



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ  
LABORATORY OF REMOTE SENSING



**«ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ  
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ LANDSAT 5 TM ΚΑΙ LANDSAT 8  
OLI/TIRS ΜΕ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗ  
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ»**

**Διπλωματική Εργασία  
ΒΑΤΟΥΓΙΟΥ Σ. ΣΤΕΛΛΑ**

**Επιβλέπων Καθηγητής ΑΡΓΙΑΛΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

Αθήνα, Ιούλιος 2014

.....

**ΒΑΤΟΥΓΙΟΥ Σ. ΣΤΕΛΛΑ**

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π

© 2014 - All rights reserved

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνει έναν επιτυχημένο κύκλο σπουδών στην σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Στην διεκπεραίωση όμως αυτού του σημαντικού στόχου, υπήρξε καθοριστική η συμβολή ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους οφείλω να ευχαριστήσω.

Ξεκινώντας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αργιαλά Δημήτριο, καθηγητή της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που επέδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής καθώς και για τις πολύτιμες επιστημονικές παρατηρήσεις και υποδείξεις του.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στον Δρ. Μηχανικό Πολυχρόνη Κολοκούση για την καθοδήγηση, την ουσιαστική βοήθεια, την όρεξη και για όλες τις εναλλακτικές λύσεις που είχε πάντα σε οποιοδήποτε πρόβλημα παρουσιαζόταν.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, την κ. Βασιλεία Καραθανάση και τον κ. Καρατζάλο Κωνσταντίνο για την ανάγνωσή της και την υποβολή εύστοχων ερωτήσεων.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, για την συνεχή και ακατάπαυστη συμπαράσταση σε κάθε βήμα της ζωής μου, αλλά και σε όλους μου τους φίλους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πιθανώς, κανένας συνδυασμός δύο τεχνολογιών δεν έχει δημιουργήσει περισσότερο ενδιαφέρον και εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα επιστημών από ότι ο συνδυασμός της Τηλεπισκόπησης και της διαστημικής εξερεύνησης. Η μελέτη της Γης από το διάστημα έχει εξελιχθεί από την σφαίρα της καθαρής έρευνας σε αυτή της παγκόσμιας καθημερινής εφαρμογής. Η Διαστημική Τηλεπισκόπηση συνεχίζει να εξελίσσεται, καθώς νέοι βελτιωμένοι δέκτες και διαστημικοί φορείς τοποθετούνται σε τροχιά γύρω από τη Γη.

Αντικείμενο έρευνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε ο όγδοος πλέον δορυφόρος γεωσκόπησης της αμερικανικής αποστολής Landsat, μιας συνεργασίας μεταξύ της NASA και του Αμερικανικού Γεωλογικού Ινστιτούτου. Οι δύο νέοι επιστημονικοί δέκτες που περιλαμβάνονται στην αποστολή LDCM (Landsat Data Continuity Mission), ο OLI και TIRS, αντιπροσωπεύουν προοδευτικές εξελίξεις στην τεχνολογία και απόδοση των δεκτών.

Στόχος της εργασίας αυτής ήταν η σύγκριση του δορυφόρου Landsat 8 με τον Landsat 5, μέσα από ανεξάρτητες ταξινομήσεις των δορυφορικών τους απεικονίσεων με δύο εναλλακτικές μεθοδολογίες. Η πρώτη μεθοδολογία αφορούσε την ταξινόμηση με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο. Αρχικά λοιπόν πραγματοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση στις τηλεπισκοπικές απεικονίσεις των δύο δορυφόρων τόσο με τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης όσο και με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας, ο οποίος επιλέχτηκε και ως βέλτιστος ταξινομητής.

Σημαντική διαφορά μεταξύ του Landsat 8 και Landsat 5 είναι η προσθήκη της παγχρωματικής μπάντας, με χωρική ανάλυση στα 15 m. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε συγχώνευση του παγχρωματικού καναλιού με τα πολυφασματικά κανάλια της απεικόνισης με στόχο την αξιοποίηση της νέας εικόνας με τη βελτιωμένη χωρική ανάλυση και την εκ νέου ταξινόμησή της με τους παραπάνω αλγορίθμους προκειμένου να ερευνηθεί κατά πόσο συμβάλλει η διαδικασία της συγχώνευσης στην βελτίωση του αποτελέσματος.

Αφού πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης των τριών παραπάνω απεικονίσεων με δύο αλγόριθμους ταξινόμησης, τέθηκε ως επιπλέον στόχος η αξιοποίηση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας, μιας μεθοδολογίας με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το αντικείμενο. Σκοπός ήταν να διερευνηθεί κατά πόσο η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας μπορεί να συμβάλλει περαιτέρω στην βελτίωση του αποτελέσματος.

Καμία ταξινόμηση δεν θεωρήθηκε ολοκληρωμένη, έως ότου εκτιμηθεί η ακρίβειά της. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκαν Πίνακες Σφαλμάτων Ταξινόμησης ( ή αλλιώς Πίνακες Σύγκυσης) για όλες τις ταξινομήσεις, με την επιλογή δεδομένων ελέγχου. Έτσι λοιπόν στο τελευταίο στάδιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αξιολογούνται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων τόσο ποιοτικά μέσω της διαδικασίας της φωτοερμηνείας όσο και ποσοτικά με τη χρήση κατάλληλων στατιστικών δεικτών. Με αποτέλεσμα η αντικειμενοστρεφής μέθοδος να παρέχει ακρίβεια της τάξης του 85% ενώ η επιβλεπόμενη ταξινόμηση να κυμαίνεται μεταξύ 59.1% - 74.7%.

**Λέξεις Κλειδιά:** Landsat 8 OLI/TIRS, Landsat 5 TM, Επιβλεπόμενη ταξινόμηση, Αντικειμενοστραφής ανάλυση, Συγχώνευση ψηφιδωτών δεδομένων, Αττική.

## ABSTRACT

Probably, no combination of two technologies has created more interest and applications in a broad range of sciences, than the combination of Remote Sensing and Space Exploration. The study of Earth from Space has evolved from pure research in a global daily application. Remote Sensing from Space continues developing, as new improved sensors and space platforms are placed in orbit around the Earth.

Objective of this study was the eighth satellite in the Landsat series, a collaboration between NASA and the United States Geological Survey (USGS). The two science instruments aboard LDCM, the Operational Land Imager (OLI) and the Thermal Infrared Sensor (TIRS), represent evolutionary advances in sensor technology and performance.

The purpose of this thesis was the comparison between Landsat 8 and Landsat 5, through individual classifications of their images by using two alternative methodologies. The first method involved a pixel based classification which was conducted with the Minimum Distance and Maximum Likelihood algorithms, where the last one was chosen as the most efficient classifier.

Significant difference between Landsat 8 and Landsat 5 is the addition of the panchromatic band with 15 meter spatial resolution. Therefore a fusion algorithm was applied to the multispectral image in order to fully exploit the potential of increased spatial resolution of remotely sensed imagery and investigate if this process contributes to the improvement of the classification results.

After the comparison of the classification results of the three images, by using two different classifiers, a further aim was added. The usage of object-oriented image analysis, whose purpose was to investigate if the result could be further, improved.

None of classification results were considered completed until the estimation of its accuracy. Therefore a confusion matrix was created for each classification using training areas. Thus at the last stage of this research, evaluation of the classification results was implemented, through statistical indicators and photo-interpretation procedure. As a result the object based classification provided an accuracy of 85% versus the supervised classification whose indices were ranging over the interval 59.1% - 74.7%.

**Keywords:** Landsat 8 OLI/TIRS, Landsat 5 TM, Supervised classification, Object-based image analysis, Raster data Fusion, Athens.

## Πίνακας Περιεχομένων

Ευρετήριο Εικόνων.....	9
Ευρετήριο Πινάκων .....	11
Ευρετήριο Γραφημάτων.....	13
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ .....	14
2.1 Γενικά.....	14
2.2 Τηλεπισκόπηση.....	14
2.3 Δορυφόροι.....	15
2.4 Πρόγραμμα Landsat.....	16
2.4.1 Landsat -1,-2 και 3 .....	18
2.4.2 Landsat -4,-5 .....	18
2.4.3 Landsat 6.....	22
2.4.4 Landsat 7.....	22
2.5 Landsat 8 OLI/TIRS .....	24
2.5.1 Landsat Data Continuity Mission (LDCM) .....	24
2.5.2 Καινοτόμες Εξελίξεις : Τεχνολογία και Απόδοση.....	25
2.5.3 OLI: Προηγμένης Τεχνολογίας Δέκτης .....	26
2.5.4 TIRS: Δέκτης Θερμικής Ανίχνευσης.....	28
2.5.5 Σχεδιασμός Διαστημικής Πλατφόρμας.....	29
2.5.6 Το Επίγειο Σύστημα της Αποστολής LDCM .....	30
2.5.7 Σύγκριση Landsat 8 με τους Προκατόχους του .....	32
2.6 Προεπεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων .....	35
2.6.1 Γεωμετρική Διόρθωση.....	35
2.6.2 Ραδιομετρική Διόρθωση .....	35
2.6.3 Συγχώνευση Ψηφιδωτών Δεδομένων .....	36
2.7 Τεχνικές Ψηφιακής Επεξεργασίας.....	38
2.7.1 Ενίσχυση της Αντίθεσης των Τόνων του Γκρι .....	39
2.7.2 Δημιουργία Έγχρωμων Συνθέτων .....	39
2.7.3 Φιλτράρισμα Τηλεπισκοπικών Δεδομένων .....	39
2.7.4 Άλγεβρα Εικόνων – Λόγοι Καναλιών .....	39
2.7.5 Ταξινόμηση Εικόνων με Βασική Μονάδα Χωρικής Ανάλυσης το Εικονοστοιχείο.....	40
2.7.6 Ταξινόμηση Εικόνων με Αντικειμενοστραφή Προσέγγιση.....	45
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	53

3.1 Επιλογή Δεδομένων και Περιοχής Μελέτης.....	53
3.2 Προεπεξεργασία Δεδομένων .....	54
3.2.1 Γεωμετρική Διόρθωση.....	54
3.2.2 Ραδιομετρική διόρθωση.....	56
3.2 Φωτοερμηνεία Περιοχής Μελέτης.....	57
3.3 Υλοποίηση Ταξινόμησεων με Βασική Μονάδα Χωρικής Ανάλυσης το Εικονοστοιχείο.....	69
3.3.1 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του Landsat 5 TM .....	69
3.3.2 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του Landsat 8 OLI/TIRS .....	81
3.3.3 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του Landsat 8 OLI/TIRS ύστερα από συγχώνευση με το παγχρωματικό κανάλι.....	87
3.4 Ταξινόμηση με Αντικειμενοστραφή Προσέγγιση .....	95
3.4.1 Επίπεδα κατάτμησης.....	95
3.4.3 Ταξινόμηση επιπέδων .....	97
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	114
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	127
6. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ .....	129
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	130



## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Η διαδικασία συλλογής τηλεπισκοπικών δεδομένων ( Curran, 1985).....	15
Εικόνα 2: Ηλιοσύγχρονη τροχιά των Landsat -4 και -5 [Πηγή:Αργιαλάς,1999]. .....	19
Εικόνα 3: Χωροχρονική κατανομή γειτονικών τροχιών των Landsat-4 και -5. Γειτονικές ζώνες σάρωσης απεικονίζονται ανά 7 ημέρες. [Πηγή: <a href="http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro99/class/gomez/landsat.html">http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro99/class/gomez/landsat.html</a> ]. .....	20
Εικόνα 4: Διαταξη συστημάτων γεωπαρατήρησης των δορυφόρων Landsat - 4 και -5. [Πηγή: <a href="https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/landsat-4-5">https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/landsat-4-5</a> ]. ..	20
Εικόνα 5: Βλάβη SLC. [Πηγή: <a href="http://www.geovar.com/landsat_slc.htm">http://www.geovar.com/landsat_slc.htm</a> ]. .....	23
Εικόνα 6 : Σαρωτές εγκάρσιας και επιμήκους σάρωσης. [Πηγή:NASA,USGS] .....	26
Εικόνα 7: Παράκτια περιοχή ανιχνεύσιμη από το νέο κανάλι 1 του OLI. [Πηγή:NASA,USGS].....	27
Εικόνα 8: Θύσσανοι ανιχνεύσιμοι από το νέο κανάλι 9 του OLI.....	27
Εικόνα 9 : Το παρατηρητήριο της LDCM αποστολής που περιλαμβάνει δύο δέκτες και μια συστοιχία ηλιακών πινάκων για να παρέχει ενέργεια στη διαστημική πλατφόρμα. [Πηγή:NASA,USGS].....	30
Εικόνα 10 : Διαφορά Σαρωτών Εγκάρσιας και Επιμήκους Σάρωσης. ....	33
Εικόνα 11 : Αναπαράσταση ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων αντικειμένων, τα οποία αλληλοσχετίζονται μεταξύ τους, τόσο όσον αφορά αντικείμενα του ίδιου επιπέδου, όσο και αντικείμενα διαφορετικών επιπέδων. [Πηγή :eCognition Developer 8.7 User’s Guide, 2011]......	47
Εικόνα 12 : Η ροή εφαρμογής των βασικών διαδικασιών στην αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας. [Πηγή : Anders et. al., 2010] .....	48
Εικόνα 13: Απεικόνιση μεθόδων ταξινόμησης (α) συναρτήσεις συμμετοχής για τον ασαφή προσδιορισμό των ιδιοτήτων των αντικειμένων, (β) ασαφής εκδοχή του αλγορίθμου του εγγύτερου γείτονα. [Πηγή: Gercek, 2010]. .....	51
Εικόνα 14: Επιλογή Περιοχής Μελέτης. ....	54
Εικόνα 15: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) συνεχούς, β) μη συνεχούς αστικής οικοδόμησης. ....	58
Εικόνα 16: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) βιομηχανικών περιοχών και β) κυρίου οδικού δικτύου. ....	59
Εικόνα 17: : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) Λιμένος και β) Αεροδρομίου. ....	59
Εικόνα 18: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) ορυχείων β) χώρων οικοδόμησης. ....	60
Εικόνα 19 : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) περιοχής αστικού πρασίνου, β) αθλητικών εγκαταστάσεων. ....	61
Εικόνα 20 : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα μόνιμα αρδευόμενης γης ( μαύρη έλλειψη) και μη αρδευσιμής αρόσιμης γης (μπλε έλλειψη). ....	62
Εικόνα 21 : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από αμπελώνες και καλλιέργειες. ....	62
Εικόνα 22 : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από σύνθετα συστήματα καλλιέργειών. ....	63
Εικόνα 23: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα γεωργικής γης που καλύπτεται με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και σύνθετα συστήματα καλλιέργειας. ....	63
Εικόνα 24: : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) πλατύφυλλης βλάστησης πλησίον λίμνης, β) πλατύφυλλης βλάστησης πλησίον ρεματίας.....	64

Εικόνα 25 : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα δάσους κωνοφόρων (λίγότερο έντονο κόκκινο στο έγχρωμο σύνθετο 432). .....	64
Εικόνα 26: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα σκληροφυλλικής βλάστησης (λίγότερο έντονο στο έγχρωμο σύνθετο 432). .....	66
Εικόνα 27 :Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις.....	66
Εικόνα 28 : Φωτοερμηνευτικό πρότυπο παραλίας. ....	67
Εικόνα 29 :Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από απογυμνωμένους βράχους λόγω πυρκαγιάς (αποτεφρωμένες εκτάσεις). ....	68
Εικόνα 30: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο α) λίμνης και β) θάλασσας. ....	68
Εικόνα 31 : Θεματικές κατηγορίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του Landsat 5TM και η αντίστοιχη χρωματική παλέτα. ....	69
Εικόνα 32: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2010.....	71
Εικόνα 33 : Δορυφορική απεικόνιση περιοχής μελέτης 2010. ....	76
Εικόνα 34: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για τις 24 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010. ....	76
Εικόνα 35 : Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 24 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.....	77
Εικόνα 36 : (α) Τα πολύγωνα ελέγχου για τη δημιουργία της αληθούς εικόνας, (β) Η αληθής εικόνα.....	78
Εικόνα 37 : Εφαρμογή φόρμουλας για αφαίρεση νεφοκάλυψης από την απεικόνιση του Landsat 8. ....	82
Εικόνα 38 : (α) Απεικόνιση Landsat 8 με νεφοκάλυψη (β) Απεικόνιση Landsat 8 ύστερα από αφαίρεση νεφοκάλυψης. ....	82
Εικόνα 39 : Δορυφορική απεικόνιση περιοχής μελέτης του Landsat 8.....	83
Εικόνα 40 : Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για την απεικόνιση του Landsat 8. ....	83
Εικόνα 41 : Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για την απεικόνιση του Landsat 8. ....	84
Εικόνα 42: α) Αρχική Εικόνα και Αποτελέσματα Συγώνευσης β) με τη μέθοδο Local Mean Matching γ) με τη μέθοδο Local Mean and Variance Matching με φίτρο 5 x5 και δ) με τη μέθοδο Local Mean and Variance Matching με φίτρο 11x11. ....	88
Εικόνα 43 : Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης α) με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης και β) με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για την συγχωνευμένη απεικόνιση του Landsat 8 με εφαρμογή παραθύρου 5 x 5. ....	89
Εικόνα 44: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης α) με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης και β) με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για την συγχωνευμένη απεικόνιση του Landsat 8 με εφαρμογή παραθύρου 11 x 11. ....	90
Εικόνα 45: Ιεραρχία τρίτου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8. ....	97
Εικόνα 46 : Αποτέλεσμα ταξινόμησης τρίτου επιπέδου (α) ολοκληρης της απεικόνισης του Landsat 8, (β) της λίμνης σε μεγέθυνση, (γ) του κωπηλατοδρομίου και υδροβιότοπου σε μεγέθυνση.....	99

Εικόνα 47: Ιεραρχία δεύτερου επιπέδου της απεικόνισης του Landsat 8.....	100
Εικόνα 48 : Αποτέλεσμα ταξινόμησης δεύτερου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.....	102
Εικόνα 49: Αποτέλεσμα ταξινόμησης των ορυχείων στο δεύτερο επίπεδο της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.....	102
Εικόνα 50 : Αποτελέσματα ταξινόμησης του οδικού δικτύου στο δεύτερο επίπεδο της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.....	103
Εικόνα 51: Ιεραρχία πρώτου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.....	105
Εικόνα 52 : Αποτέλεσμα ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.....	108
Εικόνα 53 : Αποτέλεσμα ταξινόμησης πρώτου επιπέδου της αστικής περιοχής της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.....	108
Εικόνα 54: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πρώτου επιπέδου της βλάστησης της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.....	109
Εικόνα 55: Αποτέλεσμα ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου της περιοχής του αεροδρομίου και των γύρω γεωργικών εκτάσεων της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.....	109
Εικόνα 56 : Δημιουργία Μάσκας για τα δεδομένα ελέγχου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.....	111

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 : Χαρακτηριστικά των δορυφόρων LANDSAT 1-7 και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους.....	17
Πίνακας 2: Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων Landsat 1 έως 7.....	17
Πίνακας 3: Φασματικά κανάλια του Θεματικού Χαρτογράφου TM και οι κύριες εφαρμογές τους.....	22
Πίνακας 4 : Φασματικά Κανάλια Landsat 8 με τα αντίστοιχα μήκη κύματος και τη χωρική ανάλυση.....	25
Πίνακας 5 : Σύγκριση Φασματικών Καναλιών Landsat 7 και Landsat 8. [Πηγή:NASA,USGS].....	34
Πίνακας 6 : Οι συναρτήσεις συμμετοχής που παρέχει το λογισμικό eCognition 8.7..	50
Πίνακας 7: Μεταδεδομένα δορυφορικής απεικόνισης Landsat 5 TM.....	55
Πίνακας 8 : Μεταδεδομένα δορυφορικής απεικόνισης Landsat 8 OLI/TIRS.....	55
Πίνακας 9 : Θεματικές κατηγορίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης εικόνας 2010 και η αντιστοίχησή τους με τις θεματικές κατηγορίες του CORINE Land Cover.....	70
Πίνακας 10 : Κύρια στατιστικά στοιχεία δεδομένων εκπαίδευσης της απεικόνισης του 2010 ( I ).....	73
Πίνακας 11 : Κύρια στατιστικά στοιχεία δεδομένων εκπαίδευσης της απεικόνισης του 2010 ( II ).....	74
Πίνακας 12: Πίνακας σύγκρισης με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για την απεικόνιση του 2010.....	79

Πίνακας 13: Πίνακας σύγκρισης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για την απεικόνιση του 2010. ....	80
Πίνακας 14: Πίνακας σύγκρισης με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για την απεικόνιση του 2013. ....	85
Πίνακας 15: Πίνακας σύγκρισης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για την απεικόνιση του 2013. ....	86
Πίνακας 16 : Πίνακας σύγκρισης μεταξύ των δύο παραθύρων που εφαρμόστηκαν κατά τη μέθοδο συγχώνευσης LMVM (I). ....	90
Πίνακας 17: Πίνακας σύγκρισης μεταξύ των δύο παραθύρων που εφαρμόστηκαν κατά τη μέθοδο συγχώνευσης LMVM (II). ....	91
Πίνακας 18: Πίνακας σύγκρισης μεταξύ των δύο παραθύρων που εφαρμόστηκαν κατά τη μέθοδο συγχώνευσης LMVM (III). ....	92
Πίνακας 19 : Πίνακας σύγκρισης της συγχωνευμένης εικόνας του Landsat 8 με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης. ....	93
Πίνακας 20: Πίνακας σύγκρισης της συγχωνευμένης εικόνας του Landsat 8 με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. ....	94
Πίνακας 21: Παράμετροι κατάτμησης ανά επίπεδο. ....	96
Πίνακας 22: Ιεραρχία των κατηγοριών του τρίτου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8 με τους κανόνες και τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής. ....	98
Πίνακας 23: Ιεραρχία κατηγοριών του δεύτερου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8 με τους κανόνες και τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής. ....	101
Πίνακας 24 : Τυπικά Γεωγραφικά Στοιχεία Αμπελιών [Πηγή: Δ. Ρόκος, Σ. Θεοχαρόπουλος, Γ. Χάλαρης, 1992, «Γεωγραφικό Περιβάλλον Τυπικών Μεσογειακών Καλλιερχειών και Τύπων Βλάστησης ως βάση κανόνων Εμπείρου Συστήματος Ανάλυσης Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Απεικονίσεων – Τελική έκθεση». ....	106
Πίνακας 25: Ιεραρχία των κατηγοριών του πρώτου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8 με τους κανόνες και τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής. ....	107
Πίνακας 26 : Πίνακας Σύγκρισης της ταξινόμησης της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8 με την μέθοδο αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας. ....	113
Πίνακας 27 : Συγκριτική Διερεύνηση μεταξύ των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων για τη κατηγορία της θάλασσας. ....	114
Πίνακας 28: Συγκριτική Διερεύνηση μεταξύ των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων για τη κατηγορία της λίμνης και του οδικού δικτύου. ....	116
Πίνακας 29: Συγκριτική Διερεύνηση μεταξύ των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων για τη κατηγορία των πλατύφυλλων και κωνοφόρων δασών. ....	118
Πίνακας 30: Συγκριτική Διερεύνηση μεταξύ των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων για τη κατηγορία της αστικής δόμησης και των ορυχείων. ....	120
Πίνακας 31: Συγκριτική διερεύνηση μεταξύ της επιβλεπόμενης και αντικειμενοστρεφής ταξινόμησης για τις κατηγορίες 1) της λίμνης και 2) των κωνοφόρων δασών. ....	122

Πίνακας 32: Συγκριτική διερεύνηση μεταξύ της επιβλεπόμενης και αντικειμενοστρεφής ταξινόμησης για τις κατηγορίες 1) των καμμένων εκτάσεων, 2) της αστικής δόμησης και 3) του οδικού δικτύου. ....	124
Πίνακας 33: Συγκριτική διερεύνηση μεταξύ της επιβλεπόμενης και αντικειμενοστρεφής ταξινόμησης για τις κατηγορίες 1) των καλλιεργειών και 2) των αμπελώνων.....	125
Πίνακας 34: Συγκριτική διερεύνηση μεταξύ της επιβλεπόμενης και αντικειμενοστρεφής ταξινόμησης για τις κατηγορίες 1) των βιομηχανικών περιοχών και 2) των βραχώδων εκτάσεων. ....	126

## **Ευρετήριο Γραφημάτων**

Γράφημα 1: Σύγκριση φασματικής ευαισθησίας μεταξύ ETM+ OLI και TIRS. [Πηγή:NASA,USGS].....	28
Γράφημα 2 : Η στρατηγική ταξινόμησης της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους. [Πηγή:Αργιαλάς,1999] .....	42
Γράφημα 3 : Κλειστές καμπύλες ίσων πιθανοτήτων που καθορίζονται από τον ταξινομητή της μέγιστης πιθανοφάνειας. [Πηγή:Αργιαλάς,1999] .....	43
Γράφημα 4 : Δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων των 24 κατηγοριών..	71
Γράφημα 5: Αναλυτικός αλγόριθμος ταξινόμησης της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8. ....	112

## **2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ**

### **2.1 Γενικά**

Για περισσότερα από 150 χρόνια οι επιστήμονες αναπτύσσουν διαδικασίες συλλογής και ανάλυσης τηλεπισκοπικών δεδομένων. Στόχος τους είναι να παρατηρούν τη φύση, να κάνουν μετρήσεις, και να προσπαθούν να επαληθεύουν ή να απορρίπτουν υποθέσεις σχετικά με αυτά τα φαινόμενα. Η συλλογή δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί απευθείας στο πεδίο ή σε απόσταση από το υπό μελέτη αντικείμενο. Η παρατήρηση και παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα τελευταία χρόνια σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του περιβάλλοντος, την κατανόηση του παγκόσμιου κλίματος, αλλά και το σχεδιασμό και την ενίσχυση αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή.

### **2.2 Τηλεπισκόπηση**

Η τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων, τα οποία έχουν αποκτηθεί από μια συσκευή, η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο (Αργιαλάς,1999). Πρακτικά στην τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται καταγραφείς διαφόρων τεχνολογιών (δέκτες) μέσω των οποίων συλλέγεται και στην συνέχεια αναλύεται πληροφορία που αφορά αντικείμενα ή περιοχές. Με βάση τα παραπάνω, η τηλεπισκόπηση μπορεί να θεωρηθεί ότι καλύπτει τεράστιο εύρος εφαρμογών, τόσο στις γεωεπιστήμες που ο όρος είναι ευρύτερα γνωστός όσο και σε άλλες επιστήμες (αστροφυσική, αστρονομία, ιατρική, βιολογία, φυσική κ.α). Από τις αεροφωτογραφίες, τους κατασκοπευτικούς και εμπορικούς δορυφόρους, μέχρι και τα τηλεσκόπια, τα ραντάρ, τα σόναρ, τους μαγνητικούς τομογράφους και τις ακτινογραφίες, οι μέθοδοι που ακολουθούνται απαρτίζουν την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης.

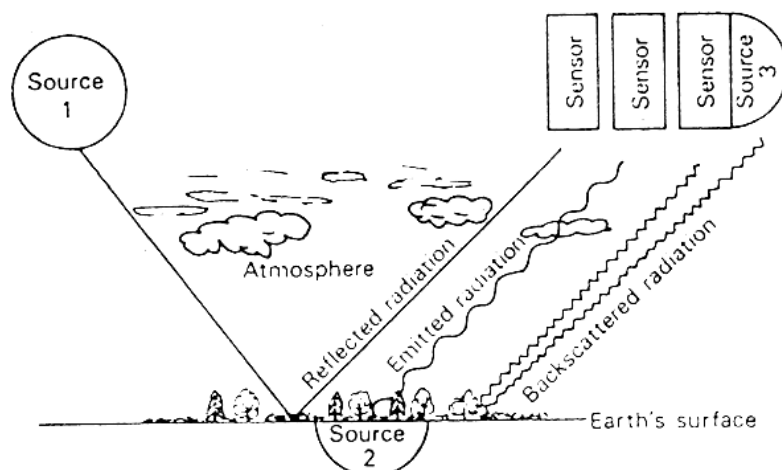
Στην τηλεπισκόπηση, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από κάποιο αντικείμενο που κείται στην επιφάνεια της γης, μετριέται και μεταφράζεται σε πληροφορία για το αντικείμενο ή σε διαδικασίες σχετιζόμενες με το αντικείμενο και το περιβάλλον του.

Στη φάση που προηγείται των μετρήσεων, τα ακόλουθα συστατικά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο:

- Η πηγή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- Η διαδρομή της μέσα από την ατμόσφαιρα
- Η αλληλεπίδραση της με το αντικείμενο
- Η καταγραφή της ακτινοβολίας από τον αισθητήρα

Αυτά αποτελούν το σύστημα τηλεπισκόπησης, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 1. Η δεύτερη φάση καλύπτεται από τις επόμενες διαδικασίες:

- Μετάδοση, λήψη και (προ) επεξεργασία της ακτινοβολίας
- Ερμηνεία και ανάλυση των τηλεπισκοπικών δεδομένων
- Δημιουργία τελικού προϊόντος



Εικόνα 1: Η διαδικασία συλλογής τηλεπισκοπικών δεδομένων ( Curran, 1985).

## 2.3 Δορυφόροι

Δορυφόρος είναι ένα μη επανδρωμένο διαστημικό όχημα, που τίθεται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος μεταξύ 500 και 35.000 χιλιομέτρων από την επιφάνειά της, και εξοπλισμένο με κατάλληλα όργανα συλλέγει εικόνες και στοιχεία, τα οποία μεταδίδει σε επίγειους σταθμούς.

Από το 1957, έτος εκτόξευσης του πρώτου δορυφόρου (Sputnik, ΕΣΣΔ), έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990, έχουν εκτοξευτεί και τεθεί σε τροχιά χιλιάδες δορυφόροι, που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ερευνών και εφαρμογών, άλλοι πραγματοποιώντας επιστημονικές παρατηρήσεις και μετρήσεις (επιστημονικοί δορυφόροι) και άλλοι εξυπηρετώντας οικονομικούς και εμπορικούς σκοπούς (δορυφόροι εφαρμογής). Έτσι, μέσω δορυφόρων πραγματοποιούνται αστρονομικές παρατηρήσεις, μετρήσεις κοσμικής ακτινοβολίας, μετεωρολογικές προβλέψεις, γεωλογικές έρευνες, χαρτογράφηση ηπείρων και ωκεανών, περιβαλλοντολογικές έρευνες κ.λ.π. και διεξάγονται οι τηλεπικοινωνίες, η ναυσιπλοΐα, η κατασκόπευση στρατηγικών στόχων κ.α.

Η μεταφορά των δορυφόρων και η τοποθέτησή τους σε τροχιά γίνεται από πυραύλους ή διαστημικά λεωφορεία. Μόλις αυτά φτάσουν στην προκαθορισμένη απόσταση από την επιφάνεια της Γης, αποδεσμεύουν το δορυφόρο, προσδίδοντάς του την κατάλληλη κλίση και ταχύτητα, ώστε να εξασφαλίζεται η εξισορρόπηση της βαρυτικής έλξης και της φυγόκεντρης δύναμης που ασκούνται επάνω του. Η

ταχύτητα που αποκτά τη στιγμή της αποδέσμευσης ο δορυφόρος είναι αυτή με την οποία στη συνέχεια εκτελεί τις περιφορές του.

Οι σημαντικότερες κατηγορίες των δορυφόρων είναι:

- οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι, που διεκπεραιώνουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, αναμεταδίδουν τηλεοπτικά προγράμματα, δεδομένα κ.λπ.
- οι δορυφόροι πλοήγησης, που αποτελούν τη βάση ενός συστήματος προσανατολισμού και καθορισμού πορείας, κυρίως για αεροπλάνα και πλοία.
- οι δορυφόροι γεωλογικών ερευνών, που χρησιμοποιούνται τόσο για τον εντοπισμό ορυκτών κοιτασμάτων και την παρατήρηση γεωλογικών σχηματισμών όσο και για τη συλλογή σεισμολογικών δεδομένων.
- οι μετεωρολογικοί δορυφόροι, οι οποίοι παρέχουν εικόνες και στοιχεία σχετικά με τις παγκόσμιες και τοπικές κλιματολογικές συνθήκες.
- οι δορυφόροι περιβάλλοντος που μελετούν το χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον καταγράφοντας τα φαινόμενα και τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό, καθώς και στην ατμόσφαιρα του πλανήτη. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και η σειρά των δορυφόρων Landsat, που αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας.

## 2.4 Πρόγραμμα Landsat

Μετά από τις εικόνες γεωπαρατήρησης των φυσικών διαθέσιμων που παρασχέθηκαν από τους πρώτους μετεωρολογικούς δορυφόρους, και τις επανδρωμένες πτήσεις διαστημοπλοίων, η NASA, με τη συνεργασία του Υπουργείου Εσωτερικών των Η.Π.Α., άρχισε μια θεωρητική μελέτη σκοπιμότητας για μια σειρά δορυφόρων του περιβάλλοντος (περιβαλλοντικών δορυφόρων)-Earth Resources Technology Satellites (ERTS). Αρχίζοντας το 1967, το πρόγραμμα αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το σχεδιασμό μιας σειράς 6 δορυφόρων, οι οποίοι πριν από την εκτόξευσή τους, χαρακτηρίζονταν ως ERTS-A, ERTS-B, -C, -D, -E, -F. Μετά από μια επιτυχή εκτόξευσή στις καθορισμένες τροχιές τους, αυτοί οι δορυφόροι έλαβαν τα ονόματα ERTS -1, -2, -3, -4, -5 και -6.

