



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Π.Μ.Σ. « ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ
ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



« Ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη διερεύνηση αλλαγών σε χρήσεις/κάλυψη γης με τη χρήση τηλεπισκόπησης και G.I.S. (Περιοχές μελέτης νήσος Λέσβος και νήσος Λήμνος)»

Τσιοτσιόπουλος Στάθης

Επιβλέπων καθηγητής: Δημητρακόπουλος Παναγιώτης

Συνεπιβλέπων καθηγητής: Κοντός Θεμιστοκλής

Μυτιλήνη, Απρίλιος 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι διαχρονικές αλλαγές σε χρήσεις / κάλυψη γης κατόπιν φυσικών αιτιών ή ανθρωπογενών παραγόντων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ζήτημα των περιβαλλοντικών επιστημών και της περιβαλλοντικής πολιτικής.

Η μελέτη των διαδικασιών αυτών έχει εξελιχτεί αρκετά τα τελευταία χρόνια με την χρησιμοποίηση της τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π./ G.I.S.).

Στην παρούσα μελέτη τέθηκε ως στόχος η ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη διερεύνηση των αλλαγών σε χρήσεις/κάλυψη γης, η οποία συνδυάζει τα δύο αυτά εργαλεία. Οι περιοχές που επιλέχθηκαν για τη μελέτη ήταν το νησί της Λέσβου και το νησί της Λήμνου, με σημαντικότερη αιτία την αντίθεση που παρουσιάζουν ως προς την ετερογένεια του τοπίου τους.

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους δορυφόρους Landsat 5 και Landsat 8 σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους για την κάθε περιοχή. Κατόπιν προεπεξεργασίας των δεδομένων με τη χρήση λογισμικού G.I.S., πραγματοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση μέσω του αλγορίθμου μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood), ποιοτικός και ποσοτικός έλεγχος, και διαδικασίες μεταταξινόμησης (επαναδειγματοληψία μέσω της εγγύτερης γειτνίασης). Τέλος πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις μεταξύ των τελικών χαρτών για την ανεύρεση αλλαγών.

Για τον ορισμό των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο η κατηγοριοποίηση που προτείνει το πρόγραμμα Corine, με χάρτες του οποίου έγινε επίσης σύγκριση για τον έλεγχο της ταξινόμησης.

Η διαδικασία της επαναδειγματοληψίας μέσω της τεχνικής της εγγύτερης γειτνίασης επιφέρει μια «εξομάλυνση» των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, και προσφέρει την δυνατότητα για μια πιο εύκολη και συνολική ανάγνωση των χαρτών, αποφεύγοντας την ανάλυση στο χωρικό πλαίσιο του κάθε εικονοστοιχείου.

Στην περίπτωση της Λέσβου το ποσοστό αλλαγών ανάμεσα στους δύο τελικούς χάρτες βρέθηκε στο 16% με συντελεστή kappa στο 0,69, ενώ για την περίπτωση της Λήμνου οι αλλαγές είναι της τάξης του 13% με συντελεστή kappa 0,75.

Η μεθοδολογία φαίνεται πως αποδίδει το στόχο της, αλλά θα μπορούσε να ειπωθεί πως τα τελικά αποτελέσματα ίσως να μην ανταποκρίνονται ακριβώς στην

πραγματικότητα. Η χρήση δεδομένων μέσης χωρικής ανάλυσης, η δυσκολία επιλογής των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης προς ταξινόμηση, η έντονη ετερογένεια του τοπίου (Λέσβος) καθώς και η μεγάλη έκταση των περιοχών μελέτης, αποτελούν τα πιθανότερα αίτια που οδήγησαν σε αυτά τα αποτελέσματα.

Abstract

The intertemporal changes in land uses/land cover due to natural causes or anthropogenic factors, constitute a very critical issue for environmental science and environmental policy.

The study of these processes has developed enough in the past few years thanks to the use of Remote Sensing and of Geographical Information Systems(G.I.S.).

Objective of this study was the formulation of a methodology, which uses both Remote Sensing and G.I.S., in order to detect changes of land uses and land cover. The chosen areas of the study were the island of Lesbos and the island of Lemnos, due to the contrast they show in the heterogeneity of their landscape.

Carrying out the aim of this study, remote sensing data from Landsat 5 and Landsat 8 in two different time periods were used. After the step of data pre-processing, it was performed supervised classification with use of the maximum likelihood algorithm. It was also performed qualitative and quantitative control, as well as some post-classification processes (such as resampling via the nearest neighbor technique). At last the final maps were compared in order to detect changes.

Corine Land Cover nomenclature was used for the chosen land uses/ land cover classes and also Corine maps were used in order to check the classification results.

The process of resampling via the technique of nearest neighbor, clarifies the results of classification, and gives the opportunity for an easier and wider analysis, avoiding the pixel-by-pixel analysis.

In the case of Lesbos, the confusion matrix which was performed, showed a 16% of change with kappa coefficient up to 0,69. For Lemnos the change was 13% and kappa was 0,75.

The formulation of methodology seems that works, but it can be told that the final results maybe do not correspond exactly to reality. The use of data with medium spatial resolution, the difficulties to decide the right classes, the high heterogeny of landscape in Lesvos and the high-expanded area of the study are the most likely reasons about the results.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	10
1.1 Η έννοια του Τοπίου.....	10
1.2 Κάλυψη εδάφους/ Χρήση γης.....	10
1.2.1 Αλλαγές σε χρήσεις/κάλυψη γης	11
1.3 Τηλεπισκόπηση	12
1.3.1 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση	14
1.3.2 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία.....	15
1.3.3 Συστήματα Τηλεπισκόπησης.....	18
Παθητικά	18
Ενεργητικά.....	18
1.3.4 Διακριτική ικανότητα	18
1.5 Δορυφόροι.....	19
1.5.1 Γεωστατικοί δορυφόροι.....	20
1.5.2 Δορυφόροι Πολικής τροχιάς(ηλιοσύγχρονοι).....	20
1.6 Δορυφόροι Landsat	22
1.6.1 Landsat 5	23
1.6.2 Landsat 7	24
1.6.3 Landsat 8	26
1.7 ΓΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (Γ.Σ.Π.) / GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (G.I.S.)	27
1.7.1 Η χρήση των Γ.Σ.Π. στην αναγνώριση χρήσης/κάλυψης γης.....	29
1.8 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	30
1.8.1 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση	30
1.8.2 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	31
1.9 Το πρόγραμμα Corine	31
1.9.1 Η ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ CORINE	34
2. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	37
2.1 Λέσβος.....	37
2.2 Λήμνος.....	39
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	41

3.1 Επιλογή Δεδομένων	44
3.1.1 Λέσβος.....	44
3.1.2 Λήμνος.....	46
3.2 Προεπεξεργασία Δεδομένων	48
3.2.1 Γεωμετρική Διόρθωση.....	48
3.2.2 Ραδιομετρική διόρθωση	48
3.2.3 Συγχώνευση Καναλιών	49
3.4 ΕΠΑΝΑΠΡΟΒΟΛΗ (RE-PROJECTION) ΠΡΟΒΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ / ΑΠΟΚΟΠΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ.....	52
3.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	53
3.6 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση	53
3.6.1 Λέσβος.....	53
3.6.2 Λήμνος.....	60
3.7 Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης.....	65
3.7.1 Λέσβος.....	66
3.7.2 Λήμνος.....	74
3.8 Σύγκριση ταξινόμησης με Corine	82
3.8.1 Λέσβος.....	85
3.8.2 Λήμνος.....	88
3.9 Εντοπισμός αλλαγών χρήσης/ κάλυψης γης	90
3.9.1 Λέσβος.....	91
3.9.2 Λήμνος.....	95
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	100
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	103

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Περιοχές φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	16
Εικόνα 2: Καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας	17
Εικόνα 3: Φασματική ανακλαστικότητα για νερό, βλάστηση και έδαφος.....	17
Εικόνα 4: Δορυφορική εικόνα με φυσικό χρώμα για τη Λέσβο 2011	37
Εικόνα 5: Δορυφορική εικόνα με φυσικό χρώμα για τη Λήμνο(2013).....	39
Εικόνα 6: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας.....	43
Εικόνα 7: Λέσβος 25-10-1984	45
Εικόνα 8: Λέσβος 15-10-2015	46
Εικόνα 9: Λήμνος 31-05-1986	47
Εικόνα 10: Λήμνος 25-05-2013	48
Εικόνα 11: Κανάλια 2,3,4 και 5 του Landsat 8	50
Εικόνα 12: Αποτέλεσμα συγχώνευσης καναλιών	51
Εικόνα 13: Συγχωνευμένα κανάλια των υπολοίπων ημερομηνιών.....	52

Εικόνα 14:Φωτοερμηνευτικό πρότυπο i)αστικής οικοδόμησης ii)αεροδρομίου Χρήση συνδυασμού καναλιών 5-4-3 (Landsat 8).....	55
Εικόνα 15: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για ελαιώνες i) και ii) Χρήση συνδυασμού καναλιών 3-2-1 (Landsat 5).....	56
Εικόνα 16: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο ετερογενούς γεωργικής περιοχής i) με συνδυασμό 6-5-2 και ii) με συνδυασμό 4-3-2 (Landsat 8).....	56
Εικόνα 17: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο i) Δάσος Κωνοφόρων και ii) Δάσος Πλατύφυλλων Χρήση συνδυασμού καναλιών 3-2-1 (Landsat 5).....	57
Εικόνα 18: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για φυσικούς βοσκότοπους i) με συνδυασμό 4-3-2 (Landsat 8) ii) με συνδυασμό 3-2-1 Landsat 5	57
Εικόνα 19: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για σκληροφυλλική βλάστηση i) με συνδυασμό 4-3-2 (Landsat 8) ii) με συνδυασμό 3-2-1 (Landsat 5)	58
Εικόνα 20: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για αλυκές (κατηγορία νερό) με συνδυασμό καναλιών 4-3-2 (Landsat 5) για το i) και 5-4-3 (Landsat 8) για το ii).....	58
Εικόνα 21:Δειγματοληψία Λέσβος 1984.....	59
Εικόνα 22:Δειγματοληψία Λέσβος 2015.....	59
Εικόνα 23:Κατηγορίες για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τον αντίστοιχο χρωματισμό...	60
Εικόνα 24: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο i) και ii) για Αστικό περιβάλλον με συνδυασμό καναλιών 7-6-4 (Landsat 8)	61
Εικόνα 25: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για i) μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη και ii) ετερογενείς γεωργικές περιοχές με συνδυασμό καναλιών 6-5-2 (Landsat 8).....	62
Εικόνα 26: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για i) Φυσικούς βοσκότοπους με συνδυασμό 3-2-1 (Landsat 5) ii) Φυσικούς βοσκότοπους με συνδυασμό 4-3-2 (Landsat 8) iii) Αμμόλοφους-Αμμουδιές με συνδυασμό 3-2-1 (Landsat 5)	62
Εικόνα 27: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για Λιμνοθάλασσες (πράσινο περίγραμμα) και βάλτους (πορτοκαλί περίγραμμα) i) με συνδυασμό 4-3-2 (Landsat 5) ii) με συνδυασμό 5-4-3 (Landsat 8)	63
Εικόνα 28:Δειγματοληψία Λήμνος 1986.....	63
Εικόνα 29:Δειγματοληψία Λήμνος 2013.....	64
Εικόνα 30:Κατηγορίες για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τον αντίστοιχο χρωματισμό...	64
Εικόνα 31:Ταξινομημένος χάρτης για τη Λέσβο 1984	66
Εικόνα 32:Ταξινομημένος χάρτης για τη Λέσβο 2015	66
Εικόνα 33: i) Λανθασμένη ταξινόμηση αστικής περιοχής ii) Επικάλυψη κατηγοριών iii) Διάσπαρτα pixels.....	67
Εικόνα 34:Έλεγχος πιθανότητας επιτυχούς ταξινόμησης για τη Λέσβο (1984)	68
Εικόνα 35:Έλεγχος πιθανότητας επιτυχούς ταξινόμησης για τη Λέσβο	69
Εικόνα 36:Επαναδειγματοληψία Λέσβος 1984	70
Εικόνα 37:Επαναδειγματοληψία Λέσβος 2015	71
Εικόνα 38:Κατηγορίες που παραμένουν δυσδιάκριτες i) και ii)	71
Εικόνα 39:Τελικός χάρτης Λέσβου με ομαδοποιημένες κατηγορίες για το 1984	72
Εικόνα 40:Τελικός χάρτης Λέσβου με ομαδοποιημένες κατηγορίες για το 2015	73
Εικόνα 41: Ταξινομημένος χάρτης για τη Λήμνο 1984	74
Εικόνα 42:Ταξινομημένος χάρτης για τη Λήμνο 2013	75
Εικόνα 43: i) pixels για βάλτους σε κορυφογραμμή λόφου (1984) ii) παράδειγμα σύγχυσης κατηγοριών iii) εμφάνιση pixels βάλτων στην περιοχή του αεροδρομίου(2013) iv) ίδια περιοχή με το i) μόνο που τώρα εμφανίζονται ως αστικές περιοχές (2013)	76
Εικόνα 44:Έλεγχος πιθανότητας επιτυχούς ταξινόμησης για τη Λήμνο (1986)	77
Εικόνα 45:Έλεγχος πιθανότητας επιτυχούς ταξινόμησης για τη Λήμνο (2013)	78

Εικόνα 46: Επαναδειγματοληψία Λήμνος 1984	79
Εικόνα 47: Επαναδειγματοληψία Λήμνος 2013	80
Εικόνα 48: Τελικός χάρτης Λήμνου με ομαδοποιημένες κατηγορίες για το 1984	81
Εικόνα 49: Τελικός χάρτης Λήμνου με ομαδοποιημένες κατηγορίες για το 2013	81
Εικόνα 50: Χάρτης Corine για τη Λέσβο 2012	85
Εικόνα 51: i) Ακτογραμμή σύμφωνα με Corine ii) Ακτογραμμή σύμφωνα με ταξινόμηση iii) Κόλπος Καλλονής σύμφωνα με Corine iv) Κόλπος Καλλονής σύμφωνα με ταξινόμηση (Λέσβος)	86
Εικόνα 52: Πίνακας εξαγωγής συμφωνίας (Λέσβος)	87
Εικόνα 53: i) Αεροδρόμιο σύμφωνα με ταξινόμηση ii) Αεροδρόμιο σύμφωνα με Corine (Λέσβος)	87
Εικόνα 54: Χάρτης Corine για Λήμνο 2012	88
Εικόνα 55: i) και iii) Corine ii) και iv) Ταξινόμηση	89
Εικόνα 56: i) Περιοχή αεροδρομίου σύμφωνα με την ταξινόμηση ii) Περιοχή αεροδρομίου σύμφωνα με Corine	90
Εικόνα 57: i) 1984 ii) 2015 Λέσβος	92
Εικόνα 58: i) και iii) αφορούν το 1984 ενώ ii) και iv) το 2015	93
Εικόνα 59: Χάρτης συνολικών αλλαγών στη Λέσβο για την περίοδο 1984-2015	94
Εικόνα 60: Αλλαγές- μη αλλαγές στη Λέσβο για την περίοδο 1984-2015	95
Εικόνα 61: i) 1986 ii) 2013	96
Εικόνα 62: i) Ταξινόμηση 1986 ii) Ταξινόμηση 2013 iii) Περιοχή αεροδρομίου 1986 με συνδυασμό φυσικού χρώματος 3-2-1 (Landsat 5) iv) Περιοχή αεροδρομίου 2013 με συνδυασμό φυσικού χρώματος 4-3-2 (Landsat 8)	97
Εικόνα 63: i) 1986 ii) 2013	98
Εικόνα 64: Χάρτης συνολικών αλλαγών στη Λήμνο για την περίοδο 1986-2013	99
Εικόνα 65: Αλλαγές- μη αλλαγές στη Λήμνο για την περίοδο 1986-2013	100

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Κανάλια δορυφόρου Landsat 5	24
Πίνακας 2: Κανάλια δορυφόρου Landsat 7	25
Πίνακας 3: Πιθανοί συνδυασμοί καναλιών για τον δορυφόρο Landsat 7	25
Πίνακας 4: Κανάλια δορυφόρου Landsat 8	26
Πίνακας 5: Πιθανοί συνδυασμοί καναλιών για τον δορυφόρο Landsat 8	27
Πίνακας 6: Εξέλιξη του CLC (Πηγή : http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover)	34
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά 1ης εικόνας	44
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά 2ης εικόνας	45
Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά 3ης εικόνας	46
Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά 4ης εικόνας	47
Πίνακας 11: Αποτελέσματα ελέγχου ταξινόμησης (Λέσβος 1984)	68
Πίνακας 12: Αποτελέσματα ελέγχου ταξινόμησης (Λέσβος 2015)	69
Πίνακας 13: Αποτελέσματα ελέγχου ταξινόμησης (Λήμνος 1986)	77
Πίνακας 14: Αποτελέσματα ελέγχου ταξινόμησης (Λέσβος 2013)	78
Πίνακας 15: Ενδεχόμενα διαφοροποίησης κατηγοριών	82
Πίνακας 16: Αναλυτική κωδικοποίηση διαφοροποιήσεων	83
Πίνακας 17: Παράδειγμα συντελεστή kappa	84
Πίνακας 18: Αξιοπιστία τιμών συντελεστή kappa	84
Πίνακας 19: Pixels ανά κατηγορία (Corine-Λέσβος)	85

Πίνακας 20: Pixels ανά κατηγορία (ταξινόμηση-Λέσβος).....	85
Πίνακας 21: Pixels ανά κατηγορία Corine (Λήμνος)	88
Πίνακας 22:Pixels ανά κατηγορία ταξινόμηση (Λήμνος)	88
Πίνακας 23: Πίνακας εξαγωγής συμφωνίας (Λήμνος).....	89
Πίνακας 24: Pixels ανά κατηγορία χαρτών Λέσβου	91
Πίνακας 25: Εξαγωγή συμφωνίας για Λέσβο 1984-2015	91
Πίνακας 26: Αναλυτικές διαφοροποιήσεις και pixels Λέσβος 1984-2015.....	94
Πίνακας 27: Pixels ανά κατηγορία χαρτών Λήμνου	95
Πίνακας 28: Εξαγωγή συμφωνίας Λήμνος 1986-2013.....	96
Πίνακας 29: Συνολικές διαφοροποιήσεις και pixels Λήμνος 1986-2013.....	98

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διαχρονικές αλλαγές σε χρήσεις / κάλυψη γης κατόπιν φυσικών αιτιών ή ανθρωπογενών παραγόντων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ζήτημα των περιβαλλοντικών επιστημών και της περιβαλλοντικής πολιτικής.

Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης συμβάλλει καταλυτικά στην καταγραφή και παρακολούθηση των αλλαγών αυτών και σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο λήψης αποφάσεων.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας η οποία αποσκοπεί στην ανεύρεση αλλαγών σε χρήσεις/κάλυψη γης, χρησιμοποιώντας τηλεσκοπικά δεδομένα και G.I.S.

Στο 1^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση για όρους όπως η οι χρήσεις και η κάλυψη γης, η τηλεπισκόπηση, οι δορυφόροι και το ιστορικό των Landsat μαζί με τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους, τα G.I.S. καθώς και το πρόγραμμα Corine. Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι περιοχές μελέτης ενώ στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση και η ανάπτυξη της μεθοδολογίας καταλήγοντας στα αποτελέσματα, τους τελικούς χάρτες και τη διερεύνηση αλλαγών σε χρήσεις/κάλυψη γης. Τέλος στο 4^ο κεφάλαιο ακολουθούν η συζήτηση και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την όλη διαδικασία.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1 Η έννοια του Τοπίου

Σύμφωνα με τους Green et al το 1996 η έννοια του τοπίου ορίζεται ως « μια συγκεκριμένη διαμόρφωση του τοπογραφικού ανάγλυφου, της κάλυψης της βλάστησης, της χρήσης γης και της χωροδιάταξης των οικισμών που περικλείει σαφείς φυσικές και πολιτιστικές διαδικασίες και δραστηριότητες». Επομένως το τοπίο αποτελεί ένα μωσαϊκό στοιχείων αλληλοεξαρτώμενων μεταξύ τους, όπου οποιαδήποτε αλλαγή ενός εξ'αυτών θα προκαλέσει διαταραχή της εκάστοτε ισορροπίας (Τάσιου 2012).

Σημαντικό ρόλο στη διερεύνηση της εξέλιξης του τοπίου έχει η αναγνώριση και καταγραφή των διαχρονικών αλλαγών της χρήσης και κάλυψης της γης (Χουβαρδάς 2007).

1.2 Κάλυψη εδάφους/ Χρήση γης

Συχνά δημιουργείται σύγχυση μεταξύ των εννοιών κάλυψη εδάφους και χρήση γης. Πολλές φορές μάλιστα ο όρος χρήση γης χρησιμοποιείται λανθασμένα για να περιγράψει κάποιο σύνολο δεδομένων, το οποίο στην πραγματικότητα αποτελεί ένα μίγμα από στοιχεία και των δύο παραπάνω εννοιών.

Με τον όρο κάλυψη εδάφους αναφερόμαστε στη βιοφυσική κατάσταση της γήινης επιφάνειας και του άμεσου υποστρώματος της (Turner et al.1995). Η εδαφοκάλυψη αναφέρεται στην ουσία στον τύπο βλάστησης που καλύπτει την επιφάνεια της γης, τις ανθρώπινες κατασκευές και διάφορους τύπους του φυσικού περιβάλλοντος, όπως πετρώματα, βιοποικιλότητα ή επιφανειακά νερά(Moser 1996). Ο διεθνής Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) το 1994 ορίζει την κάλυψη του εδάφους ως τη βλάστηση (φυσική ή καλλιεργούμενη), τις ανθρώπινες κατασκευές αλλά συμπεριλαμβάνει επίσης τις υδάτινες επιφάνειες, πάγους, γυμνό έδαφος και βραχώδεις σχηματισμούς.

Η χρήση γης εν αντιθέσει αποτελεί στην ουσία μια περιγραφή για την κοινωνικοοικονομική δραστηριότητα και για το πώς οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τη γη. Το αστικό δίκτυο καθώς και η αγροτική χρήση της γης, είναι δύο από τις πιο αναγνωρισμένες και συνηθέστερες χρήσεις (Fischer et al.2005). Το Συμβούλιο της

Καλιφόρνια το 1973 (California Council on Intergovernmental Relation 1973) όρισε τη χρήση γης ως την κατοχή ή διασφάλιση οποιασδήποτε χερσαίας ή υδάτινης επιφάνειας για κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα και για οποιοδήποτε προκαθορισμένο σκοπό . Σύμφωνα με τον Meyer το 1995 ο όρος χρήση γης περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο και το σκοπό για τον οποίο, οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το έδαφος και τους πόρους του. Σύμφωνα με αυτό θα μπορούσαμε να πούμε πως μια χρήση γης αποτελεί μια σειρά δραστηριοτήτων που συντελούνται για την παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών.

Η στενή σχέση που συνδέει αυτές τις δύο έννοιες, δημιουργεί αρκετές φορές σύγχυση όσον αφορά τη χρησιμοποίησή τους. Η εδαφοκάλυψη αποτελεί την απόδειξη της χρήσης γης σε μια περιοχή ανεξαρτήτως ύπαρξης βλάστησης (Καρτέρης, 1991). Επιπλέον, σύμφωνα με τον ίδιο η χρήση γης δίνει έμφαση στις οικονομικές δραστηριότητες της περιοχής, κάτι που δε συμβαίνει με την κάλυψη εδάφους η οποία εστιάζει στις φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες της γήινης επιφάνειας. Θα μπορούσαμε να πούμε λοιπόν πως μια αλλαγή στη χρήση γης ενδέχεται να επιφέρει αλλαγή και στη εδαφοκάλυψη, ενώ αντιθέτως η εδαφοκάλυψη μπορεί να αλλάξει ακόμη και εάν η χρήση παραμείνει η ίδια (Turner et al 1995). Επιπλέον όπως προσθέτουν οι Turner και Mayer το 1994, μια μονάδα χρήσης γης μπορεί να αντιστοιχηθεί με μια κατηγορία εδαφοκάλυψης, ενώ μια κατηγορία εδαφοκάλυψης, ενδέχεται να έχει πολλαπλές χρήσεις.

Στην παρούσα εργασία από εδώ και στο εξής θα γίνεται αναφορά στις παραπάνω κατηγορίες ως χρήση/κάλυψη γης για την αποφυγή τυχόν παρερμηνειών, όπως αυτές που αναφέρθηκαν.

1.2.1 Αλλαγές σε χρήσεις/κάλυψη γης

Τα τοπία μπορούν να αλλάξουν δεχόμενα την επίδραση πολλών παραγόντων, φυσικών ή ανθρωπογενών. Φυσικά φαινόμενα όπως πλημμύρες, φωτιά κλπ. και ανθρωπογενή όπως εγκατάλειψη γης, υλοτομία, αστική ανάπτυξη κλπ. (Farina 1998).

Σύμφωνα με τον Angelsen το 1999 ενδεχόμενη αλλαγή στη χρήση και κάλυψη της γης, δύναται να επηρεάσει πολλά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά όπως την ποιότητα

των φυσικών πόρων, των υδάτων, του εδάφους, την κατανομή του ζωικού και φυτικού πληθυσμού επομένως και τη συνολική λειτουργία του οικοσυστήματος. Η διερεύνηση λοιπόν των αιτιών και των αποτελεσμάτων, αλλά και η συνολικότερη γνώση γύρω από τη χρήση και κάλυψη της γης, είναι απαραίτητη για τη διαχείριση των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της γης, ανεξαρτήτως κλίμακας (Bankov 1998).

Μια ακόμη άποψη όπως διατυπώθηκε από την Briassoulis το 2000 είναι πως οι παράγοντες της εξέλιξης στη χρήση και κάλυψη γης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : i) σε βιοφυσικούς παράγοντες (κλίμα, γεωμορφολογικές διαδικασίες, διαθεσιμότητα πόρων κ.α.) και ii) σε κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες (δημογραφία, βιομηχανία, εμπόριο, κοινωνία κ.α.).

Η παρακολούθηση των αλλαγών σε χρήση/κάλυψη γης και η εκτίμηση των επιπτώσεων τους, κρίνεται απαραίτητη και εξυπηρετεί την ορθή λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση του περιβάλλοντος. Η δυνατότητα παρακολούθησης των μεταβολών αυτών σε βάθος χρόνου, παρέχει ένα πλαίσιο εφαρμογής οικολογικών ερευνών και σωστού σχεδιασμού πολιτικών διαχείρισης (Papastergiadou et al. 2008).

Οι διαχρονικές αλλαγές που προκαλούνται σε μια περιοχή, ανιχνεύονται με τη χρήση δορυφορικών εικόνων και παρουσιάζονται με την επεξεργασία τους από τις σύγχρονες μεθόδους της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Τηλεπισκόπηση και G.I.S. προσφέρουν τη δυνατότητα ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου μοντέλου παρακολούθησης των φυσικών οικοσυστημάτων (Καρτέρης 2004).

1.3 Τηλεπισκόπηση

Το Εθνικό Κέντρο τηλεπισκόπησης της Αγγλίας (NRSC) ορίζει την τηλεπισκόπηση ως επιστήμη απόκτησης και ανάλυσης πληροφοριών που αφορούν το περιβάλλον της γης, μέσω ανιχνευτών που δε βρίσκονται σε φυσική επαφή με το περιβάλλον. Κατά τον Mather το 1991 και σε μια πιο στενή προσέγγιση, «η τηλεπισκόπηση του περιβάλλοντος περιλαμβάνει μέτρηση και αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα. Η μέτρηση γίνεται από σημείο πάνω από την επιφάνεια της γης και ακολουθεί ο συσχετισμός αυτών των μετρήσεων με τη φύση και την κατανομή των υλικών της επιφάνειας της γης και των συνθηκών της ατμόσφαιρας».

Σύμφωνα με τον Μέρτικα το 2006 η τηλεπισκόπηση αναλύεται σε τρία τμήματα: α) τους στόχους που συνιστούν τα υπό μελέτη αντικείμενα ή φαινόμενα β) τη συλλογή δεδομένων μέσω ειδικών οργάνων και γ) την ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων.

Η τηλεπισκόπηση ως μεθοδολογία συλλογής και επεξεργασίας περιβαλλοντικών στοιχείων, παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με αντίστοιχες μεθοδολογίες, όσον αφορά το κόστος, τον χρόνο, την αξιοπιστία των παρεχόμενων στοιχείων και τη δυνατότητα διαχρονικής παρακολούθησης των υπό μελέτη φαινομένων (Μανιάτης 1996).

Πιο αναλυτικά σύμφωνα με τους Γήτα και Συλλαίο το 2007, τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης σε σύγκριση με άλλες μεθόδους συλλογής δεδομένων είναι τα εξής:

- Δυνατότητα χωρικής αντίληψης και προσέγγισης (χρήσιμο για μεγάλες και δύσβατες περιοχές
- Ταχύτητα κάλυψης μεγάλων περιοχών
- Συνοπτική απεικόνιση μεγάλων περιοχών κάτι το οποίο δίνει τη δυνατότητα την ταυτοποίηση βιοφυσικών στοιχείων
- Διαχρονικές λήψεις από τους δορυφόρους που δίνουν την ευκαιρία για συγκρίσεις και μελέτη των δυναμικών φαινομένων
- Η λήψη εικόνων σε διαφορετικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, η οποία καθιστά εφικτή την αναγνώριση των διαφορών μεταξύ των βιοφυσικών στοιχείων της επιφάνειας

Όσον αφορά τον τομέα των περιβαλλοντικών εφαρμογών, η δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελεί σημαντικό εργαλείο και χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για χαρτογράφηση των αλλαγών στην κάλυψη της γης (Ρετάλης 2003). Κατά τον ίδιο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα η μεγάλη συχνότητα και ακρίβεια της συλλογής των δεδομένων, τα οποία παρέχουν πληροφορίες για τα φασματικά χαρακτηριστικά των στοιχείων κάλυψης γης, το χώρο, το σχήμα και το μέγεθος.

Πέραν των δορυφορικών δεδομένων, τα οποία είναι διαθέσιμα από το 1972 και έπειτα, η φωτοερμηνεία ιστορικών αεροφωτογραφιών, αποτελεί μια κοινώς

αναγνωρισμένη και πολύ σημαντική πηγή πληροφοριών στη διερεύνηση της δυναμικής των φυσικών οικοσυστημάτων (Mallinis et al. 2011).

Η τηλεπισκόπηση συνδυάζει στοιχεία από διάφορες επιστήμες και η χρήση και εφαρμογή της συναντάται στην παρατήρηση και αντιμετώπιση πολλών φαινομένων στη γη και όχι μόνο. Ορισμένα φαινόμενα και αντικείμενα που μελετά είναι: (Αργιαλάς 2000)

- Καιρικές και κλιματικές αλλαγές
- Είδη βλάστησης
- Πηγές ρύπανσης
- Χαρτογράφηση βιοφυσικών παραμέτρων
- Ανιχνεύσεις μεταβολών κάλυψης/χρήσης γης
- Γεωμορφολογία και ανάγλυφο
- Ανίχνευση φυσικών καταστροφών
- Υδάτινοι πόροι

1.3.1 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση

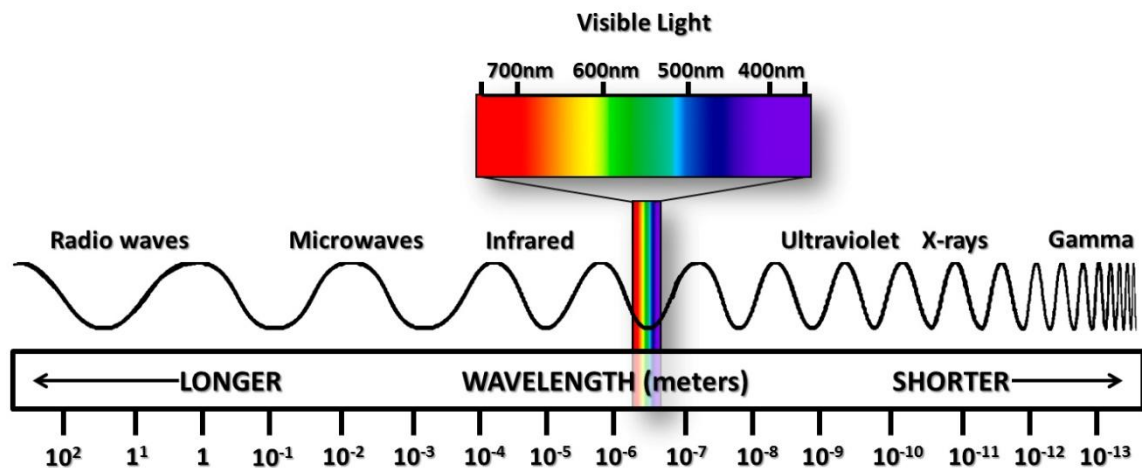
Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης αξιοποιεί ποιοτική και ποσοτική πληροφορία την οποία λαμβάνει από δορυφορικούς δέκτες, αεροφωτογραφίες, επίγειες παρατηρήσεις, ραντάρ καθώς και όσα αναφέρονται σε θεματικούς χάρτες, όπως τοπογραφικούς, εδαφολογικούς και γεωλογικούς. Η πιο σύγχρονη αλλά και συνηθέστερη μέθοδος τηλεπισκόπησης είναι μέσω της δορυφορικής τεχνολογίας (Περάκης 2015). Η δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία όσον αφορά τη συλλογή χωρικών πληροφοριών για την κατάσταση του περιβάλλοντος, σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου, γρήγορα, επαναλαμβανόμενα και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες παρακολούθησης (Hill..).

