

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

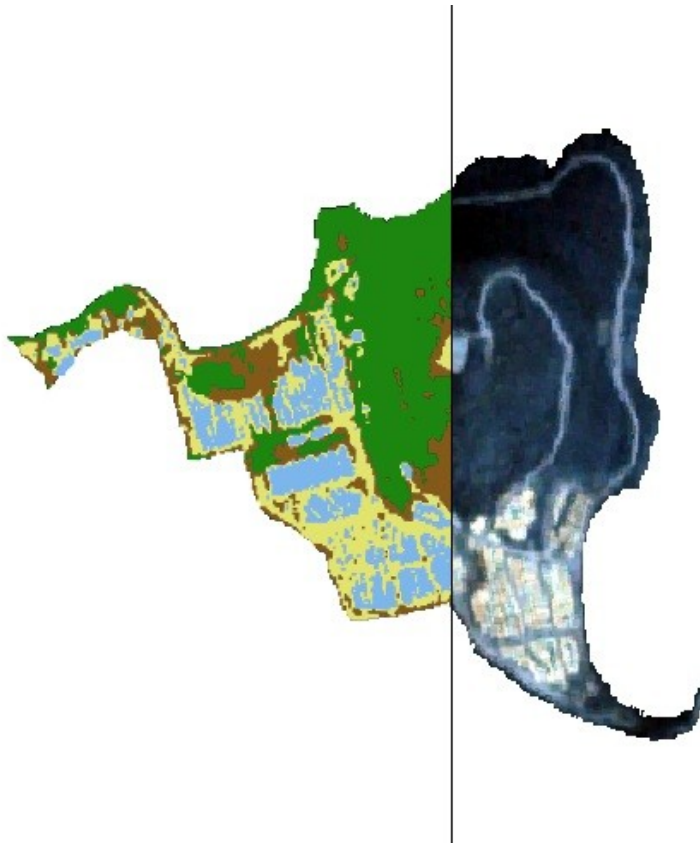


ΠΜΣ “ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Αλλαγή χρήσεων γης στην παράκτια ζώνη του
Μαυροβουνίου Λέσβου λόγω προσφυγικών ροών»

Γεώργιος Μαργαρίτης



Επιβλέπων Καθηγητής:

Αναπληρωτής Καθηγητής Τοπουζέλης Κωνσταντίνος

Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2022

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

αποφοίτου του

ΠΜΣ “Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών”

Γεώργιου Μαργαρίτη

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**«ΑΛΛΑΓΗ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ
ΜΑΥΡΟΒΟΥΝΙΟΥ ΛΕΣΒΟΥ
ΛΟΓΩ ΠΡΟΣΦΥΓΙΚΩΝ ΡΟΩΝ»**

Τριμελής Επιτροπή Επίβλεψης και Κρίσης της Εργασίας

Υπογραφές

**Τοπουζέλης Κωνσταντίνος
Επιβλέπων Καθηγητής**

Τσιρτσής Γεώργιος

Καβρουδάκης Δημήτριος

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή κο Τοπουζέλη Κωνσταντίνο που με εμπιστεύτηκε και ανέλαβε να με επιβλέψει στην εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής, καθώς και για την καθοδήγηση και την εποικοδομητική συμβολή του. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την αναπληρώτρια καθηγήτρια κα Κίτσιου Δήμητρα για την υποστήριξή της. Τέλος, ένα ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή της.

*Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αφιερώνεται στη
μνήμη του πατέρα μου Χαράλαμπου που έφυγε από
κοντά μας αιφνιδίως πριν από ένα έτος.*

Περίληψη

Η εργασία αφορά την διερεύνηση αλλαγής χρήσεων γης της παράκτιας ζώνης του Μαυροβουνίου Λέσβου όπου βρίσκεται το Κέντρο Υποδοχής και Ταυτοποίησης (ΚΥΤ) Λέσβου. Η ανάλυση στηρίζεται στην μεθοδολογία OBIA (Object-Based Image Analysis) – Αντικειμενοστρεφής Ανάλυση Εικόνας, και εφαρμόζεται σε δορυφορικά δεδομένα καννάβου 4 καναλιών: Ερυθρό, Πράσινο, Μπλε και Εγγύς Υπέρυθρο, χωρικής ανάλυσης 3Χ3 μέτρων που διατίθενται από το ψηφιακό αποθετήριο www.planet.com. Περιλαμβάνει την επιβλεπόμενη ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων, την αξιολόγηση της μεθοδολογίας, και την εξαγωγή ποσοτικών στοιχείων αλλαγών χρήσεων γης.

Abstract

The project concerns the investigation of land use change in the coastal zone of Mavrovouni Lesvos where the Reception and Identification Center (RIC) of Lesvos is located. The analysis is based on the OBIA (Object-Based Image Analysis) methodology, and is applied to 4 channels of satellite data: Red, Green, Blue and Near Infrared, with a spatial resolution of 3X3 meters, available from the digital repository www.planet.com. It includes supervised classification of satellite imagery, evaluation of the methodology, and extraction of quantitative land use change data.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη

Abstract

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

<u>1.1 Σκοπιμότητα ανάλυσης</u>	σελ. 9
<u>1.2 Προσφυγικοί καταυλισμοί</u>	σελ. 9
<u>1.3 Περιοχή μελέτης</u>	σελ. 10
<u>1.4 Χρήσεις γης</u>	σελ. 11

2. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

<u>2.1 Αρχές λειτουργίας</u>	σελ. 12
<u>2.2 ΗΜ φάσμα</u>	σελ. 13
<u>2.3 Δορυφορικές εικόνες</u>	σελ. 15
<u>2.4 Ταξινόμηση εικόνας</u>	σελ. 18

3. OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS (OBIA)

<u>3.1 Η μεθοδολογία OBIA</u>	σελ. 20
<u>3.2 Δημιουργία αντικειμένων</u>	σελ. 21
<u>3.3 Ταξινόμηση εικονοστοιχείων</u>	σελ. 23
<u>3.4 Αξιολόγηση Ταξινόμησης</u>	σελ. 23

4. ΑΝΑΛΥΣΗ

<u>4.1 Δεδομένα ανάλυσης</u>	σελ. 25
<u>4.2 Δεδομένα εκπαίδευσης</u>	σελ. 30
<u>4.3 Δενδρογράμματα δυαδικών αποφάσεων</u>	σελ. 31
<u>4.4 Ταξινομήσεις δορυφορικών εικόνων</u>	σελ. 36
<u>4.5 Αξιολόγηση μεθοδολογίας</u>	σελ. 40
<u>4.6 Ποσοτικά δεδομένα ταξινόμησης</u>	σελ. 46

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

<u>5.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία</u>	σελ. 54
<u>5.2 Συζήτηση</u>	σελ. 63

Βιβλιογραφία

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπιμότητα ανάλυσης

Η παρούσα διατριβή έχει ως αντικείμενο την ανάλυση δορυφορικών δεδομένων για την εκτίμηση των αλλαγών χρήσης γης του χώρου του της παράκτιας ζώνης του Μαυροβουνίου Λέσβου και συγκεκριμένα του χώρου όπου βρίσκεται το Κέντρο Υποδοχής και Ταυτοποίησης (ΚΥΤ) Λέσβου. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την χρήση της μεθοδολογίας OBIA – Object-Based Image Analysis (Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνας), η οποία στηρίζεται στην ενιαία ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, ως αντικείμενα, διακρίνοντας τις ομοιογενείς φασματικά περιοχές σε επιμέρους οντότητες.

Σκοπός της ανάλυσης είναι η διερεύνηση των αλλαγών χρήσης γης στην παράκτια ζώνη του Μαυροβουνίου, από τις οποίες μπορούμε να εξάγουμε ποσοτικά δεδομένα σχετικά με την διαχείριση του χώρου. Ερωτήματα όπως το μέγεθος του ωφέλιμου χώρου, η εξέλιξη των τεχνικών έργων, η έκταση της φυσικής βλάστησης, καθώς και οι διαχρονικές αλλαγές τους, μπορούν να απαντηθούν από τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης. Οι αλλαγές στο μέγεθος κάθε τύπου χρήση γης σε σχέση με τον χρόνο, καταδεικνύουν τις μεταβολές που συντελέστηκαν και αποτελούν μία πρώτη εκτίμηση για επιπλέον μελέτη των παραμέτρων ενδιαφέροντος. Ενδεικτικά, οι παράμετροι αυτοί μπορεί να είναι το μέγεθος του χώρου διαμονής των φιλοξενούμενων, η πρόοδος των τεχνικών έργων, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η διατήρηση της φυσικής βλάστησης καθώς και μία πληθώρα ακόμη παραμέτρων ανάλογα τον προσανατολισμό της κάθε έρευνας.

1.2 Προσφυγικοί καταυλισμοί

Οι προσφυγικοί καταυλισμοί αποτελούν χώρους φιλοξενίας ανθρώπων που λόγω ανωτέρας βίας αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν την χώρα τους και να μεταβούν σε μία ασφαλή γι' αυτούς χώρα στην οποία αιτούνται την χορήγηση ασύλου. Οι προσφυγικοί καταυλισμοί εγκαθίστανται σε σύντομο χρονικό διάστημα για να αντιμετωπιστεί η ανθρωπιστική κρίση που δημιουργείται με την άτακτη συνήθως μετακίνηση πληθυσμών. Για την οργάνωση και διατήρηση ενός προσφυγικού καταυλισμού, πέρα από το επίσημο κράτος, συμβάλλουν διεθνείς και ευρωπαϊκοί οργανισμοί καθώς και Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις (ΜΚΟ). Η στέγαση των αιτούντων άσυλο βασίζεται στην χρήση προκατασκευασμένων οικίσκων ενιαίου τύπου ή μεμονομένων (isoboxes), και σε διαφόρων μορφών προκατασκευασμένων χώρων προσωρινής διαμονής όπως σκηνές οικογενειακού μεγέθους (tents), σκηνές μεγαλύτερων διαστάσεων (Rub Halls), μονάδες προσφυγικών καταλυμάτων (Refugee House Unit), σκηνές σκανδιναβικού τύπου (tolls) κ.α.. Οι καταυλισμοί εκτός από τους χώρους διαμονής περιλαμβάνουν ακόμη όλες τις σύνοδες εγκαταστάσεις που απαιτούνται για την απρόσκοπτη διαβίωση των φιλοξενούμενων, όπως εγκαταστάσεις παροχής ύδατος, ηλεκτρικής ενέργειας, αποχέτευσης, καθώς και χώρους ποικίλων δραστηριοτήτων π.χ. ψυχαγωγικών ή αθλητικών.

Στην Ελλάδα υπήρχαν χώροι φιλοξενίας αιτούντων άσυλο από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 οι οποίοι ήταν περιορισμένοι σε αριθμό και σε έκταση, και συνήθως εγκατεστημένοι σε κτήρια. Από την ανθρωπιστική κρίση του έτους 2015 με την κατακόρυφη αύξηση των προσφυγικών ροών στον ελλαδικό χώρο, έγινε εμφανής η ανάγκη για εγκατάσταση χώρων υποδοχής, ταυτοποίησης και φιλοξενίας αυτών των ανθρώπων. Στα σημεία της χώρας, που λόγω γεωγραφικής θέσης αποτελούσαν είσοδο για τους μετακινούμενους πληθυσμούς, εγκαταστάθηκαν τα Κέντρα Υποδοχής

και Ταυτοποίησης (ΚΥΤ), ενώ στην ενδοχώρα εγκαταστάθηκαν οι δομές φιλοξενίας. Τα πρώτα ήταν επιφορτισμένα με την υποδοχή και την ταυτοποίηση των αιτούντων άσυλο, και τα δεύτερα με την προσωρινή διαμονή τους έως ότου ολοκληρωθεί η διαδικασία εξέτασης απόδοσης ασύλου. Στην νήσο Λέσβο υπήρχε δημοτικό κέντρο υποδοχής, καταγραφής και φιλοξενίας αιτούντων άσυλο στην περιοχή της Παγανής, στην είσοδο της πόλης Μυτιλήνης. Το έτος 2015 το κέντρο σταμάτησε την λειτουργία του και την ευθύνη για τους αιτούντες άσυλο ανέλαβε το νεοσύστατο Υπουργείο Μεταναστευτικής Πολιτικής το οποίο εγκατέστησε νέο κέντρο σε χώρο πλησίον του οικισμού της Μόριας. Οι αυξημένες προσφυγικές ροές του έτους 2015, αλλά και των επόμενων ετών, κατέστησαν σύντομα το νέο κέντρο ανεπαρκές ως προς την δυναμικότητά του, δημιουργώντας μία έκρυθμη κατάσταση καθώς έφτασε να φιλοξενεί αριθμό ανθρώπων πολλαπλάσιο της δυναμικότητάς του. Η ήδη τεταμένη κατάσταση εντάθηκε περισσότερο το 2020 με τα μέτρα περιορισμού που θεσπίστηκαν για την αντιμετώπιση του ιού Covid 19, με αποκορύφωμα την ολοκληρωτική καταστροφή από πυρκαγιά του ΚΥΤ Λέσβου στις αρχές του Σεπτεμβρίου 2020 και την άναρχη μετακίνηση και εγκατάσταση χιλιάδων φιλοξενούμενων στην μέση του οδικού δικτύου στην περιοχή του Καρά Τεπέ πλησίον της Μυτιλήνης. Σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης, επιλέχθηκε η όμορη περιοχή του πρώην πεδίου βολής του Καρά Τεπέ, ή Μαυροβούνι, για την προσωρινή στέγαση του πληθυσμού που βρισκόταν στον δρόμο. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε το προσωρινό ΚΥΤ Λέσβου στο Μαυροβούνι.

1.3 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει το ΚΥΤ Λέσβου στο Μαυροβούνι, ή πρώην Πεδίο Βολής Καρά Τεπέ. Βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της Λέσβου σε απόσταση 5 χιλιομέτρων περίπου από την πόλη της Μυτιλήνης. Η έκταση της περιοχής μελέτης είναι περίπου 310 στρέμματα, η οποία στην βόρεια και στην ανατολική πλευρά της βρέχεται από θάλασσα ενώ από τα νότια και δυτικά γειτνιάζει με την βιομηχανικά ανεπτυγμένη ζώνη της Μυτιλήνης. Υψομετρικά ποικίλει, από υψόμετρο 0,5 μ δίπλα στην θάλασσα σε υψόμετρα μερικών μέτρων (2-5 μ) σε μεγάλο μέρος της επιφάνειά της, ως τα 35 μ περίπου στην κορυφή του λόφου Μαυροβουνίου που βρίσκεται στα βορειοανατολικά εντός της και καταλαμβάνει την μεγαλύτερη επιφάνειά της. Κατόπιν επισκέψεων, η περιοχή χαρακτηρίζεται από φτωχό έδαφος με σκληρό βραχώδες υπόστρωμα και πριν την χωροθέτηση του κέντρου όλη η περιοχή καλυπτόταν από γυμνό έδαφος με φτωχή βλάστηση χαμηλού ύψους και μεμονωμένα δέντρα στα πεδινά (προσωπική γνώση της περιοχής).

Οι δραστηριότητες του ΚΥΤ Λέσβου είναι χωροθετημένες μόνο στα πεδινά τμήματα πλησίον του λόφου με εξαίρεση τις αθλητικές εγκαταστάσεις που βρίσκονται στην κορυφή του και το οδικό δίκτυο περιμετρικά του χώρου. Το μεγαλύτερο μέρος των εγκαταστάσεων του κέντρου αποτελείται από χώρους διαμονής ποικίλων τύπων, και περιοχές που προορίζονται για στέγαση σε περίπτωση αυξημένων προσφυγικών ροών. Ως χώρος, η κάτοψη του ΚΥΤ χαρακτηρίζεται από δύο κύριες ετερογενείς περιοχές, τον φυσικό και τον “δομημένο” χώρο, που αντιστοιχούν στην φυσική κάλυψη του εδάφους και στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Όλες οι υπόλοιπες υποδιαίρεσεις του χώρου είναι μικρότερης κλίμακας χωρικά.

Στον επόμενο χάρτη παρουσιάζεται δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης όπου οριοθετείται με την κίτρινη διακεκομμένη γραμμή η περιοχή μελέτης του Μαυροβουνίου.



Χάρτης 1: Η περιοχή μελέτης του Μαυροβουνίου (προσωπικό αρχείο - Σεπτέμβριος 2021)

1.4 Χρήσεις γης

Ο όρος χρήσεις γης χρησιμοποιείται στην χωροταξία και στην πολεοδομία και αναφέρεται στην διαφοροποίηση χωροθέτησης των πάσης φύσεως δραστηριοτήτων σύμφωνα με την οριζόμενη νομοθεσία και προς όφελος του κοινωνικού συνόλου. Η σχετική νομοθεσία με τις χρήσεις γης λαμβάνει υπόψη της διάφορες παραμέτρους που σχετίζονται με περιβαλλοντικούς, οικονομικούς λειτουργικούς κ.α. λόγους και υποδεικνύει τις χρήσεις που μπορεί να έχει ένα τμήμα γης, ενώ παράλληλα απαγορεύει τις υπόλοιπες χρήσεις ή τις περιορίζει.

Στην παρούσα περιοχή μελέτης με τον όρο χρήσεις γης εννοούμε την χωροθέτηση των δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται εντός του ΚΥΤ Λέσβου. Με άλλα λόγια, εξετάζουμε την τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται ο χώρος που καταλαμβάνει η περιοχή μελέτης. Παρατηρώντας τον παραπάνω χάρτη βλέπουμε ότι ο χώρος αποτελείται από το φυσικό του περιβάλλον που αποτελείται κατά κύριο λόγο από τον λόφο στα βορειο-ανατολικά, και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που καταλαμβάνουν όλο την υπόλοιπη περιοχή. Το φυσικό περιβάλλον αποτελείται από το γυμνό έδαφος με βλάστηση μερικών εκατοστών και τις σκούρες συστάδες που αποτελούν την υψηλότερη βλάστηση της περιοχής (δέντρα και θάμνοι).

Το ανθρωπογενές περιβάλλον αποτελείται από το οδικό δίκτυο που διατρέχει όλη την περιοχή, τις

άδειες υποπεριοχές στα ανατολικά και τους χώρους στέγασης που καταλαμβάνουν την κεντρική και δυτική πλευρά της περιοχής μελέτης. Οι χώροι στέγασης αποτελούνται από καταλύματα διαφόρων τύπων και μεγέθους που εξυπηρετούν κατά συντριπτική πλειοψηφία την στέγαση των ωφελούμενων, και κατά ένα μικρό ποσοστό τις υπηρεσίες που υποστηρίζουν την λειτουργία του ΚΥΤ.

Στο σημείο αυτό θα ήταν χρήσιμο να αναφερθεί ότι ο παραπάνω χάρτης είναι χωρικής ανάλυσης 0,5 μέτρων και παρατίθεται για μία επισκόπηση της περιοχής μελέτης. Απεικονίζει την περιοχή μελέτης μετά την ολοκλήρωση των απαραίτητων εργασιών εγκατάστασής της δομής και δεν συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη αφορά δορυφορικά δεδομένα που αναφέρονται στο προηγούμενο έτος, κατά την πραγματοποίηση των τεχνικών έργων, και είναι χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης και περισσότερων φασματικών πληροφοριών.

Σύμφωνα με την διαμόρφωση της περιοχής μελέτης και την χωρική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν (βλέπε παρακάτω ΘεμΔΙ), οι χρήσεις γης που διαμορφώθηκαν ώστε να διερευνηθούν στην παρούσα μελέτη είναι 4 και αφορούν το φυσικό και το ανθρωπογενές περιβάλλον εξίσου. Συγκεκριμένα είναι οι παρακάτω, στις οποίες ο αύξων αριθμός αποτελεί και τον κωδικό τους:

- 1) Εκσκαφές (excavations): έδαφος που έχει υποστεί διαμόρφωση ή διάστρωση από μηχάνημα έργου, είτε είναι οδικό δίκτυο, είτε είναι ανοιχτός χώρος.
- 2) Γυμνό έδαφος (ground): φυσικό έδαφος με χαμηλή αραιή βλάστηση ύψους μερικών εκατοστών ή χωρίς καθόλου βλάστηση.
- 3) Εγκαταστάσεις (structures): παντός είδους εγκαταστάσεις και κατασκευές όπως σκηνές, οικίσκοι, σκέπαστρα, δεξαμενές κλπ.
- 4) Βλάστηση (vegetation): Καλυμμένο έδαφος από πυκνή ή/και ψηλή βλάστηση.

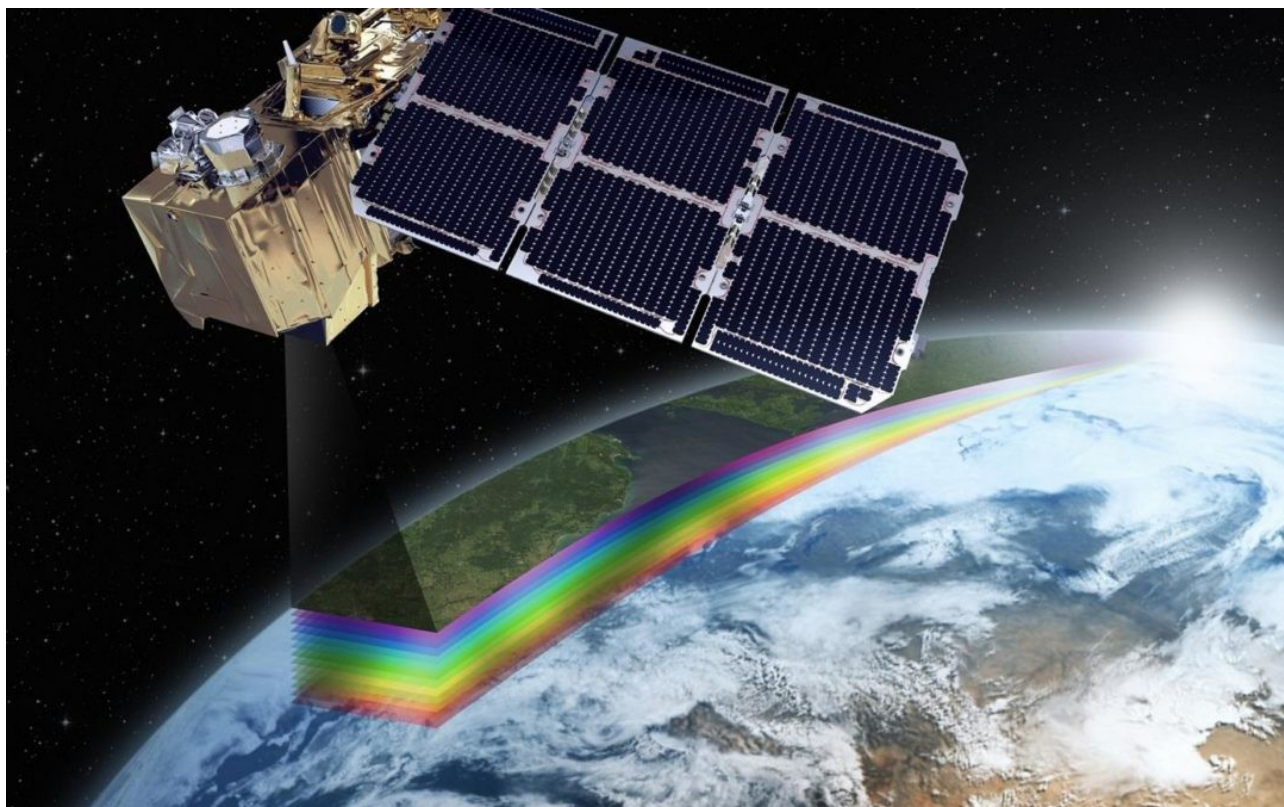
2. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Αρχές λειτουργίας

Με τον όρο Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) εννοούμε την διαδικασία λήψης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο με την χρήση ανιχνευτικών συσκευών που δεν βρίσκονται σε επαφή με το αντικείμενο παρατήρησης (Καρτάλης Κ., Φείδας Χ., 2013). Η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση (Satellite Remote Sensing) αναφέρεται στην απόκτηση πληροφοριών με την χρήση εικόνων που έχουν ληφθεί από δορυφόρο.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των Η/Υ και την ανάπτυξη της πληροφορικής δόθηκε η δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων γεγονός που οδήγησε στην εμφάνιση της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης την δεκαετία του 1960 και την εξέλιξή της τις επόμενες δεκαετίες. Ασχολείται με την μελέτη της ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή ανακλάται από τα αντικείμενα της γης τα οποία παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά, με βάση την οποία διακρίνονται. Με άλλα λόγια, η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση μελετά την ακτινοβολία που έχει αποτυπωθεί σε εικόνες που

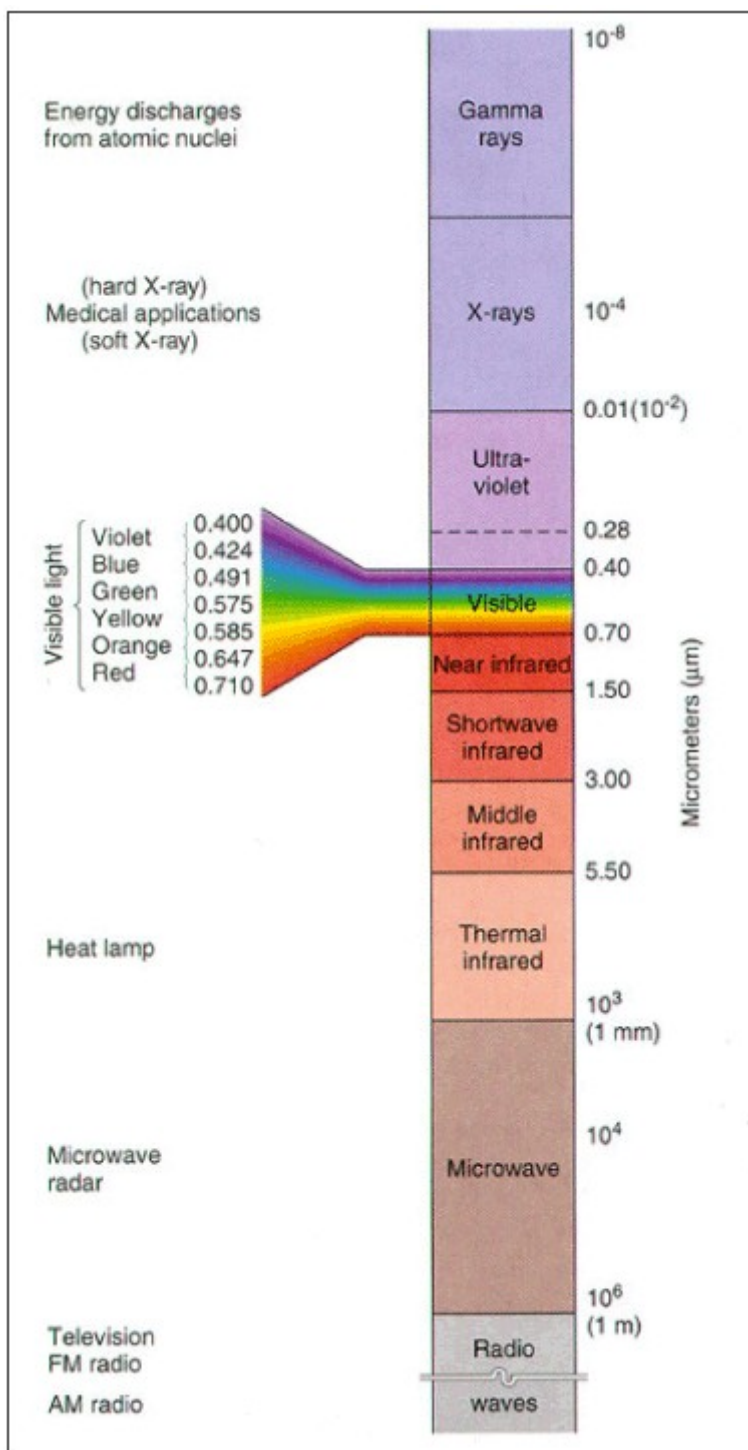
έχουν ληφθεί από δορυφόρο. Η ακτινοβολία που αναλύεται μπορεί να προκύψει με δύο τρόπους, να έχει σταλεί από την ίδια την συσκευή που θα καταγράψει την συμπεριφορά του αντικείμενου, ή να προέρχεται από το ίδιο το αντικείμενο ως αποτέλεσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται, τη λεγόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ΗΜ). Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται ένας δορυφόρος που σαρώνει την επιφάνεια της γης με την οπτικοποίηση σχηματικά των διαφόρων τύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1: Δορυφόρος Sentinel-2. (πηγή: <https://cervest.earth/news/remote-sensing-of-planet-earth-part-1-introduction-to-satellite-imagery>)

2.2 ΗΜ φάσμα

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει ταξινομηθεί στο Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα σύμφωνα με το μήκος κύματος που έχει ή την συχνότητα, το οποίο περιλαμβάνει τις κοσμικές ακτίνες (ακτίνες X), το οπτικό φάσμα, και τα ραδιοκύματα (Μηλιαρέσης Γ., 2009). Η ΗΜ ακτινοβολία που ενδιαφέρει την Δορυφορική Τηλεπισκόπηση αποτελείται από ένα τμήμα της ακτινοβολίας που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα, προσπίπτει στην γη και ανακλάται, καθώς και από ένα τμήμα που απορροφάται και επανεκπέμπεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (θερμική). Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται το ΗΜ φάσμα.