Ο ERTS-1 εκτοξεύτηκε στις 23 Ιουλίου 1972 και λειτούργησε μέχρι τις 6 Ιανουαρίου 1978. Ακριβώς πριν την εκτόξευση του δορυφόρου ERTS-2 στις 22 Φεβρουαρίου 1975, η NASA μετονόμασε το πρόγραμμα ERTS σε «Landsat» για να το διακρίνει από το σχεδιασμένο πρόγραμμα ωκεανογραφικής παρατήρησης που είχε το όνομα Seasat. Συνεπώς, ο ERTS-1 ονομάστηκε εκ των υστέρων Landsat-1 και όλοι οι μετέπειτα δορυφόροι της σειράς αυτής έφεραν το όνομα «Landsat». Μέχρι πρόσφατα 7 δορυφόροι της σειράς Landsat έχουν εκτοξευθεί επιτυχώς, ενώ ο Landsat 6 είχε μια ατυχή εκτόξευση (Αργιαλάς, 1999).



Στο παρακάτω Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των Landsat-1 μέχρι Landsat-7, ενώ λεπτομερής αναφορά για τον Landsat 8 θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο. Στις αποστολές αυτές λοιπόν (Landsat1-Landsat7) έχουν περιληφθεί σε διάφορους συνδυασμούς 4 διαφορετικοί τύποι δεκτών. Οι δέκτες αυτοί περιλαμβάνουν τα φωτογραφικά συστήματα Returned Beam Vidicon (RBV), τον πολυφασματικό σαρωτή Multispectral Scanner (MSS), το Θεματικό Χαρτογράφο, Thematic Mapper (TM), τον Ενισχυμένο Θεματικό Χαρτογράφο, Enhanced Thematic Mapper (ETM) και τον Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).

Mission	Launched	RBV Bands	MSS Bands	TM or ETM or ETM+ Bands	Orbit
Landsat-1	23/7/1972	1,2,3	4,5,6,7		18 day/900 km
Landsat-2	22/1/1975	1,2,3	4,5,6,7		18 day/900 km
Landsat-3	5/3/1978	1	4,5,6,7,8		18 day/900 km
Landsat-4	16/7/1982		1,2,3,4	1,2,3,4,5,6,7	16 day/705 km
Landsat-5	1/3/1984		1,2,3,4	1,2,3,4,5,6,7	16 day/705 km
Landsat-6	5/10/1993			1,2,3,4,5,6,7 + Pan (ETM)	16 day/705 km
Landsat-7	15/4/1999			1,2,3,4,5,6,7 +Pan (ETM+)	16 day/705 km

**Πίνακας 1 : Χαρακτηριστικά των δορυφόρων LANDSAT 1-7 και των τηλεπισκοπικών δεκτών τους.**

Ο Πίνακας 2 περιλαμβάνει περιληπτικά τη φασματική ευαισθησία και χωρική διακριτική ικανότητα του καθενός από αυτά τα συστήματα όπως περιλήφθησαν στις διάφορες αποστολές.

Δέκτης	Αποστολή	Φασματική Διακριτική Ικανότητα	Χωρική Διακριτική Ικανότητα
RBV	LANDSAT 1, 2	0,475-0,575μm 0,580-0,680μm 0,690-0,830μm	80m 80m 80m
	LANDSAT 3	0,505-0,750μm	30m
MSS	LANDSAT 1 ως 5	0,5-0,6μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,6-0,7μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,7-0,8μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		0,8-1,1μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5)
		10,4-12,6μm	79m (82m στους LANDSAT-4,5) 240m (μόνο στον LANDSAT-3)
TM	LANDSAT 4, 5	0,45-0,52μm	30m
		0,52-0,60μm	30m
		0,63-0,69μm	30m
		0,76-0,90μm	30m
		1,55-1,75μm	30m
		10,4-12,5μm	120m
		2,08-2,35μm	30m
ETM & ETM+	LANDSAT 6, 7	0,52-0,90μm	15m
		0,45-0,52μm	30m
		0,52-0,60μm	30m
		0,63-0,69μm	30m
		0,75-0,90μm	30m
		1,55-1,75μm	30m
		10,4-12,5μm	120m (ETM), 60m (ETM+)
		2,08-2,35μm	30m

**Πίνακας 2: Φασματική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεκτών των δορυφόρων Landsat 1 έως 7.**

### 2.4.1 Landsat -1,-2 και 3

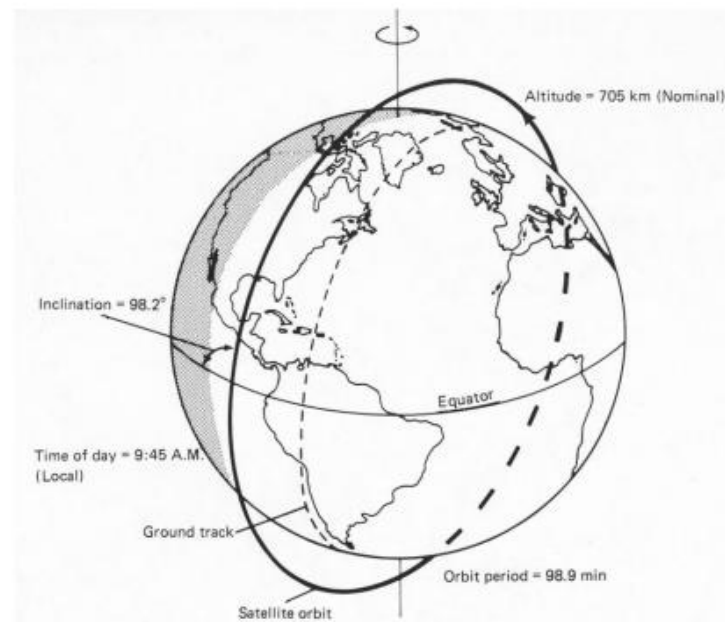
Οι δορυφόροι εκτοξεύτηκαν σε κυκλικές τροχιές σε ένα ονομαστικό ύψος 900 km και διέρχονταν περί τις 9° από το Βόρειο και Νότιο Πόλο, ενώ η περίοδος τροχιάς ήταν περίπου 103 min ή 14 τροχιές ημερησίως. Οι δορυφόροι είχαν τη δυνατότητα κάλυψης ολόκληρου του πλανήτη μια φορά κάθε 18 ημέρες ή περίπου 20 φορές το χρόνο. Οι Landsat -1,-2 εκτοξεύτηκαν με δύο ταυτόσημα τηλεπισκοπικά συστήματα: ένα RBV τριών καναλιών, και ένα σύστημα MSS 4 καναλιών. Το σύστημα RBV αποτελούνταν από 3 κάμερες που παρατηρούσαν τη Γη συγχρόνως με μια επίγεια κάλυψη 185 x 185 km. Η ονομαστική επίγεια διακριτική ικανότητα των RBV συστημάτων ήταν περίπου 80 m και η φασματική ευαισθησία της κάθε κάμερας ήταν αυτή με τις αντίστοιχες του έγχρωμου υπέρυθρου φιλμ, δηλαδή η πράσινη ήταν από 0.475-0.575 μm, η κόκκινη από 0.580-0.680 μm και η εγγύς υπέρυθρη από 0.690-0.830μm. Αυτές οι φασματικές ζώνες είχαν χαρακτηριστεί ως κανάλια 1,2, και 3. Η κάμερα RBV δεν περιείχε φιλμ, και αντί αυτού, οι εικόνες εκτίθονταν μέσω ενός μηχανισμού διαφράγματος και αποτυπώνονταν πάνω σε μια φωτοευαίσθητη επιφάνεια εντός της κάθε κάμερας. Επειδή οι εικόνες RBV απεικόνιζαν στιγμιαία μια ολόκληρη περιοχή κατά τρόπο παρόμοιο με μια φωτογραφική μηχανή, οι εικόνες τους είχαν μεγαλύτερη χαρτογραφική αξιοπιστία από αυτές που αποκτήθηκαν από το σύστημα Landsat MSS.

Ο πολυφασματικός σαρωτής MSS των Landsat -1,-2 και -3, κάλυπτε μια ζώνη πλάτους 185 km σε τέσσερα φασματικά κανάλια: δύο στο ορατό φάσμα δηλαδή από 0.5-0.6 μm (πράσινο), και 0.6-0.7 μm (κόκκινο), και δύο στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα από 0.7-0.8 μm και από 0.8-1.1 μm. Αυτά τα κανάλια είχαν χαρακτηριστεί ως κανάλια 4,5,6 και 7. Ο πολυφασματικός σαρωτής MSS του Landsat-3 είχε επίσης ένα θερμικό κανάλι, το κανάλι 8, το οποίο λειτουργούσε στην περιοχή 10.4-12.6 μm. Όμως δημιουργήθηκαν λειτουργικά προβλήματα, και αυτό το κανάλι τέθηκε εκτός λειτουργίας σχεδόν μετά την εκτόξευση του δορυφόρου. Έτσι λοιπόν όλοι οι πολυφασματικοί σαρωτές MSS παρήγαγαν δεδομένα μόνο σε αυτά τα τέσσερα κανάλια. Να σημειωθεί ότι αυτές οι φασματικές ζώνες χρησιμοποιήθηκαν και στον πολυφασματικό σαρωτή MSS, ο οποίος υπήρχε στους δορυφόρους Landsat -4 και -5, αλλά αυτές οι φασματικές ζώνες είχαν κληθεί κανάλια 1,2,3 και 4 αντίστοιχα. Τέλος να αναφερθεί και το εύρος των ψηφιακών αριθμών, το οποίο ήταν 6 bits (0-63) (Αργιαλάς,1999).

### 2.4.2 Landsat -4,-5

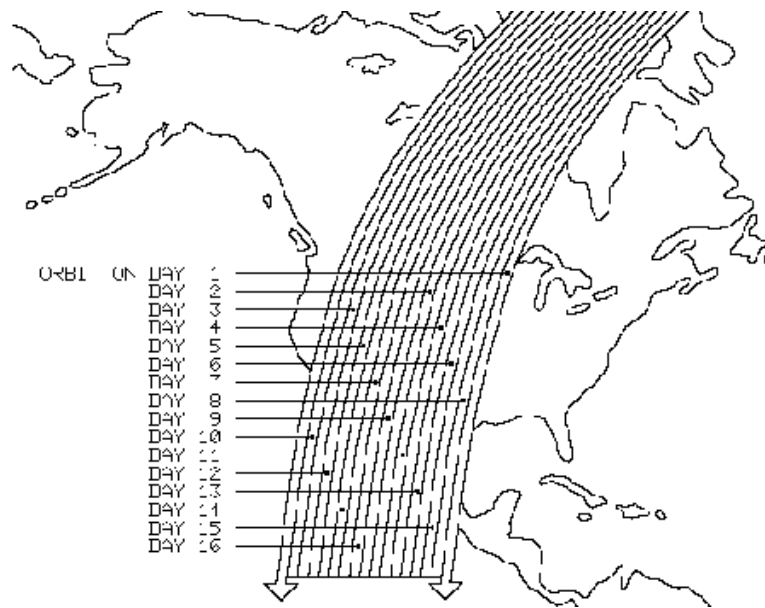
Οι δορυφόροι Landsat -4 και -5, όπως και οι πρόδρομοί τους εκτοξεύτηκαν σε επαναληπτικές κυκλικές, ηλιοσύγχρονες, σχεδόν πολικές τροχιές. Όμως αυτές οι τροχιές ήταν χαμηλότερες δηλαδή αντί των 900 km, ήταν στα 705 km. Ο λόγος που αυτές οι τροχιές επιλέχθηκαν ώστε να είναι σε χαμηλότερο ύψος, ήταν ώστε να υπάρχει δυνατότητα της ανάκτησής τους από το διαστημικό λεωφορείο και επίσης να βελτιωθεί η διακριτική ικανότητα των δεκτών, τους οποίους έφεραν.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2, οι τροχιές Landsat -4 και -5 έχουν μια γωνία κλίσης με αναφορά τον Ισημερινό,  $98.2^\circ$  ( $8.5^\circ$  από την κατακόρυφο). Ο δορυφόρος διέρχεται από τον Ισημερινό κατά την από Βορρά προς Νότο κίνηση του στην κάθε τροχιά, στις 9.45 π.μ. τοπική ηλιακή ώρα. Η κάθε τροχιά διαρκεί γύρω στα 99min και έτσι δημιουργούνται περίπου 14,5 τροχιές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Λόγω της κίνησης της γης, η απόσταση μεταξύ των επίγειων ιχνών των διαδοχικών τροχιών είναι περίπου 2572 km στον Ισημερινό.



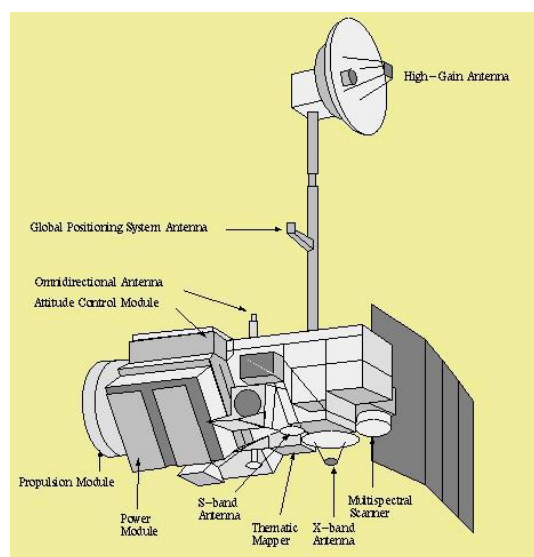
**Εικόνα 2: Ηλιοσύγχρονη τροχιά των Landsat -4 και -5 [Πηγή:Αργιαλάς,1999].**

Η παραπάνω τροχιά έχει ως αποτέλεσμα έναν κύκλο επανάληψης 16 ημερών για τον κάθε δορυφόρο. Οι τροχιές των δορυφόρων Landsat-4 και -5 σχεδιάστηκαν να είναι 8 ημέρες εκτός φάσης, έτσι ώστε όταν και οι δύο δορυφόροι ήταν σε λειτουργία, να υπάρχει η δυνατότητα οκταήμερης επαναληπτικής κάλυψης εναλλακτικά από τον κάθε δορυφόρο. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3, το χρονικό διάστημα μεταξύ γειτονικών τροχιών κάλυψης του ίδιου δορυφόρου ήταν 7 ημέρες. Αυτό το πρότυπο κάλυψης ήταν κάπως διαφορετικό από αυτό των προηγούμενων τριών δορυφόρων, οι οποίοι είχαν τροχιακούς κύκλους 18 ημερών, και μια μέρα διαφορά μεταξύ γειτονικών τροχιών. Συνεπώς, οι εικόνες των δορυφόρων Landsat -4 και -5 καταχωρήθηκαν σε ένα Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς, τροχιών διαφορετικών από αυτών που χρησιμοποιήθηκαν για τους δορυφόρους Landsat -1,-2, και -3. Το Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς των δορυφόρων Landsat -4 και -5 αποτελείται από 233 αριθμημένες τροχιές (paths) από 001 έως 233 (Αργιαλάς,1999).



**Εικόνα 3: Χωροχρονική κατανομή γειτονικών τροχιών των Landsat-4 και -5. Γειτονικές ζώνες σάρωσης απεικονίζονται ανά 7 ημέρες.**  
 [Πηγή: <http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro99/class/gomez/landsat.html>].

Στην Εικόνα 4 που φαίνεται η διάταξη των δορυφόρων Landsat -4 και -5, οι οποίοι περιλαμβάνουν και τους δυο ανιχνευτές, τον MSS και τον TM. Ο MSS έχει συμπεριληφθεί σ' αυτές τις αποστολές, κυρίως για να εξασφαλίσει τη συνέχεια αυτών των δεδομένων για σταθμούς λήψης που δεν ήταν σε θέση να λάβουν και να επεξεργαστούν δεδομένα TM.



**Εικόνα 4: Διάταξη συστημάτων γεωπαρατήρησης των δορυφόρων Landsat - 4 και -5.**  
 [Πηγή: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/landsat-4-5>].

Ο MSS επί των δορυφόρων Landsat -4 και -5 ήταν σχεδόν ταυτόσημος με τους ανιχνευτές των προηγούμενων δορυφόρων Landsat. Η ζώνη εγκάρσιας σάρωσης των 185 km είχε διατηρηθεί στο νέο χαμηλότερο ύψος τροχιάς, αυξάνοντας το ολικό οπτικό πεδίο από 11,56° των προηγούμενων συστημάτων, σε 14,92°. Η οπτική διάταξη είχε επίσης τροποποιηθεί για να επιφέρει ένα επίγειο εικονοστοιχείο 82 m, το οποίο προσεγγίζει το επίγειο εικονοστοιχείο των 79 m των προηγούμενων συστημάτων. Οι ίδιες τέσσερις φασματικές ζώνες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των δεδομένων, αλλά έχουν επαναριθμηθεί. Αυτό σημαίνει ότι τα κανάλια 1 έως 4 του MSS των Landsat -4 και -5 αντιστοιχούν απευθείας στα κανάλια 4 έως 7 των προηγούμενων συστημάτων MSS.

Ο Θεματικός Χαρτογράφος υπήρξε ένας δέκτης προηγμένης τεχνολογίας, ο οποίος ενσωμάτωσε έναν αριθμό φασματικών, ραδιομετρικών και γεωμετρικών βελτιώσεων στο σχεδιασμό του συγκριτικά με τον MSS. Οι φασματικές βελτιώσεις συμπεριλάμβαναν τη συλλογή δεδομένων σε επτά φασματικά κανάλια αντί τεσσάρων, με νέα κανάλια στο ορατό (μπλε), μέσο υπέρυθρο και θερμικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ραδιομετρικά ο TM μετέτρεπε το σήμα από αναλογικό σε ψηφιακό επί του φορέα, σε ένα εύρος κωδικοποίησης 256 ψηφιακών αριθμών, δηλαδή η ραδιομετρική ανάλυση ήταν 8 bits. Γεωμετρικά τα δεδομένα του TM συλλέγονταν χρησιμοποιώντας ένα επίγειο εικονοστοιχείο 30 m ( για όλα τα κανάλια εκτός του θερμικού, το οποίο είχε διακριτική ικανότητα 120 m). Στον παρακάτω Πίνακα 3 εμφανίζονται σε λίστα τα επτά φασματικά κανάλια του TM μαζί με μία σύντομη περίληψη των προτιθέμενων κύριων εφαρμογών του καθενός.

Band	Wavelength (μm)	Spectral Location	Εφαρμογές
1	0.45 – 0.52	Blue	Σχεδιάστηκε για να διεισδύει στις υδάτινες επιφάνειες. Πολύ χρήσιμο για την χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών, την διάκριση διαφόρων ειδών φυτοκάλυψης, την χαρτογράφηση δασικών περιοχών και ανθρωπογενών κατασκευών.
2	0.52 – 0.60	Green	Σχεδιάστηκε για να μετράει το μέγιστο της ανάκλασης της φασματικής καμπύλης της βλάστησης. Πολύ χρήσιμο για τη διάκριση διαφόρων ειδών βλάστησης και ανθρωπογενών κατασκευών.
3	0.63 – 0.69	Red	Σχεδιάστηκε για να καταγράφει στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης. Χρήσιμο για τη διάκριση διαφορετικών ειδών φυτών και ανθρωπογενών κατασκευών.
4	0.76 – 0.90	Near Infrared	Χρήσιμο: στον προσδιορισμό ειδών βλάστησης, στον προσδιορισμό της βιομάζας, στην διάκριση υδάτινων επιφανειών και στην χαρτογράφηση της περιεχόμενης υγρασίας στο έδαφος.
5	1.55 – 1.75	Mid Infrared	Χρήσιμο, στον προσδιορισμό της υγρασίας των φυτών, στον προσδιορισμό της υγρασίας του εδάφους και στην διάκριση νεφών από επιφάνειες με χιόνια.

6	10.4 – 12.4	Thermal Infrared	Χρήσιμο, σε εφαρμογές θερμικής χαρτογράφησης, στην διάκριση διαφορών στην περιεχόμενη υγρασία του εδάφους και στον εντοπισμό ασθενειών της βλάστησης.
7	2.08 – 2.35	Mid Infrared	Χρήσιμο στη διάκριση ορυκτών και πετρωμάτων και στον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας της βλάστησης.

**Πίνακας 3: Φασματικά κανάλια του Θεματικού Χαρτογράφου TM και οι κύριες εφαρμογές τους.**

[Πηγή: <http://mycourses.ntua.gr/courses/SURVEY1011/document/TM.pdf>].

### 2.4.3 Landsat 6

Μετά από δύο δεκαετίες επιτυχιών, το πρόγραμμα Landsat γνώρισε την πρώτη αποτυχία του στις 5 Οκτωβρίου του 1993, με την ανεπιτυχή εκτόξευση του Landsat-6. Αυτός ο δορυφόρος σχεδιάστηκε για να βρίσκεται σε τροχιά ταυτόσημη με αυτή των Landsat -4 και -5. Ο ανιχνευτής που συμπεριλαμβάνοντας επί του φορέα αυτής της αποστολής ήταν ο Enhanced Thematic Mapper (ETM). Για να παρέχει συνέχεια δεδομένων με τους Landsat -4 και -5, ο ETM ενσωμάτωσε τις ίδιες επτά φασματικές ζώνες και τις ίδιες χωρικές διακριτικές ικανότητες με τον TM. Η κυριότερη βελτίωσή του ήταν η πρόσθεση ενός όγδοου παγχρωματικού καναλιού, το οποίο λειτουργούσε στο εύρος από 0.50 – 0.90 μm με χωρική διακριτική ικανότητα 15 m (Αργιαλάς,1999).

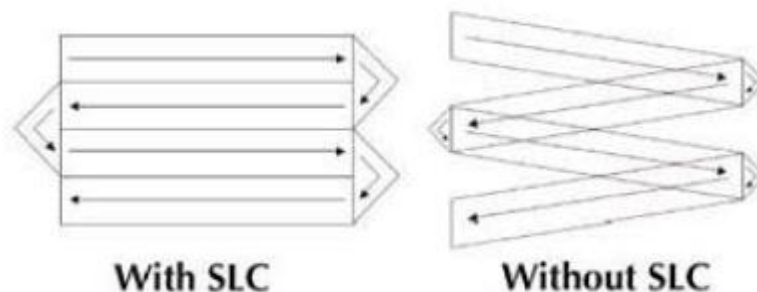
### 2.4.4 Landsat 7

Ο Δορυφόρος Landsat 7 εκτοξεύτηκε από την αεροπορική βάση Vandenberg στις 15 Απριλίου το 1999. Κινείται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος περίπου 705 km, ήταν ηλιοσύγχρονος, με κλίση περίπου 98° και έτεμνε τον Ισημερινό στις 10πμ. Ο κύκλος επαναληψιμότητας απόκτησης δεδομένων από τον δορυφόρο, δηλαδή η επαναληψιμότητα της τροχιάς του ήταν 16 ημέρες. Χρησιμοποιούσε το ίδιο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς με τους Landsat 4 και 5, ενώ είχε περίοδο επαναφοράς μια εβδομάδα στις 55°. Σε σχέση με τον Landsat 5 βρισκόταν σε αποκλίνουσα τροχιά 4 ημερών, δίνοντας έτσι την δυνατότητα για πιο τακτική λήψη δεδομένων για μια περιοχή. Μετέφερε ένα Βελτιωμένο Θεματικό Χαρτογράφο ( ETM+, Enhanced Thematic Mapper Plus), σε σχέση με τον απλό Θεματικό Χαρτογράφο (TM) που μετέφερε ο Landsat 5.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα του δορυφόρου ήταν:

- Περιείχε ένα παγχρωματικό κανάλι με 15 m χωρική διακριτική ικανότητα. Το παγχρωματικό κανάλι κατέγραφε δεδομένα στο διάστημα 0.52 – 0.9  $\mu\text{m}$ , πράγμα που προσέδιδε βελτιωμένο λόγο σήματος/θόρυβο. Επίσης η ταυτόχρονη χρήση με τα πολυφασματικά κανάλια, έδινε εξαιρετική ποιότητα όταν τα δεδομένα τους συγχωνεύονται.
- Το θερμικό κανάλι 6, είχε χωρική διακριτική ικανότητα 60m σε σχέση με τα 120 m που είχε σε όλους τους προηγούμενους δορυφόρους της σειράς Landsat.
- Έφερε ένα ηλιακό βαθμονομητή (dual mode) μαζί με μια εσωτερική λάμπα βαθμονόμησης. Αυτός ο συνδυασμός βελτιώνει την ικανότητα βαθμονόμησης του οργάνου.
- Γεωδαιτική ακρίβεια 400 m κατά μήκος του κάθετου ίχνους.
- Είχε δυνατότητα μετάδοσης των δεδομένων που λάμβανε με τρεις τρόπους
  - a) Απευθείας
  - b) μέσω του data relay satellite system
  - c) με αποθήκευση και αργότερα μετάδοση

Όμως στις 31 Μαΐου 2003, ο διορθωτής της γραμμής σάρωσης SLC ( Scan Line Corrector), ο οποίος αντισταθμίζει την εμπρόσθια κίνηση του δορυφόρου Landsat 7, βγήκε εκτός λειτουργίας. Μετέπειτα προσπάθειες για την ανάκτηση του SLC δεν ήταν επιτυχείς και έτσι η δυσλειτουργία ήταν μόνιμη. Χωρίς την λειτουργία του SLC, το οπτικό πεδίο του ETM+ πλέον απεικονίζει ένα μοτίβο από ζιγκ ζαγκ κατά μήκος της επίγειας γραμμής που ακολουθεί ο δορυφόρος ( Εικόνα 5). Ως αποτέλεσμα η περιοχή που απεικονίζεται εμφανίζεται διπλή, με πλάτος που αυξάνει προς τις άκρες της εικόνας. Ωστόσο ο Landsat 7 ETM+ συνέχισε να βρίσκεται σε λειτουργία καθώς ήταν ικανός να λαμβάνει χρήσιμα δεδομένα με το SLC εκτός λειτουργίας, ειδικά στο κεντρικό κομμάτι κάθε εικόνας.



**Εικόνα 5: Βλάβη SLC. [Πηγή: [http://www.geovar.com/landsat\\_slc.htm](http://www.geovar.com/landsat_slc.htm)].**

Έτσι λοιπόν οι ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις των δορυφόρων Landsat 1 έως Landsat 7 στην περίοδο λειτουργίας τους καταγράφουν πολύτιμα στοιχεία για εξαγωγή απειρίας ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών για τη φυσική και την κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα του πλανήτη μας, αλλά και για τις πολυδιάστατες διαλεκτικές σχέσεις, αλληλεξαρτήσεις και αλληλεπιδράσεις τους και τις τάσεις μεταβολών τους δια μέσου του χρόνου. Οι απεικονίσεις αυτές αξιοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών όπως π.χ. η διερεύνηση, απογραφή, χαρτογράφηση και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρωπίνων διαθεσίμων, των χρήσεων/καλύψεων γης, του χαρακτήρα, της κατάστασης και της ποιότητας του φυσικού Περιβάλλοντος κ.λπ.

Με τη βοήθεια των αναλογικών και των ψηφιακών μεθόδων και τεχνικών της Φωτοερμηνείας-Τηλεπισκόπησης και τους αντίστοιχους εξοπλισμούς, οι ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις Landsat παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στα πεδία της Τοπογραφίας, Γεωγραφίας, Γεωλογίας, Υδρογεωλογίας, Δασολογίας, Γεωπονίας, Χωροταξίας, Πολεοδομίας, Προστασίας του Περιβάλλοντος κ.λπ. και υποστηρίζουν με αξιοπιστία και πληρότητα τους σχεδιασμούς, τις μελέτες και τα έργα Ανάπτυξης και Προστασίας του περιβάλλοντος σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.

## **2.5 Landsat 8 OLI/TIRS**

### **2.5.1 Landsat Data Continuity Mission (LDCM)**

Ακολουθεί η ανάλυση των χαρακτηριστικών της αποστολής του Landsat 8 ύστερα από απόδοση του αντίστοιχου κειμένου το οποίο δημοσίευσε η NASA και η USGS.

Η αποστολή LDCM (Landsat Data Continuity Mission), περιλαμβάνει τον όγδοο δορυφόρο γεωσκόπησης της αμερικανικής αποστολής Landsat, που αποτελεί μια συνεργασία μεταξύ της NASA και του Αμερικανικού Γεωλογικού Ινστιτούτου και παρέχει εικόνες στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο, μέσο υπέρυθρο και θερμικό υπέρυθρο με ανάλυση 15 m -100 m, ανάλογα με την φασματική συχνότητα στην οποία βρίσκεται. Ο Landsat 8 εκτοξεύτηκε από την αεροπορική βάση Vandenberg της Καλιφόρνιας με τον μη επανδρωμένο πύραυλο Atlas 5 και μετά την εκτόξευση ο δορυφόρος LDCM μετονομάστηκε σε Landsat 8.

Το σύστημα αποτελείται από δύο βασικά τμήματα: Το Παρατηρητήριο και τον Επίγειο Σταθμό. Το παρατηρητήριο αποτελείται από τη διαστημική πλατφόρμα στην οποία είναι τοποθετημένοι δύο δέκτες, ο Operational Land Imager (OLI), και ο Thermal Infrared Sensor (TIRS). Ο OLI και ο TIRS συλλέγουν δεδομένα από κοινού, προκειμένου να παρέχουν εικόνες της επιφάνειας της γης, παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένων των παράκτιων περιοχών, των πολικών πάγων, των νησιών και των ηπειρωτικών περιοχών. Επιπρόσθετα ο Landsat 8 ακολουθεί την ίδια διέλευση (κάθε κυκλική τροχιά χαρακτηρίζεται ως διέλευση) όπως ο Landsat – 4, -5 και -7. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στα επιστημονικά δεδομένα του Landsat 8 να αναφέρονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς με τα ήδη καταγεγραμμένα δεδομένα.



Η διαστημική πλατφόρμα αποθηκεύει τα δεδομένα από τον OLI και TIRS και στη συνέχεια τα μεταφέρει στους επίγειους σταθμούς λήψης. Το επίγειο σύστημα παρέχει τη δυνατότητα τόσο του σχεδιασμού και προγραμματισμού των απαραίτητων εργασιών του παρατηρητηρίου της αποστολής LDCM, όσο και της διαχείρισης και διανομής των επιστημονικών δεδομένων. Η διαστημική πλατφόρμα του Landsat 8 κατασκευάστηκε από την Orbital Sciences Corporation και έχει διάρκεια ζωής 5 χρόνια. Ωστόσο τα καύσιμά του επαρκούν για 10ετή λειτουργία. Εκτοξεύτηκε σε ύψος 705 km πάνω από την Γη και η μετακίνηση του ίχνους της τροχιάς επί του εδάφους γίνεται από Βορρά προς Νότο για μια ημέρα, διασταυρώνοντας τον Ισημερινό στις 10.00 π.μ, τοπική ηλιακή ώρα, σε κάθε διέλευση.

### 2.5.2 Καινοτόμες Εξελίξεις : Τεχνολογία και Απόδοση

Οι δύο επιστημονικοί δέκτες που περιλαμβάνονται στην αποστολή LDCM, ο OLI και TIRS, αντιπροσωπεύουν καινοτόμες εξελίξεις στην τεχνολογία και απόδοση δεκτών. Παρέχουν εικόνες στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο, μέσο υπέρυθρο και θερμικό υπέρυθρο με ανάλυση 15 m -100 m, ανάλογα με την φασματική συχνότητα στην οποία βρίσκονται.

Για να καταστεί δυνατή η σύγκριση των νέων δορυφορικών εικόνων Landsat με αυτές των προκατόχων του, έπρεπε να σχεδιαστεί ο νέος δορυφόρος έτσι ώστε να μετράει σχεδόν στις ίδιες φασματικές ζώνες όπως οι προηγούμενοι δορυφόροι Landsat. Επιπλέον ο OLI παρέχει δύο νέα φασματικά κανάλια, ένα ειδικά προσαρμοσμένο για την ανίχνευση των θυσάνων και ένα άλλο για τη παρατήρηση της παράκτιας ζώνης. Ο TIRS συλλέγει δεδομένα σε δύο στενότερες θερμικές ζώνες στη θέση του ενιαίου θερμικού καναλιού του Landsat 7, για τη μέτρηση της γήινης θερμικής ενέργειας. Συνολικά ο Landsat 8 συλλέγει πληροφορία σε 11 κανάλια (Πίνακας 4).

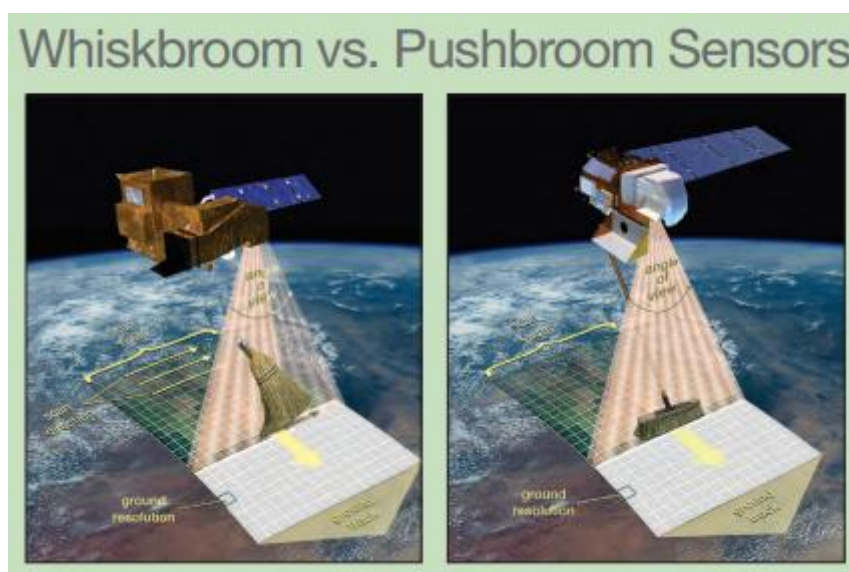
Ο Landsat 8 επιστρέφει 400 σκηνές την ημέρα (150 σκηνές παραπάνω από τον Landsat 7) στο αρχείο δεδομένων της USGS, αυξάνοντας έτσι τη πιθανότητα λήψης σκηνών της γης απαλλαγμένων από σύννεφα.

