφορούν στην σύνδεση των χαρακτηριστικών των εικόνων (συνήθως των εικονοστοιχείων) με συγκεκριμένες κατηγορίες κάλυψης γης και έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή θεματικών χαρτών κάλυψης γης (Smith et al., 2003).



Σχήμα 2.8 Συσσωρεύσεις σε φασματικό χώρο με τρεις φασματικές ζώνες

(Ο φασματικός χώρος έχει τόσες διαστάσεις όσες και οι φασματικές ζώνες της εικόνας, όπου αντικείμενα με παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά ομαδοποιούνται δημιουργώντας συσσωρεύσεις με τη μορφή ενός υπέρ - στερεού σχήματος (χώρος με περισσότερες από τρεις διαστάσεις) από το κέντρο του οποίου μετρούνται οι αποστάσεις από τις φασματικές ζώνες, πηγή (Χατζόπουλος, 2012))

Η ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων είναι μια ισχυρή τεχνική απόσπασης πληροφοριών μέσω της «ερμηνείας της εικόνας» (Jensen, 2007; Rajyalakshmi et al., 2016), που βασίζεται στην

ομαδοποίηση των ψηφιακών ταυτοτήτων/υπογραφών (ενότητα 2.3.6.2) όπως προκύπτουν από τη μέτρηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (συνήθως, του ανακλώμενου ηλιακού φωτός) από τα χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας (Arlin, 2004; Schowengerdt, 2007; Latham, 2010; Bharatkar & Patel, 2013). Τα εικονοστοιχεία δημιουργούν συσσωρεύσεις (clusters) στο φασματικό χώρο των δεδομένων (Σχήμα 2.8), και η ταξινόμηση εικόνας έχει ως στόχο να καθορίσει τη διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στις συσσωρεύσεις που δημιουργούνται (Χατζόπουλος, 2012). Η ομαδοποίηση των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας σε κατηγορίες κάλυψης γης είναι η τρίτη διάσταση της κλίμακας, το επίπεδο οργάνωσης δηλαδή (όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.2.3), σε μια χωρική ιεραρχία που συνήθως κατασκευάζεται από τον παρατηρητή.

Σε γενικές γραμμές η κάλυψη γης αναφέρεται στο φυσικό ή ανθρωπογενές περιβάλλον και συνήθως καθορίζεται με βιοφυσικούς όρους (Comber et al., 2005). Οι υπογραφές ή ταυτότητες επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό των οντοτήτων της γήινης επιφάνειας (με βάση γεωφυσικές παραμέτρους) (Jensen, 2007). Κατά συνέπεια οι τηλεπισκοπικές εικόνες παρέχουν μια βασική αναπαράσταση της χωρικής οργάνωσης της κάλυψης γης στην επιφάνεια της γης εφόσον τα υλικά της κάλυψης γης μπορούν να παρατηρηθούν απευθείας, ακόμη και όταν οι πληροφορίες κάλυψης γης δεν είναι ο τελικός στόχος των μελετών τηλεπισκόπησης (Arlin, 2004), με αποτέλεσμα να αποτελούν έναν αρωγό στην προσπάθεια να κατανοήσουμε την περίπλοκη ιεραρχική φύση της γήινης επιφάνειας, με την ταξινόμηση της κάλυψης γης.

Από την κάλυψη γης συνάγονται οι χρήσεις γης με την βοήθεια και άλλων πρόσθετων δεδομένων (Townshend et al., 1991), καθώς η χρήση γης αναφέρεται στη λειτουργία της επιφανειακής κάλυψης που συνήθως εκφράζεται με οικονομικούς όρους (Dickinson & Shaw, 1977). Η χρήση και η κάλυψη γης συσχετίζονται αλλά είναι διαφορετικές έννοιες, με διαφορετικούς ορισμούς και αναφορές σε διαφορετικούς τύπους ανάλυσης της κάλυψης της επιφάνειας της Γης. Παρόλο που είναι διαφορετικοί τύποι πληροφορίας, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των πληροφοριών αυτών είναι πανομοιότυπες (Franklin & Wulder, 2002).

Η κάλυψη γης είναι μια βασική περιβαλλοντική μεταβλητή για την κατανόηση των αιτιών και των τάσεων των ανθρωπογενών και φυσικών διαδικασιών και κατά συνέπεια για την υποστήριξη αποτελεσματικής περιβαλλοντικής διαχείρισης και παρακολούθησης (Malinverni et al., 2011). Στις περισσότερες κοινωνικό-οικονομικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές, του αστικού και περιφερειακού σχεδιασμού, της διατήρησης και της διαχείρισης των φυσικών πόρων, κ.α. είναι απαραίτητο να υπάρχουν συχνές και επικαιροποιημένες πληροφορίες των χρήσεων και κάλυψης γης (Homer et al., 2015; Lu & Weng, 2007). Για παράδειγμα όπως οι

Lewis κ.α. (2013) επισημαίνουν «εάν δεν υπάρχουν αξιόπιστες χωρικές πληροφορίες για την βλάστηση η λήψη ορθών αποφάσεων για την διαχείριση των φυσικών πόρων και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας τίθεται σε κίνδυνο» (Lewis et al., 2013).

Η δορυφορική Τηλεπισκόπηση από καιρό έχει θεωρηθεί ως η ιδανική τεχνολογία και πηγή δεδομένων για την εξαγωγή πληροφοριών χρήσης και κάλυψης γης (μέσω της διαδικασίας της ερμηνείας και της ταξινόμησης εικόνας) μεγάλων γεωγραφικών περιοχών (Saint, 1980; Iverson et al., 1989; Li et al., 2014), που παρέχει την δυνατότητα παρακολούθησης της χωρικής οργάνωσης της γήινης επιφάνειας σε μια ποικιλία χωρικών και χρονικών κλιμάκων γρήγορα και με οικονομικά αποδοτικό τρόπο (Hansen et al., 2000; Foody, 2002; Liu et al., 2003; Wu et al., 2008; Bargiel & Herrmann, 2011; Malinverni et al., 2011; Gong et al., 2013; Li et al., 2014). Ιδιαίτερα στην περιβαλλοντική έρευνα μεγάλης κλίμακας τα λεπτομερή και ακριβή δεδομένα κάλυψης γης αποτελούν τη βάση αξιολόγησης της κατανομής των ενδιαιτημάτων, της σύνθεσης του τοπίου ή των αλλαγών των χρήσεων γης και αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για την μοντελοποίηση του τοπίου και την δόμηση σεναρίων, ιδιαίτερα σε περιόδους παγκόσμιας αλλαγής (Heinl et al., 2009).

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί από το 1980 διάφορες τεχνικές ταξινόμησης τηλεπισκοπικών εικόνων για τη χαρτογράφηση επικαιροποιημένων πληροφοριών χρήσης / κάλυψης γης σε διαφορετικές κλίμακες (Li et al., 2014) από εθνική, περιφερειακή, ηπειρωτική έως και παγκόσμια, προκειμένου ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες χρήσης / κάλυψης γης να χρησιμοποιηθούν από κυβερνητικούς φορείς, ερευνητικά ιδρύματα και ανεξάρτητους οργανισμούς για την υποστήριξη του σχεδιασμού του τοπίου και την ολοκληρωμένη διαχείριση των πόρων (Franklin & Wulder, 2002; Malinverni et al., 2011).

Οι κύριες πηγές δεδομένων θεματικής πληροφορίας είναι οι δορυφορικές εικόνες και οι αεροφωτογραφίες (Malinverni et al., 2011; Kibret et al., 2016). Η χαρτογράφηση της κάλυψης γης με την χρήση δορυφορικών εικόνων ή αεροφωτογραφιών έχει αυξηθεί εκθετικά τις τελευταίες δεκαετίες, κυρίως λόγω της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας και προσβασιμότητας σε βελτιωμένα δεδομένα από νέους αισθητήρες (Yu et al., 2014). Παράλληλα, η εξέλιξη των υπολογιστικών πόρων και των εργαλείων ανάλυσης είχαν ως αποτέλεσμα την διεξαγωγή μιας σειράς μελετών με σκοπό την αποκάλυψη της γεωγραφικής κατανομής των χρήσεων / κάλυψης γης και των δυναμικών αλλαγών τους με την πάροδο του χρόνου, του χώρου και της κλίμακας (Wang et al., 2009c; Jiang et al., 2012).

Η καταλληλότητα της τηλεπισκόπησης για την απόσπαση δεδομένων κάλυψης γης έχει από καιρό αναγνωριστεί, αλλά η διαδικασία για την δημιουργία της πληροφορίας σχετικά με την κάλυψη γης από δεδομένα τηλεπισκόπησης απέχει ακόμα πολύ από το να είναι τυποποιημένη ή βελτιστοποιημένη (Foody, 2001; Lu & Weng, 2007). Η ταξινόμηση της κάλυψης γης έχει

εφαρμοστεί για δεκαετίες (King, 2002; Briem et al., 2002), με την εφαρμογή διάφορων αλγορίθμων ταξινόμησης, εκ των οποίων καθένας εμφανίζει συγκεκριμένα προβλήματα που περιορίζουν την χρήση του (Bharatkar & Patel, 2013). Έτσι, παρά την μακρά περίοδο εφαρμογής μεθόδων ταξινόμησης για την εξαγωγή της κάλυψης Γης, ακόμα υπάρχει το ενδιαφέρον είτε για την ανάπτυξη νέων τεχνικών ταξινόμησης ή την προσαρμογή των παλιότερων (Liu et al., 2002b, 2003), είτε την εφαρμογή πολλαπλών ταξινομητών (διαδικασία συνδυασμού ανεξάρτητων αλγορίθμων ταξινόμησης) για την βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης των χαρτών κάλυψης γης (Briem et al., 2002; Debelr et al., 2002; Liu et al., 2002b).

Οι περισσότερες αυτοματοποιημένες προσεγγίσεις απαιτούν εξελιγμένες τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας και υπολογιστικής όρασης, και η απόδοσή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες όπως η κλίμακα και η ποιότητα των δεδομένων τηλεπισκόπησης, η πολυπλοκότητα του τοπίου, η συλλογή δεδομένων εκπαίδευσης, η μέθοδος ταξινόμησης, κ.λπ. (Lu & Weng, 2007; Gao & Mas, 2008). Οι κυριότερες προσεγγίσεις ταξινόμησης καθώς και οι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοσή τους θα συζητηθούν στις ενότητες που ακολουθούν (ιδιαίτερα στις 2.4.1, 2.4.3 και 2.5).

2.4.1 Προσεγγίσεις ταξινόμησης

2.4.1.1 Κατηγοριοποίηση των προσεγγίσεων ταξινόμησης

Σύμφωνα με μια ενδελεχή βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τους αλγορίθμους ταξινόμησης των Lu και Weng (2007), οι τεχνικές ταξινόμησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε σε επιβλεπόμενες ή μη επιβλεπόμενες, είτε σε παραμετρικές ή μη παραμετρικές, είτε σε σκληρές (hard) ή μαλακές (soft (fuzzy)) είτε με βάση το εικονοστοιχείο, το υπό εικονοστοιχείο ή το αντικείμενο.

Σε μια πρόσφατη πολύ περιεκτική δημοσίευση το 2014, οι Li κ.α. εξέτασαν τις κυριότερες τεχνικές ταξινόμησης εικόνων κατηγοριοποιώντας τις αρχικά σε τρεις βασικές κατηγορίες: σε μεθόδους του «σοφού» εικονοστοιχείου, σε μεθόδους υπό εικονοστοιχείου και σε μεθόδους με βάση τα αντικείμενα. Οι συγγραφείς υπογραμμίζοντας την σημασία της ενσωμάτωσης χώρο συναφών πληροφοριών στην ταξινόμηση, διαχώρισαν αυτή την ομάδα ταξινομητών εντός της οποίας διέκριναν περεταίρω τρεις μεγάλες κατηγορίες: εξαγωγής υφής, μοντελοποίησης τυχαίων πεδίων Markov και κατάτμησης και ανάλυσης εικόνας που βασίζεται στα αντικείμενα. Επιπλέον οι συγγραφείς αναφέρουν ότι σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες αναδύεται και μια τέταρτη ομάδα μεθόδων ταξινόμησης με την χρήση τεχνικών

ανάλυσης γεωγραφικών πληροφοριών που ενσωματώνει χώρο-συναφείς πληροφορίες (Li et al., 2014).

Με βάση τα παραπάνω άρθρα σύνοψης της βιβλιογραφικής έρευνας σχετικά με τις τεχνικές ταξινόμησης, εδώ θα διαχωρίσουμε τις τεχνικές ταξινόμησης σε δύο βασικές κατηγορίες: 1) τις προσεγγίσεις ταξινόμησης όπου η βασική μικρότερη μονάδα ανάλυσης ο «κόκκος» (δηλαδή το εικονοστοιχείο) θεωρείται ότι είναι «σοφή» και 2) στις προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν για την αντιμετώπιση των μικτών εικονοστοιχείων και της φασματικής σύγχυσης που δημιουργούνται με την χρήση των προσεγγίσεων της πρώτης κατηγορίας (Πίνακας 2.16).

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 και του 1990, οι περισσότερες τεχνικές ταξινόμησης χρησιμοποιούσαν το εικονοστοιχείο της εικόνας ως τη βασική μονάδα ανάλυσης. Στις τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί σε αυτήν την κατηγορία ταξινόμησης κάθε εικονοστοιχείο χαρακτηρίζεται ως ενιαία χρήση/κατηγορία κάλυψης γης (Li et al., 2014). Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται μη επιβλεπόμενες τεχνικές, επιβλεπόμενες και υβριδικές ταξινομήσεις (δηλαδή ημι-επιβλεπόμενης και συγχώνευση επιβλεπόμενης με μη επιβλεπόμενης μάθησης) (Zhang et al., 2005; Alajlan et al., 2012). Το αποτέλεσμα αυτών των ταξινομήσεων είναι αυτό που αναφέρεται ως «τραχιά- (crisp)» ή «σκληρή- (hard)» ταξινόμηση (Burrough & McDonnell, 1998; Foody, 1995; Negnevitsky, 2005; Woodcock & Gopal, 2000; Zhang & Kirby, 1997). Όμως αυτές οι «εικονοστοιχείο-σοφές» προσεγγίσεις ταξινόμησης, εμφανίζουν περιορισμούς όταν εφαρμόζονται σε ετερογενείς περιοχές, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μικτών εικονοστοιχείων (Li et al., 2014).

Η αντιμετώπιση του προβλήματος των μικτών εικονοστοιχείων, αποτέλεσε το έναυσμα για την δημιουργία μιας σειράς εναλλακτικών προσεγγίσεων ταξινόμησης. Το πρόβλημα των μικτών εικονοστοιχείων απασχόλησε τους ερευνητές ακόμη και με την διαθεσιμότητα δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης προς τα τέλη της δεκαετίας του 1990. Παρόλο που η αναλογία μικτών εικονοστοιχείων έδειχνε να μειώνεται ωστόσο λόγω αύξησης της εντός των τάξεων μεταβλητότητας υπήρξε η ανάγκη για την δημιουργία προσεγγίσεων που θα ομογενοποιούσαν την μεγάλη χωρική λεπτομέρεια που δημιουργούσε το φαινόμενο «αλάτι κα πιπέρι» εντός μιας κατηγορίας. Έτσι, ενώ κατά το παρελθόν η ανάγκη επικεντρωνόταν στην απόσπαση της χωρικής πληροφορίας της τάξης που υπήρχε ως συστατικό του εικονοστοιχείου (πληροφορία ανά υπό εικονοστοιχείο), με την χρήση δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε κυρίως στην ενσωμάτωση της φασματικής πληροφορίας του εικονοστοιχείου σε μια γενικότερη κατηγορία.

Το 1965, ο Zadeh εισήγαγε μια νέα θεωρία συνόλων την θεωρία ασαφών συνόλων. Τα ασαφή σύνολα βρίσκουν εφαρμογή σε μαθηματικά ή θεωρητικά μοντέλα εμπειρικών φαινομένων

όταν εμφανίζεται ασάφεια, αοριστία και αβεβαιότητα (Burrough & McDonnell, 1998). Με βάση την θεωρία ασαφών συνόλων αναπτύχθηκε την δεκαετία του 1990 μια εναλλακτική προσέγγιση που ονομάζεται «ασαφής ταξινόμηση». Η ασαφής ταξινόμηση θα μπορούσε να οριστεί ως η μέθοδος ταξινόμησης κάλυψης γης που βασίζεται στην θεωρία των ασαφών συνόλων όπου κάθε εικονοστοιχείο ή μονάδα επιφάνειας μπορεί να έχει μερική συμμετοχή σε μια κατηγορία, δηλαδή μπορεί να ανήκει σε πολλαπλές κατηγορίες με μια τιμή μέλους για κάθε τάξη που αντιπροσωπεύει τον βαθμό συμμετοχής του σε αυτήν. Κατά συνέπεια μια ταξινόμηση αυτής της κατηγορίας θα μπορούσε να αντιμετωπίσει το πρόβλημα μικτών εικονοστοιχείων. Επιπλέον προς αυτήν την κατεύθυνση αντιμετώπισης του προβλήματος μικτών εικονοστοιχείων, ανήκουν και οι τεχνικές ανάλυσης μίγματος φάσματος (spectral mixture analysis)(Adams et al., 1986; Wang, 1990a) και οι αναλύσεις αυτές που στην ουσία βασίζονται στο υπό εικονοστοιχείο έχουν εφαρμοστεί στη γεωλογία, τη δασολογία, καθώς και σε αστικές αναλύσεις (Li et al., 2014).

Με την διαθεσιμότητα πολύ υψηλής ευκρίνειας τηλεπισκοπικών αισθητήρων (τέλη της δεκαετίας του 1990) αναπτύχθηκαν μέθοδοι ταξινόμησης που βασίζονται σε αντικείμενα (Blaschke, 2010a; Dribault et al., 2012; Wilson & Oreopoulos, 2013). Οι μέθοδοι που βασίζονται σε αντικείμενα ομαδοποιούν έναν αριθμό εικονοστοιχείων με ομοιογενείς ιδιότητες σε αντικείμενα, τα οποία θεωρούνται η βασική μονάδα για ανάλυση αντί των μεμονωμένων εικονοστοιχείων (Myint et al., 2011).

Η διαθεσιμότητα δορυφορικών εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης αποκάλυψε ένα άλλο θέμα που ανακύπτει με την χρήση τεχνικών ταξινόμησης, και είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες τεχνικές βασίζονται στην φασματική πληροφορία αγνοώντας τις χωρικές συνιστώσες, οι οποίες κληρονομούνται στις τηλεπισκοπικές εικόνες του πραγματικού κόσμου (Li et al., 2014). Στις εικόνες υψηλότερης χωρικής ανάλυσης, είναι πιο πιθανόν να υπάρχει φασματική μεταβλητότητα εντός μια κατηγορίας (Li et al., 2014), με αποτέλεσμα λιγότερο από ικανοποιητικά αποτελέσματα με την χρήση φασματικών ταξινομητών (Myint et al., 2011).

Έτσι, αναπτύχθηκε μια άλλη κατηγορία προσεγγίσεων, οι λεγόμενες «χώρο-συναφείς» ταξινομήσεις εικόνας, υποδεικνύοντας την σχέση μεταξύ ενός εικονοστοιχείου «στόχου» και των γειτονικών του (Mather, 2011). Παρά το γεγονός ότι αυτές οι χώρο-συναφείς προσεγγίσεις έχουν εφαρμοστεί με διαφορετικούς βαθμούς επιτυχίας για τον προσδιορισμό των πληροφοριών χρήσεων/κάλυψης γης, προέρχονται από τους τομείς της υπολογιστικής όρασης και επεξεργασίας εικόνας (Computer Vision & Image Processing) , χωρίς να λαμβάνουν υπόψη την γεωγραφική γνώση (Li et al., 2014). Η χωρική εξάρτηση (σελ. 38), είναι μια βασική έννοια στη γεωγραφία, όπως αναφέρεται στο πρώτο νόμο της γεωγραφίας του

Tobler ότι «όλα είναι συνδεδεμένα με όλα τα άλλα, αλλά τα πράγματα που είναι κοντά συσχετίζονται περισσότερο από μακρινά» (Tobler, 1970).

Στην προσπάθεια λοιπόν για την αντιμετώπιση των θεμάτων της χωρικής εξάρτησης, έχουν αναπτυχθεί, τεχνικές ανάλυσης γεωγραφικών πληροφοριών όπως αναλύσεις χωρικής αυτοσυσχέτισης, μοντέλα χωρικής επέκτασης, μοντέλα χωρικής παλινδρόμησης, γεωγραφικά μοντέλα σταθμισμένης παλινδρόμησης και γεωστατιστικής (Fischer & Getis, 2010). Ωστόσο, οι τεχνικές ανάλυσης γεωγραφικών πληροφοριών σπάνια έχουν εφαρμοστεί στην επεξεργασία εικόνων τηλεπισκόπησης, παρόλο που στους τομείς της γεωγραφίας, της γεωλογίας, της οικονομίας και των χωροταξικών επιστημών είναι ευρέως αποδεκτές (Li et al., 2014).

Πίνακας 2.12. Περίληψη των τεχνικών ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων

Τεχνικές Ταξινόμησης	Χαρακτηριστικά	Παραδείγματα Ταξινομητών
Τεχνικές Δυαδικής θεώρησης		
Τεχνικές με βάση το εικονοστοιχείο	Κάθε εικονοστοιχείο θεωρείται αμιγή και συνήθως χαρακτηρίζεται ως μια ενιαία χρήση/τύπος κάλυψης γης	Μη επιβλεπόμενη (π.χ. k-means, ISODATA, SOM, ιεραρχική ομαδοποίηση) Επιβλεπόμενη (π.χ. Μέγιστη Πιθανοφάνεια, ελάχιστη απόσταση μέσω, απόσταση Mahalanobis, Παραλληλεπίπεδων, k-nearest Neighbors) Μηχανές εκμάθησης (π.χ. τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, δένδρα ταξινόμησης, τυχαία δάση, μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης, γενετικοί αλγόριθμοι)
Τεχνικές που αναπτύχθηκαν για την αντιμετώπιση των μικτών εικονοστοιχείων και της φασματικής σύγχυσης		
Τεχνικές που βασίζονται σε υπό- εικονοστοιχείο	Κάθε εικονοστοιχείο θεωρείται μικτό, και εκτιμάται το ποσοστό επιφάνειας της κάθε τάξης	Ασαφής ταξινόμηση, νευρωνικά δίκτυα, μοντελοποίηση παλινδρόμησης, ανάλυση δένδρων παλινδρόμησης, ανάλυση μίξης φάσματος, ασαφής ανάλυση μίξης φάσματος
Τεχνικές που η μικρότερη μονάδα ταξινόμησης αποτελείται από ομάδα εικονοστοιχείων	Τομείς ή τεμάχια γης, αντί για τα μεμονωμένα εικονοστοιχεία θεωρούνται ως η βασική μονάδα	Χρησιμοποιούνται διανυσματικά πολυγωνικά γεωχωρικά δεδομένα σχετικά με τα όρια τομών, και εξάγονται κάποιες ιδιότητες των εικονοστοιχείων που βρίσκονται εντός των ορίων
	Γεωγραφικά αντικείμενα, σε αντίθεση με τα μεμονωμένα εικονοστοιχεία, θεωρούνται ως η βασική μονάδα	Κατάτμηση εικόνας και αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας (π.χ. E-cognition, ArcGIS Feature Analyst)

2.4.1.2 Προσεγγίσεις ταξινόμησης του «σοφού» εικονοστοιχείου

Προσεγγίσεις ταξινόμησης δυαδικής θεώρησης

Παραδοσιακά, οι πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη του εδάφους παρουσιάζονται σε θεματικούς χάρτες ταξινομήσεων όπου η επιφάνεια του εδάφους ταξινομείται σε εξ ολοκλήρου διαφορετικές και μη επικαλυπτόμενες περιοχές (Schowengerdt, 2007). Για κάθε επιφανειακή μονάδα, επισημαίνεται μόνο μία τάξη και θεωρείται ομοιογενής σε όλη την έκταση της, ενώ διαφοροποιείται από τις παρακείμενες επιφανειακές μονάδες με απόλυτα καθορισμένα όρια (Zhang & Kirby, 1997).

Οι μέθοδοι ταξινόμησης με βάση το εικονοστοιχείο, είναι οι κλασικές τεχνικές ταξινόμησης που εφαρμόζονται από το ξεκίνημα της χρήσης της τηλεπισκόπησης για την απόσπαση πληροφοριών σχετικά με την κάλυψη/χρήση γης, κατά τις οποίες γίνεται η υπόθεση ότι ένα εικονοστοιχείο είναι αμιγές από την άποψη της χρήσης/κάλυψης γης και κατά συνέπεια χαρακτηρίζεται ως μια ενιαία τάξη (Fisher, 1997; Xu et al., 2005; Giri, 2012). Η θεώρηση ότι κάθε εικονοστοιχείο ανήκει σε μία τάξη χρησιμοποιείται ευρέως μέχρι και σήμερα σε πολλά επιχειρησιακά προγράμματα (Costa et al., 2014), και βασίζεται στην κλασική θεωρία συνόλων (Woodcock & Gopal, 2000). Πρώτος ο Αριστοτέλης ανέπτυξε αυτούς τους βασικούς νόμους της λογικής πάνω στους οποίους έχει βασιστεί η θεωρία συνόλων:

- Ο νόμος της ταυτότητας (καθετί είναι αυτό που είναι, το $A = A$)
- Ο νόμος της μη-αντίφασης κάτι και η αντίφασή του δεν μπορούν να είναι αληθή και τα δυο, το A δεν μπορεί να είναι συγχρόνως A και όχι A)
- Η αρχή του αποκλειόμενου μέσου (κάθε δήλωση είναι αληθής ή ψευδής, ένα πράγμα θα είναι είτε A είτε όχι A και τίποτα άλλο πέρα από αυτά)

Τα κλασικά σύνολα επιτρέπουν μόνο δυαδικές συναρτήσεις συμμετοχής, κάτι το οποίο ακολουθεί την αρχή του αποκλειόμενου τρίτου. Κατά την παραδοσιακή δυτική λογική, δεν εξετάζεται η πιθανότητα ότι κάτι μπορεί να είναι με κάποια έννοια σωστό ή με κάποια έννοια λάθος, και ούτε εξετάζεται η πιθανότητα η αρχή του αποκλειόμενου μέσου να μην είναι πάντα έγκυρη.

Γενικά, οι ταξινομητές αυτής της κατηγορίας βασίζονται στην προϋπόθεση ότι οι διαφορετικές κατηγορίες κάλυψης γης έχουν διακριτές ψηφιακές υπογραφές (Beekhuizen & Clarke, 2010). Κατά συνέπεια, χρησιμοποιούν μόνο την φασματική πληροφορία που εξάγεται από πολυφασματικές εικόνες, όπως γενικότερα και οι περισσότεροι αλγόριθμοι ταξινόμησης (Beekhuizen & Clarke, 2010) και κάθε εικονοστοιχείο τοποθετείται σε μια κατηγορία ανάλογα με τα φασματικά του χαρακτηριστικά, δηλαδή την φασματική υπογραφή του (Beekhuizen & Clarke, 2010; Malinverni et al., 2011; Lewis et al., 2013).

Με αυτή την μέθοδο, οι τηλεπισκοπικές εικόνες θεωρούνται ως μια συλλογή εικονοστοιχείων με φασματικές πληροφορίες, και κατά συνέπεια οι εισροές των ταξινομητών αυτών είναι φασματικές μεταβλητές και οι μετασχηματισμοί τους (π.χ. κύριες συνιστώσες, δείκτες βλάστησης κ.τ.λ.) (Li et al., 2014; Rajyalakshmi et al., 2016).

Οι λεγόμενοι ταξινομητές ανά εικονοστοιχείο (Lu & Weng, 2007) ή αλλιώς σημειακοί ταξινομητές έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων χαμηλής και μεσαίας χωρικής ανάλυσης, στις οποίες αντιμετωπίζεται συχνότερα και το πρόβλημα των μικτών εικονοστοιχείων (Foody, 1996a; Beekhuizen & Clarke, 2010) που αποτελεί και το σημαντικότερο πρόβλημα αυτών των προσεγγίσεων «σκληρής» ταξινόμησης, όπου το εικονοστοιχείο μπορεί να είναι μέλος μόνο μιας κατηγορίας (Beekhuizen & Clarke, 2010) (Kohl et al., 2006).

Η υπόθεση ότι το εικονοστοιχείο μπορεί να είναι μέλος μόνο μιας κατηγορίας συνήθως δεν είναι έγκυρη όταν πρόκειται για εικόνες μεσαίας και χαμηλής ανάλυσης, κυρίως λόγω της ετερογένειας των τοπίων σε σύγκριση με την χωρική ανάλυση της εικόνας (Lu & Weng, 2007). Από την άλλη πλευρά μια τέτοια υπόθεση δεν είναι επίσης έγκυρη, ακόμα και αν το μέγεθος εικονοστοιχείου προσεγγίζει το μικρότερο μέγεθος των αντικειμένων εντός μιας κατηγορίας (Beekhuizen & Clarke, 2010). Στην περίπτωση αυτή αυξάνει η φασματική διακύμανση εντός της κατηγορίας (Beekhuizen & Clarke, 2010) με αποτέλεσμα την παράλληλη μείωση της φασματικής διαχωριστικότητας που οδηγεί σε χαμηλή ακρίβεια της ταξινόμησης (Marceau et al., 1990)(τα ζητήματα αυτά συζητούνται περαιτέρω στην ενότητα 2.5.3.2). Ως αποτέλεσμα, οι εφαρμογές σκληρών ταξινομήσεων ανά εικονοστοιχείο (ανεξαρτήτου χωρικής ανάλυσης του αισθητήρα) μειώνουν την ακρίβεια ταξινόμησης των χαρτών χρήσης/κάλυψης γης (Zhang & Foody, 1998; Pu et al., 2003; Shanmugam et al., 2006).

Οι αλγόριθμοι του «σοφού» εικονοστοιχείου (όπως ονομάζονται διαφορετικά) (Li et al., 2014), μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες: μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

2.4.1.2.1 Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Με την χρήση των μη επιβλεπόμενων ταξινομητών μια τηλεπισκοπική εικόνα διαιρείται σε έναν αριθμό τάξεων με βάση την φυσική ομαδοποίηση των τιμών της εικόνας, χωρίς την υποβοήθηση εκπαιδευτικών πεδίων και προηγούμενης γνώσης της περιοχής μελέτης (Lillesand et al., 2014; Puletti et al., 2014). Έπειτα από την αυτόματη ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων (σύμφωνα με τις κυριότερες φασματικές υπογραφές μιας δορυφορικής εικόνας) γίνεται αναγνώριση τους (από τον χρήστη) σε πραγματικές τάξεις αντικειμένων

(χρήσεων/κάλυψης γης). Στην βιβλιογραφία αναφέρεται και ως αυτοματοποιημένη μέθοδος ταξινόμησης.

2.4.1.2.2 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Η ταξινόμηση κάλυψης γης από εικόνες τηλεπισκόπησης πραγματοποιείται κυρίως με την χρήση επιβλεπόμενων τεχνικών ταξινόμησης (Jensen, 2004; Nath et al., 2014), καθώς οι επιθυμητές τάξεις εξόδου είναι ήδη προκαθορισμένες (Heinl et al., 2009). Η μέθοδος επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι η «μάθηση» μιας προκαθορισμένης ταξινόμησης από τον ταξινομητή με την χρήση ενός συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης, το οποίο περιλαμβάνει τις μεταβλητές πρόβλεψης όπως έχουν μετρηθεί για κάθε μονάδα δειγματοληψίας (εκπαιδευτικό δείγμα) (Cerna & Chytry, 2005).

Με την προσέγγιση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, επιλέγονται εικονοστοιχεία τα οποία βαθμονομούνται και παράγονται οι σχετικές στατιστικές για τις κατηγορίες ενδιαφέροντος (Rogan & Chen, 2004). Κάθε νέα μονάδα δειγματοληψίας κατατάσσεται σε κάποια κατηγορία από αυτές που έχουν εκ των προτέρων καθοριστεί (Xie et al., 2008). Οι μονάδες δειγματοληψίας/πεδία εκπαίδευσης αποτελούν αντιπροσωπευτικά δείγματα περιοχών της εικόνας που αναγνωρίζονται με βάση τη γνώση ότι κάποια εικονοστοιχεία αποτελούν μέλη μιας κατηγορίας κάλυψης γης και βαθμονομούνται σύμφωνα με κάποια στρατηγική. Η βαθμονόμηση μπορεί να πραγματοποιείται είτε σε μεμονωμένα εικονοστοιχεία, είτε ομάδες εικονοστοιχείων είτε σε πολύγωνα, ή από την χρήση ενός μεμονωμένου φάσματος (Richards & Jia, 2006; Lu & Weng, 2007), και τα σημεία δειγματοληψίας μπορούν να αναγνωριστούν μέσω μιας έρευνας πεδίου, με την χρήση αεροφωτογραφιών ή εικόνων υψηλότερης ανάλυσης ή με την χρήση μιας προ υπάρχουσας ταξινόμησης. Οι Chen και Stow (2002) σύγκριναν την απόδοση τριών διαφορετικών στρατηγικών βαθμονόμησης για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση (εικονοστοιχείο, ομάδες εικονοστοιχείων από ένα σημείο σπόρο (seed) και πολύγωνο). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τόσο το μέγεθος της μονάδας βαθμονόμησης, όσο και η ανάλυση της εικόνας αλλά και ο συμφύης βαθμός αυτοσυσχέτισης εντός κάθε κατηγορίας επηρέασαν την απόδοση αυτών των στρατηγικών, ενώ η βαθμονόμηση με βάση το πολύγωνο είχε καλύτερη απόδοση σε περιοχές με ετερογενές τύπο κάλυψης γης (Chen & Stow, 2002).

Κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται σε μια κατηγορία σύμφωνα με την μεγαλύτερη φασματική του ομοιότητα (με την χρήση κάποιων στατιστικών κανόνων απόφασης) με κάποια κατηγορία μέσα από το διαθέσιμο προκαθορισμένο φασματικό προφίλ των κατηγοριών όπως καθορίζεται κατά την φάση εκπαίδευσης του ταξινομητή (Lillesand et al., 2014). Κατά συνέπεια, η επιβλεπόμενη τεχνική απαιτεί την διαθεσιμότητα χαρακτηριστικών δειγμάτων για την εκπαίδευση του επιβλεπόμενου αλγορίθμου, τα οποία είναι καθοριστικά για την απόκτηση χαρτών ταξινόμησης ακριβείας (Nath et al., 2014). Συγκεκριμένα, οι ταξινομητές αυτής της

κατηγορίας είναι κατάλληλοι όταν τα δεδομένα φασματικών υπογραφών συλλέγονται από περιοχές εκπαίδευσης που αποτελούνται από ένα ενιαίο «καθαρό» τύπο στόχου (Kohl et al., 2006). Περιοχές εκπαίδευσης που να ικανοποιούν αυτό το κριτήριο όμως ίσως είναι δύσκολο να βρεθούν, ειδικά όταν το μέγεθος εικονοστοιχείου είναι πολλές φορές το μέγεθος ενός αντικειμένου ενδιαφέροντος.

2.4.1.2.3 Παραμετρικοί ή μη παραμετρικοί αλγόριθμοι

Επιπλέον οι αλγόριθμοι ταξινόμησης μπορεί επίσης να είναι παραμετρικοί ή μη παραμετρικοί. Οι παραμετρικοί ταξινομητές υποθέτουν ότι υπάρχει ένα σύνολο δεδομένων κανονικής κατανομής, και ότι οι στατιστικές παράμετροι (π.χ. διανυσματικός μέσος και πίνακας συνδιασποράς) που παράγονται από τα εκπαιδευτικά πεδία είναι αντιπροσωπευτικές. Οι μη παραμετρικοί ταξινομητές δεν χρησιμοποιούν στατικές παραμέτρους για τον διαχωρισμό της εικόνας σε κατηγορίες και κατά συνέπεια δεν υπάρχει και η υπόθεση της κανονικής κατανομής των φασματικών τιμών των εκπαιδευτικών πεδίων που αναφέρονται σε ομοειδή κατηγορία. Για τον λόγο αυτό αυτοί οι ταξινομητές είναι κατάλληλοι για ταξινόμηση με την συνδυασμένη χρήση μη φασματικών δεδομένων, και οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις μη παραμετρικής ταξινόμησης είναι τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks), τα δέντρα αποφάσεων ή δενδρικό διάγραμμα αποφάσεων (decision trees) και τα έμπειρα συστήματα (expert systems).

Έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός επιβλεπόμενων μεθόδων ταξινόμησης, που περιλαμβάνει τον ταξινομητή Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Classifier -MLC) (αναλύεται περαιτέρω στην ενότητα 2.4.1.2.4) της ελάχιστης ραδιομετρικής απόστασης από την μέση (ραδιομετρική) τιμή των ομάδων (Minimum distance to means) (Atkinson & Lewis, 2000; Dwivedi et al., 2004), τον ταξινομητή της απόστασης Mahalanobis (Mahalanobis Distance Classifier) (Deer & Eklund, 2003; Dwivedi et al., 2004), τον ταξινομητή παραλληλεπιπέδων (Parallelepiped) (Perakis et al., 2000) και τον ταξινομητή του k πλησιέστερου γείτονα (K-Nearest Neighbors Classifier) (Zhu & Basir, 2005; Zhang et al., 2008). Προσφάτως, έχουν επίσης αναπτυχθεί τεχνικές μηχανών εκμάθησης για την βελτίωση της μαθησιακής διαδικασίας γνώσης (Mountrakis et al., 2011), και αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial neural network) (Kavzoglu & Mather, 2003), δένδρα ταξινόμησης (classification tree) (Jiang et al., 2012), τα τυχαία δάση (random forests) (Gislason et al., 2006), τις μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (support vector machine) (Mountrakis et al., 2011), και γενετικούς αλγόριθμους (genetic algorithms) (Tseng, 2008).

2.4.1.2.4 Ο ταξινομητής της Μέγιστης Πιθανοφάνειας

Ο ταξινομητής της Μέγιστης Πιθανοφάνειας, αποτελεί μια ισχυρή παραμετρική προσέγγιση, που από καιρό έχει προσελκύσει την προσοχή των ερευνητών, και πολλές εφαρμοσμένες μελέτες κλίμακας τοπίου και χρήσης/κάλυψης γης έχουν βασιστεί σε αυτήν την προσέγγιση ταξινόμησης κατά τις δεκαετίες του 1980, 1990 και 2000 (Settle & Briggs, 1987; Gong & Howarth, 1992b; Cushman & Wallin, 2000; Ruiz-Luna & Berlanga-Robles, 2003; Wang et al., 2004b; Brandt & Townsend, 2006; Nangendo et al., 2007; Shalaby & Tateishi, 2007; Li et al., 2011; Chen et al., 2013). Ο ταξινομητής της Μέγιστης Πιθανοφάνειας θεωρείται ως μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη, κλασική και βασική προσέγγιση ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων (Liu et al., 2011; Jensen, 2004; Waske et al., 2009; Sohn & Rebello, 2002; Xu et al., 2005; Nangendo et al., 2007; Li et al., 2012a; Lu & Weng, 2007) που συχνά αποτελεί το πρότυπο για τη μέτρηση των πλεονεκτημάτων άλλων αλγορίθμων ταξινόμησης (Nangendo et al., 2007; Li et al., 2012a; Yu et al., 2014).

Οι Yu κ.α.(2014), στο αντίστοιχο άρθρο τους, αναλύοντας 1651 πειράματα ταξινόμησης που συνέλεξαν από την διεθνή βιβλιογραφία, διαπίστωσαν ότι η μέγιστη πιθανοφάνεια είναι ο κυρίαρχος αλγόριθμος όσον αφορά στη συχνότητα χρήσης, ακόμη και μέχρι σήμερα (αντιπροσωπεύοντας το 32,34% χρήσης), και ότι χρησιμοποιείται επίσης και ως βασικός αλγόριθμος για σύγκριση (Yu et al., 2014).

Η μεγάλη συχνότητα χρήσης έγκειται στα πλεονεκτήματα της μεθόδου, που περιλαμβάνουν τη σαφή επεξηγηματική ικανότητα των παραμέτρων, την εύκολη ενσωμάτωση με προηγούμενη γνώση, την εύκολη εφαρμογή σε μεθόδους ταξινόμησης με την χρήση τηλεπισκόπησης και την ευκολία πρόσβασης σε σχεδόν οποιοδήποτε λογισμικό επεξεργασίας εικόνας (Li et al., 2012a; Chen et al., 2013; Lu & Weng, 2007), λόγω πλεονεκτημάτων τόσο στην διαχείριση των δεδομένων όσο και στους χρόνους επεξεργασίας αυτών (Paola & Schowengerdt, 1995).

Ο ταξινομητής Μέγιστης Πιθανοφάνειας είναι ένας παραμετρικός ταξινομητής επιβλεπόμενης ταξινόμησης, που λειτουργεί με την χρήση των φασματικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων εκπαίδευσης που στη συνέχεια προεκτείνει για την αναγνώριση της κατηγορίας όπου ανήκει κάθε εικονοστοιχείο (Richards & Jia, 2006; Lu & Weng, 2007; Castillejo-González et al., 2009).

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τον κανόνα του Bayes και για αυτό είναι γνωστός και ως Μπεϋζιανός ταξινομητής και είναι μια στατιστική μέθοδος ταξινόμησης με την οποία τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται ανάλογα με την ελάχιστη εσφαλμένη ή μέγιστη πιθανότητα να ανήκουν σε μια δεδομένη τάξη (Adams & Gillespie, 2006; Shalaby & Tateishi, 2007; Bharatkar & Patel, 2013; Rajyalakshmi et al., 2016).

Η εφαρμογή του περιλαμβάνει την εκτίμηση των μέσων διανυσμάτων της κατηγορίας και των πινάκων συν διακύμανσης χρησιμοποιώντας τα δείγματα εκπαίδευσης για κάθε συγκεκριμένη κατηγορία θεωρώντας ότι αυτές οι δύο παράμετροι χαρακτηρίζουν την κάθε τάξη (Pal & Mather, 2004; Adams & Gillespie, 2006; Richards & Jia, 2006; Waske et al., 2009; Perumal & Bhaskaran, 2010; Gartzia et al., 2013). Κατά την ανάθεση κάθε εικονοστοιχείου σε μία από τις κατηγορίες, ο αλγόριθμος υποθέτει ότι οι τιμές κάθε κατηγορίας ακολουθούν κατανομή του Gauss ή κανονική κατανομή (Mirik & Ansley, 2012; Gartzia et al., 2013). Ως εκ τούτου, με δεδομένη την μέση τιμή και τον πίνακα συν διακύμανσης κάθε κατηγορίας, υπολογίζεται η στατιστική πιθανότητα και η τελική κατάταξη είναι αυτή που έχει την υψηλότερη πιθανότητα (Lillesand et al., 2014).

Ο ταξινομητής μπορεί να βασιστεί είτε στην απόσταση Mahalanobis είτε στην ελάχιστη απόσταση. Με την χρήση της μεθόδου της απόστασης Mahalanobis, κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται σε μία τάξη με βάση την απόσταση Mahalanobis μεταξύ του εικονοστοιχείου και του κεντροειδούς κάθε πεδίου εκπαίδευσης, αναθέτοντάς το στην κοντινότερη κατηγορία. Ο κανόνας απόφασης του ταξινομητή μέγιστης πιθανοφάνειας περιγράφεται παρακάτω:

Έστω ότι οι τάξεις της ταξινόμησης αναπαριστούνται ως $\omega_i, i = 1, \dots, K$ όπου K είναι ο συνολικός αριθμός των τάξεων. Προκειμένου να προσδιοριστεί σε ποια κλάση θα ενταχθεί ένα εικονοστοιχείο με φασματική υπογραφή \mathbf{X} θα πρέπει να προκύπτουν οι υπό όρους πιθανότητες $P(\omega_i | \mathbf{X}), i = 1, \dots, K$. Το διάνυσμα \mathbf{X} είναι ένα διάνυσμα των τιμών φωτεινότητας για ένα εικονοστοιχείο, και οι πιθανότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω μας δίνουν την πιθανότητα της ταξινόμησης του εικονοστοιχείου ω_i στη σωστή κλάση με δεδομένη την παρατηρούμενη ψηφιακή υπογραφή \mathbf{X} . Ένας ταξινομητής μέγιστης πιθανοφάνειας τοποθετεί το εικονοστοιχείο στην τάξη ω_i για την οποία η πιθανότητα είναι μεγαλύτερη: $\mathbf{X} \in \omega_i$ εάν $P(\omega_i | \mathbf{X}) > P(\omega_j | \mathbf{X})$ για όλα τα $i \neq j$

Υποθέτοντας μια πολυμεταβλητή κανονική κατανομή των φασματικών τιμών των Νμπαπντών σε μια δεδομένη κλάση, η υπό όρους πιθανότητα παρατήρησης μιας συγκεκριμένης φασματικής υπογραφής σε αυτή την τάξη είναι:

$$P(\mathbf{x}|\omega_i) = (2\pi)^{-N/2} |\Sigma_i|^{-1/2} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mathbf{m}_i)^T \sum_1^{-1} \mathbf{x}-\mathbf{m}_i\right] \quad (2)$$

Όπου m_j είναι η μέση φασματική υπογραφή της τάξης ω_j και Σ_j ο πίνακας διακύμανσης-συνδιακύμανσης. Τόσο το m_j όσο και το Σ_j υπολογίζονται από τα δεδομένα εκπαίδευσης.

Η τετραγωνική μορφή

$$(x-m_j)^T \Sigma_j^{-1} (x-m_j) \quad (3)$$

γνωστή ως η απόσταση Mahalanobis, μετρά την απόσταση μεταξύ \mathbf{X} και m_j και κλιμακώνεται ανάλογα με την διακύμανση και συνδιακύμανση της τάξης.

Η διαθέσιμη $P(\mathbf{x} | \omega_j)$ και η επιθυμητή $P(\omega_j | \mathbf{x})$ σχετίζονται με το θεώρημα του Bayes:

$$P(\omega_j | \mathbf{x}) = \frac{P(\mathbf{x} | \omega_j)P(\omega_j)}{\sum_{i=1}^K P(\mathbf{x} | \omega_i)P(\omega_i)} \quad (4)$$

Η πιθανότητα $P(\omega_j)$ του θεωρήματος είναι η πιθανότητα εμφάνισης της τάξης ω_j στην περιοχή μελέτης. Αγνοώντας τον κοινό διαιρέτη

$$\sum_{i=1}^K P(\mathbf{x} | \omega_i)P(\omega_i) \quad (5)$$

η μέγιστη πιθανοφάνεια μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\mathbf{x} \in \omega_j \quad \text{εάν } P(\mathbf{x} | \omega_j)P(\omega_j) > P(\mathbf{x} | \omega_i)P(\omega_i) \text{ για όλα τα } i \neq j \quad (6)$$

Ελλείψει τυχόν περαιτέρω πληροφοριών σχετικά με την $P(\omega_j)$, μια λογική υπόθεση είναι ότι οι προηγούμενες πιθανότητες εμφάνισης είναι ίσες για όλες τις τάξεις. Σε αυτή τη περίπτωση η $P(\omega_j)$ θεωρείται ως σταθερή και ο κανόνας μπορεί να απλοποιηθεί ως εξής:

$$\mathbf{x} \in \omega_j \quad \text{εάν } P(\mathbf{x} | \omega_j) > P(\mathbf{x} | \omega_i) \text{ για όλα τα } i \neq j \quad (7)$$

Ο κανόνας αυτός μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση μόνο της παραπάνω Εξ.(2). Με την αφαίρεση σταθερών που δε συμβάλλουν στη διάκριση και σημειώνοντας ότι ο φυσικός λογάριθμος είναι μια μονότονη συνάρτηση. Η Εξ. (2) μπορεί να απλοποιηθεί για να επιτευχθεί υπολογιστική αποτελεσματικότητα:

$$f_i(x) = -\ln \left| \sum_j |-(x - m_j)^T \sum_1^{-1} (x - m_j) \right| \quad (8)$$

Χρησιμοποιώντας λογάριθμο η πιθανότητα $P(X | \omega_j)$ να είναι $f_i(x)$ ελαχιστοποιείται. Έτσι, η τελική διατύπωση θα είναι

$$X \in \omega_i \text{ εάν } f_i(x) < f_j(x) \text{ για όλα τα } i \neq j \quad (9)$$

Η μέγιστη πιθανοφάνεια είναι μια τεχνική ταξινόμησης που βασίζεται κατά κύριο λόγο στην ποιότητα των εκπαιδευτικών δεδομένων (Srivastava et al., 2012), και είναι ένας παραμετρικός ταξινομητής που είναι ευαίσθητος στο θόρυβο (Adams & Gillespie, 2006). Από την άλλη πλευρά οι υποθέσεις ίσης πιθανότητας εμφάνισης για κάθε τάξη και κανονικής κατανομής θεωρούνται ως τα μειονεκτήματα του ταξινομητή (Chen et al., 2013).

Ίση πιθανότητα σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιούνται βάρη στα δεδομένα εκπαίδευσης (είναι ανεξάρτητα) και ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η συχνότητα εμφάνισης της τάξης, γεγονός που μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει στην υπό-ταξινόμηση των πιο συχνά εμφανιζόμενων τάξεων και την υπερ-ταξινόμηση των λιγότερο συχνά εμφανιζόμενων (Hagner & Reese, 2007). Η υπόθεση της κανονικής κατανομής της τάξης σημαίνει ότι τα δεδομένα μπορούν να μοντελοποιηθούν με τη χρήση ενός συνόλου πολυμεταβλητών κανονικών κατανομών (Liu et al., 2002b). Ωστόσο, η φασματική κατανομή των αντικείμενων της γήινης επιφάνειας είναι σύνθετη και η φασματική ανακλαστικότητα ορισμένων αντικειμένων δεν ακολουθεί αυστηρά την κανονική κατανομή, ιδιαίτερα σε συνθήκες ετερογενών τοπίων (Xie et al., 2008; Li et al., 2012a; Chen et al., 2013).

Η υπόθεση πως τα δεδομένα εκπαίδευσης είναι ανεξάρτητα και περιγράφονται από μια κανονική κατανομή, αποτελεί το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου. Όμως θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας έχει αποδείξει αρκετή ευρωστία για μικρές αποκλίσεις από τις υποθέσεις κανονικής κατανομής, ιδιαίτερα εάν οι τάξεις έχουν μονοτροπικές κατανομές για τις περισσότερες μπάντες και αν οι συν διακυμάνσεις της μπάντας είναι γενικώς θετικά ελλειψοειδείς (Mather, 2011). Εάν πληρείται η υπόθεση της κανονικής κατανομής για κάθε κατηγορία (έστω και με μικρές αποκλίσεις), τότε η ταξινόμηση

έχει ελάχιστη συνολική πιθανότητα σφάλματος και είναι η βέλτιστη επιλογή (Davis et al., 1978). Συνήθως το αποτέλεσμα από αυτή τη μέθοδο είναι μια «σκληρή» ταξινόμηση όπου κάθε εικονοστοιχείο εκχωρείται μόνο στην κατηγορία που πιθανότατα ανήκει αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την δημιουργία μιας πιο ήπιας ταξινόμησης όπως θα δούμε παρακάτω (ενότητα 2.4.1.3.1).

2.4.1.3 Προσεγγίσεις ταξινόμησης για την επίλυση του προβλήματος μικτών εικονοστοιχείων - φασματικής σύγχυσης

Η παρουσία μικτών εικονοστοιχείων στις εικόνες τηλεπισκόπησης, μπορεί να δημιουργήσει δυσκολίες στην εξαγωγή πληροφοριών ακρίβειας για την κάλυψη γης καθώς τα φασματικά χαρακτηριστικά των μικτών εικονοστοιχείων αντανακλούν στην σύνθετη υπογραφή διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης (Fisher, 1997). Επιπλέον, αρκετές κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης έχουν παρόμοια φασματική απόκριση, με αποτέλεσμα την φασματική σύγχυση μεταξύ διαφόρων κατηγοριών, η οποία θεωρείται επίσης μια από τις κύριες αιτίες της ανακρίβειας μιας ταξινόμησης που βασίζεται στα φασματικά χαρακτηριστικά της εικόνας (Yang & Lo, 2002). Τόσο η φασματική σύγχυση όσο και τα μικτά εικονοστοιχεία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα απεικόνισης (χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση) (όπως ήδη έχει συζητηθεί στην ενότητα 2.3), αλλά και από την ετερογένεια του τοπίου. Συνήθως η περιοχή που αναπαρίσταται σε ένα εικονοστοιχείο θα περιλαμβάνει περισσότερες από μια θεματικές τάξεις (Foody, 2004a). Η κατάσταση αυτή συμβαίνει λόγω πολλών αιτιών(π.χ. Εικόνα 2.4).

Στις τεχνικές ταξινόμησης ανά εικονοστοιχείο ή «σοφού» εικονοστοιχείου γίνεται η υπόθεση ότι μόνο ένας τύπος κάλυψης/χρήσης γης υπάρχει σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας (Li et al., 2014; Rajyalakshmi et al., 2016). Κατά συνέπεια, η χρήση των συμβατικών «σκληρών» προσεγγίσεων ταξινόμησης (ένα εικονοστοιχείο μια κλάση) για την χαρτογράφηση από δεδομένα τηλεπισκόπησης θα οδηγήσει σε σφάλματα εάν υπάρχουν μικτά εικονοστοιχεία (Foody, 2004a). Η υπόθεση ένα εικονοστοιχείο μια κλάση δε είναι πάντα έγκυρη ως συνάρτηση της χωρικής ανάλυσης του αισθητήρα σε σχέση με το τοπίο (Lu & Weng, 2007), καθώς η αναλογία των μικτών εικονοστοιχείων σε μια εικόνα είναι μια διαδραστική λειτουργία μεταξύ των ιδιοτήτων του αισθητήρα (π.χ. χωρική ανάλυση) και του χωρικού προτύπου της κάλυψης γης της γήινης επιφάνειας (π.χ. η σύνθεση των κατηγοριών, η χωρική οργάνωση κτλ.) γεγονός που καθιστά τα μικτά εικονοστοιχεία να αποτελούν ένα συγκεκριμένο ζήτημα (Foody, 2004a).

Ο Foody (2004), τονίζει ότι το μέγεθος του προβλήματος είναι επίσης καθαρή συνάρτηση της αναλογίας των μικτών εικονοστοιχείων που είναι παρόντα στο σύνολο των δεδομένων, η οποία γενικώς αυξάνει με την μικρότερη χωρική ανάλυση και/ή με την αύξηση του κατακερματισμού

του τοπίου που αντιπροσωπεύεται από την εικόνα. Ενώ ο Mather (2011) επισημαίνει ότι «η ασάφεια και η «σκληρότητα», η ετερογένεια και η ομοιογένεια είναι ιδιότητες του τοπίου σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική κλίμακα παρατήρησης, που σχετίζεται με τους στόχους του ερευνητή». Κατά συνέπεια η ανάλυση του αισθητήρα δεν είναι ο μόνος παράγοντας που συσχετίζεται με την ομοιογένεια, καθώς αυτή εξαρτάται κατά πολύ από το τι ψάχνει κανείς να βρει (Mather, 2011). Όπως είναι κατανοητό ανακύπτουν ζητήματα και ερωτήματα κλίμακας (τα οποία θα συζητηθούν αναλυτικότερα στην ενότητα 2.5.3).

Με την χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης η επίδραση του προβλήματος των μικτών εικονοστοιχείων μπορεί να μειωθεί καθώς τα εικονοστοιχεία είναι πιο πιθανό να αποτελούν μέλος μιας και μόνο κατηγορίας (Beekhuizen & Clarke, 2010). Ωστόσο η μίξη των φασματικών υπογραφών παραμένει - δεν εξαφανίζεται απλώς αλλάζει μορφή (Schowengerdt, 2007). Όταν το μέγεθος εικονοστοιχείου προσεγγίζει το μικρότερο μέγεθος των αντικειμένων εντός μιας κατηγορίας, αυξάνει η φασματική διακύμανση εντός αυτής (Beekhuizen & Clarke, 2010), καθώς η μίξη των συστατικών μερών της (π.χ. φύλλα, κλαδιά, κορμοί και επιφάνειες του εδάφους μιας κατηγορίας δάσους) συχνά γίνεται πολύ έντονη (Foody, 2004a).

Από την άλλη πλευρά όμως, κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί, ότι είναι λογικό να οδηγηθούμε σε ανακρίβειες στην ταξινόμηση της κάλυψης γης, ανεξάρτητα της χωρικής ανάλυσης των δεδομένων, όταν η συμψυής ασάφεια ή συνέχεια των καλύψεων γης, ερμηνεύεται με απόλυτες (σκληρές) τάξεις, όπου κάθε εικονοστοιχείο κατατάσσεται σε μια κατηγορία και ταυτόχρονα οι κατηγορίες κάλυψης γης αλληλο-αποκλείονται.

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας πιο ήπιος, «μαλακός»(soft) ή ασαφής (fuzzy) (ή φασματικής επίλυσης - spectral unmixing) ταξινομητής, ο οποίος δεν φθάνει σε ένα απόλυτο συμπέρασμα υπέρ της μιας ή της άλλης τάξης (Mather, 2011). Οι «μαλακές» ταξινομήσεις εμφανίζουν αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις «σκληρές», που μεταξύ άλλων είναι και η δυνατότητα να διακρίνουν την φυσική συνέχεια των τάξεων και να παρέχουν εκτιμήσεις των συστατικών κατηγοριών ανά υπό εικονοστοιχείο (Schowengerdt, 2007), και κατά συνέπεια να μπορεί να εκτιμηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια το ποσοστό επιφανείας της κάθε χρήσης/κάλυψης (Foody & Cox, 1994; Zhang & Foody, 1998; Woodcock & Gopal, 2000; Ge, 2013).

Αυτοί οι «μαλακοί» ταξινομητές παρουσιάζουν ένα μέτρο του βαθμού στον οποίο ένα δεδομένο εικονοστοιχείο ανήκει σε μερικές από ή σε όλες τις υποψήφιες τάξεις (Mather, 2011), με την εκτίμηση της συμμετοχικότητας (χωρικής αναλογίας) των κατηγοριών κάλυψης γης εντός ενός εικονοστοιχείου (και για το λόγο αυτό αναφέρονται επίσης και ως τεχνικές

ανά υπό εικονοστοιχείο) (Woodcock & Gopal, 2000; Ge, 2013; Li et al., 2014; Lu & Weng, 2007).

Επιπλέον, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η εντός της τάξης φασματική διακύμανση αναπτύχθηκαν νέες προσεγγίσεις, όπως ταξινομητές ανά τομέα και αντικειμενοστραφείς καθώς και συνάφειας (Lu & Weng, 2007).

2.4.1.3.1 Προσεγγίσεις ήπιας ταξινόμησης (ανά υπό-εικονοστοιχείο)

Οι κυριότερες τεχνικές ταξινόμησης ανά υπό εικονοστοιχείο, αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα μίξης των εικονοστοιχείων (Li et al., 2014) και οι κυριότερες περιλαμβάνουν: την ασαφή ταξινόμηση, τα νευρωνικά δίκτυα (Foody, 1999; Kulkarni & Lulla, 1999; Mannan & Ray, 2003), την μοντελοποίηση παλινδρόμησης (Yang & Liu, 2005; Yuan et al., 2005), την ανάλυση δένδρων παλινδρόμησης (Yang et al., 2003; Xian & Crane, 2005), και την ανάλυση μίξης φάσματος (Adams et al., 1995; Roberts et al., 1998; Wu & Murray, 2003; Wu, 2004a). Οι πιο συνήθεις προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι η τεχνική ασαφούς συνόλου (fuzzy-set technique) και η ανάλυση φασματικής ανάμειξης (spectral mixture analysis (SMA)).

Ειδικότερα, όσον αφορά στην ασαφή αναπαράσταση όπου κάθε εικονοστοιχείο λαμβάνει μερική συμμετοχή σε όλες τις τάξεις, και αντίστοιχα μπορεί να εκτιμηθεί το αντίστοιχο ποσοστό επιφανείας για κάθε τάξη (Zhang & Foody, 1998), θα αναφερθούμε παρακάτω.

Ασαφής Λογική, Θεωρία Ασαφών Συνόλων και Ασαφής Ταξινόμηση

Ο Lotfi Zadeh θεωρείται ότι είναι αυτός που πρώτος ανέπτυξε την θεωρία ασαφών συνόλων το 1965. Προηγήθηκαν δύο φιλόσοφοι οι οποίοι έθεσαν την βάση για την ανάπτυξη της θεωρίας από τον Zadeh. Ο πρώτος από αυτούς, ο Πολωνός Jan Lukasiewicz, ήταν λογικολόγος και φιλόσοφος. Στη δεκαετία του 1930, εισήγαγε την έννοια της «ασαφούς λογικής ή λογικής πολλαπλών τιμών» (Negnevitsky, 2005). Προκαλώντας τις παραδοσιακές δυαδικές θεωρίες των συνόλων, ο Lukasiewicz επέκτεινε το εύρος των τιμών αλήθειας για όλους τους πραγματικούς αριθμούς στο διάστημα μεταξύ 0 και 1, οδηγώντας στη «θεωρία πιθανοτήτων», η οποία είναι μια ασαφής συλλογιστική τεχνική (Negnevitsky, 2005).

Το 1937, ένας άλλος φιλόσοφος ο Max Black, δημοσίευσε μια επιστημονική εργασία με τίτλο «Vagueness: an exercise in logical analysis» («Ασάφεια: μια άσκηση στην λογική ανάλυση»), στην οποία υποστήριξε ότι «το συνεχές συνεπάγεται βαθμούς» (Negnevitsky, 2005). Στη δημοσίευση αυτή ο Black όρισε με μαθηματικούς τύπους το πρώτο ασαφές σύνολο.

Το 1965, ο Zadeh, επικεφαλής του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Μπέρκλεϊ, δημοσίευσε την εργασία «Fuzzy Sets» («Ασαφή σύνολα»).

Στη δημοσίευση αυτή, ανέπτυξε περαιτέρω την έως τότε έρευνα σχετικά με τη θεωρία πιθανοτήτων σε ένα επίσημο σύστημα της μαθηματικής λογικής (Negnevitsky, 2005). Άλλη μεγάλη συμβολή του ήταν η εισαγωγή της έννοιας των λεκτικών φρακτών (linguistic hedges), ή η εφαρμογή της φυσικής γλώσσας στη δημιουργία των ασαφών συνόλων. Ο Zadeh όρισε την ασαφή λογική ως ένα σύνολο μαθηματικών αρχών για την αναπαράσταση της γνώσης που βασίζεται σε βαθμούς συμμετοχικότητας και όχι σε απόλυτη υπαγωγή της κλασικής δυαδικής λογικής (Zadeh, 1965).

Οι ερευνητές του τομέα της τηλεπισκόπησης προσάρμοσαν ή/και εφάρμοσαν την θεωρία ασαφών συνόλων στην ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων. Η έννοια των ασαφών συνόλων, κατά την οποία μια οντότητα μπορεί να έχει μερική συμμετοχή σε περισσότερες από μια κατηγορίες, θεωρείται ένα φυσικό μοντέλο για το πρόβλημα φασματικής ανάμιξης (Schowengerdt, 2007).

Οι ασαφείς ταξινομητές αναφέρονται συνήθως ως ελαστικοί ταξινομητές με μεταβλητούς βαθμούς συμμετοχής ενός εικονοστοιχείου στις κλάσεις, καθώς η τιμή ενός εικονοστοιχείου καθορίζεται από το κατά πόσο κοντά είναι σε μια κλάση από ότι σε μια άλλη. Κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να ανήκει σε πολλές κλάσεις (Jensen et al., 2007), με σκοπό την αναγνώριση των εικονοστοιχείων με μερική συμμετοχή σε μια κατηγορία (Wang, 1990a).

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για την άντληση μιας ασαφούς ή «μαλακής» ταξινόμησης με βάση την θεωρία των ασαφών συνόλων, όπου ένα εικονοστοιχείο μπορεί να ανήκει σε πολλαπλές κατηγορίες (Wang, 1990a; Foody, 1996a; Zhang & Foody, 2001; Lu & Weng, 2007). Διακρίνουμε τρεις βασικές μεθόδους ασαφούς ταξινόμησης που περιλαμβάνουν: (1) συγκεκριμένους ασαφείς ταξινομητές (π.χ. fuzzy c-means & fuzzy k-means), (2) εξομάλυνση των αποτελεσμάτων μιας «σκληρής» ταξινόμησης (π.χ. Ταξινομητής της Μέγιστης Πιθανοφάνειας), και (3) χρήση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων (Woodcock & Gopal, 2000; Zhang & Foody, 2001).

Μία από τις πιο κοινές μεθόδους εφαρμογής είναι η δημιουργία μιας πιο ήπιας ταξινόμησης, εξομαλύνοντας μια πιο «σκληρή» ταξινόμηση. Μια ασαφής ταξινόμηση μπορεί για παράδειγμα να ληφθεί από τον ταξινομητή μέγιστης πιθανοφάνειας με την διατήρηση των πιθανοτήτων ένταξης των μεμονωμένων εικονοστοιχείων σε σχέση με όλες τις υποψήφιες τάξεις (Wang, 1990b; Foody et al., 1992; Zhang & Foody, 2001). Όταν εκτελείται ο ταξινομητής της Μέγιστης πιθανοφάνειας παράγει πληροφορίες για τις αποστάσεις Mahalanobis για κάθε εικονοστοιχείο σε κάθε κατηγορία. Σε γενικές γραμμές, αυτές οι πληροφορίες απορρίπτονται όταν εξαχθεί η τελική, σκληρή κατάταξη των πιο πιθανών εικονοστοιχείων. Ωστόσο, είναι δυνατόν να διατηρηθεί αυτή η πληροφορία και να χρησιμοποιηθεί στην δημιουργία μιας ασαφούς (ή ήπιας) ταξινόμησης. Οι Deer και Eklund δημοσίευσαν έναν αλγόριθμο για την

μετατροπή των τετραγωνισμένων τιμών απόστασης Mahalanobis σε τιμές ασαφούς συμμετοχικότητας για κάθε τάξη (Deer & Eklund, 2003).

Ο «μαλακός» ή ασαφής ταξινομητής δεν καταχωρεί κάθε εικονοστοιχείο σε μια μοναδική τάξη με έναν ξεκάθαρο και απόλυτο τρόπο, αλλά δίνεται σε κάθε εικονοστοιχείο ένας βαθμός συμμετοχής για κάθε τάξη (Mather, 2011). Η θεώρηση ότι ο βαθμός συμμετοχής είναι αντίστοιχος με την πιθανότητα, εγείρει ερωτήματα στην ερευνητική κοινότητα σχετικά με την εγκυρότητα της χρήσης της πιθανότητας και της δυνατότητας χωρίς διάκριση στη δημιουργία των ασαφών συνόλων.

Ο Bezdek (1993) κάνει διάκριση μεταξύ δεδομένων ακρίβειας και ασάφειας, μεταξύ ασαφών κανόνων και ανακριβών πληροφοριών. Επισημαίνει ότι η ασαφής συμμετοχικότητα αντιπροσωπεύει την ομοιότητα ενός αντικειμένου σε σχέση με ιδιότητες που είναι καθορισμένες με σαφήνεια, ενώ οι πιθανότητες εκφράζουν πληροφορίες για σχετικές συχνότητες (Bezdek, 1994, 1993).

Οι Burrough και McDonnell (1998) υποστηρίζουν, ότι η ασάφεια δεν είναι ένα πιθανολογικό χαρακτηριστικό κατά το οποίο ο βαθμός της συμμετοχής ενός συνόλου συνδέεται με μια συγκεκριμένη στατιστικά οριζόμενη συνάρτηση πιθανότητας. Αλλά μάλλον είναι μια αποδοχή της δυνατότητας ότι ένα άτομο είναι μέλος ενός συνόλου, ή ότι μια συγκεκριμένη δήλωση είναι αληθινή (Burrough & McDonnell, 1998).

Ο De Bruin (2000) υποστηρίζοντας ότι η σχέση μεταξύ των θεωριών πιθανοτήτων και ασαφών συνόλων είναι ένα θέμα μεγάλης διαμάχης μεταξύ των επιστημόνων, θεωρεί ότι υπάρχει σύγχυση λόγω του ότι γίνεται η προσπάθεια να ερμηνευθεί η εκ των υστέρων πιθανότητα (a posterior probability) ένταξης ως ανάλογη της αναλογικής κάλυψης γης ενώ δεν είναι ανάλογη (De Bruin, 2000).

Από πολλούς ερευνητές θεωρήθηκε ότι το όλο ζήτημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εισαγωγή ενός νέου όρου που να αναφέρεται σε ένα πλαίσιο πιθανοτήτων αβεβαιότητας το οποίο να χρησιμοποιεί ως βάση του την θεωρία ασαφών συνόλων (Binaghi et al., 1999). Ένας «ήπιος» ταξινομητής είναι αυτός που για ένα δεδομένο διανυσματικό μοτίβο εισόδου, υπολογίζει την «πιθανότητα- πιθανοφάνεια» το πρότυπο αυτό να βρίσκεται σε οποιαδήποτε τάξη από ένα σύνολο πιθανών τάξεων (Binaghi et al., 1999). Οι Binaghi κ.α. (1999) επισημαίνουν ότι σε πάρα πολλές εφαρμογές είναι επιθυμητό να υπάρχει ένα τέτοιος «ήπιος» ταξινομητής (που να υπολογίζει την πιθανοφάνεια ένταξης σε ένα σύνολο πιθανών τάξεων).

Ο Foody, αναφέρει ότι «είναι δυνατόν να «μαλακώσει» η έξοδος μιας «σκληρής» ταξινόμησης, όταν χρησιμοποιείται ένας ταξινομητής που βασίζεται στις πιθανότητες» (Foody, 1995; Foody et al., 1992; Foody, 2004a). Και επισημαίνει ότι «αυτός ο τύπος

ταξινόμησης μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ασαφής, καθώς μπορεί να γίνει μια μη ακριβής κατανομή και ένα εικονοστοιχείο μπορεί να είναι μέλος πολλών κατηγοριών» (Foody, 1995).

Οι Zhang και Foody (2001) τονίζουν το γεγονός ότι αυτές οι προσεγγίσεις ταξινόμησης συχνά βασίζονται περισσότερο στη λεγόμενη «ήπια υπολογιστική μεθοδολογία» (soft computing) παρά στην ασαφή λογική. Και υπογραμμίζουν ότι «καθώς αυτές οι ασαφείς προσεγγίσεις ασχολούνται με την ασάφεια κατά το στάδιο κατανομής σε τάξεις και δεν περιλαμβάνουν την ασάφεια κατά τα στάδια της χρήσης των δεδομένων επίγειας πραγματικότητας για την εκπαίδευση και τον έλεγχο της ταξινόμησης, θα μπορούσαν να ονομαστούν μερικώς ασαφείς καθώς η ασάφεια δεν περιλαμβάνεται πλήρως καθ' όλη την διαδικασία της ταξινόμησης» (Zhang & Foody, 1998, 2001).

Ο Schowengerdt (2007) επισημαίνοντας ότι ο ταξινομητής μέγιστης πιθανοφάνειας είναι μια τυπική στατιστική τεχνική ταξινόμησης που κατανέμει κάθε εικονοστοιχείο σε μια τάξη σύμφωνα με την υψηλότερη πιθανότητα ή με την εκ των υστέρων πιθανότητα ένταξης, υποστηρίζει την συλλογιστική ότι μπορεί να δημιουργηθεί μια ηπιότερη ταξινόμηση παρόλο που δεν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ αναλογικής κάλυψης μιας τάξης και της εκ των υστέρων πιθανότητας (που είναι αυστηρά ένας δείκτης αβεβαιότητας στην εφαρμογή μιας σκληρής τοποθέτησης σε μια τάξη), και μπορεί να οδηγήσει στην χρήση μιας πηγής πληροφορίας ανά υπό εικονοστοιχείο υπό αμφισβήτηση όπως ο De Bruin (2000) είχε υπερθεματίσει.

Πολλές μελέτες έχουν καταλήξει ότι στην πράξη μπορεί να ληφθεί πολύτιμη πληροφορία υπό εικονοστοιχείου με την προσαρμογή της τυπικής ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας, για την εξαγωγή πληροφοριών σε κλίμακα υπό - εικονοστοιχείου για τη δημιουργία «ασαφών» ή «μαλακών» ταξινομήσεων (Wang, 1990b; Foody, 1996b; Bastin, 1997; Bruzzone et al., 2002; Eastman & Laney, 2002; Deer & Eklund, 2003; Guerschman et al., 2003; Shalan et al., 2003; Foody, 2004a; Lu et al., 2004a).

Έτσι, ενώ θεωρητικά υπάρχουν δυσαρμονίες με την θεωρία των ασαφών συνόλων, οι όροι ήπια και ασαφής χρησιμοποιούνται όταν ακολουθούνται μεθοδολογίες ταξινόμησης εικόνας που επιτρέπουν μερική η/και πολλαπλή ένταξη των εικονοστοιχείων σε τάξεις, όταν δίνουν δηλαδή την δυνατότητα στα εικονοστοιχεία να είναι «μικτά» (πχ. η τιμή τους αποτελείται από το άθροισμα δύο ή περισσότερων τύπων κάλυψης γης). Όμως, όπως ο Mather (2011) επισημαίνει «όταν πρέπει να ληφθούν αποφάσεις, η ασαφής διαδικασία μπορεί να έχει ένα «σκληρό» αποτέλεσμα» (Mather, 2011). Το «σκληρό» συμπέρασμα μέσω της χρήσης μιας ασαφούς διαδικασίας ονομάζεται αποσαφήνιση (defuzzification) (Mather, 2011).

Αναμφισβήτητα, οι παραδοσιακές «σκληρές» ταξινομήσεις έχουν ένα κύριο εμπόδιο, την αδυναμία τους να εκπροσωπούν σωστά τα συνεχή φαινόμενα (Foody, 1995; Woodcock &

Gopal, 2000; Zhang & Foody, 2001; Zhu et al., 1996). Οι καλύψεις/χρήσεις γης συνήθως ελάχιστα αντιπροσωπεύονται από διακριτές κατηγορίες, για δύο κυρίως λόγους: (1) τα εικονοστοιχεία είναι συχνά μικτά - αντιπροσωπεύοντας περιοχές του εδάφους που έχουν πολλαπλούς τύπους κάλυψης γης και (2) συχνά οι κατηγορίες κάλυψης γης ενσωματώνονται μεταξύ τους λόγω της συνεχούς φύσης της βλάστησης (Foody, 1995; Zhang & Kirby, 1997; Zhang & Foody, 2001). Η ταξινόμηση με βάση την ασαφή θεωρία είναι μια ήπια τεχνική ταξινόμησης που αφορά στην ασάφεια, την αμφισημία και την αβεβαιότητα στον ορισμό της κατηγορίας (Rocchini & Ricotta, 2007; Upadhyay et al., 2014).

2.4.1.3.2 Προσεγγίσεις ταξινόμησης που η μικρότερη μονάδα ταξινόμησης αποτελείται από ομάδα εικονοστοιχείων

- Ταξινόμηση εικόνας ανά τομέα

Μια άλλη εναλλακτική στην προσέγγιση ανά εικονοστοιχείο που απαιτεί πληροφορίες a priori σχετικά με τα όρια των αντικειμένων της εικόνας (π.χ. συστάδες δένδρων) (Mather, 2011), είναι η προσέγγιση ανά τομέα (per-field). Στις μεθόδους αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται τμήματα γης (τομείς) ως μεμονωμένες μονάδες αποτρέποντας έτσι την εμφάνιση μεμονωμένων εικονοστοιχείων σε κάποιες κατηγορίες γης που εμφανίζουν το φαινόμενο «αλάτι και πιπέρι».

Οι ταξινομητές ανά τομέα υποδιαιρούν την εικόνα σε τομείς ή τεμάχια γης, τα οποία στην συνέχεια χρησιμοποιούνται στην διαδικασία ταξινόμησης αντί για τα μεμονωμένα εικονοστοιχεία (Arlin et al., 1999). Πιο συγκεκριμένα προκειμένου να μειωθεί η διακύμανση των φασματικών τιμών εντός μιας κατηγορίας γης, χρησιμοποιούνται διανυσματικά πολυγωνικά γεωχωρικά δεδομένα σχετικά με τα όρια τομέων, και εξάγονται κάποιες ιδιότητες των εικονοστοιχείων που βρίσκονται εντός των ορίων κάθε τομέα με σκοπό τον χαρακτηρισμό του (Mather, 2011). Έχει αποδειχτεί πως οι ταξινομητές αυτής της κατηγορίας είναι αποτελεσματικοί στην βελτίωση της ακρίβειας των ταξινομήσεων (Arlin & Atkinson 2001; Lloyd et al. 2004).

Η χρήση της προσέγγισης ανά τομέα όπου η κατάτμηση προηγείται της ταξινόμησης είναι ένα παράδειγμα αντικειμενοστραφούς προσέγγισης, κατά την οποία ταξινομούνται οι τομείς (αντικείμενα) παρά τα εικονοστοιχεία που απαρτίζουν την εικόνα (Mather, 2011). Ωστόσο, διάφορα προβλήματα ανακύπτουν όσον αφορά το μέγεθος και το σχήμα των τμημάτων γης, τον ορισμό των ορίων τους, τον αριθμό των τάξεων που δημιουργούνται, καθώς και την συσχέτιση των δεδομένων κανονικοποιημένων μορφών πλέγματος (δορυφορικές εικόνες) με διανυσματικά δεδομένα όπου αναμένονται επιδράσεις της κλίμακας.

Τα αντικειμενοστραφή μοντέλα αποτελούν ένα νέο παράδειγμα (Blaschke, 2010a; Myint et al., 2011), όπου ο εντοπισμός ομάδων εικονοστοιχείων που να έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά γίνεται με την διαδικασία κατάτμησης της εικόνας (Pal & Bhandari, 1992) η οποία μπορεί να παράγει μεταβλητούς αριθμούς και μεγέθη αντικειμένων (ομάδων εικονοστοιχείων) ανάλογα με τα κατώτατα όρια φασματικής ομοιότητας και πυκνότητας (Kok et al., 1999), αλλά και με την χρήση χωρικών πληροφοριών, και πληροφοριών υψής και συνάφειας (Li et al., 2014). Οι αντικειμενοστραφείς ταξινομητές βασίζονται στις φασματικές και γεωμετρικές ιδιότητες των αντικειμένων όπως προκύπτουν από την κατάτμηση της εικόνας (Benz et al., 2004), και αποτελούν την βασική μονάδα για την ταξινόμηση (Petrooulos et al., 2012; Li et al., 2014).

Οι προσεγγίσεις που βασίζονται σε αντικείμενα θεωρούνται πιο κατάλληλες για δεδομένα πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης καθώς υποθέτουν πως στις εικόνες αυτές, η πληροφορία της κάλυψης/χρήσης γης είναι πιθανότερο να σχετίζεται με ένα σύνολο συνδεδεμένων εικονοστοιχείων παρά με ένα μεμονωμένο εικονοστοιχείο και κατά συνέπεια πολλαπλά εικονοστοιχεία μπορεί να σχηματίζουν ένα γεωγραφικό αντικείμενο (Li et al., 2014). Έπειτα αυτά τα αντικείμενα ταξινομούνται περεταίρω με βάση τη γνώση χρησιμοποιώντας φασματικά και άλλα συναφή κριτήρια (Li et al., 2014).

Ο Mather (2011) τονίζει ότι «οι μέθοδοι αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνας έχουν γίνει δημοφιλείς τα τελευταία χρόνια λόγω της διαθεσιμότητας του λογισμικού eCognition που αναπτύχθηκε από την γερμανική εταιρία Definiens Imaging, καθώς οι περισσότερες εφαρμογές αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης χρησιμοποιούν αυτό το λογισμικό (Mather, 2011). Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιεί μια προσέγγιση κατάτμησης σε διαφορετικά επίπεδα κλίμακας από χαμηλή έως υψηλή, χρησιμοποιώντας τόσο φασματικά όσο και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των περιοχών, όπως κλίμακα, χρώμα, ομαλότητα και σχήμα (Mather, 2011).

Πολλές εργασίες έχουν αποδείξει ότι με τις αντικειμενοστραφείς προσεγγίσεις μπορεί να επιτευχθεί σημαντικά μεγαλύτερη ακρίβεια (Benz et al., 2004; Wang et al., 2004a; Myint et al., 2011; Ivits et al., 2005; Chubey et al., 2006; Yu et al., 2006). Ο Blaschke (2010), σε μια επισκόπηση της βιβλιογραφίας για τη χρήση της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης, υπογράμμισε την δυναμική της στην εξαγωγή θεματικών πληροφοριών από δεδομένα τηλεπισκόπησης.

- Τεχνικές ανάλυσης χώρο-συνάφειας για την ταξινόμηση εικόνας

Το πρόβλημα της σύγχυσης μεταξύ των τάξεων, έχει προσπαθήσει να αντιμετωπίσει και μια άλλη σειρά ταξινομητών, οι ταξινομητές συνάφειας. Η ταξινόμηση συνάφειας αξιοποιεί την χωρική σχέση που υπάρχει μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων για να βελτιώσει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης (Gurney & Townshend, 1983; Stuckens et al., 2000;

Magnussen et al., 2004). Όπως ήδη έχει αναφερθεί αρκετές φορές, ένας αριθμός τύπων κάλυψης/χρήσης γης δεν μπορούν να διαχωριστούν αποτελεσματικά με βάση μόνο τις φασματικές πληροφορίες, καθώς η σχέση μεταξύ φασματικής απόκρισης και κατηγορίας πληροφοριών είναι συχνά πολλές προς μια (Stuckens et al., 2000). Για παράδειγμα είναι κοινώς αποδεκτό όπως και οι Li κ.α. (2014) επισημαίνουν ότι «οι αδιαπέραστες επιφάνειες και το γυμνό έδαφος (π.χ. οι λαμπρές αστικές επιφάνειες και το ξηρό έδαφος, καθώς και οι σκοτεινές αδιαπέραστες επιφάνειες και το υγρό έδαφος) δεν μπορούν να διαχωριστούν αποτελεσματικά μόνο με βάση τις φασματικές πληροφορίες».

Παρόλο που οι φασματικοί ταξινομητές έχουν τα πλεονεκτήματα της εννοιολογικής απλότητας και υπολογιστικής αποτελεσματικότητας, οι περιορισμοί τους είναι εμφανείς (Myint et al., 2011). Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια ταξινόμησης, έχει αναπτυχθεί ένας ολοένα και αυξανόμενος αριθμός «χώρο συμφραζόμενων» τεχνικών ανάλυσης που συμπληρώνουν τις προσεγγίσεις φασματικής ταξινόμησης (Atkinson & Naser, 2010; Wang et al., 2016).

Οι προσεγγίσεις αυτές βασίζονται στη θεώρηση ότι στις περιπτώσεις όπου το μέγεθος εικονοστοιχείου είναι μικρότερο από τη γενική έκταση των αντικειμένων του τοπίου, τότε αυτό θα παρουσιάζει έναν υψηλό βαθμό χωρικής αυτοσυσχέτισης. Με άλλα λόγια η γνώση ότι ένα εικονοστοιχείο ανήκει σε μια ορισμένη κατηγορία αυξάνει την πιθανότητα ότι και τα γειτονικά του εικονοστοιχεία ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Οι ταξινομητές συνάφειας προσπαθούν να ενσωματώσουν αυτές τις πρόσθετες πληροφορίες στη ρουτίνα της ταξινόμησης (Stuckens et al., 2000). Είναι προφανές ότι όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός της χωρικής αυτοσυσχέτισης, τόσο καλύτερα τα αποτελέσματα των ταξινομητών συνάφειας σε σύγκριση με τους σημειακούς ταξινομητές ανά εικονοστοιχείο.

Ένας ταξινομητής συνάφειας μπορεί να περιλαμβάνει τεχνικές εξομάλυνσης, τυχαία πεδία Markov, χωρική στατιστική, ασαφή λογική, κατάτμηση ή νευρωνικά δίκτυα. Επίσης, οι χωρικές ιδιότητες της εικόνας μπορούν επίσης να αντιπροσωπευθούν από την υφή (Marceau et al., 1990). Οι προσεγγίσεις εξαγωγής υφής κατά τους Gurney και Townshend (1983) διαφέρουν από τους ταξινομητές συνάφειας, καθώς περιγράφουν την χωρική διακύμανση σε ένα συνεχές σύνολο εικονοστοιχείων (Gurney & Townshend, 1983).

Οι Li κ.α. (2014) διαχωρίζουν τις χώρο συναφείς τεχνικές ανάλυσης σε τρεις μεθοδολογικές προσεγγίσεις που περιλαμβάνουν 1) εξαγωγή υφής, 2) μοντελοποίηση τυχαίων πεδίων Markov (MRFs) και 3) κατάτμηση εικόνας και ανάλυση εικόνας με βάση αντικείμενα (Stuckens et al., 2000; Blaschke, 2010a; Thoonen et al., 2012).

Ο Πίνακας 2.13 παρουσιάζει τις κατηγορίες χώρο συναφών τεχνικών ταξινόμησης σύμφωνα με τους (Li et al., 2014).

Πίνακας 2.13 Χώρο - συναφείς τεχνικές ταξινόμησης
(πηγή (Li et al., 2014))

Χώρο- συναφείς Τεχνικές Ταξινόμησης	Ρόλος της χώρο-συναφής πληροφορίας	Τύποι Ταξινομητών
Εξαγωγή υφής	Η ενσωμάτωση μετρήσεων υφής μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της ταξινόμησης μέσω του μετριάσμου φασματικής σύγχυσης μεταξύ των φασματικά παρόμοιων κατηγοριών	Δομικής εξαγωγή υφής (π.χ. μαθηματικές μορφολογικές τεχνικές) Στατιστική εξαγωγή υφής (π.χ. στατιστική πρώτου και δευτέρου βαθμού, φασματική υφή, ημιδιακύμανση) Μοντέλα για την εξόρυξη υφής (π.χ. μοντέλα φράκταλ, μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης, μοντέλα Μαρκόφ) Εξαγωγή υφής με μετασχηματισμό (π.χ. μετασχηματισμοί Fourier, Gabor, Wavelet)
MRFs - μοντελοποίηση τυχαίων πεδίων Markov	Τα MRFs ενσωματώνουν σε ένα ταξινομητή χώρο - συναφείς πληροφορίες μέσω της τροποποίησης της διακρίνουσας συνάρτησης με την προσθήκη του όρου χωρικής συσχέτισης.	Ολοκληρωμένος αλγόριθμος των MRFs και SVM Προσαρμοσμένα MRFs
Κατάτμηση εικόνας και ανάλυση της εικόνας με βάση αντικείμενα	Χώρο-συναφείς πληροφορίες ενσωματώνονται στην διαδικασία τμηματοποίησης της εικόνας, με κάθε τμήμα να περιέχει χωρικά συνεχόμενα και ομοιογενή pixels, και αποφεύγει το θόρυβο «αλάτι και πιπέρι».	Τμηματοποίηση της εικόνας (π.χ. αυξανόμενης περιοχής, μέθοδοι Markovian, μέθοδοι watershed, ιεραρχικοί αλγόριθμοι) Τεχνικές ανάλυσης εικόνας που βασίζονται σε αντικείμενα (π.χ. SVM, ταξινομητής πλησιέστερου γείτονα)

Παρακάτω θα γίνει μια αναφορά σχετικά με την τρίτη κατηγορία που αφορά στην κατάτμηση και ταξινόμηση της εικόνας με βάση αντικείμενα.

- Κατάτμηση εικόνας και ανάλυση με βάση αντικείμενα

Η κατάτμηση εικόνας είναι ένας όρος της «οπτικής» των υπολογιστών / υπολογιστικής όρασης (Computer Vision), με την οποία μια ψηφιακή εικόνα χωρίζεται σε έναν αριθμό ομογενών τμημάτων, καθένα από τα οποία συχνά αντιστοιχεί σε ένα αντικείμενο ή ένα τμήμα ενός αντικειμένου (Pal & Bhandari, 1992). Οι τεχνικές κατάτμησης εικόνας έχουν εφαρμοστεί στην ανάκτηση εικόνων που βασίζονται στο περιεχόμενο (content based image retrieval, CBIR), στην ιατρική απεικόνιση, στην ανίχνευση αντικειμένου κ.α. (Pal & Bhandari, 1992). Στο πεδίο της τηλεπισκόπησης, οι Kettig και Landgrebe (1976) ανέπτυξαν μια πρώιμη εφαρμογή κατάτμησης εικόνας (Kettig & Landgrebe, 1976). Ο Landgrebe αργότερα ανέπτυξε τον ταξινομητή ECHO (Landgrebe, 2003).

Οι λειτουργίες κατάτμησης, διαιρούν την εικόνα σε παρακείμενες μάζες/συστάδες (clumps) εικονοστοιχείων που ονομάζονται «τμήματα» ή «περιοχές». Όπως ο Schowengerdt (2007) αναφέρει, «η χωρική - φασματική κατάτμηση, χρησιμοποιεί χωρική και φασματική πληροφορία σε μια μη επιβλεπόμενη επισήμανση τάξεων». Κατά την εφαρμογή της κατάτμησης, ενσωματώνονται στους αλγορίθμους χώρο-συναφείς πληροφορίες, όπως αυξανόμενη περιοχή (Mannan & Ray, 2003), μέθοδοι Markovian (Jackson & Landgrebe, 2002), μέθοδοι watershed (Salembier et al., 1998) και ιεραρχικοί αλγόριθμοι (Dalla Mura et al., 2010).

Έπειτα, μπορεί να εφαρμοστεί μια τεχνική ταξινόμησης OBIA (π.χ. SVM, ταξινομητής πλησιέστερου γείτονα, κ.λπ.) προκειμένου να εξαχθούν χάρτες των χρήσεων - κάλυψης γης (Li et al., 2014). Οι τεχνικές ταξινόμησης εικόνας με βάση αντικείμενα έχουν θεωρηθεί ανώτερες των παραδοσιακών τεχνικών που βασίζονται στο εικονοστοιχείο καθώς μπορούν να ενσωματώσουν φασματική και χώρο συναφή πληροφορία κατά τη διαδικασία ταξινόμησης (Blaschke, 2010a; Ceccarelli et al., 2013). Πρόσφατες εργασίες αναφέρουν αποτελέσματα ταξινόμησης υψηλής ακρίβειας για την εξαγωγή χαρτών χρήσεων/καλύψεων γης υψηλής χωρικής ανάλυσης σε αστικές περιοχές (Su et al., 2008; Blaschke, 2010a; Gianinetto et al., 2014).

Ως το κύριο πλεονέκτημα των προσεγγίσεων που βασίζονται στην κατάτμηση είναι ότι η ψηφιακή εικόνα δεν θεωρείται πλέον ως πλέγμα εικονοστοιχείων, αλλά ως μια ομάδα πρωτογενών και ομοιογενών περιοχών, τα αντικείμενα εικόνας. Τα αντικείμενα μπορεί να είναι πιο έξυπνα από τα εικονοστοιχεία, με την έννοια ότι γνωρίζουν τους γείτονές τους και τις χωρικές ή φασματικές σχέσεις μεταξύ τους (Τζώτσος, 2014). Με αυτό το είδος της αναπαράστασης, μπορούν να υπολογιστούν μέσα στα όρια ενός αντικειμένου εικόνας τοπικά κριτήρια για την ταξινόμηση, ενώ το συνολικό πλαίσιο μπορεί εύκολα να αναπαρασταθεί μέσω των τοπολογικών χαρακτηριστικών μεταξύ των αντικειμένων.

Ωστόσο θα πρέπει να επισημανθεί, ότι κατά την οριοθέτηση ομοιογενών αντικειμένων μέσω της κατάτμησης, συμβαίνει ταυτόχρονα και μια ομογενοποίηση κατά την οποία υπάρχει το ρίσκο να ενσωματωθούν εικονοστοιχεία διαφορετικών τάξεων σε ένα αντικείμενο (Koch et al., 2003; Wang et al., 2004a). Αυτό το αποτέλεσμα μικτού- αντικειμένου αναμένεται να είναι πιο έντονο στα όρια μεταξύ δύο τάξεων (Wang et al., 2004a), μια παρατήρηση που έχει αναφερθεί ως ένα μειονέκτημα με την χρήση αντικειμενοστραφών προσεγγίσεων ιδίως όσον αφορά τάξεις που δεν έχουν σαφή όριο και ομοιογενή κατανομή (όπως οι θάμνοι που αποτελούν διάσπαρτες κατηγορίες γης) δηλαδή δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός είτε με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας είτε με βάση το σχήμα (Gao & Mas, 2008; Trang et al., 2016). Για τον λόγο αυτό, τα χωρικά-φασματικά συστήματα κατάτμησης τείνουν να λειτουργούν καλύτερα όταν η σκηνή αποτελείται από σχετικά ομοιογενή αντικείμενα τουλάχιστον αρκετών εικονοστοιχείων (Schowengerdt, 2007), και έτσι η προσέγγιση αυτή ενδείκνυται για δεδομένα πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης.

Η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση επηρεάζεται σημαντικά από την ποιότητα των αποτελεσμάτων της κατάτμησης (Malinverni et al., 2011), καθώς η εμφάνιση συγκεκριμένων κατηγοριών χρήσεων γης εξαρτάται από την κλίμακα ενώ το μέγεθος του αντικειμένου επηρεάζει το αποτέλεσμα της ταξινόμησης. Έχει ήδη συζητηθεί (ενότητα 2.2.5.2 «Επιδράσεις της Κλίμακας») ότι για μια συγκεκριμένη ανάλυση διαφορετικές χωρικές

ενότητες (π.χ., διαφορετικοί τρόποι ομαδοποίησης) μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικά διαφορετικά εμπειρικά ευρήματα (Openshaw & Taylor, 1979). Η συσσωμάτωση σε αντικείμενα μπορεί να «θολώσει» τις χαρακτηριστικές κλίμακες (που είναι εγγενείς στα φαινόμενα) των οντοτήτων ενδιαφέροντος και να οδηγήσει σε αναντιστοιχίες μεταξύ της εγγενούς και της παρατηρούμενης κλίμακας.

Οι Koch κ.α. (2003), επισημαίνουν τις αδυναμίες εφαρμογής των αντικειμενοστραφών προσεγγίσεων για την ταξινόμηση δασικών ειδών, που εντοπίζονται κυρίως στη σημαντική μη επιθυμητή συσσωμάτωση σε αντικείμενα τύπων δασών με διαφορετική πρόσμιξη ειδών. Σε πολλές συγκεκριμένες εφαρμογές οι προσεγγίσεις αυτές δεν εμφανίζουν κατ' ανάγκη υπεροχή σε σχέση με τις προσεγγίσεις ανά εικονοστοιχείο καθώς η μείωση του φασματικού θορύβου έπειτα από τη συσσωμάτωση των εικονοστοιχείων σε αντικείμενα δεν βελτιώνει απαραίτητα και τα αποτελέσματα της ταξινόμησης π.χ. (Koch et al., 2003; Μαλλίνης, 2006; Gao & Mas, 2008; Fung et al., 2008; Petropoulos et al., 2012; Jebur et al., 2013; Jonsson, 2015; Goodin et al., 2015; Trang et al., 2016).

Η μέθοδος κατάτμησης μπορεί εναλλακτικά να εφαρμοστεί κατά την προ επεξεργασία των δεδομένων και ιδιαίτερα για την αντιμετώπιση ζητημάτων που ανακύπτουν με την χρήση δεδομένων που αφορούν μια μεγάλη περιοχή μελέτης.

- Τεχνικές ανάλυσης ΓΣΠ

Παραδοσιακά, οι τεχνικές ανάλυσης γεωγραφικών πληροφοριών δεν θεωρούνται ως μια μεγάλη ομάδα μοντέλων που ενσωματώνουν χώρο-συναφείς πληροφορίες στην ταξινόμηση εικόνων τηλεπισκόπησης (Thoonen et al., 2012; Fauvel & Benediktsson, 2008). Αυτό μπορεί ενδεχομένως να συμβαίνει λόγω των κενών μεταξύ των διαφόρων ερευνητικών κοινοτήτων, καθώς η εξόρυξη υφής, τα μοντέλα MRF, και η κατάτμηση εικόνας και η ταξινόμηση βάση αντικειμένου προήλθαν από τους τομείς της υπολογιστικής όρασης, της αναγνώρισης προτύπων, και ανάλυσης εικόνας, ενώ τα μοντέλα ανάλυσης γεωγραφικών πληροφοριών ενσωματώνονται στους τομείς της γεωγραφίας, της γεωλογίας, της οικονομίας, της περιφερειακής ανάλυσης, κ.λπ. (Li et al., 2014).

Παρόλο όμως που όλες οι παραπάνω τεχνικές προέρχονται από διαφορετικές επιστημονικές κοινότητες, προσπαθούν να αντιμετωπίσουν το ίδιο πρόβλημα: τη χωρική εξάρτηση (Li et al., 2014). Μέχρι σήμερα, οι τεχνικές γεωγραφικής ανάλυσης έχουν σπανίως εφαρμοστεί απευθείας στην ταξινόμηση εικόνων τηλεπισκόπησης (Atkinson & Naser, 2010), αλλά πολλές φορές ενσωματώνονται σε αυτή για την εξαγωγή υφής (Van der Meer, 2012), με την χρήση μετρήσεων υφής με βάση το βαριόγραμμα ή με την χρήση μεταβλητών υφής με την χρήση

των δεικτών χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I και Getis (Li et al., 2014). Πρόσφατα γίνονται προσπάθειες σύμπραξης μεθόδων τηλεπισκόπησης με αυτές των ΓΣΠ π.χ. (Zhang et al., 2013a; Deng & Wu, 2013).

2.4.2 Αξιολόγηση της ακρίβειας της ταξινόμησης

Η επικύρωση ή αξιολόγηση της ακρίβειας του αποτελέσματος μιας ταξινόμησης, είναι ένα βασικό κομμάτι στην χαρτογράφηση κάλυψης γης (Congalton et al., 2014), καθώς μπορεί να παράσχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα αυτών των δεδομένων (Congalton, 1991; Stehman, 1997; Foody, 2002; Lu & Weng, 2007), προκειμένου οι αποδέκτες να μπορούν να λάβουν συνειδητές αποφάσεις για το αν και πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά τα προϊόντα αυτά (Smits et al., 1999; Xie et al., 2008). Όπως οι Olofsson κ.α. (2014) επισημαίνουν «χωρίς μια αξιολόγηση της ακρίβειας, δεν υπάρχει κανένας τρόπος να επικοινωνηθεί η ποιότητα των χαρτών με ένα ποσοτικό και ουσιαστικό τρόπο».

Η πλειοψηφία των αποδεκτών των θεματικών χαρτών που προκύπτουν μέσω ταξινόμησης, θεωρούν αυτούς τους χάρτες ακριβείς όταν αυτοί παρέχουν μια πραγματική απεικόνιση της γήινης επιφάνειας η οποία προσδιορίζεται από τον βαθμό «ορθότητας» των ταξινομημένων ομάδων σε σύγκριση με τις πραγματικές (Foody, 2002; Weber, 2006; Xie et al., 2008). Όντως, ο όρος ακρίβεια περιγράφει την εγγύτητα μιας μέτρησης με την αληθή τιμή της ποσότητας που μετράται (Smits et al., 1999).

Οι Smits κ.α. (1999), διαφωνούν με την όρο ακρίβεια ταξινόμησης, θέτοντας ζητήματα που αφορούν στην αβεβαιότητα που σχετίζεται με τις φασματικές υπογραφές των κατηγοριών, η οποία δεν επιτρέπει τον αντικειμενικό και αδιαμφισβήτητο καθορισμό της σχέσης μεταξύ της φασματικής υπογραφής των δεδομένων εικόνας και μιας κατηγορίας. Κατά συνέπεια θεωρούν ότι θα ήταν πιο σωστό να μιλήσει κανείς από την άποψη της συνέπειας χαρτών, ή ακόμα και της συνέπειας υπογραφών, παρά για ακρίβεια. Οι συγγραφείς τονίζουν το γεγονός ότι στην Τηλεπισκόπηση, η ακρίβεια ενός ταξινομητή είναι στην πραγματικότητα μια σχετική ακρίβεια, και επισημαίνουν ότι με τον όρο ποιότητα, η έννοια της ακρίβειας μπορεί να ιδωθεί σε ένα ευρύτερο πλαίσιο που αναφέρεται στους στόχους και τις απαιτήσεις που έχουν οριστεί πριν από την αξιολόγηση της ακρίβειας (επιλογή δεδομένων, αλγόριθμος ταξινόμησης) (Smits et al., 1999).

Ωστόσο, η ακρίβεια μιας ταξινομημένης εικόνας έχει δύο πτυχές: τη γεωμετρική ακρίβεια η οποία σχετίζεται με την ακρίβεια της θέσης κάθε εικονοστοιχείου ή αντικειμένου (ακρίβεια στο απόλυτο πλαίσιο), και την θεματική ακρίβεια που είναι η ακρίβεια που σχετίζεται με την επισήμανση (κατάταξη σε κατηγορία) του κάθε εικονοστοιχείου ή αντικειμένου (σχετική ακρίβεια) (Zhan et al., 2005; Möller et al., 2013). Οι Wang κ.α. (2016) επισημαίνουν ότι το

μεγαλύτερο ενδιαφέρον των χρηστών επικεντρώνεται στην θεματική ακρίβεια, παρόλο που η γεωμετρική ακρίβεια έχει ένα σημαντικό αντίκτυπο στην αναπαράσταση της θεματικής ακρίβειας (Foody, 2002; Pontius & Millones, 2011; Wang et al., 2016).

Τα σφάλματα λοιπόν μιας ταξινόμησης μπορεί να «κληρονομηθούν» από τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης (όπως σφάλματα γεωαναφοράς), ή να προκύψουν τόσο κατά την ερμηνεία της εικόνας (π.χ. αβεβαιότητα ή αμεροληψίες του αναλυτή) όσο και από την χρήση χαμηλής ποιότητας δειγμάτων εκπαίδευσης (Foody, 2010; Lu & Weng, 2007). Για τον λόγο αυτό, προκειμένου να παραχθεί μια αξιόπιστη αποτίμηση της ακρίβειας μιας ταξινόμησης, θα πρέπει κανείς να γνωρίζει τις ενδεχόμενες πηγές σφάλματος (Powell et al., 2004) οι οποίες είναι πιθανό να επηρεάσουν την ακρίβεια της ταξινόμησης (Lu & Weng, 2007).

Αναμφισβήτητα υπάρχει μια απαίτηση για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας τόσο λόγω της δεδομένης πολυπλοκότητας των ταξινομήσεων με την χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων (Lewis et al., 2013), όσο και λόγω του γεγονότος ότι οι χάρτες που παράγονται με την χρήση της τηλεπισκόπησης δεν αποτελούν πλέον ένα τελικό προϊόν, αλλά περισσότερο αποτελούν εισροές για περαιτέρω μοντελοποίηση και ανάλυση με την χρήση των ΓΣΠ, και η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων αυτών μπορεί να οδηγήσει στον πολλαπλασιασμό ή την ενίσχυση των σφαλμάτων της ταξινόμησης (Beekhuizen & Clarke, 2010).

Ένα μεγάλο τμήμα της έρευνας έχει επικεντρωθεί στην βελτίωση της ακρίβειας και της αβεβαιότητας της ταξινόμησης για την χαρτογράφηση της κάλυψης/χρήσης γης με την χρήση της Τηλεπισκόπησης π.χ. (Gong & Howarth, 1992a; Foody, 1996b; San Miguel-Ayaz & Biging, 1996; Stuckens et al., 2000; Cihlar, 2000; Franklin & Wulder, 2002; Franklin et al., 2002; Pal & Mather, 2003; Gallego, 2004; Esch et al., 2008; Xie et al., 2008; Gonçalves et al., 2009; Foody, 2010; Beekhuizen & Clarke, 2010; Möller et al., 2013; Foody & Boyd, 2013; Gartzia et al., 2013; Khatami et al., 2016; Wang et al., 2016; Ge et al., 2016; de Klerk et al., 2016; Lu & Weng, 2007). Πολλοί συγγραφείς έχουν πραγματοποιήσει ενδεδειγμένες έρευνες της βιβλιογραφίας για την ακρίβεια των ταξινομήσεων (Congalton, 1991; Smits et al., 1999; Foody, 2002; Upadhyay et al., 2014; Yu et al., 2014; Congalton et al., 2014; Khatami et al., 2016) ή προτείνουν καλές πρακτικές για την αξιολόγηση της ακρίβειας μιας ταξινόμησης όπως π.χ. (Olofsson et al., 2014).

Η σχετική βιβλιογραφία είναι εξαιρετικά πλούσια, και εκτείνεται σε ένα μεγάλο εύρος θεμάτων που ανακύπτουν σχετικά με την αξιολόγηση της ακρίβειας. Ενδεικτικά, σε πολλά άρθρα αναφέρονται κάποια σημαντικά θέματα όπως ζητήματα που συνδέονται με την αβεβαιότητα και την διάδοση του σφάλματος π.χ. (Powell et al., 2004; Liu & Chun, 2009; Stein et al., 2009; Wu et al., 2009; Gonçalves et al., 2009), το μετασχηματισμό και τη γεωμετρική ταύτιση των προϊόντων Τηλεπισκόπησης π.χ. (Tao et al., 2009; Wen et al., 2009; Zhang et al.,

2009; Tong et al., 2009; Möller et al., 2013), ενώ κάποια άλλα επικεντρώνονται σε συζητήσεις σχετικά με την ακρίβεια με την οποία μπορούν να εκτιμηθούν οι δομικές ιδιότητες της βλάστησης π.χ. (Rapp et al., 2005; Foody et al., 2005; Atkinson et al., 2007; Foody, 2008; Xie et al., 2008; Wang et al., 2009a; Thoonen et al., 2012; Gartzia et al., 2013). Τέλος αρκετοί ερευνητές έχουν συμβάλει στις επιστημονικές διαφωνίες που σχετίζονται με την εκτίμηση της ακρίβειας π.χ. (Foody, 2002; Stehman, 2004; Pontius Jr & Connors, 2006; Atkinson et al., 2007; Foody, 2008).

Οι Zhang και Foody (2009) επισημαίνουν ότι ένα μεγάλο τμήμα της βιβλιογραφίας απηχεί μακροχρόνιες ανησυχίες σχετικά με τις μετρήσεις της ακρίβειας και της αξιολόγησης, ενώ ένα άλλο τμήμα αντανακλά εξελισσόμενη φιλοσοφική έρευνα σχετικά με την χωρική αβεβαιότητα (Kyriakidis & Dungan, 2001; Czaplewski & Patterson, 2003; Steele, 2005; van Oort, 2007; Goodchild, 2008a; Gonçalves et al., 2009; Zhang & Foody, 2009). Όπως οι Beekhuizen και Clarke (2010) τονίζουν, «ακόμη και μέχρι σήμερα έπειτα από τριάντα χρόνια εμπειρίας η ποιότητα των χαρτών που προκύπτουν από την ταξινόμηση εικόνας συχνά κρίνεται ως πολύ χαμηλή για επιχειρησιακές εφαρμογές».

2.4.2.1 Συστατικά αξιολόγησης της ακρίβειας μιας ταξινόμησης

Μια αξιολόγηση της ακρίβειας σύμφωνα με τους Stehman και Czaplewski (1998) και Olofsson κ.α. (2014) περιλαμβάνει τρία βασικά συστατικά:

1. το σχεδιασμό απόκρισης (response design), που καλύπτει όλες τις πτυχές του πρωτοκόλλου για τον έλεγχο της συμφωνίας μεταξύ ταξινόμησης και χάρτη αναφοράς,
2. το σχεδιασμό της δειγματοληψίας (sampling design), που περιλαμβάνει το πρωτόκολλο για την επιλογή του υποσυνόλου της περιοχής ενδιαφέροντος στην οποία θα εφαρμοστεί το σχήμα απόκρισης,
3. και την ανάλυση (analysis), τις διαδικασίες δηλαδή εκτίμησης και ανάλυσης: μεθοδολογία για την ποσοτικοποίηση της ακρίβειας, πλαίσιο συμπερασμάτων, ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας των εκτιμήσεων

(Stehman & Czaplewski, 1998; Olofsson et al., 2014).

2.4.2.1.1 Σχεδιασμός δειγματοληψίας

Η επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής δειγματοληψίας αποτελεί ένα κρίσιμο στάδιο (Congalton, 1991). Το σχήμα δειγματοληψίας χρησιμοποιείται για να ληφθεί ένα επαρκές σύνολο στοιχείων αναφοράς (π.χ. εικονοστοιχεία ή πολύγωνα) το οποίο θα αποτελέσει και τη βάση της εκτίμησης της ακρίβειας (Smits et al., 1999; Olofsson et al., 2014). Τα βασικά

συστατικά της στρατηγικής της δειγματοληψίας περιλαμβάνουν τη μονάδα δείγματος, το σχεδιασμό της δειγματοληψίας, και το μέγεθος του δείγματος (Muller et al., 1998).

Σημαντικές προϋποθέσεις ενός σχήματος δειγματοληψίας είναι να αντιπροσωπεύει επαρκώς κάθε κατηγορία εδαφικής κάλυψης, και να μην εισάγει στη διαδικασία αξιολόγησης κάποιο συστηματικό σφάλμα (Smits et al., 1999). Οι Olofsson κ.α. (2014) στο άρθρο τους σχετικά με τις προτεινόμενες καλές πρακτικές για την εκτίμηση της ακρίβειας, συστήνουν το σχέδιο δειγματοληψίας να είναι ένα σχέδιο πιθανολογικών δειγμάτων, έτσι ώστε στο πρωτόκολλο επιλογής να ενσωματώνεται η τυχαιότητα, σε αντίθεση με στρατηγικές δειγματοληψίας όπως η σκόπιμη επιλογή μονάδων δείγματος (π.χ. επιλογή μονάδων που είναι εύκολα προσβάσιμες), ή ο περιορισμός του δείγματος σε απλές ομοιογενείς περιοχές.

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα σχήματα δειγματοληψίας με πιθανότητες είναι αυτά της απλής τυχαίας, της στρωματοποιημένης και της συστηματικής (Stehman, 2009). Μια λεπτομερή περιγραφή των τεχνικών δειγματοληψίας μπορεί να βρεθεί στη βιβλιογραφία (Stehman & Czaplewski, 1998; Congalton & Green, 2009; Stehman, 2009).

2.4.2.1.2 Σχέδιο απόκρισης

Για τον σκοπό της αξιολόγησης της ακρίβειας, το σχέδιο απόκρισης περιλαμβάνει όλα τα βήματα του πρωτοκόλλου που χρειάζονται για να οδηγηθούμε σε μια απόφαση σχετικά με τη συμφωνία χάρτη αναφοράς και ταξινόμησης (Olofsson et al., 2014). Κατά κύριο λόγο περιλαμβάνει τα συστατικά που σύμφωνα με τους Smits κ.α. (1999) είναι οι θεμελιώδεις πτυχές οποιουδήποτε σχήματος αξιολόγησης : (α) τα δεδομένα επίγειας παρατήρησης/επιβεβαίωσης, (β) το σχήμα της ταξινόμησης και τη σημασιολογία των κατηγοριών, και (γ) το σχήμα και το μέγεθος των δειγμάτων (Smits et al., 1999).

Το σχήμα και μέγεθος των δειγμάτων αποτελεί τη χωρική μονάδα που χρησιμοποιείται ως βάση για τη χωρική σύγκριση της ταξινόμησης αναφοράς και του χάρτη ταξινόμησης και μπορεί να είναι αυτή του εικονοστοιχείου, του πολυγώνου (ή τμήματος), ή ενός μπλοκ (Stehman & Wickham, 2011).

- Πηγές δεδομένων αναφοράς

Οι περισσότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση των ταξινομημένων εικόνων περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό εάν κάθε συγκεκριμένη χωρική μονάδα που χρησιμοποιείται ως βάση για την χωρική σύγκριση (συνήθως συγκεκριμένο σημείο ή εικονοστοιχείο) έχει ταξινομηθεί σωστά (Everitt et al., 2007). Η επαλήθευση μπορεί να γίνει είτε με τον φυσικό εντοπισμό του σημείου στο πεδίο ή με τον εντοπισμό του σε έναν άλλο χάρτη, έπειτα από τον οπτικό προσδιορισμό του αναμενόμενου αποτελέσματος της ταξινόμησης σε αυτό το σημείο (Mirik & Ansley, 2012). Τα δεδομένα αναφοράς λοιπόν

μπορούν να καθοριστούν από μια πληθώρα πηγών που εκτείνονται από πραγματικές επισκέψεις πεδίου έως τη χρήση άλλων δεδομένων (αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων, αναλογικών χαρτών ή διανυσματικών δεδομένων) (Olofsson et al., 2014).

Ωστόσο, οι Smits κ.α. (1999) τονίζουν την αναγκαιότητα της συλλογής στοιχείων επίγεια αλήθειας τόσο για την εκπαίδευση του χρησιμοποιούμενου ταξινομητή όσο και για την επικύρωση, λέγοντας ότι «τα δεδομένα επίγεια αλήθειας θα πρέπει να ιδωθούν ως αναπόσπαστο τμήμα της αξιολόγησης της ακρίβειας μιας μεθόδου ταξινόμησης εικόνας». Ως γνωστόν όμως, η συλλογή δεδομένων στο πεδίο είναι πολύ δαπανηρή και χρονοβόρα (Thoonen et al., 2012), ιδιαίτερα για μεγάλες σε έκταση περιοχές μελέτης, και επιπλέον τα δεδομένα επίγεια αλήθειας αποτελούνται συνήθως από ένα αριθμό μεμονωμένων σημείων, που περιλαμβάνουν λίγες πληροφορίες για τη μετάβαση μεταξύ των τάξεων (Foody, 2002).

Έτσι μια εναλλακτική στρατηγική θα μπορούσε να είναι η χρησιμοποίηση πληροφοριών που προέρχονται από μια πηγή που θεωρείται ότι είναι αρκετά ακριβής, όπως για παράδειγμα από φωτοερμηνεία ή εναέρια αναγνώριση (Congalton, 1991). Μια ευρέως αποδεκτή πρακτική είναι η χρήση δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης για την αξιολόγηση προϊόντων χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης (Cihlar et al. 2003), με την οριοθέτηση δεδομένων αναφοράς βάση των ιδιοτήτων των δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης (Möller et al., 2007; Esch et al., 2008; Li et al., 2010). Η ύπαρξη ελεύθερης διαθεσιμότητας εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης μέσω του διαδικτύου προσφέρει επιλογές ερμηνείας με χαμηλό κόστος (Olofsson et al., 2014). Μέσω της Google Earth™, δίνεται η δυνατότητα πρόσβασης σε εικόνες πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης των δορυφόρων SPOT και DigitalGlobe, με ανά έτος απεικόνιση (Olofsson et al., 2014).

Βέβαια, είναι σαφές ότι αυτή η στρατηγική μπορεί να υποτιμήσει (ή να υπερεκτιμήσει) την αληθινή ακρίβεια του συστήματος ταξινόμησης λόγω άγνωστων ανακρίβειών στα στοιχεία αναφοράς (Smits et al., 1999), καθώς και τα δεδομένα αυτά υπόκεινται σε ερμηνεία και επιπλέον περιλαμβάνουν και πιθανά σφάλματα (DeFries et al., 1995). Επιπροσθέτως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα χωρικά δεδομένα, όπως δεδομένα απογραφής δασών, ή/και διανυσματικά δεδομένα (Olofsson et al., 2014). Επίσης είναι δυνατόν να αντληθούν δεδομένα αναφοράς από εξόρυξη δεδομένων και πληθοπορισμό (crowdsourcing) ελεύθερης πρόσβασης (Foody & Boyd, 2013; Olofsson et al., 2014).

Για έναν επαρκή υπολογισμό της ακρίβειας μιας ταξινόμησης, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα σύνολο δοκιμής υψηλής ποιότητας, διαφορετικό από το σύνολο εκπαίδευσης (Smits et al., 1999). Η πηγή αναφοράς πρέπει να είναι υψηλότερης ποιότητας από αυτή που χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργηθεί ο χάρτης ταξινόμησης, και στην περίπτωση χρησιμοποίησης δεδομένων της ίδιας πηγής τόσο για την συλλογή δεδομένων αναφοράς όσο

και την εκπαίδευση του ταξινομητή, η διαδικασία δημιουργίας της ταξινόμησης αναφοράς θα πρέπει να είναι πιο ακριβής από ότι η διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία της ταξινόμησης (Olofsson et al., 2014). Επίσης, θα πρέπει να υπάρξει ιδιαίτερη προσοχή στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων στην περίπτωση χρονικής αναντιστοιχίας μεταξύ των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των εικονοστοιχείων δοκιμής και της εικόνας που χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση (Smits et al., 1999).

- Πρωτόκολλο αναγνώρισης

Το πρωτόκολλο αναγνώρισης αναφέρεται στα βήματα του σχεδιασμού απόκρισης για τη μετατροπή των πληροφοριών των πηγών αναφοράς σε ετικέτα ή ετικέτες που αποτελούν την ταξινόμηση αναφοράς (Olofsson et al., 2014). Με άλλα λόγια την αντιστοίχιση των δεδομένων αναφοράς σύμφωνα με το σχήμα της ταξινόμησης και τη σημασιολογία των κατηγοριών. Ο Congalton (1991) δίνει μια σειρά απλών οδηγιών για την κατάρτιση ενός σχήματος ταξινόμησης. Κατ' αρχάς, οποιαδήποτε περιοχή που ταξινομείται πρέπει να εμπέσει σε μια και μόνο μια κατηγορία, και στην ταξινόμηση θα πρέπει να περιληφθεί κάθε κατηγορία, ενώ το σχήμα της ταξινόμησης πρέπει να είναι ιεραρχικής φύσης, έτσι ώστε συγκεκριμένες κατηγορίες να μπορούν να απαλειφθούν για να διαμορφώσουν πιο γενικές κατηγορίες.

Οι Olofsson κ.α. (2014) επισημαίνουν τις δυνητικές πηγές αβεβαιότητας για μια ταξινόμηση αναφοράς: αυτές που σχετίζονται με τη χωρική ταύτιση του χάρτη και των θέσεων αναφοράς και αυτές που σχετίζονται με την ερμηνεία των δεδομένων. Η αναντιστοιχία μεταξύ αναγνώρισης της θέσης της μονάδας αξιολόγησης στο χάρτη και της θέσης που αναγνωρίζεται στα δεδομένα αναφοράς αναφέρεται σε σφάλματα ή αναντιστοιχία γεωαναφοράς (Olofsson et al., 2014). Η ερμηνεία των δεδομένων από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνει την αβεβαιότητα του ερμηνευτή, που μπορεί να οδηγήσει σε συστηματικά λάθη λόγω σφάλματος στην ανάθεση των κατηγοριών. Επίσης μπορεί να υπάρξει μεταβλητότητα στην ερμηνεία όταν η αξιολόγηση πραγματοποιείται από διαφορετικούς ερμηνευτές (διαφορετική ερμηνεία και ανάθεση κατηγορίας για την ίδια χωρική μονάδα) (Olofsson et al., 2014).

2.4.2.1.3 Ανάλυση

Το πρωτόκολλο ανάλυσης καθορίζει τα μέτρα και τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για να εκφραστεί η ακρίβεια της ταξινόμησης (Olofsson et al., 2014). Οι μέθοδοι αξιολόγησης, μπορεί να βασίζονται σε πίνακες σύγχυσης, σε ασαφής τεχνικές, στα χαρακτηριστικά λειτουργίας του δέκτη και άλλες τεχνικές (Smits et al., 1999).

- Πίνακας σύγχυσης - σφάλματος ή πίνακας συσχέτισης

Η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ακρίβειας είναι συνήθως με την παραγωγή του πίνακα σύγχυσης - σφάλματος ή πίνακα συσχέτισης (confusion matrix - error matrix or contingency table) (Congalton et al., 1983; Congalton, 1991; Gopal & Woodcock, 1994; Smits et al., 1999; Foody, 2002; Congalton & Green, 2009; Lewis et al., 2013; Lillesand et al., 2014; Yu et al., 2014; Lu & Weng, 2007).

Ο πίνακας σφάλματος είναι ένας απλός πίνακας διπλής εισόδου που περιλαμβάνει ίσο αριθμό στηλών και γραμμών που αντιστοιχούν στον αριθμό των κατηγοριών της ταξινόμησης, και αναπαριστά τη σχέση των ετικετών κατηγορίας που έχουν ανατεθεί από την ταξινόμηση και υπόκεινται σε αξιολόγηση, έναντι των δεδομένων αναφοράς των περιοχών του δείγματος (υποθέτοντας ότι είναι ακριβή) (Congalton, 1991; Smits et al., 1999; Xie et al., 2008; Congalton & Green, 2009; Olofsson et al., 2014; Lillesand et al., 2014).

Ο Πίνακας 2.14 αποτελεί παράδειγμα ενός πίνακα σφαλμάτων που συνοψίζει τις κρίσιμες πληροφορίες που λαμβάνονται από τη σύγκριση των δεδομένων ταξινόμησης με τα δεδομένα αναφοράς. Οι τιμές που βρίσκονται στη διαγώνιο αποτελούν ένδειξη σωστής ταξινόμησης ή συμφωνία δεδομένων ταξινόμησης και αναφοράς. Οι τιμές που βρίσκονται εκτός της διαγώνιου αντιπροσωπεύουν εσφαλμένες ταξινομήσεις και κατά συνέπεια ασυμφωνία μεταξύ των δεδομένων ταξινόμησης με αυτά της αναφοράς.

Πίνακας 2.14 Παράδειγμα πίνακα σφάλματος

	A	B	C	D	Σ
A	n_{AA}	n_{AB}	n_{AC}	n_{AD}	n_{A+}
B	n_{BA}	n_{BB}	n_{BC}	n_{BD}	n_{B+}
C	n_{CA}	n_{CB}	n_{CC}	n_{CD}	n_{C+}
D	n_{DA}	n_{DB}	n_{DC}	n_{DD}	n_{D+}
Σ	n_{+A}	n_{+B}	n_{+C}	n_{+D}	n

Η σπουδαιότητα των πινάκων σύγχυσης έχει υπογραμμιστεί από τον Congalton (1991). Ο πίνακας σφάλματος οργανώνει τα δεδομένα δειγματοληψίας με ένα τρόπο που να συνοψίζει τα βασικά αποτελέσματα και να βοηθά στην περιγραφή και ανάλυση των αποτελεσμάτων αξιολόγησης με την ποσοτικοποίηση της ακρίβειας και εκτίμησης της έκτασης (Smits et al., 1999; Olofsson et al., 2014).

Έχουν προταθεί διάφορες μετρήσεις για να περιγράψουν την ακρίβεια της ταξινόμησης με την βοήθεια του πίνακα (Congalton, 1991; Stehman, 1996; Richards, 1996; Stehman, 1997; Stehman & Czaplewski, 1998; Smits et al., 1999; Congalton & Green, 2009; Foody, 2002, 2004b). Οι πιο συνήθεις μετρήσεις με την χρήση του πίνακα σφαλμάτων περιλαμβάνουν το συνολικό ποσοστό της περιοχής που ταξινομήθηκε σωστά (εικονοστοιχεία ή πολύγωνα), διάφορες μορφές του συντελεστή Karra, τα σφάλματα αποκλεισμού ή παράλειψης (error of omission) και συμπερίληψης ή διάπραξης (commission error) (Congalton, 1991; Foody, 2002; Xie et al., 2008; Congalton & Green, 2009; Lillesand et al., 2014; Olofsson et al., 2014; Lu & Weng, 2007).

Οι περιγραφικές τεχνικές είναι σχετικά απλές και περιλαμβάνουν τον υπολογισμό της συνολικής ακρίβειας (η αναλογία μεταξύ του συνολικού αριθμού των εικονοστοιχείων για τα οποία έχει γίνει σωστή πρόβλεψη - τα στοιχεία της διαγώνιου του πίνακα) και την ακρίβεια κάθε μεμονωμένης κλάσης (Congalton, 1991; Smits et al., 1999; Congalton & Green, 2009; Lillesand et al., 2014; Rajyalakshmi et al., 2016).

Στον πίνακα (Πίνακας 2.14) το n_{ij} είναι το ποσοστό της συνολικής έκτασης της κλάσης i της ταξινόμησης και της κλάσης αναφοράς j . Το ποσοστό της έκτασης που ταξινομήθηκε στην κλάση i είναι:

$$n_{i+} = \sum_{j=1}^q n_{ij} \quad (10)$$

και το ποσοστό της έκτασης αναφοράς της τάξης j :

$$n_{+j} = \sum_{i=1}^q n_{ij} \quad (11)$$

$$\text{Η συνολική ακρίβεια (\%)} = \frac{\sum_{k=1}^q n_{kk}}{n} \times 100 \quad (12)$$

Η ακρίβεια κάθε τάξης μπορεί να εκφραστεί με δύο τρόπους (χρησιμοποιώντας τα δεδομένα εκτός διαγώνιου): με τον υπολογισμό της ακρίβειας του παραγωγού (producer's accuracy), που βασίζεται στα δεδομένα αναφοράς (σφάλμα παράλειψης - error of omission), ή με τον υπολογισμό της ακρίβειας του χρήστη (user's accuracy) που βασίζεται στο συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν σε συγκεκριμένες κατηγορίες (σφάλμα ανάθεσης - commission error) (Smits et al., 1999; Congalton & Green, 2009; Olofsson et al., 2014).

Η ακρίβεια του παραγωγού υπολογίζεται από την διαίρεση του συνολικού αριθμού των ορθά καταχωρημένων εικονοστοιχείων σε μια κατηγορία προς το συνολικό αριθμό των εγγραφών αυτής της κατηγορίας, όπως προκύπτουν από τα δεδομένα αναφοράς, δηλαδή το σύνολο της στήλης (Congalton, 1991; Xie et al., 2008; Congalton & Green, 2009; Lillesand et al., 2014; Ge et al., 2016; Rajyalakshmi et al., 2016).

Ακρίβεια παραγωγού για τον τύπο κάλυψης i ,

$$n_{Ai} = \frac{n_{ii}}{n_{+i}} \quad (13)$$

Η εκτίμηση της ακρίβειας του χρήστη υπολογίζεται από το λόγο του αριθμού των ορθώς ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε κάθε κατηγορία προς το συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν σε αυτή την κατηγορία (το σύνολο της γραμμής), καταδεικνύοντας την πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο που ταξινομήθηκε στη συγκεκριμένη κατηγορία τελικά να αναπαριστά και στην πραγματικότητα αυτή την κατηγορία στη γήινη επιφάνεια (Congalton, 1991; Congalton & Green, 2009; Lillesand et al., 2014; Ge et al., 2016; Rajyalakshmi et al., 2016).

Η ακρίβεια χρήστη για την τάξη i ,

$$n_{Ui} = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad (14)$$

Επίσης, η ανάλυση Kappa του Cohen (Cohen, 1960) είναι μια βασική τεχνική πολυμεταβλητής ανάλυσης για την εκτίμηση της ακρίβειας (Congalton, 1991; Smits et al., 1999; Chen & Stow, 2002; Bishop et al., 2007; Congalton & Green, 2009). Οι Congalton κ.α. (1983), χρησιμοποίησαν τις στατιστικές Kappa του Cohen για την αξιολόγηση της απόδοσης της ταξινόμησης από δεδομένα Τηλεπισκόπησης (Congalton et al., 1983).

Ο υπολογισμός του kappa είναι η γνωστή στατιστική KHAT (μια εκτίμηση του kappa) και αποτελεί μια αντιστάθμιση της πιθανότητας μια συμφωνία να έχει συμβεί λόγω τυχαιότητας (Foody, 2002). Με άλλα λόγια δείχνει εάν ο πίνακας σύγκρισης είναι εντελώς διαφορετικός από ένα τυχαίο αποτέλεσμα (Smits et al., 1999). Είναι ένας δείκτης του βαθμού στον οποίο η ποσοστιαία αναλογία των σωστών τιμών ενός πίνακα σφαλμάτων οφείλεται σε πραγματική έναντι τυχαίας συμφωνίας (Mirik & Ansley, 2012).

Η στατιστική KHAT είναι το μέτρο της πραγματικής συμφωνίας εάν αφαιρεθεί η πιθανότητα συμφωνίας μεταξύ ταξινόμησης και δεδομένων αναφοράς, αποκλείοντας την πιθανότητα ένα

εικονοστοιχείο να έχει ταξινομηθεί σωστά λόγω τυχαιότητας (Foody, 2002). Ο βαθμός στον οποίο παρατηρείται πραγματική συμφωνία (τα αποτελέσματα διαφέρουν από τα αποτελέσματα που θα μπορούσαν να προέρχονται από πλήρη τυχαιότητα) υποδηλώνεται με τιμές της στατιστικής που προσεγγίζουν την τιμή του 1, ενώ τιμές που προσεγγίζουν το 0 υποδηλώνουν την υπόθεση τυχαίας συμφωνίας (η συμφωνία είναι ίδια με αυτήν που θα είχαμε σε πλήρη τυχαιότητα) (Congalton, 1991; Congalton & Green, 2009; Lillesand et al., 2014). Αρνητικές τιμές του δείκτη αντιπροσωπεύουν μεγάλο βαθμό τυχαιότητας.

Η ανάλυση Kappa έχει αναγνωριστεί ως μια ισχυρή μέθοδος για την ανάλυση ενός πίνακα σφάλματος και για την σύγκριση των διαφορών μεταξύ διαφόρων πινάκων σφάλματος που έχουν προέλθει από διαφορετικούς ταξινομητές (Congalton, 1991; Smits et al., 1999; Foody, 2004b). Επίσης ως βελτιωμένες μετρήσεις ακρίβειας έχουν αναπτυχθεί ο τροποποιημένος συντελεστής kappa και ο συντελεστής tau (Foody, 1992; Ma & Redmond, 1995). Ο υπό όρους συντελεστής Kappa μπορεί να υπολογιστεί για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας.

Οι βασικές μαθηματικές αναπαραστάσεις της ανάλυσης Kappa ορίζονται ως εξής:

$$\text{Συντελεστής Kappa } k = \frac{n_o - \sum_{k=1}^q n_{k+} + n_{+k}}{1 - \sum_{k=1}^q n_{k+} + n_{+k}} \quad (15)$$

$$\text{Συντελεστής Kappa τυχαίας συμφωνίας } k_e = \frac{n_o - \frac{1}{q}}{1 - \frac{1}{q}} \quad (16)$$

Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την τάξη i (γραμμή):

$$k_i = \frac{n_{ii} - n_{i+} + n_{+i}}{n_{i+} - n_{i+} + n_{+i}} = \frac{n_{ui} - n_{+i}}{1 - n_{+i}} \quad (17)$$

Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την τάξη αναφοράς j (στήλη):

$$k_j = \frac{n_{Aj} - n_{j+}}{1 - n_{j+}} \quad (18)$$

Σύμφωνα με τους Landis και Koch (1977) και Monserud και Leemans (1992) τιμές του δείκτη πάνω από το 70% μπορούν να θεωρούνται ως μια πολύ καλή έως τέλεια συμφωνία. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.15) παρουσιάζεται μια κατηγοριοποίηση των τιμών της

στατιστικής Kappa. Παρόλο που αυτή η κατηγοριοποίηση είναι σαφώς αυθαίρετη παρέχει κάποια σημεία αναφοράς για την ισχύ της συμφωνίας μιας ταξινόμησης σε σχέση με το αποτέλεσμα που θα μπορούσε να είχε ληφθεί από τύχη (Landis & Koch, 1977; Monserud & Leemans, 1992).

Πίνακας 2.15 Κατηγοριοποίηση των τιμών της στατιστικής Kappa
(πηγή (Landis & Koch, 1977))

Kappa Statistic	Ισχύς συμφωνίας
< 0.00	Ανεπαρκής
0.00-0.20	Μικρή - ασήμαντη
0.21-0.40	Καλή
0.41-0.60	Μέτρια
0.61-0.80	Σημαντική - πολύ καλή
0.81-1.00	Σχεδόν τέλεια

2.4.2.2 Ζητήματα που ανακύπτουν σχετικά με την αξιολόγηση της ακρίβειας

Η λήψη ενός αξιόπιστου πίνακα σύγχυσης θεωρείται ένα αδύνατο σημείο σε ολόκληρη την αλυσίδα της αξιολόγησης της ακρίβειας (Smits et al., 1999; Congalton & Plourde, 2002). Οι Congalton και Plourde (2002) τονίζουν ότι προκειμένου να δημιουργηθεί σωστά ένας πίνακας σφάλματος πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες: (1) συλλογή δεδομένων αναφοράς, (2) το σύστημα ταξινόμησης, (3) το σύστημα δειγματοληψίας (4) η χωρική αυτοσυσχέτιση και (5) το μέγεθος και η μονάδα του δείγματος (Congalton & Plourde, 2002). Τα πιθανά προβλήματα είναι η υποκειμενικότητα που προκαλείται αναπόφευκτα από την επιλογή του σχεδίου ταξινόμησης (ετικέτες), των δειγμάτων εκπαίδευσης και του μεγέθους και της στρατηγικής δειγματοληψίας των δεδομένων αναφοράς (Smits et al., 1999). Οι Olofsson κ.α. (2014) συνιστούν κάποιες καλές πρακτικές για όλα τα παραπάνω μέσω του σχεδιασμού απόκρισης - δειγματοληψίας και ανάλυσης που αποτελούν τα κύρια συστατικά ολόκληρης της διαδικασίας της αξιολόγησης της ακρίβειας.

Αν και δεν έχει επιτευχθεί συναίνεση για το ποια μέτρηση είναι καταλληλότερη για την αποτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης ο συντελεστής Kappa είναι αυτός που χρησιμοποιείται συχνότερα στην Τηλεπισκόπηση (Stehman, 1997; Foody, 2002; Congalton & Green, 2009; Okeke & Karnieli, 2006). Βέβαια πολλοί ερευνητές έχουν εκφράσει αμφισβητήσεις σχετικά με τη χρήση του συντελεστή Kappa για την αξιολόγηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων. Έχει υποστηριχθεί ότι η τυχαιότητα συμφωνίας υπερεκτιμάται με αποτέλεσμα την υποτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης, ότι είναι μια μέτρηση που δε χρησιμοποιεί πιθανότητες και δεν είναι κατάλληλη για την αξιολόγηση της ακρίβειας, ή ότι η τυχαιότητα δεν αποτελεί μια εναλλακτική για την κατασκευή ενός χάρτη και τέλος ότι η

αναφορά υπολογισμού του θεωρείται περιττή αφού η ακρίβεια περιγράφεται και από τη μέτρηση της συνολικής ακρίβειας (Foody, 1992; Ma & Redmond, 1995; Stehman & Czaplewski, 1998; Liu et al., 2007; Pontius & Millones, 2011; Olofsson et al., 2014).

Ο Foody (2008) θεωρεί ότι η κριτική που υπάρχει σε σχέση με το συντελεστή kappa σχετίζεται περισσότερο με το γεγονός ότι ενδεχομένως να ενισχύει την προκατειλημμένη άποψη που υπάρχει σχετικά με την ακρίβεια των ταξινομήσεων, με την προσθήκη μιας απαισιόδοξης προκατάληψης (συμφωνία λόγω τυχαιότητας) στον ποσοτικό προσδιορισμό της ακρίβειας. Έτσι, ο υπολογισμός του kappa ενδεχομένως να οδηγεί στην αμφιβολία ότι η ακρίβεια μιας ταξινόμησης ενδέχεται να είναι πολύ χαμηλότερη στην πραγματικότητα αφού μπορεί να υπάρχει συμφωνία λόγω τυχαιότητας. Από την άλλη πλευρά ο Foody (2008) υποστηρίζει ότι «παρά τους περιορισμούς, η χρήση του συντελεστή kappa και των σχετικών προσεγγίσεων κατά τα τελευταία 20 χρόνια έχει ενθαρρύνει μια πιο αυστηρή και ποσοτική αξιολόγηση της ακρίβειας ταξινόμησης που θα πρέπει να θεωρηθεί ως ένα χρήσιμο βήμα προς την κατεύθυνση μιας κατάλληλης μεθόδου αξιολόγησης» (Foody, 2008).

Είναι μάλλον αδύνατο να καθορισθεί ένα ενιαίο, μεμονωμένο και καθολικά αποδεκτό μέτρο της ακρίβειας για όλες τις περιπτώσεις, αντί αυτού υπάρχει μια ποικιλία δεικτών, κάθε ένας εκ των οποίων είναι ευαίσθητος σε διαφορετικά χαρακτηριστικά (Stehman, 1997; Foody, 2002; Jensen et al., 2007; Xie et al., 2008) και η χρήση τους μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές, πιθανόν αντικρουόμενες ερμηνείες και συμπεράσματα (Stehman, 1997). Ο Stehman (1997) ανέδειξε λεπτομερώς ότι καμία στατιστική ακρίβειας δε μπορεί να θεωρηθεί ανώτερη και να καλύπτει πλήρως τους στόχους μέτρησης της ακρίβειας, και πρότεινε κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου μέτρου για μια συγκεκριμένη μελέτη. Ενδεχομένως το γεγονός αυτό της μη συναίνεσης ως προς τη χρήση ενός μεμονωμένου μέτρου για την αξιολόγηση της ακρίβειας, να είναι ιδιαίτερα σημαντικό για ορισμένες εφαρμογές.