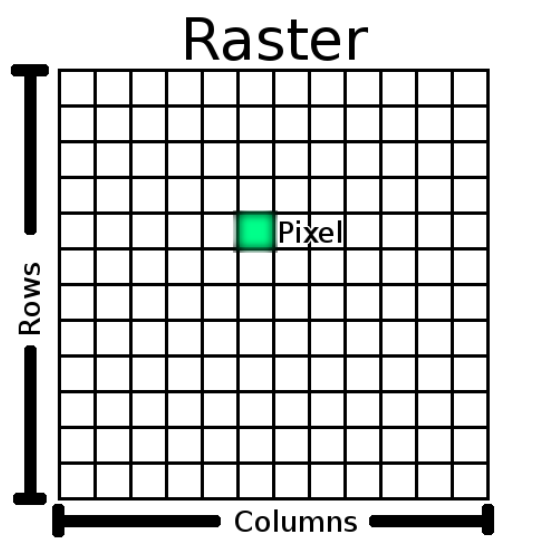


Εικόνα 2: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. (πηγή: <http://light.physics.auth.gr/enc/radiation.html>)

Η ζώνη του ορατού εντοπίζεται στα μήκη κύματος από 0,4 μm ως 0,7 μm και αντιστοιχεί προσεγγιστικά στο μπλε από 0,4 μm – 0,5 μm στο πράσινο από 0,5 μm – 0,6 μm και στο κόκκινο από 0,6 μm – 0,7 μm . Το εγγύς υπέρυθρο βρίσκεται δίπλα στο ορατό και σε μήκος κύματος από 0,7 μm – 1,3 μm και η συμπεριφορά του είναι όμοια με του ορατού (Μηλιαρέσης Γ., 2009).

2.3 Δορυφορικές εικόνες

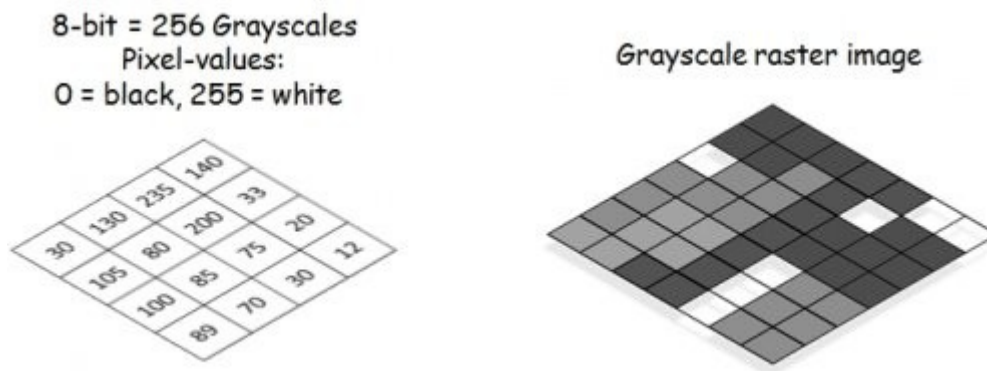
Η εικόνα αναφέρεται στη συνάρτηση δύο μεταβλητών της έντασης της ακτινοβολίας $f(x,y)$ όπου τα x,y συμβολίζουν τις συντεταγμένες και η τιμή f της συνάρτησης είναι ανάλογη της φωτεινότητας της εικόνας στην συγκεκριμένη θέση (x,y) (Μερτίκας Σ., 2009). Ψηφιακή εικόνα θεωρείται ένας πίνακας του οποίου οι γραμμές και οι στήλες αντιστοιχούν στις συντεταγμένες και τα στοιχεία του περιέχουν τιμές ανάλογες του τόνους γκρι. Κάθε τέτοιο στοιχείο αποτελεί ένα εικονοστοιχείο ή ψηφίδα (picture element ή pixel). Σε σχέση με την εικόνα, η ψηφιακή εικόνα είναι ομοίως μία συνάρτηση $DN(i,j)$ με τα i,j να αποτελούν τις ακέραιες τιμές των συντεταγμένων του πίνακα, και την DN να αποτελεί μία συνάρτηση με ακέραια τιμή που αντιπροσωπεύει το επίπεδο του γκρι στο στοιχείο αυτό.



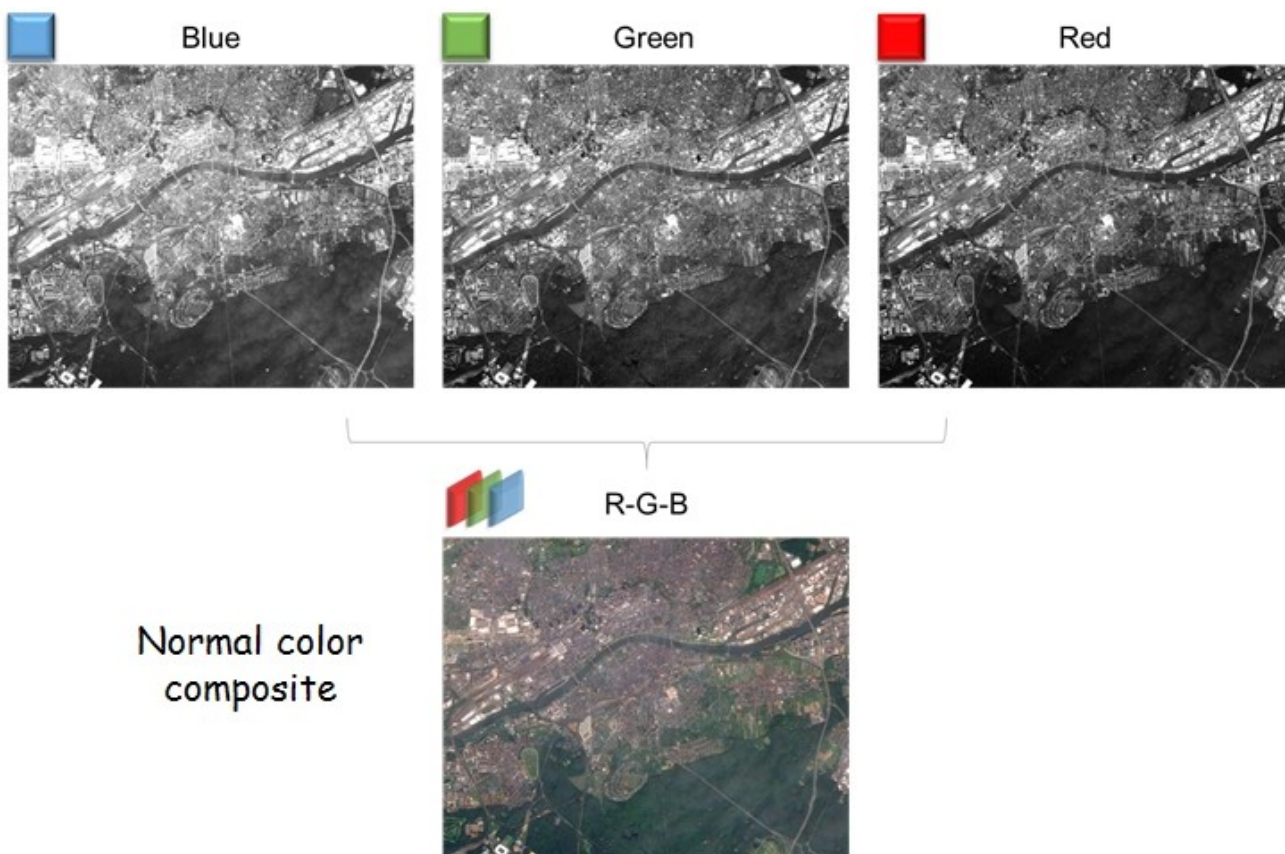
Εικόνα 3: Ψηφιακή εικόνα.

(πηγή: https://docs.qgis.org/2.8/de/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html)

Οι ψηφιακές εικόνες που έχουν ληφθεί από δορυφόρο, αποτελούν τις δορυφορικές εικόνες, οι οποίες διαθέτουν ένα πλήθος συναρτήσεων $DN(i,j)$ επιπέδων του γκρι (εικόνα 4). Κάθε συνάρτηση $DN(i,j)$ αποτελεί και ένα επίπεδο πληροφορίας που αναφέρεται σε διαφορετικό διάστημα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα επίπεδα πληροφορίας αυτά αναφέρονται και ως κανάλια (bands) και αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο εύρος του ΗΜ φάσματος. Ο αριθμός των καναλιών ποικίλει ανάμεσα στους δορυφόρους, και η επιλογή τους σχετίζεται με το είδος της ανάλυσης που θα επιχειρηθεί. Τα πλέον συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα κανάλια είναι το Κόκκινο (Red), το Πράσινο (Green), το Μπλε (Blue) και το Εγγύς Υπέρυθρο (Near InfraRed – NIR). Τα τρία πρώτα κανάλια καλύπτουν το εύρος του ΗΜ φάσματος που γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι, και με την σωστή απεικόνιση και των τριών μαζί γίνονται αντιληπτά τα στοιχεία που παρουσιάζει η δορυφορική εικόνα, όπως παρουσιάζεται και στο παράδειγμα της εικόνας 5 παρακάτω.

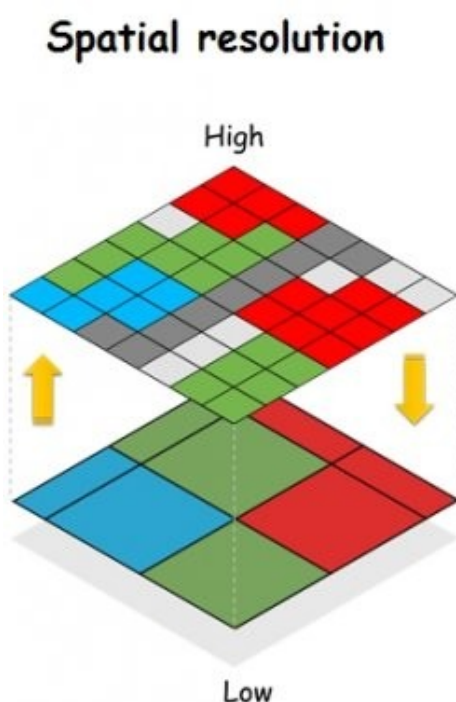


Εικόνα 4: Ψηφιακή εικόνα με τόνους του γκρι.
(πηγή:https://learn.opengeoedu.de/en/fernerkundung/vorlesung/Remote%20Sensing/grundlagen_teil2)



Εικόνα 5: Διάταξη καναλιών RGB του ορατού.
(πηγή:https://learn.opengeoedu.de/en/fernerkundung/vorlesung/Remote%20Sensing/grundlagen_teil2)

Για την πληρέστερη λήψη των πληροφοριών της γήινης επιφάνειας μέσω μίας δορυφορικής εικόνας, εκτός από τον αριθμό των καναλιών πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η χωρική ανάλυση (spatial resolution) της εικόνας, ή αλλιώς η Χωρική Διακριτική Ικανότητα (ΧωρΔΙ) που συνίσταται στο μέγεθος της γήινης επιφάνειας που παρουσιάζεται από 1 pixel. Η ΧωρΔΙ του υποβάθρου στον χάρτη 1 είναι 0,5 μέτρα το οποίο σημαίνει ότι κάθε pixel αντιπροσωπεύει $0,5 \mu \times 0,5 \mu = 0,25 \tau.μ.$ Η σημαντικότητα της ΧωρΔΙ γίνεται ιδιαίτερα εμφανής αν αντιστρέψουμε την λογική και αναζητήσουμε τον αριθμό των pixel που απεικονίζουν μία μονάδα επιφάνειας. Δηλαδή το ένα τετραγωνικό μέτρο στην γήινη επιφάνεια από πόσα pixel μπορεί να παρασταθεί. Αν η απάντηση είναι 1 pixel τότε ολόκληρο το 1 τ.μ. θα λάβει μία και μοναδική τιμή και η πληροφορία της γήινης επιφάνειας που βρίσκεται σε μικρότερες διαστάσεις θα χαθεί. Όσο μικρότερη είναι η ΧωρΔΙ τόσο υψηλότερη χωρική ανάλυση έχει και τόσο πιο ευκρινή παρουσιάζονται τα στοιχεία της.



Εικόνα 5: Χωρική ανάλυση ψηφιακής εικόνας.

(πηγή: https://learn.opengeoedu.de/en/fernerkundung/vorlesung/Remote%20Sensing/grundlagen_teil2)

Σε σχέση με την ΧωρΔι μπορούμε να υπολογίζουμε μία άλλη μεταβλητή την Θεματική Διακριτική Ικανότητα (ΘεμΔΙ) η οποία υπολογίζει την ελάχιστη οντότητα της γήινης επιφάνειας που μπορεί να γίνει αντιληπτή από την καταγραφή της δορυφορικής εικόνας, και χρησιμεύει στην επιλογή των παραμέτρων της ανάλυσης. Προϋπόθεση στον συλλογισμό της ΘεμΔΙ αποτελεί η παρεμβολή ενός τουλάχιστον εικονοστοιχείου μεταξύ δύο γειτονικών οντοτήτων ώστε να μπορούν να διακριθούν. Η ΘεμΔΙ υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω τύπο:

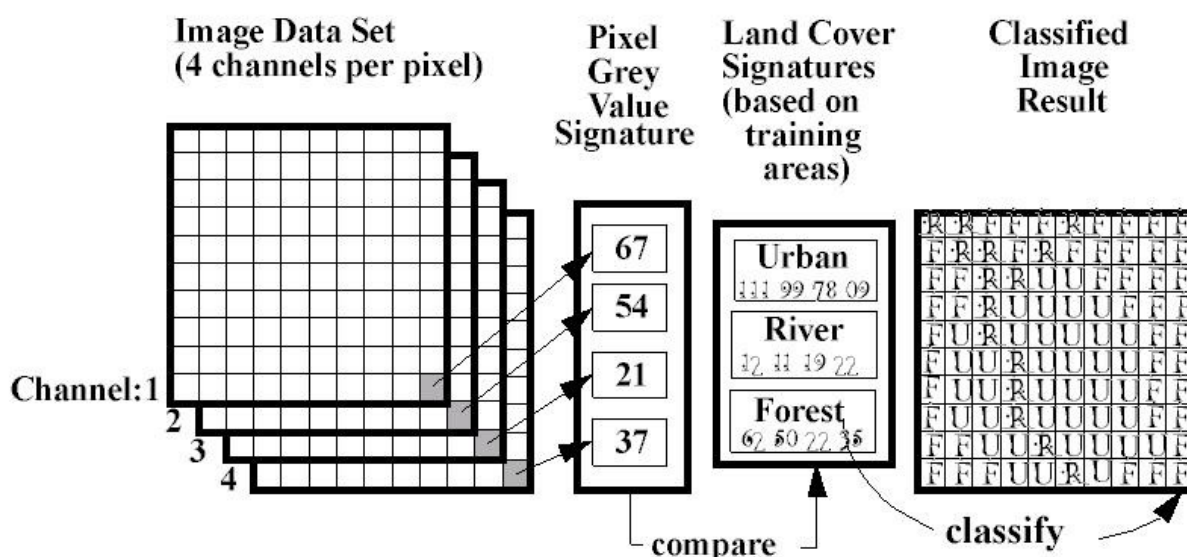
$$A = 2 * (2 * \alpha^2)^{1/2} \Leftrightarrow A = 2^{3/2} * \alpha \Leftrightarrow A = 2,83 * \alpha$$

όπου, A = ΘεμΔΙ και α = ΧωρΔΙ. (Μηλιαρέσης Γ., 2009)

2.4 Ταξινόμηση εικόνας

Η ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας αφορά τον διαχωρισμό των φυσικών αντικειμένων και την καταχώρησή τους σε δύο ή περισσότερες κατηγορίες (κλάσεις). Η διαδικασία περιλαμβάνει την τοποθέτηση των τιμών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων σε ομάδες που παρουσιάζουν τις ίδιες ιδιότητες. Απαραίτητα εκ των προτέρων είναι αφενός η περιγραφή της “διαφοροποίησης” των αντικειμένων καθώς και αφετέρου ο κανόνας εφαρμογής της στην εικόνα. Ο απλούστερος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό θα ήταν να εξεταστεί κάθε εικονοστοιχείο ξεχωριστά και να αντιστοιχιστεί σε μία ομάδα ανάλογα με τις τιμές φωτεινότητας του στις διάφορες φασματικές ζώνες (κανάλια). Τέτοιου είδους ταξινομητές που στηρίζονται σε φασματικές μετρήσεις ονομάζονται φασματικοί ταξινομητές (spectral classifiers). Άλλος τρόπος ταξινόμησης αντικειμένων σε ομάδες είναι οι ταξινομητές συνάφειας (concept classifiers) που βασίζονται στην θέση του χώρο όπου βρίσκονται οι επιμέρους ομάδες εικονοστοιχείων (Μερτίκας Σ., 2009).

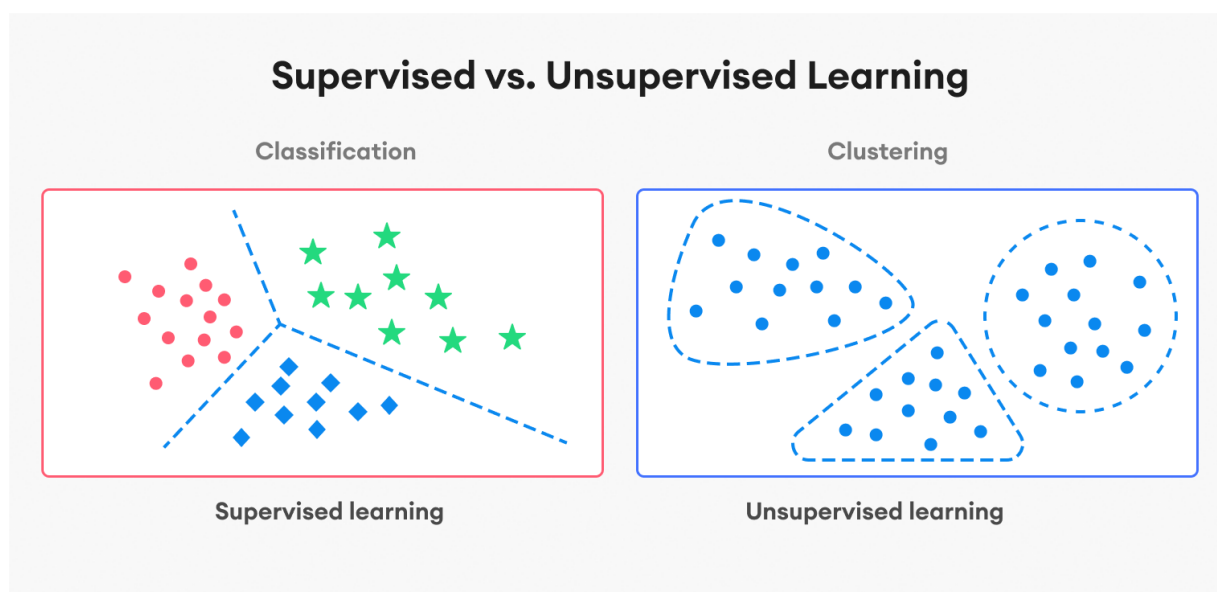
Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες ταξινόμησης στην ανάλυση ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων. Η μία είναι η αυτόματη ή μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised classification), κατά την οποία ο χρήστης δεν έχει πληροφορίες για τα αντικείμενα της εικόνας, και η ταξινόμηση πραγματοποιείται με βάση τις φασματικές τάξεις των εικονοστοιχείων. Η δεύτερη κατηγορία είναι η επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification) η οποία μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία της χρήσης γνωστών δειγμάτων εδαφικής κάλυψης στην εικόνα, ώστε τελικά να ταξινομηθούν τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία της εικόνας. Ο αναλυτής καθορίζει περιοχές για “εκπαίδευση” του ταξινομητή οι οποίες αποτελούν τυπικά δείγματα των φασματικών ιδιοτήτων των ομάδων των εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν και φυσικά γνωστά φυσικά αντικείμενα π.χ. δάσος, καλλιέργεια, αστική περιοχή κ.α..



Εικόνα 6: Επιβλεπόμενη ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας.

(πηγή: <http://www.sc.chula.ac.th/courseware/2309507/Lecture/remote18.htm>)

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα αφορούν τον έλεγχο του συνόλου των επιλογών του είδους της πληροφορίας που θα ταξινομηθεί, σύμφωνα με τις ανάγκες και τον σκοπό της ανάλυσης καθώς και την γεωγραφική περιοχή. Ακόμη ο αναλυτής δεν αντιμετωπίζει το πρόβλημα της συσχέτισης των ταξινομημένων ομάδων με φυσικές οντότητες, ενώ είναι σε θέση όχι απλώς να τις γνωρίζει, αλλά να αναγνωρίζει και σοβαρά σφάλματα κατά την ταξινόμηση σε αντιπαραβολή με τα δεδομένα εκπαίδευσης. Τα μειονεκτήματα από την άλλη, περιλαμβάνουν μεροληψία στον καθορισμό των τάξεων επιβάλλοντας τον τρόπο του αναλυτή. Αυτό επηρεάζει μία σειρά παραγόντων όπως το ότι η δήλωση τάξεων στα δεδομένα εκπαίδευσης προέχει από τις φασματικές ιδιότητες με ό,τι σφάλμα μπορεί να δημιουργεί αυτό. Τα δεδομένα εκπαίδευσης που δηλώνονται πιθανόν να μην είναι αντιπροσωπευτικά για όλη την έκταση της εικόνας. Ακόμη, η καθοδηγούμενη ταξινόμηση μπορεί να μην είναι ικανή να αναγνωρίσει και να αντιπροσωπεύσει ιδιομορφίες στις κατηγορίες που δεν αποκαλύπτονται στα δεδομένα εκπαίδευσης, είτε επειδή δεν είναι γνωστές στον αναλυτή, είτε επειδή καταλαμβάνουν πολύ μικρή έκταση στην εικόνα.



Εικόνα 7: Επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη μάθηση.

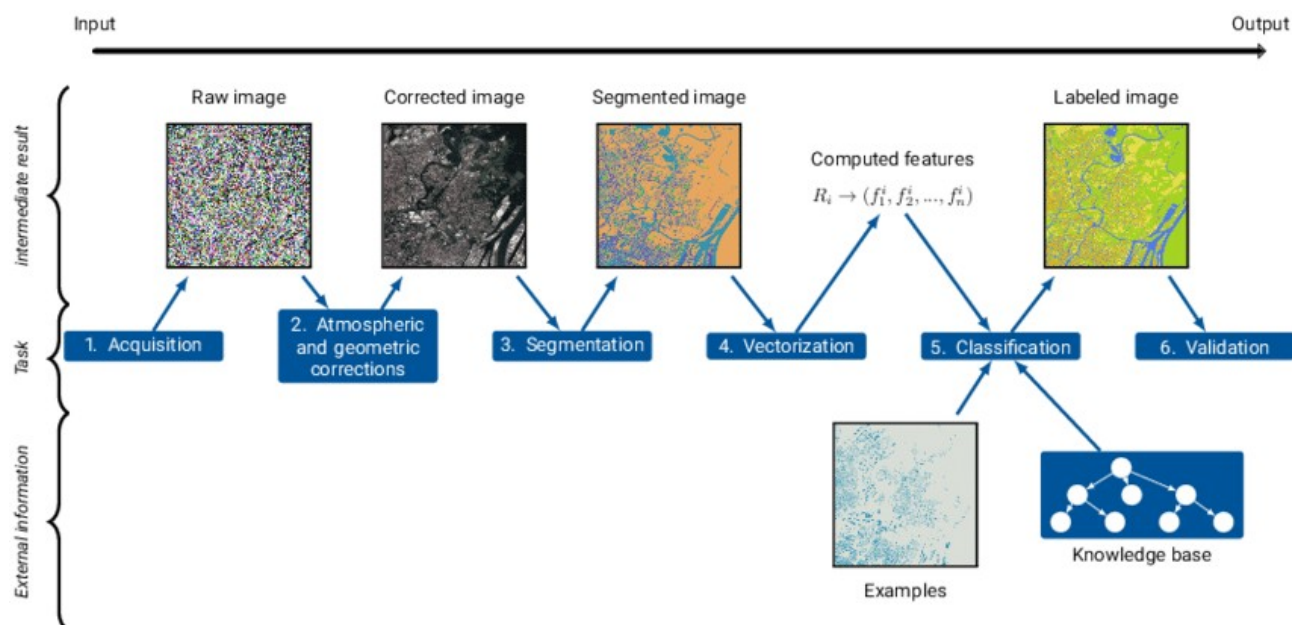
(πηγή: <https://blog.superannotate.com/image-classification-basics/>)

3. OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS (OBIA)

3.1 Η μεθοδολογία OBIA

Η ταξινόμηση μίας δορυφορικής εικόνας σε ομοιόμορφες ομάδες ιδιοτήτων μπορεί να προσεγγιστεί με δύο τρόπους, με την pixel by pixel μέθοδο ή με την μέθοδο OBIA. Η pixel by pixel προσέγγιση εξετάζει κάθε εικονοστοιχείο κάθε καναλιού ξεχωριστά και σύμφωνα με τους κανόνες διαχωρισμού που έχουν τεθεί εκ των προτέρων, τοποθετείται στην ανάλογη κλάση. Στην περίπτωση αυτή κάθε εικονοστοιχείο ελέγχεται μόνο του και ανεξάρτητα από τα γειτονικά του εικονοστοιχεία. Μία εξέλιξη αυτής της διαδικασίας είναι η μεθοδολογία Object-Based Image Analysis (OBIA) που αναφέρεται στην επιβλεπόμενη ανάλυση και ταξινόμηση εικόνας.

Σύμφωνα με την μέθοδο OBIA η ταξινόμηση μίας δορυφορικής εικόνας πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Πρώτα γίνεται η κατάτμηση της εικόνας σε ομοιογενείς περιοχές που παρουσιάζουν κοινά φασματικά χαρακτηριστικά και εντοπίζονται τα όρια των περιοχών αυτών. Στην συνέχεια κατηγοριοποιούνται περιοχές ανάλογα με τις κλάσεις που έχουμε ορίσει. Στην μέθοδο OBIA δύναται να ληφθεί υπόψη όχι μόνο η φασματική συμπεριφορά των εικονοστοιχείων, αλλά και η θέση του και η γειτνίαση με όμορες κλάσεις. Η κατάτμηση της εικόνας σε ομοιογενείς περιοχές, γίνεται βαθμιαία σε διάφορες κλίμακες και σημαντικό ρόλο πέρα από το φασματικό εύρος έχουν και τα στατιστικά μέτρα που δημιουργούνται για τις περιοχές αυτές. Οι περιοχές που δημιουργούνται αποτελούν τα αντικείμενα (objects) στα οποία βασίζεται η μεθοδολογία (Campbell J., Wynne R., 2011). Η δημιουργία των αντικειμένων στηρίζεται στην επιλογή των κατηγοριών που έχουμε επιλέξει και θέσει σε ένα δείγμα περιοχών ή σημείων το οποίο μέσω ενός διαγράμματος δένδρου δυαδικών αποφάσεων καθορίζει τις κρίσιμες τιμές της κατηγοριοποίησης.

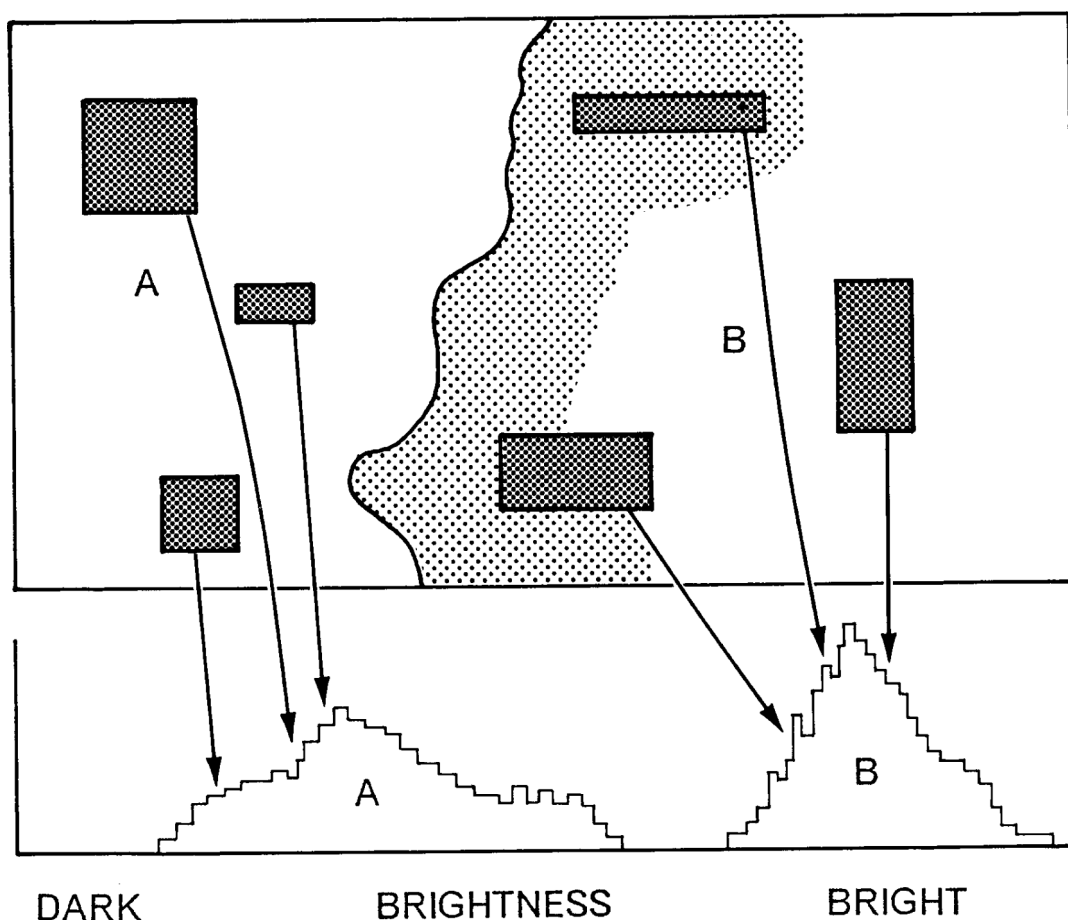


Εικόνα 8: Βήματα μεθοδολογίας OBIA.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Typical-workflow-of-OBIA-methods_fig1_305810371)

3.2 Δημιουργία αντικειμένων

Η δημιουργία των αντικειμένων δηλαδή των ομοιογενών φασματικά περιοχών της δορυφορικής εικόνας στηρίζεται στα φασματικά χαρακτηριστικά των κατηγοριών που έχουμε αποφασίσει και δηλώσει εκ των προτέρων. Οι κατηγορίες δηλώνονται σε ένα δείγμα δεδομένων το οποίο μπορεί να είναι περιοχές της εικόνας ή και μεμονωμένα σημεία (εικονοστοιχεία). Το δείγμα δεδομένων χρησιμοποιείται για να εκπαιδεύσει τον αλγόριθμο κατάτμησης της εικόνας και για τον λόγο αυτό αναφέρεται και ως Δεδομένα Εκπαίδευσης (training data ή fields). Στην επόμενη εικόνα 9 βλέπουμε περιοχές εκπαίδευσης που λαμβάνονται κατά την μέθοδο OBIA και τα διαγράμματα συχνοτήτων τους.