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 - Coastal aerosol	0.43-0.45	30
Band 2 - Blue	0.45-0.51	30
Band 3 - Green	0.53-0.59	30
Band 4 - Red	0.64-0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	30
Band 6 - SWIR 1	1.57-1.65	30
Band 7 - SWIR 2	2.11-2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50-0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36-1.38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60-11.19	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50-12.51	100

**Πίνακας 4 : Φασματικά Κανάλια Landsat 8 με τα αντίστοιχα μήκη κύματος και τη χωρική ανάλυση.**

### 2.5.3 OLI: Προηγμένης Τεχνολογίας Δέκτης

Ο Operational Land Imager (OLI) προάγει τη τεχνολογία των δεκτών Landsat χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση του Advanced Land Imager, ενός δέκτη που έφερε ο δορυφόρος Earth Observing-1 (EO-1), με αρχικό σκοπό της NASA τη δοκιμή και τον έλεγχο της αξιοπιστίας νέων τεχνολογιών. Προγενέστερα οι δορυφόροι Landsat συνήθιζαν να φέρουν σαρωτές εγκάρσιας σάρωσης (“whiskbroom”) (MSS, TM, ETM+), οι οποίοι χρησιμοποιούσαν περιστρεφόμενα ή ταλαντούμενα κάτοπτρα έτσι ώστε να σαρώνουν την υποκείμενη γήινη επιφάνεια κατά μήκος γραμμών σάρωσης και μετέφεραν την εισερχόμενη ενέργεια σε ανιχνευτές. Αντίθετα ο OLI φέρει σαρωτή επιμήκους σάρωσης (“pushbroom”, Εικόνα 6), ο οποίος χρησιμοποιεί μια γραμμική διάταξη ανιχνευτών, με περισσότερους από 7000 ανιχνευτές ανά φασματικό κανάλι. Αυτές οι διατάξεις είναι τοποθετημένες στο εστιακό επίπεδο του σαρωτή, έτσι ώστε όλες οι γραμμές σάρωσης να απεικονίζονται από όλες τις γραμμικές διατάξεις συγχρόνως. Έτσι η απουσία μετακινούμενων οργάνων δίνει στον τη δυνατότητα στον σαρωτή τύπου “pushbroom” να παρέχει μεγαλύτερη αξιοπιστία των πληροφοριών της γήινης επιφάνειας, μεγαλύτερη σταθερότητα του δορυφόρου και κατά συνέπεια υψηλή γεωμετρική ακρίβεια.



Εικόνα 6 : Σαρωτές εγκάρσιας και επιμήκους σάρωσης. [Πηγή:NASA,USGS]

Κάθε σκηνή καλύπτει μια επιφάνεια 185 km με ανάλυση 15 m για το παγχρωματικό και 30 m για το ορατό, εγγύς και μέσο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Έτσι δίνει τη δυνατότητα κάλυψης ευρέων περιοχών της επιφάνειας της γης, παρέχοντας ταυτόχρονα ακριβή ανάλυση για διάκριση χαρακτηριστικών όπως αστικά κέντρα, αγροκτήματα, δάση και άλλες κατηγορίες κάλυψης γης.

Ο OLI έχει σχεδιαστεί για 5ετή διάρκεια ζωής και ανιχνεύει στις ίδιες φασματικές ζώνες με τους προκατόχους του (TM, ETM+) με την εξαίρεση του θερμικού

υπέρυθρου καναλιού. Συγκριτικά με τον προκάτοχό του ο OLI διαθέτει δύο επιπλέον φασματικά κανάλια, μια στενή παράκτια ζώνη (Band 1) σε ένα ελαφρώς μικρότερο μήκος κύματος από τη μπλε ζώνη (Εικόνα 7) και μια ζώνη θυσάνων (Band 9) ευαίσθητη σε μήκη κύματος μεταξύ 1.36-1.38  $\mu\text{m}$  (Εικόνα 8). Τα νέα αυτά κανάλια βοηθούν τους επιστήμονες να μετρούν την ποιότητα του νερού και να ανιχνεύουν τα λεπτά σύννεφα σε μεγαλύτερα ύψη, όπου ήταν δύσκολο να φανούν σε προηγούμενες Landsat απεικονίσεις.



Το νέο φασματικό κανάλι (Band 1) θα επιτρέπει στους επιστήμονες να μετρούν τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης στις παράκτιες περιοχές, γεγονός χρήσιμο για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη ποιότητα του νερού.

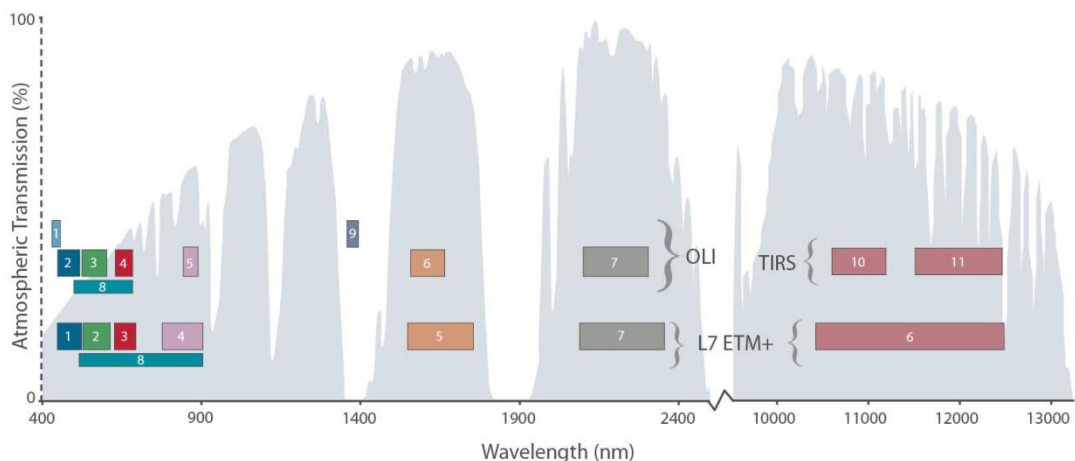
**Εικόνα 7: Παράκτια περιοχή ανιχνεύσιμη από το νέο κανάλι 1 του OLI.**  
[Πηγή:NASA,USGS]

Το δεύτερο νέο φασματικό κανάλι (Band 9) του OLI μετρά την ακτινοβολία σε μήκη κύματος, ιδιαίτερα ευαίσθητα στη παρουσία θυσάνων. Αυτά τα λεπτά σύννεφα σε μεγάλα ύψη είναι δύσκολο να ανιχνευτούν σε δορυφορικές εικόνες και σε συνδυασμό με τις σκιές που προκαλούν, επηρεάζουν τις μετρήσεις.



**Εικόνα 8: Θύσανοι ανιχνεύσιμοι από το νέο κανάλι 9 του OLI.**  
[Πηγή:NASA,USGS]

Ακολουθεί γράφημα στο οποίο συγκρίνονται τα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στα οποία είναι ευαίσθητος ο Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος (ETM+) του Landsat 7 και ο OLI του Landsat 8.



**Γράφημα 1: Σύγκριση φασματικής ευαισθησίας μεταξύ ETM+ OLI και TIRS.**  
[Πηγή:NASA,USGS]

#### 2.5.4 TIRS: Δέκτης Θερμικής Ανίχνευσης

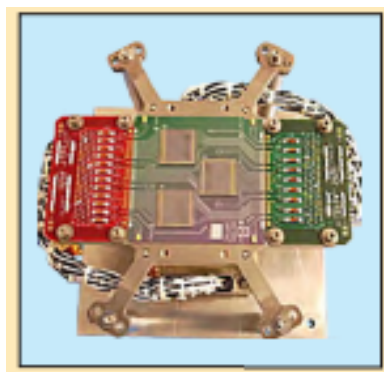
Το οτιδήποτε πάνω στη Γη εκπέμπει θερμική υπέρυθη ακτινοβολία ή θερμότητα. Από τη Φυσική είναι γνωστό ότι η ποσότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του αντικειμένου. Ο δέκτης Thermal Infrared (TIRS) προστέθηκε στην αποστολή LDCM αφού κατέστη σαφές ότι οι διαχειριστές των υδάτινων πόρων βασίζονταν στις εξαιρετικά ακριβείς μετρήσεις της γήινης θερμικής ενέργειας των προκατόχων της αποστολής αυτής (TM, ETM, ETM+), προκειμένου να παρακολουθούν τη χρήση των ηπειρωτικών και υδάτινων περιοχών. Έτσι οι Μηχανικοί σχεδίασαν και κατασκεύασαν τον δέκτη TIRS χρησιμοποιώντας μια νέα τεχνολογία, τη λεγόμενη Quantum Well Infrared Photodetectors (QWIPs), στην ανάπτυξη της οποίας βοήθησε το Κέντρο Διαστημικών Πτήσεων Goddard της NASA (NASA's Goddard Space Flight Center, GSFC).

Οι QWIP's είναι κατασκευασμένοι από υλικό το οποίο είναι συμβατό με την επεξεργασία πυριτίου, που σημαίνει ότι τα ίδια εργαλεία που χρησιμοποιούν οι εγκαταστάσεις για να φτιάχνουν chips υπολογιστών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη κατασκευή των QWIP's. Αυτοί της προηγμένης τεχνολογίας φωτοανιχνευτές είναι ιδιαίτερα αξιόπιστοι, ομοιόμορφοι και κατάλληλοι για τις απαιτήσεις του δέκτη TIRS.

Ο σχεδιασμός των QWIP's έγινε έτσι ώστε να λειτουργούν σύμφωνα με τις σύνθετες αρχές της κβαντικής μηχανικής. Τα φύλλα ημιαγωγών από αρσενικούχο γάλλιο παγιδεύουν τα ηλεκτρόνια σε μια «καλή» ενεργειακή κατάσταση μέχρι να αυξηθούν σε μια υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση μέσω ενός θερμικού υπέρυθρου φωτός, συγκεκριμένου μήκους κύματος. Τα αυξημένα ηλεκτρόνια δημιουργούν ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο μπορεί να μετρηθεί και να καταγραφεί, προκειμένου να δημιουργηθεί μια ψηφιακή εικόνα.

Οι προηγούμενοι δορυφόροι Landsat μετρούσαν την θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο θερμικό κανάλι για την ανίχνευση των μεγάλων μηκών κύματος της εκπεμπόμενης γήινης ακτινοβολίας. Ωστόσο οι QWIP's ανιχνεύουν σε δύο τμήματα του θερμικού υπέρυθρου φάσματος, τα οποία εμπίπτουν σε ατμοσφαιρικό παράθυρο, με αποτέλεσμα να παρέχουν καλύτερες εκτιμήσεις της γήινης θερμοκρασίας συγκριτικά με ένα ενιαίο θερμικό κανάλι. Αυτά τα μήκη κύματος, τα λεγόμενα θερμικά υπέρυθρα ξεπερνούν κατά πολύ το εύρος της ανθρώπινης όρασης.

Όπως και ο OLI, το ίδιο και ο TIRS φέρουν σαρωτές επιμήκους σάρωσης ("pushbroom"), όπου κάθε σκηνή καλύπτει μια επιφάνεια 185 km με χωρική ανάλυση 100 m. Μια σημαντική διαφορά όμως μεταξύ των δύο δεκτών είναι η διάρκεια ζωής τους, όπου ο TIRS σε αντίθεση με τον OLI έχει κατασκευαστεί για 3ετη διάρκεια ζωής. Αυτό έγινε προκειμένου να επιταχυνθεί η κατασκευή αυτού του δέκτη, καθώς ήταν μια απόφαση που πραγματοποιήθηκε καθυστερημένα.



Στην αριστερή εικόνα απεικονίζεται το εστιακό επίπεδο του TIRS, στο οποίο φαίνεται μια συστοιχία ανιχνευτών QWIP's. Οι τρεις πλατείες στο κέντρο του τυπωμένου κυκλώματος είναι οι συστοιχίες των QWIP's, που είναι φύλλα ημιαγωγών από αρσενικούχο γάλλιο. Κάθε γραμμή QWIP περιέχει 327.680 ανιχνευτές.

### 2.5.5 Σχεδιασμός Διαστημικής Πλατφόρμας

Η διαστημική πλατφόρμα (Εικόνα 9) η οποία κατασκευάστηκε από την Orbital Sciences Corporation, παρέχει ισχύ, έλεγχο στάσης και τροχιάς, επικοινωνίες και αποθήκευση δεδομένων των OLI και TIRS. Το διαστημικό όχημα αποτελείται από το μηχανικό υποσύστημα, το υποσύστημα διαχείρισης εντολών και δεδομένων, στατικού ελέγχου, ηλεκτρικής ενέργειας, επικοινωνιών ραδιοσυχνότητας, προώθησης υδραζίνης και θερμικού ελέγχου.

Όλα τα μέρη, εκτός από την ενότητα προώθησης είναι τοποθετημένα στην εξωτερική πρωτογενή κατασκευή. Οι επεκτεινόμενοι πίνακες ηλιακών κυττάρων 9.0 x 0.4 m παράγουν ενέργεια για τα μέρη του διαστημικού σκάφους και φορτίζουν την 125 amp-hour nickelhydrogen μπαταρία του. Ένας στερεάς κατάστασης (3,14 Terabit) καταγραφείας δεδομένων θα παρέχει την δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων πάνω στο αεροσκάφος και μια κεραία που αντιστοιχεί στο κανάλι X θα εκπέμπει τα δεδομένα είτε απευθείας είτε αναπαράγοντας τα μέσω του καταγραφέα. Οι δέκτες OLI και TIRS είναι τοποθετημένοι στο εμπρόσθιο άκρο του αεροσκάφους.



**Εικόνα 9 : Το παρατηρητήριο της LDCM αποστολής που περιλαμβάνει δύο δέκτες και μια συστοιχία ηλιακών πινάκων για να παρέχει ενέργεια στη διαστημική πλατφόρμα. [Πηγή:NASA,USGS].**

### **2.5.6 Το Επίγειο Σύστημα της Αποστολής LDCM**

Το Επίγειο Σύστημα της αποστολής LDCM περιλαμβάνει το σύνολο των επίγειων υποδομών που απαιτούνται για τη λειτουργία του παρατηρητηρίου αυτής της αποστολής. Με απλά λόγια, το επίγειο σύστημα εκτελεί δύο βασικές λειτουργίες: Πρώτον ελέγχει και καθορίζει τη τροχιά του παρατηρητηρίου της αποστολής και δεύτερον διαχειρίζεται και διανέμει τα δεδομένα προερχόμενα από το παρατηρητήριο.

Το παρατηρητήριο ελέγχεται από εντολές λογισμικού που προέρχονται από το Mission Operation Center (MOC) στο Κέντρο Διαστημικών Πτήσεων Goddard της NASA. Μια ομάδα εργασίας στο MOC λειτουργεί δύο υπολογιστικά συστήματα : το Collection Activity Planning Element (CAPE) και το Mission Operations Element (MOE). Το Cape σχεδιάζει τη συλλογή επιστημονικών δεδομένων, δημιουργώντας αιτήσεις δραστηριότητας των απεικονίσεων των δεκτών για κάθε μέρα, ενώ το MOE θα μεταφράζει τις αιτήσεις αυτές σε εντολές λογισμικού που θα μεταφέρονται στο

παρατηρητήριο. Οι εντολές αυτές μεταφέρονται μέσω της κεραίας των επίγειων σταθμών λήψης [Ground Network Element (GNE)]. Σε αντάλλαγμα, το παρατηρητήριο μεταδίδει πίσω στους σταθμούς GNE τα δεδομένα. Τους σταθμούς λήψης GNE συνθέτουν τρεις κόμβοι, οι οποίοι βρίσκονται στα εξής μέρη, Gilmore Creek (Alaska), Svalbard (Norway) και Sioux Falls (South Dakota). Κάθε κόμβος περιλαμβάνει ένα επίγειο σύστημα, το οποίο είναι σε θέση να λαμβάνει LDCM δεδομένα μέσω κεραιών που αντιστοιχούν στα κανάλια X και S του δορυφόρου.

Άπαξ και μεταφερθούν τα δεδομένα από το παρατηρητήριο στους σταθμούς GNE, οι σταθμοί με τη σειρά τους στέλνουν τα δεδομένα μέσω διαδικτύου σε ένα Σύστημα Επεξεργασίας και Αρχαιοθέτησης Δεδομένων, το Data Processing and Archive System (DPAS), το οποίο βρίσκεται στο EROS Center στο Sioux Falls (South Dakota). Το DPAS αρχειοθετεί τα δεδομένα και παράγει τα προϊόντα LDCM τόσο για επιστήμονες και εφαρμογές όσο και για την κοινότητα χρηστών, παρέχοντας μια πύλη δεδομένων.

Το Αμερικάνικο Γεωλογικό Ινστιτούτο (USGS) διατηρεί συμφωνίες με διάφορες ξένες κυβερνήσεις, οι οποίες αναφέρονται ως Διεθνείς Συνεργάτες ICs ( International Cooperators). Οι ICs είναι μια ειδική κοινότητα χρηστών που έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει δεδομένα της αποστολής LDCM σε πραγματικό χρόνο μέσω κεραίας που αντιστοιχεί στο κανάλι X του δορυφόρου. Οι απεικονίσεις των δεκτών και βοηθητικά δεδομένα (συμπεριλαμβανομένων δεδομένων της διαστημικής πλατφόρμας και βαθμονόμησης) που απαιτούνται για την επεξεργασία των επιστημονικών δεδομένων, περιέχονται κατά την μετάδοσή τους σε πραγματικό χρόνο.

Οι Διεθνείς Συνεργάτες είναι σε θέση να λαμβάνουν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να στέλνουν τα μεταδεδομένα στο Σύστημα Επεξεργασίας και Αρχαιοθέτησης Δεδομένων (DPAS). Θα υποβάλλουν τη συλλογή των απεικονίσεων των δεκτών και αιτήσεις λήψης δεδομένων στο CAPE μέσω της πύλης χρηστών του DPAS. Οι Διεθνείς Συνεργάτες συμμετέχουν σε ένα πρόγραμμα Επικύρωσης και Ανταλλαγής Δεδομένων μαζί με το Σύστημα Επεξεργασίας και Αρχαιοθέτησης Δεδομένων (DPAS), το οποίο περιλαμβάνει την ανταλλαγή των αρχειοθετημένων αρχείων ύστερα από αίτηση και τη επικύρωση των επεξεργασμένων δεδομένων Level 1 από το Αμερικανικό Γεωλογικό Ινστιτούτο.

Από τη στιγμή που η διαστημική πλατφόρμα της αποστολής LDCM τέθηκε σε τροχιά, η ραδιομετρική, η γεωμετρική και η χωρική απόδοση των δεκτών OLI και TIRS βρίσκεται υπό συνεχή παρακολούθηση και βαθμονόμηση μέσω του Συστήματος Αξιολόγησης Εικόνας IAS ( Image Assessment System). Τα δεδομένα θα μετατρέπονται από το Level 0 (L0 ή L0Ra) σε Level 1R (radiometrically corrected) και Level 1G (geometrically corrected). Η ραδιομετρική διόρθωση των δεδομένων θα μετασχηματίζει πηγαία δεδομένα σε καθαρούς αριθμούς (digital counts) ενώ η γεωμετρική διόρθωση θα γίνεται με τη χρήση ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου και επίγειων σημείων ελέγχου ώστε να προκύψουν ορθοδιορθωμένες εικόνες που θα αναφέρονται στο σύστημα UTM.

Τα δεδομένα θα διακρίνονται γενικά ως LDCM Level 1 και ειδικότερα :

- Level 1 Radiometric (L1R) : Ραδιομετρικά διορθωμένα δεδομένα L0
- Level 1 Systematic (L1G) : Δεδομένα L1R με συστηματική γεωμετρική διόρθωση
- Level 1 Gt (L1Gt) : Δεδομένα L1R ορθοδιορθωμένα με συνυπολογισμό του ανάγλυφου και χρήση επίγειων σημείων ελέγχου (διόρθωση παράλλαξης).
- Level 1 Terrain (L1 T ) : Δεδομένα L1R

Οι εικόνες θα διανέμονται στους τελικούς χάρτες με ανάλυση 16 bit σε μορφή GeoTIFF (ένα αρχείο για κάθε κανάλι).

### 2.5.7 Σύγκριση Landsat 8 με τους Προκατόχους του

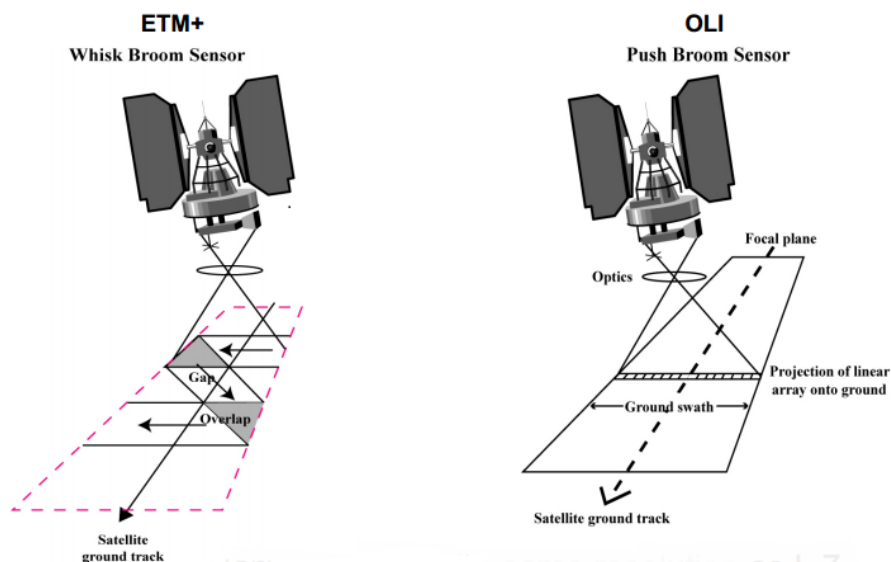
Στο υποεδάφιο αυτό ακολουθεί η σύγκριση του δορυφόρου Landsat 8 με τους προκατόχους του και πιο συγκεκριμένα με τον Landsat -4, -5 και 7. Μια βασική λοιπόν εξέλιξη που αφορά τον νέο δορυφόρο είναι το είδος του σαρωτή που χρησιμοποιεί, γεγονός που αποτελεί και μία από τις βασικότερες διαφορές του με τους προηγούμενους.

Οι Landsat -4, -5 και -7 έφεραν σαρωτή εγκάρσιας σάρωσης (“whiskbroom”), όπου η σάρωση γινόταν με τη βοήθεια περιστρεφόμενου ή ταλαντούμενου κατόπτρου, έτσι ώστε να σαρώνουν την υποκείμενη γήινη επιφάνεια κατά μήκος γραμμών σάρωσης οι οποίες βρίσκονται σε ορθή γωνία προς τη γραμμή πτήσης.

Αντίθετα ο Landsat 8 δεν φέρει κινητά μέρη (π.χ περιστρεφόμενο πρίσμα) αλλά η σάρωση γίνεται με την βοήθεια μιας σειράς αισθητήρων, τα λεγόμενα Sensor Chip Assembly (SCA), που κινείται παράλληλα με την κίνηση της πλατφόρμας. Η τεχνική αυτή ονομάζεται pushbroom scanning. Το πλεονέκτημα έλλειψης κινητών τμημάτων όχι μόνο αυξάνει το χρόνο ζωής του συστήματος, αλλά εξαλείφει επίσης και τα γεωμετρικά σφάλματα που εισάγονται κατά τη διαδικασία λήψης από μεταβολές της ταχύτητας του κατόπτρου σάρωσης. Παράλληλα, οι ανιχνευτές γραμμικής διάταξης μπορούν να παραμείνουν εστιασμένοι μέσα στη περιοχή του στιγμιαίου οπτικού πεδίου για περισσότερο χρόνο από ότι αυτοί που βρίσκονται στα συστήματα κατοπτρικής σάρωσης, με συνέπεια να αυξάνεται η σχετική απόδοση σήματος προς θόρυβο των δεκτών γραμμικής διάταξης.



Παρακάτω στην Εικόνα 10 φαίνεται σχηματικά η διαφορά του σαρωτή εγκάρσιας σάρωσης (whiskbroom) ETM+ του Landsat 7 και του σαρωτή επιμήκους σάρωσης (pushbroom) του Landsat 8:



**Εικόνα 10 : Διαφορά Σαρωτών Εγκάρσιας και Επιμήκους Σάρωσης.**

Εν συνεχεία μια από τις πιο βασικές διαφορές μεταξύ των δορυφόρων αυτών είναι η ραδιομετρική διακριτική ικανότητά τους. Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα ενός συστήματος τηλεπισκόπησης είναι η ευαισθησία των ανιχνευτών του σε διαφορές στην ισχύ του σήματος καθώς καταγράφουν την ισχύ ακτινοβολίας που ανακλάται, εκπέμπεται ή οπισθοσκοιδαζεται από το έδαφος. Η ενέργεια συνήθως κβαντοποιείται κατά της διαδικασία μετατροπής σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό σε 8,9,10 bit ή και περισσότερα.

Ο Landsat 8 έχει σαφώς καλύτερη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (μεγαλύτερη ευαισθησία) συγκριτικά με τους Landsat -4,-5 και -7. Οι δέκτες του δορυφόρου Landsat 8 καταγράφουν πληροφορίες στα 12 bit (εύρος τιμών από 0 έως 4096) σε αντίθεση με τους δέκτες TM, ETM και ETM+ των Landsat -4,-5 και -7 αντίστοιχα, των οποίων η ραδιομετρική ανάλυση είναι 8 bits (εύρος τιμών από 0 έως 256). Η υψηλή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα αυξάνει τις πιθανότητες μεγαλύτερης ακριβείας στην τηλεπισκοπική παρατήρηση φαινομένων.

Επιπρόσθετα με την αύξηση του εύρους κωδικοποίησης, η χωρητικότητα που θα καταλαμβάνουν οι εικόνες του Landsat 8 θα είναι αρκετά μεγαλύτερη.

Ένας επιπλέον λόγος για τη μεγάλη διαφορά στο μέγεθος του Landsat 8 είναι ο αριθμός των φασματικών ζωνών. Ο Landsat 8 διαθέτει δύο επιπλέον φασματικές

ζώνες, δύο στενότερες θερμικές ζώνες στη θέση του ενιαίου θερμικού καναλιού του Landsat 5, καθώς επίσης μια παγχρωματική μπάντα με αποτέλεσμα να διαθέτει 11 κανάλια. Οι δύο επιπλέον ζώνες είναι μια στενή παράκτια ζώνη σε ένα ελαφρώς μικρότερο μήκος κύματος από τη μπλε ζώνη και μια ζώνη θυσάνων (Cirrus) ευαίσθητη σε μήκη κύματος μεταξύ 1.36-1.38  $\mu\text{m}$ .

Μια ακόμα διαφορά μεταξύ του Landsat 8 και του προκατόχου του είναι ο χαρακτήρας της παγχρωματικής μπάντας. Το παγχρωματικό κανάλι του Landsat 7 είναι ευαίσθητο στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεταξύ των μηκών κύματος 0,52 και 0,90  $\mu\text{m}$ . Αυτό το εύρος αποκλείει το ορατό μπλε αλλά περιλαμβάνει το εγγύς υπέρυθρο.

Η παγχρωματική μπάντα του Landsat 8 καλύπτει ένα εύρος μεταξύ 0,50-0,68  $\mu\text{m}$ . Μ'αυτό το τρόπο εξακολουθεί να αποκλείεται η μπλε ζώνη αλλά αποκλείεται και η ζώνη του εγγύς υπέρυθρου, εκτείνοντας τα κανάλια του ορατού πράσινου και κόκκινου.

Επίσης οι ζώνες 5,6 και 7 του Landsat 8 είναι στενότερες από τις αντίστοιχες του Landsat 7. Αυτό θα διευκολύνει και ωφελήσει την αντιστοίχιση της φασματικής υπογραφής και άλλες τεχνικές διάκρισης του στόχου. Στο παρακάτω Πίνακα 5 εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά των φασματικών καναλιών των δύο δορυφόρων.

L7 ETM + Bands				LDCM OLI/TIRS Band Requirements			
				Band 1	30m	Coastal/Aerosol	0.433-0.453 $\mu\text{m}$
Band 1	30m	Blue	0.450-0.515 $\mu\text{m}$	Band 2	30m	Blue	0.450-0.515 $\mu\text{m}$
Band 2	30m	Green	0.525-0.605 $\mu\text{m}$	Band 3	30m	Green	0.525-0.600 $\mu\text{m}$
Band 3	30m	Red	0.630-0.690 $\mu\text{m}$	Band 4	30m	Red	0.630-0.680 $\mu\text{m}$
Band 4	30m	Near-IR	0.775-0.900 $\mu\text{m}$	Band 5	30m	Near-IR	0.845-0.885 $\mu\text{m}$
Band 5	30m	SWIR-1	1.550-1.750 $\mu\text{m}$	Band 6	30m	SWIR-1	1.560-1.660 $\mu\text{m}$
Band 7	30m	SWIR-2	2.090-2.350 $\mu\text{m}$	Band 7	30m	SWIR-2	2.100-2.300 $\mu\text{m}$
Band 8	15m	Pan	0.520-0.900 $\mu\text{m}$	Band 8	15m	Pan	0.500-0.680 $\mu\text{m}$
				Band 9	30m	Cirrus	1.360-1.390 $\mu\text{m}$
Band 6	60m	LWIR	10.00-12.50 $\mu\text{m}$	Band 10	100m	LWIR-1	10.30-11.30 $\mu\text{m}$
				Band 11	100m	LWIR-2	11.50-12.50 $\mu\text{m}$

**Πίνακας 5 : Σύγκριση Φασματικών Καναλιών Landsat 7 και Landsat 8.**  
[Πηγή:NASA,USGS].

Πέρα από τις διαφορές οι δύο αυτοί δορυφόροι εμφανίζουν και κάποιες ομοιότητες. Μια από αυτές είναι η μορφή του αρχείου (file format). Ασυμπίεστο GeoTiff αρχειοθετημένο σε μορφή zip. Τέλος μια ακόμα ομοιότητα αφορά την ανάλυση των καναλιών στο ορατό, εγγύς και μέσο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος η οποία είναι στα 30 m.

## 2.6 Προεπεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων

### 2.6.1 Γεωμετρική Διόρθωση

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στις γεωμετρικές διορθώσεις ψηφιακών εικόνων τηλεπισκόπησης. Η γεωμετρική διόρθωση των εικόνων αποτελεί τη διαδικασία ευθυγράμμισης ως προς τη μετάθεση και τη στροφή, με την οποία δύο εικόνες παρόμοιων γεωμετριών και του ίδιου συνόλου δεδομένων συμπίπτουν, λαμβάνοντας υπόψη η μια την άλλη, και με αυτό τον τρόπο τα αντίστοιχα στοιχεία της ίδιας περιοχής εμφανίζονται στο ίδιο μέρος των γεωμετρικά διορθωμένων εικόνων [Haralick et al., 1973]. Μια εικόνα Landsat δεν αρκεί να έχει υποστεί αναγωγή, δηλαδή να έχει απομακρυνθεί η εκτροπή λόγω ανάγλυφου, είναι επίσης σημαντικό το ζευγάρι εικόνων να έχει συσχετιστεί καλά όχι μόνο μεταξύ του, αλλά και σε σχέση με τα δεδομένα αναφοράς που θα χρησιμοποιηθούν για τη λήψη δεδομένων ελέγχου στην αξιολόγηση της ταξινόμησης. Συνήθως σε ένα ζευγάρι εικόνων, σχετίζεται η μια εικόνα με το σύστημα προβολής όπως ορίζεται από τον οργανισμό United State Geological Survey (USGS) με χρήση ορθοφωτογραφίας, και η δεύτερη σχετίζεται στη συνέχεια με την πρώτη. Ενδείκνυται σε κάθε μετασχηματισμό να προκύπτει αποδεκτό RMSE μικρότερο του 0.5 pixel, σύμφωνα με πολλές βιβλιογραφικές αναφορές, και η νέα εικόνα κάθε μετασχηματισμού να προκύπτει ύστερα από αναδόμηση τιμών με την εφαρμογή «Εγγύτερου Γείτονα», ώστε να μην υπάρχει μεταβολή των αρχικών τιμών.

Ο λόγος που η γεωμετρική διόρθωση είναι απαραίτητη είναι επειδή κάθε δορυφορική εικόνα παραμορφώνεται γεωμετρικά κατά την λήψη της. Μερικοί παράγοντες που παραμορφώνουν την γεωμετρία της εικόνας έχουν σχέση με την αλληλεπίδραση του συστήματος δορυφόρου-γης και είναι α) η κίνηση του φορέα (δορυφόρου), β) η περιστροφή της γης, γ) η επίδραση της καμπυλότητας της γης κ.α. Επιπλέον η παραμόρφωση που υφίσταται μια δορυφορική εικόνα εξαρτάται από τον τρόπο λειτουργίας του φασματικού σαρωτή (συστήματος λήψης) και κατά συνέπεια του τρόπου καταγραφής της εικόνας.