Για παράδειγμα, ο πίνακας σύγχυσης και τα προερχόμενα από αυτόν μέτρα της ακρίβειας μπορεί να φαίνονται λογικά και εφικτά, αλλά υπό ορισμένες συνθήκες είναι δύσκολο να εφαρμοστούν, ιδιαίτερα στη χαρτογράφηση της βλάστησης (Cingolani et al., 2004; Xie et al., 2008; Thoonen et al., 2012). Η οριοθέτηση και ποσοτικοποίηση της βιοποικιλότητας (αριθμός ειδών και αφθονία), δεν μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά με ένα μόνο μέτρο (Purvis & Hector, 2000). Έχει προταθεί η βασική δήλωση ακρίβειας (του συνολικού ποσοστού των περιπτώσεων που έχει σωστά ανατεθεί), να συνοδεύεται από περισσότερα του ενός μέτρα ακρίβειας επειδή το κάθε μέτρο αντανakλά σε διαφορετική πληροφορία που περιέχεται στον πίνακα σφάλματος και επιπλέον να παρέχεται και ο πίνακας σύγχυσης ως μια πληρέστερη περιγραφή της ακρίβειας της ταξινόμησης (Stehman, 1997; Foody, 2002; Congalton & Green, 2009; Olofsson et al., 2014).

Προηγούμενα άρθρα επισκόπησης έχουν δώσει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την εκτίμηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων με τη χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης. Ο Wilkinson (2005) έπειτα από μια ενδελεχή βιβλιογραφική έρευνα δημοσιευμένων άρθρων κατά την περίοδο 1989 - 2003, αναφέρει ότι δεν παρατηρείται καμιά απολύτως βελτίωση της ακρίβειας με την πάροδο των χρόνων παρόλη την προσπάθεια που έχει καταβληθεί, και ότι η μέση ακρίβεια των διαφόρων εφαρμογών εκφραζόμενη από τον συντελεστή kappa ανερχόταν στο 0,66 (Wilkinson, 2005). Στην διαπίστωση αυτή, ότι δηλαδή δεν υπάρχει κάποια τάση βελτίωσης της ακρίβειας των ταξινομήσεων με την πάροδο των χρόνων, κατέληξαν και οι Yu et al. (2014) μελετώντας μια βάση δεδομένων 6771 δημοσιευμένων άρθρων από το 1976 έως το 2012 την οποία άντλησαν μέσω του ISIWeb of Knowledge (Yu et al., 2014).

Ο Foody (2008), επισημαίνει ότι οι ταξινομήσεις συχνά αξιολογούνται σε σχέση με το μέγεθος της εκτιμώμενης ακρίβειας τους, κοινώς τη συνολική ακρίβεια καθώς οι ανησυχίες συνήθως εστιάζονται στην ακρίβεια της ταξινόμησης, αλλά ο ορισμός ενός ελάχιστου επιπέδου ακρίβειας παρέχει ένα απλό και μόνο κριτήριο στο οποίο δεν μπορεί να βασιστεί η αξιολόγηση της ποιότητας μιας ταξινόμησης (Foody, 2008). Παρόλο που δεν υπάρχει κάποιο θεσπισμένο κριτήριο για το ποσοστό που θεωρείται ως δεκτό για μια αξιολόγηση της ακρίβειας ο στόχος των περισσότερων ταξινομήσεων τίθεται στο 85% και άνω σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, και θεωρείται και το κριτήριο αποδοχής της εγκυρότητας της ταξινόμησης από τους περισσότερους χρήστες.

Ο Foody (2008) εγείρει ερωτήματα σχετικά με αυτή την ευρέως αποδεκτή ακρίβεια (Anderson et al., 1976; Thomlinson et al., 1999). Θεωρεί ότι ένας τέτοιος στόχος δεν μπορεί να είναι γενικής εφαρμογής, τονίζοντας ότι δεν είναι λογικό να υιοθετείται από όλες τις προσεγγίσεις ταξινόμησης ανεξαρτήτως, ενώ διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους όσον αφορά στη φύση των κατηγοριών, στην κλίμακα της μελέτης, καθώς και στα χαρακτηριστικά των τηλεπισκοπικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Αντιθέτως επισημαίνει ότι η τιμή στόχος θα πρέπει να αναμένεται ότι θα ποικίλει ως συνάρτηση των μεταβλητών, όπως τη φύση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται (π.χ. χωρική και φασματική ανάλυση), τον καθορισμό των κατηγοριών (π.χ. ο αριθμός και η λεπτομέρεια των τάξεων) και τις ανάγκες των χρηστών (π.χ. ανοχή σε σφάλματα και επιπτώσεις της παρέκκλισης στην βαρύτητα του σφάλματος). Και καταλήγει λέγοντας, ότι «δεν υπάρχουν καθολικά καθορισμένα πρότυπα ακρίβειας για τη θεματική χαρτογράφηση από την Τηλεπισκόπηση, και ότι στην πραγματικότητα μπορεί τελικά και να μην απαιτείται να υπάρξουν» (Foody, 2008).

Τα επιχειρήματα του Foody, πηγάζουν σε μεγάλο βαθμό από την εργασία των Atkinson κ.α. (2007) όπου υποστηρίζεται ότι στη χαρτογράφηση δασικών ειδών (που αποτελεί μια πολυσύνθετη εφαρμογή ταξινόμησης) προκειμένου να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση του

βαθμού της χωρικής συσσωμάτωσης ενός συγκεκριμένου είδους, ήταν δυνατόν να γίνει ανεκτό ένα σφάλμα παράλειψης του 50% και ένα σφάλμα διάπραξης του 5% για τα είδη ενδιαφέροντος (Atkinson et al., 2007). Σε αυτές τις περιπτώσεις, ιδίως όταν υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός άλλων ειδών εντός μιας κατηγορίας δασικού είδους, ο Foody (2008) υποστηρίζει ότι η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης θα μπορούσε να είναι πολύ χαμηλή, ίσως και της τάξης του 10% και να μπορεί παρόλα αυτά να παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες.

Προηγούμενες εργασίες όπως του Lark (1995) και Foody κ.α. (2005) υποστήριξαν ότι οι κλασσικές τεχνικές ανάλυσης εικόνας που χρησιμοποιούνται συνήθως στην Τηλεπισκόπηση επιτρέπουν ορισμένα είδη να ταξινομηθούν με ακρίβεια, και επισημαίνουν ότι οι προσεγγίσεις δεν θα πρέπει να στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της συνολικής ακρίβειας του χάρτη αλλά στη συγκεκριμένη κατηγορία ή κατηγορίες ενδιαφέροντος (Lark, 1995; Foody et al., 2005). Όπως ο Foody, (2008) υποστηρίζει «είναι σαφές ότι, κανονικά θα θέλουμε και πρέπει να αγωνιστούμε για μια μεγαλύτερη ακρίβεια, αλλά μια ταξινόμηση με φαινομενικά χαμηλή ακρίβεια μπορεί να δώσει τις πληροφορίες που απαιτούνται για την εφαρμογή».

Οι Yu κ.α, (2014) στο άρθρο ανασκόπησης τους, εξέτασαν την ακρίβεια των ταξινομήσεων των δημοσιευμένων άρθρων με βάση 3 διαφορετικά χαρακτηριστικά 1) τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα, 2) τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται και 3) την πολυπλοκότητα του συστήματος ταξινόμησης.

Πολλές φορές έχει υποτεθεί ότι η ακρίβεια μιας ταξινόμησης μειώνεται με τη χρήση πιο περίπλοκων συστημάτων ταξινόμησης κάλυψης γης, εν μέρει λόγω της αυξανόμενης αναλογίας μικτών εικονοστοιχείων (Yu et al., 2014). Οι Yu κ.α. (2014), επισημαίνουν ότι ο αριθμός των τάξεων δεν αποτελεί δείκτη της πολυπλοκότητας του συστήματος ταξινόμησης καθώς ένα σύστημα που χρησιμοποιεί τέσσερις τάξεις - αστικό, δάσος, νερό και γυμνό έδαφος (επίπεδο ένα κατά την τυποποίηση Anderson) (Anderson et al., 1976) δεν είναι πιο πολύπλοκο (δύσκολο να ταξινομηθεί) από ένα σύστημα ταξινόμησης για τον διαχωρισμό τριών τάξεων όπως κατηγορίες καλλιέργειας σιταριού και καλαμποκιού και λειμώνων (επίπεδο δύο κατά Anderson). Τονίζοντας λοιπόν ότι αυτό που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η λεπτομέρεια των τάξεων, σχεδίασαν ένα δείκτη πολυπλοκότητας για τη συσχέτιση κάθε ταξινόμησης (με βάση τα άρθρα ανασκόπησης) με τα επίπεδα κατά Anderson και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι είναι αληθής η υπόθεση ότι η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα ενός συστήματος ταξινόμησης οδηγεί σε μικρότερη ακρίβεια της ταξινόμησης.

Όσον αφορά στα χρησιμοποιούμενα δεδομένα οι συγγραφείς αναφέρουν ότι γενικώς τα δεδομένα μεσαίας χωρικής ανάλυσης παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά ακρίβειας, ενώ τα δεδομένα υψηλότερης χωρικής ανάλυσης παρουσιάζουν χαμηλότερη ακρίβεια σε σχέση με

το μέσο όρο του συνόλου των ταξινομήσεων που μελετήθηκαν. Επιπλέον οι εικόνες με περισσότερες φασματικές μπάντες ή ο συνδυασμός διάφορων τύπων δεδομένων είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ακρίβεια των ταξινομήσεων.

Οι διαφορές μεταξύ των χρησιμοποιούμενων αλγορίθμων δεν ήταν τόσο μεγάλες όσο αυτές σχετικά με τα είδη δεδομένων, και η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μεθόδων έδειξε ότι η συνδυασμένη μέθοδος (δηλαδή η χρήση πολλαπλών ταξινομητών) μπορεί να δώσει μεγαλύτερα ποσοστά ακρίβειας. Συγκρίνοντας τις διαφορές στην ακρίβεια μεταξύ αλγορίθμων και δεδομένων, διαπίστωσαν ότι οι διαφορές στην ακρίβεια δεν είναι τόσο μεγάλες εξαιτίας των διαφορών στους χρησιμοποιούμενους αλγόριθμους αλλά λόγω των διαφορετικών τύπων δεδομένων που χρησιμοποιούνται.

Επιπλέον, ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι η ενδεδειγμένη βιβλιογραφική τους έρευνα κατέδειξε ότι μόνο το 23,5% των άρθρων αναφέρει συνολική εκτίμηση της ακρίβειας, και ότι δεν υπάρχει κάποια τάση βελτίωση της ακρίβειας των ταξινομήσεων με την πάροδο των χρόνων (1976-2012) (όπως ήδη έχει αναφερθεί παραπάνω).

Οι συγγραφείς στα συμπεράσματά τους τονίζουν ότι η έννοια της ακρίβειας στη χαρτογράφηση κάλυψης γης είναι ακόμα μέχρι και σήμερα ένα προβληματικό ζήτημα, δεδομένου ότι οι ορισμοί της κατηγορίας δεν μπορούν να γίνουν επαρκώς ακριβείς ώστε να διασφαλίσουν την δυνατότητα επανάληψης. Επίσης επισημαίνουν ότι υπάρχουν αβεβαιότητες στα συστήματα ταξινόμησης, στην ποιότητα των δεδομένων, στην ποιότητα των δειγμάτων, και στην ευελιξία της ρύθμισης παραμέτρων στους αλγόριθμους. Και καταλήγουν λέγοντας ότι «η αβεβαιότητα θα πρέπει να αξιολογηθεί και να συμπεριληφθεί στην υποβολή των τυποποιημένων πρωτοκόλλων ως μια παράμετρος της ποιότητας» (Yu et al., 2014). Η ακρίβεια και η αβεβαιότητα έχουν αναγνωριστεί από καιρό ως σημαντικά ζητήματα στην Τηλεπισκόπηση (Goodchild & Gopal, 1989; Congalton, 1991).

Παραδοσιακά η φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών θεωρούνταν ως σωστή χωρίς κάποιας μορφής αξιολόγηση της ακρίβειας (Congalton, 1991), καθώς η εκτίμηση της ακρίβειας αρχικά πραγματοποιούνταν με οπτική επιθεώρηση των παραγώγων χαρτών. Όπως ο Foody (2002) επισημαίνει, αυτή η μέθοδος θεωρείται ότι είναι άκρως υποκειμενική και συχνά δεν είναι ακριβής. Η επιστημονική κοινότητα που ασχολείται με την Τηλεπισκόπηση έχει καταβάλει σημαντική προσπάθεια στην βελτίωση της θεματικής ακρίβειας των ταξινομήσεων (Foody, 2008; Khatami et al., 2016).

Ωστόσο, σύμφωνα με τους Khatami κ.α. (2016) ερωτήσεις όπως «Ποια διαδικασία ταξινόμησης είναι η πιο υποσχόμενη μεταξύ ενός συνόλου διαδικασιών» και «Ποια είναι η αναμενόμενη βελτίωση στην ακρίβεια» δεν έχουν απαντηθεί παράλληλα την εντατική εργασία που έχει πραγματοποιηθεί σχετικά με τις μεθόδους ταξινόμησης. Η ταξινόμηση κάλυψης γης

δεν είναι παρά μια μοντελοποίηση της γήινης επιφάνειας και ως ένα μοντέλο πάντα θα περιλαμβάνει γενίκευση και σφάλμα. Η τοποθέτηση συνεχών χωρικών διαδικασιών σε κατηγορικές διακριτές τάξεις είναι μια απλούστευση της ετερογενούς γήινης επιφάνειας και κατά συνέπεια είναι πολύ πιθανό ότι θα οδηγήσει σε μια απεικόνιση της γήινης επιφάνειας φαινομενικά και όχι ουσιαστικά πραγματική. Από την άλλη πλευρά, παρόλο που η αξιολόγηση της ακρίβειας φαίνεται σαν μια απλή έννοια, στην ουσία είναι μια ιδιότητα που εμφανίζει δυσκολία στη μέτρηση και στην ανάλυση.

2.4.3 Επιλογή δεδομένων και αλγορίθμων στην ταξινόμηση

Παρά το γεγονός ότι μέχρι σήμερα έχει αυξηθεί η διαθεσιμότητα διαφόρων συνόλων τηλεπισκοπικών δεδομένων από διαφορετικούς αισθητήρες, και έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός αλγορίθμων από χιλιάδες ερευνητές για τη χαρτογράφηση της κάλυψης γης από δορυφορικές εικόνες, κάποιες βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις υποστηρίζουν ότι δεν υπήρξε σχεδόν καμία βελτίωση στην ακρίβεια της χαρτογράφησης κάλυψης και χρήσεων γης μετά την εισαγωγή αυτών των νέων αλγορίθμων (Wilkinson, 2005; Hand, 2006; Yu et al., 2014). Εξακολουθεί να υπάρχει μια ισχυρή ανάγκη βελτίωσης της ακρίβειας των θεματικών χαρτών ταξινόμησης (Schuster et al., 2012), κατά συνέπεια υπάρχει συνεχής ανάγκη για βελτίωση των χαρακτηριστικών των εικόνων και των αλγορίθμων ταξινόμησης (Adam et al., 2014).

Ένα από τα κυριότερα θέματα που καθιστά πολύπλοκη την επιλογή των κατάλληλων δεδομένων είναι ότι οι σύγχρονοι αισθητήρες προσφέρουν μεγάλη λεπτομέρεια και πολλές φορές ανεπιθύμητα (Latty et al., 1985). Αναμφισβήτητα δεδομένα υψηλής χωρικής λεπτομέρειας παρέχουν περισσότερες λεπτομέρειες της επιφάνειας της Γης (Townshend, 1980; Markham & Townshend, 1981; Cushnie, 1987; Sheng et al., 2011), αλλά δεν παρέχουν κατ' ανάγκη και υψηλότερη ποιότητα ανάλυσης ενώ μπορεί να δημιουργηθούν πρόσθετα προβλήματα όσον αφορά στην εξαγωγή πληροφοριών με τη χρήση Η/Υ, καθώς αυξάνεται και το υπολογιστικό φορτίο για μια ανάλυση (Townshend, 1980; Markham & Townshend, 1981; Cushnie, 1987; Warner et al., 2009).

Η αυξανόμενη ποικιλία των δορυφόρων και των αισθητήρων και των χωρικών αναλύσεων οδηγούν σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών, αλλά όχι αυτομάτως σε καλύτερα αποτελέσματα ταξινόμησης (Blaschke et al., 2004). Μια παρατήρηση που είχε γίνει από τη δεκαετία του 1980 (Irons et al., 1985) και το «παράλογο» αυτό αποτέλεσμα προηγούμενων μελετών είχε αποδοθεί σε μία συνέπεια της αλλαγής της χωρικής ανάλυσης (Carleer et al., 2005) ως αύξηση του θορύβου της εικόνας λόγω αύξησης της εσωτερικής μεταβλητότητας εντός των ομοιογενών κατηγοριών κάλυψης/ χρήσεων γης. Όμως μάλλον πρόκειται για μια

συνέπεια της αύξησης τόσο της χωρικής όσο και της φασματικής-ραδιομετρικής διακύμανσης των μονάδων κάλυψης γης της εικόνας (Markham & Townshend, 1981; Cushnie, 1987; Warner et al., 2009). Για παράδειγμα, ο Hughes (1968) έδειξε ότι ένας υπέρμετρος αριθμός φασματικών ζωνών μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης, μια παρατήρηση που είναι γνωστή ως το φαινόμενο Hughes (Davis et al., 1978).

2.5 Τηλεπισκόπηση και χαρτογράφηση της βλάστησης

Οι προσπάθειες χαρτογράφησης της βλάστησης έχουν αυξηθεί από τα μέσα του 20ου αιώνα, καθώς οι χάρτες βλάστησης αποτελούν τη βάση για την απογραφή των φυσικών πόρων και του σχεδιασμού χρήσεων γης, και παρέχουν ένα σημείο αναφοράς για τη μέτρηση της μελλοντικής αλλαγής του τοπίου (Franklin, 2013). Η χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι καίριας σημασίας για εκτεταμένες περιβαλλοντικές μελέτες και παρακολούθηση σε τοπικό, περιφερειακό όσο και σε εθνικό επίπεδο σε πραγματικό χρόνο (Kohl et al., 2006).

Όπως οι Xie κ.α. (2008) επισημαίνουν στο άρθρο ανασκόπησης τους σχετικά με την Τηλεπισκόπηση στη χαρτογράφηση της βλάστησης, «έχουν γίνει τεράστιες προσπάθειες από ερευνητές και ειδικούς εφαρμογών για την οριοθέτηση της βλάστησης από τοπική έως παγκόσμια κλίμακα με την χρήση της Τηλεπισκόπησης». Για παράδειγμα, το 1992 έγινε η προσπάθεια χαρτογράφησης της παγκόσμιας κάλυψης γης για την ανάπτυξη της παγκόσμιας βάσης δεδομένων χαρακτηρισμού κάλυψης γης (GLCC) μέσω του Διεθνούς Προγράμματος Γεώσφαιρας-Βιόσφαιρας με την χρήση δεδομένων AVHRR (χωρικής ανάλυσης 1-km). Ομοίως, το 1999 το Κοινό Ινστιτούτο Ερευνών στην Ιταλία εφάρμοσε ένα παρόμοιο πρόγραμμα το «Παγκόσμια Κάλυψη Γης 2000» (GLC2000), σε συνεργασία με πάνω από 30 ερευνητικές ομάδες από όλο τον κόσμο για τη χαρτογράφηση της παγκόσμιας κάλυψης γης με τη χρήση δεδομένων SPOT4 - VEGETATION (χωρικής ανάλυσης 1-km) δημιουργώντας το σύνολο δεδομένων VEGA2000. Δύο χρόνια αργότερα, η NASA κυκλοφόρησε τη βάση δεδομένων παγκόσμιας κάλυψης γης MODIS με βάση τις μηνιαίες συνθέσεις δεδομένων Terra Ιανουαρίου και Δεκεμβρίου 2001. Σε μικρότερη κλίμακα το 1996, με στόχο τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων κάλυψης γης για το σύνολο της ευρωπαϊκής ηπείρου, το πρόγραμμα «Πανευρωπαϊκής Παρακολούθησης Κάλυψης Γης», εφάρμοσε μια προσέγγιση με τη χρήση πολλαπλών φασματικών-χρονικών δορυφορικών εικόνων NOAA-AVHRR και βοηθητικών δεδομένων (Xie et al., 2008). Επίσης, οι συγγραφείς τονίζουν ότι υπήρξαν και πολυάριθμες προσπάθειες για τη χαρτογράφηση της βλάστησης σε περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο (Xie et al., 2008).

Λόγω της ανησυχίας της επίδρασης της αύξησης των επιπέδων του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα στο κλίμα του πλανήτη, ιδιαίτερη προσοχή έχει λάβει στον τομέα της Τηλεπισκόπησης ο ρόλος της κάλυψης της βλάστησης στον κύκλο του άνθρακα της Γης (Wicks & Curran, 2003; Bergen et al., 2003). Οι χάρτες κάλυψης γης μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την ποσοτικοποίηση των αποθεμάτων άνθρακα (Coomes et al., 2002), ενώ δεδομένης της σημασίας των μεγάλων δασών ως σημαντικές δεξαμενές άνθρακα (Arlin, 2004), ένα μεγάλο ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί στη δασική Τηλεπισκόπηση (Leckie et al., 2002; Williams, 2003). Το δάσος είναι ένας από τους κυριότερους πόρους του πλανήτη

διαδραματίζοντας κεντρικό ρόλο στην πρόοδο του ανθρώπινου πολιτισμού (Wang et al., 2012). Η τεχνολογία της Τηλεπισκόπησης προσφέρει ένα πρακτικό και οικονομικό μέσο για τη μελέτη και χαρτογράφηση της βλάστησης, ιδιαίτερα σε μεγάλες περιοχές (Xie et al., 2008), και αποτελεί ένα μέσο για την διαμόρφωση διεθνών πολιτικών για το περιβάλλον.

Η εφαρμογή των τεχνολογιών Τηλεπισκόπησης, σε συνδυασμό πολλές φορές και με πρόσθετα βοηθητικά γεωχωρικά σύνολα δεδομένων έχει αναγνωριστεί από το 1980 ως ένα αποτελεσματικό και αποδοτικό εργαλείο για την καταγραφή δασικών μεταβλητών, καθώς οι ψηφιακές δορυφορικές εικόνες μπορούν να παράσχουν πληροφορίες ευρείας κλίμακας για τη δασική κάλυψη και απογραφή, τη δασική υγεία και βιωσιμότητα, τη δασική οικολογία και την κάλυψη γης (Kohl et al., 2006; White et al., 2016).

Οι Wang κ.α. (2012) τονίζουν ότι «οι δασικές μελέτες έχουν σημειώσει πρωτοφανή ανάπτυξη με την χρήση της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης». Οι συγγραφείς παρουσιάζουν μια σειρά παραδειγμάτων περιπτώσιολογικών δασικών μελετών, που αποτελούν και τις τυπικές εφαρμογές Τηλεπισκόπησης στον τομέα αυτό. Οι εφαρμογές Τηλεπισκόπησης στον τομέα των δασικών μελετών εκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα (Wang et al., 2012). Από μελέτες για τη σύνθεση των ειδών (βιοποικιλότητα) (DeFries et al., 2000), και την εκτίμηση συγκεντρώσεων αζώτου, κυτταρίνης ή χρωστικών στο φύλλο - από τον τομέα δασικής οικολογίας (Kokaly & Clark, 1999; Zarco-Tejada et al., 2001) έως τον τομέα της οικολογίας δασικών οικοσυστημάτων, όπως για παράδειγμα την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής (Jin et al., 2011) ή για εκτιμήσεις του ύψους της βλάστησης, της κάλυψης και δομής του θόλου, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), της υπέργειας βιομάζας, κ.λπ. με τη χρήση Lidar (Lesky et al., 2002). Μελέτες έχουν επίσης διεξαχθεί για τις ασθένειες των δένδρων και τις αλληλεπιδράσεις με έντομα (Everitt et al., 1999; Wulder et al., 2006). Ασφαλώς σημαντικός είναι επίσης ο ρόλος της Τηλεπισκόπησης για τη μέτρηση και παρακολούθηση των δασικών πόρων καθώς και τον εντοπισμό ώριμων και υπεραιώνόβιων δασών (Cohen et al., 1995), και τη δημιουργία χαρτών πλούτου των ειδών (Hernández-Stefanoni et al., 2011) ή για τη μελέτη του αστικού δάσους (Jensen et al., 2003; Zhang et al., 2007). Ένας άλλος τομέας είναι η διαχείριση της δασικής άγριας ζωής (Stoms & Estes, 1993), και υπάρχουν πάρα πολλές εργασίες που εστιάζουν σε αυτό το πεδίο (Tuomisto et al., 1995; Franklin, 2001; Nagendra, 2001; Kerr & Ostrovsky, 2003; Wang et al., 2009b, 2010). Επιπλέον μελέτες εστιάζουν στον τομέα των δασικών πυρκαγιών για την ανίχνευση συμβάντων πυρκαγιάς (Giglio et al., 2003) ή για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, τις επιπτώσεις και τις οικολογικές απαντήσεις στη φωτιά (Lentile et al., 2006).

Πρόσφατα άρθρα ανασκόπησης της βιβλιογραφίας το 2016 σχετικά με τη χρήση της Τηλεπισκόπησης στον τομέα των δασικών μελετών τονίζουν τη χρησιμότητα της Τηλεπισκόπησης για την υποστήριξη των μελετών απογραφής και διαχείρισης των δασών.

Οι White κ.α. (2016), επισημαίνουν ότι η διαθεσιμότητα και ταυτόχρονη μείωση του κόστους τεχνολογιών που περιλαμβάνουν: εναέρια και επίγεια σάρωση laser (ALS και TLS), ψηφιακή εναέρια φωτογραμμετρία (DAP), και δορυφορικές οπτικές εικόνες υψηλής (HSR) και πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης (VHSR), επέκτειναν ραγδαία τις διαθέσιμες επιλογές για την απογραφή των δασών (White et al., 2016).

Οι Fassnacht κ.α. (2016) σε μια ανασκόπηση σχετικά με την κατάσταση, τις δυνατότητες, τις προκλήσεις και τις προοπτικές της χαρτογράφησης των ειδών δέντρων με τη χρήση της Τηλεπισκόπησης, διαπιστώνουν ότι η ταξινόμηση των δασικών ειδών βρίσκει μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών στους τομείς της διαχείρισης και της διατήρησης των δασών, και ότι η σημασία των χαρτών αυτών είναι μεγάλη είτε ως αυτόνομα προϊόντα είτε ως εισροές σε διάφορα μοντέλα για τη διαχείριση των δασών (Fassnacht et al., 2016).

Ωστόσο, παρόλες τις εξελίξεις τόσο στην προσφορά δορυφορικών δεδομένων όσο και στις προσφερόμενες μεθόδους ερμηνείας για τη χαρτογράφηση της βλάστησης (Kohl et al., 2006; Franklin, 2013; Fassnacht et al., 2016; White et al., 2016), όπως ο Franklin (2013) επισημαίνει, «θα θεωρούσε κανείς ότι υπάρχει μια απλή σχέση μεταξύ δεδομένων, μεθόδων και κλίμακας». Ότι δηλαδή από την έρευνα πεδίου και την οπτική ερμηνεία αεροφωτογραφιών για μικρές περιοχές με λεπτομερή χαρτογράφηση, έχουμε περάσει σε εξελιγμένες μεθόδους επεξεργασίας εικόνας που εφαρμόζονται σε πολυδιάστατες τηλεπισκοπικές απεικονίσεις για τη χαρτογράφηση μεγαλύτερων περιοχών (Franklin, 2013). Ωστόσο, πολλές προσεγγίσεις εξακολουθούν να βασίζονται σε φωτοερμηνεία, και έχουν αναπτυχθεί χάρτες βλάστησης πολύ μεγάλων περιοχών με οπτική ερμηνεία και χειροκίνητη ταξινόμηση πολυδιάστατων δορυφορικών εικόνων (Franklin, 2013; White et al., 2016) ενώ εξελιγμένες μέθοδοι επεξεργασίας εικόνας έχουν εφαρμοστεί σε υπερφασματικές εικόνες υψηλής ανάλυσης για να δημιουργηθούν χάρτες των κορυφών των δέντρων μεγάλης κλίμακας (Franklin, 2013).

Αυτό που δεν έχει αλλάξει κατά το πέρασμα των χρόνων και παρόλη τη ραγδαία ανάπτυξη των προσφερόμενων δεδομένων και μεθόδων για χαρτογράφηση, είναι ο γενικός σκοπός των χαρτών αυτών να καταδείξουν και να βοηθήσουν στην κατανόηση των παρατηρούμενων προτύπων βλάστησης (Franklin, 2013). Τα δεδομένα Τηλεπισκόπησης διαδραματίζουν ένα σπουδαίο ρόλο στις μελέτες φυσικών και ημιφυσικών περιβαλλόντων, ένα ρόλο που εκτείνεται από την οπτική ερμηνεία έως την εξελιγμένη εξαγωγή πληροφοριών με τη χρήση προηγμένων μεθόδων ανάλυσης εικόνας και στατιστικών αλγόριθμων (Kohl et al., 2006). Το φάσμα των διαθέσιμων δορυφορικών και αερομεταφερόμενων αισθητήρων παρέχει μια σειρά από

κλίμακες απεικόνισης και περιεχόμενων πληροφοριών που παρουσιάζουν ενδιαφέρον και σημασία για τους σχεδιαστές και διαχειριστές γης (Kohl et al., 2006).

Η εύκολη πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα Τηλεπισκόπησης, η συνεχιζόμενη μείωση του κόστους, καθώς και η βελτίωση της ανάλυσης ενισχύουν το ρόλο και τη σημασία της τεχνολογίας της Τηλεπισκόπησης για τους οργανισμούς σχεδιασμού και διαχείρισης γης για την παρακολούθηση του δάσους, της κάλυψης γης, και των αλλαγών των χρήσεων γης σε διάφορες χωρικές κλίμακες (Kohl et al., 2006). Οι χάρτες βλάστησης χρησιμοποιούνται παγκοσμίως ως δεδομένα για τη διαχείριση των φυσικών πόρων, την υποστήριξη και το σχεδιασμό διατήρησης οικοσυστημάτων και ενδιαιτημάτων, για το σχεδιασμό συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, για τη χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής κ.α. (Franklin, 2013). Επίσης χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου για τη μοντελοποίηση των διαδικασιών των οικοσυστημάτων και των δυναμικών των ειδών, για την πρόβλεψη ενδεχόμενων συμβάντων πυρκαγιάς, την αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων λόγω φυσικών καταστροφών κ.α.

Ωστόσο, η μεγάλη ποικιλία διαθέσιμων επιλογών τόσο δεδομένων όσο και μεθόδων και εργαλείων και το ολοένα και υψηλότερο ποσοστό δημοσίευσης νέων τεχνικών και ισχυρών επιχειρημάτων για συγκεκριμένες «καλύτερες» προσεγγίσεις, κάποιες φορές αφήνουν απογοητευμένους όσους ασχολούνται με την Τηλεπισκόπηση και πολύ περισσότερο όσους ασχολούνται με την περιβαλλοντική διαχείριση και διατήρηση και επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν την Τηλεπισκόπηση για να δημιουργήσουν χάρτες των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών (de Klerk et al., 2016). Η χαρτογράφηση της βλάστησης μέσω της ταξινόμησης εικόνων Τηλεπισκόπησης αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα λόγω διαφόρων ζητημάτων που ανακύπτουν και θα συζητηθούν αναλυτικά στις επόμενες ενότητες.

2.5.1 Χαρτογράφηση καύσιμης ύλης

2.5.1.1 Καύσιμη ύλη

Όλη η φυτοκάλυψη, ζωντανή ή νεκρή, θα πρέπει να εκλαμβάνεται ως δυνητικό καύσιμο που μπορεί να αναφλεγεί και να καεί, εφόσον συμβούν οι κατάλληλες συνθήκες (Tanase & Gitas, 2008). Αυτό είναι και το φορτίο καυσίμου (fuel loads) μιας περιοχής. Η γνώση και η σύνθεση του φορτίου καυσίμου είναι κρίσιμης σημασίας για την καταπολέμηση, πρόληψη, και κατανόηση των πυρκαγιών (Arroyo et al., 2006). Ειδικότερα, οι διαχειριστές πυρκαγιάς χρειάζονται πληροφορίες σχετικά με τη χωρική κατανομή των καύσιμων, το μέγεθος, το είδος και την κατάσταση τους με σκοπό τη βελτίωση της πρόληψης των πυρκαγιών και τη

μοντελοποίηση εξάπλωσης και έντασης της πυρκαγιάς (Lasaponara et al., 2006b; Tanase & Gitas, 2008).

Ως καύσιμη ύλη λοιπόν, θεωρείται οποιαδήποτε ζωντανή ή νεκρή οργανική ύλη που είναι δυνατόν να αναφλεχθεί. Η δασική καύσιμη ύλη αποτελείται από τα ίδια τα δέντρα αλλά και από τα είδη βλάστησης που βρίσκονται κάτω από την κόμη των δέντρων και μπορεί να είναι αείφυλλοι και φυλλοβόλοι θάμνοι ή χόρτα. Πέρα από την παραπάνω ζωντανή βιομάζα, η καύσιμη ύλη απαρτίζεται και από νεκρή βιομάζα όπως τα φύλλα και οι βελόνες που πέφτουν στο έδαφος (φυλλόστρωμα ή ξηροτάπητας ή φυλλοτάπητας), ή ξερά κλαδιά, που αποτελούν μια εξαιρετικά εύφλεκτη ύλη. Καύσιμα είναι τα φυσικά χαρακτηριστικά της ζωντανής και νεκρής βιομάζας όπως το φορτίο (βάρος ανά μονάδα περιοχής), μέγεθος (διάμετρος) και πυκνότητα που συμβάλλουν στη διάδοση, στην ένταση και στη δριμύτητα της πυρκαγιάς (Burgan & Rothermel, 1984; Anderson, 1982).

Η καύσιμη ύλη διακρίνεται σε τρεις γενικές κατηγορίες ανάλογα με τη θέση της στο επίπεδο της γήινης επιφάνειας:

- Την καύσιμη ύλη που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους (επιφανειακά καύσιμα), και περιλαμβάνει όπως γίνεται κατανοητό οποιαδήποτε ζωντανή ή νεκρή οργανική ύλη επί του εδάφους.
- Την καύσιμη ύλη που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (εναέρια καύσιμη ύλη), περιλαμβάνει τη ζωντανή και νεκρή αιωρούμενη βιομάζα κυρίως στη φυλλωσιά της βλάστησης και προκαλεί τη λεγόμενη πυρκαγιά κόμης.
- Την καύσιμη ύλη που υπάρχει κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (υπεδάφια ή υπόγεια καύσιμη ύλη), που περιλαμβάνει νεκρή οργανική ύλη σε αποσύνθεση.

Δεδομένου ότι ο συνδυασμός των ιδιοτήτων των καυσίμων των ειδών βλάστησης είναι σχεδόν άπειρος, η περιγραφή των ιδιοτήτων αυτών που σχετίζονται με τις μελέτες εκτίμησης κινδύνου και διάδοσης πυρκαγιάς βασίζεται σε συστήματα ταξινόμησης τα οποία τείνουν να συνοψίσουν τις μεγάλες ομάδες των χαρακτηριστικών της βλάστησης (και ονομάζονται «τύποι καυσίμου (fuel types)») (Lasaponara et al., 2006a).

2.5.1.2 Κατηγοριοποίηση της καύσιμης ύλης

Ο τύπος καυσίμου ορίζεται ως μια αναγνωρίσιμη σύνδεση των ιδιοτήτων του καυσίμου, δηλαδή διακριτικό είδος, μορφή, μέγεθος, διάταξη και συνέχεια που εμφανίζουν χαρακτηριστική συμπεριφορά καύσης υπό καθορισμένες συνθήκες πυρκαγιάς (CFFC, 2003).

Τα μοντέλα καύσιμης ύλης δημιουργούνται με σκοπό να εξυπηρετήσουν τα διάφορα μοντέλα πυρκαγιάς. Μοντέλο καύσιμης ύλης είναι οι μέσες τιμές που αντιπροσωπεύουν τις

φυσικοχημικές παραμέτρους της βλάστησης με τέτοιο τρόπο που δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα στα μαθηματικά και υπολογιστικά μοντέλα διάδοσης της πυρκαγιάς (π.χ. FARSITE, BehavePlus, FlamMap) (Ηλιόπουλος, 2013). Με άλλα λόγια, ένα μοντέλο καύσιμης ύλης είναι αντιπροσωπευτικό όλων των βλαστητικών διαπλάσεων των οποίων οι τιμές των παραμέτρων της καύσιμης ύλης είναι ανάλογες με αυτές του μοντέλου διαχείρισης πυρκαγιάς που θα χρησιμοποιηθεί (Burgan & Rothermel, 1984). Βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί ότι εφόσον τα μοντέλα αυτά δημιουργούνται για να ταξινομηθούν τα είδη της βλάστησης σε κατηγορίες σύμφωνα με τις ιδιότητες της σε σχέση με τον κίνδυνο ανάφλεξης και εξάπλωσης της πυρκαγιάς, αυτό σημαίνει πως τύποι βλάστησης που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά ως καύσιμη ύλη θα αντιπροσωπεύονται από το ίδιο μοντέλο.

2.5.1.3 Κατηγοριοποίηση των μεθόδων χαρτογράφησης καύσιμης ύλης

Σύμφωνα με τον Keane (2015) υπάρχουν τέσσερις γενικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση των καυσίμων σε πολλαπλές κλίμακες: αναγνώριση στο πεδίο, σύνδεση, Τηλεπισκόπηση, και χρήση βιοφυσικών μοντέλων. Μια συνοπτική περιγραφή καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε προσέγγισης παρατίθεται στον πίνακα παρακάτω.

Πίνακας 2.16 Περίληψη των προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης στη διαχείριση πυρκαγιών σύμφωνα με (Keane, 2015; Keane et al., 2001)

Προσέγγιση	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αναγνώριση στο πεδίο	Χρησιμοποίηση επίγειας έρευνας και αναγνώριση στο πεδίο για την εκχώρηση των ιδιοτήτων των καυσίμων σε μια περιοχή	Χαρτογράφηση των πραγματικών παρατηρήσεων. Δεν εισάγεται σφάλμα στη μοντελοποίηση ή την ανάλυση. Περιορισμένος αριθμός βημάτων. Ευκολία τροποποίησης και ενημέρωσης με δειγματοληψία πεδίου	Δαπανηρή και χρονοβόρα. Έλλειψη συνοχής μεταξύ των χαρτογράφων για την επίγεια παρατήρηση. Αρκετά υποκειμενική. Δυσκολίες σε περιοχές με ορεινό ανάγλυφο
Σύνδεση ή Έμμεση χαρτογράφηση με δεδομένα Τηλεπισκόπησης	Εκχώρηση των χαρακτηριστικών των καυσίμων σε κατηγορίες σύμφωνα με υπάρχουσες ταξινομήσεις, (συνήθως σε ταξινομήσεις βλάστησης)	Απλή, άμεση και εύκολη. Δεν υπάρχει ανάγκη για επιπλέον χαρτογράφηση. Οι περισσότερες υπάρχουσες ταξινομήσεις είναι καλά γνωστές και εύκολα κατανοητές. Μπορούν να οριστούν πολλές ιδιότητες του καυσίμου σε μια κατηγορία. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν πολλές ταξινομήσεις για να τελειοποιηθούν οι αναθέσεις των καυσίμων. Μπορούν να δημιουργηθούν πολύ χρήσιμοι χάρτες και για άλλες εφαρμογές των φυσικών πόρων	Τα καύσιμα συχνά δεν έχουν σχέση με τις κατηγορίες της βλάστησης της υπάρχουσας ταξινόμησης. Η κλίμακα και η ανάλυση των διαθέσιμων ταξινομήσεων δε συμφωνεί με την κλίμακα των δεδομένων των καυσίμων ή με αυτή του μοντέλου πυρκαγιάς. Μεγάλος πλεονασμός χαρακτηριστικών των καυσίμων για όλες τις κατηγορίες της ταξινόμησης

<p>Τηλεπισκόπηση ή Άμεση χαρτογράφηση με δεδομένα Τηλεπισκόπησης</p>	<p>Συσχέτιση τηλεπισκοπικών εικόνων με τα χαρακτηριστικά των καυσίμων</p>	<p>Άμεσα διαθέσιμη χαρτογράφηση. Αποτελεί ένα στιγμιότυπο των υπαρχουσών συνθηκών. Καλά αποδεκτή με μακρά ιστορία χαρτογράφησης πόρων με δεδομένα τηλεπισκόπησης. Πολλά διατιθέμενα προϊόντα σε διαφορετικές αναλύσεις και λεπτομέρεια</p>	<p>Τα καύσιμα συχνά δεν συσχετίζονται με τις ενδείξεις της εικόνας. Η κλίμακα των εικόνων μπορεί να μην συμφωνεί με την κλίμακα διανομής των καυσίμων. Απαιτεί εκτεταμένη εμπειρία στην τηλεπισκόπηση, τα GIS, τη στατιστική μοντελοποίηση και στην επιστήμη των δασικών καυσίμων. Είναι δύσκολο πολλές φορές να κατανοηθούν οι λόγοι επιτυχίας ή αποτυχίας της χαρτογράφησης</p>
<p>Βιοφυσική Μοντελοποίηση</p>	<p>Υπολογισμός ή προσομοίωση βιοφυσικών μοντέλων προκειμένου να συσχετιστούν με τα χαρακτηριστικά των καυσίμων</p>	<p>Η συσχέτιση αυτών των διαδικασιών που ελέγχουν τη δυναμική των καυσίμων για τη χαρτογράφηση των καυσίμων παρέχει το πλαίσιο για την ερμηνεία των χαρτών καυσίμου. Μπορεί συχνά να προσομοιώσει τις περιβαλλοντικές βαθμίδες σε πολλαπλές κλίμακες του χώρου και του χρόνου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χαρτογραφηθούν πολλά άλλα οικολογικά χαρακτηριστικά για να ενημερωθούν χάρτες καυσίμων</p>	<p>Περιγράφει καλύτερα τις εν δυνάμει μελλοντικές παρά τις υπάρχουσες συνθήκες καυσίμων. Δεν υπάρχει πάντα συσχέτιση των χαρακτηριστικών των καυσίμων με τις βιοφυσικές μεταβλητές. Είναι δύσκολο να αποφασιστεί το είδος, η λεπτομέρεια, και η κλίμακα των βιοφυσικών βαθμίδων που αντιπροσωπεύουν καλύτερα τη δυναμική των καυσίμων. Η κλίμακα των προσομοιωμένων βαθμίδων μπορεί να μην συμφωνεί με την κλίμακα διανομής των καυσίμων ή των διαδικασιών των καυσίμων. Απαιτεί εκτεταμένη εμπειρία στη μοντελοποίηση οικοσυστημάτων, τα GIS, τη στατιστική μοντελοποίηση και την επιστήμη των δασικών καυσίμων. Απαιτεί</p>

Για την εκτίμηση της καύσιμης ύλης για τις περιοχές μελέτης στην παρούσα διατριβή, ακολουθήθηκε σύμφωνα με την παραπάνω κατηγοριοποίηση η προσέγγιση της σύνδεσης ή έμμεσης χαρτογράφησης με δεδομένα τηλεπισκόπησης. Τα μοντέλα καύσιμης ύλης (ποσοτικοποιημένα δηλ. χαρακτηριστικά της βλάστησης που μπορούν να αναγνωριστούν οπτικά στο πεδίο) συνδέθηκαν σε δεδομένα κάλυψης γης με έμφαση στην ταξινόμηση της βλάστησης όπως αυτά προέκυψαν από την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης για τις περιοχές μελέτης⁵. Για τον λόγο αυτό η βιβλιογραφική έρευνα επικεντρώνεται στην ταξινόμηση κάλυψης γης και ειδών φυσικής βλάστησης.

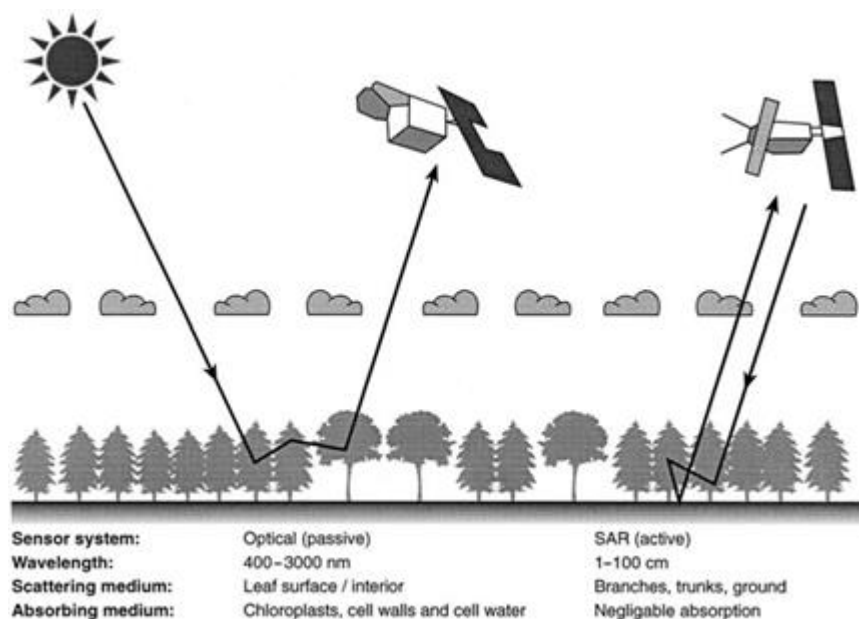
2.5.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και αναγνώριση ειδών

Όλες οι εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης βασίζονται στην αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με το στόχο και την ανάλυση του επιστρεφόμενου σήματος

⁵ Η δημιουργία των χαρτών μοντέλων καύσιμης ύλης για τις περιοχές μελέτης στηρίχτηκε στα μοντέλα καύσιμης ύλης τα οποία περιγράφονται στην εργασία των Scott & Burgan (2005), καθώς και σε προσαρμοσμένα μοντέλα από άλλες έρευνες που διεξήχθησαν για Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα.

όπως καταγράφεται από τον αισθητήρα. Σε γενικές γραμμές, οι δορυφορικές πλατφόρμες χρησιμοποιούν δύο μεγάλες κατηγορίες αισθητήρων, τα οπτικά και ενεργά συστήματα Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος (SAR). Τα οπτικά συστήματα μετρούν την ανακλώμενη ακτινοβολία σε μία ή περισσότερες διακριτές ζώνες μήκους κύματος που βρίσκεται στη φασματική περιοχή 400 - 3000 nm, ενώ τα ενεργά συστήματα μετρούν την οπισκεδαζόμενη ακτινοβολία μικροκυμάτων σε μήκος κύματος μεταξύ 1 cm και 1000 cm (Boyd & Danson, 2005).

Τα οπτικά μήκη κύματος είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μικρότερα από ό, τι τα φύλλα, οι βελόνες και τα κλαδιά που συνθέτουν τις κόμμες των δέντρων και κατά συνέπεια, η ακτινοβολία μπορεί και να απορροφάται αλλά και να σκεδάζεται από το θόλο (και άλλες επιφάνειες) σε συγκεκριμένες περιοχές μήκους κύματος του αισθητήρα (Boyd & Danson, 2005; Fassnacht et al., 2016). Στην περίπτωση των μακρύτερων μηκών κύματος μικροκυμάτων, ο επικρατέστερος μηχανισμός είναι η σκέδαση από τα φύλλα, τα κλαδιά, τους κορμούς και το έδαφος (Εικόνα 2.8) (Boyd & Danson, 2005).



Εικόνα 2.8 Μηχανισμοί αλληλεπίδρασης δασικών θόλων. Αλληλεπιδράσεις φωτός-βλάστησης οπτικών παθητικών αισθητήρων. Σημαντικές περιοχές μήκους κύματος
(πηγή (Boyd & Danson, 2005))

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ προσπίπτουσας ακτινοβολίας και θόλου είναι εξαιρετικά πολύπλοκες και περιγράφονται από τρεις κύριους φυσικούς μηχανισμούς: αντανάκλαση, απορρόφηση και μετάδοση. Η ηλιακή ανακλώμενη ακτινοβολία στο οπτικό πεδίο (δηλαδή μεταξύ 380 και 2500 nm) χρησιμοποιείται συνήθως σε μελέτες βλάστησης επειδή τα περισσότερα από τα διαγνωστικά χαρακτηριστικά απορρόφησης της πράσινης βλάστησης βρίσκονται σε αυτό το τμήμα του φάσματος (Kokaly et al., 2009; Ustin et al., 2009). Η σημασία

των οπτικών μπαντών έχει τονιστεί από διάφορες μελέτες που χρησιμοποιούν τηλεπισκοπικά πολυφασματικά δεδομένα (Waser et al., 2011; Immitzer et al., 2012; Peerbhay et al., 2014), και έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την αναζήτηση των σημαντικών περιοχών μηκών φάσματος για την αναγνώριση των ειδών βλάστησης.

Διαφορές βλαστικές, χημικές και φυσικές ιδιότητες μεταξύ των ειδών έχουν ως αποτέλεσμα διαφορετικά επίπεδα ανακλαστικότητας (Fassnacht et al., 2016). Η φασματική απόκριση του φυλλώματος χαρακτηρίζεται κυρίως από (i) την ισχυρή και καλά περιγραφόμενη απορρόφηση των φωτοσυνθετικών χρωστικών ουσιών του φυλλώματος, που κυριαρχείται από χλωροφύλλες, στην ορατή περιοχή (400 - 700 nm, VIS), (ii) τη δομή του φύλλου στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (700 - 1300 nm, NIR), και (iii) τις απορροφήσεις νερού και πρωτεΐνης (καθώς και άλλων βιοχημικών) που επικρατούν στην υπέρυθρη περιοχή βραχέων κυμάτων (1300 - 2500 nm, SWIR) (Homolová et al., 2013).

Η φασματική ανακλαστικότητα της βλάστησης παρουσιάζει κάποια χαρακτηριστικά διάκρισης, όπως: 1) χαμηλή ανακλαστικότητα στο μπλε και κόκκινο που προκαλείται από την απορρόφηση της χλωροφύλλης και την ελαφρώς υψηλότερη ανάκλαση στο πράσινο, 2) χαρακτηριστικά απορρόφησης του νερού στα 1400nm και 1900nm και 3) ανακλαστικότητα στο «Ερυθρό άκρο» στα 720 - 780nm που προκαλείται από την κυτταρική δομή (Schowengerdt, 2007).

Από μια σειρά εργασιών έχει αναφερθεί ο σημαντικός ρόλος της περιοχής του ερυθρού άκρου τόσο στο διαχωρισμό των κλάσεων και στην ακρίβεια της ταξινόμησης (Sousa et al., 2012; Schuster et al., 2012), όσο και πιο συγκεκριμένα στην αναγνώριση των ειδών δένδρων (Adelabu et al., 2014) και εκτίμηση της πράσινης βιομάζας (Li et al., 2012b). Αρκετές μελέτες αναφέρουν βελτίωση στην ακρίβεια εκτίμησης του φυλλώματος και της κομοστέγης (Ramoelo et al., 2012; Krofcheck et al., 2014) ή στην ανίχνευση του στρες του φυλλώματος (Eitel et al., 2011). Τέλος από μια σειρά μελετών τονίζεται η χρησιμότητα της περιοχής του ερυθρού άκρου στην αναγνώριση των καλλιεργειών (Tapsall et al., 2010; Recio et al., 2011; Nitze, 2012; Kim & Yeom, 2012; Ustuner et al., 2014; Shang et al., 2015; Gerstmann et al., 2016). Μερικοί συγγραφείς διαπίστωσαν ωστόσο ότι η χρήση του δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική στην κατάτμηση της εικόνας για την χρήση αντικειμενοστραφών προσεγγίσεων ταξινόμησης (Sousa et al., 2012), η για των διαχωρισμό των ειδών δένδρων (Adelabu et al., 2013; Peerbhay et al., 2014). Άλλες μελέτες έχουν επισημάνει την ιδιαίτερη σημασία της μπλε περιοχής μήκους κύματος (Key et al., 2001; Waser et al., 2011; Peerbhay et al., 2014).

Το ποσό της ακτινοβολίας που αντανάκλαται στις διάφορες περιοχές μηκών κύματος σχετίζεται με: 1) φυτό χημικές ιδιότητες του ιστού που περιλαμβάνει νερό, φωτοσυνθετικές χρωστικές ουσίες και δομικούς υδατάνθρακες, 2) τη μορφολογία των φύλλων (πάχος των

κυτταρικών τοιχωμάτων, χώροι αέρα και κέρινο στρώμα εφυμενίδας) (Asner, 1998; Grant, 1987) καθώς και 3) τη δομή του θόλου (φύλλα και πυκνότητα κλαδιών, γωνιακή κατανομή, ομαδοποίηση) και το μέγεθος του δέντρου σε σύγκριση με τα γειτονικά δέντρα (Leckie et al., 2005), το οποίο σχετίζεται επίσης με τη γεωμετρία φωτός (βλ. 2.5.8) (Fassnacht et al., 2016).

Έτσι, η ανακλαστικότητα του θόλου εξαρτάται από τις ιδιότητες ακτινοβολίας των φύλλων, άλλα μη φωτοσυνθετικά στοιχεία του θόλου και από τη χωρική οργάνωση των θόλων (Homolová et al., 2013). Αυτές οι ιδιότητες ποικίλουν όχι μόνο μεταξύ ειδών, αλλά επίσης και με την κάθετη πυκνότητα φυλλικής επιφάνειας, την ηλικία των φύλλων (Roberts et al., 1997) και την κατάσταση της υγείας (Schowengerdt, 2007; Waser et al., 2014). Περαιτέρω επιρροές στο ποσό της ανακλώμενης ακτινοβολίας υπάρχουν από τα σήματα του φόντου που σχετίζονται με το γυμνό έδαφος, λειχήνες, βρύα, ποώδη βλάστηση, επίφυτα, φλοιούς και γειτονικά δέντρα (Korpela et al., 2011).

Παρά τη βελτίωση της φασματικής και χωρικής ανάλυσης των προϊόντων της τηλεπισκόπησης, φαίνεται ότι η Τηλεπισκόπηση φτάνει σε ορισμένα όρια σχετικά με την ακρίβεια και τον αριθμό των κατηγοριών βλάστησης που μπορούν να διακριθούν (Homolová et al., 2013; Boyd & Danson, 2005). Η ιδιαίτερα περίπλοκη φασματική απόκριση τους και η μεγάλη μεταβλητότητα εντός και μεταξύ των ειδών μειώνει τη φασματική διαχωρισιμότητα μεταξύ των μορφών ανάπτυξης των φυτών (Ustin & Gamon, 2010; Boyd & Danson, 2005).

Επίσης όπως γίνεται αντιληπτό τα οπτικά συστήματα τηλεπισκόπησης μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα του φυλλώματος και των βιοχημικών ιδιοτήτων του, ενώ τα συστήματα μικροκυμάτων μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ξυλώδη βιομάζα και τη δομή των δασών. Κατά συνέπεια χρησιμοποιούνται διαφορετικά δορυφορικά συστήματα και τεχνικές τηλεπισκόπησης για τις διαφορετικές απαιτήσεις διαχείρισης των οικοσυστημάτων.

Για παράδειγμα, ο σημαντικότερος περιορισμός των παθητικών οπτικών αισθητήρων για την αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιάς είναι η ανικανότητά τους να (i) εκτιμήσουν το ύψος της βλάστησης, το οποίο είναι κρίσιμο στοιχείο για τη διάκριση του τύπου καυσίμου, και (ii) να διεισδύσουν σε βαθύτερα πολυεπίπεδα φυλλώματα και ως εκ τούτου δεν μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον υποόροφο, ο οποίος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την εξάπλωση πυρκαγιάς (Arroyo et al., 2008). Επιπλέον, λόγω του γεγονότος ότι η κάλυψη της κόμης των δένδρων - το ανώτερο στρώμα του θόλου είναι αυτό που είναι ορατό από τα συστήματα παθητικών οπτικών αισθητήρων, ανακύπτουν ζητήματα ορολογίας και κλίμακας όσον αφορά στην ταξινόμηση των ειδών βλάστησης τα οποία θα συζητηθούν περαιτέρω στις επόμενες ενότητες 2.5.3 και 2.5.5.1.1.

2.5.3 Κλίμακα και ταξινόμηση ειδών βλάστησης

Η κατάλληλη ή ανεπαρκής χωρική ανάλυση των τηλεπισκοπικών εικόνων ανάλογα με το μέγεθος των υπό έρευνα μεμονωμένων φυτών ή θόλων είναι γνωστή και έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές (Ansley et al., 2001; Goslee et al., 2003; Heaton et al., 2003; Laliberte et al., 2007; Browning et al., 2008, 2009), οι οποίοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο συσχετισμός μεταξύ των εκτιμήσεων κάλυψης της βλάστησης μέσω της ταξινόμησης δεδομένων τηλεπισκόπησης και επίγειων μετρήσεων, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανάλυση της εικόνας και το μέγεθος των φυτών στόχων (Mirik & Ansley, 2012).

Έτσι, κατά την ταξινόμηση ειδών βλάστησης με τη χρήση της τηλεπισκόπησης ανακύπτουν δύο ζητήματα που σχετίζονται με την κλίμακα: (1) ποια είναι η βέλτιστη πυκνότητα εδαφικής δειγματοληψίας ενός συγκεκριμένου αισθητήρα για την άντληση πληροφοριών σχετικά με τα είδη; και (2) ποια είναι η χωρική μονάδα για την οποία θα πρέπει να ληφθούν οι πληροφορίες είδους (Fassnacht et al., 2016).

Η πρώτη, η χωρική ανάλυση είναι ίσως μια από τις πιο μελετημένες πτυχές της έρευνας για την κλίμακα στον τομέα της οικολογίας τοπίου (Wiens, 1989a; O'Neill et al., 1996; Jelinski & Wu, 1996) και των συναφών κλάδων και επιστημών του χώρου και της στατιστικής (Woodcock & Strahler, 1987; Atkinson & Tate, 2000). Ενώ η δεύτερη πτυχή της κλίμακας, η θεματική ανάλυση (επίσης γνωστή ως ακρίβεια των χαρακτηριστικών) (Cunningham, 2006) ή κατηγορική ανάλυση (Quattrochi & Goodchild, 1997), που αναφέρεται στο επίπεδο της λεπτομέρειας της ταξινόμησης των μονάδων δειγματοληψίας (ή στο επίπεδο οργάνωσης 2.2.3), είναι ένα σχετικά νέο πεδίο έρευνας (Franklin & Wulder, 2002; Ju et al., 2005; Bailey et al., 2007; Buyantuyev & Wu, 2007; Lechner et al., 2012; Magdon & Kleinn, 2013; Lechner & Rhodes, 2016). Πρόσφατες αναλύσεις υποστηρίζουν ότι οι επιδράσεις της θεματικής ανάλυσης είναι συγκρίσιμες με αυτές της χωρικής ανάλυσης και ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ τους (Lechner & Rhodes, 2016). Όπως οι Ju κ.α. (2005) τονίζουν «η επιλογή της χωρικής και της κατηγορικής κλίμακας είναι δύο από τα κεντρικά ζητήματα στην ταξινόμηση κάλυψη γης με την χρήση της τηλεπισκόπησης».

2.5.3.1 Σχέσεις μεταξύ χωρικής ανάλυσης και διαχωρισμού χαρακτηριστικών

Η χωρική ανάλυση καθορίζει το επίπεδο της χωρικής λεπτομέρειας που μπορεί να παρατηρηθεί στην επιφάνεια της Γης (Lu & Weng, 2007), δεδομένου ότι όταν η διάσταση του στιγμιαίου οπτικού πεδίου εδάφους (GIFOV) ή το μέγεθος εικονοστοιχείου αλλάζει, αυξάνεται ή μειώνεται η δυνατότητα να οριοθετηθούν πολλά από τα χαρακτηριστικά του τοπίου τουλάχιστον οπτικά (Blaschke et al., 2004).

Όμως ποια είναι η βέλτιστη χωρική ανάλυση για μια συγκεκριμένη ανάλυση; Όπως έχει ήδη αναφερθεί (σελ. 43, 91), είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ο αντικειμενικός σκοπός μιας μελέτης, ώστε η χωρική ανάλυση να είναι κατάλληλη για την συγκεκριμένη εφαρμογή καθώς η επιλογή της καθορίζει τόσο το περιεχόμενο των πληροφοριών όσο και το σφάλμα της μέτρησης (Atkinson, 1993; Atkinson et al., 1996; Richards & Jia, 2006; Warner et al., 2009).

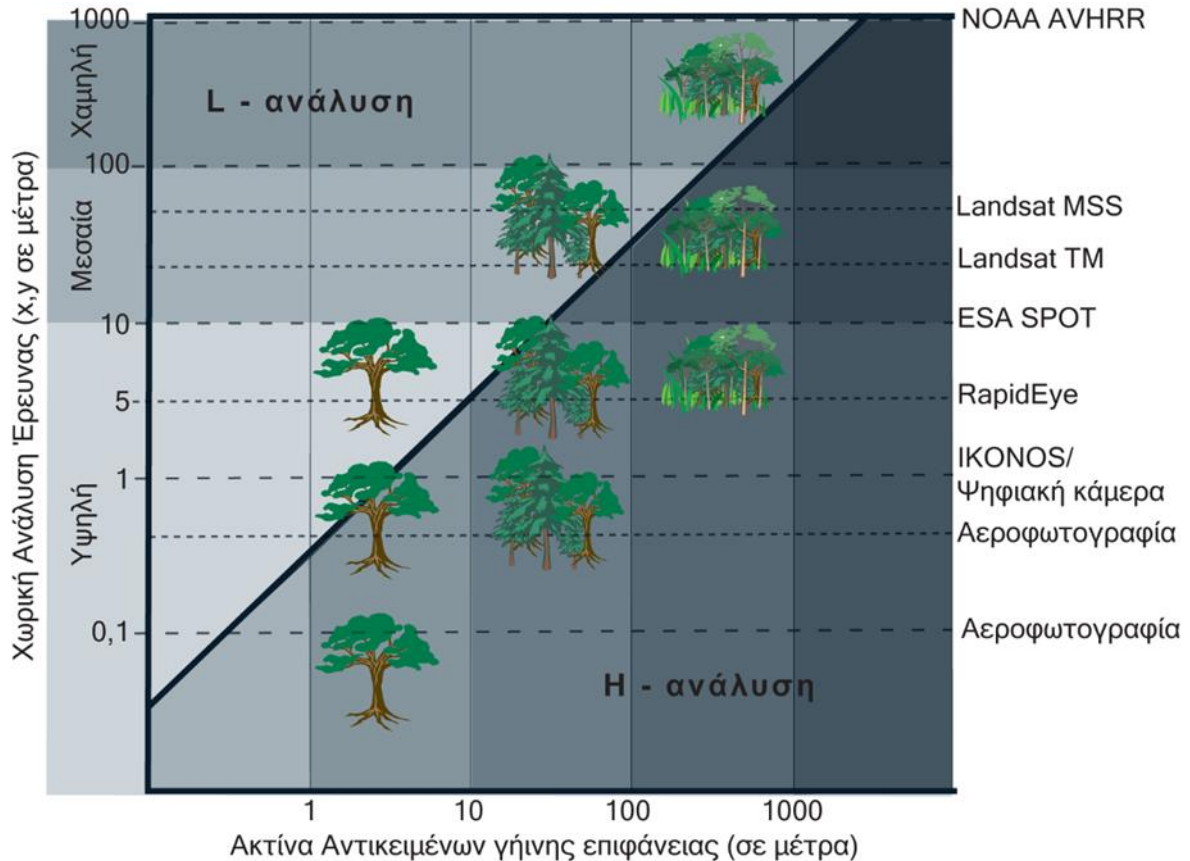
Έχει υποστηριχθεί ότι το μέγεθος του εικονοστοιχείου θα πρέπει να είναι το μισό του μεγέθους του μικρότερου χωρικού χαρακτηριστικού στόχου προς αναγνώριση (Garrigues et al., 2006b; Hengl, 2006; Blaschke et al., 2004). Όπως τονίζεται από τους de Klerk κ.α. (2016), Blaschke (2010) και Hengl (2006), στόχος θα πρέπει να είναι η επιδίωξη της καλύτερης δυνατής αντιστοιχίας μεταξύ μεγέθους εικονοστοιχείου και χωρικής ανάλυσης των χαρακτηριστικών του στόχου.

Οι Strahler κ.α. (1986) παρουσίασαν ένα πλαίσιο για την κατανόηση της εικόνας με βάση την ικανότητα διάκρισης των αντικείμενων ενδιαφέροντος. Δηλαδή, εάν υπάρχουν πολλά εικονοστοιχεία ανά αντικείμενο (που επιτρέπουν την αναγνώριση) ή υπάρχουν πολλά αντικείμενα ανά εικονοστοιχείο (όπου συμπεριλαμβάνονται τα ατομικά χαρακτηριστικά) (White et al., 2016). Ένα τέτοιο πλαίσιο είναι πολύτιμο για να αποφευχθεί η υπερεκτίμηση απαιτούμενης χωρικής ανάλυσης των δεδομένων για μια συγκεκριμένη ανάλυση, όπως για παράδειγμα η χρήση δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης (<1 μ.) για το χαρακτηρισμό των συνθηκών του δάσους σε επίπεδο συστάδας (και όχι μεμονωμένου δένδρου) (White et al., 2016) που αποτελεί απλά μια σπατάλη υπολογιστικών πόρων (μνήμης) (Hengl, 2006).

Οι Woodcock και Strahler (1987) παρουσίασαν ένα χρήσιμο εννοιολογικό πλαίσιο που κατηγοριοποιεί τις εικόνες με βάση τη σχέση μεγέθους εικονοστοιχείου και αντικείμενων σε μια σκηνή. Έτσι μια εικόνα H - ανάλυσης περιλαμβάνει αρκετά μικρά εικονοστοιχεία ώστε να διαχωρίζονται τα αντικείμενα ή φαινόμενα ενδιαφέροντος στη σκηνή, ενώ αντιθέτως σε μια εικόνα L - ανάλυσης, τα εικονοστοιχεία είναι πάρα πολύ μεγάλα για να διαχωριστούν τα μεμονωμένα αντικείμενα (Woodcock & Strahler, 1987). Βέβαια οι περισσότερες εικόνες του πραγματικού κόσμου περιέχουν αντικείμενα σε μια ποικιλία κλιμάκων και γι' αυτό ενδεχομένως να πρέπει να αναφερόμαστε στις αναλύσεις H και L των αντικειμένων και όχι των αναλύσεων της εικόνας (Ferro & Warner, 2002).

Οι Blaschke κ.α. (2004) παρουσίασαν σχηματικά την σχέση μεταξύ ανάλυσης (GIFOV) και διαμέτρου αντικειμένου του πραγματικού κόσμου (Εικόνα 2.9). Κοντά στη διαγώνιο, η ακτίνα των αντικειμένων και το GIFOV θα είναι σχεδόν ίσα και τα αντικείμενα της εικόνας (ομάδες H - res εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν ένα ενιαίο αντικείμενο του πραγματικού κόσμου) μπορούν να μετατραπούν σε αντικείμενα ενός εικονοστοιχείου της εικόνας. Για τις περιπτώσεις όπου το GIFOV του αισθητήρα είναι μεγαλύτερο από το αντικείμενο

ενδιαφέροντος, είμαστε σε περιοχή L - res ή «μικτού εικονοστοιχείου». Καθώς η ανάλυση μειώνεται, αυξάνεται η πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο να περιέχει περισσότερους από έναν τύπους κάλυψης (Wu & Li, 2009; Blaschke et al., 2004).



Εικόνα 2.9 Σχέση μεταξύ χωρικής ανάλυσης και ακτίνας αντικειμένων γήινης επιφάνειας
Εικόνα που έχει τροποποιηθεί από (Blaschke et al., 2004)

Με βάση την Εικόνα 2.9 που περιγράφει τη σχέση μεταξύ μεγέθους εικονοστοιχείου και αντικείμενου ενδιαφέροντος, θα μπορούσαν να εξεταστούν κάποιες περιπτώσεις εμφάνισης μικτών εικονοστοιχείων. Η ονοματολογία L-res και H-res αναφέρεται στη σχέση μεταξύ μεγέθους εικονοστοιχείου και μέσης ακτίνας των πραγματικών αντικειμένων. Για παράδειγμα με βάση την παραπάνω εικόνα, σε μια δορυφορική εικόνα χωρικής ανάλυσης 5 μ. (π.χ. RapidEye) με την υπόθεση ότι δεν εμφανίζεται η επίδραση «sample - scene phase» (σελ. 57 & Εικόνα 2.5) και ένα δένδρο βρίσκεται στο κέντρο ενός εικονοστοιχείου και επιπλέον εμφανίζει έναν ομοιογενή θόλο θα μπορεί να αναγνωρισθεί ως αντικείμενο (η αναγνώριση του είδους έχει να κάνει περισσότερο με τη φασματική ανάλυση) με μια ακτίνα θόλου 2,82 μ.. Στην περίπτωση ενός δένδρου με θόλο μικρότερης ή μεγαλύτερης ακτίνας θα εμφανιστούν μικτά εικονοστοιχεία (είτε λόγω ανάμιξης ειδών είτε λόγω αύξησης μεταβλητότητας εντός θόλου) ή θα είναι δυνατή η αναγνώριση συστάδων δένδρων και όχι μεμονωμένου θόλου.

Όταν τα αντικείμενα στη σκηνή γίνονται ολοένα και μικρότερα σε σχέση με την ανάλυση του εικονοστοιχείου (λειτουργία L-res), ίσως να μην μπορούν πλέον να θεωρηθούν ως μεμονωμένα αντικείμενα (Lu & Weng, 2007), με αποτέλεσμα την εμφάνιση των μικτών εικονοστοιχείων. Στην περίπτωση του θόλου των δένδρων, στην L- ανάλυση το μέγεθος του εικονοστοιχείου θα είναι μεγαλύτερο από το θόλο ενός δένδρου και κατά συνέπεια η φασματική απόκριση του θόλου θα είναι αποτέλεσμα μιας μίξης μεταξύ διάφορων θόλων και άλλων κατηγοριών κάλυψης γης (Magdon & Kleinn, 2013). Πιο συγκεκριμένα, η καταγραφόμενη ανακλαστικότητα θα είναι αποτελέσματα μιας σύνθετης αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας μεταξύ των ιστών των θόλων (φύλλωμα, μίσχοι, κλαδιά, φρούτα, αναρυχχίτικα φυτά και λουλούδια) (Clark et al., 2005) και του σήματος του υποβάθρου (που προέρχεται από το έδαφος, την ποώδη βλάστηση, κλπ.) (Fassnacht et al., 2016). Επίσης θα εξαρτάται από τη δομική διάταξη του φυλλώματος (αριθμός των στρωμάτων, ομαδοποίηση και γωνίες του φύλλου) και τα αντίστοιχα τμήματα σκιάς (Fassnacht et al., 2016). Η γεωμετρία της προβολής του φωτός είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που αυξάνει την πολυπλοκότητα του παρατηρούμενου σήματος (Fassnacht et al., 2016) (βλέπε επίσης ενότητα 2.5.8).

Η μετρούμενη από τον αισθητήρα αντανάκλαση της ακτινοβολίας μπορεί τότε να θεωρηθεί ως ένα άθροισμα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφόρων κατηγοριών των στοιχείων της σκηνής σταθμισμένο προς τις σχετικές αναλογίες τους (Strahler et al., 1986). Κατά συνέπεια η μετρούμενη αντανάκλαση ειδικά των θόλων θα προέρχεται από ένα μείγμα διαφορετικών πηγών ανάκλασης (με αποτέλεσμα τα μικτά εικονοστοιχεία) και μπορεί να είναι πολύ διαφορετική για τις ίδιες μετρήσεις με αποτέλεσμα να αναμένονται οι επιδράσεις της κλίμακας (Chen, 1999; Chen et al., 2002). Η μετάβαση της κλίμακας από το μεμονωμένο φύλλο στο κλαδί οδηγεί σε αύξηση της φασματικής μεταβλητότητας στην παρατηρούμενη ανάκλαση (Fassnacht et al., 2016). Η επίδραση της χωρικής ανάλυσης στην ερμηνεία της εικόνας στον τομέα L-ανάλυση έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών στο πλαίσιο της χαρτογράφησης κάλυψης γης (Woodcock & Strahler, 1987; Atkinson & Curran, 1995; Nelson et al., 2009; Zheng et al., 2009) κ.α.

Αν το μέγεθος εικονοστοιχείου είναι σημαντικά μικρότερο από τη διάμετρο ενός αντικειμένου, τότε έχουμε να κάνουμε με μια H-res λειτουργία - τα εικονοστοιχεία είναι αρκετά μικρά ώστε να διαχωριστούν τα αντικείμενα ή φαινόμενα ενδιαφέροντος στη σκηνή (Woodcock & Strahler, 1987) τουλάχιστον για κάποιο συγκεκριμένο τύπο αντικειμένου (Blaschke et al., 2004). Αν το μέγεθος εικονοστοιχείου προσεγγίζει ένα ενιαίο θόλο κατά πάσα πιθανότητα θα μειωθεί η φασματική μεταβλητότητα σε σχέση με την περίπτωση L-res, καθώς τα σήματα ανάκλασης θα λαμβάνουν το μέσο όρο μεγαλύτερου εύρους συνθηκών επιφάνειας (Fassnacht et al., 2016). Ακόμα όμως και σε αυτή την περίπτωση η εμφάνιση μικτών

εικονοστοιχείων θα είναι αναπόφευκτη καθώς ένα μικρό ποσοστό εικονοστοιχείων θα βρίσκεται σε «οριακή περιοχή» (π.χ. στην άκρη των κορυφών των δέντρων), και μπορεί ως εκ τούτου να περιγράφεται ως «μικτό», ή να υπάρχει υψηλή μεταβλητότητα στην σκηνή η οποία να οδηγήσει σε μικτά εικονοστοιχεία. Η αύξηση του μεγέθους του εικονοστοιχείου θα αναδείξει και τη μίξη των ειδών ή /και κατηγοριών εντός ενός εικονοστοιχείου (Fassnacht et al., 2016).

Αν για λόγους απλούστευσης αμελήσουμε την εμφάνιση μικτών εικονοστοιχείων, εφόσον στην Η-ανάλυση το μέγεθος εικονοστοιχείου είναι μικρότερο από τις κορυφές των δέντρων θα πρέπει να καθοριστεί μια χωρική μονάδα αναφοράς για την ταξινόμηση μεγαλύτερη από ένα εικονοστοιχείο, που σημαίνει ότι σε δεδομένα Η-ανάλυσης, η μονάδα αναφοράς είναι διαφορετική από τη χωρική ανάλυση και εισάγει ένα δεύτερο συστατικό της κλίμακας το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη και να ορίζεται (Magdon & Kleinn, 2013).

2.5.3.2 Υψηλή χωρική ανάλυση και ταξινόμηση

Έχει διεξαχθεί μια σειρά μελετών σχετικά με την αξιολόγηση των επιδράσεων της χωρικής ανάλυσης των δεδομένων τηλεπισκόπησης στα αποτελέσματα ταξινόμησης της κάλυψης της γης με την χρήση ψηφιακών τεχνικών π.χ. (Latty & Hoffer, 1981; Markham & Townshend, 1981; Irons et al., 1985; Cushnie, 1987; Marceau & Hay, 1999; Ju et al., 2005; Lechner et al., 2012; Magdon & Kleinn, 2013; Lechner & Rhodes, 2016). Το πρωταρχικό συμπεράσματά των περισσότερων μελετών ήταν ότι μια αλλαγή στη χωρική ανάλυση μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ακρίβεια μιας ταξινόμησης, και ότι σε πολλές περιπτώσεις η χρήση διαδοχικά υψηλότερων χωρικών αναλύσεων οδήγησε σε χαμηλότερη συνολική ακρίβεια ταξινόμησης (Irons et al., 1985; Latty et al., 1985; Cushnie, 1987; Marceau & Hay, 1999; Mishra et al., 2015).

Μια συνέπεια της αύξησης της χωρικής ανάλυσης (που έχει συζητηθεί αρκετές φορές στην παρούσα διατριβή π.χ. σελ.79, 117) είναι η αύξηση της εσωτερικής μεταβλητότητας ή διακύμανσης εντός των ομοιογενών μονάδων κάλυψης γης (Cushnie, 1987; Woodcock & Strahler, 1987; Aplin et al., 1997; Marceau & Hay, 1999; Thomas et al., 2003; Carleer et al., 2005; Sheng et al., 2011; Peña et al., 2013; Lu & Weng, 2007), λόγω της ανάδειξης διαφόρων συνιστωσών μιας κατηγορίας κάλυψης γης από τους αισθητήρες υψηλότερης ανάλυσης, σε αντίθεση με αυτούς χαμηλότερης ανάλυσης όπου παρατηρείται ενσωμάτωση της ανακλώμενης φασματικής ακτινοβολίας των διαφόρων στοιχείων της γης με αποτέλεσμα οι τάξεις να εμφανίζονται πιο ομοιογενείς (Irons et al., 1985).

Η σχέση μεγέθους γήινων αντικειμένων και χωρικής ανάλυσης ενός αισθητήρα συνδέεται επίσης άμεσα με τη μεταβλητότητα της δορυφορικής σκηνής (Woodcock & Strahler, 1987). Αυτό το πρόβλημα παρουσιάστηκε από τους Woodcock και Strahler (1987) στο αντίστοιχο

άρθρο τους που συζητά την εξάρτηση της πρόβλεψης στην Τηλεπισκόπηση από την κλίμακα. Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης γενικά συλλέγονται σε μια μόνο χωρική ανάλυση, σε αντίθεση με τις πολλές κλίμακες στις οποίες υπάρχουν οι μονάδες και οι διαδικασίες της φύσης.

Αντικείμενα εντός της ίδιας σκηνής μπορεί να εμφανίζονται σε διαφορετικές κλίμακες και κατευθύνσεις στις εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης (Sheng et al., 2011). Οι περισσότερες εικόνες του πραγματικού κόσμου περιέχουν αντικείμενα σε μια ποικιλία κλιμάκων (Ferro and Warner 2002), ενώ τα συστήματα αισθητήρων έχουν ένα συγκεκριμένο GIFOV - μια ορισμένη χωρική ανάλυση, και επομένως αρκετοί στόχοι/κατηγορίες ενδιαφέροντος μπορεί να βρεθούν μέσα σε μία μονάδα GIFOV (Blaschke et al., 2004; Kohl et al., 2006).

Η αυξημένη μεταβλητότητα μειώνει το στατιστικό διαχωρισμό των τάξεων κάλυψης γης στο φασματικό χώρο των δεδομένων (Carleer et al., 2005), ιδιαίτερα για περιοχές με πολυσύνθετα, ετερογενή τοπία που εμφανίζουν υψηλό βαθμό φασματικής ετερογένειας (Lu & Weng, 2007). Ως αποτέλεσμα ανακύπτουν ορισμένα νέα προβλήματα που συνδέονται με τα δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, λόγω της επίδρασης της ετερογένειας - το πιο θεμελιώδες χαρακτηριστικό όλων των τοπίων - στην περιγραφή των διαδικασιών επιφάνειας της γης (Wu et al., 2000).

Η ετερογένεια θα μπορούσε να θεωρηθεί ως εγγενής φύση των επιφανειών της γης, που είναι ένα μωσαϊκό διαφορετικών τύπων κάλυψης (Wu & Li, 2009), με επιφανειακές ιδιότητες που μεταβάλλονται μέσα σε μια σκηνή παρατήρησης (Garrigues et al., 2006b), και θεωρείται ένα αρκετά μεγάλο πρόβλημα για την επιτυχή αναγνώριση των κατηγοριών κάλυψης γης (Chen, 1999). Η ετερογένεια μπορεί να προκληθεί είτε από την αλλαγή της συνέχειας (που σημαίνει αλλαγή της αντίθεσης) ή από την αλλαγή της πυκνότητας μεταξύ των τύπων κάλυψης (Wu & Li, 2009).

Μικτά εικονοστοιχεία

Οι Markham και Townshend (1981) επισημαίνουν ότι η ακρίβεια της ταξινόμησης μιας εικόνας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από δύο παράγοντες: 1) στο γεγονός ότι η υψηλότερη χωρική ανάλυση ενισχύει τη φασματική-ραδιομετρική διακύμανση των τάξεων, και 2) στην επίδραση των εικονοστοιχείων μεταξύ των ορίων των τάξεων (ή μικτών εικονοστοιχείων) (Markham & Townshend, 1981). Με την αύξηση της χωρικής ανάλυσης ακόμη και αν ο σχετικός αριθμός των μικτών εικονοστοιχείων μειώνεται ο απόλυτος αριθμός τους συνήθως αυξάνει (Blaschke et al., 2004), κατά συνέπεια οι δύο παραπάνω παράγοντες είναι κατά κάποιο τρόπο αλληλένδετοι.

Στο φυσικό περιβάλλον, ένας ομοιογενής θόλος μπορεί να προκαλέσει ετερογένεια στο φασματικό χώρο των δεδομένων λόγω των σκιών (Wu & Li, 2009) που προκαλούνται από την

τοπογραφία, τα δέντρα ή τα ψηλά κτίρια (Lu & Weng, 2007). Οι ηλιοφώτιστες και σκιερές πλευρές του ίδιου δέντρου για παράδειγμα, έχουν πολύ διαφορετικές φασματικές αποκρίσεις, παρόλο που ανήκουν στην ίδια κατηγορία (Thomas et al., 2003). Από την άλλη πλευρά πάντα θα υπάρχουν μικρά κενά π.χ. στο θόλο ενός δένδρου, ή κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης που αποτελούν μοναδικές οντότητες των συγκεκριμένων χωρικών προτύπων της σκηνής (Blaschke et al., 2004).

Ο όρος «μικτά εικονοστοιχεία» δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ότι η κλίμακα παρατήρησης είναι ακατάλληλη ή ότι δεν ταιριάζει με την κλίμακα διακύμανσης του φαινομένου υπό διερεύνηση (Blaschke et al., 2004), αλλά αποτελεί μια συνέπεια της ύπαρξης χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας με πολλαπλές διαφορετικές εγγενείς και χαρακτηριστικές κλίμακες (Markham & Townshend, 1981; Irons et al., 1985) σε μια δορυφορική σκηνή. Γεγονός που οδηγεί σε εγγενείς αβεβαιότητες σχετικά με τη χαρτογράφηση των χωρικών προτύπων της γήινης επιφάνειας. Για συγκεκριμένες τάξεις, μια αύξηση της χωρικής ανάλυσης ίσως μειώσει το ποσοστό των μικτών εικονοστοιχείων, αλλά τα μικτά εικονοστοιχεία θα συνεχίζουν να εμφανίζονται μεταξύ των ορίων των αντικειμένων ανεξάρτητα από το μέγεθος της ανάλυσης του αισθητήρα (Schowengerdt, 2007).

Ο αριθμός των εικονοστοιχείων που περιέχουν περισσότερους από ένα τύπο κάλυψης γης είναι συνάρτηση της πολυπλοκότητας της σκηνής (έκταση - ετερογένεια τοπίου), της χωρικής ανάλυσης του αισθητήρα αλλά και του συστήματος ταξινόμησης - ένα μεγάλο μέρος των μικτών εικονοστοιχείων συνδέονται συχνά με ένα πολύ λεπτομερές σύστημα ταξινόμησης ή/και ακατάλληλη κλίμακα για την αντίστοιχη εφαρμογή (Blaschke et al., 2004).

2.5.4 Υπάρχει βέλτιστη χωρική ανάλυση;

Έχει αναγνωριστεί ότι η σχέση μεταξύ της ακρίβειας της ταξινόμησης και της χωρικής ανάλυσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος και το χωρικό πρότυπο των τάξεων (Moody & Woodcock, 1994; Carleer et al., 2005). Σε αυτή τη βάση, η βέλτιστη ανάλυση έχει οριστεί ως η κλίμακα που ελαχιστοποιεί τη διακύμανση εντός των κατηγοριών που στοχεύει κανείς να χαρτογραφήσει (Marceau et al., 1994b). Μια σημαντική συνέπεια αυτού του ορισμού είναι ότι κατά συνέπεια η βέλτιστη κλίμακα πιθανώς να είναι εξαρτώμενη από τις τάξεις (Marceau et al., 1994b), ή αντιστρόφως καθοριστική (μεταξύ και άλλων παραγόντων) για τον ορισμό των κατηγοριών (Blaschke et al., 2004). Μία σημαντική παράμετρος που σχετίζεται με αυτή την προσέγγιση είναι ότι η βέλτιστη χωρική ανάλυση θα αλλάζει ανάλογα με τις ερωτήσεις της έρευνας (Marceau & Hay, 1999; Fassnacht et al., 2016), και είναι πολύ πιθανό ότι θα εξαρτάται επίσης από τις εφαρμοζόμενες μεθόδους (Fassnacht et al., 2016).

Έτσι οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται στην αναζήτηση μιας βέλτιστης χωρικής ανάλυσης σε μια ad hoc βάση, για τη συγκεκριμένη εφαρμογή σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό περιβάλλον και περιοχή (π.χ. δάσος, αστική ζώνη, γεωργική έκταση) (Marceau & Hay, 1999; Kohl et al., 2006). Για παράδειγμα, όσον αφορά στη φυσική βλάστηση, οι Marceau κ.α. (1994) ανέφεραν ότι η διάκριση των ειδών δέντρων μεγιστοποιείται όταν το μέγεθος εικονοστοιχείου επιτρέπει την απεικόνιση των εγγενών χωρικών ιδιοτήτων των εξεταζόμενων δέντρων (Marceau et al., 1994a). Οι Peña κ.α. (2013), επίσης αναφέρουν ρητά ότι η πολύ υψηλή χωρική ανάλυση οδηγεί σε ανεπιθύμητη φασματική πολυπλοκότητα που περιπλέκει τις ταξινομήσεις ειδών δέντρων (Peña et al., 2013). Οι Ghosh κ.α. (2014) παρατήρησαν καλύτερα αποτελέσματα ταξινόμησης με μέγεθος εικονοστοιχείου 8 m (περίπου 120% της μέσης διαμέτρου των θόλων στην περιοχή μελέτης) κατά τη σύγκριση τριών υπερφασματικών σκηνών με μεγέθη εικονοστοιχείων 4 m, 8 m και 30 m (Ghosh et al., 2014).

Ωστόσο τα αποτελέσματα των περισσότερων μελετών δεν είναι σε όλες τις περιπτώσεις άμεσα συγκρίσιμα καθώς οι εξεταζόμενες χωρικές κλίμακες και χωρικές ιδιότητες των ειδών διαφέρουν. Μια τηλεπισκοπική σκηνή περιλαμβάνει διάφορες οντότητες του πραγματικού κόσμου χωρίς διακριτά όρια, διαφορετικών μεγεθών, που διαθέτουν εγγενή χωρικά χαρακτηριστικά. Επομένως, μπορεί να είναι δύσκολο να εντοπιστεί μια μοναδική βέλτιστη χωρική ανάλυση κατά τη γεωγραφική μοντελοποίηση που να είναι ενιαία και να μπορεί να περιγράψει όλες τις μεταβλητές ή να οδηγεί σε επιτυχή διαχωρισμό όλων των κατηγοριών (Marceau & Hay, 1999; Kohl et al., 2006; Fassnacht et al., 2016).

2.5.5 Κατηγορική ή θεματική κλίμακα

Η δεύτερη πτυχή της κλίμακας είναι η κατηγορική κλίμακα (Ju et al., 2005) ή κατηγορική ανάλυση (Quattrochi & Goodchild, 1997) ή θεματική ανάλυση (Lechner & Rhodes, 2016) ή επίσης γνωστή ως ακρίβεια των χαρακτηριστικών (Cunningham, 2006) και αποτελεί το επίπεδο λεπτομέρειας της ταξινόμησης που συχνά αναφέρεται σε μια κατηγορική ιεραρχία (Ju et al., 2005; Lechner & Rhodes, 2016).

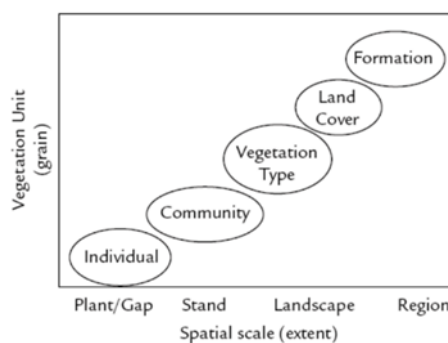
Ιεραρχικές δομές βλάστησης

Η κάλυψη γης σχεδόν πάντα χρησιμοποιείται με την έννοια του επικρατώντας φυσιογραφικού χαρακτηριστικού ενός δεδομένου τμήματος της επιφάνειας της γης, μια έννοια που προέρχεται από τις κλιματικές και φυσιογνωμικές ταξινομήσεις του προηγούμενου αιώνα που καλύπταν μεγάλες περιοχές (ηπείρους), με μικρή χωρική λεπτομέρεια (Franklin & Wulder, 2002). Σε όλο και μεγαλύτερες χωρικές κλίμακες, όλο και πιο λεπτομερείς διαιρέσεις μιας τάξης μπορούν να εισαχθούν με βάση το επίπεδο φυσιογραφικής γενετικής (π.χ., τύπου εδάφους) ή οικολογικής λεπτομέρειας (Franklin & Wulder, 2002).

Η κάλυψη γης και οι μεμονωμένοι τύποι βλάστησης συνήθως εξετάζονται στο πλαίσιο μιας ιεραρχικής ταξινόμησης που εφαρμόζεται από ένα εννοιολογικό μοντέλο βλάστησης ως γεωγραφικό φαινόμενο (διαβαθμίσεις ή τμήματα γης που χαρτογραφούνται ως τομείς ή οντότητες βάσει μόνο χαρακτηριστικών της βλάστησης ή περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών και βλάστησης) (Quattrochi & Goodchild, 1997). Η κατηγορική/θεματική ανάλυση είναι μια ιδιότητα του συνόλου των κανόνων για την περιγραφή μιας ιεραρχίας κατηγοριών κάλυψης γης, και των κριτηρίων για να τη διάκριση και την περιγραφή των σχέσεων μεταξύ των κατηγοριών (Lechner & Rhodes, 2016).

Το σύστημα ταξινόμησης Anderson (Anderson et al., 1976) είναι ένα κλασικό παράδειγμα ιεραρχίας στην ταξινόμηση κάλυψης/χρήσης γης που έχει μια ιεραρχία διαφορετικών θεματικών αναλύσεων (Franklin & Wulder, 2002; Lechner & Rhodes, 2016). Το σύστημα αυτό περιέχει τέσσερις αναλύσεις με ένθετες λεπτομερέστερες κατηγορίες ανάλυσης μέσα σε κάθε μεγαλύτερο επίπεδο ανάλυσης της ιεραρχίας (Lechner & Rhodes, 2016).

Στους τομείς των επιστημών που ασχολούνται με τη βλάστηση η θεματική ανάλυση (ή το σύστημα ταξινόμησης) μπορεί να θεωρηθεί ως οι ιεραρχικές σχέσεις μεταξύ των μονάδων ταξινόμησης της βλάστησης. Οι ιεραρχίες μπορεί να είναι είτε ταξινομικές (είδος, κοινότητα, είδος κάλυψης, σχηματισμός), είτε οικολογικές (Franklin, 2013). Οι οικολογικές ιεραρχίες βασίζονται στις διαφορές στον πληθυσμό (ατόμου, πληθυσμού, κοινότητας) ή στα ποσοστά διαδικασίας στο οικοσύστημα (λειτουργικό συστατικό, οικοσύστημα, βίοςφαιρα) (Franklin, 2013). Η ένθετη ιεραρχία των χωρικών μονάδων στο τοπίο έχει περιγράψει ως εξής: φυτό / ξέφωτο, συστάδα (συνεχόμενη περιοχή παρόμοιας σύνθεσης ειδών, ως προς τη φυσιογνωμία και τη δομή), κοινότητα, τύπος κάλυψης, σχηματισμός (μεγακοινότητες -biomes) (Εικόνα 2.10) (Pojar et al., 1987; Franklin, 2013).



Εικόνα 2.10 Τυπική ιεραρχία των μονάδων βλάστησης που αναπαριστάται από την άποψη του χωρικού «κόκκου» και έκτασης (πηγή (Franklin, 2013))

Ένα βασικό χαρακτηριστικό εφαρμογής αυτής της προσέγγισης είναι ότι η διάκριση των κατηγοριών σε διάφορα επίπεδα ιεραρχίας έγκειται στη χρήση δομικών χαρακτηριστικών της

βλάστησης παρά ταξινομικών ή χλωριδικών κριτήριων (Franklin & Wulder, 2002; Thenkabail et al., 2003; Salonaara et al., 2005). Έτσι, σε δασικές περιοχές, τάξεις κωνοφόρων, φυλλοβόλων και μικτών συστάδων - διακριτά βάσει των επιμέρους ειδών και χωρικά ρητές συναθροίσεις, με δομική μοναδικότητα - θα μπορούσαν να διαιρεθούν περαιτέρω βάσει των διαφορών στην πυκνότητα ή το κλείσιμο του θόλου, αλλά οι διαφορές των ειδών θα πρέπει να αγνοηθούν σε μεγάλο βαθμό, εκτός εάν συνοδεύονται από μια μετρήσιμη δομική ιδιαιτερότητα (Franklin & Wulder, 2002). Μια λογική επέκταση αυτής της ιδέας έχει παρασχεθεί από τους Running κ.α. (1995) (Running et al., 1995). Πρότειναν ένα σύστημα ταξινόμησης παγκόσμιας κάλυψης σύμφωνα με το οποίο οι θεμελιώδεις τάξεις της βλάστησης διαφέρουν ως προς τη μόνιμη υπέργεια βιομάζα, τη μακροβιότητα και τον τύπο των φύλλων (Running et al., 1995).

2.5.5.1 Ζητήματα που ανακύπτουν σχετικά με την κλίμακα ταξινόμησης της βλάστησης στην Τηλεπισκόπηση

2.5.5.1.1 Αναντιστοιχία ορολογίας

Οι επιστήμονες που ασχολούνται με τον τομέα της δασολογίας χαρακτηρίζουν τη σύνθεση των ειδών συνήθως μέσω κατανομών μεμονωμένων δέντρων ή αναλογιών του βλαστικού όγκου ανά χωρική μονάδα (π.χ., μια συστάδα) (Fassnacht et al., 2016). Ενώ η «σύνθεση δασικών συστάδων» και το «μίγμα ειδών» συχνά ορίζονται σε σχέση με την περιοχή βάσης συγκεκριμένων ειδών ή τον ξυλώδη όγκο της συστάδας (Fassnacht et al., 2016).

Οι Fassnacht κ.α. (2016) εύστοχα επισημαίνουν ότι οι παραπάνω ορισμοί δεν ταιριάζουν με την έννοια της Τηλεπισκόπησης που συνήθως περιγράφει την σύνθεση των συστάδων ή το μίγμα των ειδών ως ποσοστά συγκεκριμένων ειδών κάλυψης κόμης των δένδρων τα οποία αναγνωρίζονται σύμφωνα με το ανώτερο στρώμα του θόλου που είναι ορατό στα δεδομένα τηλεπισκόπησης (Fassnacht et al., 2016). Η πιθανότητα ένα δεδομένο εικονοστοιχείο να έχει ακριβώς το μέγεθος που αντιστοιχεί σε ένα δέντρο ή μια συστάδα και επίσης να ταιριάζει με την έκταση του είναι χαμηλή, καθώς η παρουσία πολλαπλών ηλικιακών κατηγοριών και ειδών κάνει αυτή την περίπτωση σχεδόν αδύνατη, και οι ορατές από τον αισθητήρα (κυρίαρχες) κορυφές των δένδρων ποικίλουν σε μέγεθος (Fassnacht et al., 2016). Έτσι, όπως οι συγγραφείς τονίζουν «σε αυτό το πλαίσιο, η κλίμακα σχετίζεται επίσης με ένα πρόβλημα ορολογίας» (Fassnacht et al., 2016).

Επιπλέον, σύμφωνα με τις ιεραρχίες ενός συστήματος ταξινόμησης βλάστησης η σύνθεση των ειδών (των μονάδων ταξινόμησης της βλάστησης), αποτελούν ομαδοποιήσεις μεμονωμένων ειδών (Pojar et al., 1987). Έτσι, η ταξινόμηση οποιουδήποτε επίπεδου ειδών θα πρέπει εξ ορισμού να είναι για μεμονωμένα δέντρα ή συστάδες που αποτελούνται από ένα

μόνο είδος, και κατά συνέπεια προσεγγίσεις που επικεντρώνονται σε μεγαλύτερες χωρικές μονάδες (είτε συστάδων είτε μεγέθη εικονοστοιχείων που δεν επιτρέπουν το διαχωρισμό των μεμονωμένων δένδρων) μάλλον στοχεύουν στην ταξινόμηση της σύνθεσης των δασικών συστάδων ή στην αξιολόγηση των μιγμάτων ειδών παρά στην ταξινόμηση ειδών δέντρων (με εξαίρεση την περίπτωση που οι συστάδες αποτελούνται από ένα μόνο είδος) (Fassnacht et al., 2016).

2.5.5.1.2 Χωρικές μονάδες και σήμα υποβάθρου

Οι συστάδες είναι συνήθως η μικρότερη χωρική οντότητα που αναπαρίσταται σε κλίμακα τοπίου, σε χάρτες ταξινόμησης κοινοτήτων (Franklin, 2013). Όμως οι προσεγγίσεις ταξινόμησης εμφανίζουν ιδιαίτερες αδυναμίες όσον αφορά στον χαρακτηρισμό συστάδων με μίξεις διαφόρων ειδών.

Σε επίπεδο συστάδας η επιρροή του σήματος υποβάθρου μπορεί να διαφέρει μεταξύ συστάδων με πανομοιότυπη σύνθεση ειδών αλλά διαφορετική συγκόμωση (Fassnacht et al., 2016). Επιπλέον, ο τύπος του σήματος υποβάθρου (π.χ., γυμνό έδαφος έναντι βλάστησης υποορόφου) θα ποικίλει επίσης και με την τοποθεσία (Fassnacht et al., 2016). Αυτό αυξάνει σημαντικά την μεταβλητότητα του σήματος του αισθητήρα εντός ειδών και μπορεί να περιπλέξει ακόμη και τη διάκριση συστάδων που αποτελούνται από ένα μόνο είδος (Fassnacht et al., 2016). Ιδιαίτερα κατά τη χαρτογράφηση μεγαλύτερων γεωγραφικών εκτάσεων είναι πιο πιθανό να εμφανίζεται η συνύπαρξη συστάδων του ίδιου είδους με διαφορετικούς τύπους συγκόμωσης και σήμα υποβάθρου (Fassnacht et al., 2016).

2.5.6 Επιλογή χωρικής και θεματικής ανάλυσης

Η επιλογή της χωρικής και της ταξινομικής κλίμακας (κλίμακα κατηγοριοποίησης ,σύστημα ταξινόμησης) είναι δύο από τα κεντρικά ζητήματα στην ταξινόμηση κάλυψη γης με τη χρήση της τηλεπισκόπησης. Οι Lechner και Rhodes (2016) τονίζουν: «η έρευνα σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ θεματικής και χωρικής ανάλυσης καταδεικνύει ότι η κλίμακα είναι ακόμη πιο περίπλοκη και πολυδιάστατη από ό, τι είχε αναγνωρισθεί στο παρελθόν» (Lechner & Rhodes, 2016).

Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ της κλίμακας ταξινόμησης και χωρικής ανάλυσης είναι ότι την χωρική ανάλυση συνήθως εκφράζουν οι κατά μέσο όρο διαστάσεις της περιοχής που καλύπτει ένα εικονοστοιχείο επί του εδάφους, ενώ η θεματική κλίμακα (ταξινόμησης) περιγράφει το μέγεθος ή το επίπεδο συσσωμάτωσης (και αφαίρεσης) πάνω στο οποία μπορεί να περιγραφεί ένα ορισμένο φαινόμενο της γήινης πραγματικότητας (Benz et al., 2004). Το σημαντικότερο ζήτημα που ανακύπτει είναι η ανάγκη να αντιστοιχιστεί η κλίμακα μιας

μελέτης με την κλίμακα των υπό έρευνα φαινομένων (Wiens, 1989a), η οποία περιγράφεται από τη θεματική και χωρική ανάλυση των δεδομένων τηλεπισκόπησης.

Η ανάγκη του χρήστη καθορίζει τη φύση της ταξινόμησης και την κλίμακα της περιοχής μελέτης, επηρεάζοντας έτσι την επιλογή της κατάλληλης χωρικής ανάλυσης των τηλεπισκοπικών δεδομένων (Lu & Weng, 2007). Η χωρική και θεματική ανάλυση αντιπροσωπεύουν τις πτυχές των ειδών της κλίμακας όπως συζητήθηκαν στην ενοτ. 2.2.4 «Είδη Κλίμακας».

Στο πεδίο ταξινόμησης της βλάστησης οι Xie κ.α. (2008) έπειτα από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας παρουσιάζουν (Πίνακας 2.17) τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα δορυφορικά δεδομένα στην ταξινόμηση της βλάστησης και την σχέση μεταξύ χωρικής ανάλυσης των εικόνων και θεματικής κλίμακας της βλάστησης.

Πίνακας 2.17 Δορυφόροι που έχουν πιο συχνά χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση της βλάστησης, χαρακτηριστικά και χωρική έκταση εφαρμογής
(πηγή (Xie et al., 2008))

Ανάλυση	Δορυφόροι - χαρακτηριστικά	Χωρική Έκταση εφαρμογών χαρτογράφησης της βλάστησης
Χαμηλή - μέτρια χωρική ανάλυση	Landsat TM (4 και 5 από το 1982) (120μ για το θερμικό υπέρυθρο κανάλι και 30μ για τα πολυφασματικά κανάλια)	Περιφερειακή κλίμακα - συνήθως χαρτογράφηση βλάστησης σε επίπεδο κοινοτήτων (community level)
	Landsat ETM+ (Landsat 7) (από το 1999) (15μ για το παγχρωματικό κανάλι, 60μ θερμικό υπέρυθρο και 30μ για τα πολυφασματικά κανάλια)	Περιφερειακή κλίμακα - συνήθως χαρτογράφηση βλάστησης σε επίπεδο κοινοτήτων (community level) ή μπορεί να διαχωρίζονται και κάποια κυρίαρχα είδη
	SPOT 1-4 (από το 1986) (10μ για το παγχρωματικό, 20μ πολυφασματικά κανάλια)	Περιφερειακή κλίμακα - συνήθως χαρτογράφηση βλάστησης σε επίπεδο
	SPOT vegetation VGT 1 χλμ.	Παγκόσμια/εθνική/περιφερειακή κλίμακα για την χαρτογράφηση τύπων κάλυψης
	SPOT 5 (από το 1992) (2,5/5 μ. παγχρωματικό και 10 μ. πολυφασματικά κανάλια)	Περιφερειακή κλίμακα - συνήθως χαρτογράφηση βλάστησης σε επίπεδο κοινοτήτων (community level) ή μπορεί να διαχωρίζονται και είδη
	MODIS (από το 2000 Terra Satellite) (250 - 1000μ.)	Παγκόσμια, κλίμακα ηπείρου και εθνική για την χαρτογράφηση τύπων κάλυψης
	AVHRR (από το 1980) (1 χλμ.).	Παγκόσμια, κλίμακα ηπείρου και εθνική για την χαρτογράφηση τύπων κάλυψης
Πολύ υψηλή χωρική ανάλυση	ASTER (από το 1999 Terra Satellite) (15-90 μ) (14 κανάλια)	Περιφερειακή έως εθνική κλίμακα - συνήθως χαρτογράφηση βλάστησης σε επίπεδο κοινοτήτων (community level)
	IKONOS.(από το 1999) (1μ. παγχρωματικό και 4μ. πολυφασματικά κανάλια)	Τοπική και περιφερειακή κλίμακα σε επίπεδο ειδών ή κοινοτήτων .
Υπερφασματικά δεδομένα	QuickBird (από το 2001) (2, 4 - 0, 6 μ. τόσο στο παγχρωματικό όσο και στα. πολυφασματικά κανάλια).	Τοπική και περιφερειακή κλίμακα σε επίπεδο ειδών ή κοινοτήτων.
	AVIRIS (από το 1989) Υπερφασματικός αερομεταφερόμενος σαρωτής (224 φασματικές ζώνες) (η χωρική ανάλυση από μέτρα έως δεκάδες μέτρα).	Από τοπικές έως περιφερειακές κλίμακες κλίμακα - συνήθως χαρτογράφηση βλάστησης σε επίπεδο κοινοτήτων (community level) ή ειδών.
	Hyperion (από το 2003) (220 φασματικές ζώνες) (30μ.)	Περιφερειακή κλίμακα - συνήθως χαρτογράφηση βλάστησης σε επίπεδο κοινοτήτων (community level) ή ειδών.

2.5.7 Ταξινόμηση μεγάλων εκτάσεων - Οικότυποι, συνθήκες και ηλικία φύλλων

Όσον αφορά στην σταθερότητα των φασματικών υπογραφών των ειδών σε μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές, έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχουν διαφορές στη δομή του θόλου ή τη σύνθεση χρωστικής για διάφορους οικοτύπους (ορίζονται ως πληθυσμοί του ίδιου είδους που έχουν γενετικά προσαρμοστεί στις διαφορετικές οικολογικές συνθήκες) και στους τύπους πλαστικότητας (άτομα με διαφορές που οφείλονται σε διαφορετικές οικολογικές συνθήκες, αλλά με ίδια γενετική) του ίδιου είδους (Fassnacht et al., 2016). Οι διαφορές αυτές σχετίζονται με μεταβλητές συνθήκες της τοποθεσίας.

Οι Hesketh και Sanchez-Azofeifa (2012) παρέχουν μια λεπτομερή περίληψη της προηγούμενης έρευνας που διερευνά την επίδραση της χώρο - χρονικής δυναμικής των ιδιοτήτων ανάκλασης των δέντρων (Hesketh & Sánchez-Azofeifa, 2012). Οι συγγραφείς αναφέρουν μελέτες που επικεντρώνονται στη σχέση μεταξύ ανάκλασης και ηλικίας των φύλλων (Roberts et al., 1997), καθώς και σε άλλες που επικεντρώνονται στις διαφορές ανακλαστικότητας μεταξύ του ίδιου είδους σε διαφορετικές θέσεις (Roberts et al., 1997; Homolová et al., 2013; Ustin & Gamon, 2010; Sánchez-Azofeifa et al., 2009).

Όταν εξετάζεται μια μεγάλη περιοχή είναι πολύ πιθανόν να χρησιμοποιούνται πολλαπλές σκηνές για την κάλυψη της συνολικής περιοχής μελέτης και ενδεχομένως οι σκηνές αυτές να ληφθούν για διαφορετικές χρονικές στιγμές. Σε αυτή την περίπτωση οι γειτονικές εικόνες θα διαφέρουν (Hall et al., 1991) και η εφαρμογή ταξινόμησης μπορεί να θεωρηθεί ως μια εργασία σε διαφορετικούς τομείς (Liu & Li, 2014).

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι παραλλαγές τόσο ατμοσφαιρικές όσο και της γήινης επιφάνειας, καθώς και της προσπίπτουσας ηλιακής γωνίας, καθώς και άλλοι παράγοντες, οι επιπτώσεις των οποίων δεν μπορούν να προβλεφθούν με βεβαιότητα, προκαλούν διαφορές φασματικές και υψής μεταξύ διαφορετικών σκηνών, ακόμη και αν προέρχονται από τον ίδιο αισθητήρα (Wicks et al., 2002; Benz et al., 2004). Επιπλέον, οι φασματικές κατανομές ενός χαρακτηριστικού ίδιου τύπου κάλυψης γης μπορεί να αλλάζει σε διαφορετικές σκηνές και να οφείλεται στην αστάθεια που χαρακτηρίζει τα αντικείμενα χρήσεων γης (Liu & Li, 2014).

Το βασικό ζήτημα στην ανάπτυξη καταλόγων τάξεων που να αφορούν σε μια μεγάλη έκταση είναι να διασφαλιστεί η συνοχή της τάξης σε ολόκληρη την περιοχή (Franklin & Wulder, 2002). Κατά τους Fassnacht κ.α. (2016), όταν εξετάζεται μια μεγάλη γεωγραφική έκταση, ένα μέρος από την πρόσθετη μεταβλητότητα που υπεισέρχεται στα δεδομένα θα μπορούσε να εξηγηθεί με την ενσωμάτωση τόπο κλιματικών μεταβλητών στην προσέγγιση ταξινόμησης. Όμως έπειτα από την βιβλιογραφική τους ανασκόπηση οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι προκύπτουν

αντικρουόμενα αποτελέσματα κατά την ενσωμάτωση αυτού του είδους των δεδομένων. Παραθέτουν δύο μελέτες: Οι Engler κ.α. (2013) ανέφεραν περιορισμένο όφελος των τόπο-κλιματικών πληροφοριών στη βελτίωση της ταξινόμησης βάσει μιας περιοχής μελέτης 200 km², ενώ οι Zimmermann κ.α. (2007) ανέφεραν ότι οι τόπο-κλιματολογικές μεταβλητές αποτελούν τους πιο σημαντικούς προγνωστικούς παράγοντες για τη διαμόρφωση της κατανομής των ειδών (περιοχή μελέτης με 60.000 km²) (Engler et al., 2013; Zimmermann et al., 2007). Βέβαια αυτές οι αντιθέσεις στα αποτελέσματα μπορούν να εξηγηθούν από τις διαφορετικές κλίμακες των δύο μελετών.

2.5.8 Επιδράσεις τοπογραφίας και μη - ισότροπης ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η τοπογραφική επίδραση ορίζεται ως η μεταβολή της ακτινοβολίας λόγω κεκλιμένων επιφανειών σε σύγκριση με την ακτινοβολία μίας οριζόντιας επιφάνειας, ως συνάρτηση του προσανατολισμού της επιφάνειας σε σχέση με την πηγή φωτός και τη θέση του αισθητήρα (Franklin & Wulder, 2002). Ωστόσο, η Φυσική που εμπλέκεται στις μεταβιβάσεις της ακτινοβολίας σε ορεινές περιοχές, όπου οι τοπογραφικές επιδράσεις μπορεί να είναι σημαντικές είναι ελλιπώς κατανοητή (Smith et al., 1980).

Η πολυπλοκότητα των ατμοσφαιρικών και τοπογραφικών επιδράσεων αυξάνεται από τη μη Λαμπερτιανή (non Lambertian) συμπεριφορά ανακλαστικότητας πολλών επιφανειών ανάλογα με την προβολή και τη γεωμετρία φωτισμού (Burgess et al., 1995; Schaepman-Strub et al., 2006). Η συνάρτηση κατανομής της ανάκλασης BRDF (Bi-directional Reflectance Distribution Function) (Nicodemus et al., 1977; Schaepman-Strub et al., 2006), περιγράφει το φαινόμενο της μη ισότροπης ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (non-lambertian surface), δηλαδή το κλάσμα της ακτινοβολίας που έρχεται από μια συγκεκριμένη κατεύθυνση και αντανακλάται σε κάποια άλλη κατεύθυνση ως αποτέλεσμα του ύψους του στόχου και της γήινης επιφάνειας.

Είναι σαφές ότι οι συνέπειες της τοπογραφίας και οι ιδιότητες της αμφίδρομης ανάκλασης της φυτοκάλυψης είναι άρρηκτα συνδεδεμένα (Franklin & Wulder, 2002) και περιοχές της γήινης επιφάνειας με έντονο ανάγλυφο (απότομες κλίσεις) θα εμφανίζουν σε μεγάλο βαθμό το φαινόμενο της ανισότροπης συμπεριφοράς ανάκλασης που προκαλεί μεταβολή στο φασματικό σήμα που παρατηρείται από τους παθητικούς αισθητήρες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αλλαγή στις γεωμετρικές φωτισμού μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια καταγραφής από αισθητήρες με διαφορετικές κατευθύνσεις πτήσης ή από επαναλαμβανόμενες δορυφορικές λήψεις με κατευθυντικά συστήματα (Wulder et al., 2008; Pacifici et al., 2014; Fassnacht et al., 2016). Συγκριτικά μεγάλες γωνίες προβολής (κοντά στις 30°) βρέθηκαν να είναι

προβληματικές κατά την ταξινόμηση των ειδών δένδρων με την χρήση δεδομένων Worldview-2 (Pu et al., 2014), ενώ μικρή απόκλιση από το ναδίρ υποθέτει μείωση επιρροής του εδάφους (Gong et al., 1997).

Έχουν υπάρξει προσπάθειες για την παροχή τοπογραφικών διορθώσεων που οι περισσότερες χρησιμοποιούν ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους για τον υπολογισμό της διαφοράς φωτισμού μεταξύ επικλινών και επίπεδων επιφανειών (Franklin & Wulder, 2002). Αυτές οι τεχνικές συνήθως υποθέτουν ότι τα αποτελέσματα φωτισμού εξαρτώνται κυρίως από το συνημίτονο της γωνίας της ηλιακής πρόσπτωσης του κάθε εικονοστοιχείου (δηλ. τη γωνία μεταξύ της κανονικής επιφάνειας και της ηλιακής δέσμης) αλλά η υπόθεση αυτή δεν ισχύει για όλες τις καλύψεις γης, και ειδικότερα για τις περισσότερες δασικές επιφάνειες (Franklin & Wulder, 2002).

Σε γενικές γραμμές, οι επίπεδες επιφάνειες υποτίθεται ότι είναι εξίσου λαμπρές από όλες τις οπτικές κατευθύνσεις, όμως δεδομένου ότι οι επιφάνειες βλάστησης είναι «τραχιές», είναι σαφές ότι θα υπάρξει ισχυρή ανάκλαση σε διάφορες κατευθύνσεις, καθώς τα δάση ακόμη και σε ένα μη έντονο ανάγλυφο είναι «φωτεινότερα», όταν παρατηρούνται από ορισμένες θέσεις (Franklin & Wulder, 2002). Πιο συγκεκριμένα, τα δάση αποτελούνται από τα δέντρα που είναι γεω τροπικά (Gu & Gillespie, 1998), και η κύρια διαφορά φωτεινότητας μεταξύ των δέντρων που αναπτύσσονται σε πλαγιές και σε επίπεδες επιφάνειες είναι το ποσό της ηλιόλουστης κόμης και των σκιών που είναι ορατά στον αισθητήρα, παρά οι διαφορές στο φωτισμό λόγω των υποκείμενων πλαγιών (Franklin & Wulder, 2002).

Έτσι έχει προταθεί ότι θα πρέπει να συζητείται η «επίδραση του δέντρου», που βασίζεται στην ιδέα ότι η συγκεκριμένη δομή θόλου και περιστατικό φωτισμού επηρεάζουν την παρατηρούμενη ανακλαστικότητα σε όλες τις οπτικές γεωμετρίες, περιγράφοντας τη διακύμανση που δημιουργείται από την κάθε μεμονωμένη δομή δέντρου, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα που προκαλούνται από την ατμοσφαιρική επίδραση και τις επιδράσεις ανισορροπίας που σχετίζονται με τα είδη (Fassnacht et al., 2016).

Προσεγγίσεις που λαμβάνουν υπόψη την οπτική γεωμετρία φωτισμού είναι ο διαχωρισμός των κορυφών σε ηλιοφώτιστα και σκιερά εικονοστοιχεία, το «μασκάρισμα» με το δείκτη NDVI και άλλες στατιστικές προσεγγίσεις που εφαρμόζονται στις τιμές των εικονοστοιχείων κορυφών δένδρων, προκειμένου να μειωθεί η εντός των ειδών μεταβλητότητα των φασματικών υπογραφών (Fassnacht et al., 2016). Ωστόσο, ένας αριθμός εργασιών αναφέρει ότι η χρήση μόνο των ηλιοφώτιστων εικονοστοιχείων των κορυφών μπορεί να δώσει σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα ταξινόμησης, ενώ άλλες αναφέρουν ότι οι ακρίβειες δεν βελτιώθηκαν (Fassnacht et al., 2016).

Από την άλλη πλευρά, οι επιδράσεις της τοπογραφίας και των ιδιοτήτων της αμφίδρομης ανάκλασης των δένδρων μπορούν να θεωρηθούν και ως μια πρόσθετη πηγή πληροφοριών στην ταξινόμηση δασικών τύπων, με την εφαρμογή εικόνων από πολλές γωνίες θέασης (Fassnacht & Koch, 2012).

2.5.9 Μέθοδοι για την ταξινόμηση των ειδών

2.5.9.1 Φαινολογία

Ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό για την διάκριση των ειδών είναι η φαινολογία (που έχει συζητηθεί 2.3.8.1). Έχει προταθεί ότι είναι προτιμότερο ο χρόνος απόκτησης των δεδομένων τηλεπισκόπησης να εναρμονίζεται με το φαινολογικό κύκλο των υπό έρευνα ειδών (Gärtner et al., 2016), και όχι με την ευρεία φαινολογία του δάσους από τη στιγμή που η φαινολογία ποικίλλει ανάλογα με τα είδη (Sayn-Wittgenstein, 1978; Lechowicz, 1995; Jia et al., 2014; Chuine & Beaubien, 2001; Lu & Weng, 2007).

Όσον αφορά στη συχνότητα και στο ιδανικό χρονικό σημείο απόκτησης των εικόνων προκειμένου να περιλαμβάνονται οι πληροφορίες που σχετίζονται με τη φαινολογία προτείνεται ο συνδυασμός δύο εικόνων, μία κατά τη διάρκεια της άνοιξης (πρασίνισμα) και μία κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (γήρανση) (Mickelson et al., 1998; Hill et al., 2010), ενώ δε βρέθηκε να είναι υψηλής αξίας η προσθήκη περισσότερων εικόνων (Fassnacht et al., 2016). Περαιτέρω συνιστάται να αποφεύγονται εικόνες στα τέλη φθινοπώρου που τα περισσότερα από τα φύλλα έχουν πέσει (Wolter et al., 1995) και οι επιρροές από το υπόβαθρο θα αυξηθούν με αποτέλεσμα ο διαχωρισμός (π.χ. πλατύφυλλων) ειδών να γίνει πιο προβληματικός (Cho et al., 2012).

Από την άλλη πλευρά, η φαινολογία επηρεάζεται επίσης από παράγοντες όπως τη φωτοπερίοδο, την υγρασία και τη θερμοκρασία του εδάφους και του αέρα, και το φωτισμό από τον ήλιο (Sayn-Wittgenstein, 1978) (σελ.69). Έτσι όταν στοχεύονται περιοχές με μεγαλύτερες οικολογικές διαβαθμίσεις η ταξινόμηση με την αξιολόγηση των φαινολογικών πληροφοριών των ειδών μπορεί να γίνει δύσκολη (Fassnacht et al., 2016). Οι Wolter κ.α. (1995) ανέφεραν ότι η ρυθμιστική επίδραση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει διαβαθμίσεις γήρανσης στην περιοχή μελέτης δυσχεραίνοντας περαιτέρω την ταξινόμηση.

2.5.9.2 Φασματικά παράγωγα των οπτικών παθητικών δεδομένων

Ο εγγενής πολυδιάστατος χαρακτήρας των πολυφασματικών δεδομένων πολλές φορές αυξάνεται επιπλέον με την προσθήκη παραγώγων από τα αρχικά δεδομένα (Fassnacht et al.,

2016). Οι πιο συνήθεις επιπλέον μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση της κάλυψης γης αποτελούν φασματικά παράγωγα των αρχικών δεδομένων.

Για παράδειγμα, η ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal component analysis - PCA) παραδοσιακά χρησιμοποιείται στην Τηλεπισκόπηση ως απλοποίηση των δεδομένων και τεχνική αποσυσχέτισης, παρόλο που οι προκύπτουσες εικόνες είναι δύσκολο να ερμηνευθούν (Kohl et al., 2006). Επίσης ο μετασχηματισμός Tasseled Cap (TCT) έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς με δεδομένα υψηλής ανάλυσης για τη χαρτογράφηση δασών και κάλυψης γης (Kohl et al., 2006; Khatami et al., 2016). Άλλα παραδείγματα είναι φίλτρα χρωματικότητας και φασματικά παράγωγα (Khatami et al., 2016). Σε γενικές γραμμές, η συμπερίληψη πρόσθετων ερμηνευτικών μεταβλητών που να μπορούν να διαφοροποιήσουν τις κατηγορίες στόχο είναι μια τεχνική πολλά υποσχόμενη για μια επιτυχή ταξινόμηση (Khatami et al., 2016). Το κίνητρο για την εφαρμογή φασματικών παράγωγων βρίσκεται στο γεγονός ότι μπορούν να μειώσουν τις επιδράσεις του εδαφικού φόντου και άλλο θόρυβο και να ενισχύσουν τα χαρακτηριστικά απορρόφησης της χρωστικής (Fassnacht et al., 2016; Khatami et al., 2016).

Στην ταξινόμηση εικόνων τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται συχνά φασματικοί δείκτες (Dash et al., 2007; Dymond et al., 2002; Mountrakis et al., 2009). Οι δείκτες υπολογίζονται συνήθως με αριθμητικούς συνδυασμούς διαφορετικών φασματικών ζωνών, με την βασική αρχή ότι ο κατάλληλος συνδυασμός ζωνών μπορεί να ενισχύσει τη διάκριση των κατηγοριών στόχο (Khatami et al., 2016). Ειδικά στην ταξινόμηση της βλάστησης έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς διάφοροι δείκτες βλάστησης (Vegetation indices - VIs) π.χ. (Turner et al., 2001; Chen et al., 2002; Garrigues et al., 2006a; Tao et al., 2009; Asam et al., 2013). Οι δείκτες αυτοί είναι απλοί στην κατανόηση και εφαρμογή τους, εύκολο να υπολογιστούν γρήγορα και είναι χρήσιμοι για την παρακολούθηση των χρονικών/εποχικών χαρακτηριστικών (Wang et al., 2010).

Οι δείκτες βλάστησης σύμφωνα με τον Jensen (2007) είναι «η χωρίς διαστάσεις ραδιομετρική συγκριτική αφθονία και δραστηριότητα της πράσινης βλάστησης, που περιλαμβάνει τη μέτρηση φυλλικής επιφάνειας (LAI), το ποσοστό πράσινης κάλυψης, το περιεχόμενο της χλωροφύλλης, την πράσινη βιομάζα, και την απορρόφηση της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (absorbed photosynthetically active radiation - APAR)». Ο Jensen, τονίζει το όφελος των δεικτών βλάστησης για τη μεγιστοποίηση της ευαισθησίας σε βιοφυσικές παραμέτρους, την εξομάλυνση ή μοντελοποίηση εξωτερικών επιδράσεων, την εξομάλυνση των εσωτερικών επιδράσεων, και την υποστήριξη της επικύρωσης και ελέγχου της ποιότητας της ταξινόμησης (Jensen, 2007). Οι δείκτες βλάστησης (καθώς βασίζονται στο λόγο δύο καναλιών) ελαχιστοποιούν την επίδραση της σκίασης και προσεγγίζουν το albedo.

2.5.9.2.1 Ο δείκτης NDVI

Ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης, που προέρχεται από δορυφορικές μετρήσεις και συνδέεται στενά με τη δραστηριότητα της βλάστησης, είναι γνωστός ως ο Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) (Carlson & Ripley, 1997; Tucker et al., 2005; Xie et al., 2008; Wang et al., 2010; Khatami et al., 2016).

Η αρχή της εφαρμογής του NDVI στη χαρτογράφηση της βλάστησης είναι ότι η βλάστηση εμφανίζει ιδιαίτερη αντανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο και μεγάλο ποσό απορρόφησης στο ορατό κόκκινο, και κατά συνέπεια η αντίθεση μεταξύ αυτών των καναλιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας δείκτης της κατάστασης της βλάστησης. Όπως οι Xie κ.α. (2008) επισημαίνουν, «ο NDVI είναι μια βιοφυσική παράμετρος που συσχετίζεται με τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα της βλάστησης».

Έτσι ο δείκτης μπορεί να εφαρμοστεί για την οριοθέτηση της κάλυψης γης και της βλάστησης (Khatami et al., 2016), π.χ.(DeFries et al., 1995; Cihlar et al., 1996; Roberts et al., 1997; Hansen et al., 2000; Gould, 2000; Franklin & Wulder, 2002; Liu et al., 2002a; Guerschman et al., 2003; Wang & Tenhunen, 2004; Homer et al., 2004; Geerken et al., 2005; Malenovsky et al., 2007; Schuster et al., 2012; Sousa et al., 2012; Tewes et al., 2015).

Μεγάλος όγκος της βιβλιογραφίας μπορεί να βρεθεί επίσης για την χρησιμότητα του δείκτη στην ταξινόμηση των καλλιεργειών π.χ. (Simonneaux et al., 2008; Vaiphasa et al., 2011; Peña-Barragán et al., 2011; Fritsch et al., 2012; Yin et al., 2012; Brown et al., 2013; Puletti et al., 2014; Ustuner et al., 2014; Conrad et al., 2014; Shang et al., 2014; Imukova et al., 2015; Shang et al., 2015; Kross et al., 2015).

Ο δείκτης NDVI χρησιμοποιείται επίσης για την ταξινόμηση των δασικών τύπων και ειδών δένδρων (DeFries et al., 2000; Xiao et al., 2002; Carleer & Wolff, 2004; Mallinis et al., 2008; Gärtner et al., 2016; Ørka & Hauglin, 2016), ενώ η χρήση του έχει αποδειχτεί πολύτιμη στην ταξινόμηση φυλλοβόλων δασών (Dymond et al., 2002; de Carvalho et al., 2004; Hernández-Stefanoni et al., 2011; Krofcheck et al., 2014).

Στον τομέα των δασικών πυρκαγιών ο δείκτης χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των μοντέλων καύσιμης ύλης (Keane et al., 2000; Riaño et al., 2002; Van Wagtendonk & Root, 2003; Poulos et al., 2007) για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς (Maselli et al., 2003; Leblon, 2005; Alloza et al., 2006; Lentile et al., 2006; Leblon et al., 2012), καθώς και για την ανίχνευση πυρκαγιών και καμένων περιοχών (Miettinen et al., 2013).

Επίσης έχει εξεταστεί από πολλούς ερευνητές η χρήση του στην περιβαλλοντική και βιολογική διατήρηση (Kerr & Ostrovsky, 2003; Duro et al., 2007; Gillespie et al., 2008; Heini et

al., 2009), και έχει εφαρμοστεί για την μοντελοποίηση του δασικού οικοσυστήματος και των βιοφυσικών και βιοχημικών μεταβλητών (Gaston et al., 1997; Asner, 1998; Wulder, 1998; Franklin, 2001; Kerr & Ostrovsky, 2003; Clark et al., 2004; Gibbes et al., 2010).

Εκτός από την παροχή μιας ένδειξης του «πρασινίσματος» της βλάστησης (Wang & Tenhunen, 2004) ο NDVI είναι επίσης σε θέση να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις δυναμικές αλλαγές συγκεκριμένων ειδών βλάστησης με τη χρήση εικόνων πολλαπλών χρονικών λήψεων (Xie et al., 2008), αντιστακώνοντας τις περιοδικές δυναμικές αλλαγές των ομάδων βλάστησης (Geerken et al., 2005).

Οι χρονοσειρές NDVI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άντληση μετρήσεων φαινολογίας ορίζοντας γεγονότα στην ανάπτυξη της βλάστησης (Reed et al., 1994; Xiao et al., 2002; White et al., 2009; Gu et al., 2010; Brown et al., 2013; Jia et al., 2014; Bohovic et al., 2016). Αλλά χρονοσειρές NDVI μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την ανίχνευση αλλαγών (Townshend et al., 1992; Yang & Lo, 2002; Lu et al., 2004b; Shalaby & Tateishi, 2007; Hussain et al., 2013).

2.5.9.3 Επιλογή δεδομένων αναφοράς

Όπως οι Gartzia κ.α. (2013) τονίζουν, τα δεδομένα εκπαίδευσης αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας ταξινόμησης, γιατί στην ουσία υπαγορεύουν την πληροφορία που ο αλγόριθμος θα χρησιμοποιήσει για να χαρακτηρίσει τη βλάστηση (Gartzia et al., 2013). Υπάρχουν πολλές πηγές αβεβαιότητας στο στάδιο της επιλογής εκπαιδευτικών πεδίων, όπως οι ορισμοί των τάξεων, η υποκειμενικότητα της συλλογής δεδομένων πεδίου (ή επίγειας πραγματικότητας) και το πρόβλημα των μικτών εικονοστοιχείων (Rocchini & Ricotta, 2007).

Σύμφωνα με τους Fassnacht κ.α. (2016), η επιλογή των δεδομένων αναφοράς ή κατάρτισης και επικύρωσης σε μια πειραματική έρευνα πρέπει να πληροί ορισμένα κριτήρια: (1) οι τάξεις που λαμβάνονται υπόψη θα πρέπει να αντιστοιχίζονται με το ερευνητικό ερώτημα (2) τα δεδομένα θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά για την υπό έρευνα περιοχή (3) η χωρική κλίμακα των δεδομένων αναφοράς θα πρέπει να αντιστοιχεί με το υπό έρευνα πρόβλημα (4) τα δεδομένα θα πρέπει να ακολουθούν τις βασικές υποθέσεις της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας (π.χ. ελάχιστος αριθμός δειγμάτων ανά τάξη, ισορροπημένος αριθμός δειγμάτων σε όλες τις κατηγορίες, κλπ.) (5) τα σφάλματα παρατήρησης θα πρέπει να είναι γνωστά καθώς και οι επιπτώσεις τους στα αποτελέσματα θα πρέπει να συζητηθούν (6) τα δείγματα θα πρέπει να είναι χωρικά ανεξάρτητα (Fassnacht et al., 2016).

(1) Αντιστοίχιση των τάξεων της ταξινόμησης με το ερευνητικό ερώτημα

Το κριτήριο (1) είναι συχνά απλό να επιτευχθεί όταν ο στόχος είναι η ανάπτυξη μιας προσέγγισης για την ταξινόμηση κύριων ειδών χωρίς καμία περαιτέρω έμφαση σε μια

οικολογική (π.χ., είδη που χρησιμεύουν ως ενδιαίτημα για απειλούμενα είδη πουλιών) ή οικονομική (είδη υψηλής αξίας) προσέγγιση (Magdon & Kleinn, 2013; Fassnacht et al., 2016).

Η προσπάθεια όμως να διαιρεθεί μια συνεχής επιφάνεια φασματικής ανάκλασης ιδιοτήτων του οικοσυστήματος, όπως η κάλυψη φυλλοστέγης, η βιομάζα, η πυκνότητα και η βιοποικιλότητα για τη δημιουργία ενός χάρτη είναι μια διαδικασία γενίκευσης που μπορεί να οδηγήσει στην παρερμηνεία των οικολογικών προτύπων και των διαδικασιών τους. Κατά την ταξινόμηση, αυτές οι ιδιότητες υποτίθεται ότι είναι εσωτερικά ομοιογενείς με ισχυρές διαφορές μόνο στα όρια, κάτι το οποίο σπάνια συμβαίνει καθώς υπάρχουν φαινομενικά απλά σε γενικές γραμμές φαινόμενα («ιδιότητες του οικοσυστήματος») που μπορεί να εμφανίζουν ένα εκπληκτικά περίπλοκο μοτίβο (Rocchini et al., 2013).

Η έννοια των κατηγοριών κάλυψης γης είναι εγγενώς ασαφής, και αυτή η ασάφεια εξακολουθεί να υπάρχει, ακόμη και όταν λαμβάνονται μέτρα για να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι κατηγορίες κάλυψης γης (Bennett, 2001) και ιδιαίτερα της δασικής γης που αποτελεί ένα μεγάλο ζήτημα που έχει συζητηθεί εδώ και δεκαετίες (Magdon & Kleinn, 2013). Η ιεραρχική θεώρηση μπορεί να οδηγήσει σε αβεβαιότητες κατά τη χαρτογράφηση των οικοσυστημάτων και των σχετικών περιβαλλοντικών φαινομένων. Οι αβεβαιότητες προκύπτουν ως (i) ασάφεια, δηλαδή έλλειψη ευκρίνειας σχετικών διακρίσεων, και (ii) αμφισημία, που προκύπτει από αντικρουόμενες διακρίσεις (Rocchini & Ricotta, 2007).

Οι Rapp κ.α. (2005) επισημαίνουν τα ακόλουθα σημεία κατά την επιλογή ενός συστήματος ταξινόμησης της βλάστησης (i) βελτιστοποίηση των ορισμών κατηγορίας προκειμένου να μειωθεί η ασάφεια, (ii) προσθήκη νέων κατηγοριών για την επαρκέστερη περιγραφή της πολυπλοκότητας τοπικών μοντέλων βλάστησης και (iii) χρήση ενός υψηλότερου επιπέδου ταξινόμησης (Rapp et al., 2005).

Επιπλέον, το επιλεγμένο σχήμα ταξινόμησης θα πρέπει να μπορεί να «παράγει» διακριτές φασματικές υπογραφές έτσι ώστε να εφαρμοστεί μια προσέγγιση ταξινόμησης (Xie et al., 2008). Ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις αυτό ίσως να μην είναι εφικτό, ειδικά όταν μία περιοχή μελέτης καλύπτεται από εκβλαστήσεις σύνθετων μορφών ή διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης, που οδηγούν σε παρόμοιες φασματικές αποκρίσεις μεταξύ διαφόρων ομάδων βλάστησης ή παράγουν φασματικές παραλλαγές για την ίδια ομάδα βλάστησης (Sha et al., 2008). Οι Xie κ.α. (2008) υποστηρίζουν ότι μια λύση είναι να υιοθετήσουν πιο προηγμένες μέθοδοι ταξινόμησης εικόνας, όπως η ανάλυση υπό-εικονοστοιχείο (Xie et al., 2008).

(2) Αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων

Το κριτήριο (2) που αφορά στην αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων αναφοράς γίνεται εξαιρετικά δύσκολη εργασία, όταν το τοπίο της περιοχής μελέτης είναι πολύπλοκο και

ανομοιογενές. Σε γενικές γραμμές, η θεματική τάξη θα πρέπει να αποτελεί ένα ομοιογενές χωρικά σύνολο από εικονοστοιχεία των οποίων οι φασματικές αποκρίσεις να διαφέρουν ελάχιστα. Έτσι η επιλογή των δεδομένων αναφοράς συνήθως περιορίζεται σε κριτήρια όπως οπτική ικανότητα ερμηνείας των δεδομένων τηλεπισκόπησης (αναδυόμενοι θόλοι δέντρων, κυρίαρχα είδη, μεγάλα και μεμονωμένα δένδρα κλπ.), ευκολία προσβασιμότητας όταν χρησιμοποιούνται δεδομένα επιτόπιας έρευνας, επιλογή ομοιογενών περιβαλλόντων (αμιγείς συστάδες και ελαχιστοποίηση του σήματος υποβάθρου, πυκνές συστάδες ή κορυφές) (Fassnacht et al., 2016).

Δεν είναι απαραίτητο όμως ότι η φασματική υπογραφή θα διαφέρει πάντα μόνο μεταξύ διαφορετικών ειδών, αλλά μπορεί να διαφέρει και λόγω εξωγενών παραγόντων (σκίαση από τον ήλιο, επίδραση τοπογραφίας). Κατά συνέπεια είναι πιθανό σε πολλές μελέτες τα επιλεγμένα δεδομένα αναφοράς να μην είναι πλήρως αντιπροσωπευτικά για το σύνολο του πληθυσμού των ειδών στην περιοχή μελέτης και οι αναφερόμενες ακρίβειες να είναι αισιόδοξες (Fassnacht et al., 2016). Οι Leckie κ.α. (2005) προκειμένου να αυξηθεί η αντιπροσωπευτικότητα του συνόλου των δεδομένων τους, δημιούργησαν εσωτερικές υποκατηγορίες ανά είδος (π.χ., ερυθρελάτη σε σκιερές και ηλιόλουστες πλαγιές) (Leckie et al., 2005).

Ένα άλλο ζήτημα που ανακύπτει σχετικά με την αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων αναφοράς είναι ότι τα δείγματα αναφοράς συχνά περιλαμβάνουν μεροληψία απέναντι στα κυρίαρχα είδη, και ένας βασικός λόγος γι' αυτό είναι ότι τα περισσότερα είδη υπό ορόφου δεν λαμβάνονται ακόμη υπόψη στις προσεγγίσεις τηλεπισκόπησης (Fassnacht et al., 2016), παρόλο που υπάρχουν κάποιες λίγες προσεγγίσεις ταξινόμησης με την χρήση δεδομένων LiDAR (Korpela et al., 2012, 2008) που μάλλον όμως επιβεβαιώνουν ότι πρόκειται για ένα πολύ δύσκολο έργο.