Εικόνα 9: Δεδομένα Εκπαίδευσης (περιοχές).
(πηγή: Campbell J., Wynne R., 2011)

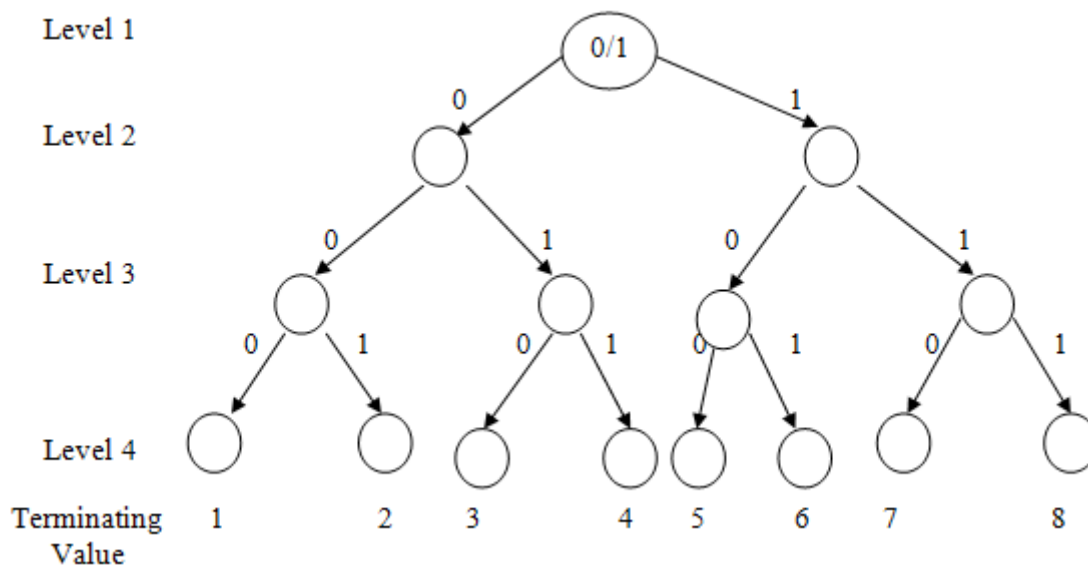
Τα δεδομένα εκπαίδευσης θα πρέπει να είναι αρκετά σε αριθμό ώστε να είναι δυνατόν να γίνουν στατιστικοί υπολογισμοί και σύμφωνα με τον Campbell J. και Wynne R. να είναι τουλάχιστον 100 σημεία για κάθε κατηγορία (Campbell J., Wynne R., 2011). Αυτό βέβαια προϋποθέτει και μεγάλη έκταση προς ανάλυση, γιατί σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να ελαττωθεί ο αριθμός τους.

Ένας σημαντικός παράγοντας ακόμη είναι η τοποθέτηση των σημείων εκπαίδευσης στον χώρο της δορυφορικής εικόνας. Τα σημεία θα πρέπει να βρίσκονται σε θέση για την οποία υπάρχει η

βεβαιότητα ότι ανταποκρίνεται στην αντίστοιχη κατηγορία, και σίγουρα σε κεντρική θέση της κατηγορίας και όχι στα άκρα της όπου οι φασματική απόκριση των εικονοστοιχείων τείνει να μεταβληθεί. Ακόμη τα σημεία εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία θα πρέπει να εκτείνονται σε όλη την διάσταση της εικόνας ώστε να συμπεριλάβουν τις όποιες φασματικές διαφοροποιήσεις προέκυψαν για κάθε κατηγορία κατά την στιγμή λήψης της δορυφορικής εικόνας (Campbell J., Wynne R.,2011).

Τα δεδομένα εκπαίδευσης χρησιμοποιούνται στην μεθοδολογία OBIA για την εύρεση των κρίσιμων τιμών κατηγοριοποίησης των εικονοστοιχείων. Η διαδικασία πραγματοποιείται με την χρήση δενδρογραμμάτων δυαδικών αποφάσεων ή ακριβέστερα της μεθοδολογίας Αναδρομική Κατάτμηση και Παλινδρομικά Δέντρα (Recursive Partitioning and Regression Trees) (Glenn D., Katharina F., 2000). Τα δεδρογράμματα αυτά βασίζονται στην εργασία “Classification And Regression Trees” των Breiman L. et al το 1984, για την ταξινόμηση μεταβλητών μέσω δενδρογραμμάτων δυαδικών αποφάσεων (tree structured classifiers).

Τα δεδρογράμματα δυαδικών αποφάσεων είναι ένας ταξινομητής τον οποίο εφαρμόζουμε τα δεδομένα εκπαίδευσης και λαμβάνοντας πληροφορίες για την φασματική συμπεριφορά των κλάσεων που έχουμε ορίσει, και την φασματική συμπεριφορά όλης της εικόνας συντάσσει βαθμιαία δυαδικά ερωτήματα τα οποία οδηγούν στην κατάτμηση της εικόνας. Ένα δενδρόγραμμα δυαδικών αποφάσεων αποτελείται από επαναλαμβανόμενα ερωτήματα που μπορούν να απαντηθούν με ένα ναι ή ένα όχι. Σύμφωνα με την απάντηση επιλέγεται και ο κατάλληλος κόμβος στο διάγραμμα δέντρου. Στην εικόνα 10 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα αυτής της μορφής.



Εικόνα 10: Δεδρόγραμμα δυαδικών αποφάσεων.

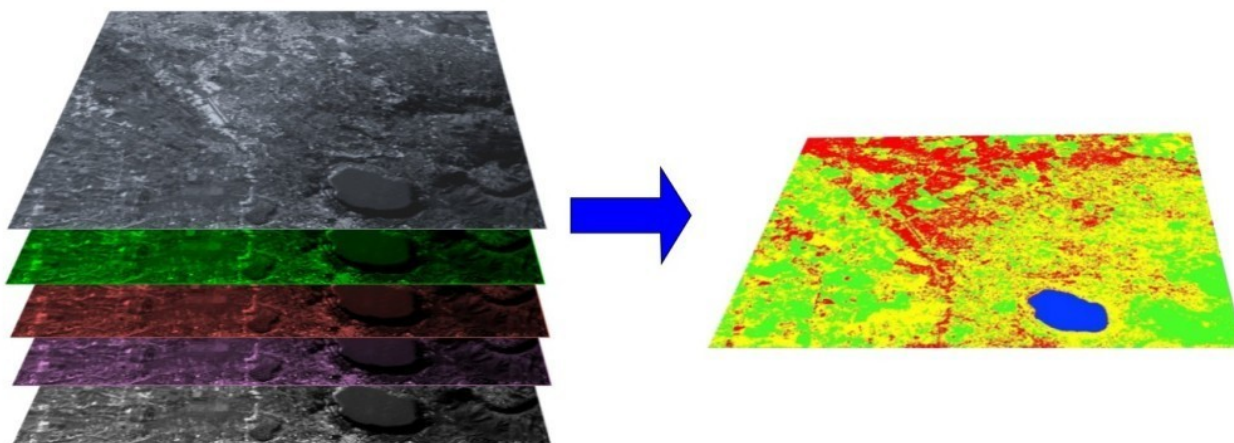
(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Binary-Decision-Tree_fig3_321211788)

Κάθε κόμβος αποτελεί ένα ερώτημα το οποίο διαχωρίζει την απάντηση σε δύο επόμενους κόμβους, οι οποίοι με την σειρά τους θέτουν το δικό τους ερώτημα και η διαδικασία συνεχίζεται έως καταλήξει στους τελικούς κόμβους που θα αποτελούν τα κριτήρια της εικόνας διαχωρισμού των κατηγοριών εικονοστοιχείων. Οι ερωτήσεις πραγματοποιούνται σε επίπεδα που συνήθως

συμπίπτουν αριθμητικά με τον αριθμό των κατηγοριών που έχουμε επιλέξει. Οι απαντήσεις που λαμβάνονται οδηγούν στις αποφάσεις για την επιλογή του επόμενου κόμβου. Οι θετικές απαντήσεις (ναι ή 1) οδηγούν στους αριστερούς κλάδους ενώ οι αρνητικές απαντήσεις (όχι ή 0) στις δεξιές. Κατά την δημιουργία του διαγράμματος δέντρου εφαρμόζεται λογιστική παλινδρόμηση η οποία καθορίζει τα ερωτήματα που θα τεθούν σε κάθε κόμβο. Οι τελικοί κόμβοι θα προκύψουν όταν πλέον τα υποσύνολα που έχουν διαχωριστεί αποτελούνται από ομοιογενή στοιχεία. Αυτό που επιχειρείται είναι η ελαχιστοποίηση μίας συνάρτησης ανομοιογένειας των δεδομένων. Στο σημείο που αυτή η συνάρτηση παρουσιάζει ελάχιστο, δηλαδή ο περαιτέρω διαχωρισμός δεν επιφέρει στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα στα υποσύνολα, προκύπτουν και οι τελικοί κόμβοι – κλάσεις. (Breiman L. et al, 1984). Η μεθοδολογία αυτή έχει βελτιωθεί με νεότερες εκδοχές της που συμπεριλαμβάνουν διαδικασίες ανάδρασης και απλοποίησης όπως η μέθοδος των Lawrence και Wright το 2001 CART (Classification and Regression Tree Analysis) που περιλαμβάνει μία μέθοδο περικοπής/απλοποίησης κλάδων σε περίπτωση πολλών φασματικών και βοηθητικών μεταβλητών (Campbell J., Wynne R., 2011).

3.3 Ταξινόμηση εικονοστοιχείων

Μετά την δημιουργία του δενδρογράμματος δυαδικών αποφάσεων έχουν προκύψει τα φασματικά χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν τις κατηγορίες στα εικονοστοιχεία της δορυφορικής εικόνας. Η επόμενη διαδικασία είναι η ταξινόμηση που περιλαμβάνει τον έλεγχο κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας, με βάση τα κριτήρια του δενδρογράμματος, ώστε να ενταχθεί στην κατηγορία που ανήκει. Προκύπτει έτσι μία καινούρια ψηφιακή εικόνα, ίδιου μεγέθους με την δορυφορική εικόνα αλλά ενός επιπέδου πληροφορίας, στα εικονοστοιχεία της οποίας περιλαμβάνονται οι κωδικοί των κατηγοριών.



Εικόνα 11: Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας.

(πηγή: https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/el/latest/remote_sensing.html)

3.4 Αξιολόγηση Ταξινόμησης

Για το βέλτιστο αποτέλεσμα μίας ταξινόμησης δορυφορικής εικόνας πραγματοποιείται αξιολόγηση του αποτελέσματος που μας εξασφαλίζει ότι δεν έχουν γίνει σφάλματα. Η αξιολόγηση γίνεται με τον έλεγχο ακριβείας (accuracy test) μεταξύ των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν και ενός

ανεξάρτητου συνόλου σημείων με γνωστά στοιχεία κατηγοριών. Το ανεξάρτητο σύνολο σημείων δεν μπορεί να προέρχεται από τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση της ταξινόμησης. Συνήθως οι αναλυτές είτε χρησιμοποιούν νέο σύνολο σημείων, είτε από το αρχικό σύνολο των σημείων εκπαίδευσης, διαχωρίζουν ένα ποσοστό, περίπου 1/3, το οποίο δεν το χρησιμοποιούν στην ανάλυση αλλά προορίζεται για την αξιολόγηση της ταξινόμησης. Κατά τον έλεγχο ακρίβειας συγκρίνονται τα ανεξάρτητα σημεία γνωστών κατηγοριών με τα ταξινομημένα εικονοστοιχεία στις ίδιες θέσεις της δορυφορικής εικόνας.

Ο συνηθέστερος τρόπος ελέγχου ακρίβειας είναι η ο Πίνακας Ακρίβειας (Accuracy Matrix). Ο πίνακας ακρίβειας συγκεντρώνει και αντιπαραθέτει τις πραγματικές τιμές των σημείων με τις ταξινομημένες τιμές στις ίδιες θέσεις.

		Truth					
		Asphalt	Concrete	Grass	Tree	Building	Total
Predicted	Asphalt	2385	4	0	1	4	2394
	Concrete	0	332	0	0	1	333
	Grass	0	1	908	8	0	917
	Tree	0	0	0	1084	9	1093
	Building	12	0	0	6	2053	2071
	Total	2397	337	908	1099	2067	6808

Εικόνα 12: Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας.

(πηγή: <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/enviconfusionmatrix.html>)

Στην πάνω εικόνα 12 παρουσιάζεται ένας πίνακας ακρίβειας του οποίου οι γραμμές περιλαμβάνουν τις τιμές που έχουν ταξινομηθεί (προβλεφθεί) και στις στήλες οι πραγματικές τιμές. Η ανάγνωση του πίνακα γίνεται ανά γραμμή όπου διαπιστώνουμε για κάθε κατηγορία που ταξινομήθηκε πόσες από αυτές τις τιμές ανήκουν πραγματικά στην ίδια κατηγορία (αληθείς) και πόσες σε άλλη κατηγορία (ψευδείς). Στην διαγώνιο του πίνακα τέμνονται οι κατηγορίες με τον εαυτό τους και οι τιμές που βρίσκονται στα κελιά αυτά αποτελούν τις αληθείς ταξινομήσεις. Η ακρίβεια (accuracy) προκύπτει από το πηλίκο των αληθώς ταξινομημένων σημείων ελέγχου προς το σύνολο των σημείων ελέγχου όπως παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα 13. Οι τιμές της ακρίβειας κυμαίνονται μεταξύ 0 – 1.

$$Accuracy = \frac{CorrectClassifications}{TotalObservations}$$

Εικόνα 13: Υπολογισμός ακρίβειας ταξινόμησης (Κάρλες Π., 2018).

4. ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 Δεδομένα ανάλυσης

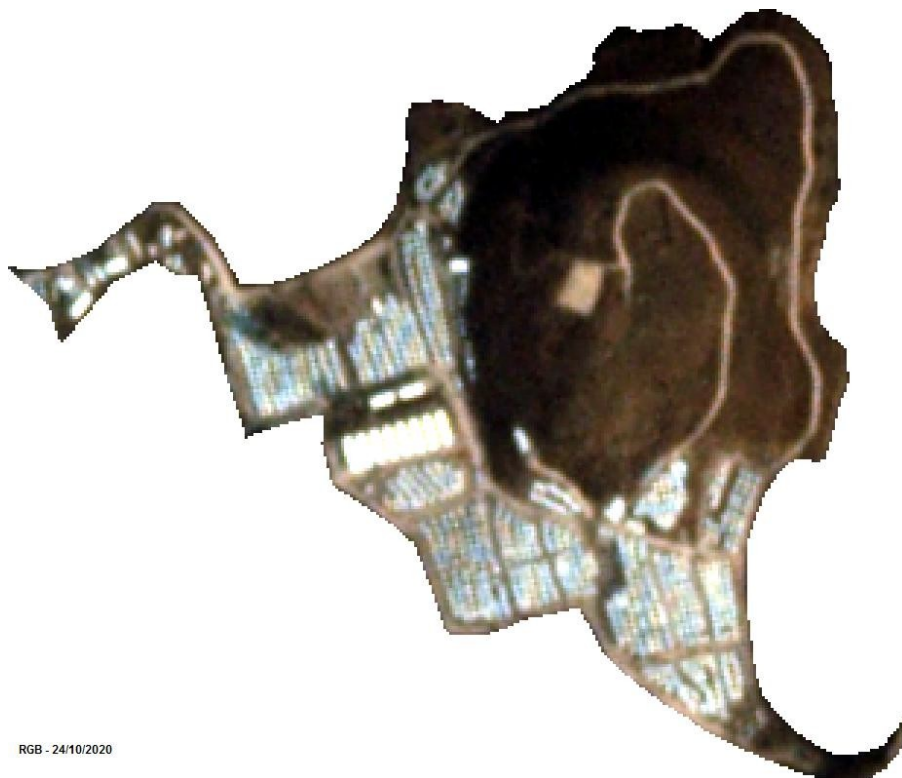
Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες στα πλαίσια της ακαδημαϊκής υποστήριξης και συνδρομής ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων από το ψηφιακό αποθετήριο www.planet.com. Η βάση δεδομένων του ψηφιακού αποθετηρίου περιλαμβάνει ψηφιακά προϊόντα για όλη την υδρόγειο, ξεκίνησε να λειτουργεί από το έτος 2016 και ανανεώνεται σε σύντομα χρονικά διαστήματα 2-3 ημερών προσθέτοντας νέα δεδομένα. Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι επιπέδου 2 (L2) διορθωμένες γεωμετρικά και ραδιομετρικά. Περιλαμβάνουν 4 κανάλια, το Μπλε (Blue), το Πράσινο (Green), το Κόκκινο (Red) και το Εγγύς Υπέρυθρο (Near Infrared - NIR) και είναι Χωρικής Διακριτικής Ικανότητας (ΧωρΔΙ) 3 μέτρων. Δηλαδή κάθε εικονοστοιχείο περιλαμβάνει πληροφορία που αντιστοιχεί σε 9 τετραγωνικά μέτρα φυσικής γήινης επιφάνειας. Η Θεματική Διακριτική Ικανότητα (ΘέμΔΙ) (Μηλιαρέσης Γ., 2009) σύμφωνα με την χωρική τους ανάλυση γεωμετρικά είναι 8,5 μ. (2,83 X 3μ), που σημαίνει ότι στις συγκεκριμένες δορυφορικές εικόνες για να διακρίνουμε ένα αντικείμενο από τα υπόλοιπα θα πρέπει να έχει φυσικό μέγεθος ή απόσταση από έτερο αντικείμενο τουλάχιστον 8,5 μ..

Οι εικόνες που επιλέχθηκαν για την ανάλυση καλύπτουν μία χρονική περίοδο οκτώ μηνών, από την ολοκλήρωση της προσωρινής έκτακτης χωροθέτησης του νέου ΚΥΤ τον Οκτώβριο του 2020 έως τον Ιούνιο 2021 όπου ολοκληρώθηκε το μεγαλύτερο μέρος των παρεμβάσεων διαμόρφωσης του χώρου προκειμένου να καταστεί ικανός να φιλοξενήσει απρόσκοπτα τον πληθυσμό. Δεν αποτελούν στιγμιότυπα σε τακτά χρονικά διαστήματα. Αντίθετα, είναι διάσπαρτες στο μεγαλύτερο χρονικό φάσμα της περιόδου πριν και μετά τον χειμώνα του έτους, καθώς ο γνώμονας με τον οποίο επιλέχθηκαν είναι οι όσο το δυνατόν παρόμοιες συνθήκες λήψης τους. Λόγω της σύγκρισης των δορυφορικών εικόνων με μία ανάλυση, προτεραιότητα τηρήθηκε στις συνθήκες λήψης τους, όπως η εποχή, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και γενικά οι μετεωρολογικές συνθήκες λήψης τους. Οι ημερομηνίες λήψης τους είναι:

1) 24 Οκτωβρίου 2020, 2) 10 Νοεμβρίου 2020, 3) 19 Δεκεμβρίου 2020, 4) 18 Ιανουαρίου 2021, 5) 31 Ιανουαρίου 2021, 6) 12 Απριλίου 2021, 7) 25 Μαΐου 2021, 8) 21 Ιουνίου 2021.

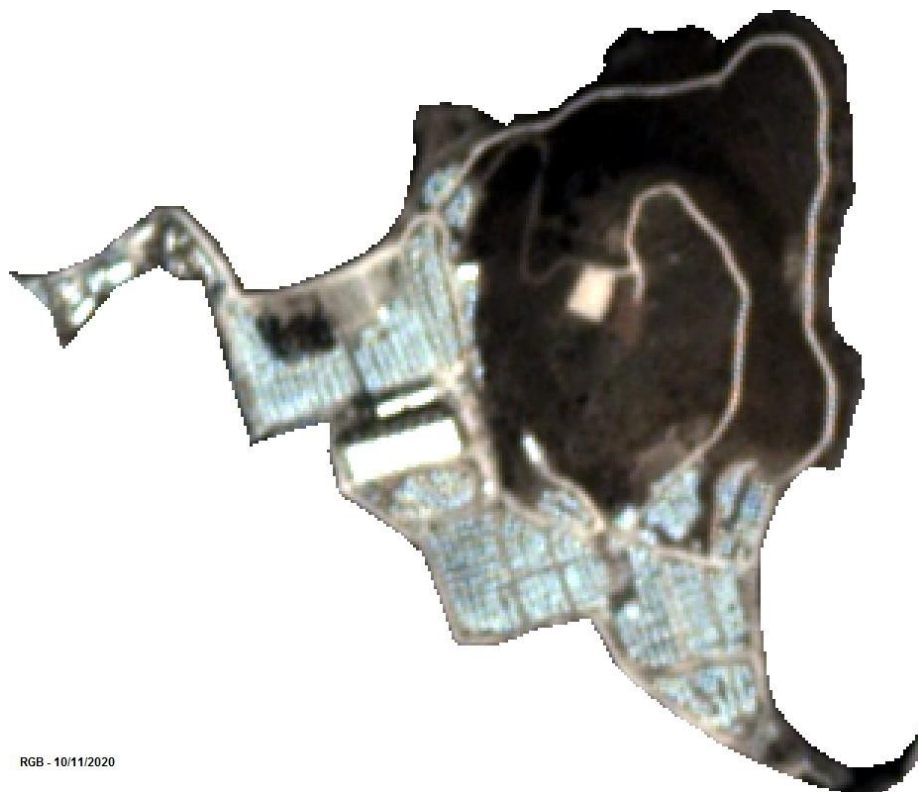
Για να βελτιώσουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης, έγινε περικοπή στις δορυφορικές εικόνες ώστε να περιλαμβάνουν μόνο τις πληροφορίες που αφορούν τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται μέσα στην περιοχή μελέτης. Πριν από την ανάλυση, τα δεδομένα εισήχθησαν στο λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) QGIS, έκδοση 3.16, όπου αποτυπώθηκε η επιφάνεια της περιοχής μελέτης, και στην συνέχεια έγινε περικοπή των δορυφορικών εικόνων, απομακρύνοντας τις τιμές που δεν βρίσκονταν εντός της περιοχής μελέτης. Η ανάλυση ΟΒΙΑ πραγματοποιήθηκε με την γλώσσα στατιστικού προγραμματισμού R στο λογισμικό γραφικής διεπαφής Rstudio, έκδοση 4.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση.



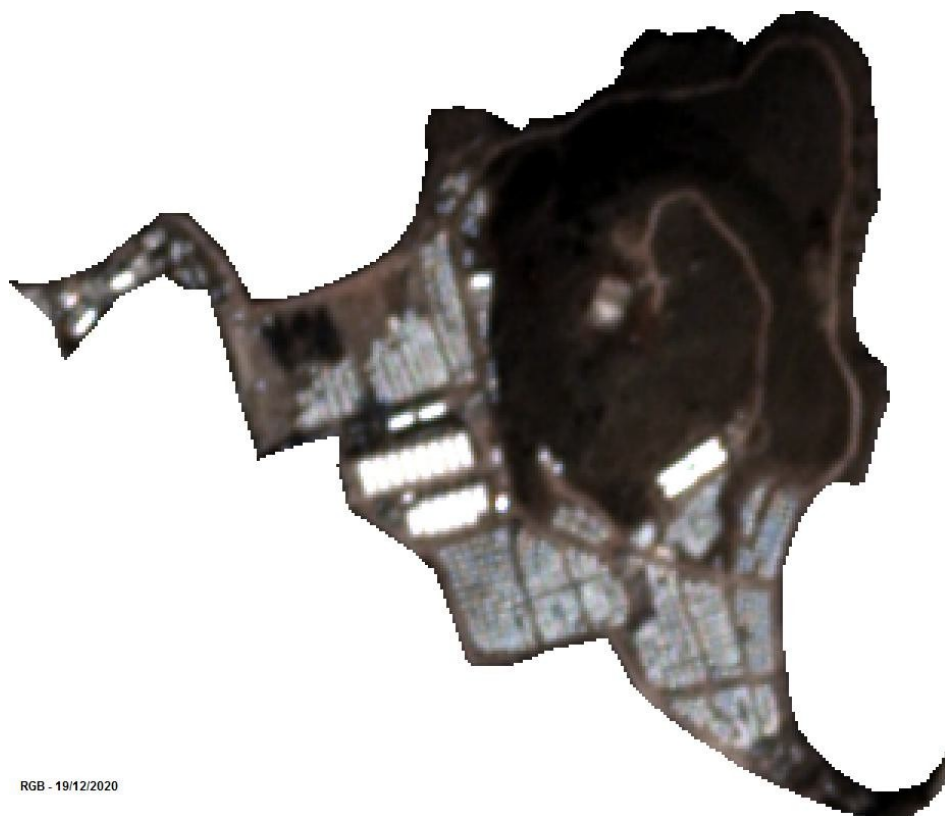
RGB - 24/10/2020

Χάρτης 2: 1η Δορυφορική εικόνα 24 Οκτωβρίου 2020



RGB - 10/11/2020

Χάρτης 3: 2η Δορυφορική εικόνα 10 Νοεμβρίου 2020



Χάρτης 4: 3η Δορυφορική εικόνα 19 Δεκεμβρίου 2020



Χάρτης 5: 4η Δορυφορική εικόνα 18 Ιανουαρίου 2021



Χάρτης 6: 5η Δορυφορική εικόνα 31 Ιανουαρίου 2021



Χάρτης 7: 6η Δορυφορική εικόνα 12 Απριλίου 2021



Χάρτης 8: 7η Δορυφορική εικόνα 25 Μαΐου 2021



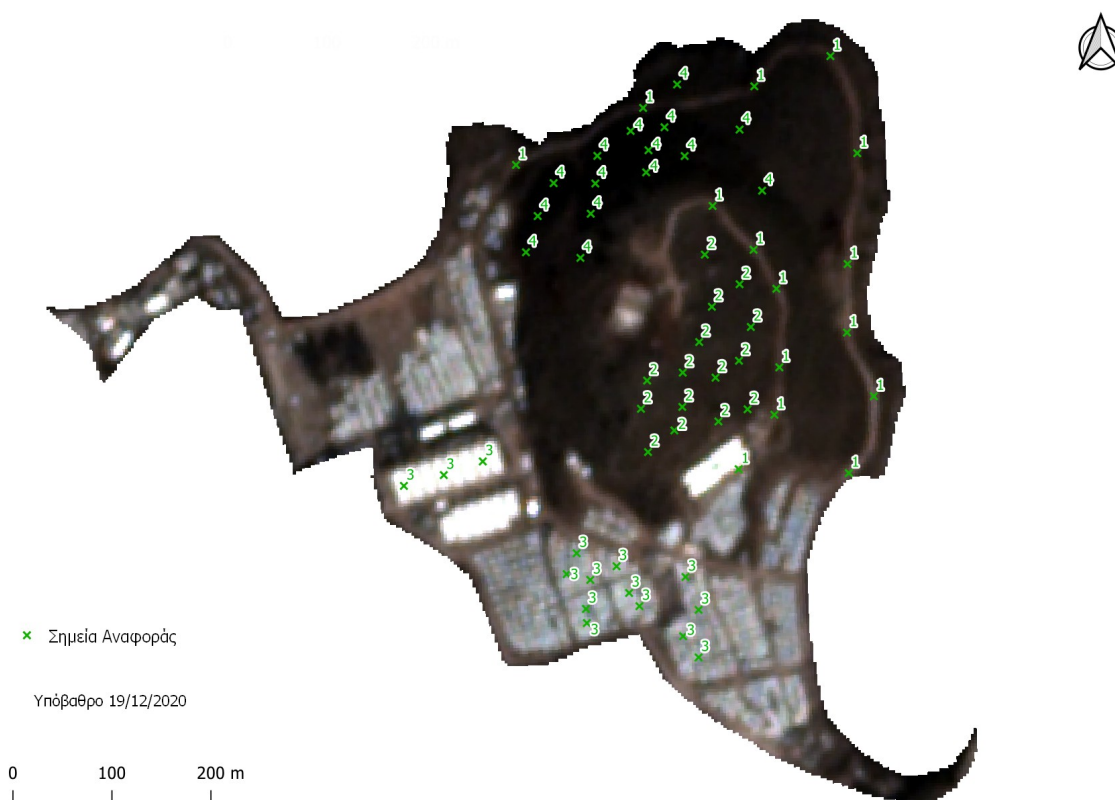
Χάρτης 9: 8η Δορυφορική εικόνα 21 Ιουνίου 2021

4.2 Δεδομένα εκπαίδευσης

Η μεθοδολογία επιβλεπόμενης ανάλυσης OBIA πραγματοποιείται με βάση ένα πλήθος σημείων για κάθε κατηγορία χρήσης γης που θα πρέπει να οριστεί ώστε να αποτελέσουν τα σημεία αναφοράς δηλαδή τα σημεία εκπαίδευσης για την ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας. Το πλήθος των σημείων θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 50 και 100 σημείων ή σε συνάρτηση με τα κανάλια της δορυφορικής εικόνας πολλαπλάσιο αριθμό.