### 2.6.2 Ραδιομετρική Διόρθωση

Στο υποεδάφιο αυτό θα πραγματοποιηθεί μια γενική αναφορά για τη ραδιομετρική κανονικοποίηση δεδομένων. Η σημασία της ραδιομετρικής διόρθωσης και της κανονικοποίησης στις εικόνες της ίδιας περιοχής ως ένα προαπαιτούμενο βήμα για την ανίχνευση αλλαγών και άλλων εφαρμογών είναι πολύ μεγάλη, καθώς από αυτή ανάλογα με την μεθοδολογία ανίχνευσης, εξαρτάται και το αποτέλεσμα ανίχνευσης. Επειδή η μέθοδος που ακολουθείται στη δεδομένη έρευνα είναι η μόνη που δεν υπαγορεύει να έχει προηγηθεί η διαδικασία της ραδιομετρικής διόρθωσης πριν την ταξινόμηση των δεδομένων, αναφέρονται μόνο τα πολύ γενικά χαρακτηριστικά της.

Η ραδιομετρική διόρθωση ή κανονικοποίηση ορίζεται ως η διαδικασία που ακολουθείται ώστε να απομακρυνθούν οι ραδιομετρικές διαφορές μεταξύ

διαχρονικών εικόνων που οφείλονται σε παράγοντες του εδάφους. Άρα, με την ραδιομετρική διόρθωση επιδιώκεται ενιαία φασματική απόκριση των εικονοστοιχείων που δεν παρουσιάζουν μεταβολή στην κάλυψη γης, γεγονός απαραίτητο όταν γίνονται ποσοτικές αναλύσεις και εκτιμήσεις αλλαγών. Ουσιαστικά, στόχος είναι όλες οι διορθωμένες εικόνες να έχουν χαρακτηριστικά όπως θα είχαν αν είχαν αποκτηθεί από τον ίδιο δέκτη σύμφωνα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και συνθήκες φωτισμού μιας εικόνας αναφοράς. Μόνο με αυτό το τρόπο οι διαφορές στις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων αντιστοιχούν σε πραγματικές μεταβολές στην επιφάνεια και μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση στην ποιότητα της εικόνας και στατιστική αξιοπιστία [Yang & Lo, 2000].

Υπάρχουν δύο τύποι ραδιομετρικής διόρθωσης, η απόλυτη και η σχετική. Ο στόχος της απόλυτης είναι η επανάκτηση της φασματικής ανακλαστικότητας (albedo) ή της θερμοκρασίας του εδάφους. Για τη βαθμονόμηση απαιτούνται επιπρόσθετα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να ληφθούν την περίοδο λήψης των εικόνων, όπως επίσης και δεδομένα ατμοσφαιρικών συνθηκών, στοιχεία τροχιάς των δορυφόρων και σημεία εδάφους ως στόχοι γνωστής ανακλαστικότητας. Η απόλυτη διόρθωση είναι αρκετά δύσκολη στην υλοποίησή της και είναι απαραίτητη μόνο όταν δύο ή περισσότερες εικόνες είναι σε διαφορετικές ραδιομετρικές κλίμακες [Song et al., 2001]. Στη σχετική ραδιομετρική διόρθωση οι εικόνες διορθώνονται σχετικά η μια ως προς την άλλη, δεν ταυτίζονται απαραίτητα σε απόλυτες μετρήσεις εδάφους. Η σχετική διόρθωση δεν απαιτεί ατμοσφαιρική διόρθωση, δεδομένα τροχιάς δορυφόρου κλπ, αλλά διορθώνει για τις επιδράσεις της γωνίας του ηλίου, τη διάχυση και την απορρόφηση του φωτός και τη συμπεριφορά των αισθητήρων. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική και στην περίπτωση ανίχνευσης αλλαγών στις εικόνες.

Γενικά η ατμοσφαιρική διόρθωση είναι απαραίτητη όταν οι διαχρονικές εικόνες ενσωματώνονται σε ένα ενιαίο σύνολο δεδομένων τα οποία στη συνέχεια θα επεξεργαστούν μαζί. Ένας άλλος λόγος που πρέπει να γίνει η ατμοσφαιρική διόρθωση είναι όταν δεδομένα ελέγχου πρέπει να μεταφερθούν από τη μια χρονική στιγμή και μέρος σε άλλα [Song et al., 2001].

Η τοπογραφική διόρθωση εξαιτίας του ανάγλυφου υπάγεται στις ραδιομετρικές διορθώσεις μιας εικόνας. Για την τοπογραφική διόρθωση είναι απαραίτητη η πληροφορία αξιόπιστων δεδομένων αναφοράς και καλής ποιότητας Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.

### **2.6.3 Συγχώνευση Ψηφιδωτών Δεδομένων**

Στη παρούσα εργασία αφού πραγματοποιήθηκε η συγκριτική διερεύνηση των αποτελεσμάτων που δίνουν οι δύο δορυφόροι μέσω των ταξινομήσεων, επόμενο βήμα ήταν να γίνει χρήση του παγχρωματικού καναλιού που παρέχει ο δορυφόρος

Lansat 8, μέσω της διαδικασίας της συγχώνευσης, προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσο βελτιώνεται το παραγόμενο αποτέλεσμα.

Στόχος της διαδικασίας της συγχώνευσης των ψηφιδωτών δεδομένων μπορεί να είναι:

- Η βελτίωση της διακριτικής ικανότητας μιας πολυφασματικής απεικόνισης με συγχώνευση μιας άλλης μονοχρωματικής απεικόνισης καλύτερης διακριτικής ικανότητας με στόχο να γίνει αυτή ευκρινέστερη για φωτοερμηνεία (εδώ δίνεται έμφαση στην ευκρίνεια του αποτελέσματος και στην μετρητική ακρίβεια του τελικού προϊόντος της συγχώνευσης).
- Η βελτίωση της διακριτικής ικανότητας μιας πολυφασματικής απεικόνισης με συγχώνευση μιας άλλης μονοχρωματικής απεικόνισης καλύτερης διακριτικής ικανότητας με στόχο να γίνει αυτή πιο λεπτομερής ώστε να προκύπτουν λεπτομερέστεροι θεματικοί χάρτες μετά από ταξινόμηση ( εδώ δίνεται έμφαση στην διατήρηση της αρχικής ραδιομετρίας των πολυφασματικών καναλιών με ταυτόχρονη αύξηση της διακριτικής τους ικανότητας).
- Η ολοκλήρωση των δυνατοτήτων δύο διαφορετικών δεκτών είτε για εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων με φωτοερμηνεία είτε για μεταγενέστερη ταξινόμηση του προϊόντος της συγχώνευσης και παραγωγή θεματικών χαρτών.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι συγχώνευσης ψηφιδωτών δεδομένων. Στη παρούσα εφαρμογή έγινε δοκιμή μεταξύ δύο μεθόδων, οι οποίες αξιολογήθηκαν τόσο για την ευκρίνεια του αποτελέσματος όσο και για την διατήρηση των ραδιομετρικών χαρακτηριστικών των αρχικών πολυφασματικών καναλιών του δορυφόρου. Ακολουθεί μια συνοπτική αναφορά στις μεθόδους οι οποίες εφαρμόστηκαν.

**Μέθοδος Συγχώνευσης Local Mean Matching:** Το φίλτρο προσαρμογής τοπικού μέσου (Local Mean Matching) εφαρμόζει (de Bethune et al 1997 και 1998) συνάρτηση κανονικοποίησης, έτσι ώστε να γίνεται προσαρμογή του τοπικού μέσου (LMM) του καναλιού υψηλής διακριτικής ικανότητας (HR) με τα αντίστοιχα των καναλιών του πολυφασματικού τηλεπισκοπικού δέκτη (LR) χαμηλότερης διακριτικής ικανότητας (LR).

$$F_{i,j} = HR_{i,j} \times \frac{\overline{LR}_{i,j(w,h)}}{\overline{HR}_{i,j(w,h)}}$$

όπου:

$F_{i,j}$ : η ψηφιακή τιμή της παραγόμενης απεικόνισης στη θέση  $i,j$

$HR_{i,j}$ : η ψηφιακή τιμή της απεικόνισης με τη βέλτιστη διακριτική ικανότητα στη θέση  $i,j$

$\overline{LR}_{i,j(w,h)}$ : η ψηφιακή τιμή που προκύπτει στη θέση  $i,j$  μετά από εφαρμογή φίλτρου μέσου όρου σε παράθυρο  $w \times h$  στην απεικόνιση με τη χαμηλότερη διακριτική ικανότητα

$\overline{HR}_{i,j(w,h)}$ : η ψηφιακή τιμή που προκύπτει στη θέση  $i,j$  μετά από εφαρμογή φίλτρου μέσου όρου σε παράθυρο  $w \times h$  στην απεικόνιση με τη βέλτιστη διακριτική ικανότητα

**Μέθοδος Συγχώνευσης Local Mean & Variance Matching:** Το φίλτρο προσαρμογής τοπικού μέσου και μεταβλητότητας (Local Mean & Variance Matching) εφαρμόζει [de Bethune et al 1997 και 1998] συνάρτηση κανονικοποίησης έτσι ώστε να γίνεται προσαρμογή του τοπικού μέσου και της μεταβλητότητας (LMVM) του καναλιού υψηλής διακριτικής ικανότητας (HR) με τα αντίστοιχα των πολυφασματικών καναλιών χαμηλότερης διακριτικής ικανότητας (LR).

$$F_{i,j} = \frac{(HR_{i,j} - \overline{HR}_{i,j(w,h)}) \times \text{stddev}(LR)_{i,j(w,h)}}{\text{stddev}(HR)_{i,j(w,h)}} + \overline{LR}_{i,j(w,h)}$$

όπου:

$F_{i,j}$ : η ψηφιακή τιμή της παραγόμενης απεικόνισης στη θέση  $i,j$

$HR_{i,j}$ : η ψηφιακή τιμή της απεικόνισης με τη βέλτιστη διακριτική ικανότητα στη θέση  $i,j$

$\overline{LR}_{i,j(w,h)}$ : η ψηφιακή τιμή που προκύπτει στη θέση  $i,j$  μετά από εφαρμογή φίλτρου μέσου όρου σε παράθυρο  $w \times h$  στην απεικόνιση με τη χαμηλότερη διακριτική ικανότητα

$\overline{HR}_{i,j(w,h)}$ : η ψηφιακή τιμή που προκύπτει στη θέση  $i,j$  μετά από εφαρμογή φίλτρου μέσου όρου σε παράθυρο  $w \times h$  στην απεικόνιση με τη βέλτιστη διακριτική ικανότητα

$\text{stddev}(LR)_{i,j(w,h)}$ : η ψηφιακή τιμή που προκύπτει στη θέση  $i,j$  μετά από εφαρμογή φίλτρου τυπικής απόκλισης σε παράθυρο  $w \times h$  στην απεικόνιση με τη χαμηλότερη διακριτική ικανότητα

$\text{stddev}(HR)_{i,j(w,h)}$ : η ψηφιακή τιμή που προκύπτει στη θέση  $i,j$  μετά από εφαρμογή φίλτρου τυπικής απόκλισης σε παράθυρο  $w \times h$  στην απεικόνιση με τη βέλτιστη διακριτική ικανότητα

Από το μέγεθος των παραθύρων  $w \times h$  που χρησιμοποιούμε εξαρτάται το ποσοστό της φασματικής πληροφορίας του κάθε καναλιού που διατηρείται στην τελική εικόνα  $F_{i,j}$ . Έτσι, επιλογή μικρότερων παραθύρων έχει ως αποτέλεσμα να διατηρείται σε μεγαλύτερο βαθμό η φασματική και γεωμετρική πληροφορία του παγχρωματικού καναλιού ενώ με χρήση μεγαλύτερων παραθύρων έχουμε ενσωμάτωση περισσότερης φασματικής πληροφορίας των πολυφασματικών καναλιών στην τελική απεικόνιση [Karathanassi et al., 2007].

## 2.7 Τεχνικές Ψηφιακής Επεξεργασίας

Σκοπός των τεχνικών επεξεργασίας και πιο συγκεκριμένα της ψηφιακής ενίσχυσης εικόνων είναι η διευκόλυνση της Φωτοερμηνείας της, αυξάνοντας τη διαφοροποίηση (διαχωρισιμότητα) μεταξύ των αντικειμένων του πεδίου κατόπτευσης. Ουσιαστικά η διαδικασία της Φωτοερμηνείας των ψηφιακά ενισχυμένων εικόνων επιχειρεί τη βελτιστοποίηση των συμπληρωματικών ικανοτήτων του ανθρώπου και του υπολογιστή, καθώς ο άνθρωπος είναι άριστος ερμηνευτής των χωρικών παραμέτρων μιας εικόνας αλλά ο ανθρώπινος οφθαλμός δεν έχει τη δυνατότητα διάκρισης μικρών ραδιομετρικών ή φασματικών διαφορών που μπορούν να χαρακτηρίζουν τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας. Έτσι λοιπόν η ψηφιακή ενίσχυση εικόνων

αποσκοπεί στην ενίσχυση αυτών των μικρών διαφορών ώστε να τις καταστήσει άμεσα αντιληπτές. [Αργιαλάς, 1999]

### **2.7.1 Ενίσχυση της Αντίθεσης των Τόνων του Γκρι**

Πρόκειται για μια διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται η ενίσχυση της αντίθεσης των τόνων μιας απεικόνισης και κατά την οποία αξιοποιείται όλο το εύρος του πεδίου ψηφιακών τιμών και όχι μόνο μέρος αυτού. Οι πιο κοινές τεχνικές της κατηγορίας αυτής είναι η κατωφλίωση των τόνων του γκρι, η τεμαχιοποίηση του ιστογράμματος και η ενίσχυση της αντίθεσης (contrast). Σκοπός της τελευταίας τεχνικής (contrast), της οποίας πραγματοποιήθηκε και συχνή χρήση, είναι να επεκτείνει το μικρό εύρος τιμών φωτεινότητας, το οποίο τυπικά ενυπάρχει σε μια αρχική εικόνα (εικόνα εισόδου) σε ένα μεγαλύτερο εύρος τόνων του γκρι.

### **2.7.2 Δημιουργία Έγχρωμων Συνθέτων**

Αποτελεί μια έγχρωμη απεικόνιση που προκύπτει με υπέρθεση τριών μονόχρωμων απεικονίσεων, μεταξύ τριών φασματικών καναλιών ενός δορυφόρου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται πολλοί συνδυασμοί μεταξύ αυτών των τριών καναλιών, με αποτέλεσμα να μπορούν να εξαχθούν πολλά συμπεράσματα, για τη καλύτερη μελέτη των κατηγοριών κάλυψης της περιοχής. (Στο υποεδάφιο 3.2 έγινε παράθεση διαφόρων έγχρωμων συνθέτων της περιοχής μελέτης και παρουσίαση μέσω απεικονίσεων των κατηγοριών που κάθε ένα από αυτά αναδεικνύει καλύτερα).

### **2.7.3 Φιλτράρισμα Τηλεπισκοπικών Δεδομένων**

Αφορά την εφαρμογή κατάλληλων φίλτρων για την ενίσχυση και ομαλοποίηση των τιμών φωτεινότητας διαφόρων Τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Τα φίλτρα εφαρμόζονται για ποικίλους σκοπούς όπως η ενίσχυση των ορίων ομοιογενών περιοχών, η διάκριση των γραμμικών χαρακτηριστικών μιας εικόνας, η ομαλοποίηση των τιμών φωτεινότητάς της, η ενίσχυση/εντοπισμός της πληροφορίας υψηλών συχνοτήτων κ.α. Σε αντίθεση με τις μετατροπές στις τιμές φωτεινότητας μεμονωμένων pixel, στα φιλτραρίσματα η επεξεργασία πραγματοποιείται με βάση μια περιοχή γύρω από κάθε pixel. Το αποτέλεσμα και η τιμή του pixel μετά την επεξεργασία, είναι συνάρτηση της θέσης του, της αρχικής τιμής του και των τιμών των γειτονικών pixel που συμμετέχουν στον μετασχηματισμό. Οι μετασχηματισμοί αυτοί μπορεί να είναι γραμμικοί και μη γραμμικοί και να προκαλούν την ομαλοποίηση (smoothing) ή και ενίσχυση (enhancement) της εικόνας.

### **2.7.4 Άλγεβρα Εικόνων – Λόγοι Καναλιών**

Οι εικόνες- λόγοι είναι ενισχύσεις και προκύπτουν από τη διαίρεση των ψηφιακών τιμών σε ένα φασματικό κανάλι με τις αντίστοιχες τιμές σ'ένα άλλο κανάλι και χρησιμεύουν στη διάκριση μικρών φασματικών διαφορών μιας περιοχής. Οι κατάλληλοι λόγοι που βοηθούν στο να διαχωριστούν θεματικές κατηγορίες

προκύπτουν από το διάγραμμα ανακλαστικότητας. Ο διαχωρισμός δύο κατηγοριών που οι φασματικές τους καμπύλες βρίσκονται πολύ κοντά ή μπορεί και να ταυτίζονται σε κάποια κανάλια επιτυγχάνεται εντοπίζοντας σε ποιο κανάλι υπάρχει η μέγιστη διαφορά (Bi) και σε ποιο η ελάχιστη (Bj) εφαρμόζεται ο λόγος Bi/Bj ή ο αντίστροφος. Όταν επιλεγούν τα κατάλληλα κανάλια, τότε ο λόγος είτε ενισχύει την αντίθεση των επιφανειακών υλικών είτε μειώνει σε ένα βαθμό την επίδραση του ανάγλυφου και των σκιάσεων (ατμοσφαιρική διάχυση) στις προσπίπτουσες εικόνες. Οι εικόνες που προκύπτουν έχουν προέλθει από την πράξη της διαίρεσης των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας και συνεπώς αποθηκεύτηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μη χάνεται η επιπλέον πληροφορία.

Στη παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε χρήση λόγων και πιο συγκεκριμένα ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) για την ανάδειξη των περιοχών με βλάστηση αλλά και καμένων εκτάσεων, καθώς επίσης και ο Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς NDWI (Normalized Difference Water Index) για την ανάδειξη των υδάτινων περιοχών.

Ο δείκτης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) είναι ουσιαστικά ο λόγος της διαφοράς της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο (NIR) και στο κόκκινο (Red), διαιρούμενος με το άθροισμα αυτών και λαμβάνει τιμές από -1 (καθόλου βλάστηση) έως 1 (πλούσια βλάστηση).

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Ο εντοπισμός των υδάτινων επιφανειών επιτεύχθηκε με τη χρήση του δείκτη NDWI (Normalised Difference Water Index), ο οποίος χρησιμοποιεί το πράσινο φάσμα και μια περιοχή στο μέσο υπέρυθρο (Short Wave Infrared SWIR). Ο δείκτης NDWI εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$NDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR)$$

### **2.7.5 Ταξινόμηση Εικόνων με Βασική Μονάδα Χωρικής Ανάλυσης το Εικονοστοιχείο**

Σκοπός της διαδικασίας της ταξινόμησης είναι η αυτόματη κατηγοριοποίηση όλων των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε διάφορες τάξεις κάλυψης γης ή αντικείμενα. Συνήθως, πολυφασματικά δεδομένα χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της ταξινόμησης όπου τα φασματικά πρότυπα ενυπάρχουν στα δεδομένα κάθε εικονοστοιχείου και χρησιμοποιούνται ως η ψηφιακή βάση της κατηγοριοποίησης. Έτσι λοιπόν η διαδικασία της ταξινόμησης περιλαμβάνει την ανάλυση εικόνων και την εφαρμογή κανόνων απόφασης που βασίζονται στη στατιστική προκειμένου να προσδιορίσουν την κατηγορία χρήσης γης στην οποία ανήκει το εικονοστοιχείο της εικόνας. Όταν αυτοί οι κανόνες απόφασης βασίζονται στα φασματικά



χαρακτηριστικά των δεδομένων, τότε πρόκειται για φασματική αναγνώριση προτύπων. Αντίθετα οι κανόνες οι οποίοι βασίζονται στα γεωμετρικά σχήματα, μεγέθη και πρότυπα που υπάρχουν σε μια εικόνα αναφέρονται στην χωρική αναγνώριση προτύπων [Αργιαλάς, 1999].

Στη παρούσα εργασία δίνεται έμφαση στη τεχνική φασματικής αναγνώρισης προτύπων, η οποία κατηγοριοποιείται σε δύο βασικά είδη, την επιβλεπόμενη και την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

#### **2.7.5.1 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση**

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση έχει ως σκοπό τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων ώστε να κατατάξει τα εικονοστοιχεία μίας απεικόνισης σε συγκεκριμένες θεματικές κατηγορίες, με χρήση των δεδομένων εκπαίδευσης που επιλέγονται από το χρήστη. Έχοντας διαθέσιμα δεδομένα εκπαίδευσης που χαρακτηρίζουν την κάθε τάξη και από τα οποία θα εκτιμηθούν οι φασματικές υπογραφές πριν την εκτέλεση του αλγορίθμου ταξινόμησης, ο χρήστης «εκπαιδεύει» τον αλγόριθμο να αναγνωρίσει τα φασματικά χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας. Για το λόγο αυτό έχει επικρατήσει και ο όρος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Μετά το πέρας της φάσης της εκπαίδευσης ο αλγόριθμος ταξινομητής αποδίδει το κάθε εικονοστοιχείο στην κατάλληλη κατηγορία βάση των χαρακτηριστικών της κάθε τάξης. Έχουν αναπτυχθεί πολλοί αλγόριθμοι για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπως της ελάχιστης απόστασης, του παραλληλεπίπεδου, της μέγιστης πιθανοφάνειας κ.α.

##### **ο Στάδιο Επίβλεψης**

Ενώ η ταξινόμηση των πολυφασματικών δεδομένων είναι μια αρκετά αυτοματοποιημένη διαδικασία, η συλλογή των δεδομένων εκπαίδευσης που απαιτούνται για την ταξινόμηση δεν έχει αυτοματοποιηθεί ακόμα. Απαιτεί σημαντικό αριθμό δεδομένων αναφοράς και μια εκτεταμένη γνώση της γεωγραφικής περιοχής στην οποία θα εφαρμοστεί η ταξινόμηση. Η ποιότητα της διαδικασίας της εκπαίδευσης καθορίζει την επιτυχία του σταδίου της ταξινόμησης, και συνεπώς της αξίας ολόκληρης της ταξινόμησης.

Ο γενικός στόχος της διαδικασίας της εκπαίδευσης είναι η συλλογή ενός συνόλου στατιστικών στοιχείων, τα οποία περιγράφουν τα πρότυπα φασματικής απόκρισης για κάθε θεματική κατηγορία που θα ταξινομηθεί στην εικόνα. Προκειμένου να ληφθούν αποδεκτά αποτελέσματα ταξινόμησης, τα δεδομένα εκπαίδευσης πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά και πλήρη.

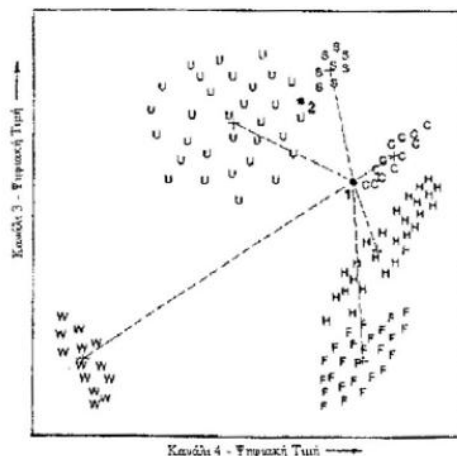
##### **ο Στάδιο ταξινόμησης**

Αποτελεί την ουσία της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Κατά το στάδιο αυτό, τα φασματικά πρότυπα που βρίσκονται στην εικόνα εκτιμώνται από τον αλγόριθμο, χρησιμοποιώντας προκαθορισμένους κανόνες απόφασης, ώστε να προσδιοριστεί η ταυτότητα του κάθε εικονοστοιχείου. Στη παρούσα

εργασία έγινε χρήση και σύγκριση μεταξύ δύο αλγορίθμων ταξινόμησης, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω.

➤ *Ο αλγόριθμος ταξινόμησης της ελάχιστης απόστασης*

Πρόκειται για την απλούστερη στρατηγική ταξινόμησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αρχικά, υπολογίζονται οι μέσες τιμές των περιοχών εκπαίδευσης για κάθε φασματικό κανάλι. Αυτές οι τιμές συνθέτουν το μέσο διάνυσμα κάθε περιοχής εκπαίδευσης που αντιστοιχεί σε μία κατηγορία. Κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται σε μία τάξη με βάση την απόσταση μεταξύ της τιμής του αγνώστου εικονοστοιχείου και του μέσου διανύσματος της κάθε κατηγορίας. Μετά τον υπολογισμό της απόστασης από κάθε κατηγορία, το άγνωστο εικονοστοιχείο αποδίδεται στην εγγύτερη κατηγορία. Για λόγους άμεσης αντίληψης της μεθοδολογίας αυτής, η στρατηγική ταξινόμησης της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους απεικονίζεται σε δισδιάστατο χώρο προτύπων όπως φαίνεται στο παρακάτω Γράφημα. Στο δισδιάστατο χώρο προτύπων η απόσταση αυτή αντιστοιχεί στην απόσταση της προβολής του διανύσματος από το φασματικό χώρο προτύπων στο δισδιάστατο. Είναι μια απλή διαδικασία από την οποία δεν προκύπτουν αταξινόμητα εικονοστοιχεία, εκτός εάν το εικονοστοιχείο βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από αυτήν που έχει ορίσει ο χρήστης ως μέγιστη δυνατή. Θετικό του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι η υπολογιστική του ταχύτητα λόγω της μαθηματικής απλότητάς του, ενώ το βασικό του μειονέκτημα είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη τη διασπορά των φασματικών προτύπων απόκρισης των θεματικών κατηγοριών, δημιουργώντας πρόβλημα σε φασματικές κατηγορίες οι οποίες βρίσκονται κοντά ή μια στην άλλη στον πολυφασματικό χώρο προτύπων και εμφανίζουν μεγάλη διασπορά [Αργιαλάς, 1999].

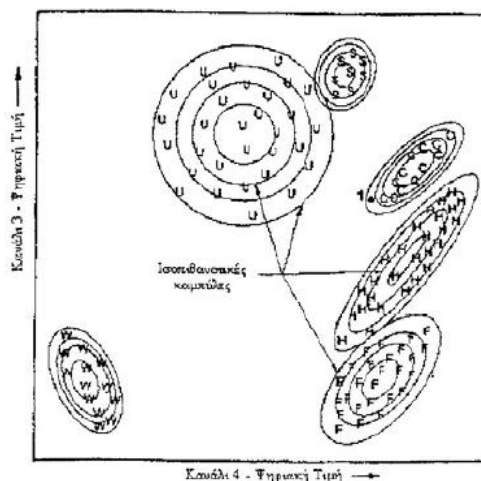


**Γράφημα 2 : Η στρατηγική ταξινόμησης της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους. [Πηγή:Αργιαλάς,1999]**

➤ *Ο αλγόριθμος ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας*

Κατά την ταξινόμηση ενός εικονοστοιχείου λαμβάνεται υπόψη η μεταβλητότητα και η συμμεταβλητότητα των προτύπων φασματικής απόκρισης των διαφόρων κατηγοριών. Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή του αλγορίθμου είναι ότι η κατανομή του νέφους των σημείων εκπαίδευσης κάθε κατηγορίας, δηλαδή του διανύσματος των τιμών των εικονοστοιχείων εκπαίδευσης ανά κατηγορία, πρέπει να είναι κανονική. Κάτω από αυτή την προϋπόθεση, η κατανομή του φασματικού προτύπου απόκρισης κάθε κατηγορίας περιγράφεται πλήρως από ένα μέσο διάνυσμα και τον πίνακα συμμεταβλητότητας και στη συνέχεια είναι δυνατόν να υπολογιστεί η στατιστική πιθανότητα να ανήκει ένα εικονοστοιχείο σε μια κατηγορία κάλυψης γης.

Η υπόθεση της κανονικότητας των δεδομένων είναι γενικώς αποδεκτή για τις πιο συνηθισμένες κατανομές φασματικών αποκρίσεων. Η γραφική απεικόνιση της πιθανότητας ενός εικονοστοιχείου να ταξινομηθεί σε μια κατηγορία εκφράζεται από τον κατακόρυφο άξονα της τρισδιάστατης επιφάνειας της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για την φασματική-θεματική κατηγορία αυτή. Σε δισδιάστατο επίπεδο, οι συναρτήσεις προβάλλονται και οριοθετούνται ως ελλειψοειδής ισοπίθανες καμπύλες στο διάγραμμα διασποράς (Γράφημα 3). Στον αλγόριθμο αυτό, το κάθε εικονοστοιχείο θα αποδοθεί στην πλέον πιθανή κατηγορία με την υψηλότερη τιμή πιθανότητας ή θα χαρακτηριστεί ως «άγνωστο», εάν η πιθανότητα του είναι κάτω από ένα όριο που ορίζει ο χρήστης. Το βασικό μειονέκτημα του αλγορίθμου είναι ο μεγάλος όγκος υπολογισμών για την ταξινόμηση κάθε εικονοστοιχείου. Ο χρόνος εκτέλεσης αυξάνεται περαιτέρω όσο περισσότερα είναι τα φασματικά κανάλια που χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση και όσο περισσότερες είναι οι κατηγορίες [Αργιαλάς,1999].



**Γράφημα 3 : Κλειστές καμπύλες ίσων πιθανοτήτων που καθορίζονται από τον ταξινομητή της μέγιστης πιθανοφάνειας. [Πηγή:Αργιαλάς,1999]**

### 2.7.5.2 Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μια τεχνική της τηλεπισκόπησης που παρέχει αυτόματη ταξινόμηση κατηγοριών σε εικόνες. Ο όρος σχετίζεται με το ότι ο χρήστης δεν έχει όλο τον έλεγχο της διαδικασίας. Δεν είναι ακριβώς μια μέθοδος στατιστικής ταξινόμησης. Η παραγωγή των νέων εικόνων βασίζεται στον φασματικό διαχωρισμό των στόχων και όχι σε κάποια πραγματική τιμή του στόχου στο έδαφος. Σε αντίθεση με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, εδώ απαιτείται ελάχιστη εισαγωγή δεδομένων και παραμέτρων στη διαδικασία. Ο υπολογιστής και το περιβάλλον εργασίας «επιλέγουν» ομάδες εικονοστοιχείων βάση των φασματικών τους ιδιοτήτων και έπειτα ο χρήστης απλώς καταχωρεί πληροφορίες (π.χ όνομα, χρώμα) στις κατηγορίες που ο υπολογιστής δημιούργησε. Δύο κύριες μέθοδοι της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι η ISODATA και η K-Means Clustering [Αργιαλάς,1999].

### 2.7.5.3 Το λογισμικό ER Mapper

Το ER Mapper αποτελεί ένα λογισμικό το οποίο έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει τα δεδομένα της εικόνας, ώστε να τονίσει και να εξάγει λεπτομερειακή πληροφορία, πράγμα που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί με τις κλασσικές αναλογικές τεχνικές ερμηνείας. Αυτός είναι ο λόγος που έχει καταστήσει την επεξεργασία της εικόνας σε ένα τόσο ισχυρό εργαλείο για όλα τα είδη εφαρμογών των επιστημών γης.



**ER Mapper**

Αναγνωρίζοντας τους έμφυτους περιορισμούς στο λογισμικό της κλασσικής επεξεργασίας εικόνας, οι δημιουργοί του ER Mapper ανέπτυξαν μια εντελώς νέα προσέγγιση. Αντί να γράφεται ένα αρχείο στο δίσκο για κάθε βήμα επεξεργασίας, το ER Mapper επιτρέπει το συνδυασμό πολλών διαδικασιών επεξεργασίας σε ένα μοναδικό βήμα και την απόδοση των αποτελεσμάτων απευθείας στην οθόνη του υπολογιστή σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Στο ER Mapper, το σύνολο των βημάτων επεξεργασίας που εφαρμόζεται στα δεδομένα, ονομάζεται «αλγόριθμος». Με το ER Mapper μπορεί να αποθηκευτεί μόνο μια περιγραφή των βημάτων επεξεργασίας που επιθυμείται να εφαρμοστεί στα δεδομένα (ο αλγόριθμος) και όχι ξεχωριστά επεξεργασμένα αντίγραφα του αρχικού αρχείου ράστερ. Αποθηκεύοντας τα βήματα επεξεργασίας ξεχωριστά από τα ίδια τα δεδομένα, η επεξεργασία εικόνας γίνεται ταχύτερη, ευκολότερη στην εκμάθηση και περισσότερο αλληλεπιδραστική. Εάν χρειαστεί μπορεί να αποθηκευτεί η επεξεργασμένη εικόνα σε μια πληθώρα μορφών συμπεριλαμβανομένου της ER Mapper Raster Dataset.

Οι αλγόριθμοι στο ER Mapper μπορούν να χρησιμοποιηθούν για απλή παρουσίαση των δεδομένων ή για πολύπλοκη επεξεργασία και μοντελοποίηση διαδικασιών που περιλαμβάνουν πολλές εικόνες, μετασχηματισμός δεδομένων και επικαλύψεις από πολλά είδη δεδομένων. Παραδείγματα συνηθισμένων διαδικασιών επεξεργασίας εικόνας που γίνονται πολύ ευκολότερες με τη χρήση αλγορίθμων περιλαμβάνουν: σύζευξη εικόνων (σύντηξη δεδομένων), μωσαϊκό εικόνων και οποιοδήποτε είδος μαθηματικού μετασχηματισμού όπως λόγος καναλιών, κύριες συνιστώσες, μετασχηματισμοί Tasseled Cap και άλλες.