Ο Stehman (2009) σημειώνει ότι ένα από τα κρισιμότερα κριτήρια μεταξύ άλλων για τη δημιουργία του σχήματος δειγματοληψίας δεδομένων αναφοράς είναι αυτά να κατανέμονται ομοιόμορφα στο χώρο, προκειμένου να εκπροσωπηθεί το σύνολο της περιοχής μελέτης (Stehman, 2009).

(3) Αντιστοίχιση της χωρικής κλίμακας των δεδομένων αναφοράς με το υπό έρευνα πρόβλημα

Η χωρική κλίμακα των δεδομένων αναφοράς θα πρέπει να αντιστοιχεί με το μέγεθος των εικονοστοιχείων των χρησιμοποιούμενων δεδομένων για την ταξινόμηση, που με την σειρά του αντιστοιχεί σε διάφορα επίπεδα της κλίμακας ταξινόμησης ανάλογα με τη χωρική ανάλυση του αισθητήρα.

Μια μεγάλη πηγή αβεβαιότητας που σχετίζεται με την χρήση των εκπαιδευτικών πεδίων σε μια ταξινόμηση, είναι ότι αυτά συνήθως προέρχονται από έρευνες πεδίου που βασίζονται σε δειγματοληψία ειδών. Η κλίμακα μεταξύ της δειγματοληψίας πεδίου από την επιτόπια έρευνα και της χωρικής ανάλυσης των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται πολλές φορές δεν έρχεται σε συμφωνία, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις τα δεδομένα πεδίου δεν συλλέγονται με προσανατολισμό την ενσωμάτωσή τους στα τηλεπισκοπικά δεδομένα (Reinke & Jones, 2006). Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται εικόνες χαμηλής χωρικής ανάλυσης, τα εκπαιδευτικά πεδία θα περιλαμβάνουν εικονοστοιχεία με μίξη κατηγοριών με αποτέλεσμα μη αντιστοίχιση τους με δεδομένα πεδίου εάν αυτά έχουν ληφθεί με βάση άλλη κλίμακα αναφοράς. Από την άλλη πλευρά, σε εικόνες υψηλής και πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης υπάρχει αύξηση της μεταβλητότητας των υπογραφών των εικονοστοιχείων που καλύπτουν το ίδιο φυτό ή είδος, με αποτέλεσμα να υπάρχει δυσκολία στην αντιστοίχιση των εκπαιδευτικών πεδίων σε μια κατηγορία χρήσης/κάλυψης γης.

Η κλίμακα και οι επιλεγμένες μονάδες παρατήρησης συνήθως συμφωνούν με τη χωρική ανάλυση των εφαρμοζόμενων δεδομένων, όταν η δειγματοληψία δεδομένων κατάρτισης και επικύρωσης για μια επιβλεπόμενη ταξινόμηση πραγματοποιείται από την ίδια δεξαμενή δεδομένων που χρησιμοποιούνται ως εισροές ταξινόμησης (Fassnacht et al., 2016).

Η δειγματοληπτική μονάδα μπορεί να είναι : 1) εικονοστοιχείο 2) ομάδα εικονοστοιχείων ή 3) αντικείμενο (Congalton & Green, 2009; Chen & Stow, 2002). Πολλές φορές χρησιμοποιούνται ως δείγματα εκπαίδευσης μεμονωμένα εικονοστοιχεία προκειμένου να αποφευχθούν οι συνέπειες της χωρικής αυτοσυσχέτισης (Wang et al., 2016). Ωστόσο, έχει βρεθεί ότι η χρήση δειγματοληπτικής μονάδας εικονοστοιχείου δεν εγγυάται μεγαλύτερη ακρίβεια ταξινόμησης (Wang et al., 2016), και επιπλέον μπορεί να υπάρξει το μειονέκτημα μείωσης αναπαράστασης της χωρικής πληροφορίας για χωρικά ετερογενείς κατηγορίες (Chen & Stow, 2002). Τέλος όσο αυξάνεται η περιοχή κάθε μονάδας του δείγματος, μειώνεται και το σφάλμα θέσης (Wang et al., 2016).

(4) Μέγεθος του δείγματος

Τα δείγματα εκπαίδευσης θα πρέπει να είναι σε επαρκή αριθμό και αντιπροσωπευτικά για όλες τις κατηγορίες που απαιτούνται (Mather, 2011). Οι Foody κ.α.(2006) αναφέρουν ότι το βέλτιστο μέγεθος του δείγματος των δεδομένων εκπαίδευσης είναι το ελάχιστο μέγεθος δείγματος που απαιτείται για να επιτευχθεί μια ορισμένη ακρίβεια ταξινόμησης (Foody et al., 2006). Οι Chen και Stow (2002) μετά τη διεξαγωγή πειραμάτων με τη χρήση εικόνων διαφορετικών επιπέδων χωρικής ανάλυσης (2 m, 4 m, 8 m, 12 m, και 16 m), διαπίστωσαν μια θετική σχέση μεταξύ του απαιτούμενου αριθμού δειγμάτων εκπαίδευσης και χωρικής ετερογένειας (Chen & Stow, 2002).

Ο αριθμός των δειγμάτων ανά είδος σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι πολύ χαμηλός καθώς πολλές φορές ιδιαίτερα με την παρουσία ενός μεγάλου αριθμού μεταβλητών πρόβλεψης είναι αδύνατο να βρεθεί ένας επαρκής αριθμός δεδομένων αναφοράς ανά είδος (Robinove, 1981; Jansen & Gregorio, 2002; Fassnacht et al., 2016). Ένας τρόπος αντιμετώπισης είναι τα είδη με πολύ λίγα δείγματα να αποκλείονταν από την ταξινόμηση (Fassnacht et al., 2016).

(5) Σφάλματα παρατήρησης και οι επιπτώσεις τους στα αποτελέσματα

Όπως οι Fassnacht κ.α. (2016) τονίζουν, παρά το γεγονός ότι το κριτήριο (5) φαίνεται να είναι ασήμαντο, μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην δασική Τηλεπισκόπηση. Στις περισσότερες μελέτες, τα δείγματα που συγκεντρώνονται από τις έρευνες πεδίου ή από πληροφορίες απογραφής δασών συνήθως συνδυάζονται με επιπλέον δείγματα που λαμβάνονται από φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων (Immitzer et al., 2012). Οι Heller κ.α. (1964) θεωρούν ότι ένας φωτοερμηνευτής μπορεί να προσδιορίσει τα κύρια είδη δέντρων με υψηλή επιτυχία (Heller et al., 1964), ωστόσο πάντα αναμένεται ένα ορισμένο επίπεδο σφάλματος λόγω του ανθρώπινου λάθους (Nath et al., 2014; Fassnacht et al., 2016) το οποίο επηρεάζεται και από την κλίμακα των εικόνων (Fassnacht et al., 2016).

Περαιτέρω πηγές σφάλματος περιλαμβάνουν λάθος ταυτοποίηση των ειδών στο πεδίο, κακή αντιστοίχιση των δεδομένων πεδίου με τα δεδομένα τηλεπισκόπησης, επικαλυπτόμενες κορυφές των δέντρων και πιθανή χρονική υστέρηση μεταξύ των ερευνών πεδίου και απόκτησης της εικόνας (Fassnacht et al., 2016).

Ο προσδιορισμός ομοιογενών περιοχών με ένα μόνο είδος που να καλύπτει μια έκταση τουλάχιστον 3×3 εικονοστοιχεία (για να εξασφαλιστεί τουλάχιστον ένα καθαρό κεντρικό εικονοστοιχείο) μπορεί να είναι δυσχερής ή ακόμη και αδύνατος ανάλογα με τη χωρική ανάλυση του αισθητήρα και το βαθμό μίξης ειδών στο εξεταζόμενο δάσος (Fassnacht et al., 2016). Μια πιθανή λύση είναι να ληφθεί υπόψη η μη διακριτή φύση των δασών με την εφαρμογή ασαφών στρατηγικών (Mickelson et al., 1998; Xie et al., 2008; Fassnacht et al., 2016) (όπως συζητείται περαιτέρω στην ενότητα 2.5.9.4).

(6) Δείγματα και χωρική αυτοσυσχέτιση

Το κριτήριο (6) αναφέρεται στα προβλήματα που προκύπτουν από την χωρική αυτοσυσχέτιση των δεδομένων αναφοράς. Μετά τη γενική παραδοχή ότι τα παρακείμενα εικονοστοιχεία ή αντικείμενα μιας τάξης θα είναι πιο όμοια μεταξύ τους, είναι πιθανό ότι τα μέτρα απόδοσης της ταξινόμησης θα είναι προκατειλημμένα θετικά εάν είναι συγκεντρωμένα σε μια μικρή περιοχή (π.χ., μια ενιαία συστάδα) πολλά δείγματα μιας κατηγορίας (π.χ. δέντρα) (Fassnacht et al., 2016). Ως εκ τούτου, τα προβλήματα χωρικής αυτοσυσχέτισης μπορούν να μειωθούν

εάν τα δείγματα της κάθε κατηγορίας στόχου είναι καλά κατανεμημένα σε όλη την έκταση της μελέτης και διατηρούν μια ορισμένη ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους (Mather, 2011; Stehman, 2009; Fassnacht et al., 2016).

Η επιλογή των δεδομένων αναφοράς θα πρέπει να μεγιστοποιεί την ικανότητα διαχωρισμού μεταξύ των κατηγοριών αλλά ταυτόχρονα να διασφαλίζεται ότι διατηρείται αρκετή μεταβλητότητα έτσι ώστε τα δεδομένα να είναι αντιπροσωπευτικά της κάθε κατηγορίας (Gartzia et al., 2013). Οι Gartzia κ.α.. (2013) επισημαίνουν ότι «θα πρέπει να γίνεται ένας συμβιβασμός, καθώς η μεταβλητότητα και η διαχωρισιμότητα συσχετίζονται αρνητικά» (Gartzia et al., 2013).

Σε αυτό το σημείο, κρίνεται όμως σκόπιμο να τονιστεί το γεγονός ότι οποιαδήποτε δεδομένα αναφοράς είναι μοναδικά όσον αφορά στην φασματική τους ανακλαστικότητα σε σχέση με το δείγμα, το περιβάλλον και το χρόνο στα οποία έχουν μετρηθεί. Έτσι, η χρήση δεδομένων ανάκλασης από το εργαστήριο ή το πεδίο θα πρέπει να μετριάζεται από το γεγονός ότι είναι μόνο κατά προσέγγιση η «υπογραφή» του πραγματικού κόσμου (Schowengerdt, 2007). Ιδιαίτερα όσον αφορά στη βλάστηση λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας που παρουσιάζει (στάδιο ανάπτυξης, υγεία των φυτών, περιεκτικότητα σε υγρασία κ.α.) δε μπορεί να υπάρξει καμία απόλυτα ενδεδειγμένη προσέγγιση λήψης δειγμάτων αναφοράς για μια αποτελεσματική ταξινόμηση. Εξάλλου, όπως ο Schowengerdt (2007) επισημαίνει, οι αναλύσεις εικόνες στις πιο πολλές περιπτώσεις βασίζονται στη σύγκριση των σχετικών υπογραφών ενός υλικού σε σχέση με ένα άλλο σε μια ενιαία εικόνα, παρά στις απόλυτες υπογραφές.

2.5.9.4 Αλγόριθμοι ταξινόμησης

Όπως ήδη έχει αναλυθεί μέχρι στιγμής, το μοντέλο ερμηνείας των χωρικών προτύπων που παρατηρούνται στην επιφάνεια της γης βασίζεται στη θεώρηση ότι το τοπίο είναι ιεραρχικά δομημένο, κάτι που είναι χρήσιμο για την κατανόηση των διαφορετικών λειτουργιών που εμφανίζονται σε διαφορετικές κλίμακες και απαιτούν διαφορετικά επίπεδα γεωγραφικής πληροφορίας. Όμως η παραπάνω θεώρηση μπορεί να οδηγήσει σε αβεβαιότητες κατά τη χαρτογράφηση των οικοσυστημάτων και των σχετικών περιβαλλοντικών φαινομένων. Οι Rocchini et al. (2013), εξετάζουν στην σχετική εργασία τους την πρόοδο που έχει σημειωθεί στις γεωεπιστήμες και την οικολογία ως προς το να λάβουν ρητά υπόψη αυτήν την αβεβαιότητα, που προκύπτει λόγω της δυαδικής θεώρησης του χώρου (Rocchini & Ricotta, 2007).

Στις ιεραρχίες της βλάστησης είτε αυτές είναι ταξινομικές είτε οικοσυστημικές, θεωρείται ότι μια κατηγορία ή ένα φαινόμενο, δηλαδή ένας τύπος βλάστησης ή μια τάξη κάλυψης γης, θα κατανέμεται χωρικά σε ένα τοπίο με ένα τρόπο μη συνεχές, όπου υπάρχουν σαφή όρια μεταξύ των διαφόρων τάξεων, ενώ έχει ευρέως αποδειχθεί από οικολογικές μελέτες ότι τα ενδιαίτηματα ποικίλουν στο χώρο με ένα συνεχή τρόπο (Rocchini et al., 2013).

Οι Rocchini κ.α. (2013), σημειώνουν ότι ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία χαρτών με βάση τηλεπισκοπικά δεδομένα είναι να αντλήσει αλγόριθμους ταξινόμησης για την ανάθεση μιας ονομασίας στα εικονοστοιχεία. Έτσι σε ένα σύνολο από εικονοστοιχεία $S = \{1,2,3, \dots, n\}$, οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης επιδιώκουν να ανακαλύψουν την εν δυνάμει πιο πιθανή κατάτμηση του S . Οι συγγραφείς τονίζουν το γεγονός ότι ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται (βασισμένη στην εικόνα ή αντικειμενοστραφή ταξινόμηση), οι παραδοχές για την εκτέλεση ταξινόμησης συνδέονται με ένα σημαντικό μειονέκτημα: οι τάξεις είναι αμοιβαία αποκλειόμενες με διακριτά όρια (Rocchini et al., 2013).

Ως εκ τούτου, η επεξεργασία και ταξινόμηση εικόνων μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντική σιωπηλή απώλεια πληροφορίας, λόγω της υποβάθμισης της συνεχούς ποσοτικής πληροφορίας σε διακριτές κατηγορίες (Palmer et al., 2002; Foody, 2000), το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε αβεβαιότητα στα δεδομένα και στα σχετικά αποτελέσματα (Rocchini et al., 2013).

Πολλοί συγγραφείς έχουν προσπαθήσει να παράγουν καλύτερες αναπαραστάσεις της πραγματικής γήινης πολυπλοκότητας χρησιμοποιώντας βελτιωμένες μεθόδους διακριτών ορίων, π.χ. χρησιμοποιώντας πολλαπλής κλίμακας κατάτμηση με βάση την ιεραρχική δυναμική των χρήσεων/κάλυψης γης π.χ. Blaschke (2010). Επίσης, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες προσεγγίσεις, των λεγόμενων απαλών ταξινομητών, που λαμβάνουν υπόψη αυτές τις αβεβαιότητες (σελ. 92). Οι Rocchini κ.α. (2013) τονίζουν την αξία χρήσης των ασαφών συνόλων για την ορθότερη αναπαράσταση και ταξινόμηση των συνεχών χαρακτηριστικών της βλάστησης με την εκπροσώπηση των αβεβαιοτήτων που προκύπτουν λόγω της δυαδικής θεώρησης και της επιλογής των εκπαιδευτικών πεδίων.

Οι Franklin και Wulder (2002) τονίζουν ότι όλοι οι ταξινομητές σε κάποιο σημείο πρέπει να χειριστούν ένα συμβιβασμό μεταξύ των πληροφοριών των επιθυμητών τάξεων, του φασματικού περιεχομένου της εικόνας και της μεθόδου λήψης απόφασης για κάθε τάξη (Franklin & Wulder, 2002), και καθώς οι κατηγορίες πληροφοριών και οι φασματικές κατηγορίες δεν είναι ποτέ σε πλήρη συμφωνία, κάθε κανόνας απόφασης θα κάνει λιγότερο από βέλτιστη επιλογή με την παρουσία πραγματικού θορύβου ή διάφορων επίπεδων ασάφειας (Swain & Davis, 1978; Franklin & Wulder, 2002). Όπως αναφέρουν τα προβλήματα αυτά έχουν οδηγήσει πολλούς να θεωρούν τη διαδικασία ταξινόμησης όχι μόνο τους κανόνες απόφασης,

αλλά το σύνολο των διαδικασιών που περιλαμβάνει το πρωτόκολλο ταξινόμησης, ως μια ειδική περίπτωση της ασαφούς λογικής (Franklin & Wulder, 2002). Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι ο ανθρώπινος νους είναι ίσως το καλύτερο διαθέσιμο εργαλείο για τη σύνθεση και ανάλυση των μοτίβων εικόνας, και για το λόγο αυτό μια κατάλληλη στρατηγική είναι να χρησιμοποιηθεί όσο είναι δυνατόν, η εμπειρία του ερμηνευτή.

Οι τροποποιημένες μέθοδοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης προσπαθούν να επιτύχουν αυτό το στόχο (Beaubien et al., 1999; Franklin & Wulder, 2002). Οι Yu κ.α.(2014), έπειτα από την συγκριτική ανάλυση εργασιών με εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων ταξινόμησης διαπίστωσαν ότι η συνδυασμένη μέθοδος (δηλαδή η χρήση πολλαπλών ταξινομητών και προσεγγίσεων) μπορεί να δώσει μεγαλύτερα ποσοστά ακρίβειας (σελ. 116).

Επιπλέον, οι προηγούμενες ανασκοπήσεις της βιβλιογραφίας σχετικά με την ταξινόμηση κάλυψης γης και ειδών δέντρων συγκλίνουν στο γεγονός ότι τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα διαδραματίζουν σημαντικότερο ρόλο στην διαδικασία της ταξινόμησης. Για παράδειγμα, τα σχετικά (με την μεγαλύτερη επίδραση των χρησιμοποιούμενων δεδομένων στα αποτελέσματα της ταξινόμησης) συμπεράσματα της ανασκόπησης των Yu κ.α. (2014) ήδη έχουν αναφερθεί (σελ.115), ενώ οι Fassnacht κ.α. (2016) αναφέρουν ότι σύμφωνα με την εμπειρία των συγγραφέων, η επιλογή του ίδιου του ταξινομητή είναι συχνά χαμηλής σημασίας αν τα δεδομένα έχουν επαρκώς προ-επεξεργαστεί για να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις του ταξινομητή.

2.5.9.5 Ορισμός ενός επιτυχημένου αποτελέσματος

Ο ορισμός της βέλτιστης ακρίβειας ταξινόμησης ποικίλλει ανάλογα με την σκοπιά του χρήστη ή της εφαρμογής (Foody, 2002). Στην ταξινόμηση της βλάστησης οι στόχοι ενός επιπέδου ακρίβειας προφανώς συνδέονται με τις μεγακοινότητες (biomes) και την ποικιλία των ειδών τους, όπου σε μεγακοινότητες με περισσότερα είδη θα μπορούσε να είναι ικανοποιητική μια χαμηλότερη ακρίβεια σε σχέση με μεγακοινότητες που περιέχουν μόνο λίγα είδη (Fassnacht et al., 2016) (έχει συζητηθεί 0 σελ. 114). Οι Fassnacht κ.α. (2016) τονίζουν ότι η εύρεση ενός γενικού ορισμού για την ελάχιστη ακρίβεια μιας ταξινόμησης ειδών είναι αδύνατη και πάντα εξαρτάται από το που πραγματοποιείται η μελέτη και ποιοι είναι οι στόχοι της (Fassnacht et al., 2016).

3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΡΙΒΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Σε γενικές γραμμές η διαδικασία απόσπασης πληροφοριών με τη χρήση της Τηλεπισκόπησης μπορεί να διαχωριστεί σε 4 φάσεις: το υπό μελέτη πρόβλημα, τη συλλογή δεδομένων, τη μετατροπή δεδομένων σε πληροφορία, και την παρουσίαση των πληροφοριών (Jensen, 2007):

- Μια επιτυχημένη έρευνα ή Έργο έχει ως αφετηρία τη σωστή διατύπωση του ερευνητικού ερωτήματος και τη διαμόρφωση της υπόθεσης εργασίας.
- Έπειτα η Τηλεπισκόπηση και/η επιτόπια παρατήρηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή δεδομένων.
- Η μετατροπή δεδομένων σε πληροφορίες αναφέρεται σε μια σειρά τεχνικών τηλεπισκόπησης που αφορούν σε μια γκάμα τεχνικών επεξεργασίας εικόνας όπως αλγόριθμοι προ επεξεργασίας εικόνας, ταξινόμηση, εξαγωγή χαρακτηριστικών και ανίχνευση αλλαγών, και μια ποικιλία μεθόδων μοντελοποίησης.
- Οι εξαγόμενες πληροφορίες από τα δεδομένα τηλεπισκόπησης πρέπει να απεικονίζονται με κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε να είναι κατανοητές. Σε γενικές γραμμές με την βοήθεια της χαρτογραφίας των ΓΣΠ, της χωρικής στατιστικής και της καλής γνώσης του πεδίου έρευνας οι εξαγόμενες πληροφορίες μπορούν να παρουσιαστούν μέσω ενός θεματικού χάρτη, να αποθηκευτούν σε μια χωρική βάση δεδομένων ή να αναπαρασταθούν ως γράφημα. Η ελλιπής παρουσίαση της πληροφορίας οφείλεται σε άγνοια ή παραβίαση των βασικών κανόνων της χαρτογραφίας και της θεωρίας του σχεδιασμού βάσεων δεδομένων.

- Η διαδικασία της τηλεπισκόπησης αναπόφευκτα εισάγει λάθη στην παραγόμενη πληροφορία, ειδικά κατά την φάση της μετατροπής των δεδομένων σε πληροφορία, αλλά και κατά το στάδιο της παρουσίασης. Τα λάθη αυτά πρέπει να εντοπίζονται και να αναφέρονται στα μεταδεδομένα (ακρίβεια ταξινόμησης).

Με βάση τις παραπάνω κατευθυντήριες γραμμές στα κεφάλαια 3 και 4 παρουσιάζεται η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην παρούσα διατριβή.

3.1 Αντικείμενο της μελέτης

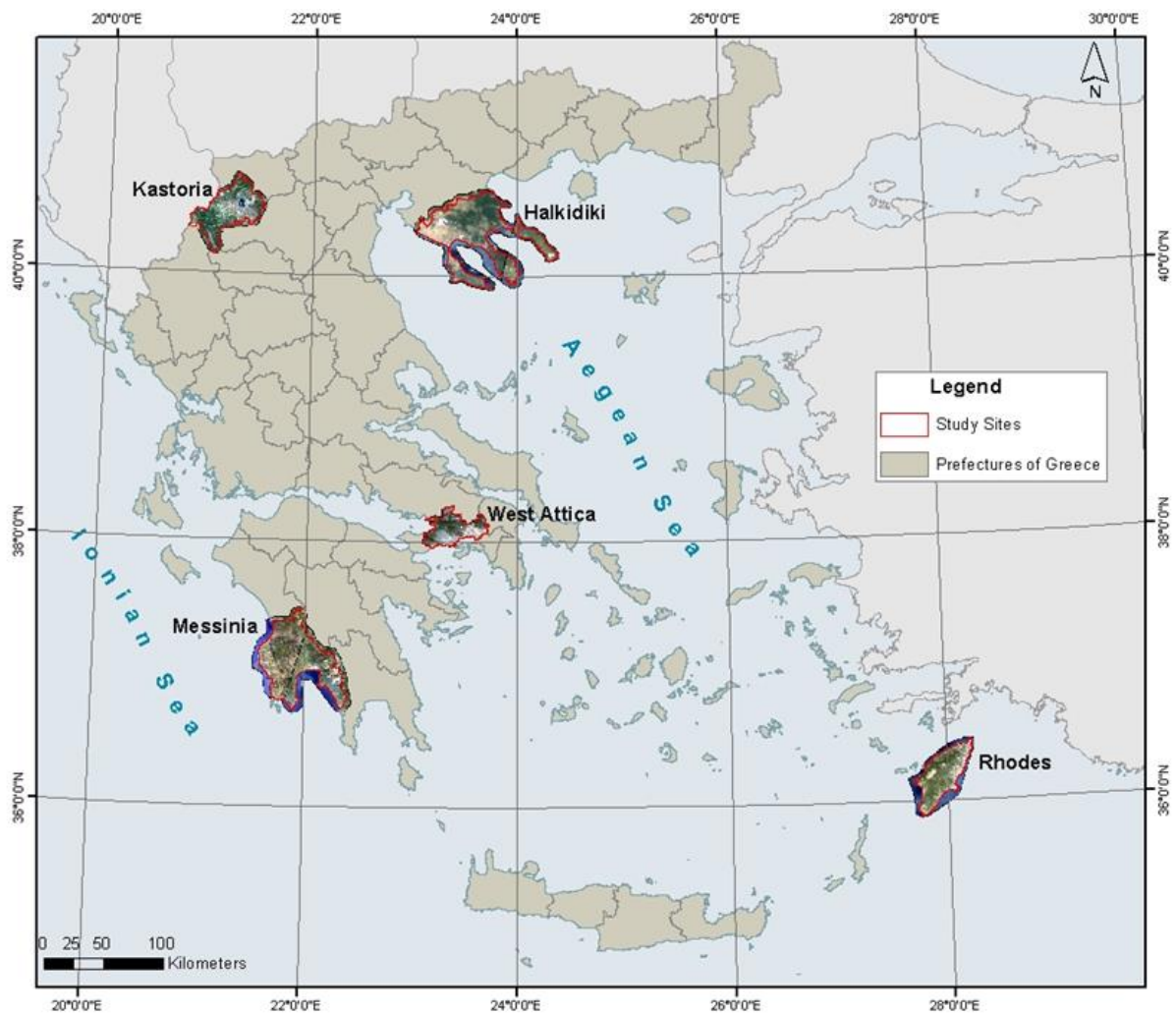
Πολλές από τις διεργασίες της μοντελοποίησης συμπεριφοράς πυρκαγιών καθώς και η ποιότητα της πληροφορίας, στηρίζεται στην ακρίβεια των χαρτών μοντέλων καύσιμης ύλης (Μ.Κ.Υ.) και δασικής δομής. Όπως επισημάνθηκε στην ενότητα 2.5.1.2 (σελ. 123), τα μοντέλα αυτά δημιουργούνται για να ταξινομηθούν τα είδη της βλάστησης σε κατηγορίες σύμφωνα με τις ιδιότητες της σε σχέση με τον κίνδυνο ανάφλεξης και εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Συνήθως, στους τύπους βλάστησης αποδίδεται ένα ή περισσότερα μοντέλα καύσιμης ύλης ώστε να προσομοιωθεί η συμπεριφορά της πυρκαγιάς.

Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε μετέπειτα για τη χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης είναι η σύνδεση ή έμμεση χαρτογράφηση με δεδομένα τηλεπισκόπησης (ενότητα 2.5.1.3). Τα χαρακτηριστικά των καυσίμων εκχωρήθηκαν σε κατηγορίες σύμφωνα με τις ταξινομήσεις της βλάστησης που προέκυψαν από την παρούσα εφαρμογή. Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης είναι ότι μπορούν να οριστούν πολλές ιδιότητες του καυσίμου σε μια κατηγορία βλάστησης, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να δημιουργηθούν πολύ χρήσιμοι χάρτες και για άλλες εφαρμογές φυσικών πόρων.

3.2 Περιοχές εφαρμογής και δεδομένα

3.2.1 Περιοχές εφαρμογής

Οι περιοχές εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας αφορούν στο νησί της Ρόδου, και στις περιφερειακές ενότητες Καστοριάς, Χαλκιδικής (συμπεριλαμβανομένου και του Αγίου Όρους), Δυτικής Αττικής και Μεσσηνίας (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 Οι περιοχές εφαρμογής

Το νησί της Ρόδου βρίσκεται στο νοτιοανατολικό Αιγαίο και σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ καλύπτει έκταση 1400 km² ενώ σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ο De Facto (πραγματικός) πληθυσμός είναι 152.538 κάτοικοι. Τα οικοσυστήματα του νησιού δέχονται μεγάλες ανθρωπογενείς πιέσεις λόγω του έντονου τουρισμού και της προκύπτουσας αστικής εξάπλωσης στη ζώνη μίξης δασών - αστικών υποδομών για την κάλυψη στεγαστικών και ψυχαγωγικών αναγκών (Kalabokidis et al., 2016, 2013).

Η περιφερειακή ενότητα της Καστοριάς, βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Μακεδονίας, και σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ καλύπτει έκταση ίση με 1720 km² και έχει πληθυσμό (De Facto) 50.683 (σύμφωνα με την απογραφή του 2011). Όπως οι Kalabokidis κ.α. (2016, 2013) επισημαίνουν η κλιματική αλλαγή έχει οδηγήσει σε αύξηση της δραστηριότητας της πυρκαγιάς στην περιοχή, ακόμη και σε ορεινές περιοχές μεγάλου υψομέτρου όπως ο Γράμμος, όπου η φωτιά ήταν πάντα μια φυσική καταστροφή χαμηλής συχνότητας αλλά με υψηλή ένταση, και σε αυτό το πλαίσιο τα προτεινόμενα από το έργο εργαλεία διαχείρισης θα μπορούσαν να διευκολύνουν την οικολογική έρευνα αυτών των πολύ σημαντικών καθεστώτων πυρκαγιάς στην περιοχή (Kalabokidis et al., 2016, 2013).

Η περιοχή της Χαλκιδικής μαζί με το Άγιο Όρος καλύπτει μια έκταση 3250 km² και (De Facto) πληθυσμό 111.244 κατοίκους (σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ΕΛΣΤΑΤ). Η Χαλκιδική, αποτελώντας μια τριπλή χερσόνησο, καλύπτεται σε μεγάλο βαθμό από δασώδεις εκτάσεις με πεύκα, βελανιδιές και οξιές και με εύφορες γεωργικές εκτάσεις στην ενδοχώρα (Kalabokidis et al., 2016, 2013). Το τοπίο της περιοχής δέχεται μεγάλη πίεση από τον τουρισμό και την εξόρυξη, ενώ βρίσκεται υπό συνεχή αστική πίεση κυρίως λόγω της εκβιομηχάνισης και των οικονομικών δραστηριοτήτων από τη γεωργία και κτηνοτροφία. Η περιοχή πλήττεται συχνά από μεγάλες πυρκαγιές, ενώ δεν υπάρχουν ποταμοί συνεχούς ροής καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου (Kalabokidis et al., 2016, 2013).

Η περιφερειακή ενότητα Δυτικής Αττικής, που βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα, κοντά στη μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας, το 2011 είχε πληθυσμό De Facto 159.765 κατοίκους σε μια έκταση 1.004 km², σύμφωνα πάντα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ. Η περιοχή πλήττεται από μεγάλες πυρκαγιές και βρίσκεται υπό συνεχή πίεση και απειλή (Kalabokidis et al., 2016, 2013). Στις 28/6/2007, το χειρότερο περιστατικό πυρκαγιάς των τελευταίων δύο αιώνων κατέστρεψε πάνω από 36.33 km², εκ των οποίων το 60% ήταν δασικές περιοχές με έλατα (21.80 km²) (Kalabokidis et al., 2016, 2013).

Η περιφερειακή ενότητα της Μεσσηνίας, βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο της Πελοποννήσου, με συνολική έκταση 2991 km² και πραγματικό πληθυσμό 161.288 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2011). Οι καταστροφικές δασικές πυρκαγιές το καλοκαίρι του 2007 που συνέβησαν σε μεγάλο μέρος της Πελοποννήσου, έπληξαν και τη Μεσσηνία που αποτελεί διαχρονικά μια περιοχή υψηλού κινδύνου (Kalabokidis et al., 2016, 2013).

3.2.2 Δεδομένα

Απαραίτητος κρίθηκε ο αρχικός σχεδιασμός των στρατηγικών που θα πρέπει να ακολουθηθούν για τη διασφάλιση του ελέγχου ποιότητας σε όλα τα στάδια της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε, από την επιλογή των δορυφορικών δεδομένων έως την επιλογή και εφαρμογή των μεθόδων συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης της ακρίβειας των τελικών προϊόντων.

Είναι σημαντικό να συνειδητοποιηθεί όπως συζητήθηκε και στην ενότητα 2.4.2.2, ότι η ακρίβεια των πληροφοριών που προέρχονται από την Τηλεπισκόπηση ποικίλει σημαντικά ανάλογα τόσο με τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα που επιλέγεται, όσο και αναφορικά με την ακρίβεια ή την καταλληλότητα του χρησιμοποιούμενου αλγορίθμου ή την οπτική ερμηνεία για την μετατροπή των αρχικών δεδομένων σε πληροφορίες εδαφοκάλυψης. Ιδιαίτερα όσον αφορά στα δεδομένα αυτά παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ακρίβεια μιας ταξινόμησης (σελ. 116).

Επομένως, είναι σημαντικό να λαμβάνονται μέτρα για την αξιολόγηση της ποιότητας ή της ακρίβειας των πληροφοριών που εξάγονται με την χρήση της τηλεπισκόπησης. Ο σχεδιασμός είναι ένα σημαντικό βήμα για την επιλογή των δεδομένων και των τεχνικών εξαγωγής πληροφορίας, για την εξασφάλιση της δυνατότητας ποσοτικοποίησης της ακρίβειας ή τουλάχιστον της εξασφάλισης ότι οι τυχόν εγγενείς περιορισμοί λαμβάνονται υπόψη ρεαλιστικά. Όπως οι Hatzopoulos J. και Hatzopoulos N. (2012) επισημαίνουν, ο σχεδιασμός γενικά βασίζεται στην ποιότητα των υπαρχόντων πληροφοριών, έτσι ώστε κάθε αναλαμβανόμενη δράση να είναι λογική (Hatzopoulos & Hatzopoulos, 2012). Για την επιλογή των δορυφορικών δεδομένων κρίθηκαν απαραίτητες οι προϋποθέσεις που αναπτύσσονται παρακάτω.

3.2.2.1 Ομοιογένεια

Οι πληροφορίες σχετικά με τη βλάστηση που θα αποτελούσαν και εισροές στο σύστημα AEGIS για τις συγκεκριμένες περιοχές εφαρμογής, θεωρήθηκε ότι θα πρέπει να προέρχονται από τις ίδιες πηγές εξασφαλίζοντας έτσι ότι και η απόκτηση των πληροφοριών βλάστησης θα είναι ομοειδείς από ίδια μέσα και για τις πέντε περιοχές εφαρμογής. Έτσι ώστε στο μοντέλο συμπεριφοράς πυρκαγιών να έχουν εισαχθεί χάρτες που προκύπτουν από δορυφορικά δεδομένα αντίστοιχης χωρικής, φασματικής, ραδιομετρικής και χρονικής ακρίβειας για τις περιοχές εφαρμογής, επιτρέποντας την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων και τη δυνατότητα συγκρίσεων σε σχέση με την κίνδυνο ανάφλεξης, την τρωτότητα και τις πιθανότητες καύσης για κάθε περιοχή.

3.2.2.2 Χαρακτηριστικά

Όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.3 η επιλογή των καταλληλότερων δεδομένων εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ του σκοπού της έρευνας και της ανάλυσης και έκτασης των διαθέσιμων εικόνων. Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης έχουν μια σειρά από χαρακτηριστικά (χωρική, φασματική, ραδιομετρική και χρονική κλίμακα), και κατά συνέπεια η ανάλυση και η έκταση δεν είναι απλώς χωρικά χαρακτηριστικά, αλλά ενσωματώνουν και φασματικά, χρονικά, και ραδιομετρικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι δυνατό να επηρεάσουν τον αντικειμενικό σκοπό μιας έρευνας. Η κλίμακα των δεδομένων όπως έχει αναφερθεί αρκετές φορές εδώ έχει σημαντικές συνέπειες για το χαρακτηρισμό των χωρικών προτύπων, από τη στιγμή που υπάρχει μεγάλος βαθμός εξάρτησης στην έννοια της διακύμανσης (σχετ. ενότητες 2.2.5, 2.2.6). Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή χαρτών βλάστησης με σκοπό τη χρήση τους για τον υπολογισμό της καύσιμης ύλης, έπρεπε να συναντούν τις παρακάτω απαιτήσεις.

3.2.2.2.1 Χωρική κλίμακα

Στην ενότητα 2.5.3 συζητήθηκαν τα ζητήματα που ανακύπτουν σχετικά με την κλίμακα στην ταξινόμηση ειδών βλάστησης, και η δυσκολία εξεύρεσης μιας βέλτιστης χωρικής ανάλυσης για μια έρευνα σε επίπεδο ειδών βλάστησης. Όπως αναλύθηκε στην εν λόγω ενότητα (και στις υπό ενότητες αυτής) ο συσχετισμός μεταξύ των εκτιμήσεων κάλυψης της βλάστησης μέσω της ταξινόμησης δεδομένων τηλεπισκόπησης, εξαρτάται μεταξύ άλλων σε μεγάλο βαθμό από την ανάλυση της εικόνας αλλά και από το μέγεθος και τη σύνθεση των φυτών στόχων.

Δεδομένου λοιπόν ότι τα χαρακτηριστικά της βλάστησης που ενδιαφέρουν ένα σύστημα διαχείρισης πυρκαγιών αφορούν στην ακολουθία των τύπων βλάστησης μιας περιοχής ή αλλιώς στην χωρική τους οργάνωση, καθώς και στην πυκνότητα των ειδών σε κάθε τύπο προκειμένου να προκύψουν χάρτες Μ.Κ.Υ., απαιτείται η επιλογή προϊόντων από δορυφόρους υψηλής ευκρίνειας για το χαρακτηρισμό της χωρικής δομής της φυλλοστέγης της βλάστησης.

Παρόλο που τα δεδομένα της βλάστησης θα αποτελούσαν τη βάση για την δημιουργία χαρτών Μ.Κ.Υ. για την εισαγωγή τους σε εξειδικευμένα λογισμικά για την υλοποίηση προσομοίωσης πυρκαγιών επιφανείας και συμπεριφοράς πυρκαγιών κόμης σε χωρική ανάλυση 30 μ.(μέγεθος εικονοστοιχείου), εντούτοις επιλέχθηκε η χρήση εικόνων πολύ υψηλότερης χωρικής ανάλυσης για την ταξινόμηση της βλάστησης. Η ερευνητική ομάδα του έργου κατέληξε στην απόφαση ότι η επιλογή δεδομένων τηλεπισκόπησης θα πρέπει να είναι υψηλής χωρικής ανάλυσης, έτσι ώστε οι χάρτες εδαφοκάλυψης που θα προκύψουν να χρησιμοποιηθούν και για την ανάπτυξη των χωρικών βάσεων δεδομένων του έργου -

απαραίτητες για την εκτίμηση του κινδύνου και της συμπεριφοράς των πυρκαγιών, καθώς και για τη διαχείριση πυρκαγιών. Επιπλέον οι χάρτες αυτοί θα μπορούσαν να είναι πολύ χρήσιμοι και για άλλες εφαρμογές φυσικών πόρων.

Από την άλλη πλευρά, όπως συζητήθηκε και στην ενότητα 2.5.5.1.1, η ταξινόμηση οποιουδήποτε επίπεδου ειδών θα πρέπει εξ ορισμού να είναι για μεμονωμένα δέντρα ή συστάδες που αποτελούνται από ένα μόνο είδος (λόγω αναντιστοιχίας ορολογίας). Κατά συνέπεια για την ταξινόμηση της σύνθεσης των δασικών συστάδων και τύπων βλάστησης σε επίπεδο κοινωνιών και συστάδων θεωρήθηκε ότι η υψηλή χωρική ανάλυση παρέχει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη βλάστηση, προκειμένου να αποτελέσει τη βάση για την ακριβή εκτίμηση της καύσιμης ύλης. Η υψηλή χωρική ανάλυση αυξάνει τη δυνατότητα καταγραφής μικρών σε έκταση συστάδων αλλά και το χαρακτηρισμό των βιοφυσικών παραμέτρων της βλάστησης (Wolter et al., 2009).

Ωστόσο, η υψηλή χωρική ανάλυση δημιουργεί αρκετά προβλήματα στην εφαρμογή αυτοματοποιημένων μεθόδων ταξινόμησης και ιδιαίτερα κατά τη χαρτογράφηση της βλάστησης (τα οποία έχουν συζητηθεί αρκετές φορές π.χ. στις ενότητες 2.5.3.1 & 2.5.3.2). Επιπλέον θα αναμένονταν επιδράσεις της κλίμακας (ενότητα 2.2.5) λόγω αλλαγής από την υψηλή χωρική ανάλυση στη μεσαία χωρική ανάλυση μεγέθους εικονοστοιχείου 30μ. των λογισμικών προσομοίωσης και συμπεριφοράς πυρκαγιών.

Κάτω από την παραπάνω συλλογιστική επιλέχτηκε η χρήση εικόνων με μέγεθος εικονοστοιχείου 5 μ., που θεωρείται μια ικανή χωρική ανάλυση για τον καθορισμό των τύπων βλάστησης και την ακριβή χωροθέτηση της ακολουθίας τους στο τοπίο καθώς και για τον προσδιορισμό της πυκνότητας που παρουσιάζουν.

3.2.2.2.2 Φασματική κλίμακα

Η φασματική ανάλυση θα έπρεπε να είναι επαρκής ώστε να είναι δυνατός ο φασματικός διαχωρισμός των διαφορετικών τύπων βλάστησης (Dymond et al., 2002). Όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.5.2 η φασματική ανακλαστικότητα της βλάστησης παρουσιάζει κάποια χαρακτηριστικά διάκρισης, όπως η υψηλή ανακλαστικότητα στην περιοχή του ερυθρού άκρου της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η ζώνη ακτινοβολίας του ερυθρού άκρου, φασματικά βρίσκεται ανάμεσα στην ερυθρή και στην ζώνη NIR χωρίς επικάλυψη. Σε μία τυπική φασματική απόκριση της πράσινης βλάστησης, η ζώνη ερυθρού άκρου καλύπτει το τμήμα του φάσματος όπου η ανάκλαση αυξάνει δραστικά από το ερυθρό τμήμα προς το φασματικό πλατό του NIR. Το ερυθρό τμήμα είναι μια περιοχή του φάσματος όπου η χλωροφύλλη απορροφά ισχυρά το φως ενώ το NIR είναι αυτό όπου η κυτταρική δομή των φύλλων παράγει μια ισχυρή αντανάκλαση. Ως εκ τούτου, οι μεταβολές

τόσο στο περιεχόμενο της χλωροφύλλης όσο και της δομής του φύλλου συχνά εκφράζονται στο άκρο της ερυθρής ζώνης του φάσματος.

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι αυτή η μπάντα είναι σε θέση να παράσχει πρόσθετες πληροφορίες προκειμένου να προσδιοριστούν τα είδη των φυτών, τα θρεπτικά συστατικά που διαθέτουν και η κατάσταση της υγείας τους, αλλά και να χαρακτηρίσει την κάλυψη των φυτών και την αφθονία τους (σελ. 127). Έτσι θεωρήθηκε σκόπιμο τα δορυφορικά δεδομένα επιλογής να διαθέτουν αυτή τη ζώνη ακτινοβολίας.

3.2.2.2.3 Χρονική κλίμακα

Το δορυφορικό σύστημα επιλογής θα έπρεπε να διαθέτει συχνές επαναληπτικές λήψεις καθώς η πολύ-χρονική παρατήρηση μπορεί να μας παράσχει φαινολογικές πληροφορίες και είναι ένα βασικό εργαλείο για το διαχωρισμό διαφορετικών ειδών με παρόμοιες φασματικές αποκρίσεις (Wolter et al., 1995; Kuemmerle et al., 2006). Στην ενότητα 2.3.8.1 «Χρήση χρονοσειρών δεδομένων για τη διάκριση ειδών βλάστησης», συζητήθηκε το γεγονός ότι οι χρονικές πληροφορίες που περιέχονται σε χρονοσειρές δεδομένων τηλεπισκόπησης διαφορετικών εποχών αποτελούν σημαντικές πληροφορίες για τη χαρτογράφηση της κάλυψης / χρήσης γης και ιδίως για τη διάκριση των τύπων βλάστησης.

Η βιβλιογραφία προτείνει ότι η φαινολογία αποτελεί ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό για την διάκριση των ειδών, και αποτελεί μια ενδεδειγμένη μέθοδο για την ταξινόμηση τους (ενότητα 2.5.9.1). Για παράδειγμα, προηγούμενες μελέτες επιβεβαιώνουν ότι ο φασματικός διαχωρισμός των φυλλοβόλων ειδών μπορεί να αυξηθεί εάν χρησιμοποιηθεί συνδυασμός δορυφορικών παρατηρήσεων που να μπορεί να αποτυπώσει αυτή την φαινολογική αλλαγή (Dymond et al., 2002; Hill et al., 2010; Mickelson et al., 1998). Στην ιδανική περίπτωση οι εποχικές δορυφορικές παρατηρήσεις θα πρέπει να έχουν συλλεγεί μέσα στο ίδιο έτος και να περιλαμβάνουν τουλάχιστον 2 εποχές: μία κατά τη διάρκεια της άνοιξης (πρασίνισμα) και μία κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (γήρανση).

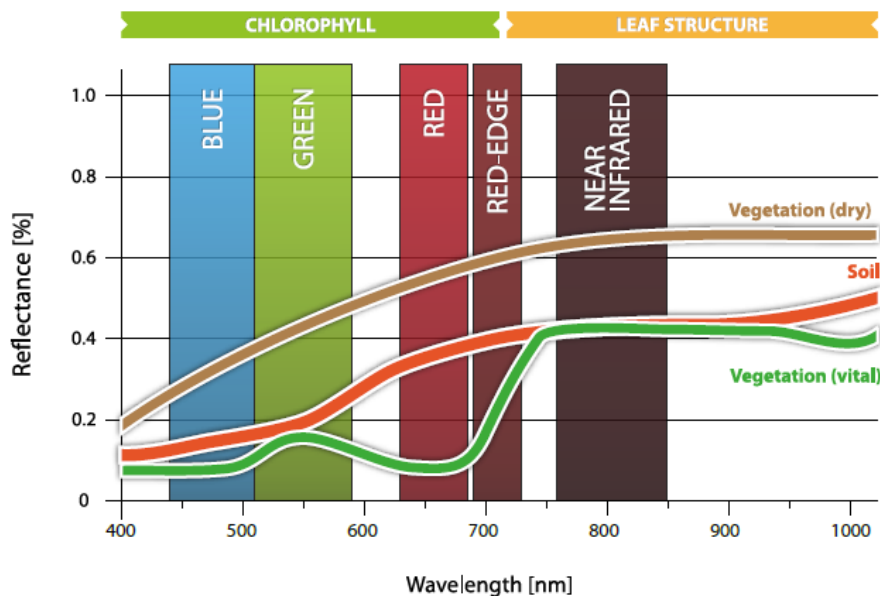
3.2.2.3 Το δορυφορικό σύστημα RapidEye και η χαρτογράφηση τύπων βλάστησης

Το σύστημα πολυφασματικής απεικόνισης RapidEye, αποτελείται από πέντε μικροδορυφόρους ηλιοσύγχρονης τροχιάς στα 634 km. Και οι πέντε δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με πανομοιότυπους αισθητήρες και βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο τροχιάς. Οι δορυφόροι RapidEye συλλέγουν εικόνες από το 2009, έχοντας δυνατότητες που ανταποκρίνονται σε αρκετές από τις προκλήσεις της δορυφορικής τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση των ειδών βλάστησης και των χαρακτηριστικών της καύσιμης ύλης, καθώς διαθέτουν υψηλή διακριτική ικανότητα, συχνά χρονικά διαστήματα λήψης και μια επαρκή φασματική ανάλυση (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1 Προδιαγραφές του συστήματος RapidEye

Χαρακτηριστικό	Πληροφορία
Αριθμός δορυφόρων	5
Ύψος τροχιάς	630 km σε ηλιοσύγχρονη τροχιά
Ώρα διέλευσης από τον Ισημερινό	11:00 π.μ. (περίπου)
Τύπος αισθητήρα	Πολυφασματικό σύστημα απεικόνισης push broom
Φασματικές μπάντες	Blue 440 - 510 Green 520 - 590 Red 630 - 685 Red Edge 690 - 730 NIR 760 - 850
Απόσταση εδαφικής δειγματοληψίας (ναδίρ)	6.5 m
Μέγεθος εικονοστοιχείου	5 m
Πλάτος λωρίδας	77 km
Διάστημα επανεξέτασης	Καθημερινά (εκτός ναδίρ) / 5,5 ημέρες (στο ναδίρ)
Ραδιομετρική κλίμακα ή Δυναμικό εύρος	Έως 12 bit

Το σύστημα απεικόνισης RapidEye αποκτά δεδομένα εικόνας σε πέντε διαφορετικές φασματικές ζώνες, προσθέτοντας ένα πέμπτο κανάλι, το άκρο της ερυθρής ακτινοβολίας, στο «παραδοσιακό» πολυφασματικό σύνολο μπλε, πράσινο, κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο. Η σύγκριση μεταξύ χωρικής και φασματικής δειγματοληψίας του συστήματος RapidEye παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.3.6.1 σελ. 64. Η Εικόνα 2.6 παρουσιάζει τον «κύβο εικόνας» των δεδομένων RapidEye.



Σχήμα 3.1 Τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας επιλεγμένων επιφανειών σε σχέση με τις φασματικές ζώνες RapidEye (πηγή (Weichelt et al., 2014))

Το κανάλι «ερυθρό άκρο» (690-730 nm) καταγράφει σε μια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που έχει συσχετιστεί με τη γρήγορη αύξηση της αντανακλαστικότητας της

βλάστησης μεταξύ της ερυθράς περιοχής (απορρόφηση χλωροφύλλης) και στην κορύφωση της αντανakλαστικότητα της περιοχής του εγγύς υπέρυθρου που σχετίζεται με τη δομή της βλάστησης (Σχήμα 3.1). Η υψηλή διακριτική ικανότητα επιτρέπει τη χαρτογράφηση σε λεπτομερείς κλίμακες της κάλυψης κόμης και των τύπων εδαφοκάλυψης (Καλαμποκίδης et al., 2014), ενώ τα συχνά χρονικά διαστήματα λήψης επιτρέπουν την δια - εποχική παρατήρηση.

Τα δεδομένα του συστήματος RapidEye από το 2009 έως σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρκετές εφαρμογές παρατήρησης της γης (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2 Θεματικές περιοχές χρήσης δεδομένων RapidEye και ενδεικτικές δημοσιεύσεις

Χρήση δεδομένων	Ενδεικτικές δημοσιεύσεις
Είδη καλλιέργειας	(Tapsall et al., 2010; Fritsch et al., 2012; Gebhardt et al., 2012; Jiali et al., 2012; Kim & Yeom, 2012a; Nitze et al., 2012; Conrad et al., 2014; Shang et al., 2014; Ustuner et al., 2014, 2014; Vaudour et al., 2014; Imukova et al., 2015; Shang et al., 2015; Gerstmann et al., 2016; Σιάχαλου, 2016)
Δασική κάλυψη	(Stoffels et al., 2012; Krahwinkler & Rossmann, 2012; Adelabu et al., 2013; Ortiz et al., 2013; Elatawneh et al., 2014; Dube et al., 2014; Krofcheck et al., 2014; Magdon et al., 2014; Wallner et al., 2014; Stoffels et al., 2015)
Πολύ χρονική - εποχική ανάλυση	(Förster & Frick, 2010; Förster et al., 2011; Franke et al., 2012; Förster et al., 2012; Asam et al., 2013; Tigges et al., 2013; Behling et al., 2014a; Schuster et al., 2015)
Κάλυψη και χρήση γης	(Dupuy et al., 2012; Zhang et al., 2014b; Drzewiecki et al., 2014; Ustuner et al., 2015; Tewes et al., 2015)
Αξιολόγηση της χρήσης του καναλιού ερυθρό άκρο	(Eitel et al., 2011; Ramoelo et al., 2012; Sousa et al., 2012; Li et al., 2012b; Adelabu et al., 2014)
Υδρογραφία	(Klemenjak et al., 2012; Pavelsky, 2014; Gärtner et al., 2016)
Υπολογισμός δείκτη φυλλικής επιφάνειας	(Beckschäfer et al., 2014; Ali et al., 2015; Kross et al., 2015)
Επιπρόσθετα δεδομένα	(Schuster et al., 2011; Rana et al., 2013; Gallego et al., 2014; Behling et al., 2014b)

3.2.3 Δεδομένα επίγειας πραγματικότητας (πεδίου) και Χρήση επιπρόσθετων δεδομένων από άλλες πηγές

Τα δεδομένα αναφοράς επίγειας πραγματικότητας για την εφαρμογή επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση της βλάστησης θα έπρεπε να συναντούν ορισμένα κριτήρια όπως περιεγράφηκε στην ενότητα 2.5.9.3. Από τα κυριότερα αλλά με ιδιαίτερη δυσκολία εφαρμογής λόγω της μεγάλης έκτασης των περιοχών εφαρμογής, είναι η αντιστοίχιση μεταξύ κλίμακας δειγματοληψίας πεδίου και δορυφορικών δεδομένων, το επαρκές μέγεθος και η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος. Ιδιαίτερα όσον αφορά στο τελευταίο, αποτελεί το κρισιμότερο ίσως κριτήριο, καθώς τα δείγματα της κάθε κατηγορίας στόχου θα πρέπει να είναι καλά κατανομημένα σε όλη την έκταση της μελέτης και να διατηρούν μια ορισμένη ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους ώστε να αποφευχθούν όσο το δυνατό τα προβλήματα χωρικής αυτοσυσχέτισης αλλά και να αντιπροσωπευθούν επαρκέστερα όλα τα είδη της περιοχής μελέτης.

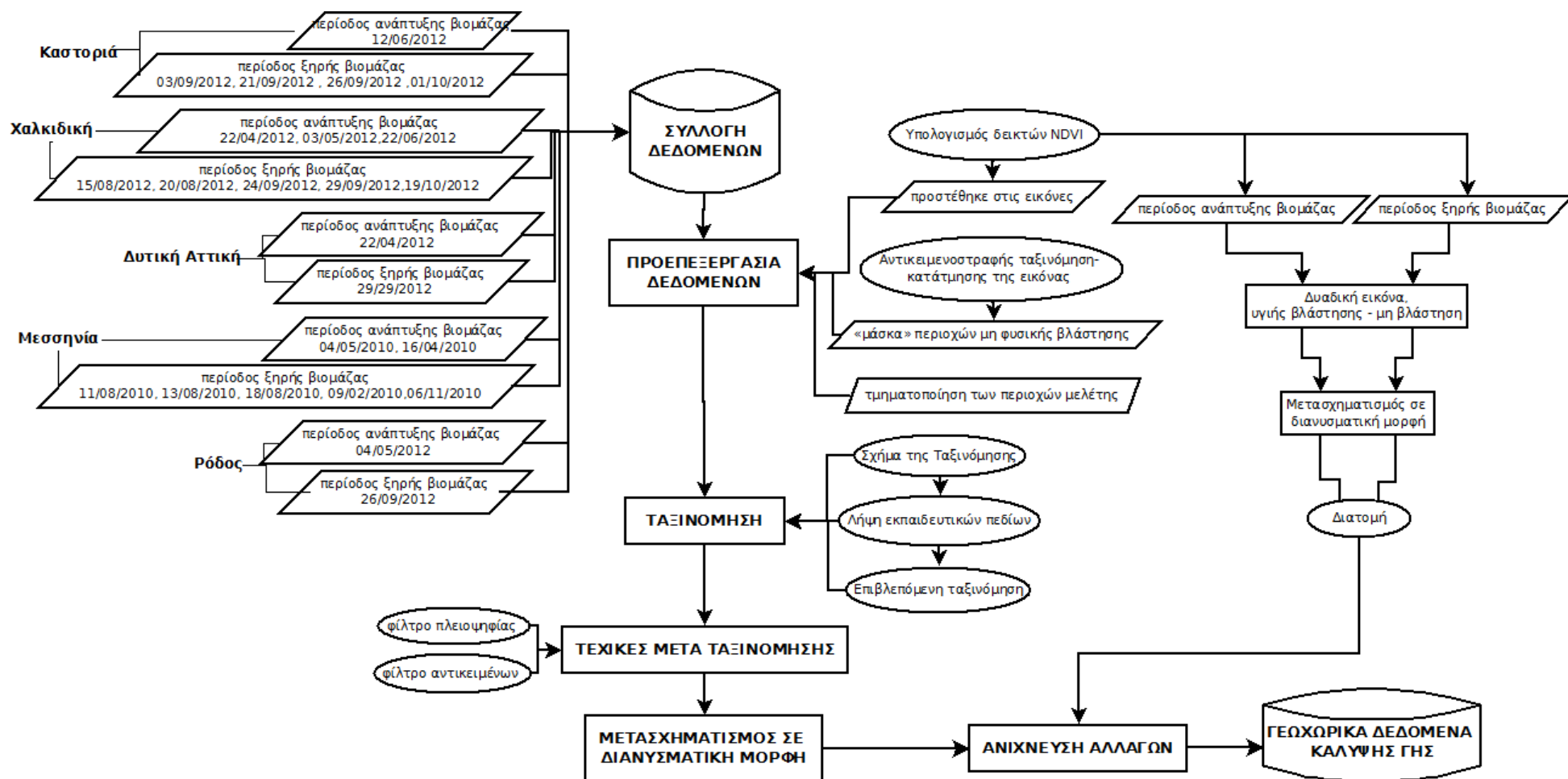
Η ορθή αποτύπωση των τύπων βλάστησης αλλά και η ακρίβεια των παραγόμενων προϊόντων μέσω τηλεπισκοπικών μεθόδων θα εξαρτάται από τα δεδομένα εισόδου (δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα πεδίου) αλλά και από την διαθεσιμότητα δεδομένων από άλλες πηγές.

3.3 Σχεδιασμός Μεθοδολογίας

Λαμβάνοντας υπόψη την υψηλή χωρική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων, την μεγάλη έκταση των περιοχών εφαρμογής και τις απαιτήσεις ενός συστήματος εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιάς, πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός της μεθοδολογικής προσέγγισης. Η ροή εργασιών σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η βελτιστοποίηση των χρησιμοποιούμενων δεδομένων έπειτα από την ενσωμάτωση κατάλληλων μεθόδων τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ σε μια ενιαία αλυσίδα επεξεργασίας (Διάγραμμα 3.1) με σκοπό να επιτευχθεί το απαιτούμενο επίπεδο ακρίβειας.

κ

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης



Διάγραμμα 3.1 Διάγραμμα ροής εργασιών

3.3.1 Συνοπτική περιγραφή μεθοδολογίας

Βήμα 1ο Συλλογή δεδομένων

Χρησιμοποιήθηκαν 10 δορυφορικές εικόνες RapidEye (2 εικόνες για κάθε περιοχή). Από το ζεύγος εικόνων η μία αντιπροσώπευε την εποχή της ανάπτυξης της βλάστησης και η δεύτερη την εποχή της ξηρότητας της βλάστησης. Παρόλο που ο αρχικός σχεδιασμός αποσκοπούσε στην προμήθεια εικόνων για το ίδιο έτος αναφοράς για όλες τις περιοχές μελέτης, ωστόσο για την περιοχή της Μεσσηνίας δεν κατέστη δυνατή η διαθεσιμότητα εικόνων για το έτος 2012 (όπως ήταν το έτος αναφοράς για τις υπόλοιπες περιοχές) σύμφωνα με τις απαιτούμενες προδιαγραφές: οι εικόνες να είναι χωρίς σύννεφα και για τις δύο αναζητούμενες εποχές. Επίσης, λόγω αυτού του περιορισμού, η κάλυψη των περιοχών έγινε σε πολλές περιπτώσεις από διάφορες πινακίδες του πλέγματος κάλυψης του δορυφόρου RapidEye, με αποτέλεσμα μια πιο ελαστική εκπροσώπηση των δύο αναζητούμενων εποχών (Μαΐου-Ιουνίου και Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου). Η προμήθεια των δορυφορικών εικόνων έγινε μέσω του προγράμματος AEGIS, σε μορφή GeoTIFF v.1.0, δυναμικό εύρος 12bit, με ορθοαναγωγή στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 1987 με μέγεθος εικονοστοιχείου στα 5 μ. × 5 μ. και ραδιομετρική διόρθωση που είχαν εφαρμοστεί από τον προμηθευτή.

Βήμα 2ο Προ - επεξεργασία δεδομένων ή τεχνικές πριν ταξινόμησης (pre classification techniques)

Τα στάδια προ επεξεργασίας περιλάμβαναν τα παρακάτω:

1. Με σκοπό την ποιοτική βελτίωση των δορυφορικών εικόνων, υπολογίστηκε ο δείκτης NDVI RE για κάθε εικόνα και προστέθηκε ως επιπλέον κανάλι.
2. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί δια εποχική ανάλυση για κάθε περιοχή εφαρμογής πραγματοποιήθηκε γεωμετρική σύμπτωση/εγγραφή (Geometric Registration) μεταξύ των 2 εικόνων, ώστε να υπάρξει σύμπτωση εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο.
3. Κάθε περιοχή εφαρμογής διαιρέθηκε σε επιμέρους υπό τμήματα. Η σχεδίαση της ταξινόμησης βασίστηκε στην τμηματοποίηση των περιοχών μελέτης, όπου κάθε επιμέρους τμήμα αντιπροσωπεύει μια ξεχωριστή χωρική οντότητα αναφοράς, προκειμένου να αντισταθμιστούν όσο το δυνατό οι κλιματικά και διαχειριστικά εξαρτώμενες διαβαθμίσεις των ιδιοτήτων της βλάστησης στις μεγάλης έκτασης περιοχές εφαρμογής. Επιπλέον, η τμηματοποίηση οδήγησε σε μείωση του υπολογιστικού φόρτου που αποτελούσε ένα επιπλέον σημαντικό ζήτημα.

Βήμα 3ο Παραγωγή πρώτου επιπέδου πληροφορίας στην κλίμακα Φυσική Βλάστηση / Μη Φυσική Βλάστηση - Ανθρωπογενές περιβάλλον

Στις περιοχές Ρόδου και Καστοριάς, εφαρμόστηκε η μέθοδος κατάτμησης της εικόνας σε σχέση με κάποια μέτρα φασματικής ομοιότητας ή ανομοιότητας αλλά και σχήματος για τη δημιουργία του πρώτου επιπέδου πληροφορίας υψηλής χωρικής ανάλυσης που να αφορά στις περιοχές μη φυσικής βλάστησης (ανθρωπογενές περιβάλλον). Για της υπόλοιπες περιοχές εφαρμογής (Χαλκιδική, Δυτική Αττική και Μεσσηνία) χρησιμοποιήθηκαν διανυσματικά χωρικά δεδομένα από άλλες πηγές για τη δημιουργία «μάσκας» των περιοχών μη φυσικής βλάστησης.

Βήμα 4ο Εφαρμογή χωρικά προσαρμοσμένης ασαφούς ή ήπιας ταξινόμησης

Η διαδικασία της ταξινόμησης των εικόνων ολοκληρώθηκε σε 4 φάσεις:

1. Δημιουργήθηκε το σχήμα της ταξινόμησης για κάθε περιοχή. Ορίστηκε δηλαδή η θεματική κλίμακα της ταξινόμησης.
2. Η εκπαίδευση του ταξινομητή βασίστηκε στην τμηματοποίηση των περιοχών μελέτης. Έγινε λήψη των πεδίων εκπαίδευσης που αντιστοιχούν στους συγκεκριμένους τύπους εδαφικής κάλυψης του κάθε υπό τμήματος για κάθε περιοχή μελέτης, με βάση το σχήμα της ταξινόμησης.
3. Πραγματοποιήθηκε μια προσέγγιση ασαφούς ή ήπιας ταξινόμησης για κάθε επιμέρους χωρική οντότητα αναφοράς.
4. Χρησιμοποιήθηκε η ασαφής συνέλιξη, για τη δημιουργία μιας ενιαίας εικόνας ταξινόμησης για τα επιμέρους υπό τμήματα κάθε περιοχής μελέτης.

Βήμα 5ο Εφαρμογή τεχνικών μετά-ταξινόμησης (post- classification techniques)

1. Ενοποιήθηκαν οι επιμέρους εικόνες ταξινόμησης για κάθε περιοχή μελέτης, και χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα για την εξομάλυνση της εικόνας και την απόδοση της κυρίαρχης τάξης.
2. Τα ψηφιδωτά αρχεία των ταξινομημένων εικόνων μετατράπηκαν σε διανυσματικά, και εφαρμόστηκε η τεχνική εξάλειψης (eliminate), με την οποία μπορεί να επιτευχθεί εξάλειψη πολύγωνων έπειτα από τη συγχώνευσή τους σε γειτονικά πολύγωνα με το μεγαλύτερο εμβαδό ή με το μεγαλύτερο κοινό περίγραμμα.

Βήμα 6ο Ανίχνευση αλλαγών φυσικής βλάστησης λόγω εποχικής διακύμανσης της χλωροφύλλης

Υπολογίστηκε η μεγίστη ανάπτυξη της πράσινης βιομάζας που παρατηρείται την άνοιξη, καθώς και η ελάχιστη κατά την ξηρότερη περίοδο, για κάθε περιοχή μελέτης. Μέσω της

υπέρθεσης των δύο εικόνων και τη χρήση τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών (change detection techniques), οριστικοποιήθηκαν οι κατηγορίες βλάστησης για κάθε περιοχή μελέτης.

Βήμα 7ο Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Τα διανυσματικά αρχεία των ειδών βλάστησης για τις περιοχές εφαρμογής αποθηκεύτηκαν σε μια χωρική βάση δεδομένων και οι εξαγόμενες πληροφορίες παρουσιάστηκαν μέσω θεματικών χαρτών.

Βήμα 7ο Αξιολόγηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων

Για την αξιολόγηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων των περιοχών μελέτης επιλέχθηκε ένα σχήμα τυχαίας δειγματοληψίας. Ο αριθμός των σημείων αναφοράς διαμορφώθηκε ανάλογα με το ποσοστό που καταλάμβανε η κάθε κατηγορία βλάστησης καθώς και σε σχέση με τη σημαντικότητα της. Οι συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια πινάκων σύγχυσης.

Βήμα 8ο Ανάλυση των αποτελεσμάτων των αξιολογήσεων της ακρίβειας

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα των παραγόμενων χαρτών σε τοπική κλίμακα και να εξεταστεί η επίδραση του κατακερματισμού των περιοχών μελέτης σε επιμέρους μονάδες επεξεργασίας, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της ακρίβειας για κάθε επιμέρους χωρική μονάδα επεξεργασίας των περιοχών μελέτης.

3.4 Συλλογή δεδομένων

Για το νησί της Ρόδου χρησιμοποιήθηκαν δυο δορυφορικές εικόνες οι οποίες κάλυπταν πλήρως την περιοχή μελέτης, μια η οποία λήφθηκε στις 04/05/2012 (περίοδος ανάπτυξης βιομάζας) και μια στις 26/09/2012 (περίοδος ξηρής βιομάζας) (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α Εικόνα Α 1 & Εικόνα Α 2).

Για τη χαρτογράφηση της βλάστησης της Καστοριάς χρησιμοποιήθηκε μια δορυφορική εικόνα κατά την περίοδο ανάπτυξης της βιομάζας με ημερομηνία λήψεως στις 12/06/2012 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ,Εικόνα Α 3), και 4 εικόνες οι οποίες ελήφθησαν στις 03/09/2012, 21/09/2012, 26/09/2012 και 01/10/2012 για την κάλυψη της περιοχής όσον αφορά στην ξηρότερη περίοδο (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α , Εικόνα Α 4).

Για την Χαλκιδική χρησιμοποιήθηκαν τρεις δορυφορικές εικόνες οι οποίες κάλυπταν την περιοχή μελέτης κατά την περίοδο ανάπτυξη βιομάζας, με ημερομηνίες λήψης τις 22/04/2012, 03/05/2012, και 22/06/2012 (Εικόνα Α 5), και πέντε δορυφορικές εικόνες για την περίοδο ξηρής βιομάζας, οι οποίες ελήφθησαν στις 15/08/2012, 20/08/2012, 24/09/2012, 29/09/2012 και 19/10/2012 (Εικόνα Α 6).

Για τη Δυτική Αττική χρησιμοποιήθηκαν δυο δορυφορικές εικόνες οι οποίες κάλυπταν πλήρως την περιοχή μελέτης, μια η οποία λήφθηκε στις 22/04/2012 (περίοδος ανάπτυξης βιομάζας) και μια στις 29/09/2012 (περίοδος ξηρής βιομάζας) (Εικόνα Α 7 και Εικόνα Α 8 αντίστοιχα στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α).

Για την Μεσσηνία χρησιμοποιήθηκαν δυο δορυφορικές εικόνες οι οποίες κάλυπταν την περιοχή μελέτης κατά την περίοδο ανάπτυξη βιομάζας, με ημερομηνίες λήψης τις 04/05/2010 και 16/04/2010 (Εικόνα Α 9), και πέντε δορυφορικές εικόνες για την περίοδο ξηρής βιομάζας, οι οποίες ελήφθησαν στις 11/08/2010, 13/08/2010, 18/08/2010, 02/09/2010 και 06/11/2010 (Εικόνα Α 10).

3.5 Προετοιμασία δεδομένων

3.5.1.1 Υπολογισμός δεικτών βλάστησης

Η ταξινόμηση της βλάστησης πολλές φορές βελτιώνεται με τη χρήση δεικτών που υπολογίζονται από τα αρχικά κανάλια της εικόνας (Ενότητα 2.5.9.2). Έχει ήδη συζητηθεί στην ενότητα 2.5.9.2.1, η σημαντικότητα και ο μεγάλος όγκος άρθρων που προτείνει τη χρήση του δείκτη NDVI στην ταξινόμηση της βλάστησης. Υπολογίστηκε ο κλασικός δείκτης NDVI (Εξ. (19)) αλλά υπολογίστηκε και η εκδοχή του με τη χρήση του καναλιού ερυθρού άκρου (Εξ. (20)), για όλες τις εικόνες των περιοχών μελέτης. Οι εικόνες μετασχηματίστηκαν στο δυναμικό εύρος των εικόνων RapidEye.

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (19)$$

$$NDVI_{red_edge} = \frac{NIR-R_{red_edge}}{NIR+R_{red_edge}} \quad (20)$$

Ο υπολογισμός του NDVI με τη χρήση του καναλιού του ερυθρού άκρου της ακτινοβολίας (Gitelson & Merzlyak, 1994, 1997) (NDVI_RE), αποτελεί μια σημαντική μεταβλητή για την βελτίωση της εικόνας στο φασματικό χώρο, καθώς αυτή η ζώνη ακτινοβολίας είναι σε θέση να παράσχει πρόσθετες πληροφορίες προκειμένου να προσδιοριστούν τα είδη (βλ. σελ. 127). Επιπλέον, όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Haboudane et al., 2002; Viiña & Gitelson, 2005; Tapsall et al., 2010; Asam et al., 2013) ο NDVI_RE παρουσιάζει μικρότερο κορεσμό σε σύγκριση με τον παραδοσιακό NDVI πάνω από περιοχές υψηλής βλάστησης (δασώδεις) καθώς είναι πιο ευαίσθητος σε μεταβολές που εμφανίζονται σε υψηλότερες πυκνότητες βλάστησης. Η μεταβλητή αυτή προστέθηκε ως νέο επιπλέον κανάλι σε κάθε εικόνα για όλες τις περιοχές μελέτης. Με την προσθήκη του NDVI είναι δυνατόν να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση της τοπογραφίας και της γεωμετρίας παρατήρησης.

Οι εικόνες NDVI χρησιμοποιήθηκαν τόσο για την ενίσχυση της δυνατότητας διαχωρισμού των τύπων εδαφοκάλυψης, όσο και για την ανάλυση των τιμών του δείκτη σχετικά με τη διακύμανση των δραστηριοτήτων της χλωροφύλλης και της ανάπτυξης της πράσινη βιομάζας (Καλαμποκίδης et al., 2014).

3.5.1.2 Γεωμετρική σύμπτωση / εγγραφή (Geometric Registration)

Η ανάλυση πολύ-χρονικών εικόνων απαιτεί ακριβή γεωαναφορά και σύμπτωση των χρησιμοποιούμενων εικόνων εικονοστοιχείο με εικονοστοιχείο. Τα δορυφορικά δεδομένα που

χρησιμοποιήθηκαν ήταν γεωμετρικά διορθωμένα, όμως δεν υπήρχε απόλυτη σύμπτωση μεταξύ των εικόνων για τις δυο εποχές αναφοράς, ειδικά σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο. Η μη απόλυτη σύμπτωση μεταξύ των εικόνων θα μπορούσε να υποβαθμίσει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια της ταξινόμησης. Στην ενότητα 2.3.8.2 συζητήθηκε ότι ακόμη και μια μη σύμπτωση της τάξεως 0,2 ρίχει μπορεί να προκαλέσει έως και 10% σφάλμα στην εκτίμηση της μεταβολής των φασματικών τιμών. Για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια υπό-εικονοστοιχείου χρησιμοποιήθηκε ένας αυτόματος αλγόριθμος αναζήτησης για τον προσδιορισμό ενός συνόλου σημείων ελέγχου εδάφους, με αποτέλεσμα οι εικόνες να πληρούν τις προϋποθέσεις γεωαναφοράς για την ανάλυση εικόνων πολλαπλών ημερομηνιών.

3.6 Σχεδιασμός του πλαισίου της ταξινόμησης

3.6.1 Διαστρωμάτωση σε Φυσική / Μη φυσική Βλάστηση

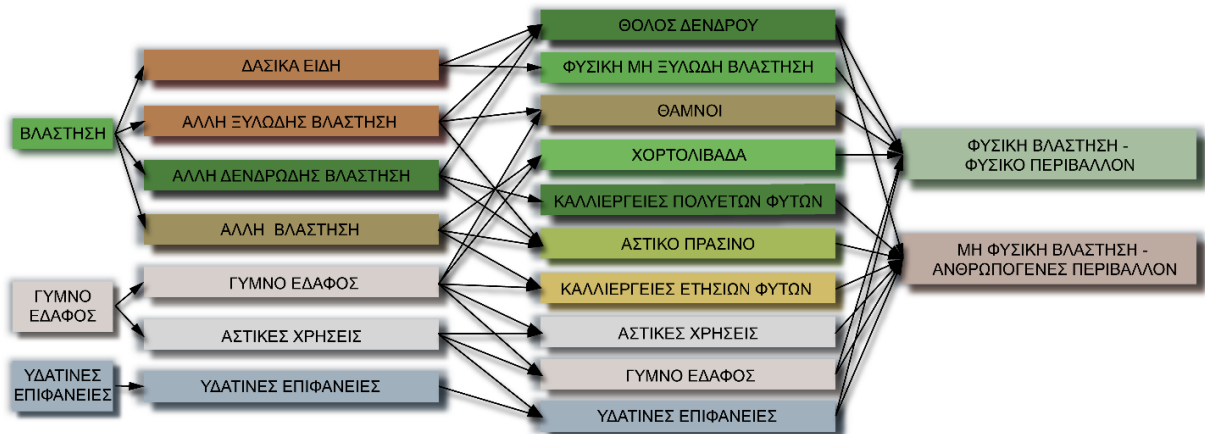
Ως μη φυσική βλάστηση θεωρήθηκε το ανθρωπογενές περιβάλλον των περιοχών μελέτης, και περιλαμβάνει:

1. Τεχνητές επιφάνειες
2. Γεωργικές περιοχές

Ενώ η φυσική βλάστηση περιλαμβάνει:

1. Δάση, φυσικές και ημι-φυσικές περιοχές
2. Υδάτινες επιφάνειες

Η διαστρωμάτωση σε φυσική / μη φυσική βλάστηση των περιοχών μελέτης αποτέλεσε ένα δύσκολο εγχείρημα καθώς εμφανίζονται αλληλοσυνδέσεις μεταξύ των κατηγοριών κάλυψης και χρήσεις γης όπως διαφαίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Ιεραρχικό μοντέλο κάλυψης γης και διαστρωμάτωση σε φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον

Όπως υποδεικνύεται από τα βέλη στο Σχήμα 3.2, οι κατηγορίες κάλυψης γης δεν μπορούν να μεταφερθούν από τη μια κατηγορική κλίμακα στην επόμενη με μια αντιστοίχιση ένα-προς-ένα έτσι ώστε οι τύποι κάλυψης γης να διαχωριστούν σε κατηγορίες χρήσης γης.

3.6.1.1 Περιγραφή κατηγοριών ανθρωπογενούς περιβάλλοντος

1. Τεχνητές επιφάνειες

- 1.1. Αστικός ιστός, Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες, Ζώνες λιμένων, Αεροδρόμια, Χώροι εξορύξεως ορυκτών, Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων, Χώροι οικοδόμησης

- α. Το μεγαλύτερο μέρος της γης καλύπτεται από κατασκευές. Κτίρια, δρόμοι και εκτάσεις τεχνητής κάλυψης καλύπτουν περισσότερο από το 80% της συνολικής επιφάνειας.
- β. Κτίρια, δρόμοι και εκτάσεις τεχνητής κάλυψης συνδέονται με περιοχές με βλάστηση και γυμνό έδαφος, οι οποίες καταλαμβάνουν ασυνεχείς αλλά σημαντικές επιφάνειες, καλύπτοντας μεταξύ 50 και 80% της συνολικής επιφάνειας. Κατοικημένες περιοχές γύρω από τα άκρα των αστικών περιφερειακών κέντρων, αστικές χρήσεις σε αγροτικές περιοχές, διάσπαρτη γεωργική κατοικία.

2. Τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πρασίνου

- α. Περιοχές αστικού πρασίνου: Περιοχές με βλάστηση εντός του αστικού ιστού, δημόσια πάρκα, ιδιωτικές καταπράσινες εκτάσεις
- β. Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής: Κάμπινγκ, αθλητικές εγκαταστάσεις, πάρκα αναψυχής, γήπεδα γκολφ κλπ.

2. Γεωργικές περιοχές

- 2.1. Αρόσιμη γη: Εκτάσεις που καλύπτονται από καλλιέργειες οι οποίες υπόκεινται στο σύστημα της εναλλαγής των καλλιεργειών (αμειψισπορά), περιλαμβανομένων των αγροναπαύσεων. Ετήσιες ή πολυετείς καλλιέργειες, θερμοκήπια.
- 2.2. Μόνιμες καλλιέργειες: Καλλιέργειες που δε βρίσκονται σε καθεστώς αμειψισποράς, το οποίο παρέχει δυνατότητα για πολλές συγκομιδές και καταλαμβάνουν τη γη για μεγάλο χρονικό διάστημα, πριν οργωθεί και ξαναφυτευτεί. Περιλαμβάνονται φυτείες δασικής καλλιέργειας, ελαιώνες, οπωροφόρα δένδρα, δέντρα με καρπούς με κέλυφος, εσπεριδοειδή, αμπέλια. Δεν περιλαμβάνονται λιβάδια, βοσκότοποι και δάση.
- 2.3. Ετερογενείς γεωργικές περιοχές: Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες, σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, γεωργικές περιοχές με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και γεωργοδασικές περιοχές, και οι οποίες περιλαμβάνουν:
 - α. Προσωρινές καλλιέργειες (αρόσιμη γη ή λιβάδια) που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες σε μια και την αυτή έκταση.
 - β. Σύνθεση μικρών αγροτεμαχίων διαφόρων ετήσιων καλλιεργειών, βοσκότοπων και μόνιμων καλλιεργειών.
 - γ. Περιοχές, κυρίως, γεωργικές, που διακόπτονται από φυσική ή δασική βλάστηση.

3.6.2 Ταξινόμηση ειδών φυσικής βλάστησης

Έπειτα από φωτοερμηνεία της κάθε περιοχής μελέτης αλλά και λαμβάνοντας υπόψη τις δειγματοληπτικές καταγραφές των τύπων βλάστησης έπειτα από επιτόπια έρευνα μελών της ερευνητικής ομάδας του Έργου, δημιουργήθηκε το σχήμα της ταξινόμησης για κάθε περιοχή εφαρμογής. Το σχήμα της ταξινόμησης για κάθε περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τις τάξεις που ήταν σημαντικές για την εκτίμηση της καύσιμης ύλης κάθε περιοχής, αλλά ταυτόχρονα ήταν και διακριτές από τα ίδια τα δεδομένα. Όπως οι Χιε κ.α. (2008) επισημαίνουν «το επιλεγμένο σχήμα ταξινόμησης θα πρέπει να μπορεί να «παράγει» διακριτές φασματικές υπογραφές έτσι ώστε να εφαρμοστεί μια προσέγγιση ταξινόμησης». Παρακάτω παρουσιάζεται το σχήμα της ταξινόμησης για κάθε περιοχή μελέτης.

3.6.2.1 Περιγραφή κατηγοριών φυσικής βλάστησης

3.6.2.1.1 Ρόδος

1. Δάση: Βλάστηση που αποτελείται κυρίως από κωνοφόρα δένδρα, αλλά είναι δυνατόν να περιλαμβάνει κωνοφόρα είδη δέντρων με θαμνώδη βλάστηση.

1.1. Δάση τραχείας πεύκης

1.1.1. Πυκνή τραχεία πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100%

1.1.2. Αραιή τραχεία πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 21-50%. Δεν περιλαμβάνει θάμνους και χαμόδεντρα. Δεν αποτελεί μικτό δάσος.

1.1.3. Αραιή τραχεία πεύκη με φρύγανα/αείφυλλα: Αποτελείται κυρίως από διάσπαρτα δέντρα τραχείας πεύκης αλλά περιλαμβάνει και θάμνους καθώς και χαμόδεντρα στον υποόροφο, με πυκνότητα κάλυψης του εδάφους περίπου 51-80%. Μπορεί να αντιπροσωπεύει την απογύμνωση δασώδους έκτασης ή την αναγέννηση / φυσική αναδάσωση. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις που συχνά είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να οριοθετηθούν σε δορυφορικές εικόνες.

1.2. Δάση κυπαρισσιού: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα κυπαρισσιού με πυκνότητα 81-100%.

2. Θαμνώδης βλάστηση: Φρύγανα/θάμνοι. Εκτάσεις με θαμνώδη βλάστηση με χαμηλή και κλειστή κάλυψη που κυριαρχείται από σκληροφυλλική θαμνώδη βλάστηση, κυρίως φρύγανα με πυκνότητα 51-80%. Αυτός ο τύπος βλάστησης είναι χαρακτηριστικός των μεσογειακών οικοσυστημάτων και θεωρείται ότι είναι συνήθως αποτέλεσμα υποβάθμισης προ υπάρχουσας βλάστησης, μακκίας και δάσους. Αναπτύσσεται σε φτωχά, άγονα και

υποβαθμισμένα εδάφη από πυρκαγιά ή υπερβόσκηση. Παρουσιάζει εποχικό διμορφισμό (μεγάλα φύλλα το χειμώνα - μικρά και χνουδωτά φύλλα το καλοκαίρι).

3. Παραποτάμια βλάστηση: Βλάστηση που βρίσκεται σε τέλματα, έλη, όχθες ποταμών ή ρυακιών με πυκνότητα κάλυψης 51-80%.
4. Ανοιχτοί χώροι με αραιή ή καθόλου βλάστηση
 - 4.1. Γυμνά εδάφη: Περιλαμβάνονται οι εκτάσεις με πετρώδη άγονα εδάφη και απογυμνωμένους βράχους, καθώς και οι εκτάσεις με αραιή διάσπαρτη βλάστηση, λιγότερο από 20%. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει κυρίως περιοχές υψηλού υψομέτρου με λίγη θαμνώδη και/ή ποώδη βλάστηση (λόγω διάβρωσης ή καθυστερημένης τήξης χιονιού ή πάγου).
 - 4.2. Ακρογιαλιές: παράκτιες και ηπειρωτικές ζώνες με άμμο ή βότσαλα (κροκάλες),
 - 4.3. Παραλίες: Οι παραλίες μπροστά στις αστικές παράκτιες περιοχές. Διακρίνονται από τις τεχνητές επιφάνειες.
 - 4.4. Αποτεφρωμένες εκτάσεις:
 - 4.4.1. Καμένες εκτάσεις: Περιοχές που πληγεί από πρόσφατες πυρκαγιές, και παραμένουν αποτεφρωμένες. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν πυρκαγιές σε δάση και ημί-φυσικές περιοχές. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με τη χρήση εικόνων NDVI ή/και πολλαπλών εποχών.
 - 4.4.2. Καμένη πεύκη: Περιοχές που πληγεί από πυρκαγιές, και παραμένουν αποτεφρωμένοι ιστάμενοι κορμοί δένδρων. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν πυρκαγιές σε δάση πεύκης. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερα με φωτοερμηνεία.
5. Υδάτινες επιφάνειες: Επιφάνειες στάσιμου ύδατος, φυσικές ή τεχνητές. Θαλάσσια ύδατα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις ανοικτές υδάτινες επιφάνειες με ποσοστό κάλυψης πάνω από 95%.

Προέκυψε ένα σύστημα 13 τάξεων κάλυψης γης όπως παρουσιάζεται (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3 Κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης Ρόδου

Κατηγορία	Περιγραφή
1. Αστικές χρήσεις και καλλιέργειες	Περιοχές στις οποίες επικρατούν κυρίως καλλιέργειες ή καλλιεργούμενες εκτάσεις χωρίς καλλιέργειες, αστικά συγκροτήματα και άλλες τεχνητές επιφάνειες (λατομεία, εργοτάξια, χώροι απόθεσης υλικών κ.τ.λ.)
2. Γυμνά εδάφη	Περιοχές με αραιή βλάστηση (λιγότερο από 20%), βραχώδεις, άγονες
3. Φρύγανα, θάμνοι	Περιοχές με φρύγανα ή/και θάμνους (51-80%)
4. Δάση τραχείας πεύκης	Περιοχές με παρουσία πυκνής τραχείας πεύκης (κατά προσέγγιση 81-100%)
5. Δάση κυπαρισσιού	Περιοχές με πυκνή παρουσία κυπαρισσιών (81-100%)
6. Δάση αραιής τραχείας πεύκης	Περιοχές με παρουσία αραιής τραχείας πεύκης (21-50%)
7. Δάση αραιής τραχείας πεύκης με φρύγανα/ αείφυλλα	Δάση αραιής τραχείας πεύκης με παρουσία φρυγάνων ή/και θάμνων (51-80%)
8. Παραποτάμια βλάστηση	Βλάστηση που βρίσκεται σε τέλματα, έλη, όχθες ποταμών ή ρυακιών (51-80%)
9. Καμένες εκτάσεις	Περιοχές μετά από πρόσφατο περιστατικό πυρκαγιάς
10. Καμένη πεύκη	Πρόσφατα καμένες περιοχές με διακριτά καμένους ιστάμενους κορμούς
11. Υδάτινες επιφάνειες	Όλες οι ανοικτές υδάτινες επιφάνειες με ποσοστό πάνω από 95%, λίμνες (φυσικές ή τεχνητές)
12. Ακρογιαλιές	Βραχώδεις ή αμμώδεις περιοχές κατά μήκος παραλιών
13. Παραλίες	Διαμορφωμένος παράκτιος χώρος παροχής υπηρεσιών προς λουόμενους

3.6.2.1.2 Καστοριά

1. Δάση: Βλάστηση που αποτελείται κυρίως από πλατύφυλλα και κωνοφόρα δένδρα.

1.1. Δάση δρυός

1.1.1. Πυκνή δρυς: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100%

1.1.2. Αραιή δρυς: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 51-80%.

1.2. Δάση οξιάς: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100%

1.3. Δάση καστανιάς: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 21-50%. Μπορεί να περιλαμβάνει θάμνους και χαμόδεντρα.

1.4. Δάση μαύρης πεύκης

1.4.1. Πυκνή μαύρη πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100%

1.4.2. Αραιή μαύρη πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 51-80%.

1.5. Δάση ελάτης: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100%

2. Χορτολίβαδα: Φυσικά λιβάδια. Πυκνή κάλυψη από μια μεγάλη ποικιλία σε είδη χορταριών και λίγους διάσπαρτους θάμνους. Στις εκτάσεις αυτές περιλαμβάνονται και οι άγονοι (φυσικοί) βοσκότοποι με αυτοφυές χόρτο, που δεν εμφανίζουν κανονικά σύνορα αγροτεμαχίων. Αυτή η κατηγορία κάλυψης γης εντοπίζεται συχνότερα σε περιοχές όπου υπάρχει εκτεταμένη γεωργική δραστηριότητα. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με τη χρήση εικόνων πολλαπλών εποχών καθώς θα πρέπει να διαχωριστεί από τα γυμνά εδάφη και τις θαμνώδεις εκτάσεις.
3. Παραποτάμια βλάστηση: Βλάστηση που βρίσκεται σε τέλματα, έλη, όχθες ποταμών ή ρυακιών με πυκνότητα κάλυψης 51-80%.
4. Υγρότοπος ενδοχώρας
 - 4.1.1. Παραλίμνια βλάστηση: Ζώνη περιμετρικά της λίμνης με διαβαθμίσεις τυπικής υδρόφιλης και υδροχαρούς βλάστησης (καλάμια, βούρλα υδροχαρή φυτά κλπ.).
 - 4.1.2. Παραλίμνιο δάσος: Είναι η ζώνη των υδρόφιλων δέντρων και θάμνων. Βρίσκεται ακριβώς στις όχθες της λίμνης και αποτελείται συνήθως από λεύκες, πλατάνια, ιτιές, σκλήθρα, φτελιές και πολλά αναρριχώμενα φυτά.

Οι κατηγορίες αυτές μπορούν ευκολότερα να αναγνωριστούν και να επισημανθούν μετά την ταξινόμηση.
5. Ανοιχτοί χώροι με αραιή ή καθόλου βλάστηση
 - 5.1. Γυμνά εδάφη: Περιλαμβάνονται οι εκτάσεις με πετρώδη άγονα εδάφη και απογυμνωμένους βράχους, καθώς και οι εκτάσεις με αραιή διάσπαρτη βλάστηση, λιγότερο από 20%. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει κυρίως περιοχές υψηλού υψομέτρου με λίγη θαμνώδη και/ή ποώδη βλάστηση (λόγω διάβρωσης ή καθυστερημένης τήξης χιονιού ή πάγου).
 - 5.2. Αποτεφρωμένες εκτάσεις:
 - α. Καμένες εκτάσεις: Περιοχές που έχουν πληγεί από πρόσφατες πυρκαγιές, και παραμένουν αποτεφρωμένες. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν πυρκαγιές σε δάση και ημί-φυσικές περιοχές. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με τη χρήση εικόνων NDVI ή/και πολλαπλών εποχών.
6. Υδάτινες επιφάνειες: Επιφάνειες στάσιμου ύδατος, φυσικές ή τεχνητές. Θαλάσσια ύδατα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις ανοικτές υδάτινες επιφάνειες με ποσοστό κάλυψης πάνω από 95%.

Προέκυψε ένα σύστημα 15 τάξεων (Πίνακας 3.4).

Πίνακας 3.4 Κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης Καστοριάς

Κατηγορία	Περιγραφή
1. Αστικές χρήσεις και καλλιέργειες	Περιοχές στις οποίες επικρατούν κυρίως καλλιέργειες ή καλλιεργούμενες εκτάσεις χωρίς καλλιέργειες, αστικά συγκροτήματα και άλλες τεχνητές επιφάνειες (λατομεία, εργοτάξια, χώροι απόθεσης υλικών κ.τ.λ.)
2. Γυμνά εδάφη	Περιοχές με αραιή βλάστηση (λιγότερο από 20%), βραχώδεις, άγονες
3. Χορτολιβαδά	Ανοιχτές περιοχές με ιδιαίτερη φυσιογνωμία: μεγάλη ποικιλία σε είδη χορταριών και λίγοι διάσπαρτοι θάμνοι, φυσικά λιβάδια, βοσκήσιμες εκτάσεις
4. Δάση πυκνής Δρυός	Περιοχές με παρουσία πυκνού δάσους δρυός (κατά προσέγγιση 81-100%)
5. Δάση Οξιάς	Περιοχές με παρουσία πυκνής οξιάς (81-100%)
6. Δάση πυκνής μαύρης Πεύκης	Περιοχές με παρουσία πυκνής μαύρης Πεύκης (81-100%)
7. Δάση Ελάτης	Περιοχές με παρουσία πυκνής ελάτης (81-100%)
8. Δάση Καστανιάς	Περιοχές με παρουσία καστανιών (ή φυλλοβόλων) (κατά προσέγγιση 21-50%)
9. Δάση αραιής Δρυός	Περιοχές με παρουσία αραιού δάσους δρυός (κατά προσέγγιση 51-80%)
10. Δάση αραιής μαύρης Πεύκης	Περιοχές με παρουσία αραιής μαύρης Πεύκης (κατά προσέγγιση 51-80%)
11. Παραποτάμια βλάστηση	Βλάστηση που βρίσκεται σε τέλματα, έλη, όχθες ποταμών ή ρυακιών (51-80%)
12. Παραλίμνια βλάστηση	Βλάστηση που βρίσκεται σε τέλματα, σε όχθες λιμνών και σε ήρεμα νερά
13. Παραλίμνιο δάσος	Δάσος που βρίσκεται ακριβώς στις όχθες της λίμνης και αποτελείται συνήθως από λεύκες, πλατάνια, ιτιές, σκλήθρα, φτελιές και πολλά αναρριχώμενα φυτά.
14. Καμένες εκτάσεις	Περιοχές μετά από πρόσφατο περιστατικό πυρκαγιάς
15. Υδάτινες επιφάνειες	Όλες οι ανοικτές υδάτινες επιφάνειες με ποσοστό πάνω από 95%, λίμνες (φυσικές ή τεχνητές)

3.6.2.1.3 Χαλκιδική

1. Δάση: Βλάστηση που αποτελείται, κυρίως, από δένδρα (πλατύφυλλα ή κωνοφόρα), αλλά είναι δυνατόν να περιλαμβάνει θάμνους και χαμόδεντρα.

1.1. Δάση τραχείας πεύκης

1.1.1. Πυκνή τραχεία πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100%

1.1.2. Νεαρή τραχεία πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από σκόρπια δέντρα με πυκνότητα 1-20%, που μπορεί να προκύψει από την αναγέννηση ή αναδάσωση.

1.1.3. Αραιή τραχεία πεύκη με φρύγανα/αιψύλλα: Αποτελείται κυρίως από διάσπαρτα δέντρα τραχείας πεύκης αλλά περιλαμβάνει και θάμνους καθώς και χαμόδεντρα στον υποόροφο, με πυκνότητα κάλυψης του εδάφους περίπου 21-50%. Μπορεί να αντιπροσωπεύει την απογύμνωση δασώδους έκτασης ή την αναγέννηση / φυσική αναδάσωση. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις που συχνά είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να οριοθετηθούν σε δορυφορικές εικόνες.

1.2. Δάση μαύρης πεύκης

1.2.1. Πυκνή μαύρη πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100%

1.3. Δάση ελάτης: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 51-80%

1.4. Δάση δρυός

1.4.1. Πυκνή δρυς: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100%

1.4.2. Αραιή δρυς: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 21-50%. Μπορεί να περιλαμβάνει και θάμνους καθώς και χαμόδεντρα στον υποόροφο.

1.5. Δάση οξιάς: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100%

1.6. Δάση καστανιάς: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 21-50%. Μπορεί να περιλαμβάνει θάμνους και χαμόδεντρα.

1.7. Μικτά δάση

1.7.1. Δάση Πλατύφυλλων: Μικτά δάση πλατύφυλλων. Η βλάστηση εμφανίζει πυκνότητα 81-100% όπου δεν κυριαρχεί κάποιο συγκεκριμένο είδος. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει σύνθετες δασικές εκτάσεις με ένα μωσαϊκό ειδών πλατύφυλλων, όπου δεν μπορεί να διακριθεί ομοιογενής συστάδα ενός είδους.

2. Χορτολίβαδα: Φυσικά λιβάδια. Πυκνή κάλυψη από μια μεγάλη ποικιλία σε είδη χορταριών και λίγους διάσπαρτους θάμνους. Στις εκτάσεις αυτές περιλαμβάνονται και οι άγονοι (φυσικοί) βοσκότοποι με αυτοφυές χόρτο, που δεν εμφανίζουν κανονικά σύνορα αγροτεμαχίων. Αυτή η κατηγορία κάλυψης γης εντοπίζεται συχνότερα σε περιοχές όπου υπάρχει εκτεταμένη γεωργική δραστηριότητα. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με τη χρήση εικόνων πολλαπλών εποχών καθώς θα πρέπει να διαχωριστεί από τα γυμνά εδάφη και τις θαμνώδεις εκτάσεις.

3. Θαμνώδης βλάστηση

3.1. Φρύγανα/θάμνοι: Εκτάσεις με θαμνώδη βλάστηση με χαμηλή και κλειστή κάλυψη με πυκνότητα 21-50% που κυριαρχείται από σκληροφυλλική θαμνώδη βλάστηση.

3.2. Φρύγανα: Χαρακτηριστική βλάστηση με χαμηλούς θάμνους με πυκνότητα 81-100%. Αυτός ο τύπος βλάστησης απαντάται στα χαμηλά υψόμετρα και θεωρείται ότι συνήθως είναι αποτέλεσμα υποβάθμισης προ υπάρχουσας βλάστησης, μακκίας και

δάσους. Αναπτύσσεται σε φτωχά, άγονα και υποβαθμισμένα από πυρκαγιά ή υπερβόσκηση εδάφη. Παρουσιάζει εποχικό διμορφισμό (μεγάλα φύλλα το χειμώνα - μικρά και χνουδωτά φύλλα το καλοκαίρι).

3.3. Πουρνάρια: Η κατηγορία περιλαμβάνει πυκνούς (81-100%) και υψηλούς αείφυλλους-σκληρόφυλλους θάμνους με χαρακτηριστικότερο είδος τα πουρνάρια.

4. Ανοιχτοί χώροι με αραιή ή καθόλου βλάστηση

4.1. Γυμνά εδάφη: Περιλαμβάνονται οι εκτάσεις με πετρώδη άγονα εδάφη και απογυμνωμένους βράχους, καθώς και οι εκτάσεις με αραιή διάσπαρτη βλάστηση, λιγότερο από 20%. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει κυρίως περιοχές υψηλού υψομέτρου με λίγη θαμνώδη και/ή ποώδη βλάστηση (λόγω διάβρωσης ή καθυστερημένης τήξης χιονιού ή πάγου).

4.2. Αποτεφρωμένες εκτάσεις:

4.2.1. Καμένες εκτάσεις: Περιοχές που έχουν πληγεί από πρόσφατες πυρκαγιές, και παραμένουν αποτεφρωμένες. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν πυρκαγιές σε δάση και ημί-φυσικές περιοχές. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με τη χρήση εικόνων NDVI ή/και πολλαπλών εποχών.

5. Υδάτινες επιφάνειες: Επιφάνειες στάσιμου ύδατος, φυσικές ή τεχνητές. Θαλάσσια ύδατα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις ανοικτές υδάτινες επιφάνειες με ποσοστό κάλυψης πάνω από 95%.

Προέκυψε ένα σύστημα 18 τάξεων κάλυψης γης (Πίνακας 3.5).

Πίνακας 3.5 Κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης Χαλκιδικής

Κατηγορία	Περιγραφή
1. Γυμνά εδάφη	Περιοχές με αραιή βλάστηση (λιγότερο από 20%), βραχώδεις, άγονες
2. Χορτολίβαδα	Ανοιχτές περιοχές με ιδιαίτερη φυσιογνωμία: μεγάλη ποικιλία σε είδη χορταριών και λίγοι διάσπαρτοι θάμνοι, φυσικά λιβάδια, βοσκήσιμες εκτάσεις
3. Φρύγανα, θάμνοι	Περιοχές με φρύγανα ή/και θάμνους (21-50%)
4. Φρύγανα	Περιοχές με φρύγανα (81-100%)
5. Πουρνάρια	Περιοχές με παρουσία αείφυλλης σκληρόφυλλης βλάστησης (81-100%)
6. Δάση πυκνής τραχείας πεύκης	Περιοχές με παρουσία πυκνής τραχείας πεύκης (81-100%)
7. Δάση νεαρής τραχείας πεύκης	Περιοχές με παρουσία νεαρής πεύκης (αναγέννηση ή αναδάσωση) (1-20%)
8. Δάση πυκνής Δρυός	Περιοχές με παρουσία πυκνού δάσους δρυός (81-100%)
9. Δάση Οξυάς	Περιοχές με παρουσία πυκνής οξυάς (81-100%)
10. Δάση πυκνής μαύρης Πεύκης	Περιοχές με παρουσία πυκνής μαύρης Πεύκης (81-100%)
11. Δάση Ελάτης	Περιοχές με παρουσία ελάτης (51-80%)
12. Δάση Καστανιάς	Περιοχές με παρουσία καστανιών (ή φυλλοβόλων) (21-50%)
13. Δάση Πλατύφυλλων	Δάση που αποτελούνται κυρίως από πλατύφυλλα δέντρα (81-100%)
14. Δάση αραιής τραχείας Πεύκης με φρύγανα	Δάση αραιής τραχείας πεύκης με παρουσία φρύγανων ή/και θάμνων (21-50%)
15. Δάση αραιής Δρυός	Περιοχές με παρουσία αραιού δάσους δρυός (21-50%)
16. Καμένες εκτάσεις	Περιοχές μετά από πρόσφατο περιστατικό πυρκαγιάς
17. Υδάτινες επιφάνειες	Όλες οι ανοιχτές υδάτινες επιφάνειες με ποσοστό πάνω από 95%, λίμνες (φυσικές ή τεχνητές)
18. Αστικές χρήσεις και καλλιέργειες	Χρήση διανυσματικών δεδομένων

3.6.2.1.4 Δυτική Αττική

1. Δάση: Βλάστηση που αποτελείται κυρίως από κωνοφόρα δένδρα. Περιλαμβάνει επίσης κωνοφόρα είδη δέντρων με θαμνώδη βλάστηση.

1.1. Δάση τραχείας πεύκης

1.1.1. Πυκνή τραχεία πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100%

1.1.2. Αραιή τραχεία πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 21-50%. Δεν περιλαμβάνει θάμνους και χαμόδεντρα. Δεν αποτελεί μικτό δάσος.

1.1.3. Νεαρή τραχεία πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100% που μπορεί να προκύψει από την αναγέννηση ή αναδάσωση.

1.1.4. Αραιή τραχεία πεύκη με φρύγανα: Αποτελείται κυρίως από διάσπαρτα δέντρα τραχείας πεύκης αλλά περιλαμβάνει και φρύγανα στον υποόροφο, με πυκνότητα κάλυψης του εδάφους περίπου 21-50%. Μπορεί να αντιπροσωπεύει την απογύμνωση δασώδους έκτασης ή την αναγέννηση / φυσική αναδάσωση. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις

που συχνά είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να οριοθετηθούν σε δορυφορικές εικόνες.

- 1.1.5. Αραιή τραχεία πεύκη με αείφυλλα: Αποτελείται κυρίως από διάσπαρτα δέντρα τραχείας πεύκης αλλά περιλαμβάνει και αείφυλλους θάμνους καθώς και χαμόδεντρα στον υποόροφο, με πυκνότητα κάλυψης του εδάφους περίπου 51-80%. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις που συχνά είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να οριοθετηθούν σε δορυφορικές εικόνες.
- 1.2. Δάση ελάτης: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 51-80%
- 1.3. Μικτά δάση
 - 1.3.1. Μικτά δάση κυπαρισσιού και τραχείας πεύκης: Η βλάστηση εμφανίζει πυκνότητα 51-80% όπου δεν κυριαρχεί ούτε το κυπαρίσσι ούτε η πεύκη. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει μικτά δάση όπου δεν μπορεί να διακριθεί ομοιογενής συστάδα ενός είδους.
2. Χορτολίβαδα: Φυσικά λιβάδια. Πυκνή κάλυψη από μια μεγάλη ποικιλία σε είδη χορταριών και λίγους διάσπαρτους θάμνους. Στις εκτάσεις αυτές περιλαμβάνονται και οι άγονοι (φυσικοί) βοσκότοποι με αυτοφυές χόρτο, που δεν εμφανίζουν κανονικά σύνορα αγροτεμαχίων. Αυτή η κατηγορία κάλυψης γης εντοπίζεται συχνότερα σε περιοχές όπου υπάρχει εκτεταμένη γεωργική δραστηριότητα. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με τη χρήση εικόνων πολλαπλών εποχών καθώς θα πρέπει να διαχωριστεί από τα γυμνά εδάφη και τις θαμνώδεις εκτάσεις.
3. Θαμνώδης βλάστηση
 - 3.1. Φρύγανα/θάμνοι: Εκτάσεις με θαμνώδη βλάστηση με χαμηλή και κλειστή κάλυψη με πυκνότητα 21-50% που κυριαρχείται από σκληροφυλλική θαμνώδη βλάστηση.
 - 3.2. Θάμνοι, τραχεία πεύκη: Θαμνώδης βλάστηση που κυριαρχείται από θάμνους ενώ περιλαμβάνει και σκόρπια δέντρα τραχείας πεύκης, Η πυκνότητα κάλυψης κόμης στην περιοχή θεωρήθηκε μεταξύ 21-50%.
4. Ανοιχτοί χώροι με αραιή ή καθόλου βλάστηση
 - 4.1. Γυμνά εδάφη: Περιλαμβάνονται οι εκτάσεις με πετρώδη άγονα εδάφη και απογυμνωμένους βράχους, καθώς και οι εκτάσεις με αραιή διάσπαρτη βλάστηση, λιγότερο από 20%. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει κυρίως περιοχές υψηλού υψομέτρου με λίγη θαμνώδη και/ή πώδη βλάστηση (λόγω διάβρωσης ή καθυστερημένης τήξης χιονιού ή πάγου).
 - 4.2. Αποτεφρωμένες εκτάσεις:

4.2.1. Καμένες εκτάσεις: Περιοχές που έχουν πληγεί από πρόσφατες πυρκαγιές, και παραμένουν αποτεφρωμένες. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν πυρκαγιές σε δάση και ημί-φυσικές περιοχές. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με τη χρήση εικόνων NDVI ή/και πολλαπλών εποχών.

5. Υδάτινες επιφάνειες: Επιφάνειες στάσιμου ύδατος, φυσικές ή τεχνητές. Θαλάσσια ύδατα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις ανοικτές υδάτινες επιφάνειες με ποσοστό κάλυψης πάνω από 95%.

Προέκυψε ένα σύστημα 14 τάξεων (Πίνακας 3.6).

Πίνακας 3.6 Κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης Δυτικής Αττικής

Κατηγορία	Περιγραφή
1. Γυμνά εδάφη	Περιοχές με αραιή βλάστηση (λιγότερο από 20%), βραχώδεις, άγονες
2. Χορτολιβάδα	Ανοιχτές περιοχές με ιδιαίτερη φυσιογνωμία: μεγάλη ποικιλία σε είδη χορταριών και λίγοι διάσπαρτοι θάμνοι, φυσικά λιβάδια, βοσκήσιμες εκτάσεις
3. Φρύγανα, θάμνοι	Περιοχές με φρύγανα ή/και θάμνους (81-100%)
4. Θάμνοι, τραχεία Πεύκη	Θαμνώδεις περιοχές με παρουσία τραχείας πεύκης (21-50%)
5. Δάση πυκνής τραχείας Πεύκης	Περιοχές με παρουσία πυκνής τραχείας Πεύκης 81-100%
6. Δάση νεαρής τραχείας Πεύκης	Περιοχές με παρουσία νεαρής Πεύκης (αναγέννηση ή αναδάσωση) (81-100%)
7. Δάση Ελάτης	Περιοχές με παρουσία πυκνής ελάτης (51-80%)
8. Μικτά δάση κυπαρισσιού και τραχείας Πεύκης	Περιοχές με παρουσία πυκνού κυπαρισσιού και πυκνής τραχείας Πεύκης (51-80%)
9. Δάση αραιής τραχείας Πεύκης	Περιοχές με παρουσία αραιής τραχείας Πεύκης (21-50%)
10. Δάση αραιής τραχείας Πεύκης με φρύγανα	Δάση αραιής τραχείας Πεύκης με παρουσία φρυγανών ή/και θάμνων (21-50%)
11. Δάση αραιής τραχείας Πεύκης με αείφυλλα	Περιοχές με παρουσία αραιής Πεύκης και αείφυλλων (51-80%)
12. Καμένες εκτάσεις	Περιοχές μετά από πρόσφατο περιστατικό πυρκαγιάς
13. Υδάτινες επιφάνειες	Όλες οι ανοικτές υδάτινες επιφάνειες με ποσοστό πάνω από 95%, λίμνες (φυσικές ή τεχνητές)
14. Αστικές χρήσεις και καλλιέργειες	Χρήση διανυσματικών δεδομένων

3.6.2.1.5 Μεσσηνία

1. Δάση: Βλάστηση που αποτελείται, κυρίως, από δένδρα (πλατύφυλλα ή κωνοφόρα), αλλά είναι δυνατόν να περιλαμβάνει θάμνους και χαμόδεντρα.

1.1. Δάση τραχείας πεύκης

1.1.1. Πυκνή τραχεία πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 51-80%

1.1.2. Νεαρή τραχεία πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από διάσπαρτα δέντρα με πυκνότητα 21-50% που μπορεί να προκύψει από την αναγέννηση ή αναδάσωση.

1.2. Δάση μαύρης πεύκης

1.2.1. Αραιή μαύρη πεύκη: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 21-50%.

- 1.3. Δάση ελάτης: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 51-80%
- 1.4. Δάση δρυός: Ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 21-50%.
- 1.5. Μικτά δάση
 - 1.5.1. Δάση πλατύφυλλων: Μικτά δάση πλατύφυλλων. Η βλάστηση εμφανίζει πυκνότητα 51-80% όπου δεν κυριαρχεί κάποιο συγκεκριμένο είδος. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει σύνθετες δασικές εκτάσεις με ένα μωσαϊκό ειδών πλατύφυλλων, όπου δεν μπορεί να διακριθεί ομοιογενής συστάδα ενός είδους.
2. Χορτολίβαδα: Φυσικά λιβάδια. Πυκνή κάλυψη από μια μεγάλη ποικιλία σε είδη χορταριών και λίγους διάσπαρτους θάμνους. Στις εκτάσεις αυτές περιλαμβάνονται και οι άγονοι (φυσικοί) βοσκότοποι με αυτοφυές χόρτο, που δεν εμφανίζουν κανονικά σύνορα αγροτεμαχίων. Αυτή η κατηγορία κάλυψης γης εντοπίζεται συχνότερα σε περιοχές όπου υπάρχει εκτεταμένη γεωργική δραστηριότητα. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με τη χρήση εικόνων πολλαπλών εποχών καθώς θα πρέπει να διαχωριστεί από τα γυμνά εδάφη και τις θαμνώδεις εκτάσεις.
3. Θαμνώδης βλάστηση
 - 3.1. Φρύγανα/θάμνοι: Εκτάσεις με θαμνώδη βλάστηση με χαμηλή και κλειστή κάλυψη με πυκνότητα 51-80% που κυριαρχείται από σκληροφυλλική θαμνώδη βλάστηση.
 - 3.2. Φρύγανα : Χαρακτηριστική βλάστηση με χαμηλούς θάμνους με πυκνότητα 51-80%. Αυτός ο τύπος βλάστησης απαντάται στα χαμηλά υψόμετρα και θεωρείται ότι είναι συνήθως αποτέλεσμα υποβάθμισης προ υπάρχουσας βλάστησης, μακκίας και δάσους. Αναπτύσσεται σε φτωχά, άγονα και υποβαθμισμένα από πυρκαγιά ή υπερβόσκηση εδάφη. Παρουσιάζει εποχικό διμορφισμό (μεγάλα φύλλα το χειμώνα - μικρά και χνουδωτά φύλλα το καλοκαίρι).
 - 3.3. Πουρνάρια: Η κατηγορία περιλαμβάνει πυκνούς (51-80%) και υψηλούς αείφυλλους-σκληρόφυλλους θάμνους με χαρακτηριστικότερο είδος τα πουρνάρια.
4. Ανοιχτοί χώροι με αραιή ή καθόλου βλάστηση
 - 4.1. Γυμνά εδάφη: Περιλαμβάνονται οι εκτάσεις με πετρώδη άγονα εδάφη και απογυμνωμένους βράχους, καθώς και οι εκτάσεις με αραιή διάσπαρτη βλάστηση, λιγότερο από 20%. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει κυρίως περιοχές υψηλού υψόμετρου με λίγη θαμνώδη και/ή ποώδη βλάστηση (λόγω διάβρωσης ή καθυστερημένης τήξης χιονιού ή πάγου).
 - 4.2. Αποτεφρωμένες εκτάσεις:

4.2.1. Καμένες εκτάσεις: Περιοχές που έχουν πληγεί από πρόσφατες πυρκαγιές, και παραμένουν αποτεφρωμένες. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν πυρκαγιές σε δάση και ημί-φυσικές περιοχές. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με τη χρήση εικόνων NDVI ή/και πολλαπλών εποχών.

4.2.2. Καμένοι ιστάμενοι κορμοί: Περιοχές που έχουν πληγεί από πυρκαγιές, και παραμένουν αποτεφρωμένοι ιστάμενοι κορμοί δένδρων.

5. Υδάτινες επιφάνειες: Επιφάνειες στάσιμου ύδατος, φυσικές ή τεχνητές. Θαλάσσια ύδατα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις ανοικτές υδάτινες επιφάνειες με ποσοστό κάλυψης πάνω από 95%.

Προέκυψε ένα σύστημα 15 τάξεων όπως παρουσιάζει ο Πίνακας 3.7.

Πίνακας 3.7 Κατηγορίες ταξινόμησης κάλυψης γης Μεσσηνίας

Κατηγορία	Περιγραφή
1. Γυμνά εδάφη	Περιοχές με αραιή βλάστηση (λιγότερο από 20%), βραχώδεις, άγονες
2. Χορτολίβαδα	Ανοικτές περιοχές με ιδιαίτερη φυσιογνωμία: μεγάλη ποικιλία σε είδη χορταριών και λίγοι διάσπαρτοι θάμνοι, φυσικά λιβάδια, βοσκήσιμες εκτάσεις
3. Φρύγανα, θάμνοι	Περιοχές με φρύγανα ή/και θάμνους (51-80%)
4. Φρύγανα	Περιοχές με φρύγανα (51-80%)
5. Πουρνάρια	Περιοχές με παρουσία αείφυλλης σκληρόφυλλης βλάστησης (51-80%)
6. Δάση Δρυός	Περιοχές με παρουσία δάσους δρυός (21-50%)
7. Δάση Πλατύφυλλων	Δάση που αποτελούνται κυρίως από πλατύφυλλα δέντρα (51-80%)
8. Δάση πυκνής τραχείας Πεύκης	Περιοχές με παρουσία πυκνής τραχείας Πεύκης (51-80%)
9. Δάση νεαρής τραχείας Πεύκης	Περιοχές με παρουσία νεαρής Πεύκης (αναγέννηση ή αναδάσωση) (21-50%)
10. Δάση αραιής μαύρης Πεύκης	Περιοχές με παρουσία αραιής μαύρης Πεύκης (21-50%)
11. Δάση Ελάτης	Περιοχές με παρουσία πυκνής ελάτης (51-80%)
12. Καμένες εκτάσεις	Περιοχές μετά από πρόσφατο περιστατικό πυρκαγιές
13. Καμένοι ιστάμενοι κορμοί	Πρόσφατα καμένες περιοχές με διακριτά καμένα δένδρα
14. Υδάτινες επιφάνειες	Όλες οι ανοικτές υδάτινες επιφάνειες με ποσοστό πάνω από 95%, λίμνες (φυσικές ή τεχνητές)
15. Αστικές χρήσεις και καλλιέργειες	Χρήση διανυσματικών δεδομένων

3.7 Μέθοδοι

3.7.1 Σχεδιασμός μιας χωρικά προσαρμοσμένης προσέγγισης για τη χαρτογράφηση της βλάστησης

Στην ενότητα 2.5.7 (σελ. 141), συζητήθηκαν τα ζητήματα που ανακύπτουν στην ταξινόμηση μεγάλων εκτάσεων και αφορούν: α) στις διαφορές που παρατηρούνται στη δομή του θόλου ή τη σύνθεση χρωστικής για διάφορους οικοτύπους και τύπους πλαστικότητας για το ίδιο είδος και σχετίζονται με μεταβλητές συνθήκες της τοποθεσίας, β) στις διαφορές ανάκλασης λόγω διαφορετικής ηλικίας των φύλλων του ίδιου είδους για διαφορετικές θέσεις και γ) στις διαφορές που προκύπτουν από τη χρήση πολλαπλών σκηνών για την κάλυψη μιας μεγάλης περιοχής μελέτης, λόγω παραλλαγών στις συνθήκες της ατμόσφαιρας, της γήινης επιφάνειας, της προσπίπτουσας ηλιακής γωνίας κ.α.

Επίσης, όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.5.8 η πολυπλοκότητα των ατμοσφαιρικών και τοπογραφικών επιδράσεων αυξάνεται από τη μη Λαμπερτιανή συμπεριφορά ανακλαστικότητας πολλών επιφανειών ανάλογα με την προβολή και τη γεωμετρία φωτισμού, αλλά και από την «επίδραση του δέντρου», δηλαδή τη διακύμανση ανακλαστικότητας κάθε μεμονωμένης δομής θόλου λόγω του φωτισμού (ηλιόλουστη κόμη - σκιές). Επιπλέον, κατά τη χαρτογράφηση μεγάλων εκτάσεων θα ποικίλει επίσης ο τύπος του σήματος υποβάθρου (π.χ., γυμνό έδαφος έναντι βλάστησης υπό ορόφου) ανάλογα με την τοποθεσία και με τη διαφορετική συγκόμωση των συστάδων (σελ. 139).

Από την άλλη πλευρά, δεδομένου ότι τα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα είναι Η - ανάλυσης (Woodcock & Strahler, 1987) (2.5.3.1), είναι αναμενόμενο ότι θα υπάρχει εσωτερική μεταβλητότητα ή διακύμανση εντός των ομοιογενών μονάδων κάλυψης γης. Επιπλέον, οι περιοχές μελέτης αφορούν περιοχές με πολυσύνθετα, ετερογενή τοπία τα οποία αυξάνουν επιπλέον τη μεταβλητότητα στο φασματικό χώρο των δεδομένων, με αποτέλεσμα να προστίθενται νέα ζητήματα που συνδέονται με τα δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, λόγω της επίδρασης της ετερογένειας ως εγγενούς φύσης των περιοχών μελέτης (2.5.3.2). Επιπροσθέτως, με δεδομένα μεγάλης έκτασης και ταυτόχρονα υψηλής ανάλυσης αυξάνεται το υπολογιστικό φορτίο για την ανάλυση δημιουργώντας και τεχνικά ζητήματα στην επεξεργασία και ταξινόμηση (σελ. 117).

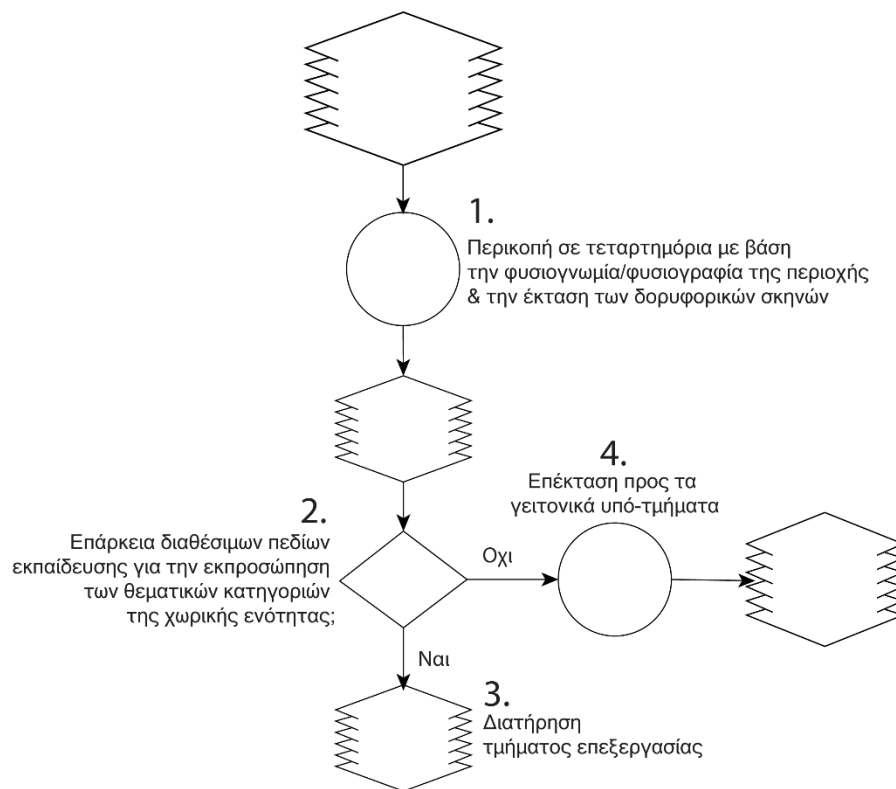
Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η σχεδίαση της ταξινόμησης βασίστηκε στην τμηματοποίηση των περιοχών μελέτης, όπου κάθε επιμέρους τμήμα αντιπροσωπεύει μια ξεχωριστή χωρική οντότητα αναφοράς, εντός της οποίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα εκπαίδευσης για την παραμετροποίηση του ταξινομητή. Με την χρησιμοποίηση ενός

σχεδιασμού χωρικής παραμετροποίησης της ταξινόμησης ενδεχομένως να είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές, φαινολογικές και διαχειριστικές ιδιότητες για τις επιμέρους χωρικές ενότητες μιας μεγάλης σε έκταση περιοχής μελέτης.

Οι περιοχές μελέτης διαχωρίστηκαν σε τεταρτημόρια, το τελικό μέγεθος των οποίων επιλέχθηκε με βάση την φυσιγνωμία/φυσιογραφία της κάθε περιοχής, την επάρκεια διαθέσιμων πεδίων εκπαίδευσης για την εκπροσώπηση των θεματικών κατηγοριών που εμφανίζονταν σε κάθε χωρική ενότητα, αλλά και σε σχέση με τις δορυφορικές σκηνές που χρησιμοποιήθηκαν για την κάλυψη κάθε περιοχής μελέτης. Έτσι ώστε η παραμετροποίηση του ταξινομητή να ενημερώνεται σχετικά με τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές και διαχειριστικές συνθήκες της περιοχής μέσω των επιμέρους χωρικών τμημάτων της κάθε περιοχής.

Η απόφαση της μικρότερης αποδεκτής έκτασης κάθε υπό τμήματος τέθηκε με βάση την διαθεσιμότητα των εκπαιδευτικών πεδίων για κάθε θεματική τάξη καθώς τα μικρότερα τμήματα συχνά εμφάνιζαν ανεπαρκείς ποσότητες εικονοστοιχείων εκπαίδευσης. Από την άλλη πλευρά εάν τα τμήματα της περιοχής μελέτης γινόταν πολύ μεγάλα σε έκταση, θα χανόταν ο τοπικός χαρακτήρας αυτής της προσέγγισης ταξινόμησης.

Υπό το πρίσμα των παραπάνω κατευθυντήριων γραμμών αναπτύχθηκε μια προσέγγιση χωρικά προσαρμοσμένης ταξινόμησης που όπως διαφαίνεται και στο Σχήμα 3.3, περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα: α) αναγνώριση της τοπικής γειτονιάς μέσα στην οποία το άγνωστο εικονοστοιχείο βλάστησης θα ταξινομηθεί, β) εξακρίβωση εάν υπάρχουν ή μπορούν να βρεθούν επαρκή εκπαιδευτικά πεδία για κάθε κατηγορία βλάστησης στην τοπική γειτονιά, γ) εάν ναι διατήρηση του τμήματος επεξεργασίας, δ) σε περίπτωση που δεν μπορούσαν να βρεθούν επαρκή δεδομένα αναφοράς για όλες τις θεματικές κατηγορίες για το αρχικό υπό έρευνα υπό τμήμα, η έκταση του επεκτεινόταν προς τα γειτονικά τμήματα. Όταν μια τάξη δεν μπορούσε να εκπροσωπηθεί μέσω δεδομένων αναφοράς ακόμα και όταν η έκταση του υπό τμήματος επεκτεινόταν, τότε η διαδικασία εκπαίδευσης θα έπρεπε να προσαρμοστεί στην κλασική παραμετροποίηση του ταξινομητή με δείγματα εκπαίδευσης από όλη την περιοχή μελέτης.

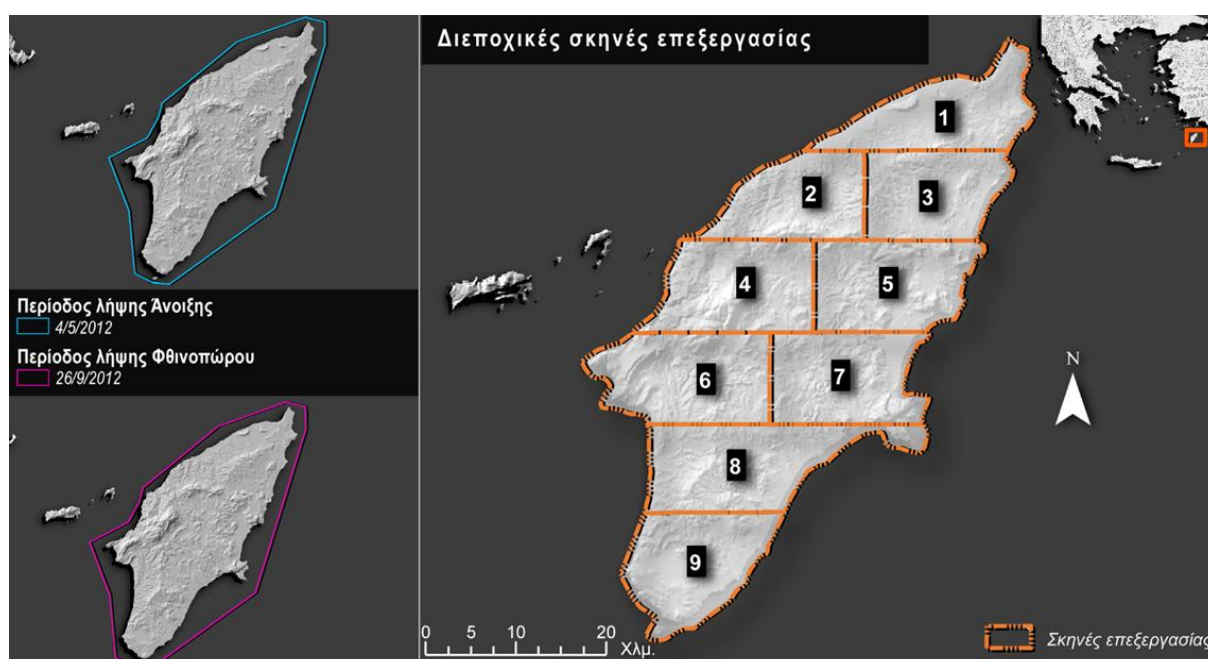


Σχήμα 3.3 Σχηματική αναπαράσταση του σχεδιασμού μιας χωρικά προσαρμοσμένης προσέγγισης για την ταξινόμηση

Έτσι προέκυψαν οι παρακάτω σκηνές επεξεργασίας για κάθε περιοχή μελέτης (Εικόνα 3.2, Εικόνα 3.3, Εικόνα 3.4, Εικόνα 3.5 και Εικόνα 3.6).

3.7.1.1 Ρόδος

Το νησί της Ρόδου τμηματοποιήθηκε σε 9 επιμέρους χωρικές ενότητες (Εικόνα 3.2). Η περιοχή καλύπτεται κυρίως από αείφυλλους θάμνους, φρύγανα και δάση κωνοφόρων (κυρίως τραχείας πεύκης) σε διάφορες αναλογίες και ποσοστό κάλυψης. Λόγω εκτεταμένων πυρκαγιών η κεντρική και νότια Ρόδος έχει μετασηματιστεί σε μια εκτεταμένη περιοχή η οποία καλύπτεται από θαμνώνες, αείφυλλα και φρύγανα σε μίξη με νεαρά άτομα τραχείας πεύκης (Καλαμποκίδης et al., 2014). Στην περιοχή αυτή ήταν έντονο το φαινόμενο συνύπαρξης συστάδων του ίδιου είδους με διαφορετικούς τύπους συγκόμωσης και σήμα υποβάθρου.

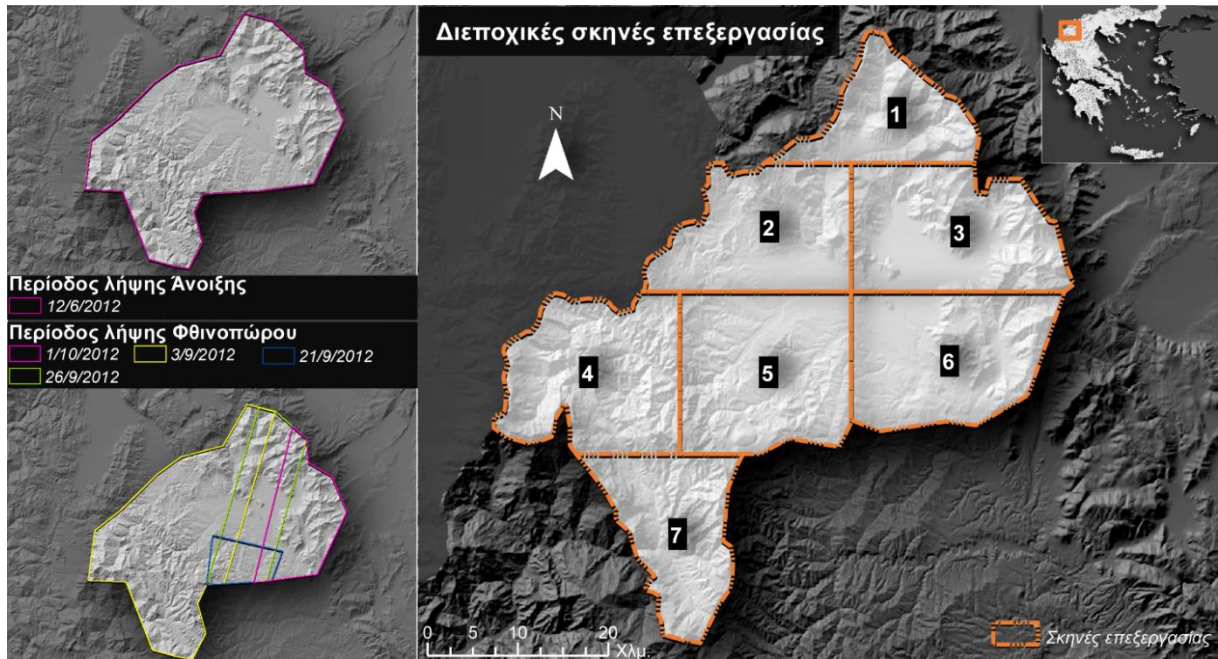


Εικόνα 3.2 Σκηνές επεξεργασίας Ρόδου

3.7.1.2 Καστοριά

Η περιφερειακή ενότητα Καστοριάς, παρουσιάζει μια ιδιαίτερα πλούσια βλάστηση που κυριαρχείται από φυλλοβόλα είδη (δρυός και οξιάς κ.α.) (Πίνακας 3.4). Η έναρξη της φάσης σχηματισμού φυλλώματος είναι ευαίσθητη στις περιφερειακές κλιματικές συνθήκες με σημαντική διακύμανση εντός και μεταξύ των ειδών (Polgar & Primack, 2011; Rötzer et al., 2004). Έτσι, η χωρική διαφοροποίηση των περιβαλλόντων ανάπτυξης της πράσινης βιομάζας σε μια μεγάλη σε έκταση περιοχή μελέτης, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα η ίδια κατηγορία φυλλοβόλου (π.χ. η οξιά στο στάδιο ωρίμανσης) να επιδεικνύει διαφορετικές φασματικές αποκρίσεις ως συνάρτηση των τοπικών συνθηκών. Για παράδειγμα διαφορετικές ανακλάσεις θα αναμένονται από μια συστάδα δάσους οξιάς που βρίσκεται σε μια οροσειρά σε σχέση με μια συστάδα που βρίσκεται σε μια πιο ευνοϊκή οικολογικά περιοχή (πχ, μια κοιλάδα). Κάτω από

πιο ευνοϊκές συνθήκες η φαινολογική ανάπτυξη προχωρά γοργότερα με αποτέλεσμα την διαφορετική ανάκλαση από ένα δάσος οξιάς σε ορεινότερη περιοχή. Για την περιοχή της Καστοριάς σχεδιάστηκε ένα σχήμα ταξινόμησης που να μπορεί να παραμετροποιηθεί για κάθε επιμέρους τμήμα όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.3.



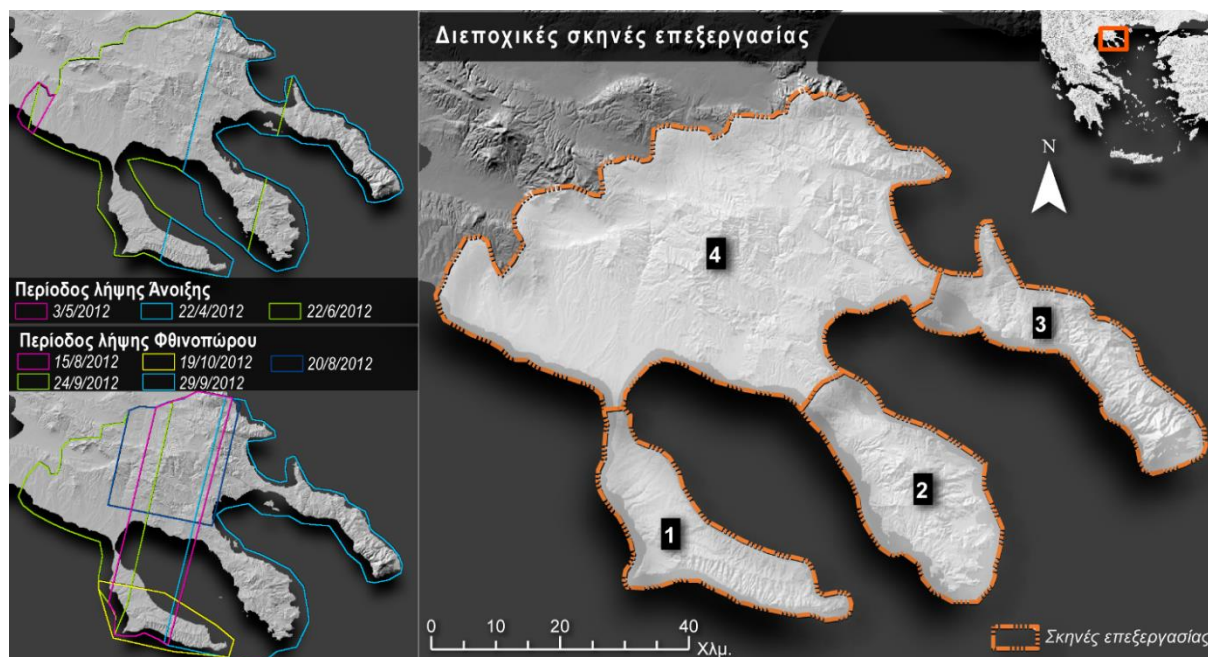
Εικόνα 3.3 Σκηνές επεξεργασίας Καστοριάς

3.7.1.3 Χαλκιδική

Για την περιοχή της Χαλκιδικής αρχικά επιλέχτηκε η επεξεργασία κάθε χερσονήσου ως διαφορετικής χωρικής οντότητας (Εικόνα 3.4), καθώς η καθεμιά αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση μελέτης λόγω της διαφορετικότητας των οικοσυστημάτων και των τοπίων κάθε χερσονήσου. Η πρώτη χερσόνησος, η Κασσάνδρα (σκηνή επεξεργασίας 1) δεχόμενη την μεγαλύτερη περιβαλλοντική πίεση λόγω του τουρισμού και των ανθρωπογενών χρήσεων (κατοικία, γεωργία κ.α.) αποτελεί ένα τελείως διαφορετικό περιβάλλον σε σύγκριση με τη χερσόνησο της Σιθωνίας (σκηνή επεξεργασίας 2). Στην περιοχή της Σιθωνίας λόγω μιας πιο ήπιας τουριστικής ανάπτυξης σε σχέση με τη χερσόνησο της Κασσάνδρας το φυσικό περιβάλλον δεν έχει δεχτεί σε αντίστοιχο βαθμό τις ανθρωπογενείς επιδράσεις. Η τρίτη χερσόνησος (σκηνή επεξεργασίας 3) το Άγιο Όρος αποτελεί ένα ξεχωριστό και εντελώς διαφορετικό τοπίο με πυκνά και παρθένα δάση (καστανιές, δρυς, πεύκα, αείφυλλα κ.α.).