Η παράμετρος η οποία εξετάζεται πιο σχολαστικά στις διαδικασίες τηλεπισκόπησης, είναι η αυτή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας η οποία εκπέμπεται ή ανακλάται από τα διάφορα αντικείμενα παρατήρησης. Μέσω της τηλεπισκόπησης δίνεται η δυνατότητα συλλογής της ακτινοβολίας σε μια μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος σε συνδυασμό με το ότι η κατανομή της ακτινοβολίας

κάθε σώματος σε διάφορα μήκη κύματος, είναι ενδεικτική της φυσικής και χημικής του κατάστασης (Slater 1980). Αυτή η φασματική υπογραφή είναι χαρακτηριστική για κάθε σώμα ή χημική ένωση και δίνει τη δυνατότητα να διακρίνουμε π.χ. το χιόνι από το νερό, τη βλάστηση από το έδαφος κ.α. (Lo 1986). Οι δορυφόροι μέσω των ανιχνευτικών τους οργάνων καταγράφουν την προερχόμενη από τη γη ακτινοβολία σε διαφορετικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στην επόμενη ενότητα ακολουθεί αναλυτική περιγραφή του Ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

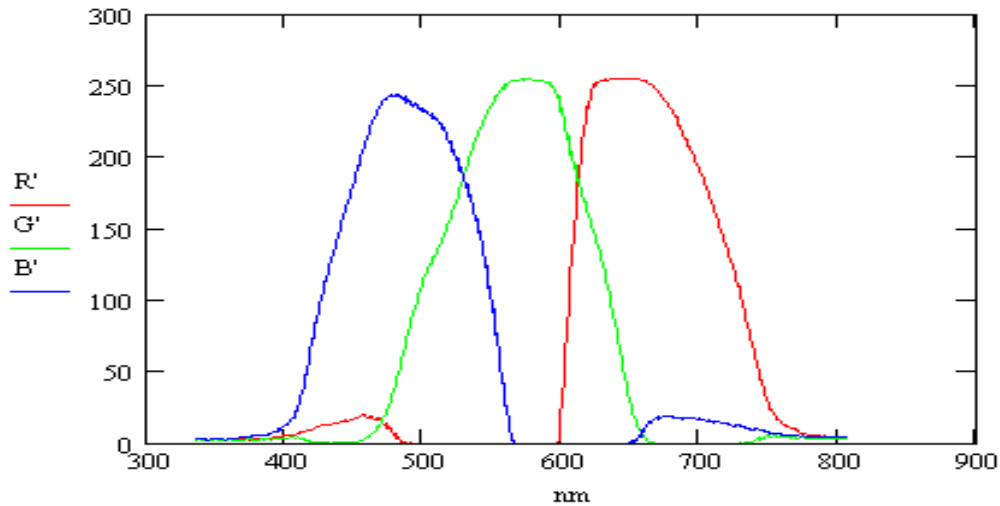
1.3.2 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Η καταγραφή των ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών που μεταφέρονται μέσω της ηλεκτρομαγνητικής πληροφορίας έπειτα από την αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα και τα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης, αποτελούν τη τηλεπισκοπική απεικόνιση. Η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης, δηλαδή η εξ αποστάσεως παρατήρηση και μελέτη του αντικειμένου, επιτυγχάνεται από το συνδυασμό της δυνατότητας λήψης δεδομένων σε μια μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (από την κοσμική ακτινοβολία έως τα μικροκύματα) με το γεγονός πως η κατανομή της ακτινοβολίας κάθε αντικειμένου αποτελεί χαρακτηριστική της φυσικής του κατάστασης και της χημικής του σύστασης. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και η ένταση των κυμάτων καταγράφονται μέσω των δεκτών των δορυφόρων. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα εμπεριέχει κάποιες κύριες ιδιότητες οι οποίες είναι, το μήκος κύματος (λ) δηλαδή η απόσταση ανάμεσα σε δύο κορυφές του κύματος και η συχνότητα (ν) που ορίζεται ως ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα σημείο το δευτερόλεπτο και μετριέται σε Hertz (Hz). Από το σύνολο των κυμάτων με διαφορετικό μήκος κύματος προκύπτει το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Αυτό περιέχει κύματα με μήκη κύματος από 0,1 μm έως 100m και περιλαμβάνει τα εξής πεδία: ακτίνες γ (γ -rays), ακτίνες χ (χ -rays), υπεριώδη ακτινοβολία (ultraviolet), ορατό φως (visible light), υπέρυθρη ακτινοβολία (infrared), μικροκύματα (microwaves) και ραδιοκύματα (radio waves).



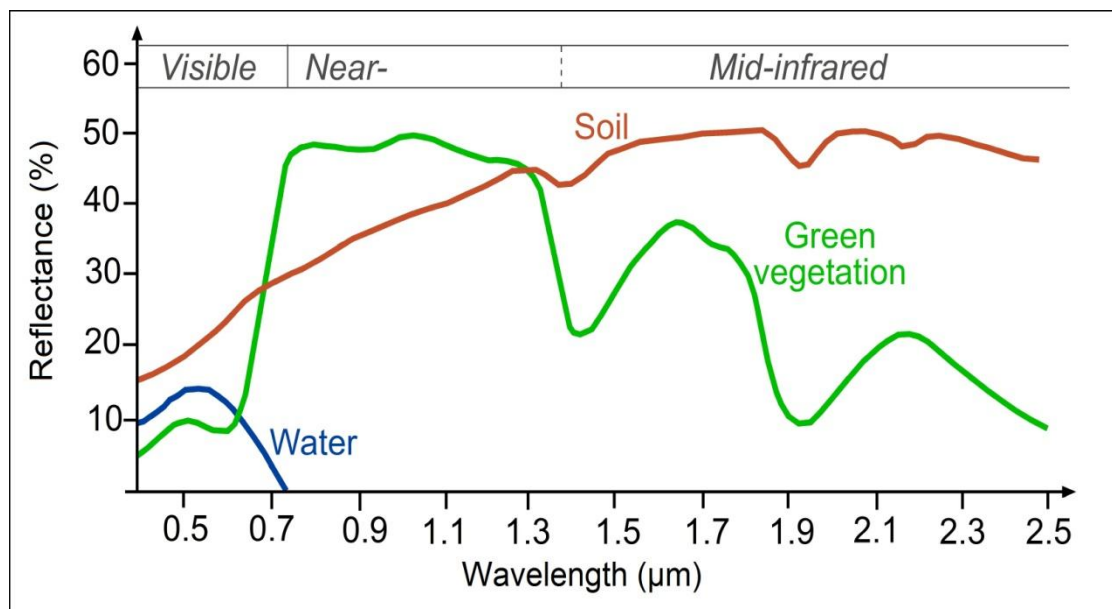
Εικόνα 1: Περιοχές φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η περιοχή την οποία αξιοποιεί η τηλεπισκόπηση από το συνολικό πεδίο του φάσματος περιλαμβάνει το υπεριώδες, το ορατό, το εγγύς και μέσο υπέρυθρο, το θερμικό υπέρυθρο και τα μικροκύματα. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, κάθε αντικείμενο ή εμφάνιση έχει και μια δικιά του φασματική υπογραφή, η οποία δείχνει το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται από αυτό και μας επιτρέπει να διακρίνουμε τους διαφορετικού τύπους των αντικειμένων (βλάστηση, νερό, έδαφος κλπ.). Το ορατό τμήμα του φάσματος είναι πολύ μικρό, καθώς η φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού εκτείνεται από 0,4 μm έως περίπου 0,7 μm . Πιο αναλυτικά, το μπλε χρώμα απεικονίζεται ανάμεσα στα 0,4 μm έως 0,5 μm , το πράσινο από 0,5 μm έως 0,6 μm και το κόκκινο από 0,6 έως 0,7 μm .



Εικόνα 2: Καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας

Η υπεριώδης ακτινοβολία σταματάει πριν το μπλέ χρώμα, ενώ μετά το τέλος του κόκκινου (οπότε και της ορατής περιοχής) βρίσκονται οι 3 κατηγορίες των υπέρυθρων κυμάτων: Το εγγύς υπέρυθρο από 0,7 έως 1,3μm, το μέσο υπέρυθρο από 1,3 έως 3μm και το θερμικό υπέρυθρο από 3μm και μετά(Αργιαλάς 2000).



Εικόνα 3: Φασματική ανακλαστικότητα για νερό, βλάστηση και έδαφος

Στο παραπάνω διάγραμμα εμφανίζονται οι καμπύλες ανακλαστικότητας τριών βασικών εμφανίσεων: Υδάτινες μάζες, πράσινη βλάστηση και έδαφος. Οι υδάτινες μάζες βρίσκονται στο φάσμα του ορατού και κατόπιν μειώνεται η ανακλαστικότητα

τους. Στο φάσμα τους εγγύς υπέρυθρου ανακλάται περισσότερο η βλάστηση, της οποίας η ανακλαστικότητα φθίνει από το μέσο υπέρυθρο και μετά, καθώς σε αυτά τα μήκη κύματος η ακτινοβολία απορροφάται από την υγρασία που υπάρχει στο φύλλωμα. Το έδαφος τέλος παρουσιάζει τις μικρότερες διακυμάνσεις, όσον αφορά την καμπύλη της ανακλαστικότητας του, η οποία βρίσκεται στις υψηλότερες τιμές στην περιοχή του μέσου υπέρυθρου. Οι τρεις αυτές εμφανίσεις φαίνεται πως είναι εύκολο να διαχωριστούν, χρησιμοποιώντας κάθε φορά το κατάλληλο τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

(<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/em.htm>).

1.3.3 Συστήματα Τηλεπισκόπησης

Τα βασικά συστήματα τηλεπισκόπησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα παθητικά και τα ενεργητικά (Richards 1986).

Παθητικά: Συστήματα καταγραφής και ανίχνευσης (Sensors), στα οποία υπάρχει άμεση σύνδεση με την εκπομπή ενέργειας από τα παρατηρούμενα σώματα (λόγω ανάκλασης ή εκπομπή λόγω θερμοκρασίας). Στα παθητικά συστήματα χρησιμοποιείται τμήμα του φάσματος από πολύ μικρά μήκη κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας (0,4 μm) έως τα 1000 μm .

Ενεργητικά: Τα ενεργητικά συστήματα καταγράφουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από άλλη εξωτερική πηγή ή από το ίδιο το όργανο καταγραφής. Το σύστημα καταγραφής είναι αυτό που εκπέμπει την ενέργεια προς την επιφάνεια, η οποία ανακλάται και επιστρέφει στο σύστημα. Τα Radars αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου τύπου οργάνου και εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυμάτων. Η λειτουργία των ενεργητικών συστημάτων δεν είναι συνεχής, εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας ενέργειας που απαιτούν.

1.3.4 Διακριτική Ικανότητα

Η ποιότητα της δορυφορικών εικόνων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των φασματόμετρων που διαθέτουν οι αντίστοιχοι δορυφόροι. Η διακριτική ικανότητα του αισθητήρα ενός δορυφόρου, αποτελεί σύνθεση τεσσάρων βασικών ιδιοτήτων που συναντώνται σε μια δορυφορική εικόνα (Περάκης κ. συν. 2015):

- i) Χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution): Η ικανότητα του ανιχνευτή να ξεχωρίζει πολύ κοντινά αντικείμενα ή πληροφορίες στην

εικόνα. Αναφέρεται δηλαδή στο ελάχιστο μέγεθος της γήινης επιφάνειας που μπορεί να διακρίνει ο συγκεκριμένος αισθητήρας ή αλλιώς στην γήινη έκταση που καταλαμβάνει ένα εικονοστοιχείο(pixel) της εικόνας του συγκεκριμένου αισθητήρα. Για ορισμένα όργανα καταγραφής η απόσταση μεταξύ αισθητήρα και αντικειμένου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη λεπτομέρεια της καταγραφής. Συνήθως οι δορυφόροι οι οποίοι βρίσκονται σε πολύ υψηλή τροχιά, έχουν περιορισμένη χωρική διακριτική ικανότητα.

- ii) Φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution): Αφορά το εύρος των περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος όπου γίνονται οι καταγραφές και τον αριθμό των πολυφασματικών καναλιών από τα οποία αποτελείται η εικόνα
- iii) Χρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution): Αναφέρεται στη συχνότητα λήψης εικόνων για την ίδια γεωγραφική περιοχή
- iv) Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (radiometric resolution): Περιγράφει την ικανότητα ενός συστήματος να καταγράφει διαφορές στη ισχύ του σήματος, δηλαδή στις διαφορετικές διαβαθμίσεις της έντασης που μπορεί να καταγράψει ο συγκεκριμένος αισθητήρας.

1.5 Δορυφόροι

Η έννοια της λέξης δορυφόρος αναφέρεται σε ένα φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο ή σώμα το οποίο κινείται γύρω από ένα άλλο μεγαλύτερο ουράνιο σώμα. Πιο συγκεκριμένα και αναφερόμενη στους τεχνητούς δορυφόρους, η ΝΑΣΑ το 2015 τους ορίζει ως « ένα σύστημα που αποτελείται από μια πηγή ενέργειας (είτε ηλεκτρικού συσσωρευτή, είτε φωτοβολταϊκού συστήματος) και μιας κεραίας (αντένα) η οποία δέχεται και εκπέμπει πληροφορίες με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος .

Η διαδρομή που χαράσσει ο κάθε δορυφόρος, ονομάζεται τροχιά. Η τροχιά που ακολουθεί κάθε δορυφόρος σχετίζεται άμεσα με τις δυνατότητες και τους στόχους των αισθητήρων που μεταφέρουν. Η επιλογή της τροχιάς μπορεί να διαφέρει: α) ως προς το υψόμετρο (απόσταση από την γήινη επιφάνεια) και β) ως προς τον προσανατολισμό και την περιστροφή τους ως προς τη γη. (Περάκης κ. συν. 2015)

Οι δορυφόροι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την τροχιά τους: α) σε γεωστατικούς δορυφόρους και β) σε δορυφόρους πολικής τροχιάς. (Περάκης κ. συν. 2015)

1.5.1 Γεωστατικοί δορυφόροι: Ονομάζονται οι δορυφόροι που ακολουθούν τους παράλληλους προς τον ισημερινό και έχουν περίοδο τροχιάς 24 ώρες. Σε υψόμετρο περίπου 36000 Km, οι δορυφόροι αυτοί περιστρέφονται με ταχύτητα αντίστοιχη της περιστροφής της γης, κάτι το οποίο τους κάνει να φαίνονται ακίνητοι. Το μειονέκτημα που παρουσιάζουν αυτού του τύπου οι δορυφόροι είναι η χαμηλή διακριτική τους ικανότητα, εξαιτίας της μεγάλης απόστασης τους από την επιφάνεια της γης. Από τη άλλη τα 2 βασικά πλεονεκτήματα τους είναι κατά πρώτον η συνεχής παρατήρηση της επιφάνειας της γης και κατά δεύτερον η μεγάλη επιφάνεια κάλυψης. Στην τηλεπισκόπηση, τέτοιοι δορυφόροι χρησιμοποιούνται κυρίως για μετεωρολογικούς σκοπούς καθώς και για τις τηλεπικοινωνίες και την τηλεόραση.

1.5.2 Δορυφόροι Πολικής τροχιάς(ηλιοσύγχρονοι): Οι δορυφόροι πολικής τροχιάς, ονομάζονται επίσης και ηλιοσύγχρονοι. Η ονομασία τους προέρχεται από την κλίση της τροχιάς τους προς τη νοητή γραμμή που διατρέχει τη γη μεταξύ του βόρειου και του νότιου πόλου. Αρκετές από αυτές τις τροχιές είναι και ηλιοσύγχρονες ούτως ώστε να καλύπτουν κάθε περιοχή της γης την ίδια τοπική ώρα της ημέρας. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως σε οποιοδήποτε γεωγραφικό πλάτος και μήκος, ο ήλιος θα έχει την ίδια θέση για την ίδια εποχή, οπότε εφόσον ο φωτισμός θα παραμένει σταθερός, θα διευκολύνονται οι διαχρονικές συγκρίσεις. Έχουν σχεδιαστεί με αυτόν τον τρόπο ώστε να είναι σε θέση να ακολουθήσουν μια τροχιά (βορρά προς νότο) η οποία σε συνδυασμό με την περιστροφή της γης (δύση προς ανατολή) τους επιτρέπει την κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους της επιφάνειας της γης, σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Οι περισσότεροι από τους δορυφόρους που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία.

Ο πρώτος δορυφόρος που τέθηκε σε τροχιά ήταν ο Σοβιετικός Sputnik I το 1957. Ακολούθησε ο Sputnik II λίγους μήνες μετά, ενώ τον επόμενο χρόνο οι Η.Π.Α. εκτοξεύουν τον Explorer I. Την ίδια χρονιά εκτοξεύεται και ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος S.C.O.R.E.. Ο πρώτος γεωστατικός δορυφόρος που εκτοξεύτηκε είναι ο SYNCOM III το 1964. Τρία χρόνια αργότερα μπαίνει σε τροχιά ο πρώτος γεωστατικός μετεωρολογικός δορυφόρος ATS 3. Το 1977 ιδρύεται η Ευρωπαϊκή EUTELSAT και έξι χρόνια αργότερα, το 1983 ο πρώτος Ευρωπαϊκός δορυφόρος ECS(EUTELSTAT 1) τίθεται σε τροχιά. Το 2002 η Ελλάδα ως μέλος πλέον της ESA μισθώνει τον πρώτο της δορυφόρο (Κοπερνίκους), και την επόμενη

χρονιά, το 2003 ο πρώτος Ελληνικός δορυφόρος με όνομα HELLAS-SAT είναι γεγονός. (Περάκης κ. συν. 2015).

Στον τομέα της τηλεπισκόπησης η επιλογή του κατάλληλου δορυφόρου, γίνεται βάση της κλίμακας και των χαρακτηριστικών της εφαρμογής. Σε εφαρμογές που πρωτεύων ζητούμενο είναι η ακρίβεια των μετρήσεων, επιλέγονται δορυφορικοί δέκτες με έμφαση στη χωρική διακριτική ικανότητα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις το βάρος δίνεται σε δέκτες με έμφαση στην ποιοτική ή θεματική πληροφορία(Καρτάλης & Φείδας 2007).

Μερικοί από τους πιο γνωστούς δορυφορικούς δέκτες που χρησιμοποιούνται σήμερα για τις ανάγκες της τηλεπισκόπησης είναι οι εξής:

- Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) –δορυφόροι NOAA
- MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) – δορυφόροι Terra και Aqua
- Landsat 8 από τη USGS
- Ikonos και QuickBird – δορυφορικοί δέκτες πολύ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας
- High Resolution Visible (HRV)- SPOT 7
- Sentinel1, ESA
- Advanced SpaceBorne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)- Δορυφόρος Terra

1.6 Δορυφόροι Landsat

Το πρόγραμμα δορυφόρων Landsat παρέχει δεδομένα για τέσσερις συνεχόμενες δεκαετίες και αποτελεί σε παγκόσμια κλίμακα τη μεγαλύτερη συλλογή διαστημικών τηλεσκοπικών δεδομένων μεσαίας ανάλυσης για εφαρμογές σχετικές με την παρατήρηση της γης. Δεδομένα που αφορούν τομείς όπως η γεωργία, η χωροταξία, η χαρτογράφηση, η γεωλογία, ανίχνευση φυσικών καταστροφών, όπως επίσης και διαρκής παρακολούθηση των αλλαγών στην επιφάνεια της γης.

Τον Ιούλιο του 1972 εκτοξεύθηκε από τη NASA ο πρώτος δορυφόρος Landsat 1, ο οποίος τελείωσε τη λειτουργία του τον Ιανουάριο του 1978. Τον Ιανουάριο του 1978, τέθηκε σε τροχιά ο Landsat 2, δορυφόρος με περίπου όμοια χαρακτηριστικά με τον Landsat 1. Η διαφορά των δυο δορυφόρων αφορούσε την περίοδο της τροχιάς τους γύρω από τη γη. Ο Landsat 1 πετούσε από τα ίδια σημεία και την ίδια ώρα κάθε 18 μέρες, ενώ ο Landsat 2 κάθε 9 μέρες. Ο Landsat 2 τερμάτισε τη λειτουργία του ύστερα από 8 χρόνια και συγκεκριμένα στις 27 Ιουλίου του 1983. Παράλληλα με την εκτόξευση του Landsat 2, το Μάρτιο του 1978 τέθηκε σε τροχιά και ο 3^{ος} δορυφόρος της σειράς Landsat 3, ο οποίος λειτούργησε για 5 χρόνια (έως τον Σεπτέμβριο του 1983).

Την θέση των Landsat 2 και 3 κατέλαβε ο Landsat 4, ο οποίος είχε διάρκεια ζωής 11 ετών (Ιούλιος του 1982 έως Δεκέμβριο του 1993) και θεωρήθηκε ένας από τους πιο επιτυχημένους δορυφόρους της δεκαετίας.

Την 1^η Μαρτίου του 1984, η εταιρία USGS (United States Geological Survey) εκτόξευσε τον μακροβιότερο δορυφόρο παρατήρησης της Γης, τον Landsat 5, ο οποίος παρείχε δεδομένα για 29 χρόνια, τερματίζοντας τον Ιανουάριο του 2013. Κατά την περίοδο στην οποία τερμάτιζε ο Landsat 4, έγινε απόπειρα εκτόξευσης του 6^{ου} δορυφόρου της σειράς Landsat (Landsat 6), ο οποίος όμως απέτυχε να μπει σε τροχιά και έτσι δεν παρείχε ποτέ δεδομένα.

Οι δύο τελευταίες τεχνολογίας δορυφόροι της σειράς είναι οι Landsat 7 και Landsat 8. Ο πρώτος ξεκίνησε τον Απρίλιο του 1999 και παραμένει σε λειτουργία και ο δεύτερος τον Φεβρουάριο του 2013 και παραμένει παρομοίως σε λειτουργία. (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>)

.Παρακάτω θα ακολουθήσει περιγραφή των χαρακτηριστικών των 2 τελευταίων δορυφόρων της σειράς Landsat (του Landsat 7 και Landsat 8) καθώς και του αμέσως προηγούμενου Landsat 5. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για διάφορες χρονικές περιόδους από τους δορυφόρους Landsat 5 και Landsat 8.

1.6.1 Landsat 5

Τον Μάρτιο του 1984 εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος Landsat 5. Οι ανιχνευτές που έφερε ο δορυφόρος ήταν ο παλαιότερος MSS (Multispectral Scanner System) και ο TM (Thematic Mapper). Ο MSS είχε συμπεριληφθεί σε αυτές τις αποστολές με σκοπό την εξασφάλιση τη συνέχεια των δεδομένων προς τους σταθμούς λήψης, οι οποίοι δε μπορούσαν να επεξεργαστούν τα δεδομένα του Θεματικού Χαρτογράφου (TM).

Ο Θεματικός Χαρτογράφος επέφερε αρκετές φασματικές, ραδιομετρικές και γεωμετρικές βελτιώσεις σε σχέση με τον MSS. Αντί των 4 καναλιών του MSS πλέον υπάρχουν 7, με νέα κανάλια στο ορατό (στο μπλε χρώμα), στο μέσο υπέρυθρο και στο θερμικό υπέρυθρο.

Στον παρακάτω πίνακα περιγράφονται τα κανάλια του Landsat 5 και οι σχετικές πληροφορίες για το οπτικό φάσμα που καλύπτει το κάθε ένα από αυτά.

Band	Wavelength	Useful for mapping
Band 1 - blue	0.45 - 0.52	Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation and deciduous from coniferous vegetation
Band 2 - green	0.52 - 0.60	Emphasizes peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor
Band 3 - red	0.63 - 0.69	Discriminates vegetation slopes
Band 4 - Near Infrared	0.77 - 0.90	Emphasizes biomass content and shorelines
Band 5 - Short-wave Infrared	1.55 - 1.75	Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds
Band 6 - Thermal Infrared	10.40 - 12.50	Thermal mapping and estimated soil moisture
Band 7 - Short-wave Infrared	2.09 - 2.35	Hydrothermally altered rocks associated with mineral deposits
Band 8 - Panchromatic (Landsat 7 only)	0.52 - 0.90	15 meter resolution, sharper image definition

Πίνακας 1: Κανάλια δορυφόρου Landsat 5

(www.nasa.gov)

1.6.2 Landsat 7

Ο δορυφόρος Landsat 7 τέθηκε σε τροχιά τον Απρίλιο του 1999. Τα χαρακτηριστικά που του κάνουν να διαφέρει από τους προηγούμενους της σειράς του, είναι η δυνατότητα παροχής μεγαλύτερου όγκου δεδομένων σε λιγότερο χρόνο και με μικρότερο κόστος. Η επαναληψιμότητα της τροχιάς του δορυφόρου είναι 16 ημέρες. Επίσης έχει καλύτερη διακριτική ικανότητα, ραδιομετρικό εύρος και ραδιομετρικές ρυθμίσεις από τους προγενέστερους. Το βασικό πολυφασματικό σύστημα σάρωσης του (Enhanced Thematic Mapper Plus-ETM+) διπλασιάζει τις δυνατότητες του Θεματικού χαρτογράφου της προηγούμενης σειράς (Landsat4-Landsat 5).

Τα καινούρια χαρακτηριστικά που προσθέτει είναι: i) ένα παγχρωματικό κανάλι με χωρική διακριτική ικανότητα 15m ii) ένα θερμικό υπέρυθρο κανάλι με χωρική διακριτική ικανότητα 60m, σε αντίθεση με τον προηγούμενο ο οποίος είχε διακριτική ικανότητα 120m.

Στην παρακάτω εικόνα περιγράφονται τα κανάλια του Landsat 7 και οι σχετικές πληροφορίες για το οπτικό φάσμα που καλύπτει το κάθε ένα από αυτά.

Band	Wavelength	Useful for mapping
Band 1 - blue	0.45 - 0.52	Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation and deciduous from coniferous vegetation
Band 2 - green	0.52 - 0.60	Emphasizes peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor
Band 3 - red	0.63 - 0.69	Discriminates vegetation slopes
Band 4 - Near Infrared	0.77 - 0.90	Emphasizes biomass content and shorelines
Band 5 - Short-wave Infrared	1.55 - 1.75	Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds
Band 6 - Thermal Infrared	10.40 - 12.50	Thermal mapping and estimated soil moisture
Band 7 - Short-wave Infrared	2.09 - 2.35	Hydrothermally altered rocks associated with mineral deposits
Band 8 - Panchromatic (Landsat 7 only)	0.52 - 0.90	15 meter resolution, sharper image definition

Πίνακας 2: Κανάλια δορυφόρου Landsat 7

Ακολουθεί πίνακας με τους διάφορους συνδυασμούς των καναλιών του Landsat 7, σχετικά με τις εφαρμογές που καλύπτουν.

Band Combination	Information
3 2 1	Natural color
4 3 2	False-color infrared
4 5 3	Analysis of soil and vegetations conditions
7 4 2	Vegetation appears green
5 4 3	Separates urban and rural land uses
4 5 7	Detection of cloud, snow and ice

Πίνακας 3: Πιθανοί συνδυασμοί καναλιών για τον δορυφόρο Landsat 7

(www.nasa.gov)

1.6.3 Landsat 8

Πρόκειται για τον πιο σύγχρονο δορυφόρο της USGS ο οποίος τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013. Αποτελείται από δύο διαφορετικούς δέκτες, τον Operational Land Imager(OLI) και τον Thermal Infrared Sensor (TIRS) που αποτελούνται από 9 και 2 κανάλια αντίστοιχα. Τα δεδομένα του Landsat 8 λαμβάνονται ελεύθερα από τους ιστοχώρους GloVis και Earthexplorer.

Στον παρακάτω πίνακα περιγράφονται τα κανάλια του Landstat 8 και οι σχετικές πληροφορίες για το οπτικό φάσμα που καλύπτει το κάθε ένα από αυτά.

Band	Wavelength	Useful for mapping
Band 1 – coastal aerosol	0.43 - 0.45	coastal and aerosol studies
Band 2 – blue	0.45 - 0.51	Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation and deciduous from coniferous vegetation
Band 3 - green	0.53 - 0.59	Emphasizes peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor
Band 4 - red	0.64 - 0.67	Discriminates vegetation slopes
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	Emphasizes biomass content and shorelines
Band 6 - Short-wave Infrared (SWIR) 1	1.57 - 1.65	Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds
Band 7 - Short-wave Infrared (SWIR) 2	2.11 - 2.29	Improved moisture content of soil and vegetation and thin cloud penetration
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15 meter resolution, sharper image definition
Band 9 – Cirrus	1.36 - 1.38	Improved detection of cirrus cloud contamination
Band 10 – TIRS 1	10.60 – 11.19	100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture
Band 11 – TIRS 2	11.5 - 12.51	100 meter resolution, Improved thermal mapping and estimated soil moisture

Πίνακας 4: Κανάλια δορυφόρου Landsat 8

Ακολουθεί πίνακας με τους διάφορους συνδυασμούς των καναλιών του Landsat 8, σχετικά με τις εφαρμογές που καλύπτουν.

Color Composite	RGB	Applications (in general..)
	4 3 2	Natural Color
	7 6 4	False Color (urban)
	5 4 3	Color Infrared (vegetation)
	6 5 2	Agriculture
	7 6 5	Atmospheric Penetration
	5 6 2	Healthy Vegetation
	5 6 4	Land/ Water
	7 5 3	Natural With Atmospheric Removal
	7 5 4	Shortwave Infrared
	6 5 4	Vegetation Analysis

Πίνακας 5: Πιθανοί συνδυασμοί καναλιών για τον δορυφόρο Landsat 8

(www.nasa.gov)

1.7 ΓΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (Γ.Σ.Π.) / GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (G.I.S.)

Σύμφωνα με τον Μανιάτη το 1996 ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, αποτελεί εργαλείο λήψης αποφάσεων νομικής, διοικητικής και οικονομικής υφής και επίσης είναι όργανο σχεδιασμού και ανάπτυξης. Ο Τσακίρης το 1995 ορίζει το Γ.Σ.Π. την ολοένα αναπτυσσόμενη και εξελισσόμενη τεχνική του μετασχηματισμού μεγάλου όγκου ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων τα οποία αφορούν ή και σχετίζονται με τη γη και το περιβάλλον, σε χρήσιμες και άμεσα αξιοποιήσιμες πληροφορίες.

Τα συστήματα αυτά έχουν ως κυρίαρχο στόχο των χωρικό σχεδιασμό και χρησιμοποιούνται εν μέσω πολλών προσεγγίσεων στην διατύπωση και αξιολόγηση

πολιτικών και προγραμμάτων που αφορούν τον φυσικό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό από τοπικό μέχρι και εθνικό επίπεδο (Φιλιππίδης 2006).

Ο Goodchild το 1985 ορίζει τα Γ.Σ.Π. ως « Ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης πληροφοριών σχετικών με ζητήματα γεωγραφικής φύσης».

Τέλος ένας ακόμη ορισμός για Γ.Σ.Π. αναφέρει πως πρόκειται για « όλα εκείνα τα πληροφοριακά συστήματα τα οποία εστιάζουν σε χωρικά ενδιαφέροντα και φαινόμενα σε κλίμακες από όλη τη γη μέχρι τη μοναδιαία ιδιοκτησία. Τα Γ.Σ.Π. έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα υπόλοιπα πληροφοριακά συστήματα, με το επιπλέον χαρακτηριστικό της χωρικής διάστασης» (Carter 1989).

Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών αποτελείται από 4 βασικά μέρη (Καλύβας 2003) :

- Μηχανικός εξοπλισμός (Hardware)
- Λογισμικό (Software)
- Δεδομένα (Data)
- Ανθρώπινο δυναμικό που χειρίζεται τα παραπάνω

Χρήσεις του Γ.Σ.Π.

Η λειτουργία και ανάπτυξη των συστημάτων εξυπηρετεί αρκετές εφαρμογές σχετικές με τον γεωγραφικό χώρο. Ορισμένες από αυτές είναι οι κάτωθι (Χατζόπουλος) :

- i) Διαχείριση περιβαλλοντικών και φυσικών πόρων, περιβαλλοντικές μελέτες
- ii) Διαχείριση λεκανών απορροής και υδατικών πόρων
- iii) Κτηματολόγιο και συστήματα πληροφοριών γης
- iv) Συστήματα ανάπτυξης και διαχείρισης χαρτογραφικού υλικού σε εθνική κλίμακα
- v) Διαχείριση πολεοδομικών εφαρμογών
- vi) Υπηρεσίες ΟΤΑ (ύδρευση, αποχέτευση κ.α.)
- vii) Κυκλοφοριακά προβλήματα και ανάλυση δικτύου μεταφορών
- viii) Ανάλυση γεωχωρικών πληροφοριών για λήψη αποφάσεων
- ix) Άλλες εφαρμογές όπως γεωργία, γεωλογία, αρχαιολογία κλπ.

Πιο συγκεκριμένα στον τομέα της Οικολογίας τοπίου η χρήση των Γ.Σ.Π. προσφέρει σημαντικές υπηρεσίες στη διαδικασία ανάλυσης, αξιολόγησης και παρακολούθησης της δομής και των αλλαγών των τοπίων, όπως επίσης και στην εκτίμηση της κατανομής των ζώων, της διάρθρωσης της βλάστησης και της κατανομής των οικολογικών πόρων (Bankov 1998, Johnston2005).

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα Γ.Σ.Π. είναι τα εξής (Καρτέρης 1994) :

- Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή (σκληρούς δίσκους, DVD-ROM, κλπ.)
- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων αποτελούν ποσοτικές πληροφορίες και μπορούν να καταχωρηθούν κατά οποιαδήποτε επιθυμητή γεωγραφική μονάδα ή διάταξη (κατά νομό, κατά περιφέρεια, κατά τοπογραφικό χάρτη κλπ.)
- Μέσω των υπαρχόντων ηλεκτρονικών οργάνων, επιτρέπονται διάφορες μορφές επεξεργασίας όπως μετρήσεις, χαρτογραφικές επικαλύψεις, μετατροπές κλπ.
- Δυνατότητα δημιουργίας γεωγραφικών βάσεων δεδομένων για οποιοδήποτε αντικείμενο ή χαρακτηριστικό.
- Δυνατότητα καταχώρησης υπαρχόντων δεδομένων με ή χωρίς επεξεργασία στη βάση δεδομένων, εφόσον είναι κατά χώρο προσανατολισμένα
- Υψηλή ταχύτητα στην παραγωγή εξαγόμενων αποτελεσμάτων
- Εύκολη ενημέρωση της βάσης δεδομένων, κάτι το οποίο επιτρέπει τον εντοπισμό και την ανάλυση των αλλαγών που έχουν γίνει σε διάφορες χρονικές περιόδους

1.7.1 Η χρήση των Γ.Σ.Π. στην αναγνώριση χρήσης/κάλυψης γης.

Η χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων με σκοπό τη χαρτογράφηση της κατανομής των διαφόρων κατηγοριών χρήσης/κάλυψης της γης έχει αποκτήσει τα τελευταία χρόνια μεγάλη σημασία και εύρος εφαρμογών. Η Τηλεπισκόπηση μαζί με τα G.I.S. αποτελούν ένα εργαλείο ανάλυσης και ταξινόμησης των τοπίων, ιδιαιτέρως ως προς την εκτίμηση της ετερογένειας του τοπίου αλλά και τη χαρτογράφηση του μωσαϊκού του (Farina 1998).