Η σχεδίαση των αλγορίθμων επιτρέπει ακόμη στο ER Mapper να διαχειριστεί τις δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης της επόμενης γενιάς με αποτελεσματικότερο τρόπο σε σχέση με τα κλασσικά συστήματα. Αυτά τα σύνολα δεδομένων χωρικής ανάλυσης ένα με τρία μέτρα θα έχουν μεγάλα μεγέθη αρχείων για τη περιοχή που καλύπτουν, με αποτέλεσμα η ελαχιστοποίηση της ανάγκης εγγραφής στο δίσκο επεξεργασμένων αντιγράφων των δεδομένων να είναι πολύ σημαντικό σημείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Η βελτίωση της εικόνας (image enhancement) αναφέρεται σε οποιαδήποτε από τα πολλά είδη διαδικασιών επεξεργασίας εικόνας που χρησιμοποιούνται για την ψηφιακή επεξεργασία των δεδομένων εικόνας για την υποβοήθηση της οπτικής ερμηνείας ή για την εξαγωγή ποσοτικής πληροφορίας κατανοητής από το χρήστη. Η βελτίωση της εικόνας είναι αυτό που συχνά πολλοί άνθρωποι θεωρούν ως «επεξεργασία εικόνας».

Στο ER Mapper οι διαδικασίες βελτίωσης εικόνας απλοποιούνται σε μεγάλο βαθμό από την έννοια της επεξεργασίας «αλγόριθμου». Σχεδόν όλα τα είδη διαδικασιών βελτίωσης εικόνας μπορούν να εφαρμοστούν και να απεικονισθούν σε πραγματικό χρόνο παρέχοντας πραγματικό αλληλεπιδραστικό έλεγχο χωρίς την εγγραφή προσωρινών αρχείων στο δίσκο.

### **2.7.6 Ταξινόμηση Εικόνων με Αντικειμενοστραφή Προσέγγιση**

Η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας (Object Based Image Analysis, OBIA) είναι μια σχετικά νέα μεθοδολογία ψηφιακής ανάλυσης και ταξινόμησης εικόνων. Σύμφωνα, με τον ευρέως αποδεκτό ορισμό από τους Hay και Castilla (2006) : Η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας, αποτελεί μια ειδική εφαρμογή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIScience), που έχει σκοπό να εισάγει στην ανάλυση της εικόνας σημασιολογικά αντικείμενα αυτής, τα οποία επιφέρουν χωρικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά. Με τις διαδικασίες της κατάτμησης και της ταξινόμησης, η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας, καταφέρνει να εξετάζει και να συνδέει διαφορετικά αντικείμενα [Gercek, 2010].

Η λογική της κατάτμησης των εικόνων πρωτοεμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας 1970 [Haralick et al., 1973], ωστόσο μόλις το 2000 παρουσιάστηκε για πρώτη φορά

από τους Baatz και Schape η μέθοδος κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης (multiresolution segmentation), η οποία εφαρμόστηκε σε ένα νέο λογισμικό, το eCognition. Η νέα αυτή μέθοδος συνδυάζει αλγορίθμους ανάλυσης εικόνας χαμηλού, μεσαίου και υψηλού επιπέδου σε ένα ενιαίο περιβάλλον λογισμικού [ Αργιαλάς και Τζώτσος, 2002].

Η λογική της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης προσεγγίζει ουσιαστικά τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Όσο μεγαλώνει η χωρική ανάλυση μιας απεικόνισης, τόσο οι σημαντικές εννοιολογικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την φωτοερμηνεία και η ταξινόμηση της εικόνας δεν αναπαρίστανται από μεμονωμένα εικονοστοιχεία, αλλά από σημαντικά εννοιολογικά αντικείμενα και τις αλληλοσυσχετίσεις τους.

Στην παρούσα εφαρμογή, σκοπός είναι να διερευνηθεί αν η χρήση της αντικειμενοστραφούς μεθόδου βελτιώνει το αποτέλεσμα της ταξινόμησης συγκριτικά με την ταξινόμηση που βασίζεται αποκλειστικά και μόνο σε φασματικά χαρακτηριστικά. Η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό eCognition για την δορυφορική απεικόνιση του Landsat 8, στην οποία έχει πραγματοποιηθεί συγχώνευση με το παγχρωματικό κανάλι.

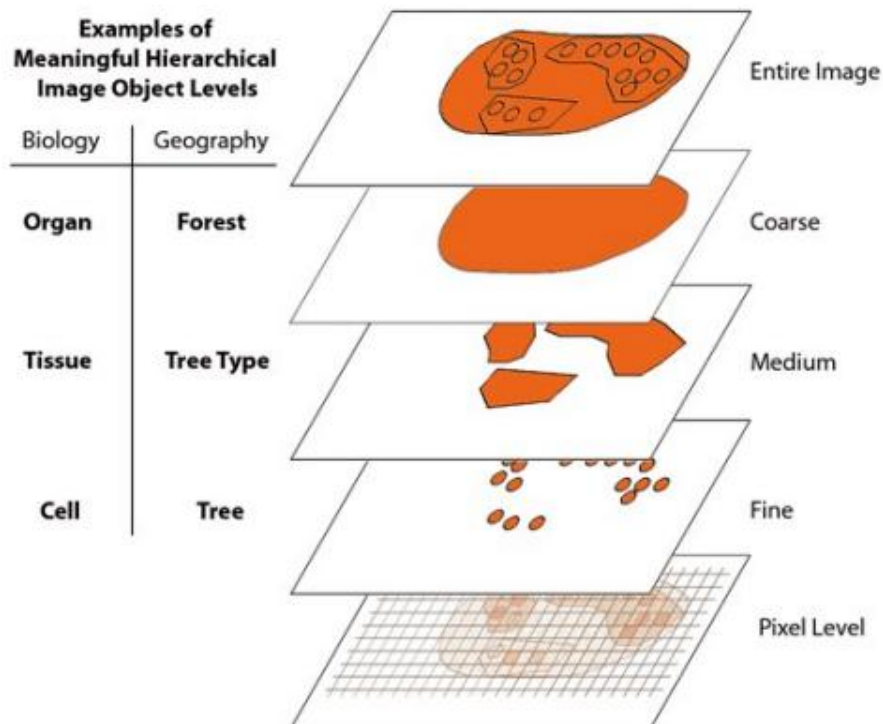
#### **2.7.6.1 Το λογισμικό eCognition**

Το λογισμικό eCognition δημιουργήθηκε και διατίθεται από τη γερμανική εταιρία DEFiNiENS Imaging GmbH ([www.definiens.com](http://www.definiens.com)). Το λογισμικό αντικειμενοστραφούς ανάλυσης χρησιμοποιεί μια νέα καινοτομική μεθοδολογία που αφορά στον τομέα της κατάτμησης και ταξινόμησης της εικόνας. Κύριο χαρακτηριστικό αυτής της προσέγγισης είναι η δημιουργία φωτοερμηνευτικής βάσης γνώσης με αντικειμενοστραφή προγραμματισμό σε πολλαπλά επίπεδα ανάλυσης και με χρήση ασαφούς λογικής. Η βασική προσέγγιση που την χαρακτηρίζει είναι ότι στην ανάλυση της εικόνας, η σημαντική πληροφορία για την φωτοερμηνεία, δεν βρίσκεται στο επίπεδο των μεμονωμένων εικονοστοιχείων αλλά στο επίπεδο νοηματικών αντικειμένων/ τμημάτων της εικόνας και στις αλληλοσυσχετίσεις τους (DEFiNiENS 2000).

Χαρακτηριστικό στοιχείο αυτής της καινοτομικής προσέγγισης, είναι το στάδιο της κατάτμησης της εικόνας σε ομοιογενή τμήματα, γνωστής και ως κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης (multiresolution segmentation). Ο χρήστης είναι σε θέση να δηλώσει στον αλγόριθμο το μέγεθος τμημάτων/αντικειμένων, τη φασματική ομοιογένεια που θα παρουσιάζουν, καθώς και σε ποιο βαθμό τα τμήματα/ αντικείμενα αυτά θα έχουν συμπαγή ή λείο, ανάλογα με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Συνάμα η προσέγγιση αυτή προσφέρει τη δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει έμμεσα το μέγεθος των αντικειμένων που θα προκύψουν. Έτσι ο αλγόριθμος είναι σε θέση να χρησιμοποιεί τόσο κριτήρια τόνου και χρώματος της εικόνας όσο και κριτήρια σχήματος των αντικειμένων που είναι

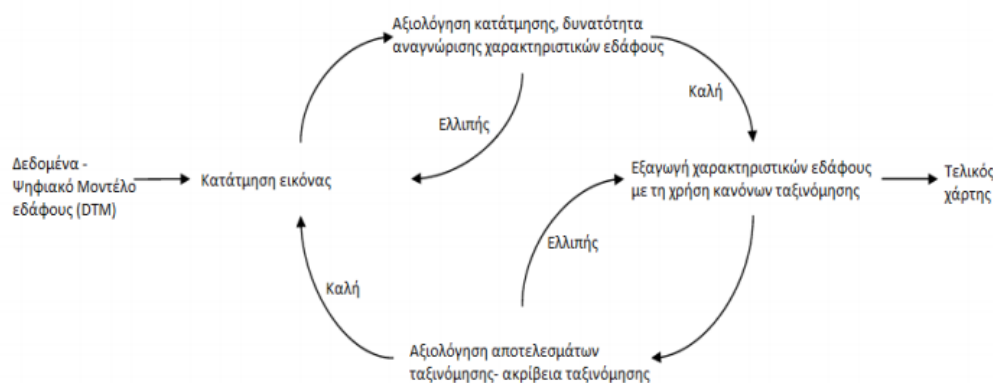
επιθυμητό να προκύψουν. Η επιλογή των καταλληλότερων επιπέδων κατάτμησης για την εκάστοτε εφαρμογή γίνεται φωτοερμηνευτικά με επαναληπτικές μεθόδους και διευκολύνεται με τη χρήση των ορίων των αντικειμένων.

Το λογισμικό eCognition προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων από ομοιογενή ως προς το τόνο και σχήμα αντικείμενα της εικόνας, τα οποία κάθε στιγμή γνωρίζουν τόσο τους γείτονες τους στο ίδιο επίπεδο, αλλά και τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω ή κάτω από αυτά ( Εικόνα 11). Ταυτόχρονα γίνεται υπολογισμός στατιστικών παραμέτρων που αφορούν στις τιμές χρώματος των αντικειμένων ( μέσες τιμές τόνου, τυπικές αποκλίσεις, υφή κ.α) αλλά και ιδιοτήτων που αφορούν στο σχήμα των αντικειμένων (προσανατολισμός, μήκος, πλάτος, επιμήκυνση, καμπυλότητα, συμπαγότητα κ.α) [Αργιαλάς κ.α.,2002].



**Εικόνα 11 : Αναπαράσταση ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων αντικειμένων, τα οποία αλληλοσχετίζονται μεταξύ τους, τόσο όσον αφορά αντικείμενα του ίδιου επιπέδου, όσο και αντικείμενα διαφορετικών επιπέδων. [Πηγή :eCognition Developer 8.7 User's Guide, 2011].**

Η εφαρμογή της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας, απαιτεί δύο βασικές διαδικασίες επεξεργασίας, την κατάτμηση και την ταξινόμηση. Με το τέλος της ταξινόμησης πραγματοποιείται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μέσω του λογισμικού. Η σειρά εφαρμογής των διαδικασιών αυτών απεικονίζεται στην Εικόνα 12.



**Εικόνα 12 : Η ροή εφαρμογής των βασικών διαδικασιών στην αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας. [Πηγή : Anders et. al., 2010]**

Στη παρούσα εργασία έγινε χρήση του λογισμικού eCognition Developer 8.7.

### 2.7.6.2 Κατάτμηση των εικόνων

Πρώτο βήμα για την αντικειμενοστραφή ανάλυση της εικόνας, είναι η κατάτμησή της. Συνήθως ως κατάτμηση ορίζεται η υποδιαίρεση οντοτήτων (όπως είναι τα αντικείμενα της εικόνας), σε μικρότερα μέρη. Ωστόσο για το λογισμικό eCognition, κατάτμηση της εικόνας ονομάζεται οποιαδήποτε διαδικασία δημιουργεί καινούρια αντικείμενα ή μεταβάλλει τη μορφολογία των υπάρχοντων αντικειμένων της εικόνας με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Στο λογισμικό eCognition υπάρχουν δύο αρχές κατάτμησης:

- Η από πάνω προς τα κάτω κατάτμηση, όπου διαιρείται ένα αντικείμενο σε μικρότερα αντικείμενα (top down strategy), και
- Η από κάτω προς τα πάνω κατάτμηση, όπου ενώνονται μικρά αντικείμενα για τη δημιουργία ενός μεγαλύτερου αντικειμένου (bottom up strategy) [eCognition Developer 8.7 User's Guide, 2011]

Το eCognition 8.7 παρέχει διάφορες μεθοδολογίες κατάτμησης τόσο τύπου «bottom-up» όσο και «top down». Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε κατάτμηση τύπου «bottom-up» και συγκεκριμένα η Κατάτμηση Multiresolution η οποία λαμβάνει υπόψη την πολυπλοκότητα των δεδομένων με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.



Ο αλγόριθμος αναγνωρίζει και ενώνει τα pixels ή υπάρχοντα αντικείμενα (ανάλογα με το επίπεδο κατάτμησης της εικόνας) και τα ενώνει με γειτονικά, με βάση κάποια κριτήρια ομοιογένειας. Αυτά τα κριτήρια ομοιογένειας, είναι ένας συνδυασμός φασματικών και σχηματικών κριτηρίων.

Το αποτέλεσμα της κατάτμησης μπορεί να τροποποιείται μεταβάλλοντας την παράμετρο της κλίμακας (scale parameter), ένας όρος που ρυθμίζει το επιθυμητό μέγεθος και την μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια των παραγόμενων αντικειμένων (segments). Το μέγεθος των αντικειμένων έχει εύρος τιμών από ολόκληρη την εικόνα έως το μεμονωμένο εικονοστοιχείο.

Τα κριτήρια ομοιογένειας στην κατάτμηση Multiresolution, καθορίζουν το βαθμό ομοιογένειας που πρέπει να παρουσιάζει ένα νέο σχηματιζόμενο αντικείμενο. Αυτό υπολογίζεται από τον συνδυασμό χρωματικών και σχηματικών ιδιοτήτων των αρχικών και τελικών αντικειμένων. Η χρωματική ομοιογένεια βασίζεται στην τυπική απόκλιση των φασματικών τιμών, ενώ η σχηματική ομοιογένεια βασίζεται στην απόκλιση της ιδιότητας ενός σχήματος να είναι συμπαγές (ή ομαλό). Τα κριτήρια ομοιογένειας μπορούν να διαμορφωθούν με το να ορίσει ο χρήστης τα βάρη για τα κριτήρια του σχήματος και της ιδιότητας ενός σχήματος να είναι συμπαγές. [eCognition Developer 8.7 User's Guide, 2011].

Έτσι λοιπόν η παράμετρος του χρώματος ρυθμίζει, κατά την ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων τα οποία θα συγκροτήσουν ένα αντικείμενο, τη βαρύτητα που θα δίνεται στα φασματικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων.

Ενώ η παράμετρος του σχήματος ρυθμίζει, κατά την ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων που θα συγκροτήσουν ένα αντικείμενο, τη βαρύτητα που θα δίνεται κατά την κατάτμηση στο τελικό σχήμα του αντικειμένου των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το παραγόμενο αντικείμενο. Στην περίπτωση που δίνεται έμφαση στο σχήμα του εκάστοτε παραγόμενου αντικειμένου, δίνεται η επιλογή μεταξύ ομαλότερων ορίων στα αντικείμενα και κανονικότητας σχημάτων μέσω της παραμέτρου compactness που αποτελούν συμπληρωματικές ιδιότητες.

### **2.7.6.3 Ταξινόμηση των εικόνων**

Το επόμενο βήμα μετά την κατάτμηση της εικόνας, είναι η ταξινόμηση των αντικειμένων με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής, για τη δημιουργία οντοτήτων που αναπαριστούν την πραγματικότητα. Η ταξινόμηση βασίζεται σε στατιστικά μεγέθη που λέγονται χαρακτηριστικά “features” που αφορούν το σχήμα, την τοπολογία και την ιεραρχία των αντικειμένων [Gercek, 2010].













Αρχικά δημιουργούνται οι κλάσεις, και στη συνέχεια ταξινομούνται τα αντικείμενα σε αυτές. Η κάθε κλάση ορίζεται από ένα σύνολο συνθηκών ( που αφορούν τις ιδιότητες- χαρακτηριστικά των αντικειμένων), τις οποίες θα πρέπει να πληρεί ένα αντικείμενο για να ανήκει στην εκάστοτε κλάση. Το λογισμικό παρέχει δύο τύπους ορισμού των συνθηκών των ιδιοτήτων των αντικειμένων:

- Τη χρήση κατωφλίων, όπου ελέγχεται εάν τα αντικείμενα τηρούν τις συνθήκες ορίων των ιδιοτήτων των αντικειμένων ή όχι
- Και τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής, όπου ορίζεται ο βαθμός συμμετοχής που πρέπει να τηρεί η εκάστοτε ιδιότητα του αντικειμένου [eCognition Developer 8.7 User's Guide, 2011].

Η ταξινόμηση με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής, πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

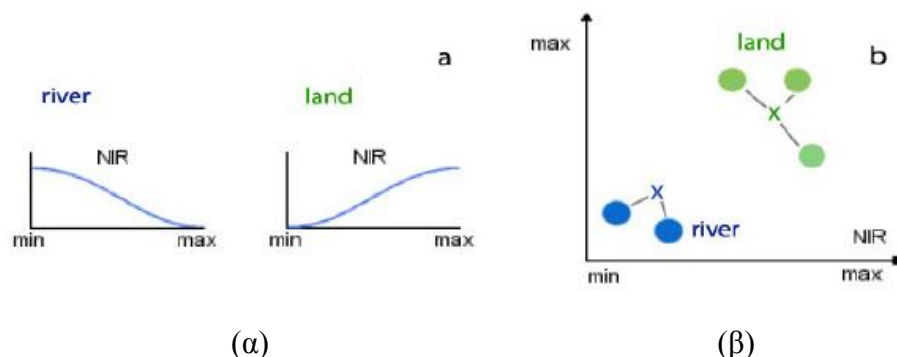
- Με τη χρήση δειγμάτων-samples ( τα οποία ορίζονται από την χρήστη για την εκάστοτε κλάση) και την εφαρμογή της ασαφούς εκδοχής του αλγόριθμου του εγγύτερου γείτονα. Ο αλγόριθμος, συγκρίνει κάθε αντικείμενο με το σύνολο των δειγμάτων των διαφορετικών κλάσεων και το ταξινομεί στην κλάση, της οποίας τα δείγματα αποτελούν τον εγγύτατο γείτονα του αντικειμένου ( όσον αφορά τις τιμές των ιδιοτήτων του αντικειμένου) [Gercek, 2010]
- Με τη χρήση συναρτήσεων συμμετοχής (membership functions). Οι συναρτήσεις συμμετοχής ορίζονται από τον χρήστη και αφορούν τις ιδιότητες των αντικειμένων[eCognition Developer 8.7 User's Guide, 2011]. Για κάθε αντικείμενο υπολογίζεται η τιμή συμμετοχής του σε κάθε κατηγορία και κατατάσσεται στην κλάση στην οποία το αντικείμενο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή συμμετοχής. [Gercek,2010]

Στον Πίνακα 6 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής που παρέχει το λογισμικό eCognition 8.7.

	Μεγαλύτερο από ( Συνάρτηση μορφής S)
	Μικρότερο από (Συνάρτηση μορφής Z )
	Μεγαλύτερο από μία σαφώς ορισμένη τιμή ( απλοποιημένη συνάρτηση S)
	Μικρότερο από μία σαφώς ορισμένη τιμή ( απλοποιημένη συνάρτηση μορφής Z)
	Μεγαλύτερο από ( γραμμικής κατανομή)
	Μικρότερο από ( γραμμική κατανομή)
	Γραμμική, τριγωνική κατανομή
	Γραμμική, ανάστροφα τριγωνική κατανομή
	Μία μοναδική τιμή ( συνάρτηση Singleton)
	Κατά προσέγγιση κατανομή Gaussian
	Συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής
	Απλοποιημένη συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής

**Πίνακας 6 : Οι συναρτήσεις συμμετοχής που παρέχει το λογισμικό eCognition 8.7.**

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζονται οι δύο μέθοδοι ταξινόμησης που αναφέρθηκαν παραπάνω:



**Εικόνα 13: Απεικόνιση μεθόδων ταξινόμησης (α) συναρτήσεις συμμετοχής για τον ασαφή προσδιορισμό των ιδιοτήτων των αντικειμένων, (β) ασαφής εκδοχή του αλγορίθμου του εγγύτερου γείτονα. [Πηγή: Gercek, 2010].**

Κατά την ταξινόμηση, τόσο με τη χρήση δειγμάτων-samples, όσο και με τη χρήση συναρτήσεων συμμετοχής, είναι απαραίτητη η χρήση των ιδιοτήτων των αντικειμένων οι οποίες ονομάζονται “features”. Τα αντικείμενα που δημιουργούνται κατά την αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας, φέρουν πολύ περισσότερες ιδιότητες από αυτές που φέρει κάθε εικονοστοιχείο ξεχωριστά.

Ένα από τα καθοριστικά βήματα για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, είναι η εύρεση και η χρήση των ιδιοτήτων “features” που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε κλάση καθώς και οι τιμές που αυτές θα λαμβάνουν [Gercek, 2010].

Παραδείγματα ιδιοτήτων των αντικειμένων είναι το μέγεθός τους, η μέση τιμή φωτεινότητας σε κάθε κανάλι, το πλήθος των γειτονικών αντικειμένων κτλ.

Τα χαρακτηριστικά “features” που προσφέρει το λογισμικό eCognition 8.7, χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Στα χαρακτηριστικά που συσχετίζονται με το αντικείμενο “Object-related features”
- Και στα χαρακτηριστικά που συσχετίζονται με την κλάση “ Class-related features”.

Τα χαρακτηριστικά αυτά σχετίζονται με ιδιότητες του αντικειμένου όπως είναι η μέση τιμή (mean) ή η τυπική απόκλιση (standard deviation) φωτεινότητας στα διάφορα κανάλια, το σχήμα του αντικειμένου (shape) κτλ., καθώς και με ιδιότητες που συσχετίζουν το αντικείμενο με την κατηγορία των κλάσεων ( που βρίσκονται στο ίδιο ή σε διαφορετικό επίπεδο κατάτμησης), όπως για παράδειγμα το αν το

αντικείμενο αποτελεί ένα σύνολο από άλλα υποαντικείμενα μιας κλάσης (Relations to sub objects → Existence of) κτλ.

Το λογισμικό eCognition 8.7 παρέχει τέσσερις αλγορίθμους ταξινόμησης:

1. Τον αλγόριθμο ταξινόμησης “ Assign Class”, ο οποίος είναι ο πιο απλός αλγόριθμος ταξινόμησης. Χρησιμοποιεί μια τιμή-κατώφλι για να καθορίσει εάν ένα αντικείμενο ανήκει σε μια κλάση ή όχι. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται όταν η χρήση ενός μόνο κατωφλίου είναι αποτελεσματική για την ταξινόμηση.
2. Τον αλγόριθμο “ Classification”, ο οποίος χρησιμοποιεί τις συνθήκες που ορίζουν τις κλάσεις για να ταξινομήσει τα αντικείμενα. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται όταν απαιτείται η χρήση της ασαφούς λογικής στις συναρτήσεις συμμετοχής, ή όταν απαιτείται ο συνδυασμός συνθηκών για τον ορισμό μίας κλάσης.
3. Τον αλγόριθμο “Hierarchical Classification”, ο οποίος χρησιμοποιείται σε εφαρμογές με πολυσύνθετη ιεραρχία κλάσεων, όπου πραγματοποιείται ταξινόμηση αντικειμένων που βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης.
4. Τον αλγόριθμο “ Advanced Classification”, ο οποίος εκτελεί ειδικές εφαρμογές. Ο χρήστης ορίζει τόσο τις ίδιες παραμέτρους με αυτές που πρέπει να ορίσει κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου “ Classification”, όσο και επιπρόσθετες ειδικές παραμέτρους [eCognition Developer 8.7 User’s Guide, 2011].

Στη παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόζεται ο αλγόριθμος “ Hierarchical Classification”, με σκοπό τη δημιουργία και τη χρήση τριών διαφορετικών επιπέδων κατάτμησης.

#### **2.7.6.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων**

Το λογισμικό παρέχει τέσσερις στατιστικούς ελέγχους για την αξιολόγηση της ταξινόμησης : “Classification Stability”, “Best Classification Result”, “Error Matrix based on TTA Mask” και “Error Matrix based on Samples”.

Ο αλγόριθμος “Classification Stability”, εκφράζει την επί της εκατό διαφορά της τιμής συμμετοχής της πρώτης κατηγορίας από τη δεύτερη καλύτερη κλάση στην οποία το αντικείμενο πρέπει να ταξινομηθεί. Στον πίνακα εφαρμογής του αλγορίθμου, εμφανίζονται τα στατιστικά μεγέθη: αριθμός αντικειμένων, μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή, τα οποία αναφέρονται στη σχέση της πρώτης καλύτερης κλάσης από τη δεύτερη καλύτερη κλάση και υπολογίζονται ανά κατηγορία.

Ο αλγόριθμος “Best Classification Result”, εμφανίζει στατιστικά μεγέθη (αριθμός αντικειμένων, μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή), τα οποία και

υπολογίζονται για τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής με τους οποίους ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα στην εκάστοτε κλάση-κατηγορία.

Ο αλγόριθμος “Error Matrix based on TTA Mask”, συγκρίνει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης με τιμές αναφοράς που αναφέρονται σε δεδομένες περιοχές ελέγχου ( τις οποίες ορίζουμε εμείς) και έχουν ως αναφορά τη οντότητα των εικονοστοιχείων (γεωαναφερόμενα εικονοστοιχεία).

Τέλος ο αλγόριθμος “Error Matrix based on Samples” συγκρίνει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης με δείγματα ( και όχι εικονοστοιχεία) που εμείς ορίζουμε [eCognition Developer 8.7 User’s Guide, 2011].

### **3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ**

Ακολουθεί η μεθοδολογία και η εφαρμογή των τεχνικών που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων τους.

#### **3.1 Επιλογή Δεδομένων και Περιοχής Μελέτης**

Οι δύο εικόνες μελέτης Landsat προμηθεύτηκαν από την Επιστημονική Υπηρεσία της Κυβέρνησης των Ηνωμένων Πολιτειών «United States Geological Survey» (USGS). Οι ακριβείς ημερομηνίες καταγραφής των δορυφορικών δεδομένων είναι:

- 1<sup>η</sup> εικόνα : 12 Αυγούστου 2010
- 2<sup>η</sup> εικόνα: 4 Αυγούστου 2013

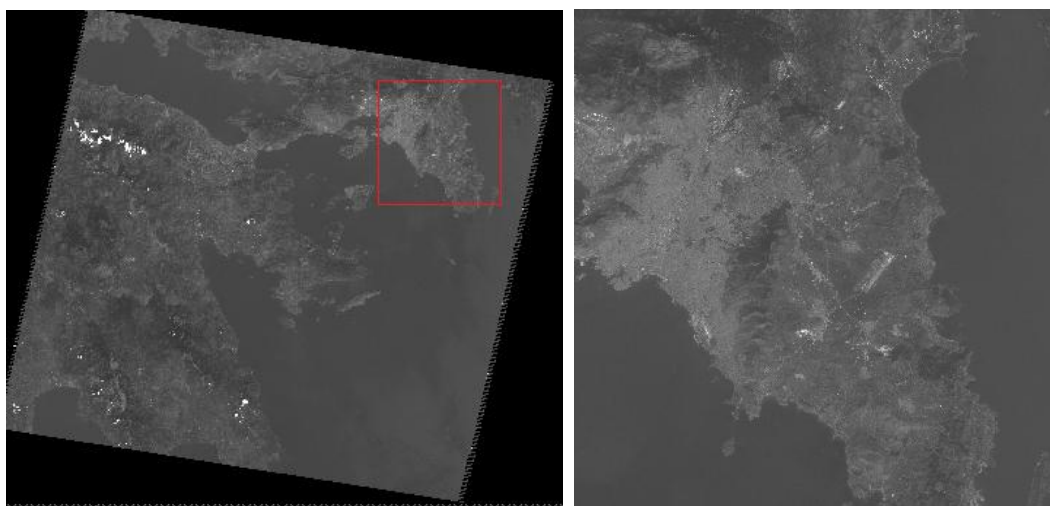
Η επιλογή και η απόκτηση των εικόνων πραγματοποιήθηκε ύστερα από εγγραφή στην υπηρεσία GLOVIS (Global Visualization Viewer) του οργανισμού USGS. Η εικόνα του 2010 προέρχεται από τον Θεματικό Χαρτογράφο Landsat 5 TM ενώ η εικόνα του 2013 από τον Landsat 8 OLI/TIRS.

Και για τις δύο εικόνες οι γήινες συντεταγμένες των αρχικών δεδομένων έχουν προέλθει από το ελλειψοειδές αναφοράς, όπως ορίζεται από το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (WGS84). Στη συνέχεια, οι γήινες συντεταγμένες προβάλλονται σε δύο διαστάσεις σύμφωνα με την Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM) που αναπτύχθηκε από μηχανικούς στο Αμερικανικό Σώμα Στρατού. Η προβολή είναι σύμμορφη και διατηρεί τις γωνίες και τα σχήματα, ενώ παραμορφώνει τις αποστάσεις και τις επιφάνειες.

Επίσης να σημειωθεί ότι οι ημερομηνίες λήψης των εικόνων είναι σε ξηρή περίοδο προκειμένου να μην δημιουργηθούν προβλήματα κατά τη ταξινόμηση και σύγκριση των ταξινομήσεων σχετικά με τη βλάστηση.

Τέλος με τη βοήθεια του λογισμικού ER Mapper πραγματοποιήθηκε η επιλογή της περιοχής μελέτης με περαιτέρω περικοπή των εικόνων από τις αρχικές τους διαστάσεις (Εικόνα 14). Η αρχική έκταση της εικόνας του 2010 είναι 7031 x 7901 pixel, καταλαμβάνει δηλαδή περίπου μια έκταση 49997 km<sup>2</sup>.

Οι διαστάσεις της περιοχής μελέτης της εικόνας είναι 1801 x 1741 pixel, δηλαδή περίπου 2822 km<sup>2</sup> (5,64 % της αρχικής εικόνας). Έχοντας ως εικόνα αναφοράς την εικόνα του 2010, επιλέχθηκε η ίδια περιοχή μελέτης ακριβώς και για τη δεύτερη απεικόνιση.



**Εικόνα 14: Επιλογή Περιοχής Μελέτης.**

## **3.2 Προεπεξεργασία Δεδομένων**

### **3.2.1 Γεωμετρική Διόρθωση**

Σύμφωνα με την υπηρεσία GLOVIS, οι δορυφόροι Landsat 5 και 8 που χρησιμοποιήθηκαν παρέχουν γεωμετρικά διορθωμένες εικόνες από το 1984 με ενιαίο σύστημα συντεταγμένων και συγκεκριμένο προβολικό σύστημα ανά περιοχή. Η υπηρεσία GLOVIS παρέχει και τα μεταδεδομένα κάθε εικόνας ώστε να υπάρχει πλήρης αναφορά της επεξεργασίας που έχει υποστεί μια εικόνα αλλά και γενικά των ιδιοτήτων της. Τα πιο σημαντικά από αυτά συνοψίζονται στους Πίνακες 7 και 8 που ακολουθούν.