Στην παρούσα ανάλυση έχουμε 4 κανάλια, οπότε ο αριθμός των σημείων θα πρέπει να κυμανθεί από 40 τουλάχιστον σημεία έως και 400. Λόγω της περιορισμένης έκτασης της περιοχής μελέτης επιλέχθηκαν 15 σημεία για κάθε κατηγορία χρήσης γης με σύνολο τα 60 σημεία. Η επιλογή τους έγινε με κριτήριο την συλλογή όσο το δυνατόν περισσότερο, της διακύμανσης της φασματικής συμπεριφοράς κάθε κατηγορίας, ώστε να συγκεντρωθούν πληροφορίες από περισσότερες διαφοροποιήσεις τους, διευρύνοντας όσο το δυνατόν περισσότερο τα όρια εντός των οποίων υφίσταται η κάθε μία. Οι περιοχές των σημείων αναφοράς είναι συμπαγής ως προς την κατηγορία χρήσης γης που αντιπροσωπεύουν και μεγάλες σε έκταση. Επειδή η ανάλυση αφορά μία σειρά δορυφορικών εικόνων, υπήρξε ιδιαίτερη μέριμνα ώστε τα δεδομένα εκπαίδευσης να προέλθουν από περιοχές που διατηρούν την ίδια χρήση γης σε όλες τις εικόνες. Η επιλογή των σημείων και ο έλεγχος των διακυμάνσεων των κατηγοριών εφαρμόστηκαν στην 3η δορυφορική εικόνα (19/12/2020) όπου οι φασματικές συμπεριφορές παρουσιάζουν ηπιότερες διακυμάνσεις σε σύγκριση με τις υπόλοιπες εικόνες.

Στον επόμενο χάρτη 10 παρουσιάζονται τα σημεία αναφοράς που επιλέχθηκαν να αποτελέσουν τα δεδομένα εκπαίδευσης.



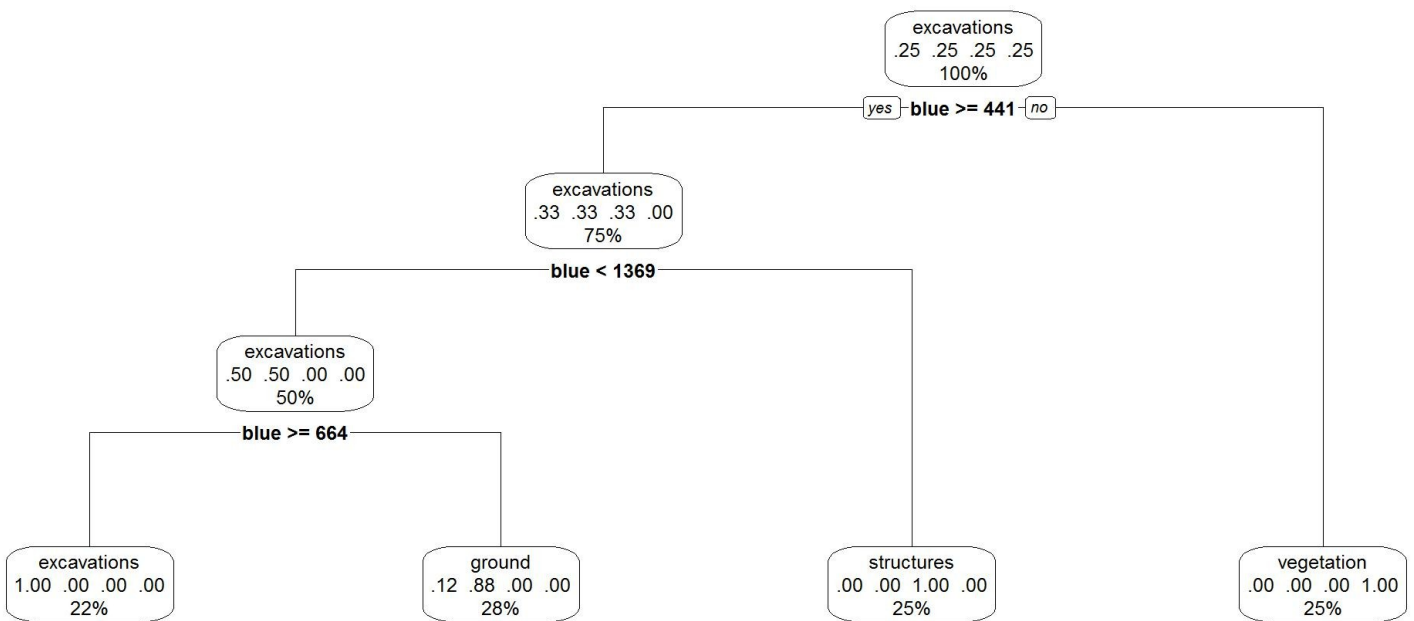
Χάρτης 10: Σημεία εκπαίδευσης ανά κατηγορία χρήσης γης

4.3 Δενδρογράμματα δυαδικών αποφάσεων

Για την εκπαίδευση των σημείων αναφοράς χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη συναρτήσεων `rpart` της γλώσσας προγραμματισμού R. Η `rpart` με την χρήση της συνάρτησης Αναδρομική Κατάτμηση και Δέντρα Παλινδρόμησης (Recursive Partitioning and Regression Trees) (Glenn D., Katharina F., 2000), και τα δεδομένα εκπαίδευσης, δημιούργησε ένα δενδρογράμμα δυαδικής επιλογής για κάθε δορυφορική εικόνα.

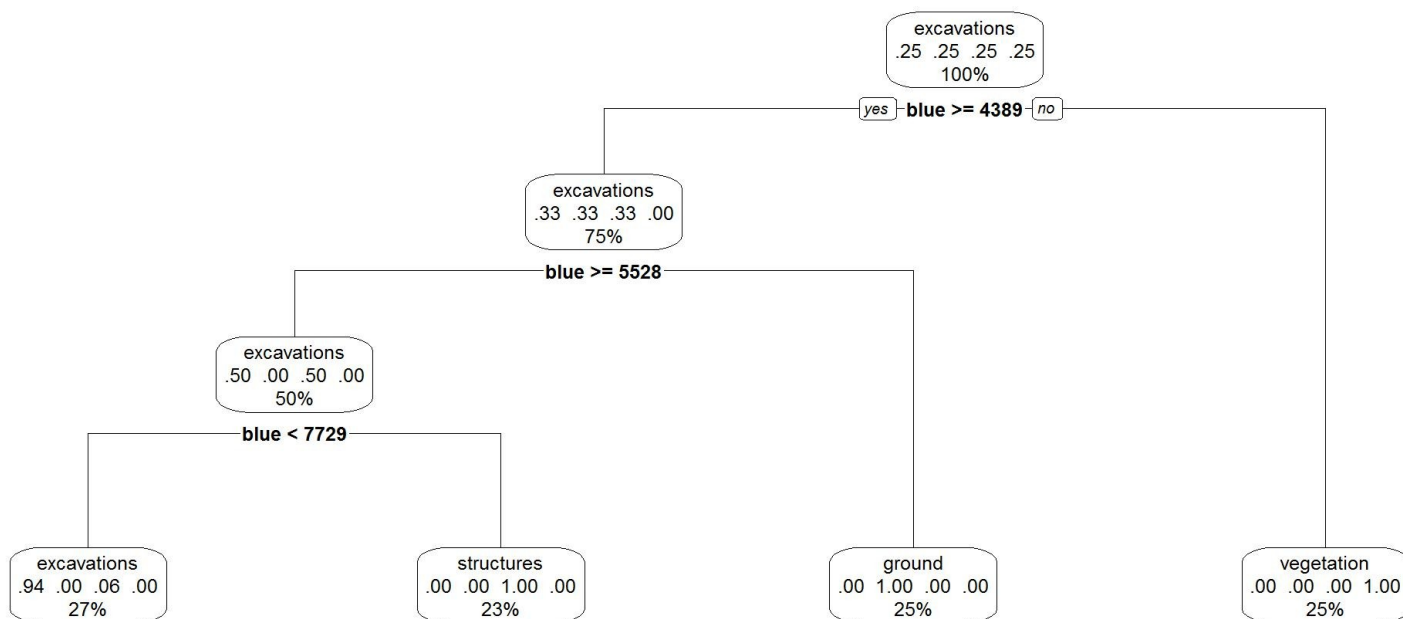
Στις επόμενα διαγράμματα 1 - 8 παρουσιάζονται τα διαγράμματα μορφής δέντρου δυαδικών αποφάσεων για όλες τις δορυφορικές εικόνες.

Δενδρογράμμα ταξινόμησης - 24/10/2020



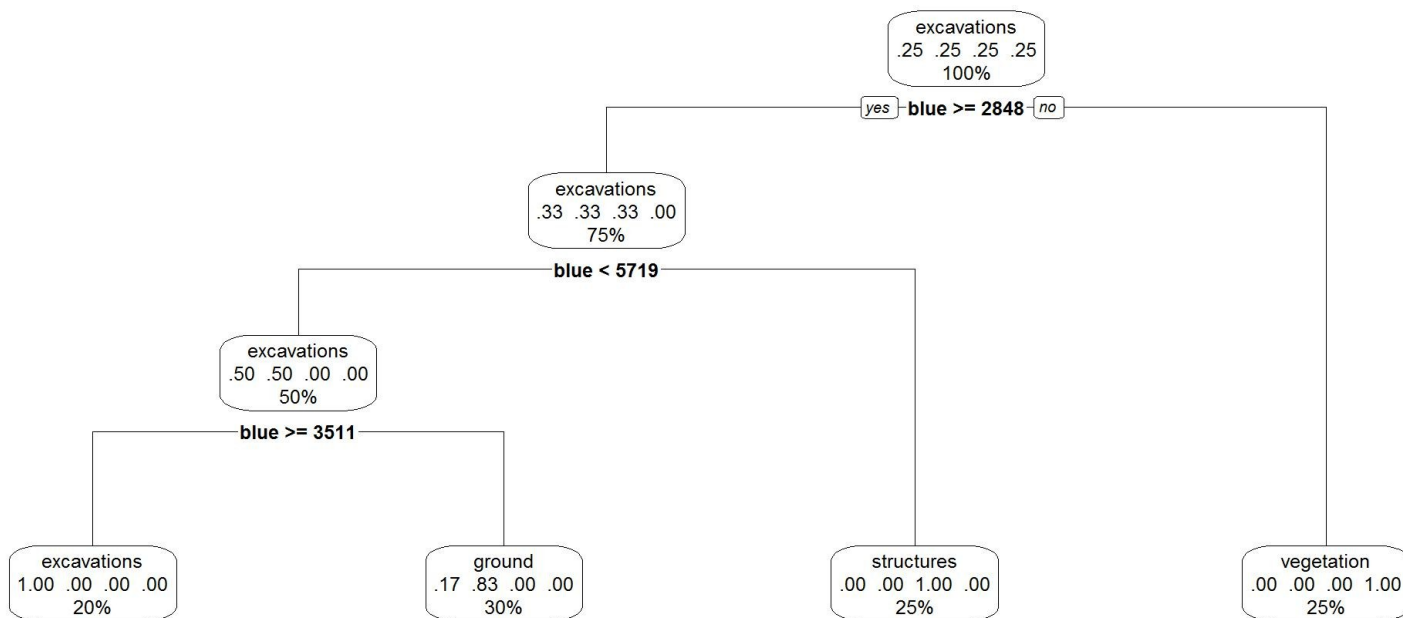
Διάγραμμα 1: Το διάγραμμα μορφής δέντρου της 1ης δορυφορικής εικόνας.

Δενδρόγραμμα ταξινόμησης - 10/11/2020



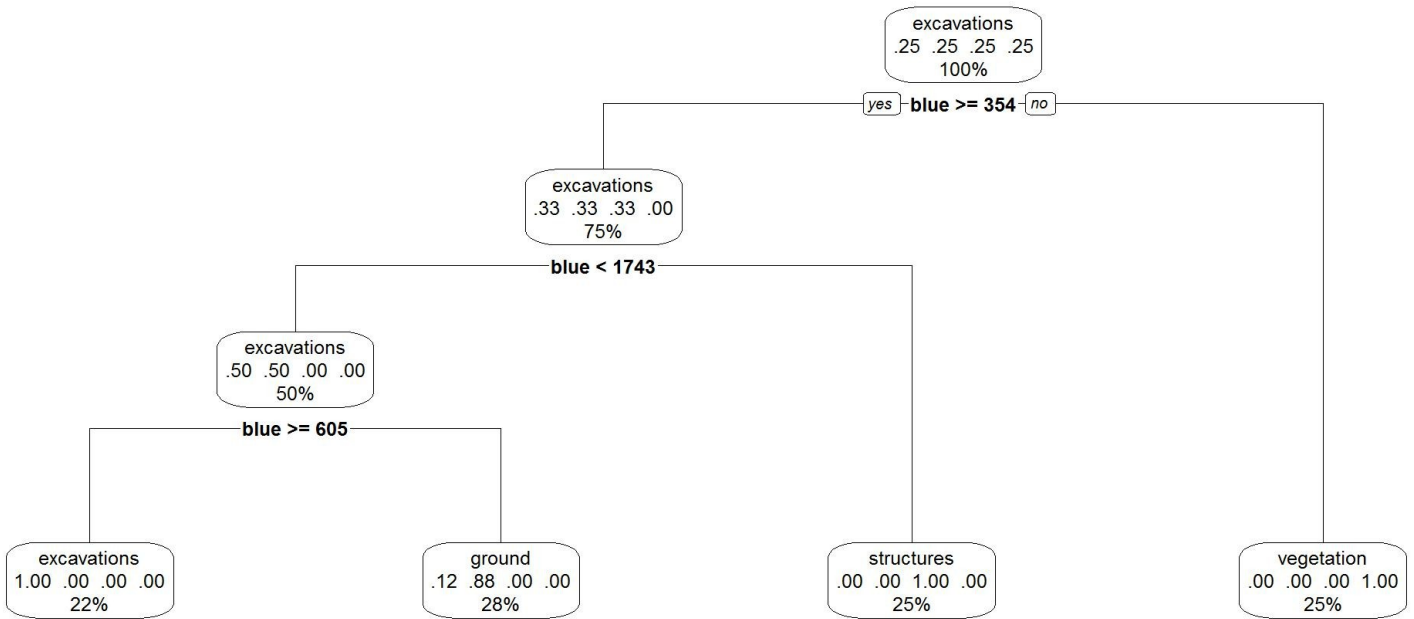
Διάγραμμα 2: Το διάγραμμα μορφής δέντρου της 2ης δορυφορικής εικόνας.

Δενδρόγραμμα ταξινόμησης - 19/12/2020



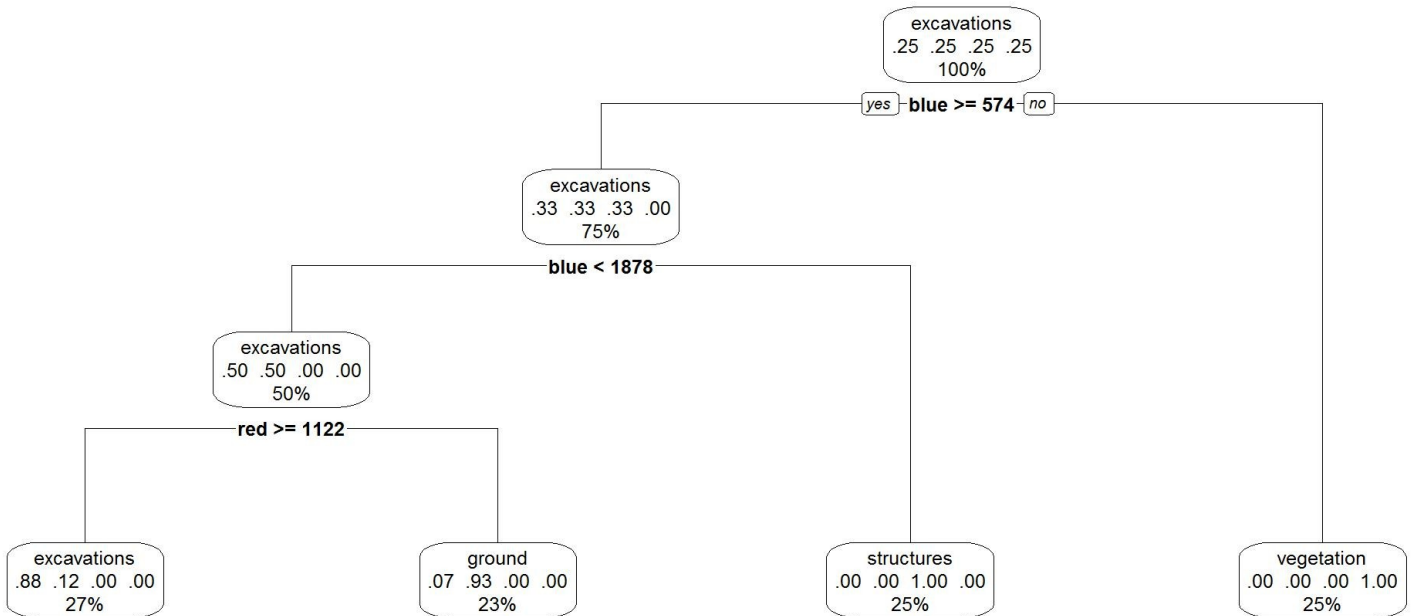
Διάγραμμα 3: Το διάγραμμα μορφής δέντρου της 3ης δορυφορικής εικόνας.

Δενδρόγραμμα ταξινόμησης - 18/01/2021



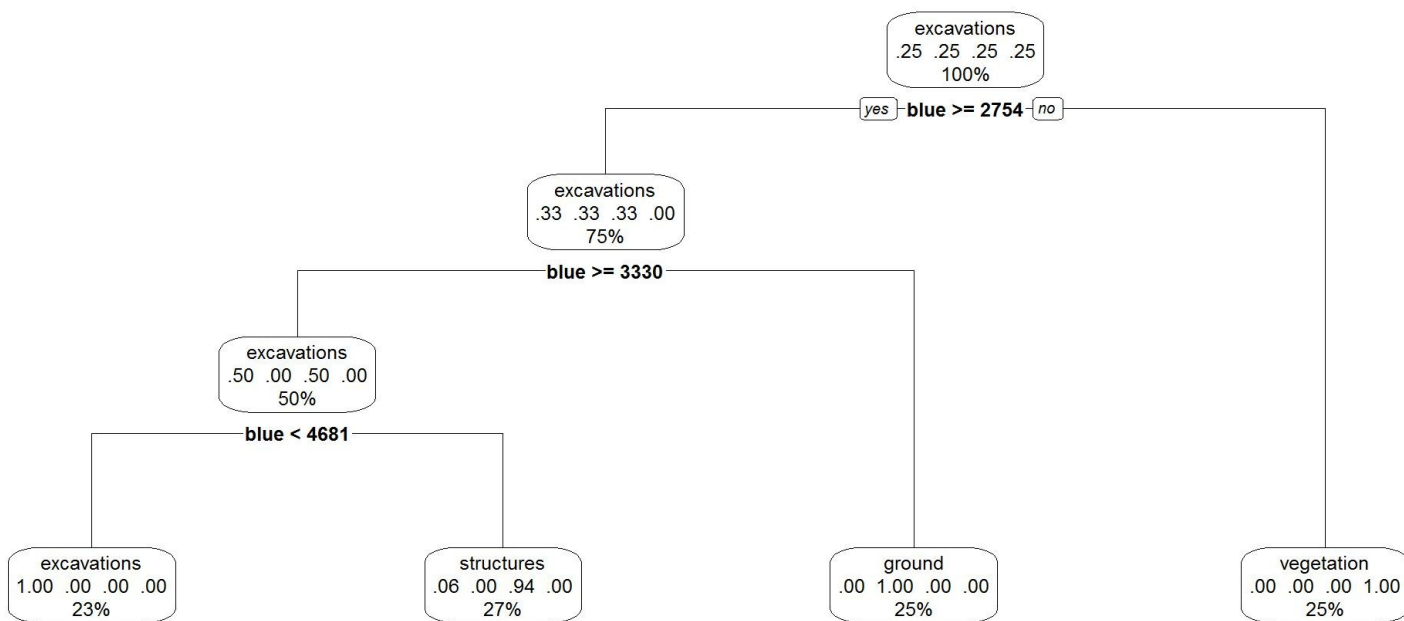
Διάγραμμα 4: Το διάγραμμα μορφής δέντρου της 4ης δορυφορικής εικόνας.

Δενδρόγραμμα ταξινόμησης - 31/01/2021



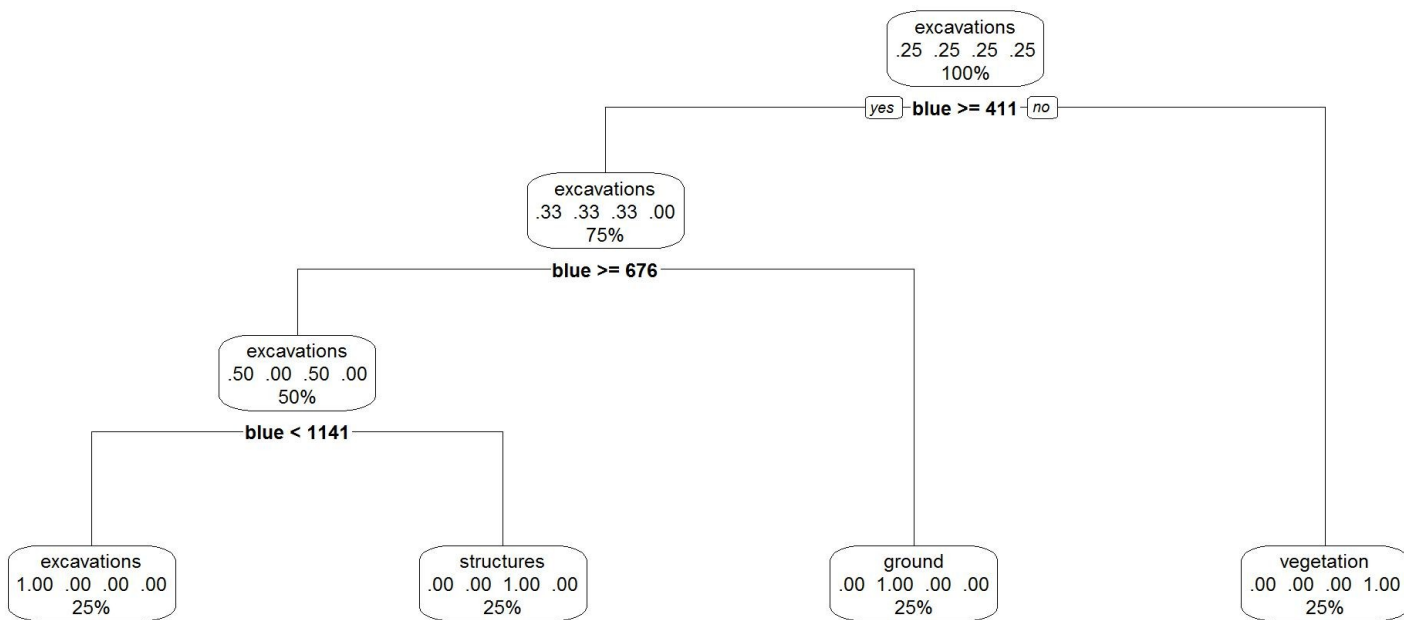
Διάγραμμα 5: Το διάγραμμα μορφής δέντρου της 5ης δορυφορικής εικόνας.

Δενδρόγραμμα ταξινόμησης - 12/04/2021



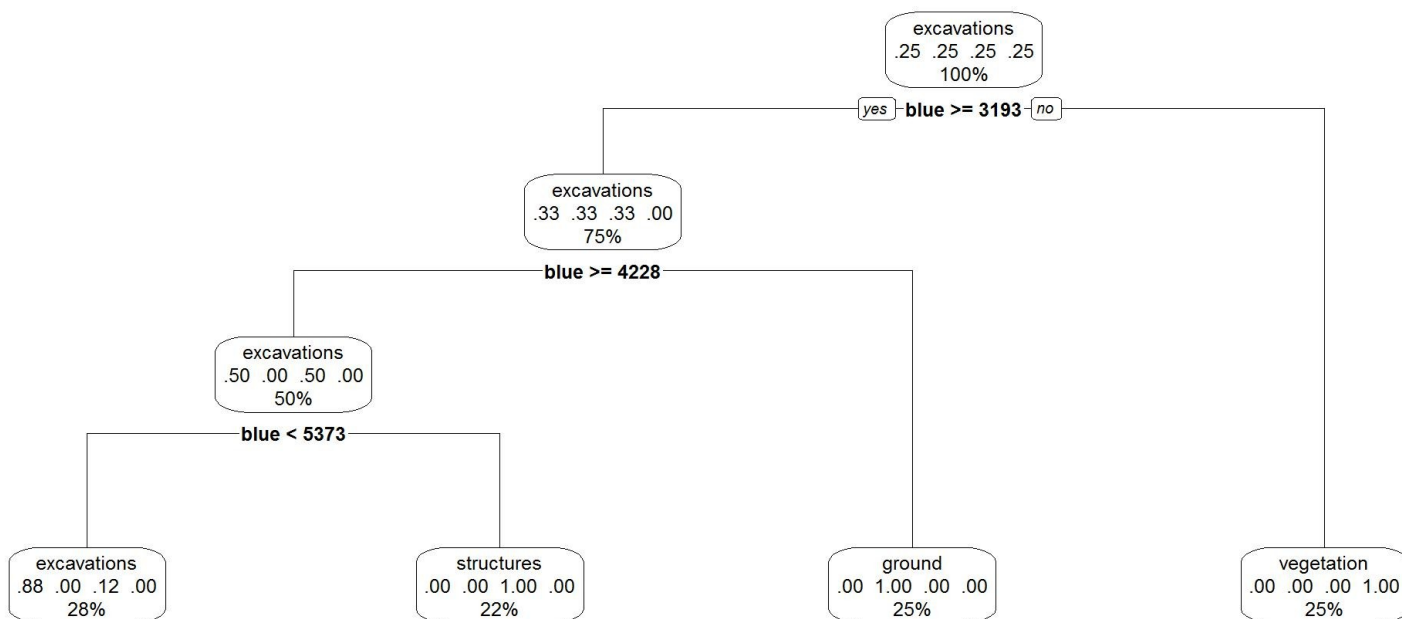
Διάγραμμα 6: Το διάγραμμα μορφής δέντρου της 6ης δορυφορικής εικόνας.

Δενδρόγραμμα ταξινόμησης - 25/05/2021



Διάγραμμα 7: Το διάγραμμα μορφής δέντρου της 7ης δορυφορικής εικόνας.

Δενδρογράμμα ταξινόμησης - 21/06/2021



Διάγραμμα 8: Το διάγραμμα μορφής δέντρου της 8ης δορυφορικής εικόνας.

Η ανάγνωση των δενδρογραμμάτων γίνεται από τον μητρικό κόμβο προς τα κατώτερα επίπεδα κόμβων. Οι τελευταίοι χαμηλά τερματικοί κόμβοι αποτελούν τις κατηγορίες ταξινόμησης. Σε κάθε κόμβο υπάρχει ένα όνομα το οποίο έχει νόημα μόνο στους τερματικούς κόμβους, καθώς στα υπόλοιπα επίπεδα μπαίνει πάντα το όνομα της πρώτης κλάσης που εδώ είναι οι Εκσκαφές (excavations). Κάτω από το όνομα σε κάθε κόμβο βρίσκονται οι πιθανότητες για κάθε κατηγορία να βρίσκονται στο σύνολο της εκάστοτε κατάτμησης το οποίο περιγράφει αντίστοιχα ο συγκεκριμένος κόμβος. Ο μητρικός κόμβος παρουσιάζει ισάξιες πιθανότητες σε όλους τους κόμβους καθώς ίσος είναι και ο αριθμός των σημείων εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία. Κάτω από τις πιθανότητες περιγράφεται το ποσοστό των σημείων που εμπίπτουν σε κάθε κατηγορία κατάτμησης. Ακριβώς κάτω από τον κόσβο βρίσκεται το ερώτημα δυαδικής απόφασης που οδηγεί στο επόμενο επίπεδο κατάτμησης. Στον μητρικό κόμβο παρουσιάζεται η δυαδική απόφαση δηλαδή η κατεύθυνση που θα προκύψει από την απάντηση στο δυαδικό ερώτημα (ναι ή όχι).