Με τη συλλογή και επεξεργασία των τηλεσκοπικών δεδομένων που λαμβάνονται καθημερινά από τους δορυφόρους, διευκολύνεται η δημιουργία συστημάτων παρακολούθησης της γης με σκοπό την κατανόηση της αλληλεπίδρασης των γήινων συστημάτων με τη γαϊόσφαιρα/βιόσφαιρα και την καταγραφή των αλλαγών στο πέρασμα του χρόνου. Η χρήση της τηλεπισκόπησης αποτελεί την πιο οικονομική και αναλυτική μέθοδο για την εκτίμηση των κατηγοριών και παρέχει παράλληλα μεγάλο χρονικό εύρος (Prenzel 2004).

1.8 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Η ταξινόμηση έχει ως σκοπό την ομαδοποίηση εικονοστοιχείων (pixels) σε ορισμένο αριθμό φασματικών ομάδων, οι οποίες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες κάλυψης γης (Niblack 1986)

Η εφαρμογή των μεθόδων ταξινόμησης χρησιμοποιούνται σε πολλές επιστήμες. Η διαφορά που εντοπίζεται στο πεδίο της τηλεπισκόπησης, είναι πως η ταξινόμηση είναι πολυφασματική. Αυτό σημαίνει πως κατά πρώτον η ταξινόμηση ομαδοποιεί pixels βάση αλγορίθμου στην ίδια φασματική ομάδα και κατά δεύτερον για κάθε ένα από αυτά τα pixels το οποίο ταξινομείται, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί όλες τις πληροφορίες του pixel σε κάθε φασματικό κανάλι (Περάκης 2015).

Η διαδικασία της ταξινόμησης δύναται να χρησιμοποιηθεί για χαρτογράφηση αντικειμένων αλλά και γενικότερα φαινομένων από δορυφορικά δεδομένα τηλεπισκόπησης (Ελευθεριάδης 2007).

Η ταξινόμηση χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1.8.1 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Η διαδικασία της Επιβλεπόμενης ταξινόμησης (supervised classification) αποτελεί την πιο διαδεδομένη διαδικασία ταξινόμησης και ποιοτικής ανάλυσης για τις δορυφορικές εικόνες.

Στην συγκεκριμένη κατηγορία οι κατηγορίες όπου θα ταξινομηθεί η εικόνα, ορίζονται εξ'αρχής. Επιπλέον καθορίζονται οι περιοχές εκπαίδευσης (training points) όπου θα

χρησιμοποιήσει ο αλγόριθμος εκπαίδευσης και οι οποίες αντιπροσωπεύουν περιοχές στην επιφάνεια της γης. Οι περιοχές αυτές θα πρέπει να είναι ομοιογενείς μεταξύ τους και να αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες εδαφικής κάλυψης. Στη συνέχεια εξάγεται η φασματική υπογραφή της κάθε κατηγορίας κάλυψης και ταξινομείται το κάθε pixel της εικόνας βάσει του αλγορίθμου σε κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες (Περάκης κ.συν. 2015).

Οι κυριότερες μέθοδοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι οι κάτωθι:

- Μέθοδος Παραλληλεπίπεδου (Parallelepiped Method)
- Μέθοδος Ελάχιστης Απόστασης (Minimum Distance Method)
- Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Method)

Η τελευταία μέθοδος είναι βασισμένη στην πιθανότητα πως ένα pixel ανήκει σε μια κατηγορία βάσει των φασματικών υπογραφών που έχουν ληφθεί προηγουμένως. Η βασική εξίσωση της μεθόδου υποθέτει ότι αυτές οι πιθανότητες είναι ίδιες για όλες τις κατηγορίες και η ένταξη του pixel γίνεται στην κατηγορία όπου η πιθανότητα αυτή μεγιστοποιείται (Χατζόπουλος 2000).

1.8.2 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Πρόκειται για μια πιο αυτοματοποιημένη μέθοδο ταξινόμησης. Οι κλάσεις που θα προκύψουν μετά την ταξινόμηση δεν είναι γνωστές αρχικά, παρά μόνο ο αριθμός τους. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση απαιτεί να δοθεί ο αριθμός των κατηγοριών τις οποίες πρόκειται να ταξινομήσει και μέσω αλγορίθμου προσπαθεί να εντοπίσει τις καλύτερες συσσωρεύσεις για τον αριθμό αυτών των κατηγοριών, βάσει των οποίων γίνεται η ταξινόμηση. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την προκαταρκτική εξέταση της εικόνας και για τον εντοπισμό των κατηγοριών που μπορούν να διαχωριστούν εύκολα. Μέσω αυτής δίδεται βοήθεια στην επιλογή των κατηγοριών για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση αλλά και τον εντοπισμό των περιοχών απ'όπου θα παρθούν τα δείγματα (Χατζόπουλος 2000).

1.9 Το πρόγραμμα Corine

Το πρόγραμμα Corine (COoRdination of Information on the Environment) δημιουργήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση με σκοπό την καταγραφή και χαρτογράφηση των χρήσεων/κάλυψης της γης. Ως στόχος τέθηκε η συλλογή πληροφοριών σχετικών με το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους των χωρών

μελών. Καλύφθηκαν εκτάσεις της τάξεως των 2,3 εκατομμυρίων km², σε 12 χώρες, από τις 62⁰Β στα νησιά Φερόες έως τις 28⁰ στα Κανάρια Νησιά και από τις 14⁰ Δ πάλι στα Κανάρια Νησιά έως τις 29⁰ Α στο Καστελόριζο της Ελλάδας. Παράχθηκαν συνολικά 1500 χάρτες σε 10 διαφορετικά προβολικά συστήματα. Η πρώτη βάση δεδομένων ολοκληρώθηκε το 1990 και ακολούθησε αναβάθμιση του προγράμματος το 2000 (Καρτέρης 2004). Τα πιο σημαντικά μέρη από τα οποία απαρτίζεται το Corine είναι τα εξής:

- CORINEAIR: Στοχεύει στον καθορισμό των πηγών εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων και στην ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη μέτρηση και την παρακολούθηση τους
- CORINE biotopes: Αποσκοπεί στην αναγνώριση, καταγραφή και περιγραφή των τοποθεσιών των οποίων η προστασία είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω μεγάλης βιολογικής, οικολογικής, αισθητικής ή γεωμορφολογικής αξίας.
- CORINE land cover: Απεικόνιση της χρήσης/ κάλυψης γης βασιζόμενο στην ανάλυση δορυφορικών εικόνων.

Το Corine Land Cover είχε ως συγκεκριμένο στόχο τη χαρτογράφηση των χρήσεων/κάλυψης της γης σε κλίμακα 1:100000 με ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης τα 25ha. Τα προϊόντα του Corine Land Cover προέκυψαν από επεξεργασία δορυφορικών εικόνων. Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των 4 προγραμμάτων του CLC (CorineLandCover) χρονολογία, δορυφόροι που χρησιμοποιήθηκαν, χώρες που ενεπλάκησαν, διάρκεια υλοποίησης, γεωμετρική ευστοχία κ.α..

Features	CLC1990	CLC2000	CLC2006	CLC2012
Satellite data	Landsat-5 MSS/TM	Landsat-7 ETM	SPOT-4/5 and IRS P6 LISS III	IRS P6 LISS III
	single date	single date	IRS P6 LISS III dual date	and RapidEye dual date
Time consistency	1986-1998	2000 +/- 1 year	2006+/- 1 year	2011-2012

Geometric accuracy, satellite data	≤ 50 m	≤ 25 m	≤ 25 m	≤ 25 m
Min. mapping unit/width	25 ha/ 100m	25 ha/ 100m	25 ha/ 100m	25 ha/ 100m
Geometric accuracy, CLC	100 m	better than 100 m	better than 100 m	better than 100 m
Thematic accuracy, CLC	≥ 85% (probably not achieved)	≥ 85%	≥ 85%	≥ 85%
		(achieved)	(not checked)	
Change mapping (CLCC)	not implemented	boundary displacement min. 100 m;	boundary displacement min.100 m;	boundary displacement min.100 m;
		change area for existing polygons ≥ 5 ha; for isolated changes ≥ 25 ha	all changes ≥ 5 ha are to be mapped	all changes ≥ 5 ha are to be mapped
Thematic accuracy, CLCC	-	not checked	≥ 85%	≥ 85%
			(achieved)	
Production time	10 years	4 years	3 years	2 years
Documentation	incomplete metadata	standard metadata	standard metadata	standard metadata

Access to the data (CLC, CLCC)	unclear dissemination policy	dissemination policy agreed from the start	free access for all users	free access for all users
Number of countries involved	26	30	38	39
	(27 with late implementation)	(35 with late implementation)		

Πίνακας 6: Εξέλιξη του CLC (Πηγή : <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>)

Το CLC έχει δημιουργήσει τρία ιεραρχικά επίπεδα όπου περιγράφεται η κάλυψη και σε ορισμένες περιπτώσεις, η χρήση γης . Τα επίπεδα αυτά είναι τα ακόλουθα:

1^ο επίπεδο: 5 κατηγορίες κάλυψης γης οι οποίες αντιστοιχούν στις ανώτατες και κύριες κατηγορίες κάλυψης του πλανήτη.

2^ο επίπεδο: 15 κατηγορίες κάλυψης γης με φυσικές και φυσιογνωμικές οντότητες με μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας από το 1^ο επίπεδο και κλίμακες από 1:500000 έως 1:1000000

3^ο επίπεδο: 44 κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης με κλίμακα 1:100000

1.9.1 Η ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ CORINE

1.ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

1.1Αστικός ιστός

1.1.1Συνεχής αστικός ιστός

1.1.2Ασυνεχής αστικός ιστός

1.2Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών

1.2.1Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες

1.2.2Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα

- 1.2.3 Ζώνες λιμένων
- 1.2.4 Αεροδρόμια
- 1.3 Ορυχεία, χώροι απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης
 - 1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών
 - 1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων
 - 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
- 1.4 Τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πρασίνου
 - 1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου
 - 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
- 2. ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
 - 2.1 Αρόσιμη γη
 - 2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
 - 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη
 - 2.1.3 Ορυζώνες
 - 2.2 Μόνιμες καλλιέργειες
 - 2.2.1 Αμπελώνες
 - 2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
 - 2.2.3 Ελαιώνες
 - 2.3 Λιβάδια
 - 2.3.1 Λιβάδια
 - 2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές
 - 2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες
 - 2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες
 - 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
 - 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
- 3. ΔΑΣΗ και ΗΜΙΦΥΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
 - 3.1 Δάση
 - 3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων
 - 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων
 - 3.1.3 Μικτό δάσος
 - 3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης

- 3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι
- 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι
- 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση
- 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
- 3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση
 - 3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, Αμμουδιές
 - 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι
 - 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
 - 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις
 - 3.3.5 Παγετώνες και αέναο χιόνι
- 4. ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ
 - 4.1 Υγρότοποι ενδοχώρας
 - 4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα
 - 4.1.2 Τυρφώνες
 - 4.2 Παραθαλάσσιοι υγρότοποι
 - 4.2.1 Παραθαλάσσιοι Βάλτοι
 - 4.2.2 Αλυκές
 - 4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
- 5. ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ
 - 5.1 Χερσαία ύδατα
 - 5.1.1 Υδατορρεύματα
 - 5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
 - 5.2.1 Παράκτιες Λιμνοθάλασσες
 - 5.2 Θαλάσσια ύδατα
 - 5.2.2 Εκβολές ποταμών
 - 5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

2. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Λέσβος



Εικόνα 4: Δορυφορική εικόνα με φυσικό χρώμα για τη Λέσβο 2011

Η Λέσβος είναι το μεγαλύτερο νησί του Ανατολικού Αιγαίου, το τρίτο σε μέγεθος νησί της Ελλάδας και το έβδομο στη Μεσόγειο με έκταση 1630Km^2 και ανάπτυγμα ακτών 320Km . Γεωμορφολογικά η Λέσβος είναι στην μεγαλύτερη έκτασή της πεδινή-ημιορεινή. Στο βόρειο και πλέον ορεινό τμήμα του νησιού δεσπόζει το βουνό Λεπέτυμνος με ύψος 968m (κορυφή προφήτη Ηλία), ο Όλυμπος με υψόμετρο 967m (κορυφή Ψηλοκούδουνο) στο νότιο και ο Όρδυμνος στο δυτικό. Οι σπουδαιότερες πεδινές εκτάσεις είναι της Γέρας και της Καλλονής.

Η Λέσβος παρουσιάζει μια πολύπλοκη γεωλογική κατασκευή στην οποία παίρνουν μέρος από κάτω προς τα πάνω: α) Η αυτόχθονη σειρά των προαλπικών και αλπικών σχηματισμών β) Το τεκτονικό ηφαιστειογενές κάλυμμα γ) Το τεκτονικό οφιολιθικό κάλυμμα δ) οι μεταλλικοί σχηματισμοί.

Το φυσικό περιβάλλον της Λέσβου παρουσιάζει πολύ μεγάλη ποικιλομορφία τοπίου και σημαντική βιοποικιλότητα. Χαρακτηριστικά αναφέρονται η μεγάλη δασοκάλυψη, οι εκτεταμένοι ελαιώνες, οι υγρότοποι και οι 3 περιοχές Natura. Η δασική βλάστηση του νησιού χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλη ποικιλία σε είδη και μορφές με την παρουσία τόσο ενδημικών, όσο και σπάνιων φυτών.

Όσον αφορά το δομημένο περιβάλλον του νησιού, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, το νησί κατοικείται από 86.436 κατοίκους. Η πρωτεύουσα του νησιού Μυτιλήνη και η ευρύτερη περιοχή αριθμεί περίπου 35000. Άλλοι μεγάλοι οικισμοί του νησιού είναι η Αγιάσος, το Πλωμάρι, η Καλλονή, η Μήθυμνα κλπ.

Από τα δεδομένα που δίνονται για το νησί της Λέσβου σύμφωνα με το Corine, το ¼ της συνολικής έκτασης (164.248,86 Ha) του νησιού καλύπτεται από φυσικούς βοσκότοπους, ενώ πολύ σημαντική έκταση (το 1/5 περίπου) καλύπτεται από ελαιώνες. Σημαντική έκταση επίσης καταλαμβάνει η γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, ενώ ένα περίπου 14% του νησιού καλύπτεται από δάσος κωνοφόρων.

Η περιοχή επιλέχθηκε καθώς όπως αναφέρεται παραπάνω εμφανίζει αυξημένη ετερογένεια τοπίου όσον αφορά τις χρήσεις/κάλυψη γης και ιδιαίτερα έντονο ανάγλυφο. Για αυτούς τους λόγους, το ποσοστό επιτυχίας της ταξινόμησης, έχει ιδιαίτερη σημασία.

2.2 Λήμνος



Εικόνα 5: Δορυφορική εικόνα με φυσικό χρώμα για τη Λήμνο (2013)

Η Λήμνος είναι το όγδοο σε μέγεθος Ελληνικό νησί με έκταση 477,6 km² και μήκος ακτογραμμής 263 km. Το ανάγλυφο της είναι ήπιο και αποτελείται κυρίως από χαμηλούς λόφους, μεταξύ των οποίων αναπτύσσονται μικρές κοιλάδες. Η διαμόρφωση αυτής της μορφολογίας οφείλεται κυρίως σε γεωμορφολογικά αίτια (ευκολοδιάβρωτοι γεωμορφολογικοί σχηματισμοί).

Το νησί εμφανίζει πολύπλοκο σχηματισμό. Αποτελείται από δύο κύρια τμήματα, το ανατολικό και το δυτικό, που ενώνονται με ένα στενό λαιμό ελάχιστου πλάτους 4,6 Km περίπου. Ο ψηλότερος λόφος του νησιού ονομάζεται Σκοπιά, βρίσκεται στο ΒΔ τμήμα του και έχει υψόμετρο 470 μέτρα. Στο δυτικό τμήμα υπάρχουν οι λόφοι Άγιος Ηλίας (374μ.), Άγιος Αθανάσιος (365μ.) και Άγιος Παύλος (350μ.).

Οι κύριες πεδινές εκτάσεις βρίσκονται στο κεντρικό μέρος του νησιού (λεκάνη Αττικής, Λειβαδοχωρίου-Βάρους) και στην ανατολική πλευρά (περιοχή Χορταρολίμνης και Κορνού).

Ο συνολικός πληθυσμός της Λήμνου σύμφωνα με την απογραφή του 2011 είναι 16992 κάτοικοι. Οι κυριότεροι οικισμοί του νησιού είναι η Μύρινα (8000 κάτοικοι)

και ο Μούδρος (3925 κάτοικοι), ενώ οι περισσότεροι από τους υπόλοιπους οικισμούς βρίσκονται διάσπαρτοι στο ανατολικό και νοτιοδυτικό τμήμα της Λήμνου.

Στη Λήμνο κυριαρχούν τα θαμνώδη οικοσυστήματα, ενώ τα δασικά οικοσυστήματα είναι εξαιρετικά περιορισμένα, γεγονός που οφείλεται τόσο στις εδαφοκλιματικές συνθήκες αλλά και σε μακροχρόνιες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που συντέλεσαν στη συρρίκνωση και υποβάθμιση τους.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Corine, το 1/3 της συνολικής έκτασης του νησιού (48.464,79 Ha) καλύπτεται από φυσικούς βοσκοτόπους. Το 27,4% της συνολικής έκτασης καλύπτεται από μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη, ενώ ένα ποσοστό της τάξης του 18,6% αποδίδεται σε γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης.

Η επιλογή του νησιού της Λήμνου ως περιοχή μελέτης, προέκυψε μεταγενέστερα της επιλογής της Λέσβου. Ο λόγος είναι οι αντιθέσεις που παρουσιάζονται ως προς την αριθμό των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης και ως εκ τούτου η μελέτη της επιτυχίας της ταξινόμησης σε μια διαφορετική περιοχή.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Συνοπτική παρουσίαση μεθοδολογίας

Ως στόχος της παρούσας εργασίας τέθηκε η κατάστρωση μεθοδολογίας για την ανίχνευση αλλαγών σε χρήσεις/κάλυψη γης. Οι αλλαγές αφορούν μια προκαθορισμένη περιοχή (ή περιοχές) μελέτης και εξετάζεται η μεταβολή τους στο χρόνο. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ελεύθερα δορυφορικά δεδομένα (Εικόνες Landsat) και η χρήση του λογισμικού ArcMap της ESRI. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν αρχεία τύπου raster που αφορούσαν τη χρήση/κάλυψη γης σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Corine.

Το πρώτο βήμα στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας αποτέλεσε η ανεύρεση και λήψη των κατάλληλων δορυφορικών δεδομένων λαμβάνοντας υπόψη ορισμένα κριτήρια τα οποία παρουσιάζονται στην αντίστοιχη ενότητα. Οι εικόνες αυτές αποτελούν έτοιμα προϊόντα προς επεξεργασία και χρήση και δε χρειάστηκε η εφαρμογή τυχόν διορθώσεων.

Ακολούθησε η διαδικασία της προεπεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων, με ενέργειες όπως η συγχώνευση των διαφορετικών καναλιών, η απομόνωση της εκάστοτε περιοχής ενδιαφέροντος και η επαναπροβολή στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα.

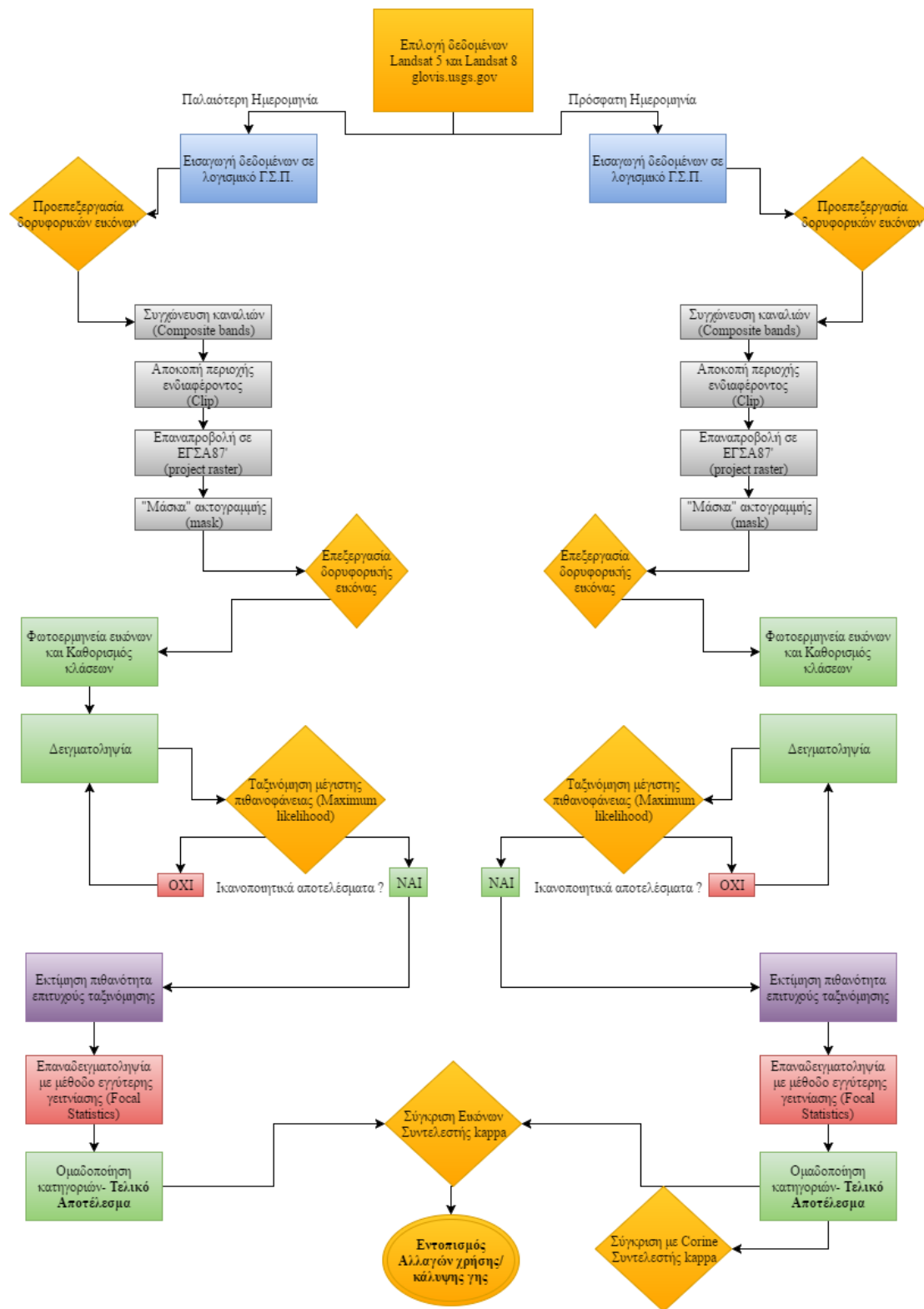
Κατόπιν της προεπεξεργασίας των εικόνων, ακολούθησε η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε επιλεγμένες κατηγορίες-κλάσεις μέσω του αλγορίθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood). Η διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά σε παρακάτω ενότητα. Παράλληλα με την ταξινόμηση εκτελέστηκε έλεγχος για την πιθανότητα επιτυχίας της ταξινόμησης. Εν συνεχεία ακολούθησε η διαδικασία της μεταταξινόμησης μέσω επαναδειγματοληψίας των ταξινομημένων εικονοστοιχείων (pixels), για την βελτίωση των αποτελεσμάτων και ομαδοποίηση των κλάσεων σε 4 ιεραρχικές κατηγορίες σύμφωνα με το Corine.

Στο επόμενο βήμα πραγματοποιήθηκε σύγκριση των πιο πρόσφατων χρονικά εικόνων με τις αντίστοιχες του Corine, για να εξετασθεί το ποσοστό συμφωνίας μεταξύ τους. Για το τελικό αποτέλεσμα της συμφωνίας χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής kappa του Cohen.

Στο τελευταίο στάδιο διενεργήθηκε σύγκριση ανάμεσα στην παλαιότερη χρονολογικά εικόνα και την πιο πρόσφατη με σκοπό την διερεύνηση τυχόν αλλαγών στις

κατηγορίες χρήσεις/κάλυψης γης. Κατόπιν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης μαζί με τον σχολιασμό και την αξιολόγηση τους.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά τα στάδια της μεθοδολογίας. Η διαδικασία που περιγράφεται πραγματοποιήθηκε δύο φορές, μια για το νησί της Λέσβου και μια για το νησί της Λήμνου.



Εικόνα 6: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας

3.1 Επιλογή Δεδομένων

Η επιλογή των δορυφορικών εικόνων έγινε με σύμφωνα με 2 βασικά κριτήρια, Κατά πρώτον επιλέχθηκαν σκηνές με πολύ μικρά ποσοστά νεφοκάλυψης, με σκοπό την διευκόλυνση της περαιτέρω ανάλυσης και κατά δεύτερον για την αντιμετώπιση προβλημάτων φαινολογίας τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κρίθηκε αναγκαίο να αφορούν την ίδια περίοδο. Οι εικόνες προμηθεύτηκαν από την υπηρεσία USGS (<http://glovis.usgs.gov/> και <https://earthexplorer.usgs.gov>), κατόπιν εγγραφής στην υπηρεσία GLOVIS(Global Visualization Viewer).

3.1.1 Λέσβος

Για το νησί της Λέσβου χρησιμοποιήθηκαν 2 πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες. Η πρώτη χρονικά ημερομηνία είναι 25-10-1984, ενώ η δεύτερη 15-10-2015. Πιο αναλυτικά, η υπηρεσία GLOVIS παρέχει και τα μεταδεδομένα για την κάθε εικόνα, με σκοπό την πλήρη αναφορά των ιδιοτήτων της αλλά και της επεξεργασίας που έχει υποστεί.

1^η εικόνα 25-10-1984

Χαρακτηριστικά δεδομένων	Τιμές χαρακτηριστικών
Landsat scene Identifier	LT51810331984299XXX01
Spacecraft Identifier	5
Sensor Mode	
Station Identifier	XXX
Day Night	DAY
WRS Path	181
WRS Row	033
Data Category	NOMINAL
Date Acquired	1984/10/25
Data type L1	L1T
Sensor Anomalies	N
Image quality	7
Cloud Cover	0
Sun Elevation	34.27267604
Sun Azimuth	151.48529456

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά 1ης εικόνας



Εικόνα 7: Λέσβος 25-10-1984

2^η εικόνα 15-10-2015

Χαρακτηριστικά δεδομένων	Τιμές χαρακτηριστικών
Landsat scene Identifier	LC81810332015288LGN00
Spacecraft Identifier	8
Sensor Mode	OLI_TIRS
Station Identifier	LGN
Day Night	DAY
WRS Path	181
WRS Row	033
Data Category	NOMINAL
Date Acquired	2015/10/15
Data type L1	OLI_TIRS_L1T
Sensor Anomalies	N
Image quality	9
Cloud Cover	0,46%
Sun Elevation	40,16299208
Sun Azimuth	158,15957692

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά 2ης εικόνας



Εικόνα 8: Λέσβος 15-10-2015

3.1.2 Λήμνος

Αντίστοιχα για το νησί της Λήμνου χρησιμοποιήθηκαν επίσης 2 πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες με την παλαιότερη στις 31-05-1986 και τη νεότερη στις 25-05-2013.

1^η εικόνα 31-05-1986

Χαρακτηριστικά δεδομένων	Τιμές χαρακτηριστικών
Landsat scene Identifier	LT51820321986151XXX05
Spacecraft Identifier	5
Sensor Mode	
Station Identifier	XXX
Day Night	DAY
WRS Path	182
WRS Row	032
Data Category	NOMINAL
Date Acquired	1986/05/31
Data type L1	L1T
Sensor Anomalies	N
Image quality	9
Cloud Cover	0
Sun Elevation	59.79308587
Sun Azimuth	119.09518858

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά 3ης εικόνας



Εικόνα 9:Λήμνος 31-05-1986

2^η εικόνα 25-05-2013

Χαρακτηριστικά δεδομένων	Τιμές χαρακτηριστικών
Landsat scene Identifier	LC81820322013145LGN00
Spacecraft Identifier	8
Sensor Mode	OLI_TIRS
Station Identifier	LGN
Day Night	DAY
WRS Path	182
WRS Row	032
Data Category	NOMINAL
Date Acquired	2013/05/25
Data type L1	OLI_TIRS_L1T
Sensor Anomalies	N
Image quality	9
Cloud Cover	2.54%
Sun Elevation	65.12492257
Sun Azimuth	134.76874376

Πίνακας 10:Χαρακτηριστικά 4ης εικόνας



Εικόνα 10:Λήμνος 25-05-2013

3.2 Προεπεξεργασία Δεδομένων

3.2.1 Γεωμετρική Διόρθωση

Και για τις τέσσερις εικόνες, οι γήινες συντεταγμένες έχουν προέλθει από το ελλειψοειδές αναφοράς, όπως ορίζει το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (WGS84).Εν συνεχεία οι συντεταγμένες αυτές προβάλλονται σε δύο διαστάσεις σύμφωνα με την Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM). Σε επόμενο βήμα αυτής της ενότητας γίνεται επαναπροβολή στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα (ΕΓΣΑ87').

Σύμφωνα με την GLOVIS, οι δορυφόροι Landsat 5 και Landsat 8 από τους οποίους χρησιμοποιήθηκαν οι παραπάνω εικόνες, παρέχουν γεωμετρικά διορθωμένες εικόνες από το 1984 και έπειτα, με ενιαίο σύστημα συντεταγμένων και συγκεκριμένο προβολικό σύστημα ανά περιοχή.

3.2.2 Ραδιομετρική διόρθωση

Σύμφωνα με τους πίνακες (...) το χαρακτηριστικό Data Type L1 το οποίο αναφέρεται στην ποιότητα των προϊόντων στο επίπεδο 1 και στην επεξεργασία που έχουν υποστεί, λαμβάνει την τιμή L1T. Αυτό υποδηλώνει πως στα προϊόντα έχει δοθεί συστηματική και ραδιομετρική ακρίβεια. Για τα προϊόντα των οποίων η ποιότητα των εικόνων λαμβάνει την τιμή 9 και έχουν ποσοστό νεφοκάλυψης μικρότερο του 40%, η διαδικασία της διόρθωσης εκτελείται άμεσα, ενώ σε

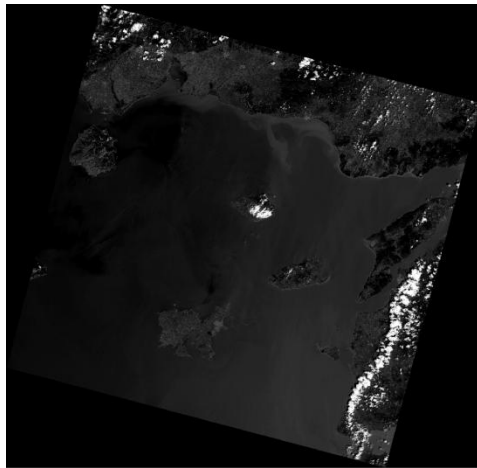
περίπτωση που η νεφοκάλυψη υπερβαίνει το 40%, τότε τα δεδομένα διατίθενται για επεξεργασία στο GLOVIS ή στο EarthExplorer.

Η μόνη από τις 4 εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν η οποία παρουσίαζε ποσοστό νεφοκάλυψης, ήταν για την ημερομηνία 25-05-2013 του Landsat 8 και αφορούσε τη Λήμνο. Παρολ'αυτά το ποσοστό νεφοκάλυψης ήταν της τάξης του 2,54% (πολύ μικρής σημασίας) και επιπλέον ο κύριος όγκος των νεφών παρουσιαζόταν εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος. Σύμφωνα με την υπόδειξη των μεταδεδομένων, η εικόνα αυτή καθώς και οι υπόλοιπες 3 έχουν υποστεί της διαδικασία της διόρθωσης. Επιπλέον όσον αφορά την ποιότητα απόκτησης των δεδομένων, δίνεται ένας μονοψήφιος αριθμός, που αντιστοιχεί σε τυχόν σφάλματα κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας των αρχείων. Η τιμή 9 που λαμβάνουν οι 3 από τις 4 εικόνες αντιστοιχεί σε άριστη ποιότητα, ενώ η τιμή 7 που λαμβάνει η εικόνα της Λέσβου για το 1984 αντιστοιχεί σε καλής ποιότητας δεδομένα, όπου ενδέχεται να εμφανίζονται μικρά έως ασήμαντα σφάλματα.

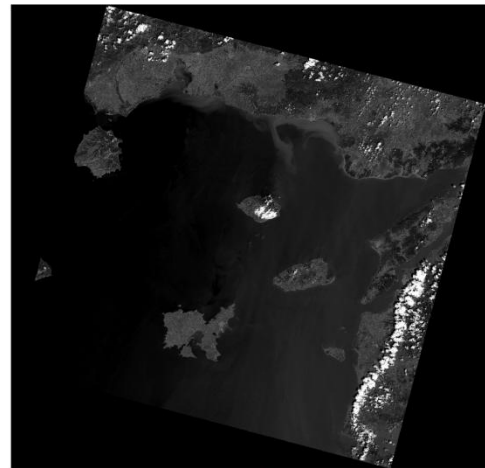
3.2.3 Συγχώνευση Καναλιών

Το επόμενο βήμα ήταν η συγχώνευση των διαφορετικών καναλιών που προσφέρει η κάθε δορυφορική εικόνα. Η συγχώνευση έγινε μέσω του λογισμικού Arcmap της ESRI και τη εντολή composite bands. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την περαιτέρω επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας και της συσχέτισης των καναλιών (bands) μεταξύ τους.