Το τελευταίο τμήμα επεξεργασίας (σκηνή 4, Εικόνα 3.4) αποτελεί μια περιοχή με διαφορετική μορφολογία και κλίμα από το νότιο τμήμα, με έντονο ανάγλυφο κυρίως στο κεντρικό τμήμα της περιοχής (όρος Χολομών 1.165 μ.). Η περιοχή αυτή καλύπτεται από πυκνά δάση με εξαίρεση το δυτικό τμήμα που αποτελεί μια μεγάλη έκταση γεωργικών καλλιεργειών, με

αποτέλεσμα η φυσική βλάστηση να εντοπίζεται στα κεντρικά και ανατολικά της σκηνής επεξεργασίας 4. Λαμβάνοντας υπόψη την φυσιογνωμία της περιοχής αλλά και τις κατευθυντήριες γραμμές που τέθηκαν για τον σχεδιασμό μιας χωρικά προσαρμοσμένης προσέγγισης ταξινόμησης όπως αναλύθηκαν παραπάνω στη σελ. 188, η σκηνή επεξεργασίας 4 δεν υποδιαιρέθηκε σε περαιτέρω υπό τμήματα.



Εικόνα 3.4 Σκηνές επεξεργασίας Χαλκιδικής

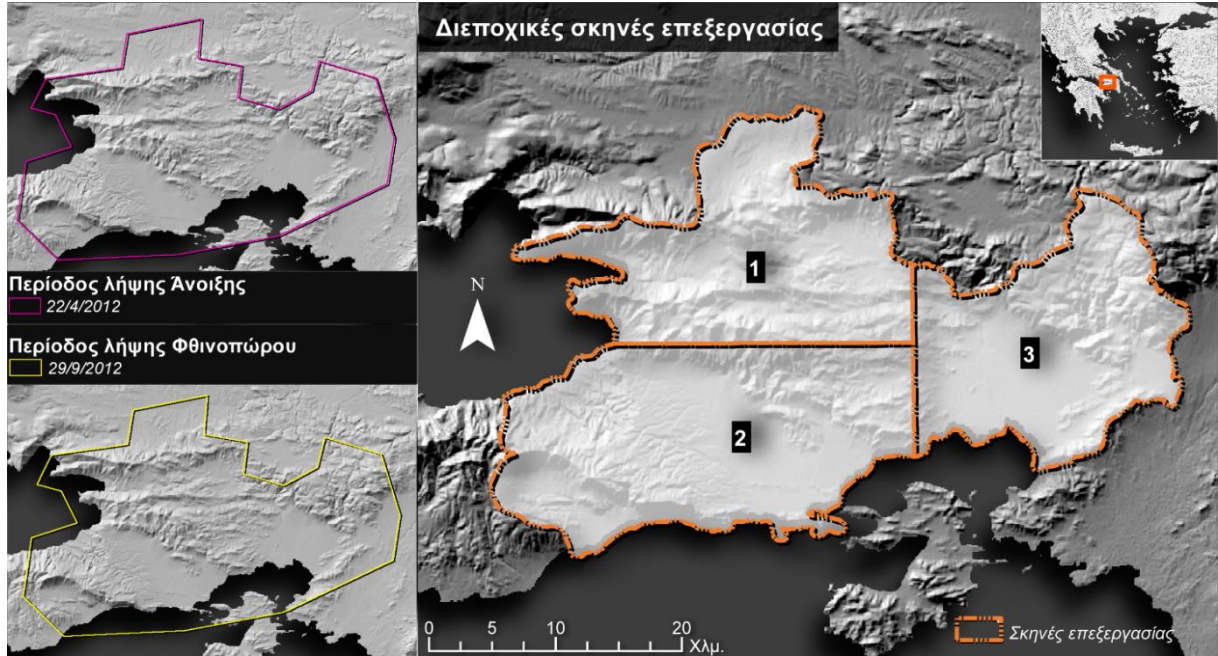
3.7.1.4 Δυτική Αττική

Η περιφερειακή ενότητα Δυτικής Αττικής, χωρίστηκε σε τρεις επιμέρους χωρικές ενότητες σε κατεύθυνση Α-Δ και ΒΔ - ΝΔ όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.5. Το ανατολικό τμήμα (σκηνή επεξεργασίας 3) αποτελεί και την πολυπληθέστερη περιοχή της περιφερειακής ενότητας καθώς περιλαμβάνει τους Δήμους Φυλής Ασπρούργου και Ελευσίνας καθώς και τη Δημοτική Ενότητα Μάνδρας, εκπροσωπώντας το 74% του συνολικού πληθυσμού (σύμφωνα με την απογραφή 2011 από την ΕΛΣΤΑΤ) της Δυτικής Αττικής. Πέρα από την συνακόλουθη ανθρωπογενή επίδραση στην περιοχή με κυρίαρχη την παρουσία αστικών χρήσεων, στα βόρεια βρίσκεται η Δυτική πλευρά του όρους της Πάρνηθας, μια περιοχή που πλήττεται από μεγάλες πυρκαγιές και βρίσκεται υπό συνεχή πίεση και απειλή.

Στο υπό τμήμα επεξεργασίας 1 (Εικόνα 3.5) η γεωμορφολογία της περιοχής προσδιορίζεται από τους ορεινούς όγκους του Κιθαιρώνα (ΒΔ), του Πάστρα (ΒΑ) και του Πατέρα στα νότια, που διαμορφώνουν έναν πλούσιο φυσικό πλούτο δασικών εκτάσεων.

Τέλος η σκηνή επεξεργασίας 2 περιλαμβάνει την αστική και περιαστική ζώνη των Μεγάρων αλλά και της Νέας Περάμου που διαμορφώνουν μια μεγάλη έκταση ανθρωπογενούς

περιβάλλοντος ποικίλων χρήσεων γης (βιομηχανία- βιοτεχνία, κατοικία, γεωργία, λιμενικές υποδομές). Στα δυτικά της σκηνής αυτής βρίσκεται το όρος Γεράνεια, ενώ στα βόρεια η νότια πλευρά του όρους Πατέρα.



Εικόνα 3.5 Σκηνές επεξεργασίας Δυτικής Αττικής

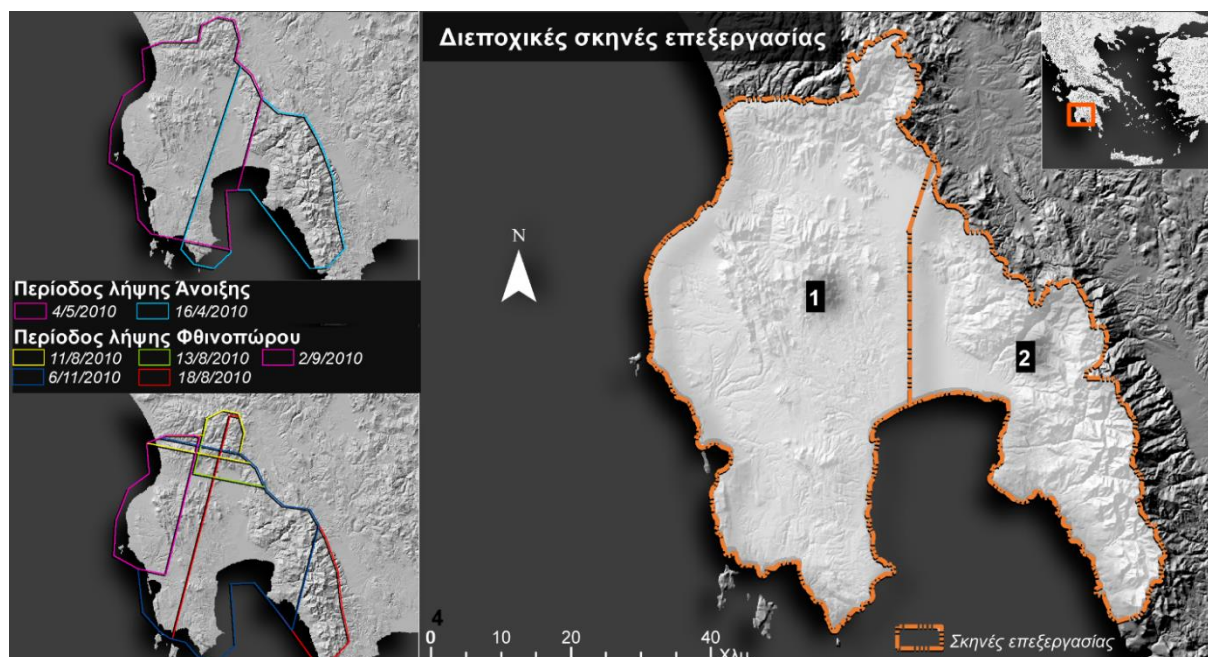
3.7.1.5 Μεσσηνία

Η περιφερειακή ενότητα της Μεσσηνίας υποδιαιρέθηκε σε 2 σκηνές επεξεργασίας όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.6, προκειμένου ο σχεδιασμός της ταξινόμησης να αντικατοπτρίζει τη διαφορετικότητα των οικοσυστημάτων και των τοπίων της περιοχής. Λαμβάνοντας υπόψη τη φυσιογνωμία της περιοχής αλλά και τις κατευθυντήριες γραμμές που τέθηκαν για τον σχεδιασμό μιας χωρικά προσαρμοσμένης προσέγγισης ταξινόμησης (σελ. 188), η περιοχή διαιρέθηκε σε υπό τμήματα στην κατεύθυνση ανατολή - δύση με το όριο να τίθεται κεντρικά της μεγάλης Μεσσηνιακής πεδιάδας που βρίσκεται στο κέντρο της περιφερειακής ενότητας και εκτείνεται από το βορρά ως το νότο.

Η σκηνή επεξεργασίας 1, αποτελεί μια περιοχή που χαρακτηρίζεται κυρίως από μεγάλες γεωργικές εκτάσεις ενώ στα όρη της Κυπαρισσίας εμφανίζεται χαμηλή βλάστηση κυρίως ως αποτέλεσμα των συχνών περιστατικών πυρκαγιών.

Αντιθέτως, η ανατολική πλευρά της Μεσσηνίας (σκηνή επεξεργασίας 2), περιλαμβάνει τη δυτική πλευρά του όρους Ταΰγετος και παρουσιάζει ένα πλούσιο φυσικό περιβάλλον λόγω του έντονου ανάγλυφου και των προκυπτουσών διαφορετικών κλιματικών ζωνών στην περιοχή. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει πυκνά δάση (κυρίως κωνοφόρων, πολλά από τα οποία

είναι αιωνόβια) στα μεγαλύτερα υψόμετρα, ενώ στο πεδινό τμήμα υπάρχουν καλλιέργειες και θαμνώνες.



Εικόνα 3.6 Σκηνές επεξεργασίας Μεσσηνίας

3.7.2 Παραγωγή πρώτου επίπεδου πληροφορίας στην κλίμακα Φυσική Βλάστηση - Φυσικό περιβάλλον / Μη Φυσική Βλάστηση - Ανθρωπογενές περιβάλλον

3.7.2.1 Τοποθέτηση του προβλήματος - Διερεύνηση τεχνικών τηλεπισκόπησης

Αρχικά διερευνήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής ενός καθολικού συνόλου κανόνων για την ταξινόμηση και διαστρωμάτωση σε φυσική βλάστηση / ανθρωπογενές περιβάλλον καθώς και των υπό κατηγοριών τους με μια αυτοματοποιημένη προσέγγιση ταξινόμησης. Λόγω των πολλαπλών συσχετίσεων μεταξύ των κατηγοριών που διαχωρίζουν το φυσικό από το ανθρωπογενές περιβάλλον όπως φαίνεται σχηματικά στο Σχήμα 3.2, καθώς και της υψηλής μεταβλητότητας στη φασματική απόκριση μεταξύ των επιμέρους κατηγοριών που απαρτίζουν το ανθρωπογενές περιβάλλον ιδιαίτερα λόγω της υψηλής χωρικής ανάλυσης, ήταν δύσκολο να καθοριστεί ένα σύνολο γενικών ισχυόντων κανόνων για την ταξινόμηση.

Μπορεί να βρεθεί μια πλειάδα κριτηρίων και ορισμών για κάθε κατηγορία προκειμένου να ληφθεί η απόφαση ένταξης των ψηφιακών τιμών μιας εικόνας σε κατηγορίες έτσι ώστε να επιτευχθεί η διαστρωμάτωση σε φυσικό/ανθρωπογενές περιβάλλον. Όπως έχει αναφερθεί στη σελ. 76 η χρήση και η κάλυψη γης συσχετίζονται αλλά είναι διαφορετικές έννοιες, με

διαφορετικούς ορισμούς και αναφορές σε διαφορετικούς τύπους ανάλυσης της κάλυψης της επιφάνειας της Γης, καθώς η χρήση γης αναφέρεται στη λειτουργία της επιφανειακής κάλυψης που συνήθως εκφράζεται με οικονομικούς όρους.

Όπως υποδεικνύεται από τα βέλη στο Σχήμα 3.2, οι κατηγορίες κάλυψης γης δεν μπορούν να μεταφερθούν από τη μια κατηγορική κλίμακα στην επόμενη με μια αντιστοίχιση ένα-προς-ένα έτσι ώστε οι τύποι κάλυψης γης να διαχωριστούν σε κατηγορίες χρήσης γης. Για να αναφερθούμε σε δύο μόνο παραδείγματα: ένας θόλος (δέντρου) μπορεί να ανήκει στην κατηγορία δάσος, σε άλλη ξυλώδη βλάστηση ή σε άλλη δενδρώδη βλάστηση και επίσης μπορεί να αποτελεί είτε φυσική είτε μη φυσική βλάστηση. Το γυμνό έδαφος από την άλλη πλευρά μπορεί να αντιπροσωπεύσει το γυμνό ή με χαμηλή βλάστηση (π.χ. βοσκότοποι) έδαφος ή τις αστικές χρήσεις, κατασκευές κτλ. μιας δορυφορικής σκηνής. Ενώ ανάλογα με την εποχή λήψης της εικόνας μπορεί να αντιπροσωπεύει περιοχή θαμνώνων ή χορτολιβαδών (κατά την ξηρή περίοδο) είτε αγροτεμάχια καλλιέργειας ετήσιων φυτών κατά την περίοδο της συγκομιδής ή πριν την καλλιεργητική περίοδο.

Οι Tarsall κ.α. (2010) επισημαίνουν ότι η ανάλυση των περισσότερων εκ των περιοχών φυσικού γυμνού εδάφους, θα πρέπει να βασίζεται στη χρήση διάφορων χρονολογικών σειρών δεδομένων, έτσι ώστε να φιλτράρονται οι προσωρινά γυμνές περιοχές, όπως για παράδειγμα κατά τη συγκομιδή των καλλιεργειών. Ενώ τονίζουν ότι μια άλλη σημαντική κάλυψη γης που απαιτεί μια πολύ-χρονική προσέγγιση, είναι οι χορτολιβαδικές εκτάσεις στις οποίες εμφανίζεται βλάστηση μόνο κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων περιόδων του έτους (συνήθως νωρίς την άνοιξη), ενώ η φασματική τους υπογραφή συνήθως είναι παρόμοια με τις γυμνές επιφάνειες (ειδικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού). Έτσι, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η μόνη επιλογή αποτελεσματικής χαρτογράφησης των περιοχών αυτών είναι μέσω της χρήσης εικόνων πολλαπλών εποχών που να καλύπτουν ολόκληρη την ενεργό περίοδο της γεωργίας έτσι ώστε να μπορούν να ληφθούν υπόψη διάφορες πτυχές της ανάπτυξης της βλάστησης και των κλιματικών συνθηκών. Οι συγγραφείς προκειμένου να διαχωρίσουν τις εκτάσεις των γεωργικών καλλιεργειών σε μια περιοχή δοκιμής, χρησιμοποίησαν εικόνες RapidEye με χρονική ανάλυση 5 μηνών (Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο και Σεπτέμβριο) ώστε να αντανakλά στους φαινολογικούς κύκλους της βλάστησης, σε συνδυασμό με τοπικά βοηθητικά δεδομένα.

Σε μια άλλη εργασία οι Kim και Yeom (2012), για τη φασματική ανάλυση των αγροτεμαχίων με καλλιέργεια ρυζιού χρησιμοποίησαν δεδομένα RapidEye για 2 ημερομηνίες (19 Ιουλίου και 22 Σεπτεμβρίου 2011) και MODIS κατά την περίοδο Ιανουαρίου - Δεκέμβριου του ίδιου έτους. Για την ανάλυση της ετήσιας μεταβολής του δείκτη NDVI επιλέξαν 53 αντιπροσωπευτικά

εικονοστοιχεία για τις κατηγορίες ρύζι, ρύζι - κριθάρι, δεξαμενή υδάτων, δάσος, και αστικές περιοχές, και στη συνέχεια ανίχνευσαν τις τιμές τους σε 350 εικόνες του MODIS.

Η οπτική επισκόπηση των διά εποχικών εικόνων για κάθε περιοχή μελέτης, κατέδειξε άμεσα τη σύγχυση που προκαλείται από καλλιέργειες που είναι φασματικά παρόμοιες μεταξύ τους αλλά και με άλλες κατηγορίες κάλυψης γης, καταδεικνύοντας με σαφήνεια το προφανές πρόβλημα της ταξινόμησης των καλλιεργειών με βάση δεδομένα τηλεπισκόπησης δύο εποχών που δεν αντιστοιχούν κατ' ανάγκη στις καλλιεργητικές περιόδους κάθε περιοχής μελέτης. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τα συμπεράσματα της εργασίας των Conrad κ.α. (2014) όπου αποδείχθηκε ότι ακόμη και αν το χρονικό παράθυρο λήψης των δεδομένων για την ταξινόμηση αντανακλά ακριβώς στις φάσεις μετάβασης μεταξύ των δύο εποχών, δεν είναι εφικτή η χαρτογράφηση των καλλιεργειών (Conrad et al., 2014). Η περιπτώσιακή μελέτη που διεξήχθη από τους Conrad κ.α. (2014) σε 230.000 εκτάρια αγροτικής αρδευόμενης έκτασης σε μια περιοχή στο Δυτικό Ουζμπεκιστάν υπογράμμισε την αναγκαιότητα της χρησιμοποίησης διακριτών χρονικών παράθυρων για τη χαρτογράφηση των καλλιεργειών. Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν εικόνες RapidEye για εννέα ημερομηνίες ώστε να καλύπτουν ολόκληρη την αρδευτική περίοδο από Μάιο έως Οκτώβριο (2009). Οι δειγματοληψίες πεδίου διεξήχθησαν 2 φορές ανά καλλιεργητική περίοδο, ενώ τα δεδομένα πεδίου συμπληρώθηκαν με τα δείγματα που προέρχονται από πολύ-χρονικά δεδομένα Quickbird (4 εικόνες μεταξύ Ιουνίου -Σεπτεμβρίου). Τα όρια των αγροτεμαχίων προήλθαν από κατάτμηση εικόνων SPOT 5 των 2.5m. Τα αποτελέσματα της μελέτης κατέδειξαν ότι πέντε ή περισσότερα χρονικά παράθυρα ειδικά κατά τη μεταβατική περίοδο μεταξύ χειμερινής και καλοκαιρινής σεζόν (Ιούνιο και Ιούλιο) επιτρέπουν συνολική ακρίβεια που υπερβαίνει το 85% για την περιοχή μελέτης, ενώ οι αρχικοί μήνες της θερινής περιόδου άρδευσης (Ιούλιος και Αύγουστος), είναι επίσης σημαντικοί για τη χαρτογράφηση των καλλιεργειών.

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με την ταξινόμηση καλλιεργητικών εκτάσεων με τη χρήση δεδομένων RapidEye ενισχύει ακόμη περισσότερο την ανάγκη χρήσης πολυχρονικών δορυφορικών και δειγματοληπτικών δεδομένων, αλλά και χρήση βοηθητικών δεδομένων από άλλες πηγές ή τη χρήση δορυφορικών δεδομένων από πολλαπλές πηγές.

Για παράδειγμα, οι Jiali κ.α. (2012) για την εκτίμηση της εδαφοκάλυψης των καλλιεργειών και του δείκτη LAI της καλλιέργειας σιταριού χρησιμοποίησαν επτά εικόνες RapidEye μεταξύ Ιουνίου και Αυγούστου, σε συνδυασμό με επίγειες μετρήσεις πολλαπλών χρονικών στιγμών καθώς και ψηφιακές φωτογραφίες.

Οι Nitze κ.α. (2012) για τη σύγκριση διαφορετικών αλγόριθμων για την ακριβέστερη χαρτογράφηση των τύπων καλλιέργειας σε μια περιοχή μελέτης των 20 επί 25 χιλιομέτρων χρησιμοποίησαν 4 εικόνες RapidEye μεταξύ των μηνών Ιουνίου - Σεπτεμβρίου. Τα όρια των

αγροτεμαχίων, συμπεριλαμβανομένου του τύπου καλλιέργειας, της ημερομηνίας σποράς κ.α., συγκεντρώθηκαν από συμπληρωματικά δεδομένα.

Οι Shang κ.α., (2014) χρησιμοποίησαν 12 δορυφορικές εικόνες RapidEye και Landsat-8 μεταξύ Απριλίου και Σεπτεμβρίου καθώς και 14 ψηφιακές φωτογραφίες καθώς και δεδομένα πεδίου για τη χαρτογράφηση της μεταβλητότητας των συνθηκών ανάπτυξης των καλλιεργειών και την παρακολούθηση των εποχιακών δυναμικών ανάπτυξης σε μια γεωργική έκταση 15 × 15 χιλιομέτρων.

Οι Imukona κ.α. (2015), χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες RapidEye 5 ημερομηνιών λήψης για το 2012 και 2 για το 2013 καθώς και έγχρωμες φωτογραφίες που έλαβαν με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή για τον καθορισμό των χωρικών και χρονικών δυναμικών της πράσινης βλάστησης σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Τέλος, για τη χαρτογράφηση της χωρικής μεταβλητότητας των συνθηκών ανάπτυξης των καλλιεργειών με τη χρήση των δεδομένων RapidEye σε περιοχές δοκιμής στο βόρειο Οντάριο, στον Καναδά οι Shang κ.α. (2015), προγραμμάτισαν την απόκτηση δεδομένων πάνω από την περιοχή μελέτης σε διαστήματα ανά 10 ημέρες κατά τις καλλιεργητικές περιόδους για δύο έτη (2012 και 2013), πριν από τη φύτευση και μετά τη συγκομιδή των καλλιεργειών. Χρησιμοποιήθηκαν 6 εικόνες για το 2012, και 5 για το 2013. Ταυτόχρονα συλλέχτηκαν δεδομένα πεδίου με απόκλιση +/- 2 ημερών από τις ημερομηνίες λήψης των δορυφορικών εικόνων.

3.7.2.2 Ανάπτυξη μεθοδολογίας

Πραγματοποιήθηκαν προσπάθειες αξιοποίησης των διά εποχικών εικόνων προκειμένου να εξαχθεί η φυσική βλάστηση των περιοχών μελέτης και η ανάλυση να επικεντρωθεί μόνο στις περιοχές που αφορούσαν στη φυσική βλάστηση. Για παράδειγμα, εφαρμογή ταξινόμησης των κοινών περιοχών βλάστησης έπειτα από ενσωμάτωση των διά εποχικών εικόνων σε μία εικόνα, χρήση δεικτών βλάστησης, ανάλυση των κύριων συνιστωσών.

Όμως η διερεύνηση αυτών των μεθόδων ενίσχυσε περαιτέρω τα συμπεράσματα που προκύπτανε και από την οπτική ερμηνεία, όπως για παράδειγμα ότι η ακριβής ανίχνευση των καλλιεργειών επηρεάζεται από το σήμα υποβάθρου (ιδιαίτερα για δενδρώδεις καλλιέργειες), καθώς πρόκειται για συστηματικές φυτείες με θέσεις φύτευσης σε αποστάσεις που να επιτρέπουν τις καλλιεργητικές διαδικασίες όπως την έλευση μηχανημάτων κτλ.

Από την άλλη πλευρά η ταξινόμηση των ετήσιων καλλιεργειών εξαρτάται από το σύστημα διαχείρισης τους, γεγονός που επίσης προκαλεί σύγχυση μεταξύ των διαφόρων τύπων καλλιεργειών. Ειδικά σε περιοχές χειμερινών καλλιεργειών εμφανίζονται σε πολλές περιπτώσεις αναδυόμενες καλλιέργειες για την επόμενη καλλιεργητική περίοδο στις εικόνες

της περιόδου ξηρασίας της πράσινης βιομάζας. Επίσης, οι τύποι των καλλιεργειών που υπάρχουν στις περιοχές μελέτης ενδεχομένως να παρουσιάζουν παρόμοια φαινολογική εξέλιξη σε όλη τη διαθέσιμη σεζόν.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο είναι η σύγχυση διαφόρων τύπων καλλιέργειας με την αστική τάξη, η οποία σε πολλές περιπτώσεις προκαλείται λόγω της ύπαρξης βλάστησης μεταξύ των αστικών αντικείμενων (π.χ. αστική βλάστηση, χώροι πρασίνου). Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μικτά φασματικά χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα αντικειμένων που αφορούν καλλιέργειες οι οποίες χαρακτηρίζονται από ένα μίγμα βλάστησης και γυμνού εδάφους.

Εάν επικεντρωθούμε στην κατηγορία των αστικών χαρακτηριστικών, γνωρίζουμε από τον μεγάλο όγκο της βιβλιογραφίας που ασχολείται με την ταξινόμηση αστικών και περιαστικών περιοχών, ότι η ταξινόμησή τους παραμένει μια πρόκληση λόγω της μεγάλης ποικιλίας των φασματικών μοτίβων και στην ίδια φασματική απόκριση μεταξύ διαφορετικών υλικών (π.χ. μη σαφής διαχωρισμός αστικών χρήσεων από γυμνά ή χαμηλής βλάστησης εδάφη, από καλλιεργούμενες εκτάσεις που ενδεχομένως να είναι προσωρινά χωρίς κάλυψη βλάστησης λόγω συγκομιδής κ.α.).

Τόσο η ταξινόμηση των γεωργικών εκτάσεων όσο και η ταξινόμηση των αστικών περιοχών (κατηγορίες που εδώ έχουμε ονομάσει ως ανθρωπογενές περιβάλλον) αποτελούν δύο ξεχωριστά πεδία έρευνας στην ταξινόμηση με τη χρήση της Τηλεπισκόπησης. Η ταξινόμηση αυτών των περιοχών απαιτεί την προηγούμενη εφαρμογή ενός ιεραρχικού μοντέλου ταξινόμησης που αρχικά να διαχωρίζει τις περιοχές αυτές από τους άλλους τύπους κάλυψης γης έτσι ώστε να αποτελούν διαφορετικούς τομείς εντός των οποίων έπειτα να εφαρμόζεται η κατάταξη σε κατηγορίες των επιμέρους υποκατηγοριών που τις χαρακτηρίζουν. Ένα τέτοιο ιεραρχικό μοντέλο παρουσιάστηκε για παράδειγμα στην ενότητα 2.2.3 στο Σχήμα 2.4.

Ευρύτερος στόχος ήταν να αναπτυχθεί μια μεθοδολογία με αντικειμενικό σκοπό να προσδιοριστούν χωρικά τα όρια που χαρακτηρίζουν την κάλυψη του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος που να είναι εφαρμόσιμη σε οποιαδήποτε περιοχή μελέτης και εύκολο να επαναληφθεί μελλοντικά για τους σκοπούς της παρακολούθησης.

Για την παραγωγή του πρώτου επιπέδου ταξινόμησης, έτσι ώστε η ταξινόμηση ειδών να επικεντρωθεί στις περιοχές φυσικής βλάστησης, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές μεθοδολογίες για 2 ομάδες περιοχών μελέτης:

1. Χρησιμοποιήθηκε μια προσέγγιση ημί αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης, όπου τα αντικείμενα της εικόνας ερμηνεύονται οπτικά και αποδίδονται στην κατηγορία/τύπο χειροκίνητα για την παραγωγή του πρώτου επίπεδου πληροφορίας

υψηλής χωρικής ανάλυσης στην κλίμακα Φυσική Βλάστηση - Φυσικό περιβάλλον / Μη Φυσική Βλάστηση - Ανθρωπογενές περιβάλλον για τις περιοχές Ρόδου και Καστοριάς.

2. Χρησιμοποιήθηκε μια προσέγγιση χρησιμοποίησης συμπληρωματικών χωρικών δεδομένων από άλλες πηγές για την παραγωγή του πρώτου επίπεδου πληροφορίας στην κλίμακα Φυσική Βλάστηση - Φυσικό περιβάλλον / Μη Φυσική Βλάστηση - Ανθρωπογενές περιβάλλον για τις περιοχές της Χαλκιδικής, της Δυτικής Αττικής και της Μεσσηνίας.

3.7.2.2.1 Προσέγγιση υψηλής χωρικής ανάλυσης

Παρόλο που το ανθρωπογενές περιβάλλον, όπως ο αστικός ιστός, οι δρόμοι, τα όρια των καλλιεργητικών εκτάσεων είναι εύκολα ορατά από εικόνες υψηλής ανάλυσης, η αυτόματη ανίχνευση τους παραμένει ένα δύσκολο έργο όπως συζητήθηκε στην ενότητα 3.7.2. Τα ακανόνιστα χωρικά πρότυπα, τα διαφορετικά πλάτη και μήκη, η ασυνέχεια, ο υψηλός βαθμός χωρικής ετερογένειας οι διάφορες κλίμακες των αντικειμένων τεχνητής και φυσικής κάλυψης του εδάφους μπορεί να θεωρηθούν προκλήσεις μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας, ακόμα και για την ταξινόμηση που βασίζεται σε αντικείμενα (Nobrega et al., 2006).

Ο άνθρωπος από την άλλη πλευρά σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να οριοθετήσει με ευκολία αρκετά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι σε θέση να ανιχνεύσει και να αναγνωρίσει έως και 10.000 διαφορετικά αντικείμενα (Biederman, 1985) κάτω από διαφορετικές συνθήκες θέασης.

Για την οπτική ερμηνεία χρησιμοποιούμε χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το χρώμα (σκιά, χρώμα, τόνος, υφή) (Hatzopoulos, 2008) αλλά και δομικά στοιχεία, όπως το μέγεθος, το σχήμα, η διαμόρφωση και η σύνδεση, χρησιμοποιώντας τη γνώση από εμπειρία ή με παραδείγματα που παρατίθενται σε ένα κλειδί ερμηνείας (περιγραφές για το χαρακτηρισμό των φασματικών και των δομικών (χωρικών / γεωμετρικών / μορφομετρικών) ιδιοτήτων των κατηγοριών / χαρακτηριστικών προς αναγνώριση).

Η όλη διαδικασία της οπτικής ερμηνείας εικόνας έχει ως στόχο την αντιπαραβολή εξωτερικών ενδείξεων σε σύγκριση με οποιεσδήποτε εσωτερικές αναπαραστάσεις και μπορεί να υποδιαιρεθεί σε ανίχνευση, αναγνώριση, ερμηνεία-ταυτοποίηση και συναγωγή συμπερασμάτων σύμφωνα με προηγούμενη γνώση και εμπειρία (Kohl et al., 2006; Lang et al., 2009). Η αναγνώριση αντικειμένων έχει περιγραφεί από θεωρητικές έννοιες που κυμαίνονται από θεωρίες σύμπτωσης προτύπων (template matching) έως δομικής περιγραφής (structural description). Η αντιστοίχιση των εξαγόμενων οπτικών πληροφοριών με την αποθηκευμένη δομική περιγραφή αναφέρεται ως αντιληπτική ταξινόμηση (Eysenck & Keane, 2000).

Μία από τις εντυπωσιακές δυνατότητες της ανθρώπινης αντίληψης είναι η «αναγνώριση πολύ-αντικείμενου» σε μια μάλλον αφηρημένη κατάσταση, η δυνατότητα δηλαδή κατανόησης μιας ολόκληρης σκηνής και όχι η επικέντρωση σε συγκεκριμένα αντικείμενα στο πρώτο πλάνο (Lang et al., 2009). Επίσης με την οπτική ερμηνεία εικόνας, ένας ερμηνευτής μπορεί να είναι σε θέση να εντοπίσει δυναμικές αλλαγές και να καταλήξει σε συμπεράσματα που βασίζονται σε ιστορικές εικόνες, π.χ., σχετικά με την έννοια των εποχιακών μεταβολών στη σύνθεση ή στην έκταση της βλάστησης (Lillesand et al., 2014; Zhang et al., 2014a), που δεν μπορούν να εξαχθούν με μια αυτοματοποιημένη διαδικασία (Kampouraki et al., 2008).

Παρά τις ευρέως αποδεκτές προόδους στην αυτοματοποιημένη ερμηνεία εικόνας, εξακολουθούν να αδυνατούν να κατανοήσουν σημαντικά τμήματα της ανθρώπινης αντίληψης. Χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας τα οποία είναι διανοητικά κατασκευασμένα και δεν είναι άμεσα ανιχνεύσιμα όπως αυτά που διαμορφώνουν το μη φυσικό περιβάλλον είναι πιθανότερο να μπορούν να ανιχνευθούν μέσω οπτικής ερμηνείας παρά με τη χρήση αυτοματοποιημένων μεθόδων ταξινόμησης. Παρά τις προόδους στην αυτοματοποιημένη και ημί-αυτοματοποιημένη ταξινόμηση, όπως η ανάλυση που βασίζεται σε γεωγραφικά αντικείμενα της εικόνας (GEOBIA), για δεκαετίες η φωτοερμηνεία υπήρξε, και σε ένα μεγάλο βαθμό εξακολουθεί να είναι η μέθοδος επιλογής για την παραγωγή χαρτών κάλυψης γης μεγάλης κλίμακας (Castilla et al., 2008).

Η χειροκίνητη φωτοερμηνεία έχει το πλεονέκτημα της αναγνώρισης αντικείμενων του πραγματικού κόσμου και όχι αντικείμενων της εικόνας που εξάγονται από προσεγγίσεις ταξινόμησης που βασίζονται σε τομείς (Taylor & Lovell, 2012). Και αυτό γιατί ο ερμηνευτής της εικόνας μπορεί να είναι σε καλύτερη θέση να προσδιορίσει και να διακρίνει μεταξύ των αντικείμενων του πραγματικού κόσμου με βάση το πλαίσιο, τις σχέσεις με τα γειτονικά αντικείμενα, και τις πολύπλοκες παραλλαγές στον τόνο, το χρώμα και το μοτίβο (Kampouraki et al., 2008).

Ωστόσο, αν και η ανθρώπινη ικανότητα για την ερμηνεία εικόνας είναι αξιοσημείωτη, η οπτική ερμηνεία είναι υποκειμενική (Albrecht et al., 2010), χρονοβόρα και δαπανηρή (Mehner et al., 2004; Lu & Weng, 2007; Miller et al., 2007; Kampouraki et al., 2008; Costa et al., 2014) και δε μπορεί να θεωρείται de facto ως η πιο ακριβής διαδικασία για τη χαρτογράφηση κάλυψης γης (Kampouraki et al., 2008).

Πηγές σφαλμάτων στην ερμηνεία εικόνας είναι η λανθασμένη επισήμανση τμημάτων γης και ανακρίβειας των ορισμών της τάξης, για παράδειγμα η τοποθέτηση ενός ορίου σε ένα συνεχές (Foody, 2002). Επιπλέον η κλίμακα της ψηφιοποίησης και η συμπερίληψη χαρακτηριστικών εντός πολυγώνου μπορεί να εξυπηρετούν περισσότερο την ανθρώπινη αντίληψη σχετικά με την ομοιογένεια των καλύψεων γης παρά την πραγματικότητα. Ο

ανθρώπινος εγκέφαλος μπορεί να είναι αρκετά ισχυρός στην οριοθέτηση και στην ερμηνεία της πολύπλοκης δομής της γης, αλλά το πλεονέκτημα της αυτοματοποιημένης ανάλυσης ψηφιακής εικόνας έγκειται στην ισχυρή ικανότητα επεξεργασίας.

Με την εμφάνιση του λογισμικού eCognition® οι χρήστες ήρθαν σε επαφή με τα πρώτα εμπορικά εργαλεία για την γεωγραφική ανάλυση με βάση τα αντικείμενα. Το πρώτο βήμα στην GEOBIA είναι η κατάτμηση εικόνας, η τμηματοποίηση της σε ένα σύνολο από εξαντλητικά ξένες μεταξύ τους περιοχές που είναι πιο ομοιόμορφες εντός του εαυτού τους από ό, τι σε σύγκριση με παρακείμενες περιοχές. Οι περιοχές αυτές χρησιμοποιούνται στη συνέχεια ως βασικές μονάδες για να σχηματίσουν ταξινομημένα αντικείμενα. Σε αντίθεση με τις τυπικές ταξινομήσεις που βασίζονται στο εικονοστοιχείο, μια ταξινόμηση με βάση τα αντικείμενα λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τα συμβατικά χαρακτηριστικά, όπως οι φασματικές υπογραφές, αλλά επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που δεν μπορούν να εξαχθούν για τα μεμονωμένα εικονοστοιχεία (π.χ., το μέγεθος και το σχήμα), και το σημαντικότερο, σχεσιακά χαρακτηριστικά μεταξύ περιοχών. Με τέτοιες δυνατότητες, η GEOBIA έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει όχι μόνο τις συμβατικές μεθόδους εικονοστοιχείου, αλλά και τη φωτοερμηνεία.

Κύριο μειονέκτημα του eCognition® είναι ότι δεν μπορεί να ερμηνεύσει μια εικόνα τόσο έξυπνα όσο μπορεί ένας αναλυτής μέσω της φωτοερμηνείας, κυρίως επειδή δεν μπορεί να αναγνωρίζει τα πραγματικά αντικείμενα, αλλά αναγνωρίζει αντικείμενα της εικόνας, τα οποία μπορεί να είναι φασματικά συγκεχυμένα (Kamrouraki et al., 2008).

Από τη στιγμή που αναμένεται ακόμη σημαντική έρευνα έως ότου να επιτευχθεί μια πλήρως αυτοματοποιημένη ερμηνεία εικόνας, η γενική προσέγγιση της GEOBIA θα πρέπει να είναι μια ρεαλιστική εφαρμογή της.

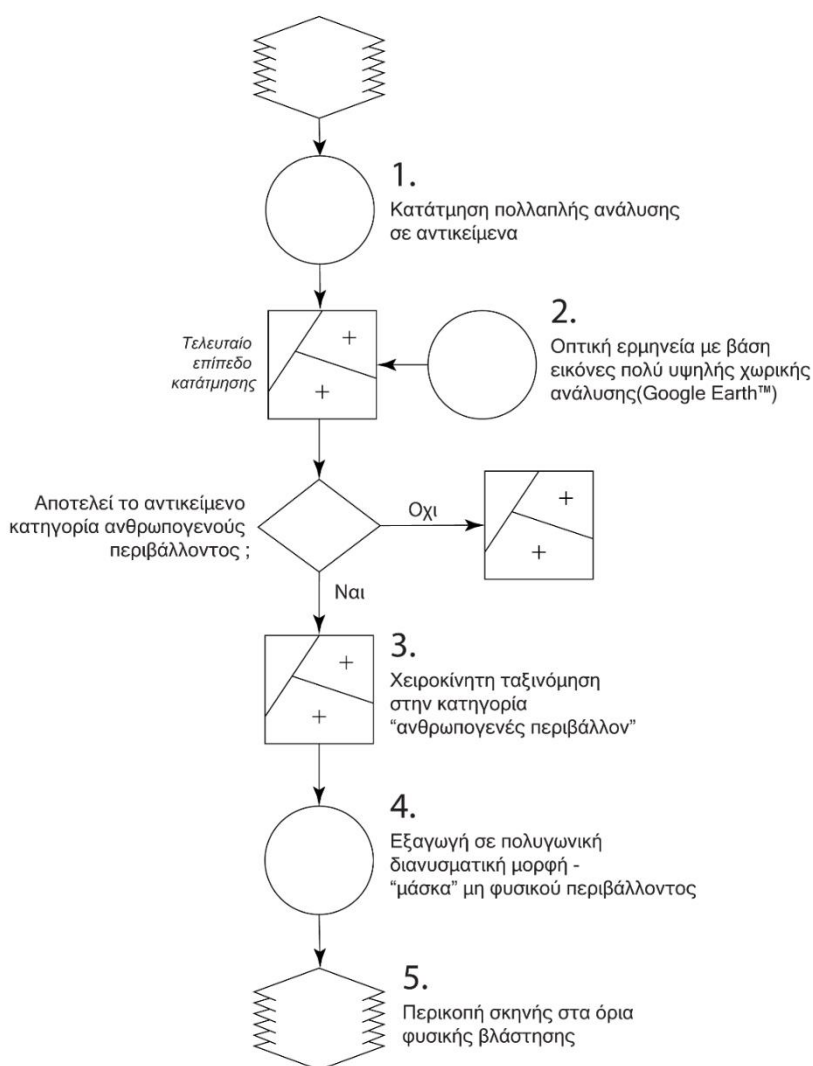
Πρακτικά η κατάτμηση αποτελεί τη μετατροπή των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε πολυγωνικά διανύσματα, κάτι που προσομοιάζει με την εργασία ενός φωτοερμηνευτή εάν του ζητούνταν χωρίς εκ των προτέρων γνώση της σκηνής να τμηματοποιήσει την εικόνα σε ένα συγκεκριμένο αριθμό σχετικά ομοιογενών πολύγωνων που να μην υπερβαίνουν ένα ελάχιστο μέγεθος. Αυτό το χωρικό διανυσματικό επίπεδο μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως αρχικό πρότυπο από έναν φωτοερμηνευτή, ο οποίος χρειάζεται μόνο να συσσωματώσει (και μερικές φορές να διορθώσει) προ - οριοθετημένες περιοχές με απλές λειτουργίες «drag»-και «click» των κουμπιών ενός ποντικιού Η/Υ.

3.7.2.2.1.1 Ημί-αυτόματη προσέγγιση αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης

Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι πλειονότητα των πληροφοριών μιας δορυφορικής σκηνής που διαμορφώνουν το ανθρωπογενές περιβάλλον είναι από τη φύση τους γεωμετρικά σχήματα

(αγροτεμάχια, κτίσματα, κατασκευές κ.α.), όσο περισσότερα γεωμετρικά, φασματικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά μπορούν να ληφθούν για αυτά τα αντικείμενα, τόσο πιο ρεαλιστική μπορεί να είναι η ταξινόμηση.

Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό eCognition® για τον εντοπισμό «ομοιογενών» αντικείμενων εικόνας που οριοθετούν τα όρια τους με βάση τα εγγενή χωρικά και φασματικά πρότυπα της εικόνας. Εφαρμόστηκε μια μεθοδολογία στην οποία οι εικόνες τμηματοποιήθηκαν αυτόματα και τα προκύπτοντα αντικείμενα ταξινομούνται χειροκίνητα με ερμηνεία της εικόνας (Σχήμα 3.4). Η τμηματοποίηση έγινε για κάθε υπό τμήμα εικόνας που χρησιμοποιείται για ερμηνεία με τη χρήση του λογισμικού eCognition®.



Σχήμα 3.4 Σχηματική αναπαράσταση ημί - αυτόματης προσέγγισης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης

Παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου χειροκίνητης ταξινόμησης έπειτα από εφαρμογή τεχνικής κατάτμησης εικόνας, μπορεί κανείς να εντοπίσει στην βιβλιογραφία, όπως για παράδειγμα (Lathrop et al., 2006; Kampouraki et al., 2008; Lang et al., 2009; Simms et al., 2016).

Οι Kamrouaki κ.α. (2008) μελετώντας τις δυνατότητες και τους περιορισμούς στην ανάλυση εικόνας που βασίζεται σε αντικείμενα για τη διάκριση αστικών περιοχών και βλάστησης επισήμαναν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρησιμοποίησης της φωτοερμηνείας και ψηφιοποίησης καθώς και του λογισμικού eCognition® για την οριοθέτηση αντικειμένων του πραγματικού κόσμου από τηλεπισκοπικές εικόνες, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.8).

Πίνακας 3.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φωτοερμηνείας και κατάτμησης με τη χρήση του λογισμικού eCognition για την οριοθέτηση αντικειμένων του πραγματικού κόσμου

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Φωτοερμηνεία	Ερμηνεία των πραγματικών αντικειμένων	Υποκειμενική
	Εκπροσώπηση πολύ - κλίμακας	Χρονοβόρα
	Δυνατότητα έξυπνης συμπεριληψης ή αγνόησης χαρακτηριστικών	Είναι απαραίτητη η χρήση μιας σταθερής κλίμακας
	Χρήση σχήματος, πλαισίου, και σχέσεων γειτονίας	Ασυνέπεια χρήσης μιας σταθερής κλίμακας σε ολόκληρη την εικόνα
	Αναγνώριση πολύπλοκων χωρικών προτύπων και περίπλοκων καταστάσεων	Ανθρώπινο σφάλμα
eCognition	Αντικειμενική μέθοδος (οι κανόνες και οι παράμετροι που επιλέγονται είναι υποκειμενικοί, αλλά οι κανόνες που εφαρμόζονται σε ολόκληρη την εικόνα αντικειμενικά)	Ασαφής προσδιορισμός των όρων μεταξύ των κατηγοριών
	Εκπροσώπηση πολύ- κλίμακας	Αναγνώριση αντικειμένων της εικόνας, που δεν είναι πραγματικά αντικείμενα
	Ιεραρχική σύνδεση μεταξύ κλιμάκων	Αδυναμία να συμπεριλάβει ή να αγνοήσει τα χαρακτηριστικά έξυπνα
	Χρήση σχήματος, πλαισίου, και σχέσεων γειτονίας	Σύντηξη πραγματικών αντικειμένων λόγω φασματικής σύγχυσης
	Μεταβιβάσιμοι κανόνες: τα όρια αναπαράγονται αυτόματα σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων	
	Γρήγορη μέθοδος	

Κατάτμηση με το λογισμικό eCognition®

Η κατάτμηση της εικόνας μέσα στο περιβάλλον του λογισμικού eCognition® δεν είναι πραγματικά «αυτοματοποιημένη» αλλά στην πραγματικότητα, καθοδηγείται από τον αναλυτή. Τα μη αυτόματα βήματα της κατάτμησης περιορίζονται στην επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων ομοιογένειας. Μέσα στο περιβάλλον του λογισμικού, οι παράμετροι κατάτμησης σταθμίζονται, με αποτέλεσμα δραστικά διαφορετικά αντικείμενα εικόνας. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως την κλίμακα του αντικείμενου, το χρώμα, το σχήμα, τη συσσωμάτωση και τα βάρη των καναλιών της εικόνας. Αυτές οι παράμετροι ορίζονται χειροκίνητα από τον χρήστη. Η παράμετρος κλίμακα καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια για τα προκύπτοντα αντικείμενα εικόνας και κατά συνέπεια το μέγεθος τους.

Το λογισμικό χρησιμοποιεί μια προσέγγιση κλιμάκωσης «από-κάτω-προς-τα-πάνω» (bottom-up) (Εικόνα 2.1, σελ. 36). Όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.2.5.1, με αυτή την προσέγγιση κλιμάκωσης χρησιμοποιούνται πληροφορίες που είναι διαθέσιμες σε υψηλές κλίμακες για την πρόβλεψη φαινομένων σε ευρύτερες κλίμακες προσθέτοντας κατάλληλους περιορισμούς. Με

το eCognition® μπορεί να πραγματοποιηθεί συγχώνευση περιοχών από κάτω προς τα πάνω με την ομαδοποίηση εικονοστοιχείων για τη δημιουργία ομοιογενών αντικείμενων μέσω μιας τοπικής διαδικασίας βελτιστοποίησης (με βάση κάποια κριτήρια ομοιογένειας: παρόμοιο μέγεθος και κλίμακα σύμφωνα με ένα συντελεστή κλίμακας) (Benz et al., 2004).

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης (multiresolution) για να δημιουργήσει ένα ιεραρχικό πλαίσιο αντικειμένων εικόνας, όπου ένα «σούπερ αντικείμενο» αποτελείται από αντικείμενα τα οποία με τη σειρά τους μπορεί να αποτελούνται από υπο-αντικείμενα. Δεδομένου ότι τα υπό-αντικείμενα συγκεντρώνονται για να σχηματίσουν ένα αντικείμενο, τα εσωτερικά σύνορα εξαφανίζονται, αλλά τα εξωτερικά παραμένουν σταθερά.

Εφαρμογή κατάτμησης με το λογισμικό eCognition®

Ένας γενικός κανόνας για μια ουσιαστική κατάτμηση είναι η δημιουργία αντικειμένων εικόνας που να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερα και όσο μικρότερα χρειάζεται (Trimble, 2014). Μέσα από τη διαφορική στάθμιση των παραμέτρων κατάτμησης, ο αναλυτής της εικόνας ελέγχει την διαδικασία κατάτμησης. Οι παράμετροι υπαγορεύουν το είδος των αντικειμένων που παράγονται και συχνά καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά ορισμένων χαρακτηριστικών του τοπίου τα οποία θέλουμε να διαχωρίσουμε. Ο προσδιορισμός των κατάλληλων βαρών είναι μια ευρετική διαδικασία και δεν υπάρχει πάντα ενιαίο βέλτιστο αποτέλεσμα.

Λόγω της σημασίας των ιδιοτήτων των αντικειμένων και των επιδράσεων της κλίμακας (ενότητα 2.2.5.2), η κατάτμηση απαιτούσε επαναλαμβανόμενες δοκιμές ώστε να αντιστοιχηθούν τα επιθυμητά αντικείμενα (αστικών χρήσεων και καλλιεργητικών εκτάσεων) με τα τμήματα της κατάτμησης. Παραλλαγές των παραμέτρων της κλίμακας, συνδυασμού και βαρύτητας των φασματικών μπαντών καθώς και κριτήρια σχήματος και ομοιογένειας/συνεκτικότητας είχαν προηγουμένως δοκιμαστεί έως ότου χαρακτηριστικά, όπως κτίρια, ανοιχτοί χώροι, σκιές, αστικό πράσινο, μονοετείς και πολυετείς καλλιέργειες θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύονται από τα τμήματα. Η ανίχνευση γυμνών περιοχών του εδάφους ήταν επίσης απαραίτητη για να διακριθούν από τις αστικές χρήσεις. Έτσι, η βελτιστοποίηση των παραμέτρων ήταν μια επαναληπτική διαδικασία δοκιμής και λάθους.

Όπως οι Kamprouraki κ.α. (2008) επισημαίνουν είναι πολύ σημαντικό να χρησιμοποιούνται πολλά επίπεδα αντικείμενου, σε διαφορετικές κλίμακες, ανάλογα με τις ανάγκες έως ότου όλα τα αντικείμενα της εικόνας να αντιπροσωπεύουν ρητά τις κατηγορίες που θα διατεθούν για τη διαδικασία ταξινόμησης. Μετά από αρκετές εμπειρικές δοκιμές οι εικόνες χωρίστηκαν σε τρία επίπεδα. Στη διαδικασία κατάτμησης περιλήφθηκαν και οι 5 μπάντες των εικόνων, καθώς και ο δείκτης βλάστησης.

Χρησιμοποιήθηκε η ίδια μεθοδολογία και οι ίδιες τιμές των παραμέτρων (κανόνες) σε όλες τις υπό περιοχές των περιοχών εφαρμογής (Ρόδος και Καστοριά), προκειμένου να προσδιοριστεί η δυνατότητα μεταφοράς των κανόνων σε τομείς όπου η φυσιογραφία, η κάλυψη γης και η χρήση γης είναι διαφορετικές, αλλά τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα είναι τα ίδια (χωρική, ραδιομετρική, φασματική ανάλυση).

Κάθε υπό τμήμα των περιοχών εφαρμογής (Ρόδος και Καστοριά) διαχωρίστηκε σε αντικείμενα σε μια λεπτή κλίμακα (Επίπεδο 3) χρησιμοποιώντας μια παράμετρο κλίμακας 10. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε κλιμάκωση σε ευρύτερες κλίμακες προκειμένου να συγχωνευθούν περιοχές, χρησιμοποιώντας μια παράμετρο κλίμακας 70 (επίπεδο 2 & 3).

Χρησιμοποιήθηκαν από μέσες έως υψηλές τιμές συνεκτικότητας/φασματικής ομοιογένειας (από 0,5 έως 0,9) μαζί με τα μεγαλύτερα βάρη στα φασματικά κανάλια του μπλε, εγγύς υπέρυθρου και δείκτη βλάστησης που οδήγησε σε μια καλύτερη διάκριση ανάμεσα σε θόλους δέντρων (ιδιαίτερα συμπαγή αντικείμενα) και άλλες επιφάνειες. Ωστόσο, η υψηλή φασματική ετερογένεια των αστικών χρήσεων (π.χ. κεραμοσκεπές, περιοχές μίξης χρήσεων όπως περιαστικοί χώροι κ.α.) και καλλιεργητικών εκτάσεων (π.χ. αναδυόμενες καλλιέργειες-γυμνό έδαφος εντός του ίδιου αγροτεμαχίου, σήμα υποβάθρου σε πολυετείς καλλιέργειες κ. α.) στις περιοχές μελέτης μείωσε τη διαχωριστικότητα των αντικειμένων και προκάλεσε «ψευδή» αντικείμενα όταν το κριτήριο χρώμα αυξήθηκε στην τμηματοποίηση.

Η βαρύτητα της παραμέτρου σχήματος αυξήθηκε κατά την κλιμάκωση (από 0,1 στο επίπεδο 1 έως 0,7 στο επίπεδο 3) έτσι ώστε τα φασματικά ομοιογενή υπό-αντικείμενα να συγχωνευτούν και να σχηματίσουν αντικείμενα απαλείφοντας κατά το δυνατόν εσωτερικά σύνορα, αλλά διατηρώντας τα εξωτερικά σταθερά.

Τα αποτελέσματα της κατάτμησης για κάθε υπό τμήμα των περιοχών εφαρμογής παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β .

Εφαρμογή ταξινόμησης

Το τελευταίο επίπεδο κατάτμησης (επίπεδο 3) κάθε υπό τμήματος επεξεργασίας ταξινομήθηκε χειροκίνητα με το εργαλείο χειροκίνητης επεξεργασίας. Η ταξινόμηση ακολούθησε το ίδιο μοτίβο και τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται με την φωτοερμηνεία και ψηφιοποίηση. Σε αντίθεση όμως με την ψηφιοποίηση μέσω οπτικής ερμηνείας, η εργασία της ταξινόμησης εστιάστηκε στην επισήμανση των πολυγώνων της κατάτμησης με αποτέλεσμα να αποφευχθεί η γενίκευση που μπορεί να προκύψει από την ερμηνεία συνεχόμενων κατηγοριών και/ή περίπλοκων όριων μεταξύ τους. Οι κατηγορίες που αναγνωρίστηκαν (καλλιέργειες, αστικές χρήσεις, μικτές περιοχές, ανοιχτοί χώροι, αστικό πράσινο), ενοποιήθηκαν σε μία κατηγορία που ονομάστηκε μη φυσική βλάστηση / ανθρωπογενές

περιβάλλον. Η αναγνώριση στοιχείων του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος ενισχύθηκε μέσω της Google Earth™, και της δυνατότητας πρόσβασης σε εικόνες πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης.

Τα αποτελέσματα από το eCognition® εξήχθησαν στο ArcGIS® σε πολυγωνική διανυσματική μορφή για κάθε υπό τμήμα των περιοχών εφαρμογής. Αποτέλεσαν τη «μάσκα» των περιοχών μη φυσικής βλάστησης (ανθρωπογενές περιβάλλον), ώστε κάθε σκηνή επεξεργασίας να περιοριστεί στα όρια της φυσικής βλάστησης (Σχήμα 3.4).

3.7.2.2.2 Προσέγγιση χρησιμοποίησης συμπληρωματικών χωρικών δεδομένων

Για τις περιοχές Χαλκιδική, Δυτική Αττική και Μεσσηνία η παραγωγή του πρώτου επιπέδου πληροφορίας σε φυσική / μη φυσική βλάστηση βασίστηκε στη χρήση διανυσματικών δεδομένων. Για τις περιοχές Χαλκιδική και Δυτική Αττική χρησιμοποιήθηκαν διανυσματικά δεδομένα που προήλθαν από φωτοερμηνεία και ψηφιοποίηση από το Εργαστήριο Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών του τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου για τμήματα των περιοχών αυτών σε συνδυασμό με δεδομένα Corine 2000. Για την περιοχή της Μεσσηνίας χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά το Corine 2000.

Κάθε σκηνή επεξεργασίας των περιοχών εφαρμογής περιορίστηκε σε περιοχές φυσικής βλάστησης σύμφωνα με τα διαθέσιμα διανυσματικά δεδομένα.

3.7.3 Ταξινόμηση ειδών φυσικής βλάστησης

Η χρονική και χωρική συνοχή των ιδιοτήτων ανάκλασης των ειδών βλάστησης είναι ιδιαίτερης σημασίας όταν πρόκειται για τη μελέτη περιοχών μεγάλης έκτασης που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές οικοπεριοχές (Mathys et al., 2009). Στις περιοχές μελέτης οι χωρικά μεταβαλλόμενες συνθήκες ανάπτυξης της πράσινης βιομάζας (ανάλογα με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες, το έδαφος κ.α.) έχουν ως αποτέλεσμα η ίδια κατηγορία βλάστησης να παρουσιάζει διαφορετικές φασματικές αποκρίσεις κατά την στιγμή της παρατήρησης, και ειδικά κατά τα πρώιμα φαινολογικά στάδια ανάπτυξης. Κατά την διάρκεια των επόμενων φαινολογικών σταδίων, αυτή η φασματική μεταβλητότητα γίνεται λιγότερο σημαντική καθώς η ανάπτυξη του θόλου έχει κατά μεγάλο βαθμό αναπτυχθεί.

Έτσι προκειμένου να επιτευχθεί τα απαιτούμενο επίπεδο ακρίβειας για την εκτίμηση της καύσιμης ύλης μέσω της βλάστησης, θεωρήθηκε απαραίτητη η χρησιμοποίηση πολυχρονικών δορυφορικών δεδομένων για την ανάλυση της φαινολογικής επίδρασης στην αναγνώριση των ειδών, ενώ οι επιδράσεις των τοπικών διαφορών στην φασματική απόκριση των ειδών επέβαλλαν την ανάγκη για τον σχεδιασμό μιας τοπικά προσαρμοσμένης μεθοδολογίας. Για ξεπεραστούν οι περιορισμοί στην απόδοση του ταξινομητή, σχεδιάστηκε μια χωρικά προσαρμοσμένη προσέγγιση ταξινόμησης (παραδείγματα Stoffels et al. 2012; Stoffels et al. 2015).

3.7.3.1 Τοποθέτηση του προβλήματος - Διερεύνηση τεχνικών τηλεπισκόπησης

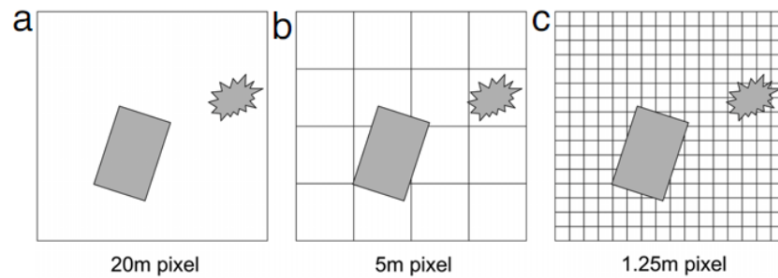
Οι επιβλεπόμενες προσεγγίσεις ταξινόμησης στοχεύουν στην παραγωγή θεματικών χαρτών με τη χρήση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων. Με βάση την αρχή ότι οι διαφορετικές καλύψεις / χρήσεις γης χαρακτηρίζονται και από συγκεκριμένες ιδιότητες εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, οι αλγόριθμοι ταξινόμησης μπορούν να διαχωρίσουν αυτές τις εδαφικές καλύψεις σύμφωνα με τη θέση που καταλαμβάνουν στον πολυφασματικό χώρο (Richards, 2013) (ενότητα 2.3.6.2).

Όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.5.2 η βλάστηση καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τις βιοφυσικές της ιδιότητες, οι οποίες προφανώς είναι πιο στενά συνδεδεμένες με τη φασματική ανακλαστικότητα από ό, τι με τις χωρικές ιδιότητες των αντικειμένων εικόνας (τουλάχιστον όχι στον ίδιο βαθμό όπως η φασματική ανακλαστικότητα). Κατά συνέπεια θα είναι αναμενόμενο ότι πληροφορίες σχήματος να μην είναι σε θέση να μεταφέρουν πληροφορίες για τη βλάστηση, ενώ πρόσθετες φασματικές πληροφορίες που δημιουργούνται από την ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων σε αντικείμενα (δηλαδή την προσθήκη της διακύμανσης και του εύρους φάσματος του αντικειμένου) δε θα ήταν πολύ χρήσιμες στην διάκριση των ειδών βλάστησης. Εξάλλου όπως έχει ήδη συζητηθεί (ενότητα 2.4.1.3.2- σελ.101) από

πολλούς ερευνητές έχει αναφερθεί ότι η μείωση του φασματικού θορύβου έπειτα από τη συσσωμάτωση των εικονοστοιχείων σε αντικείμενα δε βελτιώνει απαραίτητα και τα αποτελέσματα της ταξινόμησης π.χ. (Koch et al., 2003; Μαλλίνης, 2006; Gao & Mas, 2008; Fung et al., 2008; Petropoulos et al., 2012; Jebur et al., 2013; Jonsson, 2015; Goodin et al., 2015; Trang et al., 2016), ενώ έχουν επισημανθεί οι αδυναμίες εφαρμογής των αντικειμενοστραφών προσεγγίσεων όσον αφορά στην ταξινόμηση δασικών ειδών, κυρίως λόγω μη επιθυμητής συσσωμάτωσης σε αντικείμενα τύπων δασών με διαφορετική πρόσμιξη ειδών. Η μη επιθυμητή συσσωμάτωση μπορεί να αποκαλύψει τη σχέση και τους περιορισμούς μεταξύ αντικειμενοστραφών προσεγγίσεων και χωρικής ανάλυσης των δεδομένων.

Άμεσα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι μια επιτυχής εφαρμογή της ερμηνείας που βασίζεται σε αντικείμενα εικόνας θα απαιτεί η χωρική ανάλυση να είναι σημαντικά υψηλότερη από τη χωρική διάσταση των φυσικών αντικειμένων ενδιαφέροντος, προκειμένου να οριοθετηθούν ως διακριτά αντικείμενα στην εικόνα (Fung et al., 2008; Blaschke, 2010b; Zhang et al., 2014b). Στην ενότητα 2.5.3.1 συζητήθηκαν οι σχέσεις μεταξύ χωρικής ανάλυσης και διαχωρισμού χαρακτηριστικών και παρουσιάστηκε σχηματικά η σχέση μεταξύ χωρικής ανάλυσης και ακτίνας αντικειμένων γήινης επιφάνειας (Εικόνα 2.9). Με βάση αυτή τη σχέση, στην Η-ανάλυση όπου το μέγεθος εικονοστοιχείου θα είναι μικρότερο από τις κορυφές των δέντρων θα πρέπει να καθοριστεί μια χωρική μονάδα αναφοράς για την ταξινόμηση μεγαλύτερη από ένα εικονοστοιχείο. Κατά συνέπεια η συσσωμάτωση εικονοστοιχείων σε ευρύτερες ομάδες θα είναι επιθυμητή και ενδεχομένως οι αντικειμενοστραφείς προσεγγίσεις να είναι κατάλληλες για την ταξινόμηση.

Ωστόσο είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν σαφώς οριζόμενοι κανόνες που να καθορίζουν όρια στην χωρική ανάλυση των δεδομένων για την επιτυχή εφαρμογή αντικειμενοστραφών προσεγγίσεων. Ο Blaschke (2010b) σε ένα άρθρο επισκόπησης της βιβλιογραφίας σχετικά με την αντικειμενοστραφή ανάλυση στην Τηλεπισκόπηση παραθέτει τρεις περιπτώσεις που περιγράφονται γραφικά στην Εικόνα 3.7 και επισημαίνει ότι απαιτούν εντελώς διαφορετικές τεχνικές για την εξαγωγή πληροφοριών. Τονίζει ότι μόνο η περίπτωση (γ) μπορεί να θεωρηθεί ως Η-ανάλυση, και μόνο σε αυτή την περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα συγκεκριμένα πλεονεκτήματα της προσέγγισης ΟΒΙΑ, παρόλο που έχει εφαρμοστεί και σε δεδομένα μέσης ή χαμηλής ανάλυσης όπως για παράδειγμα σε εικόνες Landsat (Blaschke, 2010b).



Εικόνα 3.7 Σχέση μεταξύ υπό εξέταση αντικειμένων και χωρικής ανάλυσης

(α) τα εικονοστοιχεία είναι σημαντικά μεγαλύτερα από τα αντικείμενα, απαιτούνται τεχνικές υπό-εικονοστοιχείου (β) τα μεγέθη εικονοστοιχείου και αντικείμενων είναι της ίδιας τάξης, είναι κατάλληλες τεχνικές ανά εικονοστοιχείο, (γ) τα εικονοστοιχεία είναι σημαντικά μικρότερα από το αντικείμενο, είναι απαραίτητη η συσσωμάτωση των εικονοστοιχείων σε ομάδες και έπειτα σε αντικείμενα. (Blaschke, 2010b)

Από την άποψη της αποτελεσματικότητας, η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση περιλαμβάνει πολύ περισσότερο χρόνο τόσο στην επιλογή των επιπέδων κατάτμησης όσο και στη διατύπωση των κανόνων κατάταξης (Μαλλίνης, 2006; Fung et al., 2008).

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη χρήση δεδομένων RapidEye για τη δασική χαρτογράφηση δείχνει ότι έχουν χρησιμοποιηθεί προσεγγίσεις με βάση το εικονοστοιχείο και κατά κύριο λόγο τεχνικές μηχανών εκμάθησης (κυρίως μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης, τυχαία δάση) (Krahwinkler & Rossmann, 2012; Adelabu et al., 2013; Ortiz et al., 2013; Dube et al., 2014; Magdon et al., 2014; Ustuner et al., 2015).

3.7.3.2 Ανάπτυξη μεθοδολογίας

3.7.3.2.1 Χωρικά προσαρμοζόμενη εφαρμογή του ταξινομητή Μέγιστης Πιθανοφάνειας

Παρόλο που πιο προηγμένες προσεγγίσεις ταξινόμησης έχουν δοκιμαστεί σε προηγούμενες εφαρμογές με τη χρήση δεδομένων RapidEye, ο ταξινομητής της μέγιστης πιθανοφάνειας ακόμη θεωρείται ως ένας επαρκής ταξινομητής από την στιγμή που παρατηρούνται οι εννοιολογικές απαιτήσεις (πληροφορίες εκπαίδευσης, επαρκής αριθμός εκπαιδευτικών πεδίων, κανονικές κατανομές των τάξεων) (ενότητα 2.4.1.2.4). Όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.4.1.2.4 είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος μέχρι και σήμερα, και σε σχέση με τη χρήση εναλλακτικών ταξινομητών όπως αυτών που αναφερθήκαν παραπάνω, παρουσιάζει πλεονεκτήματα τόσο στη διαχείριση των δεδομένων όσο και στους χρόνους επεξεργασίας αυτών. Προσφέρει στρατηγικές επιλογές για μια βέλτιστη εφαρμογή, όπως η χρήση του για τη δημιουργία μιας πιο ήπιας ταξινόμησης (ενότητα 2.4.1.3.1).

Η ακρίβεια της επίδοσης του ταξινομητή γενικώς βασίζεται κυρίως σε δυο προϋποθέσεις:

1. Οι στοχευμένες κατηγορίες γης να παρουσιάζουν ιδιότητες επιφανείας οι οποίες να παράγουν επαρκείς μεγάλες διαφορές με όρους προκυπτουσών ιδιοτήτων ανάκλασης
2. Κατά την στιγμή της παρατήρησης, αυτές οι ιδιότητες ανάκλασης να είναι συνεπείς για όλη την έκταση της περιοχής μελέτης.

Ενώ η πρώτη προϋπόθεση συνήθως παρατηρείται και επαληθεύεται, το θέμα της χωρικής και χρονικής συνέπειας λαμβάνει συνήθως λιγότερη προσοχή. Ωστόσο, όταν πρόκειται για μεγάλες περιοχές μελέτης που περιλαμβάνουν οικολογικές περιοχές με διαφορετικές συνθήκες ανάπτυξης και αρχές διαχείρισης, αυτή η δεύτερη προϋπόθεση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη. Μια στρατηγική αντιμετώπιση έτσι ώστε να πληρείται αυτή η προϋπόθεση είναι οι προσαρμογές των ορίων απόφασης με βάση τοπικά δεδομένα αναφοράς και εκπαίδευσης, και όχι με βάση ενός συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης που να έχει προέλθει από δείγματα που κατανέμονται σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης.

3.7.3.2.2 Πεδία Εκπαίδευσης

Όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.4.1.2.2, οι ταξινομητές επιβλεπόμενης ταξινόμησης βασίζονται στην «εκπαίδευση» τους μέσω της λήψης αντιπροσωπευτικών πεδίων / δειγμάτων για κάθε κλάση της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το σχήμα της ταξινόμησης. Οι μονάδες δειγματοληψίας/πεδία εκπαίδευσης αναγνωρίζονται με βάση τη γνώση ότι κάποια εικονοστοιχεία αποτελούν μέλη μιας κατηγορίας κάλυψης γης. Η γνώση, προέρχεται συνήθως από συμπληρωματικά δεδομένα όπως πληροφορίες από μετρήσεις πεδίου, άλλες δορυφορικές εικόνες, ψηφιακά μοντέλα εδάφους, θεματικούς χάρτες, πληροφορίες προσωπικής εμπειρίας κ.λπ.

Από πολλούς ερευνητές έχει σημειωθεί η σημασία των δεδομένων εκπαίδευσης κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης καθώς υπαγορεύουν την πληροφορία που ο αλγόριθμος θα χρησιμοποιήσει για τη κατάταξη των εικονοστοιχείων σε κατηγορίες και κατά συνέπεια είναι καθοριστικά για την απόκτηση θεματικών χαρτών ακριβείας. Στην ενότητα 2.5.9.3 αναφέρθηκαν ορισμένα από τα κριτήρια που θα πρέπει να πληρούν τα δεδομένα εκπαίδευσης ενός ταξινομητή. Εδώ θα ξανά επισημανθούν τα κρισιμότερα κριτήρια όπως:

1. ομοιόμορφη κατανομή στο χώρο, προκειμένου να εκπροσωπηθεί το σύνολο της περιοχής μελέτης,
2. επαρκής αριθμός και αντιπροσωπευτικότητα για όλες τις κατηγορίες,
3. τα δείγματα να διατηρούν μια ορισμένη ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους για τη μείωση των προβλημάτων χωρικής αυτοσυσχέτισης.

Είναι πολύ σημαντική η απόκτηση επαρκούς αριθμού δειγμάτων σε κάθε κατηγορία που πρόκειται να χαρτογραφηθεί αλλά κυρίως να διασφαλίζεται ότι το σύνολο των δειγμάτων

αντιπροσωπεύει το σύνολο της διακύμανσης εντός κάθε κατηγορίας, που σύμφωνα με τον McCoy (2005) αποτελεί και ένα από τα πιο συχνά λάθη που γίνονται στις εργασίες πεδίου (McCoy, 2005). Τα δεδομένα πεδίου θα πρέπει να ακολουθούν ένα αξιόπιστο σχέδιο δειγματοληψίας σύμφωνα με τα πρότυπα δειγματοληψίας της χωρικής στατιστικής. Στο βιβλίο «Μέθοδοι πεδίου στην Τηλεπισκόπηση» («Field methods in remote sensing») (McCoy, 2005), μπορούν να βρεθούν όλες οι καλές πρακτικές για τη δειγματοληψία, τον τρόπο εύρεσης θέσεων, και τον τρόπο συλλογής θεματικών δεδομένων στο πεδίο.

Ωστόσο η εφαρμογή των απαιτούμενων μεθόδων για τη συλλογή δεδομένων αναφοράς από το πεδίο για τη χρήση τους στην Τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα ιδιαίτερα δύσκολο εγχείρημα όταν μελετώνται μεγάλες σε έκταση περιοχές και ταυτόχρονα με την χρήση δεδομένων υψηλής ανάλυσης. Τα κυριότερα προβλήματα αφορούν στο κόστος (τον διαθέσιμο προϋπολογισμό ενός έργου), αλλά και πρακτικές δυσκολίες στην εφαρμογή ενός αξιόπιστου σχήματος δειγματοληψίας λόγω για παράδειγμα δυσκολίας φυσικής πρόσβασης (έντονο ανάγλυφο, δύσβατες περιοχές κτλ.). Επιπλέον, ένα πολύ σημαντικό ζήτημα είναι η αντιστοίχιση της κλίμακας των δεδομένων πεδίου με αυτή των δεδομένων τηλεπισκόπησης (π.χ. η μικρότερη μονάδα χαρτογράφησης θα πρέπει να αντιστοιχεί με τις επιφάνειες δειγματοληψίας).

Τα διαθέσιμα δεδομένα πεδίου για τις περιοχές μελέτης δεν συναντούσαν τις παραπάνω απαιτήσεις για τη χρήση τους στην Τηλεπισκόπηση ως δεδομένα εκπαίδευσης ενός ταξινομητή. Έτσι αναζητήθηκαν άλλες εναλλακτικές για τη λήψη αντιπροσωπευτικών πεδίων / δειγμάτων για κάθε κατηγορία των περιοχών μελέτης.

Η συλλογή των δεδομένων αναφοράς από αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης ανήκει στις έγκυρες μεθόδους δειγματοληψίας (Richards & Jia, 2006; Lu & Weng, 2007; Jensen, 2007; Conrad et al., 2014). Εξάλλου στις περισσότερες μελέτες, τα δείγματα που συγκεντρώνονται από τις έρευνες πεδίου ή από πληροφορίες απογραφής δασών συνήθως συνδυάζονται με επιπλέον δείγματα που λαμβάνονται από φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων (Immitzer et al., 2012).

Μια πιθανή πηγή δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης αλλά και αντιμετώπισης των ζητημάτων που συνδέονται με το κόστος και τη δυσκολία διεξαγωγής επιτόπιας έρευνας είναι η χρησιμοποίηση δωρεάν και εύκολα προσβάσιμων δεδομένων υψηλής ανάλυσης, όπως αυτά που διατίθενται μέσω λογισμικών «Εικονικής Γης» που υλοποιούν διαδικτυακές απεικονίσεις όπως αυτό του Google Earth™ (έχει γίνει αναφορά της χρησιμοποίησης τους ως εναλλακτική πηγή δεδομένων αναφοράς για την εκτίμηση της ακρίβειας, ενότητα 2.4.2.1.2. σελ. 106).

Οι Yu και Gong (2012) στο άρθρο ανασκόπησης της βιβλιογραφίας σχετικά με τη χρήση ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων επισημαίνουν ότι η εφαρμογή «Εικονικής γης» της Google αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη εφαρμογή μεταξύ των ακαδημαϊκών χρηστών (Yu & Gong, 2012).

Η Google προσφέρει δωρεάν δορυφορικές εικόνες σε υψηλή χωρική ανάλυση και μπορεί να παρέχει σημαντικές δυνατότητες για την χαρτογράφηση της χρήσης / κάλυψης γης με χαμηλό κόστος (Potere, 2008; Potere et al., 2009; Jacobson et al., 2015), ιδιαίτερα για περιοχές με ιδιαίτερα ετερογενή τοπία (Hu et al., 2013). Οι χάρτες αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε πολλούς τομείς (Potere et al., 2009; Hu et al., 2013).

Οι εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης, ως ελεύθερη και ανοιχτή πηγή δεδομένων, έχουν προσφέρει μεγάλη υποστήριξη στην παραδοσιακή χαρτογράφηση κάλυψης/χρήσης γης (Clark et al., 2010; Mering et al., 2010). Έχουν θεωρηθεί είτε ως βοηθητικά δεδομένα για τη συλλογή ή τη δοκιμή δειγμάτων εκπαίδευσης για την ταξινόμηση και την επικύρωση (Schneider et al., 2009; Potere et al., 2009; Beekhuizen & Clarke, 2010; Clark et al., 2010; Fritz et al., 2011), ως εργαλείο απεικόνισης ή ως άμεση πηγή δεδομένων για τη φωτοερμηνεία και χαρτογράφηση της χρήσης/ κάλυψης γης (Mering et al., 2010; Kaimaris et al., 2011; Taylor & Lovell, 2012; Hu et al., 2013), ενώ έχουν αναπτυχθεί και εργαλεία που ενσωματώνονται στην πλατφόρμα Google Earth™, όπως το εργαλείο “GE Grids” για τη δημιουργία δυαδικών αρχείων ταξινόμησης μεταξύ ανθρωπογενούς και φυσικού περιβάλλοντος στην Ανατολική Αφρική (Jacobson et al., 2015).

Ο Goodchild (2008b), επισημαίνει ότι οι χρήσεις του Google Earth™ σε ερευνητικά προγράμματα μπορούν να συνοψιστούν σε μερικές γενικές κατηγορίες όπως οπτικοποίηση, συλλογή, εξερεύνηση και ενσωμάτωση δεδομένων, μοντελοποίηση και προσομοίωση, επικύρωση, επικοινωνία / διάδοση των αποτελεσμάτων της έρευνας και υποστήριξη αποφάσεων (Goodchild, 2008b).

Πραγματοποιήθηκε οπτική ερμηνεία αλλά και χρήση της δυνατότητας θέασης από το δρόμο (Street view) των χαρτών της Google προκειμένου να εντοπιστούν συγκεκριμένες περιοχές οι οποίες θα αποτελούσαν τα πεδία εκπαίδευσης για τη διαδικασία της ταξινόμησης. Ιδιαίτερα με τη δυνατότητα εικονικής περιήγησης με το εργαλείο Street view πραγματοποιήθηκε μια εικονική αλλά ρεαλιστική προσομοίωση έρευνας πεδίου, που σε πολλές περιπτώσεις αποκάλυψε καλύψεις γης που θα ήταν αδύνατο να αναγνωριστούν από την οπτική ερμηνεία (όπως για παράδειγμα στη Ρόδο, όπου προηγούμενα συμβάντα πρόσφατων πυρκαγιών είχαν ως αποτέλεσμα την παρουσία καμένων ιστάμενων κορμών που φασματικά μπορούσαν να θεωρηθούν ως περιοχές χαμηλής βλάστησης).

Οι χάρτες Google παρείχαν καλή κάλυψη για τις περιοχές μελέτης και για τα αντίστοιχα έτη αναφοράς των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαδικασία της ταξινόμησης. Οι εικόνες έφταναν σε χωρική ανάλυση έως 50 εκατοστά (των δορυφόρων Πλειάδες, καθώς SPOT 6 και 7), ενώ με η δυνατότητα θέασης ιστορικών εικόνων του Google Earth™ διευκόλυνε περαιτέρω την οπτική αναγνώριση με βάση την πολύ- εποχική ερμηνεία.

Με βάση τον σχεδιασμό της χωρικά προσαρμοζόμενης μεθοδολογίας για την ταξινόμηση, ψηφιοποιήθηκαν περιοχές που αποτελούσαν αντιπροσωπευτικά εικονοστοιχεία της εικόνας που αντιστοιχούσαν στους συγκεκριμένους τύπους εδαφικής κάλυψης, σύμφωνα με το σχήμα της ταξινόμησης για κάθε υπό περιοχή των περιοχών μελέτης (όπως παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3.7.1 - Εικόνα 3.2, Εικόνα 3.3, Εικόνα 3.4, Εικόνα 3.5, Εικόνα 3.6).

- *Ρόδος*

Για τον καθορισμό των φασματικών υπογραφών των τάξεων που αφορούν στα δάση της Ρόδου (δηλ. Πυκνή, Αραιή τραχεία πεύκη, Αραιή τραχεία πεύκη με φρύγανα/αείφυλλα και Δάσος κυπαρισσιού) αλλά και στις κατηγορίες: Θαμνώδης βλάστηση (Φρύγανα/θάμνοι), Παραποτάμια βλάστηση, Γυμνά εδάφη και Υδάτινες επιφάνειες, επιλέχτηκαν συνολικά 155 εκπαιδευτικά πεδία που καταλαμβάνουν 150.016 εικονοστοιχεία. Οι παραπάνω κατηγορίες φυσικής βλάστησης εκτός από την κατηγορία Δάσος κυπαρισσιού που εμφανίζεται μόνο στην σκηνή επεξεργασίας 4 (ενότητα 3.7.1 - Εικόνα 3.2) εμφανίζονται σε όλες τις 9 υπό-περιοχές επεξεργασίας. Ο αριθμός των εκπαιδευτικών πεδίων τόσο ανά κατηγορία ταξινόμησης, όσο και ανά υπό-περιοχή επεξεργασίας καθώς και η χωρική κατανομή των εκπαιδευτικών πεδίων για την περιοχή της Ρόδου παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ (Πίνακας Γ 1, Πίνακας Γ 2 και Εικόνα Γ 1).

Για τις υπόλοιπες κατηγορίες του σχήματος της ταξινόμησης, δηλαδή: Ακρογιαλιές και Παραλίες και Αποτεφρωμένες εκτάσεις (Καμένες εκτάσεις και Καμένη πεύκη) δεν χρησιμοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Οι Ακρογιαλιές και Παραλίες καθώς και η Καμένη Πεύκη, αναγνωρίστηκαν με φωτοερμηνεία έπειτα από την κατάτμηση και χειροκίνητη ταξινόμηση (όπως περιεγράφηκε στην ενότητα 3.7.2.2.1.1). Οι καμένες εκτάσεις εξήχθησαν με τη βοήθεια του δείκτη NDVI.

- *Καστοριά*

Για τον καθορισμό των φασματικών υπογραφών των 10 τάξεων που αφορούν: στα δάση της Καστοριάς (δηλ. Δρυς (Πυκνή, Αραιή), Οξιά, Καστανιά, Μαύρη πεύκη (Πυκνή, Αραιή) και Ελάτη) και των τάξεων Χορτολίβαδα, Γυμνά εδάφη και Υδάτινες επιφάνειες, ψηφιοποιήθηκαν συνολικά 129 πολύγωνα που αποτέλεσαν εκπαιδευτικά πεδία καταλαμβάνοντας 521.520 εικονοστοιχεία. Οι κατηγορίες Ελάτη, Αραιή μαύρη πεύκη, Καστανιά και Υδάτινες επιφάνειες

αποτελούν κατηγορίες περιορισμένης εμφάνισης στα υπό - τμήματα επεξεργασίας (Ελάτη τμήματα επεξεργασίας 4 και 7, Αραιή μαύρη πεύκη τμήμα επεξεργασίας 7,Καστανιά τμήμα επεξεργασίας 5, Υδάτινες επιφάνειες τμήματα επεξεργασίας3,4 και 6). Οι υπόλοιπες τάξεις εμφανίζονται σε όλα τα τμήματα επεξεργασίας (ενότητα 3.7.1 - Εικόνα 3.3). Ο αριθμός των εκπαιδευτικών πεδίων τόσο ανά κατηγορία ταξινόμησης, όσο και ανά υπό-περιοχή επεξεργασίας καθώς και η χωρική κατανομή των εκπαιδευτικών πεδίων για την περιοχή της Καστοριάς παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ (Πίνακας Γ 3, Εικόνα Γ 1). Οι τάξεις Παραποτάμια, Παραλίμνια βλάστηση και Παραλίμνιο δάσος αναγνωρίστηκαν μετά την ταξινόμηση, ενώ οι Καμένες εκτάσεις αναγνωρίστηκε με τη βοήθεια του δείκτη NDVI.

- *Χαλκιδική*

Για τον καθορισμό των φασματικών υπογραφών των τάξεων φυσικής βλάστησης σύμφωνα με το σχήμα της ταξινόμησης της Χαλκιδικής, επιλέχθηκαν για το σύνολο της περιοχής 564.678 εικονοστοιχεία που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση 192 πολύγωνων και για τις 4 περιοχές επεξεργασίας (ενότητα 3.7.1 - Εικόνα 3.4). Λόγω της διαφορετικότητας των οικοσυστημάτων και των τοπίων κάθε υπό-περιοχής επεξεργασίας ο συνδυασμός των τάξεων ειδών φυσικής βλάστησης ήταν διαφορετικός για κάθε τμήμα επεξεργασίας. Ο αριθμός των εκπαιδευτικών πεδίων τόσο ανά κατηγορία ταξινόμησης, όσο και ανά υπό-περιοχή επεξεργασίας καθώς και η χωρική κατανομή των εκπαιδευτικών πεδίων για την περιοχή της Χαλκιδικής παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ (Πίνακας Γ 4, Εικόνα Γ 3).

Για 2 κατηγορίες δεν χρησιμοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Η αναγνώριση της κατηγορίας Χορτολίβαδα έγινε με τη χρήση δι-εποχικής παρατήρησης (ενότητα 3.7.4.2) προκειμένου να διαχωριστεί από τα γυμνά εδάφη και τις θαμνώδεις εκτάσεις. Η κατηγορία Καμένες εκτάσεις αναγνωρίστηκε με τη βοήθεια του δείκτη NDVI.

- *Δυτική Αττική*

Για τον καθορισμό των φασματικών υπογραφών των 11 τάξεων που αφορούν: στα δάση της Δυτικής Αττικής (δηλ. Πυκνή, Αραιή, Νεαρή τραχεία πεύκη, Αραιή τραχεία πεύκη με φρύγανα, Αραιή τραχεία πεύκη με αείφυλλα, Δάσος ελάτης και Μικτά δάση κυπαρισσιού και τραχείας πεύκης) και στις κατηγορίες Θαμνώδης βλάστηση (Φρύγανα/θάμνοι και Θάμνοι, τραχεία πεύκη), Γυμνά εδάφη και Υδάτινες επιφάνειες, επιλέχθηκαν συνολικά 106 εκπαιδευτικά πεδία που καταλαμβάνουν 64.607 εικονοστοιχεία και για τα 3 τμήματα επεξεργασίας. Εκτός από τις κατηγορίες Δάσος ελάτης και Μικτά δάση κυπαρισσιού και τραχείας πεύκης που αποτελούν κατηγορίες περιορισμένης εμφάνισης στα υπό - τμήματα επεξεργασίας (Ελάτη τμήμα επεξεργασίας 1 και 2, Μικτά δάση κυπαρισσιού και τραχείας πεύκης τμήμα επεξεργασίας 1), οι υπόλοιπες κατηγορίες φυσικής βλάστησης εμφανίζονται σε όλες τις υπό-περιοχές επεξεργασίας (ενότητα 3.7.1 - Εικόνα 3.5). Ο αριθμός των εκπαιδευτικών πεδίων

τόσο ανά κατηγορία ταξινόμησης, όσο και ανά υπό-περιοχή επεξεργασίας καθώς και η χωρική κατανομή των εκπαιδευτικών πεδίων για την περιοχή της Δυτικής Αττικής παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ (Πίνακας Γ 5, Εικόνα Γ 4).

Για 2 κατηγορίες δεν χρησιμοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Η αναγνώριση της κατηγορίας Χορτολίβαδα έγινε με τη χρήση δι-εποχικής παρατήρησης (ενότητα 3.7.4.2) προκειμένου να διαχωριστεί από τα γυμνά εδάφη και τις θαμνώδεις εκτάσεις. Η κατηγορία Καμένες εκτάσεις αναγνωρίστηκε με τη βοήθεια του δείκτη NDVI.

- *Μεσσηνία*

Για τον καθορισμό των φασματικών υπογραφών των τάξεων φυσικής βλάστησης σύμφωνα με το σχήμα της ταξινόμησης της Μεσσηνίας, επιλέχθηκαν για το σύνολο της περιοχής 162.818 εικονοστοιχεία που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση 98 πολύγωνων και για τις 2 περιοχές επεξεργασίας (ενότητα 3.7.1 - Εικόνα 3.6). Λόγω της διαφορετικότητας των οικοσυστημάτων και των τοπίων κάθε υπό-περιοχής επεξεργασίας κάποιες κατηγορίες φυσικής βλάστησης είχαν περιορισμένη εμφάνιση σε ένα μόνο υπό-μήμα επεξεργασίας. Ο αριθμός των εκπαιδευτικών πεδίων τόσο ανά κατηγορία ταξινόμησης, όσο και ανά υπό-περιοχή επεξεργασίας καθώς και η χωρική κατανομή των εκπαιδευτικών πεδίων για την περιοχή της Χαλκιδικής παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ (Πίνακας Γ 6, Εικόνα Γ 5). Η κατηγορία Καμένες εκτάσεις αναγνωρίστηκε με τη βοήθεια του δείκτη NDVI.

Λαμβάνοντας υπόψη τις προϋποθέσεις (ότι τα δεδομένα εκπαίδευσης χαρακτηρίζονται από μια κατά προσέγγιση κανονική κατανομή) ο ταξινομητής της μέγιστης πιθανοφάνειας φαίνεται να είναι μια κατάλληλη επιλογή. Για την παραγωγή των τελικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε ο ταξινομητής της μέγιστης πιθανοφάνειας ο οποίος βασίστηκε στην τοπική βελτιστοποίηση των δεδομένων εκπαίδευσης.

Προκειμένου να αξιολογηθούν τα δείγματα εκπαίδευσης ως προς τη δυνατότητα διάκρισης των εικονοστοιχείων σε διαφορετικές τάξεις, υπολογίστηκε η διαχωριστικότητα (separability) με βάση τις φασματικές υπογραφές των περιοχών εκπαίδευσης. Η αξιολόγηση της διαχωριστικότητας πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τη διακύμανση των υπογραφών και στα 7 φασματικά κανάλια των εικόνων αλλά και τα μέσα διανύσματα των υπογραφών για κάθε σκηνή επεξεργασίας κάθε περιοχής μελέτης. Οι πίνακες διαχωριστικότητας των δειγμάτων εκπαίδευσης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ .

3.7.3.2.3 Εφαρμογή ασαφούς ή «ήπιας» ταξινόμησης

Στην ενότητα «Μέθοδοι για την ταξινόμηση των ειδών», συζητήθηκαν μεταξύ άλλων και οι αδυναμίες των αλγορίθμων ταξινόμησης να εκπροσωπήσουν τη συνεχή φύση των ειδών βλάστησης, χωρίς σαφή όρια μεταξύ των διαφόρων τάξεων και ως μια εναλλακτική για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος προτείνεται η χρήση των λεγόμενων απαλών ταξινομητών (2.5.9.4).

Επιπλέον, όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.5.3.2, παρόλο που θα πίστευε κανείς ότι με τη χρήση δεδομένων υψηλής ανάλυσης το πρόβλημα των μικτών εικονοστοιχείων εξαλείφεται, με την αύξηση της χωρικής ανάλυσης ακόμη και αν ο σχετικός αριθμός των μικτών εικονοστοιχείων μειώνεται ο απόλυτος αριθμός τους συνήθως αυξάνει (Blaschke et al., 2004). Και ακόμη και στην περίπτωση της H - ανάλυσης η εμφάνιση μικτών εικονοστοιχείων θα είναι αναπόφευκτη καθώς ένα μικρό ποσοστό εικονοστοιχείων θα βρίσκεται σε «οριακή περιοχή» (π.χ. στην άκρη των κορυφών των δέντρων). Τα μικτά εικονοστοιχεία θα συνεχίζουν να εμφανίζονται μεταξύ των ορίων των αντικειμένων ανεξάρτητα από το μέγεθος της ανάλυσης του αισθητήρα (Schowengerdt, 2007).

Έτσι λόγω (1) της συνεχούς φύσης της βλάστησης, αλλά και (2) της εμφάνισης μικτών εικονοστοιχείων κυρίως μεταξύ των ορίων των τάξεων, πραγματοποιήθηκε μια τεχνική ασαφούς ταξινόμησης για κάθε περιοχή εφαρμογής. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οι πιο συνήθεις προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για να ξεπεραστεί το πρόβλημα των μικτών εικονοστοιχείων είναι οι τεχνικές ασαφούς συνόλου (ενότητα 2.4.1.3.1). Η ασαφής ταξινόμηση λειτουργεί με την χρήση της συμμετοχικότητας, όπου η τιμή ενός εικονοστοιχείου καθορίζεται από το κατά πόσο κοντά είναι σε μια κλάση απ' ότι σε μια άλλη.

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, καταδεικνύει πολλές μελέτες που έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι μπορεί να ληφθεί πολύτιμη πληροφορία υπό εικονοστοιχείου με την προσαρμογή της τυπικής ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας, για την εξαγωγή πληροφοριών σε κλίμακα υπό - εικονοστοιχείου για τη δημιουργία «ασαφών» ή «μαλακών» ταξινομήσεων (σελ. 95), παρόλο που υπάρχουν διαφωνίες μεταξύ των επιστημόνων.

Χρησιμοποιήθηκε η ασαφής συνέλιξη (fuzzy convolution) όπου χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι για την παραγωγή μιας ασαφούς ταξινόμησης από τις πληροφορίες που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας ταξινόμησης Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Η προσέγγιση αυτή ίσως να μην είναι ακριβώς μια ασαφής ταξινόμηση αλλά ίσως πιο σωστά θα πρέπει να αναφέρεται ως ένα «μαλάκωμα» της πιο σκληρής κατάταξης. Υπάρχει κάποια διαφωνία στη βιβλιογραφία ως προς το αν αυτό το είδος ταξινόμησης θα πρέπει να αναφέρεται ως «μαλακή» ή ως ταξινόμηση πιθανοτήτων (Binaghi et al., 1999; Zhang & Foody, 2001) (ενότητα 2.4.1.3.1).

Χρησιμοποιώντας την εικόνα που αφορούσε μόνο την βλάστηση, δημιουργήθηκαν 2 επιθέματα ταξινόμησης για κάθε εικόνα (η μίξη θα εμφανίζεται κυρίως μεταξύ των ορίων των τάξεων, λόγω της χρήσης δεδομένων υψηλής ανάλυσης) και μέσω της μεθόδου της ασαφούς συνέλιξης πραγματοποιήθηκε η συνέλιξη των εικονοστοιχείων που συμμετείχαν σε πολλαπλές κατηγορίες με βάση τις αποστάσεις Mahalanobis.

Κατά την εκτέλεση του ταξινομητή της μέγιστης πιθανοφάνειας παρήχθησαν οι αποστάσεις Mahalanobis για κάθε εικονοστοιχείο. Αυτές οι τιμές απόστασης διατηρήθηκαν και στη συνέχεια μετασχηματίστηκαν έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα ή τις ασαφείς τιμές.

Η διαδικασία της ασαφούς συνέλιξης δημιουργεί μια ενιαία εικόνα ταξινόμησης μέσω του υπολογισμού της συνολικής σταθμισμένης αντίστροφης απόστασης όλων των τάξεων. Ένας πίνακας $n \times n$ διατρέχει την εικόνα και εκχωρεί στο κεντρικό εικονοστοιχείο του την τιμή της τάξης με την μεγαλύτερη συνολική αθροιζόμενη αντίστροφη απόσταση, η οποία υπολογίστηκε από τον συνολικό αριθμό των μπαντών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του φαινομένου «αλάτι - πιπέρι» στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης.

Τάξεις με πολύ μικρή τιμή απόστασης παραμένουν αμετάβλητες ενώ τάξεις με υψηλότερες τιμές απόστασης μπορεί να μεταπηδήσουν σε μια γειτονική τιμή εάν υπάρχουν επαρκή σε αριθμό γειτονικά εικονοστοιχεία με τιμές τάξης και μικρής αντίστοιχα απόστασης. Χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$T_k = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s \sum_{l=0}^s \frac{w_{ij}}{D_{jil} k} \quad (21)$$

Όπου:

i = Η γραμμή του πίνακα

j = Η στήλη του πίνακα

s = Το μέγεθος του πίνακα (3, 5 ή 7 εικονοστοιχεία)

l = Το επίθεμα του ασαφούς σετ

n = Ο αριθμός των επιθεμάτων ασάφειας που χρησιμοποιούνται

w = Ο πίνακας βαρών για το παράθυρο

k = Η τιμή της τάξης

$D[k]$ = Η τιμή του αρχείου απόστασης για την τάξη k

$T[k]$ = Συνολική σταθμισμένη απόσταση του παραθύρου για την τάξη k

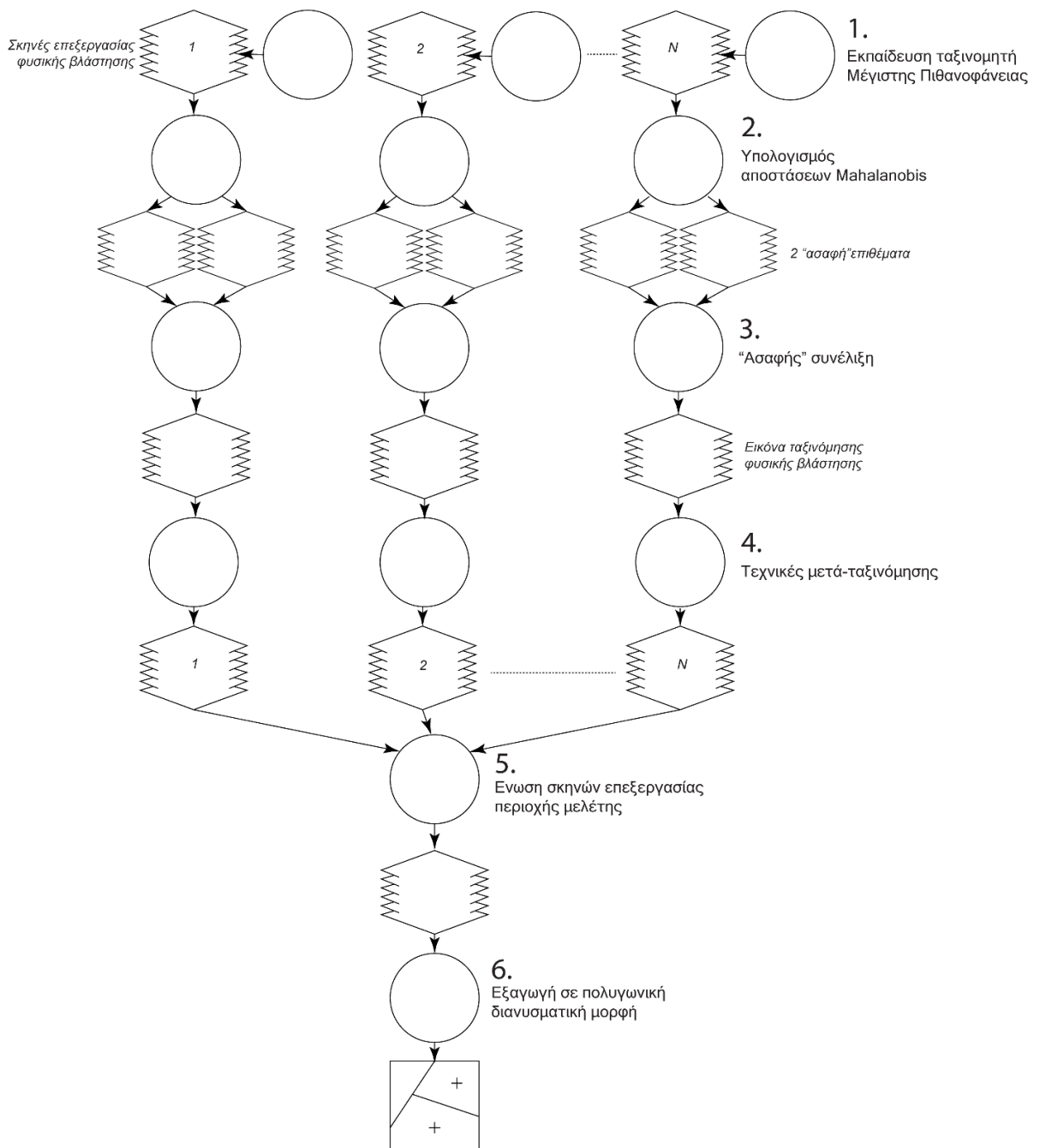
στο κεντρικό εικονοστοιχείο εκχωρείται η τάξη με την μεγαλύτερη $T[k]$

3.7.3.2.4 Τεχνικές μετά-ταξινόμησης (*post-classification techniques*)

Χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα για την εξομάλυνση της εικόνας και την απόδοση της κυρίαρχης τάξης. Στην ουσία πρόκειται για τεχνικές επαναταξινόμησης συνάφειας. Σε δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, όταν μέσα σε μια κυρίαρχη τάξη εμφανίζονται μικρότερες χωρικές συγκεντρώσεις, ενδεχομένως αυτές να μην αποτελούν σφάλματα αλλά να αναπαριστούν την γήινη πραγματικότητα. Η χρήση όμως φίλτρων εξομάλυνσης σε εικόνες υψηλής ανάλυσης, οδηγεί σε ομοιογενείς ομάδες ταξινόμησης, που μπορεί να τηρούν περισσότερο την ανθρώπινη αντίληψη για την κάλυψη της γης.

Συγκεκριμένα εφαρμόστηκε ένα φίλτρο πλειοψηφίας (*majority filter*) με πυρήνα 3×3 , καθώς και ένα φίλτρο αντικειμένων εύρεσης συνδεδεμένων μερών στο όριο μεταξύ των τάξεων με την επέκταση ή/και συρρίκνωση τους κατά 3 εικονοστοιχεία στην κατεύθυνση x ή y .

Το Σχήμα 3.5 παρουσιάζει τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ταξινόμηση των ειδών φυσικής βλάστησης στις περιοχές μελέτης.



Σχήμα 3.5 Σχηματική αναπαράσταση προσέγγισης χωρικά προσαρμοζόμενης εφαρμογής του ταξινομητή Μέγιστης Πιθανοφάνειας και εφαρμογής «ήπιας» ταξινόμησης

3.7.4 Ανίχνευση των αλλαγών φυσικής βλάστησης λόγω εποχικής διακύμανσης της χλωροφύλλης

3.7.4.1 Τοποθέτηση του προβλήματος - Διερεύνηση τεχνικών τηλεπισκόπησης

Σε γενικές γραμμές, η ανίχνευση αλλαγών αφορά στην εφαρμογή πολλαπλών χρονικών συνόλων δεδομένων για την ποσοτική ανάλυση των διαχρονικών αποτελεσμάτων ενός φαινομένου. Η ανίχνευση αλλαγής, ορίζεται ως η διαδικασία προσδιορισμού των διαφορών στην κατάσταση ενός αντικειμένου ή ενός φαινομένου έπειτα από την παρατήρηση του σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (Singh 1989), και είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον εντοπισμό αλλαγών της επιφάνειας του εδάφους από πολυ-χρονικά παθητικά τηλεπισκοπικά δεδομένα (Lu et al., 2004b; Su et al., 2016).

Οι εφαρμογές ανίχνευσης αλλαγής με τη χρήση τεχνολογιών τηλεπισκόπησης συνοψίζονται (Lu et al., 2004b) σε: (1) αλλαγή χρήσης και κάλυψης γης (2) αλλαγή του δάσους ή της βλάστησης (3) θνησιμότητα δάσους, φυλλόπτωση και εκτίμηση των βλαβών (4) αποψίλωση των δασών, αναγέννηση και επιλεκτική υλοτομία (5) αλλαγή των υγροτόπων (6) δασικές πυρκαγιές (7) αλλαγή του τοπίου (8) αστική αλλαγή (9) περιβαλλοντικές αλλαγές (10) άλλες εφαρμογές όπως η παρακολούθηση των καλλιέργειών.

Η ανίχνευση αλλαγών έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην Τηλεπισκόπηση, κυρίως με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων χαμηλής (AVHRR, MODIS) και μέτριας χωρικής ανάλυσης (MSS, TM, ETM+, SPOT). Με τη διαθεσιμότητα δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης έχουν επίσης αναπτυχθεί τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών με τη χρήση αντικειμενοστραφών τεχνολογιών όπως η κατάτμηση και ταξινόμηση αντικειμένων (Förster & Frick, 2010; Chen et al., 2012; Hussain et al., 2013).

Οι συμβατικές μέθοδοι ανίχνευσης αλλαγών εικόνας κατά κανόνα συνεπάγεται την αναζήτηση διαφορών μεταξύ δύο εικόνων με γεωμετρική σύμπτωση. Υπήρξαν πολλές προτεινόμενες μέθοδοι για την ανίχνευση μεταβολών αυτής της κατηγορίας (Singh, 1989; Lu et al., 2004b) καθώς και συνδυαστικές μέθοδοι (Zhang et al., 2014b; Su et al., 2016).

Όσον αφορά στη χρήση των δεδομένων RapidEye σε εφαρμογές ανίχνευσης των αλλαγών η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας καταδεικνύει ότι αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κύριο για την ανάπτυξη προσεγγίσεων που αφορούν στην ταξινόμηση των χορτολιβαδικών εκτάσεων, ενώ μεμονωμένες περιπτώσεις αφορούν ταξινόμηση του αστικού πρασίνου ή των κατολισθήσεων ή αλλαγών λόγω ανθρωπογενών επεμβάσεων.

Οι Förster και Frick (2010) χρησιμοποίησαν 5 εποχιακές εικόνες RapidEye (μεταξύ Μαΐου και Οκτωβρίου) και εντατικές φασματικές μετρήσεις από το πεδίο για την παρακολούθηση των

διαφορετικών τύπων βλάστησης και οικοτόπων των περιοχών NATURA 2000 σε μια περιοχή της βορειοανατολικής Γερμανίας. Ανέπτυξαν μια βιβλιοθήκη φαινολογίας για τη μεταφορά των εποχιακών φασματικών μετρήσεων από το πεδίο σε πληροφορίες σχετικά με τα πιθανά ενδαιτήματα που αποσπάζαν από τα δορυφορικά δεδομένα.

Οι Förster κ.α. (2011) παρουσίασαν μια μελέτη που στοχεύει στην ανάπτυξη μεθόδων για εποχιακή διόρθωση με τη βοήθεια των φαινολογικών παρατηρήσεων της Γερμανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Deutscher Wetterdienst) και φασματικών μετρήσεων πεδίου για την ταξινόμηση των χορτολιβαδικών εκτάσεων για την ίδια περιοχή μελέτης. Δημιούργησαν μια φαινολογική καμπύλη ανά τάξη, η οποία εφαρμόστηκε σε μια χρονική σειρά 10 εικόνων RapidEye κατά την περίοδο βλάστησης για την ταξινόμηση των χορτολιβαδικών εκτάσεων.

Επίσης για την χαρτογράφηση των χορτολιβαδικών εκτάσεων, οι Franke κ.α. (2012) χρησιμοποίησαν εποχικές εικόνες RapidEye. Η ανάλυση τους βασίστηκε στον υπολογισμό του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) αλλά και του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης ερυθρού άκρου (NREVI), αλλά και στην ανάπτυξη μιας παραμέτρου που αντιπροσωπεύει τη φασματική δυναμική των επιφανειών της γης με την πάροδο του χρόνου (Mean Absolute Spectral Dynamic (MASD)). Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα καλύτερα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν με τη χρήση ενός συνδυασμού πέντε εποχιακών εικόνων.

Οι Förster κ.α.(2012) παρουσίασαν μια μελέτη που εφαρμόζει μια φασματική-χρονική βιβλιοθήκη για 21 διαφορετικούς τύπους ειδών λειμώνων σε ένα σύνολο 24 σκηνών RapidEye που αποκτήθηκαν κατά τις περιόδους βλάστησης μεταξύ 2009 και 2011 για μια περιοχή δοκιμής που βρίσκεται δυτικά του Βερολίνου στη Γερμανία.

Οι Asam κ.α. (2013) για την εξαγωγή του δια εποχικού δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) για τις χορτολιβαδικές εκτάσεις, χρησιμοποίησαν δεδομένα RapidEye πολλαπλών χρονικών στιγμών και εφάρμοσαν στατιστικές παλινδρομήσεις μεταξύ των δεικτών βλάστησης και δειγματοληψιών πεδίου. Πραγματοποίησαν τέσσερις εκστρατείες μέτρησης LAI και οι εικόνες RapidEye αντιστοιχίστηκαν για κάθε μία από τις μετρήσεις πεδίου. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι δείκτες που προέρχονται από πολυ-χρονικά δεδομένα RapidEye επιτρέπουν τη χαρτογράφηση της εποχικής διακύμανσης του LAI των λειμώνων, αν υπάρχουν αντίστοιχα ή πολλαπλά δεδομένα πεδίου.

Η χρησιμότητα δεδομένων υψηλής ανάλυσης για την ταξινόμηση των ενδαιτημάτων των χορτολιβαδικών εκτάσεων σε μια περιοχή προστασίας της φύσης στη βορειοανατολική Γερμανία διερευνήθηκε από τους Schuster κ.α. (2015). Χρησιμοποίησαν μια ενδο-ετήσια χρονοσειρά 21 παρατηρήσεων, που αποτελούνταν από δεδομένα RapidEye και ενός δορυφορικού συστήματος ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (TerraSAR-X), για την

ταξινόμηση επτά τάξεων χορτολιβαδικών εκτάσεων. Η ανάλυση τους βασίστηκε σε δείκτες NDVI και δεδομένα παρατήρησης της φαινολογίας από τη Γερμανική Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.

Οι Tigges κ.α. (2013) εφάρμοσαν μια προσέγγιση για την ταξινόμηση δέντρων που ανήκουν σε οκτώ συχνά γένη του Βερολίνου. Διερεύνησαν διαφορετικούς εποχικούς και φασματικούς συνδυασμούς 5 εικόνων RapidEye κατά τη διάρκεια της σεζόν από Απρίλιο έως Οκτώβριο του 2009, με τη χρήση βοηθητικών μοντέλων επιφάνειας και ανάγλυφου. Τα αποτελέσματα τους δείχνουν ότι η ενδο-ετήσια χρονοσειρά των δεδομένων RapidEye μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υψηλής ακρίβειας ταξινόμηση γενών δέντρων του αστικού περιβάλλοντος.

Οι Behling κ.α. (2014) ανέπτυξαν μια μεθοδολογία για τη χαρτογράφηση των κατολισθήσεων με βάση χρονοσειρών δεδομένων RapidEye και πληροφοριών ανάγλυφου. Η προσέγγιση βασίστηκε στην ανάλυση διαχρονικών NDVI για το διαχωρισμό των κατολισθήσεων που σχετίζονται με επιφανειακές αλλαγές από άλλες αλλαγές κάλυψης γης. Χρησιμοποίησαν τέσσερις εικόνες RapidEye για την περίοδο όπου σημειώθηκαν οι κατολισθήσεις σε μια περιοχή στο νότιο Κιργιστάν.

Οι Zhang κ.α. (2014b) χρησιμοποίησαν δεδομένα υψηλής ανάλυσης για 9 χρονικές στιγμές των δορυφορικών συστημάτων SPOT5 και RapidEye για την εξαγωγή και τον ποσοτικό προσδιορισμό των ανθρωπογενών και φυσικών αλλαγών για μια περιπτώσιολογική μελέτη περιοχής μεταλλείων στις δυτικές πεδιάδες της αρκτικής στον Καναδά. Πρότειναν μια προσέγγιση ανίχνευσης αλλαγής που βασίζεται στην ανάλυση διανυσματικών αλλαγών και συνδυάζει την ανίχνευση των αλλαγών σε επίπεδο εικονοστοιχείου και αντικειμένου.

3.7.4.2 Ανάπτυξη μεθοδολογίας

Έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία τεχνικών ανίχνευσης αλλαγής, που μπορούν να βρεθούν σε μια σειρά βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων σχετικά με τις μεθόδους ανίχνευσης αλλαγής (Singh, 1989; Macleod & Congalton, 1998; Mas, 1999; Lu et al., 2004b; Alqurashi & Kumar, 2013; Hussain et al., 2013; Hecheltjen et al., 2014). Μπορούν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες: (1) άλγεβρα, (2) μετασχηματισμός, (3) ταξινόμηση, (4) προηγμένα μοντέλα, (5) προσεγγίσεις Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), (6) οπτική ανάλυση, και (7) άλλες προσεγγίσεις.

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι ανίχνευσης της αλλαγής είναι οι μέθοδοι άλγεβρας εικόνας που εφαρμόζουν έναν αλγεβρικό λογισμό (π.χ. διαφορά εικόνων, παλινδρόμηση, αναλογισμός, διαφορά δεικτών βλάστησης, ανάλυση διανυσματικής αλλαγής) σε πολυ-χρονικά

τηλεπισκοπικά δεδομένα σε επίπεδο εικονοστοιχείου για να δημιουργηθεί μια εικόνα αλλαγής (Lu et al., 2004b; Hechtjen et al., 2014).

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες στρατηγικές για τη διεξαγωγή μελετών ανίχνευσης αλλαγής και δεν υπάρχει κάποια μεμονωμένη μέθοδος που να θεωρείται κατάλληλη για όλες τις εφαρμογές ή για όλους τους αισθητήρες. Έχει υποστηριχθεί ότι η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής ανίχνευσης αλλαγής σχετίζεται με το αντικείμενο της μελέτης (Hussain et al., 2013). Διαφορετικοί συγγραφείς έχουν φτάσει σε διαφορετικά συμπεράσματα σχετικά με το ποια μέθοδος παρείχε τα καλύτερα αποτελέσματα, δεδομένου ότι τα αποτελέσματα ποικίλλουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των περιοχών μελέτης και των δεδομένων εικόνας που χρησιμοποιούνται (Lu et al., 2004b). Το μέγεθος της περιοχής μελέτης και η χωρική ανάλυση μπορεί επίσης να επηρεάσει σημαντικά την επιλογή της τεχνικής (Hussain et al., 2013).

Προκειμένου να εντοπιστούν τυχών διά - εποχικές μεταβολές του χωρικού προτύπου της φυσικής βλάστησης εξαιτίας της αλληλεπίδρασης του φαινολογικού κύκλου και των κλιματολογικών συνθηκών (ενότητα 2.5.9.1) αξιοποιήθηκε ο κλασικός δείκτης NDVI (Εξ. (19)). Όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.5.9.2.1 ο δείκτης αυτός πέρα από μια ένδειξη του «πρασινίσματος» της βλάστησης μπορεί επίσης να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις δυναμικές αλλαγές συγκεκριμένων ειδών βλάστησης. Οι χρονοσειρές εικόνων NDVI έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για την ανίχνευση αλλαγών.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ο χρόνος απόκτησης των δεδομένων τηλεπισκόπησης προκειμένου οι χρονοσειρές NDVI να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άντληση μετρήσεων φαινολογίας ειδών θα πρέπει να εναρμονίζεται με το φαινολογικό κύκλο των υπό έρευνα ειδών και όχι με την ευρεία φαινολογία του δάσους (η φαινολογία ποικίλλει ανάλογα με τα είδη) (ενότητα 2.5.9.1). Επιπλέον η φαινολογία επηρεάζεται επίσης από παράγοντες όπως τη φωτοπερίοδο, την υγρασία και τη θερμοκρασία του εδάφους και του αέρα, και το φωτισμό από τον ήλιο (σελ.69). Έτσι στις περισσότερες μελέτες για την άντληση μετρήσεων φαινολογίας με τη χρήση της τηλεπισκόπησης προκειμένου να είναι δυνατός ο ορισμός γεγονότων στην ανάπτυξη των ειδών βλάστησης έχουν χρησιμοποιηθεί ενδο-ετήσιες χρονοσειρές δορυφορικών δεδομένων που να αντιστοιχούν στις εποχιακές φασματικές μετρήσεις των ειδών από το πεδίο καθώς και σε φαινολογικές παρατηρήσεις μετεωρολογικών υπηρεσιών (παραδείγματα μελετών έχουν αναφερθεί στην ενότητα 3.7.4).

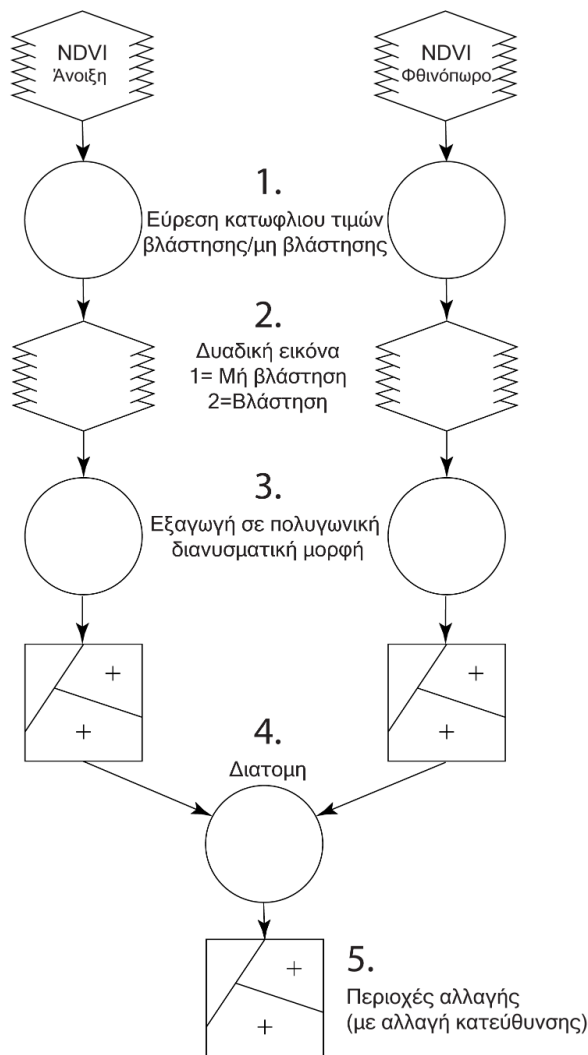
Η παρούσα μεθοδολογία εστιάστηκε στη χρήση της εποχικής επίδρασης, όσον αφορά στην ορθή αποτύπωση του χωρικού προτύπου των τάξεων της βλάστησης στις περιοχές μελέτης. Η διεποχική ανάλυση του NDVI μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην ορθή εκτίμηση της έκτασης του όγκου της κόμης των δένδρων, καθώς έχει βρεθεί θετική συσχέτιση μεταξύ του όγκου της κόμης και του NDVI (Trout et al., 2008).

Αναπτύχθηκε μια τεχνική που βασίστηκε στον υπολογισμό της πράσινης βιομάζας που παρατηρείται την άνοιξη και στην ελάχιστη κατά την ξηρότερη περίοδο για κάθε περιοχή μελέτης (για τις ημερομηνίες των χρησιμοποιούμενων δεδομένων βλ. ενότητα 3.4). Οι χρονοσειρές εικόνων NDVI αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένα διαχρονικά αποτυπώματα των μεταβολών της βλάστησης που λαμβάνονται για κάθε εικονοστοιχείο για τις χρονικές στιγμές των δεδομένων. Ο δείκτης είναι πολύ ευαίσθητος στη φωτεινότητα του υποβάθρου των θόλων (Huete et al., 2002; Huete, 1988). Είναι πολύ ευαίσθητος στις μεταβολές της βλάστησης του υπορόφου και η υποβάθμιση του σήματός του γίνεται πιο έντονη όταν υπάρχουν συνθήκες υψηλής βιομάζας στον υπόροφο (Huete, 1988). Τέτοιες συνθήκες επικρατούν κυρίως κατά την ανάπτυξη της πράσινης βιομάζας (την άνοιξη), οπότε η σύγκριση των τιμών NDVI μεταξύ ανάπτυξης και ξηρής βιομάζας θα είναι σε θέση να ελαχιστοποιήσει την επίδραση του σήματος υποβάθρου στην ορθή χωρική αποτύπωση του όγκου των θόλων.

Δεδομένου ότι τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα αποτελούν δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης πολλές μέθοδοι με βάση το εικονοστοιχείο που έχουν χρησιμοποιηθεί παραδοσιακά, δεν θεωρούνται κατάλληλες για υψηλής ανάλυσης δορυφορικά δεδομένα, λόγω της αυξημένης μεταβλητότητας που παρουσιάζουν και έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της ακρίβειας των προσεγγίσεων που βασίζονται ανά εικονοστοιχείο (Niemeyer et al., 2008). Η χρησιμοποίηση δεδομένων εικόνας υψηλής χωρικής ανάλυσης για την ανίχνευση των αλλαγών θέτει μια σειρά προκλήσεων (Hussain et al., 2013): (α) ακρίβεια γεω αναφοράς, (β) μεγαλύτερη μεταβλητότητα ανακλαστικότητας σε κάθε κατηγορία, και (γ) διαφορετικά χαρακτηριστικά εικόνων (π.χ. γεωμετρία προβολής αισθητήρα, αποτέλεσμα σκιάς, και γωνία φωτισμού).

Επίσης, οι τεχνικές ανίχνευσης των αλλαγών μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με: (i) την ανίχνευση της απλής δυαδικής αλλαγής (δηλαδή μεταβολή έναντι καμία αλλαγή), και (ii) αναλυτική αλλαγή «από-σε» (π.χ. σύγκριση μετά-ταξινόμησης) (Im et al., 2007).

Με βάση όλα τα παραπάνω, ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία, όπως διαφαίνεται και στο Σχήμα 3.6:



Σχήμα 3.6 Σχηματική αναπαράσταση προσέγγισης ανίχνευσης των αλλαγών φυσικής βλάστησης λόγω εποχικής διακύμανσης της χλωροφύλλης

Κάθε εικονοστοιχείο των εικόνων NDVI για τις δύο εποχές των περιοχών μελέτης ταξινομήθηκε ως βλάστηση σε σχέση με ένα κατώφλι, το οποίο προσδιορίστηκε με βάση τη φωτοερμηνεία κάθε περιοχής. Η επιλογή των τιμών NDVI που αποτέλεσαν τα όρια των κλάσεων, έγιναν ημί-εμπειρικά, μέσα από μια διαδραστική ή χειροκίνητη διαδικασία δοκιμής - ελέγχου - σφάλματος μέχρι το όριο των τιμών να μπορεί να διαχωρίσει με μια «σκληρή» κατηγοριοποίηση περιοχές βλάστησης έναντι περιοχών χωρίς καθόλου βλάστηση (Πίνακας 3.9).

Δημιουργήθηκε μια δυαδική (binary) εικόνα, όπου οι περιοχές μη βλάστησης βαθμονομήθηκαν με τον κωδικό 1, ενώ υγιούς βλάστησης της εικόνας με τον κωδικό 2. Οι παραπάνω δυαδικές εικόνες εξήχθησαν σε διανυσματική μορφή πολυγώνου. Αφαιρέθηκαν οι περιοχές μη φυσικής βλάστησης που είχαν εξαχθεί σε προηγούμενο στάδιο όπως περιεγράφηκε στην ενότητα 3.7.2 (και στις υπό ενότητες αυτής).

Πίνακας 3.9 Όρια τιμών NDVI

	ημερομηνία δορυφορικής εικόνας	τιμές NDVI	
		μη βλάστηση	βλάστηση
ΡΟΔΟΣ	4/5/2012	-0,523 - 0,14	0,14 - 0,72
	26/9/2012	-0,576 - 0,1	0,1 - 0,65
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	12/6/2012	-0,466 - 0,5	0,5 - 0,817
	3/9/2012	-0,573 - 0,3	0,3 - 0,796
	21/9/2012	-0,499 - 0,3	0,3 - 0,79
	26/9/2012	-0,632 - 0,34	0,34 - 0,769
	1/10/2012	-0,574 - 0,38	0,38 - 0,76
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ	22/6/2012	-0,786 - 0,25	0,25 - 0,811
	22/4/2017	-0,767 - 0,18	0,18 - 0,819
	24/9/2012	-0,767 - 0,28	0,28 - 0,771
	29/9/2012	-0,827 - 0,12	0,12 - 0,768
ΔΥΤΙΚΗ ΑΤΤΙΚΗ	22/4/2012	-0,701 - 0,18	0,18 - 0,795
	29/9/2012	-0,691 - 0,12	0,12 - 0,734
ΜΕΣΣΗΝΙΑ	4/5/2010	-0,524 - 0,28	0,28 - 0,729
	16/4/2010	-0,531 - 0,19	0,19 - 0,709
	6/11/2010	-0,591 - 0,22	0,22 - 0,71
	18/8/2010	-0,644 - 0,18	0,18 - 0,765
	2/9/2010	-0,651 - 0,18	0,18 - 0,722

Εν συνεχεία εφαρμόστηκε η μέθοδος διατομής (intersection) μεταξύ των δύο NDVI επιθεμάτων των δύο εποχών για κάθε περιοχή μελέτης. Με την τεχνική αυτή δόθηκε η δυνατότητα να εντοπιστούν όχι μόνο δυαδικές πληροφορίες αλλαγής / μη αλλαγής, αλλά και πίνακες αλλαγής (αλλαγή κατεύθυνσης). Έτσι μπόρεσαν να εντοπιστούν οι περιοχές με ακραία μεταβολή στο «πρασίνισμα» της βλάστησης (Πίνακας 3.10). Οι περιοχές που προέκυψαν έπειτα από τη διατομή των δύο διανυσματικών αρχείων ταξινόμησης του δείκτη NDVI για τις δύο εποχές αναφοράς της κάθε περιοχής όπως διαφαίνεται και από τον πίνακα (Πίνακας 3.10) ήταν: οι περιοχές χωρίς καμία μεταβολή (περιοχές με κωδικό 1,1 και 2,2), δηλαδή περιοχές που διατηρούσαν τον κωδικό 1 και για τις δύο εποχές και αντιπροσώπευαν περιοχές χωρίς βλάστηση, ενώ αντιθέτως περιοχές που διατηρούσαν τον κωδικό 2, αποτελούσαν τις περιοχές όπου η εποχική διακύμανση δεν είχε σοβαρή επίπτωση στην βλάστηση.

Πίνακας 3.10 Πίνακας δια- εποχικής αλλαγής περιοχών βλάστησης σύμφωνα με το δείκτη NDVI

	Βαθμονόμηση	Φυσική Σημασία
Διαδικές εικόνες NDVI	1	Μη βλάστηση
	2	Βλάστηση
Διατομή διανυσματικών επιθεμάτων (από άνοιξη προς φθινόπωρο)	1,1	Μη βλάστηση και για τις 2 εποχές
	2,2	Βλάστηση και για τις 2 εποχές
	1,2	Από μη βλάστηση σε βλάστηση
	2,1	Από βλάστηση σε μη βλάστηση

Επίσης, αναδείχθηκαν και οι περιοχές με μεταβολή στην ανάπτυξη της πράσινης βιομάζας (οι συνδυασμοί κωδικών 1,2 και 2,1). Μεταβολές παρουσιάστηκαν σε περιοχές που δεν εμφάνιζαν καθόλου βλάστηση στην εικόνα που αντιπροσώπευε την άνοιξη ενώ εμφάνιζαν τιμές του δείκτη μεγαλύτερες από το καθορισμένο κατώφλι στην εικόνα της περιόδου ξηρασίας. Επιπλέον, εντοπίστηκαν και οι αναμενόμενες μεταβολές σε περιοχές που εμφάνιζαν κάποια βλάστηση κατά την περίοδο ανάπτυξης της βιομάζας και δεν εμφάνιζαν κατά τους φθινοπωρινούς μήνες.

Έτσι, μέσω της υπέρθεσης των δεικτών βλάστησης των δύο αυτών εποχών και τη χρήση μιας προσαρμοσμένης τεχνικής ανίχνευσης των αλλαγών, οριστικοποιήθηκαν οι κατηγορίες χρήσης γης για κάθε περιοχής μελέτης έπειτα και από την παρακολούθηση των δια-εποχιακών αλλαγών της βλάστησης.

3.7.5 Αξιολόγηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων

Στην ενότητα 2.4.2 επισημάνθηκε η αναγκαιότητα για την αξιολόγηση της ποιότητας των αποτελεσμάτων μιας ταξινόμησης. Όπως συζητήθηκε, οι στατιστικές μέθοδοι αξιολόγησης χρησιμοποιούν ένα ανεξάρτητο σύνολο δεδομένων επικύρωσης για να αξιολογήσουν την ακρίβεια των τελικών χαρτών που προκύπτουν από την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων.

3.7.5.1 Σχεδιασμός δειγματοληψίας δεδομένων αναφοράς

Σημαντικές προϋποθέσεις ενός σχήματος δειγματοληψίας είναι να αντιπροσωπεύει επαρκώς κάθε κατηγορία εδαφικής κάλυψης, και να μην εισάγει στη διαδικασία αξιολόγησης κάποιο συστηματικό σφάλμα (Smits et al., 1999) (ενότητα 2.4.2.1.1).

Ο αριθμός των εικονοστοιχείων αναφοράς είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό της ακρίβειας της ταξινόμησης. Ένας εμπειρικός κανόνας που έχει προταθεί είναι ο συνολικός αριθμός να ισούται με 50 δείγματα ανά κατηγορία ταξινόμησης (Congalton, 1991). Όμως όπως ο Congalton (1991) επισημαίνει «ο αριθμός των δειγμάτων για κάθε κατηγορία μπορεί επίσης να ρυθμιστεί με βάση τη σχετική σημασία στο πλαίσιο των στόχων της χαρτογράφησης ή την εγγενή μεταβλητότητα κάθε κατηγορίας. Μερικές φορές είναι καλύτερο να επικεντρωθεί η δειγματοληψία για τις κατηγορίες ενδιαφέροντος ή υψηλής μεταβλητότητας με την αύξηση του αριθμού των δειγμάτων και μείωση του αριθμού των δειγμάτων σε λιγότερο σημαντικές ή κατηγορίες με μικρή μεταβλητότητα». Επιπλέον ο αριθμός των δειγμάτων μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με την έκταση και τον αριθμό των κατηγοριών στην περιοχή μελέτης.

Για την εφαρμογή της εκτίμησης της ακρίβειας του αποτελέσματος των ταξινομήσεων, επιλέχθηκε ένα σχήμα τυχαίας στρωματοποιημένης δειγματοληψίας, για τη δημιουργία ενός συνόλου εικονοστοιχείων που θα αποτελούσαν τα σημεία αναφοράς των ταξινομήσεων για κάθε κατηγορία του σχήματος της ταξινόμησης. Ο αριθμός των σημείων αναφοράς διαμορφώθηκε σύμφωνα με την αναλογία της κάθε επιμέρους τάξης στην συνολική έκταση κάθε περιοχής μελέτης καθώς και σε σχέση με τη σημαντικότητα των τάξεων για τη συγκεκριμένη εφαρμογή (χωρικό πρότυπο της φυσικής βλάστησης).

Οι κατηγορίες του σχήματος των ταξινομήσεων διαχωρίστηκαν ανάλογα με τη σημαντικότητα τους σχετικά με το αντικείμενο της χαρτογράφησης (την αποτύπωση δηλαδή του χωρικού προτύπου της φυσικής βλάστησης) σε σημαντικές και μη σημαντικές κατηγορίες. Έτσι, τα Δάση, η Θαμνώδης βλάστηση και τα Χορτολίβαδα θεωρήθηκαν ως σημαντικές κατηγορίες. Επίσης ως σημαντική κατηγορία θεωρήθηκε και η τάξη που περιγράφει περιοχές που έχουν πληγεί από πυρκαγιές, και στις οποίες παραμένουν αποτεφρωμένοι ιστάμενοι κορμοί δένδρων, καθώς αποτελούν μια ιδιαίτερα εύφλεκτη καύσιμη

ύλη. Επιπλέον, ως σημαντική θεωρήθηκε και η κατηγορία του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος καθώς αποτελεί μια κατηγορία κάλυψης γης που είναι ουσιαστική για την χωρική εκτίμηση του κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς καθώς και για τους υπολογισμούς των αναμενόμενων επιπτώσεων. Ορίστηκε ο μικρότερος αριθμός σημείων που αντιστοιχεί και στη μικρότερη έκταση της κατηγορίας να ανέρχεται σε 20 σημεία εάν ανήκει σε σημαντική κατηγορία και σε 10 σε μη σημαντική. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες υπολογισμού των δειγμάτων αναφοράς για κάθε περιοχή μελέτης.

Για την περιοχή της Ρόδου ο αριθμός των σημείων αναφοράς που προέκυψε μέσω μιας τυχαίας στρωματοποιημένης δειγματοληψίας έδωσε 694 σημεία για τις σημαντικές κατηγορίες και 106 για τις υπόλοιπες μη σημαντικές, διαμορφώνοντας ένα μέγεθος δείγματος 800 σημείων προς επικύρωση. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.11) παρουσιάζεται η αναλογική προσαρμογή του αριθμού των τυχαίων σημείων σε σχέση με την έκταση και τη σημαντικότητα κάθε τάξης.

Πίνακας 3.11 Πίνακας υπολογισμού μεγέθους δείγματος Ρόδου

	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	Α/Α	ΕΚΤΑΣΗ χλμ. ²	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	1	102.848	67
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	2	336.532	173
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	3	249.582	134
	ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ	4	0.671	20
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	5	127.324	78
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	6	370.249	189
	ΚΑΜΕΝΟΙ ΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΚΟΡΜΟΙ ΠΕΥΚΗΣ	7	29.255	33
	ΣΥΝΟΛΟ	7	1216.461	694
ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	1	170.458	53
	ΑΙΓΙΑΛΟΣ	2	0.475	10
	ΠΑΡΑΛΙΑ	3	4.163	11
	ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	4	4.437	11
	ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	5	2.467	10
	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	6	3.755	11
	ΣΥΝΟΛΟ	6	185.754	106
	ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	13	1402.215	800

Η αναλογική προσαρμογή του μεγέθους του δείγματος για την αξιολόγηση της ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Καστοριάς οδήγησε σε 223 σημεία για τη θεματική τάξη «αγροτική και αστική περιοχή» με τη μεγαλύτερη ποσοστιαία κάλυψη από την κατηγορία των σημαντικών για την ταξινόμηση τάξεων, και σε 135 σημεία για την κατηγορία «γυμνά εδάφη» που αποτελεί τη μεγαλύτερη σε έκταση τάξη από της μη σημαντικές κατηγορίες. Τέλος, 1087 σημεία επιλέχθηκαν ως σημεία επικύρωσης για την εκτίμηση της ακρίβειας για αυτή την περιοχή (Πίνακας 3.12).

Πίνακας 3.12 Πίνακας υπολογισμού μεγέθους δείγματος Καστοριάς

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		Α/Α	ΕΚΤΑΣΗ χλμ. ²	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	1	414.387	223
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	2	22.926	27
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΔΡΥΟΣ	3	296.992	164
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	4	357.721	195
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	5	16.093	24
	ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	6	8.546	20
	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	7	116.339	74
	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	8	121.523	77
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	9	134.099	83
	ΣΥΝΟΛΟ	9	1488.626	887
ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	1	371.567	135
	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	2	0.271	10
	ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	3	3.564	11
	ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΟ ΔΑΣΟΣ	4	0.236	10
	ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	5	11.866	14
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	6	28.788	20
	ΣΥΝΟΛΟ	6	416.291	200
ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ		15	1904.917	1087

Πίνακας 3.13 Πίνακας υπολογισμού μεγέθους δείγματος Χαλκιδικής

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		Α/Α	ΕΚΤΑΣΗ χλμ. ²	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	1	108.747	78
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	2	102.446	73
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	3	778.044	421
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	4	1354.149	712
	ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	5	31.670	35
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	6	55.835	47
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	7	224.184	136
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	8	2.148	20
	ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	9	33.791	36
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	10	7.408	23
	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	11	44.725	40

	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	12	77.347	58
	ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	13	113.927	77
	ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	14	195.244	118
	ΦΡΥΓΑΝΑ	15	45.052	37
	ΣΥΝΟΛΟ	15	3174.718	1911
ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	1	128.134	47
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	2	0.661	9
	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	3	47.331	23
	ΣΥΝΟΛΟ	3	176.126	79
ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ		18	3350.844	1990

Για την περιοχή της Χαλκιδικής οι σημαντικές κατηγορίες ανήλθαν σε 3174.7 χλμ.² αποτελώντας το 95% της συνολικής έκτασης της Χαλκιδικής, με αποτέλεσμα ο αριθμός των τυχαίων σημείων επικύρωσης να ανέλθει στα 1911. Ενώ για τις υπόλοιπες 3 κατηγορίες διαμορφώθηκε στα 79 σημεία, οδηγώντας σε ένα συνολικό δείγμα των 1990 σημείων. Επιπλέον ο Πίνακας 3.13 παρουσιάζει την αναλογική προσαρμογή του αριθμού των τυχαίων σημείων σε σχέση με την έκταση και τη σημαντικότητα κάθε τάξης.

Για την περιοχή της Δυτικής Αττικής που αποτελεί και τη μικρότερη σε έκταση περιοχή μελέτης ο αριθμός των δειγματοληπτικών σημείων σύμφωνα με τα κριτήρια που θεσπίστηκαν (αναλογία, σημαντικότητα και μεταβλητότητα τάξεων) διαμορφώθηκε σε 850 για το σύνολο των 14 κατηγοριών (Πίνακας 3.14).

Πίνακας 3.14 Πίνακας υπολογισμού μεγέθους δείγματος Δυτικής Αττικής

	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	Α/Α	ΕΚΤΑΣΗ χλμ. ²	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	1	194.007	138
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	2	209.820	147
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	3	75.505	65
	ΘΑΜΝΟΙ,ΦΡΥΓΑΝΑ	4	14.070	28
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	5	345.079	230
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	6	24.642	34
	ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	7	27.572	36
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	8	14.699	28
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	9	27.525	36
	ΜΙΚΤΟ ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	10	1.287	20
	ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	11	6.565	23
	ΣΥΝΟΛΟ	11	940.770	785
ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	1	106.211	38
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	2	28.536	17
	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	3	0.152	10
	ΣΥΝΟΛΟ	3	134.899	65
ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ		14	1075.670	850

Τέλος ο Πίνακας 3.15 παρουσιάζει των αριθμό των σημείων αναφοράς που λήφθηκαν για την περιοχή της Μεσσηνίας. Παρατηρούμε ότι η τάξη που αντιπροσωπεύει το ανθρωπογενές περιβάλλον λαμβάνει το μεγαλύτερο μέγεθος σημείων αναφοράς (878 από το σύνολο των 1744 σημείων για τις σημαντικές κατηγορίες), καθώς αποτελεί το $\approx 56\%$ της συνολικής έκτασης των σημαντικών κατηγοριών και το 53,5% της έκτασης της Μεσσηνίας. Ανάλογα με την έκταση και τη σημαντικότητα τους κυμαίνεται και ο αριθμός του δείγματος για τις υπόλοιπες κατηγορίες.