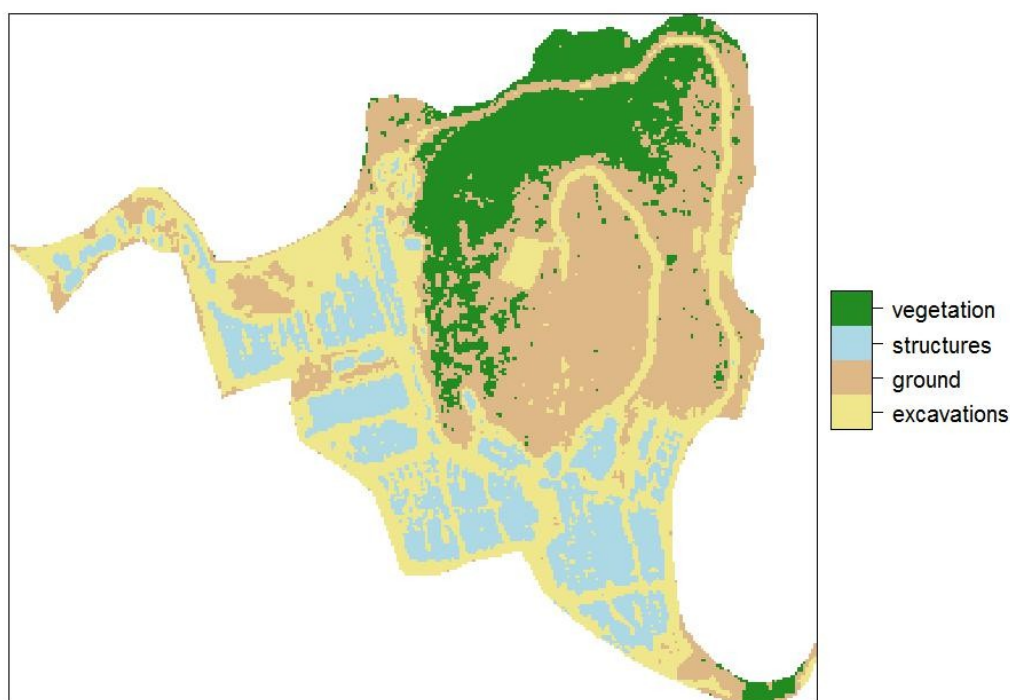
Όλα τα δενδρογράμματα παρουσιάζουν την ίδια μορφή κατάτμησης καθώς τα σημεία εκπαίδευσης προήλθαν από φασματικά συμπαγείς περιοχές για κάθε κλάση οι οποίες διατηρούνται σταθερές σε όλες τις δορυφορικές εικόνες. Ακόμη παρατηρούμε ότι η κρίσιμη τιμή εντοπίζεται στο κανάλι του Μπλε σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις και σε όλα τα επίπεδα εκτός από ένα επίπεδο στο διάγραμμα 5. Το Μπλε αποτελεί το κανάλι που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ευαισθησία. Ακόμη την μικρότερη ένταση του καναλιού Μπλε την συναντάμε στην Βλάστηση, την μεγαλύτερη στις Εγκαταστάσεις, και παρόμοια ένταση στο Γυμνό έδαφος και στις Εκσκαφές. Τα δενδρογράμματα δυαδικών αποφάσεων αποτελούν την σημαντικότερη διαδικασία της μεθοδολογίας ΟΒΙΑ.

4.4 Ταξινομήσεις δορυφορικών εικόνων

Στην προηγούμενη παράγραφο είδαμε την διαδικασία εκπαίδευσης με τα σημεία αναφοράς και τις κρίσιμες τιμές κατηγοριοποίησης χρήσεων γης που προέκυψαν με τα δενδρογράμματα. Η παρούσα διαδικασία αφορά την εφαρμογή των αποτελεσμάτων του δενδρογράμματος στα δορυφορικά δεδομένα. Κατά την ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας ελέγχονται οι τιμές των εδαφοψηφίδων σε όλα τα κανάλια της σε σχέση με κρίσιμες τιμές και την ροή ελέγχου από το δεντρόγραμμα και ανάλογα με την ικανοποίηση ή όχι των συνθηκών, ταξινομείται στις κατηγορίες χρήσης γης που έχουν οριστεί. Τα εικονοστοιχεία της δορυφορικής εικόνας στις θέσεις των σημείων αναφοράς ταξινομούνται επίσης μαζί με τα υπόλοιπα με βάση το αντίστοιχο δεντρόγραμμα.

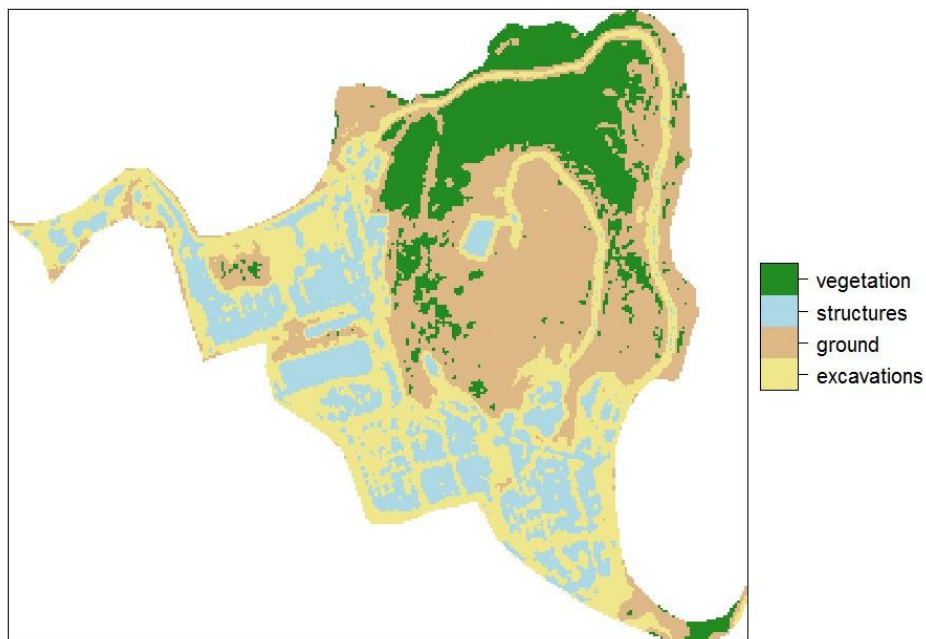
Για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη συναρτήσεων caret στην γλώσσα προγραμματισμού R, όπου με την συνάρτηση predict δίνοντας ως είσοδο το κάθε δεντρόγραμμα και δορυφορική εικόνα, πήραμε τους επόμενους χάρτες 11 – 18 στους οποίους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για όλες τις δορυφορικές εικόνες

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση - 24/10/2020



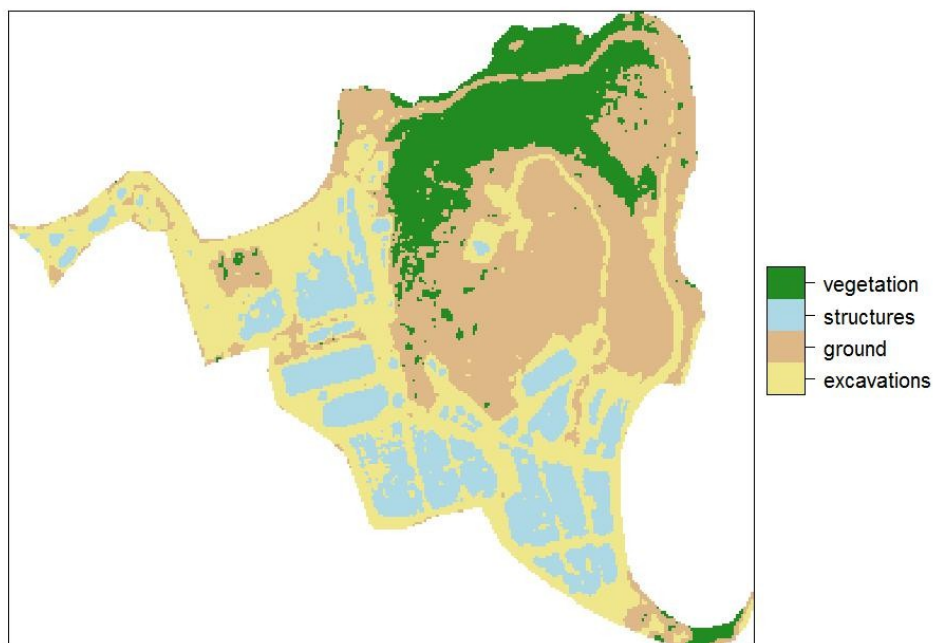
Χάρτης 11: Ταξινόμηση της 1ης δορυφορικής εικόνας.

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση - 10/11/2020



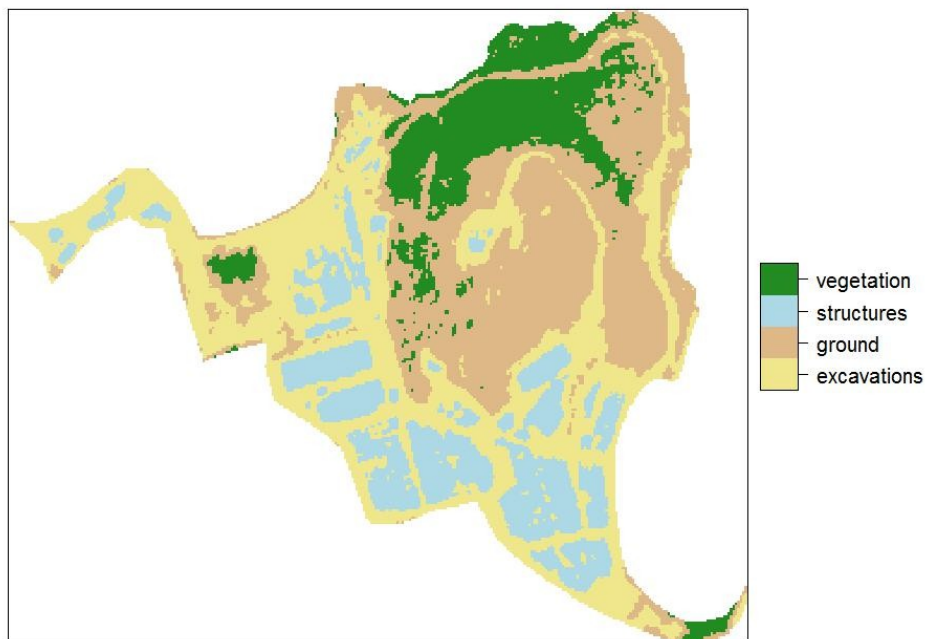
Χάρτης 12: Ταξινόμηση της 2ης δορυφορικής εικόνας.

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση - 19/12/2020



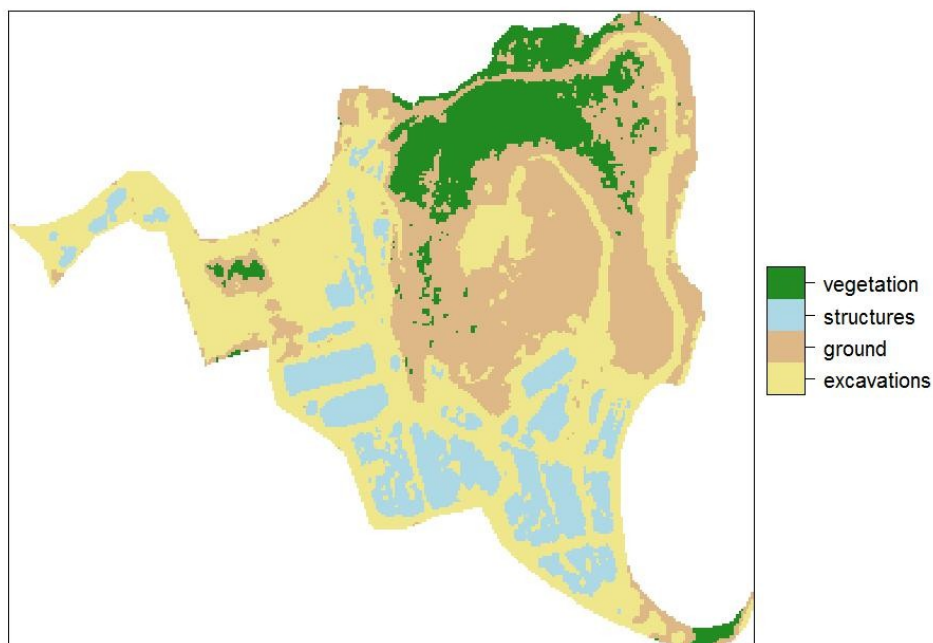
Χάρτης 13: Ταξινόμηση της 3ης δορυφορικής εικόνας.

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση - 18/01/2021



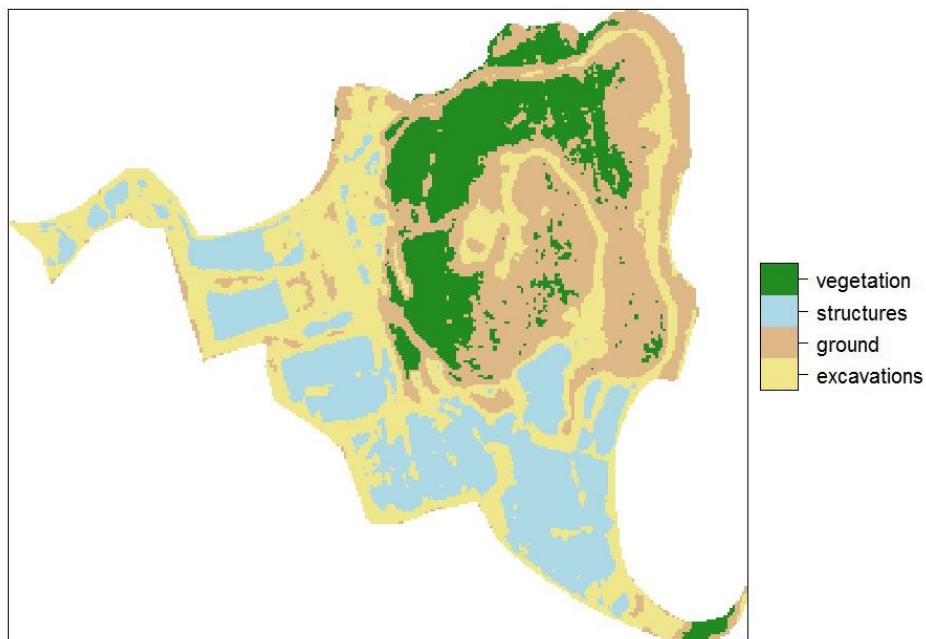
Χάρτης 14: Ταξινόμηση της 4ης δορυφορικής εικόνας.

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση - 31/01/2021



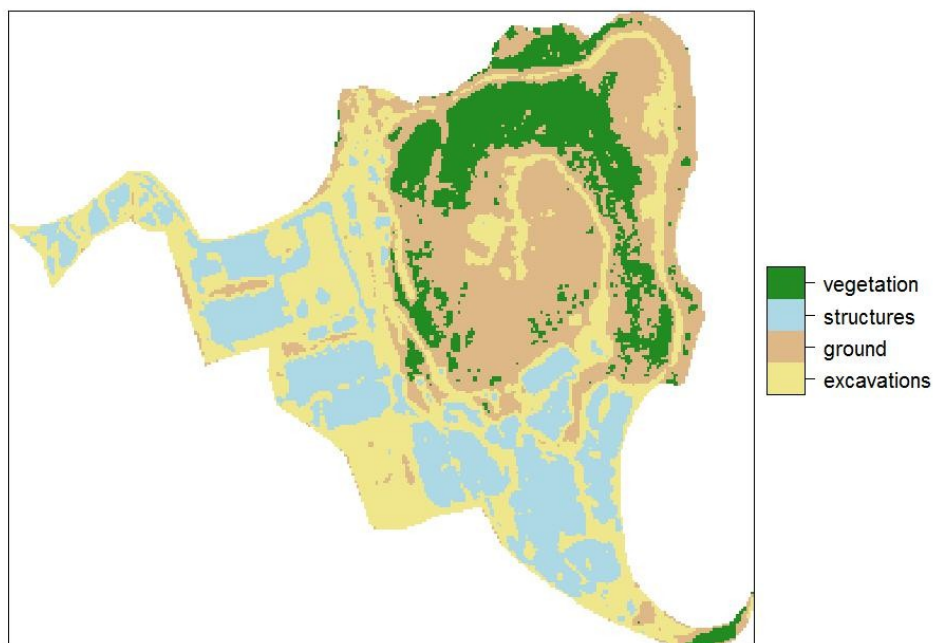
Χάρτης 15: Ταξινόμηση της 5ης δορυφορικής εικόνας.

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση - 12/04/2021



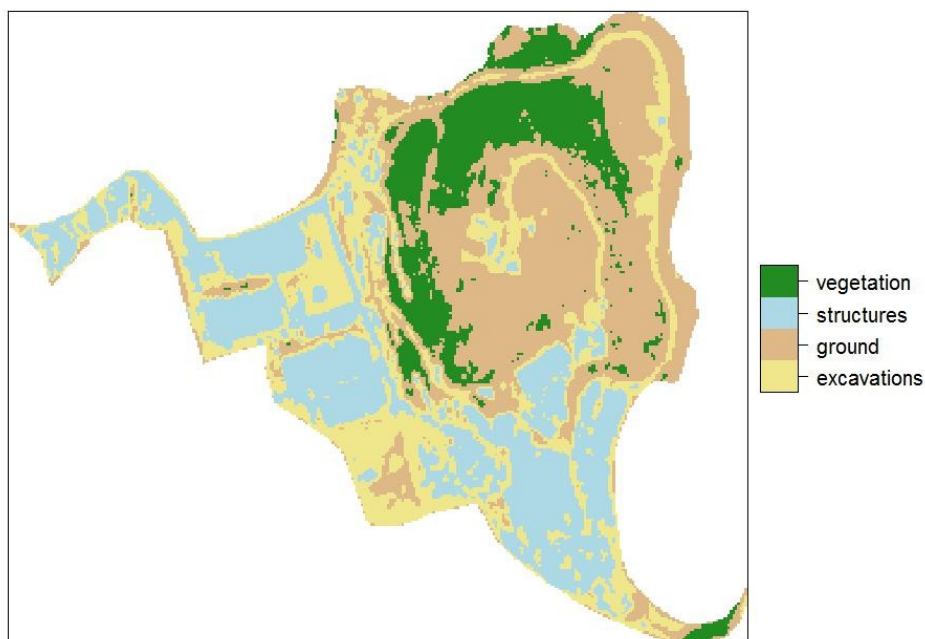
Χάρτης 16: Ταξινόμηση της 6ης δορυφορικής εικόνας.

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση - 25/05/2021



Χάρτης 17: Ταξινόμηση της 7ης δορυφορικής εικόνας.

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση - 21/06/2021



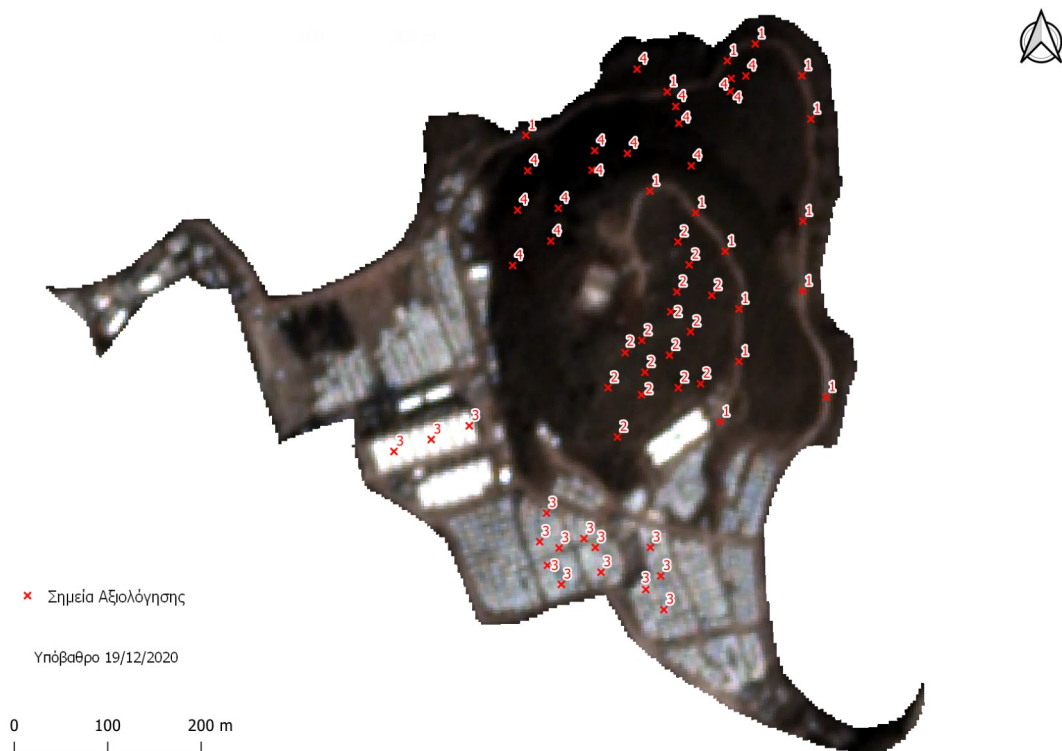
Χάρτης 18: Ταξινόμηση της 8ης δορυφορικής εικόνας.

Παρατηρώντας τους παραπάνω χάρτες και συγκρίνοντάς τους με τις αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες μπορούμε να δούμε ότι το αποτέλεσμα είναι πολύ καλό. Μέσα στην περιοχή μελέτης, λόγω της δραστηριότητας που αναπτύσσεται αλλά και της συγκεκριμένης χρονικής περιόδου που έχουν ληφθεί οι δορυφορικές εικόνες, οι αλλαγές στην χρήση γης ήταν πολλαπλές και γρήγορες. Αυτό, αποτυπώνεται στους χάρτες ταξινόμησης. Ακόμη σημαντικό ρόλο παίζει η σκίαση που δημιουργείται στον χώρο κατά την λήψη της εικόνας, και αυτό μπορεί να γίνει αισθητό στις κατηγορίες χρήσης γης που χαρακτηρίζονται από σκούρο τόνο όπως η βλάστηση.

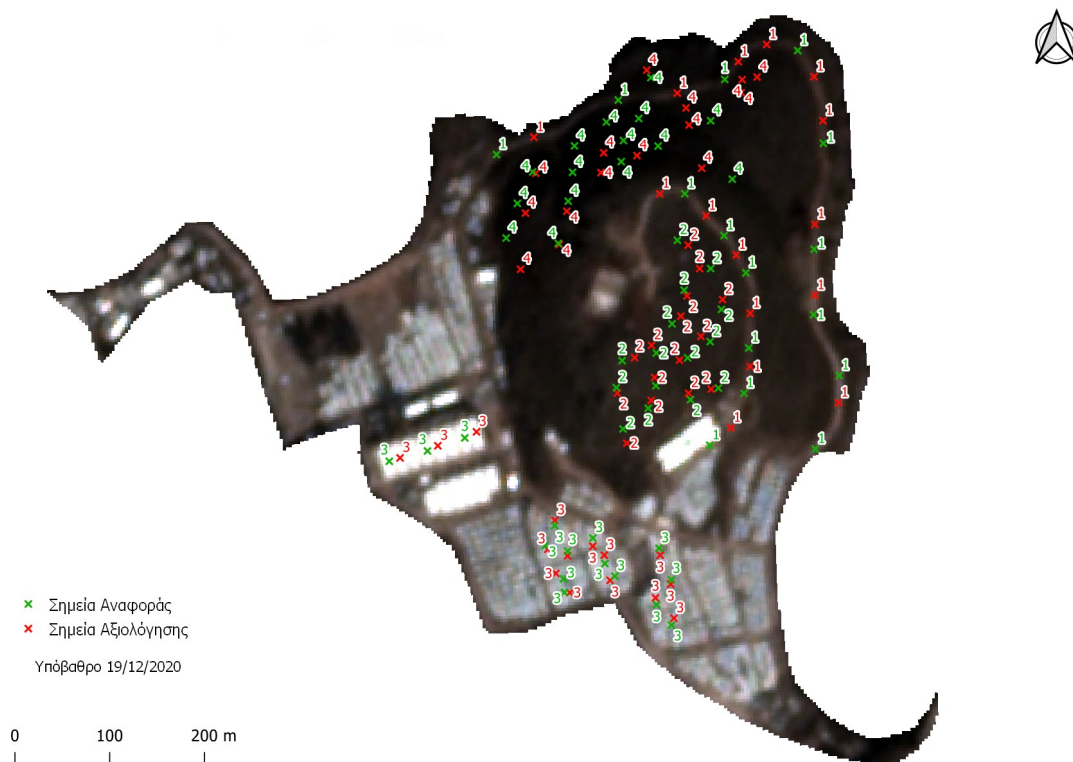
Σε κάθε περίπτωση για ο οπτικός έλεγχος δεν αρκεί για να μπορέσει να χαρακτηριστεί μία ταξινόμηση ως επιτυχής ή το αντίθετο, είναι απαραίτητη μία ποσοτική μεταβλητή που να μπορεί να την αξιολογήσει. Η μεταβλητή αυτή είναι η ακρίβεια (accuracy) και ο έλεγχος ακριβείας.

4.5. Αξιολόγηση μεθοδολογίας

Η αξιολόγηση αφορά την αβεβαιότητα ταξινόμησης της δορυφορικής εικόνας. Υπολογίζεται η ακρίβεια με την σύγκριση των πραγματικών τιμών σε συγκεκριμένες θέσεις της περιοχής μελέτης με τις ταξινομημένες τιμές στις ίδιες θέσεις. Οι πραγματικές τιμές πρέπει να είναι ανεξάρτητες με την διαδικασία εκπαίδευσης της ταξινόμησης. Για τον σκοπό αυτό έχει δημιουργηθεί ένα διαφορετικό σύνολο δεδομένων που περιλαμβάνουν σημεία της περιοχής μελέτης που βρίσκονται κοντά με τα σημεία εκπαίδευσης αλλά δεν σχετίζονται μαζί τους με κανέναν τρόπο. Τα νέα σημεία αποτελούν τα σημεία αξιολόγησης ή ελέγχου και παρουσιάζονται στον επόμενο χάρτη 19 καθώς και στον χάρτη 20 μαζί με τα σημεία αναφοράς ή εκπαίδευσης.



Χάρτης 19: Σημεία αξιολόγησης ανά κατηγορία χρήσης γης.



Χάρτης 20: Σημεία αναφοράς και αξιολόγησης ανά κατηγορία χρήσης γης.

Οι κατηγορίες χρήσεων γης στα σημεία αξιολόγησης είναι γνωστές και σε αντιπαραβολή με της κατηγορίες χρήσης γης που προέκυψαν από την ταξινόμηση θα μας δώσουν στην ακρίβεια της ταξινόμησης. Η αντιπαραβολή γίνεται με τον πίνακα ακρίβειας που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3, και για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη συναρτήσεων caret της γλώσσας προγραμματισμού R, όπου με την συνάρτηση confusionMatrix και δεδομένα εισόδου τα σημεία αξιολόγησης και την εκάστοτε δορυφορική εικόνα πήραμε ως αποτέλεσμα τους πίνακες ακρίβειας και τις τιμές της ακρίβειας για όλες τις δορυφορικές εικόνες τα οποία παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες 14 – 21.

Confusion Matrix and Statistics

	Reference			
Prediction	1	2	3	4
1	13	2	0	0
2	1	14	0	0
3	1	0	14	0
4	0	0	0	15

Overall Statistics

Accuracy : 0.9333
95% CI : (0.838, 0.9815)
No Information Rate : 0.2667
P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

Εικόνα 14: Πίνακας ακρίβειας ταξινόμησης 1ης δορυφορικής εικόνας (24/10/2020).

Confusion Matrix and Statistics

	Reference			
Prediction	1	2	3	4
1	14	0	1	0
2	0	14	0	1
3	2	0	13	0
4	0	1	0	14

Overall Statistics

Accuracy : 0.9167
95% CI : (0.8161, 0.9724)
No Information Rate : 0.2667
P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

Εικόνα 15: Πίνακας ακρίβειας ταξινόμησης 2ης δορυφορικής εικόνας (10/11/2020).

Confusion Matrix and Statistics

	Reference			
Prediction	1	2	3	4
1	9	6	0	0
2	0	15	0	0
3	0	0	15	0
4	0	0	0	15

Overall Statistics

Accuracy : 0.9
95% CI : (0.7949, 0.9624)
No Information Rate : 0.35
P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

Εικόνα 16: Πίνακας ακρίβειας ταξινόμησης 3ης δορυφορικής εικόνας (19/12/2020).

Confusion Matrix and Statistics

	Reference			
Prediction	1	2	3	4
1	10	5	0	0
2	0	15	0	0
3	0	0	15	0
4	0	3	0	12

Overall Statistics

Accuracy : 0.8667
95% CI : (0.7541, 0.9406)
No Information Rate : 0.3833
P-Value [Acc > NIR] : 1.308e-14

Εικόνα 17: Πίνακας ακρίβειας ταξινόμησης 4ης δορυφορικής εικόνας (18/01/2021).