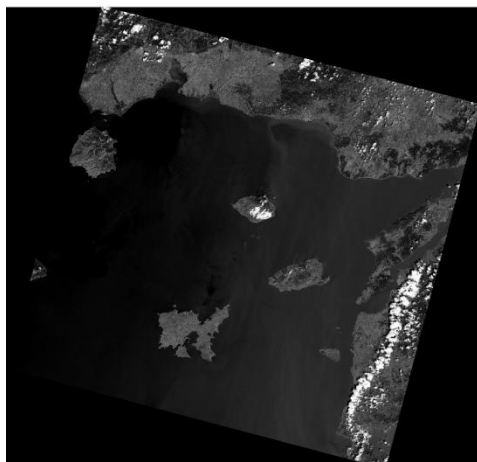
Ο φάκελος της δορυφορικής εικόνας μετά τη λήψη του από το GLOVIS εμπεριέχει τα επιμέρους αρχεία .tif τα οποία απεικονίζουν την εικόνα του κάθε καναλιού. (7 αρχεία .tif για τον landsat 5 και 11 για τον Landsat 8).



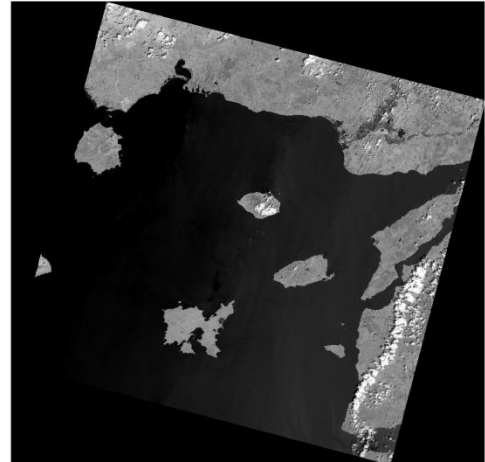
BAND 2



BAND 3



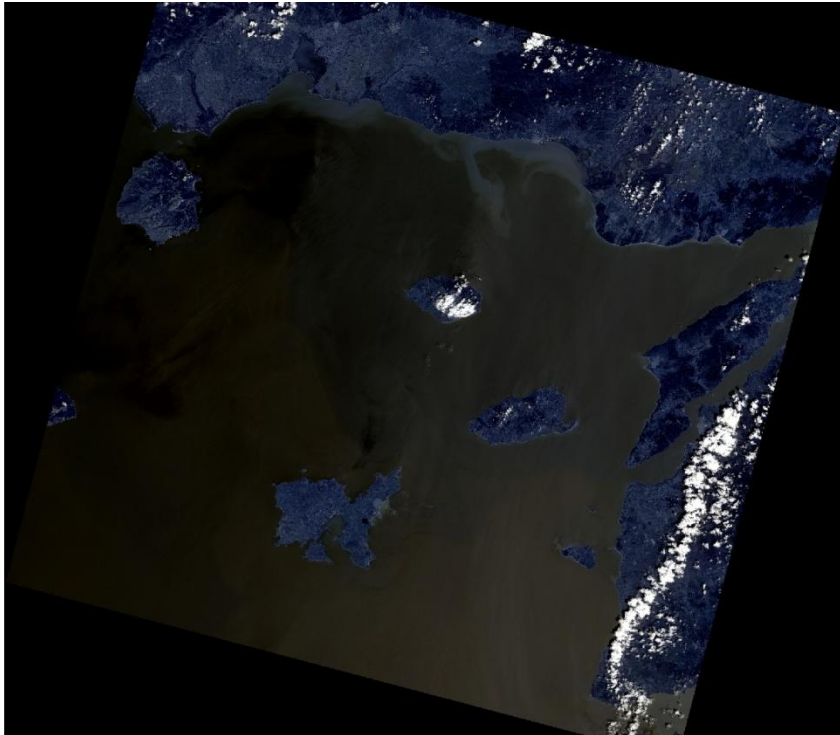
BAND 4



BAND 5

Εικόνα 11: Κανάλια 2,3,4 και 5 του Landsat 8

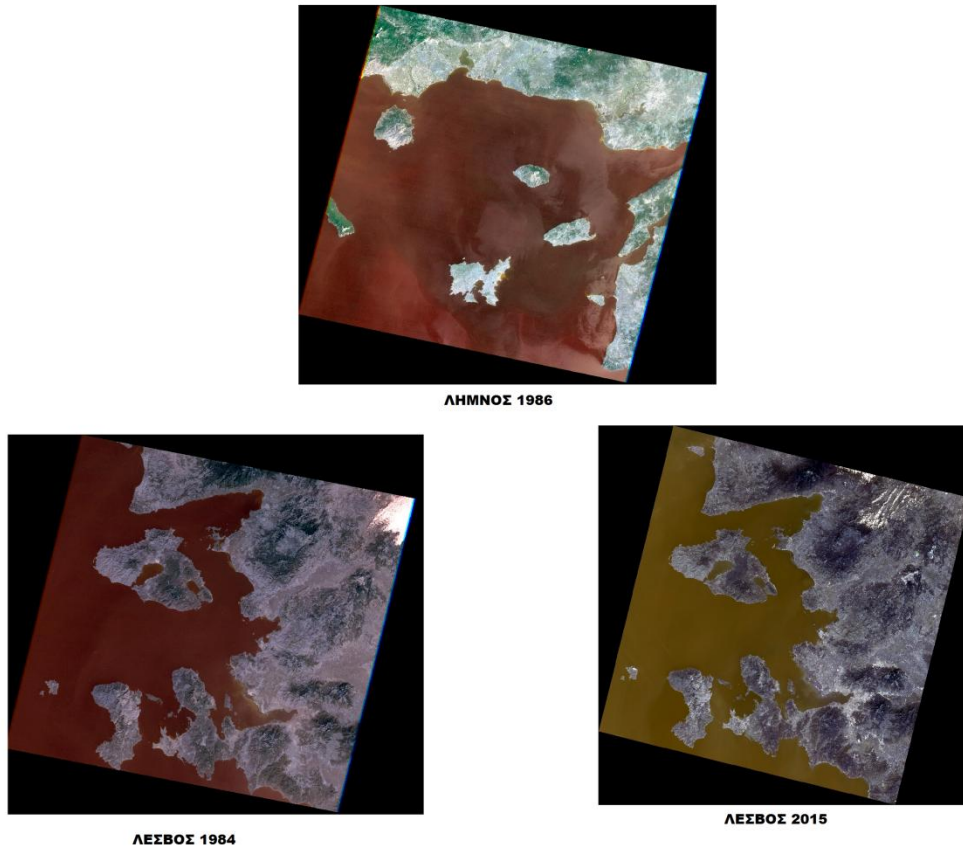
Η παραπάνω εικόνα αποτελεί ένα παράδειγμα για το τι εμφανίζει το κάθε κανάλι του δορυφόρου. Η συγκεκριμένη είναι από τον Landsat 8 για τη Λήμνο το 2013 και εμφανίζονται με τη σειρά τα κανάλια 2,3,4, και 5 τα οποία αντιστοιχούν στο μπλε, πράσινο, κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο του φάσματος. Το μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος το οποίου ανακλά το κάθε κανάλι περιγράφεται αναλυτικά στο 1^ο κεφάλαιο. Κατόπιν της συγχώνευσης και των 11 καναλιών του Landsat 8, το αποτέλεσμα που εξάγεται είναι το εξής:



Εικόνα 12: Αποτέλεσμα συγχώνευσης καναλιών

Αντίστοιχα και για τις υπόλοιπες δορυφορικές εικόνες ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, με τη μόνη διαφορά πως ο Landsat 5 έχει 7 κανάλια και ο Landsat 8 διαθέτει 11.

Στην ακόλουθη εικόνα παρατίθενται το τελικό αποτέλεσμα με τα συγχωνευμένα κανάλια για τις υπόλοιπες δορυφορικές εικόνες.



Εικόνα 13: Συγχωνευμένα κανάλια των υπολοίπων ημερομηνιών

3.4 ΕΠΑΝΑΠΡΟΒΟΛΗ (RE-PROJECTION) ΠΡΟΒΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ / ΑΠΟΚΟΠΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Τα δύο τελευταία βήματα που χρειάστηκε να πραγματοποιήσουμε για να ολοκληρώσουμε την διαδικασία της προεπεξεργασίας των εικόνων- εφόσον πλέον υπάρχουν συγχωνευμένα τα κανάλια-ήταν αρχικά να κάνουμε επαναπροβολή μέσω της εντολής “project raster” του προβολικού συστήματος στο Ελληνικό ΕΓΣΑ87’ (Greek Grid) και κατόπιν να απομονώσουμε την περιοχή ενδιαφέροντος μας, καθώς η έκταση που καλύπτει η κάθε εικόνα είναι πολύ μεγαλύτερη από την περιοχή μελέτης μας. Τέλος και για τις τέσσερις εικόνες, έγινε εξαγωγή μέσω της μάσκας της ακτογραμμής (extract by mask). Ο σκοπός αυτής της ενέργειας ήταν να αφαιρεθούν οι υδάτινες μάζες της θάλασσας και των αποταμιευτήρων από την εικόνα. Αυτό θα ωφελήσει ως προς τη μείωση του μεγέθους της εικόνας, την αύξηση της ταχύτητας επεξεργασίας και την αποφυγή σύγχυσης με άλλες κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης.

3.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η επιλογή των κατηγοριών κάλυψης/χρήσης γης πάνω στις οποίες βασίστηκε η ταξινόμηση μας, έγινε βάσει της ονοματολογίας και των κατηγοριών του προγράμματος Corine. Η διαδικασία αυτή ήταν ιδιαίτερη δύσκολη λαμβάνοντας υπόψη τη δυσκολία αναγνώρισης ορισμένων κατηγοριών, όπως αυτές προτείνονται από το Corine εξαιτίας των χαρακτηριστικών που τους αποδίδει. Πιο συγκεκριμένα για κατηγορίες όπως «Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης», «Θάμνοι και χερσότοποι» και «Μεταβατικές θαμνώδεις και Δασώδεις εκτάσεις», ο διαχωρισμός τους και η ακριβής καταγραφή τους έχουν μεγάλο βαθμό δυσκολίας. Κατόπιν αρκετών πειραματισμών, επιλέχθηκαν 7 κατηγορίες-κλάσεις για την κάθε περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια αυτές ομαδοποιήθηκαν. Η τελική ομαδοποίηση των κλάσεων βασίστηκε στις 4 ιεραρχικές κατηγορίες οι οποίες είναι: i) Τεχνητές επιφάνειες ii) Γεωργικές περιοχές iii) Δάση και ημι-φυσικές περιοχές και iv) Νερό. Για την τελευταία κατηγορία και εξαιτίας της αποκοπής της θάλασσας από τη μάσκα, έγινε κάτι σαν σύμπτυξη των κατηγοριών 4 και 5 του Corine (Υγρότοποι και Υδάτινες Επιφάνειες). Στην επόμενη ενότητα ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των κατηγοριών.

3.6 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

3.6.1 Λέσβος

Για την πραγματοποίηση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης στις δορυφορικές εικόνες της Λέσβου, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood). Στην περιοχή μελέτης μας συναντήθηκαν αρκετές διαφορετικές κατηγορίες κάλυψης/χρήσης γης. Ορισμένες αντιστοιχούν σε μεγάλη έκταση της περιοχής μας και άλλες σε μικρότερη. Κατόπιν πολλών πειραματισμών με τον αριθμό των κατηγοριών και την αξιοπιστία της ταξινόμησης, επιλέχθηκαν 7 κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης. Οι κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης προφανώς είναι πολύ περισσότερες αλλά κατέστη αδύνατος ο φασματικός διαχωρισμός τους. Οι πρώτες 7 κατηγορίες όπου κατετάχθησαν οι δειγματοληπτικές περιοχές είναι:

- *Τεχνητές επιφάνειες ή Αστικό περιβάλλον:* Εμπεριέχονται όλες οι επιμέρους κατηγορίες όπως αστική οικοδόμηση, βιομηχανικές ζώνες, αεροδρόμια,

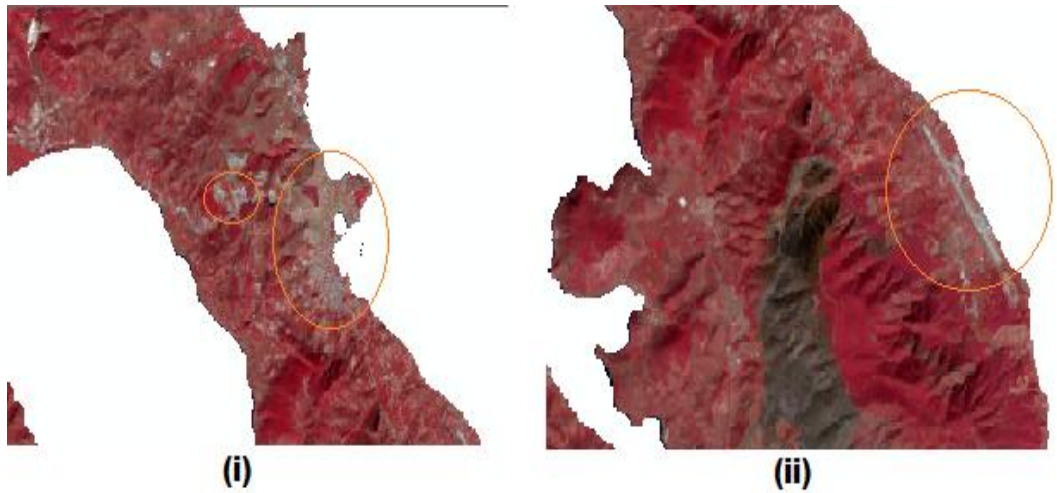
λιμάνια, ορυχεία κλπ. Επιλέχθηκε η συγχώνευση όλων των κατηγοριών σε μια καθώς οι φασματικές υπογραφές όλων των παραπάνω είναι σχεδόν ίδιες και ο διαχωρισμός τους σε υποκατηγορίες μέσω της ταξινόμησης θα οδηγούσε κατά πάσα πιθανότητα σε σφάλματα

- *Ετερογενείς αγροτικές περιοχές*: Σε αυτή την κατηγορία επιλέχθηκαν κατηγορίες της γεωργικής γης, όπως η μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη, οι ετήσιες και μόνιμες καλλιέργειες, τα σύνθετα συστήματα καλλιεργειών καθώς και περιοχές που καλύπτονται κυρίως από γεωργία αλλά εμφανίζονται και διάσπαρτες εκτάσεις με φυσική βλάστηση
- *Ελαιώνες*: Ένα πολύ μεγάλο μέρος του νησιού (σχεδόν το 1/5) καλύπτεται από ελαιώνες. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε ως μοναδική κατηγορία
- *Δάση*: Στην κατηγορία αυτή συγχωνεύτηκαν τα δάση πλατύφυλλων, κωνοφόρων τα μικτά δάση, όπως επίσης οι μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
- *Φυσικοί βοσκότοποι*: Επίσης ένα πολύ μεγάλο μέρος του νησιού (περίπου 1/4) καλύπτεται από χαμηλής παραγωγικότητας βοσκοτόπους . Συμπεριλαμβάνονται οι βραχώδεις περιοχές.
- *Σκληροφυλλική βλάστηση*: Περιοχές με θαμνώδη σκληροφυλλική βλάστηση (Περιλαμβάνονται μακκία και φρυγανική βλάστηση)
- *Νερό*: Από τη στιγμή που έχει γίνει αποκοπή της θάλασσας μέσω της μάσκας, σε αυτή τη κατηγορία συναντώνται παραθαλάσσιοι βάλτοι και αλυκές

Δειγματοληψία

Η επαρκής γνώση της περιοχής μελέτης κρίνεται απαραίτητη πριν από κάθε εφαρμογή τεχνικής επεξεργασίας. Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα δείγματα ή αλλιώς training points που πάρθηκαν προς ταξινόμηση για την κάθε εικόνα και τα οποία εντοπίστηκαν μέσω της φωτοερμηνείας των δορυφορικών απεικονίσεων αλλά και μέσω της βοήθειας εικόνων μεγαλύτερης χωρικής διακριτικής ικανότητας από το πρόγραμμα «Google Earth» . Η βοήθεια του «Google Earth» ήταν χρήσιμη για τις πρόσφατες μόνο εικόνες (Λέσβος το 2015 και Λήμνος το 2013), καθώς δεν υπάρχουν στο αρχείο του εικόνες για τις υπόλοιπες δύο ημερομηνίες που αναζητήθηκαν (Λέσβος το 1984 και Λήμνος το 1986). Σύμφωνα με τον Αργιαλά το 1999, η εκτέλεση

φωτοερμηνείας, αποτελεί τη διαδικασία αναγνώρισης αντικειμένων, που υπάρχουν σε φωτογραφίες και τη αναμετάδοση της πληροφορίας αυτής σε τρίτους. Ακολουθούν ορισμένα φωτοερμηνευτικά πρότυπα των κατηγοριών που επιλέχθηκαν προς ταξινόμηση με αναφορά στους συνδυασμούς καναλιών που επιλέχθηκαν.



Εικόνα 14:Φωτοερμηνευτικό πρότυπο i)αστικής οικοδόμησης ii)αεροδρομίου Χρήση συνδυασμού καναλιών 5-4-3 (Landsat 8)



Εικόνα 15: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για ελαιώνες i) και ii) Χρήση συνδυασμού καναλιών 3-2-1 (Landsat 5)



Εικόνα 16: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο ετερογενούς γεωργικής περιοχής i) με συνδυασμό 6-5-2 και ii) με συνδυασμό 4-3-2 (Landsat 8)



(i)



(ii)

Εικόνα 17: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο i) Δάσος Κωνοφόρων και ii) Δάσος Πλατύφυλλων Χρήση συνδυασμού καναλιών 3-2-1 (Landsat 5)



(i)

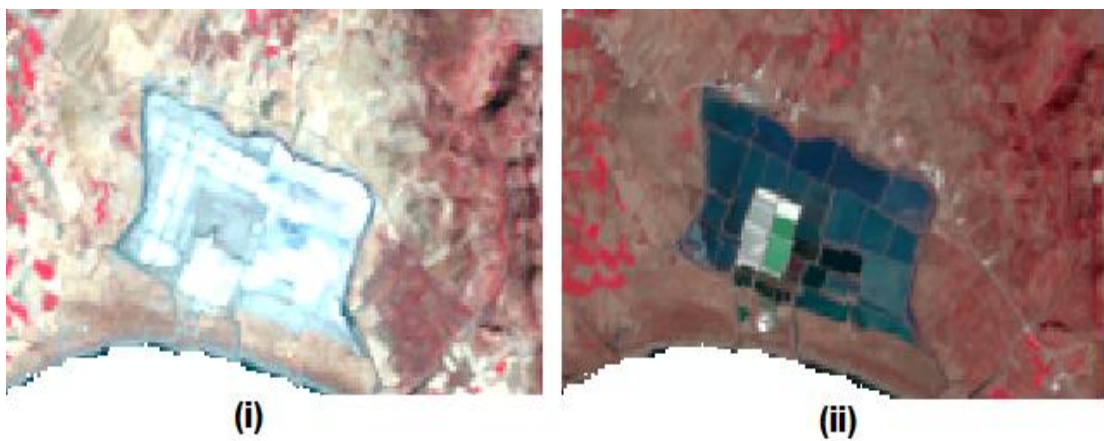


(ii)

Εικόνα 18: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για φυσικούς βοσκότοπους i) με συνδυασμό 4-3-2 (Landsat 8) ii) με συνδυασμό 3-2-1 Landsat 5

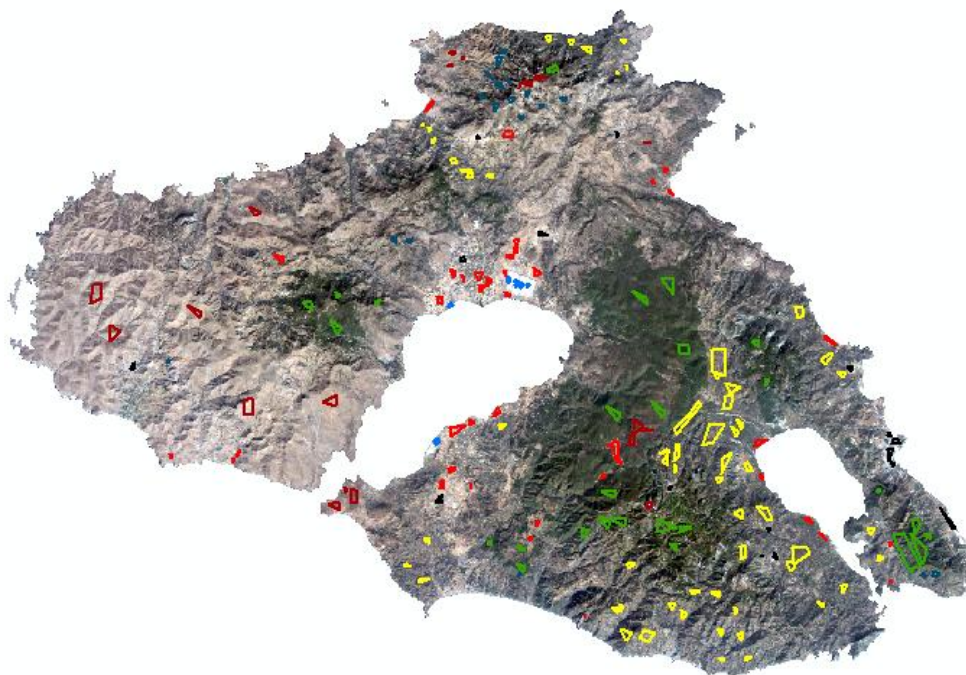


Εικόνα 19: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για σκληροφυλλική βλάστηση i) με συνδυασμό 4-3-2 (Landsat 8) ii) με συνδυασμό 3-2-1 (Landsat 5)

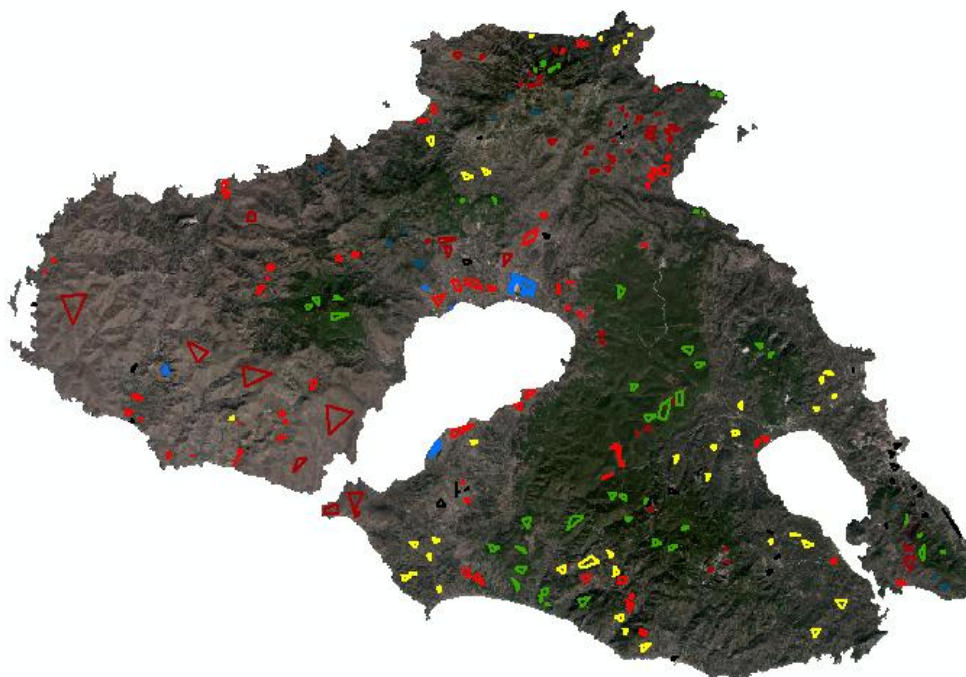


Εικόνα 20: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για αλυκές (κατηγορία νερό) με συνδυασμό καναλιών 4-3-2 (Landsat 5) για το i) και 5-4-3 (Landsat 8) για το ii)

Στις δύο επόμενες εικόνες παρουσιάζονται τα δείγματα για τις δορυφορικές εικόνες του 1984 και του 2015.



Εικόνα 21:Δειγματοληψία Λέσβος 1984



Εικόνα 22:Δειγματοληψία Λέσβος 2015

ID	Class Name	Value	Color
1	Urban	1	Black
2	Heterogenous	2	Red
3	Olive trees	3	Yellow
4	Forests	5	Green
5	Natural Grassla...	6	Dark Red
6	Sclerophyllous	7	Dark Blue
7	Water	8	Blue

Εικόνα 23:Κατηγορίες για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τον αντίστοιχο χρωματισμό

3.6.2 Λήμνος

Για το νησί της Λήμνου ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, πραγματοποιώντας και εδώ τη διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης κατά τον αλγόριθμο τη μέγιστης πιθανοφάνειας. Οι κατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν κατόπιν πειραματισμών είναι οι παρακάτω 7:

- *Τεχνητές επιφάνειες ή Αστικό περιβάλλον:* Εμπεριέχονται όλες οι επιμέρους κατηγορίες όπως αστική οικοδόμηση, βιομηχανικές ζώνες, αεροδρόμια, λιμάνια, ορυχεία κλπ.
- *Μη αρδεύσιμη- αρόσιμη γη:* Αποτελεί και ένα πολύ μεγάλο κομμάτι της περιοχής και συγχωνεύτηκαν όλες οι κατηγορίες της αρόσιμης γης και τα λιβάδια
- *Ετερογενείς γεωργικές περιοχές:* Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλήφθησαν οι υπόλοιπες γεωργικές περιοχές όπως τα σύνθετα συστήματα καλλιέργειας και γη που καλύπτεται από γεωργία με διάσπαρτες περιοχές βλάστησης

- *Φυσικοί βοσκότοποι:* Στην κατηγορία δάση και ημι-φυσικές περιοχές αυτό που απαντάται στη Λήμνο είναι κυρίως οι φυσικοί βοσκότοποι και η σκληροφυλλική βλάστηση, οι οποίες κατηγορίες συμπτύχθηκαν για τη διευκόλυνση της ταξινόμησης
- *Αμμόλοφοι- Αμμουδιές:* Ανήκει στην κατηγορία των δασών και ημι-φυσικών περιοχών αλλά εξαιτίας της φασματικής της υπογραφής, επιλέχθηκε σε πρώτο στάδιο να αποτελέσει διαφορετική κατηγορία. Στη συνέχεια ομαδοποιείται με την παραπάνω κατηγορία
- *Παράκτιες Λιμνοθάλασσες:* Εκτάσεις αλμυρών ή υφάλμυρων υδάτων. Οι δύο σημαντικότερες της Λήμνου είναι Η λίμνη Αλυκή και η λίμνη Χορταρολίμνη
- *Παραθαλάσσιοι βάλτοι:* Χαμηλές περιοχές με βλάστηση πάνω από το όριο της πλημμυρίδας, ευάλωτες σε κατακλυσμό από θαλασσίνο νερό.

Δειγματοληψία

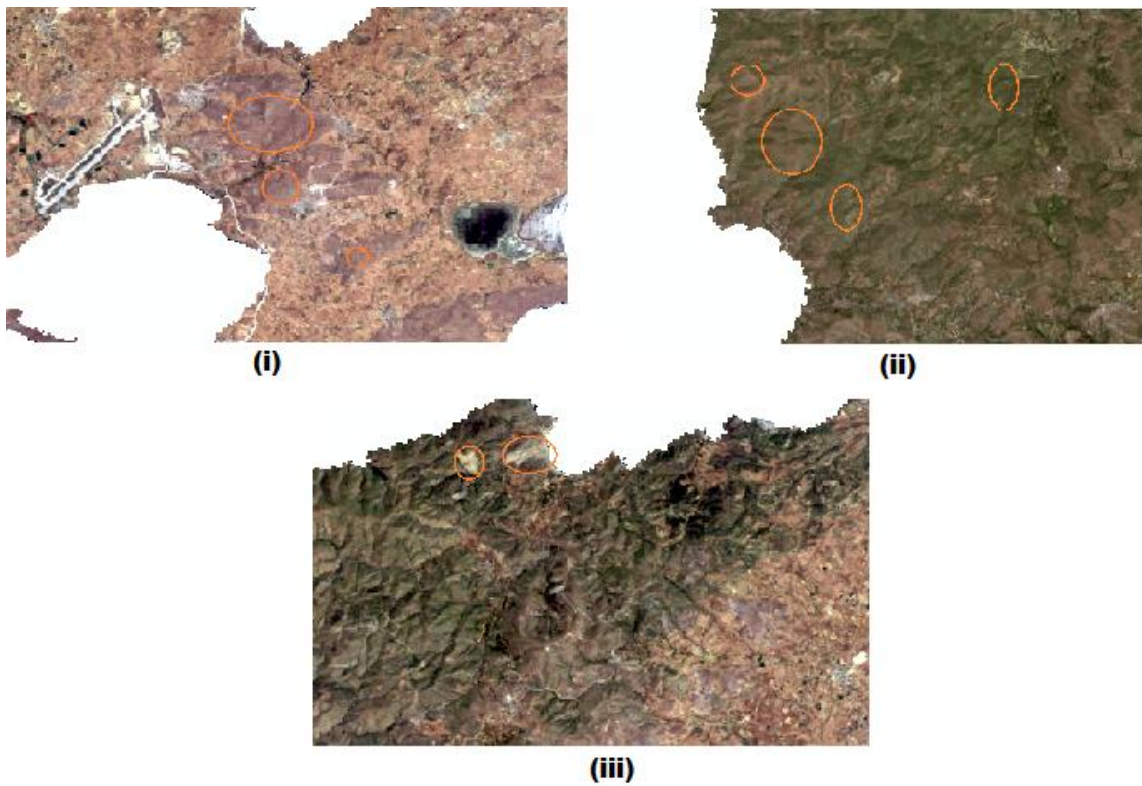
Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τη Λήμνο, ήταν η μεν πρώτη (για το 1986) με τον δορυφόρο Landsat 5 και η δεύτερη (για το 2013) με τον δορυφόρο Landsat 8. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά κάποια φωτοερμηνευτικά πρότυπα των περιοχών που επιλέχθηκαν προς ταξινόμηση, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς καναλιών.



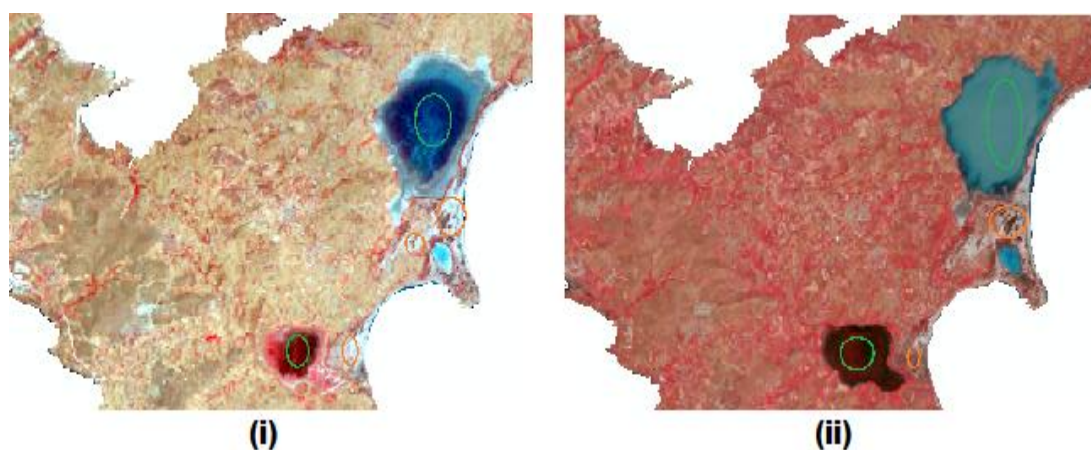
Εικόνα 24: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο i) και ii) για Αστικό περιβάλλον με συνδυασμό καναλιών 7-6-4 (Landsat 8)



Εικόνα 25: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για i) μη αρδύσιμη αρόσιμη γη και ii) ετερογενείς γεωργικές περιοχές με συνδυασμό καναλιών 6-5-2 (Landsat 8)

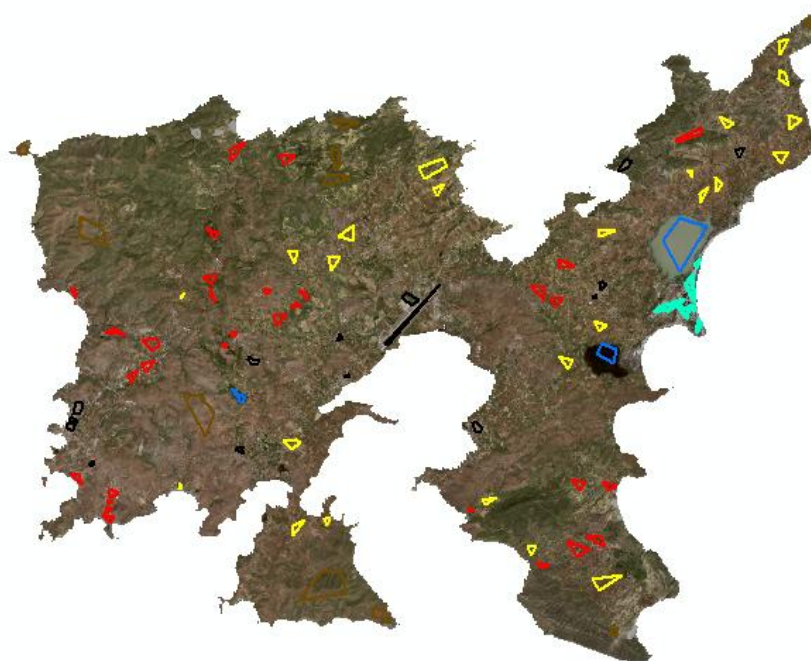


Εικόνα 26: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για i) Φυσικούς βοσκότοπους με συνδυασμό 3-2-1 (Landsat 5) ii) Φυσικούς βοσκότοπους με συνδυασμό 4-3-2 (Landsat 8) iii) Αμμόλοφους-Αμμουδιές με συνδυασμό 3-2-1 (Landsat 5)

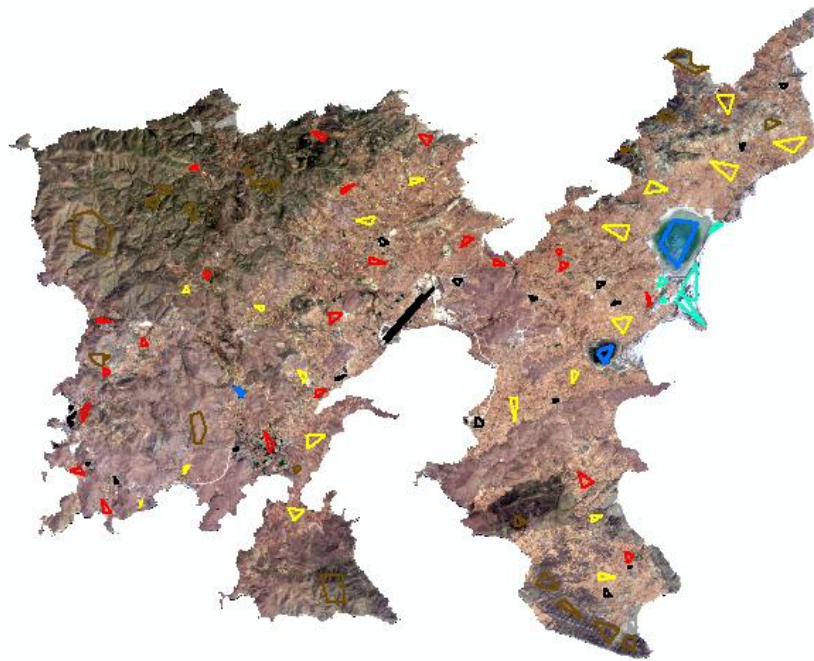


Εικόνα 27: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο για Λιμνοθάλασσες (πράσινο περίγραμμα) και βάλτους (πορτοκαλί περίγραμμα) i) με συνδυασμό 4-3-2 (Landsat 5) ii) με συνδυασμό 5-4-3 (Landsat 8)

Στις δύο επόμενες εικόνες παρουσιάζονται τα δείγματα για τις δορυφορικές εικόνες του 1986 και του 2013.