Πίνακας 3.15 Πίνακας υπολογισμού μεγέθους δείγματος Μεσσηνίας

	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	Α/Α	ΕΚΤΑΣΗ χλμ. ²	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	1	39.746	37
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	2	701.115	388
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	3	1625.390	878
	ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	4	49.427	43
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	5	15.451	24
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	6	66.778	52
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	7	64.382	50
	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	8	27.555	31
	ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	9	32.506	34
	ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	10	116.053	78
	ΦΡΥΓΑΝΑ	11	174.717	109
	ΚΑΜΕΝΟΙ ΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΚΟΡΜΟΙ ΠΕΥΚΗΣ	12	6.950	20
	ΣΥΝΟΛΟ	12	2920.071	1744
ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	1	113.877	36
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	2	2.305	10
	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	3	1.807	10
		ΣΥΝΟΛΟ	3	117.990
	ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	15	3038.061	1800

Συνοψίζοντας όπως παρουσιάζει και ο Πίνακας 3.16, επιλέχθηκαν 800 σημεία επικύρωσης για την περιοχή της Ρόδου, 1087 για την περιοχή της Καστοριάς, 1990 για τη Χαλκιδική, 850 για τη Δυτική Αττική και τέλος 1800 για τη Μεσσηνία. Το μέγεθος του δείγματος για κάθε περιοχή υπερβαίνει το συνολικό αριθμό δειγμάτων που συνιστάται για την εκτίμηση της ακρίβειας από τον Congalton (1991). Η χωρική κατανομή των σημείων αναφοράς για κάθε περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ (Εικόνα Δ 1, Εικόνα Δ 2, Εικόνα Δ 3, Εικόνα Δ 4, Εικόνα Δ 5).

Πίνακας 3.16 Μέγεθος δείγματος για τις περιοχές μελέτης

		ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	ΛΗΨΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΝΑ ΤΑΞΗ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ N
ΡΟΔΟΣ	ΚΑΝΟΝΑΣ Congalton (1991)	13	50	650
	ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	7	99	694
	ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	6	17	106
	ΣΥΝΟΛΟ			800
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	ΚΑΝΟΝΑΣ Congalton (1991)	15	50	750
	ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	9	99	887
	ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	6	33	200
	ΣΥΝΟΛΟ			1087
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ	ΚΑΝΟΝΑΣ Congalton (1991)	18	50	900
	ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	15	127	1911
	ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	3	26	79
	ΣΥΝΟΛΟ			1990
ΔΥΤΙΚΗ ΑΤΤΙΚΗ	ΚΑΝΟΝΑΣ Congalton (1991)	14	50	700
	ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	11	71	785
	ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	3	22	65
	ΣΥΝΟΛΟ			850
ΜΕΣΣΗΝΙΑ	ΚΑΝΟΝΑΣ Congalton (1991)	15	50	750
	ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	12	145	1744
	ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	3	19	56
	ΣΥΝΟΛΟ			1800

3.7.5.2 Σχέδιο απόκρισης

3.7.5.2.1 Πηγές δεδομένων αναφοράς

Λόγω των περιορισμένων δεδομένων επίγειας αλήθειας από το πεδίο, καθώς και της μη διαθεσιμότητας δεδομένων από επίσημους ή μη φορείς για όλες τις περιοχές μελέτης, η επικύρωση της ταξινόμησης έγινε αποκλειστικά και μόνο στη βάση των πληροφοριών που λαμβάνονται από εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης. Όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.4.2.1.2 η χρήση δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης για την αξιολόγηση προϊόντων χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης αποτελεί μια εναλλακτική στρατηγική και είναι μια ευρέως αποδεκτή πρακτική.

Η χρήση της Google Earth™, δίνει η δυνατότητα πρόσβασης σε εικόνες πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, και θεωρείται μια έγκυρη πηγή δεδομένων για την αξιολόγηση της ακρίβειας μιας ταξινόμησης (σελ. 106). Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε η Υπηρεσία Θέασης Ορθοφωτογραφιών από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. (<http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>) που περιλαμβάνει ορθοφωτογραφίες, που προέκυψαν από φωτοληψίες περιόδου 2007 έως 2009

για το σύνολο της Ελλάδας. Επίσης ήταν διαθέσιμα και τα ψηφιακά δεδομένα των ορθοφωτογραφιών αυτών για τις περιοχές Καστοριάς, Χαλκιδικής, Δυτικής Αττικής και Μεσσηνίας. Για την περιοχή της Ρόδου υπήρχαν ορθοφωτογραφίες για το έτος 1998.

Για την περιοχή της Καστοριάς χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον Δασοπονικοί χάρτες κλίμακας 1:20.000 των διαχειριστικών μελετών της Διεύθυνσης Δασών Καστοριάς περιόδου 2000 - 2010.

3.7.5.2.2 Πρωτόκολλο αναγνώρισης

Κάθε θέση επικύρωσης χαρακτηρίστηκε χρησιμοποιώντας τις πηγές αναφοράς που περιεγράφηκαν παραπάνω.

Οι υψηλής χωρικής ανάλυσης χάρτες της Google παρείχαν καλή κάλυψη για τις περιοχές μελέτης και για τα αντίστοιχα έτη αναφοράς των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαδικασία της ταξινόμησης. Οι εικόνες έφταναν σε χωρική ανάλυση έως 50 εκατοστά (των δορυφόρων Πλειάδες, καθώς SPOT 6 και 7).

Τα σημεία αναφοράς συγκρίθηκαν με τα σημεία στην ίδια θέση στους ορθοφωτοχάρτες για έλεγχο τυχόν μη γεωμετρικής σύμπτωσης στο Google Earth, και αντιστρόφως τα σημεία στους ορθοφωτοχάρτες ελέγχθηκαν στο Google Earth για την πιθανότητα αλλαγής χρήσης λόγω της χρονικής αναντιστοιχίας με τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα.

Με την παραπάνω διαδικασία τα σημεία επικύρωσης ερμηνεύθηκαν οπτικά και αποδόθηκαν στις κατηγορίες του σχήματος ταξινόμησης της κάθε περιοχής μελέτης. Όσα σημεία έπεφταν σε οριακές περιοχές, π.χ. σημεία σε μικτές κατηγορίες, σημεία στα όρια των τάξεων ελέγχονταν η περίμετρος του σημείου και έπειτα από φωτοερμηνεία και εκτίμηση αποδόθηκαν τελικά σε μία κατηγορία του σχήματος ταξινόμησης.

3.7.5.3 Ανάλυση

Οι συγκρίσεις έγιναν με τη βοήθεια μητρών σύγχυσης (Stehman, 1997; Foody, 2002), που όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.4.2.1.3 είναι η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ακρίβειας. Οι πίνακες σύγχυσης για τις περιοχές εφαρμογής μπορούν να αναζητηθούν στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ .

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η βασική δήλωση ακρίβειας (του συνολικού ποσοστού των περιπτώσεων που έχει σωστά ανατεθεί), θα πρέπει να συνοδεύεται από περισσότερα του ενός μέτρα ακρίβειας επειδή το κάθε μέτρο αντανακλά σε διαφορετική πληροφορία που περιέχεται στον πίνακα σφάλματος και επιπλέον να παρέχεται και ο πίνακας σύγχυσης ως μια πληρέστερη περιγραφή της ακρίβειας της ταξινόμησης (Stehman, 1997; Foody, 2002; Congalton & Green, 2009; Olofsson et al., 2014) (ενότητα 2.4.2.2).

Οι πίνακες χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστούν διάφορες παράμετροι της ακρίβειας: ακρίβεια του παραγωγού (producer's accuracy 100%— errors of omission), ακρίβεια του χρήστη (user's accuracy 100%—error of commission), και συνολική ακρίβεια (overall accuracy- αναλογία των σωστά ταξινομημένων σημείων επικύρωσης προς τον συνολικό αριθμό των σημείων επικύρωσης)(Congalton, 1991). Επιπροσθέτως υπολογίστηκε και ο συντελεστής kappa του Cohen (Cohen, 1960). Αυτή η πιο αυστηρή αξιολόγηση της ακρίβειας προσδιορίζει το επίπεδο της συμφωνίας που τελικά έχει επιτευχθεί από την ταξινόμηση σε σχέση με το επίπεδο που μπορεί να αναμένεται να συμβεί κάτω από μια απολύτως τυχαία ταξινόμηση. Έχει αναγνωριστεί ως μια ισχυρή μέθοδος για την ανάλυση ενός πίνακα σφάλματος και ο συντελεστής Kappa είναι αυτός που χρησιμοποιείται συχνότερα στην Τηλεπισκόπηση παρόλο που πολλοί ερευνητές έχουν εκφράσει αμφισβητήσεις σχετικά με τη χρήση του (ενότητα 2.4.2.2).

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

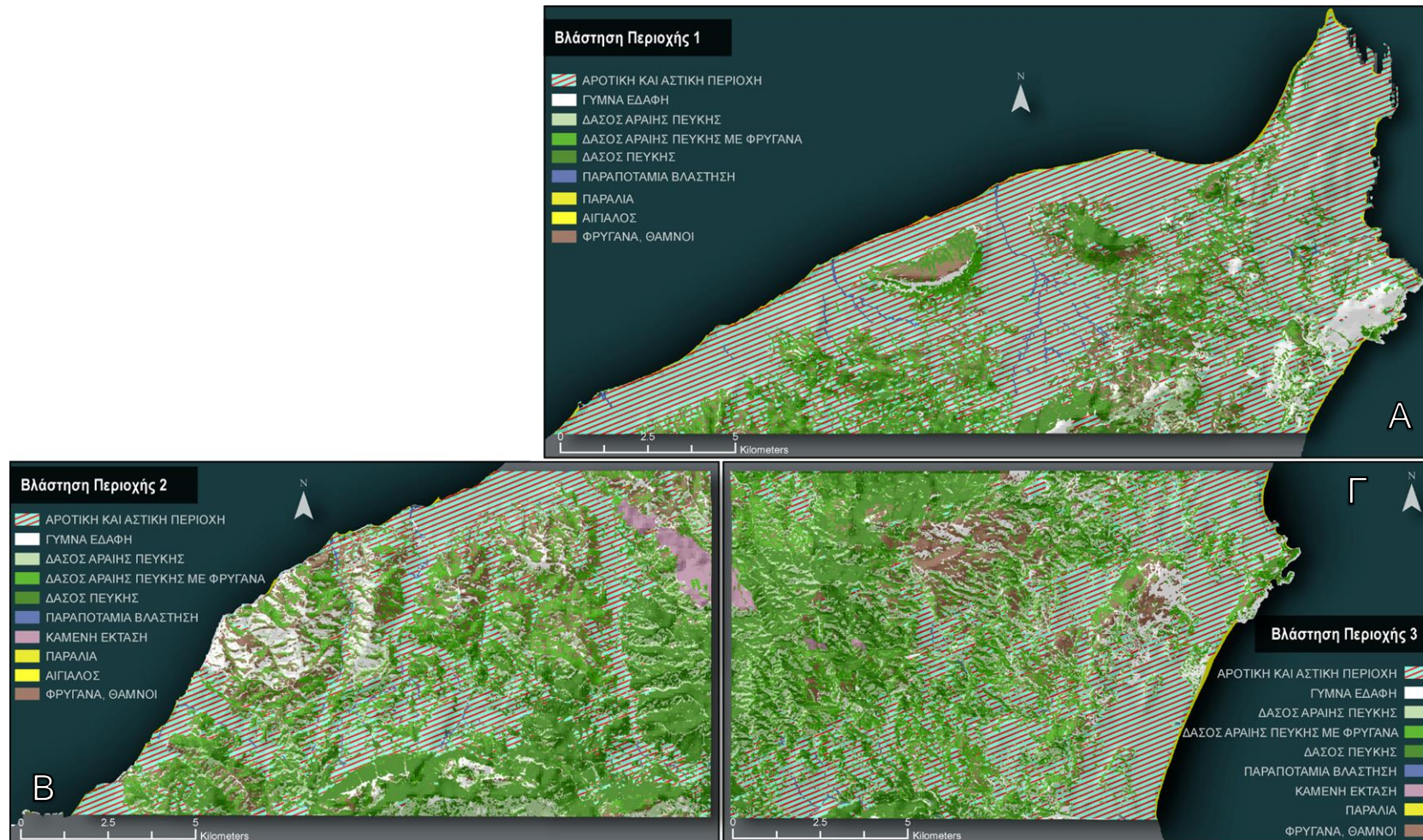
4.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων σε θεματικούς χάρτες

Έπειτα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε σε ολόκληρη την ενότητα 3.7, οι εξαγόμενες πληροφορίες από τα δεδομένα τηλεπισκόπησης παρουσιάστηκαν μέσω θεματικών χαρτών με την βοήθεια της χαρτογραφίας.

4.1.1 Θεματικοί χάρτες ανά σκηνή επεξεργασίας

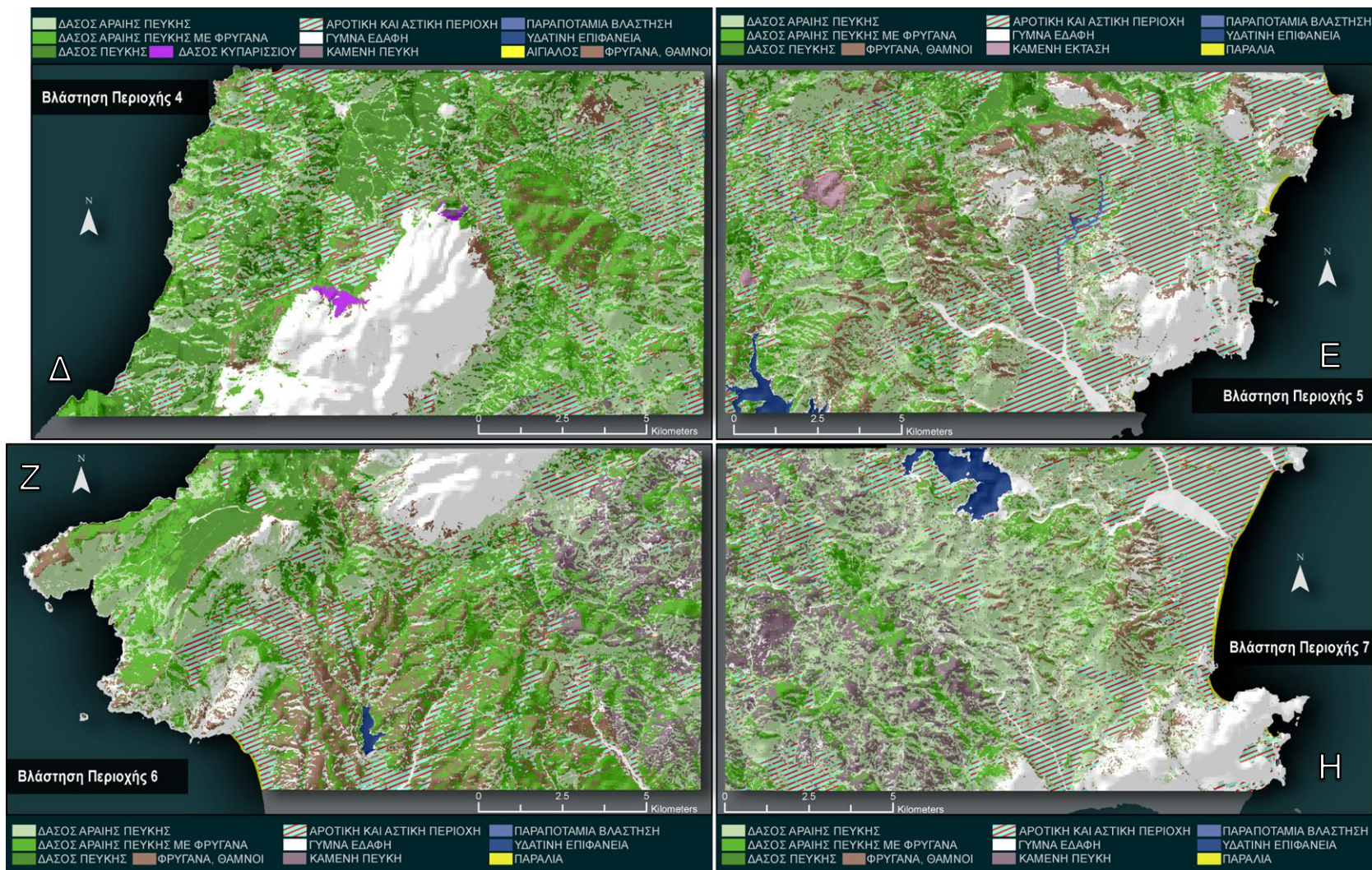
Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες φυσικής βλάστησης όπως προέκυψαν έπειτα από τη χρήση μιας χωρικά προσαρμοσμένης μεθοδολογίας, με αποτέλεσμα να προκύψει ένας θεματικός χάρτης για κάθε ξεχωριστή χωρική οντότητα επεξεργασίας των περιοχών μελέτης.

4.1.1.1 Ρόδος



Εικόνα 4.1 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Ρόδου (Α) της υπό περιοχής 1 (Β) της υπό περιοχής 2 (Γ) της υπό περιοχής 3

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

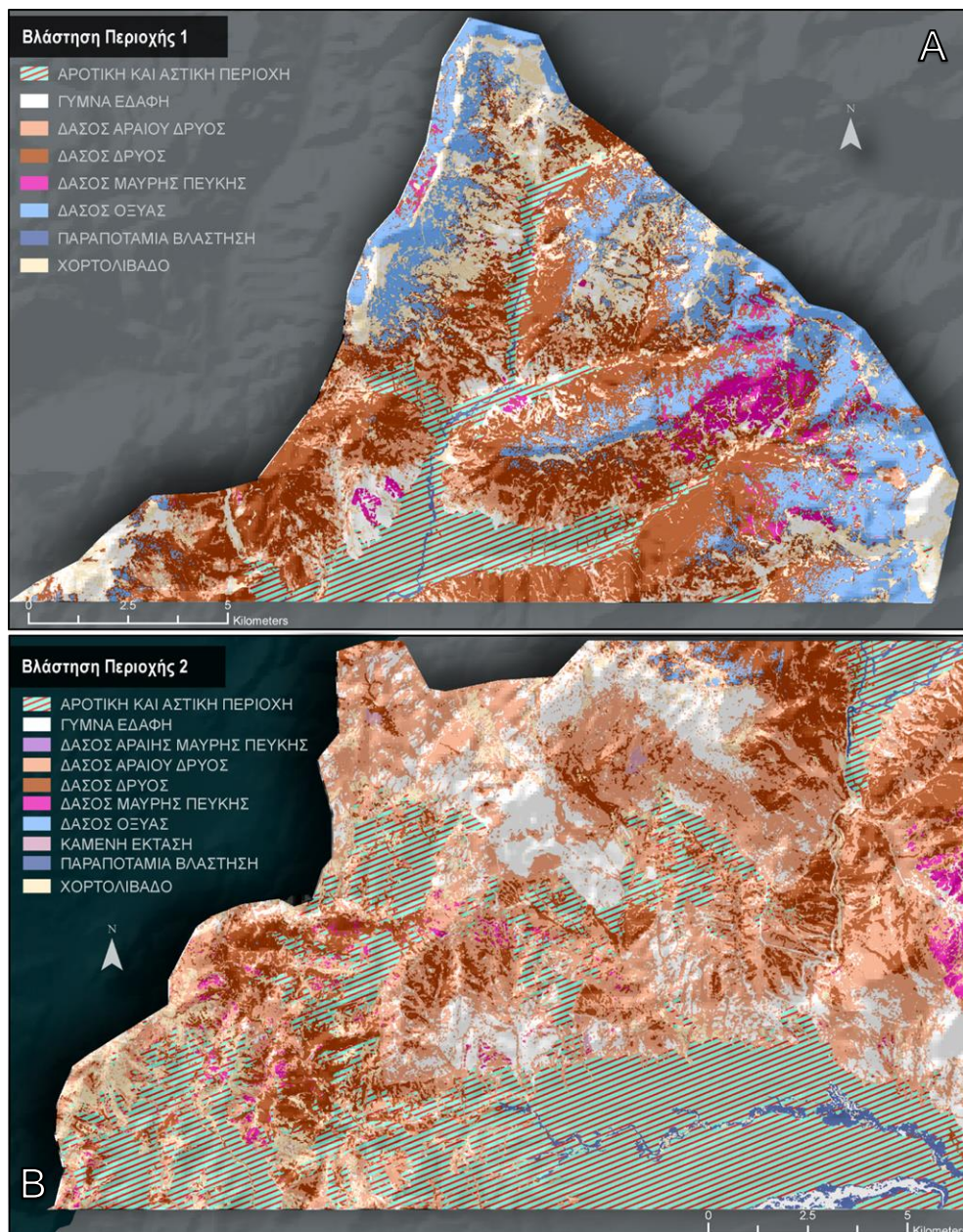


Εικόνα 4.2 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Ρόδου (Δ) της υπό περιοχής 4 (Ε) της υπό περιοχής 5 (Ζ) της υπό περιοχής 6 (Η) της υπό περιοχής 7

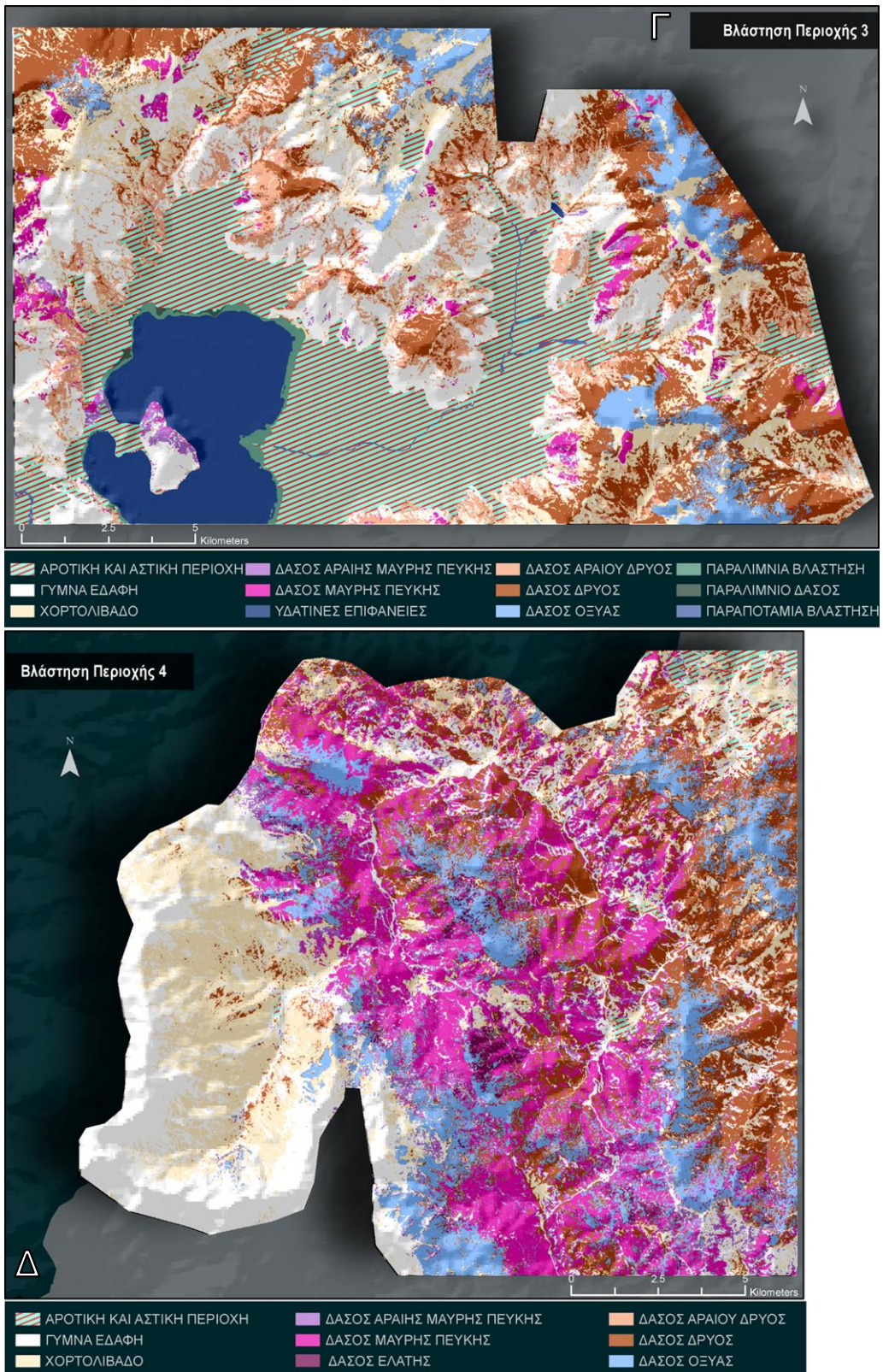


Εικόνα 4.3 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Ρόδου (Θ) της υπό περιοχής 8 (I) της υπό περιοχής 9

4.1.1.2 Καστοριά

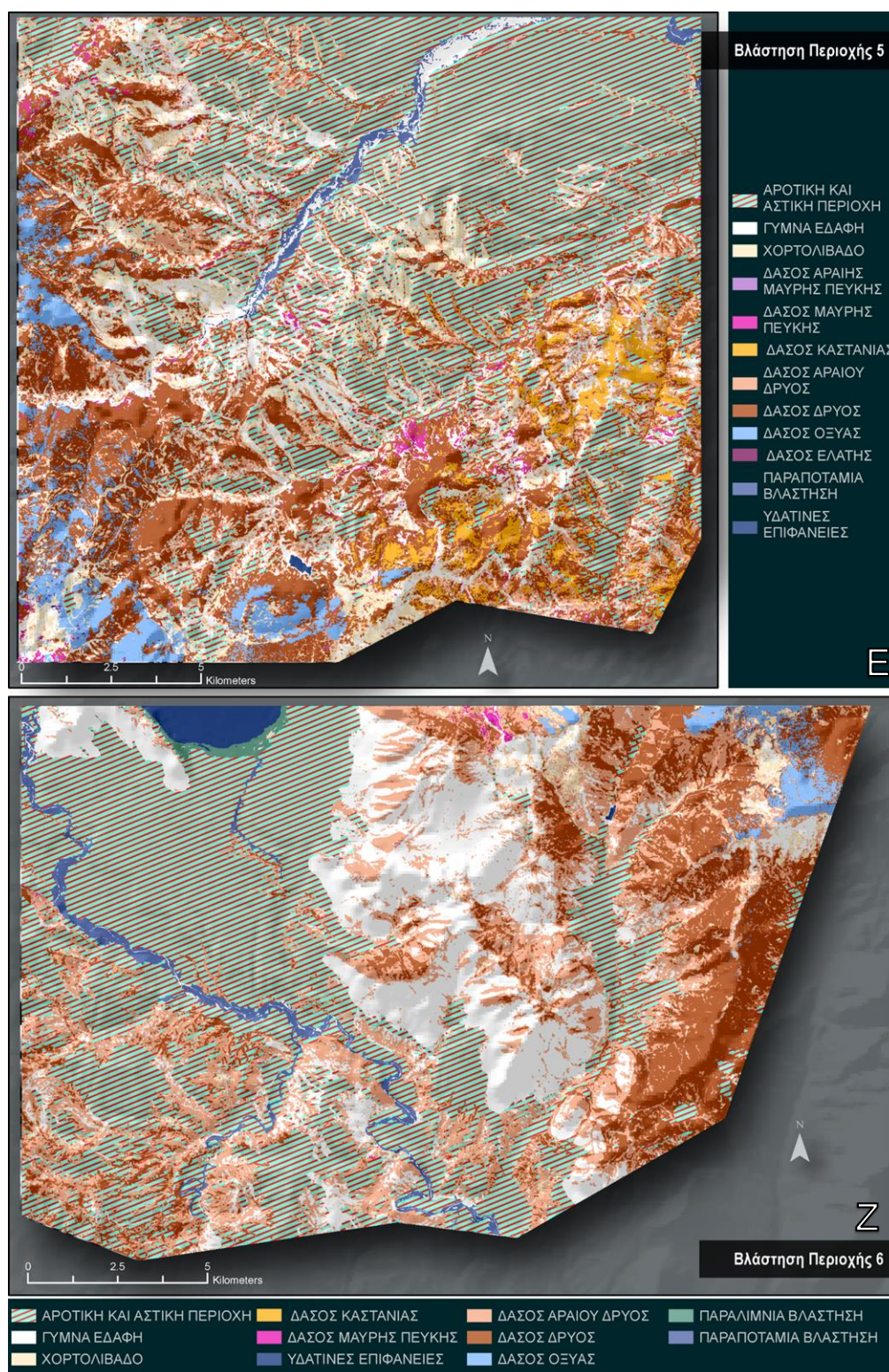


Εικόνα 4.4 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Καστοριάς (Α) της υπό περιοχής 1 (Β) της υπό περιοχής 2

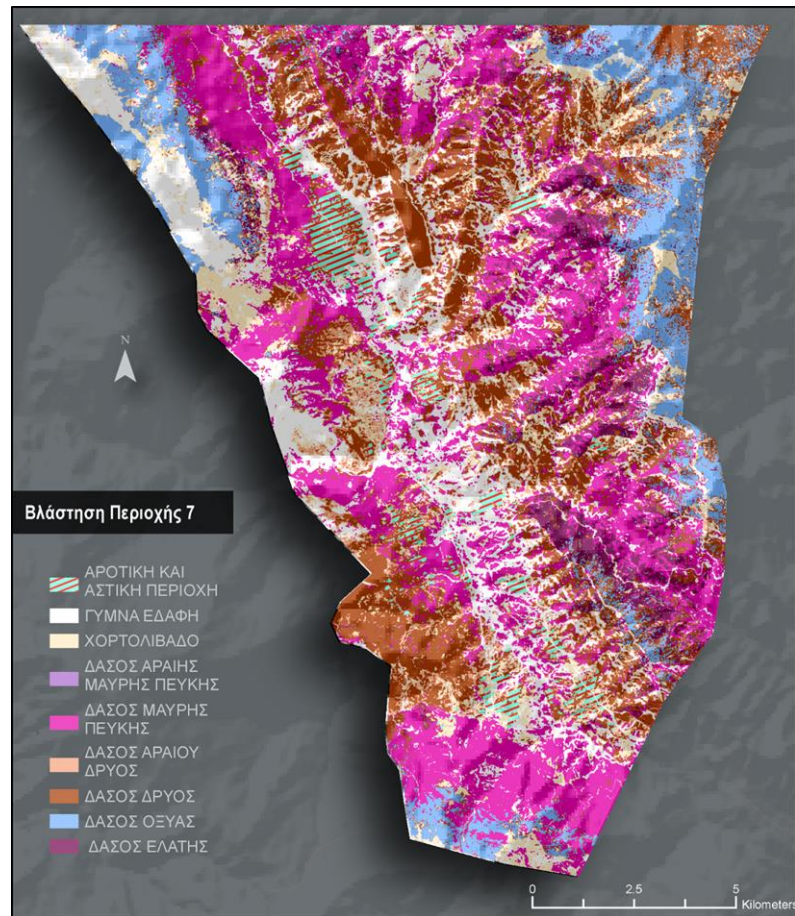


Εικόνα 4.5 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Καστοριάς (Γ) της υπό περιοχής 3 (Δ) της υπό περιοχής 4

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

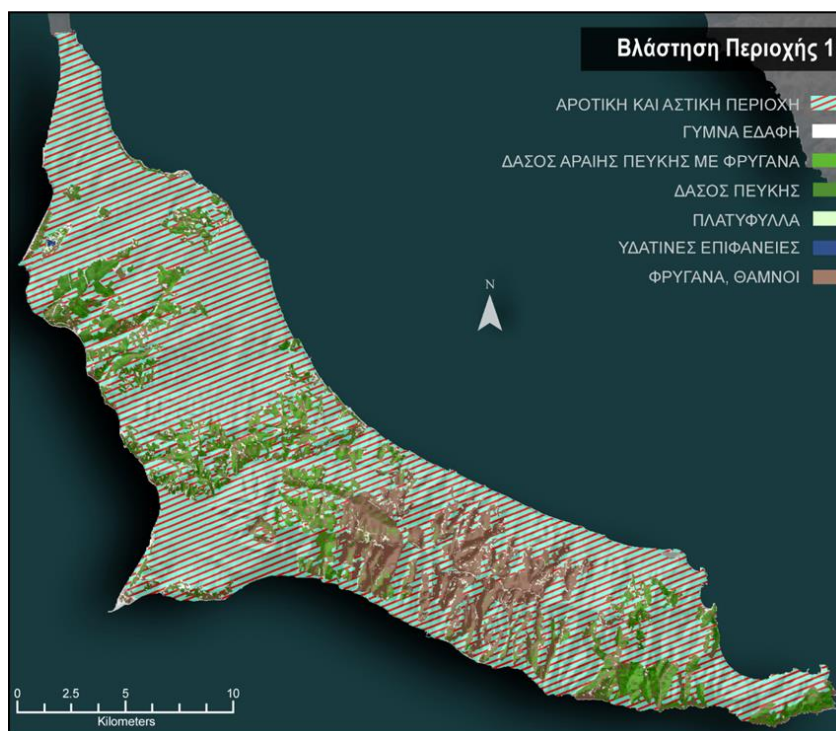


Εικόνα 4.6 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Καστοριάς (E) της υπό περιοχής 5 (Z) της υπό περιοχής 6

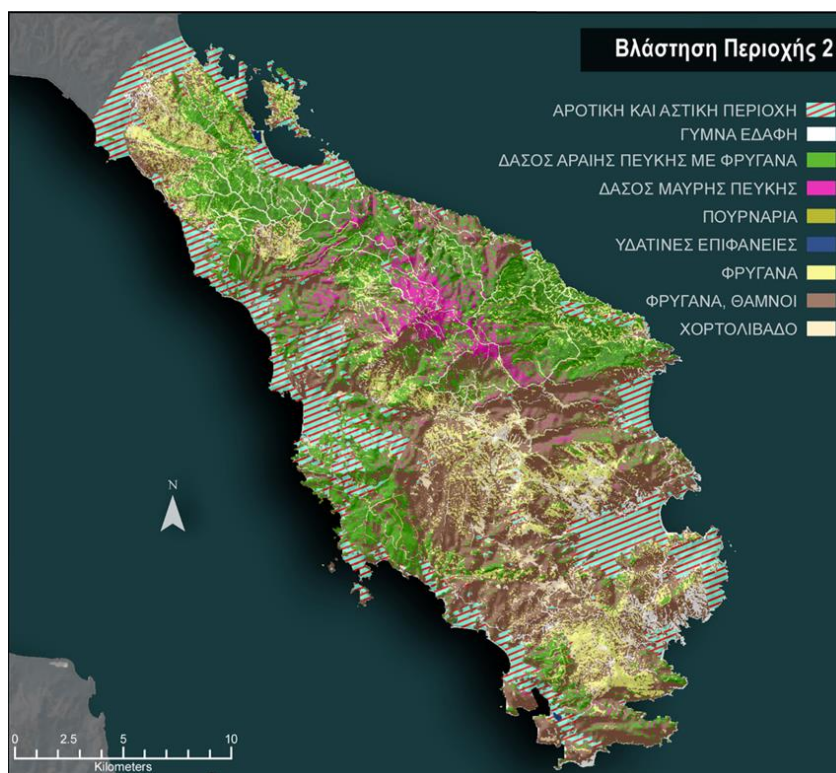


Εικόνα 4.7 Θεματικός χάρτης βλάστησης Καστοριάς της υπό περιοχής 7

4.1.1.3 Χαλκιδική



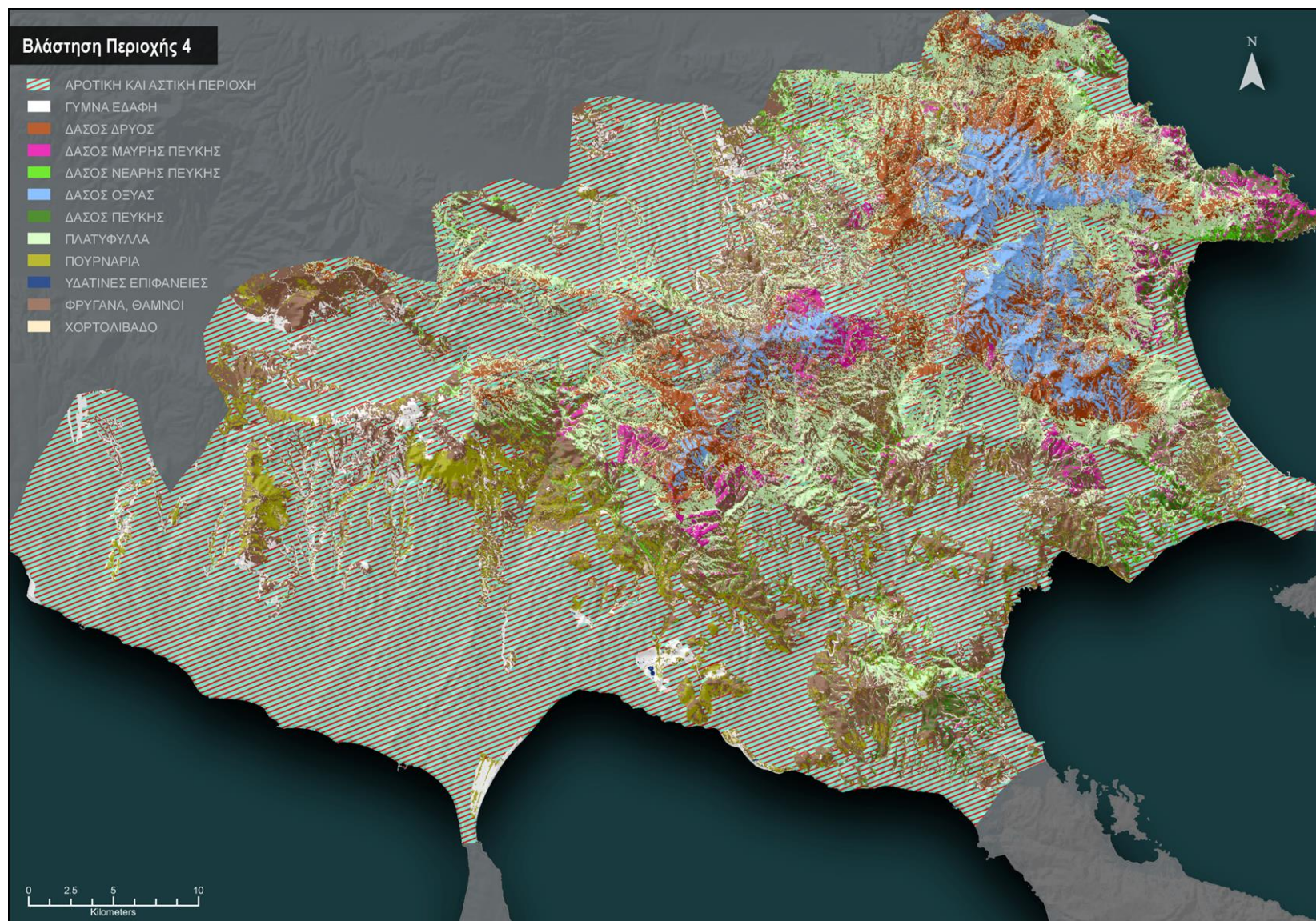
Εικόνα 4.8 Θεματικός χάρτης βλάστησης Χαλκιδικής της υπό περιοχής 1



Εικόνα 4.9 Θεματικός χάρτης βλάστησης Χαλκιδικής της υπό περιοχής 2

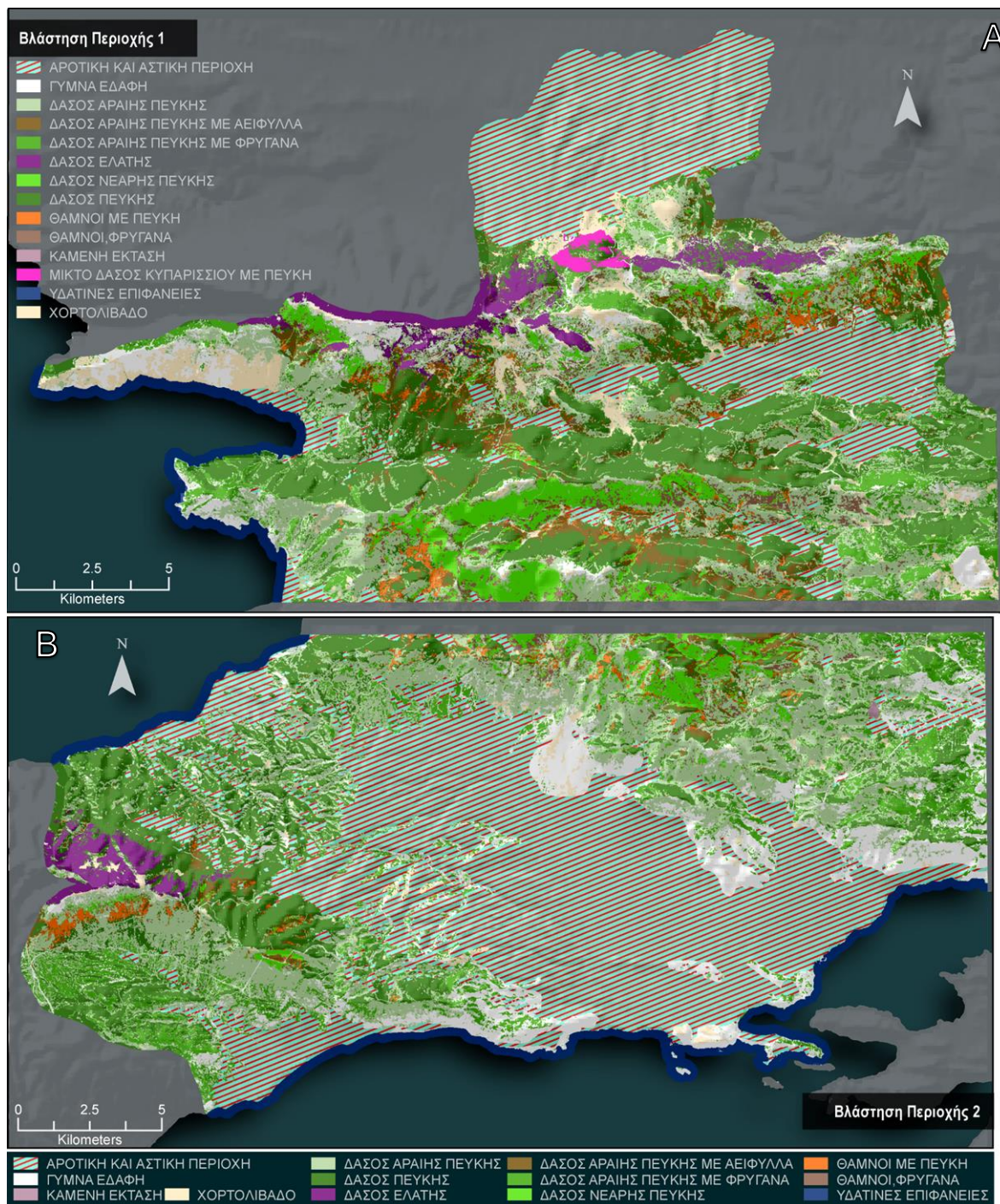


Εικόνα 4.10 Θεματικός χάρτης βλάστησης Χαλκιδικής της υπό περιοχής 3

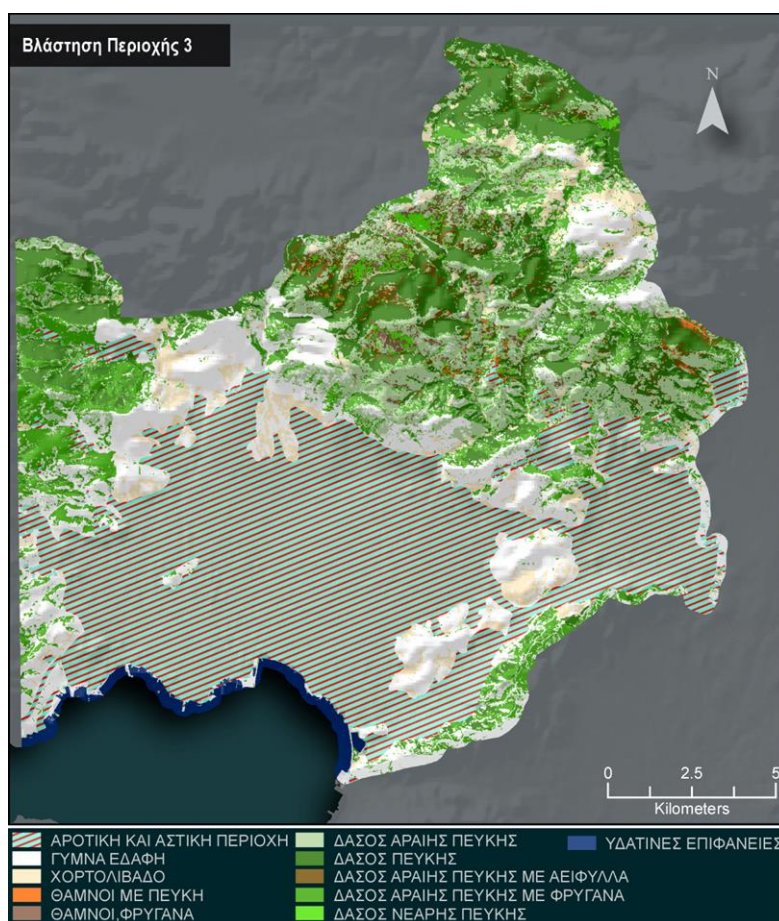


Εικόνα 4.11 Θεματικός χάρτης βλάστησης Χαλκιδικής της υπό περιοχής 4

4.1.1.4 Δυτική Αττική

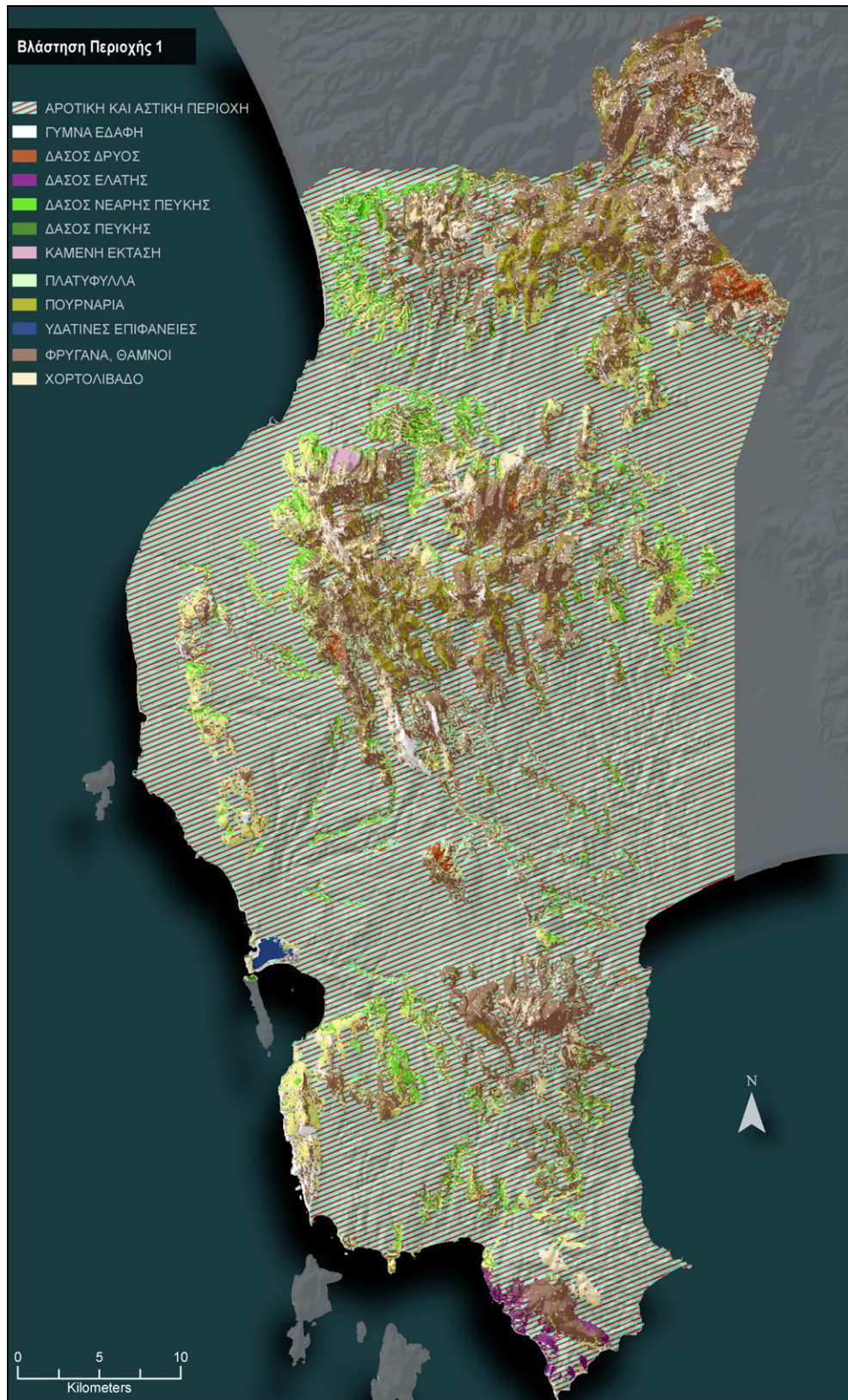


Εικόνα 4.12 Θεματικοί χάρτες βλάστησης Δυτικής Αττικής (Α) της υπό περιοχής 1 (Β) της υπό περιοχής 2

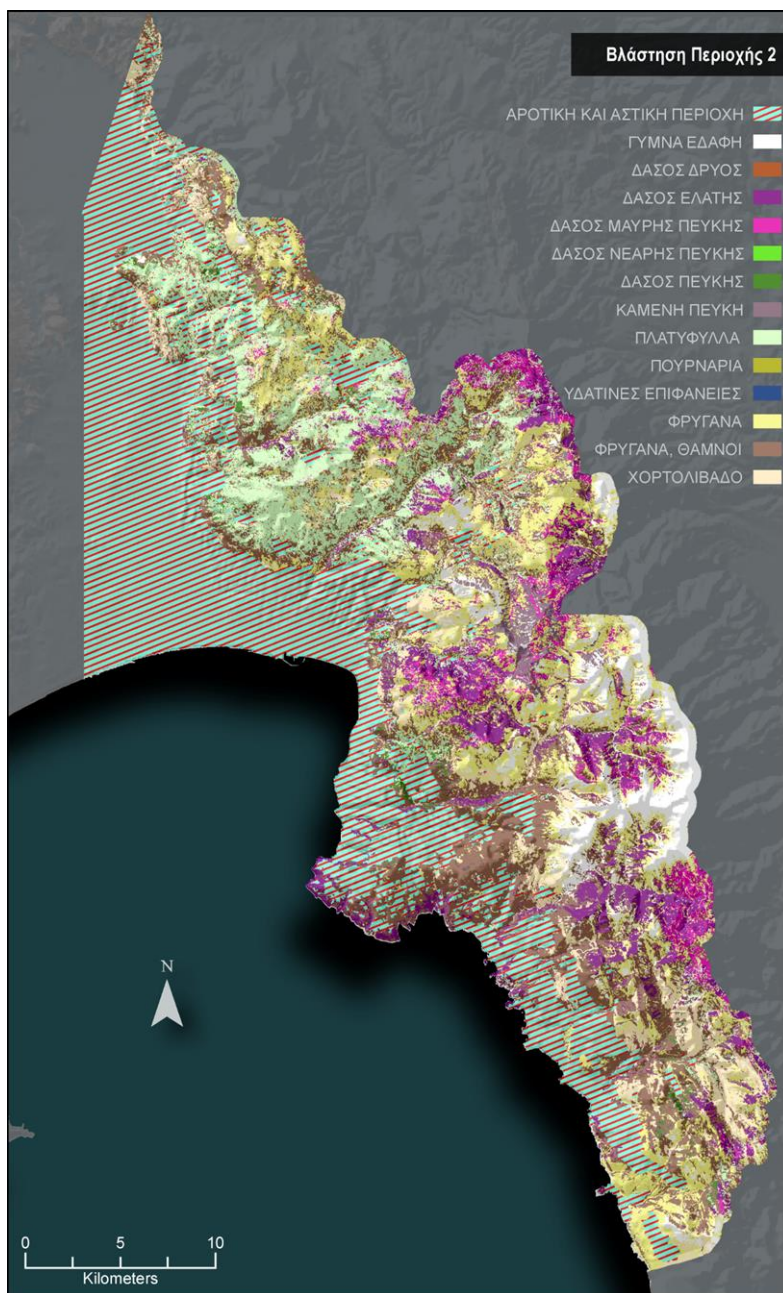


Εικόνα 4.13 Θεματικός χάρτης βλάστησης Δυτικής Αττικής της υπό περιοχής 3

4.1.1.5 Μεσσηνία



Εικόνα 4.14 Θεματικός χάρτης βλάστησης Μεσσηνίας της υπό περιοχής 1



Εικόνα 4.15 Θεματικός χάρτης βλάστησης Μεσσηνίας της υπό περιοχής 2

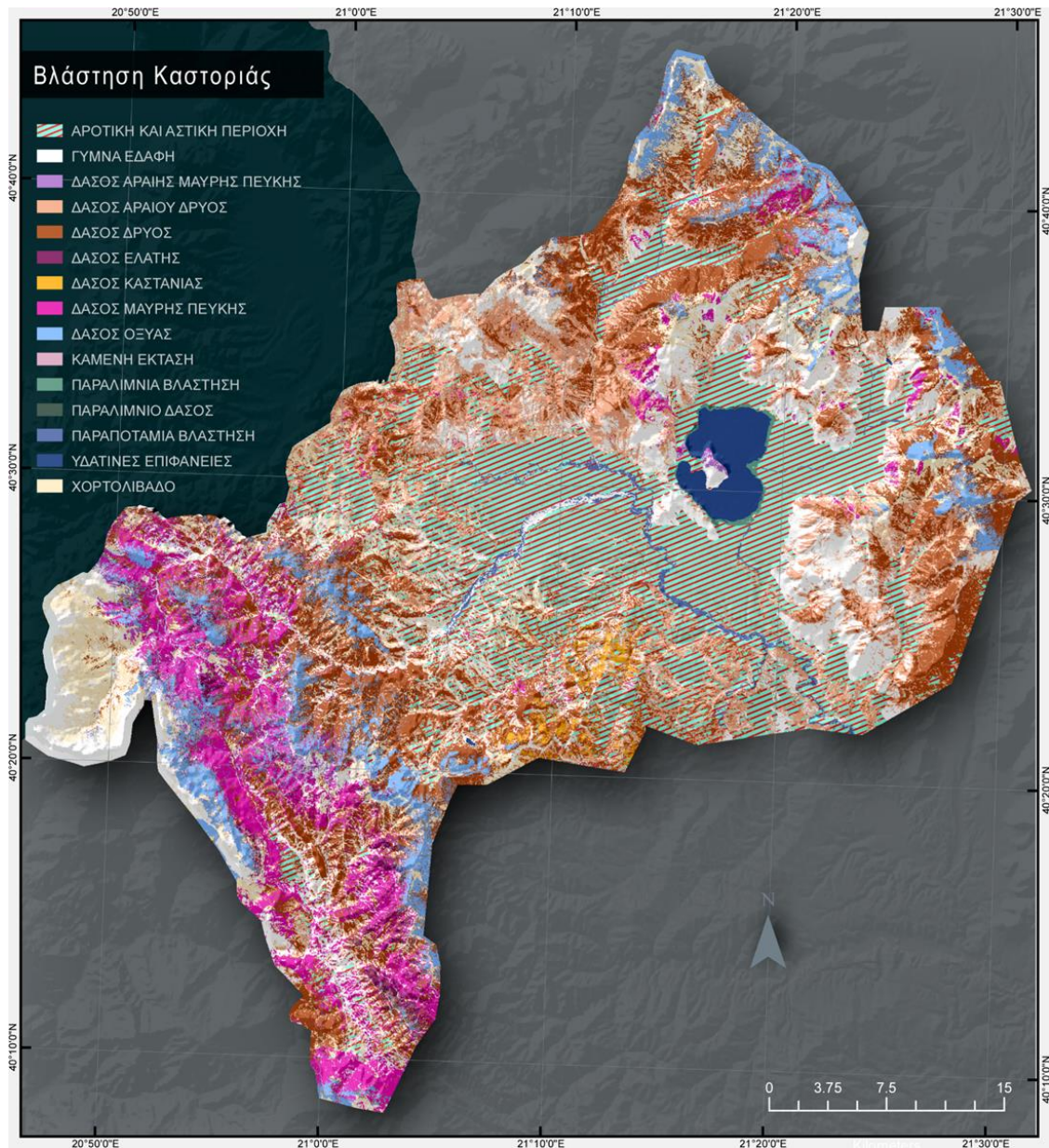
4.1.2 Θεματικοί χάρτες ανά περιοχή μελέτης

Οι επιμέρους σκηνές επεξεργασίας ενοποιήθηκαν για να δημιουργήσουν τους θεματικούς χάρτες βλάστησης για το σύνολο της εκτασης των περιοχών εφαρμογής. Παρά τη χρήση επιμέρους χωρικών μονάδων επεξεργασίας υπήρξε καλή συνοχή στα αποτελέσματα της χαρτογράφησης για τις περισσότερες από τις μονάδες επεξεργασίας.

Οι σχετικοί χάρτες που παρουσιάστηκαν παραπάνω (4.1.1) χαρακτηρίζονται από μια συνεπή οριοθέτηση των επιμέρους μονάδων επεξεργασίας, με διασύνδεση των ειδών βλάστησης μεταξύ τους. Καθόλου (ή οριακές) ασυμφωνίες ανιχνεύτηκαν στα όρια μεταξύ των γειτονικών μονάδων που θεωρήθηκε ως ένας θετικός δείκτης για την ποιότητα της προτεινόμενης ιδέας μιας χωρικά προσαρμοσμένης ταξινόμησης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες φυσικής βλάστησης των περιοχών για τις οποίες αναπτύχθηκε η παραπάνω προσέγγιση ταξινόμησης.

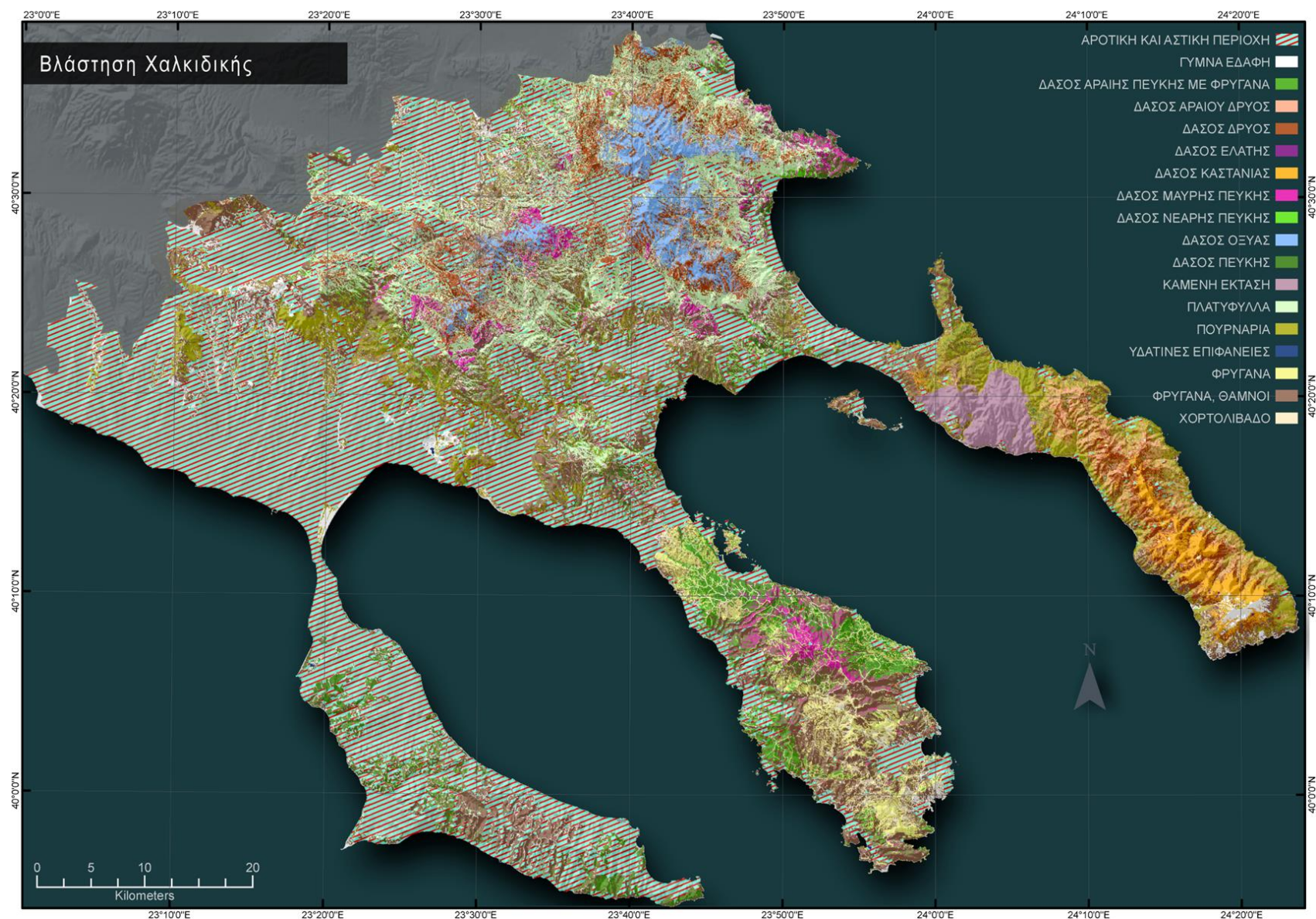


Εικόνα 4.16 Θεματικός χάρτης βλάστησης Ρόδου

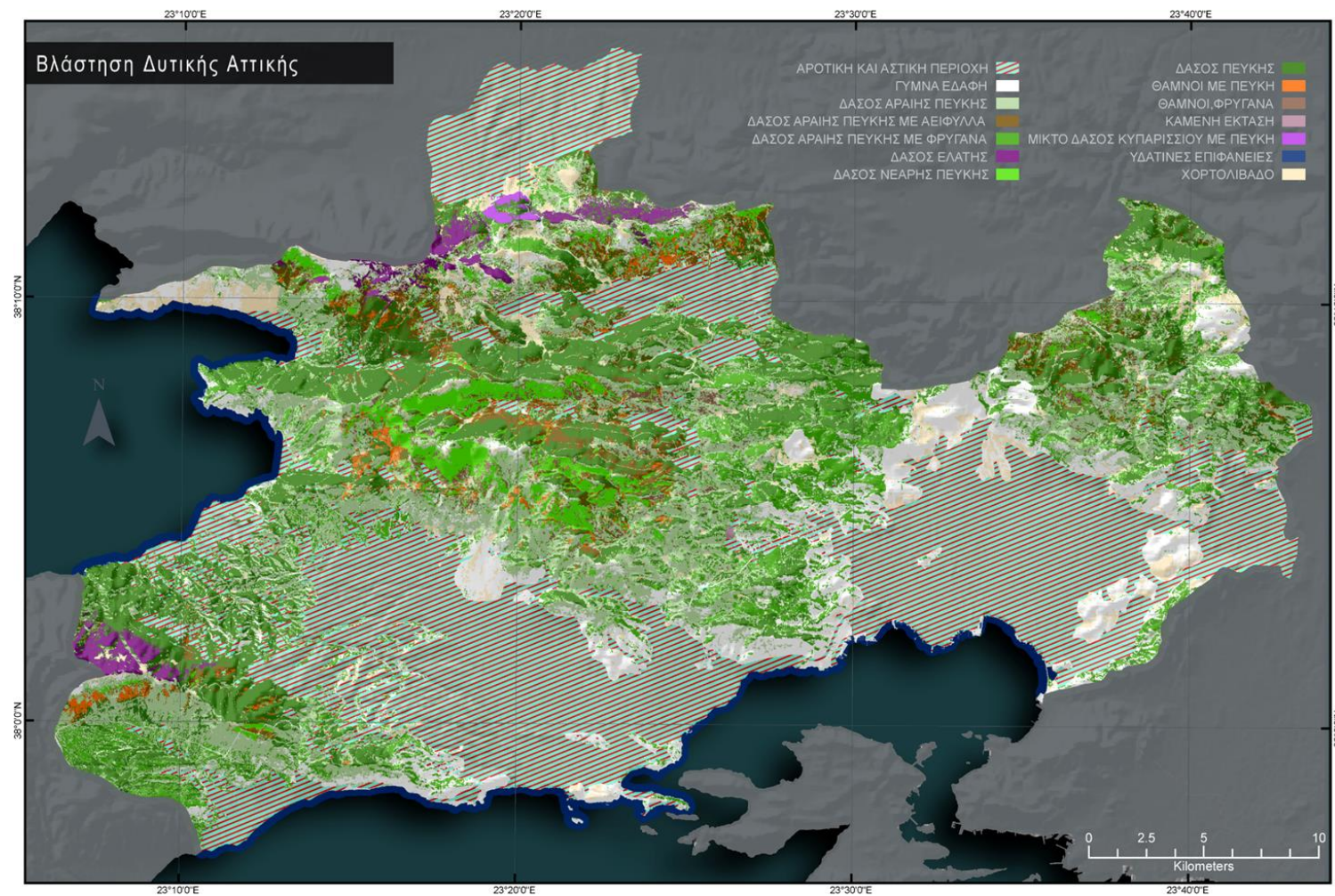


Εικόνα 4.17 Θεματικός χάρτης βλάστησης Καστοριάς

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

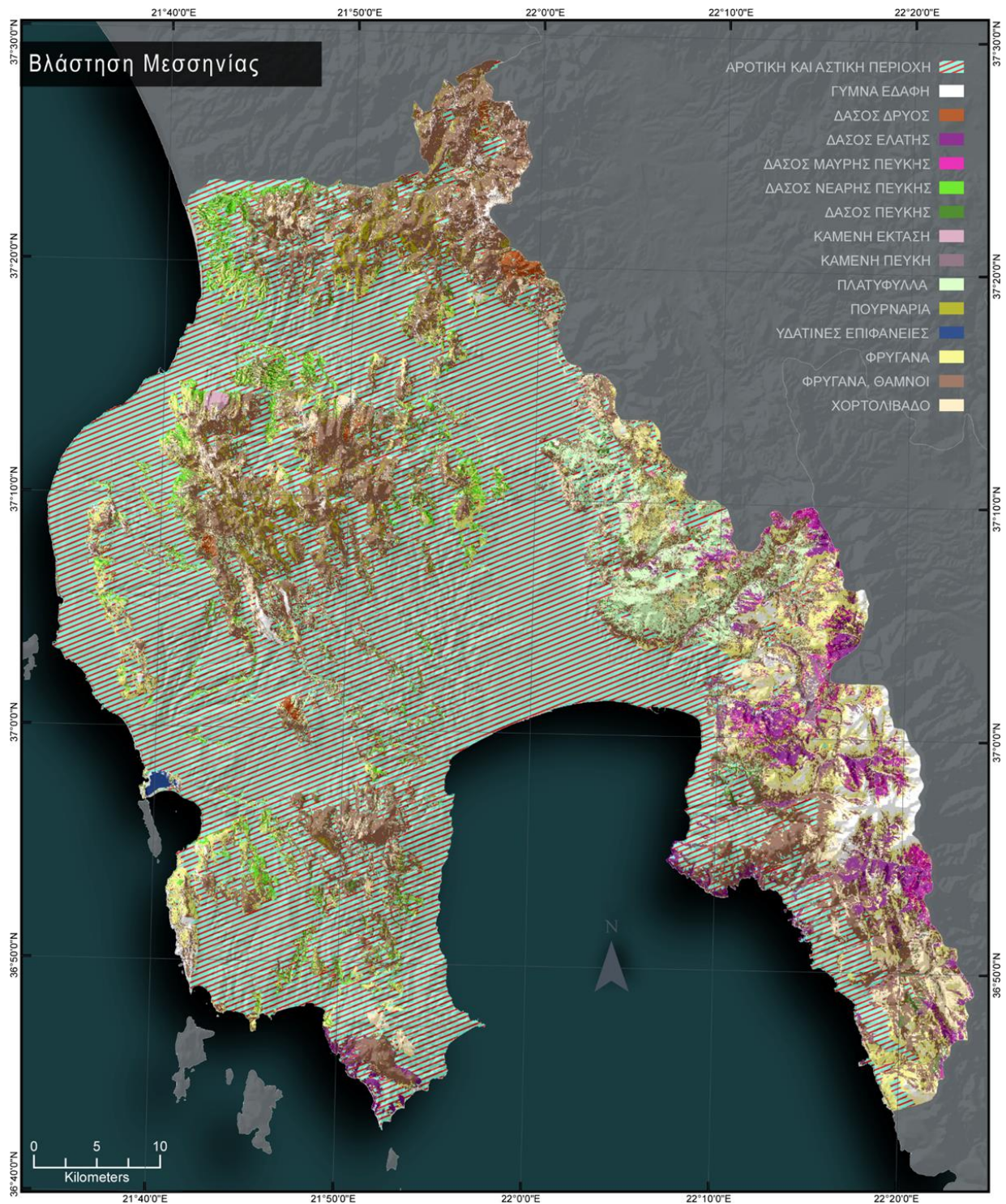


Εικόνα 4.18 Θεματικός χάρτης βλάστησης Χαλκιδικής



Εικόνα 4.19 Θεματικός χάρτης βλάστησης Δυτικής Αττικής

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης



Εικόνα 4.20 Θεματικός χάρτης βλάστησης Μεσσηνίας

4.2 Αξιολόγηση της ακρίβειας

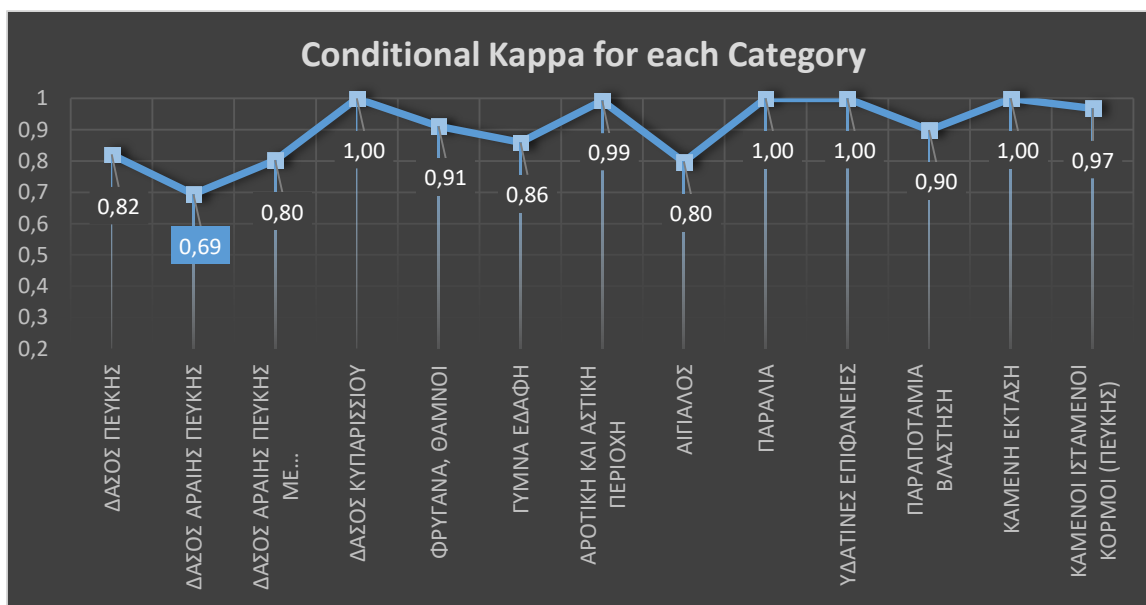
4.2.1 Παρουσίαση των εκτιμήσεων της ακρίβειας των ταξινομήσεων

Οι πίνακες σφαλμάτων (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ) χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθεί ποσοτικά η ακρίβεια της προτεινόμενης μεθοδολογίας ταξινόμησης. Τα αποτελέσματα εκτιμήσεων της ακρίβειας αφορούν και στα δύο επίπεδα πληροφορίας: ειδών φυσικής βλάστησης και μη φυσικής βλάστησης που εκπροσωπείται από την κατηγορία «αγροτική και αστική περιοχή».

Πίνακας 4.1 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Ρόδου

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	66	67	56	84.85%	83.58%	0.8211
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	135	173	129	95.56%	74.57%	0.694
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ/ΛΕΙΦΥΛΛΑ	134	134	112	83.58%	83.58%	0.8028
ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ	34	20	20	58.82%	100.00%	1
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	105	78	72	68.57%	92.31%	0.9115
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	47	53	46	97.87%	86.79%	0.8597
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	191	189	188	98.43%	99.47%	0.993
ΑΙΓΙΑΛΟΣ	9	10	8	88.89%	80.00%	0.7977
ΠΑΡΑΛΙΑ	11	11	11	100.00%	100.00%	1
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	13	11	11	84.62%	100.00%	1
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	9	10	9	100.00%	90.00%	0.8989
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	11	11	11	100.00%	100.00%	1
ΚΑΜΕΝΟΙ ΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΚΟΡΜΟΙ (ΠΕΥΚΗΣ)	35	33	32	91.43%	96.97%	0.9683
Totals	800	800	705			
Overall Classification Accuracy =				88.13%		
Overall Kappa Statistics =				0.8606		

Ο Πίνακας 4.1 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της εκτίμησης της ακρίβειας για την περιοχή της Ρόδου. Όπως παρατηρείται η συνολική ακρίβεια ανέρχεται στο 88% και η συνολική στατιστική kappa είναι 0.86. Οι ακρίβειες παραγωγού και χρήστη γενικά δεν παρουσίασαν μεγάλες διαφορές, με εξαίρεση τις τάξεις: «δάσος αραιής πεύκης» που η ακρίβεια χρήστη ήταν 74.57% και η ακρίβεια παραγωγού 95,56% και «φρύγανα - θάμνοι» όπου η ακρίβεια χρήστη και παραγωγού ήταν 92.31% και 68.57% αντίστοιχα. Το χωρικό πρότυπο του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος θεωρείται 99% ακριβές.



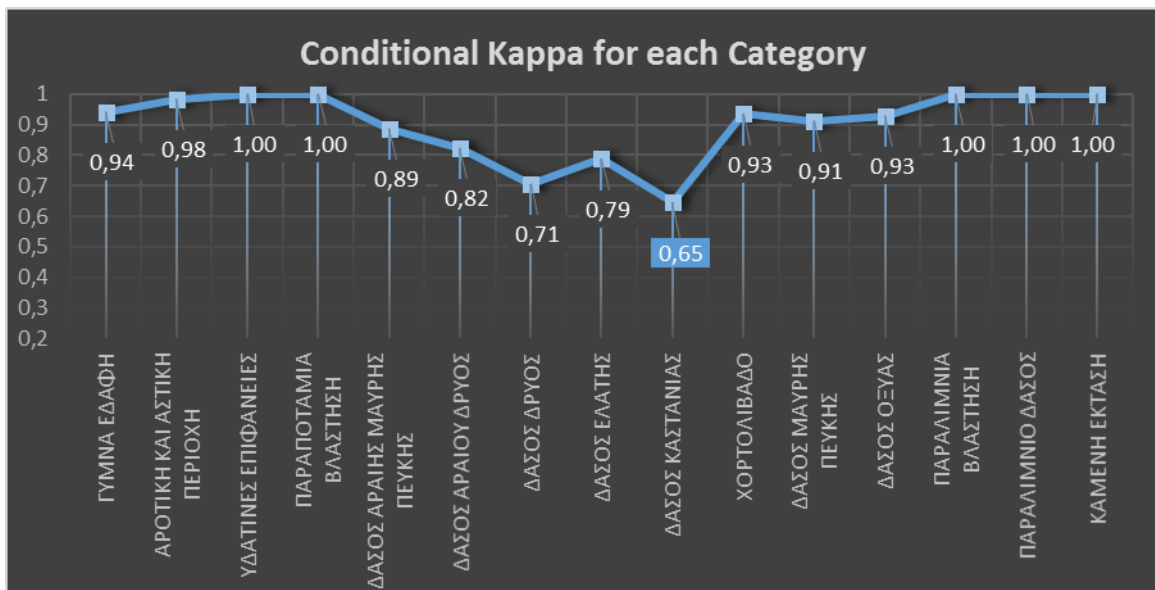
Διάγραμμα 4.1 Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης Ρόδου.

Στο Διάγραμμα 4.1 όπου παρουσιάζεται η ακρίβεια κάθε τάξης σύμφωνα με τον υπό όρους συντελεστή kappa παρατηρείται ότι η τάξη «δάσος αραιής πεύκης» αποτελεί την τάξη με τη μικρότερη τιμή του συντελεστή (0.69), ενώ οι υπόλοιπες τάξεις εμφανίζουν τιμές του συντελεστή πάνω από 80% εμφανίζοντας μια σχεδόν τέλεια ισχύ συμφωνίας μεταξύ του χάρτη της ταξινόμησης και σημείων ελέγχου σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των τιμών της στατιστικής kappa (Πίνακας 2.15) που παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.4.2.1.3.

Πίνακας 4.2 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Καστοριάς

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	132	135	128	96.97%	94.81%	0.941
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	223	223	220	98.65%	98.65%	0.9831
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	20	20	20	100.00%	100.00%	1
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	15	14	14	93.33%	100.00%	1
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	28	27	24	85.71%	88.89%	0.886
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	148	164	139	93.92%	84.76%	0.8235
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	175	195	147	84.00%	75.38%	0.7066
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	19	24	19	100.00%	79.17%	0.788
ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	14	20	13	92.86%	65.00%	0.6454
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	87	83	78	89.66%	93.98%	0.9345
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	83	74	68	81.93%	91.89%	0.9122
ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	112	77	72	64.29%	93.51%	0.9276
ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	11	11	11	100.00%	100.00%	1
ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΟ ΔΑΣΟΣ	10	10	10	100.00%	100.00%	1
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	10	10	10	100.00%	100.00%	1
Totals	1087	1087	973			
Overall Classification Accuracy = 89.51%						
Overall Kappa Statistics = 0.8798						

Για την περιοχή της Καστοριάς τα 973 σημεία αξιολόγησης της ακρίβειας ήρθαν σε συμφωνία με τον χάρτη ταξινόμησης από το σύνολο των 1087 σημείων αναφοράς που προέκυψαν μέσω μιας τυχαίας στρωματοποιημένης δειγματοληψίας. Έτσι, η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης για την περιοχή αυτή υπολογίστηκε σε 89.5%, ενώ σε 0.88 υπολογίστηκε η τιμή της στατιστικής Kappa υποδηλώνοντας ότι η ταξινόμηση απέφυγε κατά 88% μια τυχαία συμφωνία σε σχέση με το χάρτη αναφοράς (Πίνακας 4.2). Η ακρίβεια κάθε τάξης μπορεί να αποκαλυφθεί με τη βοήθεια του υπό όρους συντελεστή Kappa για κάθε τάξη που παρουσιάζεται και στο Διάγραμμα 4.2.



Διάγραμμα 4.2 Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης της Καστοριάς. Παρατηρούμε ότι η τάξη «δάσος καστανιάς» λαμβάνει τη μικρότερη στατιστική Kappa υποδηλώνοντας ότι η τάξη αυτή απέφυγε το 65% της συμφωνίας σε σχέση με μια τυχαία ταξινόμηση. Με τη βοήθεια του υπολογισμού των μετρήσεων της ακρίβειας παραγωγού και χρήστη (Πίνακας 4.2), παρατηρείται ότι οι τιμές για αυτές τις μετρήσεις ήταν 92.86% και 65.00% αντίστοιχα. Διαφορά μεταξύ αυτών των μετρήσεων παρατηρούμε και για την τάξη «δάσος οξυάς» όπου η ακρίβεια παραγωγού ανήλθε σε 64.29% ενώ του χρήστη σε 93.51%. Το μικρό σφάλμα ανάθεσης (6,5%) είχε ως αποτέλεσμα μια υψηλή τιμή του συντελεστή Kappa υπό όρους για αυτή την κατηγορία (0,93). Κάτω από το 85% ανέρχεται η ακρίβεια των τάξεων «δάσος δρυός, ελάτης και αραιού δρυός» σύμφωνα με τον υπολογισμό του Kappa. Η κατηγορία που εκπροσωπεί τη μη φυσική βλάστηση έλαβε τιμή του συντελεστή 0,98 (Διάγραμμα 4.2).

Όσον αφορά στην ταξινόμηση της Χαλκιδικής, η συνολική ακρίβεια αυτής υπολογίστηκε σε 78.49% ενώ η στατιστική Kappa σε 0.74, υποδηλώνοντας 74% πραγματική έναντι μιας εντελώς τυχαίας συμφωνίας. Παρατηρώντας τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3),

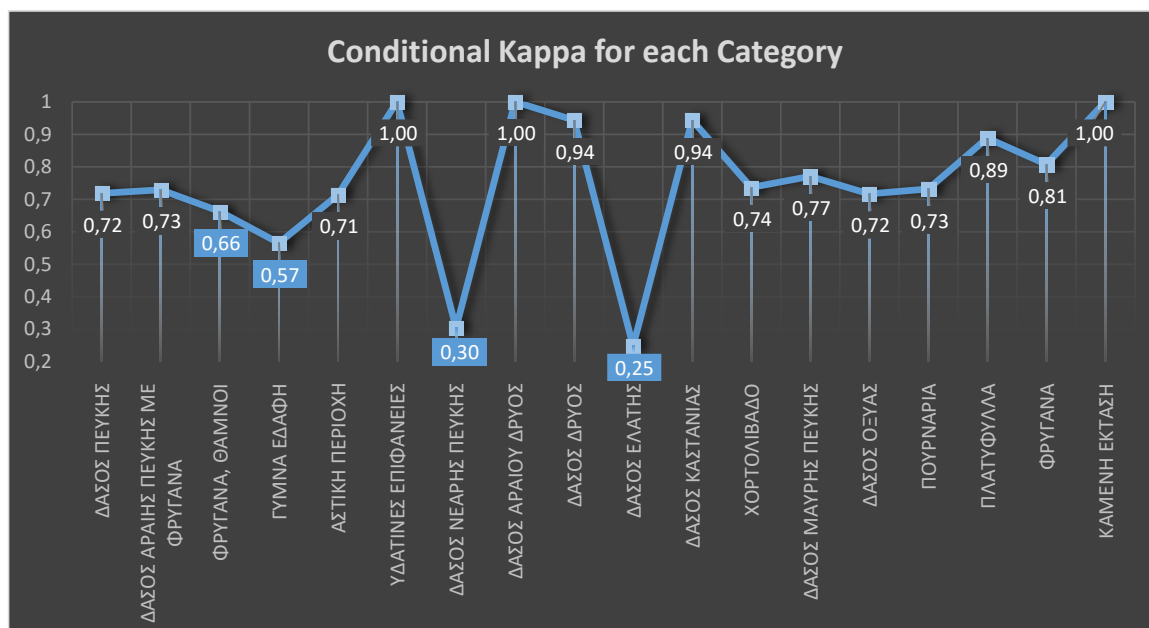
επισημαίνεται η αξιοσημείωτη διαφορά μεταξύ της ακρίβειας παραγωγού (100.00%) και χρήστη (25.00%) για την τάξη «δάσος ελάτης», αποκαλύπτοντας μηδενικό σφάλμα παράλειψης έναντι χαμηλής ακρίβειας ανάθεσης (από τα 20 σημεία που ανατέθηκαν τάξη «δάσος ελάτης» μόνο τα 5 ήταν ορθά).

Πίνακας 4.3 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Χαλκιδικής

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	87	78	57	65.52%	73.08%	0.7185
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	75	73	54	72.00%	73.97%	0.7295
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	451	421	311	68.96%	73.87%	0.6621
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	41	47	27	65.85%	57.45%	0.5655
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	622	712	572	91.96%	80.34%	0.714
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	10	9	9	90.00%	100.00%	1
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	29	35	11	37.93%	31.43%	0.3041
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	50	47	47	94.00%	100.00%	1
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	172	136	129	75.00%	94.85%	0.9437
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	5	20	5	100.00%	25.00%	0.2481
ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	37	36	34	91.89%	94.44%	0.9434
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	22	23	17	77.27%	73.91%	0.7362
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	40	40	31	77.50%	77.50%	0.7704
ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	51	58	42	82.35%	72.41%	0.7169
ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	61	77	57	93.44%	74.03%	0.732
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	177	118	106	59.89%	89.83%	0.8884
ΦΡΥΓΑΝΑ	37	37	30	81.08%	81.08%	0.8072
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	23	23	23	100.00%	100.00%	1
Totals	1990	1990	1562			
Overall Classification Accuracy =78.49%						
Overall Kappa Statistics = 0.7381						

Με τη βοήθεια του διαγράμματος (Διάγραμμα 4.3) μπορούμε να εξερευνήσουμε περαιτέρω την ακρίβεια και των υπόλοιπων τάξεων για αυτή την περιοχή μελέτης.

Παρατηρούμε ότι πέρα από την τάξη «δάσος ελάτης» (που ήδη αναφέρθηκε) ότι και η τάξη «δάσος νεαρής πεύκης» παρουσιάζει ελάχιστη συμφωνία. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι δύο αυτές τάξεις ικανοποιούν κατά 70%- 75% την υπόθεση τυχαίας συμφωνίας. Επίσης αρκετά χαμηλές τιμές του δείκτη διαπιστώνονται και για τις τάξεις «γυμνά εδάφη» και «φρύγανα, θάμνοι» με 0,57 και 0,66 αντίστοιχα. Επιπλέον μόνο 5 από τις 18 κατηγορίες της ταξινόμησης έλαβαν τιμή του συντελεστή Kappa πάνω από 85%. Η κατηγορία «αγροτική και αστική περιοχή» έλαβε τιμή ίση με 0,71.

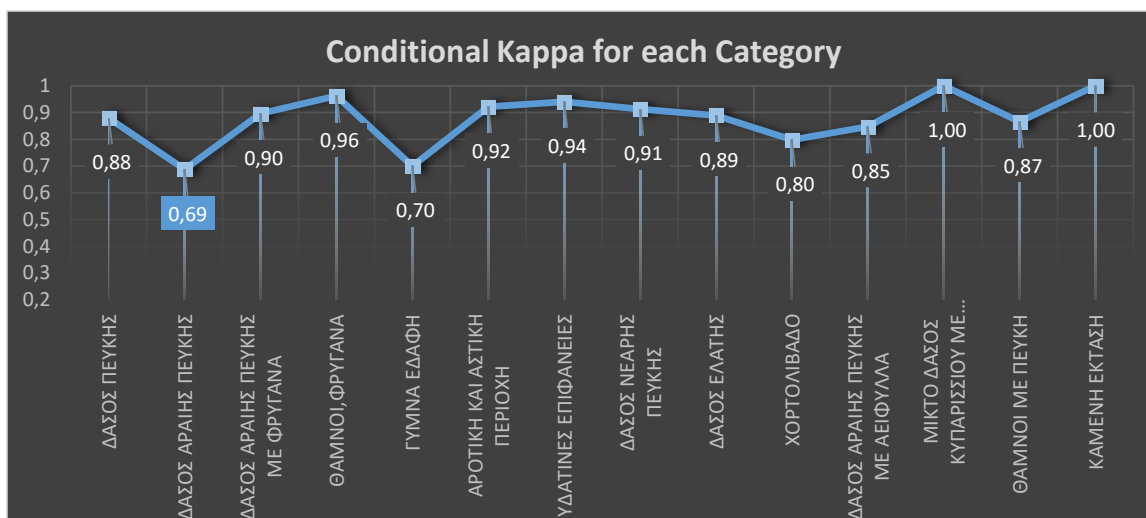


Διάγραμμα 4.3 Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης της Χαλκιδικής

Ο Πίνακας 4.4 και το Διάγραμμα 4.4, παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των ,μετρήσεων με την χρήση του πίνακα σφαλμάτων για την περιγραφή της ακρίβειας της ταξινόμησης της Δυτικής Αττικής.

Πίνακας 4.4 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Δυτικής Αττικής

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	135	138	124	91.85%	89.86%	0.8794
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	109	147	107	98.17%	72.79%	0.6879
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	93	65	59	63.44%	90.77%	0.8964
ΘΑΜΝΟΙ,ΦΡΥΓΑΝΑ	44	28	27	61.36%	96.43%	0.9623
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	30	38	27	90.00%	71.05%	0.6999
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	239	230	217	90.79%	94.35%	0.9214
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	16	17	16	100.00%	94.12%	0.94
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	38	36	33	86.84%	91.67%	0.9128
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	29	28	25	86.21%	89.29%	0.8891
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	30	36	29	96.67%	80.56%	0.7984
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΔΕΙΦΥΛΛΑ	32	34	29	90.63%	85.29%	0.8472
ΜΙΚΤΟ ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	22	20	20	90.91%	100.00%	1
ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	23	23	20	86.96%	86.96%	0.8659
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	10	10	10	100.00%	100.00%	1
Totals	850	850	743			
Overall Classification Accuracy = 87.41%						
Overall Kappa Statistics = 0.8530						



Διάγραμμα 4.4 Ο υπό όρους συντελεστής Κερρα για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης της Δυτικής Αττικής

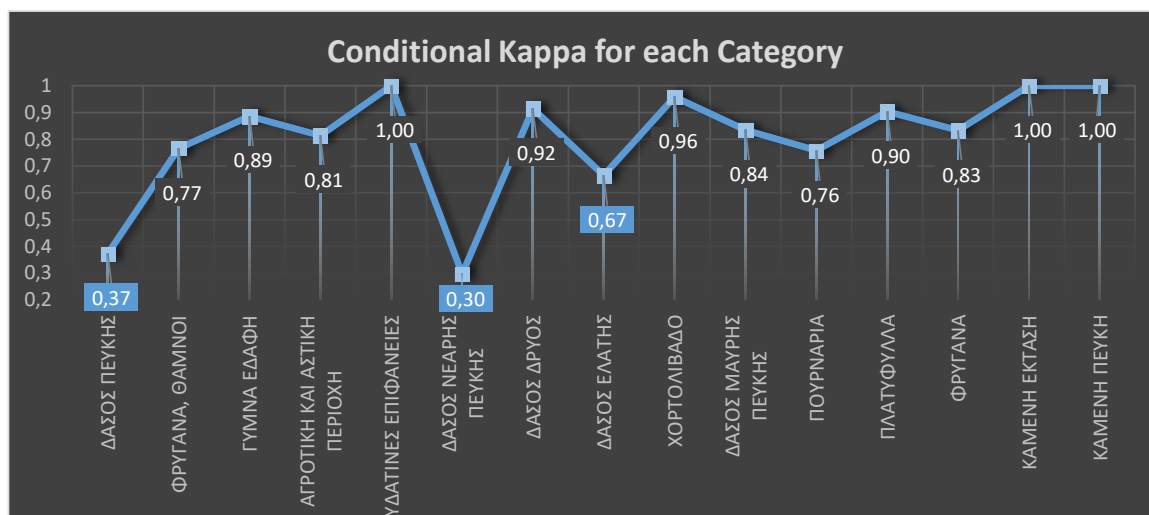
Η συνολική ανάλυση Κερρα περιγράφει την αποφυγή κατά 85% η ταξινόμηση της περιοχής αυτής να συμφωνεί με την πραγματικότητα λόγω τυχαιότητας. Η συνολική ακρίβεια ανήλθε στο 87.4%. Ο διαχωρισμός της μη φυσικής βλάστησης (αγροτική και αστική περιοχή) έλαβε τιμές 90.79% και 94.35% για την ακρίβεια παραγωγού και χρήστη αντίστοιχα, ενώ ο συντελεστής Κερρα ανήλθε στο 0.92.

Όσον αφορά στην ακρίβεια των υπόλοιπων επιμέρους τάξεων της ταξινόμησης παρατηρούμε ότι σύμφωνα με την ανάλυση Κερρα η χαμηλότερη ακρίβεια παρατηρείται στις τάξεις «δάσος αραιής πεύκης» και «γυμνά εδάφη» με 0,69 και 0,7 αντίστοιχα. Γεγονός που αποτυπώνεται και από τις διαφορές μεταξύ της ακρίβειας παραγωγού και χρήστη για τις τάξεις αυτές. Οι υπόλοιπες κατηγορίες με εξαίρεση τα χορτολίβαδα (0,8) εμφανίζουν τιμές του συντελεστή Κερρα > 0.85 υποδηλώνοντας σχεδόν τέλεια συμφωνία σε σχέση με το χάρτη αναφοράς.

Η συνολική αξιολόγηση της ακρίβειας της ταξινόμησης της Μεσσηνίας, περιγράφεται από τη συνολική εκτίμηση ακριβείας του 84,72% και την τιμή 0.78 της συνολικής στατιστικής Κερρα. Οι αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των ακριβειών χρήστη και παραγωγού για τις τάξεις «δάσος νεαρής πεύκης», «δάσος πεύκης» και «δάσος ελάτης» αντανακλούν στις αντίστοιχες χαμηλές τιμές του συντελεστή Κερρα όπως διαφαίνεται και στο Διάγραμμα 4.5. Το ανθρωπογενές περιβάλλον στην περιοχή μελέτης εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύεται ορθά μέσω της ταξινόμησης κατά 81,44% σύμφωνα με την ανάλυση Κερρα.

Πίνακας 4.5 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Μεσσηνίας

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	16	37	14	87.50%	37.84%	0.3728
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	430	388	319	74.19%	82.22%	0.7663
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	44	36	32	72.73%	88.89%	0.8861
ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	795	878	787	98.99%	89.64%	0.8144
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	13	10	10	76.92%	100.00%	1
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	13	43	13	100.00%	30.23%	0.2973
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	35	24	22	62.86%	91.67%	0.915
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	42	52	35	83.33%	67.31%	0.6653
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	57	50	48	84.21%	96.00%	0.9587
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	38	31	26	68.42%	83.87%	0.8352
ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	50	34	26	52.00%	76.47%	0.758
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	114	78	71	62.28%	91.03%	0.9042
ΦΡΥΓΑΝΑ	115	109	92	80.00%	84.40%	0.8334
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	10	10	10	100.00%	100.00%	1
ΚΑΜΕΝΟΙ ΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΚΟΡΜΟΙ ΠΕΥΚΗΣ	23	20	20	86.96%	100.00%	1
Totals	1800	1800	1525			
Overall Classification Accuracy =						84.72%
Overall Kappa Statistics =						0.7886



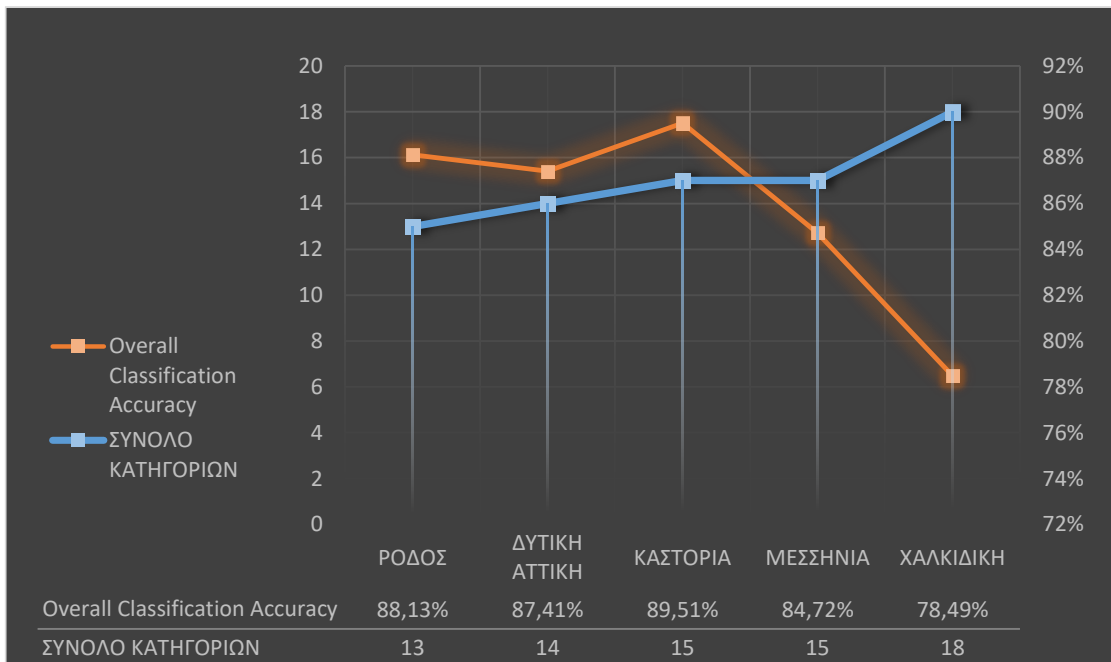
Διάγραμμα 4.5 Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης της Μεσσηνίας

4.2.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων εκτίμησης της ακρίβειας

Από πολλούς ερευνητές έχει υποτεθεί ότι η ακρίβεια μιας ταξινόμησης είναι συνάρτηση διαφόρων μεταβλητών, και κατά κύριο λόγο μειώνεται (1) με τη χρήση πιο περίπλοκων συστημάτων ταξινόμησης κάλυψης γης (κατηγορική ή θεματική κλίμακα) αλλά και (2) όταν εξετάζεται μια μεγάλη γεωγραφική έκταση (υπεισέρχεται πρόσθετη μεταβλητότητα στα δεδομένα) (0, 2.5.6, 2.5.7). Προκειμένου να ελεγχθεί κατά πόσο η συνολική ακρίβεια των ταξινομήσεων κάθε περιοχή εφαρμογής θα μπορούσε να επηρεάζεται από τους παραπάνω παράγοντες, έγινε σύγκριση μεταξύ συνολικής ακρίβειας και πλήθους των κατηγοριών της ταξινόμησης για κάθε περιοχή μελέτης (Διάγραμμα 4.6) καθώς και μεταξύ συνολικής ακρίβειας και έκτασης κάθε περιοχής μελέτης (Διάγραμμα 4.7).

4.2.2.1 Σύγκριση μεταξύ συνολικής ακρίβειας και πλήθους κατηγοριών της ταξινόμησης κάθε περιοχής μελέτης

Παρόλο που όπως έχει υποστηριχθεί ο αριθμός των τάξεων από μόνος του δε αποτελεί δείκτη της πολυπλοκότητας του συστήματος ταξινόμησης (Yu et al., 2014), ωστόσο ένα μεγαλύτερο πλήθος κατηγοριών συνήθως υποδηλώνει και μεγαλύτερη λεπτομέρεια, καθώς η θεματική κλίμακα περιγράφει το μέγεθος ή το επίπεδο συσσωμάτωσης και αφαίρεσης πάνω στο οποία μπορεί να περιγραφεί ένα ορισμένο φαινόμενο της γήινης πραγματικότητας (Benz et al., 2004). Επιπλέον, καθώς ο στόχος ήταν η ταξινόμηση της φυσικής βλάστησης, όπως συζητήθηκε στην ενότητα 2.5.2, η φασματική απόκρισή της βλάστησης είναι ιδιαίτερα περίπλοκη με μεγάλη μεταβλητότητα εντός και μεταξύ των ειδών που μειώνει τη φασματική διαχωριστικότητα, με αποτέλεσμα να έχει υποστηριχθεί από πολλούς ερευνητές ότι η Τηλεπισκόπηση φτάνει σε ορισμένα όρια σχετικά με την ακρίβεια και τον αριθμό των κατηγοριών βλάστησης που μπορούν να διακριθούν παρά τη βελτίωση της φασματικής και χωρικής ανάλυσης των διαθέσιμων δεδομένων.



Διάγραμμα 4.6 Σύγκριση συνολικής ακρίβειας και πλήθους κατηγοριών ταξινόμησης για κάθε περιοχή μελέτης

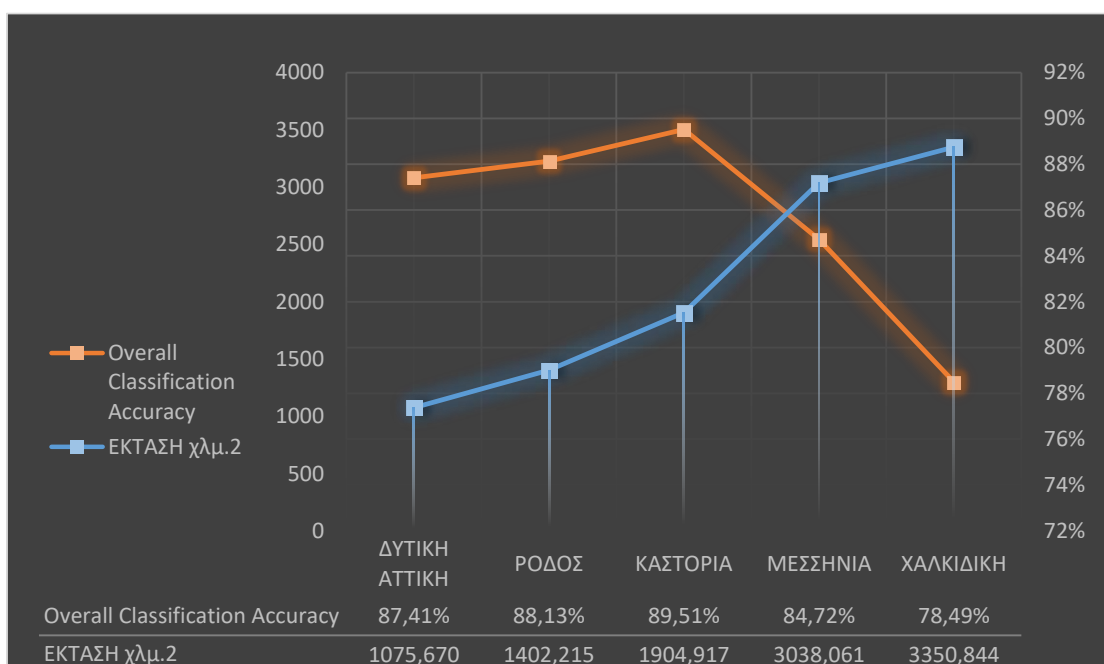
Όπως διαφαίνεται στο Διάγραμμα 4.6 έπειτα από τη σύγκριση μεταξύ συνολικής ακρίβειας και πλήθους κατηγοριών ταξινόμησης, υπάρχει μια τάση μείωσης της συνολικής ακρίβειας των ταξινομήσεων σε συνάρτηση με την αύξηση του πλήθους των κατηγοριών με εξαίρεση την περίπτωση της Καστοριάς που έλαβε μεγαλύτερη συνολική ακρίβεια σε σχέση με την περιοχή της Ρόδου που εμφανίζει και το μικρότερο αριθμό τάξεων αλλά και από την Μεσσηνία για την οποία το σχήμα ταξινόμησης περιελάμβανε ακριβώς τον ίδιο αριθμό τάξεων. Ωστόσο, διαφαίνεται ότι για το πλήθος 13 - 15 τάξεων οι ταξινομήσεις έλαβαν ποσοστό συνολικής ακρίβειας 85% και άνω που σύμφωνα με τη βιβλιογραφία θεωρείται και ο στόχος των περισσότερων ταξινομήσεων και θεωρείται και το κριτήριο αποδοχής της εγκυρότητας της ταξινόμησης από τους περισσότερους χρήστες. Όταν το πλήθος των τάξεων ανήλθε στις 18 παρατηρούμε μια σημαντική μείωση στην συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης της περιοχής της Χαλκιδικής (78,5%).

4.2.2.2 Σύγκριση μεταξύ συνολικής ακρίβειας και έκτασης κάθε περιοχής μελέτης

Έχουν συζητηθεί αρκετές φορές σε αυτή τη διατριβή οι παρατηρήσεις σχετικά με το θέμα της κλίμακας στη μελέτη γεωγραφικών φαινομένων με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων και τις σημαντικές συνέπειες αυτών για το χαρακτηρισμό των χωρικών προτύπων και τη συναγωγή των σχέσεων πρότυπο-διαδικασία. Μια γενική παρατήρηση είναι ότι εάν η κλίμακα μέτρησης (χωρική ανάλυση) παραμείνει σταθερή μια αύξηση της έκτασης θα ενσωματώσει τυπικά μεγαλύτερη χωρική ανομοιογένεια, καθώς μία μεγαλύτερη ποικιλία τύπων ή στοιχείων του τοπίου θα περιλαμβάνεται εντός της περιοχής που μελετάται. Επιπλέον όσον αφορά στην

ταξινόμηση της βλάστησης η πολυπλοκότητα στη φασματική απόκριση της αυξάνεται από διαφορές που παρατηρούνται για το ίδιο είδος και σχετίζονται με μεταβλητές συνθήκες της τοποθεσίας ή τη συνύπαρξη συστάδων του ίδιου είδους με διαφορετικούς τύπους συγκόμωσης και σήμα υποβάθρου για διαφορετικές θέσεις.

Βέβαια για όλους τους παραπάνω λόγους σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε μια προσέγγιση ταξινόμησης που η εκπαίδευση του ταξινομητή προσαρμόζεται ανά υπό - περιοχές των περιοχών μελέτης. Παρόλα αυτά η διαγραμματική σύγκριση μεταξύ έκτασης και συνολικής εκτίμησης της ακρίβειας θα μπορούσε να οπτικοποιήσει τυχόν συσχέτιση μεταξύ τους ή να αποκαλύψει αδυναμίες της προτεινόμενης μεθοδολογίας ταξινόμησης.



Διάγραμμα 4.7 Σύγκριση συνολικής ακρίβειας και έκτασης κάθε περιοχής μελέτης

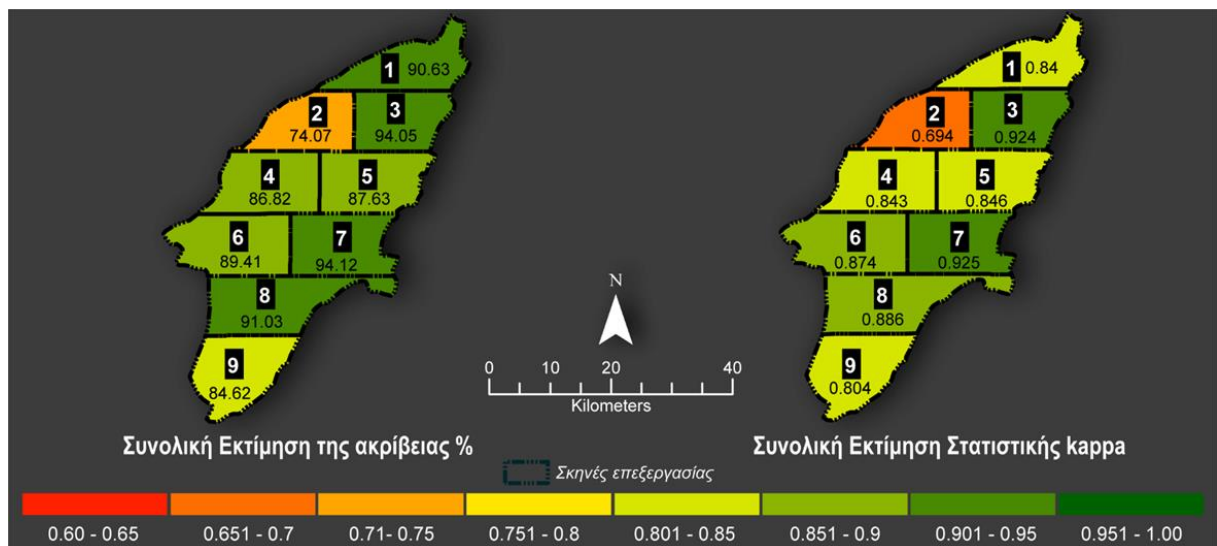
Παρατηρώντας το Διάγραμμα 4.7, βλέπουμε ότι η εκτίμηση της συνολικής ακρίβειας για τις περιοχές Δυτική Αττική, Ρόδο και Καστοριά καταγράφει μια τάση αύξησης (περίπου 1%) καθώς αυξάνεται και η έκταση των περιοχών αυτών (κατά μέσο όρο 33%), ενώ μειώνεται απότομα για τις περιοχές Μεσσηνίας και Χαλκιδικής (κατά μέσο όρο 7% σε σχέση με τη μέση τιμή εκτίμησης της ακρίβειας για τις προηγούμενες 3 περιοχές) ενώ η μέση έκταση (των περιοχών Μεσσηνίας και Χαλκιδικής) διπλασιάζεται με ένα ποσοστό 119 % σε σχέση με τη μέση έκταση των υπόλοιπων 3 περιοχών (Δυτική Αττική, Ρόδο και Καστοριά).

4.2.2.3 Ανάλυση της ακρίβειας ανά χωρική μονάδα επεξεργασίας

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα των παραγόμενων χαρτών σε τοπική κλίμακα και να εξεταστεί η επίδραση του κατακερματισμού των περιοχών μελέτης σε επιμέρους μονάδες επεξεργασίας, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της ακρίβειας για κάθε επιμέρους χωρική μονάδα επεξεργασίας των περιοχών μελέτης.

Επιπλέον κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστεί η εκτίμηση της ακρίβειας των κατηγοριών ενδιαφέροντος για κάθε ξεχωριστή μονάδα επεξεργασίας, συμφωνώντας με την επισήμανση των Lark (1995) και Foody κ.α. (2005) ότι οι προσεγγίσεις ταξινόμησης δεν θα πρέπει να στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της συνολικής ακρίβειας του χάρτη αλλά στη συγκεκριμένη κατηγορία ή κατηγορίες ενδιαφέροντος (ενότητα 2.4.2.2). Οι πίνακες εκτιμήσεων της ακρίβειας ανά χωρική μονάδα επεξεργασίας παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ .

4.2.2.3.1 Ρόδος



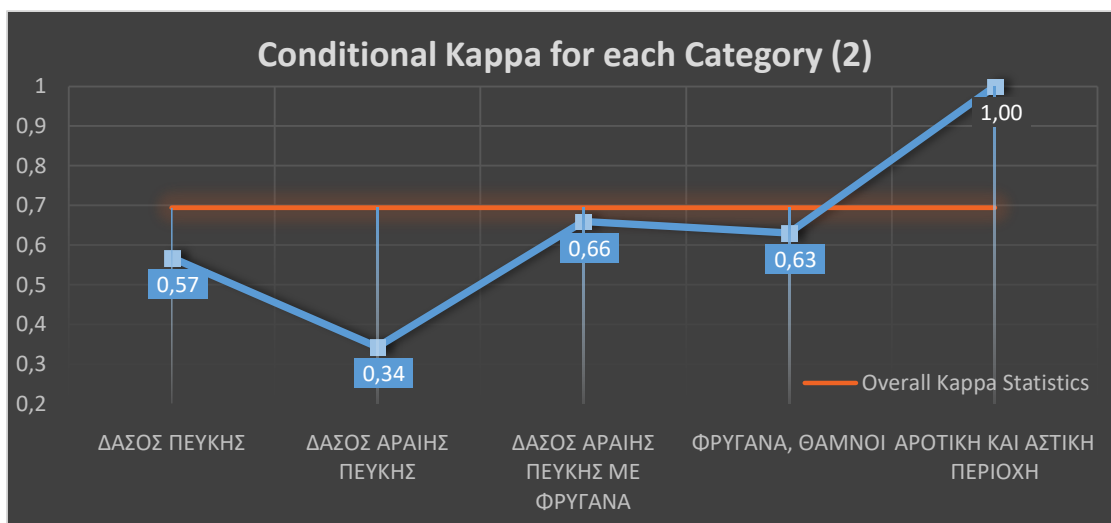
Εικόνα 4.21 Χάρτες σύγκρισης συνολικής ακρίβειας και στατιστικής kappa των ταξινόμησης για κάθε σκηνή επεξεργασίας της Ρόδου

Συγκρίνοντας τη συνολική εκτίμηση της ακρίβειας του 88% και τη συνολική στατιστική kappa του 0.86 για ολόκληρη την περιοχή της Ρόδου (Πίνακας 4.1), η συνολική εκτίμηση της ακρίβειας για κάθε επιμέρους περιοχή κυμαίνεται από 74% ή 0,69 σύμφωνα με τη στατιστική kappa (περιοχή 2) σε 94% ή 0,9 (περιοχές 3 & 7) (Εικόνα 4.21). Σύμφωνα με τη συνολική εκτίμηση της ακρίβειας 7 από τα 9 τμήματα κατέγραψαν ακρίβεια >85% που αντιστοιχεί στο 79,5% της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης. Ενώ σύμφωνα με τη στατιστική kappa 4 τμήματα από τα 9 κατέγραψαν ακρίβεια >85% που αντιστοιχεί στο 46,4% της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης, ενώ άλλα 4 κυμαίνονται μεταξύ 0,8 και 0,85.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και των δύο μετρήσεων η περιοχή 2 αποτελεί την περιοχή με την χαμηλότερη ακρίβεια (74% ή 0,69). Για την αξιολόγηση της ακρίβειας των επιμέρους τάξεων ενδιαφέροντος εξετάστηκε ο υπό όρους συντελεστής kappa. Ο Πίνακας 4.6 παρουσιάζει τις εμφανιζόμενες τάξεις (σύμφωνα με το σχήμα της ταξινόμησης για την περιοχή της Ρόδου) στην περιοχή επεξεργασίας 2 και ποιες θεωρούνται σημαντικότερες για τη μελέτη.

Πίνακας 4.6 Ρόδος σκηνή 2: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	



Διάγραμμα 4.8 Ρόδος σκηνή 2: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Στο Διάγραμμα 4.8 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις της ακρίβειας για τις σημαντικές τάξεις της ταξινόμησης της περιοχής 2 σύμφωνα με τον συντελεστή kappa. Παρατηρείται ότι η τάξη με τη χαμηλότερη τιμή του συντελεστή kappa για την σκηνή επεξεργασίας 2 είναι η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης» με 0,34 ενώ ακολουθούν οι κατηγορίες «δάσος πεύκης» (0,57), «φρύγανα, θάμνοι» και «δάσος αραιής πεύκης με φρύγανα» (0,66). Η μόνη κατηγορία που εμφανίζει σχεδόν τέλεια συμφωνία μεταξύ ταξινόμησης και χάρτη αναφοράς είναι η κατηγορία του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος με τιμή 1.

Παραπάνω στην Εικόνα 4.21 είδαμε ότι σύμφωνα με τη στατιστική kappa, 4 από τα 9 τμήματα κατέγραψαν ακρίβεια >85%. Πρόκειται για τα υπό τμήματα επεξεργασίας 3 & 7, 8 & 6. Οι

περιοχές 3 και 7 αποτελούν τις σκηνές επεξεργασίας με την υψηλότερη τιμή του συντελεστή K_{pp} με τιμή 0.92 υποδηλώνοντας ότι οι ταξινομήσεις των περιοχών αυτών απέφυγαν κατά 92% την πιθανότητα τα αποτελέσματα σχετικά με την χωρική οργάνωση της βλάστησης να 'έχουν ληφθεί από τύχη. Οι σημαντικές κατηγορίες για την ταξινόμηση και των δύο αυτών περιοχών (3 & 7) ήταν: «δάσος πεύκης», «δάσος αραιής πεύκης», δάσος αραιής πεύκης με φρύγανα», φρύγανα, θάμνοι» και «αγροτική και αστική περιοχή» (Πίνακας 4.7 & Πίνακας 4.8).

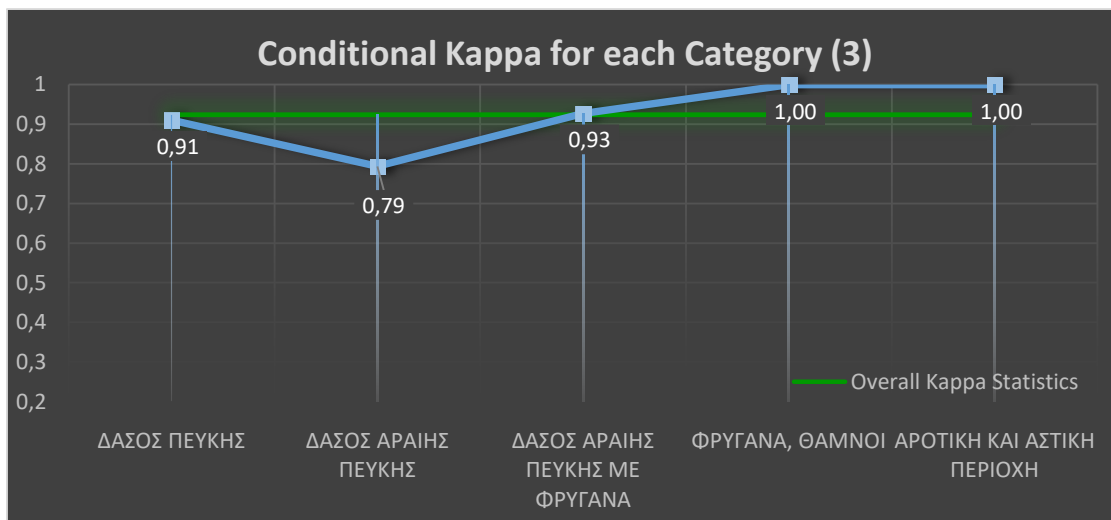
Πίνακας 4.7 Ρόδος σκηνή 3: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΠΑΡΑΛΙΑ	
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	

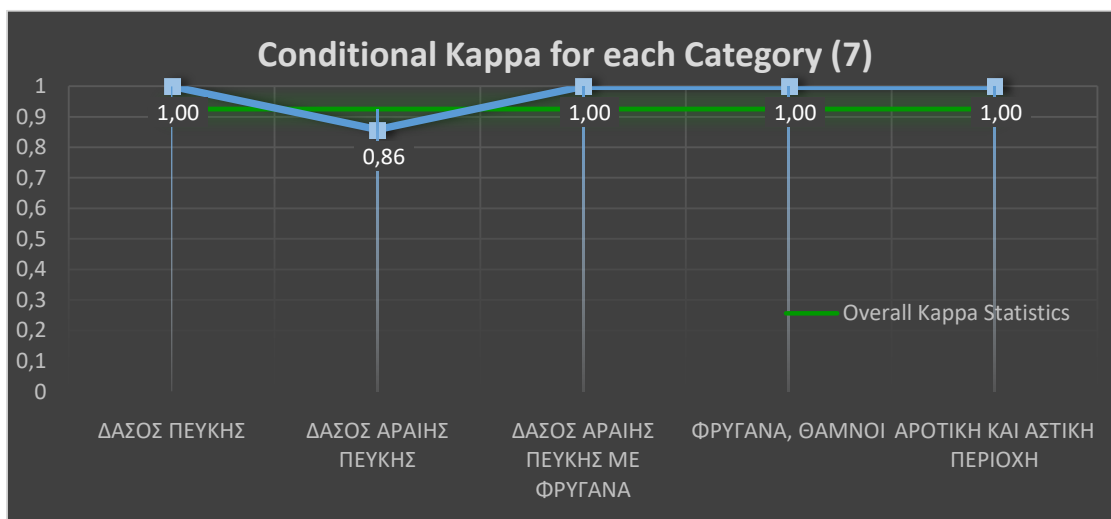
Πίνακας 4.8 Ρόδος σκηνή 7: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΥΚΗ	

Στα αντίστοιχα διαγράμματα σχετικά με την τιμή του συντελεστή K_{pp} για κάθε μια από τις σημαντικές για τη μελέτη κατηγορίες της ταξινόμησης για τις περιοχές αυτές (Διάγραμμα 4.9 & Διάγραμμα 4.10) παρατηρείται ότι για την περιοχή 7 όλες οι σημαντικές τάξεις παρουσιάζουν ακρίβεια πάνω από το 85% και μάλιστα οι 4 από τις 5 εμφανίζουν τιμή μεγαλύτερη της συνολικής εκτίμησης του συντελεστή για την περιοχή αυτή. Για το τμήμα επεξεργασίας 3, παρατηρείται ότι η κατηγορία «αραιής πεύκης» καταγράφει την μικρότερη ακρίβεια με 0,79 ενώ οι υπόλοιπες κατηγορίες εμφανίζουν μια ισχυρή συμφωνία σε σχέση με τα σημεία αναφοράς για την περιοχή αυτή.



Διάγραμμα 4.9 Ρόδος σκηνή 3: Ο υπό όρους συντελεστής Κάρρα για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

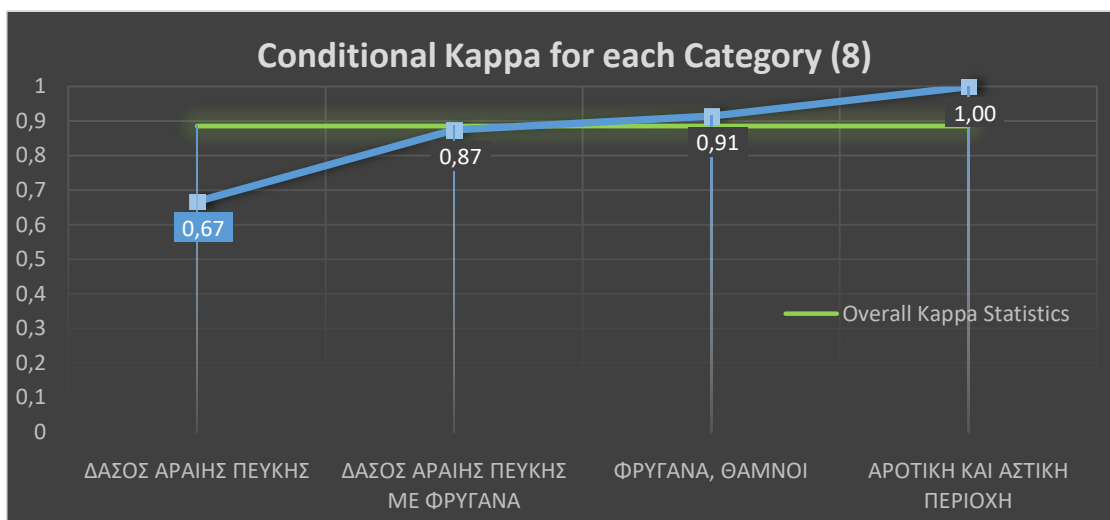


Διάγραμμα 4.10 Ρόδος σκηνή 7: Ο υπό όρους συντελεστής Κάρρα για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας

Για τη σκηνή επεξεργασίας 8 οι σημαντικές κατηγορίες (Πίνακας 4.9) οι τιμές του συντελεστή κάρρα υπό όρους απεικονίζονται στο Διάγραμμα 4.11. Με εξαίρεση την τάξη «αραϊής πεύκης» με τιμή 0,67, οι τιμές του συντελεστή για τις υπόλοιπες κατηγορίες υπολογίστηκαν πάνω από το 0,85.

Πίνακας 4.9 Ρόδος σκηνή 8: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΠΑΡΑΛΙΑ	
ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΥΚΗ	



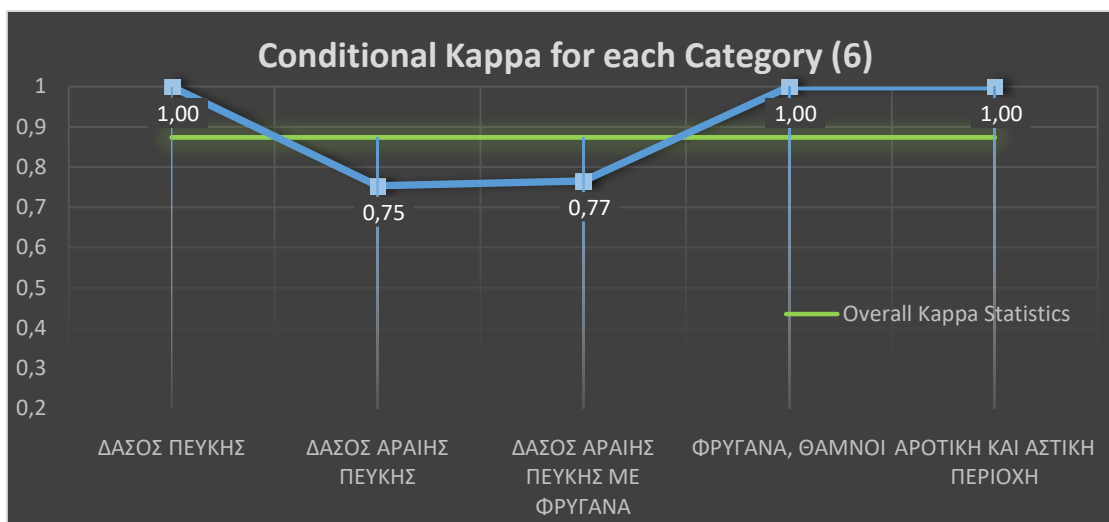
Διάγραμμα 4.11 Ρόδος σκηνή 8: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Πίνακας 4.10 Ρόδος σκηνή 6: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΠΑΡΑΛΙΑ	
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΥΚΗ	

Όσον αφορά στο τμήμα επεξεργασίας 6 παρατηρείται ότι 2 από τις 5 κατηγορίες που μας ενδιαφέρουν για την ανάλυση (

Πίνακας 4.10) σημείωσαν τιμές του συντελεστή κάτω από την τιμή της συνολικής εκτίμησης για αυτή την περιοχή (Διάγραμμα 4.12). Συγκεκριμένα, οι τάξεις «αραιής πεύκης» και «αραιής πεύκης με φρύγανα» έλαβαν τιμές 0,75 και 0,77 αντίστοιχα, ενώ οι υπόλοιπες παρουσιάζουν σχεδόν τέλεια συμφωνία με τους χάρτες αναφοράς.



Διάγραμμα 4.12 Ρόδος σκηνή 6: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών. Για τις υπόλοιπες περιοχές 1, 4, 5 και 9 όπου η συνολική εκτίμηση του συντελεστή Kappa κυμάνθηκε από 0,8 έως 0,84, η τιμή για τις επιμέρους σημαντικές κατηγορίες των περιοχών αυτών (Πίνακας 4.11 -

Πίνακας 4.14) παρουσιάζεται στα αντίστοιχα διαγράμματα (Διάγραμμα 4.16, Διάγραμμα 4.13, Διάγραμμα 4.14, Διάγραμμα 4.15).

Πίνακας 4.11 Ρόδος σκηνή 1: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΑΙΓΙΑΛΟΣ	
ΠΑΡΑΛΙΑ	
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	

Πίνακας 4.12 Ρόδος σκηνή 4: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

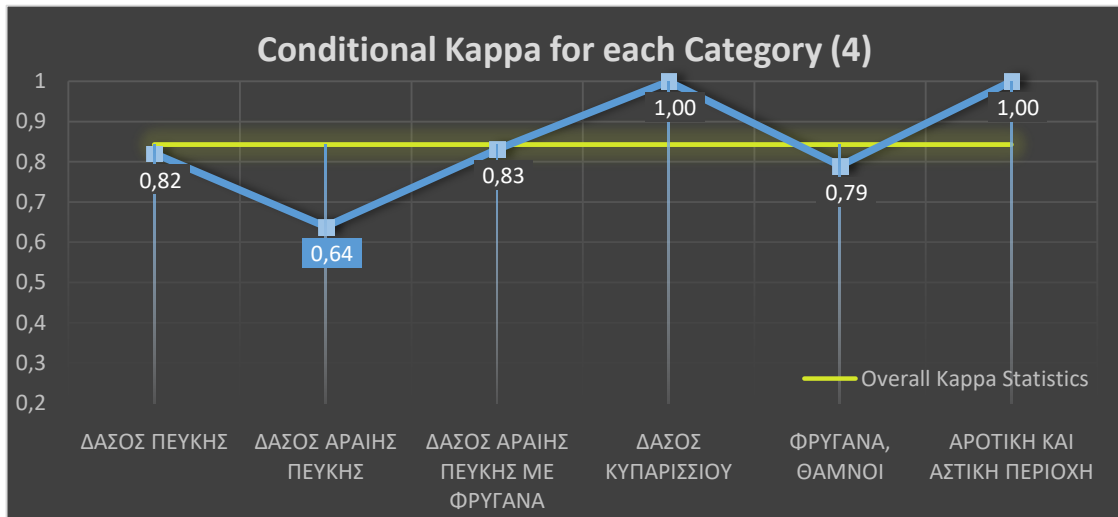
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓

Πίνακας 4.13 Ρόδος σκηνή 5: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

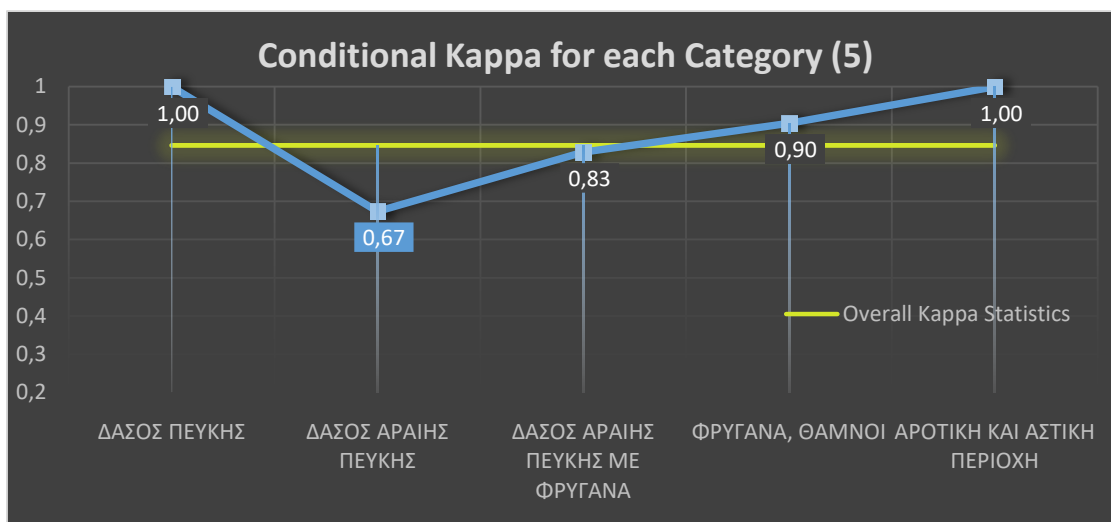
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	

Πίνακας 4.14 Ρόδος σκηνή 9: Σχήμα της ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

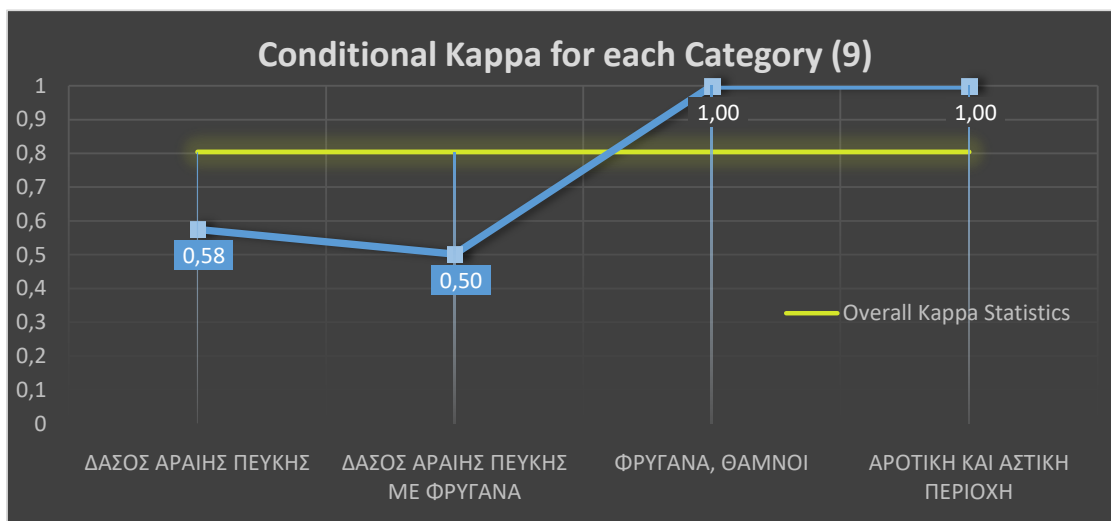
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΠΑΡΑΛΙΑ	



Διάγραμμα 4.13 Ρόδος σκηνή 4: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

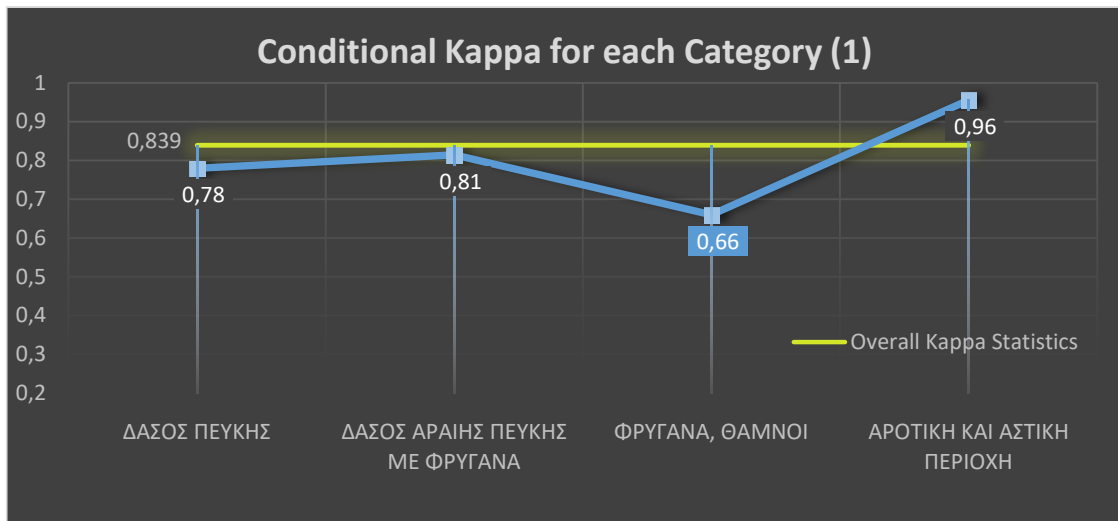


Διάγραμμα 4.14 Ρόδος σκηνή 5: Ο υπό όρους συντελεστής Κappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών



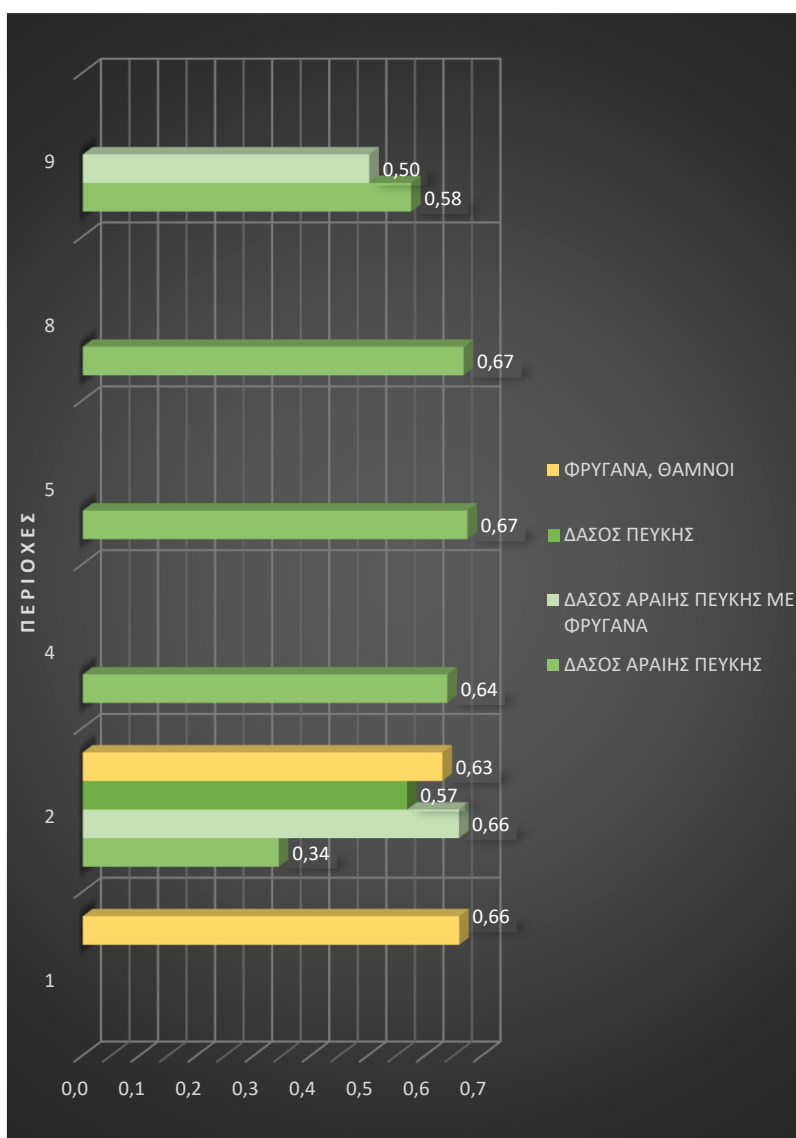
Διάγραμμα 4.15 Ρόδος σκηνή 9: Ο υπό όρους συντελεστής Κappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Η εξερεύνηση της διακύμανσης της ακρίβειας μεταξύ των σημαντικότερων κατηγοριών της ταξινόμησης για τις περιοχές 4, 5 και 9, αποκάλυψε ότι και για τις 3 αυτές περιοχές επεξεργασίας η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης» παρουσιάζει μια μέτρια ισχύ συμφωνίας καθώς οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 0,58 έως 0,67. Επιπλέον για την περιοχή 9 μια μέτρια ισχύ συμφωνίας σημειώνεται για την κατηγορία «αραιή πεύκη με φρύγανα» καθώς η τιμή 0,5 υποθέτει μόνο 50% πιθανότητα πραγματικής συμφωνίας με τους χάρτες αναφοράς.