Χαρακτηριστικά Δεδομένων	Τιμές χαρακτηριστικών (2010)
Landsat Scene Identifier	LT51830342010224MOR00
Spacecraft Identifier	LANDSAT_5
Sensor Mode	BUMPER
Station Identifier	MOR
Day Night	DAY
WRS Path	183
WRS Row	34
Data Category	NOMINAL
Date Acquired	12-08-10
Data Type Level 1	L1T
Sensor Anomalies	N
Image Quality	7
Cloud Cover	0
Sun Elevation	58.84661562
Sun Azimuth	129.7864867
Corner Upper Left Latitude	38.47758
Corner UpperLeft Longitude	21.78876
Corner Upper Right Latitude	38.42783
Corner Upper Right Longitude	24.50297
Corner Lower Left Latitude	36.57678
Corner Lower Left Longitude	21.76899
Corner Lower Right Latitude	36.53032
Corner Lower Right Longitude	24.41539

**Πίνακας 7: Μεταδεδομένα δορυφορικής απεικόνισης Landsat 5 TM.**

Χαρακτηριστικά Δεδομένων	Τιμές χαρακτηριστικών (2013)
Landsat Scene Identifier	LC81830342013216LGN00
Spacecraft Identifier	LANDSAT_8
Sensor Mode	OLI_TIRS
Station Identifier	LGN
Day Night	DAY
WRS Path	183
WRS Row	34
Date Acquired	04-08-13
Data Type Level 1	L1T
Sensor Anomalies	N
Image Quality OLI	9
Image Quality TIRS	9
Cloud Cover	0.26
Sun Elevation	62.30183238
Sun Azimuth	130.787336
Corner Upper Left Latitude	38.53394
Corner UpperLeft Longitude	21.84789
Corner Upper Right Latitude	38.48583
Corner Upper Right Longitude	24.46108
Corner Lower Left Latitude	36.43578
Corner Lower Left Longitude	21.8245
Corner Lower Right Latitude	36.39116
Corner Lower Right Longitude	24.36582

**Πίνακας 8 : Μεταδεδομένα δορυφορικής απεικόνισης Landsat 8 OLI/TIRS.**

### 3.2.2 Ραδιομετρική διόρθωση

Για τις δορυφορικές απεικονίσεις του Landsat 5 και Landsat 8 σύμφωνα με τους παραπάνω Πίνακες 6 και 7, το χαρακτηριστικό «Data Type Level 1» που αναφέρεται στη ποιότητα των προϊόντων στο επίπεδο 1 και στην επεξεργασία που έχουν υποστεί λαμβάνει την τιμή L1T (Level 1T). Η ένδειξη αυτή σημαίνει πως στα προϊόντα παρέχεται συστηματική και ραδιομετρική ακρίβεια συμπεριλαμβάνοντας σημεία επίγειου ελέγχου και λαμβάνοντας υπόψη για τοπογραφική ακρίβεια, Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας. Η γεωδαιτική ακρίβεια του προϊόντος εξαρτάται από την ακρίβεια των διαθέσιμων επίγειων σημείων ελέγχου και από την ανάλυση του καλύτερου διατιθέμενου Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους που χρησιμοποιήθηκε. Όταν η ποιότητα των εικόνων βαθμολογείται κοντά στο 9 και εμφανίζουν μικρότερο από 40% ποσοστό κάλυψης από σύννεφα, τότε εκτελείται άμεσα η διαδικασία της διόρθωσης, ενώ αν η νεφοκάλυψη είναι μεγαλύτερη τότε τα δεδομένα διατίθενται για επεξεργασία στο GLOVIS ή στον οργανισμό Earth Explorer.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εικόνα του Landsat 8 είχε μια νεφοκάλυψη της τάξης του 0,26% ενώ η εικόνα του Landsat 5 είχε 0%. Και οι δύο εικόνες έχουν υποστεί τη διαδικασία της διόρθωσης ολοκληρωμένα σύμφωνα με την υπόδειξη των μεταδεδομένων. Επιπροσθέτως ως προς τις τυχόν ανωμαλίες στον δέκτη δεν εμφανίστηκαν για καμία από τις δύο εικόνες, ενώ όσον αφορά την ποιότητα απόκτησης των δεδομένων δίνεται ένας μονοψήφιος αριθμός με βάση τόσο τα σφάλματα που προέκυψαν κατά την επεξεργασία των αρχείων καθώς επίσης και σφάλματα που προέκυψαν από χειροκίνητο έλεγχο. Η τιμή 9 αντιστοιχεί σε άριστη ποιότητα με αποτέλεσμα να μην έχουν ανιχνευτεί σφάλματα. Οι τιμές 7-8 αντιστοιχούν σε καλής ποιότητας δεδομένα, όπου εμφανίζονται μικρά έως ασήμαντα λάθη. Τιμές 5-6 σε μέτριας ποιότητας δεδομένα, ενώ οι τιμές 1-2 σε ιδιαίτερα κακής ποιότητας δεδομένα. Η τιμή 0 αντιστοιχεί σε έλλειψη τιμής. Η ποιότητα της εικόνας του 2010 έχει την τιμή 7, ενώ η εικόνα του 2013 αντιστοιχεί στη τιμή 9.

Παρουσιάζεται επίσης το αζιμούθιο για τον ήλιο, όπου και στις δύο εικόνες έχει θετική τιμή, και για το ύψος του ήλιου με τιμές επίσης θετικές υποδεικνύουν την λήψη των εικόνων στη διάρκεια της ημέρας. Τέλος, δίνονται οι τιμές γεωγραφικού πλάτους και μήκους για τις ακραίες τιμές. Παρατηρείται πως όλες οι τιμές είναι θετικές που σημαίνει πως η εικόνα βρίσκεται Βορειοανατολικά σύμφωνα με το Σύστημα Αναφοράς που έχει οριστεί.



## 3.2 Φωτοερμηνεία Περιοχής Μελέτης

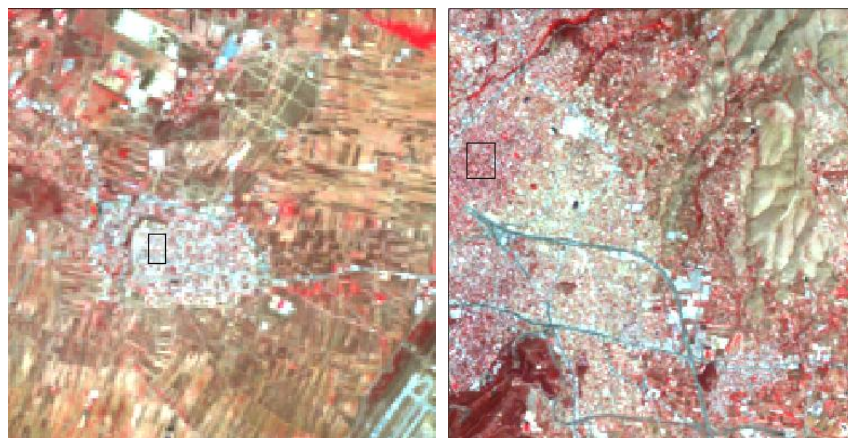
Πριν από οποιαδήποτε εφαρμογή τεχνικής επεξεργασίας απαιτείται η επαρκής γνώση της περιοχής μελέτης. Στόχος λοιπόν του παρόντος εδαφίου είναι η δημιουργία προτύπων φωτοερμηνείας για τις Landsat εικόνες και ο συσχετισμός τους με τις επίσημες κατηγορίες που ορίζονται από το σύστημα χαρτογράφησης CORINE Land Cover. Πιο συγκεκριμένα εντοπίστηκαν μέσω της φωτοερμηνείας των δορυφορικών απεικονίσεων και τη βοήθεια εικόνων μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης από το πρόγραμμα «Google Earth», οι βασικότεροι τύποι χρήσης/κάλυψης γης και έγινε συσχετισμός με την αναλυτικότερη βαθμίδα στην ιεραρχία των κατηγοριών του CORINE. Το συγκεκριμένο σύστημα χαρτογράφησης διαθέτει πρότυπα των κατηγοριών σε εικόνες Landsat και έτσι μπορεί να επιτευχθεί αντιστοίχιση. Σε ορισμένες περιοχές που η χρήση/κάλυψη γης δεν έχει μεταβληθεί έγινε χρήση, για την εξαγωγή των προτύπων, και υπάρχουσα πληροφορία του CORINE 2000 η οποία ήταν διατιθέμενη σε διανυσματική μορφή. Έχοντας προσδιορίσει τα φωτοερμηνευτικά πρότυπα από την εικόνα του 2010, ήταν δυνατό να εφαρμοστούν και στην εικόνα του 2013 για τη λήψη δειγμάτων εκπαίδευσης και ελέγχου.

Στο τρίτο ιεραρχικό επίπεδο των επίσημων κατηγοριών, όπως ορίζονται από το εγχειρίδιο του CORINE Land Cover, εντοπίστηκαν στην εικόνα του 2010 οι εξής θεματικές κατηγορίες.

- ο *Συνεχής και Ασυνεχής Αστικός Ιστός (Κωδικοί 1.1.1 και 1.1.2)*

Στη συνεχή αστική δόμηση, η περισσότερη έκταση καλύπτεται από αστικές δομές και δίκτυα μεταφορών. Πιο συγκεκριμένα, κτίρια, δρόμοι και περιοχές καλυπτόμενες με ανθρωπογενείς κατασκευές αποτελούν περισσότερο από το 80% της συνολικής επιφάνειας. Εξαιρούνται οι μη γραμμικές περιοχές βλάστησης και γυμνού εδάφους. Για να ξεχωρίσει ένας δρόμος ή ένας ποταμός πρέπει να έχει μεγάλο πλάτος, αλλιώς η περιοχή ταξινομείται ως ενιαία μονάδα συνεχούς αστικής δόμησης. Η διάκριση τη συνεχούς αστικής με την ασυνεχή αστική δόμηση είναι σε αρκετές περιπτώσεις δύσκολη, αλλά τα όρια μπορούν να τεθούν από την ύπαρξη και την επιφάνεια της βλάστησης. Στις περιοχές διακεκομμένης αστικής δόμησης τα κτίρια, οι δρόμοι και οι τεχνητές επιφάνειες δεν μπορούν να διαχωριστούν από περιοχές βλάστησης και γυμνού εδάφους, οι οποίες καταλαμβάνουν ασυνεχείς αλλά σημαντικές εκτάσεις επιφάνειας εδάφους. Συνήθως οι ασυνεχείς αστικές περιοχές βρίσκονται στα περίχωρα των αστικών κέντρων, ή αποτελούν τις αστικές περιοχές στις επαρχίες. Η κάλυψη από τεχνητές επιφάνειες για αυτή την κατηγορία κάλυψης γης κυμαίνεται από 50% μέχρι 80% της συνολικής επιφάνειας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παραπάνω κατηγορίες κάλυψης γης για την δορυφορική εικόνα του 2010, από την οποία μπορούσε να γίνει έλεγχος από δορυφορική εικόνα πολύ μεγαλύτερης χωρικής διακριτικής ικανότητας μέσω Google Earth.

Στην Εικόνα 15 για το έγχρωμο σύνθετο 4-3-2, που αναδεικνύει με κόκκινους τόνους τη βλάστηση, διακρίνεται η συνεχής αστική περιοχή με λευκό, ενώ για τη μη συνεχή, η παρουσία του εδάφους αλλά κυρίως της βλάστησης είναι έντονη και έχουν σημειωθεί σε αυτές ενδεικτικές περιοχές.



(α)

(β)

**Εικόνα 15: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) συνεχούς, β) μη συνεχούς αστικής οικοδόμησης.**

- *Βιομηχανικές και εμπορικές μονάδες (κωδικός 1.2.1)*  
Οι τεχνητές αυτές περιοχές αποτελούνται κυρίως από τσιμέντο, άσφαλτο και σταθεροποιημένο έδαφος, δηλαδή γενικότερα από μεγάλα κτήρια, με ή χωρίς ενδείξεις βλάστησης και γυμνού εδάφους ή άλλων κατασκευών που συνήθως γειτνιάζουν σε αυτές, όπως είναι οι χώροι στάθμευσης. Συνήθως η έκτασή τους είναι μεγαλύτερη από 25 εκτάρια. Τέτοιες μονάδες εκτός από τα βιομηχανικά συγκροτήματα, είναι επίσης τα νοσοκομεία, οι στρατιωτικές βάσεις, τα πανεπιστήμια, τα εμπορικά κέντρα και άλλα.
- *Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα (κωδικός 1.2.2)*  
Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται οι αυτοκινητόδρομοι και οι σιδηροδρομικοί άξονες συμπεριλαμβανομένης και της γειτνιάζουσας γης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 16. Το ελάχιστο πλάτος για την ταξινόμησή τους είναι περίπου τα 100 m και επειδή πολλοί άξονες έχουν πλάτος μικρότερο από αυτό, συνήθως στην κατηγορία αυτή υπάγονται ανισόπεδοι κόμβοι με την γειτνιάζουσα υποδομή και βλάστηση καθώς και διάφορου διαλογής περιβάλλοντος χώρου.



(α)

(β)

**Εικόνα 16: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) βιομηχανικών περιοχών και β) κυρίου οδικού δικτύου.**

- *Ζώνες Λιμένων (κωδικός 1.2.3)*  
Σε αυτές περιλαμβάνονται αποβάθρες, ναυπηγεία και μαρίνες (Εικόνα 17α).
- *Αεροδρόμια (κωδικός 1.2.4)*  
Περιλαμβάνει όλες τις εγκαταστάσεις αεροδρομίου, όπως αεροδιάδρομοι, κτήρια όπως γραφεία, σταθμοί επιβίβασης, εργαστήρια, αποθήκες, δεξαμενές αποθήκευσης, χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων και γειτνιάζουσα περιοχή (Εικόνα 17β).



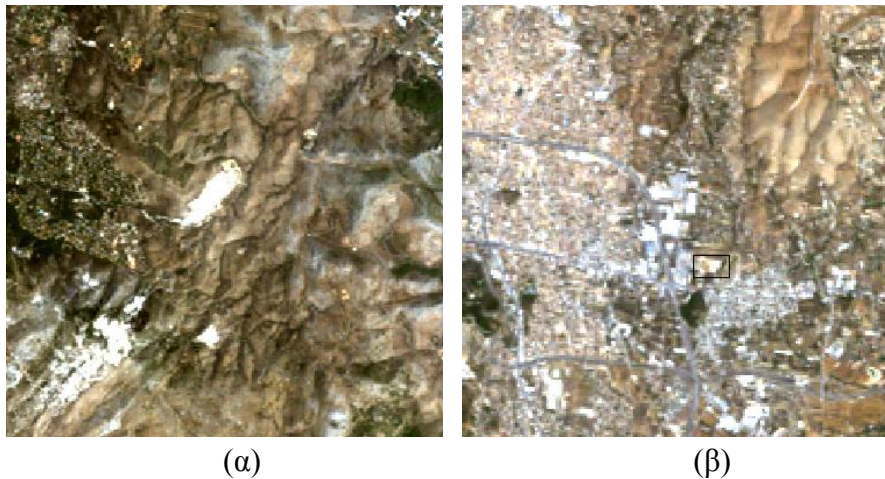
(α)



(β)

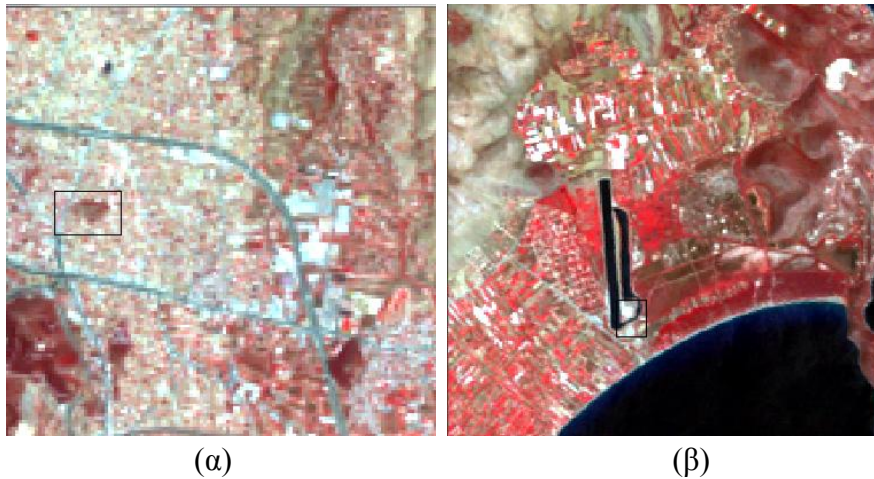
**Εικόνα 17: : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) Λιμένος και β) Αεροδρομίου.**

- *Χώροι εξορύξεως ορυκτών (κωδικός 1.3.1)*  
Πρόκειται για περιοχές υπαίθριας εξορύξης κατασκευαστικών υλικών όπως π.χ λατομεία ή άλλων ορυκτών (ορυχεία ανοιχτού τύπου). Συχνά αναγνωρίζονται ως τα λευκά κομμάτια γης εξαιτίας της αντίθεσής τους με τις γύρω περιοχές (Εικόνα 18α). Το ίδιο ισχύει και για τα τμήματα γης στα οποία εκτελούνται εργασίες. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται και τα σκάμματα.
- *Χώροι οικοδόμησης (κωδικός 1.3.3)*  
Οι περιοχές υπό κατασκευή είναι εκείνες που συμβαίνουν εξορύξεις εδάφους, βραχώδους υποστρώματος ή εκείνες στις οποίες πραγματοποιούνται εργασίες ανέγερσης. Η έκταση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 25 Εκτάρια. Συχνά υπάρχει σύγχυση με τα ορυχεία και την κατηγορία 1.3.1 (Εικόνα 18β).



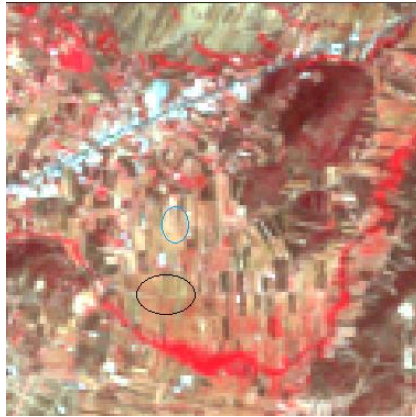
**Εικόνα 18: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) ορυχείων β) χώρων οικοδόμησης.**

- *Περιοχές αστικού πρασίνου (κωδικός 1.4.1)*  
Οι περιοχές αστικού πρασίνου είναι περιοχές βλάστησης εντός συνεχούς δόμησης, όπως παραδείγματος χάριν είναι τα πάρκα, ιδιωτικές περιοχές βλάστησης τα κοιμητήρια με βλάστηση και άλλα που ξεπερνούν τα 25 εκτάρια (Εικόνα 19α).
- *Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής (κωδικός 1.4.2)*  
Πρόκειται για χώρους κατασκίνωσης, αθλητικές εγκαταστάσεις, πάρκα που δεν περιβάλλονται από αστικές περιοχές, γήπεδα γκολφ κ.α (Εικόνα 19β).



**Εικόνα 19 : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) περιοχής αστικού πρασίνου, β) αθλητικών εγκαταστάσεων.**

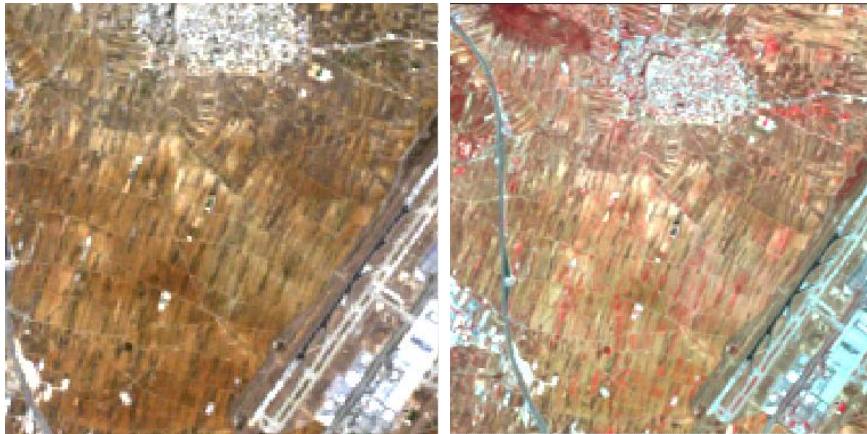
- *Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη ( κωδικός 2.1.1)*  
 Ουσιαστικά σε αυτή την κατηγορία ανήκει η οργωμένη γη χωρίς παραγόμενη κάλυψη από βλάστηση κατά την ημερομηνία λήψης της δορυφορικής εικόνας (Εικόνα 20:μπλέ έλλειψη). Δεν περιλαμβάνει μόνιμους βοσκότοπους. Δύσκολο ο διαχωρισμός από τις κατηγορίες 2.1.2 (μόνιμα αρδευόμενη γη), 2.3.1 (βοσκότοποι), 2.4.1 (ετήσιες καλλιέργειες σε συνδυασμό με μόνιμες καλλιέργειες) και 2.4.4 (γεωργικό-δασικές περιοχές).
  
- *Μόνιμα αρδευόμενη γη ( κωδικός 2.1.2)*  
 Εδώ υπάγονται οι περιοχές καλλιεργειών οι οποίες αρδεύονται μόνιμα ή ανά χρονικές περιόδους, χρησιμοποιώντας μόνιμη υποδομή (κανάλια άρδευσης, δίκτυο παροχής νερού), ενώ δεν υπάγονται οι σποραδικά αρδευόμενες εκτάσεις (Εικόνα 20:μαύρη έλλειψη). Οι περισσότερες από αυτές τις καλλιέργειες δεν μπορούν να καλλιεργηθούν χωρίς τεχνητή υποστήριξη παροχής νερού. Στις δορυφορικές εικόνες που έχουν ληφθεί το καλοκαίρι, είναι πιο εύκολος ο εντοπισμός τους φωτοερμηνευτικά.



**Εικόνα 20 : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα μόνιμα αρδευόμενης γης ( μαύρη έλλειψη) και μη αρδεύσιμης αρόσιμης γης (μπλε έλλειψη).**

ο *Αμπελώνες ( κωδικός 2.2.1)*

Για τις περιοχές με αμπέλια δεν υπάρχει μοναδικό φωτοερμηνευτικό κλειδί. Μια καλή ένδειξη τους είναι το ανάγλυφο και ο προσανατολισμός της κλίσης των πλαγιών. Συνήθως η ύπαρξή τους επιβεβαιώνεται από τοπογραφικούς χάρτες ή από αεροφωτογραφίες μεγάλης κλίμακας. Συχνά συγχέονται με άλλα είδη αρόσιμης γης (Εικόνα 21).

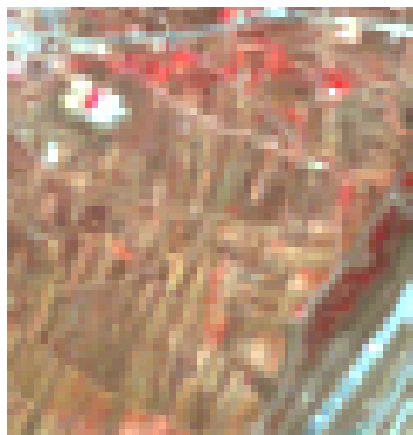


**Εικόνα 21 : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από αμπελώνες και καλλιέργειες.**

ο *Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς ( κωδικός 2.2.2)*

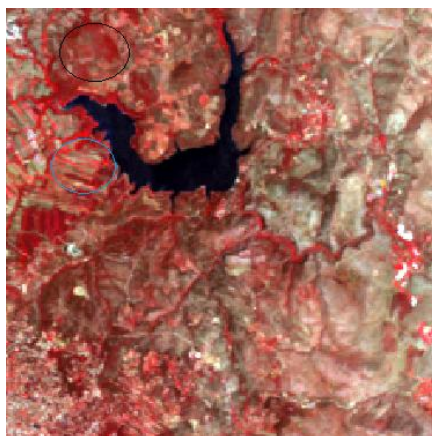
Πρόκειται για αγροτεμάχια στα οποία ευδοκιμούν οπωροφόρα δέντρα (μεμονωμένα ή μικτά είδη) ή ακόμα και θάμνοι που γειτνιάζουν με μόνιμες εκτάσεις μικρής βλάστησης. Εδώ υπάγονται οι καστανιές αλλά και οι καρυδιές. Για να αναγνωριστούν δεν αρκεί μόνο μια δορυφορική εικόνα, αλλά και συμπληρωματικά δεδομένα όπως αεροφωτογραφίες ή και τοπογραφικοί χάρτες.

- *Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες (κωδικός 2.4.1)*  
Μη μόνιμες καλλιέργειες ( αρόσιμη γη ή βοσκότοποι) μαζί με μόνιμες καλλιέργειες στο ίδιο αγροτεμάχιο. Μονάδες γης μικρών γεωτεμαχίων ετήσιων καλλιεργειών, βοσκότοπων και μόνιμων καλλιεργειών πρέπει να υπάγονται στα σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (2.4.2) και όχι σε αυτή τη κατηγορία.
- *Σύνθετες Καλλιέργειες( κωδικός 2.4.2)*  
Παράθεση μικρών γεωτεμαχίων ποικίλων ετήσιων καλλιεργειών, βοσκοτόπων και/ή μόνιμων καλλιεργειών (Εικόνα 22).



**Εικόνα 22 : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από σύνθετα συστήματα καλλιεργειών.**

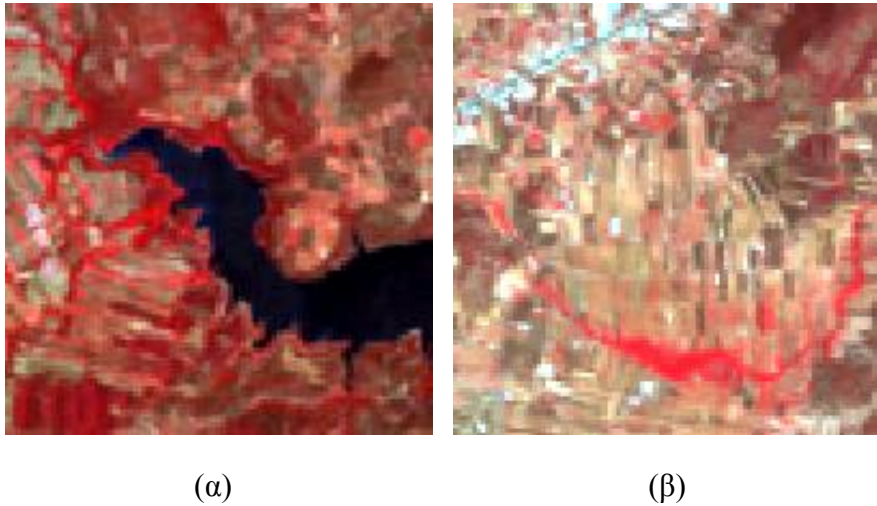
- *Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης ( κωδικός 2.4.3)*  
Πρόκειται για περιοχές με καλλιέργειες αλλά συμπεριλαμβάνουν διάσπαρτες σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 23 με την μαύρη έλλειψη. Στην κατηγορία αυτή δεν υπάρχει ομοιογενής εδαφοκάλυψη για 25 ή και περισσότερα Εκτάρια.



**Εικόνα 23: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα γεωργικής γης που καλύπτεται με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και σύνθετα συστήματα καλλιέργειας.**

○ Δάσος πλατύφυλλων (κωδικός 3.1.1)

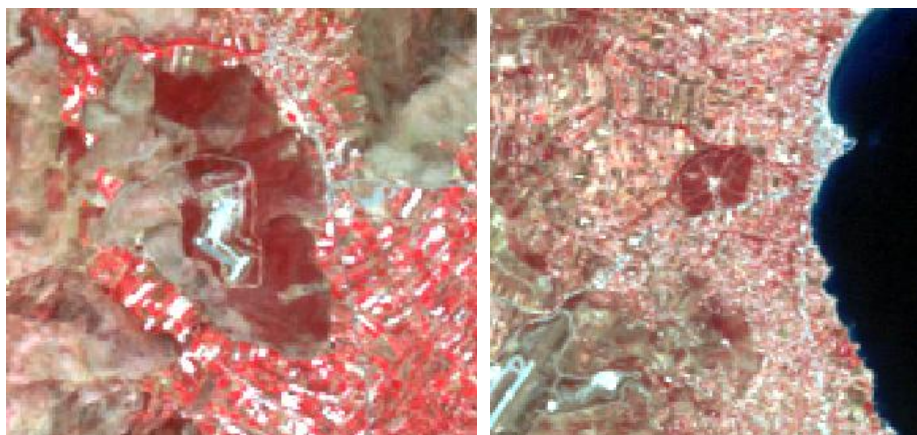
Πρόκειται για βλάστηση αποτελούμενη από δέντρα, συμπεριλαμβάνοντας θάμνους και θαμνώδη υποστρώματα, όπου τα πλατύφυλλα είδη βλάστησης κυριαρχούν. Όταν υπάρχουν σκιές σε δασωμένες κοιλάδες τότε αυτά συχνά συγχέονται με τα δάση κωνοφόρων. Τα πλατύφυλλα δέντρα πρέπει να αντιπροσωπεύουν περισσότερο από τα τρία τέταρτα της μονάδας επιφάνειας σε αυτήν την κατηγορία (Εικόνα 24).



**Εικόνα 24: : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα α) πλατύφυλλης βλάστησης πλησίον λίμνης, β) πλατύφυλλης βλάστησης πλησίον ρεματιάς.**

○ Δάσος κωνοφόρων (κωδικός 3.1.2)

Πρόκειται για βλάστηση αποτελούμενη από δέντρα, συμπεριλαμβάνοντας θάμνους και θαμνώδη υποστρώματα, όπου τα κωνοφόρα είδη κυριαρχούν. Γενικά, στα έγχρωμα σύνθετα, τα δάση κωνοφόρων αναγνωρίζονται από τους πιο σκούρους τόνους σε σχέση με τα δάση πλατύφυλλων (Εικόνα 25).



**Εικόνα 25 : Φωτοερμηνευτικά πρότυπα δάσους κωνοφόρων ( λιγότερο έντονο κόκκινο στο έγχρωμο σύνθετο 432).**

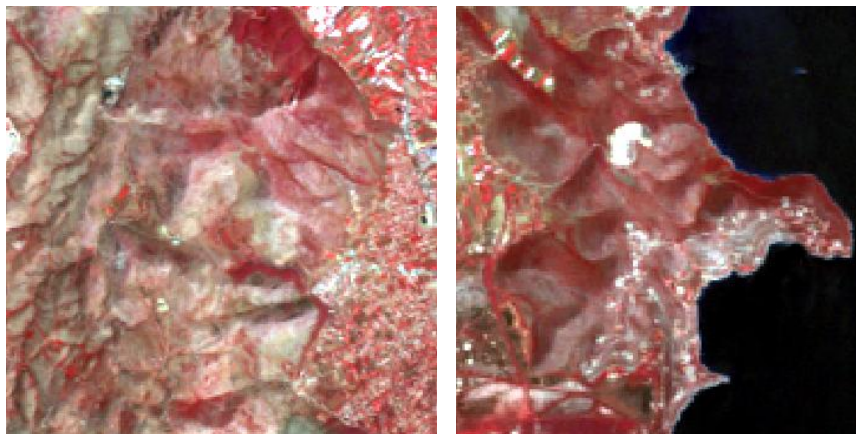


- *Μικτό δάσος (κωδικός 3.1.3)*  
 Πρόκειται για βλάστηση αποτελούμενη από δέντρα, συμπεριλαμβάνοντας θάμνους και θαμνώδη υποστρώματα, όπου εμφανίζονται τόσο κωνοφόρα δέντρα όσο και πλατύφυλλα. Επίσης μπορεί να συμπεριλαμβάνονται και άλλα είδη δέντρων. Προϋπόθεση εδώ είναι η ανομοιομορφία της βλάστησης να υπάρχει σε περισσότερο από 25 εκτάρια. Λόγω διαφορετικών φασματικών υπογραφών σε αυτή τη κατηγορία είναι δύσκολος ο εντοπισμός της.
  
- *Φυσιικοί βοσκότοποι (κωδικός 3.2.1)*  
 Πρόκειται για λιβάδια με χαμηλή παραγωγικότητα. Συχνά βρίσκονται σε ανώμαλες επιφάνειες και πολλές φορές περιλαμβάνουν και βραχώδης εκτάσεις γης. Βρίσκονται ως επί το πλείστον κοντά σε περιοχές έντονης γεωργικής δραστηριότητας. Οι αεροφωτογραφίες βοηθούν στην διάκρισή τους από τις αμιγώς βραχώδης εκτάσεις 3.3.2 (γυμνοί βράχοι) και 3.2.2 (θάμνοι και χερσότοποι). Χαρακτηριστικό είναι επίσης το γνώρισμα ότι δεν υπάρχουν όρια γεωτεμαχίων και γενικά υπάρχει μεγάλο εύρος τόνων ανακλαστικότητας ανάλογα με τη βλάστηση.
  
- *Θάμνοι και χερσότοποι (κωδικός 3.2.2)*  
 Χαμηλή βλάστηση, στην οποία επικρατούν θάμνοι, ακανθώδεις θάμνοι, ποώδη φυτά. Είναι, σε πολλές περιπτώσεις το αποτέλεσμα υποβάθμισης ενός δάσους αποτελούμενο πλέον από ακανθώδεις θάμνους ή από άλλου είδους χαμηλής εδαφοκάλυψης, Υπάρχει κίνδυνος σύγχυσης με τα δάση κωνοφόρων.
  
- *Σκληροφυλλική βλάστηση (κωδικός 3.2.3)*  
 Πρόκειται για θαμνώδη βλάστηση που συμπεριλαμβάνει δύο είδη (Εικόνα 26). Το πρώτο είδος εμφανίζεται ως πυκνή βλάστηση και αποτελείται από πολλούς θάμνους και καλύπτει πυριτικά πετρώματα της Μεσογείου. Μερικά είδη είναι βελανιδιές, αγριελιές, κουμαριές, κέδροι και χαμηλά ρείκια. Το δεύτερο είδος εδαφοκάλυψης αποτελείται από πιο αραιούς θάμνους και εμφανίζεται κυρίως σε ασβεστολιθικά οροπέδια. Εδώ ανήκει το πουρνάρι, η δρυς, η λεβάντα, το θυμάρι, ενώ μπορεί να εμφανίζονται και μεμονωμένα δέντρα. Ενδείκνυται η χρήση αεροφωτογραφιών και δασικών χαρτών για να γίνει η διάκρισή τους από τα δάση της Μεσογείου. Επίσης χρήσιμος είναι ο δείκτης βλάστησης.