Εικόνα 28: Δειγματοληψία Λήμνος 1986



Εικόνα 29: Δειγματοληψία Λήμνος 2013

ID	Class Name	Value	Color
1	Urban	1	Black
2	Non-irrigated arable land	2	Yellow
3	Heterogenous	3	Red
4	Natural grasslands	6	Brown
5	Beaches sands	7	Grey
6	Coastal Lagoons	19	Blue
7	Salt marshes	37	Cyan

Εικόνα 30: Κατηγορίες για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τον αντίστοιχο χρωματισμό

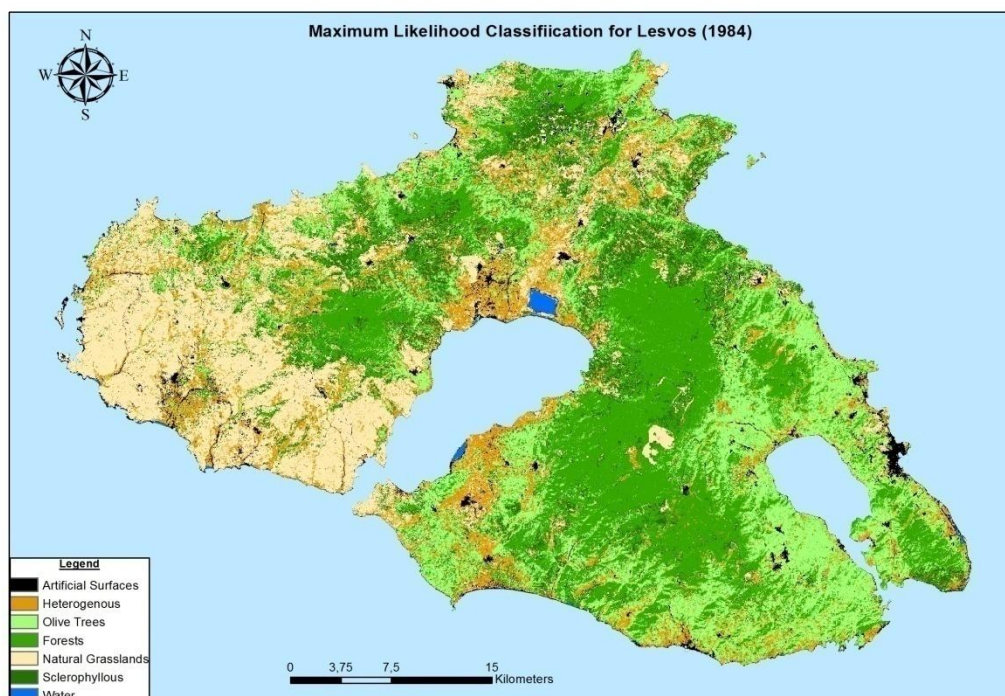
3.7 Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέσω του αλγορίθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας, για τις δορυφορικές εικόνες της Λέσβου και της Λήμνου στις αντίστοιχες ημερομηνίες.

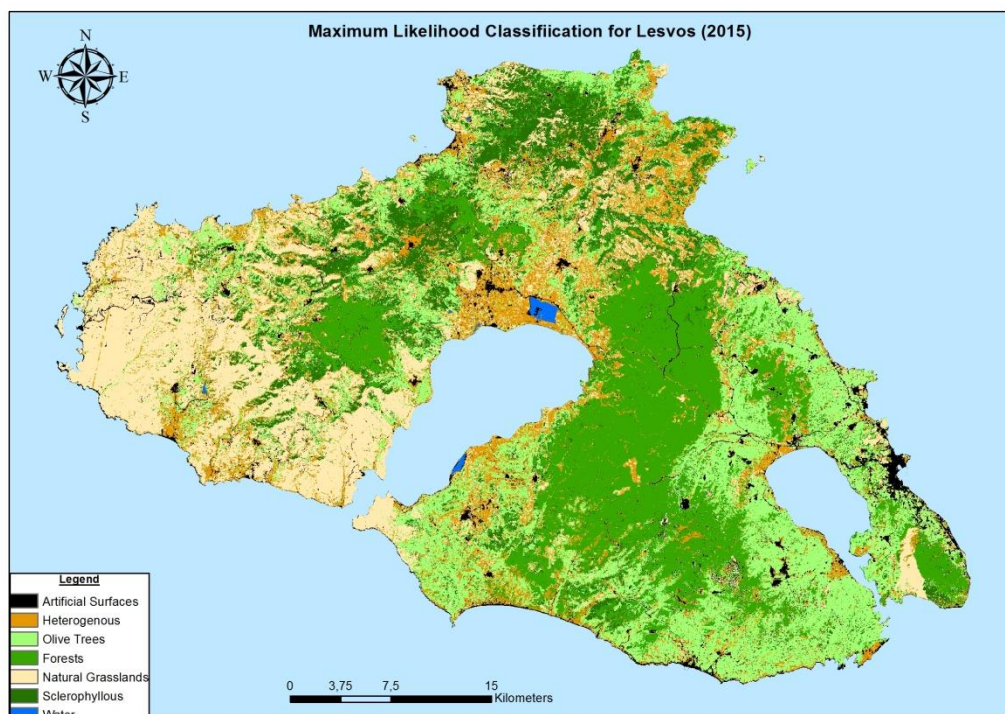
Μετά το πέρας της ταξινόμησης πραγματοποιήθηκαν διαδικασίες μεταταξινόμησης. Αρχικά εκτελέστηκε έλεγχος για να εξεταστεί η πιθανότητα επιτυχούς ταξινόμησης των εικονοστοιχείων (pixels) για κάθε εικόνα ξεχωριστά και στη συνέχεια έγινε εξομάλυνση της ταξινομημένης εικόνας, μέσω της επαναδειγματοληψίας ακολουθώντας τη μέθοδο της εγγύτερης γειτνίασης. Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία εφαρμόζεται για την μείωση «θορύβων». Κάθε pixel κωδικοποιείται εκ νέου στην κατηγορία που αποτελεί πλειοψηφία στη γειτονιά του Ως γειτονιά του pixel ορίστηκε ένα ορθογώνιο 15x15 κελιών. Παραδείγματος χάριν σε μια περιοχή όπου η πλειοψηφία των pixels έχει ταξινομηθεί ως φυσικοί βοσκότοποι, τα όποια μεμονωμένα κελία τα οποία παρουσιάζουν διαφορετική τιμή(π.χ. 1 με 2 pixels αστικής δόμησης), μετά την επαναδειγματοληψία, θα ταξινομούνται ως φυσικοί βοσκότοποι. Η επιλογή της γειτονιάς έχει ως σκοπό τη ομογενοποίηση των αποτελεσμάτων και την αποφυγή μεμονωμένων αστοχιών, αλλά παρόλα αυτά δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή για να αποφευχθεί μεγάλη γενίκευση η οποία ενδεχομένως να οδηγούσε σε αμφισβητούμενα αποτελέσματα.

Τέλος πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση των αρχικών 7 κατηγοριών σύμφωνα με τις οποίες έγινε η ταξινόμηση, σε 4 ιεραρχικές για να επιτευχθεί μια γενικότερη εικόνα της περιοχής μελέτης και ένα πιο ευδιάκριτο αποτέλεσμα.

3.7.1 Λέσβος



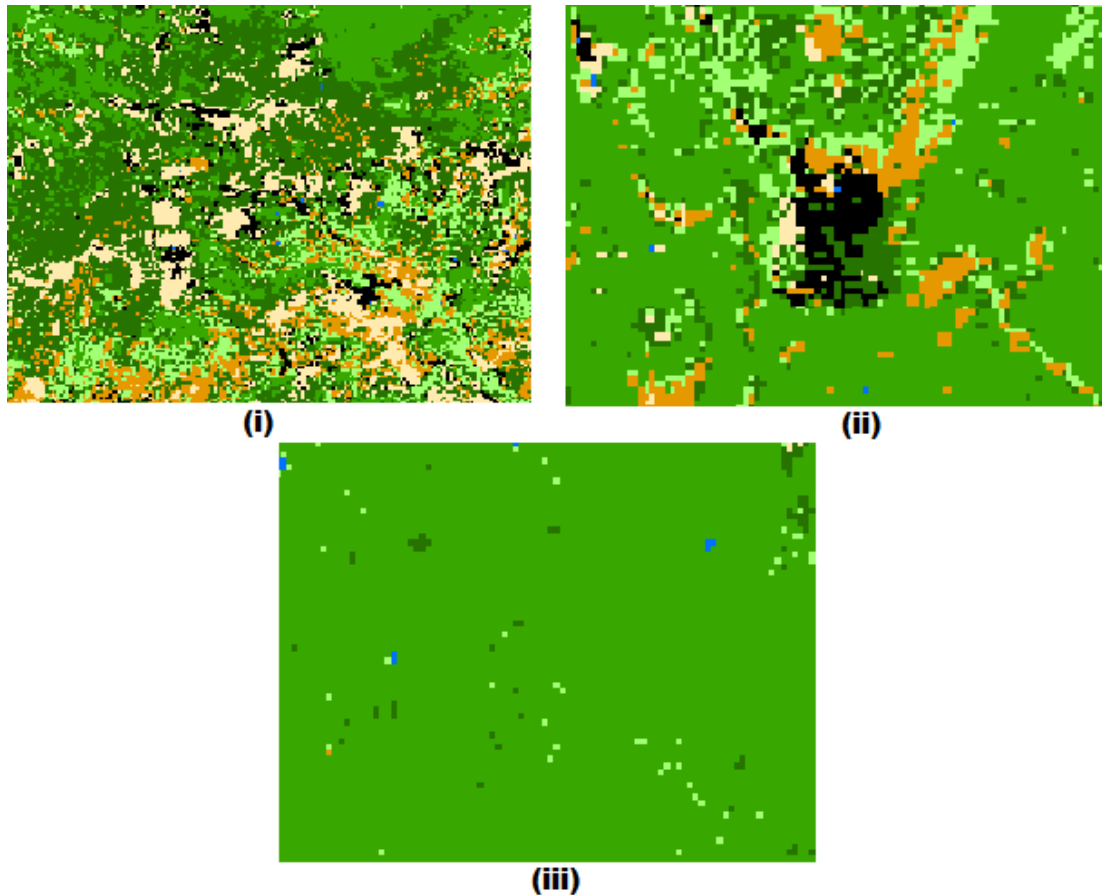
Εικόνα 31:Ταξινομημένος χάρτης για τη Λέσβο 1984



Εικόνα 32:Ταξινομημένος χάρτης για τη Λέσβο 2015

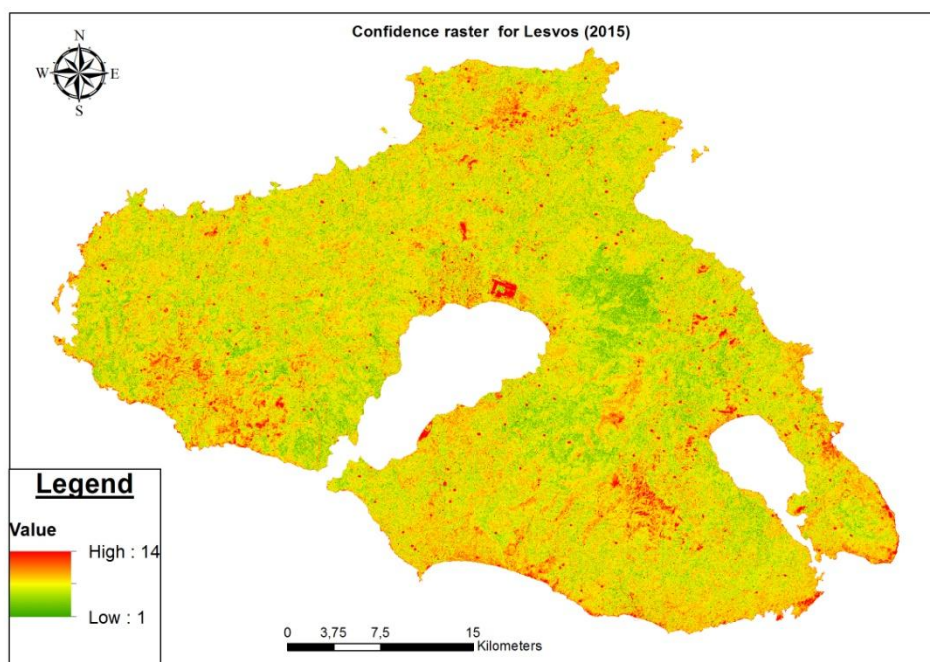
Εκτελώντας μια ποιοτική αξιολόγηση της ταξινόμησης των δύο εικόνων μέσω φωτοερμηνείας και συνεπικουρούμενη από το “Google Earth” (στην περίπτωση της

πρόσφατης εικόνας) φαίνεται πως εκ πρώτης όψεως η ταξινόμηση για την κάθε εικόνα ανταποκρίνεται αρκετά στην πραγματικότητα. Παρολ'αυτά παρατηρείται επικάλυψη κατηγοριών σε ορισμένα σημεία καθώς και λανθασμένη ταξινόμηση ορισμένων περιοχών (π.χ. εμφάνιση αστικής περιοχής στην κορυφή ενός βουνού). Επιπλέον διάσπαρτα pixels εμφανίζονται σε περιοχές όπου η κατηγορία που ανήκουν είναι ξεκάθαρη. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα αυτών των αστοχιών που παρατηρήθηκαν στις δύο ταξινομημένες εικόνες:



Εικόνα 33: i) Λανθασμένη ταξινόμηση αστικής περιοχής ii) Επικάλυψη κατηγοριών iii) Διάσπαρτα pixels

Για να εξεταστεί η αξιοπιστία της ταξινόμησης δημιουργήθηκαν δύο αντίστοιχες εικόνες, οι οποίες παρουσιάζουν μια βαθμονομημένη κλίμακα που αφορά την πιθανότητα επιτυχημένης ταξινόμησης των pixels.



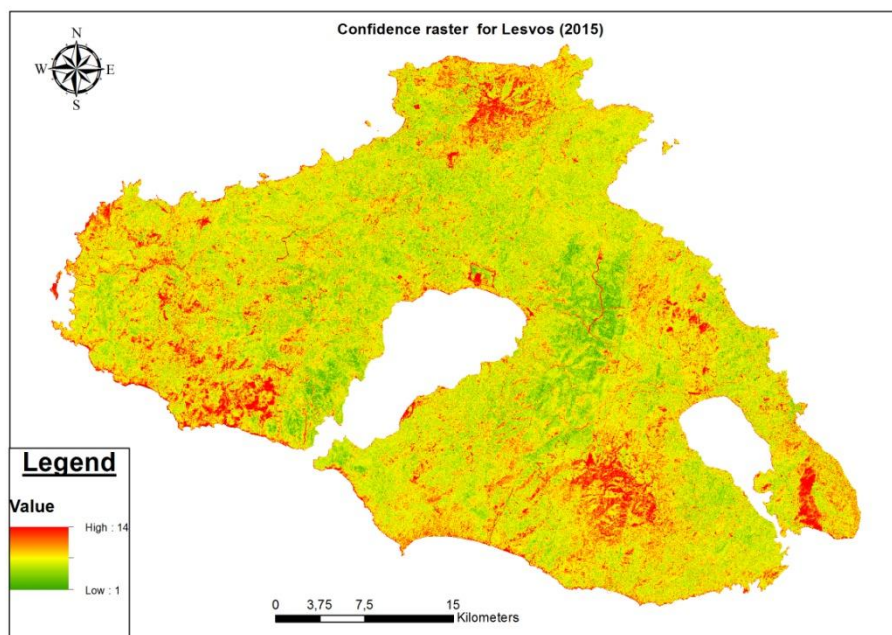
Εικόνα 34: Έλεγχος πιθανότητας επιτυχούς ταξινόμησης για τη Λέσβο (1984)

Οι τιμές που λαμβάνονται είναι από το 1 έως το 14. Τα pixels με την τιμή 14 παρουσιάζουν πολύ χαμηλή πιθανότητα (0,5%) να έχουν ταξινομηθεί σωστά ενώ τα pixels με την τιμή 1 παρουσιάζουν 100% ως προς την πιθανότητα επιτυχούς ταξινόμησης. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας όπου περιγράφονται ο αριθμός των pixels που αντιστοιχούν σε κάθε βαθμό, το ποσοστό τους επί του συνόλου των pixels και η πιθανότητα σωστής ταξινόμησης τους.

VALUE	Pixels	Ποσοστό pixels	Πιθανότητα επιτυχίας
1	33125	1,83%	100,00%
2	29101	1,60%	99,50%
3	78212	4,31%	99,00%
4	111727	6,16%	97,50%
5	185688	10,23%	95,00%
6	427377	23,55%	90,00%
7	477736	26,32%	75,00%
8	291789	16,08%	50,00%
9	106944	5,89%	25,00%
10	27352	1,51%	10,00%
11	12599	0,69%	5,00%
12	8891	0,49%	2,50%
13	3728	0,21%	1,00%
14	20706	1,14%	0,50%
Σύνολο	1814975	100,00%	

Πίνακας 11: Αποτελέσματα ελέγχου ταξινόμησης (Λέσβος 1984)

Σύμφωνα με τον πίνακα ... για την ταξινόμηση της Λέσβου το 1984 παρατηρείται πως το 16,08% των pixels παρουσιάζει 50% πιθανότητα να ταξινομήθηκε επιτυχώς. Γενικότερα ένα ποσοστό της τάξης του 73,99% παρουσιάζει πιθανότητα επιτυχούς ταξινόμησης από 75% και άνω ενώ ένα 9,93% από 25% και κάτω.



Εικόνα 35: Έλεγχος πιθανότητας επιτυχούς ταξινόμησης για τη Λέσβο

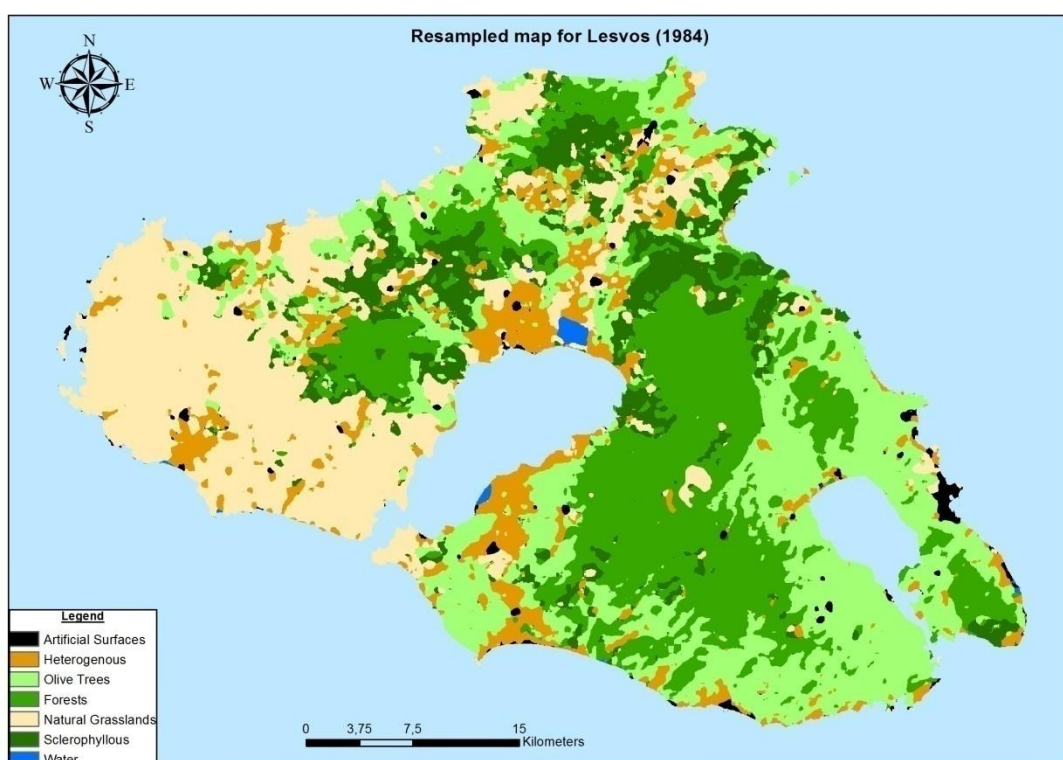
VALUE	Pixels	Ποσοστό pixels	Πιθανότητα επιτυχίας
1	6736	0,37%	100,00%
2	7407	0,41%	99,50%
3	23589	1,30%	99,00%
4	39347	2,17%	97,50%
5	79516	4,38%	95,00%
6	233953	12,89%	90,00%
7	389788	21,48%	75,00%
8	404475	22,29%	50,00%
9	283720	15,63%	25,00%
10	110921	6,11%	10,00%
11	70498	3,88%	5,00%
12	54762	3,02%	2,50%
13	26820	1,48%	1,00%
14	83443	4,60%	0,50%
Σύνολο	1814975	100,00%	

Πίνακας 12: Αποτελέσματα ελέγχου ταξινόμησης (Λέσβος 2015)

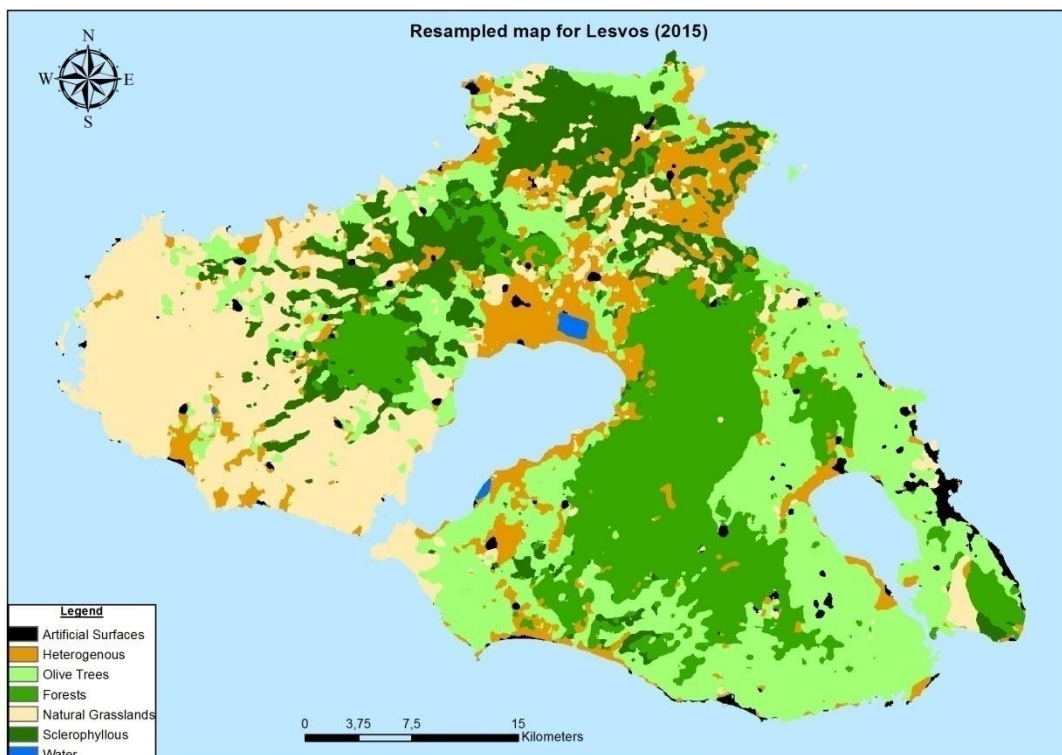
Αντίστοιχα για την εικόνα του 2015, το 22,29% εμφανίζει πιθανότητα επιτυχούς ταξινόμησης στο 50 %. Επιπλέον ποσοστό 42,99% καταγράφει πιθανότητα επιτυχίας από 75% και άνω ενώ 34,72% από 25% και κάτω.

Επαναδειγματοληψία

Προκειμένου να υπάρξει ομογενοποίηση της ταξινόμησης και να εξαλειφτούν τυχόν αστοχίες όπως αυτές που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ακολουθήθηκε η διαδικασία της επαναδειγματοληψίας. Η διαδικασία αυτή έγινε μέσω της μεθόδου της εγγύτερης γειτνίασης, η οποία περιγράφηκε στην αρχή της ενότητας. Ακολουθούν οι ταξινομημένες εικόνες μετά το πέρας της επαναδειγματοληψίας.

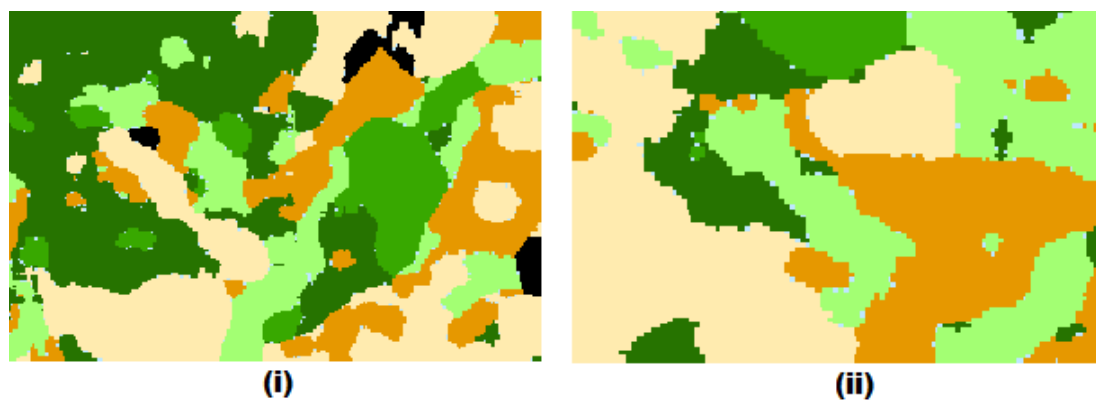


Εικόνα 36:Επαναδειγματοληψία Λέσβος 1984



Εικόνα 37:Επαναδειγματοληψία Λέσβος 2015

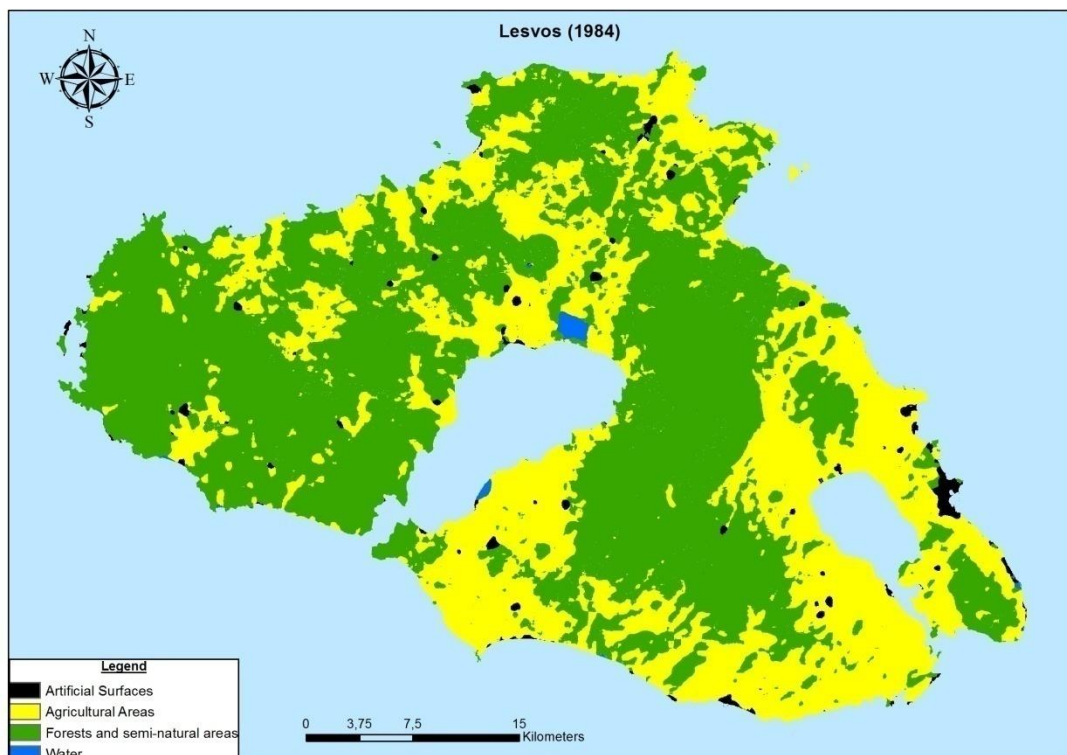
Αρκετές αστοχίες της ταξινόμησης κατάφεραν να εξαλειφτούν ύστερα από αυτή τη διαδικασία. Εντούτοις σε κάποια σημεία το αποτέλεσμα παραμένει κατά κάποιο τρόπο δυσδιάκριτο.



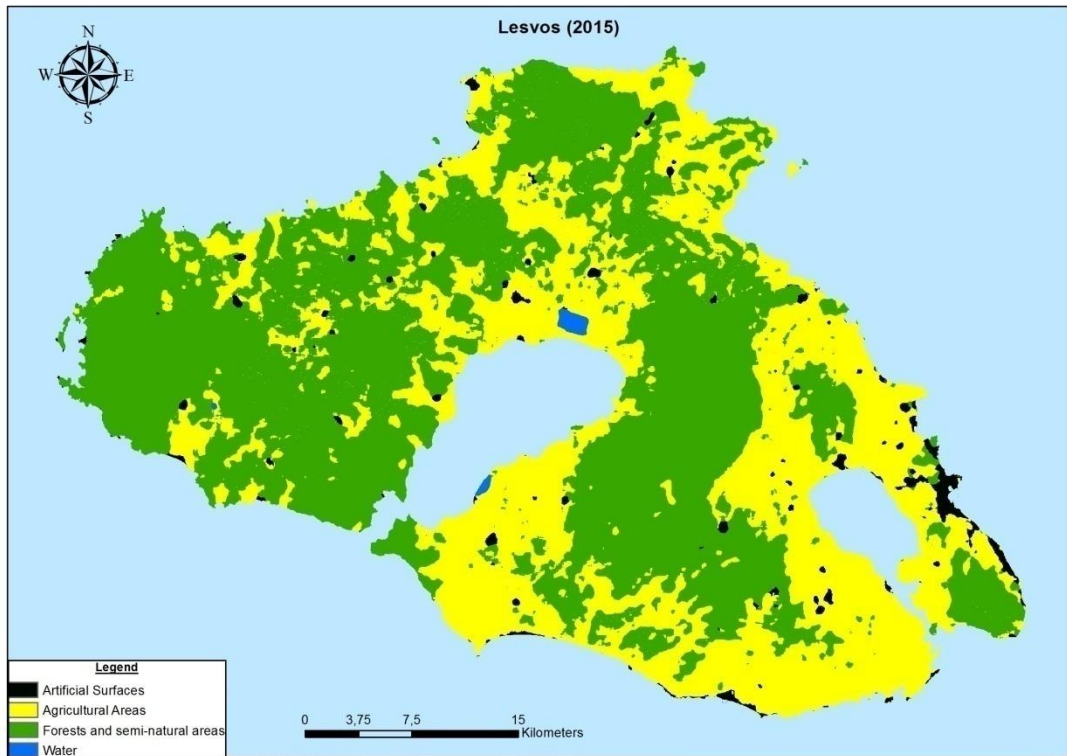
Εικόνα 38:Κατηγορίες που παραμένουν δυσδιάκριτες i) και ii)

Το τελευταίο βήμα της διαδικασίας της ταξινόμησης, ήταν η ομαδοποίηση των αρχικών κατηγοριών σε 4 ιεραρχικές κλάσεις σύμφωνα με το Corine. Αυτή η διαδικασία εξυπηρετεί μια πιο συνοπτική εξέταση και καταγραφή των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης και απαλείφει τυχόν δυσδιάκριτες κατηγορίες εξαιτίας επικάλυψης των κλάσεων. Η κατηγορία των ετερογενών γεωργικών περιοχών ομαδοποιήθηκε με τους ελαιώνες. Οι κατηγορίες δάση, φυσικοί βοσκότοποι και σκληροφυλλική βλάστηση ομαδοποιήθηκαν επίσης σε μια κατηγορία. Οι 4 τελικές κατηγορίες είναι : i) Τεχνητές επιφάνειες ii) Γεωργικές περιοχές iii) Δάση και ημι-φυσικές περιοχές και iv) Νερό.