Διάγραμμα 4.16 Ρόδος σκηνή 1: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών
 Τέλος, όσον αφορά στην περιοχή 1, η κατηγορία με τη μικρότερη τιμή είναι η «φρύγανα, θάμνοι» με τιμή 0,66, ενώ κάτω του 85% ακρίβεια παρουσιάζουν οι άλλες δύο κατηγορίες «δάσος πεύκης» και «αραιής πεύκης με φρύγανα».

Συνοψίζοντας παρουσιάζεται το Διάγραμμα 4.17 όπου διαφαίνεται για ποια υπό τμήματα και για ποιες από τις σημαντικές κατηγορίες επεξεργασίας οι τιμές του συντελεστή kappa ήταν μικρότερες του 0,7. Σύμφωνα με τους Landis και Koch (1977) και Monserud και Leemans (1992) τιμές του δείκτη kappa πάνω από το 70% μπορούν να θεωρούνται ως μια πολύ καλή έως τέλεια συμφωνία.



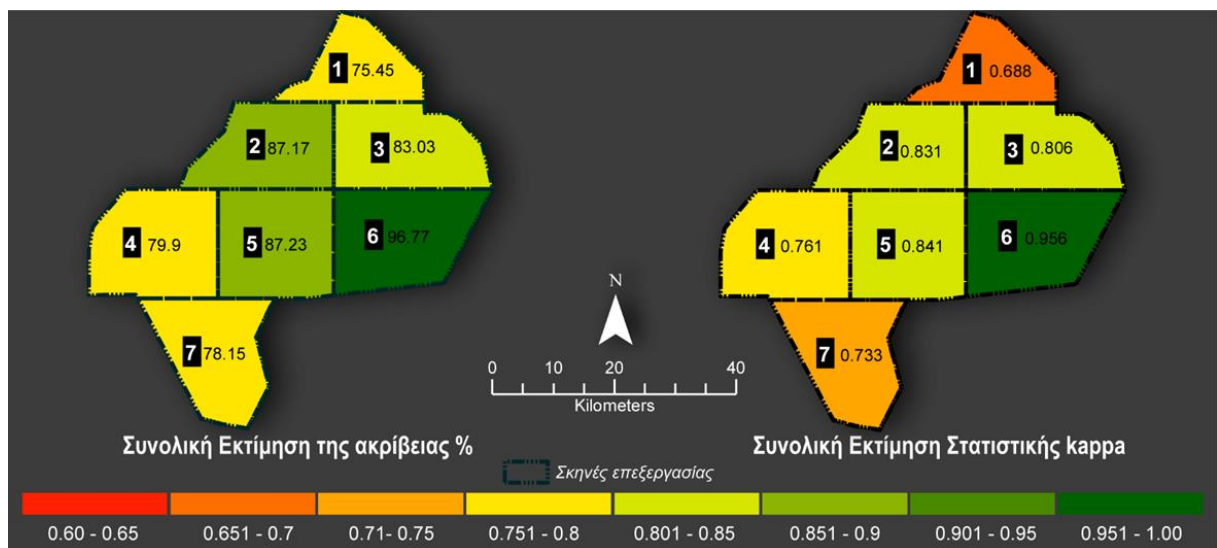
Διάγραμμα 4.17 Τιμές του συντελεστή kappa <math>< 0,7</math> για τις σημαντικές κατηγορίες ανά τμήμα επεξεργασίας της Ρόδου

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 4.17, καταρχάς βλέπουμε ότι οι επιμέρους περιοχές επεξεργασίας 3, 6, και 7 δεν παρουσίασαν τιμή του συντελεστή kappa <math>< 0,7</math> για κάποια από τις κατηγορίες που θεωρούνται σημαντικές στις περιοχές αυτές. Η κατηγορία με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης» καθώς σε 5 από τις 6 περιοχές εμφάνισε τιμή <math>< 0,7</math> (από 0,34 για την περιοχή 2 έως 0,67 για τις περιοχές 5 & 8). Σε 2 από τις 6 περιοχές η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης με φρύγανα» παρουσίασε τιμή του συντελεστή kappa από 0,5 έως 0,66 (περιοχές 2 και 9) με τη μικρότερη να σημειώνεται στην περιοχή 9. Η κατηγορία «φρύγανα, θάμνοι» παρουσίασε τιμές ακρίβειας 0,66 και 0,63 για τις περιοχές 1 και 2 αντίστοιχα. Τέλος η κατηγορία «δάσος πεύκης» σημείωσε ακρίβεια 57% για την περιοχή 2 η οποία συγκέντρωσε και το μεγαλύτερο πλήθος τάξεων με τιμές του

συντελεστή $< 0,7$ και επίσης αποτελεί την περιοχή με την χαμηλότερη συνολική ακρίβεια (74% ή 0,69) (Εικόνα 4.21).

Η τάξη «δάσος αραιής πεύκης» αποτελεί την τάξη με τη μικρότερη τιμή του συντελεστή kappa για το σύνολο της Ρόδου (τιμή 0.69) γεγονός που μπορεί να εξηγείται από τη συνύπαρξη συστάδων πεύκης με διαφορετικούς τύπους συγκόμωσης και σήμα υποβάθρου (π.χ., γυμνό έδαφος, βλάστηση υπό ορόφου).

4.2.2.3.2 Καστοριά



Εικόνα 4.22 Χάρτες σύγκρισης συνολικής ακρίβειας και στατιστικής kappa των ταξινομήσεων για κάθε σκηνή επεξεργασίας της Καστοριάς

Η εξερεύνηση της τοπικής διακύμανσης των εκτιμήσεων της ακρίβειας για την περιοχή της Καστοριάς, παρουσιάζεται μέσω των χαρτών συνολικής εκτίμησης της ακρίβειας και στατιστικής kappa (Εικόνα 4.22). Μπορούμε να διακρίνουμε ότι και οι δύο μετρήσεις παρουσιάζουν ένα παρόμοιο χωρικό πρότυπο τοπικών διαφορών ακρίβειας που χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες τιμές βόρεια και νοτιοδυτικά της περιφερειακής ενότητας της Καστοριάς (τμήματα 1,4 και 7). Τα τμήματα αυτά αντιστοιχούν στο 36,65% της συνολικής έκτασης της περιοχής της Καστοριάς και σύμφωνα με τη συνολική εκτίμηση της ακρίβειας οι τιμές κυμαίνονται από 75,45% (για την περιοχή 1) έως 78% (για την περιοχή 7). Ενώ σύμφωνα με την πιο «αυστηρή» εκτίμηση της στατιστικής kappa τα τμήματα αυτά παρουσιάζουν διακριτές διαφορές ακρίβειας με αποτέλεσμα η περιοχή 1 να θεωρείται ότι δεν ξεπερνά το κατώφλι του 70% ακρίβειας με μια τιμή 0,68, ενώ η περιοχή 7 δεν ξεπερνά το κατώφλι του 75% ακρίβειας με μια τιμή 0,73.

Τα υπόλοιπα τμήματα 2,3,5 και 6 που βρίσκονται στο κέντρο και ανατολικά της Καστοριάς εμφανίζουν τιμές ακρίβειας $> 83\%$ και > 0.8 (συνολική εκτίμηση ακρίβειας και στατιστική

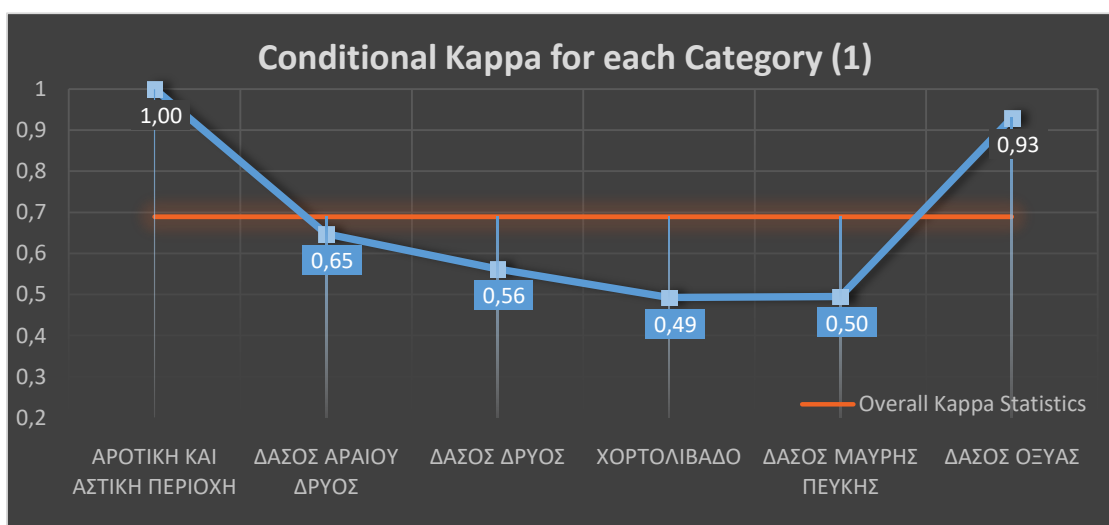
κάρρα αντίστοιχα). Σύμφωνα και με τις δύο μετρήσεις η περιοχή 6 αποτελεί την περιοχή με την μεγαλύτερη ακρίβεια του 96,7% ή 0.95, ενώ η περιοχή με τη μικρότερη ακρίβεια είναι η περιοχή 1 με 75,4% συνολική ακρίβεια ή 0,68 σύμφωνα με την εκτίμηση κάρρα.

Για το τμήμα επεξεργασίας 1 το σύνολο των κατηγοριών που εκπροσωπούσαν σύμφωνα με το σχήμα της ταξινόμησης της Καστοριάς ήταν 8 από τις οποίες οι 6 θεωρήθηκαν ως σημαντικότερες για τη συγκεκριμένη μελέτη (Πίνακας 4.15).

Πίνακας 4.15 Καστοριά σκηνή 1: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	✓

Στο Διάγραμμα 4.18 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή Κάρρα για την εκτίμηση της ακρίβειας των επιμέρους σημαντικότερων κατηγοριών. Παρατηρείται ότι οι 2 από τις 6 κατηγορίες της ταξινόμησης λαμβάνουν πολύ υψηλή τιμή του συντελεστή («αγροτική και αστική περιοχή» και δάσος οξυάς») εκφράζοντας μια σχεδόν τέλεια συμφωνία των τάξεων αυτών με τους χάρτες αναφοράς. Ωστόσο οι υπόλοιπες κατηγορίες κυμαίνονται από 0.5 («δάσος μαύρης πεύκης») έως 0.65 («δάσος αραιού δρυός») με τις τιμές τους να είναι χαμηλότερες από την τιμή της συνολικής εκτίμησης του κάρρα για την περιοχή αυτή.

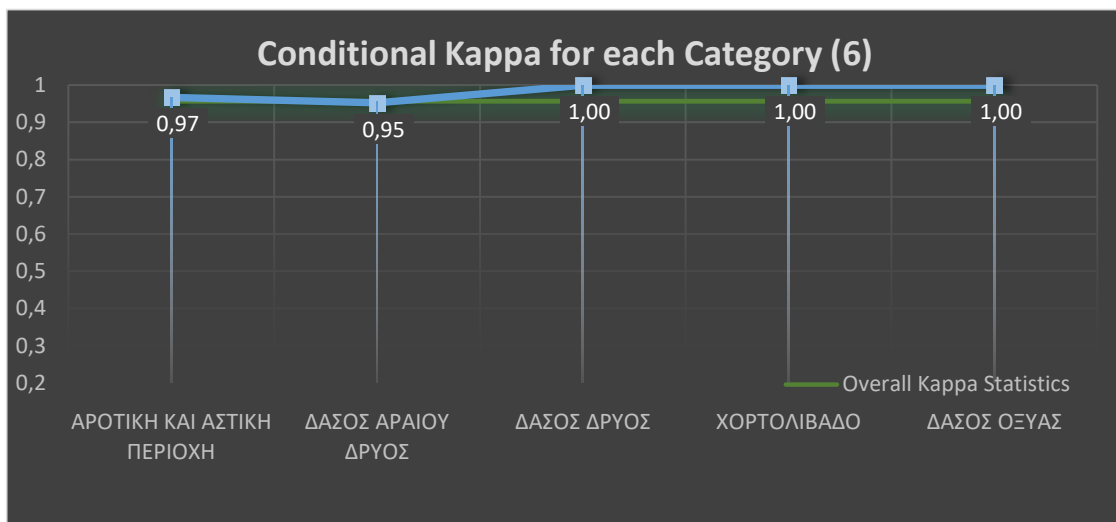


Διάγραμμα 4.18 Καστοριά σκηνή 1: Ο υπό όρους συντελεστής Κάρρα για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Στον αντίποδα βρίσκεται η περιοχή επεξεργασίας 6 που αποτελεί την περιοχή με τη μεγαλύτερη ακρίβεια σύμφωνα και με τις δύο μετρήσεις της ακρίβειας. Για την περιοχή αυτή όλες οι κατηγορίες της ταξινόμησης που χαρακτηρίστηκαν ως σημαντικές παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές του συντελεστή kappa, από 0.95 έως 1, τιμές που ξεπερνούν την τιμή της συνολικής εκτίμησης της στατιστικής kappa για την περιοχή 6 (Διάγραμμα 4.19).

Πίνακας 4.16 Καστοριά σκηνή 6: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	✓



Διάγραμμα 4.19 Καστοριά σκηνή 6: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας

Οι περιοχές 2, 3 και 5 έλαβαν τιμές εκτίμησης της ακρίβειας από 80 - 85% (0.831, 0.8 και 0.84 αντίστοιχα). Παρακάτω παρουσιάζονται οι κατηγορίες της ταξινόμησης που εμφανίζονταν στις περιοχές αυτές καθώς και ποιες κατηγορίες θεωρούνται σημαντικές για την ανάλυση (Πίνακας 4.17,

Πίνακας 4.18, Πίνακας 4.19).

Πίνακας 4.17 Καστοριά σκηνή 2: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	

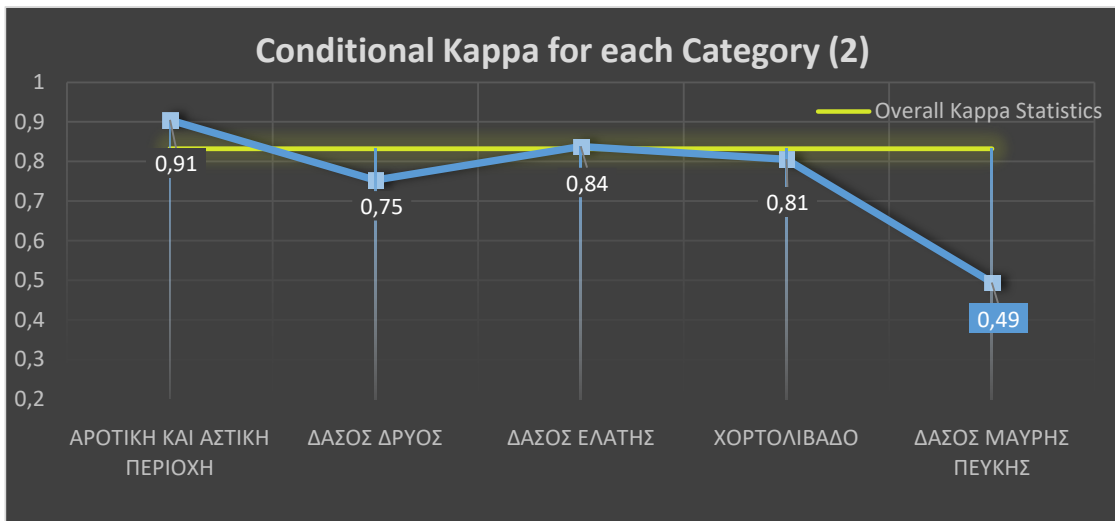
Πίνακας 4.18 Καστοριά σκηνή 3: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	✓
ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	
ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΟ ΔΑΣΟΣ	

Πίνακας 4.19 Καστοριά σκηνή 5: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

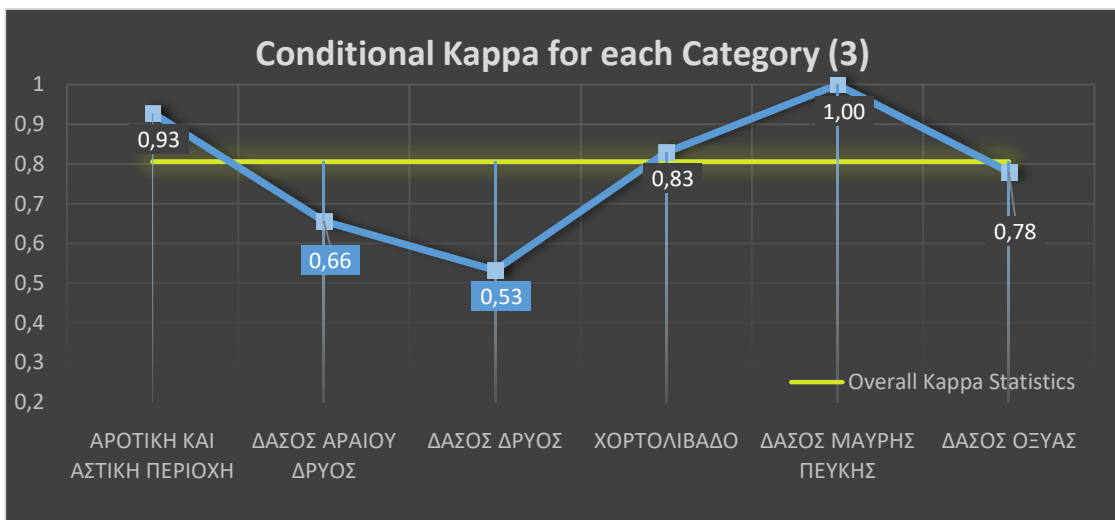
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	✓

Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Διάγραμμα 4.20, Διάγραμμα 4.21, Διάγραμμα 4.22) μπορεί να διερευνηθεί η ακρίβεια κάθε επιμέρους τάξης για τις περιοχές επεξεργασίας 2, 3 και 5.



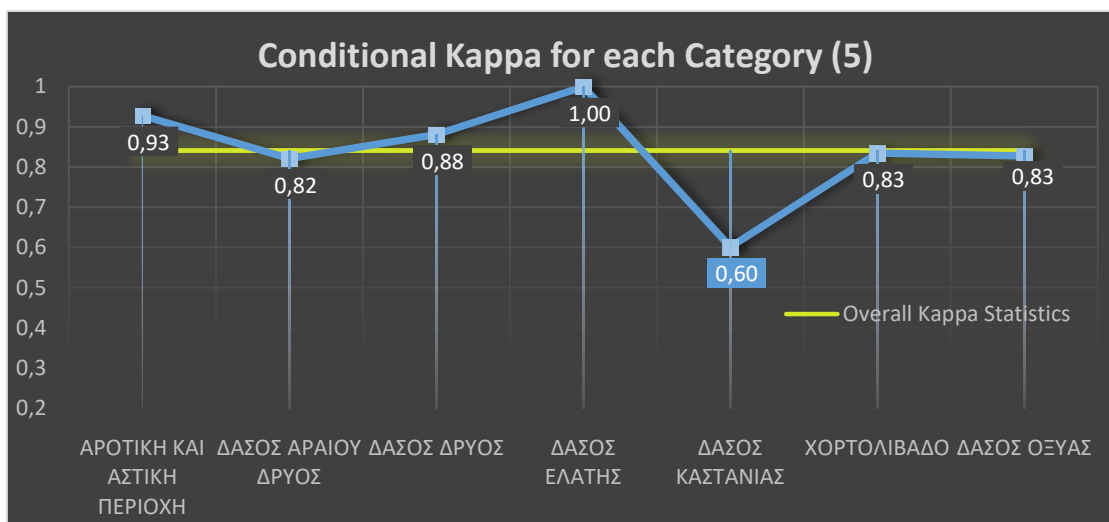
Διάγραμμα 4.20 Καστοριά σκηνή 2: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για των σημαντικών κατηγοριών

Στην περιοχή 2 η κατηγορία «δάσος μαύρης πεύκης» φαίνεται να λαμβάνει τη μικρότερη τιμή του συντελεστή kappa με 0.49, ενώ τη μεγαλύτερη λαμβάνει η κατηγορία που εκπροσωπεί το ανθρωπογενές περιβάλλον με 0.91. Οι υπόλοιπες σημαντικές κατηγορίες για την ταξινόμηση έλαβαν τιμές του συντελεστή από 0.75 έως 0.81 (Διάγραμμα 4.20).



Διάγραμμα 4.21 Καστοριά σκηνή 3: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Όσον αφορά στην σκηνή επεξεργασίας 3 παρατηρείται ότι οι κατηγορίες «δάσος δρυός» και «αραιού δρυός» λαμβάνουν τις χαμηλότερες τιμές του υπό όρους συντελεστή kappa με τιμές 0,53 έως 0,66 αντίστοιχα. Για τις υπόλοιπες κατηγορίες οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 0,78 για τάξη «δάσος οξυάς» έως 1 για την τάξη «δάσος μαύρης πεύκης».



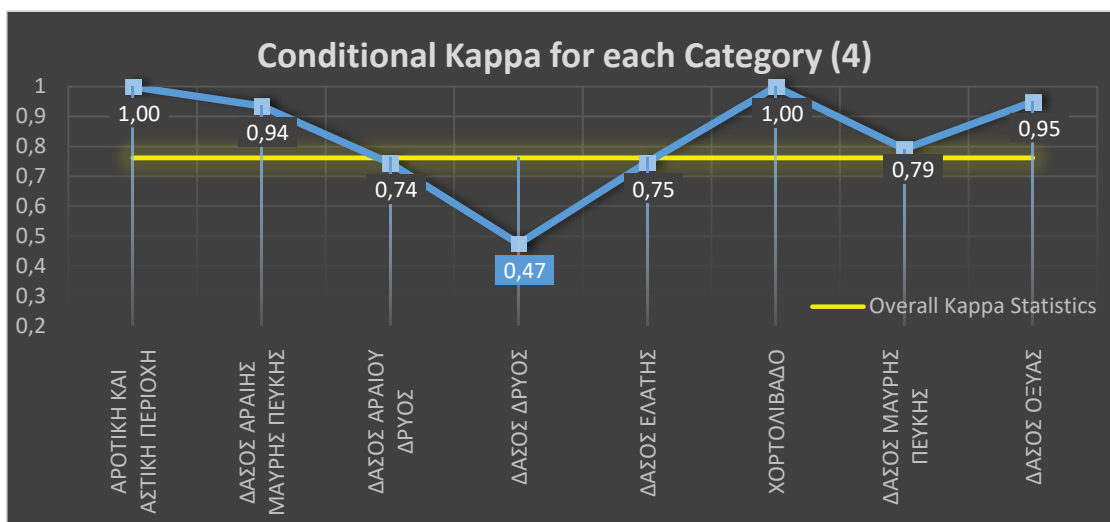
Διάγραμμα 4.22 Καστοριά σκηνή 5: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Η κατηγορία «δάσος καστανιάς» έλαβε τη μικρότερη τιμή μετά τον υπολογισμό της στατιστικής kappa υπό όρους για την περιοχή επεξεργασίας 5 με τιμή 0.6. Οι υπόλοιπες κατηγορίες που θεωρούνται σημαντικές στην περιοχή αυτή παρουσιάζουν τιμές μεγαλύτερες του 82% ακρίβειας, με την υψηλότερη να σημειώνεται για την κατηγορία «δάσος ελάτης» (Διάγραμμα 4.22).

Στα δυτικά και νοτιοδυτικά της περιφερειακής ενότητας της Καστοριάς βρίσκονται οι σκηνές επεξεργασίας 4 και 7 για τις οποίες η συνολική εκτίμηση της στατιστικής kappa βρέθηκε ίση με 0.76 και 0.73 αντίστοιχα. Παρακάτω αναλύονται οι τιμές του συντελεστή για κάθε επιμέρους σημαντική για την ταξινόμηση κατηγορία των περιοχών αυτών.

Πίνακας 4.20 Καστοριά σκηνή 4: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	✓

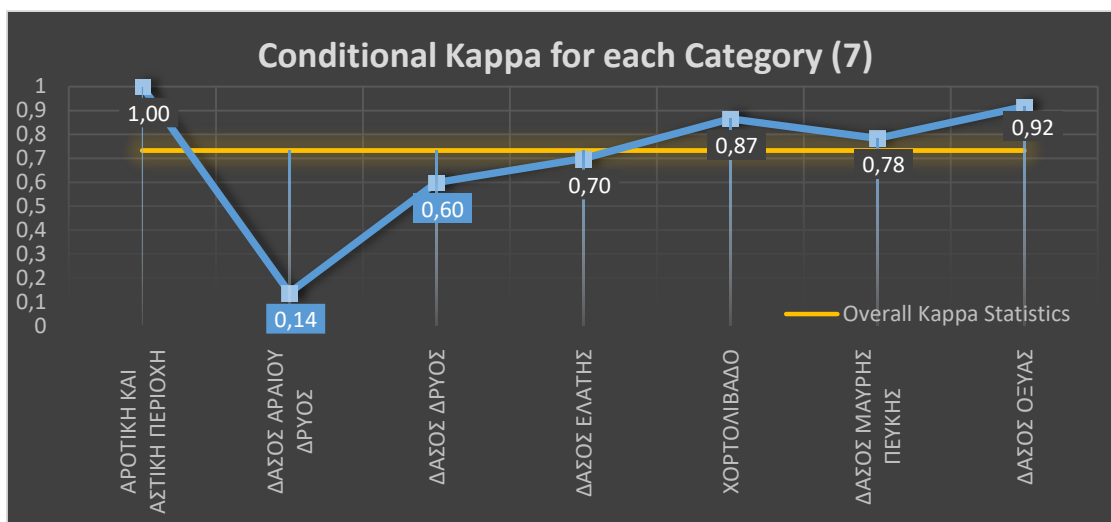


Διάγραμμα 4.23 Καστοριά σκηνή 4: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Παρατηρείται ότι οι πλειοψηφία των τάξεων που λαμβάνουν χώρα στη σκηνή επεξεργασίας 4 σύμφωνα με το σχήμα της ταξινόμησης για την περιοχή της Καστοριάς, θεωρούνται ως σημαντικές για την εκτίμηση της καύσιμης ύλης (Πίνακας 4.20). Η τάξη «δάσος δρυός» λαμβάνει την πιο χαμηλή εκτίμηση της ακρίβειας υποδηλώνοντας την πιθανότητα μιας τυχαίας συμφωνίας με την πραγματικότητα κατά 53% (τιμή kappa 0.47). Οι 5 από τις υπόλοιπες 7 κατηγορίες λαμβάνουν υψηλότερες τιμές του συντελεστή σε σχέση με τη συνολική εκτίμηση της ακρίβειας για αυτή την περιοχή (> 0.76). Οι υπόλοιπες 2 κατηγορίες σημειώνουν ακρίβειες 0.74 και 0.75 («δάσος αραιού δρυός» και «δάσος ελάτης») (Διάγραμμα 4.23).

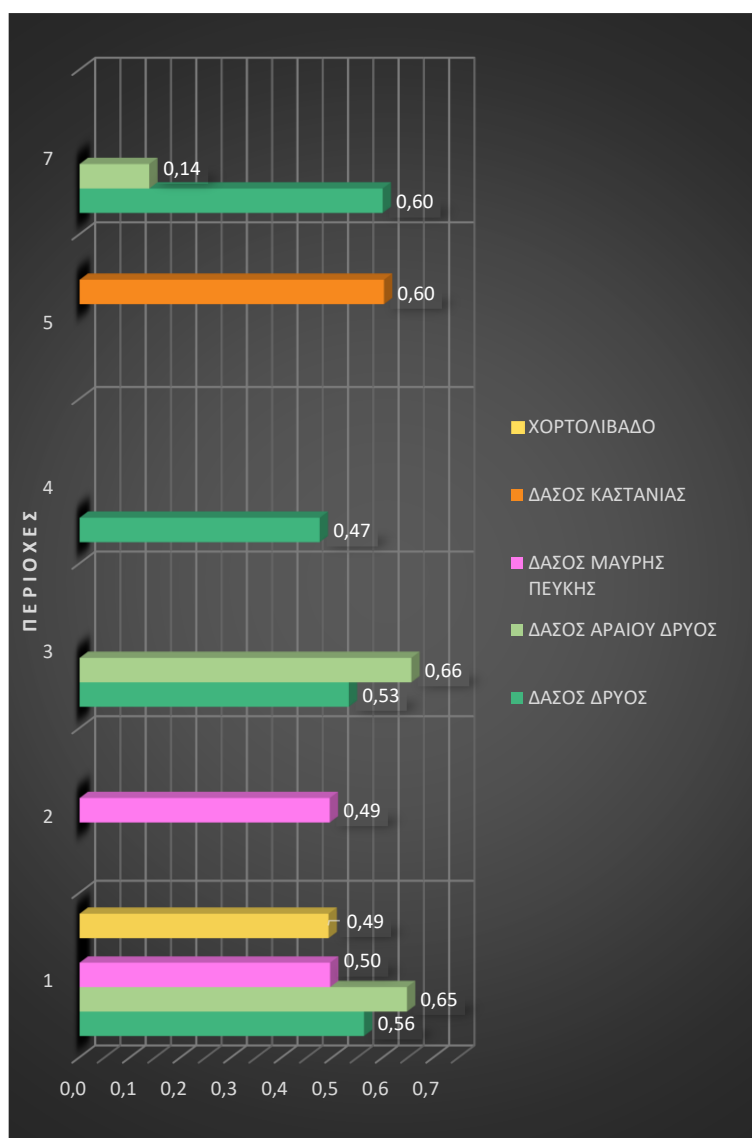
Πίνακας 4.21 Καστοριά σκηνή 7: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	✓



Διάγραμμα 4.24 Καστοριά σκηνή 7: Ο υπό όρους συντελεστής Κερρα για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Όσον αφορά στην χωρική μονάδα επεξεργασίας 7, παρατηρώντας το Διάγραμμα 4.24 βλέπουμε ότι η κατηγορία «δάσος αραιού δρυός» λαμβάνει ελάχιστη τιμή έπειτα από τον υπολογισμό της στατιστικής κερρα υπό όρους. Η τιμή 0,14 θεωρείται ως μια ασήμαντη συμφωνία και υποδηλώνει την υπόθεση μιας τυχαίας συμφωνίας. Χαμηλή θεωρείται και η τιμή του συντελεστή για την κατηγορία «δάσος δρυός» καθώς η πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο να έχει ταξινομηθεί σωστά λόγω τυχαιότητας αποκλείεται κατά 60%. Η εκτίμηση της στατιστικής για τις υπόλοιπες κατηγορίες ανήλθε πάνω από το 70% (Διάγραμμα 4.24).



Διάγραμμα 4.25 Τιμές του συντελεστή kappa <math>< 0,7</math> για τις σημαντικές κατηγορίες ανά τμήμα επεξεργασίας της Καστοριάς

Συγκρίνοντας τις κατηγορίες που έλαβαν εκτίμηση της στατιστικής kappa <math>< 0,7</math> για κάθε ξεχωριστή ενότητα επεξεργασίας για την περιοχή της Καστοριάς, παρατηρούμε ότι οι κατηγορίες που αφορούν τα δάση δρυός (πυκνό και αραιό δάσος) λαμβάνουν τιμή του συντελεστή κάτω από το όριο του 0.7 σε περισσότερες σκηνές επεξεργασίας σε σχέση με τις υπόλοιπες τάξεις. Συγκεκριμένα η τάξη που αντιπροσωπεύει την πυκνή δρυ εμφανίζει τιμές <math>< 0,7</math> σε 4 από τις 6 περιοχές που λαμβάνουν τιμές κάτω από το κατώφλι αυτό, ενώ η τάξη που αντιπροσωπεύει την αραιή σε 3 από τις 6. Η κατηγορία «δάσος δρυός» έλαβε τιμή του συντελεστή έως 0,6 για τις περιοχές 1,3,4 και 7 με τη μικρότερη να σημειώνεται για την περιοχή 4 (0,47). Η κατηγορία «δάσος αραιού δρυός» έλαβε υψηλότερες τιμές ακρίβειας σε σχέση με την «δάσος δρυός» σε 2 περιοχές καθώς κυμάνθηκε μεταξύ 0,65 (περιοχή 1) και

0,66 (περιοχή 3). Η χαμηλότερη ακρίβεια σημειώνεται στην περιοχή 7 (0,14) για την κατηγορία αυτή.

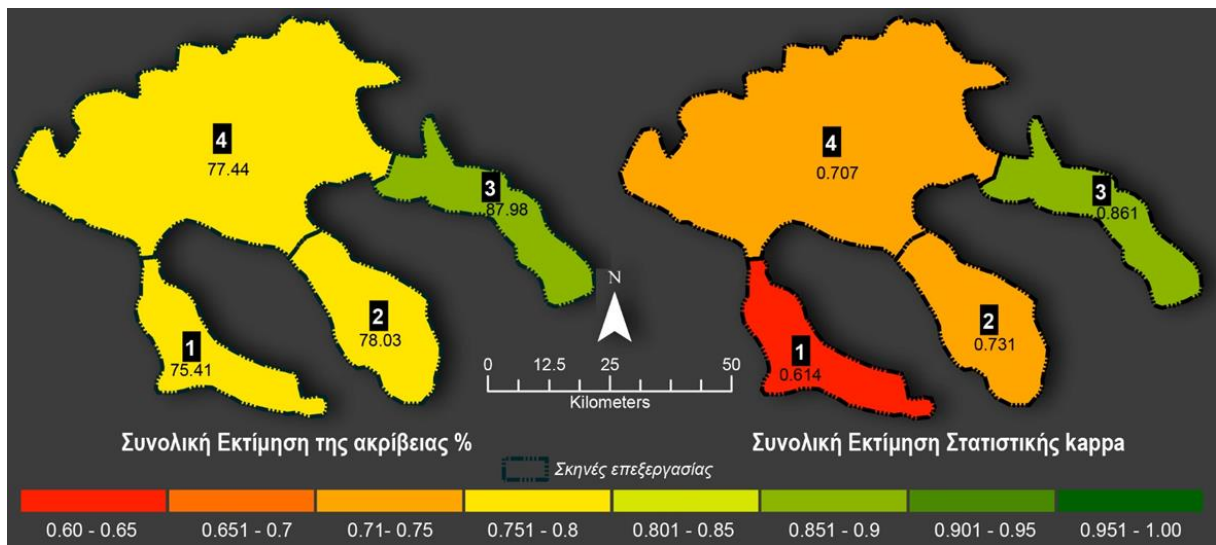
Η περιοχή 6 δεν συμπεριλαμβάνεται στο Διάγραμμα 4.25 καθώς όλες οι σημαντικές κατηγορίες για αυτή την περιοχή έλαβαν τιμές του συντελεστή πάνω από 0.86 (Διάγραμμα 4.19) καθώς αποτελεί και την περιοχή με την υψηλότερη τιμή ακρίβειας (Εικόνα 4.22).

Σε 2 περιοχές επεξεργασίας, την περιοχή 1 και 2 η κατηγορία «δάσος μαύρης πεύκης» έλαβε τιμές 0,5 και 0,49 αντίστοιχα. Η κατηγορία «χορτολίβαδο» για την περιοχή 1 σημειώνει τιμή του συντελεστή kappa ίση με 0,49. Τέλος το «δάσος καστανιάς» έλαβε την τιμή 0,5 για την περιοχή 5. Παρατηρείται ότι η περιοχή 1 αποτελεί την περιοχή με το μεγαλύτερο πλήθος τάξεων (4) που θεωρούνται σημαντικές για την μελέτη και έλαβαν τιμές <0,7. Ταυτόχρονα η σκηνή αυτή αποτελεί και την περιοχή 1 που και η συνολική εκτίμηση της στατιστικής kappa δεν ξεπερνά το κατώφλι του 70% ακρίβειας με μια τιμή 0,68 (Εικόνα 4.22).

Οι χαμηλές τιμές ακρίβειας της κατηγορίας «δάσος δρυός» για τις χωρικές μονάδες επεξεργασίας, δεν αντανakλούν και την τιμή του υπό όρους συντελεστή Kappa για την ακρίβεια της κατηγορίας αυτής για το σύνολο της περιοχής της Καστοριάς (0,71), όπως διαφαίνεται και στο Διάγραμμα 4.2. Το ίδιο ισχύει και για την κατηγορία «δάσος αραιού δρυός» (0,82 για το σύνολο της περιοχής της Καστοριάς). Ωστόσο η κατηγορία «δάσος καστανιάς» είναι αυτή που αξιολογήθηκε με την χαμηλότερη ακρίβεια για το σύνολο αυτής της περιοχής μελέτης σύμφωνα με την τιμή του συντελεστή Kappa, η οποία είναι μια κατηγορία που εμφανίζεται μόνο στην σκηνή επεξεργασίας 5.

4.2.2.3.3 Χαλκιδική

Για την εξερεύνηση των τοπικών διαφορών στις διακυμάνσεις των μετρήσεων για την αξιολόγηση της ακρίβειας με βάση τις ξεχωριστές χωρικές μονάδες επεξεργασίας για την ταξινόμηση των ειδών φυσικής βλάστησης της Χαλκιδικής δημιουργήθηκαν οι παρακάτω χάρτες (Εικόνα 4.23).



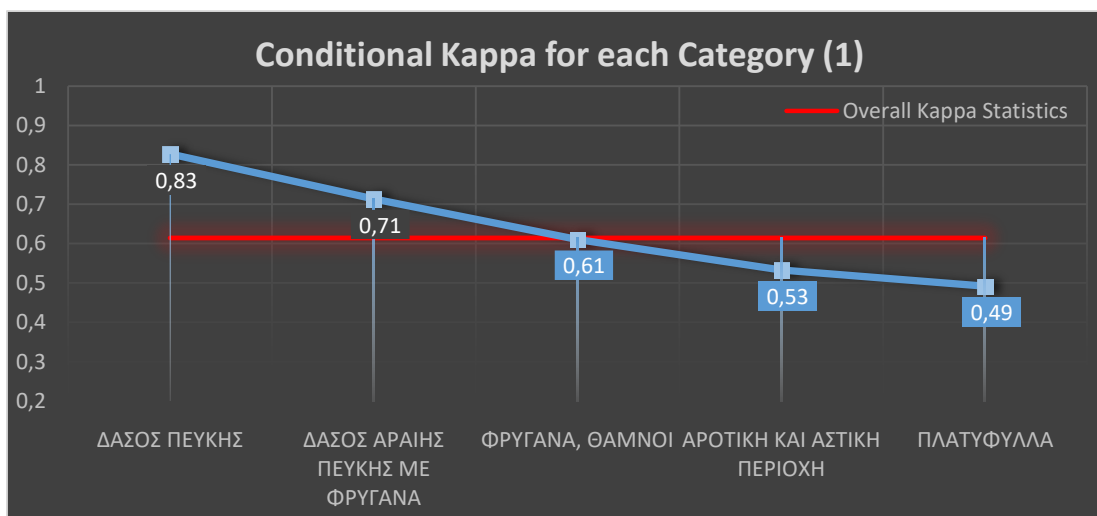
Εικόνα 4.23 Χάρτες σύγκρισης συνολικής ακρίβειας και στατιστικής κάρρα των ταξινομήσεων για κάθε σκηνή επεξεργασίας της Χαλκιδικής

Με βάση τη συνολική εκτίμηση της ακρίβειας και τη συνολική εκτίμηση της στατιστικής κάρρα η χερσόνησος του Αγίου Όρους (σκηνή επεξεργασίας 3) λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή και για τις δύο μετρήσεις 87,98% και 0,86. Η σκηνή επεξεργασίας 1 (χερσόνησος της Κασσάνδρας) αποτελεί την περιοχή με τις μικρότερες τιμές ακρίβειας (75,4% για τη συνολική εκτίμηση ή 61,4% για τη στατιστική κάρρα). Οι υπόλοιπες 2 σκηνές επεξεργασίας 4 & 2 που αποτελούν και το 75% της συνολικής έκτασης των σκηνών επεξεργασίας για την περιοχή της Χαλκιδικής παρουσιάζουν ακρίβειες 77,4% και 78% αντίστοιχα σύμφωνα με την συνολική εκτίμηση ή 0,7 και 0,73 αντίστοιχα σύμφωνα με τη στατιστική κάρρα.

Για την εξερεύνηση της διακύμανσης της ακρίβειας μεταξύ των σημαντικότερων κατηγοριών της ταξινόμησης για την χωρική ενότητα επεξεργασίας 1 (Πίνακας 4.22) που αποτελεί και την περιοχή με την χαμηλότερη εκτίμηση της ακρίβειας, παρουσιάζεται το Διάγραμμα 4.26.

Πίνακας 4.22 Χαλκιδική σκηνή 1: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	✓



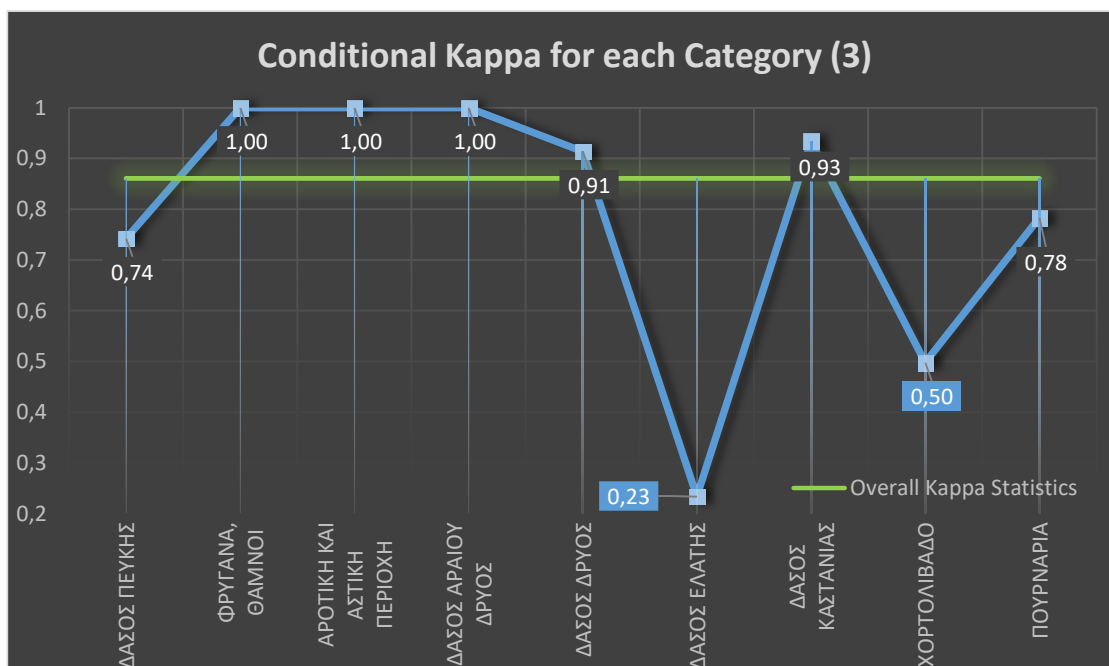
Διάγραμμα 4.26 Χαλκιδική σκηνή 1: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 4.26, βλέπουμε ότι οι κατηγορίες «φρύγανα, θάμνοι», «αγροτική και αστική περιοχή» και «πλατύφυλλα» αποτελούν τις τάξεις με τη μικρότερη ακρίβεια στην περιοχή σύμφωνα με την εκτίμηση του υπό όρους συντελεστή Kappa. Οι τιμές των κατηγοριών αυτών είναι χαμηλότερες από την συνολική εκτίμηση του συντελεστή για το σύνολο της περιοχής και κυμαίνονται από 0,49 έως 0.6 υποδηλώνοντας μια μέτρια συμφωνία με τους χάρτες αναφοράς για αυτές τις κατηγορίες.

Σε αντίθεση με την περιοχή επεξεργασίας 1, η περιοχή 3 αποτελεί την περιοχή με την υψηλότερη εκτίμηση της ακρίβειας. Οι κατηγορίες που θεωρούνται σημαντικές για την εκτίμηση της βλάστησης στην περιοχή αυτή καθώς και οι διακυμάνσεις του συντελεστή Kappa μεταξύ των σημαντικών κατηγοριών παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 4.23 & Διάγραμμα 4.27).

Πίνακας 4.23 Χαλκιδική σκηνή 3: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	✓
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	

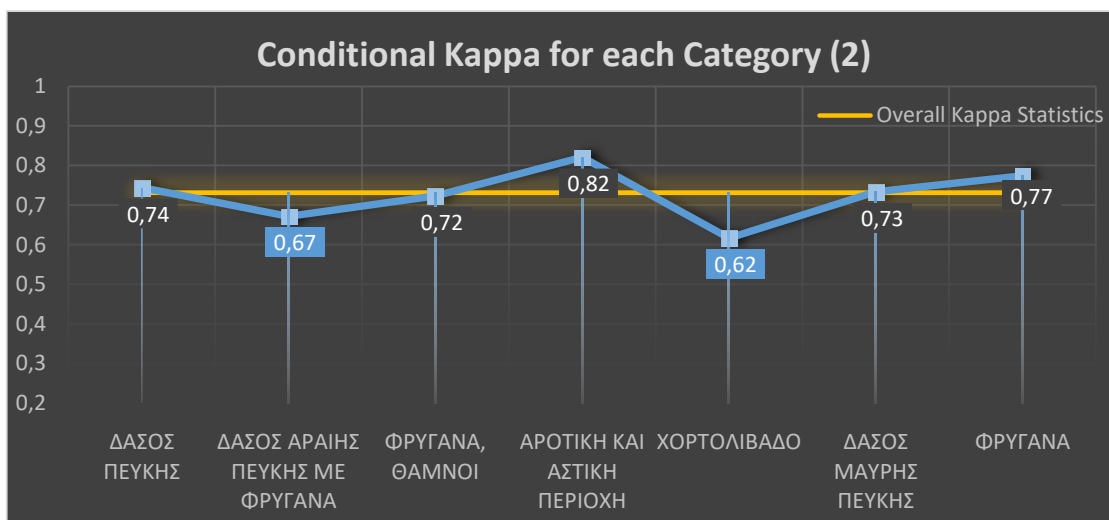


Διάγραμμα 4.27 Χαλκιδική σκηνή 3: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Παρόλο που αυτό το τμήμα επεξεργασίας θεωρείται η περιοχή με την υψηλότερη τιμή αξιολόγησης της ακρίβειας, παρατηρούμε ότι οι κατηγορίες «δάσος ελάτης» και «χορτολίβαδα» έλαβαν σημαντικά χαμηλές τιμές του συντελεστή kappa. Ιδιαίτερα η κατηγορία «δάσος ελάτης» εμφανίζει μια πολύ μικρή έως ασήμαντη συμφωνία (0,23) μεταξύ ταξινόμησης και δεδομένων αναφοράς, ενώ μέτρια μπορεί να θεωρηθεί για την τάξη «χορτολίβαδα» (0,5). Με εξαίρεση τις παραπάνω κατηγορίες της ταξινόμησης οι υπόλοιπες 7 αξιολογήθηκαν ως ακριβείς κατά 74% και επάνω (με σχεδόν τέλεια συμφωνία μεταξύ ταξινόμησης και δεδομένων αναφοράς για 5 από αυτές με τιμή > 0,9) (Διάγραμμα 4.27).

Πίνακας 4.24 Χαλκιδική σκηνή 2: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ	✓



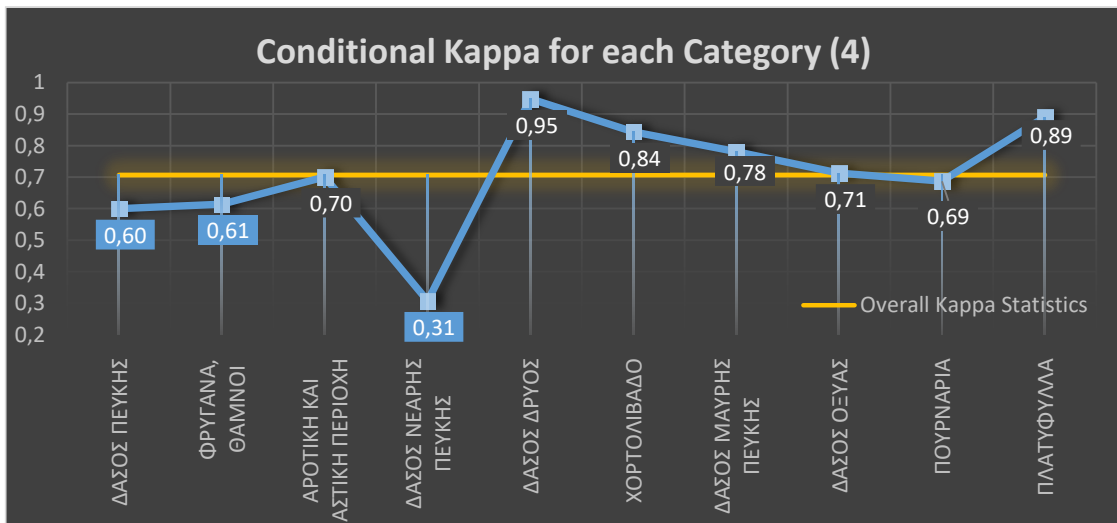
Διάγραμμα 4.28 Χαλκιδική σκηνή 2: Ο υπό όρους συντελεστής Κάρρα για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Στο Διάγραμμα 4.28 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή Κάρρα για την εκτίμηση της ακρίβειας των επιμέρους σημαντικότερων κατηγοριών για την περιοχή επεξεργασίας 2 (Πίνακας 4.24). Παρατηρείται ότι οι 2 από τις 7 κατηγορίες της ταξινόμησης λαμβάνουν τις χαμηλότερες τιμές για το συντελεστή Κάρρα («δάσος αραιής πεύκης με φρύγανα» και «χορτολίβαδο») εκφράζοντας μια μέτρια συμφωνία των τάξεων αυτών με τους χάρτες αναφοράς. Οι τιμές των υπόλοιπων κατηγοριών είναι πάνω από 70% και έως το 82%.

Τέλος, όσον αφορά στην περιοχή επεξεργασίας 4 που αποτελεί και τη μεγαλύτερη σε έκταση περιοχή (2355 χλμ²), από το σύνολο των 12 κατηγοριών που αναγνωρίστηκαν στην περιοχή οι 10 αποτελούσαν τις σημαντικές για την μελέτη κατηγορίες της ταξινόμησης (Πίνακας 4.25).

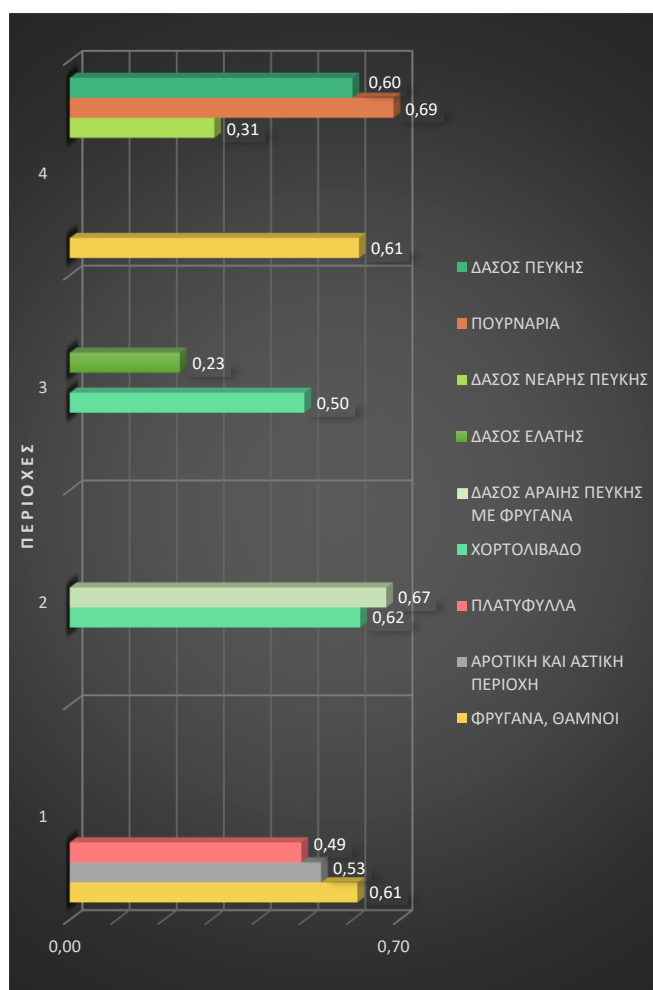
Πίνακας 4.25 Χαλκιδική σκηνή 4: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	✓
ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	✓
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	✓



Διάγραμμα 4.29 Χαλκιδική σκηνή 4: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Στο Διάγραμμα 4.29 παρατηρούμε ότι η χαμηλότερη ακρίβεια σημειώνεται στην τάξη «δάσος νεαρής πεύκης» (0,31) που αποτελεί ένδειξη μιας συμφωνίας μικρής ισχύος για την τάξη αυτή σε σχέση με τα δεδομένα αναφοράς. Μέτρια συμφωνία διαπιστώνεται για άλλες 2 τάξεις («δάσος πεύκης» και «φρύγανα, θάμνοι»). Οι υπόλοιπες κατηγορίες της ταξινόμησης για την περιοχή αυτή λαμβάνουν τιμές του δείκτη >69% και έως 95% («δάσος δρυός»).



Διάγραμμα 4.30 Τιμές του συντελεστή $k < 0,7$ για τις σημαντικές κατηγορίες ανά τμήμα επεξεργασίας της Χαλκιδικής

Στο Διάγραμμα 4.30 μπορούμε να διακρίνουμε ποιες από τις σημαντικές κατηγορίες των ταξινομήσεων και για ποια χωρική ενότητα επεξεργασίας έλαβαν τιμές του υπό όρους συντελεστή $k < 0,7$. Παρατηρείται ότι τη χαμηλότερη ακρίβεια παρουσιάζει η τάξη «δάσος ελάτης» και για την περιοχή 3. Σύμφωνα με τον πίνακα εκτιμήσεων της ακρίβειας (Πίνακας Δ 3) το σφάλμα ανάθεσης ανέρχεται σε 75% (ακρίβεια χρήστη 25%) γεγονός που σημαίνει ότι η κατηγορία αυτή έχει υποεκπροσωπηθεί στην περιοχή 3. Το ίδιο ισχύει και για την τάξη «δάσος νεαρής πεύκης» στην περιοχή 4 όπου παρουσιάζονται διαφορές στις τιμές μεταξύ ακρίβειας παραγωγού και χρήστη (78,57% και 31,43% αντίστοιχα). Οι κατηγορίες με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης τιμών $< 0,7$ (σε 2 από τις 4 περιοχές) είναι: «χορτολίβαδα» και «φρύγανα, θάμνοι» για τις περιοχές 2 & 3 και 1 & 4 αντίστοιχα.

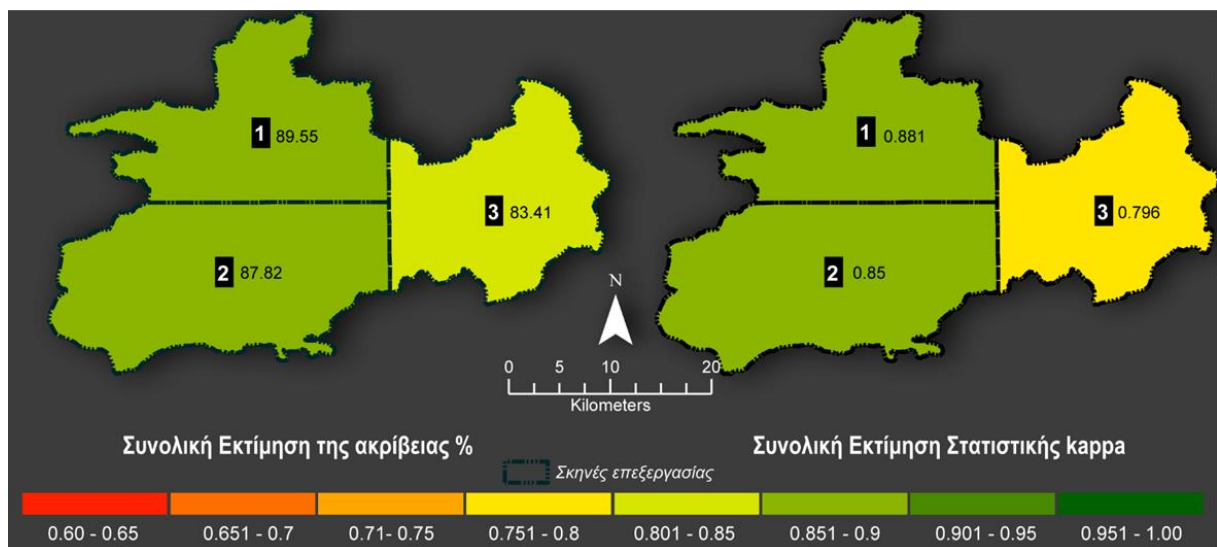
Από τις παραπάνω κατηγορίες, οι ακόλουθες παρουσιάζουν επίσης χαμηλή τιμή ακρίβειας για το σύνολο της περιοχής της Χαλκιδικής: «φρύγανα, θάμνοι» ($k = 0,66$), «δάσος νεαρής πεύκης» ($k = 0,3$) και «δάσος ελάτης» ($k = 0,25$) (Διάγραμμα 4.3). Πέρα από την κατηγορία «φρύγανα, θάμνοι» που εκπροσωπείται από όλες τις περιοχές επεξεργασίας, η

κατηγορία «δάσος νεαρής πεύκης» εκπροσωπείται μόνο στην περιοχή 4, ενώ η κατηγορία «δάσος ελάτης» μόνο στην περιοχή 3 και καταλαμβάνουν έκταση 31,67 χλμ.² και 2,15 χλμ.² αντίστοιχα, δηλαδή το 0,94% και 0,064% του συνολικού εδάφους της Χαλκιδικής.

Ωστόσο παρατηρώντας το Διάγραμμα 4.3 που παρουσιάζει τις τιμές του υπό όρους συντελεστή Karra για την ακρίβεια κάθε κατηγορίας ταξινόμησης για το σύνολο της Χαλκιδικής, βλέπουμε ότι η τάξη «γυμνά εδάφη» αποτελεί επίσης μια τάξη με χαμηλή ακρίβεια (karra 0,57). Η τάξη αυτή λαμβάνει εξαιρετικά χαμηλές τιμές ακρίβειας στις 3 από τις 4 σκηνές επεξεργασίας (περιοχή 1: 0,66, περιοχή 2: 0,65 και περιοχή 4: 0,48) (Πίνακας Δ 3).

Η τάξη που αντιπροσωπεύει το ανθρωπογενές περιβάλλον έλαβε μια χαμηλή τιμή ακρίβειας (0,53) για την περιοχή επεξεργασίας 1. Η τάξη αυτή αποτελεί περίπου το 40% της συνολικής έκτασης της περιοχής αυτής (Εικόνα 4.8) γεγονός που μπορεί να ερμηνεύσει και την χαμηλή ακρίβεια που παρουσιάζει ολόκληρη η περιοχή επεξεργασίας 1.

4.2.2.3.4 Δυτική Αττική



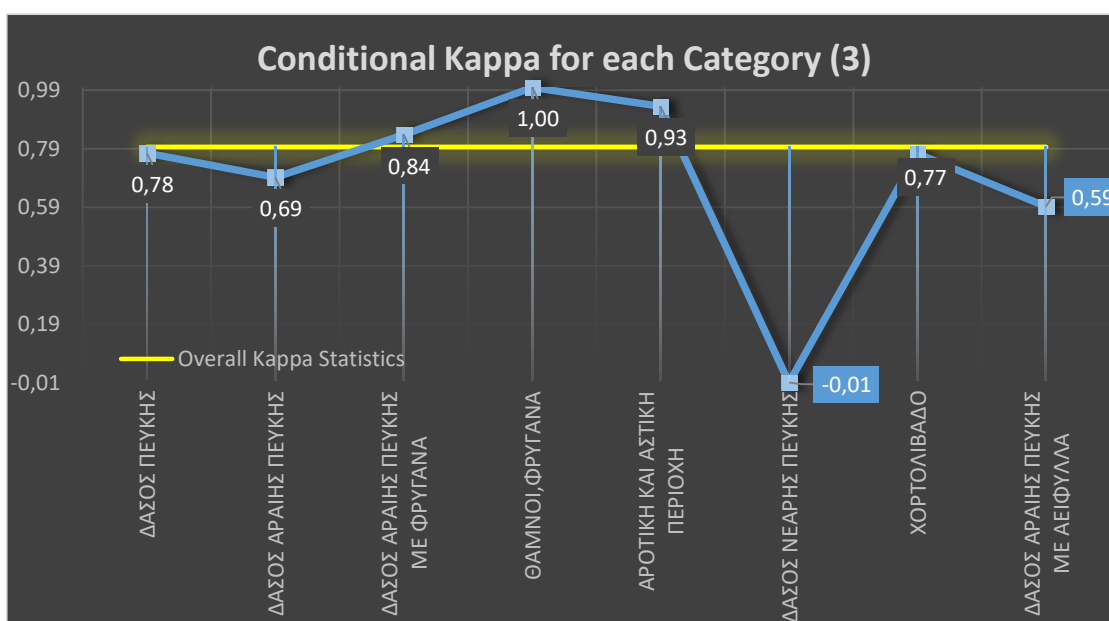
Εικόνα 4.24 Χάρτες σύγκρισης συνολικής ακρίβειας και στατιστικής karra των ταξινόμησηων για κάθε σκηνή επεξεργασίας της Δυτικής Αττικής

Η αξιολόγηση της ακρίβειας για την περιφερειακή ενότητα της Δυτικής Αττικής παρουσίασε παρόμοιο χωρικό μοτίβο όταν οι μετρήσεις για την αξιολόγηση υπολογίστηκαν για κάθε ξεχωριστή μονάδα επεξεργασίας όπως διαφαίνεται στην Εικόνα 4.24. Για τις σκηνές επεξεργασίας 1 & 2 δεν διακρίνεται τοπική διαφοροποίηση της ακρίβειας και για τις δύο μετρήσεις (συνολική ακρίβεια και συνολική εκτίμηση στατιστικής karra). Οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν ακρίβεια >85%, και αντιστοιχούν στο 72% της συνολικής έκτασης της Δυτικής Αττικής. Η σκηνή επεξεργασίας 3 λαμβάνει τη χαμηλότερη εκτίμηση ακρίβειας που ανέρχεται σε 0,79 (karra) ή 83,4% (συνολική εκτίμηση).

Για τη διερεύνηση της ακρίβειας για κάθε κατηγορία της ταξινόμησης που θεωρείται σημαντική για την μελέτη για την περιοχή 3 σύμφωνα με τον πίνακα (Πίνακας 4.26), δημιουργήθηκε το Διάγραμμα 4.31.

Πίνακας 4.26 Δυτική Αττική σκηνή 3: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΘΑΜΝΟΙ,ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	✓



Διάγραμμα 4.31 Δυτική Αττική σκηνή 3: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Στο Διάγραμμα 4.31 παρατηρείται ότι η κατηγορία «δάσος νεαρής πεύκης» εμφανίζει αρνητική τιμή του δείκτη, αντιπροσωπεύοντας μεγάλη τυχαιότητα. Η ταξινόμηση των εικονοστοιχείων στην τάξη αυτή για την περιοχή 3 θεωρείται ανεπαρκής. Μέτρια συμφωνία με τους χάρτες αναφοράς σημειώνει και η τάξη «δάσος αραιής πεύκης με αείφυλλα» (0,59). Οι υπόλοιπες κατηγορίες για αυτή την περιοχή επεξεργασίας σημείωσαν ακρίβεια > 70% με την υψηλότερη να σημειώνεται για την κατηγορία «θάμνοι, φρύγανα». Ωστόσο και οι τρεις

αυτές κατηγορίες (δηλ. νεαρή πεύκη, αραιή πεύκη με αείφυλλα και θάμνοι, φρύγανα) αποτελούν τις κατηγορίες με τη μικρότερη εκπροσώπηση στην περιοχή αυτή, καταλαμβάνοντας στο σύνολό τους μόλις το 2,7% της συνολικής έκτασης της περιοχής επεξεργασίας 3.

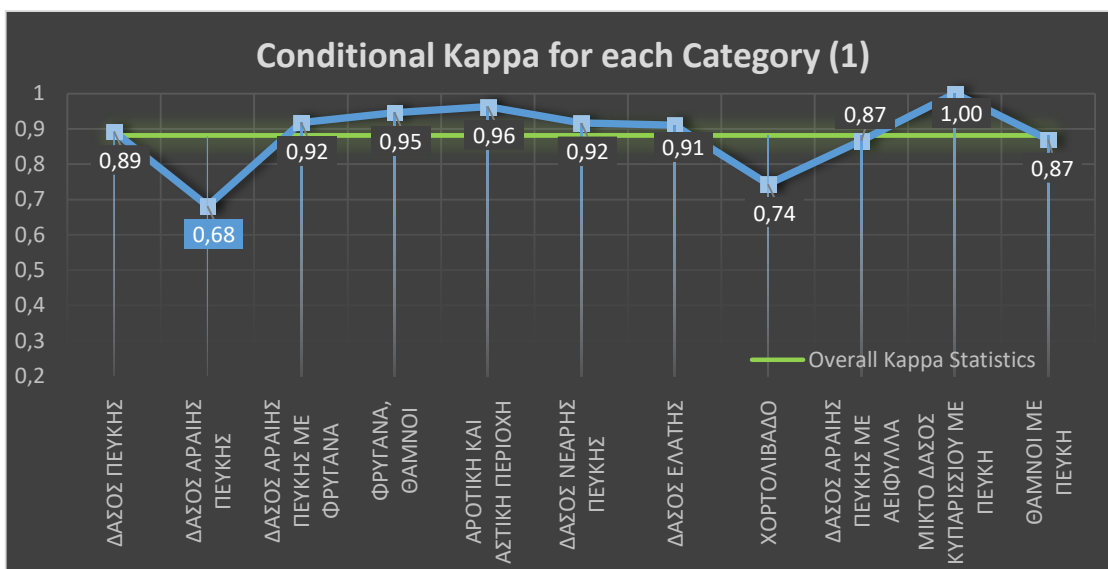
Για τις σκηνές επεξεργασίας 1 και 2 οι κατηγορίες που θεωρούνται σημαντικές για κάθε σκηνή παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.27 & Πίνακας 4.28).

Πίνακας 4.27 Δυτική Αττική σκηνή 1: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	✓
ΜΙΚΤΟ ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	✓
ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	✓

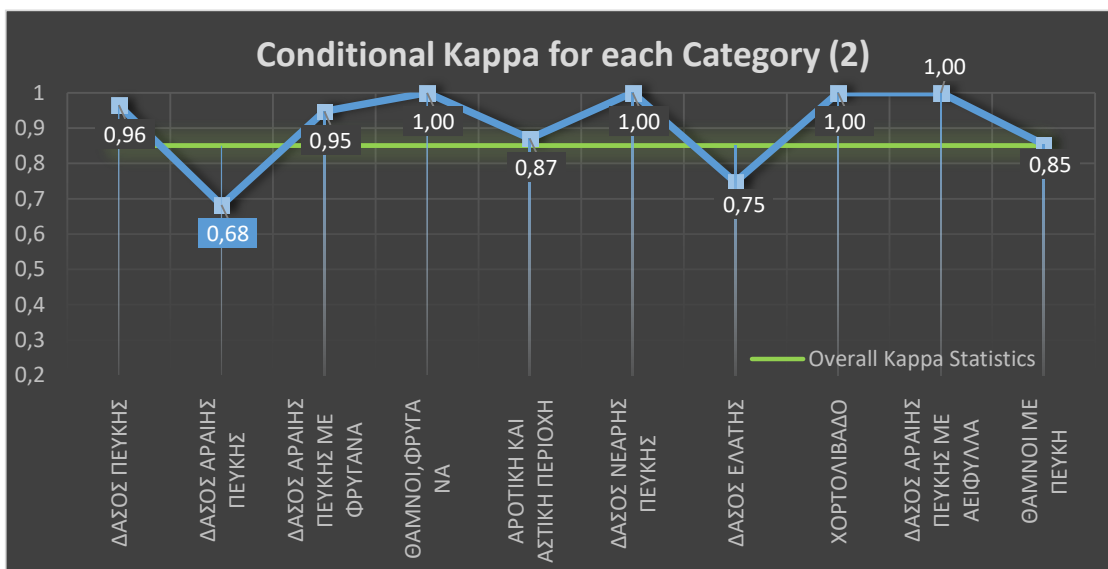
Πίνακας 4.28 Δυτική Αττική σκηνή 2: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΘΑΜΝΟΙ, ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	✓
ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	✓
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	



Διάγραμμα 4.32 Δυτική Αττική σκηνή 1: Ο υπό όρους συντελεστής Κιττα για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

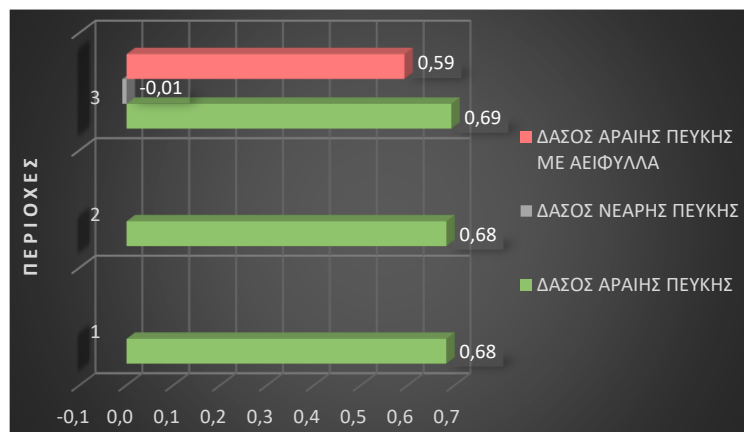
Στο Διάγραμμα 4.32 μπορούμε να διακρίνουμε τις τιμές των σημαντικότερων κατηγοριών για τον συντελεστή Κιττα στην περιοχή επεξεργασίας 1. Η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης» θεωρείται η κατηγορία με τη χαμηλότερη ακρίβεια για αυτή την περιοχή με τιμή 0,68. Ακολουθεί η κατηγορία «χορτολίβαδο» με 0,74 ενώ οι υπόλοιπες κατηγορίες εμφανίζουν ακρίβεια > 85%.



Διάγραμμα 4.33 Δυτική Αττική σκηνή 2: Ο υπό όρους συντελεστής Κιττα για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης» έλαβε την ίδια εκτίμηση ακρίβειας (0,68) και στην σκηνή επεξεργασίας 2 όπως διαφαίνεται στο Διάγραμμα 4.33, αποτελώντας και για αυτή την περιοχή την τάξη με την μικρότερη ακρίβεια. Η κατηγορία «δάσος ελάτης» έλαβε τιμή 0,75

ενώ οι υπόλοιπες σημαντικές για την ταξινόμηση κατηγορίες εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες από την συνολική εκτίμηση της στατιστικής $kappa$ για την περιοχή αυτή ($> 0,85$).



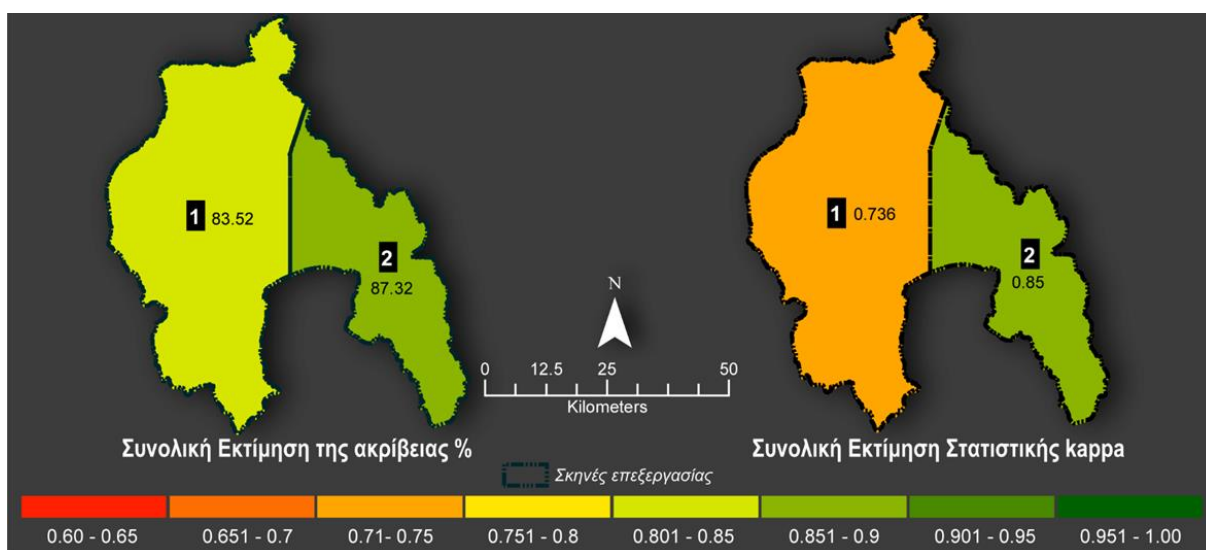
Διάγραμμα 4.34 Τιμές του συντελεστή $kappa < 0,7$ για τις σημαντικές κατηγορίες ανά τμήμα επεξεργασίας της Δυτικής Αττικής

Στο Διάγραμμα 4.34 παρατηρούμε ότι η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης» εμφανίζει τιμές του συντελεστή $kappa$ λίγο μικρότερες από το 0,7 και για τις τρεις χωρικές μονάδες επεξεργασίας. Επιπλέον η σκηνή επεξεργασίας 3 περιλαμβάνει τις τάξεις «δάσος αραιής πεύκης με αείφυλλα» με 0,59 και «δάσος νεαρής πεύκης» με -0,01 συγκεντρώνοντας το μεγαλύτερο πλήθος σημαντικών τάξεων με τιμές του συντελεστή $< 0,7$ σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο περιοχές.

Όπως είναι αναμενόμενο η τάξη «δάσος αραιής πεύκης» είναι και η τάξη με τη χαμηλότερη ακρίβεια για το σύνολο της περιοχής της Δυτικής Αττικής ($kappa$ 0,69) (Διάγραμμα 4.4) καθώς εμφανίζει χαμηλή τιμή του συντελεστή $kappa$ και για τις τρεις χωρικές μονάδες επεξεργασίας. Η τάξη αυτή αντιπροσωπεύει το 19,5% του συνόλου των τάξεων για την περιοχή της Δυτικής Αττικής.

4.2.2.3.5 Μεσσηνία

Η αξιολόγηση της ακρίβειας ανά χωρική μονάδα επεξεργασίας για την περιφερειακή ενότητα της Μεσσηνίας απέδωσε τους χάρτες που παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.25. Σύμφωνα με τις μετρήσεις συνολικής εκτίμησης και συνολικής εκτίμησης της στατιστικής $kappa$, το ανατολικό τμήμα της Μεσσηνίας (σκηνή επεξεργασίας 2) εμφανίζει υψηλότερη ακρίβεια που ανέρχεται σε 87,3% και 0,85 για τις αντίστοιχες μετρήσεις. Η σκηνή επεξεργασίας 1 σημείωσε ακρίβεια 83,53% ή 0,73 (για τις αντίστοιχες μετρήσεις).



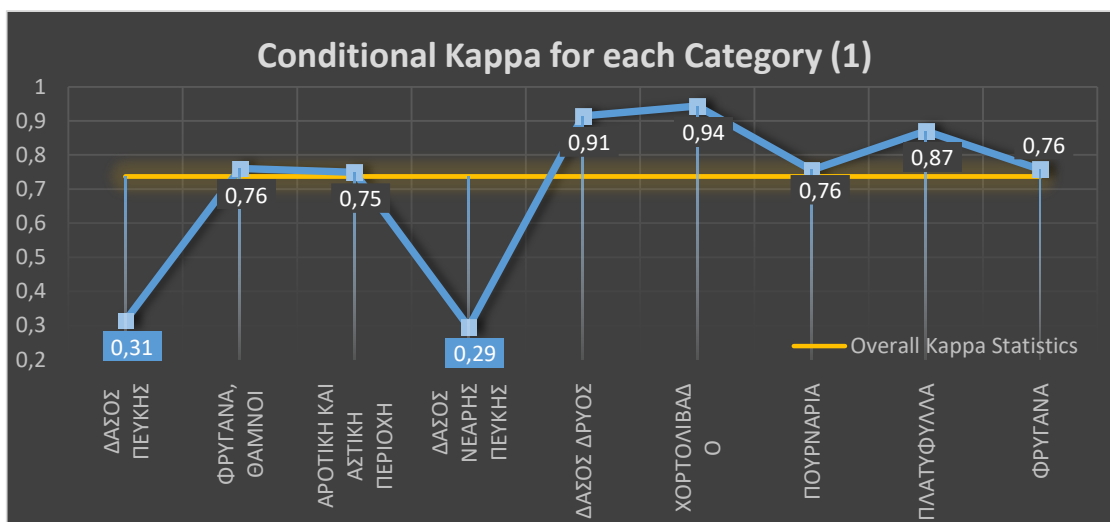
Εικόνα 4.25 Χάρτες σύγκρισης συνολικής ακρίβειας και στατιστικής kappa των ταξινομήσεων για κάθε σκηνή επεξεργασίας της Μεσσηνίας

Περαιτέρω διερευνήθηκαν οι διακυμάνσεις των τιμών του συντελεστή kappa που αφορούν στις σημαντικές τάξεις για κάθε σκηνή επεξεργασίας όπως πραγματοποιήθηκε και για όλες τις υπόλοιπες περιοχές μελέτης.

Για τη σκηνή επεξεργασίας 1 σημαντικότερες θεωρήθηκαν 9 από τις 12 τάξεις που λαμβάνουν χώρα σε αυτή την περιοχή σύμφωνα με το σχήμα της ταξινόμησης (Πίνακας 4.29).

Πίνακας 4.29 Μεσσηνία σκηνή 1: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	✓
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	



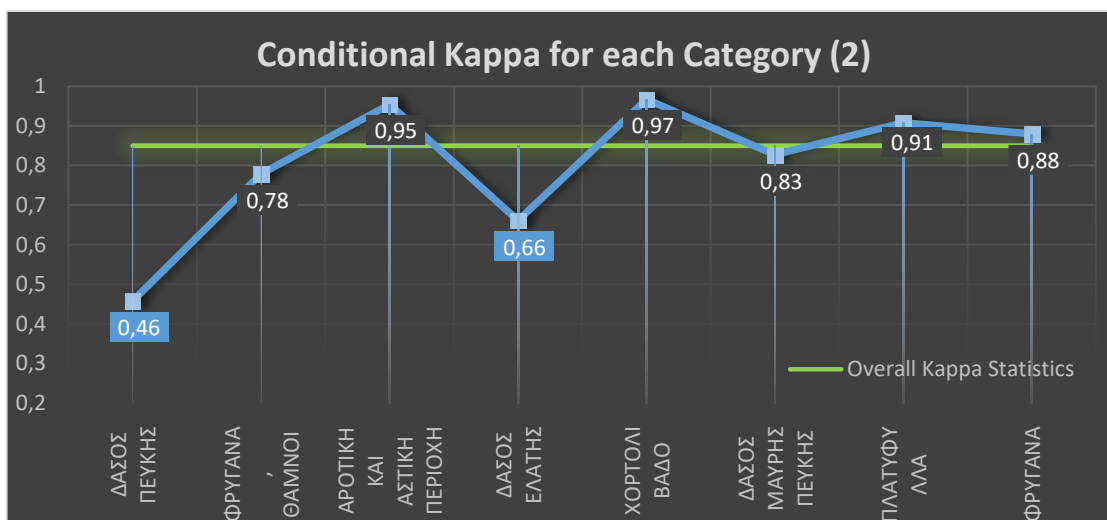
Διάγραμμα 4.35 Μεσογειακή σκηνή 1: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών

Οι τάξεις για την σκηνή επεξεργασίας 1 που απέφυγαν μόνο κατά 29% και 31% την συμφωνία με τους χάρτες αναφοράς λόγω τυχαιότητας είναι οι τάξεις «δάσος νεαρής πεύκης» και «δάσος πεύκης» αντίστοιχα. Οι υπόλοιπες σημαντικότερες κατηγορίες σημειώνουν τιμές του συντελεστή > 75% με την μεγαλύτερη τιμή να σημειώνεται για την κατηγορία «χορτολίβαδο» (Διάγραμμα 4.35).

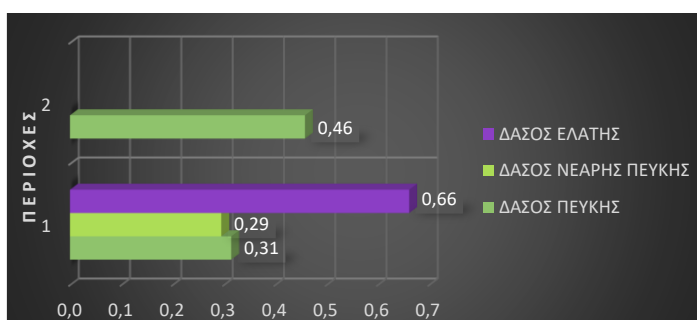
Όσον αφορά στην σκηνή επεξεργασίας 2 οι τιμές για τις σημαντικότερες τάξεις της ταξινόμησης (Πίνακας 4.30) του συντελεστή kappa, καταδεικνύουν όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4.36 μια μέτρια συμφωνία με τους χάρτες αναφοράς για 2 κατηγορίες («δάσος πεύκης» και «δάσος ελάτης»). Ενώ η ακρίβεια των υπόλοιπων τάξεων υπολογίζεται να είναι > 78%, με την μεγαλύτερη τιμή να σημειώνεται για την κατηγορία «χορτολίβαδο» όπως και για τη σκηνή επεξεργασίας 1.

Πίνακας 4.30 Μεσογειακή σκηνή 2: Σχήμα ταξινόμησης και σημαντικότερες κατηγορίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	✓
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	✓
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	✓
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	✓
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	✓
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	✓
ΦΡΥΓΑΝΑ	✓
ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΥΚΗ	



Διάγραμμα 4.36 Μεσοημία σκηνή 2: Ο υπό όρους συντελεστής Kappa για την ακρίβεια των σημαντικών κατηγοριών



Διάγραμμα 4.37 Τιμές του συντελεστή kappa < 0,7 για τις σημαντικές κατηγορίες ανά τμήμα επεξεργασίας της Μεσοημίας

Συνοψίζοντας όσον αφορά στις σκηνές επεξεργασίας της Μεσοημίας, παρατηρείται ότι και για τις δύο χωρικές ενότητες η κατηγορία «δάσος πεύκης» αποτελεί μια κατηγορία με χαμηλή τιμή αξιολόγησης της ακρίβειας για το συντελεστή kappa. Επιπλέον η τάξη «δάσος νεαρής πεύκης» εμφανίζει τη μικρότερη τιμή της ακρίβειας από το σύνολο των σημαντικών κατηγοριών για την περιοχή 1. Η σκηνή επεξεργασίας 1 λαμβάνει τιμή του συντελεστή <70% και για μια ακόμη κατηγορία, αυτή του δάσους ελάτης με τιμή 0,66.

Οι παραπάνω κατηγορίες είναι και οι κατηγορίες με τη χαμηλότερη ακρίβεια για το σύνολο της περιφερειακής ενότητας της Μεσοημίας σύμφωνα με τον υπολογισμό του συντελεστή kappa υπό όρους για κάθε κατηγορία της ταξινόμησης της Μεσοημίας (Διάγραμμα 4.5). Βέβαια για τις κατηγορίες «δάσος νεαρής πεύκης» και «δάσος ελάτης» αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς αυτές οι κατηγορίες βλάστησης μπορούν να ιδωθούν μόνο σε μια από τις δυο περιοχές επεξεργασίας (ενότητα επεξεργασίας 1 και 2 αντίστοιχα). Η κατηγορία «δάσος πεύκης» σημειώνει χαμηλές τιμές του συντελεστή kappa για το σύνολο των περιοχών επεξεργασίας.

5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Τρέχουσα έρευνα και συνεισφορά της διατριβής

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ για την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την ακριβή χαρτογράφηση της βλάστησης για 5 περιοχές της Ελλάδας ($\approx 10,000$ χλμ²). Με βάση τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων εκχωρήθηκαν τα χαρακτηριστικά των καυσίμων σε κάθε κατηγορία βλάστηση και δημιουργήθηκαν χάρτες μοντέλων καύσιμης ύλης οι οποίοι αποτέλεσαν τις κύριες εισροές σε ένα σύστημα διαχείρισης δασικών πυρκαγιών. Η «σύνδεση» ή «έμμεση χαρτογράφηση με δεδομένα Τηλεπισκόπησης» είναι η πιο συνηθισμένη προσέγγιση χαρτογράφησης της καύσιμης ύλης στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης είναι ότι: 1) οι δορυφορικές εικόνες είναι πιο κατάλληλες για τη διαφοροποίηση των τύπων βλάστησης παρά των τύπων καυσίμων, 2) σε μια κατηγορία βλάστησης μπορούν να οριστούν πολλές ιδιότητες του καυσίμου, ενώ 3) η δημιουργία χαρτών βλάστησης μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και για άλλες εφαρμογές των φυσικών πόρων.

Η ανασκόπηση της τρέχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με την χρήση της Τηλεπισκόπησης στην ταξινόμηση ειδών βλάστησης, καταδεικνύει ότι ο κυρίαρχος σκοπός των περισσότερων εργασιών είναι η αξιολόγηση των δυνατοτήτων ενός συγκεκριμένου τύπου αισθητήρα ή ενός αλγόριθμου για την μεγιστοποίηση της ακρίβειας της ταξινόμησης συνήθως σε μια μικρή περιοχή δοκιμής (Fassnacht et al., 2016). Αυτό συνδέεται με έναν από τις πιο προφανείς περιορισμούς στην τρέχουσα γνώση. Η αξία αυτών των εργασιών είναι περιορισμένη, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις η γενίκευση των αναφερόμενων αποτελεσμάτων δεν είναι δυνατή.

Οι περισσότερες από τις προσεγγίσεις δοκιμής σε μια μικρή περιοχή δεν λαμβάνουν υπόψη μια μεγάλη ποικιλία οικολογικών συνθηκών. Επιπλέον, η επιλογή των περιοχών δοκιμής ή τουλάχιστον των συλλεγόμενων δεδομένων αναφοράς σε πολλές περιπτώσεις περιλαμβάνουν προκατάληψη λόγω των ιδανικών συνθηκών στις περιοχές δοκιμής (ομαλό ανάγλυφο, πυκνές συστάδες, μικρός βαθμός μίξης ειδών, αραιός αριθμός ηλικιακών κατηγοριών, ομογένεια δασοκομικών πρακτικών, εύκολη πρόσβαση) (Fassnacht et al., 2016). Εργασίες που να στοχεύουν σε μεγαλύτερες γεωγραφικές εκτάσεις γενικώς υπό εκπροσωπούνται και σπάνια έχουν αντιμετωπιστεί τα προβλήματα που ανακύπτουν (όπως αυτά που συζητήθηκαν στις ενότητες 2.5.3 και 2.5.7).

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα που ανακύπτουν, είναι ότι η ανακλαστικότητα του θόλου είναι πάντα μια σύνθετη αλληλεπίδραση των φασματικών ιδιοτήτων του φυλλώματος με άλλες πηγές μεταβλητότητας συμπεριλαμβανομένων των ατμοσφαιρικών επιδράσεων, του πρότυπου σκιάς, της σύνθεσης του εδάφους κάτω από το θόλο και του θορύβου από το δέκτη. Με τη χρήση δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης και μεγάλης έκτασης, η αυτοματοποιημένη ταξινόμηση γίνεται ακόμη πιο πολύπλοκο έργο. Η ακραία ετερογένεια της εικόνας έχει ως αποτέλεσμα είδη που εκπροσωπούν μια θεματική κατηγορία στην πραγματικότητα να αποτελούνται από έναν αριθμό εικονοστοιχείων με διαφορετικές ψηφιακές τιμές.

Επιπλέον, σε περιοχές με πολυσύνθετα, ετερογενή τοπία όπως οι 5 περιοχές μελέτης στην παρούσα διατριβή (Ρόδος, Καστοριά, Χαλκιδική, Δυτική Αττική και Μεσσηνία), αυξάνεται επιπλέον η μεταβλητότητα στο φασματικό χώρο των δεδομένων, με αποτέλεσμα να προστίθενται νέα ζητήματα που συνδέονται με τα δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, λόγω της επίδρασης της ετερογένειας ως εγγενούς φύσης των περιοχών μελέτης (2.5.3.2).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η σχεδίαση της ταξινόμησης βασίστηκε στην τμηματοποίηση των περιοχών μελέτης, όπου κάθε επιμέρους τμήμα αντιπροσώπευε μια ξεχωριστή χωρική οντότητα αναφοράς, εντός της οποίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα εκπαίδευσης για την παραμετροποίηση του ταξινομητή της Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη περιβαλλοντικές, φαινολογικές και διαχειριστικές ιδιότητες για τις επιμέρους χωρικές ενότητες μιας μεγάλης σε έκταση περιοχής μελέτης.

Ένα πρόσφατο αντίστοιχο παράδειγμα μιας χωρικά προσαρμοζόμενης προσέγγισης ταξινόμησης με την χρήση δεδομένων RapidEye και SPOT4 & 5 έχει παρουσιαστεί από τους Stoffels κ.α. (Stoffels et al., 2015). Η περιοχή εφαρμογής της εργασίας των Stoffels κ.α. (2015) είναι το ομόσπονδο κρατίδιο της Ρηνανίας-Παλατινάτου, στη δυτική Γερμανία που καλύπτει μια έκταση περίπου 19.850 χλμ². Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές παρατηρήσεις από δύο

διαφορετικά φαινολογικά στάδια: εμφάνιση των φύλλων την άνοιξη (Απρίλιος - Μάιος), έναντι βέλτιστης ανάπτυξης των δένδρων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Ιούλιος-Αύγουστος-Σεπτέμβριος). Αναπτύχθηκε μια χωρικά προσαρμοζόμενη εκδοχή του ταξινομητή της Μέγιστης Πιθανοφάνειας για την χαρτογράφηση 4 επιπέδων πληροφορίας: δάσος / μη δάσος, τύπος δασών, κατανομή ειδών δένδρων και είδη δένδρων με τα στάδια ανάπτυξής τους. Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε 22 τμήματα επεξεργασίας. Όλα τα δεδομένα κατάρτισης αντλήθηκαν αυτόματα από την επίσημη βάση δασικών δεδομένων της κρατικής δασικής διοίκησης.

5.1.1 Ταξινόμηση υψηλής χωρικής ανάλυσης στην κλίμακα Φυσικό / Ανθρωπογενές περιβάλλον

Στην παρούσα διατριβή το πρώτο επίπεδο πληροφορίας αφορούσε στη διαστρωμάτωση σε φυσικό/ανθρωπογενές περιβάλλον, προκειμένου η ανάλυση να επικεντρωθεί μόνο στις περιοχές φυσικής βλάστησης. Για τις περιοχές Χαλκιδική και Δυτική Αττική χρησιμοποιήθηκαν διανυσματικά δεδομένα από άλλες πηγές που είχαν παραχθεί μέσω φωτοερμηνείας και ψηφιοποίησης και αφορούσαν τμήματα των περιοχών αυτών σε συνδυασμό με δεδομένα Corine 2000. Ενώ για την περιοχή της Μεσσηνίας χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά το Corine 2000.

Ωστόσο ένας επιμέρους στόχος αποτελούσε η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας ταξινόμησης υψηλής χωρικής ανάλυσης στην κλίμακα φυσικό/ανθρωπογενές περιβάλλον. Οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στο ελληνικό τοπίο, δεν δείχνουν κάποιου είδους οργάνωση ή περιορισμούς: π.χ. άναρχη δόμηση, οικισμοί κατά μήκος κοιλάδων, κοντά στις κοίτες ποταμών, σε απότομες εδαφικές κλίσεις, ενώ οι καλλιεργούμενες περιοχές αποτελούν συνήθως ιδιαίτερα κατακερματισμένα τοπία με ετερογενείς τύπους καλλιέργειας και μη σαφή σχήματα και όρια.

Δεν αποτελεί έκπληξη λοιπόν ότι η αυτοματοποιημένη ταξινόμηση με βάση αντικείμενα βρέθηκε να είναι ακατάλληλη με την χρήση δεδομένων RapidEye για την ταξινόμηση του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι δεν ήταν δυνατόν με βάση τα δεδομένα τηλεπισκόπησης των δύο εποχών που είχαμε στην διάθεσή μας να εφαρμόσουμε συγχώνευση των πολυφαινολογικών εικόνων σε μία και έπειτα ταξινόμηση. Για παράδειγμα οι Stoffels κ.α. (2015) χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ISODATA πραγματοποίησαν μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση των πολυφαινολογικών εικόνων, και εν συνεχεία ανέθεσαν τις προκύπτουσες φασματικές τάξεις στις κατηγορίες δάσος μη δάσος με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών υψηλής ανάλυσης. Η συνολική ακρίβεια αυτής της μεθόδου ανήλθε σε 93%. Οι δορυφορικές εικόνες των δύο εποχών που είχαμε στην διάθεσή μας δεν

αντιστοιχούσαν κατ' ανάγκη στις καλλιεργητικές περιόδους κάθε περιοχής μελέτης με αποτέλεσμα να εμφανίζονται για παράδειγμα αναδυόμενες καλλιέργειες για την επόμενη καλλιεργητική περίοδο σε εικόνες της περιόδου ξηρασίας της πράσινης βιομάζας, ή να υπάρχουν τύποι καλλιεργειών με παρόμοια φαινολογική εξέλιξη σε όλη τη διαθέσιμη σεζόν.

Αναπτύχθηκε μια προσέγγιση ημί αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης των υψηλής χωρικής ανάλυσης εικόνων για την εξαγωγή του πρώτου επιπέδου πληροφορίας που εφαρμόστηκε στις περιοχές της Ρόδου και της Καστοριάς. Με επιτυχία διαφοροποιήθηκαν και ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα που αφορούσαν τα αγροτεμάχια και τις αστικές περιοχές για τις περιοχές Ρόδου και Καστοριάς, κάτω από μια ποικιλία δύσκολων συνθήκων. Η εκτίμηση της ακρίβειας για το ανθρωπογενές περιβάλλον των περιοχών Ρόδου και Καστοριάς παρουσιάζει πολύ μικρά ποσοστά σφάλματων παράλειψης (1,6% για τη Ρόδο και 1,35% για την Καστοριά) και ανάθεσης (0,5% για τη Ρόδο και 1,35% για την Καστοριά), ενώ ο συντελεστής kappa βρέθηκε ίσος με 0,99 για τη Ρόδο και 0,98 για την Καστοριά. Επιπλέον έπειτα από την ανάλυση της ακρίβειας για κάθε χωρική μονάδα επεξεργασίας η τάξη που εκπροσωπεί το ανθρωπογενές περιβάλλον παρουσιάζει μια συνεπή ακρίβεια μεταξύ των ξεχωριστών μονάδων επεξεργασίας των παραπάνω περιοχών μελέτης. Για τις υπόλοιπες περιοχές όπου χρησιμοποιήθηκαν διανυσματικά δεδομένα από άλλες πηγές, ο συντελεστής kappa βρέθηκε ίσος με 0,71 για την Χαλκιδική, 0,92 για την Δυτική Αττική και 0,81 για την Μεσσηνία.

Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου δείχνει να έχει σημαντική επίπτωση στα αποτελέσματα της ακρίβειας καθώς η συνολική ακρίβεια βρέθηκε ίση με 88,13% για την Ρόδο και 89,51% για την Καστοριά που αποτελούν και τις περιοχές με την υψηλότερη τιμή ακρίβειας μεταξύ των περιοχών μελέτης. Η συνολική ακρίβεια των υπόλοιπων περιοχών ανήλθε σε 78,49% για την Χαλκιδική, 87,41% για την Δυτική Αττική και 84,72% για την Μεσσηνία. Ωστόσο προκειμένου να υπολογιστεί η στατιστική σημαντικότητα της θετικής επίδρασης στα ποσοστά ακρίβειας των ταξινομήσεων θα πρέπει να πραγματοποιηθεί εκ νέου αξιολόγηση της ακρίβειας έπειτα από τη χρησιμοποίηση αντίστοιχων διανυσματικών δεδομένων όπως αυτών που χρησιμοποιήθηκαν στις υπόλοιπες περιοχές μελέτης για την εκπροσώπηση του μη φυσικού περιβάλλοντος.

Η πολύ μεγάλη συμφωνία μεταξύ των χαρτών αναφοράς σε συνδυασμό με τα οφέλη της αυτοματοποιημένης μεθόδου κατάτμησης (όπως αυτά που συζητήθηκαν στην ενότητα 3.7.2.2.1.1) οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η χειροκίνητη ταξινόμηση έπειτα από την αυτοματοποιημένη τμηματοποίηση χρησιμοποιώντας το eCognition®, θα μπορούσε να αντικαταστήσει την χειροκίνητη οριοθέτηση.

5.1.2 Χωρικά προσαρμοσμένη προσέγγιση ταξινόμησης φυσικής βλάστησης

Για την ταξινόμηση των ειδών φυσικής βλάστησης, χρησιμοποιήθηκε ο ταξινομητής μέγιστης πιθανοφάνειας με χωρική προσαρμογή σε επιμέρους τμήματα της περιοχής μελέτης και εξαγωγή πληροφοριών σε κλίμακα υπό - εικονοστοιχείου για την παραγωγή μιας «ήπιας» ταξινόμησης.

Σε σχέση με την συνολική εκτίμηση της ακρίβειας 88,13% για το σύνολο της περιοχής της Ρόδου η συνολική εκτίμηση της ακρίβειας για κάθε επιμέρους μονάδα επεξεργασίας κυμάνθηκε από 74% έως 94% για τα 9 τμήματα επεξεργασίας. Για τα 7 τμήματα επεξεργασίας της Καστοριάς η συνολική εκτίμηση της ακρίβειας κυμάνθηκε από 75,45% έως 96,77% ενώ για το σύνολο της περιοχής ανήλθε στο 89,51%. Από 75,41% έως 87,98% υπολογίστηκε η συνολική εκτίμηση της ακρίβειας για τα 4 τμήματα επεξεργασίας της Χαλκιδικής, ενώ για το σύνολο της περιοχής υπολογίστηκε ίση με 78.49%. Τέλος, για την Δυτική Αττική που σημείωσε συνολική ακρίβεια στο σύνολο της περιοχής 87,41% η συνολική εκτίμηση της ακρίβειας για τα 3 τμήματα επεξεργασίας κυμάνθηκε μεταξύ 83,41% και 89,55% ενώ τα δύο τμήματα επεξεργασίας της Μεσσηνίας κατέγραψαν συνολική ακρίβεια 83,52% και 87,32% με 84,72% για το σύνολο της Μεσσηνίας.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αξιολόγησης της ακρίβειας των 5 περιοχών εφαρμογής με αυτά της αντίστοιχης εργασίας των Stoffels κ.α. (2015), βλέπουμε ότι τόσο η συνολική ακρίβεια για το σύνολο κάθε περιοχής μελέτης όσο και η επιμέρους συνολική ακρίβεια ανά χωρική μονάδα επεξεργασίας είναι υψηλότερες. Η συνολική εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης σε επίπεδο ειδών των Stoffels κ.α. (2015) για ολόκληρη την περιοχή μελέτης βρέθηκε ίση με 83,51% ενώ η ακρίβεια μεταξύ των 22 μονάδων επεξεργασίας κυμάνθηκε από 69% έως 87%.

Η αξιολόγηση της ακρίβειας ανά χωρική μονάδα επεξεργασίας για κάθε περιοχή μελέτης ανέδειξε ότι η εφαρμογή αυτής της προσέγγισης ταξινόμησης είναι πιο επιτυχής για είδη βλάστησης που υπάρχουν σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης αλλά με διαφοροποιήσεις ανάλογα με τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες και την τοπογραφία. Η προτεινόμενη προσέγγιση θα μπορούσε να θεωρηθεί μερικώς έγκυρη για τάξεις με περιορισμένη εμφάνιση στα υπό - τμήματα επεξεργασίας, καθώς τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ακρίβειας ανά χωρική μονάδα επεξεργασίας καταδεικνύουν ότι οι σημαντικές αδυναμίες της ακρίβειας των παραγόμενων χαρτών κυρίως συσχετίζονται με τάξεις περιορισμένης εμφάνισης. Η διαπίστωση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τα ευρήματα της εργασίας των Stoffels κ.α. (2015).

Πιο συγκεκριμένα, για την περιοχή της Καστοριάς η κατηγορία που αξιολογήθηκε με την χαμηλότερη ακρίβεια ($kappa$ 0,64) «δάσος καστανιάς» είναι μια κατηγορία που εμφανίζεται μόνο σε ένα υπό - τμήμα επεξεργασίας. Επίσης για την περιοχή της Χαλκιδικής παρατηρείται ότι τη χαμηλότερη ακρίβεια παρουσιάζουν οι τάξεις «δάσος ελάτης» ($kappa$ 0,25) και «δάσος νεαρής πεύκης» ($kappa$ 0,3) που κάθε μια εκπροσωπείται μόνο σε μια σκηνή επεξεργασίας. Τέλος σύμφωνα με την αξιολόγηση της ακρίβειας για την περιοχή της Μεσσηνίας οι κατηγορίες «δάσος νεαρής πεύκης» και «δάσος ελάτης» έλαβαν τιμή του $kappa$ 0,23 και 0,66 αντίστοιχα και είναι επίσης τάξεις που μπορούν να ιδωθούν μόνο σε μια από τις δυο περιοχές επεξεργασίας της περιοχής αυτής.

Μια άλλη αδυναμία που μπορεί να παρατηρηθεί είναι όσον αφορά στον χαρακτηρισμό συστάδων με μίξεις διαφόρων ειδών ή με διαφορετική συγκόμωση και τύπο σήματος υποβάθρου. Η επίδοση του ταξινομητή για κατηγορίες ειδών που χαρακτηριζόταν από την πυκνότητα κόμης (π.χ. αραιή πεύκη) ή τη μίξη των ειδών σε σχέση με το σήμα υποβάθρου (π.χ. αραιή πεύκη με φρύγανα ή με αείφυλλα) θεωρείται μέτρια σε σύγκριση με την επίδοση του σε περιοχές με πυκνή βλάστηση. Η διαπίστωση αυτή έρχεται σε συμφωνία με την υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με τα ζητήματα που ανακύπτουν σχετικά με την χαρτογράφηση της βλάστησης με τη χρήση της τηλεπισκόπησης (2.5.5.1.2).

Πιο συγκεκριμένα, για την περιοχή της Ρόδου παρατηρήθηκε ότι η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης» όπου ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 21-50%, εμφάνισε τιμές του συντελεστή $kappa$ <0,7 (από 0,34 έως 0,67) σε 5 από τα 9 τμήματα επεξεργασίας. Η τάξη «δάσος αραιής πεύκης» αποτελεί την τάξη με τη μικρότερη τιμή του συντελεστή $kappa$ για το σύνολο της Ρόδου (τιμή 0,69). Σε 2 τμήματα επεξεργασίας η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης με φρύγανα» που αποτελείται κυρίως από διάσπαρτα δέντρα τραχείας πεύκης αλλά περιλαμβάνει και θάμνους καθώς και χαμόδεντρα στον υποόροφο, με πυκνότητα κάλυψης κόμης περίπου 51-80%, παρουσίασε τιμή του συντελεστή $kappa$ από 0,5 έως 0,66. Η κατηγορία «φρύγανα, θάμνοι» που περιγράφει εκτάσεις με χαμηλή και κλειστή κάλυψη που κυριαρχείται από σκληροφυλλική θαμνώδη βλάστηση (κυρίως φρύγανα) με πυκνότητα 51-80%, παρουσίασε τιμές ακρίβειας 0,66 και 0,63 για 2 περιοχές επεξεργασίας.

Για την περιοχή της Καστοριάς η κατηγορία «δάσος αραιής δρυός» (αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 51-80%) κυμάνθηκε μεταξύ 0,14 και 0,66 για 3 από τις 7 υπό-περιοχές επεξεργασίας. Αντιθέτως, τα δάση οξιάς όπου ο σχηματισμός βλάστησης αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 81-100% κατέγραψαν τιμές ακρίβειας του συντελεστή $kappa$ πάνω από το 0,78 για όλες τις σκηνές επεξεργασίας.

Στην Χαλκιδική, παρατηρήθηκε ότι η θαμνώδης βλάστησης (τάξη «φρύγανα, θάμνοι») με χαμηλή πυκνότητα 21-50% κατέγραψε μέτρια ακρίβεια ($kappa$ 0,66), ενώ αρκετά χαμηλή τιμή ακρίβειας ($kappa$ 0,3) έλαβε και η κατηγορία που εκπροσωπεί την βλάστηση που αποτελείται κυρίως από σκόρπια δέντρα νεαρής τραχείας πεύκης με πυκνότητα 1-20%.

Στην Δυτική Αττική η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης» που περιγράφει τη βλάστηση που αποτελείται κυρίως από δέντρα με πυκνότητα 21-50%, εμφανίζει τιμές του συντελεστή $kappa$ λίγο μικρότερες από το 0,7 και για τις τρεις χωρικές μονάδες επεξεργασίας. Η τάξη αυτή ήταν και αυτή με τη χαμηλότερη ακρίβεια για το σύνολο της περιοχής της Δυτικής Αττικής ($kappa$ 0,69). Επίσης, η κατηγορία «δάσος αραιής πεύκης με αείφυλλα» που περιγράφει τη βλάστηση που αποτελείται κυρίως από διάσπαρτα δέντρα τραχείας πεύκης αλλά περιλαμβάνει και αείφυλλους θάμνους καθώς και χαμόδεντρα στον υποόροφο, με πυκνότητα κάλυψης περίπου 51-80% έλαβε τιμή ίση με 0,59 σε ένα από τα τμήματα επεξεργασίας.

Τέλος, όσον αφορά τη Μεσσηνία, παρατηρείται ότι και για τις δύο χωρικές ενότητες επεξεργασίας η κατηγορία «δάσος πεύκης» αποτελεί μια κατηγορία με χαμηλή τιμή αξιολόγησης της ακρίβειας σύμφωνα με το συντελεστή $kappa$ (0,31 - 0,46). Η κατηγορία αυτή εκπροσωπεί τη βλάστηση που αποτελείται κυρίως από δέντρα πεύκης με μια μέτρια πυκνότητα 51-80%. Επιπλέον η τάξη «δάσος νεαρής πεύκης» αντιπροσωπεύοντας τη βλάστηση που αποτελείται από διάσπαρτα δέντρα νεαρής πεύκης με πυκνότητα κάλυψης 21-50% εμφανίζει μια μικρή τιμή ακρίβειας ($kappa$ 0,29) για την περιοχή επεξεργασίας 1 (δυτικό τμήμα της Μεσσηνίας).

Ένας πιθανός παράγοντας που μπορεί να εξηγήσει εν μέρει τα προβλήματα που σχετίζονται με την επιρροή του σήματος υποβάθρου και το χαρακτηρισμό των συστάδων με μίξεις ειδών είναι το αναπτυξιακό στάδιο των ειδών της βλάστησης. Πολλές φορές βλάστηση που βρίσκεται στη φάση ανάπτυξης και αναπτύσσεται στον υπό όροφο (κάτω από το δένδρο) μπορεί να θεωρηθεί ως ένα κύριο είδος.

5.1.3 Δια-εποχιακές χρονικές μεταβολές της βλάστησης

Προκειμένου να εντοπιστούν τυχών διά - εποχικές μεταβολές του χωρικού προτύπου της φυσικής βλάστησης εξαιτίας της αλληλεπίδρασης του φαινολογικού κύκλου και των κλιματολογικών συνθηκών εφαρμόστηκε μια «σκληρή» ταξινόμηση των περιοχών βλάστησης έναντι περιοχών χωρίς καθόλου βλάστηση με βάση τις τιμές του NDVI. Ωστόσο η επιλογή ενός κατωφλιού ή η κατηγοριοποίηση των τιμών NDVI, εμπειρικά χωρίς τη χρήση επιπρόσθετων πληροφοριών δεδομένων πεδίου, φαινολογικών παρατηρήσεων και φασματικών μετρήσεων μπορεί να είναι παρακινδυνευμένη, καθώς ο δείκτης NDVI παρουσιάζει μια σειρά περιορισμών.

Είναι καλά τεκμηριωμένο από διάφορες μελέτες ότι τα δεδομένα NDVI υφίστανται κορεσμό (saturation) σε υψηλές πυκνότητες βιομάζας ή υψηλής συγκόμωσης ή τιμές LAI με αποτέλεσμα οι τιμές του δείκτη να μην αυξάνονται ανάλογα με την ποσότητα χλωροφύλλης (Tucker, 1977; Todd et al., 1998; Gao et al., 2000; Mutanga & Skidmore, 2004; Gebhardt et al., 2012; Ramoelo et al., 2012).

Επιπλέον ο δείκτης βλάστησης NDVI μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες ιδιαίτερα για μεγάλες εκτάσεις. Σε γενικές γραμμές, υπόκειται σε γνωστούς και καλά τεκμηριωμένους περιορισμούς, όπως η κάλυψη του εδάφους, οι εδαφικοί τύποι και οι συνθήκες εδαφολογικής υγρασίας (ειδικά μετά από βροχόπτωση) (Huete et al., 1984; Ezra & Jackson, 1984; Huete et al., 1985; Kim & Yeom, 2012b; Tewes et al., 2015). Ξηρές ή υγρές συνθήκες της κάλυψης επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα λόγω των φασματικών χαρακτηριστικών της ζώνης εγγύς υπέρυθρου στην περιεκτικότητα υγρασίας.

Από πολλούς ερευνητές έχει αναφερθεί επίσης η ευαισθησία του NDVI στις ατμοσφαιρικές συνθήκες (Jackson et al., 1983; McDonald et al., 1998; Qi et al., 2000; Song et al., 2001; Van Leeuwen et al., 2006; Tewes et al., 2015). Το σήμα μπορεί να παρεμποδίζεται από το θόρυβο που προκύπτει από ποικίλες ατμοσφαιρικές συνθήκες (όπως τα σύννεφα, το όζον, οι υδρατμοί, η σκόνη και άλλα αερολύματα) και τη γεωμετρία προβολής του αισθητήρα και να επηρεάζουν τις ζώνες του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου με διαφορετικό τρόπο (Tewes et al., 2015; Van Leeuwen et al., 2006). Οι τιμές NDVI του γυμνού εδάφους και της πυκνής βλάστησης είναι συγκεκριμένες για κάθε περιοχή και εποχή, καθώς ο NDVI εξαρτάται μεταξύ άλλων, από το έδαφος και το είδος της βλάστησης καθώς και από το περιεχόμενο της χλωροφύλλης αλλά και την υγρασία του εδάφους (Price, 1992; Qi et al., 2000; Imukona et al., 2015).

Οι πληροφορίες που εξήχθησαν για τα στάδια ανάπτυξης της βλάστησης (μια δυναμικά μεταβαλλόμενη ιδιότητα) βασίστηκαν σε ζεύγη εικόνων 2 εποχών για τις οποίες οι ημερομηνίες λήψης δεν ήταν πάντα συμβατές με τα στάδια ανάπτυξης της βλάστησης στις

περιοχές μελέτης. Επιπλέον σε πολλές περιπτώσεις ένα μεγάλο ποσοστό νεφοκάλυψης δεν επέτρεψε την ανίχνευση αλλαγών της φυσικής βλάστησης για κάποια τμήματα των περιοχών μελέτης (χαρακτηριστικό παράδειγμα η Χαλκιδική).

Παρόλα αυτά, η μεθοδολογία θεωρείται αρκετά επιτυχής στην χαρτογράφηση των χορτολιβαδικών εκτάσεων όπου εμφανίζεται βλάστηση μόνο κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Η κατηγορία αυτή περιγράφει τα φυσικά λιβάδια των περιοχών μελέτης, όπου υπάρχει πυκνή κάλυψη από μια μεγάλη ποικιλία σε είδη χορταριών και λίγους διάσπαρτους θάμνους. Στις εκτάσεις αυτές περιλαμβάνονται και οι άγονοι (φυσικοί) βοσκότοποι με αυτοφυές χόρτο, που δεν εμφανίζουν κανονικά σύνορα αγροτεμαχίων. Οι εκτάσεις αυτές θεωρούνται οικότοποι με υψηλή αξία διατήρησης. Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με τη χρήση εικόνων πολλαπλών εποχών καθώς θα πρέπει να διαχωριστεί από τα γυμνά εδάφη και τις θαμνώδεις εκτάσεις. Για την Καστοριά ο συντελεστής kappa για την τάξη «χορτολίβαδα» βρέθηκε ίσος με 0,93, για την Χαλκιδική 0,74, για τη Δυτική Αττική 0,79 και για τη Μεσσηνία 0,96.

Επιπλέον, ενισχύθηκε η δυνατότητα διάκρισης και ακριβέστερης αποτύπωση του χωρικού πρότυπου των θόλων φυλλοβόλων δένδρων στις περιπτώσεις που ο φαινολογικός κύκλος εναρμονιζόταν με τις ημερομηνίες των εποχικών δεδομένων για τις μονάδες επεξεργασίας (π.χ. καστανιές στο Άγιο Όρος kappa 0,93). Ωστόσο προκειμένου να υπολογιστεί η στατιστική σημαντικότητα της θετικής επίδρασης στα ποσοστά ακρίβειας των ταξινομήσεων θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αξιολόγηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων πριν την εφαρμογή της εν λόγω μεθοδολογίας.

5.2 Γενικά συμπεράσματα και εμπειρικές παρατηρήσεις

Λαμβάνοντας υπόψη τη βιβλιογραφική έρευνα, την εμπειρία από την επεξεργασία δεδομένων υψηλής ανάλυσης και ταυτόχρονα μεγάλης έκτασης, την ελλιπή διαθεσιμότητα επιπρόσθετων πληροφοριών και δεδομένων επίγειας πραγματικότητας καθώς και την τελική έρευνα αξιολόγησης, αναγνωρίστηκαν κάποιοι παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την ακριβή ταξινόμηση της βλάστησης.

- Η ακρίβεια των παραγόμενων χωρικών επιπέδων πληροφορίας με τη χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα, τη συνοχή και τη διαθεσιμότητα δεδομένων. Γεγονός που έχει επισημανθεί από προηγούμενο άρθρο ανασκόπησης (Yu et al., 2014) (ενότητα 2.4.2.2).
- Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι η υψηλή ακρίβεια των παραγόμενων χαρτών εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα δορυφορικών παρατηρήσεων που να καλύπτουν μεγάλες περιοχές μέσα στο βέλτιστο χρονικά φαινολογικό παράθυρο. Η χαρτογράφηση της βλάστησης απαιτεί συστήματα παρακολούθησης με υψηλή χρονική ανάλυση προκειμένου να μπορούν να δημιουργηθούν χρονοσειρές δεδομένων, που να περιγράφουν επαρκώς τη δυναμική και τους διαφορετικούς φαινολογικούς κύκλους της βλάστησης. Το δορυφορικό σύστημα RapidEye με μια ευρεία λωρίδα παρατήρησης, υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση και με ένα εκτεταμένο σύνολο μπαντών, αποτελεί ένα υποψήφιο για τέτοιες μελέτες.
- Προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως οι άφθονες χωρικές πληροφορίες που είναι συνυφασμένες με δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις της υψηλής ενδοφασματικής διακύμανσης. Μια εφικτή στρατηγική για την αντιστάθμιση της μεγάλης μεταβλητότητας που παρουσιάζει η βλάστηση σε μια μεγάλη σε έκταση περιοχή, φαίνεται να είναι μια χωρικά προσαρμοσμένη προσέγγιση ταξινόμησης. Η χωρικά προσαρμοσμένη επιλογή δειγμάτων αναφοράς μπορεί να προσφέρει μια λύση στο πρόβλημα επίτευξης αποτελεσμάτων ταξινόμησης υψηλής ακρίβειας σε μεγάλες σε έκταση περιοχές, καθώς με την μέθοδο αυτή μπορούν να ξεπεραστούν ανακολουθίες στην περιγραφή των τάξεων που προκύπτουν από μεταβλητές οικολογικές συνθήκες.
- Μια χωρικά προσαρμοσμένη οργάνωση των δεδομένων αναφοράς πεδίου θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και την πρόσθετη απαίτηση προμήθειας πολύ χρονικών δορυφορικών δεδομένων στις βέλτιστες ημερομηνίες για την αποτύπωση του φαινολογικού κύκλου της βλάστησης στις μονάδες επεξεργασίας με διαφορετικό φαινολογικό κύκλο ανάπτυξης.

- Με τη χρήση εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης και ταυτόχρονα μεγάλης έκτασης απαιτείται πολύ περισσότερος χρόνος για την εφαρμογή της ανάλυσης. Τόσο τα πρωτογενή όσο και τα παραγόμενα αρχεία ήταν μεγάλου όγκου. Παρόλο που χρησιμοποιήθηκε Cloud Computing και λήφθηκαν υπόψη οι παράγοντες του όγκου των δεδομένων (ταξινόμηση σε υπό-τμήματα των περιοχών μελέτης) και η πολυπλοκότητα των χρησιμοποιούμενων αλγορίθμων (π.χ. μέγιστη πιθανοφάνεια), οι χρόνοι επεξεργασίας σε όλα τα στάδια της μεθοδολογίας ήταν αρκετά μεγάλοι.
- Σε περίπτωση που είτε λόγω κόστους είτε λόγω πρακτικών δυσκολιών (όπως η δυσκολία φυσικής πρόσβασης) στην εφαρμογή ενός αξιόπιστου σχήματος δειγματοληψίας, δεν υπάρχουν δεδομένα επίγειας πραγματικότητας που να πληρούν τους κανόνες της χωρικής στατιστικής και δειγματοληψίας πεδίου, η χρησιμοποίηση δωρεάν και εύκολα προσβάσιμων δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης, όπως αυτά που διατίθενται μέσω λογισμικών «Εικονικής Γης» αποτελούν μια καλή εναλλακτική. Ωστόσο υπάρχει η ανάγκη λεπτομερών πληροφοριών που να μπορούν να ληφθούν από το πεδίο ή από ανεξάρτητα σύνολα δεδομένων τηλεπισκόπησης. Ειδικότερα κατά την εφαρμογή μιας προσέγγισης χωρικά προσαρμοζόμενης ταξινόμησης, θα πρέπει να εξασφαλίζονται επαρκή δεδομένα αναφοράς για την διαδικασία της ταξινόμησης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή χωρική προσαρμογή των χαρακτηριστικών της βλάστησης.
- Η δομή του τοπίου της Γης και πολύ περισσότερο του Ελλαδικού χώρου είναι πολύπλοκη, και το γενικό πρότυπο διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Η χρησιμοποίηση χωρικών και φασματικών πληροφοριών με το συνδυασμό μεθόδων ταξινόμησης αντικειμένων και εικονοστοιχείων μπορεί να είναι μια περισσότερο αποδοτική προσέγγιση, ιδιαίτερα σε περιοχές με περίπλοκα και ετερογενή τοπία.
- Οι δυνατότητες των τεχνικών τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ μπορούν να έχουν συμπληρωματικό χαρακτήρα ή/και να αναπτυχθούν αλληλένδετα. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε περιλαμβάνει μια συνδυαστική χρησιμοποίηση αντικειμενοστραφών και ασαφών τεχνικών τηλεπισκόπησης, με την ταυτόχρονη χρησιμοποίηση τεχνικών ΓΣΠ για την ανάλυση αποθήκευση, οπτικοποίηση αλλά και ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας εξερεύνησης αλλαγών. Σε πολλά στάδια της ροής εργασιών χρησιμοποιήθηκαν αλληλένδετες διαδικασίες .
- Η προτεινόμενη προσέγγιση για τον εντοπισμό των διά - εποχικών μεταβολών του χωρικού προτύπου της φυσικής βλάστησης εξαιτίας της αλληλεπίδρασης του φαινολογικού κύκλου και των κλιματολογικών συνθηκών μπορεί να περιλάβει αναλυτικές πληροφορίες αλλαγής «από-σε» και παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες

για την ταξινόμηση της βλάστησης αν οι παρατηρήσεις με τη χρήση συνδυασμού δορυφορικών εικόνων μπορούν να συλλάβουν ημερομηνιακά τα σημαντικά φαινολογικά στάδια ανάπτυξης της βλάστησης.

- Οι επιδράσεις που σχετίζονται με την κλίμακα είναι θέμα που ακόμη εξετάζεται από την ερευνητική κοινότητα για όλους τους τύπους αισθητήρων, και θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω η αναγνώριση της βέλτιστης κλίμακας που να επιτρέπει ταυτόχρονα μέγιστη διαφοροποίηση των μεταβλητών τηλεπισκόπησης μεταξύ συγκεκριμένων ειδών και ελαχιστοποίηση του φόρτου εργασίας για την απόκτηση και την επεξεργασία των δεδομένων.

5.2.1 Δυνατότητες της προτεινόμενης μεθοδολογίας

Η δυνατότητα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε οποιαδήποτε περιοχή μελέτης μεγάλης έκτασης που αποτελούσε και ένα ευρύτερο ερευνητικό στόχο διερευνήθηκε έπειτα από την εφαρμογή σε 5 διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας με καλά αποτελέσματα. Επιπλέον η προτεινόμενη μεθοδολογία έχει την δυνατότητα να επαναληφθεί μελλοντικά για τους σκοπούς της παρακολούθησης.

Οι μέθοδοι που προτείνονται εδώ φαίνεται να παρουσιάζουν καλές προοπτικές για επιχειρησιακή εφαρμογή σε μια μεγάλη περιοχή καθώς είναι υπολογιστικά αποδοτικές, κατάλληλες για τη χρησιμοποίηση χρονοσειρών δεδομένων εικόνας και μπορούν να εφαρμοστούν με τη χρήση δεδομένων από οποιοδήποτε αισθητήρα.

Οι μέθοδοι τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ που παρουσιάστηκαν έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε μια ποικιλία εφαρμογών στους τομείς της διαχείρισης των φυσικών πόρων και της διατήρησης οικοσυστημάτων και ενδιαιτημάτων για το σχεδιασμό συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, για τη χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής κ.α. Η σημασία των χαρτών βλάστησης είναι μεγάλη είτε ως αυτόνομα προϊόντα είτε ως εισροές σε διάφορα μοντέλα για τη μοντελοποίηση των διαδικασιών των οικοσυστημάτων και των δυναμικών των ειδών.

Αναμφισβήτητη η εφαρμογή μιας αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας είναι πάντα ένας τελικός στόχος, αλλά προς το παρόν επιτυγχάνεται ρεαλιστικά κυρίως με σταδιακό τρόπο, είτε με αλληλένδετες διαδικασίες σε ροές εργασιών ή με σαφή διαλείμματα σε αυτές τις ροές εργασίας.

5.3 Μελλοντική δυνητική εξέλιξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας

Ως μη φυσική βλάστηση θεωρήθηκε το ανθρωπογενές περιβάλλον των περιοχών μελέτης, που περιλαμβάνει τεχνητές επιφάνειες και γεωργικές περιοχές σε μια κατηγορία. Αυτή η κατηγορία μπορεί να αποτελέσει το πρώτο επίπεδο ενός ιεραρχικού μοντέλου ταξινόμησης εντός του οποίου να εφαρμοστεί η ταξινόμηση των επιμέρους υποκατηγοριών που τη χαρακτηρίζουν.

Για την αντιμετώπιση των παρατηρούμενων αδυναμιών κατά την ταξινόμηση της φυσικής βλάστησης, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περεταίρω επεκτάσεις στην προτεινόμενη μεθοδολογία όπως η χρήση χωρικών δεδομένων για την οριοθέτηση περιοχών με παρόμοιες τοπογραφικές και κλιματολογικές συνθήκες ή η επιλογή εποχικών δεδομένων που να λαμβάνει υπόψη το φαινολογικό κύκλο της βλάστησης των μονάδων επεξεργασίας.

Προκειμένου να ληφθούν επαρκείς φαινολογικές πληροφορίες, οι οποίες να μπορούν να συνδεθούν με δορυφορικές εικόνες, οι χρονοσειρές θα πρέπει να εναρμονίζονται με το φαινολογικό κύκλο των υπό έρευνα ειδών και όχι με την ευρεία φαινολογία του δάσους, και ενδεχομένως να απαιτούνται μετρήσεις πεδίου με φασματοσκοπία όπως προτείνεται από πολλούς ερευνητές. Μια άλλη προοπτική θα ήταν η χρησιμοποίηση φαινολογικών δεδομένων μακροπρόθεσμης παρατήρησης έτσι ώστε οι χρησιμοποιούμενες εικόνες να αποκτηθούν σύμφωνα με τις φαινολογικές ημερομηνίες.

Όσον αφορά στα δεδομένα αναφοράς, υπάρχει η ανάγκη για πιο λεπτομερείς πληροφορίες που να μπορούν να ληφθούν από το πεδίο ή από ανεξάρτητα σύνολα δεδομένων τηλεπισκόπησης. Ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη συλλογή πιο λεπτομερών πληροφοριών για το χαρακτηρισμό των θόλων και των σημάτων του φόντου είναι η εφαρμογή δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης που μπορούν να συλλεχθούν από μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAVs). Καθώς τα UAV αποτελούν πηγή δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης και σε μια ιδιαίτερα ευέλικτη χρονική ανάλυση, θα ήταν ενδιαφέρον να χρησιμοποιηθούν απευθείας ως βάση δεδομένων για την αναγνώριση και ταξινόμηση των ειδών ή ως πηγή επιπρόσθετων πληροφοριών αναφοράς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ηλιόπουλος, Ν.Χ. (2013). *Πυρο-μετεωρολογία, πυρκαγιές και κλιματική αλλαγή*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Καλαμποκίδης, Κ., Βαϊτής, Μ., Παλαιολόγου, Π., Τάταρης, Γ., Ρετσιλίδου, Ό. & Χατζόπουλος, Ι. (2014). Βάση Γεωγραφικών Δεδομένων της Νήσου Ρόδου για Διαχείριση Κινδύνων. In: *Πανελλήνιο Συνέδριο «Η χρήση των νέων τεχνολογιών στην πρόληψη και τη διαχείριση φυσικών καταστροφών - Ο ρόλος της Πολιτικής Προστασίας»*. 2014, pp. 1-14.
- Μαλλίνης, Γ. (2006). *Αξιολόγηση της δυνατότητας χρησιμοποίησης δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ευκρίνειας και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στα πλαίσια σύνταξης του δασολογίου*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ).
- Σιάχαλου, Σ. (2016). *Επεξεργασία και ανάλυση χρονοσειρών δορυφορικών εικόνων για την ταξινόμηση χρήσεων/ καλύψεων Γης και τον εντοπισμό διαχρονικών μεταβολών*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Τζώτσος, Ά. (2014). *Διερεύνηση τεχνικών κατάτμησης εικόνας, υπολογιστικής νοημοσύνης και εμπειρών συστημάτων στην Τηλεπισκόπηση*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Χατζόπουλος, Ι. (2012). *Γεωχωροπληροφορική Τοπογραφία*. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- Adam, E., Mutanga, O., Odindi, J. & Abdel-Rahman, E.M. (2014). Land-use/cover classification in a heterogeneous coastal landscape using RapidEye imagery: evaluating the performance of random forest and support vector machines classifiers. *International Journal of Remote Sensing*. 35 (10). p.pp. 3440-3458.
- Adams, J.B. & Gillespie, A.R. (2006). *Remote Sensing of Landscapes with Spectral Images: A Physical Modeling Approach*. Topics in remote sensing. Cambridge University Press.
- Adams, J.B., Sabol, D.E., Kapos, V., Almeida Filho, R., Roberts, D.A., Smith, M.O. & Gillespie, A.R. (1995). Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: Application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*. 52 (2). p.pp. 137-154.
- Adams, J.B., Smith, M.O. & Johnson, P.E. (1986). Spectral mixture modeling: A new analysis of rock and soil types at the Viking Lander 1 Site. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 91 (B8). p.pp. 8098-8112.
- Adelabu, S., Mutanga, O. & Adam, E. (2014). Evaluating the impact of red-edge band from Rapideye image for classifying insect defoliation levels. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 95. p.pp. 34-41.

- Adelabu, S., Mutanga, O., Adam, E. & Cho, M.A. (2013). Exploiting machine learning algorithms for tree species classification in a semiarid woodland using RapidEye image. *Journal of Applied Remote Sensing*. 7 (1). p.pp. 73480-73480-13.
- Alajlan, N., Bazi, Y., Melgani, F. & Yager, R.R. (2012). Fusion of supervised and unsupervised learning for improved classification of hyperspectral images. *Information Sciences*. 217. p.pp. 39-55.
- Albrecht, F., Lang, S. & Hölbling, D. (2010). Spatial accuracy assessment of object boundaries for object-based image analysis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 38 (November 2016). p.p. 4.
- Ali, M., Montzka, C., Stadler, A., Menz, G., Thonfeld, F. & Vereecken, H. (2015). Estimation and validation of RapidEye-based time-series of Leaf Area Index for winter wheat in the Rur catchment (Germany). *Remote Sensing*. 7 (3). p.pp. 2808-2831.
- Allen, T.F.H. & Starr, T.B. (1982). *Hierarchy Perspectives for Ecological Complexity*. University of Chicago Press, 1982.
- Alloza, J. a., Baeza, M.J., De la Riva, J., Duguay, B., Echeverría, M.T., Ibarra, P., Llovet, J., Pérez-Cabello, F., Rovira, P. & Vallejo, V.R. (2006). A model to evaluate the ecological vulnerability to forest fires in Mediterranean ecosystems. *Forest Ecology and Management*. 234. p.p. S203.
- Alqurashi, A.F. & Kumar, L. (2013). Investigating the use of remote sensing and GIS techniques to detect land use and land cover change: a review. *Advances in Remote Sensing*. 2 (2). p.pp. 193-204.
- Alvarez, R., Bonifaz, R., Lunetta, R.S., García, C., Gómez, G., Castro, R., Bernal, A. & Cabrera, A.L. (2003). Multitemporal land-cover classification of Mexico using Landsat MSS imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (12). p.pp. 2501-2514.
- Anderson, H.E. (1982). Aids to determining fuel models for estimating fire behavior (GTR-INT-122). *The Bark Beetles, Fuels, and Fire* (April). p.pp. 1-22.
- Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach, J.T., Witmer, R.E. & Peck, D.L. (1976). A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data. *A revision of the land use classification system as presented in U.S. Geological Survey Circular 671*. 964. p.p. 41.
- Anselin, L. & Getis, A. (1992). Spatial statistical analysis and geographic information systems. *The Annals of Regional Science*. 26 (1). p.pp. 19-33.
- Ansley, R., Ben Wu, X. & Kramp, B. (2001). Observation: Long-term increases in mesquite canopy cover in a North Texas savanna. *Journal of Range Management*. 54 (2). p.pp.

171-176.

- Aplin, P. (2004). Remote sensing: land cover. *Progress in Physical Geography*. 28 (2). p.pp. 283-293.
- Aplin, P., Akkinson, P.M. & Curran, P.J. (1997). Fine spatial resolution satellite sensors for the next decade. *International Journal of Remote Sensing*. 18 (18). p.pp. 3873-3881.
- Aplin, P. & Atkinson, P.M. (2001). *Sub-pixel land cover mapping for per-field classification*. (May 2015). p.pp. 37-41.
- Aplin, P., Atkinson, P.M. & Curran, P.J. (1999). Fine spatial resolution simulated satellite sensor imagery for land cover mapping in the United Kingdom. *Remote Sensing of Environment*. 68 (3). p.pp. 206-216.
- Arroyo, L. a., Healey, S.P., Cohen, W.B., Cocero, D. & Manzanera, J. a. (2006). Using object-oriented classification and high-resolution imagery to map fuel types in a Mediterranean region. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 111 (4).
- Arroyo, L. a., Pascual, C. & Manzanera, J. a. (2008). Fire models and methods to map fuel types: The role of remote sensing. *Forest Ecology and Management*. 256 (6). p.pp. 1239-1252.
- Asam, S., Fabritius, H., Klein, D., Conrad, C. & Dech, S. (2013). Derivation of leaf area index for grassland within alpine upland using multi-temporal RapidEye data. *International Journal of Remote Sensing*. 34 (23). p.pp. 8628-8652.
- Asner, G.P. (1998). Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*. 64 (3). p.pp. 234-253.
- Atkinson, P.M. (2004). Resolution Manipulation and Sub-Pixel Mapping. In: S. M. De Jong & F. D. Van der Meer (eds.). *Remote Sensing Image Analysis: Including The Spatial Domain*. Remote Sensing and Digital Image Processing. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Atkinson, P.M. (1993). The effect of spatial resolution on the experimental variogram of airborne MSS imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 14 (5). p.pp. 1005-1011.
- Atkinson, P.M. & Curran, P.J. (1995). Defining an optimal size of support for remote sensing investigations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 33 (3). p.pp. 768-776.
- Atkinson, P.M., Dunn, R. & Harrison, a. R. (1996). Measurement error in reflectance data and its implications for regularizing the variogram. *International Journal of Remote Sensing*. 17 (18). p.pp. 3735-3750.

- Atkinson, P.M., Foody, G.M., Gething, P.W., Mathur, A. & Kelly, C.K. (2007). Investigating spatial structure in specific tree species in ancient semi-natural woodland using remote sensing and marked point pattern analysis. *Ecography*. 30 (1). p.pp. 88-104.
- Atkinson, P.M. & Lewis, P. (2000). Geostatistical classification for remote sensing: an introduction. *Computers & Geosciences*. 26. p.pp. 361-371.
- Atkinson, P.M. & Naser, D.K. (2010). A Geostatistically Weighted k -NN Classifier for Remotely Sensed Imagery. 遥感影像的地统计加权k-NN分类器研究. *Geographical Analysis*. 42 (2). p.pp. 204-225.
- Atkinson, P.M. & Tate, N.J. (2000). Spatial scale problems and geostatistical solutions: a review. *Professional Geographer*. 52 (February 1999). p.pp. 607-623.
- Ayanz, J.S., Gitas, I., Camia, A. & Oliveira, S. (2011). *Advances in Remote Sensing and GIS applications in Forest Fire Management From local to global assessments*.
- Bailey, D., Herzog, F., Augenstein, I., Aviron, S., Billeter, R., Szerencsits, E. & Baudry, J. (2007). Thematic resolution matters: Indicators of landscape pattern for European agro-ecosystems. *Ecological Indicators*. 7 (3). p.pp. 692-709.
- Baker, B. a., Warner, T. a., Conley, J.F. & McNeil, B.E. (2013). Does spatial resolution matter? A multi-scale comparison of object-based and pixel-based methods for detecting change associated with gas well drilling operations. *International Journal of Remote Sensing*. 34 (5). p.pp. 1633-1651.
- Bargiel, D. & Herrmann, S. (2011). Multi-temporal land-cover classification of agricultural areas in two European regions with high resolution spotlight TerraSAR-X data. *Remote Sensing*. 3 (5). p.pp. 859-877.
- Bastin, L. (1997). Comparison of fuzzy c-means classification, linear mixture modelling and MLC probabilities as tools for unmixing coarse pixels. *International Journal of Remote Sensing*. 18 (17). p.pp. 3629-3648.
- Beaubien, J., Cihlar, J., Simard, G. & Latifovic, R. (1999). Land cover from multiple thematic mapper scenes using a new enhancement-classification methodology. *Journal of Geophysical Research*. 104. p.p. 27909.
- Beckschäfer, P., Fehrmann, L., Harrison, R.D., Xu, J. & Kleinn, C. (2014). Mapping leaf area index in subtropical upland ecosystems using rapideye imagery and the randomforest algorithm. *IForest*. 7 (1). p.pp. 1-11.
- Beekhuizen, J. & Clarke, K.C. (2010). Toward accountable land use mapping: Using geocomputation to improve classification accuracy and reveal uncertainty. *International*

Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 12 (3). p.pp. 127-137.

Behling, R., Roessner, S., Kaufmann, H. & Kleinschmit, B. (2014a). Automated spatiotemporal landslide mapping over large areas using rapideye time series data. *Remote Sensing*. 6 (9). p.pp. 8026-8055.