Confusion Matrix and Statistics

	Reference			
Prediction	1	2	3	4
1	13	2	0	0
2	0	15	0	0
3	1	0	14	0
4	0	3	0	12

Overall Statistics

Accuracy : 0.9
95% CI : (0.7949, 0.9624)
No Information Rate : 0.3333
P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

Εικόνα 18: Πίνακας ακρίβειας ταξινόμησης 5ης δορυφορικής εικόνας (31/01/2021).

Confusion Matrix and Statistics

	Reference			
Prediction	1	2	3	4
1	13	2	0	0
2	0	15	0	0
3	0	0	15	0
4	0	3	0	12

Overall Statistics

Accuracy : 0.9167
95% CI : (0.8161, 0.9724)
No Information Rate : 0.3333
P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

Εικόνα 19: Πίνακας ακρίβειας ταξινόμησης 6ης δορυφορικής εικόνας (12/04/2021).

Confusion Matrix and Statistics

	Reference			
Prediction	1	2	3	4
1	15	0	0	0
2	0	15	0	0
3	0	0	15	0
4	0	4	0	11

Overall Statistics

Accuracy : 0.9333
95% CI : (0.838, 0.9815)
No Information Rate : 0.3167
P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

Εικόνα 20: Πίνακας ακρίβειας ταξινόμησης 7ης δορυφορικής εικόνας (25/05/2021).

Confusion Matrix and Statistics

	Reference			
Prediction	1	2	3	4
1	15	0	0	0
2	0	15	0	0
3	1	0	14	0
4	0	4	0	11

Overall Statistics

Accuracy : 0.9167
95% CI : (0.8161, 0.9724)
No Information Rate : 0.3167
P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

Εικόνα 21: Πίνακας ακρίβειας ταξινόμησης 8ης δορυφορικής εικόνας (21/06/2021).

Οι πάνω πίνακες μας δείχνουν την συσχέτιση των ταξινομημένων κατηγοριών που βρίσκονται στις γραμμές (Prediction) με τις πραγματικές τιμές των σημείων αξιολόγησης που βρίσκονται στις στήλες (Reference). Στην διαγώνιο του κάθε πίνακα βρίσκεται το πλήθος των κατηγοριών που έχει ταξινομηθεί σωστά. Το σύνολο των σωστών ταξινομήσεων αν διαιρεθεί με το σύνολο των σημείων αξιολόγησης μας δίνει την ακρίβεια της ταξινόμησης που εμφανίζεται επίσης στον πίνακα (Accuracy). Κάτω από την ακρίβεια ο πίνακας μας δίνει το 95% διάστημα εμπιστοσύνης (CI) της.

Στην συνέχεια δίνεται το ποσοστό Μη πληροφόρησης (No information Rate) που σχετίζεται με την ανισοκατανομή του πλήθους των σωστών ταξινομήσεων μεταξύ των κατηγοριών. Τέλος, δίνεται η στατιστική σημαντικότητα του καναλιού με την υψηλότερη ακρίβεια (P-Value) σε επιστημονική (εκθετική) μορφή.

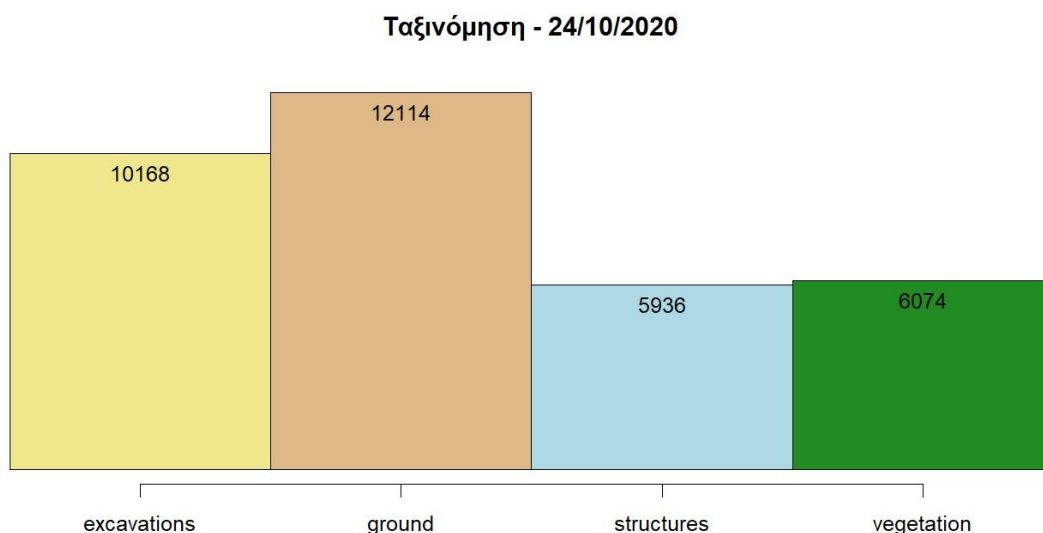
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ								
	24/10/20	10/11/20	19/12/20	18/01/21	31/01/21	12/04/21	25/05/21	21/06/21
Accuracy	0,9333	0,9167	0,9	0,8667	0,9	0,9167	0,9333	0,9167

Πίνακας 1: Ποσοστά ακρίβειας ανά ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας.

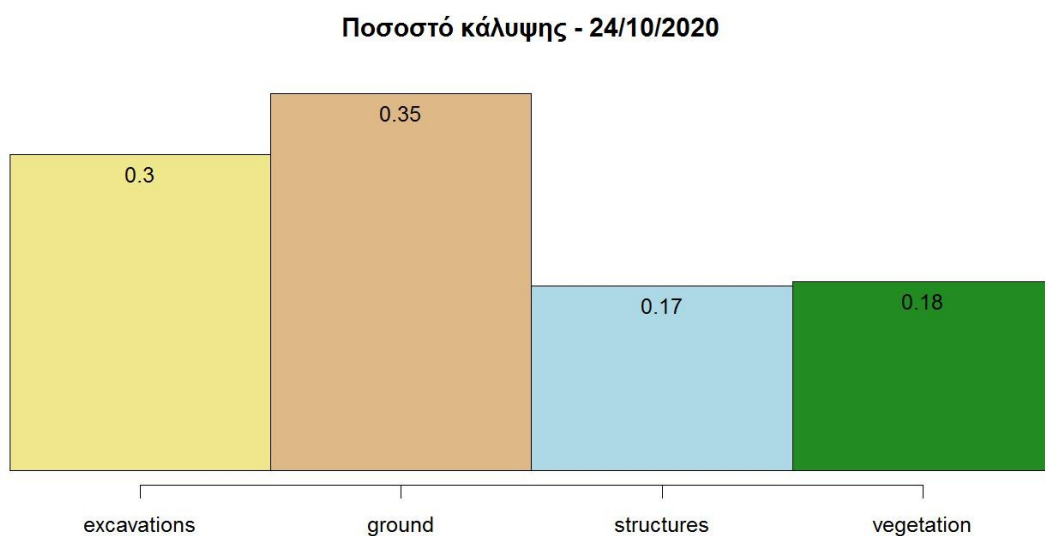
Όλες οι τιμές της ακρίβειας είναι υψηλές και στην πλειοψηφία τους άνω του 0,9 εκτός από την ταξινόμηση της 4ης δορυφορικής εικόνας όπου η ακρίβεια είναι 0,87 όπως φαίνεται και στον πάνω Πίνακα 1. Ακόμη, οι τιμές του P-Value είναι πολύ μικρές σε όλες τις αναλύσεις και μας δείχνουν ισχυρή στατιστική σημαντικότητα.

4.6 Ποσοτικά δεδομένα ταξινόμησης

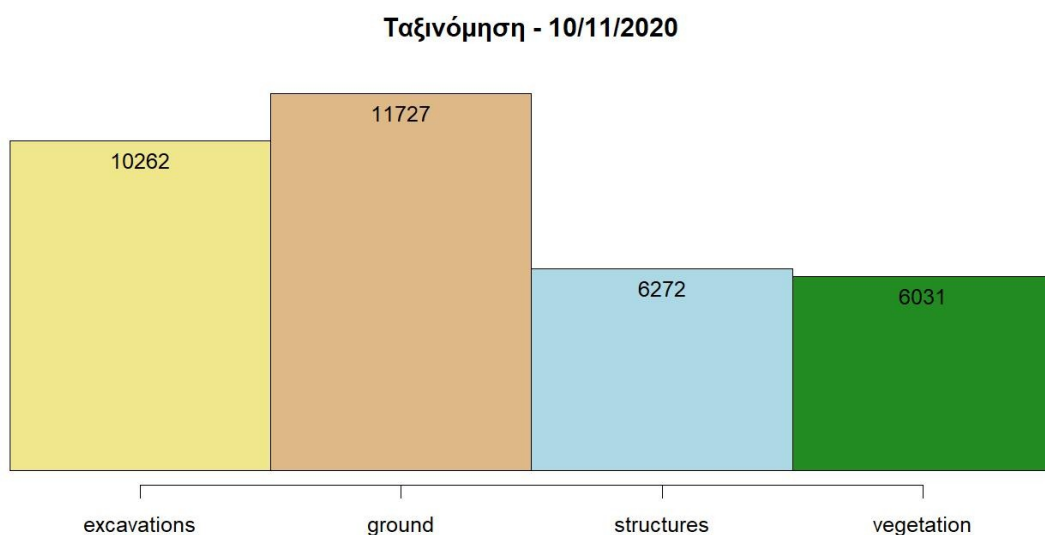
Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης παρουσιάζονται με την μορφή χαρτών όπου μπορούμε να διακρίνουμε την χωρική κατανομή των κατηγοριών χρήσης γης. Για την εξαγωγή όμως ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με τις μεταβολές των χρήσεων γης, είναι χρήσιμα τα ποσοτικά στοιχεία των ταξινομήσεων που παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα συχνότητας σε απόλυτη τιμή εικονοστοιχείων και σε μορφή ποσοστών ανά ταξινόμηση.



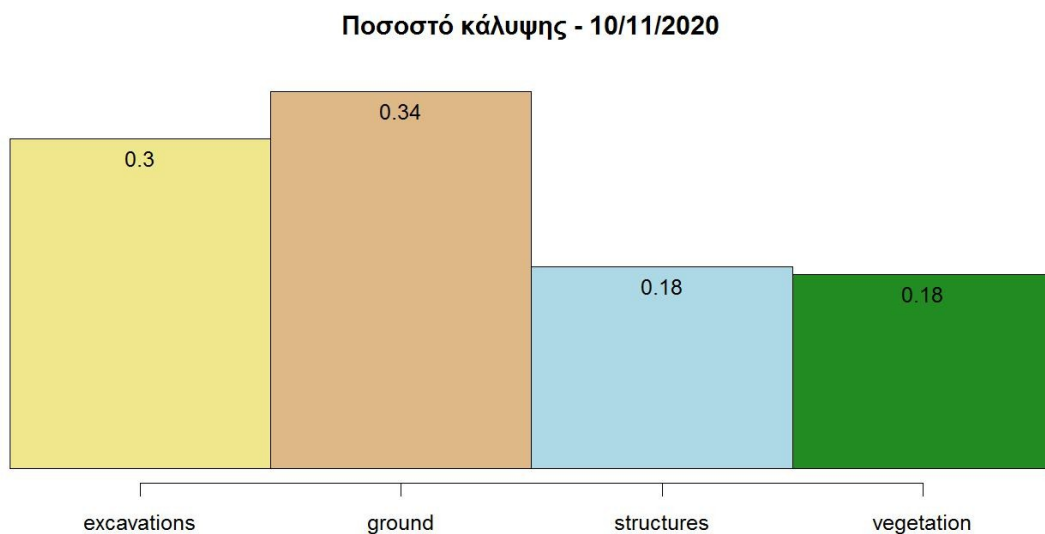
Διάγραμμα 9: Διάγραμμα συχνότητας εικονοστοιχείων ταξινόμησης 1ης δορυφορικής εικόνας.



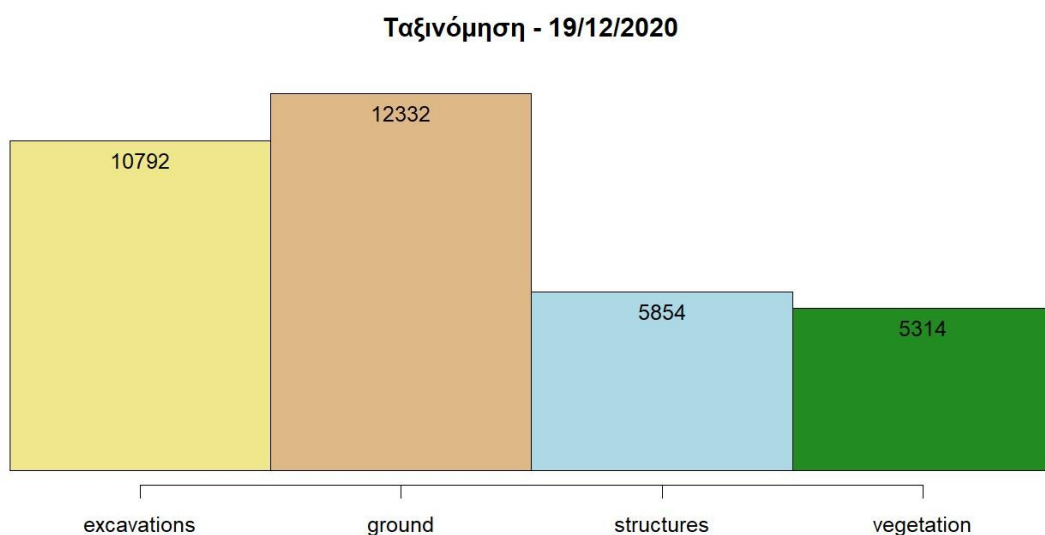
Διάγραμμα 10: Διάγραμμα ποσοστών ταξινόμησης 1ης δορυφορικής εικόνας.



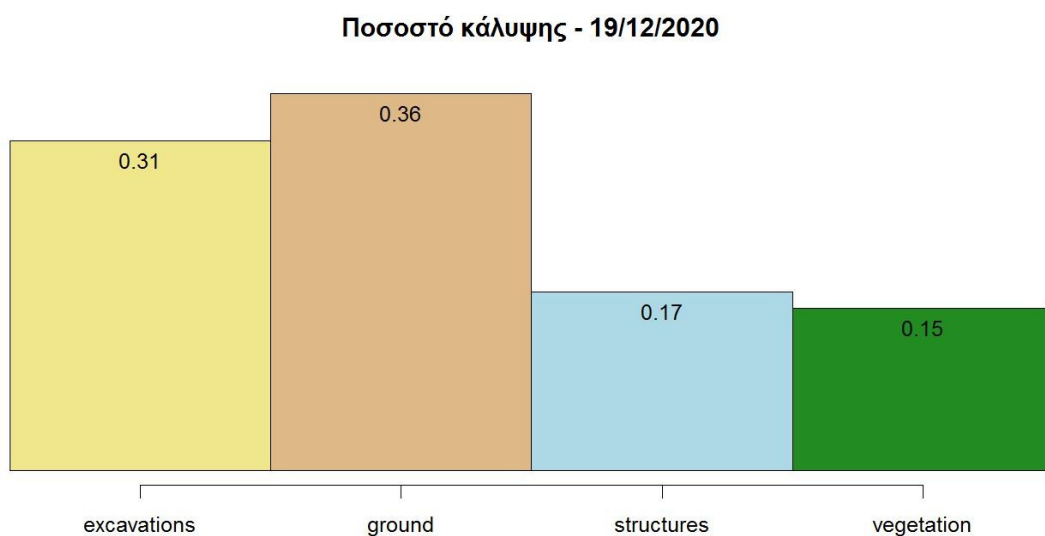
Διάγραμμα 11: Διάγραμμα συχνοτήτων εικονοστοιχείων ταξινόμησης 2ης δορυφορικής εικόνας.



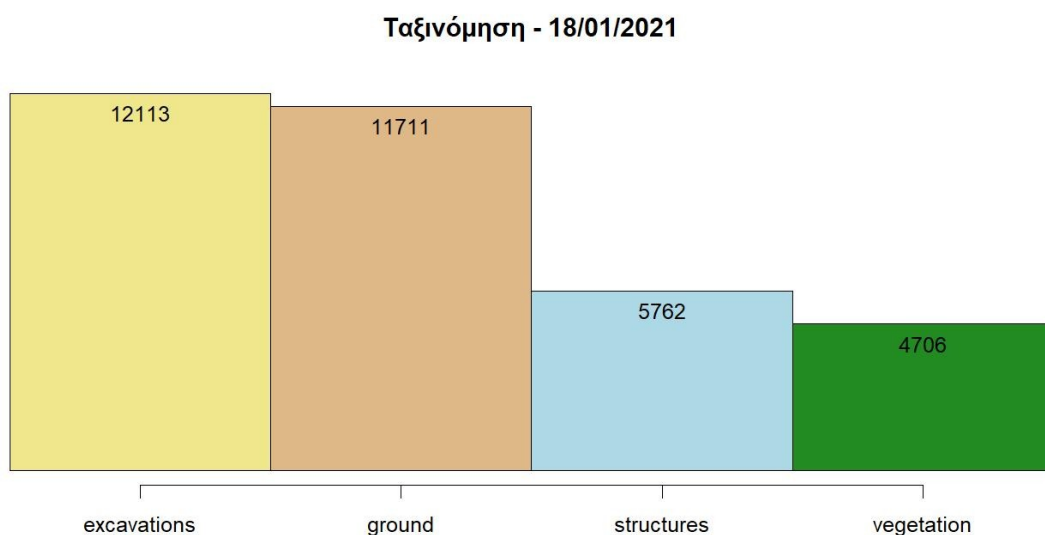
Διάγραμμα 12: Διάγραμμα ποσοστών ταξινόμησης 2ης δορυφορικής εικόνας.



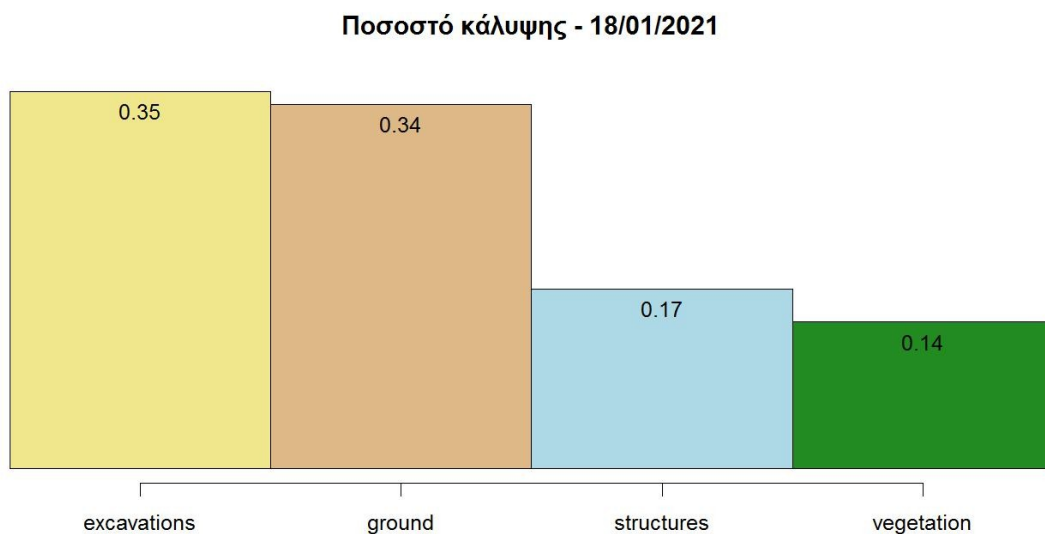
Διάγραμμα 13: Διάγραμμα συχνότητων εικονοστοιχείων ταξινόμησης 3ης δορυφορικής εικόνας.



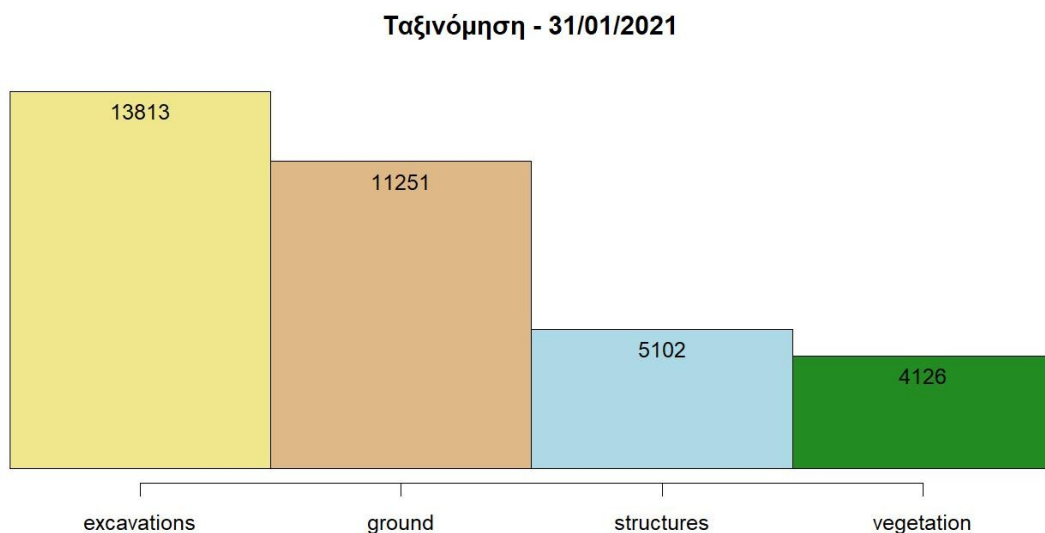
Διάγραμμα 14: Διάγραμμα ποσοστών ταξινόμησης 3ης δορυφορικής εικόνας.



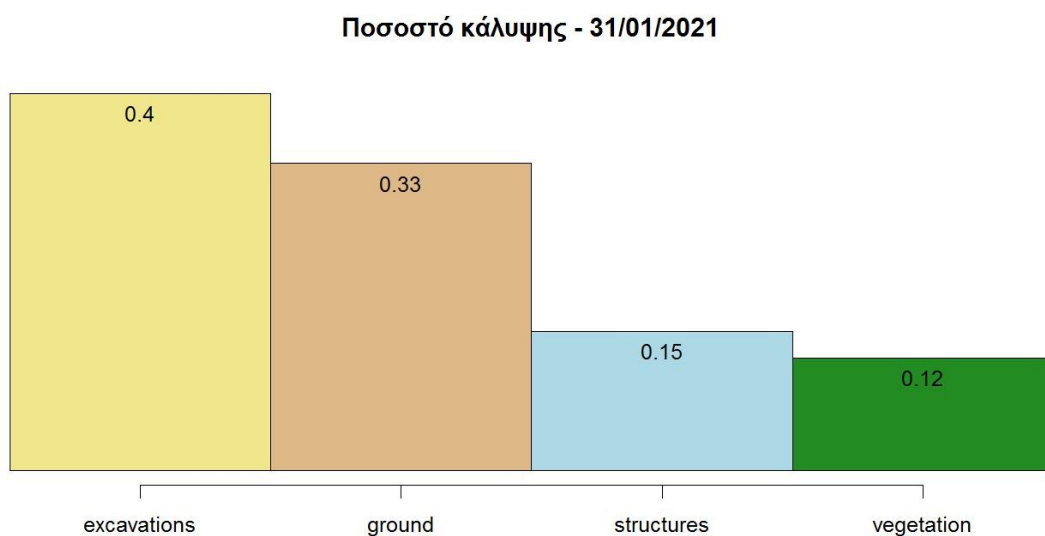
Διάγραμμα 15: Διάγραμμα συχνότητων εικονοστοιχείων ταξινόμησης 4ης δορυφορικής εικόνας.



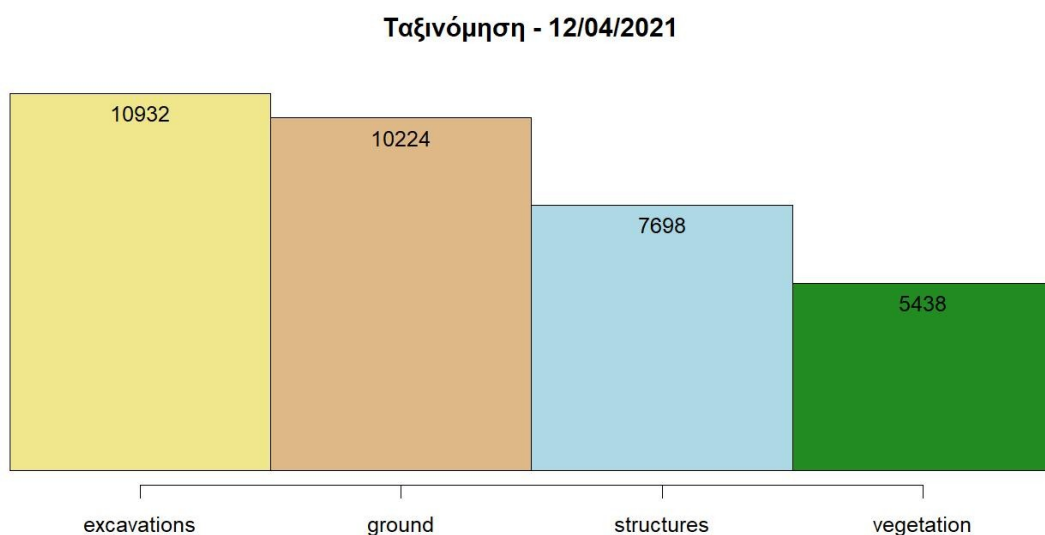
Διάγραμμα 16: Διάγραμμα ποσοστών ταξινόμησης 4ης δορυφορικής εικόνας.



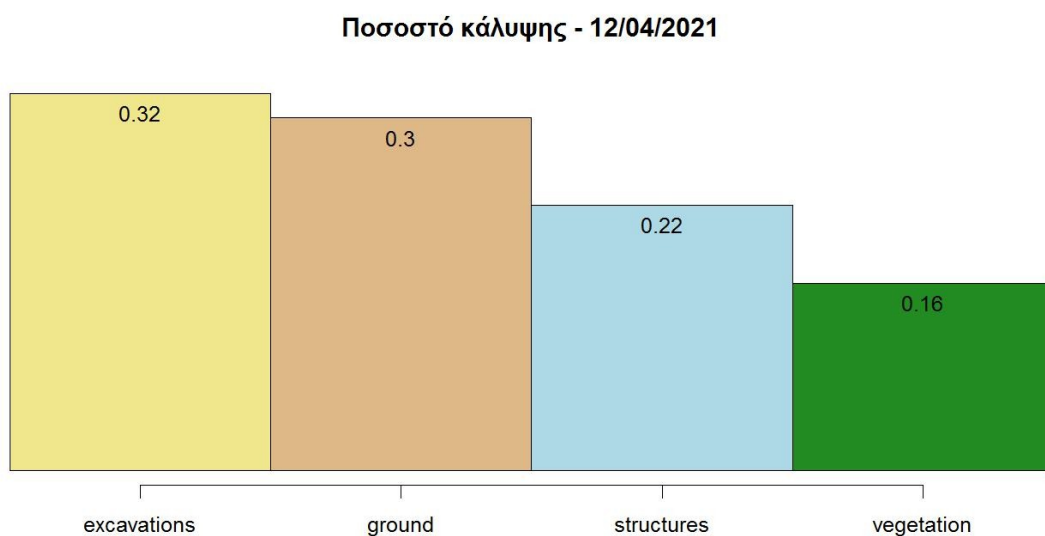
Διάγραμμα 17: Διάγραμμα συχνότητων εικονοστοιχείων ταξινόμησης 5ης δορυφορικής εικόνας.



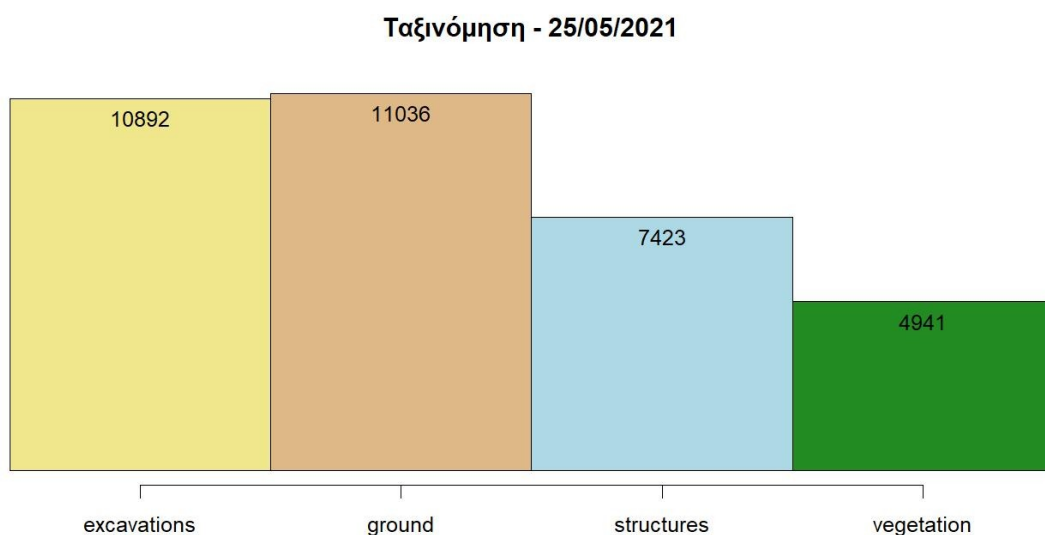
Διάγραμμα 18: Διάγραμμα ποσοστών ταξινόμησης 5ης δορυφορικής εικόνας.