Τελικοί ταξινομημένοι-ομαδοποιημένοι χάρτες:



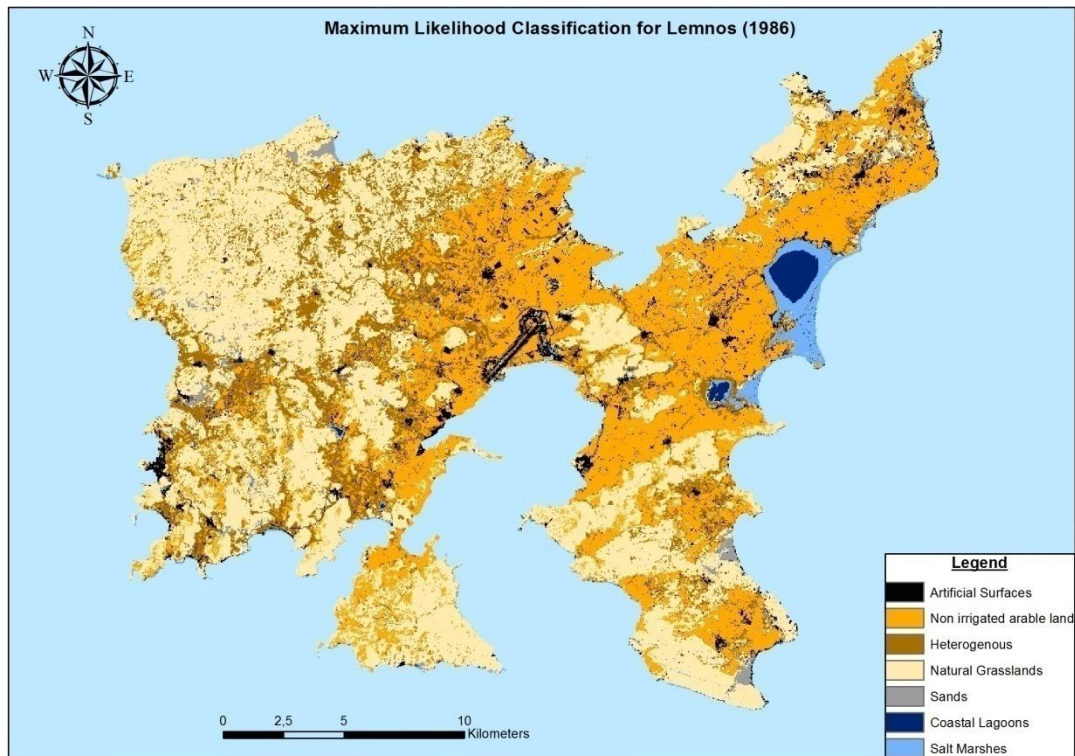
Εικόνα 39:Τελικός χάρτης Λέσβου με ομαδοποιημένες κατηγορίες για το 1984



Εικόνα 40:Τελικός χάρτης Λέσβου με ομαδοποιημένες κατηγορίες για το 2015

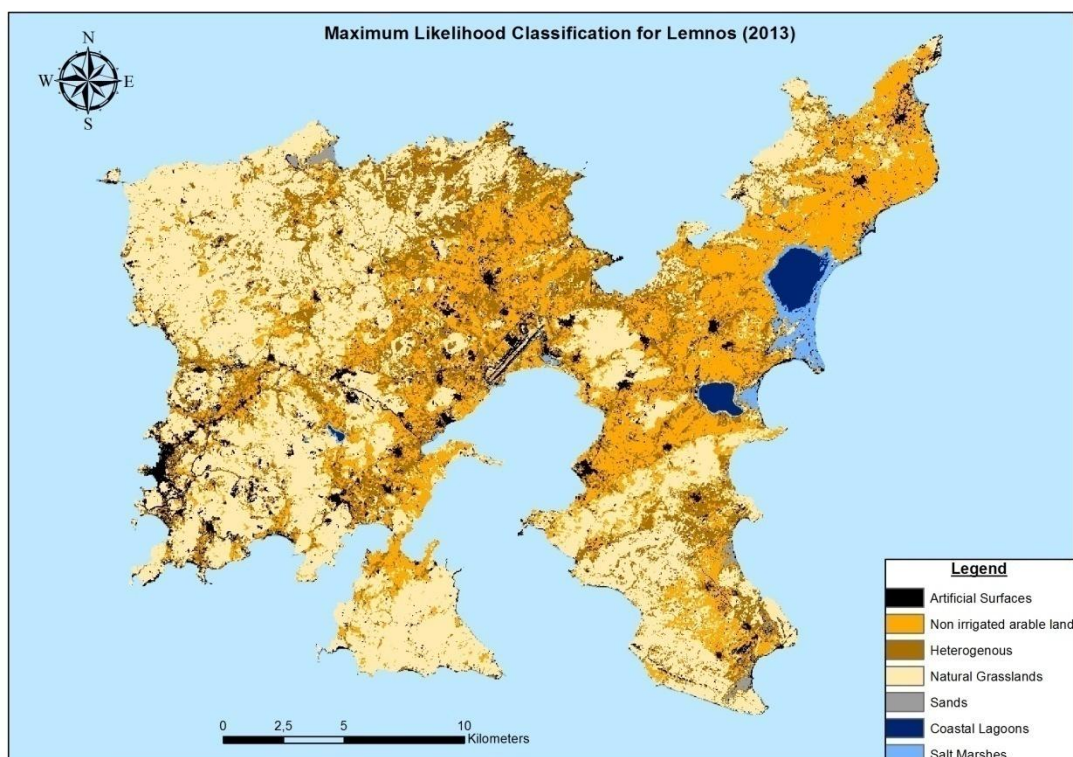
3.7.2 Λήμνος

Ταξινόμηση για το έτος 1986



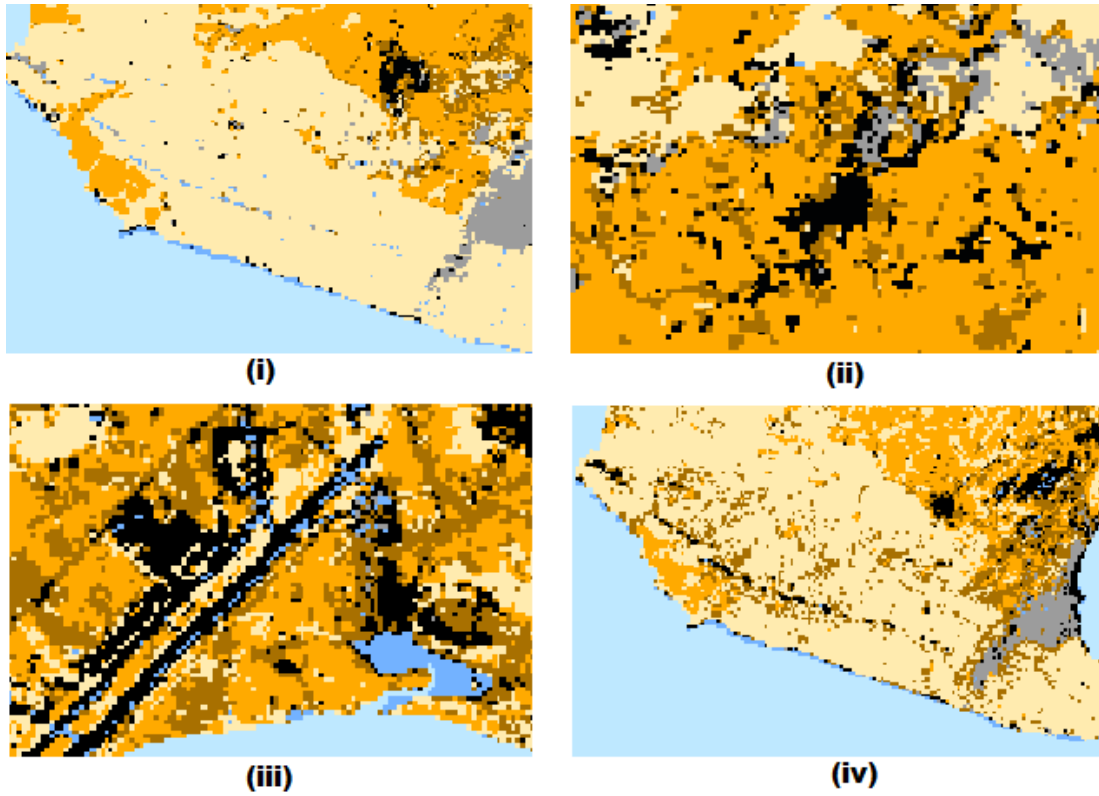
Εικόνα 41: Ταξινομημένος χάρτης για τη Λήμνο 1984

Ταξινόμηση για το έτος 2013



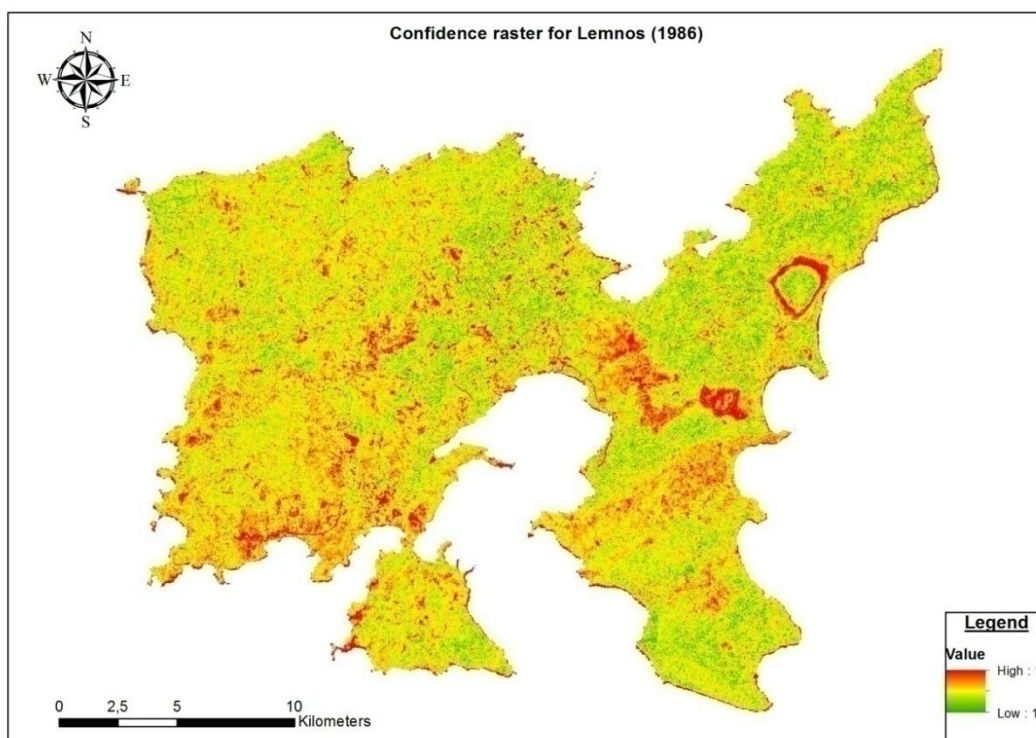
Εικόνα 42:Ταξινομημένος χάρτης για τη Λήμνο 2013

Και σε αυτή την περίπτωση κατόπιν ποιοτικού ελέγχου της ταξινόμησης μέσω της φωτοερμηνείας των εικόνων, παρατηρήθηκε ικανοποιητική συνάφεια με την πραγματικότητα. Μολοταύτα και σε αυτή την περίπτωση διαπιστώθηκαν αστοχίες και λάθη στην ταξινόμηση. Περιοχές όπου κατατάσσονται στην κατηγορία των παραθαλάσσιων βάλτων εμφανίστηκαν σε αστική περιοχή (αεροδρόμιο), όπως επίσης και σε κορυφογραμμή λόφου, με μεμονωμένα pixels . Προφανώς αυτές οι αστοχίες οφείλονται σε σύγχυση των φασματικών υπογραφών από τις περιοχές που λήφθηκαν ως δείγματα.



Εικόνα 43: i) pixels για βάλτους σε κορυφογραμμή λόφου (1984) ii) παράδειγμα σύγχυσης κατηγοριών iii) εμφάνιση pixels βάλτων στην περιοχή του αεροδρομίου(2013) iv) ίδια περιοχή με το i) μόνο που τώρα εμφανίζονται ως αστικές περιοχές (2013)

Έτσι λοιπόν για να εξεταστεί η αξιοπιστία της ταξινόμησης και στην περίπτωση της Λήμνου δημιουργήθηκαν οι δύο αντίστοιχες εικόνες, με την βαθμονομημένη κλίμακα που αφορά την επιτυχημένη ταξινόμηση των pixels.



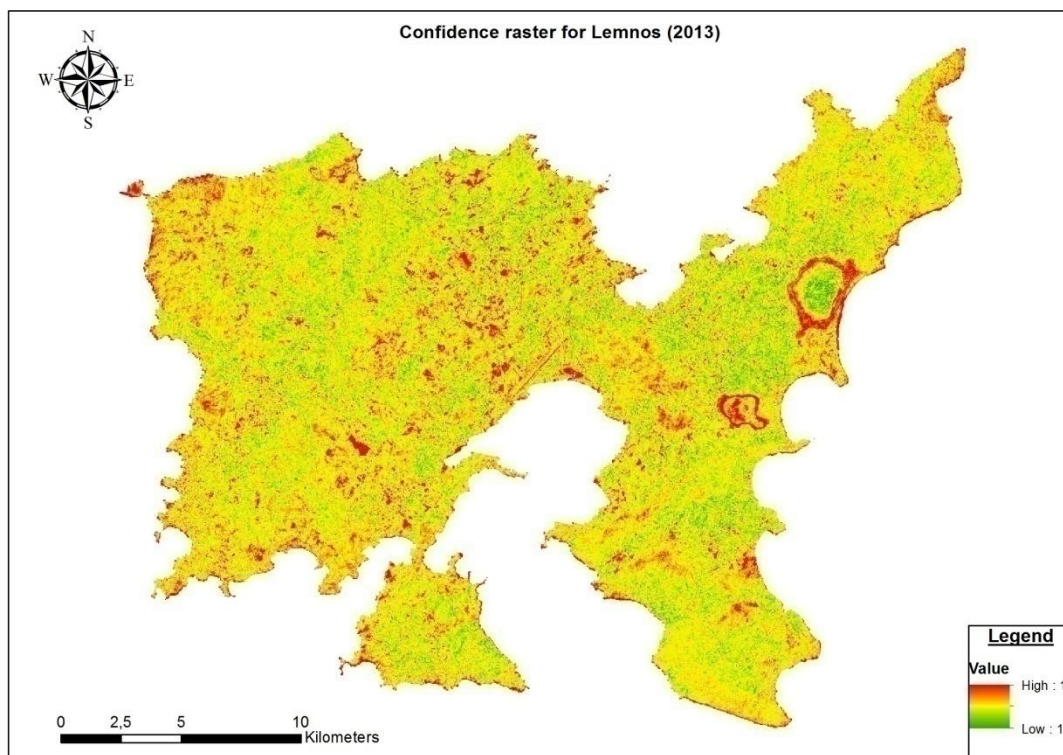
Εικόνα 44: Έλεγχος πιθανότητας επιτυχούς ταξινόμησης για τη Λήμνο (1986)

Value	Pixels	Ποσοστό pixels	Πιθανότητα επιτυχίας
1	3012	0,58%	100,00%
2	3061	0,59%	99,50%
3	9237	1,78%	99,00%
4	15301	2,96%	97,50%
5	30026	5,80%	95,00%
6	85142	16,45%	90,00%
7	125088	24,17%	75,00%
8	111974	21,63%	50,00%
9	67045	12,95%	25,00%
10	25273	4,88%	10,00%
11	13668	2,64%	5,00%
12	10719	2,07%	2,50%
13	4585	0,89%	1,00%
14	13459	2,60%	0,50%
Σύνολο	517590	100,00%	

Πίνακας 13: Αποτελέσματα ελέγχου ταξινόμησης (Λήμνος 1986)

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε πως ένα ποσοστό εικονοστοιχείων της τάξης του 52,33% παρουσιάζει πιθανότητα να έχει ταξινομηθεί επιτυχώς, από

75% και άνω. Αντιθέτως το 26,03% παρουσιάζει χαμηλή πιθανότητα επιτυχούς ταξινόμησης (25% και χαμηλότερα), ενώ το 21,63% βρίσκεται στο 50%.



Εικόνα 45: Έλεγχος πιθανότητας επιτυχούς ταξινόμησης για τη Λήμνο (2013)

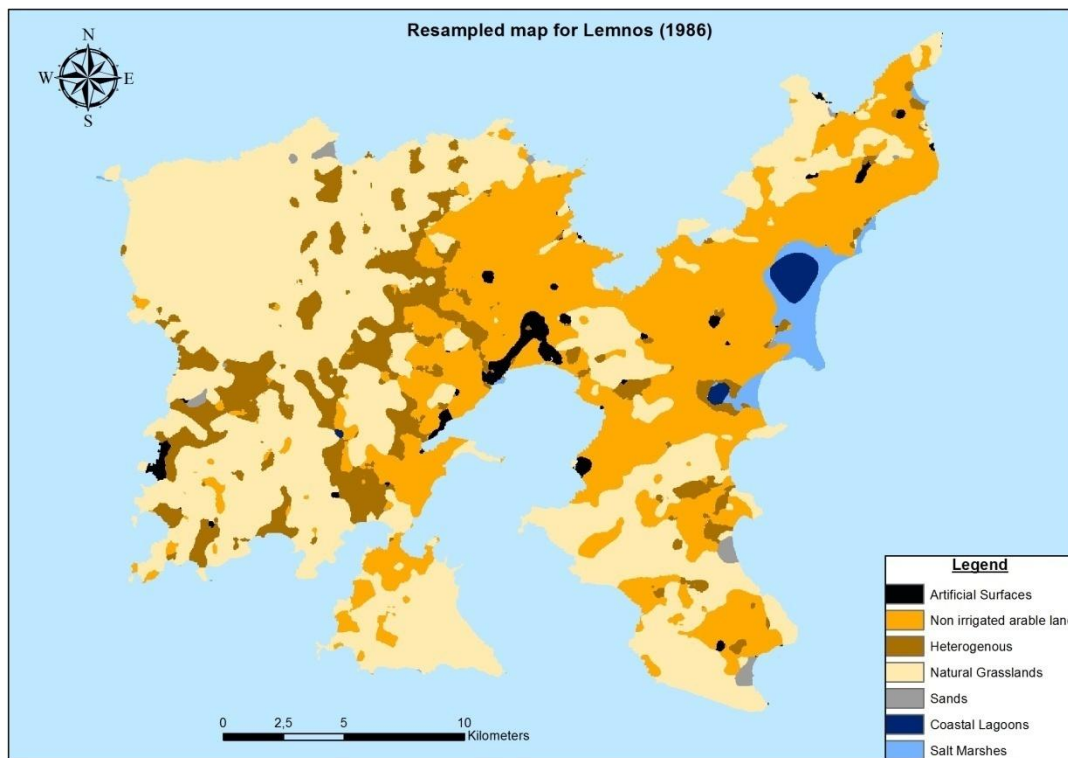
Value	Pixels	Ποσοστό pixels	Πιθανότητα επιτυχίας
1	2844	0,55%	100,00%
2	2972	0,57%	99,50%
3	9360	1,81%	99,00%
4	15922	3,08%	97,50%
5	30801	5,95%	95,00%
6	84933	16,41%	90,00%
7	125227	24,19%	75,00%
8	108483	20,96%	50,00%
9	64498	12,46%	25,00%
10	23135	4,47%	10,00%
11	14247	2,75%	5,00%
12	11160	2,16%	2,50%
13	5501	1,06%	1,00%
14	18507	3,58%	0,50%
Σύνολο	517590	100,00%	

Πίνακας 14: Αποτελέσματα ελέγχου ταξινόμησης (Λέσβος 2013)

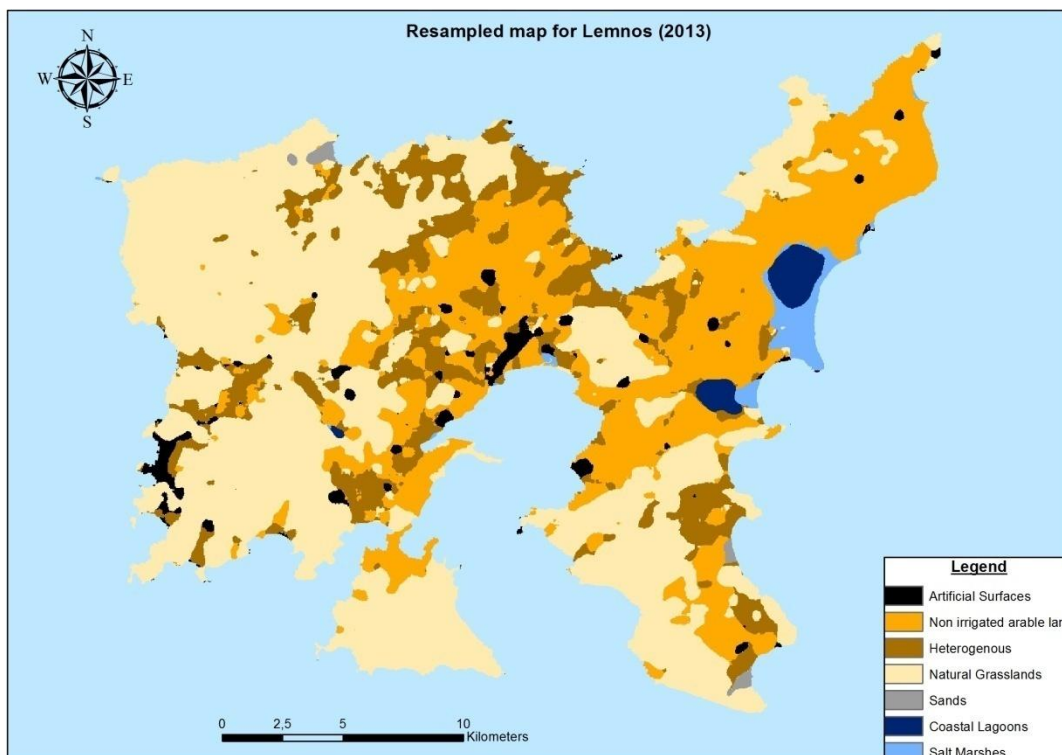
Για την εικόνα του 2013 τα ποσοστά παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με αυτά του 1986. Το 52,56% των εικονοστοιχείων εμφανίζεται με ποσοστά από 75% και πάνω, ενώ το 26,48% με 25% και χαμηλότερες. Το ποσοστό που ίδια πιθανότητα να έχει ταξινομηθεί σωστά ή όχι, είναι της τάξης του 20,96%.

Επαναδειγματοληψία

Στη συνέχεια ακολούθησε η επαναδειγματοληψία με την ίδια τεχνική που περιγράφηκε και για την περίπτωση της Λέσβου. Χρησιμοποιήθηκε επομένως και εδώ η τεχνική της εγγύτερης γειτνίασης, ορίζοντας και εδώ ως γειτονιά ένα ορθογώνιο 15x15 pixels. Τα αποτελέσματα για τις δυο χρονολογίες αποτυπώνονται στους δύο επόμενους χάρτες.



Εικόνα 46: Επαναδειγματοληψία Λήμνος 1984

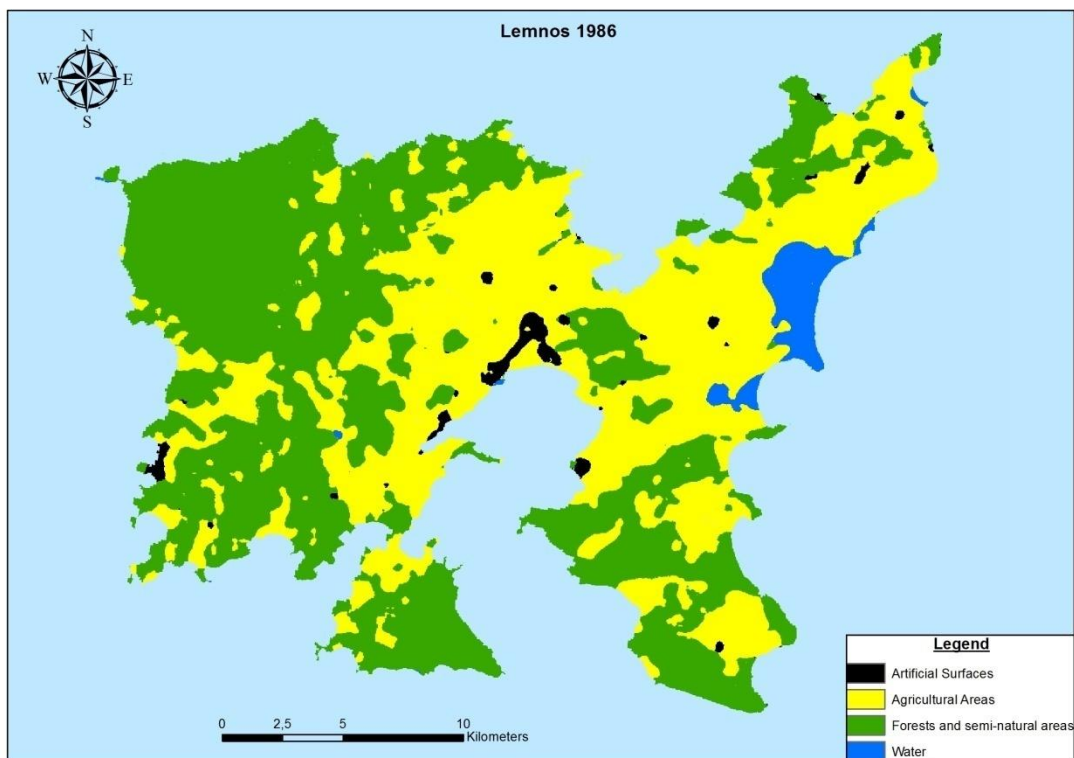


Εικόνα 47: Επαναδειγματοληψία Λήμνος 2013

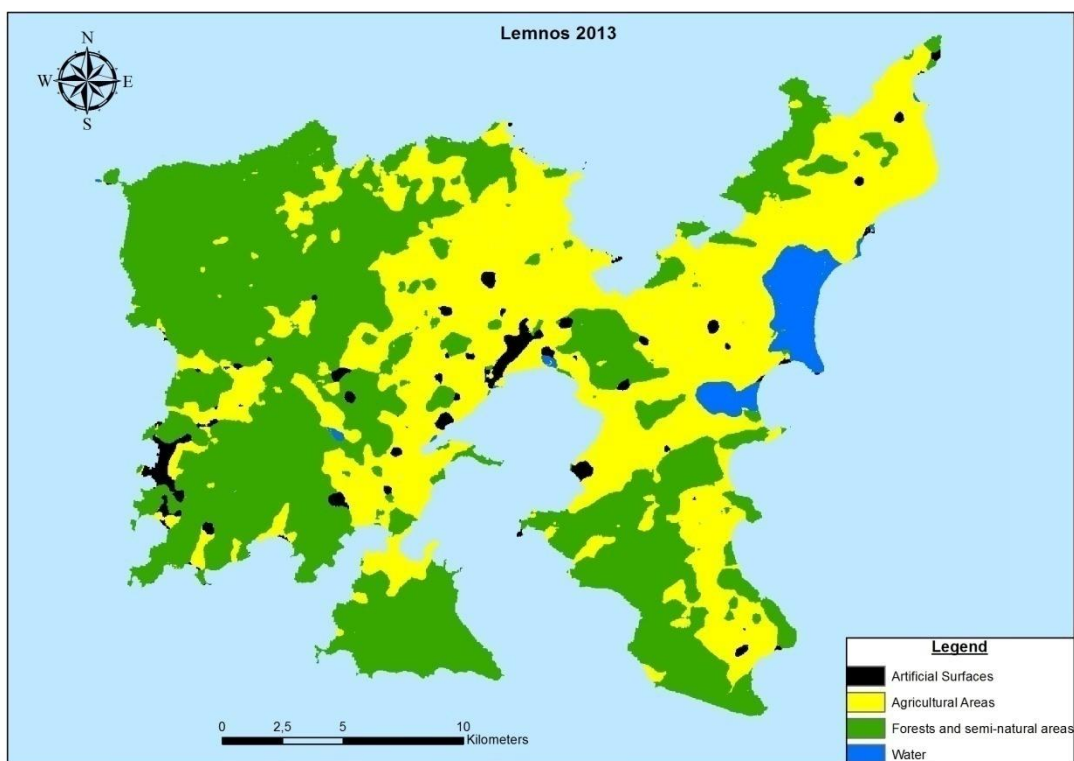
Τα αποτελέσματα για τη Λήμνο είναι σαφώς πιο ευδιάκριτα από αυτά της Λέσβου. Οι κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης στη Λήμνο είναι σαφώς πιο περιορισμένες και πιο ευδιάκριτες. Η απουσία έντονης βλάστησης διευκολύνει κατά πολύ την ταξινόμηση.

Κατόπιν και της παραπάνω διαδικασίας ακολούθησε ομαδοποίηση των 7 κατηγοριών-κλάσεων χρήσης/κάλυψης γης. Η μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη ομαδοποιήθηκε με τις ετερογενείς γεωργικές περιοχές. Οι φυσικοί βοσκότοποι με τους αμμόλοφους/αμμουδιές και οι παράκτιες λιμνοθάλασσες με τους παραθαλάσσιους βάλτους. Οι 4 καινούριες κατηγορίες είναι : Α) Αστικές Περιοχές Β) Γεωργικές Περιοχές Γ) Δασικές και ημι-δασικές εκτάσεις Δ)Νερό

Ακολουθούν οι δύο τελικοί ταξινομημένοι και ομαδοποιημένοι χάρτες για το νησί της Λήμνου τις χρονολογίες 1986 και 2013 αντίστοιχα.



Εικόνα 48: Τελικός χάρτης Λήμνου με ομαδοποιημένες κατηγορίες για το 1984



Εικόνα 49: Τελικός χάρτης Λήμνου με ομαδοποιημένες κατηγορίες για το 2013

3.8 Σύγκριση ταξινόμησης με Corine

Σε αυτό το στάδιο της μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε σύγκριση των ταξινομημένων εικόνων με τους χάρτες του Corine, για να εξεταστούν τα επίπεδα ταύτισης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε βασίζεται στο πρότυπο που περιγράφεται στη διδακτορική διατριβή του Al Sghair το 2013 και είναι η εξής:

Αρχικά θεωρήθηκε πως από τη στιγμή που υπάρχουν 4 μοναδικές τιμές (μια για κάθε κλάση) τα πιθανά ενδεχόμενα διαφοροποίησης τους είναι 16. Στον παρακάτω πίνακα περιγράφεται πιο αναλυτικά το σκεπτικό.

#	Κατηγορία πριν	Κατηγορία μετά
1	Αστικές	Αστικές
2	Αστικές	Γεωργικές
3	Αστικές	Δασικές
4	Αστικές	Νερό
5	Γεωργικές	Αστικές
6	Γεωργικές	Γεωργικές
7	Γεωργικές	Δασικές
8	Γεωργικές	Νερό
9	Δασικές	Αστικές
10	Δασικές	Γεωργικές
11	Δασικές	Δασικές
12	Δασικές	Νερό
13	Νερό	Αστικές
14	Νερό	Γεωργικές
15	Νερό	Δασικές
16	Νερό	Νερό

Πίνακας 15: Ενδεχόμενα διαφοροποίησης κατηγοριών

Παρατηρούνται λοιπόν όλες οι πιθανές περιπτώσεις διαφοροποίησης ή μη που μπορούν να υπάρξουν ανάμεσα σε δύο χάρτες των τεσσάρων κατηγοριών. Για τη δημιουργία αυτών των 16 μοναδικών τιμών, απαιτήθηκε η αλλαγή των κωδικών για τις κατηγορίες. Έτσι λοιπόν για το Corine οι κωδικοί των κατηγοριών είναι:

- 1.Αστικές
- 2.Γεωργικές
- 4.Δάση
- 6.Νερό

Αντίστοιχα για τους ταξινομημένους χάρτες :

10. Αστικές

14.Γεωργικές

19.Δάση

22.Νερό

Μέσω του λογισμικού και της εντολής “Raster Calculator” λήφθηκαν τα 16 μοναδικά γινόμενα. Τα γινόμενα αυτά, μαζί με το τι αντιπροσωπεύει το καθένα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Οι αστικές περιοχές θα αναφέρονται με Α, οι γεωργικές με Γ, οι δασικές εκτάσεις με Δ και το νερό με Ν.

#	Corine	Χάρτης	Γινόμενο	Διαφοροποίηση
1	1	10	10	Από Α σε Α Καμία αλλαγή
2	1	14	14	Από Α σε Γ
3	1	19	19	Από Α σε Δ
4	1	22	22	Από Α σε Ν
5	2	10	20	Από Γ σε Α
6	2	14	28	Από Γ σε Γ Καμία αλλαγή
7	2	19	38	Από Γ σε Δ
8	2	22	44	Από Γ σε Ν
9	4	10	40	Από Δ σε Α
10	4	14	56	Από Δ σε Γ
11	4	19	76	Από Δ σε Δ Καμία αλλαγή
12	4	22	88	Από Δ σε Ν
13	6	10	60	Από Ν σε Α
14	6	14	84	Από Ν σε Γ
15	6	19	114	Από Ν σε Δ
16	6	22	132	Από Ν σε Ν Καμία αλλαγή

Πίνακας 16: Αναλυτική κωδικοποίηση διαφοροποιήσεων

Μέσω της βοήθειας του παραπάνω πίνακα διερευνήθηκε η συμφωνία μεταξύ των χαρτών και ο συντελεστής Kappa. Ο συντελεστής Kappa του Cohen(1960) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ποσοστού συμφωνίας ανάμεσα σε δύο τουλάχιστον κριτές.

Ο τύπος του Kappa ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$k = \frac{ΠΣ - ΤΣ}{1 - ΤΣ}$$

όπου ΠΣ είναι η παρατηρούμενη συμφωνία μεταξύ των κριτών και ΤΣ είναι η τυχαία συμφωνία. Οι ΠΣ και ΤΣ εξάγονται κατόπιν χρησιμοποίησης των δεδομένων των παρατηρήσεων του κάθε κριτή. Ακολουθεί ένα απλουστευμένο παράδειγμα για τον τρόπο εξαγωγής του συντελεστή Kappa.

Κριτής1/Κριτής 2	1ηκατηγορία	2ηκατηγορία	Σύνολο
1ηκατηγορία	7	3	10
2ηκατηγορία	4	11	15
Σύνολο	11	14	25

Πίνακας 17: Παράδειγμα συντελεστή kappa

Έστω ο παραπάνω πίνακας όπου οι δύο κριτές δίνουν μια βαθμολογία για την κάθε κατηγορία.

Η παρατηρούμενη συμφωνία ορίζεται ως:

$$ΠΣ = 7 + 11 / 25 = 0,72$$

Η τυχαία συμφωνία ορίζεται ως:

$$ΤΣ = (11/25) * (10/25) + (14/25) * (15/25) = 0,512$$

Ο συντελεστής Kappa προκύπτει σύμφωνα με τον τύπο που αναφέρθηκε προηγουμένως στο 0,43.