Behling, R., Roessner, S., Segl, K., Kleinschmit, B. & Kaufmann, H. (2014b). Robust automated image co-registration of optical multi-sensor time series data: Database generation for multi-temporal landslide detection. *Remote Sensing*. 6 (3). p.pp. 2572-2600.

Belward, A.S. & Skøien, J.O. (2015). Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 103. p.pp. 115-128.

Bennett, B. (2001). What is a Forest? On the vagueness of certain geographic concepts. *Topoi*. 20 (2). p.pp. 189-201.

Benz, U.C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. & Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 58 (3-4). p.pp. 239-258.

Bergen, K.M., Conard, S.G., Houghton, R.A., Kasischke, E.S., Kharuk, V.I., Krankina, O.N., Ranson, K.J., Shugart, H.H., Sukhinin, A.I. & Treyfeld, R.F. (2003). NASA and Russian scientists observe land-cover and land-use change and carbon in Russian forests. *Journal of Forestry*. 101 (4). p.pp. 34-41.

Bezdek, J.C. (1993). Fuzzy models; What are they, and why? [Editorial]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 1 (1). p.pp. 1-6.

Bezdek, J.C. (1994). The thirsty traveler visits Gamont: a rejoinder to 'Comments on fuzzy sets- what are they and why?' *IEEE transactions on Fuzzy Systems*. 2 (1). p.pp. 43-45.

Bharatkar, P.S. & Patel, R. (2013). Evaluation of RSI Classification Methods for Effective Land Use Mapping. *2013 International Conference on Communication Systems and Network Technologies*. p.pp. 109-113.

Bian, L. (1997). Multiscale Nature of Spatial Data in Scaling Up Environmental Models. In: D. A. Quattrochi & M. F. Goodchild (eds.). *Scale in remote sensing and GIS*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, pp. 13-26.

Biederman, I. (1985). Human image understanding: Recent research and a theory. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. 32 (1). p.pp. 29-73.

Bierkens, M.F.P., Finke, P.A. & Willigen, P. de (2000). *Upscaling and downscaling methods*

for environmental research.

- Binaghi, E., Brivio, P.A., Ghezzi, P. & Rampini, A. (1999). A fuzzy set-based accuracy assessment of soft classification. *Pattern Recognition Letters*. 20 (9). p.pp. 935-948.
- Bishop, Y.M., Light, R.J., Fienberg, S.E., Mosteller, F. & Holland, P.W. (2007). *Discrete Multivariate Analysis: Theory and Practice*. Springer New York.
- Blaschke, T. (2010a). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 65 (1). p.pp. 2-16.
- Blaschke, T. (2010b). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 65 (1). p.pp. 2-16.
- Blaschke, T., Burnett, C. & Pekkarinen, A. (2004). Image segmentation methods for object-based analysis and classification. In: S. M. De Jong & F. D. Van der Meer (eds.). *Remote Sensing Image Analysis: Including The Spatial Domain*. Remote Sensing and Digital Image Processing. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Bohovic, R., Dobrovolný, P. & Klein, D. (2016). The Spatial and Temporal Dynamics of Remotely-sensed Vegetation Phenology in Central Asia in the 1982-2011 Period. *European Journal of Remote Sensing*. 49 (October). p.pp. 279-299.
- Boyd, D.S. & Danson, M. (2005). *Satellite remote sensing of forest resources: three decades of research development*. 1. p.pp. 1-26.
- Brandt, J.S. & Townsend, P.A. (2006). Land use - Land cover conversion, regeneration and degradation in the high elevation Bolivian Andes. *Landscape Ecology*. 21 (4). p.pp. 607-623.
- Brenner, N. (2001). The limits to scale? Methodological reflections on scalar structuration. *Progress in Human Geography*. 25 (4). p.pp. 591-614.
- Briem, G.J., Benediktsson, J.A. & Sveinsson, J.R. (2002). Multiple classifiers applied to multisource remote sensing data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 40 (10). p.pp. 2291-2299.
- Brown, J.C., Kastens, J.H., Coutinho, A.C., Victoria, D. de C. & Bishop, C.R. (2013). Classifying multiyear agricultural land use data from Mato Grosso using time-series MODIS vegetation index data. *Remote Sensing of Environment*. 130. p.pp. 39-50.
- Browning, D.M., Archer, S.R., Asner, G.P., McClaran, M.P. & Wessman, C.A. (2008). Woody plants in grasslands: Post-encroachment stand dynamics. *Ecological Applications*. 18 (4). p.pp. 928-944.
- Browning, D.M., Archer, S.R. & Byrne, A.T. (2009). Field validation of 1930s aerial

- photography: What are we missing? *Journal of Arid Environments*. 73 (9). p.pp. 844-853.
- De Bruin, S. (2000). Querying probabilistic land cover data using fuzzy set theory. *International Journal of Geographical Information Science*. 14 (4). p.pp. 359-372.
- Bruzzone, L., Cossu, R. & Vernazza, G. (2002). Combining parametric and non-parametric algorithms for a partially unsupervised classification of multitemporal remote-sensing images. *Information Fusion*. 3 (4). p.pp. 289-297.
- Buchanan, G.M., Butchart, S.H.M., Dutson, G., Pilgrim, J.D., Steininger, M.K., Bishop, K.D. & Mayaux, P. (2008). Using remote sensing to inform conservation status assessment: Estimates of recent deforestation rates on New Britain and the impacts upon endemic birds. *Biological Conservation*. 141 (1). p.pp. 56-66.
- Burgan, R.E. & Rothermel, R.C. (1984). BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system-BURN subsystem, part 1. *USDA Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-GTR-194*. (May 1984).
- Burgess, D.W., Lewis, P. & Muller, J.P.A.L. (1995). Topographic effects in AVHRR NDVI data. *Remote Sensing of Environment*. 54 (3). p.pp. 223-232.
- Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. In: OXFORD UNIVERSITY PRESS, pp. 265-291.
- Buyantuyev, A. & Wu, J. (2007). Effects of thematic resolution on landscape pattern analysis. *Landscape Ecology*. 22 (1). p.pp. 7-13.
- Caldwell, M.M., Matson, P.A., Wessman, C. & Gamon, J. (1993). Prospects for Scaling. In: *Scaling Physiological Processes*. Elsevier, pp. 223-230.
- Cao, C. & Lam, N.S.-N. (1997). Understanding the scale and resolution effects in remote sensing and GIS. In: *Scale in remote sensing and GIS*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 57-72.
- Capao, L., Carrao, H., Araujo, A. & Caetano, M. (2007). An approach for land cover mapping with multi-temporal MERIS imagery. In: *2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2007, IEEE, pp. 3836-3839.
- Carleer, A. & Wolff, E. (2004). Exploitation of very high resolution satellite data for tree species identification. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*. 70 (1). p.pp. 135-140.
- Carleer, A.P., Debeir, O. & Wolff, E. (2005). Assessment of very high spatial resolution satellite image segmentations. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 71 (11). p.pp. 1285-1294.

- Carlson, T.N. & Ripley, D.A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*. 62 (3). p.pp. 241-252.
- Carrão, H., Gonçalves, P. & Caetano, M. (2008). Contribution of multispectral and multitemporal information from MODIS images to land cover classification. *Remote Sensing of Environment*. 112 (3). p.pp. 986-997.
- de Carvalho, L.M.T., Clevers, J.G.P.W., Skidmore, A.K. & de Jong, S.M. (2004). Selection of imagery data and classifiers for mapping Brazilian semideciduous Atlantic forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 5 (3). p.pp. 173-186.
- Castilla, G., Hay, G.G. & Ruiz-Gallardo, J.R. (2008). Size-constrained Region Merging (SCRM). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 4 (April). p.pp. 409-419.
- Castillejo-González, I.L., López-Granados, F., García-Ferrer, A., Peña-Barragán, J.M., Jurado-Expósito, M., de la Orden, M.S. & González-Audicana, M. (2009). Object- and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using QuickBird imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*. 68 (2). p.pp. 207-215.
- Ceccarelli, T., Smiraglia, D., Bajocco, S., Rinaldo, S., Angelis, A. De, Salvati, L. & Perini, L. (2013). Land cover data from Landsat single-date imagery: An approach integrating pixel-based and object-based classifiers. *European Journal of Remote Sensing*. 46 (1). p.pp. 699-717.
- Cerna, L. & Chytrý, M. (2005). Supervised classification of plant communities with artificial neural networks. *Journal of Vegetation Science*. 16 (4). p.pp. 407-414.
- Chen, C., Tang, P. & Wu, H. (2013). Improving classification of woodland types using modified prior probabilities and Gaussian mixed model in mountainous landscapes. *International Journal of Remote Sensing*. 34 (23). p.pp. 8518-8533.
- Chen, D. & Stow, D. (2002). The Effect of Training Strategies on Supervised Classification at Different Spatial Resolutions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 68 (11). p.pp. 1155-1161.
- Chen, D., Stow, D. a. & Gong, P. (2004). Examining the effect of spatial resolution and texture window size on classification accuracy: an urban environment case. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (11). p.pp. 2177-2192.
- Chen, G., Hay, G. & Carvalho, L. (2012). Object-based change detection. *International Journal of*. 1161 (February).
- Chen, J.M. (1999). Spatial scaling of a remotely sensed surface parameter by contexture. *Remote Sensing of Environment*. 69 (1). p.pp. 30-42.

- Chen, J.M., Pavlic, G., Brown, L., Cihlar, J., Leblanc, S.G., White, H.P., Hall, R.J., Peddle, D.R., King, D.J., Trofymow, J.A., Swift, E., Van Der Sanden, J. & Pellikka, P.K.E. (2002). Derivation and validation of Canada-wide coarse-resolution leaf area index maps using high-resolution satellite imagery and ground measurements. *Remote Sensing of Environment*. 80 (1). p.pp. 165-184.
- Cho, M.A., Mathieu, R., Asner, G.P., Naidoo, L., van Aardt, J., Ramoelo, A., Debba, P., Wessels, K., Main, R., Smit, I.P.J. & Erasmus, B. (2012). Mapping tree species composition in South African savannas using an integrated airborne spectral and LiDAR system. *Remote Sensing of Environment*. 125. p.pp. 214-226.
- Chubey, M.S., Franklin, S.E. & Wulder, M. a (2006). Object-based analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 72 (4). p.pp. 383-394.
- Chuine, I. & Beaubien, E.G. (2001). Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecology Letters*. 4 (5). p.pp. 500-510.
- CIFFC (2003). Glossary of Forest Fire Management Terms. *Canadian Interagency Forest Fire Centre*.
- Cihlar, J. (2000). Land cover mapping of large areas from satellites: Status and research priorities. *International Journal of Remote Sensing*. 21 (6). p.pp. 1093-1114.
- Cihlar, J., Ly, H. & Xiao, Q. (1996). Land cover classification with AVHRR multichannel composites in northern environments. *Remote Sensing of Environment*. 58 (1). p.pp. 36-51.
- Cingolani, A.M., Renison, D., Zak, M.R. & Cabido, M.R. (2004). Mapping vegetation in a heterogeneous mountain rangeland using landsat data: An alternative method to define and classify land-cover units. *Remote Sensing of Environment*. 92 (1). p.pp. 84-97.
- Clark, D.B., Read, J.M., Clark, M.L., Cruz, A.M., Dotti, M.F. & Clark, D.A. (2004). Application of 1-m and 4-m resolution satellite data to ecological studies of tropical rain forests. *Ecological Applications*. 14 (1). p.pp. 61-74.
- Clark, M.L., Aide, T.M., Grau, H.R. & Riner, G. (2010). A scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using MODIS time series data: A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. *Remote Sensing of Environment*. 114 (11). p.pp. 2816-2832.
- Clark, M.L., Roberts, D.A. & Clark, D.B. (2005). Hyperspectral discrimination of tropical rain forest tree species at leaf to crown scales. *Remote Sensing of Environment*. 96 (3-4). p.pp. 375-398.

- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*. 20 (1). p.pp. 37-46.
- Cohen, W.B., Spies, T. a. & Fiorella, M. (1995). Estimating the age and structure of forests in a multi-ownership landscape of western Oregon, U.S.A. *International Journal of Remote Sensing*. 16 (4). p.pp. 721-746.
- Comber, A., Fisher, P. & Wadsworth, R. (2005). What is land cover? *Environment and Planning B-Planning & Design*. 32 (2). p.pp. 199-209.
- Congalton, R., Oderwald, R.G. & Mead, R.A. (1983). Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 49 (12). p.pp. 1671-1678.
- Congalton, R.G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 37 (1). p.pp. 35-46.
- Congalton, R.G. & Green, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Mapping Science Series. CRC Press/Taylor & Francis.
- Congalton, R.G., Gu, J., Yadav, K., Thenkabail, P. & Ozdogan, M. (2014). Global land cover mapping: A review and uncertainty analysis. *Remote Sensing*. 6 (12). p.pp. 12070-12093.
- Congalton, R.G. & Plourde, L.C. (2002). Quality assurance and accuracy assessment of information derived from remotely sensed data. In: J. D. Bossler, J. R. Jensen, R. B. McMaster, & C. Rizos (eds.). *Manual of geospatial science and technology*. Taylor & Francis, London, pp. 349-361.
- Conrad, C., Dech, S., Dubovyk, O., Fritsch, S., Klein, D., Löw, F., Schorcht, G. & Zeidler, J. (2014). Derivation of temporal windows for accurate crop discrimination in heterogeneous croplands of Uzbekistan using multitemporal RapidEye images. *Computers and Electronics in Agriculture*. 103. p.pp. 63-74.
- Coomes, D.A., Allen, R.B., Scott, N.A., Goulding, C. & Beets, P. (2002). Designing systems to monitor carbon stocks in forests and shrublands. *Forest Ecology and Management*. 164 (1-3). p.pp. 89-108.
- Costa, H., Carrão, H., Baçãõ, F. & Caetano, M. (2014). Combining per-pixel and object-based classifications for mapping land cover over large areas. *International Journal of Remote Sensing*. 35 (2). p.pp. 738-753.
- Cox, K. (1996). Editorial: The difference that scale makes. *Political Geography*. 15 (8). p.pp. 667-669.
- Cunningham, M.A. (2006). Accuracy assessment of digitized and classified land cover data for

wildlife habitat. *Landscape and Urban Planning*. 78 (3). p.pp. 217-228.

- Cushman, S. a & Wallin, D.O. (2000). Rates and patterns of landscape change in the Central Sikhote-alin Mountains , Russian Far East. *Environmental Studies*. 15. p.pp. 643-659.
- Cushnie, J.L. (1987). The interactive effect of spatial resolution and degree of internal variability within land-cover types on classification accuracies. *International Journal of Remote Sensing*. 8 (1). p.pp. 15-29.
- Czaplewski, R.L. & Patterson, P.L. (2003). Classification accuracy for stratification with remotely sensed data. *Forest Science*. 49 (3). p.pp. 402-408.
- Dalla Mura, M., Benediktsson, J.A., Waske, B. & Bruzzone, L. (2010). Morphological Attribute Profiles for the Analysis of Very High Resolution Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 48 (10). p.pp. 3747-3762.
- Dash, J., Mathur, a., Foody, G.M., Curran, P.J., Chipman, J.W. & Lillesand, T.M. (2007). Land cover classification using multi-temporal MERIS vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*. 28 (6). p.pp. 1137-1159.
- Davis, S.M., Landgrebe, D.A., Phillips, T.L., Swain, P.H., Hoffer, R.M., Lindenlaub, J.C. & Silva, L.F. (1978). Remote sensing: the quantitative approach. *New York, McGraw-Hill International Book Co., 1978. 405 p. 1.*
- Debelr, O., Steen, I. Van Den, Latlne, P., Ham, P. Van & Wolff, E. (2002). *Textural and Contextual Land-Cover Classification Using Single and Multiple Classifier Systems*. 68 (6). p.pp. 597-605.
- Deer, P.J. & Eklund, P. (2003). A study of parameter values for a Mahalanobis Distance fuzzy classifier. *Fuzzy Sets and Systems*. 137 (2). p.pp. 191-213.
- DeFries, R., Hansen, M. & Townshend, J. (1995). Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR pathfinder data. *Remote Sensing of Environment*. 54 (3). p.pp. 209-222.
- DeFries, R.S., Hansen, M.C., Townshend, J.R.G., Janetos, A.C. & Loveland, T.R. (2000). A new global 1-km dataset of percentage tree cover derived from remote sensing. *Global Change Biology*. 6 (2). p.pp. 247-254.
- Deng, C. & Wu, C. (2013). A spatially adaptive spectral mixture analysis for mapping subpixel urban impervious surface distribution. *Remote Sensing of Environment*. 133. p.pp. 62-70.
- Deng, J.S., Wang, K., Deng, Y.H. & Qi, G.J. (2008). PCA-based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data. *International Journal of Remote Sensing*. 29 (16). p.pp. 4823-4838.

- Dickinson, G.C. & Shaw, M.G. (1977). What is' land use'? *Area*. p.pp. 38-42.
- Dribault, Y., Chokmani, K. & Bernier, M. (2012). Monitoring Seasonal Hydrological Dynamics of Minerotrophic Peatlands Using Multi-Date GeoEye-1 Very High Resolution Imagery and Object-Based Classification. *Remote Sensing*. 4 (7). p.pp. 1887-1912.
- Drzewiecki, W., Wężyk, P., Pierzchalski, M. & Szafrńska, B. (2014). Quantitative and Qualitative Assessment of Soil Erosion Risk in Małopolska (Poland), Supported by an Object-Based Analysis of High-Resolution Satellite Images. *Pure and Applied Geophysics*. 171 (6) p.pp. 867-895.
- Dube, T., Mutanga, O., Elhadi, A. & Ismail, R. (2014). Intra-and-inter species biomass prediction in a plantation forest: testing the utility of high spatial resolution spaceborne multispectral RapidEye sensor and advanced machine learning algorithms. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 14 (8). p.pp. 15348-15370.
- Dungan, J.L., Dungan, J.L., Perry, J.N., Perry, J.N., Dale, M.R.T., Dale, M.R.T., Legendre, P., Legendre, P., Citron-Pousty, S., Citron-Pousty, S., Fortin, M.-J., Fortin, M.-J., Jakomulska, a, Jakomulska, a, Miriti, M., Miriti, M., Rosenberg, M.S. & Rosenberg, M.S. (2002). A balanced view of scale in spatial statistical analysis. *Ecography*. 25 (February). p.pp. 626-640.
- Dupuy, S., Barbe, E. & Balestrat, M. (2012). An object-based image analysis method for monitoring land conversion by artificial sprawl use of RapidEye and IRS data. *Remote Sensing*. 4 (2). p.pp. 404-423.
- Duro, D.C., Coops, N.C., Wulder, M. a. & Han, T. (2007). Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing. *Progress in Physical Geography*. 31 (3). p.pp. 235-260.
- Dwivedi, R.S., Kandrika, S. & Ramana, K. V. (2004). Comparison of classifiers of remote-sensing data for land-use/land-cover mapping. *Current Science*. 86 (2). p.pp. 328-335.
- Dymond, C.C., Mladenoff, D.J. & Radeloff, V.C. (2002). Phenological differences in Tasseled Cap indices improve deciduous forest classification. *Remote Sensing of Environment*. 80 (3). p.pp. 460-472.
- Eastman, J.R. & Laney, R.M. (2002). Bayesian Soft Classification for Sub-Pixel Analysis: A Critical Evaluation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 68 (1). p.pp. 1149-1154.
- Eitel, J.U.H., Vierling, L. a., Litvak, M.E., Long, D.S., Schulthess, U., Ager, A. a., Krofcheck, D.J. & Stoscheck, L. (2011). Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland. *Remote Sensing of*

Environment. 115 (12). p.pp. 3640-3646.

- Elatawneh, A., Wallner, A., Manakos, I., Schneider, T. & Knoke, T. (2014). Forest cover database updates using multi-seasonal rapideye data-storm event assessment in the Bavarian Forest National Park. *Forests*. 5 (6). p.pp. 1284-1303.
- Engler, R., Waser, L.T., Zimmermann, N.E., Schaub, M., Berdos, S., Ginzler, C. & Psomas, A. (2013). Combining ensemble modeling and remote sensing for mapping individual tree species at high spatial resolution. *Forest Ecology and Management*. 310. p.pp. 64-73.
- Esch, T., Thiel, M., Bock, M., Roth, A. & Dech, S. (2008). Improvement of image segmentation accuracy based on multiscale optimization procedure. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 5 (3). p.pp. 463-467.
- Everitt, J. & Judd, F. (1989). Using remote sensing techniques to distinguish and monitor black mangrove (*Avicennia germinans*). *Journal of Coastal Research*. 5 (4). p.pp. 737-745.
- Everitt, J.H., Escobar, D.E. & Farming, I. (1999). *Special Report Using Airborne Digital Imagery for Detecting Oak Wilt Disease*.
- Everitt, J.H., Yang, C. & Johnson, H.B. (2007). Canopy spectra and remote sensing of Ashe juniper and associated vegetation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 130 (1-3). p.pp. 403-413.
- Eysenck, M.W. & Keane, M.T. (2000). *Cognitive Psychology - A student Handbook*. Taylor & Francis.
- Ezra, C.E. & Jackson, R.A.Y.D. (1984). *Effect of Soil Background on Vegetation Discrimination Using Landsat Data*. 242. p.pp. 233-242.
- Falkowski, M.J., Wulder, M.A., White, J.C. & Gillis, M.D. (2009). Supporting large-area, sample-based forest inventories with very high spatial resolution satellite imagery. *Progress in Physical Geography*. 33 (3). p.pp. 403-423.
- Fassnacht, F.E. & Koch, B. (2012). Review of forestry oriented multi-angular remote sensing techniques. *International Forestry Review*. 14 (3). p.pp. 285-298.
- Fassnacht, F.E., Latifi, H., Stereńczak, K., Modzelewska, A., Lefsky, M., Waser, L.T., Straub, C. & Ghosh, A. (2016). Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 186. p.pp. 64-87.
- Fauvel, M. & Benediktsson, J. (2008). Spectral and Spatial Classification of Hyperspectral Data Using SVMs and Morphological Profile. ... *and Remote Sensing* 46 (11). p.pp. 3804-3814.

- Ferro, C.J.S. & Warner, T.A. (2002). Scale and texture in digital image classification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 68 (1). p.pp. 51-63.
- Fischer, M.M. & Getis, A. (2010). *Handbook of Applied Spatial Analysis*. M. M. Fischer & A. Getis (eds.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Fisher, P. (1997). The pixel: A snare and a delusion. *International Journal of Remote Sensing*. 18 (3). p.pp. 679-685.
- Foody, G.M. (2010). Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data. *Remote Sensing of Environment*. 114 (10). p.pp. 2271-2285.
- Foody, G.M. (1995). Cross-entropy for the evaluation of the accuracy of a fuzzy land cover classification with fuzzy ground data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 50 (5). p.pp. 2-12.
- Foody, G.M. (2000). Estimation of sub-pixel land cover composition in the presence of untrained classes. *Computers and Geosciences*. 26 (4). p.pp. 469-478.
- Foody, G.M. (1996a). Fuzzy modelling of vegetation from remotely sensed imagery. *Ecological Modelling*. 85 (1). p.pp. 3-12.
- Foody, G.M. (2008). Harshness in image classification accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*. 29 (11). p.pp. 3137-3158.
- Foody, G.M. (1992). On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. 58 (10). p.pp. 1459-1460.
- Foody, G.M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*. 80 (1). p.pp. 185-201.
- Foody, G.M. (2004a). Sub-Pixel Methods in Remote Sensing. In: S. M. De Jong & F. D. Van der Meer (eds.). *Remote Sensing Image Analysis: Including The Spatial Domain*. Remote Sensing and Digital Image Processing. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Foody, G.M. (1999). The continuum of classification fuzziness in thematic mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 65 (4). p.pp. 443-451.
- Foody, G.M. (2004b). Thematic map comparison: evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 70 (5). p.pp. 627-633.
- Foody, G.M. (2001). Thematic mapping from remotely sensed data with neural networks: MLP, RBF and PNN based approaches. *Journal of Geographical Systems*. 3 (3). p.pp. 217-232.

- Foody, G.M. & Atkinson, P.M. (2002). *Uncertainty in remote sensing and GIS*.
- Foody, G.M., Atkinson, P.M., Gething, P.W., Ravenhill, N.A. & Kelly, C.K. (2005). Identification of specific tree species in ancient semi-natural woodland from digital aerial sensor imagery. *Ecological Applications*. 15 (4). p.pp. 1233-1244.
- Foody, G.M. & Boyd, D.S. (2013). Using volunteered data in land cover map validation: Mapping west African forests. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 6 (3). p.pp. 1305-1312.
- Foody, G.M., Campbell, N.A., Trodd, N.M. & Wood, T.F. (1992). Derivation and applications of probabilistic measures of class membership from the maximum-likelihood classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 58 (9). p.pp. 1335-1341.
- Foody, G.M. & Cox, D.P. (1994). Sub-pixel land cover composition estimation using a linear mixture model and fuzzy membership functions. *International Journal of Remote Sensing*. 15 (3). p.pp. 619-631.
- Foody, G.M., Mathur, A., Sanchez-Hernandez, C. & Boyd, D.S. (2006). Training set size requirements for the classification of a specific class. *Remote Sensing of Environment*. 104 (1). p.pp. 1-14.
- Foody, G.M.G. (1996b). Approaches for the production and evaluation of fuzzy land cover classifications from remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 17 (1996). p.pp. 1317-1340.
- Forshaw, M.R.B., Haskell, A., Miller, P.F., Stanley, D.J. & Townshend, J.R.G. (1983). Spatial resolution of remotely sensed imagery: A review paper. *Int.J.Remote Sensing*. 4 (3). p.pp. 497-520.
- Förster, M., Frick, A. & Kleinschmit, B. (2011). Utilization of spectral measurements and phenological observations to detect grassland-habitats with a RapidEye intra-annual time-series. *2011 6th International Workshop on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images, Multi-Temp 2011 - Proceedings*. p.pp. 265-267.
- Förster, M. & Frick, a (2010). Object-based change detection analysis for the monitoring of habitats in the framework of the natura 2000 directive with multi-temporal satellite data. ... *International Archives of ...*
- Förster, M., Schmidt, T., Schuster, C. & Kleinschmit, B. (2012). Multi-temporal detection of grassland vegetation with RapidEye imagery and a spectral-temporal library. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. p.pp. 4930-4933.
- Franke, J., Keuck, V. & Siegert, F. (2012). Assessment of grassland use intensity by remote

- sensing to support conservation schemes. *Journal for Nature Conservation*. 20 (3). p.pp. 125-134.
- Franklin, J. (2013). Mapping Vegetation from Landscape to Regional Scales. In: *Vegetation Ecology*. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, pp. 486-508.
- Franklin, S.E. (2001). *Remote sensing for sustainable forest management*.
- Franklin, S.E., Peddle, D.R., Dechka, J. a. & Stenhouse, G.B. (2002). Evidential reasoning with Landsat TM, DEM and GIS data for landcover classification in support of grizzly bear habitat mapping. *International Journal of Remote Sensing*. 23 (August 2014). p.pp. 4633-4652.
- Franklin, S.E. & Wulder, M. a. (2002). Remote sensing methods in medium spatial resolution satellite data land cover classification of large areas. *Progress in Physical Geography*. 26 (2). p.pp. 173-205.
- Fritsch, S., Machwitz, M., Ehammer, A., Conrad, C. & Dech, S. (2012). Validation of the collection 5 MODIS FPAR product in a heterogeneous agricultural landscape in arid Uzbekistan using multitemporal RapidEye imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 33 (21). p.pp. 6818-6837.
- Fritz, S., See, L., McCallum, I., Schill, C., Obersteiner, M., van der Velde, M., Boettcher, H., Havlík, P. & Achard, F. (2011). Highlighting continued uncertainty in global land cover maps for the user community. *Environmental Research Letters*. 6 (4). p.p. 44005.
- Fung, T., So, L.L.H., Chen, Y., Shi, P. & Wang, J. (2008). Analysis of green space in Chongqing and Nanjing , cities of China with ASTER images using object-oriented image classification and landscape metric analysis. *International Journal of Remote Sensing*. 29 (24). p.pp. 7159-7180.
- Gallego, F.J. (2004). Remote sensing and land cover area estimation. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (15). p.pp. 3019-3047.
- Gallego, F.J., Kussul, N., Skakun, S., Kravchenko, O., Shelestov, A. & Kussul, O. (2014). Efficiency assessment of using satellite data for crop area estimation in Ukraine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 29 (1). p.pp. 22-30.
- Gao, X., Huete, A.R., Ni, W. & Miura, T. (2000). Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*. 74 (3). p.pp. 609-620.
- Gao, Y. & Mas, J. (2008). A comparison of the performance of pixel based and object based classifications over images with various spatial resolutions. *Online journal of earth*

sciences. 2 (8701). p.pp. 27-35.

- Garrigues, S., Allard, D., Baret, F. & Weiss, M. (2006a). Influence of landscape spatial heterogeneity on the non-linear estimation of leaf area index from moderate spatial resolution remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*. 105 (4). p.pp. 286-298.
- Garrigues, S., Allard, D., Baret, F. & Weiss, M. (2006b). Quantifying spatial heterogeneity at the landscape scale using variogram models. *Remote Sensing of Environment*. 103 (1). p.pp. 81-96.
- Gärtner, P., Förster, M. & Kleinschmit, B. (2016). The benefit of synthetically generated RapidEye and Landsat 8 data fusion time series for riparian forest disturbance monitoring. *Remote Sensing of Environment*. 177. p.pp. 237-247.
- Gartzia, M., Alados, C.L., Pérez-cabello, F. & Bueno, C.G. (2013). Improving the Accuracy of Vegetation Classifications in Mountainous Areas - A case study in the central Pyrenees. *Mountain Research and Development*. 33 (1). p.pp. 63-74.
- Gaston, G.G., Bradley, P.M., Vinson, T.S. & Kolchugina, T.P. (1997). Forest ecosystem modeling in the Russian Far East using vegetation and land-cover regions identified by classification of GVI. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 63 (1). p.pp. 51-58.
- Ge, Y. (2013). Sub-pixel land-cover mapping with improved fraction images upon multiple-point simulation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 22 (1). p.pp. 115-126.
- Ge, Y., Jiang, Y., Chen, Y., Stein, A., Jiang, D. & Jia, Y. (2016). Designing an experiment to investigate subpixel mapping as an alternative method to obtain land use/land cover maps. *Remote Sensing*. 8 (5).
- Gebhardt, S., Huth, J., Nguyen, L.D., Roth, A. & Kuenzer, C. (2012). A comparison of TerraSAR-X Quadpol backscattering with RapidEye multispectral vegetation indices over rice fields in the Mekong Delta, Vietnam. *International Journal of Remote Sensing*. 33 (24). p.pp. 7644-7661.
- Geerken, R., Zaitchik, B. & Evans, J.P. (2005). Classifying rangeland vegetation type and coverage from NDVI time series using Fourier Filtered Cycle Similarity. *International Journal of Remote Sensing*. 26 (24). p.pp. 5535-5554.
- Gerstmann, H., Möller, M. & Gläßer, C. (2016). Optimization of spectral indices and long-term separability analysis for classification of cereal crops using multi-spectral RapidEye imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 52. p.pp.

- 115-125.
- Ghosh, A., Fassnacht, F.E., Joshi, P.K. & Kochb, B. (2014). A framework for mapping tree species combining hyperspectral and LiDAR data: Role of selected classifiers and sensor across three spatial scales. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 26 (1). p.pp. 49-63.
- Gianinetto, M., Rusmini, M., Candiani, G., Via, G.D., Frassy, F., Maianti, P., Marchesi, A., Nodari, F.R. & Dini, L. (2014). Hierarchical classification of complex landscape with VHR pan-sharpened satellite data and OBIA techniques. *European Journal of Remote Sensing*. 47 (1). p.pp. 229-250.
- Gibbes, C., Adhikari, S., Rostant, L., Southworth, J. & Qiu, Y. (2010). Application of object based classification and high resolution satellite imagery for Savanna ecosystem analysis. *Remote Sensing*. 2 (12). p.pp. 2748-2772.
- Gibson, C.C., Ostrom, E. & Ahn, T.K. (2000). The concept of scale and the human dimensions of global change: A survey. *Ecological Economics*. 32 (2). p.pp. 217-239.
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O. & Kaufman, Y.J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 87 (2-3). p.pp. 273-282.
- Gillespie, T.W., Foody, G.M., Rocchini, D., Giorgi, a. P. & Saatchi, S. (2008). Measuring and modelling biodiversity from space. *Progress in Physical Geography*. 32 (2). p.pp. 203-221.
- Giri, C.P. (2012). *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*. Remote Sensing Applications Series. Taylor & Francis.
- Gislason, P.O., Benediktsson, J.A. & Sveinsson, J.R. (2006). Random forests for land cover classification. *Pattern Recognition Letters*. 27 (4). p.pp. 294-300.
- Gitelson, A.A. & Merzlyak, M.N. (1997). Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing*. 18 (12). p.pp. 2691-2697.
- Gitelson, A. & Merzlyak, M.N. (1994). Spectral Reflectance Changes Associated with Autumn Senescence of *Aesculus-hippocastanum* L. and *Acer-platanoides* L. Leaves - Spectral Features and Relation to Chlorophyll Estimation. *Journal of Plant Physiology*. 143 (3). p.pp. 286-292.
- Gonçalves, L.M.S., Fonte, C.C., Júlio, E.N.B.S. & Caetano, M. (2009). A method to incorporate uncertainty in the classification of remote sensing images. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5489-5503.
- Gong, P. & Howarth, P.J. (1992a). Frequency-based contextual classification and gray-level vector reduction for land-use identification. *Photogrammetric Engineering & Remote*

Sensing. 58 (4) p.pp. 423-437.

- Gong, P. & Howarth, P.J. (1992b). Land-use classification of SPOT HRV data using a cover-frequency method. *International Journal of Remote Sensing*. 13 (8). p.pp. 1459-1471.
- Gong, P., Ruibiang, P. & Bin, Y. (1997). Conifer species recognition: An exploratory analysis of in situ hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*. 62 (2). p.pp. 189-200.
- Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Y., Zhao, Y., Liang, L., Niu, Z., Huang, X., Fu, H., Liu, S., Li, C., Li, X., Fu, W., Liu, C., Xu, Y., Wang, X., Cheng, Q., Hu, L., Yao, W., Zhang, H., Zhu, P., Zhao, Z., Zhang, H., Zheng, Y., Ji, L., Zhang, Y., Chen, H., Yan, A., Guo, J., Yu, L., Wang, L., Liu, X., Shi, T., Zhu, M., Chen, Y., Yang, G., Tang, P., Xu, B., Giri, C., Clinton, N., Zhu, Z., Chen, J. & Chen, J. (2013). Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*. 34 (7). p.pp. 2607-2654.
- Goodchild, M.F. (2011). Scale in GIS: An overview. *Geomorphology*. 130 (1-2). p.pp. 5-9.
- Goodchild, M.F. (2008a). Spatial Accuracy 2 . 0. In: *Proceedings of the eighth international symposium on spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences*. 2008, pp. 1-7.
- Goodchild, M.F. (2008b). The use cases of digital earth. *International Journal of Digital Earth*. 1 (November 2014). p.pp. 31-42.
- Goodchild, M.F. & Gopal, S. (1989). *The Accuracy of Spatial Databases*. CRC Press.
- Goodin, D.G., Anibas, K.L. & Bezymennyi, M. (2015). Mapping land cover and land use from object-based classification: an example from a complex agricultural landscape. *International Journal of Remote Sensing*. 36 (18). p.pp. 4702-4723.
- Gopal, S. & Woodcock, G. (1994). Theory and Methods for Accuracy Assessment of Thematic Maps Using Fuzzy Sets. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 60 (2). p.pp. 181-188.
- Goslee, S., Havstad, K., Peters, D.P., Rango, a & Schlesinger, W.. (2003). High-resolution images reveal rate and pattern of shrub encroachment over six decades in New Mexico, U.S.A. *Journal of Arid Environments*. 54 (4). p.pp. 755-767.
- Gould, W. (2000). Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots. *Ecological Applications*. 10 (6). p.pp. 1861-1870.
- Grainger, A. (2004). *The role of spatial scale and spatial interactions in sustainable development*. 4509 (October). p.pp. 50-84.

- Grant, L. (1987). Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. *Remote Sensing of Environment*. 22 (2). p.pp. 309-322.
- Gu, D. & Gillespie, A. (1998). Topographic normalization of Landsat TM images of forest based on subpixel Sun-canopy-sensor geometry. *Remote Sensing of Environment*. 64 (2). p.pp. 166-175.
- Gu, Y., Brown, J.F., Miura, T., van Leeuwen, W.J.D. & Reed, B.C. (2010). Phenological classification of the United States: A geographic framework for extending multi-sensor time-series data. *Remote Sensing*. 2 (2). p.pp. 526-544.
- Guerschman, J.P., Paruelo, J.M., Di Bella, C., Giallorenzi, M.C. & Pacin, F. (2003). Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (17). p.pp. 3381-3402.
- Gurney, C.M. & Townshend, J.R.G. (1983). The use of contextual information in the classification of remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 49 (April). p.pp. 55-64.
- Gustafson, E.J. (1998). Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems*. 1 (2). p.pp. 143-156.
- Haboudane, D., Miller, J.R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P.J. & Dextraze, L. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*. 81 (2-3). p.pp. 416-426.
- Hagner, O. & Reese, H. (2007). A method for calibrated maximum likelihood classification of forest types. *Remote Sensing of Environment*. 110 (4). p.pp. 438-444.
- Hall, F.G., Strebel, D.E., Nickeson, J.E. & Goetz, S.J. (1991). Radiometric rectification: Toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. *Remote Sensing of Environment*. 35 (1). p.pp. 11-27.
- Hand, D.J. (2006). Classifier Technology and the Illusion of Progress. *Statistical Science*. 21 (1). p.pp. 1-14.
- Hansen, M.C., Defries, R.S., Townshend, J.R.G. & Sohlberg, R. (2000). Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing*. 21 (6-7). p.pp. 1331-1364.
- Harvey, D. (1982). *The limits to capital*.
- Harvey, D.W. (1968). Pattern, Process, and the Scale Problem in Geographical Research. *Transactions of the Institute of British Geographers*. 45 (45). p.p. 71.
- Hatzopoulos, J.N. (2008). *'Topographic Mapping' Covering the wider field of Geospatial*

Information Science & Technology (GIS&T). Universal Publishers.

- Hatzopoulos, J.N. & Hatzopoulos, N.J. (2012). Image server to display high resolution satellite images for local planning in the Greek island of Naxos. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference 2012, ASPRS 2012*. p.pp. 231-239.
- Heaton, C.B., Wu, X.B. & Ansley, R.J. (2003). Herbicide effects on vegetation spatial patterns in a mesquite savanna. *Journal of Range Management*. 56 (October 2016). p.pp. 627-633.
- Hechteljen, A., Thonfeld, F. & Gunter, M. (2014). Recent Advances in Remote Sensing Change Detection - A Review. In: I. Manakos & M. Braun (eds.). *Land Use & land cover mapping in Europe: Current practice, trends and future*. Springer Netherlands, pp. 145-178.
- Heinl, M., Walde, J., Tappeiner, G. & Tappeiner, U. (2009). Classifiers vs. input variables-The drivers in image classification for land cover mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 11 (6). p.pp. 423-430.
- Heller, R.C., Doverspike, G.E. & Aldrich, R.C. (1964). Identification of tree species on large - scale panchromatic and color aerial photographs. In: *Agriculture Handbook*. U.S. Department of agriculture, Forest Service, p. 16.
- Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers and Geosciences*. 32 (9). p.pp. 1283-1298.
- Hernández-Stefanoni, J.L., Alberto Gallardo-Cruz, J., Meave, J.A. & Dupuy, J.M. (2011). Combining geostatistical models and remotely sensed data to improve tropical tree richness mapping. *Ecological Indicators*. 11 (5). p.pp. 1046-1056.
- Hesketh, M. & Sánchez-Azofeifa, G.A. (2012). The effect of seasonal spectral variation on species classification in the Panamanian tropical forest. *Remote Sensing of Environment*. 118. p.pp. 73-82.
- Hill, R.A., Wilson, A.K., George, M. & Hinsley, S.A. (2010). Mapping tree species in temperate deciduous woodland using time-series multi-spectral data. *Applied Vegetation Science*. 13 (1). p.pp. 86-99.
- Homer, C., Huang, C., Yang, L., Wylie, B. & Coan, M. (2004). Development of a 2001 national land-cover database for the United States. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 70 (7). p.pp. 829-840.
- Homer, C.G., Dewitz, J.A., Yang, L., Jin, S., Danielson, P., Xian, G., Coulston, J., Herold, N.D., Wickham, J.D. & Megown, K. (2015). Completion of the 2011 National Land Cover

- Database for the conterminous United States-Representing a decade of land cover change information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 81 (5). p.pp. 345-354.
- Homolová, L., Malenovský, Z., Clevers, J.G.P.W., García-Santos, G. & Schaepman, M.E. (2013). Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping. *Ecological Complexity*. 15. p.pp. 1-16.
- Howitt, R. (1998). Scale as relation: musical metaphors of geographical scale. *Area*. 30 (1). p.pp. 49-58.
- [Http://aegis.aegean.gr/](http://aegis.aegean.gr/) (2015). *aegis*. 2015.
- Hu, Q., Wu, W., Xia, T., Yu, Q., Yang, P., Li, Z. & Song, Q. (2013). Exploring the use of google earth imagery and object-based methods in land use/cover mapping. *Remote Sensing*. 5 (11). p.pp. 6026-6042.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X. & Ferreira, L.. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 83 (1-2). p.pp. 195-213.
- Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25 (3). p.pp. 295-309.
- Huete, A.R., Jackson, R.D. & Post, D.F. (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*. 17 (1). p.pp. 37-53.
- Huete, A.R., Post, D.F. & Jackson, R.D. (1984). Soil spectral effects on 4-space vegetation discrimination. *Remote Sensing of Environment*. 15 (2). p.pp. 155-165.
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H. & Stanley, D. (2013). Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 80. p.pp. 91-106.
- Im, J., Rhee, J., Jensen, J.R. & Hodgson, M.E. (2007). An automated binary change detection model using a calibration approach. *Remote Sensing of Environment*. 106 (1). p.pp. 89-105.
- Immitzer, M., Atzberger, C. & Koukal, T. (2012). Tree species classification with Random forest using very high spatial resolution 8-band worldView-2 satellite data. *Remote Sensing*. 4 (9). p.pp. 2661-2693.
- Imukova, K., Ingwersen, J. & Streck, T. (2015). Determining the spatial and temporal dynamics of the green vegetation fraction of croplands using high-resolution RapidEye satellite images. *Agricultural and Forest Meteorology*. 206. p.pp. 113-123.

- Irons, J.R., Markham, B.L., Nelson, R.F., Toll, D.L., Williams, D.L., Latty, R.S. & Stauffer, M.L. (1985). The effects of spatial resolution on the classification of Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*. 6 (8). p.pp. 1385-1403.
- Iverson, L.R., Cook, E.A. & Graham, R.S. (1989). A technique for extrapolating and validating forest cover across large regions. *International Journal of Remote Sensing*. 10 (11). p.pp. 1805-1815.
- Ivits, E., Koch, B., Blaschke, T., Jochum, M. & Adler, P. (2005). Landscape structure assessment with image grey-values and object-based classification at three spatial resolutions. *International Journal of Remote Sensing*. 26 (14). p.pp. 2975-2993.
- Jackson, Q. & Landgrebe, D.A. (2002). Adaptive Bayesian contextual classification based on Markov random fields. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 40 (11). p.pp. 2454-2463.
- Jackson, R.D., Slater, P.N. & Pinter, P.J. (1983). Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote Sensing of Environment*. 13 (3). p.pp. 187-208.
- Jacobson, A., Dhanota, J., Godfrey, J., Jacobson, H., Rossman, Z., Stanish, A., Walker, H. & Riggio, J. (2015). A novel approach to mapping land conversion using Google Earth with an application to East Africa. *Environmental Modelling & Software*. 72. p.pp. 1-9.
- Jansen, L.J.M. & Gregorio, A.D. (2002). Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 91 (1-3). p.pp. 89-100.
- Jarvis, P.G. (1995). Scaling processes and problems. *Plant, Cell and Environment*. 18 (10). p.pp. 1079-1089.
- Jebur, M.N., Mohd Shafri, H.Z., Pradhan, B. & Tehrany, M.S. (2013). Per-pixel and object-oriented classification methods for mapping urban land cover extraction using SPOT 5 imagery. *Geocarto International*. 29 (7). p.pp. 792-806.
- Jelinski, D.E. & Wu, J. (1996). The modifiable areal unit problem and implications for landscape ecology. *Landscape Ecology*. 11 (3). p.pp. 129-140.
- Jensen, J.R. (2004). *Introductory Digital Image Processing*. 3rd Ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.
- Jensen, J.R. (2000). *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*.
- Jensen, J.R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall.

- Jensen, J.R., Hall, P., Bortolot, Z.J. & McMichael, C.E. (2007). Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective , Third Edition. *Environmental and Engineering Geoscience*. 13 (1). p.pp. 895-896.
- Jensen, R.R., Boulton, J.R. & Harper, B.T. (2003). The relationship between urban leaf area and household energy usage in Terre Haute, Indiana. *U.S. Journal of Arboriculture*. 29 (4). p.pp. 226-230.
- Jia, K., Liang, S., Zhang, N., Wei, X., Gu, X., Zhao, X., Yao, Y. & Xie, X. (2014). Land cover classification of finer resolution remote sensing data integrating temporal features from time series coarser resolution data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 93. p.pp. 49-55.
- Jia, K., Wu, B. & Li, Q. (2013). Crop classification using HJ satellite multispectral data in the North China Plain. *Journal of Applied Remote Sensing*. 7 (1). p.pp. 73576-1-73576-12.
- Jiali, S., McNairn, H., Schulthess, U., Fernandes, R. & Storie, J. (2012). Estimation of crop ground cover and leaf area index (LAI) of wheat using RapidEye satellite data: Preliminary study. *2012 1st International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2012*. p.pp. 124-128.
- Jiang, H., Zhao, D., Cai, Y. & An, S. (2012). A method for application of classification tree models to map aquatic vegetation using remotely sensed images from different sensors and dates. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 12 (9). p.pp. 12437-54.
- Jin, Y., Randerson, J.T. & Goulden, M.L. (2011). Continental-scale net radiation and evapotranspiration estimated using MODIS satellite observations. *Remote Sensing of Environment*. 115 (9). p.pp. 2302-2319.
- Jong, S.M. De & Meer, F.D. Van der (2004). *Remote Sensing Image Analysis: Including The Spatial Domain*. Remote Sensing and Digital Image Processing. S. M. De Jong & F. D. Van der Meer (eds.). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Jonsson, L. (2015). *Evaluation of pixel based and object based classification methods for land cover mapping with high spatial resolution satellite imagery , in the Amazonas , Brazil* . Lund University.
- Ju, J., Gopal, S. & Kolaczyk, E.D. (2005). On the choice of spatial and categorical scale in remote sensing land cover classification. *Remote Sensing of Environment*. 96 (1). p.pp. 62-77.
- Kaimaris, D., Georgoula, O., Patias, P. & Stylianidis, E. (2011). Comparative analysis on the archaeological content of imagery from Google Earth. *Journal of Cultural Heritage*. 12 (3). p.pp. 263-269.

- Kalabokidis, K., Ager, A., Finney, M., Athanasis, N., Palaiologou, P. & Vasilakos, C. (2016). AEGIS: A wildfire prevention and management information system. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 16 (3). p.pp. 643-661.
- Kalabokidis, K., Athanasis, N., Vasilakos, C. & Palaiologou, P. (2013). Fire Behavior and Fuels. In: D. Wade & R. Fox (eds.). *Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference*. 2013, Missoula, MT, USA: International Association of Wildland Fire, pp. 457-467.
- Kampouraki, M., Wood, G.A. & Brewer, T.R. (2008). Opportunities and limitations of object based image analysis for detecting urban impervious and vegetated surfaces using true-colour aerial photography. In: T. Blaschke, S. Lang, & G. J. Hay (eds.). *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 555-569.
- Kavzoglu, T. & Mather, P.M. (2003). The use of backpropagating artificial neural networks in land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (March 2015). p.pp. 4907-4938.
- Keane, R.E. (2015). Fuel Mapping. In: *Wildland Fuel Fundamentals and Applications*. Cham: Springer International Publishing, pp. 153-174.
- Keane, R.E., Burgan, R. & van Wagendonk, J. (2001). Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire*. 10 (4). p.pp. 301-319.
- Keane, R.E., Mincemoyer, S.A., Schmidt, K.M. & Garner, J.L. (2000). *Mapping Vegetation and Fuels for Fire Management on the Gila National Forest Complex, New Mexico*.
- Kerr, J.T. & Ostrovsky, M. (2003). From space to species: Ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology and Evolution*. 18 (6). p.pp. 299-305.
- Kettig, R.L. & Landgrebe, D.A. (1976). Classification of Multispectral Image Data by Extraction and Classification of Homogeneous Objects. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*. (14). p.pp. 19-26.
- Key, T., Warner, T.A., McGraw, J.B. & Fajvan, M.A. (2001). A comparison of multispectral and multitemporal information in high spatial resolution imagery for classification of individual tree species in a temperate hardwood forest. *Remote Sensing of Environment*. 75 (1). p.pp. 100-112.
- Khatami, R., Mountrakis, G. & Stehman, S. V. (2016). A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*. 177.

p.pp. 89-100.

- Kibret, K.S., Marohn, C. & Cadisch, G. (2016). Assessment of land use and land cover change in South Central Ethiopia during four decades based on integrated analysis of multi-temporal images and geospatial vector data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 3. p.pp. 1-19.
- Kim, H.O. & Yeom, J.M. (2012a). Multi-Temporal Spectral Analysis of Rice Fields in South Korea Using MODIS and RapidEye Satellite Imagery. *Journal of Astronomy and Space Sciences*. 29 (4). p.pp. 407-411.
- Kim, H.O. & Yeom, J.M. (2012b). Multi-Temporal Spectral Analysis of Rice Fields in South Korea Using MODIS and RapidEye Satellite Imagery. *Journal of Astronomy and Space Sciences*. 29 (4). p.pp. 407-411.
- King, G. (1997). *A Solution to the Ecological Inference Problem*.
- King, R.B. (2002). Land cover mapping principles: A return to interpretation fundamentals. *International Journal of Remote Sensing*. 23 (18). p.pp. 3525-3545.
- Klemenjak, S., Waske, B., Valero, S. & Chanussot, J. (2012). Unsupervised river detection in RapidEye data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. p.pp. 6860-6863.
- de Klerk, H.M., Gilbertson, J., Lück-Vogel, M., Kemp, J. & Munch, Z. (2016). Using remote sensing in support of environmental management: A framework for selecting products, algorithms and methods. *Journal of Environmental Management*. 182. p.pp. 564-573.
- Koch, B., Ivits, E. & Jochum, M. (2003). Object-based versus pixel-based: Forest classification with eCognition and ERDAS expert classifier. *GIM International*. 17 (12). p.pp. 12-15.
- Kohl, M., Magnussen, S.S. & Marchetti, M. (2006). *Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory*.
- Kok, R. De, Schneider, T. & Ammer, U. (1999). Object-based classification and applications in the alpine forest environment. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 32 (1976). p.pp. 3-4.
- Kokaly, R.F., Asner, G.P., Ollinger, S. V., Martin, M.E. & Wessman, C.A. (2009). Characterizing canopy biochemistry from imaging spectroscopy and its application to ecosystem studies. *Remote Sensing of Environment*. 113 (SUPPL. 1). p.pp. S78-S91.
- Kokaly, R.F. & Clark, R.N. (1999). Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis of absorption features and stepwise multiple linear regression. *Remote Sensing of Environment*. 67 (3). p.pp. 267-287.

- Korpela, I., Heikkinen, V., Honkavaara, E., Rohrbach, F. & Tokola, T. (2011). Variation and directional anisotropy of reflectance at the crown scale - Implications for tree species classification in digital aerial images. *Remote Sensing of Environment*. 115 (8). p.pp. 2062-2074.
- Korpela, I., Hovi, A. & Morsdorf, F. (2012). Understory trees in airborne LiDAR data - Selective mapping due to transmission losses and echo-triggering mechanisms. *Remote Sensing of Environment*. 119. p.pp. 92-104.
- Korpela, I., Tuomola, T., Tokola, T. & Dahlin, B. (2008). Appraisal of seedling stand vegetation with airborne imagery and discrete-return LiDAR - an exploratory analysis. *Silva Fennica*. 42 (5). p.pp. 753-772.
- Krahwinkler, P. & Rossmann, J. (2012). Using decision tree based multiclass support vector machines for forest mapping. *31st EARSeL Symposium Remote Sensing and Geoinformation not only for Scientific Cooperation*. p.pp. 307-318.
- Kresse, W. & Danko, D.M. (2012). *Springer Handbook of Geographic Information*. Springer Handbook of Geographic Information. Springer Berlin Heidelberg.
- Krofcheck, D.J., Eitel, J.U.H., Vierling, L.A., Schulthess, U., Hilton, T.M., Dettweiler-Robinson, E., Pendleton, R. & Litvak, M.E. (2014). Detecting mortality induced structural and functional changes in a piñon-juniper woodland using Landsat and RapidEye time series. *Remote Sensing of Environment*. 151 p.pp. 102-113.
- Kross, A., McNairn, H., Lapen, D., Sunohara, M. & Champagne, C. (2015). Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 34 (1). p.pp. 235-248.
- Kuemmerle, T., Radeloff, V.C., Perzanowski, K. & Hostert, P. (2006). Cross-border comparison of land cover and landscape pattern in Eastern Europe using a hybrid classification technique. *Remote Sensing of Environment*. 103 (4). p.pp. 449-464.
- Kulkarni, A.D. & Lulla, K. (1999). Fuzzy Neural Network Models for Supervised Classification: Multispectral Image Analysis. *Geocarto International*. 14 (4). p.pp. 42-51.
- Kyriakidis, P.C. & Dungan, J.L. (2001). A geostatistical approach for mapping thematic classification accuracy and evaluating the impact of inaccurate spatial data on ecological model predictions. *Environmental and Ecological Statistics*. 8 (4). p.pp. 311-330.
- Laliberte, A.S., Rango, A., Herrick, J.E., Fredrickson, E.L. & Burkett, L. (2007). An object-based image analysis approach for determining fractional cover of senescent and green

- vegetation with digital plot photography. *Journal of Arid Environments*. 69 (1). p.pp. 1-14.
- Lam, N.S.-N. (2004). Fractals and Scale in Environmental Assessment and Monitoring. In: *Scale and geographic inquiry: Nature, society, and method*. Blackwell Publishing.
- Lam, N.S.N. & Quattrochi, D. (1992). On the issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences. *Professional Geographer*. 44 (1). p.pp. 88-98.
- Landgrebe, D.A. (2003). *Signal theory methods in multispectral remote sensing*. John Wiley & Sons.
- Landis, J.R. & Koch, G.G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*. 33 (1). p.p. 159.
- Lang, S., Schöpfer, E. & Langanke, T. (2009). Combined object-based classification and manual interpretation-synergies for a quantitative assessment of parcels and biotopes. *Geocarto International*. 24 (2). p.pp. 99-114.
- Langley, S.K., Cheshire, H.M. & Humes, K.S. (2001). A comparison of single date and multitemporal satellite image classifications in a semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments*. 49 (2). p.pp. 401-411.
- Lark, R.M. (1995). Components of accuracy of maps with special reference to discriminant-analysis on remote sensor data. *International Journal of Remote Sensing*. 16 (8). p.pp. 1461-1480.
- Lasaponara, R., Lanorte, A. & Ambientali, A. (2006a). Mapping of fuel cover using remote sensing data. In: *2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover*. 2006, Center for Remote Sensing of Land Surfaces, Bonn.
- Lasaponara, R., Lanorte, A. & Pignatti, S. (2006b). Characterization and mapping of fuel types for the Mediterranean ecosystems of Pollino National Park in southern Italy by using hyperspectral MIVIS data. *Earth Interactions*. 10 (13). p.pp. 1-11.
- Latham, A. (2010). *Key Methods in Geography*.
- Lathrop, R.G., Montesano, P. & Haag, S. (2006). A Multi-scale Segmentation Approach to Mapping Seagrass Habitats Using Airborne Digital Camera Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 72 (June). p.pp. 665-675.
- Latty, R.S. & Hoffer, R.M. (1981). Computer-based classification accuracy due to the spatial resolution using per-point vs. per-field classification techniques. *Machine processing of remotely sensed data symposium*.
- Latty, R.S., Nelson, R., Markham, B., Williams, D. & Toll, D. (1985). Performance comparisons between information extraction techniques using variable spatial resolution data.

Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 51 (9). p.pp. 1459-1470.

- Lausch, A. & Herzog, F. (2002). Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: Issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators*. 2 (1-2). p.pp. 3-15.
- Leblon, B. (2005). Monitoring forest fire danger with remote sensing. *Natural Hazards*. 35 (3). p.pp. 343-359.
- Leblon, B., Bourgeau-chavez, L. & San-miguel-ayanz, J. (2012). *Use of Remote Sensing in Wildfire Management*.
- Lechner, A.M., Langford, W.T., Jones, S.D., Bekessy, S.A. & Gordon, A. (2012). Investigating species-environment relationships at multiple scales: Differentiating between intrinsic scale and the modifiable areal unit problem. *Ecological Complexity*. 11. p.pp. 91-102.
- Lechner, A.M. & Rhodes, J.R. (2016). Recent Progress on Spatial and Thematic Resolution in Landscape Ecology. *Current Landscape Ecology Reports*. p.pp. 98-105.
- Lechowicz, M.J. (1995). Seasonality of flowering and fruiting in temperate forest trees. *Canadian Journal of Botany*. 73 (2) p.pp. 175-182.
- Leckie, D.G., Gillis, M.D. & Wulder, M.A. (2002). Deforestation estimation for Canada under the Kyoto Protocol: A design study. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 28 (5). p.pp. 672-678.
- Leckie, D.G., Tinis, S., Nelson, T., Burnett, C., Gougeon, F.A., Cloney, E. & Paradine, D. (2005). Issues in species classification of trees in old growth conifer stands. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 31 (2). p.pp. 175-190.
- Van Leeuwen, W.J.D., Orr, B.J., Marsh, S.E. & Herrmann, S.M. (2006). Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. *Remote Sensing of Environment*. 100 (1). p.pp. 67-81.
- Lefsky, M. a. & Cohen, W.B. (2003). Selection of Remotely Sensed Data. In: M. Wulder & S. E. Franklin (eds.). *Remote Sensing of Forest Environments*. pp. 13-46.
- Lentile, L.B., Holden, Z.A., Smith, A.M.S., Falkowski, M.J., Hudak, A.T., Morgan, P., Lewis, S.A., Gessler, P.E. & Benson, N.C. (2006). Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*. 15 (3). p.pp. 319-345.
- Lesky, M.A., Cohen, W.B., Parker, G.G. & Harding, D.J. (2002). Lidar remote sensing for ecosystem studies. *BioScience*. 52 (1). p.pp. 19-30.

- Levin, S.A. (1992). The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*. 73 (6) p.pp. 1943-1967.
- Lewis, D., Phinn, S. & Arroyo, L. (2013). Cost-effectiveness of seven approaches to map vegetation communities - A case study from Northern Australia's tropical savannas. *Remote Sensing*. 5 (1). p.pp. 377-414.
- Li, A., Jiang, J., Bian, J. & Deng, W. (2012a). Combining the matter element model with the associated function of probability transformation for multi-source remote sensing data classification in mountainous regions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 67 (1). p.pp. 80-92.
- Li, G., Lu, D., Moran, E. & Hetrick, S. (2011). Land-cover classification in a moist tropical region of Brazil with Landsat Thematic Mapper imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 32 (23). p.pp. 8207-8230.
- Li, M., Zang, S., Zhang, B., Li, S., Wu, C. & others (2014). A review of remote sensing image classification techniques: The role of spatio-contextual information. *European Journal of Remote Sensing*. 47. p.pp. 389-411.
- Li, N., Huo, H. & Fang, T. (2010). A Novel Texture-Preceded Segmentation Algorithm for High-Resolution Imagery. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 48 (7). p.pp. 2818-2828.
- Li, X., Gao, Z., Bai, L. & Huang, Y. (2012b). Potential of high resolution RapidEye data for sparse vegetation fraction mapping in arid regions. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. p.pp. 420-423.
- Lieth, H. (2013). *Phenology and seasonality modeling*. Springer Science & Business Media.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W. & Chipman, J. (2014). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley.
- Liu, C., Frazier, P. & Kumar, L. (2007). Comparative assessment of the measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 107 (4). p.pp. 606-616.
- Liu, D. & Chun, Y. (2009). The effects of different classification models on error propagation in land cover change detection. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5345-5364.
- Liu, J.Y., Zhuang, D.F., Luo, D. & Xiao, X. (2003). Land-cover classification of China: Integrated analysis of AVHRR imagery and geophysical data. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (12). p.pp. 2485-2500.
- Liu, K., Shi, W. & Zhang, H. (2011). A fuzzy topology-based maximum likelihood classification.

ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 66 (1). p.pp. 103-114.

- Liu, Q.J., Takahashi, T., Takeuchi, N. & Shao, G. (2002a). Mapping of boreal vegetation of a temperate mountain in China by multitemporal Landsat TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 23 (17). p.pp. 3385-3405.
- Liu, X.H., Skidmore, A.K. & Van Oosten, H. (2002b). Integration of classification methods for improvement of land-cover map accuracy. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 56 (4). p.pp. 257-268.
- Liu, Y. & Li, X. (2014). Domain adaptation for land use classification: A spatio-temporal knowledge reusing method. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 98. p.pp. 133-144.
- Lloyd, C.D., Berberoglu, S., Curran, P.J. & Atkinson, P.M. (2004). *A comparison of texture measures for the per-field classification of Mediterranean land cover*. (May 2015). p.pp. 37-41.
- Loveland, T.R., Merchant, J.W., Brown, J.F., Ohlen, D.O., Reed, B.C., Olson, P. & Hutchinson, J. (1995). Seasonal Land-Cover Regions of the United States. *Annals of the Association of American Geographers*. 85 (2). p.pp. 339-355.
- Lu, D., Mausel, P., Batistella, M. & Moran, E. (2004a). Comparison of LandCover classification methods in the Brazilian Amazon Basin. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 70 (6). p.pp. 723-732.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. & Moran, E. (2004b). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (12). p.pp. 2365-2401.
- Lu, D. & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*. 28 (5). p.pp. 823-870.
- Lukinbeal, C. (2016). Scale and Its Histories. *Yearbook of the Association of Pacific Coast Geographers*. 78 (1). p.pp. 15-27.
- Lunetta, R.S. & Balogh, M.E. (1999). Application of multi-temporal Landsat 5 TM imagery for wetland identification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 65 (11). p.pp. 1303-1310.
- Ma, Y., Wu, H., Wang, L., Huang, B., Ranjan, R., Zomaya, A. & Jie, W. (2015). Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*. 51. p.pp. 47-60.
- Ma, Z. & Redmond, R.L. (1995). Tau coefficients for accuracy assessment of classification of

- remote sensing data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 61 (4). p.pp. 435-439.
- Macleod, R.D. & Congalton, R.G. (1998). Quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 64 (3). p.pp. 207-216.
- Magdon, P., Fischer, C., Fuchs, H. & Kleinn, C. (2014). Translating criteria of international forest definitions into remote sensing image analysis. *Remote Sensing of Environment*. 149. p.pp. 252-262.
- Magdon, P. & Kleinn, C. (2013). Uncertainties of forest area estimates caused by the minimum crown cover criterion: - A scale issue relevant to forest cover monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185 (6). p.pp. 5345-5360.
- Magnussen, S., Boudewyn, P. & Wulder, M. (2004). Contextual classification of Landsat TM images to forest inventory cover types. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (12). p.pp. 2421-2440.
- Malenovský, Z., Bartholomeus, H.M., Acerbi-Junior, F.W., Schopfer, J.T., Painter, T.H., Epema, G.F. & Bregt, A.K. (2007). Scaling dimensions in spectroscopy of soil and vegetation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 9 (2). p.pp. 137-164.
- Malinverni, E.S., Tassetti, A.N., Mancini, A., Zingaretti, P., Frontoni, E. & Bernardini, A. (2011). Hybrid object-based approach for land use/land cover mapping using high spatial resolution imagery. *International Journal of Geographical Information Science*. 25 (6). p.pp. 1025-1043.
- Mallinis, G., Koutsias, N., Tsakiri-Strati, M. & Karteris, M. (2008). Object-based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 63 (2). p.pp. 237-250.
- Mannan, B. & Ray, A.K. (2003). Crisp and fuzzy competitive learning networks for supervised classification of multispectral IRS scenes. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (17). p.pp. 3491-3502.
- Marceau, D.J. (1999). The scale issue in social and natural sciences. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 25 (July). p.pp. 347-356.
- Marceau, D.J., Gratton, D.J., Fournier, R.A. & Fortin, J.P. (1994a). Remote sensing and the measurement of geographical entities in a forested environment. 2.The optimal spatial resolution. *Remote Sensing of Environment*. 49 (2). p.pp. 105-117.
- Marceau, D.J. & Hay, G.J. (1999). Remote Sensing Contributions to the Scale Issue. *Canadian*

Journal of Remote Sensing. 25 (4). p.pp. 357-366.

- Marceau, D.J., Howarth, P.J., Dubois, J.M. & Gratton, D.J. (1990). Evaluation Of The Grey-level Co-occurrence Matrix Method For Land-cover Classification Using Spot Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 28 (4). p.pp. 513-519.
- Marceau, D.J., Howarth, P.J. & Gratton, D.J. (1994b). Remote-Sensing and the Measurement of Geographical Entities in a Forested Environment .1. The Scale and Spatial Aggregation Problem. *Remote Sensing of Environment*. 49 (2). p.pp. 93-104.
- Markham, B.L. & Townshend, J.R.G. (1981). Land cover classification accuracy as a function of sensor spatial resolution. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*. 1981.
- Marston, S. a. (2000). The social construction of scale. *Progress in Human Geography*. 24 (2). p.pp. 219-242.
- Mas, J.-F. (1999). Monitoring land-cover changes: A comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 20 (1). p.pp. 139-152.
- Maselli, F., Romanelli, S., Bottai, L. & Zipoli, G. (2003). Use of NOAA-AVHRR NDVI images for the estimation of dynamic fire risk in Mediterranean areas. *Remote Sensing of Environment*. 86 (2). p.pp. 187-197.
- Mather, P. (2011). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images:An Introduction*.
- Mathys, L., Guisan, A., Kellenberger, T.W. & Zimmermann, N.E. (2009). Evaluating effects of spectral training data distribution on continuous field mapping performance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 64 (6). p.pp. 665-673.
- McCoy, R.M. (2005). *Field methods in remote sensing*. New York, NY: The Guilford Press.
- McDonald, A.J., Gemmell, F.M. & Lewis, P.E. (1998). Investigation of the utility of spectral vegetation indices for determining information on coniferous forests. *Remote Sensing of Environment*. 66 (3). p.pp. 250-272.
- McGarigal, K. (2001). Concepts of Scale. *Landscape ecology*. 2001 (Chapter 2). p.p. 89.
- McMaster, R.B. & Shea, K.S. (1992). *Generalization in Digital Cartography*. Resource Publications for College Geography. Association of American Geographers.
- Meentemeyer, V. (1989). Geographical perspectives of space, time, and scale. *Landscape Ecology*. 3 (3-4). p.pp. 163-173.
- Van der Meer, F. (2012). Remote-sensing image analysis and geostatistics. *International Journal of Remote Sensing*. 33 (18). p.pp. 5644-5676.

- Mehner, H., Cutler, M., Fairbairn, D. & Thompson, G. (2004). Remote sensing of upland vegetation: The potential of high spatial resolution satellite sensors. *Global Ecology and Biogeography*. 13 (4). p.pp. 359-369.
- Mering, C., Baro, J. & Upegui, E. (2010). Retrieving urban areas on Google Earth images: application to towns of West Africa. *International Journal of Remote Sensing*. 31 (22). p.pp. 5867-5877.
- Mickelson, J.G., Civco, D.L. & Silander, J. a (1998). Delineating Forest Canopy Species in the Northeastern United States Using Multi-Temporal TM Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 64. p.pp. 891-904.
- Miettinen, J., Hyer, E., Chia, A.S., Kwoh, L.K. & Liew, S.C. (2013). Detection of vegetation fires and burnt areas by remote sensing in insular Southeast Asian conditions: current status of knowledge and future challenges. *International Journal of Remote Sensing*. 34 (12). p.pp. 4344-4366.
- Miller, J., Franklin, J. & Aspinall, R. (2007). Incorporating spatial dependence in predictive vegetation models. *Ecological Modelling*. 202 (3-4). p.pp. 225-242.
- Mirik, M. & Ansley, R.J. (2012). Comparison of Ground-Measured and Image-Classified Mesquite (*Prosopis glandulosa*) Canopy Cover. *Rangeland Ecology & Management*. 65 (1). p.pp. 85-95.
- Mishra, V.N., Prasad, R., Kumar, P. & Gupta, D.K. (2015). *Evaluating the effects of spatial resolution on land use and land cover accuracy*. p.pp. 208-211.
- Möller, M., Birger, J., Gidudu, A. & Gläßer, C. (2013). A framework for the geometric accuracy assessment of classified objects. *International Journal of Remote Sensing*. 34 (24). p.pp. 8685-8698.
- Möller, M., Lymburner, L. & Volk, M. (2007). The comparison index: A tool for assessing the accuracy of image segmentation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 9 (3). p.pp. 311-321.
- Monserud, R.A. & Leemans, R. (1992). Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological Modelling*. 62 (4). p.pp. 275-293.
- Moody, A. & Woodcock, C.E. (1994). Scale-dependent errors in the estimation of land-cover proportions. Implications for global land-cover datasets. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 60 (5).
- Mountrakis, G., Im, J. & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 66 (3) p.pp. 247-259.

- Mountrakis, G., Watts, R., Luo, L. & Wang, J. (2009). *Developing Collaborative Classifiers using an Expert-based Model*. 75 (7). p.pp. 831-843.
- Muller, S. V, Walker, D. a, Nelson, F.E., Auerbach, N. a, Bockheim, J.G., Guyer, S. & Sherba, D. (1998). Accuracy Assessment of a Land-Cover Map of the Kuparuk River Basin , Alaska : Considerations for Remote Regions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 64 (6). p.pp. 619-628.
- Mutanga, O. & Skidmore, A.K. (2004). Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (19). p.pp. 3999-4014.
- Myint, S.W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S. & Weng, Q. (2011). Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*. 115 (5). p.pp. 1145-1161.
- Nagendra, H. (2001). Using remote sensing to assess biodiversity. *International Journal of Remote Sensing*. 22 (12). p.pp. 2377-2400.
- Nangendo, G., Skidmore, A.K. & van Oosten, H. (2007). Mapping East African tropical forests and woodlands - A comparison of classifiers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 61 (6). p.pp. 393-404.
- Nath, S.S., Mishra, G., Kar, J., Chakraborty, S. & Dey, N. (2014). A survey of image classification methods and techniques. *2014 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*. (October). p.pp. 554-557.
- Negnevitsky, M. (2005). *Artificial intelligence: a guide to intelligent systems*. Pearson Education.
- Neill, R.V.O., Johnson, A.R. & King, A.W. (1989). *A hierarchical framework for the analysis of scale* * 3 (3381). p.pp. 193-205.
- Nelson, M.D., McRoberts, R.E., Holden, G.R. & Bauer, M.E. (2009). Effects of satellite image spatial aggregation and resolution on estimates of forest land area. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (March 2015). p.pp. 1913-1940.
- Neumann, R.P. (2009). Political ecology: theorizing scale. *Progress in Human Geography*. 33 (3). p.pp. 398-406.
- Nicodemus, F., Richmond, J. & Hsia, J. (1977). *Geometrical considerations and nomenclature for reflectance*.
- Niemeyer, I., Marpu, P.R. & Nussbaum, S. (2008). Change detection using object features. In:

- T. Blaschke, S. Lang, & G. J. Hay (eds.). *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 185-201.
- Nitze, I., Schulthess, U. & Asche, H. (2012). Comparison of Machine Learning Algorithms Random Forest , Artificial Neural Network and Support Vector Machine To Maximum Likelihood for Supervised Crop Type Classification. In: *Proceedings of the 4th GEOBIA. 2012, Rio de Janeiro - Brazil*.
- Nobrega, R.A.A., O'Hara, C.G. & Quintanilha, J.A. (2006). Detecting roads in informal settlements surrounding Sao Paulo city by using object-based classification. *1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006)*. (May 2014).
- O'Neill, R. V (1986). *A Hierarchical Concept of Ecosystems*. Monographs in population biology. Princeton University Press.
- O'Neill, R. V., Hunsaker, C.T., Timmins, S.P., Jackson, B.L., Jones, K.B., Riitters, K.H. & Wickham, J.D. (1996). Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. *Landscape Ecology*. 11 (3). p.pp. 169-180.
- O'Neill, R.V. & King, A.. (1998). Homage to St Michael; or, why are there so many books on scale? In: D. L. Peterson & V. T. Parker (eds.). *Ecological scale: theory and applications*. New York: Columbia University Press, pp. 3-15.
- Oetter, D.R., Cohen, W.B., Berterretche, M., Maierperger, T.K. & Kennedy, R.E. (2001). Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*. 76 (2). p.pp. 139-155.
- Okeke, F. & Karnieli, a. (2006). Methods for fuzzy classification and accuracy assessment of historical aerial photographs for vegetation change analyses. Part I: Algorithm development. *International Journal of Remote Sensing*. 27 (1). p.pp. 153-176.
- Olofsson, P., Foody, G.M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C.E. & Wulder, M.A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*. 148. p.pp. 42-57.
- van Oort, P.A.J. (2007). Interpreting the change detection error matrix. *Remote Sensing of Environment*. 108 (1). p.pp. 1-8.
- Openshaw, S. (1983). The modifiable area unit problem. *Concepts and Techniques in Modern Geography*. 38. p.pp. 1-41.
- Openshaw, S. & Taylor, P.J. (1979). A million or so correlation coefficients: three experiments on the modifiable areal unit problem. In: *Statistical applications in the spatial sciences*. pp. 127-144.

- Ørka, H.O. & Hauglin, M. (2016). *Use of remote sensing for mapping of non-native conifer species*.
- Ortiz, S.M., Breidenbach, J. & Kändler, G. (2013). Early detection of bark beetle green attack using terraSAR-X and rapideye data. *Remote Sensing*. 5 (4). p.pp. 1912-1931.
- Pacifici, F., Longbotham, N. & Emery, W.J. (2014). The importance of physical quantities for the analysis of multitemporal and multiangular optical very high spatial resolution images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 52 (10). p.pp. 6241-6256.
- Pal, M. & Mather, P.M. (2003). An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *Remote Sensing of Environment*. 86 (4). p.pp. 554-565.
- Pal, M. & Mather, P.M. (2004). Assessment of the effectiveness of support vector machines for hyperspectral data. *Future Generation Computer Systems*. 20 (7). p.pp. 1215-1225.
- Pal, N.R. & Bhandari, D. (1992). On object background classification. *International Journal of Systems Science*. 23 (11). p.pp. 1903-1920.
- Palmer, M.W., Earls, P.G., Hoagland, B.W., White, P.S. & Wohlgemuth, T. (2002). Quantitative tools for perfecting species lists. *Environmetrics*. 13 (2). p.pp. 121-137.
- Paola, J. & Schowengerdt, R. (1995). A review and analysis of backpropagation neural networks for classification of remotely-sensed multi-spectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 16 (April). p.pp. 3033-3058.
- Pavelsky, T.M. (2014). Using width-based rating curves from spatially discontinuous satellite imagery to monitor river discharge. *Hydrological Processes*. 28 (6). p.pp. 3035-3040.
- Peerbhay, K.Y., Mutanga, O. & Ismail, R. (2014). Investigating the capability of few strategically placed worldview-2 multispectral bands to discriminate forest species in KwaZulu-Natal, South Africa. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 7 (1). p.pp. 307-316.
- Peña-Barragán, J.M., Ngugi, M.K., Plant, R.E. & Six, J. (2011). Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology. *Remote Sensing of Environment*. 115 (6). p.pp. 1301-1316.
- Peña, M. a., Cruz, P. & Roig, M. (2013). The effect of spectral and spatial degradation of hyperspectral imagery for the Sclerophyll tree species classification. *International Journal of Remote Sensing*. 34 (20). p.pp. 7113-7130.
- Perakis, K., Kyrimis, K. & Kungolos, A. (2000). Monitoring land cover change detection with remote sensing methods in magnesia prefecture in Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*. 9 (9-10). p.pp. 659-666.

- Perry, J.N., Liebhold, A.M., Rosenberg, M.S., Dungan, J., Miriti, M., Jakomulska, A. & Citron-Pousty, S. (2002). Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data. *Ecography*. 25 (5). p.pp. 578-600.
- Perumal, K. & Bhaskaran, R. (2010). Supervised classification performance of multispectral images. *Journal of Computing*. 2 (2). p.pp. 124-129.
- Peterson, D.L. & Parker, V.T. (1998). *Ecological scale: theory and applications*. Columbia University Press.
- Petropoulos, G.P., Kalaitzidis, C. & Prasad Vadrevu, K. (2012). Support vector machines and object-based classification for obtaining land-use/cover cartography from Hyperion hyperspectral imagery. *Computers and Geosciences*.
- Phinn, S.R. (1998). A framework for selecting appropriate remotely sensed data dimensions for environmental monitoring and management. *International Journal of Remote Sensing*. 19 (17). p.pp. 3457-3463.
- Phinn, S.R., Menges, C., Hill, G.J.E. & Stanford, M. (2000). Optimizing remotely sensed solutions for monitoring, modeling, and managing coastal environments. *Remote Sensing of Environment*. 73 (2). p.pp. 117-132.
- Pojar, J., Klinka, K. & Meidinger, D. V. (1987). Biogeoclimatic ecosystem classification in British Columbia. *Forest Ecology and Management*. 22 (1-2). p.pp. 119-154.
- Polgar, C.A. & Primack, R.B. (2011). Leaf-out phenology of temperate woody plants: From trees to ecosystems. *New Phytologist*. 191 (4). p.pp. 926-941.
- Pontius, R.G. & Millones, M. (2011). Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*. 32 (15). p.pp. 4407-4429.
- Pontius Jr, R.G. & Connors, J. (2006). Expanding the conceptual, mathematical and practical methods for map comparison. In: *Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Accuracy, Lisbon, Portugal*. 2006, pp. 5-7.
- Potere, D. (2008). Horizontal positional accuracy of google earth's high-resolution imagery archive. *Sensors*. 8 (12). p.pp. 7973-7981.
- Potere, D., Schneider, A., Angel, S. & Civco, D. (2009). Mapping urban areas on a global scale: which of the eight maps now available is more accurate? *International Journal of Remote Sensing*. 30 (24). p.pp. 6531-6558.
- Poulos, H.M., Camp, A.E., Gatewood, R.G. & Loomis, L. (2007). A hierarchical approach for scaling forest inventory and fuels data from local to landscape scales in the Davis

Mountains, Texas, USA. *Forest Ecology and Management*. 244 (1-3). p.pp. 1-15.

Powell, R.L., Matzke, N., De Souza, C., Clark, M., Numata, I., Hess, L.L., Roberts, D.A., Clark, M., Numata, I., Hess, L.L. & Roberts, D.A. (2004). Sources of error in accuracy assessment of thematic land-cover maps in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*. 90 (2). p.pp. 221-234.

Price, J.C. (1992). Estimating vegetation amount from visible and near-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*. 41 (1). p.pp. 29-34.

Pu, R., Landry, S. & Zhang, J. (2014). Evaluation of Atmospheric Correction Methods in Identifying Urban Tree Species With WorldView-2 Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 8 (5). p.pp. 1-12.

Pu, R., Xu, B. & Gong, P. (2003). Oakwood crown closure estimation by unmixing Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (September). p.pp. 4422-4445.

Puletti, N., Perria, R. & Storch, P. (2014). Unsupervised classification of very high remotely sensed images for grapevine rows detection. *European Journal of Remote Sensing*. 47 (1). p.pp. 45-54.

Purvis, A. & Hector, A. (2000). Getting the measure of biodiversity. *Nature*. 405 (6783). p.pp. 212-219.

Qi, J., Marsett, R.C., Moran, M.S., Goodrich, D.C., Heilman, P., Kerr, Y.H., Dedieu, G., Chehbouni, A. & Zhang, X.X. (2000). Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area. *Agricultural and Forest Meteorology*. 105 (1-3). p.pp. 55-68.

Quattrochi, D. & Goodchild, M. (1997). *Scale in Remote Sensing and GIS*. CRC Press.

Raffy, M. (1992). Change of Scale in Models of Remote Sensing: A General Method for Spatialization of Models. *Remote Sensing of Environment*. 112. p.pp. 101-112.

Rajyalakshmi, D., Raju, K.K. & Varma, G.P.S. (2016). Taxonomy of Satellite Image and Validation Using Statistical Inference. *2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC)*. p.pp. 352-361.

Ramoelo, A., Skidmore, A.K., Cho, M.A., Schlerf, M., Mathieu, R. & Heitkönig, I.M.A. (2012). Regional estimation of savanna grass nitrogen using the red-edge band of the spaceborne rapideye sensor. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 19 (1). p.pp. 151-162.

Rana, P., Tokola, T., Korhonen, L., Xu, Q., Kumpula, T., Vihervaara, P. & Mononen, L. (2013). Training area concept in a two-phase biomass inventory using airborne laser scanning and RapidEye satellite data. *Remote Sensing*. 6 (1). p.pp. 285-309.

- Rapinel, S., Clément, B., Magnanon, S., Sellin, V. & Hubert-Moy, L. (2014). Identification and mapping of natural vegetation on a coastal site using a Worldview-2 satellite image. *Journal of Environmental Management*. 144. p.pp. 236-246.
- Rapp, J., Wang, D., Capen, D., Thompson, E. & Lautzenheiser, T. (2005). Evaluating Error in Using the National Vegetation Classification System for Ecological Community Mapping in Northern New England, USA. *Natural Areas Journal*. 25 (25). p.pp. 46-54.
- Recio, J., Helmholtz, P. & Müller, S. (2011). Potential Evaluation of Different Types of Images and their Combination for the Classification of GIS Objects Cropland and Grassland. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVIII-4/ (June). p.pp. 251-257.
- Reed, B.C., Brown, J.F., VanderZee, D., Loveland, T.R., Merchant, J.W. & Ohlen, D.O. (1994). Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of Vegetation Science*. 5 (5). p.pp. 703-714.
- Reinke, K. & Jones, S. (2006). Integrating vegetation field surveys with remotely sensed data. *Ecological Management and Restoration*. 7 (SUPPL. 1).
- Retsilidou, O.N. & Hatzopoulos, J.N. (2013). MODELLING OF URBAN LAND USE AND ASSESSMENT OF FUTURE URBAN EXPANSION: APPLICATION IN THE MUNICIPALITY OF MYTILENE ,LESVOS ISLAND, GREECE. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology*. 2013, Athens, Greece, pp. 5-7.
- Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, J., Palacios-Orueta, A. & Bastarrika, A. (2002). Generation of fuel type maps from Landsat TM images and ancillary data in Mediterranean ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research*. 32 (8). p.pp. 1301-1315.
- Richards, J. (1996). Classifier performance and map accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 57 (3). p.pp. 161-166.
- Richards, J.A. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Fifth. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Richards, J. a & Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis*.
- Risser, P.G., Karr, J.R. & Forman, R.T.T. (1984). *Landscape ecology: Directions and approaches*.
- Roberts, D.A., Gardner, M., Church, R., Ustin, S., Scheer, G. & Green, R.O. (1998). Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*. 65 (3). p.pp. 267-279.

- Roberts, D.A., Green, R.O. & Adams, J.B. (1997). Temporal and spatial patterns in vegetation and atmospheric properties from AVIRIS. *Remote Sensing of Environment*. 62 (3). p.pp. 223-240.
- Robinove, C.J. (1981). The logic of multispectral classification and mapping of land. *Remote Sensing of Environment*. 11 (C). p.pp. 231-244.
- Rocchini, D., Foody, G.M., Nagendra, H., Ricotta, C., Anand, M., He, K.S., Amici, V., Kleinschmit, B., F??rster, M., Schmidlein, S., Feilhauer, H., Ghisla, A., Metz, M. & Neteler, M. (2013). Uncertainty in ecosystem mapping by remote sensing. *Computers and Geosciences*. 50. p.pp. 128-135.
- Rocchini, D. & Ricotta, C. (2007). Are landscapes as crisp as we may think? *Ecological Modelling*. 204 (3-4). p.pp. 535-539.
- Rogan, J. & Chen, D. (2004). Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use. *Progress in Planning*. 61 (4). p.pp. 301-25.
- Rötzer, T., Grote, R. & Pretzsch, H. (2004). The timing of bud burst and its effect on tree growth. *International Journal of Biometeorology*. 48 (3). p.pp. 109-118.
- Ruiz-Luna, A. & Berlanga-Robles, C.A. (2003). Land use, land cover changes and coastal lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico. *Landscape Ecology*. 18 (2). p.pp. 159-171.
- Running, S.W., Loveland, T.R., Pierce, L.L., Nemani, R.R. & Hunt Jr., E.R. (1995). A remote sensing based vegetation classification logic for global land cover analysis. *Remote Sensing of Environment [REMOTE SENS. ENVIRON.]*. 51 (January 1994). p.pp. 39-48.
- Saint, G. (1980). Multitemporal remote sensing: Satellites provide a new tool for Earth resources management. *Acta Astronautica*. 7 (4-5). p.pp. 373-383.
- Salembier, P., Oliveras, A. & Garrido, L. (1998). Antiextensive connected operators for image and sequence processing. *IEEE Transactions on Image Processing*. 7 (4). p.pp. 555-570.
- Salovaara, K.J., Thessler, S., Malik, R.N. & Tuomisto, H. (2005). Classification of Amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*. 97 (1). p.pp. 39-51.
- San Miguel-Ayanz, J. & Biging, G.S. (1996). An iterative classification approach for mapping natural resources from satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 17 (5). p.pp. 957-981.
- Sánchez-Azofeifa, G.A., Castro, K., Wright, S.J., Gamon, J., Kalacska, M., Rivard, B., Schnitzer, S.A. & Feng, J.L. (2009). Differences in leaf traits, leaf internal structure, and

- spectral reflectance between two communities of lianas and trees: Implications for remote sensing in tropical environments. *Remote Sensing of Environment*. 113 (10). p.pp. 2076-2088.
- Sayn-Wittgenstein, L. (1978). Recognition of tree species on aerial photographs. *Information Report FMR-X-118*. 35 p.pp. 200-201.
- Sayre, N.F. (2005). Ecological and geographical scale. *Progress in Human Geography*. 3. p.pp. 276-290.
- Schaepman-Strub, G., Schaepman, M.E., Painter, T.H., Dangel, S. & Martonchik, J. V. (2006). Reflectance quantities in optical remote sensing-definitions and case studies. *Remote Sensing of Environment*. 103 (1). p.pp. 27-42.
- Schneider, A., Friedl, M.A. & Potere, D. (2009). A new map of global urban extent from MODIS satellite data. *Environmental Research Letters*. 4 (4). p.p. 44003.
- Schowengerdt, R.A. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. 3rd Ed. Academic Press.
- Schuster, C., Ali, I., Lohmann, P., Frick, A., Förster, M. & Kleinschmit, B. (2011). Towards detecting swath events in TerraSAR-X time series to establish NATURA 2000 grassland habitat swath management as monitoring parameter. *Remote Sensing*. 3 (7). p.pp. 1308-1322.
- Schuster, C., Förster, M. & Kleinschmit, B. (2012). se classifications based on high-resolution multi-spectral satellite data. *International Journal of Remote Sensing*. 33 (17). p.pp. 5583-5599.
- Schuster, C., Schmidt, T., Conrad, C., Kleinschmit, B. & Förster, M. (2015). Grassland habitat mapping by intra-annual time series analysis -Comparison of RapidEye and TerraSAR-X satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 34 (1). p.pp. 25-34.
- Scott, J.H. & Burgan, R.E. (2005). Standard Fire Behavior Fuel Models : A Comprehensive Set for Use with Rothermel ' s Surface Fire Spread Model. *General Technical Report RMRS-GTR-153*. (June). p.pp. 1-80.
- Settle, J.J. & Briggs, S.A. (1987). Fast maximum likelihood classification of remotely-sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 8 (5). p.pp. 723-734.
- Sha, Z., Bai, Y., Xie, Y., Yu, M. & Zhang, L. (2008). Using a hybrid fuzzy classifier (HFC) to map typical grassland vegetation in Xilin River Basin, Inner Mongolia, China. *International Journal of Remote Sensing*. 29 (8). p.pp. 2317-2337.

- Shahbaz, M., Guergachi, A., Noreen, A. & Shaheen, M. (2012). Classification by Object Recognition in Satellite Images by using Data Mining. *Proceedings of the World Congress on Engineering*. 1.
- Shalaby, A. & Tateishi, R. (2007). Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*. 27 (1). p.pp. 28-41.
- Shalan, M. a., Arora, M.K. & Ghosh, S.K. (2003). An evaluation of fuzzy classifications from IRS 1C LISS III imagery: A case study. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (15). p.pp. 3179-3186.
- Shang, J., Liu, J., Huffman, T., Qian, B., Pattey, E., Wang, J., Zhao, T., Geng, X., Kroetsch, D., Dong, T. & Lantz, N. (2014). Estimating plant area index for monitoring crop growth dynamics using Landsat-8 and RapidEye images. *Journal of Applied Remote Sensing*. 8 (1). p.p. 85196.
- Shang, J., Liu, J., Ma, B., Zhao, T., Jiao, X., Geng, X., Huffman, T., Kovacs, J.M. & Walters, D. (2015). Mapping spatial variability of crop growth conditions using RapidEye data in Northern Ontario, Canada. *Remote Sensing of Environment*. 168. p.pp. 113-125.
- Shanmugam, P., Ahn, Y.H. & Sanjeevi, S. (2006). A comparison of the classification of wetland characteristics by linear spectral mixture modelling and traditional hard classifiers on multispectral remotely sensed imagery in southern India. *Ecological Modelling*. 194 (4). p.pp. 379-394.
- Sheng, G., Yang, W., Xu, T. & Sun, H. (2011). High-resolution satellite scene classification using a sparse coding based multiple feature combination. *International Journal of Remote Sensing*. 33 (8). p.pp. 2395-2412.
- Sheppard, E. & McMaster, R.B. (2004). *Scale and geographic inquiry: Nature, society, and method*. Blackwell Publishing.
- Simms, D.M., Waive, T.W., Taylor, J.C., Brewer, T.R., Simms, D.M., Waive, T.W., Taylor, J.C., Brewer, T.R., Simms, D.M., Waive, T.W., Taylor, J.C. & Brewer, T.R. (2016). Image segmentation for improved consistency in image-interpretation of opium poppy. *International Journal of Remote Sensing*. 37 (6). p.pp. 1243-1256.
- Simonneaux, V., Duchemin, B., Helson, D., Er-Raki, S., Oliosio, a. & Chehbouni, a. G. (2008). The use of high-resolution image time series for crop classification and evapotranspiration estimate over an irrigated area in central Morocco. *International Journal of Remote Sensing*. 29 (1). p.pp. 95-116.

- Singh, A. (1989). Review Article: Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 10 (6). p.pp. 989-1003.
- Smith, J. a., Lin, T.L. & Ranson, K.J. (1980). The Lambertian assumption and Landsat data. *Eng. Remote Sens*. 46 (9). p.pp. 1183-1189.
- Smith, J.H., Stehman, S. V., Wickham, J.D. & Yang, L. (2003). Effects of landscape characteristics on land-cover class accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 84 (3). p.pp. 342-349.
- Smits, P.C., Dellepiane, S.G. & Schowengerdt, R. a. (1999). Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: A review and a proposal for a cost-based approach. *International Journal of Remote Sensing*. 20 (8). p.pp. 1461-1486.
- Sohn, Y. & Rebello, N.S. (2002). Supervised and unsupervised spectral angle classifiers. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 68 (12). p.pp. 1271-1280.
- Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P. & Macomber, S.A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*. 75 (2). p.pp. 230-244.
- Sousa, C.H.R. De, Souza, C.G., Zanella, L., Carvalho, L.M.T. De & Lavras, U.F. De (2012). Analysis of Rapideye ' S Red Edge Band for Image Segmentation and Classification. *Geobla*. (April). p.pp. 518-523.
- Srivastava, P.K., Han, D., Rico-Ramirez, M. a., Bray, M. & Islam, T. (2012). Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation. *Advances in Space Research*. 50 (9). p.pp. 1250-1265.
- Steele, B.M. (2005). Maximum posterior probability estimators of map accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 99 (3). p.pp. 254-270.
- Stehman, S. V (1996). Estimating the Kappa coefficient and its variance under stratified random sampling. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 62 (4). p.pp. 401-407.
- Stehman, S. V. (2004). A Critical Evaluation of the Normalized Error Matrix in Map Accuracy Assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 70 (6). p.pp. 743-751.
- Stehman, S. V. (2009). Sampling designs for accuracy assessment of land cover. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5243-5272.
- Stehman, S. V. (1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 62 (1). p.pp. 77-89.
- Stehman, S. V & Czaplewski, R.L. (1998). Design and Analysis for Thematic Map Accuracy

Assessment: Fundamental Principles. *Remote Sensing of Environment*. 64 (January).
p.pp. 331-344.

Stehman, S. V & Wickham, J.D. (2011). Pixels, blocks of pixels, and polygons: Choosing a spatial unit for thematic accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*. 115 (12).
p.pp. 3044-3055.

Stein, A., Hamm, N. a. S. & Ye, Q. (2009). Handling uncertainties in image mining for remote sensing studies. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5365-5382.

Stoffels, J., Hill, J., Sachtler, T., Mader, S., Buddenbaum, H., Stern, O., Langshausen, J., Dietz, J. & Ontrup, G. (2015). Satellite-Based Derivation of High-Resolution Forest Information Layers for Operational Forest Management. *Forests*. 6 (6). p.pp. 1982-2013.

Stoffels, J., Mader, S., Hill, J., Werner, W. & Ontrup, G. (2012). Satellite-based stand-wise forest cover type mapping using a spatially adaptive classification approach. *European Journal of Forest Research*. 131 (4). p.pp. 1071-1089.

Stoms, D.M. & Estes, J.E. (1993). A remote sensing research agenda for mapping and monitoring biodiversity. *International Journal of Remote Sensing*. 14 (913527029). p.pp. 1839-1860.

Stone, K.H. (1972). A Geographer's Strength: The Multiple-Scale Approach. *Journal of Geography*. 71 (6). p.pp. 354-362.

Strahler, A.H., Woodcock, C.E. & Smith, J.A. (1986). On the nature of models in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 20 (2). p.pp. 121-139.

Stuckens, J., Coppin, P.R. & Bauer, M.E. (2000). Integrating contextual information with per-pixel classification for improved land cover classification. *Remote Sensing of Environment*. 71 (3). p.pp. 282-296.

Su, W., Li, J., Chen, Y., Liu, Z., Zhang, J., Low, T.M., Suppiah, I. & Hashim, S.A.M. (2008). Textural and local spatial statistics for the object-oriented classification of urban areas using high resolution imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 29 (11). p.pp. 3105-3117.

Su, Y., Guo, Q., Collins, B.M., Fry, D.L., Hu, T. & Kelly, M. (2016). Forest fuel treatment detection using multi-temporal airborne lidar data and high-resolution aerial imagery: a case study in the Sierra Nevada Mountains, California. *International Journal of Remote Sensing*. 37 (14). p.pp. 3322-3345.

Swain, P.H. & Davis, S.M. (1978). *Remote sensing: the quantitative approach*. P. H. Swain & S. M. Davis (eds.). New York: McGraw-Hill Inc.

- Swyngedouw, E. (2010). *Place, Nature and the Question of Scale: Interrogating the Production of Nature*.
- Tanase, M.A. & Gitas, I.Z. (2008). An Examination of the Effects of Spatial Resolution and Image Analysis Technique on Indirect Fuel Mapping. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 1 (4). p.pp. 220-229.
- Tao, X., Yan, B., Wang, K., Wu, D., Fan, W., Xu, X. & Liang, S. (2009). Scale transformation of Leaf Area Index product retrieved from multiresolution remotely sensed data: analysis and case studies. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5383-5395.
- Tapsall, B., Milenov, P. & Tasdemir, K. (2010). *Analysis of RapidEye imagery for annual landcover mapping as an aid to European Union (EU) common agricultural policy*. In: 2010, pp. 568-573.
- Taylor, J.R. & Lovell, S.T. (2012). Mapping public and private spaces of urban agriculture in Chicago through the analysis of high-resolution aerial images in Google Earth. *Landscape and Urban Planning*. 108 (1). p.pp. 57-70.
- Tewes, A., Thonfeld, F., Schmidt, M., Oomen, R.J., Zhu, X., Dubovyk, O., Menz, G. & Schellberg, J. (2015). Using RapidEye and MODIS data fusion to monitor vegetation dynamics in semi-arid rangelands in South Africa. *Remote Sensing*. 7 (6). p.pp. 6510-6534.
- Thenkabail, P.S., Hall, J., Lin, T., Ashton, M.S., Harris, D. & Enclona, E.A. (2003). Detecting floristic structure and pattern across topographic and moisture gradients in a mixed species Central African forest using IKONOS and Landsat-7 ETM+ images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 4 (3). p.pp. 255-270.
- Thomas, N., Hendrix, C. & Congalton, R.G. (2003). A Comparison of Urban Mapping Methods Using High-Resolution Digital Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 69 (9). p.pp. 963-972.
- Thomlinson, J.R., Bolstad, P. V. & Cohen, W.B. (1999). Coordinating methodologies for scaling landcover classifications from site-specific to global: Steps toward validating global map products. *Remote Sensing of Environment*. 70 (1). p.pp. 16-28.
- Thoonen, G., Hufkens, K., Borre, J. Vanden, Spanhove, T. & Scheunders, P. (2012). Accuracy assessment of contextual classification results for vegetation mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 15 (1). p.pp. 7-15.
- Tigges, J., Lakes, T. & Hostert, P. (2013). Urban vegetation classification: Benefits of multitemporal RapidEye satellite data. *Remote Sensing of Environment*. 136. p.pp. 66-75.
- Tobler, W.R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region.

Economic Geography. 46. p.p. 234.

- Todd, S.W., Hoffer, R.M. & Milchunas, D.G. (1998). Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices. *International Journal of Remote Sensing*. 19 (3). p.pp. 427-438.
- Tong, X., Shi, W. & Deng, S. (2009). A probability-based multi-measure feature matching method in map conflation. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5453-5472.
- Townshend, J., Justice, C., Li, W., Gurney, C. & McManus, J. (1991). Global land cover classification by remote sensing: present capabilities and future possibilities. *Remote Sensing of Environment*. 35 (2-3). p.pp. 243-255.
- Townshend, J.R.G. (1980). The spatial resolving power of earth resources satellites. *Progress in Physical Geography*. 5 (1). p.pp. 32-55.
- Townshend, J.R.G., Gurney, C., McManus, J. & Justice, C.O. (1992). The Impact of Misregistration on Change Detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 30 (5). p.pp. 1054-1060.
- Trang, N.T.Q., Toan, L.Q., Ai, T.T.H., Giang, N.V. & Hoa, P.V. (2016). Object-Based vs. Pixel-Based Classification of Mangrove Forest Mapping in Vien An Dong Commune, Ngoc Hien District, Ca Mau Province Using VNREDSat-1 Images. *Advances in Remote Sensing*. 5 (4). p.pp. 284-295.
- Treitz, P. (2000). High Spatial Resolution Remote Sensing Data for Forest Ecosystem Classification An Examination of Spatial Scale. *Remote Sensing of Environment*. 72 (3). p.pp. 268-289.
- Trimble (2014). *eCognition Developer User Guide*. p.p. 261.
- Trout, T.J., Johnson, L.F. & Gartung, J. (2008). Remote sensing of canopy cover in horticultural crops. *Hortscience*. 43 (2). p.pp. 333-337.
- Tseng, D.-C., Tseng, H.-T. & Chien, C.-L. (2008). Automatic cloud removal from multi-temporal SPOT images. *Applied Mathematics and Computation*. 205 (2). p.pp. 584-600.
- Tseng, M. (2008). A genetic algorithm rule-based approach for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 63 (2). p.pp. 202-212.
- Tucker, C., Pinzon, J., Brown, M., Slayback, D., Pak, E., Mahoney, R., Vermote, E. & El Saleous, N. (2005). An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*. 26 (20). p.pp.

4485-4498.

- Tucker, C.J. (1977). Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. *Applied Optics*. 16 (5). p.p. 1151.
- Tuomisto, H., Ruokolainen, K., Kalliola, R., Linna, A., Danjoy, W. & Rodriguez, Z. (1995). Dissecting Amazonian Biodiversity. *Science*. 296 p.pp. 63-66.
- Turner, M. (1990). Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*. 4 (1). p.pp. 21-30.
- Turner, M.G. (1989). Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 20 (1). p.pp. 171-197.
- Turner, M.G., Dale, V.H. & Gardner, R.H. (1989a). Predicting across scales: Theory development and testing. *Landscape Ecology*. 3. p.pp. 245-252.
- Turner, M.G., Gardner, R.H. & O'Neill, R. V. (2001). *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. New York: Springer.
- Turner, M.G., O'Neill, R. V, Gardner, R.H. & Milne, B.T. (1989b). Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology*. 3 (3-4). p.pp. 153-162.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E. & Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*. 18 (6). p.pp. 306-314.
- Upadhyay, P., Ghosh, S.K. & Kumar, A. (2014). A Brief Review of Fuzzy Soft Classification and Assessment of Accuracy Methods for Identification of Single Land Cover. *Studies in Surveying and Mapping Science*. 2 (August).
- Ustin, S.L. & Gamon, J.A. (2010). Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist*. 186 (4). p.pp. 795-816.
- Ustin, S.L., Gitelson, A.A., Jacquemoud, S., Schaepman, M., Asner, G.P., Gamon, J.A. & Zarco-Tejada, P. (2009). Retrieval of foliar information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*. 113 (SUPPL. 1). p.pp. S67-S77.
- Ustuner, M., Sanli, F.B., Abdikan, S., Esetlili, M.T. & Kurucu, Y. (2014). Crop type classification using vegetation indices of rapideye imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. 40 (7). p.pp. 195-198.
- Ustuner, M., Sanli, F.B. & Dixon, B. (2015). Application of support vector machines for landuse classification using high-resolution rapideye images: A sensitivity analysis. *European*

Journal of Remote Sensing. 48. p.pp. 403-422.

- Vaiphasa, C., Piamduaytham, S., Vaiphasa, T. & Skidmore, A.K. (2011). A normalized difference vegetation index (NDVI) time-series of idle agriculture lands: A preliminary study. *Engineering Journal*. 15 (1). p.pp. 9-16.
- Vaudour, E., Gilliot, J.M., Bel, L., Bréchet, L., Hamiache, J., Hadjar, D. & Lemonnier, Y. (2014). Uncertainty of soil reflectance retrieval from SPOT and rapideyemultispectral satellite images using a per-pixel bootstrappedempirical line atmospheric correction over an agricultural region. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 26 (1). p.pp. 217-234.
- Viña, A. & Gitelson, A.A. (2005). New developments in the remote estimation of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation in crops. *Geophysical Research Letters*. 32 (17). p.pp. 1-4.
- Vitousek, P.M., Mooney, H. a, Lubchenco, J. & Melillo, J.M. (1997). Human Domination of Earth' s Ecosystems. *Science*. 277 (5325). p.pp. 494-499.
- Van Wagendonk, J.W. & Root, R.R. (2003). The use of multi-temporal Landsat Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data for mapping fuel models in Yosemite National Park, USA. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (8). p.pp. 1639-1651.
- Wallner, A., Elatawneh, A., Schneider, T. & Knoke, T. (2014). Estimation of forest structural information using RapidEye satellite data. *Forestry*. 0 (2011). p.pp. 1-12.
- Wang, F. (1990a). Fuzzy supervised classification of remote sensing images. *IEEE Trans. Geo. Remote Sens*. 28 (2). p.pp. 194-201.
- Wang, F. (1990b). Improving remote sensing image analysis through fuzzy information representation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 56 (8) p.pp. 1163-1168.
- Wang, H., Zhang, W., Zhou, G., Yan, G. & Clinton, N. (2009a). Image-based 3D corn reconstruction for retrieval of geometrical structural parameters. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5505-5513.
- Wang, K., Franklin, S.E., Guo, X. & Cattet, M. (2010). Remote Sensing of Ecology, Biodiversity and Conservation: A Review from the Perspective of Remote Sensing Specialists. *Sensors*. 10 (11). p.pp. 9647-9667.
- Wang, K., Franklin, S.E., Guo, X.L., He, Y.H. & McDermid, G.J. (2009b). Problems in remote sensing of landscapes and habitats. *Progress in Physical Geography*. 33 (6). p.pp. 747-768.

- Wang, K., Xiang, W., Guo, X. & Liu, J. (2012). Remote Sensing of Forestry Studies. In: *Global Perspectives on Sustainable Forest Management*. InTech.
- Wang, L., Shi, C., Diao, C., Ji, W. & Yin, D. (2016). A survey of methods incorporating spatial information in image classification and spectral unmixing. *International Journal of Remote Sensing*. 37 (16). p.pp. 3870-3910.
- Wang, L., Sousa, W.P. & Gong, P. (2004a). Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (24). p.pp. 5655-5668.
- Wang, L., Sousa, W.P., Gong, P. & Biging, G.S. (2004b). Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama. *Remote Sensing of Environment*. 91 (3-4). p.pp. 432-440.
- Wang, Q. & Tenhunen, J.D. (2004). Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China Transect (NECT). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 6 (1). p.pp. 17-31.
- Wang, Y., Mitchell, B.R., Nugranad-Marzilli, J., Bonyng, G., Zhou, Y. & Shriver, G. (2009c). Remote sensing of land-cover change and landscape context of the National Parks: A case study of the Northeast Temperate Network. *Remote Sensing of Environment*. 113 (7). p.pp. 1453-1461.
- Warner, T.A., Nellis, M.D. & Foody, G.M. (2009). Remote Sensing Scale and Data Selection Issues. In: *The SAGE Handbook of Remote Sensing*. 1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1SP United Kingdom: SAGE Publications Ltd, pp. 3-17.
- Waser, L.T., Ginzler, C., Kuechler, M., Baltsavias, E. & Hurni, L. (2011). Semi-automatic classification of tree species in different forest ecosystems by spectral and geometric variables derived from Airborne Digital Sensor (ADS40) and RC30 data. *Remote Sensing of Environment*. 115 (1). p.pp. 76-85.
- Waser, L.T., Kuechler, M., Jütte, K. & Stampfer, T. (2014). Evaluating the potential of worldview-2 data to classify tree species and different levels of ash mortality. *Remote Sensing*. 6 (5). p.pp. 4515-4545.
- Waske, B., Fauvel, M., Benediktsson, J.A. & Chanussot, J. (2009). Machine Learning Techniques in Remote Sensing Data Analysis. In: *Kernel Methods for Remote Sensing Data Analysis*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, pp. 1-24.
- Watson, M.K. (1978). The Scale Problem in Human Geography. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*. 60 (1). p.p. 36.
- Weber, K.T. (2006). Challenges of Integrating Geospatial Technologies into Rangeland
- Όλγα Ν. Ρετσιλίδου 363

- Research and Management. *Rangeland Ecology & Management*. 59 (1). p.pp. 38-43.
- Weichelt, H., Rosso, P., Marx, A., Reigber, S., Douglass, K. & Heynen, M. (2014). The RapidEye Red Edge Band. *BlackBridge White Papers*. p.pp. 1-6.
- Wen, J., Liu, Q., Liu, Q., Xiao, Q. & Li, X. (2009). Scale effect and scale correction of land-surface albedo in rugged terrain. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5397-5420.
- White, J.C., Coops, N.C., Wulder, M.A., Vastaranta, M., Hilker, T. & Tompalski, P. (2016). Remote Sensing Technologies for Enhancing Forest Inventories: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 8992 (October). p.pp. 1-23.
- White, J.D. & Running, S.W. (1994). Testing scale dependent assumptions in regional ecosystem simulations. *Journal of vegetation science*. 5 (5). p.pp. 687-702.
- White, M.A., de Beurs, K.M., Didan, K., Inouye, D.W., Richardson, A.D., Jensen, O.P., O'Keefe, J., Zhang, G., Nemani, R.R., van Leeuwen, W.J.D., Brown, J.F., de Wit, A., Schaepman, M., Lin, X., Dettinger, M., Bailey, A.S., Kimball, J., Schwartz, M.D., Baldocchi, D.D., Lee, J.T. & Lauenroth, W.K. (2009). Intercomparison, interpretation, and assessment of spring phenology in North America estimated from remote sensing for 1982-2006. *Global Change Biology*. 15 (10). p.pp. 2335-2359.
- Wicks, T.E. & Curran, P.J. (2003). Flipping forests: Estimating future carbon sequestration of the boreal forest using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (4). p.pp. 835-842.
- Wicks, T.E., Smith, G.M. & Curran, P.J. (2002). Polygon-based aggregation of remotely sensed data for regional ecological analyses. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 4 (2). p.pp. 161-173.
- Wiens, J.A. (1989a). Spatial scaling in ecology. *Functional ecology*. 3 (4). p.pp. 385-397.
- Wiens, J.A. (1989b). Spatial Scaling in Ecology Spatial scaling in ecology1. *Source: Functional Ecology*. 3 (4). p.pp. 385-397.
- Wilkinson, G.G. (2005). Results and implications of a study of fifteen years of satellite image classification experiments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 43 (3). p.pp. 433-440.
- Williams, J.W. (2003). Variations in tree cover in North America since the last glacial maximum. *Global and Planetary Change*. 35 (1-2). p.pp. 1-23.
- Wilson, M.J. & Oreopoulos, L. (2013). Enhancing a simple MODIS cloud mask algorithm for the landsat data continuity mission. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote*

- Sensing*. 51 (2). p.pp. 723-731.
- Wolter, P.T., Mladenoff, D.J., Host, G.E. & Crow, T.R. (1995). Improved forest classification in the northern Lake States using multi-temporal landsat imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 61 (9). p.pp. 1129-1143.
- Wolter, P.T., Townsend, P.A. & Sturtevant, B.R. (2009). Estimation of forest structural parameters using 5 and 10??meter SPOT-5 satellite data. *Remote Sensing of Environment*. 113 (9). p.pp. 2019-2036.
- Woodcock, C.E. & Gopal, S. (2000). Fuzzy set theory and thematic maps: accuracy assessment and area estimation. *International Journal of Geographical Information Science*. 14 (2). p.pp. 153-172.
- Woodcock, C.E. & Strahler, A.H. (1987). The factor of scale in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 21 (3). p.pp. 311-332.
- Wu, C. (2004a). Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery. *Remote Sensing of Environment*. 93 (4). p.pp. 480-492.
- Wu, C. & Murray, A.T. (2003). Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. *Remote Sensing of Environment*. 84 (4). p.pp. 493-505.
- Wu, H. & Li, Z.L. (2009). Scale issues in remote sensing: A review on analysis, processing and modeling. *Sensors*. 9 (3). p.pp. 1768-1793.
- Wu, J. (2004b). Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. *Landscape Ecology*. 19 (2). p.pp. 125-138.
- Wu, J. (1999). HIERARCHY AND SCALING: EXTRAPOLATING INFORMATION ALONG A SCALING LADDER. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 25 (4). p.pp. 367-380.
- Wu, J., Jelinski, D.E., Luck, M. & Tueller, P.T. (2000). Multiscale Analysis of Landscape Heterogeneity: Scale Variance and Pattern Metrics. *Annals of GIS*. 6 (1). p.pp. 6-19.
- Wu, J., Jones, B.K., Li, H. & Loucks, O.L. (2006a). *Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications*. Springer Science & Business Media.
- Wu, J., Jones, K.B., Li, H. & Loucks, O.L. (2006b). SCALING WITH KNOWN UNCERTAINTY: A Synthesis. In: *Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications*. Springer Science & Business Media.
- Wu, J. & Levin, S.A. (1994). A Spatial Patch Dynamic Modeling Approach to Pattern and Process in an Annual Grassland. *Ecological Monographs*. 64 (4). p.pp. 447-464.
- Wu, J. & Li, H. (2006). Concepts of Scale and Scaling. In: J. Wu, K. B. Jones, H. Li, & O. L. Loucks (eds.). *Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications*.

Springer Science & Business Media.

- Wu, J. & Loucks, O.L. (1995). From balance of nature to patch dynamics: hierarchical a paradigm shift in ecology. *The Quarterly Review of Biology*. 70 (4). p.pp. 439-466.
- Wu, W., Shibasaki, R., Yang, P., Zhou, Q. & Tang, H. (2008). Remotely sensed estimation of cropland in China: A comparison of the maps derived from four global land cover datasets. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 34 (5). p.pp. 467-479.
- Wu, Z., Yi, L. & Zhang, G. (2009). Uncertainty analysis of object location in multi-source remote sensing imagery classification. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5473-5487.
- Wulder, M. (1998). Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters. *Progress in Physical Geography*. 22 (4). p.pp. 449-476.
- Wulder, M.A., Dymond, C.C., White, J.C., Leckie, D.G. & Carroll, A.L. (2006). Surveying mountain pine beetle damage of forests: A review of remote sensing opportunities. *Forest Ecology and Management*. 221 (1-3). p.pp. 27-41.
- Wulder, M.A., Ortlepp, S.M., White, J.C. & Coops, N.C. (2008). Technical note / Note technique Impact of sun-surface-sensor geometry upon multitemporal high spatial resolution satellite imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 34 (5). p.pp. 455-461.
- Xian, G. & Crane, M. (2005). Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*. 97 (2). p.pp. 203-215.
- Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D. & Liu, M. (2002). Characterization of forest types in Northeastern China, using multi-temporal SPOT-4 VEGETATION sensor data. *Remote Sensing of Environment*. 82 (2-3). p.pp. 335-348.
- Xie, Y., Sha, Z. & Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*. 1 (1). p.pp. 9-23.
- Xu, M., Watanachaturaporn, P., Varshney, P.K. & Arora, M.K. (2005). Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*. 97 (3). p.pp. 322-336.
- Yang, C.C., Prasher, S.O., Enright, P., Madramootoo, C., Burgess, M., Goel, P.K. & Callum, I. (2003). Application of decision tree technology for image classification using remote sensing data. *Agricultural Systems*. 76 (3). p.pp. 1101-1117.
- Yang, X. & Liu, Z. (2005). Use of satellite-derived landscape imperviousness index to characterize urban spatial growth. *Computers, Environment and Urban Systems*. 29 (5 SPEC. ISS.). p.pp. 524-540.

- Yang, X. & Lo, C.P. (2002). Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *International Journal of Remote Sensing*. 23 (9). p.pp. 1775-1798.
- Yin, H., Udelhoven, T., Fensholt, R., Pflugmacher, D. & Hostert, P. (2012). How normalized difference vegetation index (NDVI) trends from advanced very high resolution radiometer (AVHRR) and système probatoire d'observation de la terre vegetation (SPOT VGT) time series differ in agricultural areas: An inner mongolian case study. *Remote Sensing*. 4 (11). p.pp. 3364-3389.
- Yu, L. & Gong, P. (2012). Google Earth as a virtual globe tool for Earth science applications at the global scale: progress and perspectives. *International Journal of Remote Sensing*. 33 (12). p.pp. 3966-3986.
- Yu, L., Liang, L., Wang, J., Zhao, Y., Cheng, Q., Hu, L., Liu, S., Yu, L., Wang, X., Zhu, P., Li, X., Xu, Y., Li, C., Fu, W., Li, X., Li, W., Liu, C., Cong, N., Zhang, H., Sun, F., Bi, X., Xin, Q., Li, D., Yan, D., Zhu, Z., Goodchild, M.F. & Gong, P. (2014). Meta-discoveries from a synthesis of satellite-based land-cover mapping research. *International Journal of Remote Sensing*. 35 (13). p.pp. 4573-4588.
- Yu, Q., Gong, P., Clinton, N., Biging, G., Kelly, M. & Schirokauer, D. (2006). *Object-based Detailed Vegetation Classification with Airborne High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery*. 72 (7). p.pp. 799-811.
- Yuan, F., Sawaya, K.E., Loeffelholz, B.C. & Bauer, M.E. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 98 (2-3). p.pp. 317-328.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. 8 (3). p.pp. 338-353.
- Zarco-Tejada, P.J., Miller, J.R., Noland, T.L., Mohammed, G.H. & Sampson, P.H. (2001). Scaling-up and model inversion methods with narrowband optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyperspectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 39 (7). p.pp. 1491-1507.
- Zhan, Q., Molenaar, M., Tempfli, K. & Shi, W. (2005). Quality assessment for geo-spatial objects derived from remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 26 (14). p.pp. 2953-2974.
- Zhang, B., Li, S., Wu, C., Gao, L., Zhang, W. & Peng, M. (2013a). A neighborhood-constrained k-means approach to classify very high spatial resolution hyperspectral imagery. *Remote Sensing Letters*. 4 (February 2015). p.pp. 161-170.
- Zhang, C., Cooper, H., Selch, D., Meng, X., Qiu, F., Myint, S.W., Roberts, C. & Xie, Z. (2014a).

Mapping urban land cover types using object-based multiple endmember spectral mixture analysis. *Remote Sensing Letters*. 5 (6). p.pp. 521-529.

- Zhang, G., Cao, Z. & Gu, Y. (2005). A hybrid classifier based on rough set theory and support vector machines. *International Conference on Fuzzy Systems and*. p.pp. 1287-1296.
- Zhang, J. & Foody, G.M. (1998). A fuzzy classification of sub-urban land cover from remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 19 (14). p.pp. 2721-2738.
- Zhang, J. & Foody, G.M. (2001). Fully-fuzzy supervised classification of sub-urban land cover from remotely sensed imagery: Statistical and artificial neural network approaches. *International Journal of Remote Sensing*. 22 (4). p.pp. 615-628.
- Zhang, J. & Foody, G.M. (2009). Preface: Spatial accuracy in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5239-5242.
- Zhang, J. & Kirby, R.P. (1997). An evaluation of fuzzy approaches to mapping land cover from aerial photographs. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 52 (5). p.pp. 193-201.
- Zhang, J., Kyriakidis, P. & Kelly, R. (2009). Geostatistical approaches to conflation of continental snow data. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (20). p.pp. 5441-5451.
- Zhang, W., Li, A., Jin, H., Bian, J., Zhang, Z., Lei, G., Qin, Z. & Huang, C. (2013b). An enhanced spatial and temporal data fusion model for fusing landsat and modis surface reflectance to generate high temporal landsat-like data. *Remote Sensing*. 5 (10). p.pp. 5346-5368.
- Zhang, W., Zhang, X., Li, L. & Zhang, Z. (2007). Urban forest in Jinan City: Distribution, classification and ecological significance. *Catena*. 69 (1). p.pp. 44-50.
- Zhang, X., Sun, R., Zhang, B. & Tong, Q. (2008). Land cover classification of the North China Plain using MODIS_EVI time series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 63 (4). p.pp. 476-484.
- Zhang, Y., Guindon, B., Lantz, N., Shipman, T., Chao, D. & Raymond, D. (2014b). Quantification of anthropogenic and natural changes in oil sands mining infrastructure land based on RapidEye and SPOT5. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 29 (1). p.pp. 31-43.
- Zheng, D., Heath, L.S., Ducey, M.J. & Smith, J.E. (2009). Quantifying scaling effects on satellite-derived forest area estimates for the conterminous USA. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (12). p.pp. 3097-3114.
- Zhu, A.X., Band, L.E., Dutton, B. & Nimlos, T.J. (1996). Automated soil inference under fuzzy logic. *Ecological Modelling*. 90 (2). p.pp. 123-145.