**Εικόνα 26: Φωτοερμηνευτικά πρότυπα σκληροφυλλικής βλάστησης ( λιγότερο έντονο στο έγχρωμο σύνθετο 432).**

- ο *Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις ( κωδικός 3.2.4)*  
 Πρόκειται για θαμνώδη και ποώδη βλάστηση με διάσπαρτα δέντρα (Εικόνα 27). Μπορεί να αντιπροσωπεύει την υποβάθμιση ενός δασικού οικοσυστήματος ή την αναγέννηση ενός δάσους. Οι μεταβατικές εκτάσεις εμφανίζονται σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει περιοχές που υπόκεινται σε διάβρωση ή όταν τα φυτά έχουν κάποια ασθένεια. Σε άλλες περιπτώσεις περιλαμβάνει περιοχές που αναδασώνονται. Αν η αναδάσωση είναι φυσική αυτό σημαίνει ότι θα υπαχθούν στις δυο προηγούμενες κατηγορίες. Επειδή η ανίχνευση τους στις δορυφορικές εικόνες είναι δύσκολη, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και περιβάλλοντας χώρος ( περιοχές διάβρωσης, απόκρημνες πλαγιές, αγρανάπαυση).



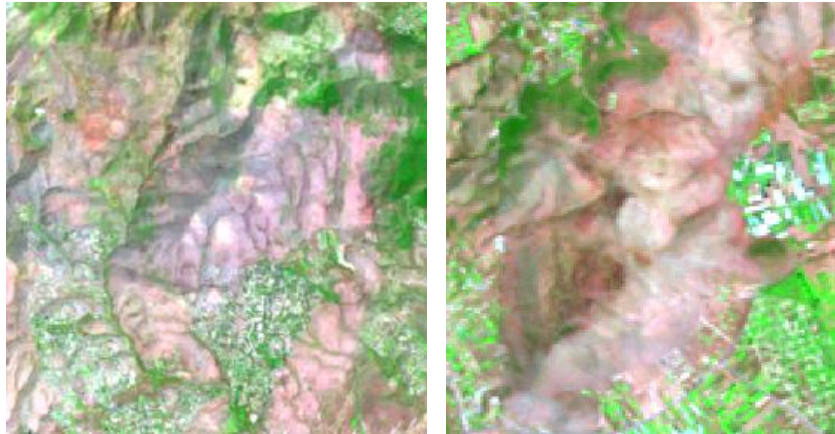
**Εικόνα 27 :Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις.**

- *Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές ( κωδικός 3.3.1)*  
 Πρόκειται για παραλίες, αμμόλοφους και εκτάσεις με άμμο ή με βότσαλα σε παράκτιες ή ηπειρωτικές τοποθεσίες. Οι παραλίες, δηλαδή οι ακτογραμμές πρέπει να είναι τουλάχιστον 100 m για να συμπεριληφθούν. Οι παραλίες που βρίσκονται μπροστά από αστικές παράκτιες περιοχές πρέπει να διαχωρίζονται από τις τεχνητές επιφάνειες. Εδώ επίσης περιλαμβάνονται τα βρύα και οι λειχήνες (Εικόνα 28).



**Εικόνα 28 : Φωτοερμηνευτικό πρότυπο παραλίας.**

- *Απογυμνωμένοι βράχοι ( κωδικός 3.3.2)*  
 Εδώ υπάγονται βράχοι σε λόφους, βράχια, πέτρινοι σχηματισμοί, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που έχουν προέλθει από διάβρωση και ύφαλοι που βρίσκεται πάνω από το ανώτερης στάθμης της θάλασσας. Για τη φωτοερμηνεία τους ενδείκνυται η χρήση συμπληρωματικών δεδομένων, όπως είναι οι τοπογραφικοί χάρτες όπου τέτοιες περιοχές έχουν διαφορετική απόχρωση. Ένα ακόμα βοηθητικό στοιχείο είναι οι ισοϋψείς.
- *Εκτάσεις με αραιή βλάστηση ( κωδικός 3.3.3)*  
 Περιλαμβάνει περιοχές βλάστησης όπως η στέπα και η τούνδρα. Εδώ ανήκει και η διασπαρμένη σε μεγάλο υψόμετρο βλάστηση. Η αραιή βλάστηση οφείλεται στην διάβρωση ή στην υποχώρηση του πάγου ( στέπα). Και εδώ χρειάζονται επιπρόσθετα δεδομένα για τη φωτοερμηνεία.
- *Αποτεφρωμένες εκτάσεις ( κωδικός 3.3.4)*  
 Περιοχές που επλήγησαν από τις πρόσφατες πυρκαγιές και εμφανίζονται μαύρες σε έγχρωμο σύνθετο 3-2-1 και μωβ στο 7-4-3, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 29.



**Εικόνα 29 :Φωτοερμηνευτικά πρότυπα από απογυμνωμένους βράχους λόγω πυρκαγιάς (αποτεφρωμένες εκτάσεις).**

- *Επιφάνειες στάσιμου ύδατος ( κωδικός 5.1.2)*  
Περιλαμβάνει φυσικές ή τεχνητές εκτάσεις νερού. Τόσο τα χερσαία όσο και τα θαλάσσια ύδατα ξεχωρίζονται μόνο όταν καλύπτουν μια έκταση άνω των 25 εκταρίων (Εικόνα 30α).
- *Θάλασσες και ωκεανοί ( κωδικός 5.2.3)*  
Πρόκειται για θαλάσσιες ζώνες του χαμηλότερου ορίου παλίρροιας (Εικόνα 31). Επειδή ακριβώς εξαρτάται από την παλίρροια, πρέπει να γίνει έλεγχος σε σχέση με τη μηδενική ισοϋψή ενός τοπογραφικού χάρτη.



**α)**

**β)**

**Εικόνα 30: Φωτοερμηνευτικό πρότυπο α) λίμνης και β) θάλασσας.**

Αναφέρεται ότι παρά τα τόσα είδη βλάστησης που εντοπίστηκαν, ο φασματικός διαχωρισμός τους είναι αδύνατος. Συνεπώς, οι τελικές κατηγορίες ταξινόμησης βλάστησης είναι μόνο μερικές από τις παραπάνω και συγκεκριμένα εκείνες που εμφανίζονταν σε μεγαλύτερη έκταση στην εικόνα. Φυσικά ο φασματικός διαχωρισμός ελέγχθηκε και με τη βοήθεια του λογισμικού ER Mapper μέσω ελλείψεων.

### 3.3 Υλοποίηση Ταξινόμσεων με Βασική Μονάδα Χωρικής Ανάλυσης το Εικονοστοιχείο

Στο εδάφιο αυτό πραγματοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση των απεικονίσεων του Landsat 5 και Landsat 8, τόσο με τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης όσο και με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας, όπου μετέπειτα αξιολογήθηκαν και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματά τους. Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε συγχώνευση του παγχρωματικού καναλιού στα πολυφασματικά κανάλια της δορυφορικής απεικόνισης του Landsat 8 και ταξινομήθηκε εκ νέου η εικόνα και με τις δύο μεθόδους, προκειμένου να ελεγχθεί η πιθανή βελτίωση του αποτελέσματος. Τέλος αξιοποιήθηκε και η μέθοδος αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας στην συγχωνευμένη πλέον απεικόνιση του Landsat 8.

#### 3.3.1 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του Landsat 5 TM

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο (Εδάφιο 4.1) στην περιοχή μελέτης υπάρχουν αρκετές κατηγορίες κάλυψης γης σύμφωνα με το Corine Land Cover. Από αυτές τις κατηγορίες, υπάρχουν ορισμένες που καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό την περιοχή μελέτης και ορισμένες άλλες, που απλά αντιστοιχούν σε κάποια μικρή έκταση της περιοχής. Μεταξύ αυτών επιλέχθηκαν εκείνες που αφενός καλύπτουν σε σημαντικό βαθμό την υπό μελέτη περιοχή αλλά ακόμα παρουσιάζουν κατά το δυνατό μεγαλύτερη φασματική διαφοροποίηση. Στην Εικόνα 32 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι θεματικές τάξεις που επιλέχθηκαν με την αντίστοιχη χρωματική παλέτα.

1	mines2	64,0,128	Set color...	13	water_bodies	0,128,128	Set color...
2	mines	64,0,128	Set color...	14	sea	navy	Set color...
3	urban_disc_2	255,128,192	Set color...	15	mi_ardeusimi_arosimi_gi	255,255,102	Set color...
4	rock_outcrops	128,128,128	Set color...	16	vineyards	255,128,0	Set color...
5	wetland	0,255,64	Set color...	17	sparsely_vegetated_area	183,255,183	Set color...
6	industrial_units_2	197,138,255	Set color...	18	bare_soil	183,255,183	Set color...
7	trees	0,128,64	Set color...	19	industrial_units	197,138,255	Set color...
8	perix_aerodromiou_2	128,255,0	Set color...	20	sclerophyllus_vegetation	165,255,74	Set color...
9	highway	128,0,0	Set color...	21	coniferous_forest	0,64,0	Set color...
10	urban_disc_1	255,43,43	Set color...	22	broadleaved_forest	green	Set color...
11	urban_con	red	Set color...	23	dense_vegetation	72,255,72	Set color...
12	mixed_forest	0,128,0	Set color...	24	sea_shallow	cyan	Set color...

Εικόνα 31 : Θεματικές κατηγορίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του Landsat 5TM και η αντίστοιχη χρωματική παλέτα.

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια αντιστοίχισης των παραπάνω κατηγοριών με αυτών του υπομνήματος του συστήματος χαρτογράφησης Corine Land Cover. Στον Πίνακα 9 παρουσιάζεται η καλύτερη δυνατή αντιστοίχιση των φασματικών και θεματικών κατηγοριών με τις θεματικές κατηγορίες του CORINE. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο πιο πρόσφατος διατιθέμενος χάρτης CORINE χρονολογείται το 2000, επομένως είναι παρακινδυνευμένη η ακριβής αντιστοίχιση των κατηγοριών που υπάρχουν στο χάρτη στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με το σύστημα αυτό και των πραγματικών κατηγοριών που εμφανίζονται το 2010.

<b>Class</b>	<b>Name</b>	<b>Corine (nomenclature Level 3)</b>	
<b>1</b>	mines2	<b>2.2.1</b>	Mineral Extraction Sites
<b>2</b>	mines	<b>2.2.1</b>	Mineral Extraction Sites
<b>3</b>	urban_disc_2	<b>5.2.3</b>	Discontinuous Urban Fabric
<b>4</b>	rock_outcrops	<b>3.3.3</b> <b>3.3.2</b>	Sparsely Vegetated Areas Bare Rock
<b>5</b>	wetland	<b>4.1.1</b>	Inland Marshes
<b>6</b>	industrial_units_2	<b>1.2.1</b>	Industrial or Commercial Units
<b>7</b>	trees	<b>3.3.3</b>	Fruit Tree & Berry Plantations
<b>8</b>	perix_aerodromiou_2	<b>3.3.4</b>	Burnt Areas
<b>9</b>	highway	<b>1.2.2</b>	Road and Rail Networks and Associated land
<b>10</b>	urban_disc_1	<b>5.2.3</b>	Discontinuous Urban Fabric
<b>11</b>	urban_con	<b>5.1.2</b>	Continuous Urban Fabric
<b>12</b>	mixed_forest	<b>3.1.2</b>	Mixed Forest
<b>13</b>	water_bodies	<b>1.2.1</b>	Water Bodies
<b>14</b>	sea	<b>1.1.1</b>	Seas and Oceans
<b>15</b>	mi_ardeusimi_arosimi_gi	<b>2.1.1</b>	Non-irrigated Arable Land
<b>16</b>	vineyards	<b>2.2.1</b>	Vineyards
<b>17</b>	sparsely_vegetated_area	<b>3.3.3</b>	Sparsely Vegetated Areas
<b>18</b>	bare_soil	<b>3.3.3</b> <b>2.4.2</b> <b>3.3.4</b>	Sparsely Vegetated Areas Complex Cultivation Patterns Burnt Areas
<b>19</b>	industrial_units	<b>1.2.1</b>	Industrial or Commercial Units
<b>20</b>	sclerophyllus_vegetation	<b>3.2.3</b>	Sclerophyllus Vegetation
<b>21</b>	coniferous_forest	<b>3.1.2</b>	Coniferous Forest
<b>22</b>	broadleaved_forest	<b>3.1.1</b>	Broad-leaved Forest
<b>23</b>	dense_vegetation	<b>3.1.1</b>	Broad-leaved Forest
<b>24</b>	sea_shallow	<b>5.2.3</b>	Seas and Oceans

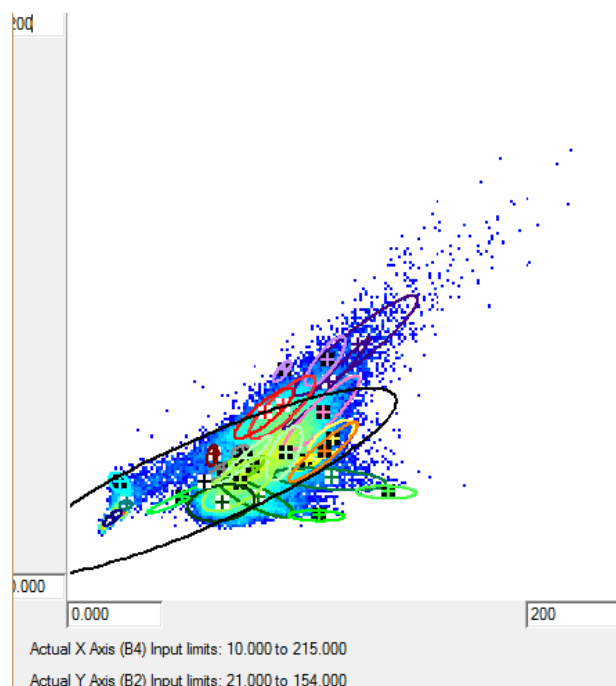
**Πίνακας 9 : Θεματικές κατηγορίες επιβλεπόμενης ταξινόμησης εικόνας 2010 και η αντιστοίχσή τους με τις θεματικές κατηγορίες του CORINE Land Cover.**

Στην Εικόνα 33 που ακολουθεί εμφανίζονται τα πολύγωνα εκπαίδευσης για τη δορυφορική απεικόνιση του 2010.



**Εικόνα 32: Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών δορυφορικής απεικόνισης 2010.**

Για τις παραπάνω κατηγορίες δημιουργήθηκε το δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων, όπου για τη βέλτιστη διάκρισή τους χρησιμοποιήθηκε στον άξονα X το κανάλι 4 και στον άξονα Y το κανάλι 2, όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.



**Γράφημα 4 : Δισδιάστατο ιστόγραμμα φασματικών προτύπων των 24 κατηγοριών.**

Στο παραπάνω Γράφημα 4 αναπαρίστανται οι ελλείψεις και για τις 24 κατηγορίες. Το χρώμα που αντιστοιχεί σε κάθε έλλειψη, και συνεπώς σε κάθε κατηγορία, είναι το ίδιο όπως απεικονίζεται στη χρωματική παλέτα της Εικόνας 31. Οι τρεις αριστερά ελλείψεις εκπροσωπούν τις φασματικές υπογραφές των υδάτων, εκ των οποίων οι δύο αφορούν τη θάλασσα και η μία συλλογές υδάτων (π.χ λίμνη, κωπηλατοδρόμιο). Οι ελλείψεις της θάλασσας με την αντίστοιχη των υδάτινων συλλογών παρουσιάζουν μια ελάχιστη επικάλυψη μεταξύ τους και καμία επικάλυψη με τις υπόλοιπες κατηγορίες.

Ύστερα παρατηρείται ότι οι ελλείψεις που αφορούν τη βλάστηση παρουσιάζουν επικάλυψη μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα η «σκληροφυλλική βλάστηση» (πράσινη έλλειψη) επικαλύπτεται με το φασματικό πρότυπο της κατηγορίας «sparsely vegetated area», γεγονός αναμενόμενο εξαιτίας της αραιής βλάστησης που εμπεριέχεται και στις δύο κατηγορίες. Από την άλλη πλευρά η κατηγορία των «αμπελιών» (πορτοκαλί έλλειψη) παρουσιάζει επικάλυψη με την κατηγορία της «αρόσιμης γης». Εξαιτίας της εποχής που έχει αποκτηθεί η δορυφορική εικόνα (Αύγουστος), τα αμπέλια βρίσκονται στη φάση του τρύγου και παρουσιάζουν παρόμοια φασματική απόκριση με αυτή της αρόσιμης γης.

Οι φασματικές υπογραφές της κατηγορίας «ορυχεία» (μοβ έλλειψη) εμφανίζουν επικάλυψη με την κατηγορία της «αστικής οικοδόμησης» (κόκκινη έλλειψη) αλλά και με το «ασβεστολιθικό έδαφος» (γκρι έλλειψη) της περιοχής της Πεντέλης. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της υψηλής ανακλαστικότητας τόσο των ορυχείων και του ασβεστολιθικού εδάφους όσο και ορισμένων οικοδομημάτων. Η μη συνεχής αστική δόμηση παρουσιάζει μέτρια επικάλυψη με την συνεχή, αλλά σημαντική επικάλυψη με τη σκληροφυλλική βλάστηση και αυτό διότι σε οποιοδήποτε πολύγωνο διακεκομμένης αστικής δόμησης εικόνας Landsat είναι δύσκολο να μην εμπεριέχεται αραιή βλάστηση.

Ύστερα παρατηρείται ότι το φασματικό πρότυπο του γυμνού εδάφους συγχέεται με την διακεκομμένη αστική δόμηση και ελαφρώς με τη σκληροφυλλική βλάστηση, ενώ το ασβεστολιθικό έδαφος και τα ορυχεία έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές με τη συνεχή αστική και διακεκομμένη δόμηση. Στις κατηγορίες αυτές η ταξινόμηση προβλέπεται να έχει πρόβλημα.

Τα φασματικά πρότυπα των κωνοφόρων, των πλατύφυλλων δασών και του μικτού δάσους δεν παρουσιάζουν κάποια συσχέτιση τόσο μεταξύ τους όσο και με τις υπόλοιπες κατηγορίες. Η μαύρη έλλειψη αποτελεί απεικόνιση της μεταβλητότητας που αντιστοιχεί σε όλα τα δείγματα.

Ο πλήρης διαχωρισμός των ελλείψεων μπορεί να επιτευχθεί μόνο με απόρριψη αρκετών ακόμα κατηγοριών, όμως προτιμάται η μη απόρριψή τους.



Για τον προσδιορισμό των φασματικών υπογραφών κάθε θεματικής τάξης, που χρειάζονται για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης, είναι αναγκαίο να υπολογιστούν τα στατιστικά στοιχεία ( μέση τιμή, ελάχιστη και μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, πίνακας συμμεταβλητότητας) των περιοχών εκπαίδευσης, και κατ'επέκταση των κατηγοριών στις οποίες αυτές αντιστοιχούν, σε κάθε φασματικό κανάλι. Η μέση τιμή μιας κατηγορίας εκφράζει το μέσο όρο της ψηφιακής τιμής για το κάθε κανάλι και η τυπική απόκλιση αποτελεί το εύρος των ψηφιακών τιμών της κάθε κατηγορίας στο κανάλι που αντιστοιχεί.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι Πίνακες 10 και 11, που περιλαμβάνουν τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση κάθε κατηγορίας σε κάθε φασματικό κανάλι. Παρατηρώντας τους προσεκτικά προκύπτει ότι σχεδόν σε όλα τα κανάλια υπάρχουν μικρές ή μεγάλες επικαλύψεις μεταξύ των χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν. Το γεγονός αυτό καθιστά αρκετά δύσκολο ή και αδύνατο τον απόλυτο διαχωρισμό των θεματικών κατηγοριών που έχουν επιλεγεί για την ταξινόμηση και με τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται πως ο αλγόριθμος της ταξινόμησης που θα επιλεγεί θα καθορίσει την ποιότητα του αποτελέσματος της ταξινόμησης.

Name		BAND1	BAND2	BAND3	BAND4	BAND5	BAND6	BAND7
bare_soil	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	1,170						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	92,769	47,385	59,077	64,231	130,692	167,769	78,846
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	5,535	3,247	4,548	3,806	8,259	1,476	4,111
industrial_units	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	1,170						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	147,692	78,000	95,077	78,077	128,692	163,538	100,308
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2,812	1,414	1,730	1,269	2,945	0,634	2,366
sclerophyllus_vegetation	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	11,160						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	83,210	38,927	41,944	62,097	91,637	156,282	43,629
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	5,248	3,755	5,669	5,330	13,102	5,266	7,577
coniferous_forest	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	27,990						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	71,849	32,566	30,010	55,621	53,913	153,341	22,312
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	5,485	2,575	4,253	4,994	15,394	5,295	7,786
broadleaved_forest	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	5,670						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	62,937	28,095	23,175	90,667	56,698	147,857	17,968
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	1,220	0,728	1,047	4,090	2,688	1,220	1,790
dense_vegetation	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	1,620						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	76,778	36,222	31,944	116,167	71,667	151,167	25,222
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	1,397	0,853	1,433	4,362	6,101	1,772	2,485
sea_shallow	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	4,680						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	90,500	39,462	31,288	18,212	17,673	141,865	10,769
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2,005	1,393	2,051	1,498	1,929	1,687	1,660

**Πίνακας 10 : Κύρια στατιστικά στοιχεία δεδομένων εκπαίδευσης της απεικόνισης του 2010 ( I )**

Name		BAND1	BAND2	BAND3	BAND4	BAND5	BAND6	BAND7
mines2	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	0,810						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	148,667	86,889	110,778	104,889	160,333	146,111	78,333
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	8,857	6,641	8,052	8,749	18,080	1,286	9,534
mines	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	0,630						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	130,857	73,857	98,857	94,286	161,000	163,571	90,429
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	7,080	6,010	8,043	6,088	13,363	0,904	8,633
urban_disc_2	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	1,080						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	117,833	63,520	79,083	92,333	132,667	157,750	74,583
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	7,163	5,150	7,610	5,513	12,113	0,595	6,551
rock_outcrops	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	4,500						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	87,680	44,040	54,000	56,200	80,200	159,240	44,740
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	1,954	1,455	1,949	2,349	3,600	2,329	1,809
wetland	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	2,520						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	79,643	34,250	36,500	40,786	44,000	148,607	20,964
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2,635	2,115	3,322	4,872	12,166	0,724	5,803
industrial_units_2	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	3,060						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	142,647	81,441	106,441	93,941	158,265	161,294	105,853
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4,283	3,466	4,828	2,950	6,541	1,099	5,852
trees	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	1,080						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	82,667	40,750	42,083	95,417	88,333	159,417	38,083
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2,494	1,479	3,499	8,139	8,350	0,493	5,664
perix_aerodromiou_2	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	1,440						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	93,563	46,188	57,813	61,875	146,063	171,688	71,438
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	1,540	0,634	1,285	1,364	3,544	0,845	2,263
highway	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	0,990						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	101,091	48,818	58,091	52,364	78,091	168,273	47,091
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2,065	1,336	1,443	0,771	1,564	0,962	1,379
urban_disc_1	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	2,340						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	125,423	65,615	79,308	78,000	113,846	160,654	66,000
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	6,350	4,368	6,497	4,867	6,455	0,476	3,552
urban_con	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	2,790						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	123,226	63,516	78,710	71,290	107,323	156,903	62,806
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4,716	3,500	4,780	4,371	7,022	0,734	5,121
mixed_forest	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	7,920						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	72,716	34,307	35,795	68,500	79,477	156,727	37,239
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4,568	2,728	5,845	5,508	14,188	1,063	10,957
water_bodies	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	3,060						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	76,735	31,676	26,529	20,588	19,500	145,088	11,529
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	1,038	0,629	1,736	0,911	2,226	3,407	1,289
sea	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	23,400						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	77,788	27,354	22,938	15,712	15,173	139,546	9,462
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	1,402	1,037	1,416	1,318	2,950	0,776	2,014
mi_ardeusimi_arosimi_gi	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	2,160						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	94,042	54,292	77,333	95,875	161,250	167,167	91,125
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	3,611	2,653	2,577	3,333	4,196	1,027	2,713
vineyard	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	2,880						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	90,719	50,125	67,375	93,094	141,469	167,188	76,313
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4,875	4,151	5,973	5,040	8,378	0,808	5,779
sparsely_vegetated_area	ΕΜΒΑΔΟΝ [Ha]	4,680						
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	95,577	49,692	62,327	78,769	144,615	165,942	73,615
	ΤΥΠ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	7,984	3,775	5,896	2,665	8,977	3,682	7,093

**Πίνακας 11 : Κύρια στατιστικά στοιχεία δεδομένων εκπαίδευσης της αλεικόνισης του 2010 ( II )**

Τόσο από τις ελλείψεις όσο και από τα στατιστικά στοιχεία των παραπάνω Πινάκων 10 και 11, ο διαχωρισμός των περισσότερων κατηγοριών είναι ικανοποιητικός. Η συλλογή των δεδομένων εκπαίδευσης πραγματοποιήθηκε με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να δίνουν αντιπροσωπευτικά και πλήρη στατιστικά στοιχεία ταξινόμησης των εικονοστοιχείων.

Για τα δεδομένα εκπαίδευσης της δορυφορικής απεικόνισης υπήρξε το πλεονέκτημα σύγκρισης της εικόνας και της υπο-έλεγχου κατηγορίας, με τη δορυφορική εικόνα μεγαλύτερης χωρικής διακριτικής ικανότητας (IKONOS) του προγράμματος “Google Earth”. Με αυτόν τον τρόπο ήταν δυνατό να γίνουν αντιληπτές λανθασμένες επιλογές δειγμάτων εκπαίδευσης.

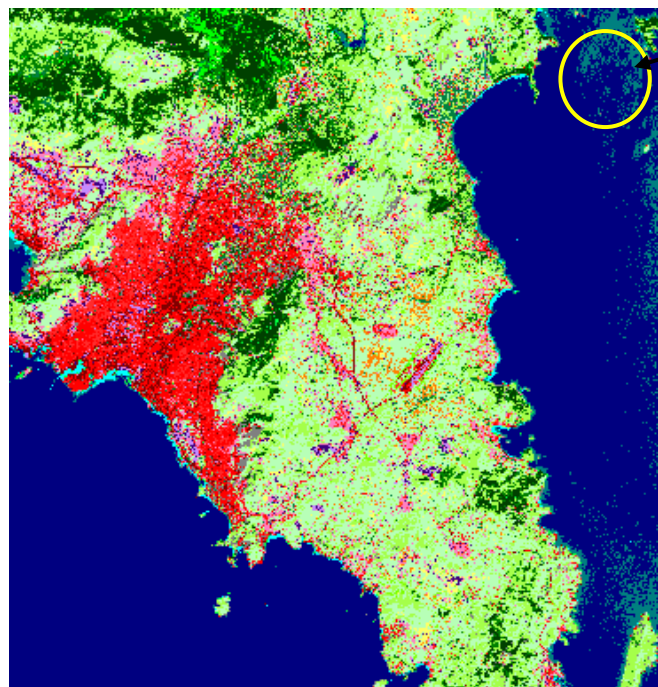
Επισημαίνεται ότι τα δεδομένα εκπαίδευσης, όπως και τα δεδομένα ελέγχου στο ER Mapper είναι πολύγωνα εκπαίδευσης. Ο εντοπισμός των πολυγώνων εκπαίδευσης έγινε έτσι ώστε να αποφεύγονται τα εικονοστοιχεία εκείνα τα οποία βρίσκονται στα όρια μεταξύ των θεματικών κατηγοριών. Υπενθυμίζεται πως οι τιμές των εικονοστοιχείων σχηματίζουν το δείγμα που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των στατιστικών περιγραφών της κάθε περιοχής εκπαίδευσης, δηλαδή του μέσου διανύσματος και του πίνακα συμμεταβλητότητας όταν ο αλγόριθμος που έχει επιλεγεί είναι εκείνος της μέγιστης πιθανοφάνειας [Αργιαλάς,1999].

Επίσης, το επαρκές μέγεθος δείγματος των δεδομένων εκπαίδευσης, καθιστά δυνατό τον ακριβή προσδιορισμό των φασματικών παραμέτρων και βοηθά ώστε να αναπαρασταθεί η ολική φασματική μεταβλητότητα μιας εικόνας. Από την άλλη πλευρά όμως ο υπερβολικός αριθμός υποκατηγοριών εμπεριέχει επικαλύψεις φασματικών υπογραφών ( επικαλυπτόμενες ελλείψεις στο διδιάστατο φασματικό χώρο προτύπων). Συνεπώς, το αποτέλεσμα σε περίπτωση ορισμού πολλών και σε μεγάλο βαθμό επικαλυπτόμενων κατηγοριών αντί να βελτιώνονται, χειροτερεύει. Άρα τα δεδομένα εκπαίδευσης συνίσταται να επαναπροσδιορίζονται μέχρι να επιτευχθεί ικανοποιητική φασματική διαχωρισιμότητα. Φυσικά στον προσδιορισμό των τελικών βέλτιστων δεδομένων εκπαίδευσης συνέβαλλε η γραφική απεικόνιση των προτύπων φασματικής απόκρισης, δηλαδή των ελλείψεων στα διαγράμματα της φασματικής επικάλυψης.

Ύστερα ακολούθησε η εφαρμογή δύο αλγορίθμων ταξινόμησης, της ελάχιστης απόστασης και της μέγιστης πιθανοφάνειας. Η βασική διαφοροποίησή τους είναι πως ο πρώτος αλγόριθμος ταξινομεί λαμβάνοντας υπόψη μόνο το διάνυσμα των μέσων τιμών κάθε κατηγορίας στα φασματικά κανάλια, ενώ η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας λαμβάνει υπόψη και τη συνδιασπορά κάθε πολυγώνου εκπαίδευσης. Παρακάτω στις Εικόνες 35 και 36 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δύο ταξινομήσεων ενώ η Εικόνα 34 απεικονίζει την περιοχή μελέτης στο έγχρωμο σύνθετο RGB 321.

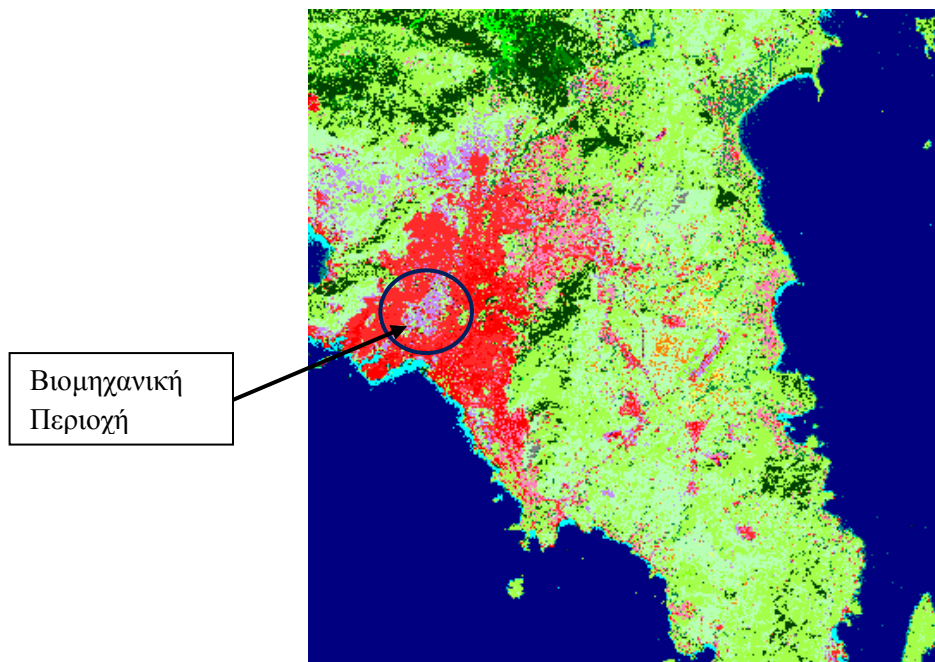


**Εικόνα 33 :** Δορυφορική απεικόνιση περιοχής μελέτης 2010.



Σύγκριση Θάλασσας  
με Λίμνη

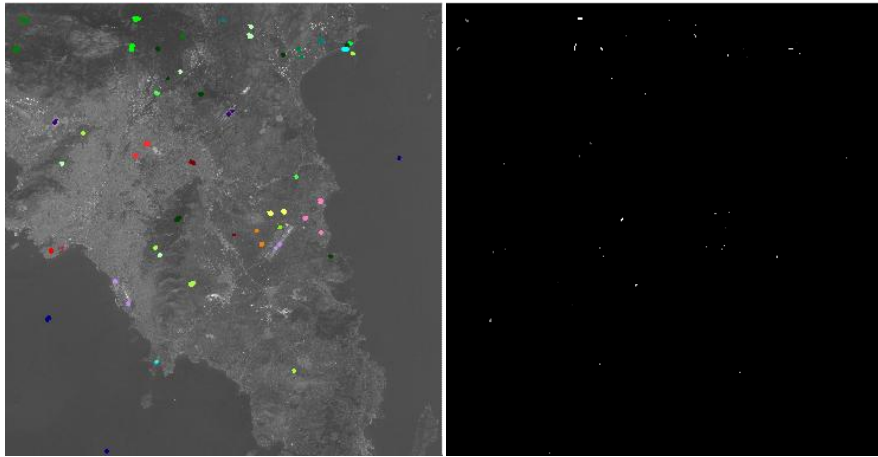
**Εικόνα 34:** Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για τις 24 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.



**Εικόνα 35 : Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για τις 24 κατηγορίες στην απεικόνιση του 2010.**

Όπως ήταν αναμενόμενο το αποτέλεσμα του δεύτερου αλγόριθμου είναι πιο ομογενές, όπως φαίνεται από τις Εικόνες 34 και 35. Στην δεξιά πλευρά της Εικόνας 34 ο κίτρινος κύκλος αναδεικνύει τη σύγχυση της «θάλασσας» με την κατηγορία των «συλλογών υδάτων», γεγονός που δεν υφίσταται στη ταξινόμηση με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Επίσης στην Εικόνα 35 φαίνεται ( μπλε κύκλος) να έχει κατηγοριοποιηθεί πολύ ορθά βιομηχανική περιοχή εντός της Αθήνας, όπου στην ταξινόμηση με τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης, η αντίστοιχη περιοχή ταξινομήθηκε ως αστική δόμηση. Λεπτομερέστερος σχολιασμός πραγματοποιήθηκε στο τέταρτο κεφάλαιο «Αποτελέσματα και Αξιολόγηση» της παρούσας εργασίας.