Σύμφωνα με τις μελέτες οι τιμές του Συντελεστή kappa σχετίζονται με το βαθμό αξιοπιστίας όπως αναπαριστάται στον επόμενο πίνακα:

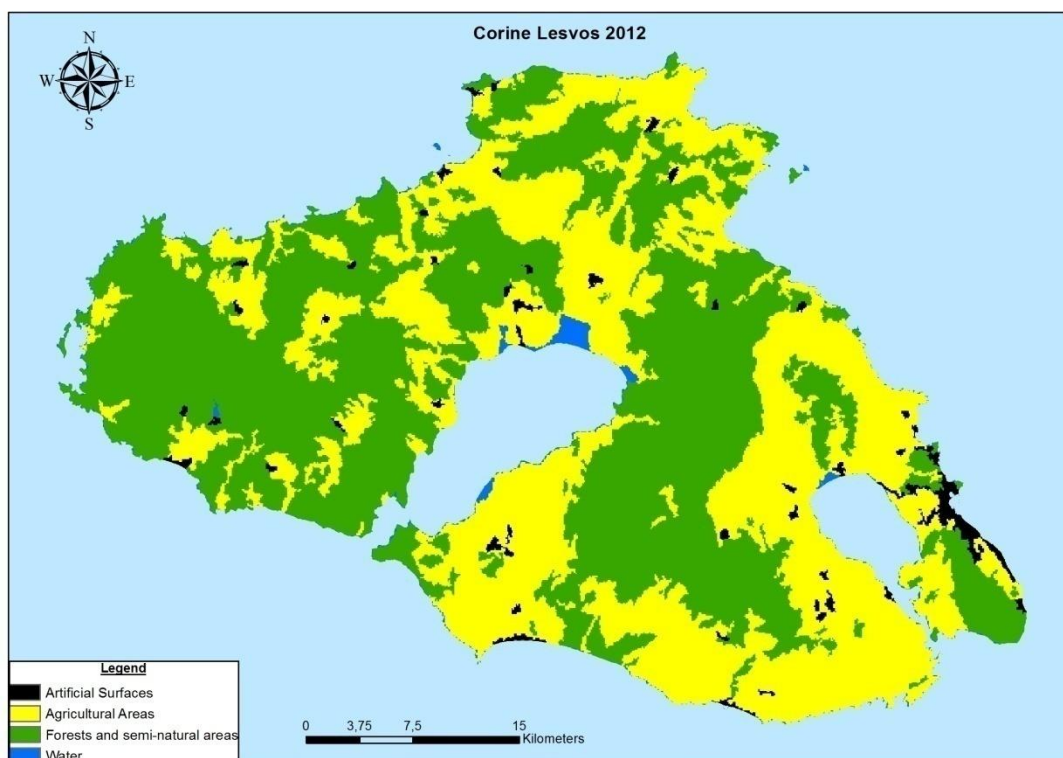
Τιμές kappa	Βαθμός Αξιοπιστίας
0	Μηδενική
0,01-0,20	Ελάχιστη
0,21-0,40	Μικρή
0,41-0,60	Μέτρια
0,61-0,80	Σημαντική
> 0,80	Μέγιστη

Πίνακας 18: Αξιοπιστία τιμών συντελεστή kappa

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τα παραπάνω στοιχεία, πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των ταξινομημένων χαρτών με τους αντίστοιχους του Corine.

3.8.1 Λέσβος

Η κατηγοριοποίηση στις 4 ιεραρχικές κατηγορίες του νησιού της Λέσβου σύμφωνα με το Corine για το 2012 αποτυπώνεται στον ακόλουθο χάρτη



Εικόνα 50: Χάρτης Corine για τη Λέσβο 2012

Κατηγορία	Pixels
1	30456
2	817308
4	946807
6	20404

Πίνακας 19: Pixels ανά κατηγορία (Corine-Λέσβος)

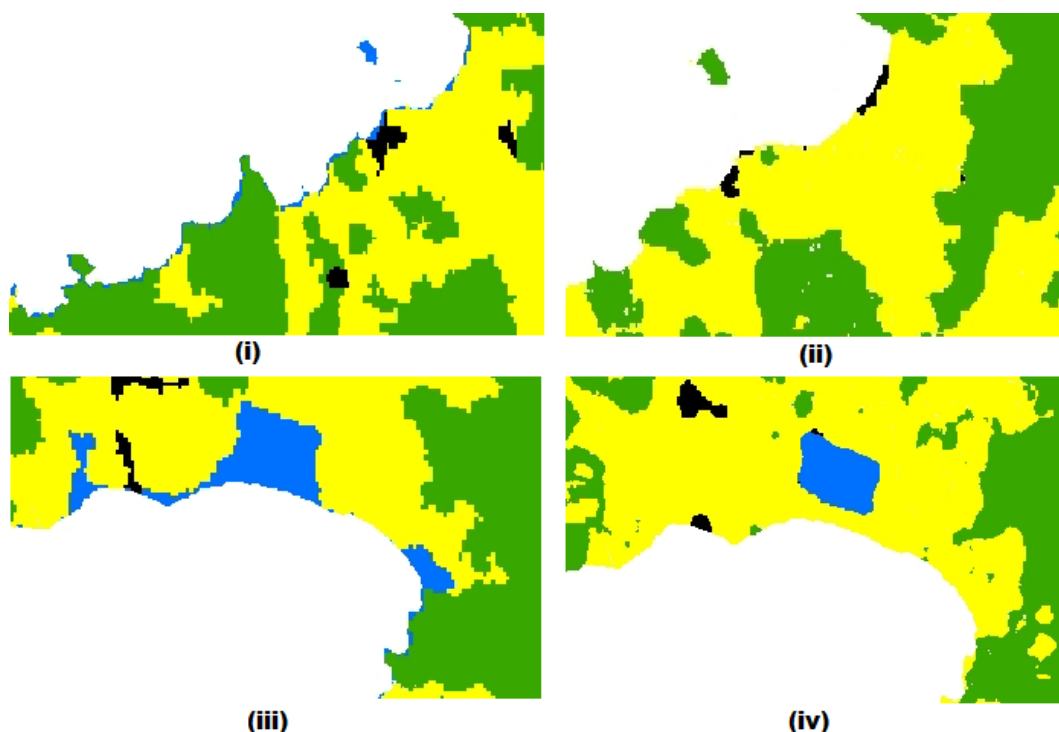
Στον πίνακα 19 απεικονίζονται τα pixels που αντιστοιχούν στην κάθε κατηγορία του Corine. Αντίστοιχα για την ταξινομημένη εικόνα της Λέσβου το 2013 εμφανίζονται στον επόμενο πίνακα

Κατηγορία	Pixels
10	29791
14	747337
19	1026609
22	4366

Πίνακας 20: Pixels ανά κατηγορία (ταξινόμηση-Λέσβος)

Σε αυτό το σημείο πρέπει αναφερθεί πως παρατηρείται μια πολύ μεγάλη απόκλιση στα pixels που καταγράφει το Corine για το νερό με αυτά που καταγράφει η

ταξινόμηση. Υπάρχουν δύο λόγοι για το οποίο συμβαίνει αυτή η μεγάλη αναντιστοιχία. 1^ο Το Corine έχει κατατάξει σχεδόν ολόκληρη την ακτογραμμή στην κατηγορία του νερού ανεβάζοντας κατά πολύ τον αριθμό των pixels, κάτι που δεν ήταν δυνατό να συμβεί με την ταξινόμηση που πραγματοποιήθηκε νωρίτερα. 2^ο Τρεις διαφορετικές περιοχές στον κόλπο Καλλονής και μια στον κόλπο Γέρας κατατάσσονται σε παραθαλάσσιους βάλτους και ως εκ τούτου στην κατηγορία νερό, κάτι το οποίο ήταν αδύνατο να συμβεί (αν και επιχειρήθηκε) με την ταξινόμηση, εξαιτίας της φασματικής υπογραφής που έδιναν τα συγκεκριμένα σημεία, σύμφωνα με την οποία αναγνώριζε αρκετές τέτοιες περιοχές μέσα σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης και την ενδοχώρα του νησιού.



Εικόνα 51: i) Ακτογραμμή σύμφωνα με Corine ii) Ακτογραμμή σύμφωνα με ταξινόμηση iii) Κόλπος Καλλονής σύμφωνα με Corine iv) Κόλπος Καλλονής σύμφωνα με ταξινόμηση (Λέσβος)

Σύμφωνα με την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε παραπάνω, πολλαπλασιάζοντας τα δύο raster αρχεία δημιουργείται ο πίνακας εξαγωγής του συντελεστή kappa.

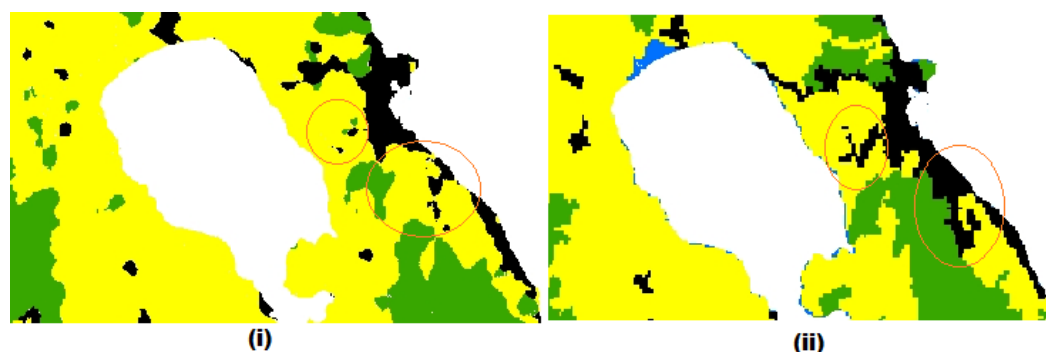
		Corine				
		A	Γ	Δ	N	
	A	18144	7193	3282	1172	29791
Grid2	Γ	10145	615663	111290	10239	747337
	Δ	1972	190527	829409	4701	1026609
	N	0	200	25	4141	4366
Total		30261	813583	944006	20253	1808103

Εικόνα 52: Πίνακας εξαγωγής συμφωνίας (Λέσβος)

Το ποσοστό συμφωνίας ανάμεσα στους δύο χάρτες είναι 81% και το ποσοστό αναντιστοιχίας 19%

Ο συντελεστής kappa είναι 0,635679

Παρατηρείται λοιπόν αρχικά μεγάλη συνάφεια μεταξύ των δύο χαρτών καθώς τα pixels που εμφανίζονται όμοια έχουν ποσοστό 81%. Παρολ'αυτά υπάρχουν και αρκετές διαφωνίες. Υπάρχουν αρκετά pixels τα οποία φαίνονται ως Γεωργική περιοχή στον ένα χάρτη και Δασική στον άλλο, αλλά και το ανάποδο. Επίσης αν και ο συνολικός αριθμός των pixels που αφορούν τις αστικές περιοχές φαίνεται παρόμοιος για τις δύο εικόνες, παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα πως 10145 pixels τα οποία ήταν καταχωρημένα ως αστικές περιοχές για το Corine, εμφανίζονται ως Γεωργικές στην ταξινόμηση (περίπου 33%). Η κύρια περιοχή για την οποία συμβαίνει αυτό αποτυπώνεται στην επόμενη εικόνα.

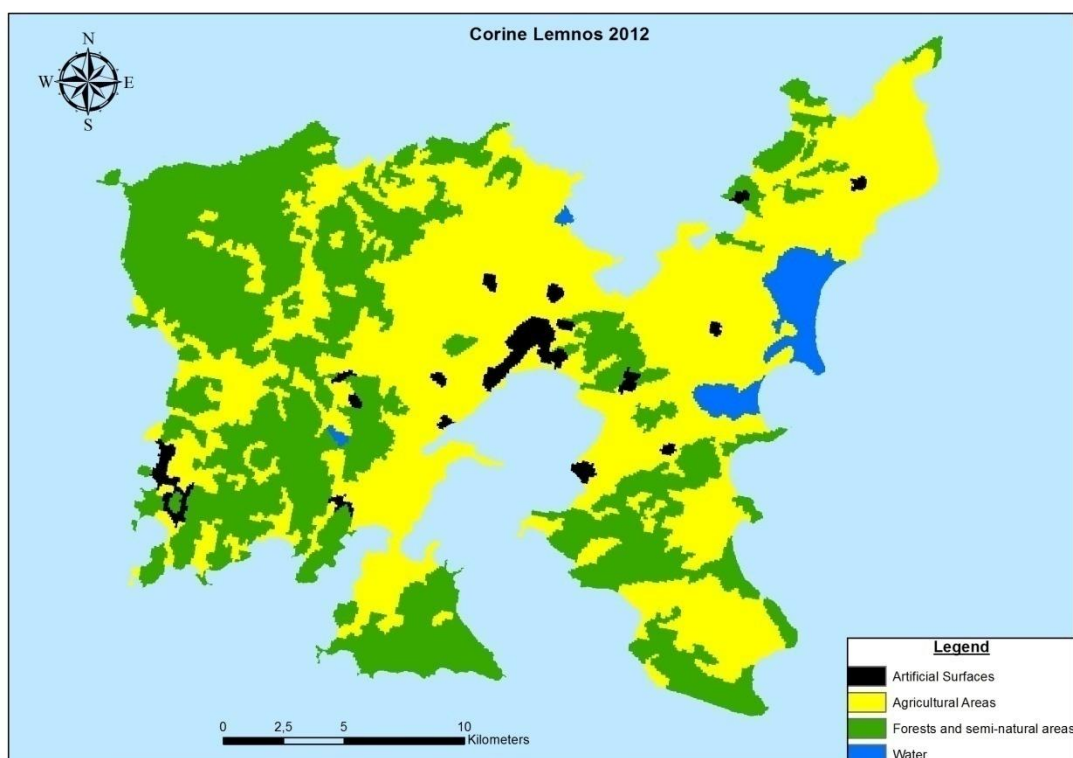


Εικόνα 53: i) Αεροδρόμιο σύμφωνα με ταξινόμηση ii) Αεροδρόμιο σύμφωνα με Corine (Λέσβος)

Επίσης υπάρχουν και άλλες αστικές περιοχές οι οποίες φαντάζουν είτε υπερτιμημένες από το Corine, είτε υποτιμημένες από την ταξινόμηση και εξαιτίας αυτών δημιουργείται αυτή η διαφορά στα pixels.

3.8.2 Λήμνος

Αντίστοιχα για το νησί της Λήμνου, η κατηγοριοποίηση των χρήσεων/κάλυψης γης στις 4 ιεραρχικές κατηγορίες σύμφωνα με το Corine, αποτυπώνεται στον παρακάτω χάρτη



Εικόνα 54: Χάρτης Corine για Λήμνο 2012

Κατηγορία	Pixels
1	11876
2	277671
4	213355
6	14688

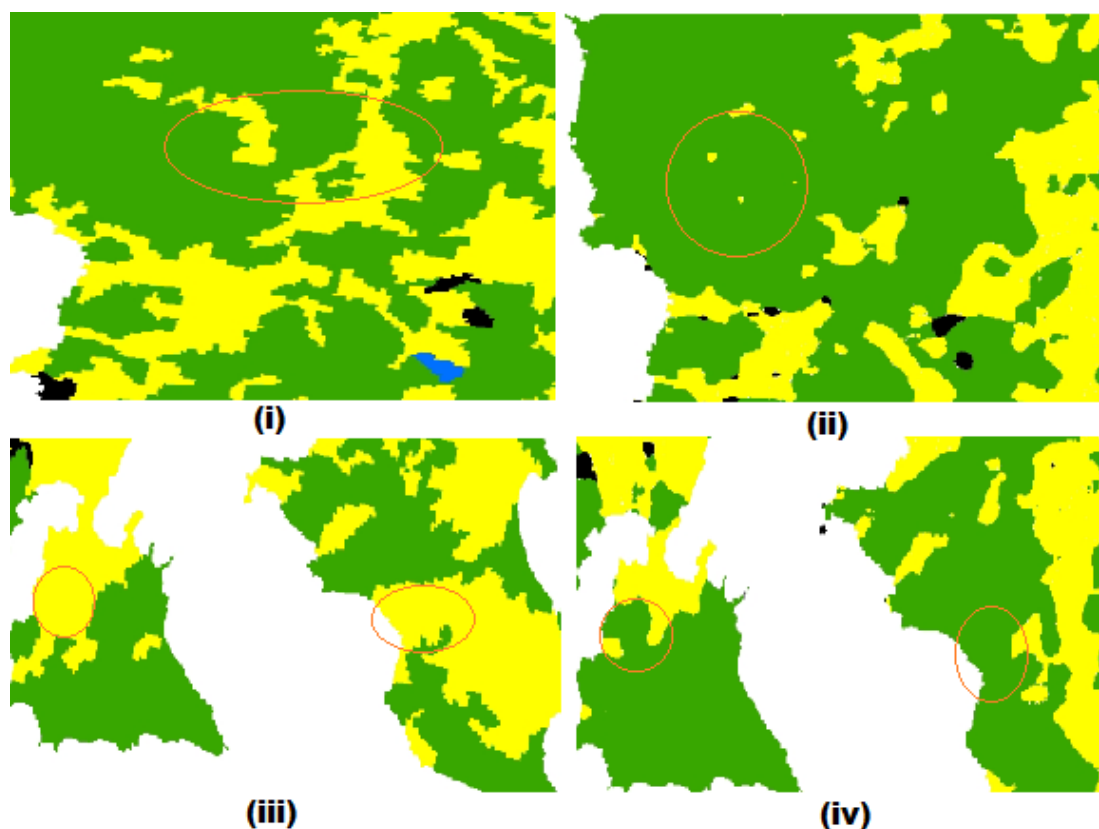
Πίνακας 21: Pixels ανά κατηγορία Corine (Λήμνος)

Κατηγορία	Pixels
10	10582
14	221044
19	269409
22	14823

Πίνακας 22: Pixels ανά κατηγορία ταξινόμηση (Λήμνος)

Αυτό που παρατηρείται από τους δύο παραπάνω πίνακες με μια πρώτη ματιά είναι πως ενώ οι αστικές περιοχές και η κατηγορία του νερού μοιάζουν να ταυτίζονται, υπάρχει απόκλιση στις υπόλοιπες δύο (Γεωργικές-Δασικές) οι οποίες φαντάζουν σα

να δίνουν «ανάποδους» αριθμούς pixels. Υπάρχουν περιοχές όπως φαίνονται στην εικόνα 55 που ενώ στο Corine κατατάσσονται στις Δασικές, στη ταξινόμηση βρίσκονται στις Γεωργικές και το ανάποδο.



Εικόνα 55: i) και iii) Corine ii) και iv) Ταξινόμηση

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, δημιουργήθηκε ο τελικός πίνακας από τον οποίο προκύπτει η συμφωνία ανάμεσα στους δύο χάρτες καθώς και ο συντελεστής kappa.

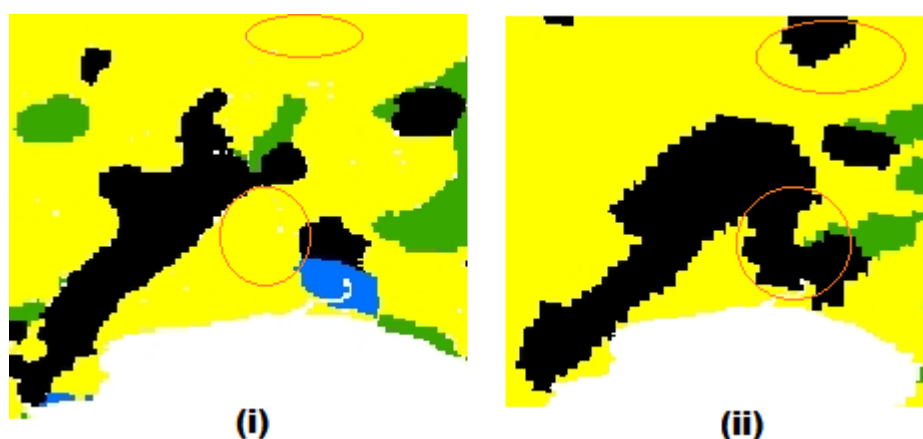
		Corine				
		A	Γ	Δ	N	
	A	6105	3801	616	60	10582
Classification	Γ	3572	205168	11089	1215	221044
	Δ	1901	65958	201320	230	269409
	N	192	1441	53	13137	14823
Σύνολο		11770	276368	213078	14642	515858

Πίνακας 23: Πίνακας εξαγωγής συμφωνίας (Λήμνος)

Το ποσοστό συμφωνίας ανάμεσα στους δύο χάρτες είναι 83% και αυτό της αναντιστοιχίας 17%.

Ο συντελεστής kappa είναι 0,684306.

Παρατηρείται αρκετά μεγάλη ταύτιση ανάμεσα στους δύο χάρτες όσον αφορά τα pixels (83%) και ένας σημαντικός συντελεστής kappa. Και σε αυτή την περίπτωση, όπως και στην περίπτωση της Λέσβου, εντοπίζεται ένα ποσοστό της τάξης του 30%, περιοχών οι οποίες ενώ ήταν καταχωρημένες σύμφωνα με το Corine ως αστικές, εμφανίζονται στην ταξινόμηση ως γεωργικές. Η περιοχή η οποία ευθύνεται κατά κύριο λόγο για αυτό, είναι η περιοχή του αεροδρομίου όπως φαίνεται και στην εικόνα 56.



Εικόνα 56: i) Περιοχή αεροδρομίου σύμφωνα με την ταξινόμηση ii) Περιοχή αεροδρομίου σύμφωνα με Corine

3.9 Εντοπισμός αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης

Το τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας αποσκοπεί στην ανεύρεση των αλλαγών που τυχόν έχουν προκύψει σε χρήσεις/κάλυψη γης. Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να διεκπεραιωθεί ο εντοπισμός των αλλαγών.

Το πρώτο στάδιο αυτής της διαδικασίας ακολουθεί τα ίδια βήματα με αυτό του κεφαλαίου όπου περιγράφεται η σύγκριση των πρόσφατων χαρτών με τους αντίστοιχους του Corine. Στην παρούσα φάση, η σύγκριση διεξάγεται ανάμεσα στην

παλιά ημερολογιακά εικόνα και την καινούρια. Αρχικά λοιπόν εξάγεται η παρατηρούμενη συμφωνία ανάμεσα στους δύο χάρτες και ο συντελεστής kappa. Στη συνέχεια μέσω του καινούριου αρχείου-χάρτη που έχει προκύψει από το γινόμενο των δύο προηγούμενων και σε συνδυασμό με τον αντίστοιχο για την κάθε περίπτωση πίνακα (με πρότυπο τον πίνακα 16) εντοπίζονται τα σημεία στα οποία άλλαξε η κατηγορία τους και αυτά τα οποία έμειναν αναλλοίωτα.

3.9.1 Λέσβος

Για την περίπτωση του νησιού της Λέσβου, οι δύο χάρτες που συγκρίνονται είναι οι εικόνες 39 και 40. Στους δύο ακόλουθους πίνακες καταγράφεται ο αριθμός των pixels που εμφανίζουν για την κάθε μια από τις 4 κατηγορίες, οι δύο χάρτες.

Λέσβος	1984		Λέσβος	2015
Κατηγορία	Pixels		Κατηγορία	Pixels
1	19934		10	29791
2	703551		14	747337
4	1078465		19	1026609
6	5251		22	4366

Πίνακας 24: Pixels ανά κατηγορία χαρτών Λέσβου

Ακολουθείται η διαδικασία που συναντήθηκε και στην προηγούμενη ενότητα για εξαγωγή της συμφωνίας και του συντελεστή kappa

Σαν μια πρώτη ανάγνωση του παραπάνω πίνακα, διαπιστώνεται πως η μεγαλύτερη αλλαγή που συντελέστηκε ανάμεσα στους δύο χάρτες από το 1984 έως το 2015, είναι η αύξηση κατά σχεδόν 10000 pixels των αστικών περιοχών. Επιπλέον παρατηρείται αύξηση της συνολικής έκτασης των γεωργικών περιοχών κατά 44000 pixels.

		Λέσβος 1984					
		A	Γ	Δ	N		
	A	15660	9357	4151	346	29514	
Λέσβος	Γ	2780	585009	155003	765	743557	
2015	Δ	1378	105824	915552	205	1022959	
	N	5	302	127	3925	4359	
		19823	700492	1074833	5241	1800389	

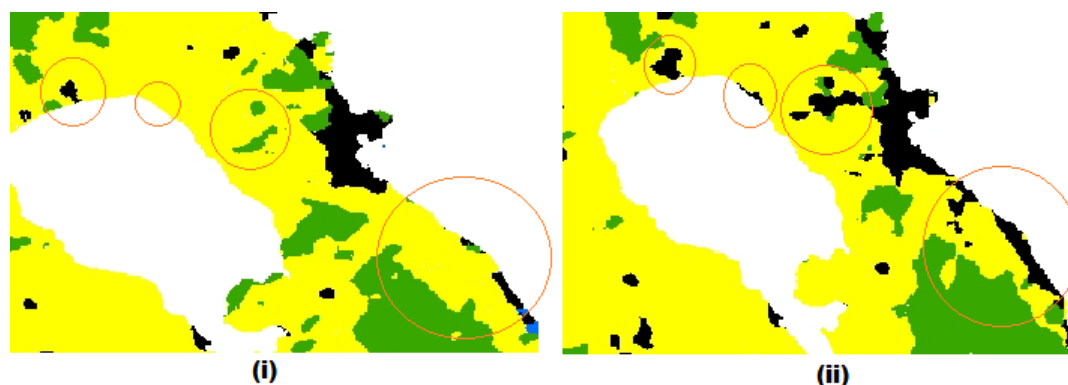
Πίνακας 25: Εξαγωγή συμφωνίας για Λέσβο 1984-2015

Το ποσοστό των pixels το οποίο παραμένει κοινό ανάμεσα στους δύο χάρτες είναι 84% ενώ η αναντιστοιχία μεταξύ των χαρτών είναι 16%.

Ο συντελεστής kappa αντιστοιχεί σε 0,688634

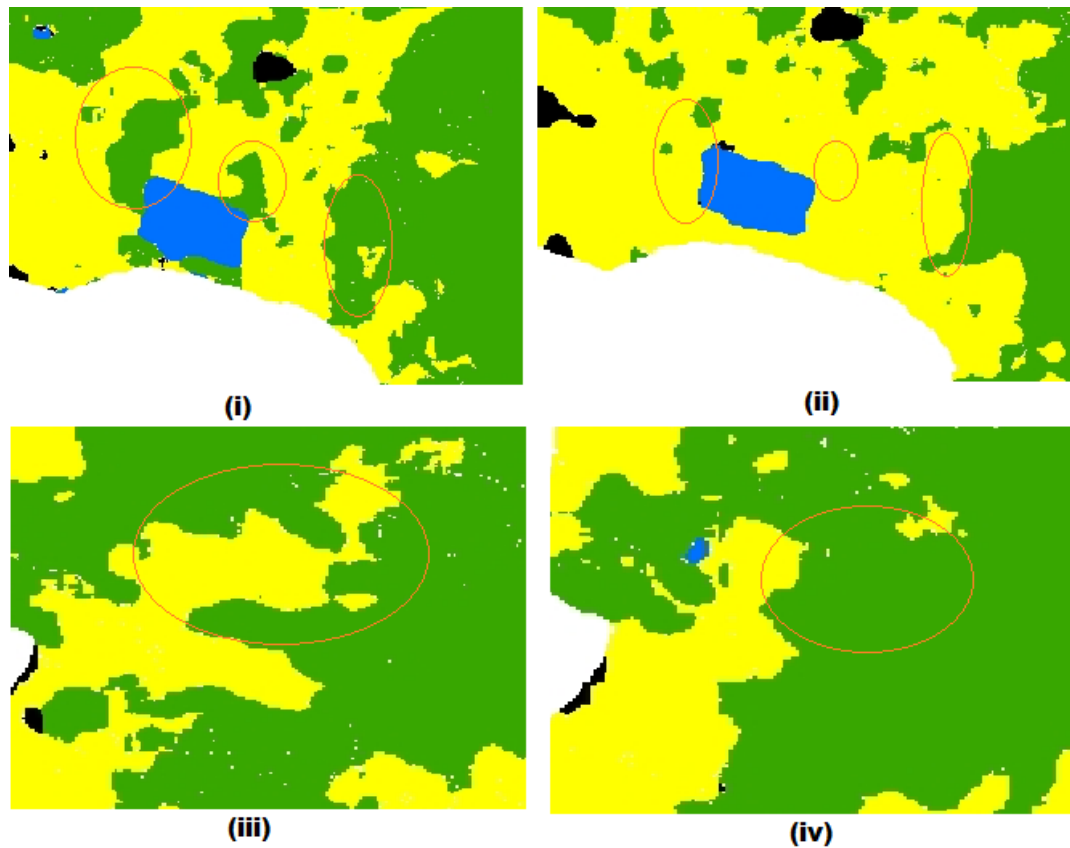
Από τον παραπάνω πίνακα μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα όσον αφορά τις αλλαγές που φαίνεται να συντελέστηκαν κατά την περίοδο 1984-2015.:

α) Το 33% των αστικών περιοχών του χάρτη για το 2015 φαίνεται να έχει προέλθει από περιοχές που εμφανιζόταν ως γεωργικές στην ταξινόμηση του 1984 (9357/29514). το οποίο αποτελεί και την σημαντικότερη αλλαγή.



Εικόνα 57: i) 1984 ii) 2015 Λέσβος

β) Ένα ποσοστό της τάξης του 14% που ταξινομήθηκαν ως δασικές περιοχές για το 1984 εμφανίζεται πλέον ως γεωργικές ενώ το 16,5% των γεωργικών φαίνεται πια ως δασικές. Για την πρώτη περίπτωση το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της αλλαγής φαίνεται να συμβαίνει στην ευρύτερη περιοχή γύρω από τις αλυκές της Καλλονής. Η ταξινόμηση του 2015 εμφανίζει τις περιοχές αυτές, είτε ως ετερογενείς γεωργικές περιοχές, είτε ως καλλιέργειες, κάτι το οποίο διαπιστώνεται και από την ταυτοποίηση μέσω του Google Earth. Εξαιτίας της φασματικής υπογραφής των δειγμάτων που πάρθηκαν για τις ίδιες περιοχές το 1984, η ταξινόμηση τους εκεί γίνεται είτε σε φυσικούς βοσκότοπους, είτε σε σκληροφυλλική βλάστηση. Όσον αφορά τη δεύτερη περίπτωση μεγάλο ποσοστό για αυτήν τη διαφοροποίηση απαντάμε στο ΒΔ τμήμα του νησιού, όπου στην καινούρια ταξινόμηση συναντάμε φυσικούς βοσκοτόπους και σκληροφυλλική βλάστηση ενώ το 1984 η περιοχή ταξινομήθηκε κατά κύριο λόγο ως ελαιώνες.



Εικόνα 58: i) και iii) αφορούν το 1984 ενώ ii) και iv) το 2015

Παρόμοιες περιπτώσεις με τις από πάνω συναντώνται και σε άλλες περιοχές μικρής ή μεγαλύτερης έκτασης.

Ακολουθούν ο πίνακας με τις αναλυτικές διαφοροποιήσεις ή μη στις χρήσεις γης μαζί με τα pixels που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία και στη συνέχεια ο τελικός χάρτης αποτύπωσης του αποτελέσματος.