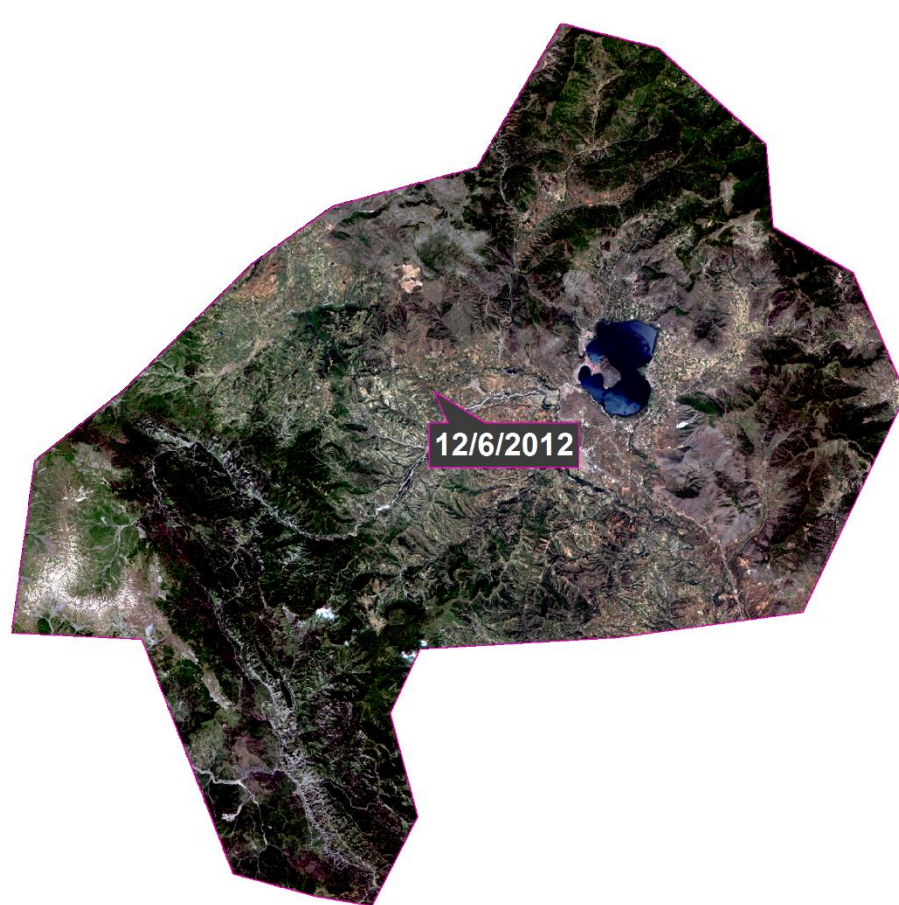
- Zhu, H. & Basir, O. (2005). An adaptive fuzzy evidential nearest neighbor formulation for classifying remote sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 43 (8). p.pp. 1874-1889.
- Zhu, L. & Tateishi, R. (2006). Fusion of multisensor multitemporal satellite data for land cover mapping. *International Journal of Remote Sensing*. 27 (5). p.pp. 903-918.
- Zimmerer, K.S. (2000). Rescaling irrigation in Latin America: the cultural images and political ecology of water resources. *Ecumene*. 7 (2). p.pp. 150-175.
- Zimmermann, N.E., Edwards, T.C., Moisen, G.G., Frescino, T.S. & Blackard, J.A. (2007). Remote sensing-based predictors improve distribution models of rare, early successional and broadleaf tree species in Utah. *Journal of Applied Ecology*. 44 (5). p.pp. 1057-1067.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

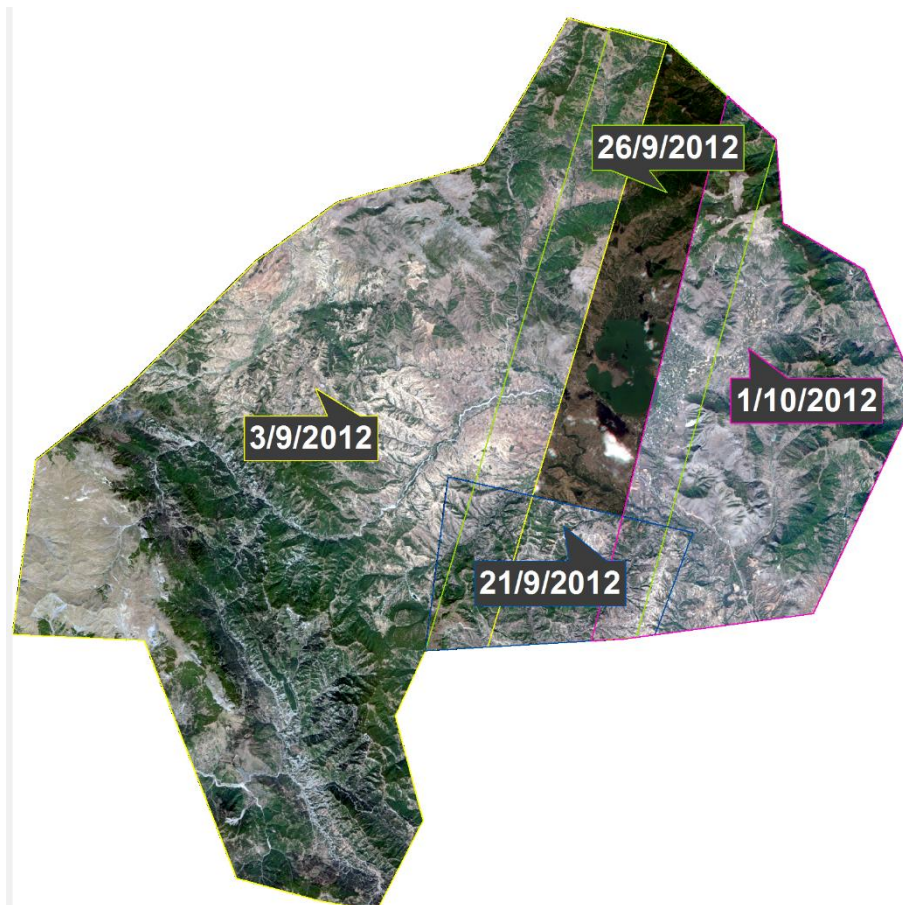


Εικόνα A 1 Δορυφορική εικόνα νήσου Ρόδου περιόδου ανάπτυξη βιομάζας - 04/05/2012

Εικόνα A 2 Δορυφορική εικόνα νήσου Ρόδου περιόδου ξηρής βιομάζας - 26/09/2012



Εικόνα Α 3 Δορυφορική εικόνα Καστοριάς περιόδου ανάπτυξης βιομάζας - 12/06/2012



Εικόνα Α 4 Δορυφορικές εικόνες Καστοριάς περιόδου ξηρής βιομάζας - 03/09/2012, 21/09/2012, 26/09/2012 και 01/10/2012



Εικόνα Α 5 Δορυφορικές εικόνες Χαλκιδικής περιόδου ανάπτυξη βιομάζας - 22/04/2012, 03/05/2012 και 22/06/2012



Εικόνα Α 6 Δορυφορικές εικόνες Χαλκιδικής περιόδου ξηρής βιομάζας - 15/08/2012, 20/08/2012, 24/09/2012, 29/09/2012 και 19/10/2012

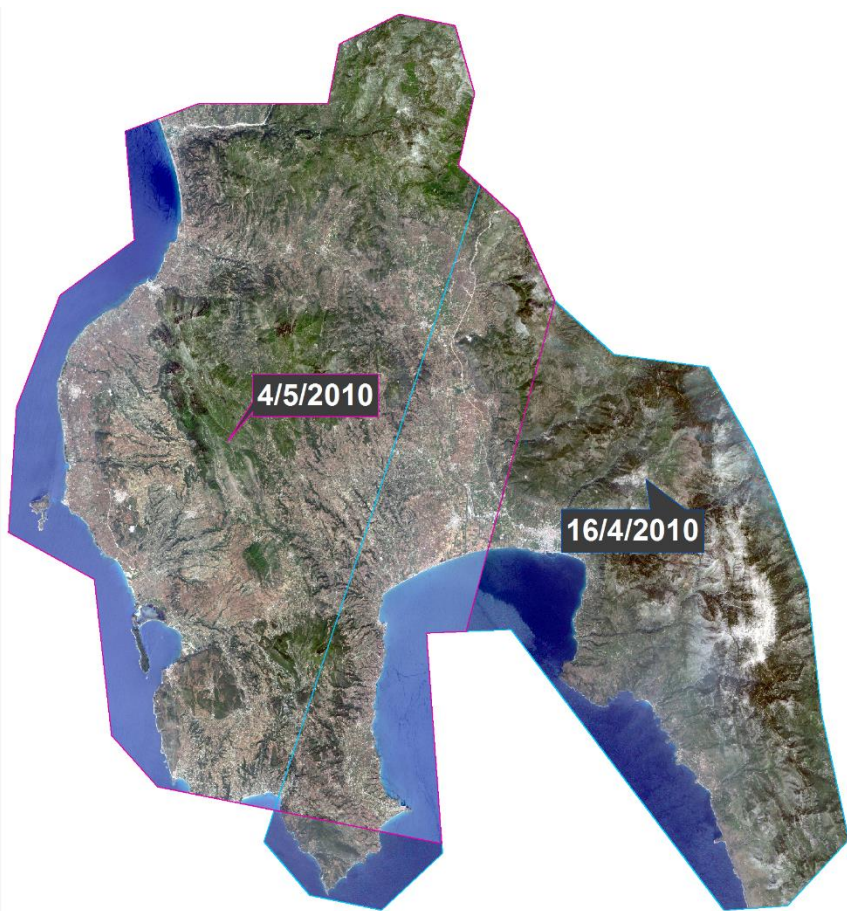


Εικόνα Α 7 Δορυφορική εικόνα Δυτικής Αττικής περιόδου ανάπτυξη βιομάζας - 22/04/2012

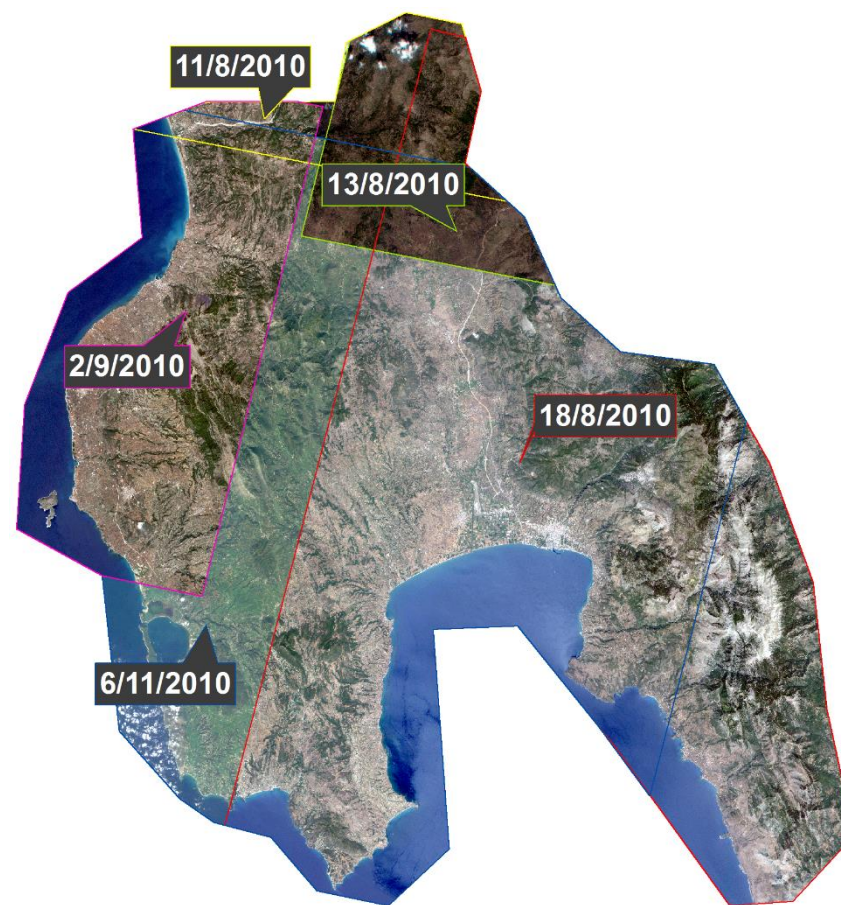


Εικόνα Α 8 Δορυφορική εικόνα Δυτικής Αττικής περιόδου ξηρής βιομάζας - 29/09/2012

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης



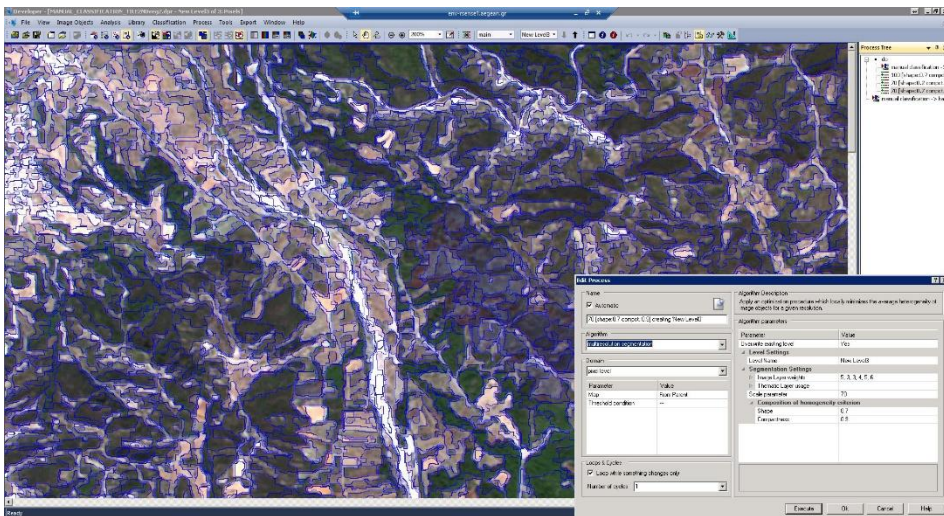
Εικόνα A 9 Δορυφορικές εικόνες Μεσσηνίας περιόδου ανάπτυξης βιομάζας - 04/05/2010 και 16/04/2010



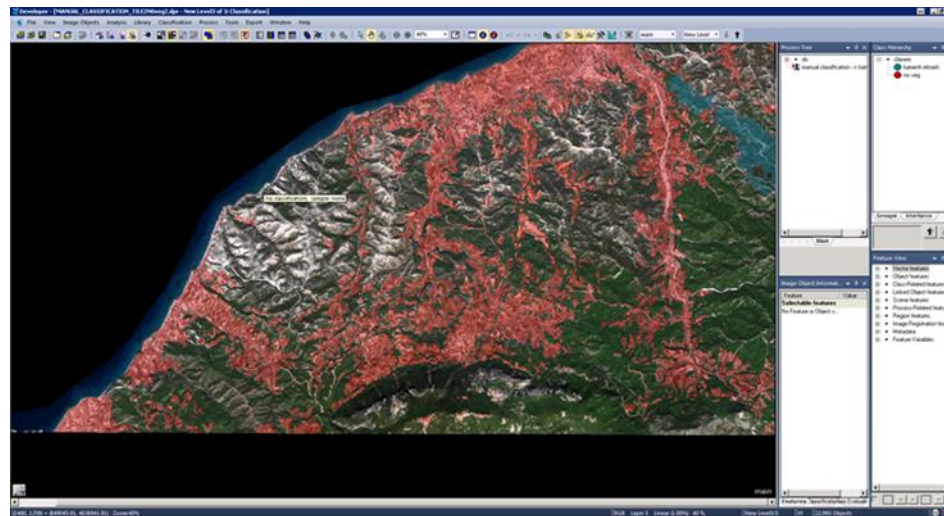
Εικόνα A 10 Δορυφορικές εικόνες Μεσσηνίας περιόδου ξηρής βιομάζας - 11/08/2010, 13/08/2010, 18/08/2010, 02/09/2010 και 06/11/2010

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΗΜΙ - ΑΥΤΟΜΑΤΗ
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

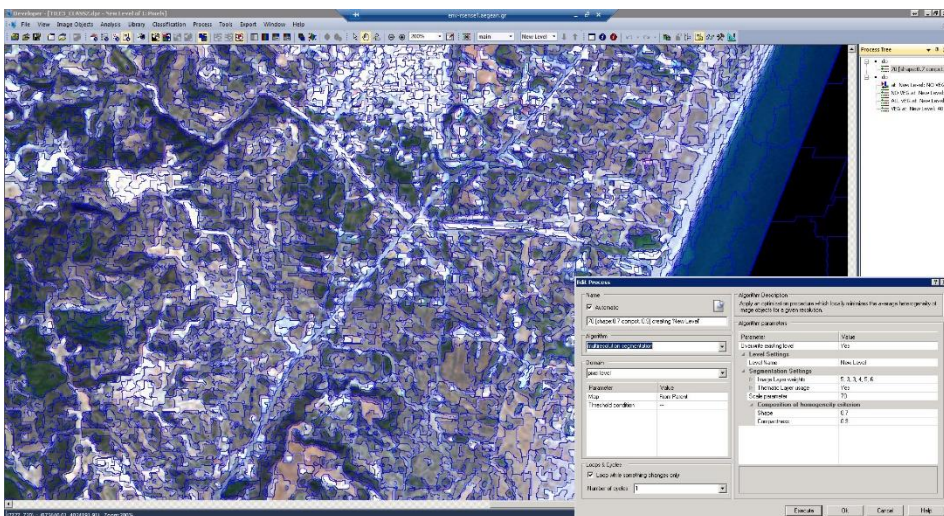
Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης



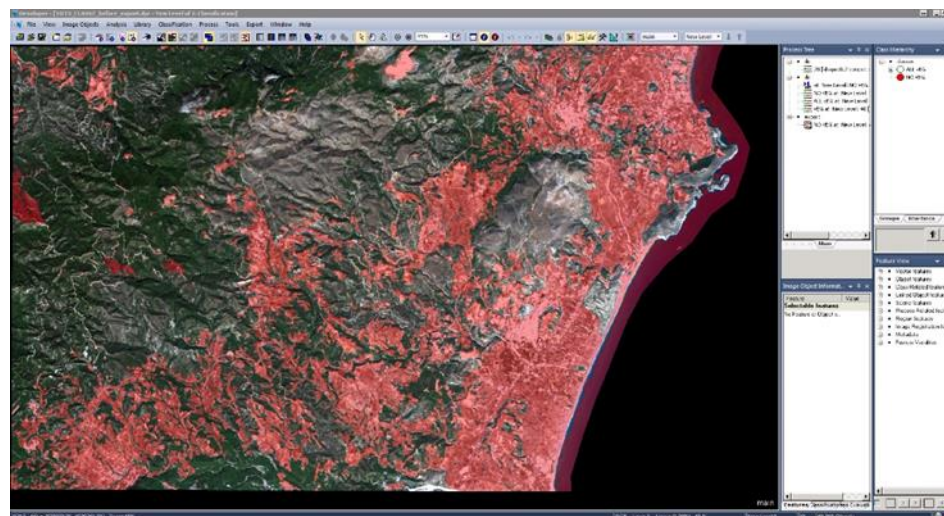
Εικόνα Β 1 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 2 της Ρόδου



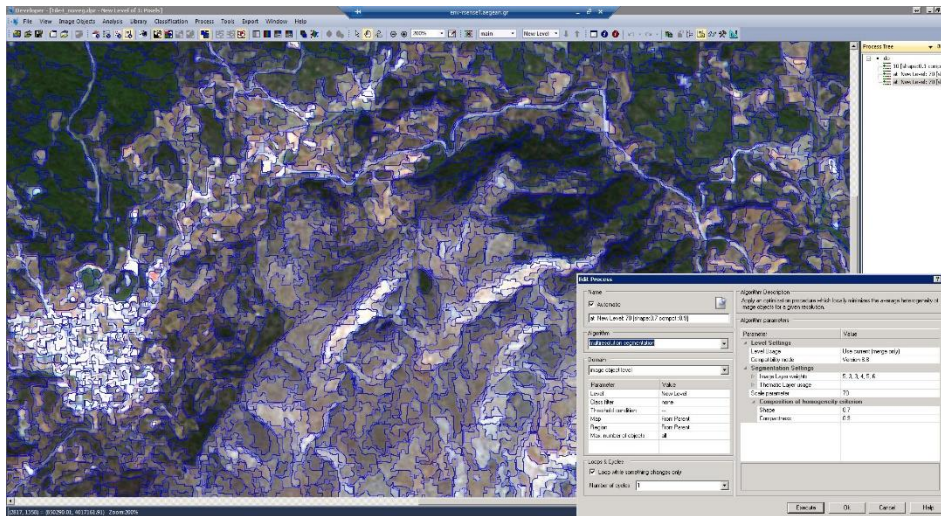
Εικόνα Β 2 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (2)



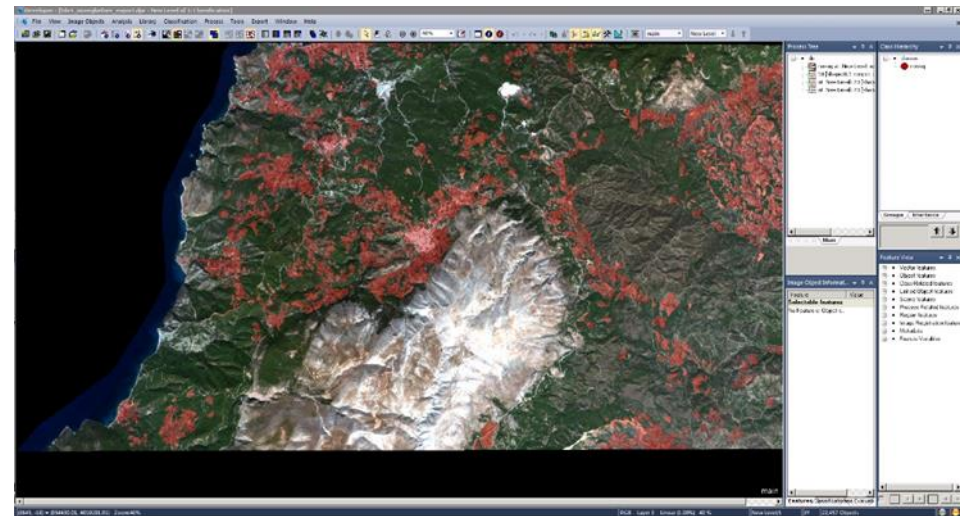
Εικόνα Β 3 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 3 της Ρόδου



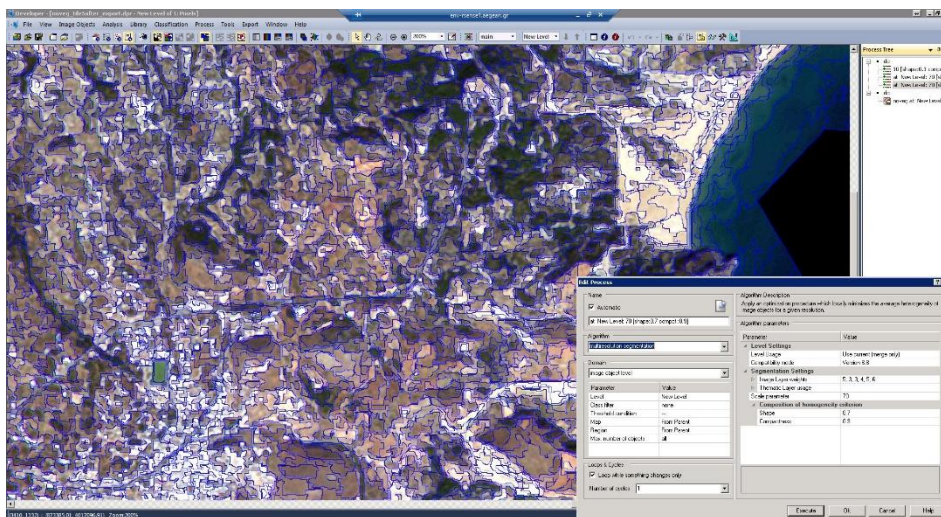
Εικόνα Β 4 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (3)



Εικόνα Β 5 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 4 της Ρόδου



Εικόνα Β 6 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (4)

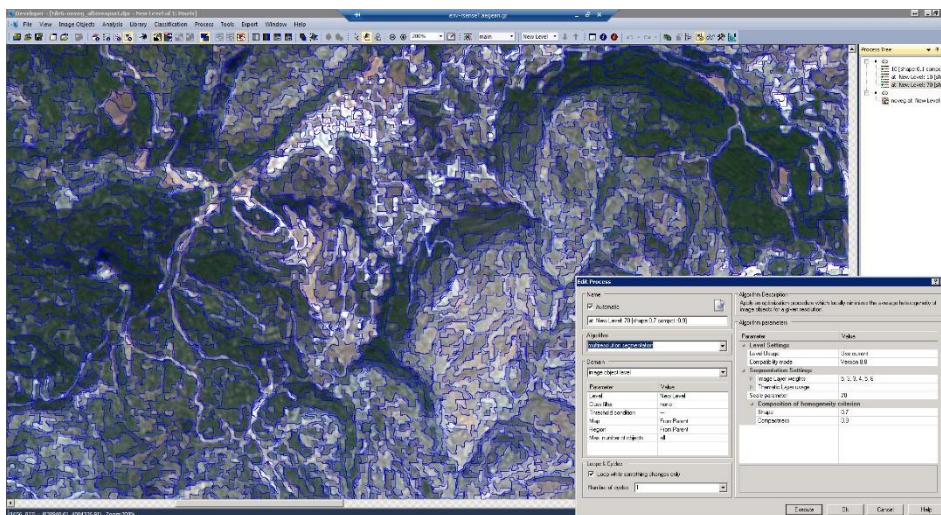


Εικόνα Β 7 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 5 της Ρόδου

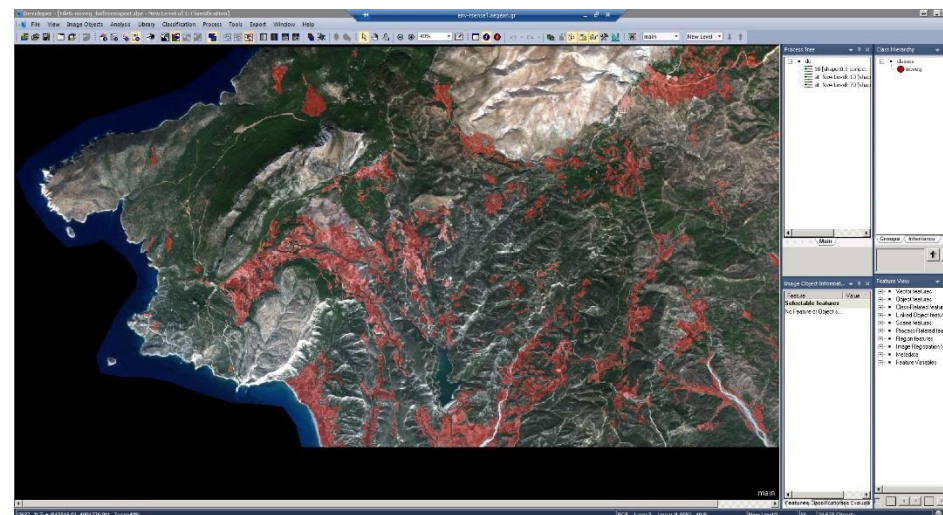


Εικόνα Β 8 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (5)

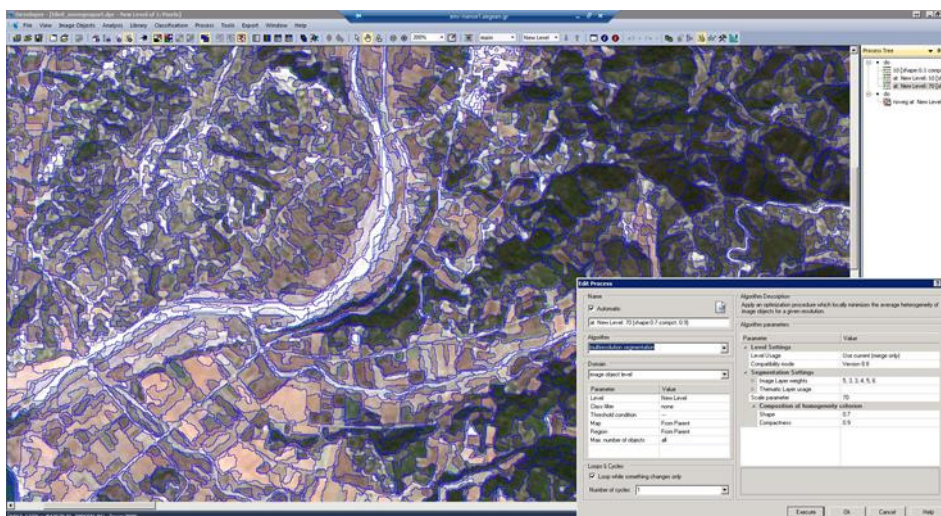
Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης



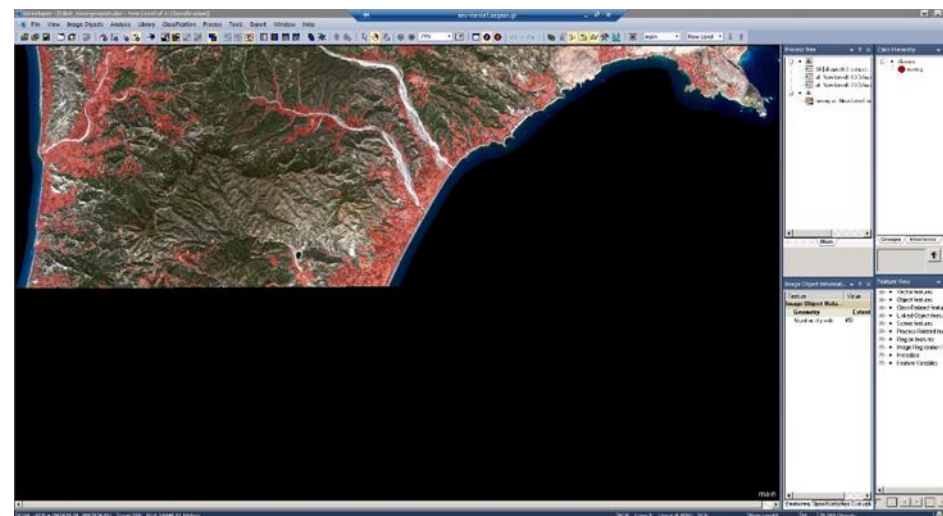
Εικόνα Β 9 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 6 της Ρόδου



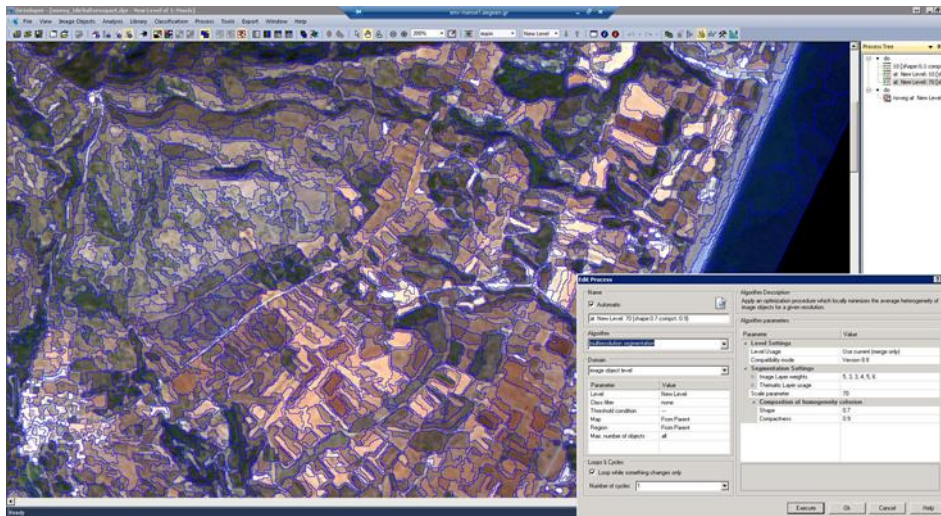
Εικόνα Β 10 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (6)



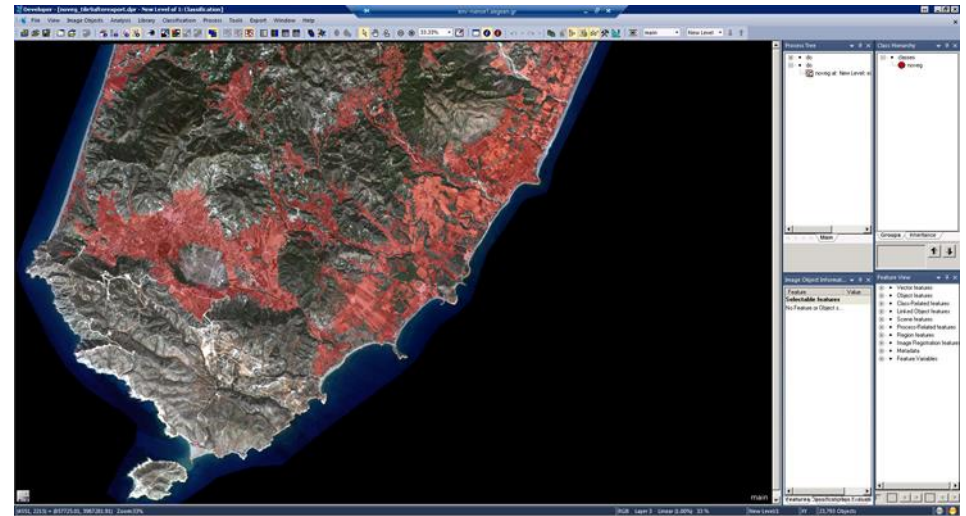
Εικόνα Β 11 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 7 της Ρόδου



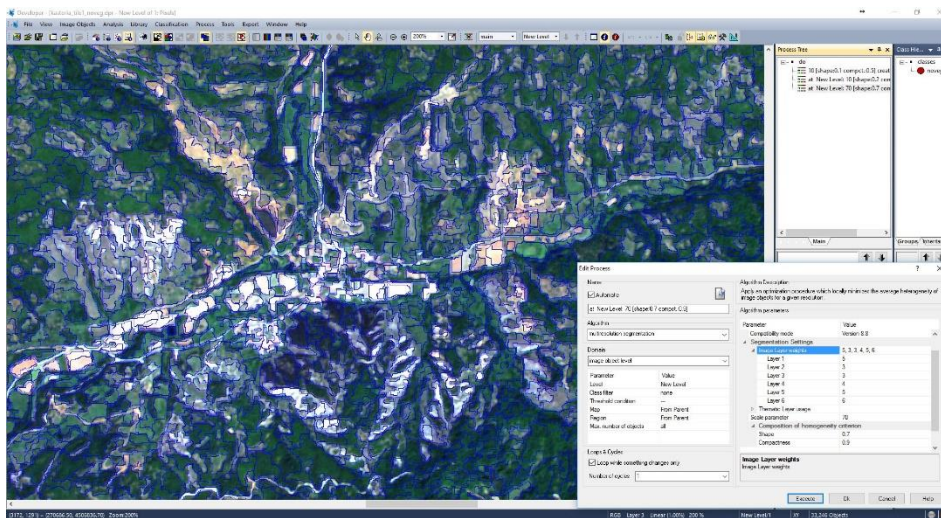
Εικόνα Β 12 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (7)



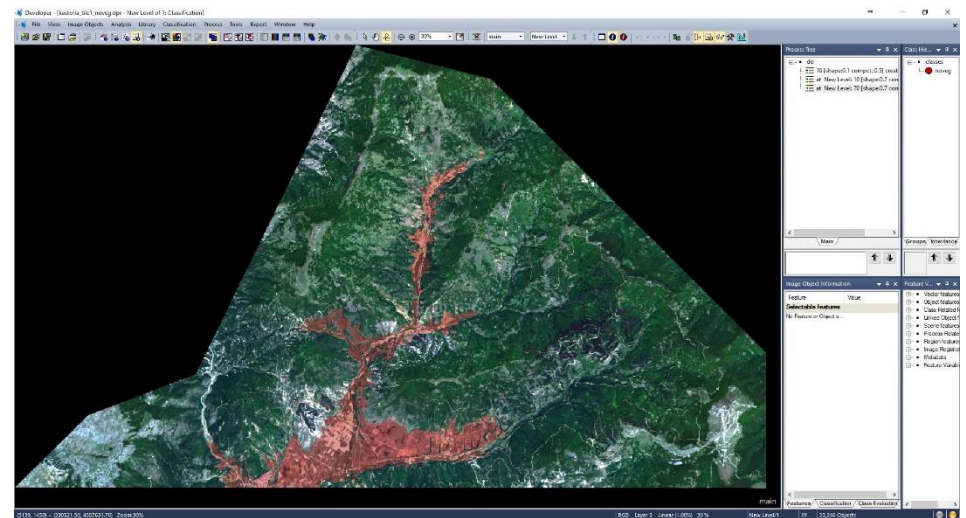
Εικόνα Β 13 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 8 της Ρόδου



Εικόνα Β 14 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (8)

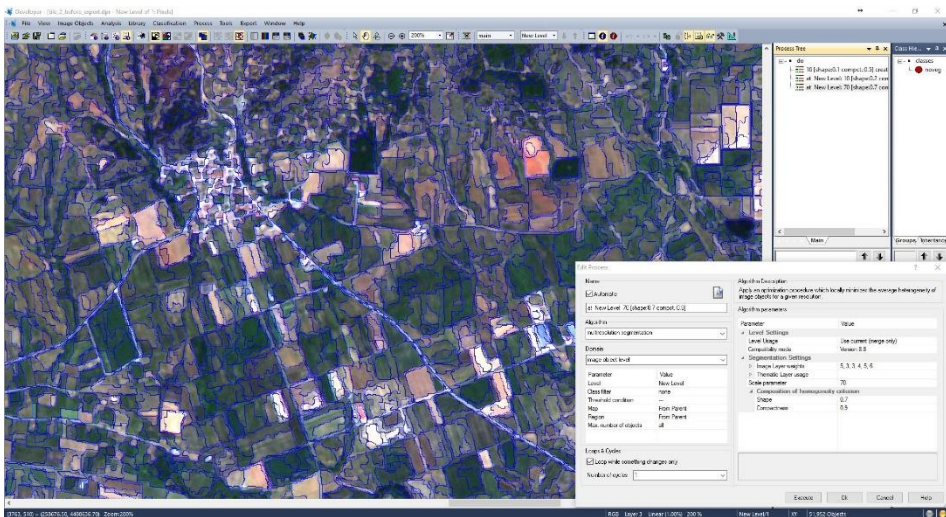


Εικόνα Β 15 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 1 της Καστοριάς

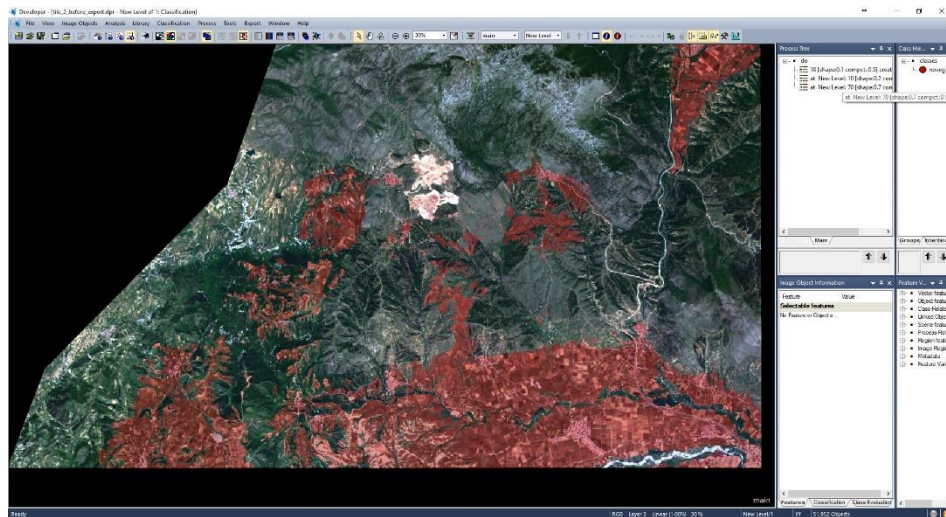


Εικόνα Β 16 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (1)

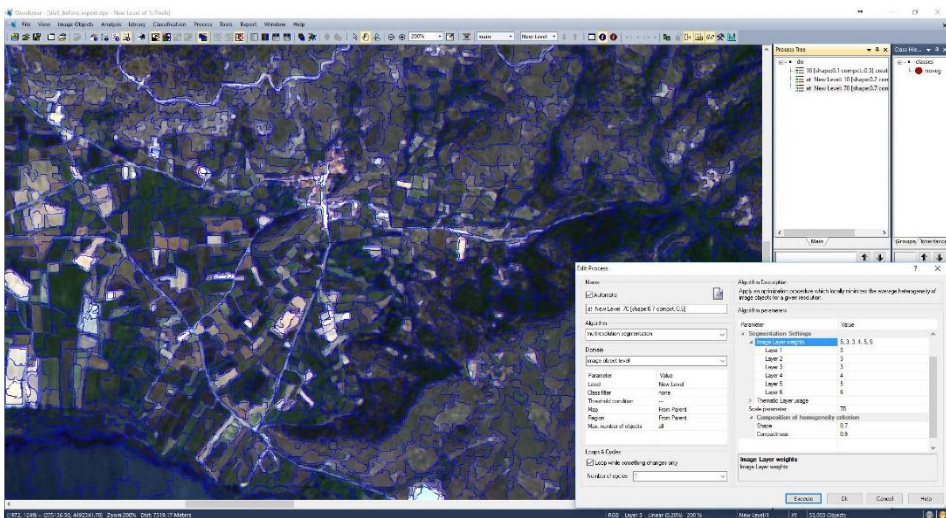
Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης



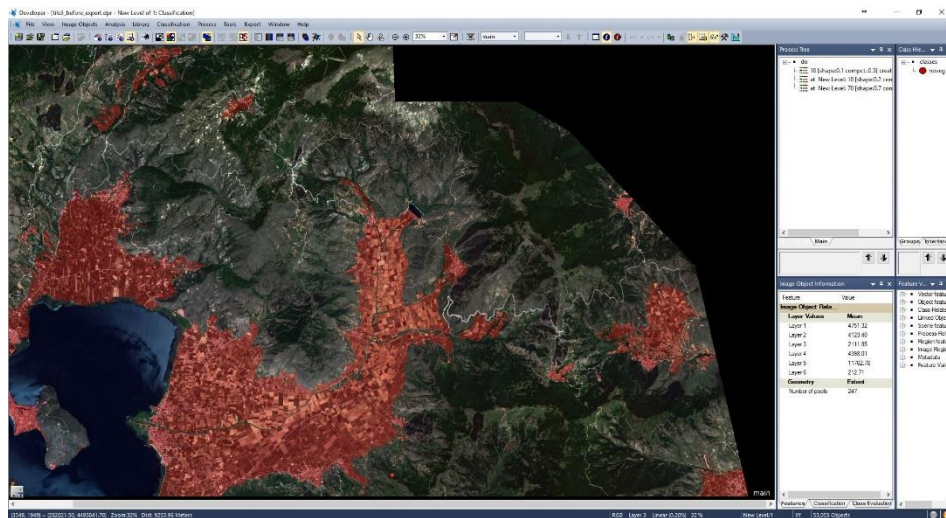
Εικόνα Β 17 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 2 της Καστοριάς



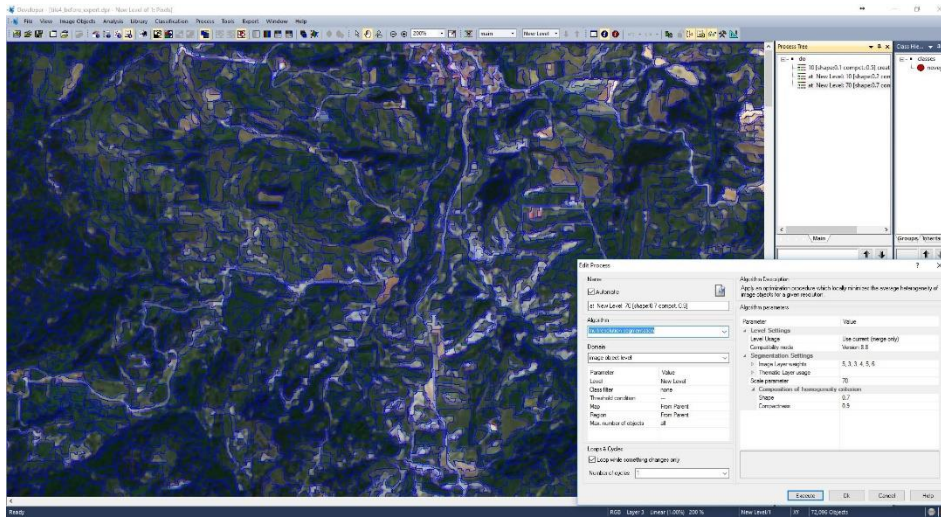
Εικόνα Β 18 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (2)



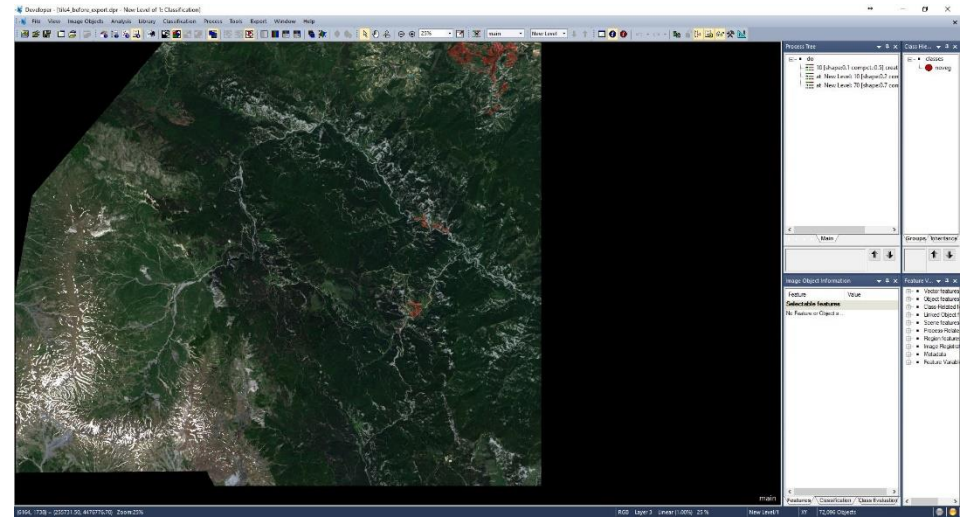
Εικόνα Β 19 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 3 της Καστοριάς



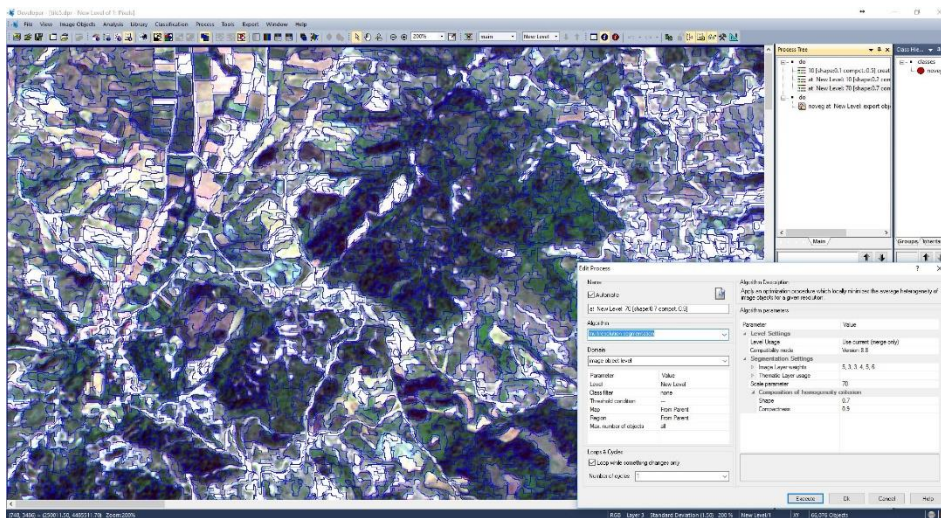
Εικόνα Β 20 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (3)



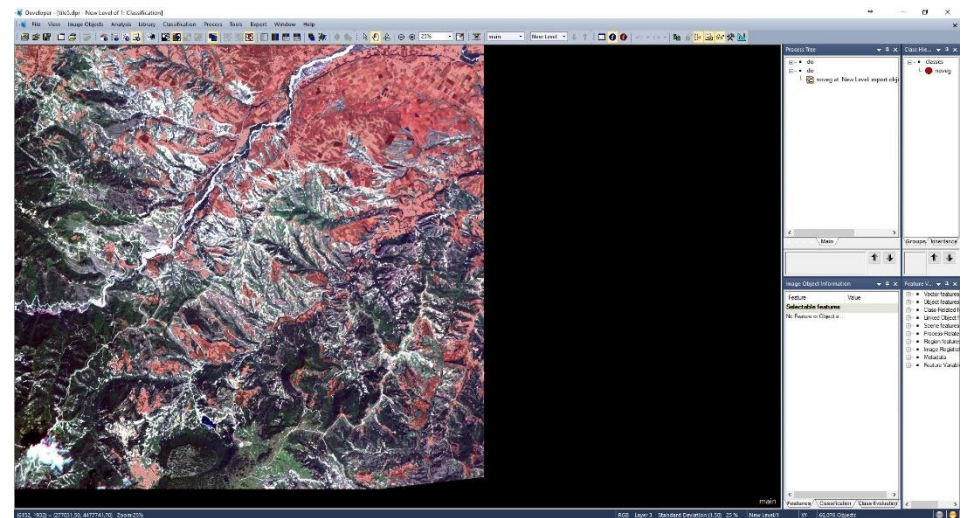
Εικόνα Β 21 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 4 της Καστοριάς



Εικόνα Β 22 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (4)

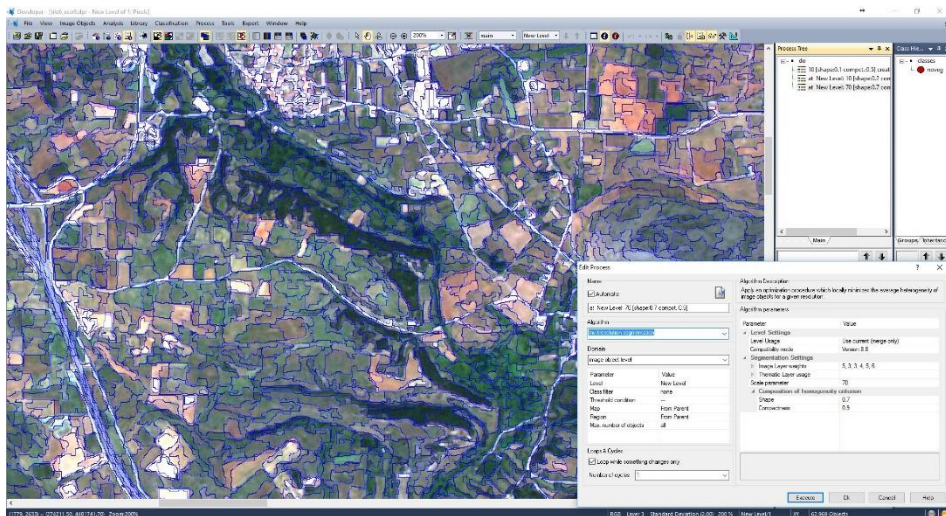


Εικόνα Β 23 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 5 της Καστοριάς

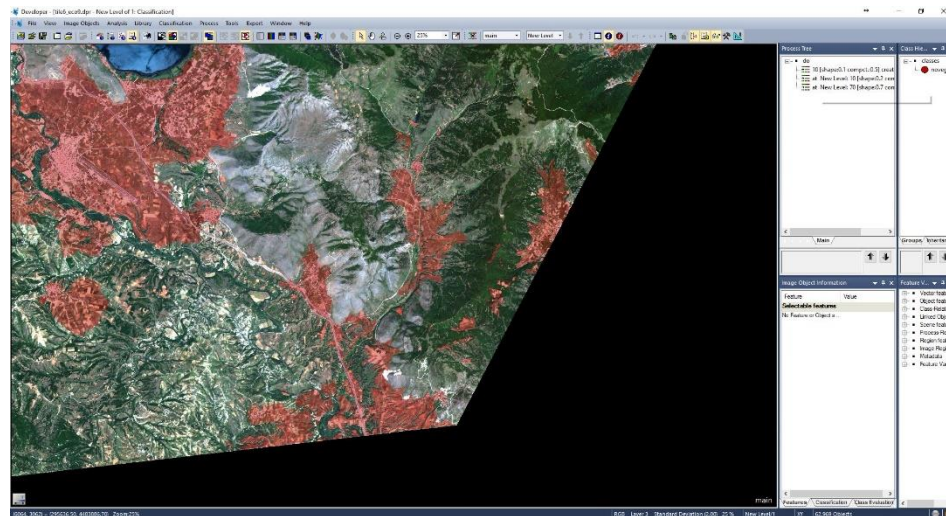


Εικόνα Β 24 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (5)

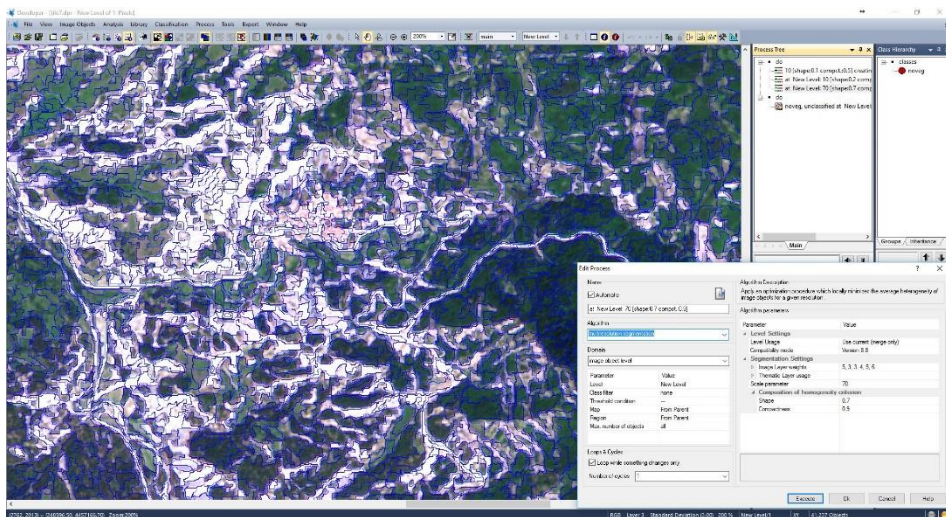
Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης



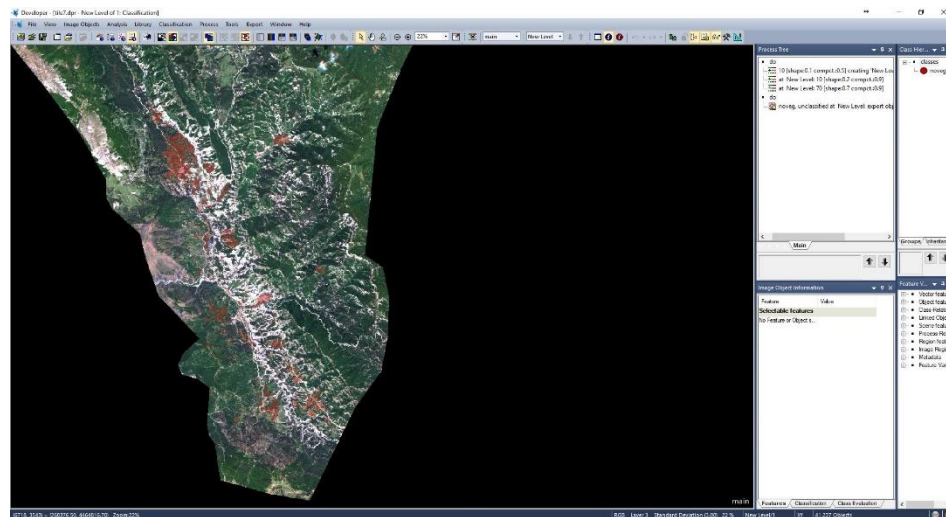
Εικόνα Β 25 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 6 της Καστοριάς



Εικόνα Β 26 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (6)



Εικόνα Β 27 Στιγμιότυπο κατά την κατάτμηση της σκηνής 7 της Καστοριάς



Εικόνα Β 28 Το αποτέλεσμα της ημί - αυτόματης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (7)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ - ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

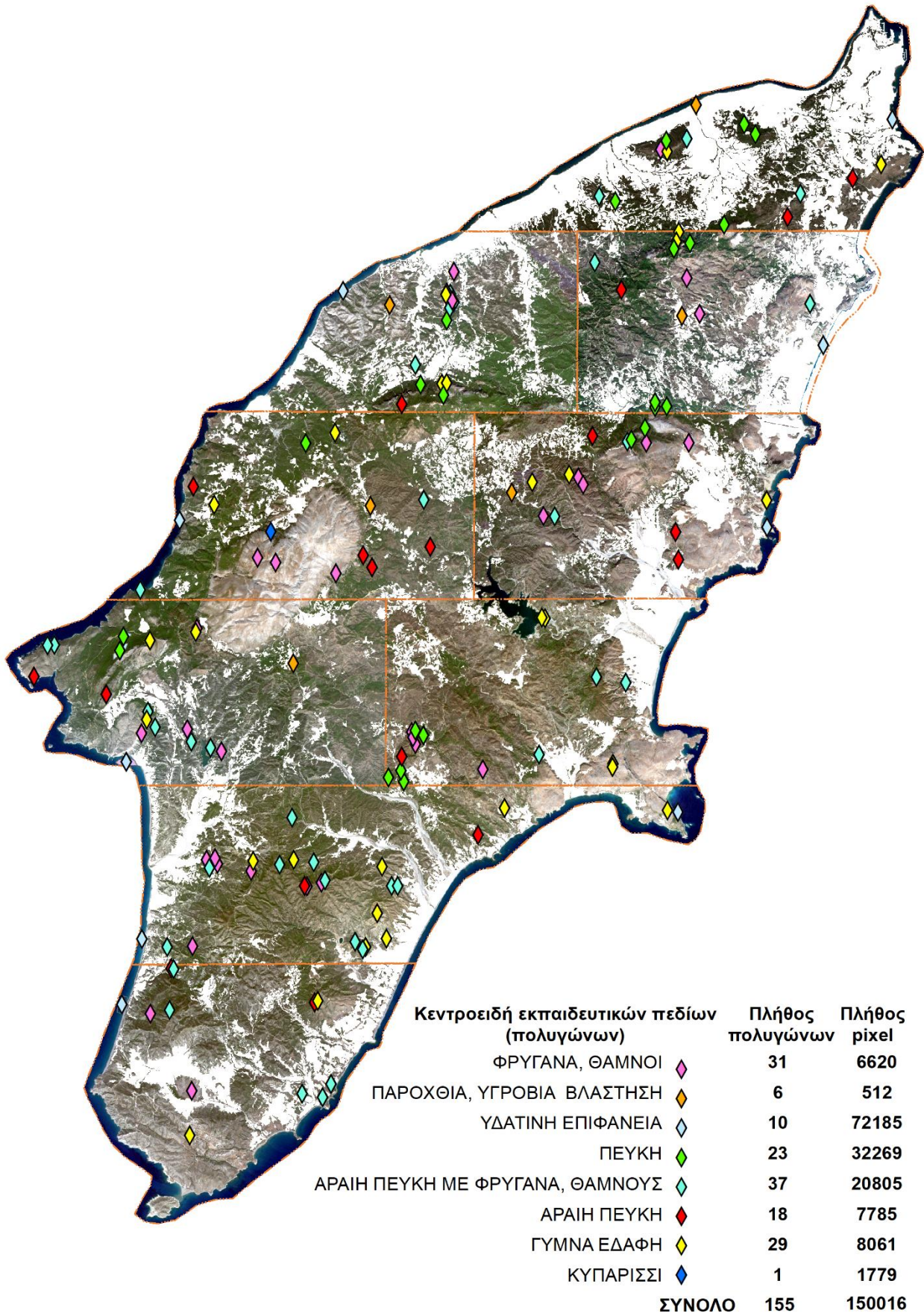
Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

Πίνακας Γ 1 Πεδία εκπαίδευσης Ρόδου ανά κατηγορία ταξινόμησης και υπο τμήμα επεξεργασίας

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΤΜΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ													
	1		2		3		4		5		6		7	
	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	1	187	3	402	2	283	3	922	5	1093	4	927	4	1193
ΠΑΡΟΧΘΙΑ, ΥΓΡΟΒΙΑ, ΥΔΡΟΒΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	1	253	1	33	1	41	1	79	1	87	1	19		
ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	1	4457	1	7127	1	140	1	5940	1	10393	1	14781	1	6534
ΠΕΥΚΗ	5	1641	3	1029	5	5575	1	1812	2	2038	2	17644	5	2530
ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	3	835	4	439	2	416	2	828	2	594	6	9782	3	814
ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	2	397	1	113	1	203	4	2025	3	1088	2	2750	1	484
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	2	464	3	143	2	140	2	1055	3	1315	3	749	4	1471
ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ							1	1779						
ΣΥΝΟΛΟ	15	8234	16	9286	14	6798	15	14440	17	16608	19	46652	18	13026

Πίνακας Γ 2 Πεδία εκπαίδευσης Ρόδου ανά κατηγορία ταξινόμησης και υπο τμήμα επεξεργασίας (συνέχεια)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΤΜΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ					
	8		9		ΣΥΝΟΛΟ	
	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	7	1318	2	295	31	6620
ΠΑΡΟΧΘΙΑ, ΥΓΡΟΒΙΑ, ΥΔΡΟΒΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ					6	512
ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	2	8585	1	14228	10	72185
ΠΕΥΚΗ					23	32269
ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	10	3332	5	3765	37	20805
ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	2	354	2	371	18	7785
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	8	1712	2	1012	29	8061
ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ					1	1779
ΣΥΝΟΛΟ	29	15301	12	19671	155	150016

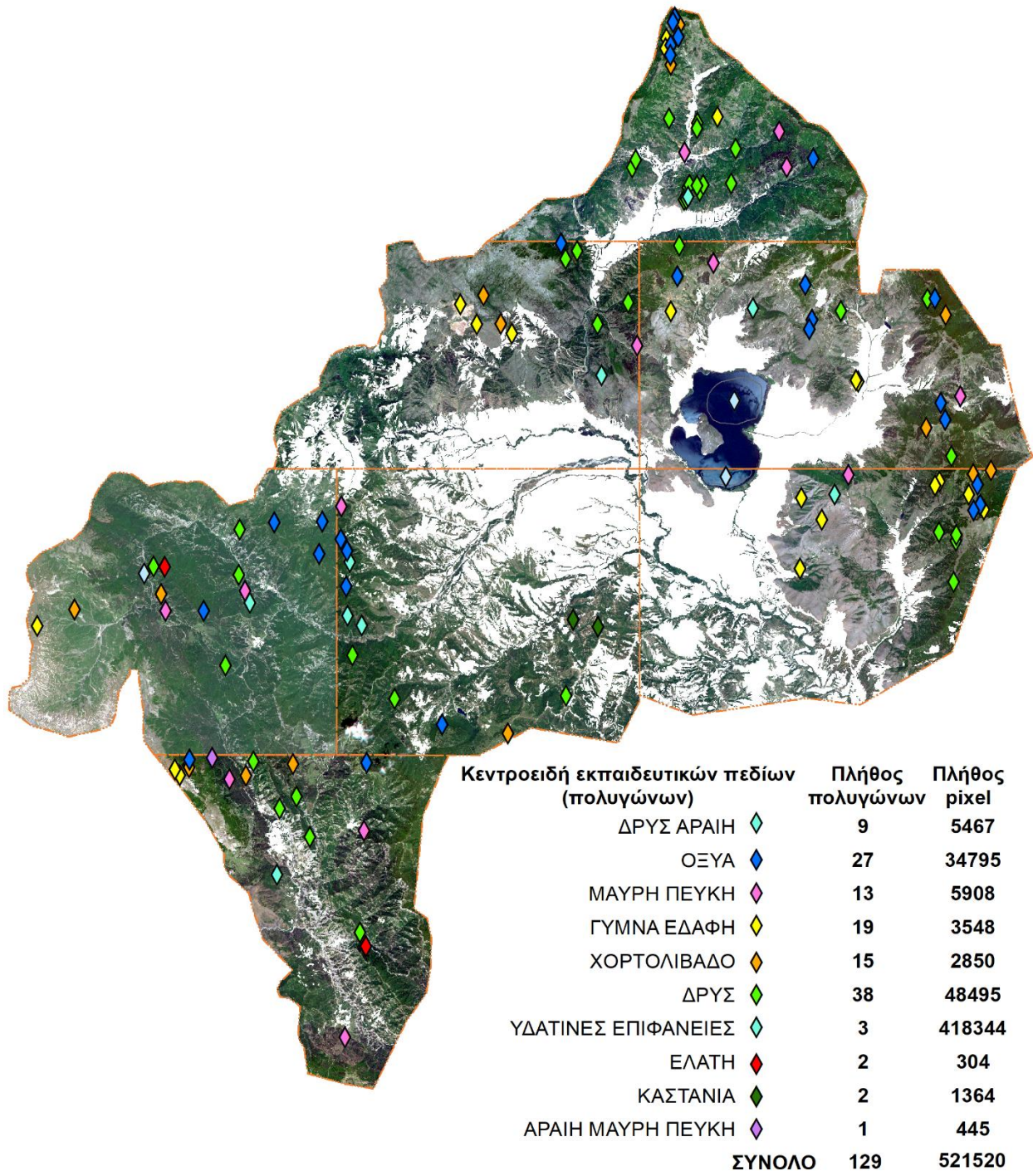


Εικόνα Γ 1 Χάρτης με τα πεδία εκπαίδευσης της Ρόδου

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

Πίνακας Γ 3 Πεδία εκπαίδευσης Καστοριάς ανά κατηγορία ταξινόμησης και υπο τμήμα επεξεργασίας

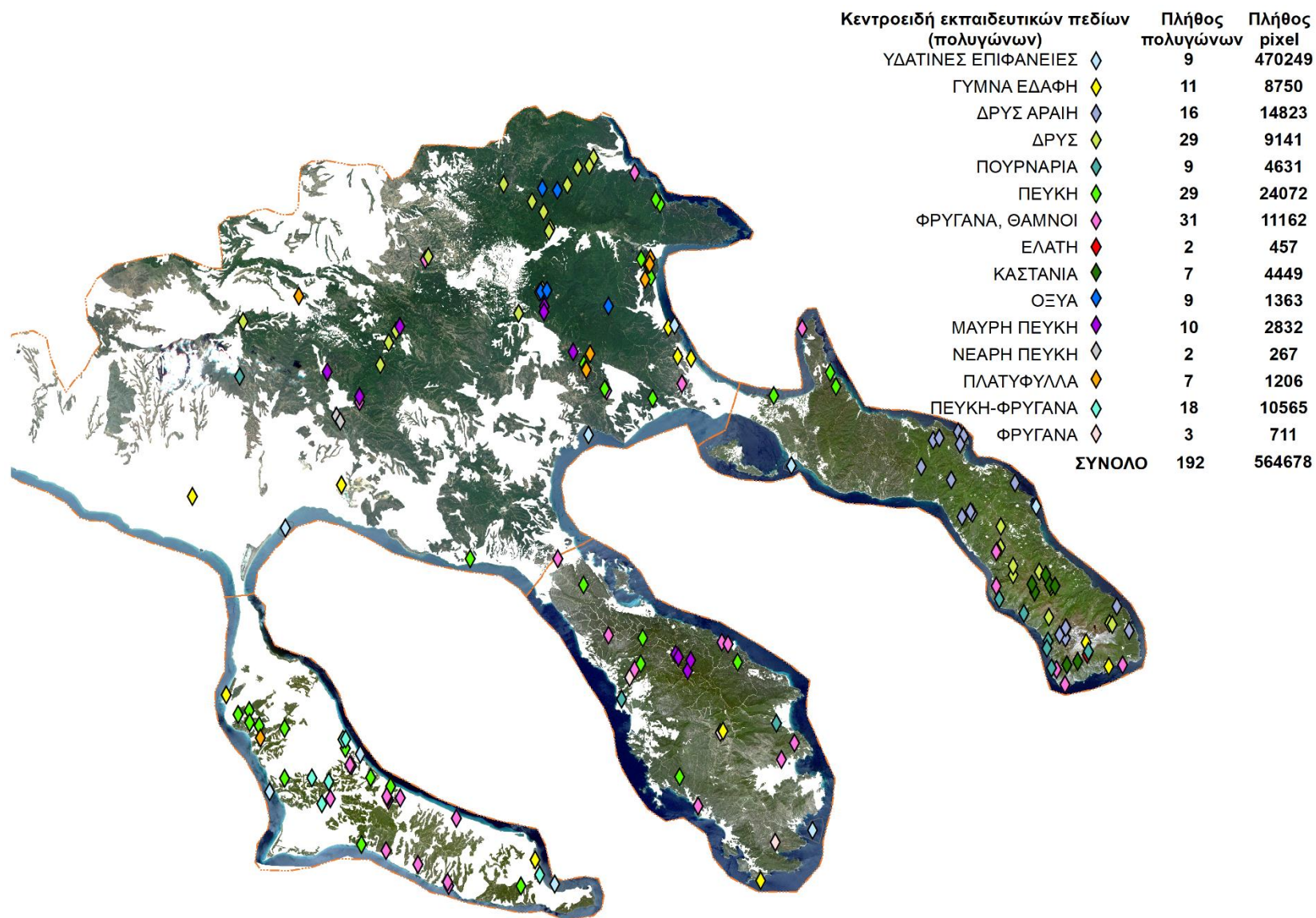
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΤΜΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ															
	1		2		3		4		5		6		7		ΣΥΝΟΛΟ	
	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS
ΔΡΥΣ ΑΡΑΙΗ	1	199	1	419	1	505	1	303	3	3543	1	58	1	440	9	5467
ΟΞΥΑ	6	3525	1	487	7	7028	4	11450	4	7844	3	1552	2	2909	27	34795
ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	3	631	1	354	2	146	2	731	1	22	1	246	3	3778	13	5908
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	3	412	3	566	3	420	1	55			7	2016	2	79	19	3548
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	2	97	2	102	2	1317	2	529	1	233	2	150	4	422	15	2850
ΔΡΥΣ	14	9442	4	2623	4	7593	4	11479	3	10967	4	2358	5	4033	38	48495
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ					1	327035	1	10			1	91299			3	418344
ΕΛΑΤΗ							1	161					1	143	2	304
ΚΑΣΤΑΝΙΑ									2	1364					2	1364
ΑΡΑΙΗ ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ													1	445	1	445
ΣΥΝΟΛΟ	29	14306	12	4551	20	344044	16	24718	14	23973	19	97679	19	12249	129	521520



Εικόνα Γ 2 Χάρτης με τα πεδία εκπαίδευσης της Καστοριάς

Πίνακας Γ 4 Πεδία εκπαίδευσης Χαλκιδικής ανά κατηγορία ταξινόμησης και υπο τμήμα επεξεργασίας

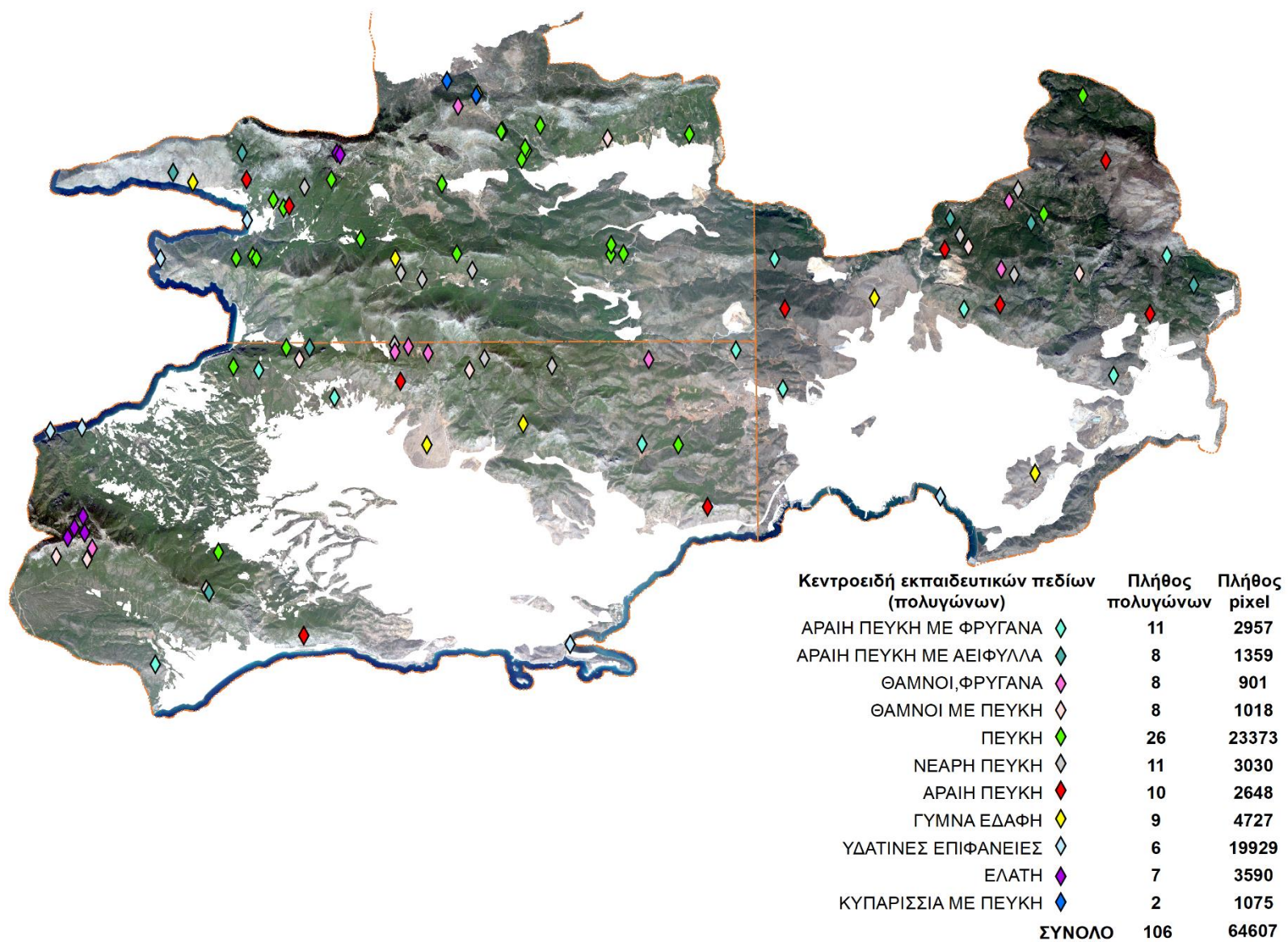
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΤΜΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ									
	1		2		3		4		ΣΥΝΟΛΟ	
	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	3	78770	1	158162	2	73150	3	160167	9	470249
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	2	147	2	555	2	4075	5	3973	11	8750
ΔΡΥΣ ΑΡΑΙΗ					16	14823			16	14823
ΔΡΥΣ					12	4452	17	4689	29	9141
ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ			2	571	6	2849	1	1211	9	4631
ΠΕΥΚΗ	11	15996	5	4247	3	916	10	2913	29	24072
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	12	2909	8	5406	6	2274	5	573	31	11162
ΕΛΑΤΗ					2	457			2	457
ΚΑΣΤΑΝΙΑ					7	4449			7	4449
ΟΞΥΑ							9	1363	9	1363
ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ			4	1937			6	895	10	2832
ΝΕΑΡΗ ΠΕΥΚΗ							2	267	2	267
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	1	183					6	1023	7	1206
ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	6	2077	12	8488					18	10565
ΦΡΥΓΑΝΑ			3	711					3	711
ΣΥΝΟΛΟ	35	100082	37	180077	56	107445	64	177074	192	564678



Εικόνα Γ 3 Χάρτης με τα πεδία εκπαίδευσης της Χαλκιδικής

Πίνακας Γ 5 Πεδία εκπαίδευσης Δυτικής Αττικής ανά κατηγορία ταξινόμησης και υπο τμήμα επεξεργασίας

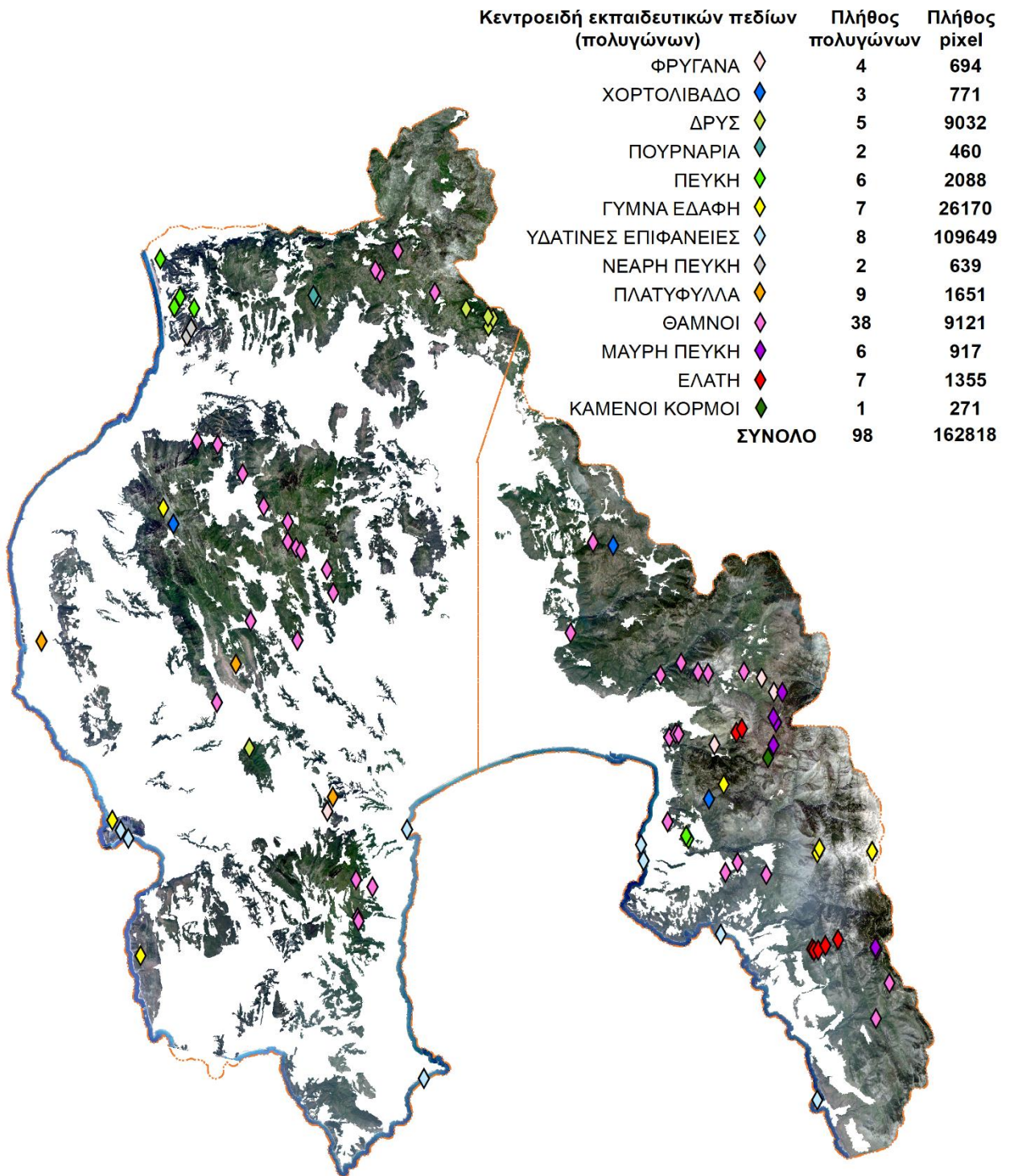
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΤΜΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ							
	1		2		3		ΣΥΝΟΛΟ	
	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS
ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	1	103	5	900	5	1954	11	2957
ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	3	593	2	211	3	555	8	1359
ΘΑΜΝΟΙ,ΦΡΥΓΑΝΑ	1	117	5	548	2	236	8	901
ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	2	536	4	374	2	108	8	1018
ΠΕΥΚΗ	20	15480	4	3893	2	4000	26	23373
ΝΕΑΡΗ ΠΕΥΚΗ	4	1981	4	697	3	352	11	3030
ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	2	415	3	597	5	1636	10	2648
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	5	2586	2	675	2	1466	9	4727
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	2	4015	3	12095	1	3819	6	19929
ΕΛΑΤΗ	3	299	4	3291			7	3590
ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	2	1075					2	1075
ΣΥΝΟΛΟ	45	27200	36	23281	25	14126	106	64607



Εικόνα Γ 4 Χάρτης με τα πεδία εκπαίδευσης της Δυτικής Αττικής

Πίνακας Γ 6 Πεδία εκπαίδευσης Μεσοσηνίας ανά κατηγορία ταξινόμησης και υπο τμήμα επεξεργασίας

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΤΜΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ					
	1		2		ΣΥΝΟΛΟ	
	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS	ΠΕΔΙΑ	PIXELS
ΦΡΥΓΑΝΑ	3	527	1	167	4	694
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	2	513	1	258	3	771
ΔΡΥΣ			5	9032	5	9032
ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ			2	460	2	460
ΠΕΥΚΗ	2	1020	4	1068	6	2088
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	4	24896	3	1274	7	26170
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	6	64065	2	45584	8	109649
ΝΕΑΡΗ ΠΕΥΚΗ			2	639	2	639
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	6	1305	3	346	9	1651
ΘΑΜΝΟΙ	16	3248	22	5873	38	9121
ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	6	917			6	917
ΕΛΑΤΗ	7	1355			7	1355
ΚΑΜΕΝΟΙ ΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΚΟΡΜΟΙ	1	271			1	271
ΣΥΝΟΛΟ	53	98117	45	64701	98	162818



Εικόνα Γ 5 Χάρτης με τα πεδία εκπαίδευσης της Μεσσηνίας

Πίνακας Γ 7 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Ρόδος, σκηνή επεξεργασίας 1)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)							
Class	1	2	3	4	5	6	7
1 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	0	5725.949	4489.558	1760.573	1069.919	1860.266	9753.183
2 ΠΑΡΟΧΘΙΑ, ΥΓΡΟΒΙΑ, ΥΔΡΟΒΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	5725.949	0	9364.812	5431.309	4786.328	3881.094	9585.916
3 ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	4489.558	9364.812	0	4147.722	5028.138	5976.61	13572.38
4 ΠΕΥΚΗ	1760.573	5431.309	4147.722	0	1324.746	2178.628	11169.22
5 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	1069.919	4786.328	5028.138	1324.746	0	1018.263	9872.31
6 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	1860.266	3881.094	5976.61	2178.628	1018.263	0	9230.961
7 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	9753.183	9585.916	13572.38	11169.22	9872.31	9230.961	0
Best Average Separability	5773						
Best Minimum Separability	1018						

Πίνακας Γ 8 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Ρόδος, σκηνή επεξεργασίας 2)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)							
Class	1	2	3	4	5	6	7
1 ΠΑΡΟΧΘΙΑ, ΥΓΡΟΒΙΑ, ΥΔΡΟΒΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	8372.037	3975.356	5073.04	4241.988	4787.126	2928.609
2 ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	8372.037	0	5280.59	8105.716	4374.591	3809.608	6155.822
3 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	3975.356	5280.59	0	3390.903	1394.584	2475.9	1160.456
4 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	5073.04	8105.716	3390.903	0	4784.036	5864.402	3501.576
5 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	4241.988	4374.591	1394.584	4784.036	0	1085.264	1861.547
6 ΠΕΥΚΗ	4787.126	3809.608	2475.9	5864.402	1085.264	0	2819.026
7 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	2928.609	6155.822	1160.456	3501.576	1861.547	2819.026	0
Best Average Separability	4069						
Best Minimum Separability	1085						

Πίνακας Γ 9 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Ρόδος, σκηνή επεξεργασίας 3)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)							
Class	1	2	3	4	5	6	7
1 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	0	3335.631	5523.357	5144.54	1463.154	1546.541	2184.875
2 ΠΑΡΟΧΘΙΑ, ΥΓΡΟΒΙΑ, ΥΔΡΟΒΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	3335.631	0	8488.527	6157.983	4714.77	4519.995	4908.946
3 ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	5523.357	8488.527	0	6829.667	4177.247	4826.214	4561.067
4 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	5144.54	6157.983	6829.667	0	5181.998	6317.167	3625.532
5 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	1463.154	4714.77	4177.247	5181.998	0	1319	1674.233
6 ΠΕΥΚΗ	1546.541	4519.995	4826.214	6317.167	1319	0	2896.314
7 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	2184.875	4908.946	4561.067	3625.532	1674.233	2896.314	0
Best Average Separability	4257						
Best Minimum Separability	1319						

Πίνακας Γ 10 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Ρόδος, σκηνή επεξεργασίας 4)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)								
Class	1	2	3	4	5	6	7	8
1 ΠΕΥΚΗ	0	1180.432	5193.386	4654.779	21407.15	3565.185	4000.581	997.9561
2 ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ	1180.432	0	6326.445	3549.939	22252.09	4458.118	4798.59	983.0448
3 ΠΑΡΟΧΘΙΑ, ΥΓΡΟΒΙΑ, ΥΔΡΟΒΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	5193.386	6326.445	0	9685.102	19007.08	4378.817	4897.123	5928.622
4 ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	4654.779	3549.939	9685.102	0	24622.88	7484.544	7716.984	4084.755
5 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	21407.15	22252.09	19007.08	24622.88	0	17876.93	17546.65	21298.5
6 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	3565.185	4458.118	4378.817	7484.544	17876.93	0	677.7421	3563.759
7 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	4000.581	4798.59	4897.123	7716.984	17546.65	677.7421	0	3888.937
8 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	997.9561	983.0448	5928.622	4084.755	21298.5	3563.759	3888.937	0
Best Average Separability	8430							
Best Minimum Separability	678							

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

Πίνακας Γ 11 Πίνακας διαχωρισμότητας (Ρόδος, σκηνή επεξεργασίας 5)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)							
Class	1	2	3	4	5	6	7
1 ΠΑΡΟΧΘΙΑ, ΥΓΡΟΒΙΑ, ΥΔΡΟΒΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	9496.157	5907.043	5172.183	4478.223	5424.249	6345.94
2 ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	9496.157	0	3768.752	4615.426	6587.608	6189.959	6240.8
3 ΠΕΥΚΗ	5907.043	3768.752	0	1126.747	3577.983	3617.058	4243.283
4 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	5172.183	4615.426	1126.747	0	2472.49	2593.795	3345.828
5 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	4478.223	6587.608	3577.983	2472.49	0	963.4826	1924.223
6 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	5424.249	6189.959	3617.058	2593.795	963.4826	0	1023.242
7 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	6345.94	6240.8	4243.283	3345.828	1924.223	1023.242	0
Best Average Separability	4244						
Best Minimum Separability	963						

Πίνακας Γ 12 Πίνακας διαχωρισμότητας (Ρόδος, σκηνή επεξεργασίας 6)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)							
Class	1	2	3	4	5	6	7
1 ΠΑΡΟΧΘΙΑ, ΥΓΡΟΒΙΑ, ΥΔΡΟΒΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	8492.387	4619.795	4684.237	3106.679	6266.901	4757.713
2 ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	8492.387	0	4284.709	4071.921	6739.405	9998.633	4260.385
3 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	4619.795	4284.709	0	795.4225	2595.272	6601.717	1863.135
4 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	4684.237	4071.921	795.4225	0	3151.485	7328.575	1082.232
5 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	3106.679	6739.405	2595.272	3151.485	0	4450.9	3896.913
6 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	6266.901	9998.633	6601.717	7328.575	4450.9	0	8227.811
7 ΠΕΥΚΗ	4757.713	4260.385	1863.135	1082.232	3896.913	8227.811	0
Best Average Separability	4823						
Best Minimum Separability	795						

Πίνακας Γ 13 Πίνακας διαχωρισμότητας (Ρόδος, σκηνή επεξεργασίας 7)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)							
Class	1	2	3	4	5	6	7
1 ΠΑΡΟΧΘΙΑ, ΥΓΡΟΒΙΑ, ΥΔΡΟΒΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	8492.387	4619.795	4684.237	6266.901	4757.713	3161.043
2 ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	8492.387	0	4284.709	4071.921	9998.633	4260.385	6699.209
3 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	4619.795	4284.709	0	795.4225	6601.717	1863.135	2563.361
4 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	4684.237	4071.921	795.4225	0	7328.575	1082.232	3129.995
5 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	6266.901	9998.633	6601.717	7328.575	0	8227.811	4441.79
6 ΠΕΥΚΗ	4757.713	4260.385	1863.135	1082.232	8227.811	0	3887.889
7 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	3161.043	6699.209	2563.361	3129.995	4441.79	3887.889	0
Best Average Separability	4820						
Best Minimum Separability	795						

Πίνακας Γ 14 Πίνακας διαχωρισμότητας (Ρόδος, σκηνή επεξεργασίας 8)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)							
Class	1	2	3	4	5	6	7
1 ΠΑΡΟΧΘΙΑ, ΥΓΡΟΒΙΑ, ΥΔΡΟΒΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	8492.387	4619.795	4684.237	6266.901	4757.713	3161.043
2 ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	8492.387	0	4284.709	4071.921	9998.633	4260.385	6699.209
3 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	4619.795	4284.709	0	795.4225	6601.717	1863.135	2563.361
4 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	4684.237	4071.921	795.4225	0	7328.575	1082.232	3129.995
5 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	6266.901	9998.633	6601.717	7328.575	0	8227.811	4441.79
6 ΠΕΥΚΗ	4757.713	4260.385	1863.135	1082.232	8227.811	0	3887.889
7 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	3161.043	6699.209	2563.361	3129.995	4441.79	3887.889	0
Best Average Separability	4820						
Best Minimum Separability	795						

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

Πίνακας Γ 15 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Ρόδος, σκηνή επεξεργασίας 9)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)					
Class	1	2	3	4	5
1 ΥΔΑΤΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	0	4636.189	5299.631	21852.82	6500.41
2 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΥΣ	4636.189	0	681.1513	18232.33	2432.903
3 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	5299.631	681.1513	0	17798.86	2139.675
4 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	21852.82	18232.33	17798.86	0	15833.26
5 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	6500.41	2432.903	2139.675	15833.26	0
Best Average Separability	9541				
Best Minimum Separability	681				

Πίνακας Γ 16 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Καστοριά, σκηνή επεξεργασίας 1)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)						
Class	1	2	3	4	5	6
1 ΔΡΥΣ ΑΡΑΙΗ	0	1916.72	4842.656	4206.975	3107.308	1726.364
2 ΟΞΥΑ	1916.72	0	6264.222	6098.856	2694.281	339.0891
3 ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	4842.656	6264.222	0	4246.366	7829.736	5979.618
4 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	4206.975	6098.856	4246.366	0	6087.198	5923.732
5 ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	3107.308	2694.281	7829.736	6087.198	0	2910.908
6 ΔΡΥΣ	1726.364	339.0891	5979.618	5923.732	2910.908	0
Best Average Separability	4278					
Best Minimum Separability	339					

Πίνακας Γ 17 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Καστοριά, σκηνή επεξεργασίας 2)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)						
Class	1	2	3	4	5	6
1 ΟΞΥΑ	0	6254.966	339.0891	2171.33	9690.704	3514.596
2 ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	6254.966	0	5971.511	7584.674	8647.076	3139.323
3 ΔΡΥΣ	339.0891	5971.511	0	2375.339	9615.227	3272.454
4 ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	2171.33	7584.674	2375.339	0	8860.182	4507.424
5 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	9690.704	8647.076	9615.227	8860.182	0	7485.248
6 ΔΡΥΣ ΑΡΑΙΗ	3514.596	3139.323	3272.454	4507.424	7485.248	0
Best Average Separability	5562					
Best Minimum Separability	339					

Πίνακας Γ 18 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Καστοριά, σκηνή επεξεργασίας 3)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)							
Class	1	2	3	4	5	6	7
1 ΔΡΥΣ ΑΡΑΙΗ	0	1916.72	4842.656	4206.975	3107.308	1726.364	11177.95
2 ΟΞΥΑ	1916.72	0	6264.222	6098.856	2694.281	339.0891	12672.11
3 ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	4842.656	6264.222	0	4246.366	7829.736	5979.618	6446.911
4 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	4206.975	6098.856	4246.366	0	6087.198	5923.732	8920.001
5 ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	3107.308	2694.281	7829.736	6087.198	0	2910.908	14057.27
6 ΔΡΥΣ	1726.364	339.0891	5979.618	5923.732	2910.908	0	12378.95
7 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	11177.95	12672.11	6446.911	8920.001	14057.27	12378.95	0
Best Average Separability	6182						
Best Minimum Separability	339						

Πίνακας Γ 19 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Καστοριά, σκηνή επεξεργασίας 4)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)								
Class	1	2	3	4	5	6	7	8
1 ΔΡΥΣ ΑΡΑΙΗ	0	1916.72	4842.656	4206.975	3107.308	1726.364	2267.679	8845.704
2 ΟΞΥΑ	1916.72	0	6264.222	6098.856	2694.281	339.0891	3647.437	10730.22
3 ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	4842.656	6264.222	0	4246.366	7829.736	5979.618	2698.051	6910.914
4 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	4206.975	6098.856	4246.366	0	6087.198	5923.732	3761.68	4837.983
5 ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	3107.308	2694.281	7829.736	6087.198	0	2910.908	5202.845	10679.88
6 ΔΡΥΣ	1726.364	339.0891	5979.618	5923.732	2910.908	0	3388.51	10515.79
7 ΕΛΑΤΗ	2267.679	3647.437	2698.051	3761.68	5202.845	3388.51	0	7962.197
8 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	8845.704	10730.22	6910.914	4837.983	10679.88	10515.79	7962.197	0
Best Average Separability	5201							
Best Minimum Separability	339							

Πίνακας Γ 20 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Καστοριά, σκηνή επεξεργασίας 5)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)							
Class	1	2	3	4	5	6	7
1 ΑΡΑΙΗ ΔΡΥΣ	0	5043.904	4548.421	2924.074	2371.23	3916.281	468.9651
2 ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	5043.904	0	687.339	5253.415	4829.094	7622.077	5463.521
3 ΑΡΑΙΗ ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	4548.421	687.339	0	4575.41	4168.652	6957.559	4972.152
4 ΚΑΣΤΑΝΙΑ	2924.074	5253.415	4575.41	0	716.7899	2463.623	3108.297
5 ΔΡΥΣ	2371.23	4829.094	4168.652	716.7899	0	2806.443	2582.903
6 ΟΞΥΑ	3916.281	7622.077	6957.559	2463.623	2806.443	0	3800.506
7 ΧΟΡΤΟΛΟΒΑΔΟ	468.9651	5463.521	4972.152	3108.297	2582.903	3800.506	0
Best Average Separability	3775						
Best Minimum Separability	469						

Πίνακας Γ 21 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Καστοριά, σκηνή επεξεργασίας 6)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)							
Class	1	2	3	4	5	6	7
1 ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	0	8647.076	3139.323	6006.791	5875.021	6179.483	6456.385
2 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	8647.076	0	7485.248	10402.75	7201.763	9704.505	9782.308
3 ΔΡΥΣ ΑΡΑΙΗ	3139.323	7485.248	0	8740.511	2757.088	3467.192	3705.121
4 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	6006.791	10402.75	8740.511	0	11210.45	12003.59	12285.11
5 ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	5875.021	7201.763	2757.088	11210.45	0	2620.586	2647.412
6 ΔΡΥΣ	6179.483	9704.505	3467.192	12003.59	2620.586	0	316.0407
7 ΟΞΥΑ	6456.385	9782.308	3705.121	12285.11	2647.412	316.0407	0
Best Average Separability	6697						
Best Minimum Separability	316						

Πίνακας Γ 22 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Καστοριά, σκηνή επεξεργασίας 7)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)								
Class	1	2	3	4	5	6	7	8
1 ΔΡΥΣ ΑΡΑΙΗ	0	4842.656	1726.364	4331.009	4645.675	1116.855	1578.166	4505.395
2 ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	4842.656	0	5979.618	863.517	632.0859	5010.402	6255.442	4197.745
3 ΔΡΥΣ	1726.364	5979.618	0	5301.558	5636.919	1018.309	2078.165	6219.834
4 ΕΛΑΤΗ	4331.009	863.517	5301.558	0	361.067	4354.227	5798.716	4543.157
5 ΑΡΑΙΗ ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	4645.675	632.0859	5636.919	361.067	0	4681.03	6095.092	4600.134
6 ΟΞΥΑ	1116.855	5010.402	1018.309	4354.227	4681.03	0	2120.72	5429.111
7 ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	1578.166	6255.442	2078.165	5798.716	6095.092	2120.72	0	5097.708
8 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	4505.395	4197.745	6219.834	4543.157	4600.134	5429.111	5097.708	0
Best Average Separability	3894							

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

Best Minimum Separability	361
----------------------------------	-----

Πίνακας Γ 23 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Χαλκιδική, σκηνή επεξεργασίας 1)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)						
Class	1	2	3	4	5	6
1 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	0	20656.2	17569.4	19959.6	19545	18663.2
2 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	20656.2	0	11112.9	4974.52	5944.27	6601.6
3 ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	17569.4	11112.9	0	6763.84	5706.5	4814.21
4 ΠΕΥΚΗ	19959.6	4974.52	6763.84	0	1078.91	2039.52
5 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	19545	5944.27	5706.5	1078.91	0	1064.09
6 ΘΑΜΝΟΙ, ΦΡΥΓΑΝΑ	18663.2	6601.6	4814.21	2039.52	1064.09	0
Best Average Separability	9766					
Best Minimum Separability	1064					

Πίνακας Γ 24 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Χαλκιδική, σκηνή επεξεργασίας 2)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)								
Class	1	2	3	4	5	6	7	8
1 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	0	4386.55	4763.78	10969.9	6066.57	14248.2	6044.52	4858.3
2 ΠΕΥΚΗ	4386.55	0	518.572	6709.33	2715.58	12031.6	1865.52	569.272
3 ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	4763.78	518.572	0	6435.52	2921.47	12228.3	1814.57	696.721
4 ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	10969.9	6709.33	6435.52	0	5728.6	10168.1	5019.39	6192.71
5 ΦΡΥΓΑΝΑ	6066.57	2715.58	2921.47	5728.6	0	9396.3	1645.21	2272.95
6 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	14248.2	12031.6	12228.3	10168.1	9396.3	0	10608.9	11567.7
7 ΘΑΜΝΟΙ, ΦΡΥΓΑΝΑ	6044.52	1865.52	1814.57	5019.39	1645.21	10608.9	0	1298.82

8 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	4858.3	569.272	696.721	6192.71	2272.95	11567.7	1298.82	0
Best Average Separability	5848							
Best Minimum Separability	519							

Πίνακας Γ 25 Πίνακας διαχωρισμότητας (Χαλκιδική, σκηνή επεξεργασίας 3)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)									
Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	0	14248.2	6995.23	8880.93	5448.25	4766.86	6231.03	4623.39	5253.23
2 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	14248.2	0	11263.3	9799.3	11506.4	11895	10314.8	12110	10243.3
3 ΔΡΥΣ ΑΡΑΙΗ	6995.23	11263.3	0	2329.16	1571.47	2264.37	1478.29	2514.36	2899.34
4 ΔΡΥΣ	8880.93	9799.3	2329.16	0	3578.64	4292.06	2706.87	4526.4	3995.86
5 ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	5448.25	11506.4	1571.47	3578.64	0	739.793	1244.35	1040.2	1860.06
6 ΠΕΥΚΗ	4766.86	11895	2264.37	4292.06	739.793	0	1840.94	418.882	1888.4
7 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	6231.03	10314.8	1478.29	2706.87	1244.35	1840.94	0	2126.8	1575.91
8 ΕΛΑΤΗ	4623.39	12110	2514.36	4526.4	1040.2	418.882	2126.8	0	1979.43
9 ΚΑΣΤΑΝΙΑ	5253.23	10243.3	2899.34	3995.86	1860.06	1888.4	1575.91	1979.43	0
Best Average Separability	5013								
Best Minimum Separability	419								

Πίνακας Γ 26 Πίνακας διαχωρισμότητας (Χαλκιδική, σκηνή επεξεργασίας 4)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)										
Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	0	5526.11	6835.65	2576	3200.39	2461.48	17546.2	6062.94	3512.22	2872.71
2 ΔΡΥΣ	5526.11	0	1583.66	3176.29	5060.78	3407.08	19737.5	10781	2154.12	5485.87
3 ΟΞΥΑ	6835.65	1583.66	0	4659.21	6637.86	4905.3	19613.4	12274.8	3644.31	7053.5
4 ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	2576	3176.29	4659.21	0	2372.44	351.697	19052.4	7760	1064	2594.96
5 ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	3200.39	5060.78	6637.86	2372.44	0	2147.33	20660	6245.52	3158.59	611.274
6 ΝΕΑΡΗ ΠΕΥΚΗ	2461.48	3407.08	4905.3	351.697	2147.33	0	19162.7	7495.88	1276.88	2345.31

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

7 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	17546.2	19737.5	19613.4	19052.4	20660	19162.7	0	20656.2	19264.1	20389.9
8 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	6062.94	10781	12274.8	7760	6245.52	7495.88	20656.2	0	8743.18	5682.96
9 ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	3512.22	2154.12	3644.31	1064	3158.59	1276.88	19264.1	8743.18	0	3488.86
10 ΠΕΥΚΗ	2872.71	5485.87	7053.5	2594.96	611.274	2345.31	20389.9	5682.96	3488.86	0
Best Average Separability	7451									
Best Minimum Separability	352									

Πίνακας Γ 27 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Δυτική Αττική, σκηνή επεξεργασίας 1)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)											
Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	0	2620.408	1852.179	2447.216	2829.047	975.4089	6308.736	4387.848	4543.791	5895.44	3574.734
2 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	2620.408	0	2209.545	363.3268	2017.324	2178.65	5380.854	2822.714	2743.864	8264.915	1946.847
3 ΘΑΜΝΟΙ,ΦΡΥΓΑΝΑ	1852.179	2209.545	0	1948.435	1141.447	935.1649	7233.853	4836.647	4821.663	6321.681	3944.379
4 ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	2447.216	363.3268	1948.435	0	1790.614	1948.414	5630.023	3089.139	3029.945	8012.232	2189.454
5 ΝΕΑΡΗ ΠΕΥΚΗ	2829.047	2017.324	1141.447	1790.614	0	1882.813	7379.992	4826.396	4720.702	7238.374	3952.867
6 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	975.4089	2178.65	935.1649	1948.414	1882.813	0	6706.991	4509.212	4575.94	6089.078	3626.648
7 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	6308.736	5380.854	7233.853	5630.023	7379.992	6706.991	0	2695.953	2977.894	11844.6	3484.936
8 ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	4387.848	2822.714	4836.647	3089.139	4826.396	4509.212	2695.953	0	461.8882	10257.81	925.9717
9 ΕΛΑΤΗ	4543.791	2743.864	4821.663	3029.945	4720.702	4575.94	2977.894	461.8882	0	10428.38	1024.878
10 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	5895.44	8264.915	6321.681	8012.232	7238.374	6089.078	11844.6	10257.81	10428.38	0	9462.494
11 ΠΕΥΚΗ	3574.734	1946.847	3944.379	2189.454	3952.867	3626.648	3484.936	925.9717	1024.878	9462.494	0
Best Average Separability	4381										
Best Minimum Separability	363										

Πίνακας Γ 28 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Δυτική Αττική, σκηνή επεξεργασίας 2)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	0	2620.408	1852.179	2447.216	3184.58	2829.047	4669.321	5982.503	967.6363	5412.848
2 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	2620.408	0	2209.545	363.3268	1518.916	2017.324	2896.194	8346.849	2747.624	4813.173
3 ΘΑΜΝΟΙ,ΦΡΥΓΑΝΑ	1852.179	2209.545	0	1948.435	3496.774	1141.447	4972.014	6397.065	1223.23	6496.501
4 ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	2447.216	363.3268	1948.435	0	1745.812	1790.614	3180.453	8093.602	2507.529	5026.277
5 ΠΕΥΚΗ	3184.58	1518.916	3496.774	1745.812	0	3517.365	1578.802	9157.447	3698.046	3353.41
6 ΝΕΑΡΗ ΠΕΥΚΗ	2829.047	2017.324	1141.447	1790.614	3517.365	0	4875.092	7309.397	2254.116	6760.992
7 ΕΛΑΤΗ	4669.321	2896.194	4972.014	3180.453	1578.802	4875.092	0	10638.84	5234.481	2709.568
8 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	5982.503	8346.849	6397.065	8093.602	9157.447	7309.397	10638.84	0	5602.343	10930.13
9 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	967.6363	2747.624	1223.23	2507.529	3698.046	2254.116	5234.481	5602.343	0	6249.488
10 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	5412.848	4813.173	6496.501	5026.277	3353.41	6760.992	2709.568	10930.13	6249.488	0
Best Average Separability	4468									
Best Minimum Separability	363									

Πίνακας Γ 29 Πίνακας διαχωρισμότητας (Δυτική Αττική, σκηνή επεξεργασίας 3)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)										
Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	0	31171.94	75022.61	110178	74624.21	147519.4	64180.8	41630	30203.91	
2 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	31171.94	0	270.6296	274.6287	277.5334	501.543	35.06082	425.9396	239.0973	
3 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	75022.61	270.6296	0	242.0766	12.58397	94.01417	183.2471	5998.026	104.4402	
4 ΘΑΜΝΟΙ,ΦΡΥΓΑΝΑ	110178	274.6287	242.0766	0	235.971	33.48618	47.56699	1447.733	513.6538	
5 ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	74624.21	277.5334	12.58397	235.971	0	198.3652	161.829	5514.724	180.096	
6 ΝΕΑΡΗ ΠΕΥΚΗ	147519.4	501.543	94.01417	33.48618	198.3652	0	120.0759	1599.888	348.893	
7 ΑΡΑΙΗ ΠΕΥΚΗ	64180.8	35.06082	183.2471	47.56699	161.829	120.0759	0	919.4886	118.8645	
8 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	41630	425.9396	5998.026	1447.733	5514.724	1599.888	919.4886	0	2021.226	
9 ΠΕΥΚΗ	30203.91	239.0973	104.4402	513.6538	180.096	348.893	118.8645	2021.226	0	
Best Average Separability	4128									

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

Best Minimum Separability	363
----------------------------------	-----

Πίνακας Γ 30 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Μεσοσηνία, σκηνή επεξεργασίας 1)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)										
Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 ΦΡΥΓΑΝΑ	0	5620.38	3863.481	865.6768	1676.267	12314.67	5768.776	1308.271	3401.06	1194.341
2 ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	5620.38	0	3079.181	5404.771	6915.784	11261.08	10991.35	6137.079	2643.624	5516.822
3 ΔΡΥΣ	3863.481	3079.181	0	3409.845	4584.937	13372.64	9538.866	3779.397	981.4391	3213.087
4 ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	865.6768	5404.771	3409.845	0	1775.682	12736.89	6362.95	1270.661	3060.871	633.8333
5 ΠΕΥΚΗ	1676.267	6915.784	4584.937	1775.682	0	13857.59	5377.745	820.8252	4414.67	1537.647
6 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	12314.67	11261.08	13372.64	12736.89	13857.59	0	13385.5	13586.55	12453.51	13269.91
7 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	5768.776	10991.35	9538.866	6362.95	5377.745	13385.5	0	6032.468	9027.642	6574.299
8 ΝΕΑΡΗ ΠΕΥΚΗ	1308.271	6137.079	3779.397	1270.661	820.8252	13586.55	6032.468	0	3616.069	871.097
9 ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	3401.06	2643.624	981.4391	3060.871	4414.67	12453.51	9027.642	3616.069	0	3025.203
10 ΘΑΜΝΟΙ	1194.341	5516.822	3213.087	633.8333	1537.647	13269.91	6574.299	871.097	3025.203	0
Best Average Separability	5790									
Best Minimum Separability	634									

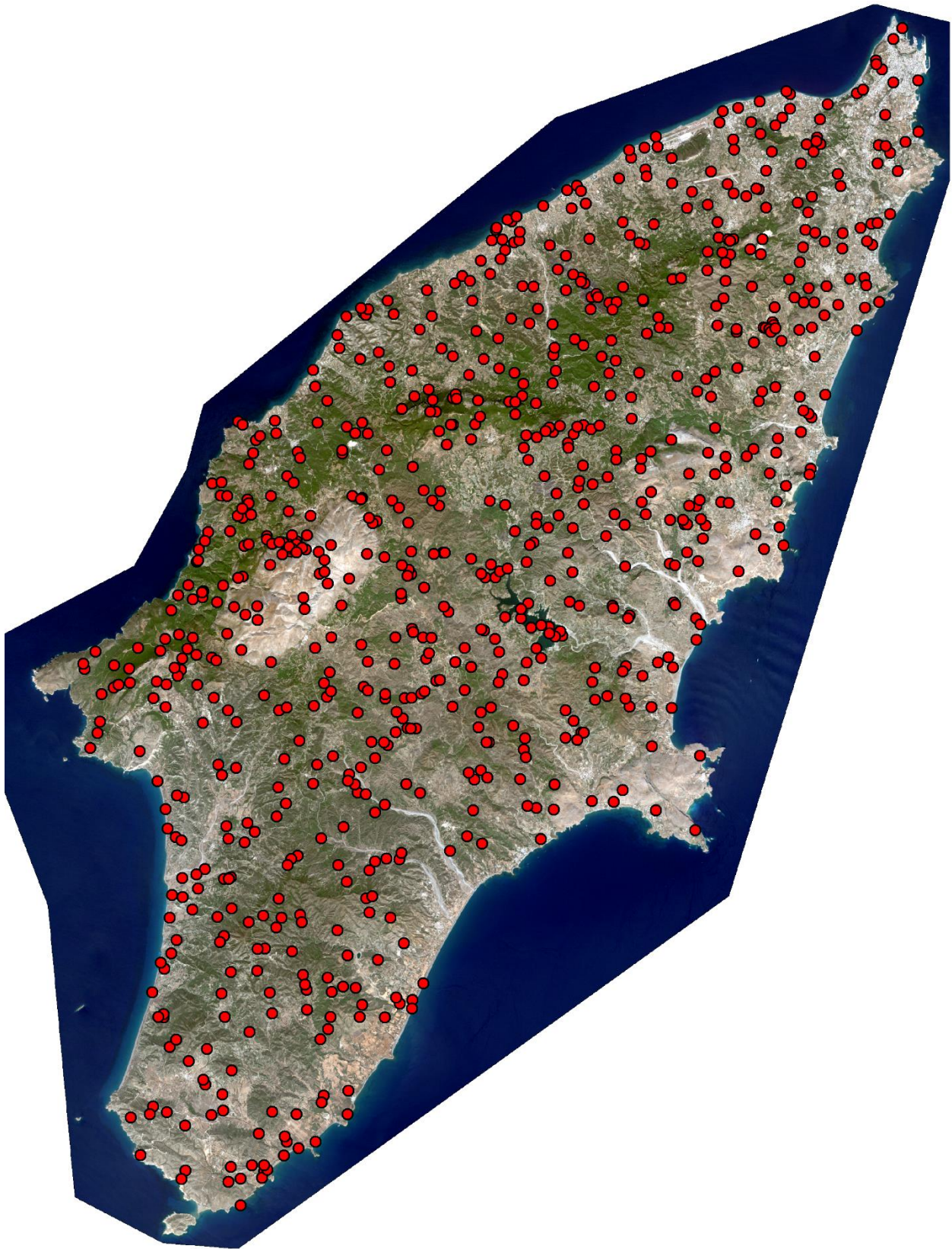
Πίνακας Γ 31 Πίνακας διαχωρισιμότητας (Μεσοσηνία, σκηνή επεξεργασίας 2)

Separability Listing (Distance measure: Euclidean Distance)										
Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 ΚΑΜΕΝΟΙ ΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΚΟΡΜΟΙ	0	2764.596	2512.556	2740.924	3843.213	2739.269	16110	2411.56	6299.122	2618.659
2 ΘΑΜΝΟΙ	2764.596	0	1301.872	1039.633	5367.724	2363.203	16862.56	779.2161	4388.464	1551.969
3 ΜΑΥΡΗ ΠΕΥΚΗ	2512.556	1301.872	0	422.4023	4556.826	3308.758	17793.19	635.4594	5628.095	383.4992
4 ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	2740.924	1039.633	422.4023	0	4758.978	3234.806	17746.15	459.9351	5362.072	589.6939
5 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	3843.213	5367.724	4556.826	4758.978	0	6257.782	18719.87	4686.716	9484.965	4301.205

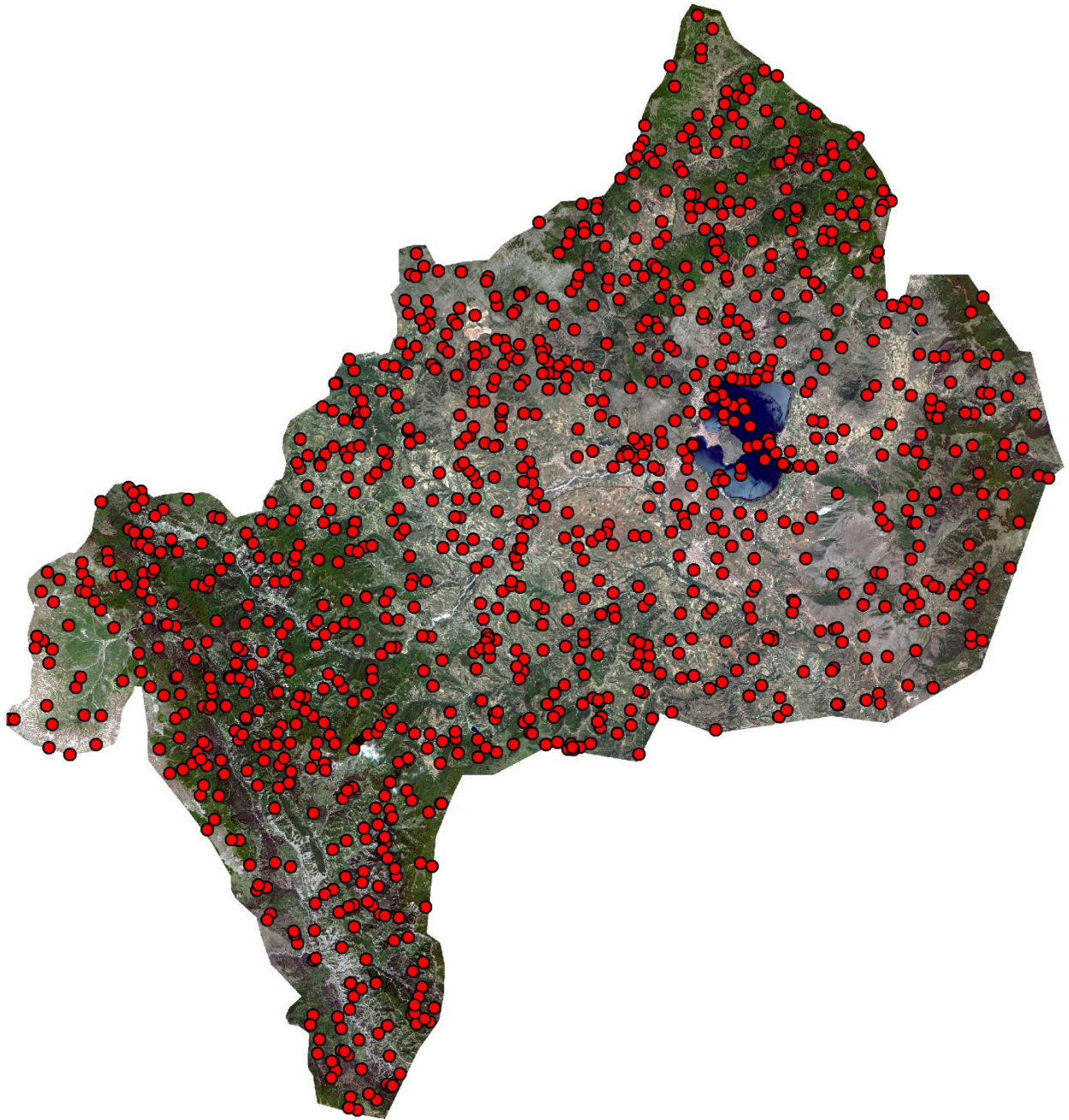
6 ΦΡΥΓΑΝΑ	2739.269	2363.203	3308.758	3234.806	6257.782	0	14551.42	2824.668	3723.303	3589.937
7 ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	16110	16862.56	17793.19	17746.15	18719.87	14551.42	0	17307.15	14715.4	18029.01
8 ΠΕΥΚΗ	2411.56	779.2161	635.4594	459.9351	4686.716	2824.668	17307.15	0	5165.234	839.1187
9 ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	6299.122	4388.464	5628.095	5362.072	9484.965	3723.303	14715.4	5165.234	0	5905.972
10 ΕΛΑΤΗ	2618.659	1551.969	383.4992	589.6939	4301.205	3589.937	18029.01	839.1187	5905.972	0
Best Average Separability	6015									
Best Minimum Separability	383									

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ - ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

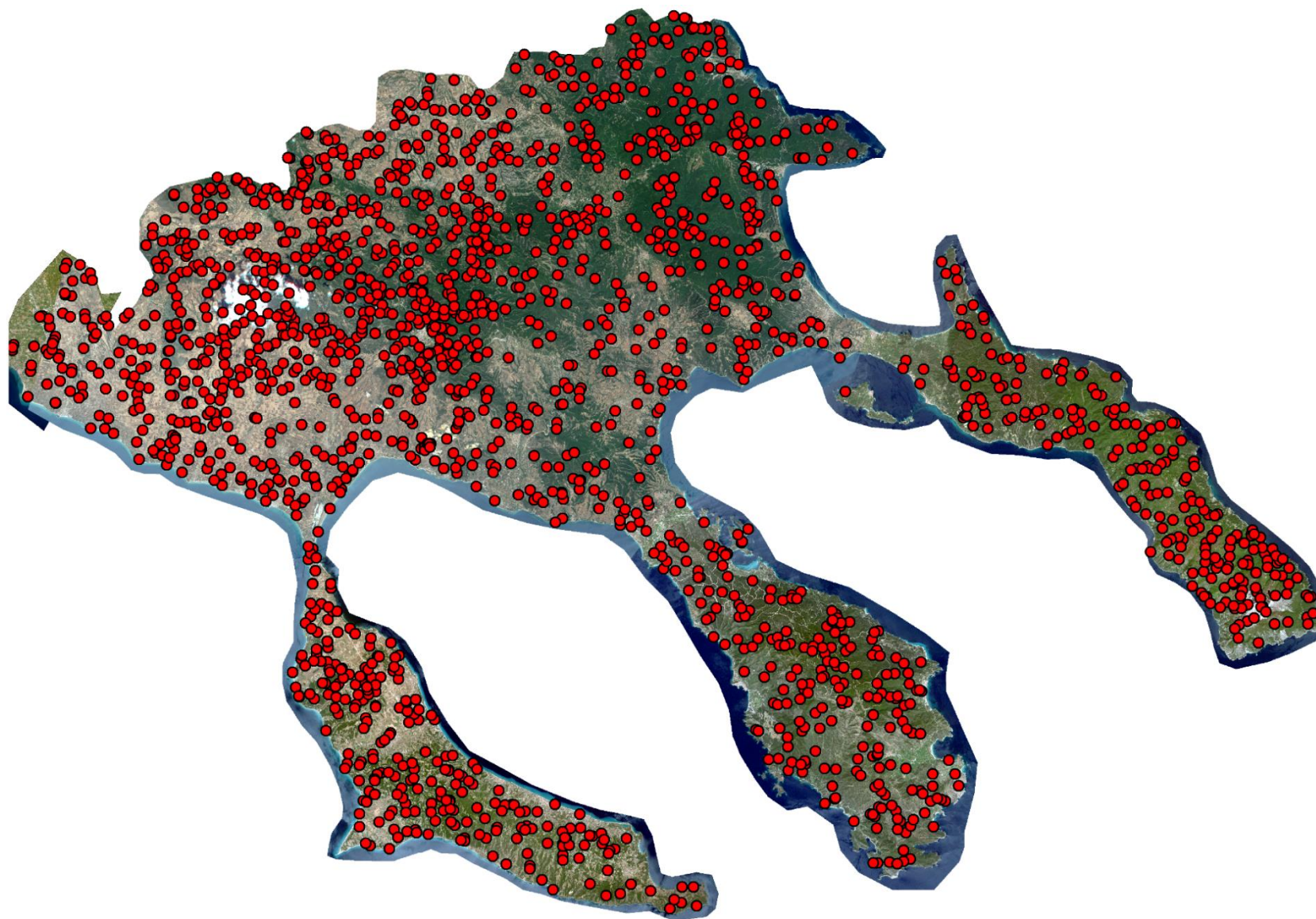
Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης



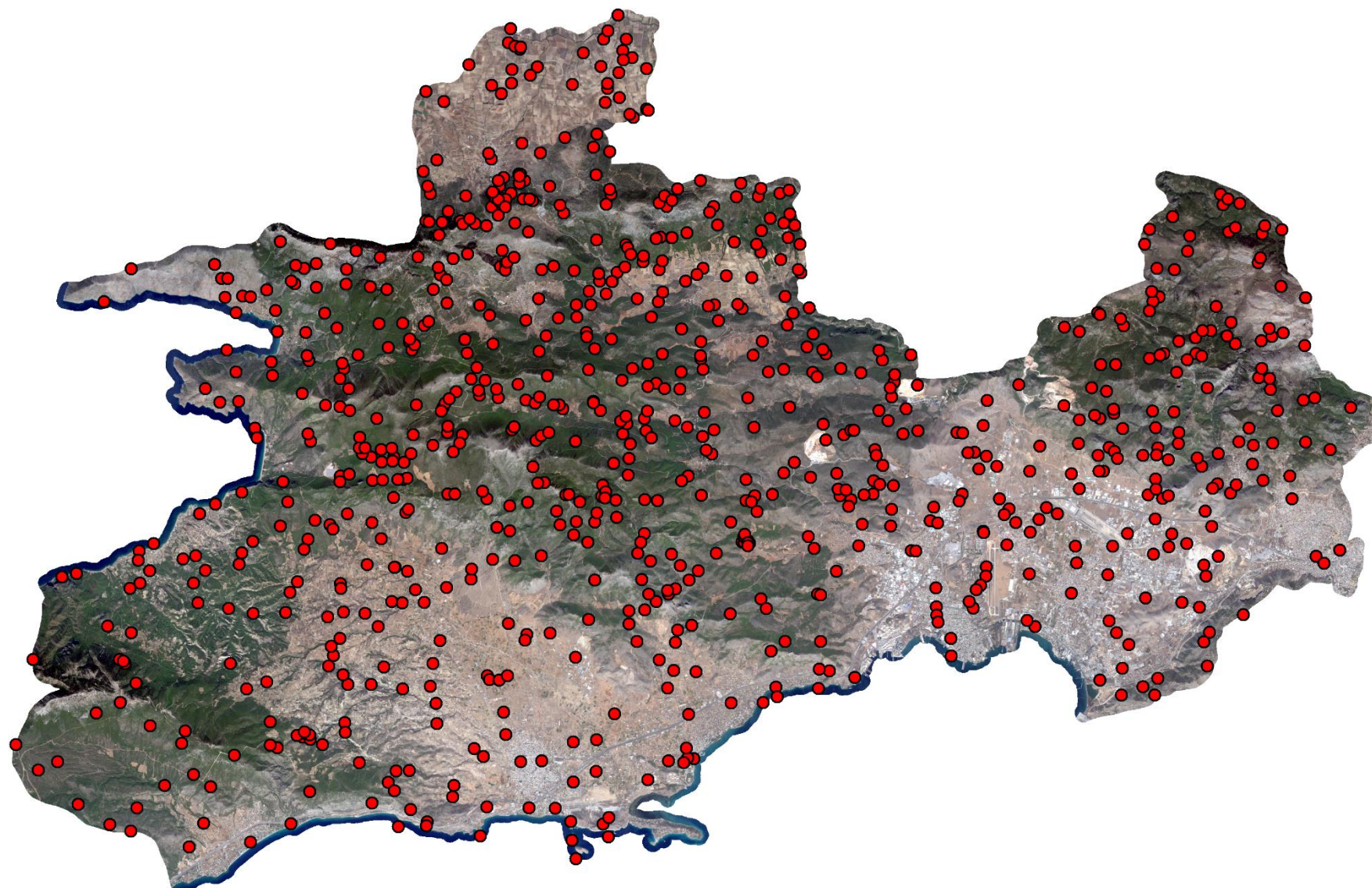
Εικόνα Δ 1 Σημεία αναφοράς Ρόδου



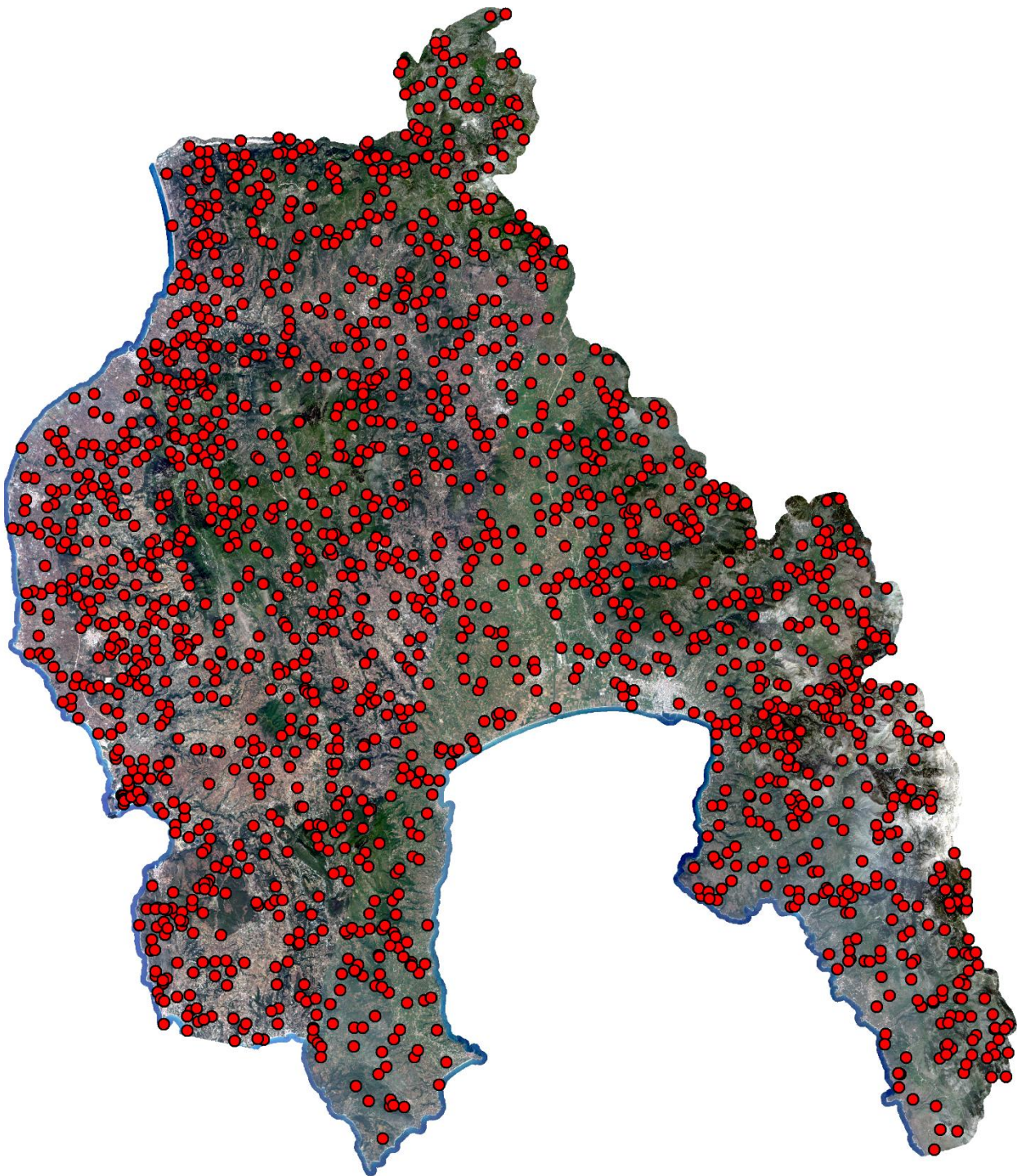
Εικόνα Δ 2 Σημεία αναφοράς Καστοριάς



Εικόνα Δ 3 Σημεία αναφοράς Χαλκιδικής



Εικόνα Δ 4 Σημεία αναφοράς Δυτικής Αττικής



Εικόνα Δ 5 Σημεία αναφοράς Μεσσηνίας

Πίνακας Δ 1 Πίνακας σφαλμάτων Ρόδου

Classified Data	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ/Α ΕΙΦΥΛΛΑ	ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ	ΦΡΥΓΑΝΑ , ΘΑΜΝΟΙ	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΙΓΙΑΛΟΣ	ΠΑΡΑΛΙΑ	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΠΑΡΑΠΟΤΑ ΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	ΚΑΜΕΝΟΙ ΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΚΟΡΜΟΙ (ΠΕΥΚΗΣ)
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	56	1	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	7	129	14	6	12	0	2	0	0	0	0	0	3
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ/ΑΕΙ ΦΥΛΛΑ	3	1	112	1	17	0	0	0	0	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	0	3	3	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	0	1	2	0	3	46	0	1	0	0	0	0	0
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	0	0	0	0	0	1	188	0	0	0	0	0	0
ΑΙΓΙΑΛΟΣ	0	0	0	0	0	0	0	8	0	2	0	0	0
ΠΑΡΑΛΙΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9	0	0
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
ΚΑΜΕΝΟΙ ΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΚΟΡΜΟΙ (ΠΕΥΚΗΣ)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	32
Column Total	66	135	134	34	105	47	191	9	11	13	9	11	35

Producers Accuracy	84.85%	95.56%	83.58%	58.82%	68.57%	97.87%	98.43%	88.89%	100.00%	84.62%	100.00%	100.00%	91.43%
Users Accuracy	83.58%	74.57%	83.58%	100.00%	92.31%	86.79%	99.47%	80.00%	100.00%	100.00%	90.00%	100.00%	96.97%

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

Overall Classification Accuracy	88.13%												
Conditional Kappa for each Category	0.8211	0.694	0.8028	1	0.9115	0.8597	0.993	0.7977	1	1	0.8989	1	0.9683
Overall Kappa Statistics	0.8606												

Πίνακας Δ 2 Πίνακας σφαλμάτων Καστοριάς

Classified Data	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΟ ΔΑΣΟΣ	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	128	0	0	0	1	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	2	220	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	1	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	0	2	0	0	1	139	11	0	0	6	3	2	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	0	0	0	1	1	3	147	0	1	2	6	34	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	0	0	0	0	1	0	0	19	0	0	4	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	0	0	0	0	0	0	6	0	13	0	0	1	0	0	0
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	1	1	0	0	0	2	1	0	0	78	0	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	68	1	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	72	0	0	0
ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0

ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΟ ΔΑΣΟΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Column Total	132	223	20	15	28	148	175	19	14	87	83	112	11	10	10

Producers Accuracy	96.97%	98.65%	100.00%	93.33%	85.71%	93.92%	84.00%	100.00%	92.86%	89.66%	81.93%	64.29%	100.00%	100.00%	100.00%
Users Accuracy	94.81%	98.65%	100.00%	100.00%	88.89%	84.76%	75.38%	79.17%	65.00%	93.98%	91.89%	93.51%	100.00%	100.00%	100.00%
Overall Classification Accuracy	89.51%														
Conditional Kappa for each Category	0.941	0.9831	1	1	0.886	0.8235	0.7066	0.788	0.6454	0.9345	0.9122	0.9276	1	1	1
Overall Kappa Statistics	0.8798														

Πίνακας Δ 3 Πίνακας σφαλμάτων Χαλκιδικής

Classified Data	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	ΦΡΥΓΑΝΑ	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	57	3	8	0	0	0	3	0	1	0	0	0	5	0	0	1	0	0
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	9	54	5	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	8	6	311	3	28	0	7	0	13	0	0	2	1	3	1	36	2	0
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	0	1	3	27	14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	7	10	79	11	572	0	3	0	6	0	0	2	1	0	3	16	2	0
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	0	0	11	0	0	0	11	0	1	0	0	0	0	0	0	12	0	0
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	0	0	1	0	1	0	0	0	129	0	1	0	0	4	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	1	0	9	0	0	0	0	3	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	34	0	0	0	0	0	0	0
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	3	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	1	0	0
ΔΑΣΟΣ ΘΞΥΑΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	42	0	0	0	0
ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	0	0	11	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	57	5	0	0
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	1	0	2	0	2	0	0	0	4	0	0	0	1	2	0	106	0	0
ΦΡΥΓΑΝΑ	1	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	30	0
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
Column Total	87	75	451	41	622	10	29	50	172	5	37	22	40	51	61	177	37	23

Producers Accuracy	65.52 %	72.00 %	68.96 %	65.85 %	91.96 %	90.00 %	37.93 %	94.00 %	75.00 %	100.00 %	91.89 %	77.27 %	77.50 %	82.35 %	93.44 %	59.89 %	81.08 %	100.00 %
Users Accuracy	73.08 %	73.97 %	73.87 %	57.45 %	80.34 %	100.00 %	31.43 %	100.00 %	94.85 %	25.00 %	94.44 %	73.91 %	77.50 %	72.41 %	74.03 %	89.83 %	81.08 %	100.00 %
Overall Classification Accuracy	78.49%																	
Conditional Kappa for each Category	0.7185	0.7295	0.6621	0.5655	0.714	1	0.3041	1	0.9437	0.2481	0.9434	0.7362	0.7704	0.7169	0.732	0.8884	0.8072	1
Overall Kappa Statistics	0.7381																	

Πίνακας Δ 4 Πίνακας σφαλμάτων Δυτικής Αττικής

Classified Data	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	ΘΑΜΝΟΙ, ΦΡΥΓΑΝΑ	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	ΜΙΚΤΟ ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	124	0	2	2	0	0	0	3	4	0	0	2	1	0
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	2	107	24	4	1	6	0	1	0	0	1	0	1	0
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	1	0	59	2	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0
ΘΑΜΝΟΙ, ΦΡΥΓΑΝΑ	0	0	0	27	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	0	1	0	3	27	7	0	0	0	0	0	0	0	0
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	3	0	5	3	1	217	0	0	0	1	0	0	0	0
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	0	0	0	0	1	0	16	0	0	0	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	0	0	0	2	0	0	0	33	0	0	0	0	1	0
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	1	0	2	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	0	0	0	0	0	7	0	0	0	29	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0
ΜΙΚΤΟ ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	20	0
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Column Total	135	109	93	44	30	239	16	38	29	30	32	22	23	10

Producers Accuracy	91.85%	98.17%	63.44%	61.36%	90.00%	90.79%	100.00%	86.84%	86.21%	96.67%	90.63%	90.91%	86.96%	100.00%
Users Accuracy	89.86%	72.79%	90.77%	96.43%	71.05%	94.35%	94.12%	91.67%	89.29%	80.56%	85.29%	100.00%	86.96%	100.00%

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

Overall Classification Accuracy	87.41%														
Conditional Kappa for each Category	0.8794	0.6879	0.8964	0.9623	0.6999	0.9214	0.94	0.9128	0.8891	0.7984	0.8472	1	0.8659	1	
Overall Kappa Statistics	0.853														

Πίνακας Δ 5 Πίνακας σφαλμάτων Μεσοημιας

Classified Data	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	ΦΡΥΓΑΝΑ	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΥΚΗ
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	14	11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	9	1	0	0
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	0	319	0	5	0	0	11	4	5	3	16	13	12	0	0
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	1	56	9	787	2	0	1	0	2	0	3	7	7	0	0
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	0	22	0	0	0	13	0	0	0	0	0	6	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	0	1	0	0	0	0	22	0	1	0	0	0	0	0	0
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	1	7	2	0	0	0	0	35	0	5	0	2	0	0	0
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	0	0	0	1	0	0	0	0	48	0	0	0	1	0	0
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	0	0	0	0	0	0	0	2	0	26	0	2	0	0	1
ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	26	4	0	0	0
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	3	71	0	0	0
ΦΡΥΓΑΝΑ	0	7	1	2	1	0	0	1	1	3	1	0	92	0	0
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΥΚΗ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Column Total	16	430	44	795	13	13	35	42	57	38	50	114	115	10	23

Producers Accuracy	87.50%	74.19%	72.73%	98.99%	76.92%	100.00%	62.86%	83.33%	84.21%	68.42%	52.00%	62.28%	80.00%	100.00%	86.96%
Users Accuracy	37.84%	82.22%	88.89%	89.64%	100.00%	30.23%	91.67%	67.31%	96.00%	83.87%	76.47%	91.03%	84.40%	100.00%	100.00%
Overall Classification Accuracy	84.72%														
Conditional Kappa for each Category	0.3728	0.7663	0.8861	0.8144	1	0.2973	0.915	0.6653	0.9587	0.8352	0.758	0.9042	0.8334	1	1
Overall Kappa Statistics	0.7886														

Πίνακας Δ 6 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Ρόδου ανά σκηνή επεξεργασίας

	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 1	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	9	10	8	88.89%	80.00%
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ		10	6	5	50.00%	83.33%	0.814
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ		2	3	2	100.00%	66.67%	0.6596
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ		1	1	0	0.00%	0.00%	-
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ		60	60	59	98.33%	98.33%	0.9556
ΑΙΓΙΑΛΟΣ		8	9	8	100.00%	88.89%	0.8788
ΠΑΡΑΛΙΑ		1	1	1	100.00%	100.00%	1
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ		4	5	4	100.00%	80.00%	0.7913
	Totals	96	96	87			
Overall Classification Accuracy = 90.63%							
Overall Kappa Statistics = 0.8390							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 2	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	14	14	9	64.29%	64.29%	0.5682
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	7	10	4	57.14%	40.00%	0.3432
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	15	18	13	86.67%	72.22%	0.6591
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	8	6	4	50.00%	66.67%	0.6301
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	2	4	2	100.00%	50.00%	0.4873
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	18	18	18	100.00%	100.00%	1
	ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	1	1	1	100.00%	100.00%	1
	Totals	81	81	60			
Overall Classification Accuracy = 74.07%							
Overall Kappa Statistics = 0.6942							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 3	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	12	13	12	100.00%	92.31%	0.9103
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	10	11	9	90.00%	81.82%	0.7936
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	20	18	17	85.00%	94.44%	0.9271
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	8	7	7	87.50%	100.00%	1
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	3	4	3	100.00%	75.00%	0.7407
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	29	29	29	100.00%	100.00%	1
	ΠΑΡΑΛΙΑ	1	1	1	100.00%	100.00%	1
	Totals	84	84	79			
Overall Classification Accuracy = 94.05%							
Overall Kappa Statistics = 0.9239							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 4	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	21	20	17	80.95%	85.00%	0.8208
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	24	34	24	100.00%	70.59%	0.6387

	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	20	21	18	90.00%	85.71%	0.8309	
	ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ	28	20	20	71.43%	100.00%	1	
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	6	5	4	66.67%	80.00%	0.7902	
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	14	14	14	100.00%	100.00%	1	
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	16	15	15	93.75%	100.00%	1	
	Totals	129	129	112				
	Overall Classification Accuracy = 86.82%							
	Overall Kappa Statistics = 0.8429							
	ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 5	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
		ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	2	2	2	100.00%	100.00%	1
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ		27	34	26	96.30%	76.47%	0.6739	
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ		16	14	12	75.00%	85.71%	0.8289	
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ		19	13	12	63.16%	92.31%	0.9043	
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ		8	9	8	100.00%	88.89%	0.8789	
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ		19	19	19	100.00%	100.00%	1	
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ		1	1	1	100.00%	100.00%	1	
ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ		4	4	4	100.00%	100.00%	1	
ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ		1	1	1	100.00%	100.00%	1	
Totals		97	97	85				
Overall Classification Accuracy = 87.63%								
Overall Kappa Statistics = 0.8461								
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 6	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa	
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	7	7	7	100.00%	100.00%	1	
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	16	20	16	100.00%	80.00%	0.7536	
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	19	22	18	94.74%	81.82%	0.7658	
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	12	7	7	58.33%	100.00%	1	
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	7	8	7	100.00%	87.50%	0.8638	
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	7	6	6	85.71%	100.00%	1	
	ΠΑΡΑΛΙΑ	1	1	1	100.00%	100.00%	1	
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	2	2	2	100.00%	100.00%	1	
	ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΥΚΗ	14	12	12	85.71%	100.00%	1	
Totals	85	85	76					
Overall Classification Accuracy = 89.41%								
Overall Kappa Statistics = 0.8742								
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 7	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa	
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	1	1	1	100.00%	100.00%	1	
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	29	32	29	100.00%	90.63%	0.8577	
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	3	3	3	100.00%	100.00%	1	
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	8	5	5	62.50%	100.00%	1	
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	4	5	4	100.00%	80.00%	0.7901	
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	11	11	11	100.00%	100.00%	1	
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	8	8	8	100.00%	100.00%	1		

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

	ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΥΚΗ	20	20	19	95.00%	95.00%	0.9346
	Totals	85	85	80			
	Overall Classification Accuracy = 94.12%						
	Overall Kappa Statistics = 0.9247						
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 8	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	11	14	10	90.91%	71.43%	0.6674
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	24	23	21	87.50%	91.30%	0.8744
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	17	15	14	82.35%	93.33%	0.9148
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	6	6	6	100.00%	100.00%	1
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	17	17	17	100.00%	100.00%	1
	ΠΑΡΑΛΙΑ	2	2	2	100.00%	100.00%	1
	ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΥΚΗ	1	1	1	100.00%	100.00%	1
Totals	78	78	71				
Overall Classification Accuracy = 91.03%							
Overall Kappa Statistics = 0.8861							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 9	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	11	17	11	100.00%	64.71%	0.5752
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	7	9	5	71.43%	55.56%	0.5019
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	25	17	17	68.00%	100.00%	1
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	2	2	2	100.00%	100.00%	1
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	14	14	14	100.00%	100.00%	1
	ΠΑΡΑΛΙΑ	6	6	6	100.00%	100.00%	1
	Totals	65	65	55			
Overall Classification Accuracy = 84.62%							
Overall Kappa Statistics = 0.8039							

Πίνακας Δ 7 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Μεσσηνίας ανά σκηνή επεξεργασίας

ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 1	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	7	22	7	100.00%	31.82%	0.3143
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	310	262	215	69.35%	82.06%	0.7603
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	24	16	15	62.50%	93.75%	0.9363
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	655	733	647	98.78%	88.27%	0.7495
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	13	10	10	76.92%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	13	43	13	100.00%	30.23%	0.2949
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	34	24	22	64.71%	91.67%	0.9143
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	24	18	17	70.83%	94.44%	0.9433
	ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	43	34	26	60.47%	76.47%	0.7562
	ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	46	16	14	30.43%	87.50%	0.8702
	ΦΡΥΓΑΝΑ	48	43	33	68.75%	76.74%	0.758
	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	10	10	10	100.00%	100.00%	1
Totals	1232	1232	1029				

Overall Classification Accuracy = 83.52%						
Overall Kappa Statistics = 0.7366						
Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	9	15	7	77.78%	46.67%	0.4581
ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	120	126	104	86.67%	82.54%	0.7786
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	20	20	17	85.00%	85.00%	0.8445
ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	140	145	140	100.00%	96.55%	0.9542
ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	42	51	35	83.33%	68.63%	0.6612
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	33	32	31	93.94%	96.88%	0.9668
ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	38	31	26	68.42%	83.87%	0.8271
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	68	62	57	83.82%	91.94%	0.9084
ΦΡΥΓΑΝΑ	67	66	59	88.06%	89.39%	0.8798
ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΥΚΗ	23	20	20	86.96%	100.00%	1
Totals	568	568	496			
Overall Classification Accuracy = 87.32%						
Overall Kappa Statistics = 0.8503						

Πίνακας Δ 8 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Καστοριάς ανά σκηνή επεξεργασίας

ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 1	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	7	8	6	85.71%	75.00%	0.733
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	9	9	9	100.00%	100.00%	1
	ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	2	2	2	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	14	13	9	64.29%	69.23%	0.6474
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	34	43	30	88.24%	69.77%	0.5624
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	10	13	7	70.00%	53.85%	0.4923
	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	1	2	1	100.00%	50.00%	0.4954
	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	32	20	19	59.38%	95.00%	0.9295
	Totals	110	110	83			
Overall Classification Accuracy = 75.45%							
Overall Kappa Statistics = 0.6888							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 2	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	20	21	17	85.00%	80.95%	0.7867
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	64	64	60	93.75%	93.75%	0.905
	ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	2	2	2	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	54	57	47	87.04%	82.46%	0.7533
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	22	21	18	81.82%	85.71%	0.8381
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	12	11	9	75.00%	81.82%	0.8057
	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	2	2	1	50.00%	50.00%	0.4946
	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	10	9	9	90.00%	100.00%	1
Totals	187	187	163				
Overall Classification Accuracy = 87.17%							

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

Overall Kappa Statistics = 0.8318							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 3	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	22	25	21	95.45%	84.00%	0.8154
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	33	35	33	100.00%	94.29%	0.9286
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	17	18	17	100.00%	94.44%	0.9381
	ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	1	1	1	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	19	23	16	84.21%	69.57%	0.656
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	18	24	14	77.78%	58.33%	0.5323
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	16	13	11	68.75%	84.62%	0.8296
	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	2	2	2	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	15	5	4	26.67%	80.00%	0.78
	ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	11	11	10	0.9091	90.91%	0.9026
	ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΟ ΔΑΣΟΣ	10	8	8	0.8	100.00%	1
	Totals	165	165	137			
	Overall Classification Accuracy = 83.03%						
Overall Kappa Statistics = 0.8063							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 4	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	27	33	26	96.30%	78.79%	0.7536
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	1	1	1	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	26	18	17	65.38%	94.44%	0.9358
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	4	4	3	75.00%	75.00%	0.7447
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	29	47	26	89.66%	55.32%	0.4747
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	3	4	3	100.00%	75.00%	0.7461
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	24	20	20	83.33%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	39	42	35	89.74%	83.33%	0.7914
	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	41	25	24	58.54%	96.00%	0.9493
	Totals	194	194	155			
Overall Classification Accuracy = 79.90%							
Overall Kappa Statistics = 0.7616							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 5	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	21	23	19	90.48%	82.61%	0.8042
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	65	64	61	93.85%	95.31%	0.9284
	ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	6	5	5	83.33%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	26	26	22	84.62%	84.62%	0.8215
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	35	31	28	80.00%	90.32%	0.8811
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	1	1	1	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	14	19	12	85.71%	63.16%	0.6019
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	13	13	11	84.62%	84.62%	0.8347
	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	6	6	5	83.33%	83.33%	0.8278
Totals	188	188	164				
Overall Classification Accuracy = 87.23%							

Overall Kappa Statistics = 0.8413							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 6	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	19	20	18	94.74%	90.00%	0.8819
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	50	51	50	100.00%	98.04%	0.9671
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	3	3	3	100.00%	100.00%	1
	ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	4	4	4	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	28	27	26	92.86%	96.30%	0.9522
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	15	15	15	100.00%	100.00%	1
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	4	3	3	75.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	1	1	1	100.00%	100.00%	1
	Totals	124	124	120			
Overall Classification Accuracy = 96.77%							
Overall Kappa Statistics = 0.9566							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 7	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	16	13	12	75.00%	92.31%	0.9111
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	1	1	1	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	4	6	1	25.00%	16.67%	0.1377
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	20	24	16	80.00%	66.67%	0.5993
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	15	19	14	93.33%	73.68%	0.6989
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	8	8	7	87.50%	87.50%	0.866
	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	38	34	29	76.32%	85.29%	0.784
	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	17	14	13	76.47%	92.86%	0.9167
	Totals	119	119	93			
Overall Classification Accuracy = 78.15%							
Overall Kappa Statistics = 0.7326							

Πίνακας Δ 9 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Χαλκιδικής ανά σκηνή επεξεργασίας

ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 1	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	32	20	17	53.13%	85.00%	0.8274
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	31	28	21	67.74%	75.00%	0.7136
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	41	37	25	60.98%	67.57%	0.6102
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	4	3	2	50.00%	66.67%	0.6611
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	121	153	117	96.69%	76.47%	0.5332
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	1	1	1	100.00%	100.00%	1
	ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	4	2	1	25.00%	50.00%	0.4917
	Totals	244	244	184			
	Overall Classification Accuracy = 75.41%						
Overall Kappa Statistics = 0.6145							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 2	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	25	22	17	68.00%	77.27%	0.744
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	42	45	33	78.57%	73.33%	0.6715

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	69	68	55	79.71%	80.88%	0.7232	
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	7	9	6	85.71%	66.67%	0.6559	
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	16	18	15	93.75%	83.33%	0.8205	
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	5	4	4	80.00%	100.00%	1	
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	5	8	5	100.00%	62.50%	0.6164	
	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	14	12	9	64.29%	75.00%	0.7333	
	ΦΡΥΓΑΝΑ	36	37	30	83.33%	81.08%	0.7744	
	Totals	223	223	174				
	Overall Classification Accuracy = 78.03%							
	Overall Kappa Statistics = 0.7314							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 3	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa	
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	7	8	6	85.71%	75.00%	0.7423	
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	47	31	31	65.96%	100.00%	1	
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	3	3	3	100.00%	100.00%	1	
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	9	6	6	66.67%	100.00%	1	
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΟΥ ΔΡΥΟΣ	50	47	47	94.00%	100.00%	1	
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	25	26	24	96.00%	92.31%	0.9138	
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	5	20	5	100.00%	25.00%	0.2336	
	ΔΑΣΟΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	37	36	34	91.89%	94.44%	0.934	
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	1	2	1	100.00%	50.00%	0.4978	
	ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	25	31	25	1	0.8065	0.7832	
	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	23	23	23	1	1	1	
	Totals	233	233	205				
	Overall Classification Accuracy = 87.98%							
Overall Kappa Statistics = 0.8611								
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 4	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa	
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	23	28	17	73.91%	60.71%	0.6	
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	294	285	200	68.03%	70.18%	0.6137	
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	27	32	16	59.26%	50.00%	0.4893	
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	476	535	434	91.18%	81.12%	0.7008	
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	4	4	4	100.00%	100.00%	1	
	ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	14	35	11	78.57%	31.43%	0.3068	
	ΔΑΣΟΣ ΔΡΥΟΣ	147	110	105	71.43%	95.45%	0.9487	
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	16	13	11	68.75%	84.62%	0.8442	
	ΔΑΣΟΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	26	28	22	0.8462	0.7857	0.7813	
	ΔΑΣΟΣ ΟΞΥΑΣ	51	58	42	0.8235	0.7241	0.7128	
	ΠΟΥΡΝΑΡΙΑ	36	46	32	0.8889	0.6957	0.6869	
	ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	173	116	105	0.6069	0.9052	0.8905	
	Totals	1290	1290	999				
Overall Classification Accuracy = 77.44%								
Overall Kappa Statistics = 0.7071								

Πίνακας Δ 10 Πίνακας εκτιμήσεων ακρίβειας της ταξινόμησης για την περιοχή της Δυτικής Αττικής ανά σκηνή επεξεργασίας

ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 1	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	68	69	63	92.65%	91.30%	0.8924
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	36	49	35	97.22%	71.43%	0.6819
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	22	13	12	54.55%	92.31%	0.918
	ΦΡΥΓΑΝΑ, ΘΑΜΝΟΙ	26	20	19	73.08%	95.00%	0.946
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	7	8	7	100.00%	87.50%	0.8725
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	73	68	66	90.41%	97.06%	0.9629
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	5	5	5	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	27	26	24	88.89%	92.31%	0.9167
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	23	24	22	95.65%	91.67%	0.9109
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	9	12	9	100.00%	75.00%	0.7435
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΑΙΦΥΛΛΑ	22	24	21	95.45%	87.50%	0.8667
	ΜΙΚΤΟ ΔΑΣΟΣ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΟΥ ΜΕ ΠΕΥΚΗ ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	22	20	20	90.91%	100.00%	1
14	16	14	100.00%	87.50%	0.8699		
Totals	354	354	317				
Overall Classification Accuracy = 89.55%							
Overall Kappa Statistics = 0.8814							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 2	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	37	33	32	86.49%	96.97%	0.9649
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	48	65	48	100.00%	73.85%	0.6822
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	37	22	21	56.76%	95.45%	0.9474
	ΘΑΜΝΟΙ,ΦΡΥΓΑΝΑ	6	2	2	33.33%	100.00%	1
	ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	8	8	5	62.50%	62.50%	0.6136
	ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	87	91	83	95.40%	91.21%	0.8705
	ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	9	10	9	100.00%	90.00%	0.8966
	ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	9	9	9	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΕΛΑΤΗΣ	3	4	3	100.00%	75.00%	0.7472
	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	5	5	5	100.00%	100.00%	1
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΑΙΦΥΛΛΑ	6	5	5	83.33%	100.00%	1
	ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΠΕΥΚΗ	6	7	6	100.00%	85.71%	0.8539
	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	10	10	10	100.00%	100.00%	1
Totals	271	271	238				
Overall Classification Accuracy = 87.82%							
Overall Kappa Statistics = 0.8507							
ΣΚΗΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 3	Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	Kappa
	ΔΑΣΟΣ ΠΕΥΚΗΣ	30	36	29	96.67%	80.56%	0.7753
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	25	33	24	96.00%	72.73%	0.6928
	ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΦΡΥΓΑΝΑ	33	29	25	75.76%	86.21%	0.8381
	ΘΑΜΝΟΙ,ΦΡΥΓΑΝΑ	12	6	6	50.00%	100.00%	1
ΓΥΜΝΑ ΕΔΑΦΗ	15	22	15	100.00%	68.18%	0.6589	

Διερεύνηση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση της Καύσιμης Ύλης με Βάση τη Βλάστηση Χρησιμοποιώντας δύο Εποχικές Δορυφορικές Εικόνες Υψηλής Ανάλυσης - Εφαρμογή σε Δεδομένα Μεγάλης Έκτασης

ΑΡΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	79	71	68	86.08%	95.77%	0.9346
ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	1	1	1	100.00%	100.00%	1
ΔΑΣΟΣ ΝΕΑΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ	2	1	0	0.00%	0.00%	-0.009
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΟ	16	19	15	93.75%	78.95%	0.7732
ΔΑΣΟΣ ΑΡΑΙΗΣ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕ ΑΕΙΦΥΛΛΑ	4	5	3	75.00%	60.00%	0.5927
Totals	223	223	186			
Overall Classification Accuracy = 83.41%						
Overall Kappa Statistics = 0.7964						