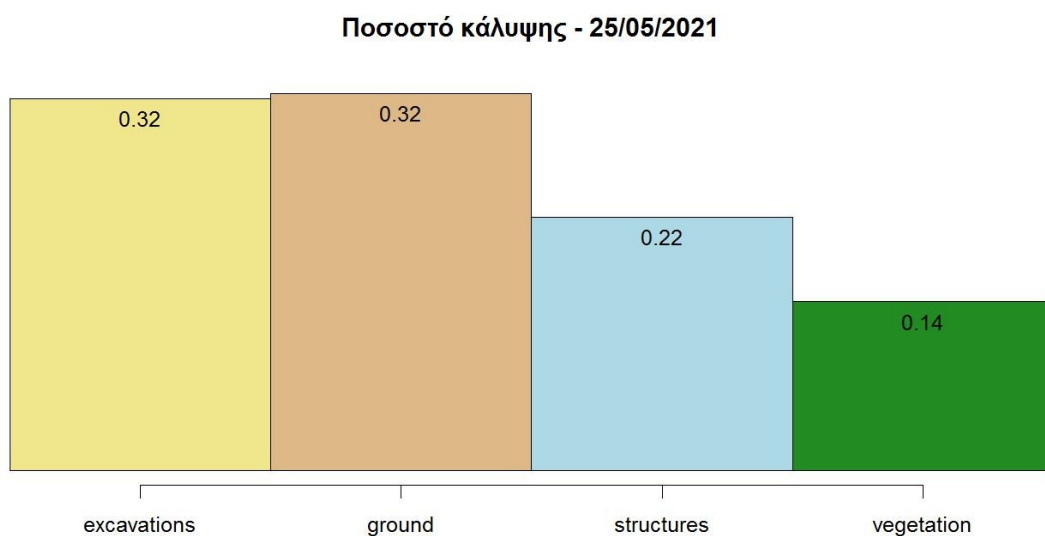
Διάγραμμα 19: Διάγραμμα συχνότητων εικονοστοιχείων ταξινόμησης 6ης δορυφορικής εικόνας.



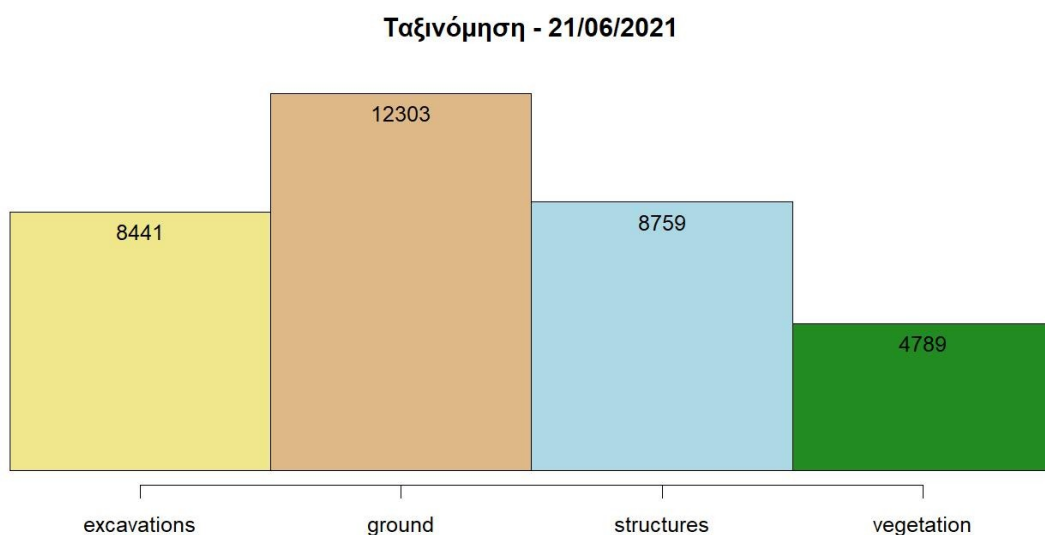
Διάγραμμα 20: Διάγραμμα ποσοστών ταξινόμησης 6ης δορυφορικής εικόνας.



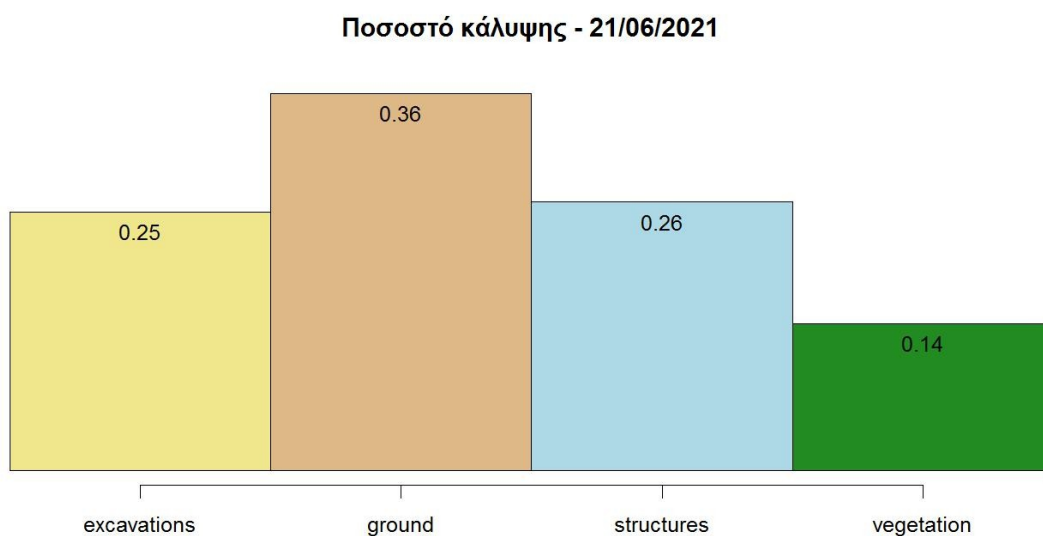
Διάγραμμα 21: Διάγραμμα συχνότητων εικονοστοιχείων ταξινόμησης 7ης δορυφορικής εικόνας.



Διάγραμμα 22: Διάγραμμα ποσοστών ταξινόμησης 7ης δορυφορικής εικόνας.



Διάγραμμα 23: Διάγραμμα συχνοτήτων εικονοστοιχείων ταξινόμησης 8ης δορυφορικής εικόνας.



Διάγραμμα 24: Διάγραμμα ποσοστών ταξινόμησης 8ης δορυφορικής εικόνας.

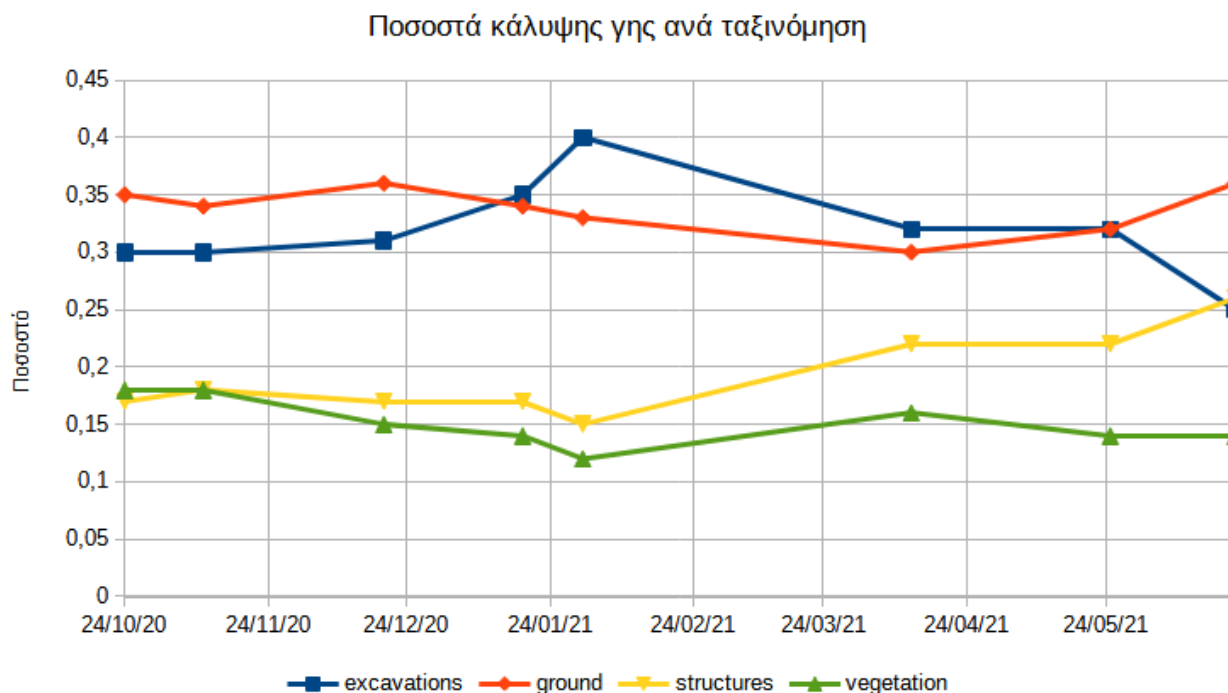
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία

Για την διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις μεταβολές των χρήσεων γης στον χώρο του ΚΥΤ Λέσβου κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων σε συγκεντρωτική μορφή. Στον κάτω πίνακα 2 παρουσιάζονται τα ποσοστά χρήσεων γης ανά ταξινόμηση τα οποία απεικονίζονται σχηματικά στο διάγραμμα 25.

ΠΟΣΟΣΤΑ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ								
	24/10/20	10/11/20	19/12/20	18/01/21	31/01/21	12/04/21	25/05/21	21/06/21
excavations	0,3	0,3	0,31	0,35	0,4	0,32	0,32	0,25
ground	0,35	0,34	0,36	0,34	0,33	0,3	0,32	0,36
structures	0,17	0,18	0,17	0,17	0,15	0,22	0,22	0,26
vegetation	0,18	0,18	0,15	0,14	0,12	0,16	0,14	0,14
σύνολο	1	1	0,99	1	1	1	1	1,01

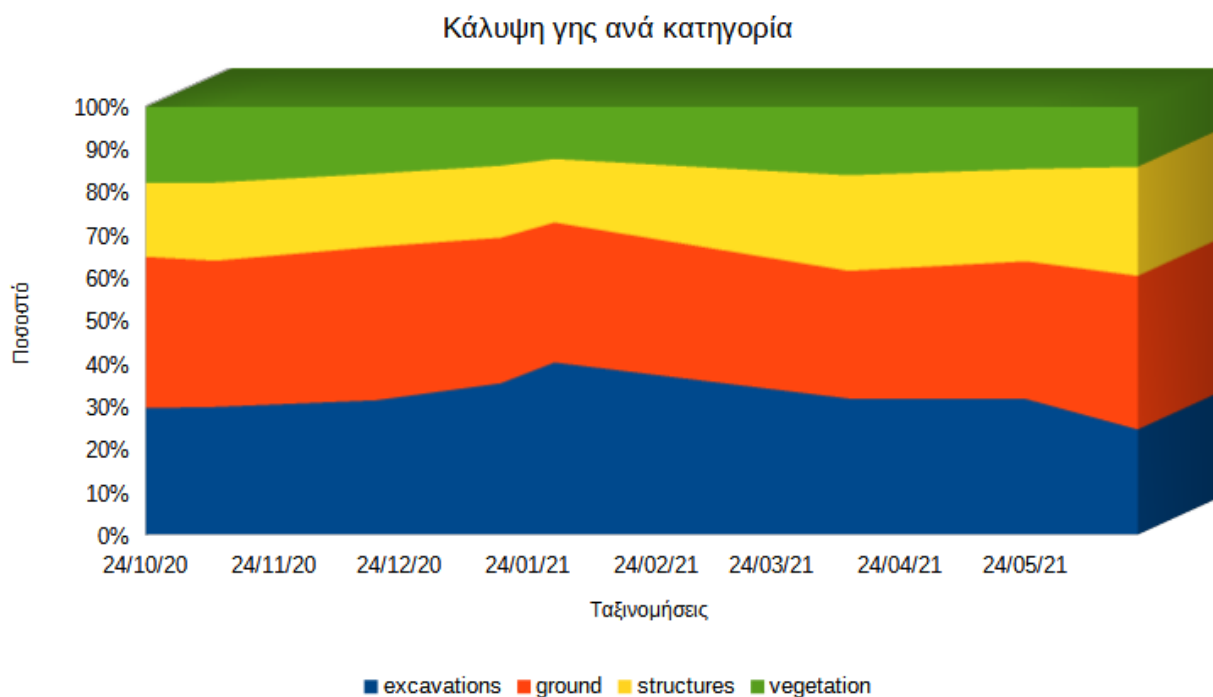
Πίνακας 2: Ποσοστά χρήσεων γης ανά ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας.



Διάγραμμα 25: Διάγραμμα ποσοστών χρήσεων γης ανά ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας.

Στο πίνακα 2 οι αποκλίσεις στο σύνολο του ποσοστού των ταξινομήσεων 19/12/2020 και 21/06/2021 παρουσιάζουν κάποια απόκλιση από την μονάδα που οφείλεται στις στρογγυλοποιήσεις κατά την διάρκεια των υπολογισμών.

Στο διάγραμμα 25 βλέπουμε τις αυξομειώσεις των ποσοστών των χρήσεων γης που προέκυψαν από τις ταξινομήσεις των δορυφορικών εικόνων. Οι ημερομηνίες που αναφέρονται στο άξονα Χ είναι αναλογικά ισαπέχουσες σύμφωνα με το μήκος του άξονα. Οι τιμές που αναφέρονται στις ημερομηνίες των δορυφορικών εικόνων αντιστοιχούν στα σημεία κατά μήκος των γραμμών του διαγράμματος. Παρατηρούμε ότι οι χρήσεις γης του Γυμνού εδάφους και της Βλάστησης που αναφέρονται στο φυσικό περιβάλλον παρουσιάζουν μικρή διακύμανση στην πάροδο του χρόνου. Σε αντίθεση οι χρήσεις γης των Εκσκαφών και των Εγκαταστάσεων που αναφέρονται στο ανθρωπογενές περιβάλλον παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση. Η συμπεριφορά των χρήσεων γης οφείλεται στο γεγονός των τεχνικών έργων που πραγματοποιούνται στον χώρο το χρονικό διάστημα που έχουν ληφθεί οι δορυφορικές εικόνες. Το φαινόμενο αυτό είναι εμφανές και στην κατανομή των αθροιστικών τιμών των ποσοστών που παρουσιάζονται στο επόμενο διάγραμμα 26.



Διάγραμμα 26: Διάγραμμα αθροιστικών ποσοστών χρήσεων γης ανά ταξινόμηση.

Για την κατανόηση των μεγεθών των χρήσεων γης παρατίθεται ο επόμενος πίνακας 3, στον οποίο οι χρήσεις γης των ταξινομήσεων παρουσιάζονται σε πλήθη εικονοστοιχείων προκειμένου να καταστεί δυνατός ο υπολογισμός των εμβαδών της φυσικής επιφάνειας που αντιστοιχεί σε κάθε ταξινόμηση.

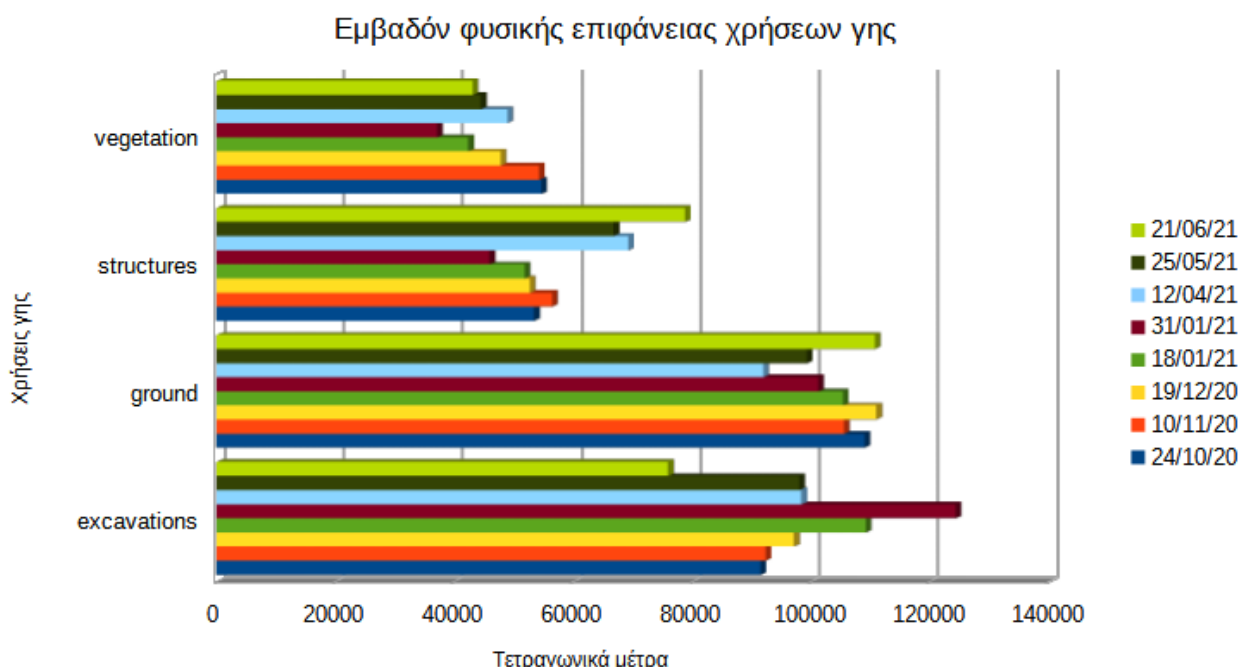
ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ								
	24/10/20	10/11/20	19/12/20	18/01/21	31/01/21	12/04/21	25/05/21	21/06/21
excavations	10168	10262	10792	12113	13813	10932	10892	8441
ground	12114	11727	12332	11711	11251	10224	11036	12303
structures	5936	6272	5854	5762	5102	7698	7423	8759
vegetation	6074	6031	5314	4706	4126	5438	4941	4789
σύνολο	34292	34292	34292	34292	34292	34292	34292	34292

Πίνακας 3: Αριθμός εικονοστοιχείων χρήσεων γης ανά ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4 (4.1), οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη των χρήσεων γης ήταν χωρικής διακριτικής ικανότητας (ΧωρΔΙ) 3 μέτρων. Κάθε εικονοστοιχείο απεικονίζει μία επιφάνεια φυσικού εδάφους μεγέθους 3 X 3 μέτρων, δηλαδή 9 τετραγωνικών μέτρων. Οπότε για κάθε χρήση γης ο υπολογισμός της φυσικής επιφάνειας προκύπτει από το γινόμενο του πλήθους των εικονοστοιχείων της με τα 9 τ.μ. που αντιστοιχούν σε κάθε ένα από αυτά. Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης των ταξινομήσεων σε τετραγωνικά μέτρα φυσικής επιφάνειας, και στο διάγραμμα 27 απεικονίζονται γραφικά .

ΕΜΒΑΔΟΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ (τ.μ.)								
	24/10/20	10/11/20	19/12/20	18/01/21	31/01/21	12/04/21	25/05/21	21/06/21
excavations	91512	92358	97128	109017	124317	98388	98028	75969
ground	109026	105543	110988	105399	101259	92016	99324	110727
structures	53424	56448	52686	51858	45918	69282	66807	78831
vegetation	54666	54279	47826	42354	37134	48942	44469	43101
σύνολο	308628	308628	308628	308628	308628	308628	308628	308628

Πίνακας 4: Εμβαδόν φυσικής επιφάνειας χρήσεων γης ανά ταξινόμηση.



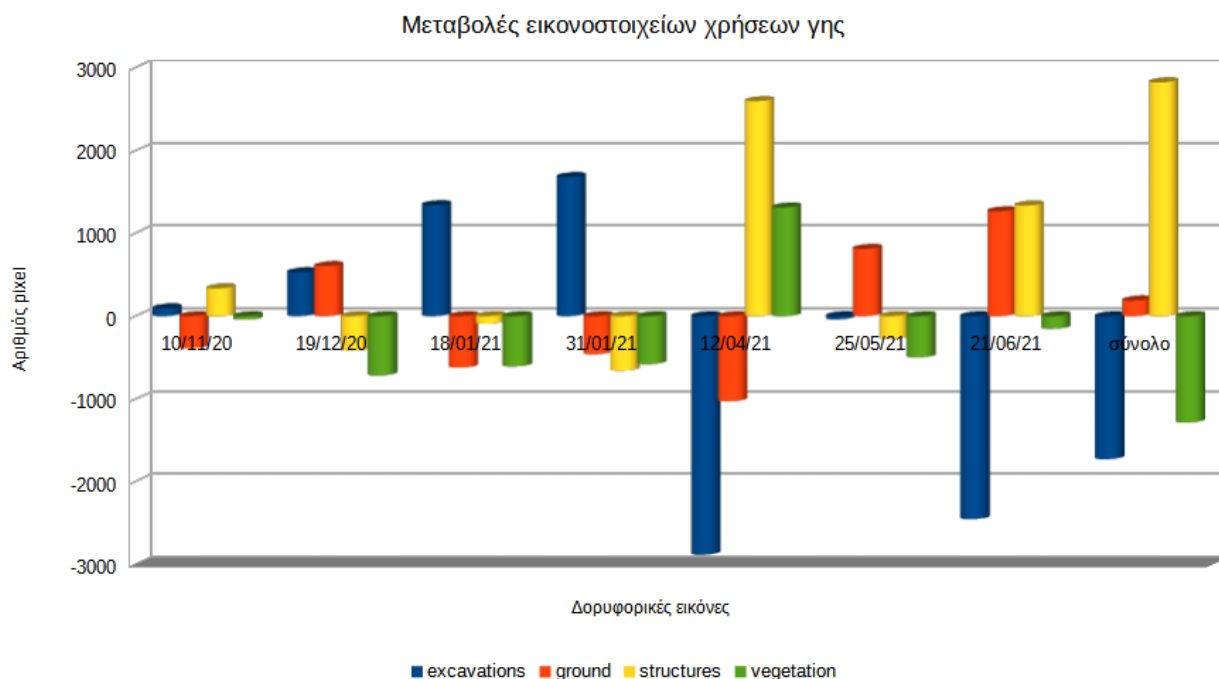
Διάγραμμα 27: Διάγραμμα φυσικής επιφάνειας χρήσεων γης ανά ταξινόμηση.

Το πάνω ιστόγραμμα μας δείχνει την έκταση κάθε χρήση γης σε όλες τις ταξινομήσεις. Κάθε χρώμα αντιπροσωπεύει διαφορετική ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας. Τα αθροίσματα όλων των ιστών ίδιου χρώματος/ταξινόμησης είναι ίσα και περιγράφουν το εμβαδόν όλης της περιοχής μελέτης. Βλέπουμε ότι στον χώρο του ΚΥΤ οι κυρίαρχες χρήσεις γης είναι το Γυμνό έδαφος και οι Εκσκαφές. Ακόμη, η Βλάστηση και το Γυμνό έδαφος παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις στην έκτασή τους σε σχέση με τις Εκσκαφές και τις Εγκαταστάσεις. Σε κάθε χρήση γης μπορούμε να δούμε την διαχρονική εξέλιξη του μεγέθους της συγκρίνοντας προοδευτικά τους ιστούς από τον σκούρο μπλε ως τον ανοιχτό πράσινο.

Η μεταβολή με την πάροδο του χρόνου αποτελεί το τελικό αποτέλεσμα της παρούσας ανάλυσης και παρουσιάζεται στην συνέχεια.

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ								
	10/11/20	19/12/20	18/01/21	31/01/21	12/04/21	25/05/21	21/06/21	σύνολο
excavations	94	530	1321	1700	-2881	-40	-2451	-1727
ground	-387	605	-621	-460	-1027	812	1267	189
structures	336	-418	-92	-660	2596	-275	1336	2823
vegetation	-43	-717	-608	-580	1312	-497	-152	-1285

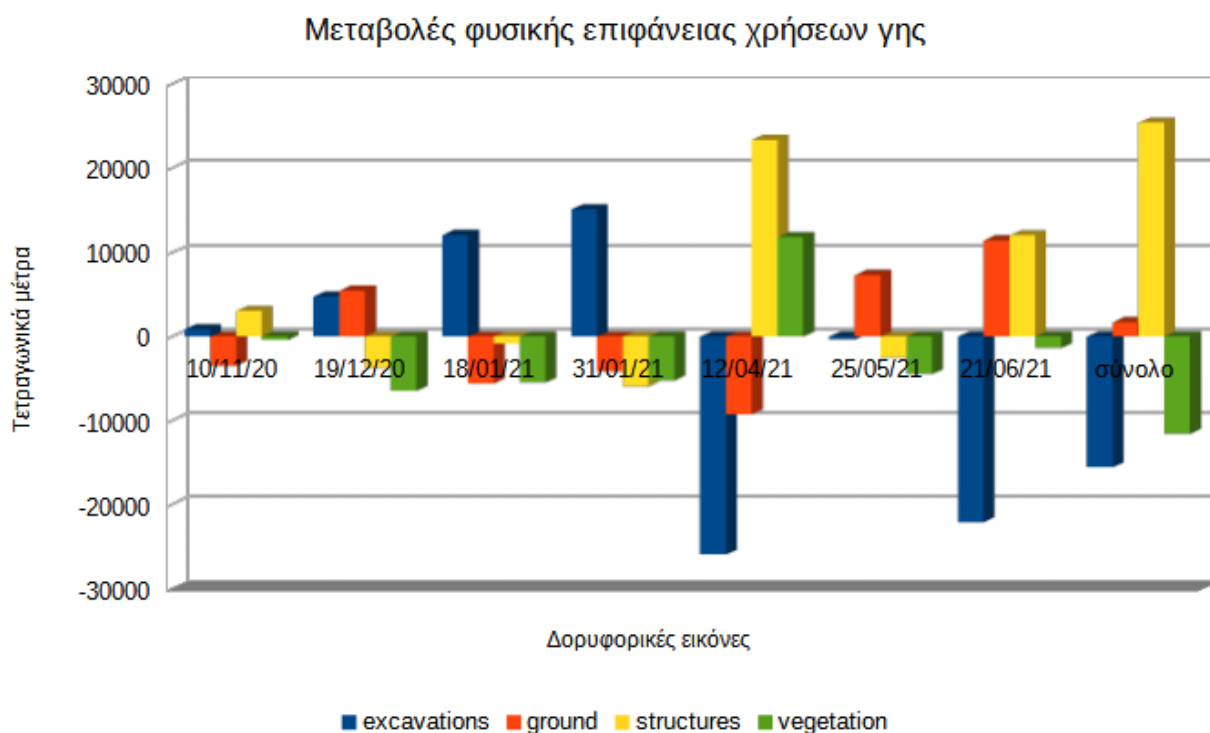
Πίνακας 5: Μεταβολές αριθμού εικονοστοιχείων χρήσεων γης ανά ταξινόμηση.



Διάγραμμα 28: Μεταβολές εικονοστοιχείων χρήσεων γης ανά ταξινόμηση.

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ (τ.μ.)								
	10/11/20	19/12/20	18/01/21	31/01/21	12/04/21	25/05/21	21/06/21	σύνολο
excavations	846	4770	11889	15300	-25929	-360	-22059	-15543
ground	-3483	5445	-5589	-4140	-9243	7308	11403	1701
structures	3024	-3762	-828	-5940	23364	-2475	12024	25407
vegetation	-387	-6453	-5472	-5220	11808	-4473	-1368	-11565

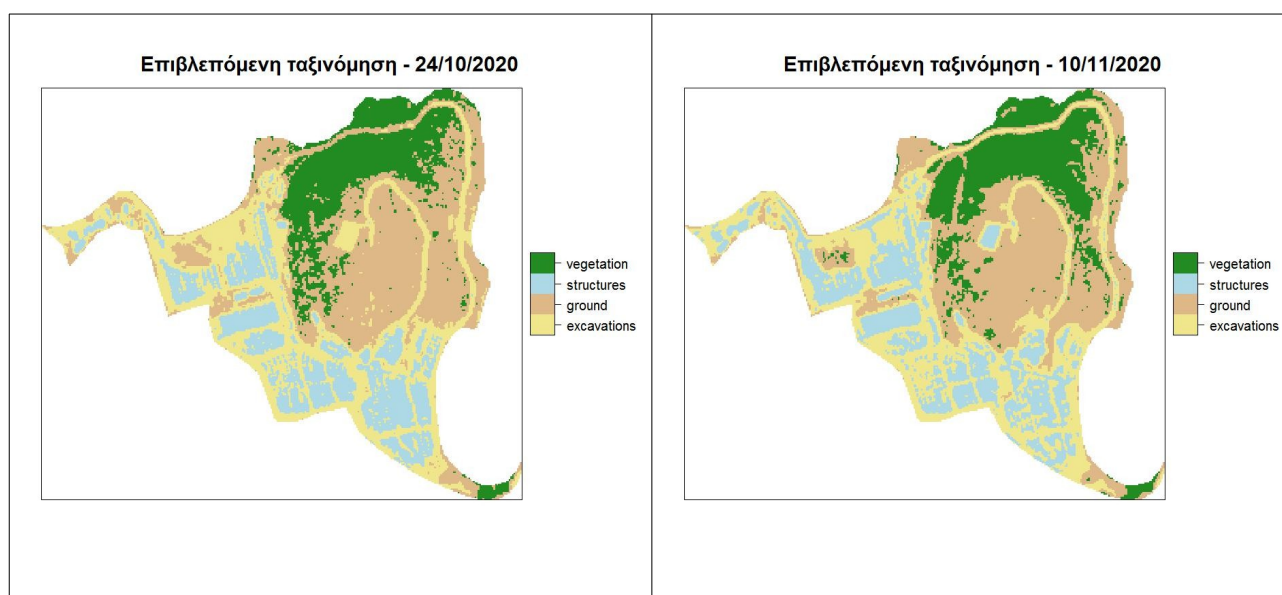
Πίνακας 6: Μεταβολές εμβαδού χρήσεων γης ανά ταξινόμηση.