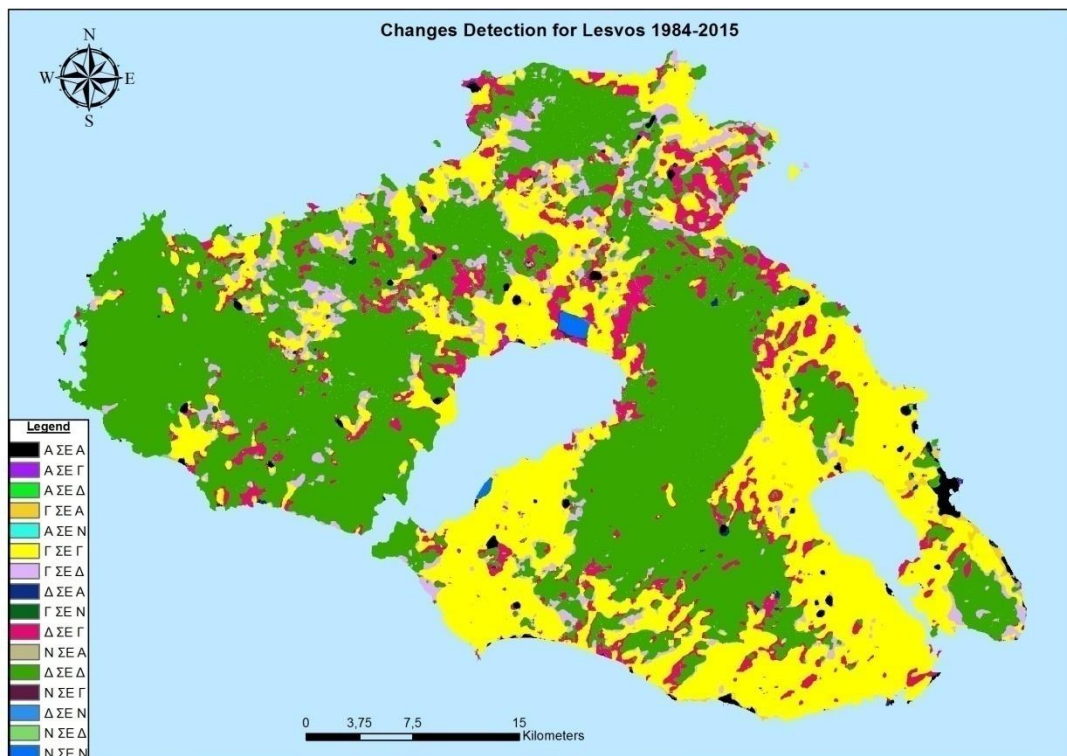
#	Pixels	Διαφοροποίηση
10	15660	Από Α σε Α Καμία αλλαγή
14	2780	Από Α σε Γ
19	1378	Από Α σε Δ
22	5	Από Α σε Ν
20	9357	Από Γ σε Α
28	585009	Από Γ σε Γ Καμία αλλαγή
38	105824	Από Γ σε Δ
44	302	Από Γ σε Ν
40	4151	Από Δ σε Α
56	155003	Από Δ σε Γ

76	915552	Από Δ σε Δ Καμία αλλαγή
88	127	Από Δ σε Ν
60	346	Από Ν σε Α
84	765	Από Ν σε Γ
114	205	Από Ν σε Δ
132	3925	Από Ν σε Ν Καμία αλλαγή

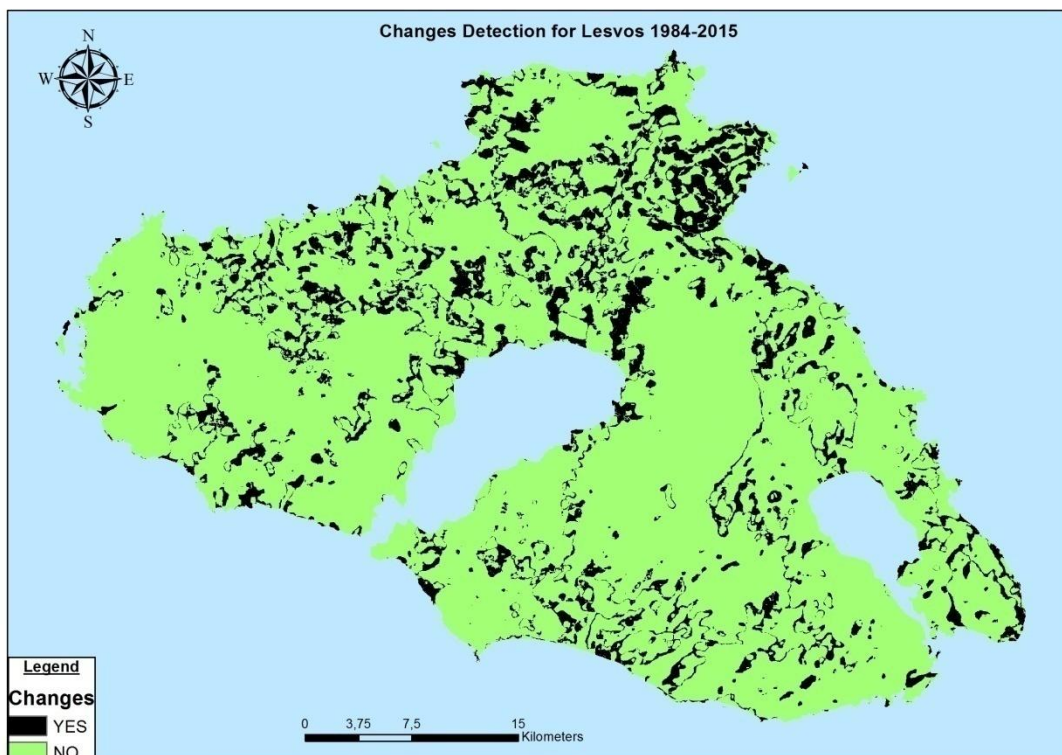
Πίνακας 26: Αναλυτικές διαφοροποιήσεις και pixels Λέσβος 1984-2015

Εμφανίζονται διαφοροποιήσεις και για τις 16 πιθανές κατηγορίες. Εντούτοις οι σημαντικές είναι αυτές που σχολιάστηκαν παραπάνω, καθώς οι υπόλοιπες αφορούν πολύ μικρό αριθμό pixels και η παρουσία τους θεωρείται ασήμαντη.

Όλες οι παραπάνω αλλαγές που σχολιάστηκαν και καταγράφονται στον πίνακα, αποτυπώνονται στον τελικό χάρτη για το νησί της Λέσβου για την περίοδο 1984-2015. Επίσης παρατίθεται ένας επιπλέον χάρτης ο οποίος δε δίνει έμφαση στην κάθε κατηγορία ξεχωριστά, αλλά μόνο στις αλλαγές που προέκυψαν.



Εικόνα 59: Χάρτης συνολικών αλλαγών στη Λέσβο για την περίοδο 1984-2015



Εικόνα 60: Αλλαγές- μη αλλαγές στη Λέσβο για την περίοδο 1984-2015

3.9.2 Λήμνος

Για την διερεύνηση των αλλαγών στη Λήμνο ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με αυτή της Λέσβου.

Λήμνος	1986		Λήμνος	2013
Κατηγορία	Pixels		Κατηγορία	Pixels
1	7015		10	10582
2	226606		14	221044
4	268906		19	269409
6	13671		22	14283

Πίνακας 27: Pixels ανά κατηγορία χαρτών Λήμνου

Εκ πρώτης όψεως αυτό που αποτυπώνεται από τον παραπάνω πίνακα, είναι πως οι αλλαγές στις συνολικές εκτάσεις των κατηγοριών για το νησί της Λήμνου, είναι ελάχιστες. Εξαίρεση αποτελεί η κατηγορία των αστικών περιοχών, η οποία φαίνεται να έχει αυξηθεί κατά 3500 pixels. Ενδεχομένως από μια άποψη η αύξηση των αστικών περιοχών συμπεριλαμβανομένων της αστικής οικοδόμησης, των βιομηχανικών περιοχών, οδικού δικτύου κλπ. σε μια περίοδο σχεδόν τριακονταετίας, να φαντάζει αναμενόμενη, εντούτοις αυτή η αλλαγή τίθεται προς κρίση.

		Λήμνος 1986				
		A	Γ	Δ	N	
	A	4408	4284	1593	225	10510
Λήμνος	Γ	1928	190434	27221	733	220316
2013	Δ	335	29049	239438	49	268871
	N	285	1778	117	12603	14783
	Σύνολο	6956	225545	268369	13610	514480

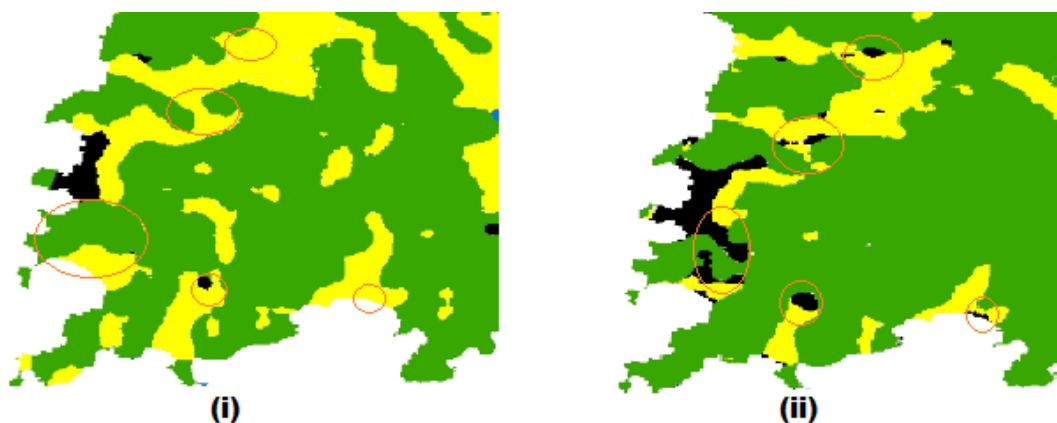
Πίνακας 28: Εξαγωγή συμφωνίας Λήμνος 1986-2013

Το ποσοστό συμφωνίας ανάμεσα στους δύο χάρτες είναι 87% και αυτό της αναντιστοιχίας 13%.

Ο συντελεστής kappa αντιστοιχεί σε 0,756064

Οι σημαντικότερες διαφοροποιήσεις που εξάγονται από τον παραπάνω πίνακα, είναι οι εξής:

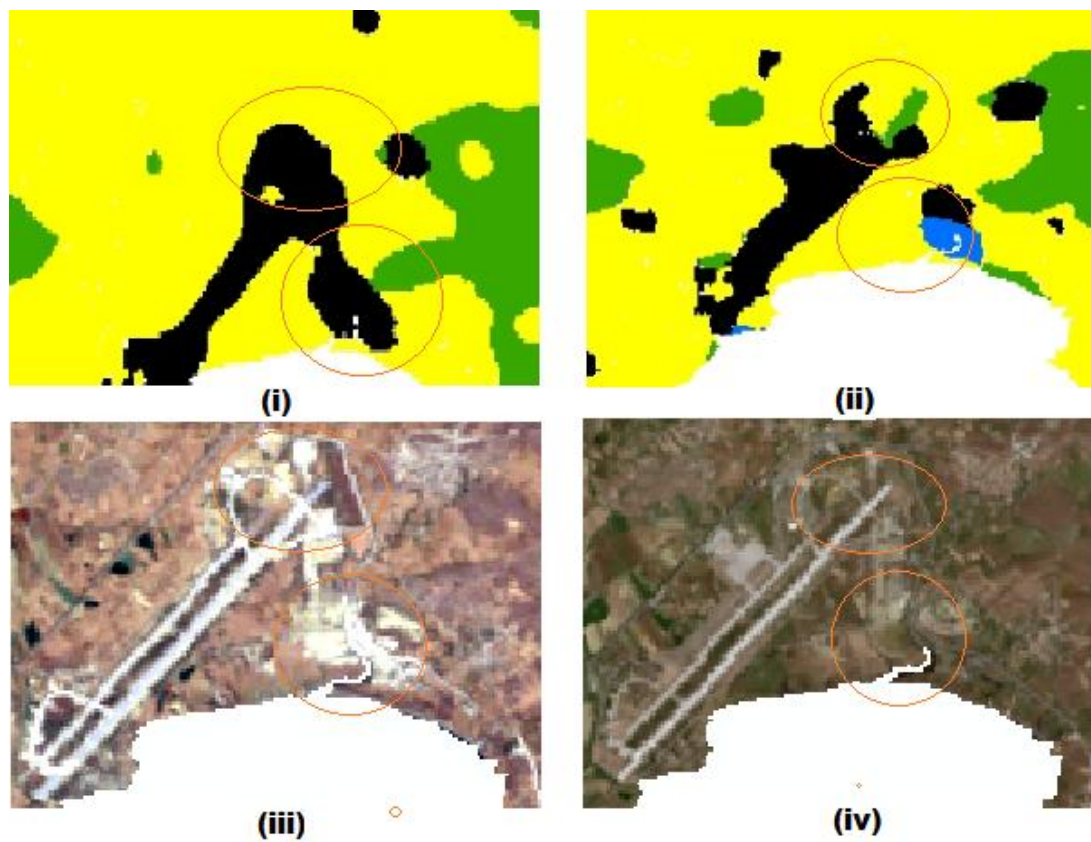
α) Ένα ποσοστό της τάξης του 40% των αστικών περιοχών για το 2013, προέρχεται από περιοχές που είχαν ταξινομηθεί ως γεωργικές το 1986. Πρόκειται για την περίπτωση που αναφέρθηκε και νωρίτερα και οι κυριότερες περιοχές που οφείλονται για αυτό το αποτέλεσμα, ανευρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της Μύρινας και στο Πλατύ. Οι διαφορές αυτές καταγράφονται στην εικόνα...



Εικόνα 61: i) 1986 ii) 2013

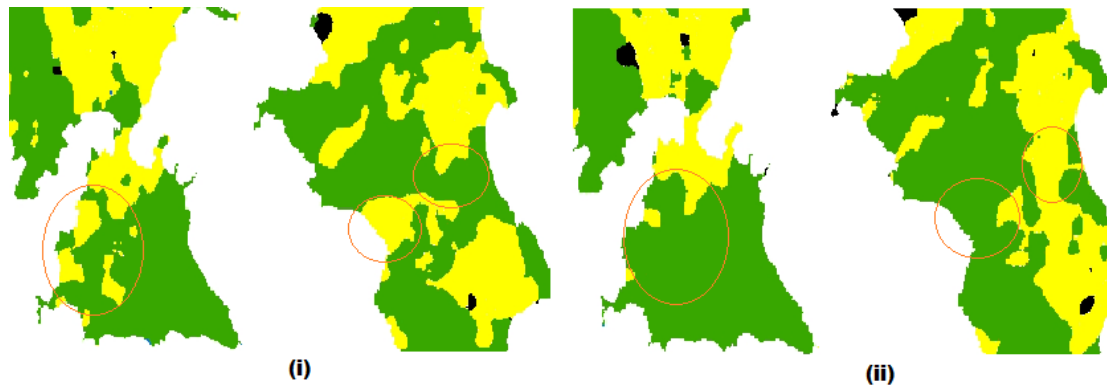
β) Σε αντίθετη μεριά με το α) παρουσιάζεται η περίπτωση όπου ένα ποσοστό της τάξης του 27% το οποίο ήταν ταξινομημένο ως αστική περιοχή το 1986, να κατατάσσεται στις γεωργικές για το 2013. Η περίπτωση αυτή αφορά κατά κύριο λόγο την ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου, η οποία λόγω της φασματικής της

υπογραφής για το 1986, κατείχε αρκετά μεγαλύτερη έκταση ως αστική περιοχή από αυτή του 2013.



Εικόνα 62: i) Ταξινόμηση 1986 ii) Ταξινόμηση 2013 iii) Περιοχή αεροδρομίου 1986 με συνδυασμό φυσικού χρώματος 3-2-1 (Landsat 5) iv) Περιοχή αεροδρομίου 2013 με συνδυασμό φυσικού χρώματος 4-3-2 (Landsat 8)

γ) Μια επίσης σημαντική διαφοροποίηση η οποία παρατηρείται ανάμεσα στις δύο ταξινομημένες εικόνες είναι η εναλλαγή που εμφανίζεται σε ορισμένες περιοχές, ανάμεσα σε γεωργικές και δασικές (φυσικοί βοσκότοποι εν προκειμένω) εκτάσεις. Η σύγκυση αυτή δημιουργήθηκε εξαιτίας των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών μη αρδύσιμη αρόσιμη γη και φυσικοί βοσκότοποι, για την κάθε χρονολογία, με αποτέλεσμα την υπερ-εκτίμηση ή υπό-εκτίμηση των εκτάσεων τους.



Εικόνα 63: i) 1986 ii) 2013

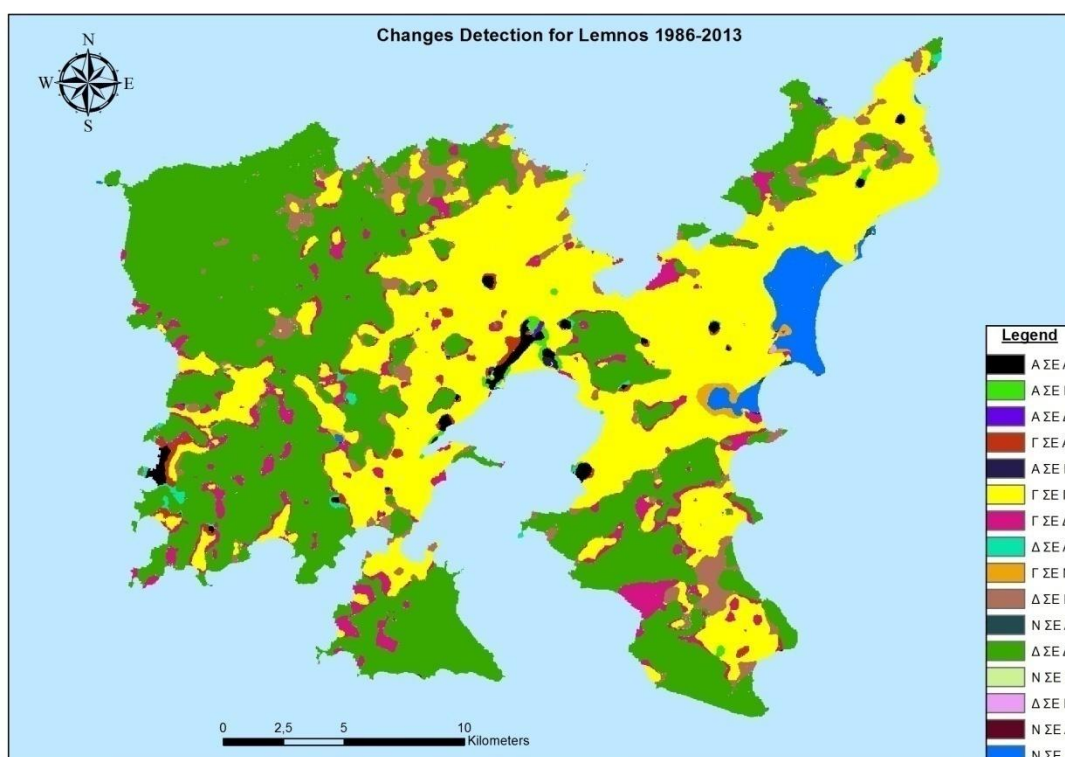
Ακολουθεί ο πίνακας με τις αναλυτικές διαφοροποιήσεις ή μη στις χρήσεις γης μαζί με τα pixels που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία και στη συνέχεια ο τελικός χάρτης αποτύπωσης του αποτελέσματος.

#	Pixels	Διαφοροποίηση
10	4408	Από Α σε Α Καμία αλλαγή
14	1928	Από Α σε Γ
19	335	Από Α σε Δ
22	285	Από Α σε Ν
20	4284	Από Γ σε Α
28	190434	Από Γ σε Γ Καμία αλλαγή
38	29049	Από Γ σε Δ
44	1778	Από Γ σε Ν
40	1593	Από Δ σε Α
56	27221	Από Δ σε Γ
76	239438	Από Δ σε Δ Καμία αλλαγή
88	117	Από Δ σε Ν
60	225	Από Ν σε Α
84	733	Από Ν σε Γ
114	49	Από Ν σε Δ
132	12603	Από Ν σε Ν Καμία αλλαγή

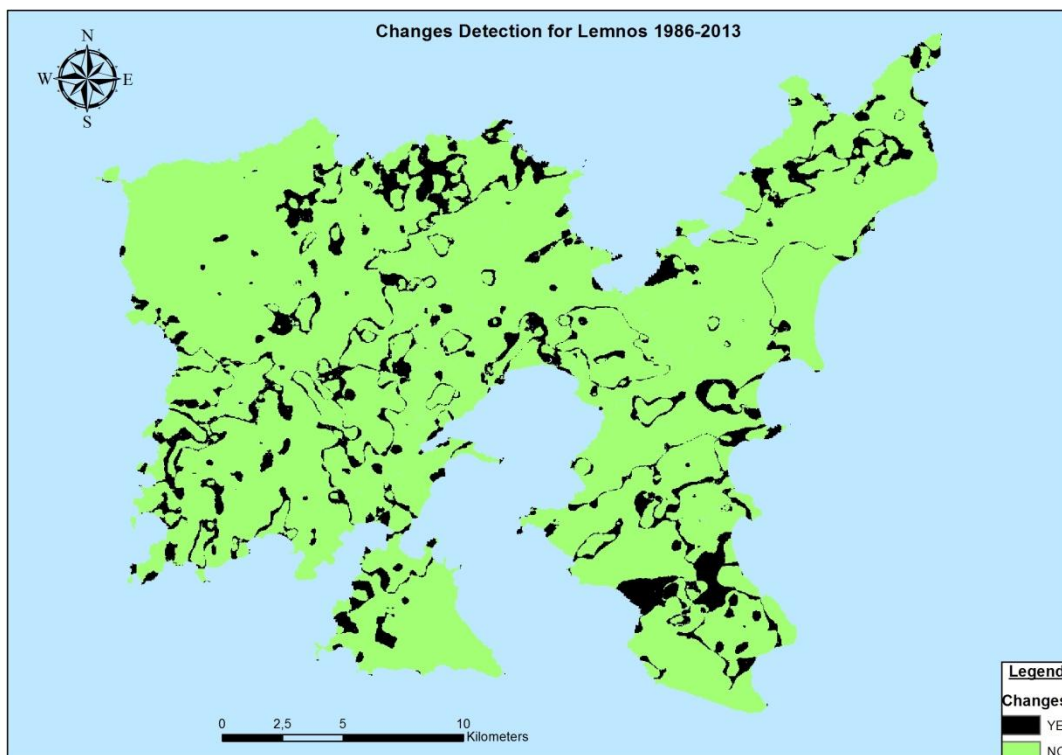
Πίνακας 29: Συνολικές διαφοροποιήσεις και pixels Λήμνος 1986-2013

Και σε αυτήν την περίπτωση, όπως και στο νησί της Λέσβου καταγράφηκαν διαφοροποιήσεις και για τις 16 πιθανές περιπτώσεις. Οι σημαντικότερες είναι αυτές που αναφέρθηκαν νωρίτερα, ενώ η παρουσία των υπολοίπων δε χρήζει ιδιαίτερης κριτικής εξαιτίας του μικρής έκτασης που καταλαμβάνουν.

Ακολουθεί ο τελικός χάρτης των αλλαγών στο νησί της Λήμνου για κάθε κατηγορία ξεχωριστά καθώς και ο χάρτης που εστιάζει μόνο στις αλλαγές.



Εικόνα 64:Χάρτης συνολικών αλλαγών στη Λήμνο για την περίοδο 1986-2013



Εικόνα 65: Αλλαγές- μη αλλαγές στη Λήμνο για την περίοδο 1986-2013

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας, η οποία χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικά δεδομένα και πιο συγκεκριμένα δορυφορικές εικόνες και σε συνδυασμό με τη χρήση Γ.Σ.Π., αποσκοπεί στην ανεύρεση αλλαγών σε κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης σε ορισμένη περιοχή.

Η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέσω του αλγορίθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood) αποτέλεσε τη βάση πάνω στην οποία στηρίχτηκε η διαδικασία της ανεύρεσης των αλλαγών.

Γενικότερα οι μέθοδοι και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι γνωστές και εφαρμοσμένες, ωστόσο ως επιπλέον χαρακτηριστικό επιχειρήθηκε «εξομάλυνση» των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Αυτό επιτεύχθηκε με τη διαδικασία της επαναδειγματοληψίας και είχε ως σκοπό να μελετηθούν και να εξεταστούν τα αποτελέσματα της ταξινόμησης δίνοντας τους μια ευρύτερη χωρική υπόσταση, παρά εξετάζοντας τα σε επίπεδο εικονοστοιχείων. Αυτή η διαδικασία είχε θετικό αντίκτυπο

στην ανάγνωση των χαρτών και στην εξαγωγή συμπερασμάτων, καθώς παρουσιάζει ένα πιο ομογενοποιημένο και ευδιάκριτο αποτέλεσμα.

Η μεθοδολογία απέδωσε τον τελικό στόχο της ο οποίος ήταν η διερεύνηση των αλλαγών σε κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης. Ωστόσο σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές, δεν υπάρχουν εκτεταμένες αλλαγές για τα νησιά της Λέσβου και της Λήμνου, ειδικά στο βαθμό που εμφανίζονται στους τελικούς χάρτες για τις δύο περιοχές. Τα σημαντικότερα αίτια για αυτήν την αστοχία, αποτελούν αρχικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ως εκ τούτου η διαδικασία της ταξινόμησης. Επαναξιολογώντας συνολικά λοιπόν τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων που πραγματοποιήθηκαν, εξάγονται κάποια συγκεκριμένα συμπεράσματα για την όλη διαδικασία:

α) Εξαιτίας της συγκεκριμένης χωρικής διακριτικής ικανότητας την οποία προσφέρουν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, κατέστη εξαιρετικά δύσκολη η ακριβής καταγραφή της πραγματικότητας στις περιοχές μελέτης, τουλάχιστον για τις πρόσφατες εικόνες (για τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί σύγκριση με την αληθινή εικόνα σε μεγάλο βαθμό). Ωστόσο οι δείκτες συνάφειας και ο συντελεστής kappa που εξήχθησαν στις συγκρίσεις των χαρτών με αυτούς του Corine αλλά και μεταξύ τους, κρίνονται αρκετά ικανοποιητικοί. Στην περίπτωση που τα δεδομένα παρείχαν υψηλότερη ανάλυση (π.χ. δεδομένα από Ikonos ή Quick Bird), τα αποτελέσματα θα αναμένονταν σαφώς εγκυρότερα. Από την άλλη πλευρά όμως τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν μηδενικό κόστος και ελεύθερη πρόσβαση.

β) Η επιλογή των κατηγοριών/κλάσεων χρήσης/κάλυψης γης προς ταξινόμηση, ενδέχεται να μην ήταν η καταλληλότερη. Πιθανότατα μια διαφορετική κατηγοριοποίηση να επέφερε καλύτερα αποτελέσματα. Παρ'όλα αυτά οι κατηγορίες επιλέχθηκαν κατόπιν αρκετών πειραματισμών και ταξινομήσεων, θεωρώντας πως είναι οι βέλτιστες για τις περιπτώσεις των περιοχών μελέτης. Έναν επιπλέον βαθμό δυσκολίας σε αυτό το εγχείρημα προσέθεσε το γεγονός πως οι κατηγορίες επιλέχθηκαν με βάση τις κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης του προγράμματος Corine. Η ανεύρεση των κατηγοριών αυτών με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που αποδίδει το Corine σε κάθε μια, αποτέλεσε μια ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία. Επιλέχτηκε γενικά μικρός αριθμός από το μεγάλο φάσμα των κατηγοριών και έγιναν

κάποιες αυθαίρετες συμπτύξεις μεταξύ τους πριν την κατάληξη σε αυτές που χρησιμοποιήθηκαν. Επιχειρήθηκε να δοθεί μια πιο γενική εικόνα των περιοχών χωρίς ιδιαίτερη βαρύτητα σε λεπτομέρειες. Σκοπός ήταν ο έλεγχος του κατά πόσο μπορεί να αποδώσει αυτή η μεθοδολογία και όχι τόσο το αποτέλεσμα αυτό καθεαυτό. Από την άλλη μεριά βέβαια, η ενδεχόμενη χρησιμοποίηση μεγάλου αριθμού κατηγοριών πιθανόν να οδηγούσε σε πολύ πιο σύνθετα και αναληθή αποτελέσματα, καθώς θα επέφερε σύγχυση των φασματικών υπογραφών και λανθασμένη ταξινόμηση (εάν ληφθεί υπόψη και η περιορισμένη διακριτική ικανότητα των δεδομένων).

γ) Ιδιαίτερη δυσκολία αντιμετωπίστηκε στην περιοχή της Λέσβου, εξαιτίας της έντονης ετερογένειας του τοπίου αλλά και του ιδιαίτερου ανάγλυφου του νησιού, κάτι το οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις οδήγησε σε σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών και των φασματικών υπογραφών τους και επομένως σε αστοχίες της ταξινόμησης. Για το νησί της Λήμνου δε συναντήθηκε η ίδια δυσκολία καθώς οι κατηγορίες χρήσεις/κάλυψης γης του νησιού εμφανίστηκαν πιο ευδιάκριτες.

δ) Η μεγάλη έκταση των περιοχών μελέτης (ειδικά της Λέσβου) προσέθεσε έναν παραπάνω βαθμό δυσκολίας στην όλη διαδικασία. Ίσως να ήταν αποδοτικότερη μια ταξινόμηση σε περιοχές μικρότερης έκτασης, οι οποίες στη συνέχεια θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα μωσαϊκό ολόκληρης της περιοχής. Κάτι τέτοιο θα διευκόλυνε την εύρεση των σωστών περιοχών εκπαίδευσης (training points) και την συνολικότερη ακρίβεια, ερμηνεία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αργιαλάς Δ. (1998). « Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση», Εγχειρίδιο μαθήματος, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
- Αργιαλάς Δ. (2000). Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση, ΕΜΠ, Αθήνα
- Ελευθεριάδης Ιωάννης(2007), « Εντοπισμός των αλλαγών κάλυψης γης με τη χρήση τηλεπισκόπησης και Γ.Π.Σ (Περιοχή εφαρμογής: Όρος Πάρνηθα)», Μεταπτυχιακή Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Θετικές Σπουδές στη Γεωπονία, Κλάδος: Γεωπληροφορική, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών & Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Αθήνα
- Καλύβας Δ. (2003), Εδαφολογία: Αξιοποίηση Εδαφών, Τοποκλιματικές Συνθήκες και Κρασί, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
- Καρτάλης Κωνσταντίνος/ Φείδας Χαράλαμπος(2006), «Αρχές & Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης», Εκδόσεις Γκιούρδας, Αθήνα
- Καρτέρης Μ. 1991. Τηλεπισκόπηση φυσικών πόρων και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Τόμος Ι. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 247 σελ.
- Καρτέρης, Μ. 2004. Τηλεπισκόπηση περιβάλλοντος. *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, σελ. 214-217.
- Καρτέρης, Μ. Α., 2004, Τηλεπισκόπηση Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη
- Μανιάτης Γ. (1996), Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης-Κτηματολογίου, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- Μερτίκας Στέλιος (2006), « Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- Ν., Ι. Γήτας, Γ. Συλλαίος, 2007. Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και στην Τηλεπισκόπηση. *Εκδόσεις Γιαχούδη*, σελ. 217-222.
- Περάκης, Κ., Μουσιάδης, Α., Φαρασλής, Ι., 2016. *Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ 13 ΕΝΟΤΗΤΕΣ*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/1840>

- Ρετάλης Α. (2003), Χρήση Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την Μελέτη της Βιώσιμης Ανάπτυξης της Νήσου Σκιάθου, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών & Τηλεπισκόπησης, Μεταξά & Β. Παύλου, 152-36, Παλαιά Πεντέλη, Αθήνα.
- Τάσιου (2012). «Μελέτη των μεταβολών των χρήσεων γης στο Ζαγόρι Ιωαννίνων» Μεταπτυχιακή εργασία Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο Διαπιστημονικό Διατμηματικό Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) «Περιβάλλον και ανάπτυξη» 2^η Κατεύθυνση Σπουδών «Περιβάλλον και ανάπτυξη Ορεινών Σπουδών», Αθήνα
- Τσακίρης, Γ., 1995. Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Φιλίππιδης, Α. 2006. Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωχημεία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας.
- Χατζόπουλος, Ι., «Τοπογραφία» Εκδόσεις Β. Γκιούρδα, 900 σελίδες, 2006
- Χουβαρδάς 2001 Ανάλυση της δομής και της διαχρονικής εξέλιξης των τοπίων με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Μεταπτυχιακή Διατριβή. Θεσσαλονίκη
- Χουβαρδάς Δημήτριος. (2007). *Εκτίμηση της διαχρονικής επίδρασης των κτηνοτροφικών συστημάτων και των χρήσεων γης στα τοπία με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).* Διαδακτορική διατριβή. Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ. Τομέας Λιβαδοπονίας και Άγριας

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Al Sghair, Fathi Goma 2013. Remote sensing and GIS for wetland vegetation study. Phd Thesis. University of Glasgow
- Angelsen, A., 1999. Agricultural expansion and deforestation: modelling the impact of population, market forces and property rights. J. Dev. Econ. 58 1, pp. 185–218

- Bankov N. 1998. Dynamics Of Land Cover/Use Changes In Relation To Socio Economic Conditions In The Psilorites Mountain Of Crete, Greece. MSc. Mediterranean Agronomic Institute Of Chania.
- California Council; on Intergovernmental Relation 1973. General Plan Guidelines. State of California Governors Office. Sacramento California.
- Carter, J.R., 1989. "On Defining the Geographic Information Systems," in Fundamentals of Geographic Information Systems: A Compendium, ed. W. Ripple, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda MD, 3-9.
- Cohen, J. (1960) A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measurement 20, 37-46.
- Farina A. 1998. Principles and Methods in Landscape Ecology. Chapman & Hall Ltd. Printed in Great Britain at the University Press, Cambridge.
- Fischer et al.2005--- FISHER, P.F., COMBER, A.J., and WADSWORTH, R.A., 2005. Land use and Land cover: Contradiction or Complement. Pp. 85-98 in Re-Presenting GIS, (eds. Peter Fisher, David Unwin), Wiley, Chichester.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 1994. Mangroves forest management guidelines, FAO Forestry Paper 117. Rome, Italy, 319 pp.
- Goodchild, M. F. (1985) Geographic information systems in undergraduate geography: a contemporary dilemma. The Operational Geography, 8, 34.
- GREEN B.G., SIMMONS E.A., & WOLTJER I. (1996), *Landscape Conservation. Some steps towards developing a new conservation dimension*, Report of the IUCN-CESP Landscape Conservation Working Group, dep. of Agriculture, Horticulture and thye Environment, Wye College, University of London, Wye, Ashford, Kent.
- Helen Briassoulis. *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches*. Regional Research Institute, West Virginia University, 2000.
- Lo, C.P. (1986). Applied remote sensing. Longman group U.K. Ltd. Pages 184
- Mallinis, G., Emmanoloudis, D., Giannakopoulos, V., Maris F., Koutsias, N., 2011. Mapping and interpreting historical land cover/land use changes in a Natura 2000 site using earth observational data: The case of Nestos delta, Greece. Applied Geography 31: 312-320.

- Mather, P.M. 1991. *Computer Applications in Geography*. John Wiley and Sons, New York.
- Meyer to 1995--- Meyer W.B. 1995. Past and present land use and land cover in the USA. *Consequences* Vol1, No1, 24-33. <http://www.gcrio.org/CONSEQUENCES/spring95/Land.html>
- Meyer, W.B. and B.L. Turner, II, eds. 1994. *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Moser S.C. 1996. A Partial Instructional Module on Global and Regional Land Use/Cover Change: Assessing the Data and Searching for General Relationships. *Geojournal* 39(3): 241-283.
- Niblack, W., 1986. *An Introduction to Digital Image Processing*. Prentice Hall International (UK) Ltd.
- Papastergiadou, E., Retalis, A., Apostolakis, A., Georgiadis, Th., 2008. Environmental Monitoring of Spatio-temporal Changes Using Remote Sensing and GIS in a Mediterranean Wetland of Northern Greece. *Water Resour Manage*, 22:579-594.
- Prenzel B. 2004. Remote sensing-based quantification of land-cover and land-use change for planning. *Progress in Planning* 61: 281 – 299.
- Richards J.A. (1986). « Remote Sensing Image Analysis», Berlin
- Slater, P.N. (1980). *Remote Sensing, Optics and Optical Systems*. Reading, MA: AddisonWesley Pub. Co.
- Turner B.L., Skole D., Sanderson S., Fischer G., Fresco L. and Leemans R. 1995. Land-Use and Land-Cover Change Science/ Research Plan. IGBP Report No.35 and HDP Report No.7. <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/scienceplan/contents.html>.

Διαδικτυακή βιβλιογραφία

<http://fundisa.sansa.org>

<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>

<http://landsat.usgs.gov>

<http://pancroma.com>

<http://www.ces.fau.edu>

<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/em.htm>

<http://www.exelisvis.com>

<http://www.nasa.gov>

<http://www.seos-project.eu>

<http://www.takor.com.au>