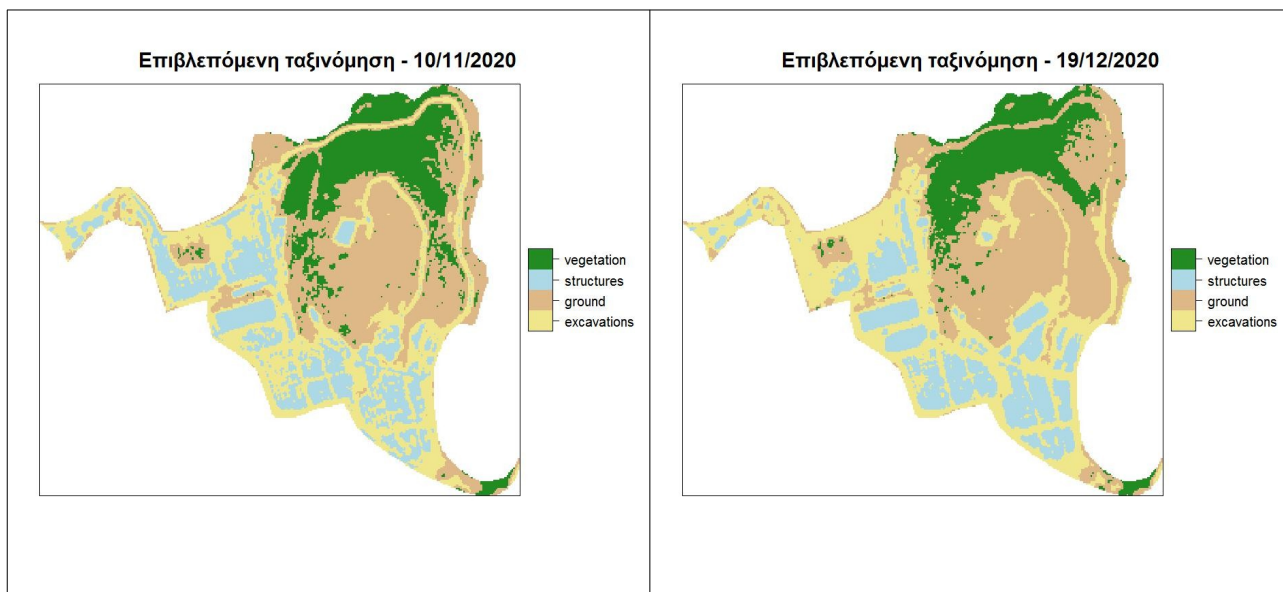
Διάγραμμα 29: Μεταβολές εμβαδού χρήσεων γης ανά ταξινόμηση.

Από τον Πίνακα 6 και το Διάγραμμα 29 μπορούμε να παρατηρήσουμε για κάθε μεταβολή μεταξύ ταξινομήσεων τα εξής:

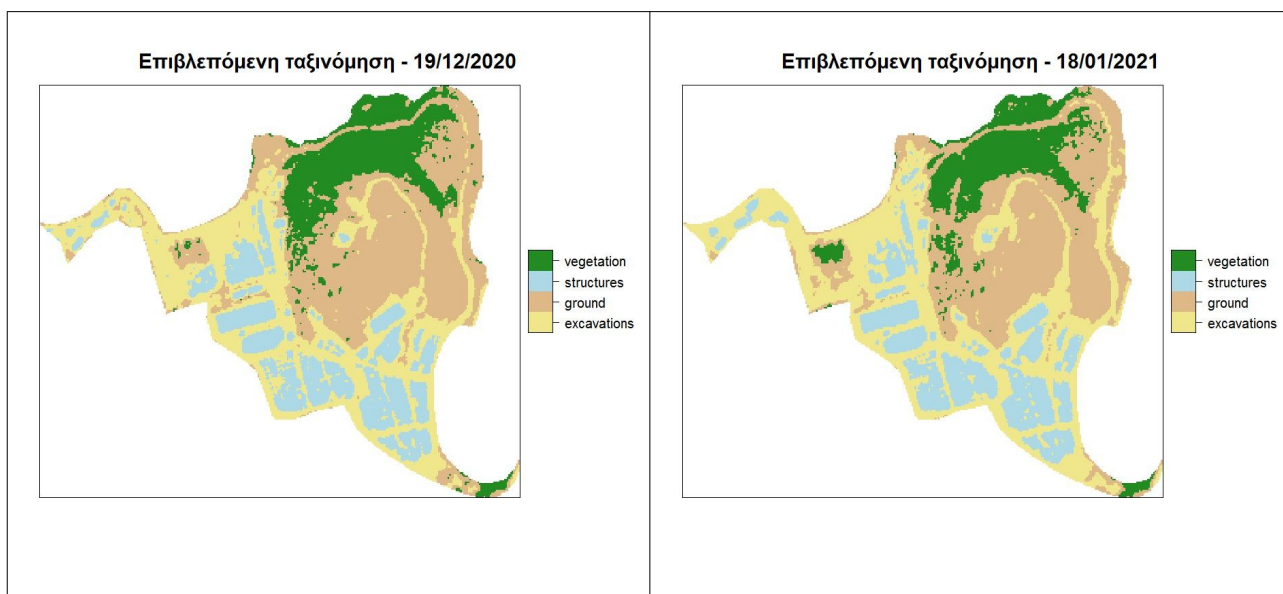
1η-2η, 10/11/2020: Μικρές μεταβολές, πτώση του Γυμνού Εδάφους και άνοδο στις Εγκαταστάσεις. Οι αλλαγές οφείλονται στην έναρξη των τεχνικών εργασιών για την διαμόρφωση του χώρου.



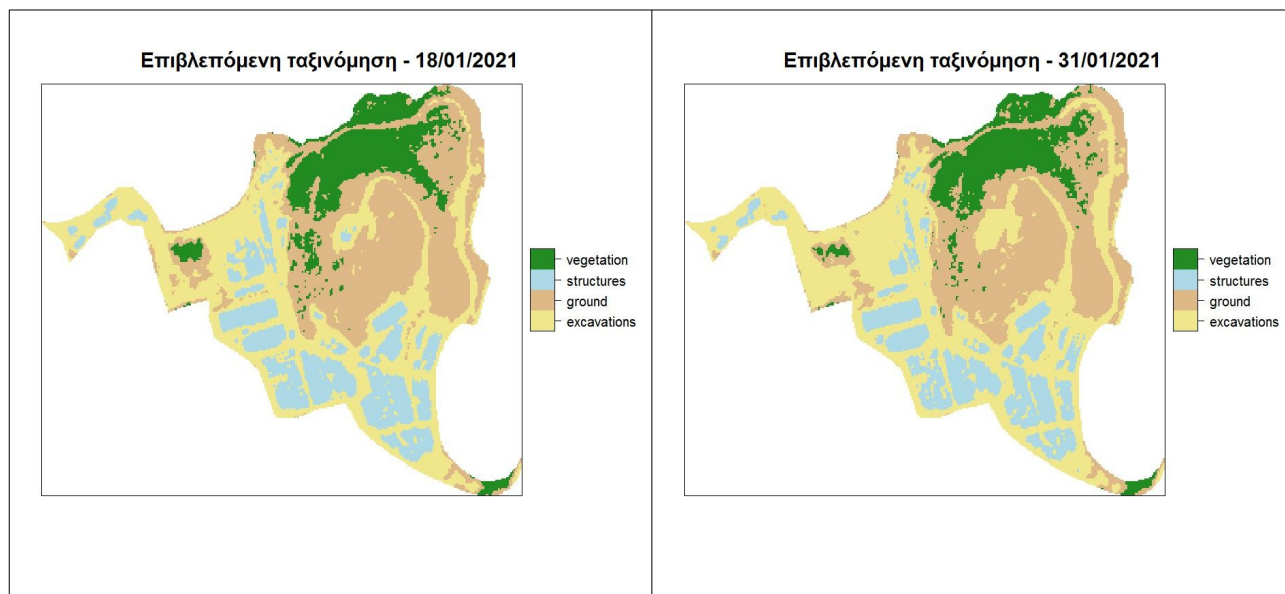
2η-3η, 19/12/2020: Άνοδος για τις Εκσκαφές και το Γυμνό Έδαφος και πτώση των Εγκαταστάσεων και της Βλάστησης. Πρόκειται για την συνέχεια των τεχνικών έργων.



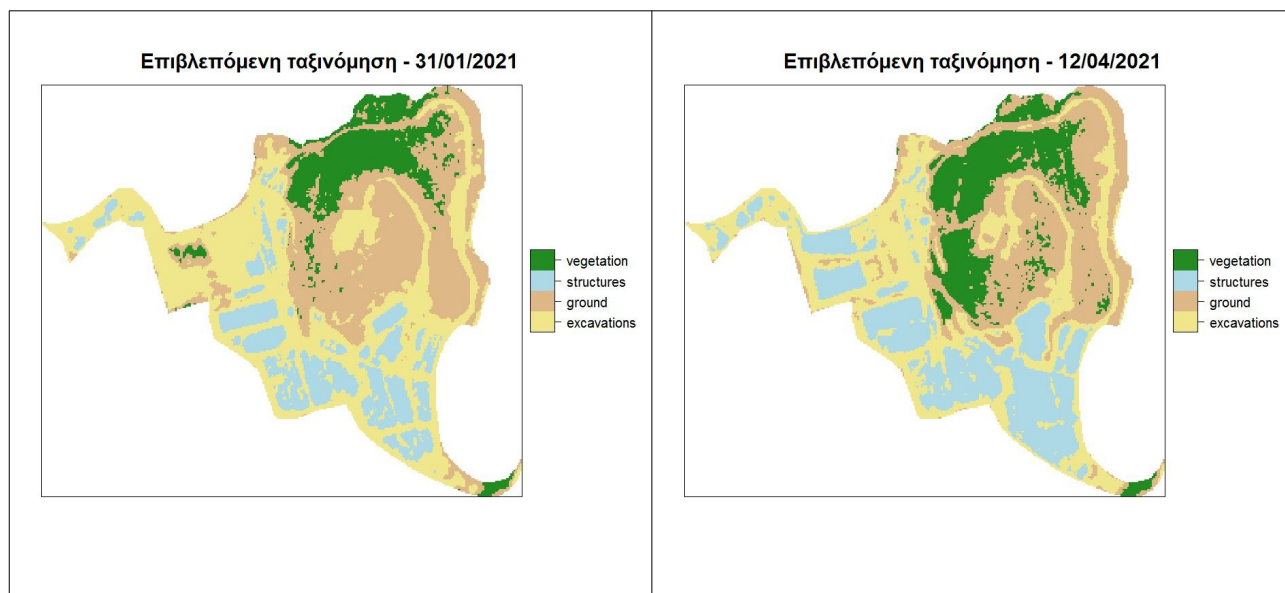
3η-4η, 18/01/2021: Μεγάλη άνοδο στις Εκσκαφές και πτώση των υπόλοιπων χρήσεων. Οι εργασίες προϋποθέτουν απεγκατάσταση καταλυμάτων και εσωτερική μεταφορά των κατοίκων για την διαμόρφωση του χώρου.



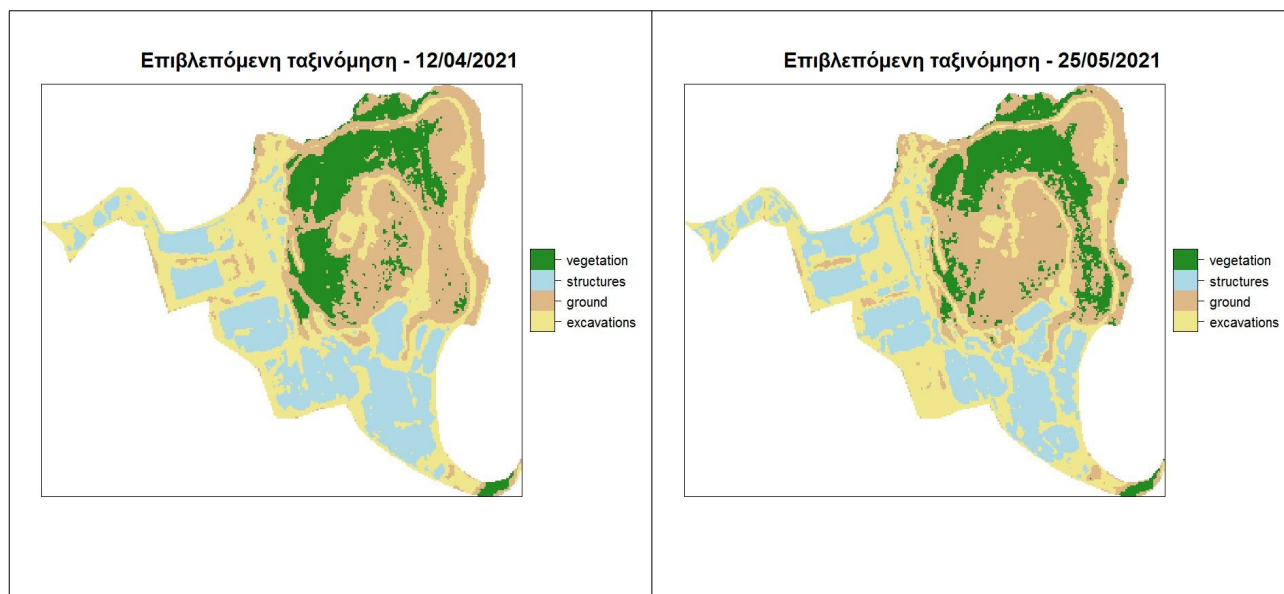
4η-5η, 31/01/2021: Μεγάλη άνοδο στις Εκσκαφές και πτώση των υπόλοιπων χρήσεων. Η διαδικασία της απεγκατάστασης καταλυμάτων συνεχίζεται με την συνέχιση των τεχνικών εργασιών.



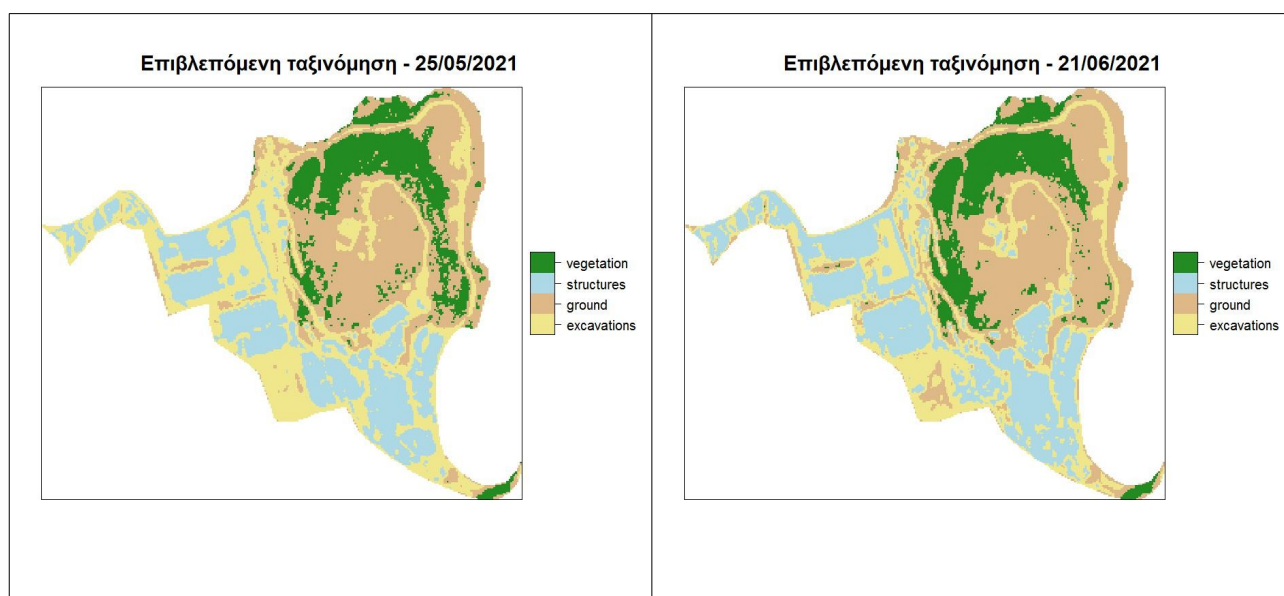
5η-6η, 12/04/2021: Μεγάλη πτώση των Εκσκαφών, πτώση Γυμνού Εδάφους και μεγάλη άνοδο στις Εγκαταστάσεις, καθώς και άνοδο της Βλάστησης. Μετά τον χειμώνα πιθανόν μεγάλο μέρος των τεχνικών εργασιών διαμόρφωσης να έχει ολοκληρωθεί, τα καταλύματα να επιστρέφουν στις αρχικές τους θέσεις, και η βλάστηση λόγω άνοιξης να αναπτύσσεται.



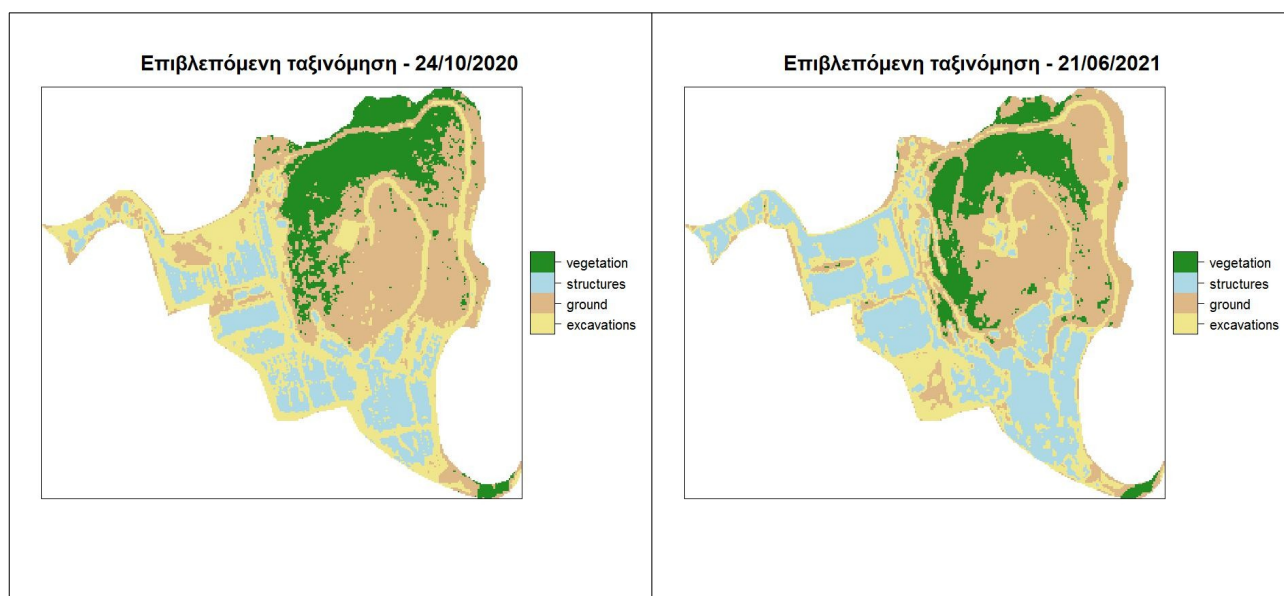
6η-7η, 25/05/2021: Μικρή άνοδο στο Γυμνό έδαφος και μικρή πτώση σε όλες τις άλλες χρήσεις γης. Η Βλάστηση λόγω φτωχού εδάφους αλλά και της επερχόμενης έλευσης του καλοκαιριού πιθανόν να έχει αφομοιωθεί με το Γυμνό έδαφος σε αρκετά σημεία. Οι Εκσκαφές και οι Εγκαταστάσεις παρουσιάζουν μικρή πτώση.



7η-8η, 21/06/2021: Μεγάλη πτώση των Εκσκαφών και μέτρια άνοδο Γυμνού εδάφους και Εγκαταστάσεων, μικρή πτώση Βλάστησης. Η Βλάστηση συνεχίζει να ξεραίνεται εμπλεκόμενη με το Γυμνό έδαφος, οι Εκσκαφές ολοκληρώνονται και χρησιμοποιούνται από τις Εγκαταστάσεις που παρουσιάζουν άνοδο.



1η – 8η, Συνολικά: Μέτρια μείωση Εκσκαφών και Βλάστησης, μικρή αύξηση Γυμνού εδάφους, μεγάλη αύξηση Εγκαταστάσεων. Η Βλάστηση όλους αυτούς τους μήνες δεν διαταράχθηκε σε μεγάλο βαθμό. Οι περισσότερες μεταβολές της πιθανόν να οφείλονται σε κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής, κατά τα οποία τους θερινούς μήνες ξεραίνεται η χαμηλή βλάστηση και η αλλαγή χρώματος την προσομοιάζει με το γυμνό/φτωχό έδαφος το οποίο ελαφρά έχει αυξηθεί. Οι Εκσκαφές έχουν μετά από έντονες διακυμάνσεις τελικά βρίσκονται ελαφρώς ελαττωμένες σε σχέση με την 1η ταξινόμηση λόγω ολοκλήρωσης των τεχνικών εργασιών. Οι εγκαταστάσεις παρουσίασαν σε όλο το διάστημα της ανάλυσης μεγάλη αύξηση λόγω της ολοκλήρωσης πιθανόν του κυρίου όγκου των εργασιών.



5.2 Συζήτηση

Η ανάλυση των δορυφορικών εικόνων αποτελεί μία εξειδικευμένη διαδικασία που προϋποθέτει γνώση αρκετών επιστημονικών αντικειμένων. Πέρα από τεχνικές εφαρμογής μεθοδολογιών ανάλυσης, μεγάλο ρόλο έχει η εμπειρία του αναλυτή. Η εμπειρία του στην ανάλυση, στον χώρο, στα φαινόμενα που εξελίσσονται. Το γεωγραφικό υπόβαθρο όλων των χωρικών μεταβλητών που επιχειρούνται να αναλυθούν, αποτελεί τον κύριο παράγοντα σφάλματος. Υπάρχουν πληροφορίες που δεν παρουσιάζονται εμφανώς στα δεδομένα. Τα δεδομένα δεν αποτελούν απλά μία ψηφιακή πληροφορία, αντιπροσωπεύουν πραγματικό χώρο, δυναμική παρουσία φαινομένων.

Ένα παράδειγμα είναι η συμπεριφορά της Βλάστησης που είδαμε προηγουμένως. Ενώ όλους τους χειμερινούς μήνες που εξελίσσονται οι τεχνικές εργασίες μειώνεται, την άνοιξη που ελαττώνονται οι τεχνικές εργασίες εμφανίζεται αυξημένη. Και στην όψιμη άνοιξη προς το καλοκαίρι, ενώ οι εργασίες έχουν ολοκληρωθεί, η Βλάστηση μειώνεται ξανά. Παρατηρώντας μόνο τα δεδομένα, μπορεί εύκολα να βγει το συμπέρασμα ότι οι Εγκαταστάσεις στον χώρο του ΚΥΤ οδήγησαν στην υποχώρηση της Βλάστησης κατά 11,5 στρέμματα (Πίνακας 6) στα οποία βρίσκονται πλέον οι Εγκαταστάσεις (+25,5 στρέμματα – Πίνακας 6). Κάτι τέτοιο όμως οδηγεί σε πλάνη, καθώς όπως

αναφέρθηκε παραπάνω, το έδαφος στο Μαυροβούνι είναι φτωχό και σκληρού βραχώδους υποστρώματος, με επίσης φτωχή βλάστηση. Οπότε με την έλευση του καλοκαιριού, που η βλάστηση λόγω μεσογειακού κλίματος κι έλλειψης νερού ξεραίνεται, αλλάζει χρώμα και προσομοιάζει με το Γυμνό έδαφος.

Στο σημείο αυτό μία καλή ερώτηση θα ήταν το πως μπορεί να ξέρει ο αναλυτής λεπτομέρειες για την περιοχή μελέτης. Η απάντηση είναι με επιτόπιες επισκέψεις, ή με προηγούμενο χαρτογραφικό θεματικό υλικό, ή και βιβλιογραφία, σχετικά με την περιοχή μελέτης. Και στις τρεις περιπτώσεις απαιτείται όμως εμπειρία αναλύσεων δορυφορικών δεδομένων, ώστε να εντοπιστούν τα σημαντικά στοιχεία που θα επηρεάσουν την ανάλυση της περιοχής, και να αποφευχθούν τα σφάλματα.

Ένα άλλο ζήτημα που χρειάζεται προσοχή είναι η σκίαση που εμφανίζεται στις δορυφορικές εικόνες, η οποία αλλοιώνει την φασματική συμπεριφορά των αντικειμένων εισάγοντας σφάλματα στις εικόνες (θόρυβος). Αν η εικόνα έχει ληφθεί μεσημβρινές ώρες όπου ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ τότε ελαττώνεται αυτό το φαινόμενο γιατί ο φωτισμός διαχέεται ομοιόμορφα στην επιφάνεια της γης. Φυσικά το φαινόμενο της σκίασης εξαρτάται και από την γεωμορφολογία της περιοχής αλλά και από τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν κατά την λήψη της εικόνας.

Στην παρούσα ανάλυση του KYT Μαυροβουνίου, επιλέχθηκαν τέσσερις κατηγορίες χρήσεων γης. Η κατηγορία Εγκαταστάσεις, περιελάμβανε όλες τις κατασκευές και δεν υπήρξε κάποια υποδιαίρεση της κατηγορίας αυτής. Η επιλογή αυτή, όπως ειπώθηκε και στην υποενότητα των Δεδομένων 4.1, σχετίζεται άμεσα με την Θεματική Διακριτική Ικανότητα των δορυφορικών εικόνων που καθορίστηκε στα 8,5 μέτρα. Μετά από επιτόπιο έλεγχο, ή από μετρήσεις του Χάρτη 1 που περιλαμβάνει μία υψηλής ανάλυσης εικόνα 0,5 μ, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των εγκαταστάσεων της περιοχής μελέτης έχουν διαστάσεις μικρότερες από 8,5 μέτρα. Αυτό σημαίνει ότι σε ενδεχόμενη διάκριση της κατηγορίας Εγκαταστάσεις σε δύο μικρότερες, λόγω της αδυναμίας διάκρισης των αντικειμένων που φέρουν διαφορετικές φασματικές ιδιότητες, το σφάλμα της ταξινόμησης θα αυξανόταν.

Η μεθοδολογία ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων OBIA, αποτελεί ένα σύνολο διεργασιών που συνδέει τους επιστημονικούς κλάδους του χώρου, της στατιστικής και της τεχνητής μάθησης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζουν υψηλό δείκτη ακρίβειας, και ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες των διεργασιών εντός της περιοχής μελέτης. Με την εξέλιξη των κλασικών υπολογιστικών εργαλείων και την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων αλγορίθμων εφαρμογής τους μέσω προγραμματισμού, μπορεί να αυτοματοποιηθεί και να βελτιωθεί η ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων. Σε συνδυασμό με την υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών εικόνων των τελευταίων ετών και την ολοένα ευκολότερη πρόσβαση σ' αυτές, μπορούν να πραγματοποιηθούν ταξινομήσεις υψηλής χωρικής ανάλυσης με χαμηλή θεματική διακριτική ικανότητα που μπορεί να υποστηρίξει λεπτομερείς κατηγορίες χρήσεων γης ή και μεμονωμένα αντικείμενα.

Βιβλιογραφία

- Μηλιαρέσης Γεώργιος, “Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση, εκδόσεις Ίων, 2009
- Μερτίκας Στέλιος, “Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας”, εκδόσεις Ίων, 2009
- Καρτάλης Κώστας – Φείδας Χαράλαμπος, “Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης”, εκδόσεις Τζιόλα, 2013
- Κάρλες Παναγιώτης, “Σύγκριση αλγορίθμων Machine Learning για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση τηλεπισκοπικών δεδομένων”, πτυχιακή εργασία - Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2018
- Gonzalez Rafael – Woods Richard, “Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας”, εκδόσεις Τζιόλα, 2010
- Campbell James – Wynne Randolph, “Introduction to Remote Sensing”, The Guilford Press, 2011
- Breiman Leo et al, “Classification and Regression Trees”, Chapman & Hall/CRC, 1984
- De’ ath Glenn- Fabricius Katharina, “Classification and Regression Trees: A powerful yet simple technique for the analysis of complex ecological data”, article in Ecology, 2000
- Congalton Russell, “A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, REMOTE SENSING ENVIRONMENT 37:35, 1991
- CRAN R-project documentation (<https://cran.r-project.org/>), “caret: Classification and Regression Training”
- CRAN R-project documentation (<https://cran.r-project.org/>), “rpart”
- CRAN R-project documentation (<https://cran.r-project.org/>), “confusionTableR”, 2021