Προκειμένου να μπορεί να αξιολογηθεί η ταξινόμηση, δημιουργήθηκε μια εικόνα αναφοράς (Εικόνα 36β). Για τη δημιουργία της επιλέχθηκαν τα πολύγωνα ελέγχου (Εικόνα 36α) ακριβώς των ίδιων κατηγοριών με τα δεδομένα εκπαίδευσης και στη συνέχεια ακολούθησε η αντιστοίχιση πολυγώνων με τις θεματικές κατηγορίες. Αξίζει να αναφερθεί πως τα δεδομένα ελέγχου ήταν διαφορετικά από τα δεδομένα εκπαίδευσης.



(α)

(β)

**Εικόνα 36 : (α) Τα πολύγωνα ελέγχου για τη δημιουργία της αληθούς εικόνας, (β) Η αληθής εικόνα.**

Όμως μια ταξινόμηση δεν έχει ολοκληρωθεί, μέχρι να εκτιμηθεί η ακρίβειά της. Ένας τρόπος έκφρασης της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι η δημιουργία πινάκων σφαλμάτων ταξινόμησης ή αλλιώς πινάκων σύγχυσης. Οι πίνακες αυτοί συγκρίνουν τη σχέση μεταξύ γνωστών επίγειων δεδομένων αναφοράς (αληθών δεδομένων) και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων μίας αυτόματης διαδικασίας ταξινόμησης, κατηγορία προς κατηγορία.

Ακολουθούν λοιπόν οι πίνακες σύγχυσης (Πίνακας 12 και 13) τόσο με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας όσο και με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης, οι οποίοι προήλθαν από την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων εκπαίδευσης και την καταχώρησή τους στις γνωστές τάξεις κάλυψης γης που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο της εκπαίδευσης και εμφανίζονται στις στήλες του πίνακα έναντι των εικονοστοιχείων που πραγματικά ταξινομήθηκαν σε κάθε κατηγορία κάλυψης γης από τον αλγόριθμο ταξινόμησης που καταχωρούνται στις γραμμές του πίνακα.

Όπως φαίνεται και παρακάτω η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης σύμφωνα με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης είναι της τάξης του 59.1% σε αντίθεση με την μέγιστη πιθανοφάνεια που αποφέρει βελτιωμένο αποτέλεσμα της τάξης του 61.3%. Όλες σχεδόν οι κατηγορίες που ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τον δεύτερο αλγόριθμο αποφέρουν καλύτερες ακρίβειες παραγωγού και χρήστη.

Να σημειωθεί ότι οι ακρίβειες του παραγωγού είναι ενδεικτικές του πόσο καλά ταξινομούνται τα εικονοστοιχεία εκπαίδευσης της δεδομένης κατηγορίας κάλυψης γης ενώ οι ακρίβειες του χρήστη είναι ένδειξη της πιθανότητας, ότι ένα εικονοστοιχείο που ταξινομήθηκε σε μια συγκεκριμένη τάξη πράγματι αντιπροσωπεύει αυτή την τάξη στο πεδίο.

Στο εδάφιο αυτό έγινε παράθεση των αποτελεσμάτων ενώ η ανάλυση και σύγκρισή τους πραγματοποιήθηκε λεπτομερέστερα στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Classified File/Reference File	mines2	mines	urban_disc	rock_outcrops	wetland	industrial	trees	perix_aerodromi	highway	urban_disc	urban_con	mixed_forest	water_bodies	sea	mi_ardeusimi	vineyards	sparsely_vegetated	bare_soil	industrial	sclerophyllus	coniferous	broadleaved	dense_vegetation	sea_shallow	Αθροισμα Γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη (%)
mines2	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	57,143
mines	6	8	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	28,571
urban_disc_2	7	7	91	12	0	6	0	0	1	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	62,329
rock_outcrops	0	0	0	71	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	27	8	33	0	0	0	0	152	46,711
wetland	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	15	86,667
industrial_units_2	0	8	0	7	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	59	67,797
trees	0	0	0	0	0	0	15	0	0	1	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	33	45,455
perix_aerodromi_2	0	0	0	0	0	0	0	9	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	16	56,250
highway	0	0	0	12	0	0	0	0	16	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	45,714
urban_disc_1	1	0	13	22	0	0	0	0	10	76	27	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	154	49,351
urban_con	0	0	18	0	0	0	0	0	8	47	48	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	123	39,024
mixed_forest	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	94	36	2	0	286	53,497
water_bodies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	72,222
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	139	82,734
mi_ardeusimi_arosimi	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	16	42	10	0	0	0	0	0	0	109	36,697
vineyards	0	0	10	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	21	13	0	0	0	0	0	0	0	0	46	28,261
sparsely_vegetated_a	0	0	19	20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	3	55	23	0	0	0	0	0	0	123	44,715
bare_soil	2	0	8	30	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	20	29	1	35	0	29	0	0	0	0	164	21,341
industrial_units	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	40	50,000
sclerophyllus_vegeta	0	0	9	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	10	0	0	0	161	86,957
coniferous_forest	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	220	39	3	0	311	70,740
broadleaved_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217	17	0	284	76,408
dense_vegetation	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	50	46,000
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86	86	100,000
Αθροισμα στηλης	25	29	168	194	21	60	30	21	35	145	101	270	62	135	83	61	98	100	39	202	324	292	51	100	2646	
Ακρίβεια παραγωγού	32	27,586	54,167	36,598	61,905	66,667	50,000	42,857	45,714	52,414	47,525	56,667	84	85	48,193	21,311	56,122	35,000	51,282	69,307	67,901	74,315	45,098	86		

Overall Accuracy : 59.108% from 2646 observations  
Kappa statistic : 0.562

Πίνακας 12: Πίνακας σύγκρισης με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για την απεικόνιση του 2010.





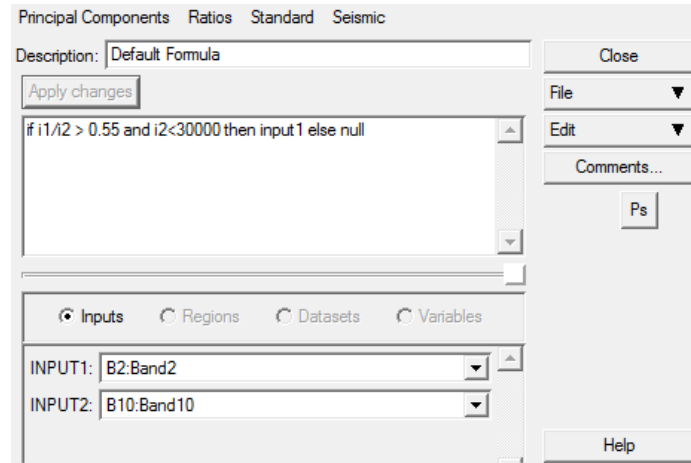
### 3.3.2 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του Landsat 8 OLI/TIRS

Στο εδάφιο αυτό πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση της εικόνας του 2013, η οποία αποκτήθηκε από τον δορυφόρο Landsat 8. Όπως αναφέρθηκε και στη Βιβλιογραφική Ανασκόπηση, υπάρχει μια σημαντική διαφορά του δορυφόρου αυτού και των προκατόχων του και αυτή είναι το μέγεθος και ο αριθμός των φασματικών ζωνών που περιέχει. Ο Landsat 8 διαθέτει δύο επιπλέον φασματικές ζώνες, δύο στενότερες TIR (θερμική ζώνη) στη θέση του ενιαίου καναλιού TIR στον Landsat 5 και μια παγχρωματική μπάντα. Οι δύο επιπλέον ζώνες είναι μια στενή παράκτια ζώνη αερολυμάτων σε ένα ελαφρώς μικρότερο μήκος κύματος από τη μπλε ζώνη και μια Cirrus ζώνη ευαίσθητη σε μήκη κύματος μεταξύ 1.36 και 1.38  $\mu\text{m}$ , κατάλληλη για την ανίχνευση θυσάνων.

Έτσι από τη στιγμή που ο Landsat 8 περιλαμβάνει επιπλέον κανάλια, οι συνδυασμοί που θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία έγχρωμων συνθέτων διαφέρουν από τους αντίστοιχους του Landsat 5. Για παράδειγμα για τη δημιουργία ενός έγχρωμου συνθέτου που αναδεικνύει τη βλάστηση στον Landsat 5 θα χρησιμοποιηθούν τα κανάλια 4-3-2. Για να δημιουργηθεί το αντίστοιχο έγχρωμο σύνθετο στον Landsat 8 θα χρησιμοποιηθούν τα κανάλια 5-4-3.

Λόγω της παρουσίας νεφοκάλυψης στην συγκεκριμένη απεικόνιση του Landsat 8, προηγήθηκε οποιασδήποτε εφαρμογής, η διαδικασία αφαίρεσης τόσο των σύννεφων όσο και των αντίστοιχων σκιών τους. Αυτό επιτεύχθηκε με την εφαρμογή μιας μάσκας. Γενικά τα σύννεφα χαρακτηρίζονται από την υψηλή ανακλαστικότητά τους στο ορατό τμήμα του φάσματος, γεγονός που τα ξεχωρίζει από την ηπειρωτική περιοχή και τη θάλασσα. Ωστόσο όταν η επιφάνεια του εδάφους καλύπτεται από αστικές και βιομηχανικές περιοχές, ο εντοπισμός τους δεν είναι τόσο ευδιάκριτος.

Αρχικά εφαρμόστηκε το έγχρωμο σύνθετο 564 στο οποίο είναι ιδιαίτερα ευδιάκριτες οι σκιές των σύννεφων. Για τον εντοπισμό των νεφών χρησιμοποιήθηκε ο λόγος [Band 2]/ [Band 10], δηλαδή το κανάλι μπλε προς το θερμικό και αυτό γιατί τα σύννεφα ανακλούν έντονα στο μπλε κανάλι σε αντίθεση με το θερμικό, όπου τα νέφη αντιστοιχούν σε εικονοστοιχεία με χαμηλή θερμοκρασία. Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκε η παρακάτω φόρμουλα ( Εικόνα 37) όπου τέθηκε  $i1/i2 > 0.55$  και  $i2 < 30000$ . Το όριο της πρώτης εξίσωσης τέθηκε ύστερα από δοκιμές με στόχο τον εντοπισμό και ανάδειξη των σύννεφων της περιοχής. Η δεύτερη εξίσωση συνέβαλλε στην διαφοροποίηση των σύννεφων από τις αστικές περιοχές. Στην επιλογή αυτής της τιμής βοήθησε το διάγραμμα ανακλαστικότητας, όπου εντοπίστηκαν οι τιμές που επιστρέφουν τόσο τα σύννεφα όσο και οι αστικές περιοχές και έτσι τέθηκε το όριο.



**Εικόνα 37 : Εφαρμογή φόρμουλας για αφαίρεση νεφοκάλυψης από την απεικόνιση του Landsat 8.**

Αφού εντοπίστηκαν τα σύννεφα ακολούθησε η διαδικασία της ψηφιοποίησής τους στο περιβάλλον του λογισμικού ER Mapper και στη συνέχεια με την εφαρμογή μιας μάσκας, αφαιρέθηκαν από την απεικόνιση. Το αποτέλεσμα εμφανίζεται στις παρακάτω εικόνες στο έγχρωμο σύνθετο 564. Στην Εικόνα 38(β) εμφανίζονται ενδεικτικά εντός των μπλε ελλείψεων κάποια από τα σημεία που αφαιρέθηκαν τα νέφη με τις αντίστοιχες σκιές τους.



(α)

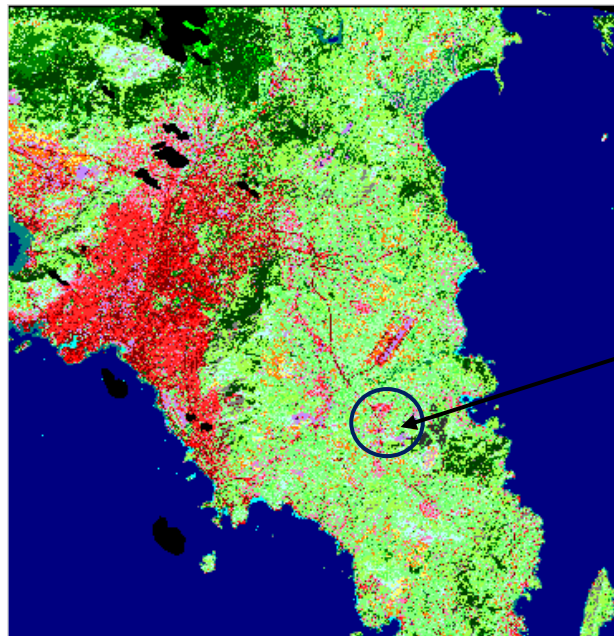
(β)

**Εικόνα 38 : (α) Απεικόνιση Landsat 8 με νεφοκάλυψη (β) Απεικόνιση Landsat 8 ύστερα από αφαίρεση νεφοκάλυψης.**

Έπειτα ακολούθησε η διαδικασία της συλλογής των δεδομένων εκπαίδευσης, η οποία είναι η ίδια που ακολουθήθηκε προηγουμένως για την απεικόνιση του 2010. Παρακάτω στην Εικόνα 40 εμφανίζονται οι περιοχές εκπαίδευσης της δορυφορικής απεικόνισης του Landsat 8 και οι αντίστοιχες ταξινομήσεις με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης και της μέγιστης πιθανοφάνειας στις Εικόνες 40 και 41.

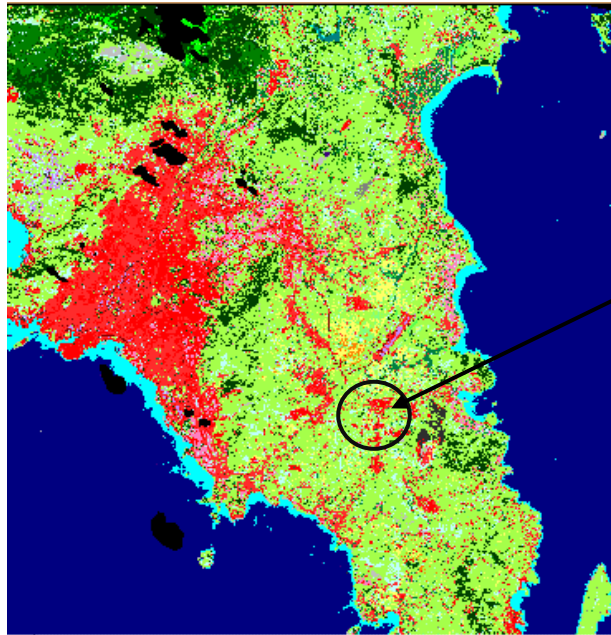


**Εικόνα 39 :** Δορυφορική απεικόνιση περιοχής μελέτης του Landsat 8.



Λανθασμένη ταξινόμηση περιοχής ως πολύ αραιή αστική δόμηση.

**Εικόνα 40 :** Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για την απεικόνιση του Landsat 8.



Σωστότερη ταξινόμηση περιοχής ως πυκνή και λιγότερο πυκνή αστική δόμηση.

**Εικόνα 41 : Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για την απεικόνιση του Landsat 8.**

Όπως ήταν αναμενόμενο το αποτέλεσμα του αλγορίθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας είναι πιο ομοιογενές συγκριτικά με αυτό του αλγορίθμου της ελάχιστης απόστασης. Παρατηρείται σε σχέση με την προηγούμενη απεικόνιση, πολύ καλύτερος διαχωρισμός της θάλασσας αλλά και των εκτάσεων βλάστησης. Οι αστικές περιοχές είναι επίσης καλύτερα οριοθετημένες στο αποτέλεσμα της Εικόνας 41 συγκριτικά με την Εικόνα 40. Πιο συγκεκριμένα φαίνεται στα τμήματα που έχουν σημειωθεί με τους κύκλους η διαφορά στην κατηγοριοποίηση των περιοχών. Πρόκειται για περιοχή που ανά διαστήματα παρουσιάζει και πυκνή και λιγότερη πυκνή δόμηση, ωστόσο σύμφωνα με την πρώτη ταξινόμηση κατηγοριοποιήθηκε ως πολύ αραιή δόμηση (ροζ χρώμα).

Ακολουθούν οι πίνακες σύγχυσης (Πίνακας 14 και 15) για τις δύο μεθόδους ταξινόμησης, όπου επιτεύχθηκαν συνολικές ακρίβειες 68.63% και 72.1% με τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης και της μέγιστης πιθανοφάνειας αντίστοιχα. Λεπτομερής σχολιασμός πραγματοποιήθηκε παρακάτω, στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας.

Classified File/Reference File	rock/outcrops	vineyards	sparsely_vegetated_a	urban2_1	industrial	urban_4	mines	rock_outcrops	wetland_4	industrial	trees	burnt_areas	perix_aerodromiou_2	highway	urban_1	mixed_forest	water_bodies	sea	mi_ardeusimi_arosimi	sparsely_vegetated_a	bare_soil	industrial	sclerophyllus_vegetation	coniferous_forest	broadleaved_forest	dense_vegetation	sea_shallow	Αθροισμα Γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη (%)
rock/outcrops	75	0	0	0	0	0	5	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	145	51,724
vineyards	0	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	4	0	0	0	0	0	0	33	30,303
sparsely_vegetated_a	0	0	81	23	0	32	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	7	0	2	0	0	0	0	171	47,368
urban2_1	0	0	0	99	4	9	0	0	0	0	0	0	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	184	53,804
industrial_units_3	9	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	76,923
urban_4	17	0	0	0	0	100	9	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	159	62,893
mines	0	0	0	0	0	0	22	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	66,667
rock_outcrops_3	0	0	0	0	0	0	0	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	33	0	0	0	0	0	0	159	70,440
wetland_4	0	0	0	0	0	0	0	0	97	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102	95,098
industrial_units_2	6	0	0	0	0	4	7	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	65
trees	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	92,771
burnt_areas	0	0	0	0	0	0	0	23	8	0	0	270	2	33	0	0	0	0	0	0	2	0	28	0	0	0	0	366	73,770
perix_aerodromiou_2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	25	68,000
highway	0	0	0	18	0	0	0	4	0	0	0	0	0	30	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	46,154
urban_1	0	0	0	25	8	25	1	0	0	0	0	0	0	0	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151	60,927
mixed_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	282	0	0	0	0	0	24	98	52	41	0	499	56,513	
water_bodies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7	132	89,394
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	284	0	0	0	0	0	0	0	0	17	308	92,208
mi_ardeusimi_arosimi	20	24	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	0	0	0	0	0	0	0	151	54,305
sparsely_vegetated_a	16	0	38	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	56	11	0	0	0	0	0	0	171	32,749
bare_soil	0	1	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	20	0	39	33	70	0	0	0	0	178	21,910
industrial_units	18	0	4	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	127	78,740
sclerophyllus_vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	312	19	0	0	0	365	85,479
coniferous_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	283	32	0	0	0	367	77,112
broadleaved_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	332	55	0	429	77,389
dense_vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	83	0	164	50,610	
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	271	279	97,133
Αθροισμα στηλης	161	35	130	169	42	170	44	241	113	77	140	270	38	63	177	406	127	297	146	109	98	133	438	400	436	179	295	4934	
Ακρίβεια παραγωγού	46,584	28,57	62,308	59	71,429	58,824	50,000	46	85,841	42	55,000	100,000	44,737	47,619	51,977	69,458	92,913	95,623	56,164	51,376	39,796	75,188	71,233	70,750	76	46,369	92		

Overall Accuracy : 68.626% from 4934 observations  
Kappa statistic : 0.669

Πίνακας 14: Πίνακας σύγκρισης με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης για την απεικόνιση του 2013.

Classified File/Reference File	rock/outcrops	vineyards	sparsely_vegetated_a	urban2_1	industrial	urban_4	mines	rock_outcrops	wetland_4	industrial	trees	burnt_areas	perix_aerodromiou_2	highway	urban_1	mixed_forest	water_bodies	sea	mi_ardeusimi_arosimi	sparsely_vegetated_a	bare_soil	industrial	sclerophyllous_vegetation	coniferous_forest	broadleaved_forest	dense_vegetation	sea_shallow	Άθροισμα Γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη (%)
rock/outcrops	81	0	12	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	12	8	0	0	0	0	0	153	52,941	
vineyards	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	27	40,741	
sparsely_vegetated_a	0	9	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	1	16	30	0	0	0	0	0	148	55,405	
urban2_1	3	0	0	101	13	14	0	0	0	8	0	0	0	8	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181	55,801	
industrial_units_3	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	38	76,316	
urban_4	0	0	0	17	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	3	20	0	0	0	0	163	69,325	
mines	0	0	0	0	0	0	24	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	68,571	
rock_outcrops_3	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	128	93,750	
wetland_4	0	0	0	0	0	0	0	0	101	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105	96,190	
industrial_units_2	16	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	78,378	
trees	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	93	94,624	
burnt_areas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	270	0	9	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	21	0	342	78,947	
perix_aerodromiou_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	6	0	26	69,231	
highway	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	53,191	
urban_1	2	0	0	21	0	9	0	0	0	0	0	0	0	21	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	149	64,430	
mixed_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	293	0	0	0	0	0	0	0	99	89	1	0	482	60,788	
water_bodies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	92,969	
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	288	0	0	0	0	0	0	0	0	8	296	97,297	
mi_ardeusimi_arosimi	0	7	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	0	7	0	0	0	0	0	113	72,566	
sparsely_vegetated_a	25	0	10	10	0	9	0	84	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	59	2	0	47	0	0	0	256	23,047	
bare_soil	15	0	26	0	0	25	0	11	0	0	0	0	8	0	0	0	0	3	8	41	0	47	0	0	0	184	22,283		
industrial_units	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3	104	0	0	0	0	117	88,889		
sclerophyllous_vegetation	19	8	0	5	0	0	0	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	319	0	0	0	0	362	88,122	
coniferous_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	2	0	0	25	0	0	0	0	0	25	288	12	1	0	363	79,339	
broadleaved_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0	13	335	22	0	421	79,572	
dense_vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	123	0	208	59,135	
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	295	97,288	
Άθροισμα στηλης	161	35	130	169	42	170	44	241	113	77	140	270	38	63	177	406	127	297	146	109	98	133	438	400	436	179	295	4934	
Ακρίβεια παραγωγού	50,311	31,43	63,077	59,763	69,048	66,471	54,545	50	89,381	75,32	62,857	100,000	47,368	39,683	54,237	72,167	93,701	96,970	56,164	54,128	41,837	78,195	72,831	72,000	76,83	68,715	97		

Overall Accuracy : 72.051% from 4934 observations  
Kappa statistic : 0.705

Πίνακας 15: Πίνακας σύγκρισης με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για την απεικόνιση του 2013.

### 3.3.3 Εκτέλεση επιβλεπόμενης ταξινόμησης της απεικόνισης του Landsat 8 OLI/TIRS ύστερα από συγχώνευση με το παγχρωματικό κανάλι

Μια σημαντική διαφορά μεταξύ του Landsat 8 και Landsat 5 είναι η προσθήκη της παγχρωματικής μπάντας, η οποία καλύπτει ένα εύρος μεταξύ 0.50-0.68 nm με χωρική ανάλυση στα 15 m. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε συγχώνευση του παγχρωματικού καναλιού με τα πολυφασματικά κανάλια της απεικόνισης με στόχο την βελτίωση της διακριτικής ικανότητας της πολυφασματικής απεικόνισης, η οποία είναι στα 30 m. Όσον αφορά τα θερμικά κανάλια, επειδή παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους, χρησιμοποιήθηκε μόνο το ένα στη διαδικασία της συγχώνευσης και μάλιστα αυτό που δίνει περισσότερη πληροφορία, το οποίο ήταν το κανάλι 10 με εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 10,60-11,19 nm.

Γενικός στόχος της διαδικασίας ήταν μέσω τη βελτίωσης της διακριτικής ικανότητας της πολυφασματικής απεικόνισης να γίνει αυτή ευκρινέστερη για φωτοερμηνεία, πιο λεπτομερής ώστε να προκύψει λεπτομερέστερος θεματικός χάρτης μετά από την ταξινόμηση, δίνοντας έμφαση στην διατήρηση της αρχικής ραδιομετρίας των πολυφασματικών καναλιών με ταυτόχρονη αύξηση της διακριτικής τους ικανότητας.

Όπως αναφέρθηκε και στο υποεδάφιο 3.2.3 υπάρχουν διάφορες μέθοδοι συγχώνευσης. Για τη παρούσα εφαρμογή σε πρώτη φάση έγινε μια δοκιμή συγχώνευσης με το φίλτρο προσαρμογής τοπικού μέσου (Local Mean Matching) το οποίο εφαρμόζει συνάρτηση κανονικοποίησης, έτσι ώστε να γίνεται προσαρμογή του τοπικού μέσου (LMM) του καναλιού υψηλής διακριτικής ικανότητας με τα αντίστοιχα των καναλιών χαμηλότερης διακριτικής ικανότητας. Το αποτέλεσμα όμως δεν ήταν ικανοποιητικό καθώς υπήρχε διαφοροποίηση μεταξύ της ραδιομετρίας της αρχικής εικόνας και της συγχωνευμένης.

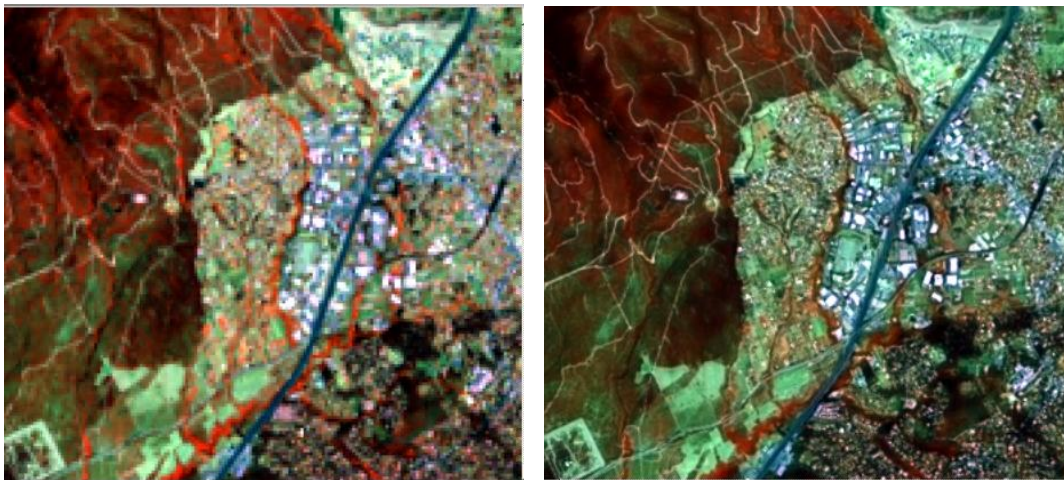
Έτσι ακολούθησε η συγχώνευση με το φίλτρο προσαρμογής τοπικού μέσου και μεταβλητότητας (Local Mean & Variance Matching), το οποίο εφαρμόζει συνάρτηση κανονικοποίησης έτσι ώστε να γίνεται προσαρμογή του τοπικού μέσου και της μεταβλητότητας (LMVM) του καναλιού υψηλής διακριτικής ικανότητας με τα αντίστοιχα των πολυφασματικών καναλιών χαμηλότερης διακριτικής ικανότητας.

Σύμφωνα με το αποτέλεσμα κρίθηκε ότι με τη μέθοδο αυτή διατηρείται η αρχική ραδιομετρία της εικόνας, κάνοντάς την ευκρινέστερη και λεπτομερέστερη. Σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας αποτελεί η επιλογή του μεγέθους του παραθύρου, από το οποίο εξαρτάται το ποσοστό της φασματικής πληροφορίας του κάθε καναλιού που διατηρείται στην τελική εικόνα. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της συγχώνευσης με φίλτρο μεγέθους 5 x 5 και στη συνέχεια επαναλήφθηκε η διαδικασία με παράθυρο 11 x 11. Η επιλογή μικρότερων παραθύρων έχει ως αποτέλεσμα να διατηρείται σε μεγαλύτερο βαθμό η φασματική πληροφορία των καναλιών του πολυφασματικού δέκτη ενώ με χρήση μεγαλύτερων παραθύρων έχουμε ενσωμάτωση

περισσότερης γεωμετρικής και φασματικής πληροφορίας του παγχρωματικού καναλιού στην τελική απεικόνιση.

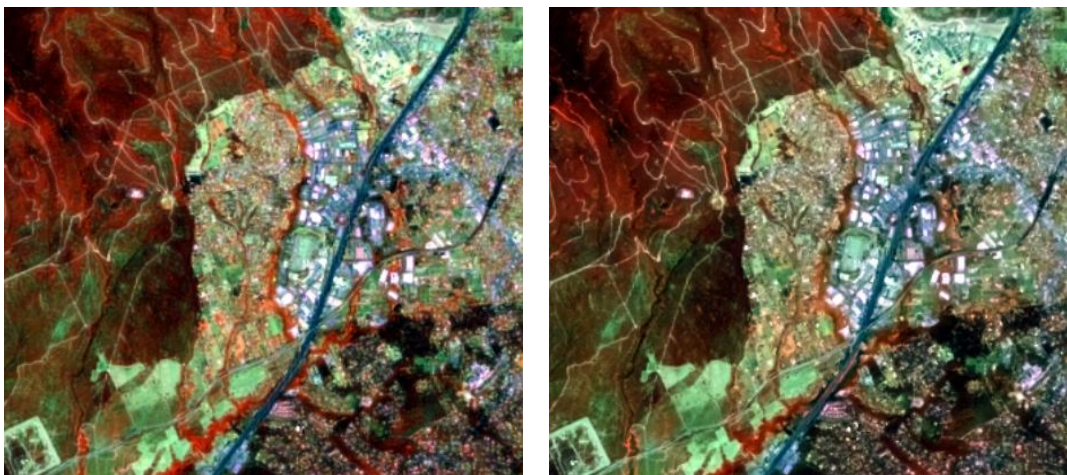
Παρακάτω παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της συγχώνευσης με την μέθοδο Local Mean Matching (LMM) και Local Mean & Variance Matching (LMVM), παραθέτοντας για την τελευταία μέθοδο και τα δύο μεγέθη φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν.

Όπως είναι εμφανές από τα παρακάτω αποτελέσματα στην Εικόνα 42 η μέθοδος Local Mean and Variance Matching διατηρεί στο μέγιστο την φασματική πληροφορία της αρχικής εικόνας σε αντίθεση με την μέθοδο Local Mean Matching, ενώ η χρήση του μικρότερου φίλτρου στην τελικά επιλεγμένη μέθοδο συγχώνευσης παρέχει ορθότερο φασματικό αποτέλεσμα συγκριτικά με το μεγαλύτερο φίλτρο.



(α)

(β)



(γ)

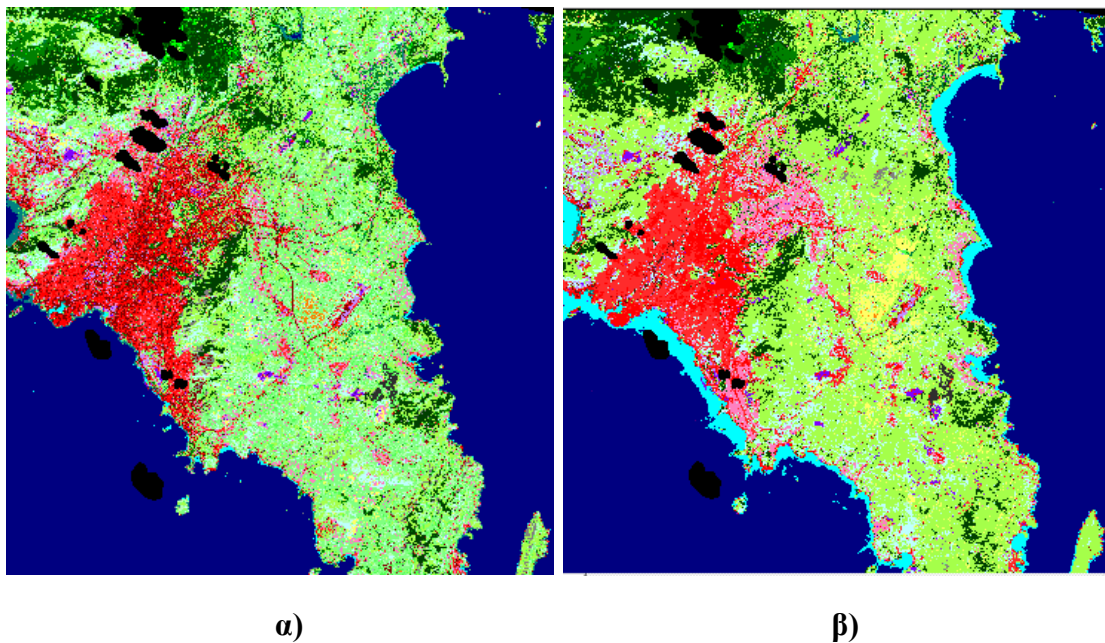
(δ)

**Εικόνα 42: α) Αρχική Εικόνα και Αποτελέσματα Συγχώνευσης β) με τη μέθοδο Local Mean Matching γ) με τη μέθοδο Local Mean and Variance Matching με φίλτρο 5 x5 και δ) με τη μέθοδο Local Mean and Variance Matching με φίλτρο 11x11.**



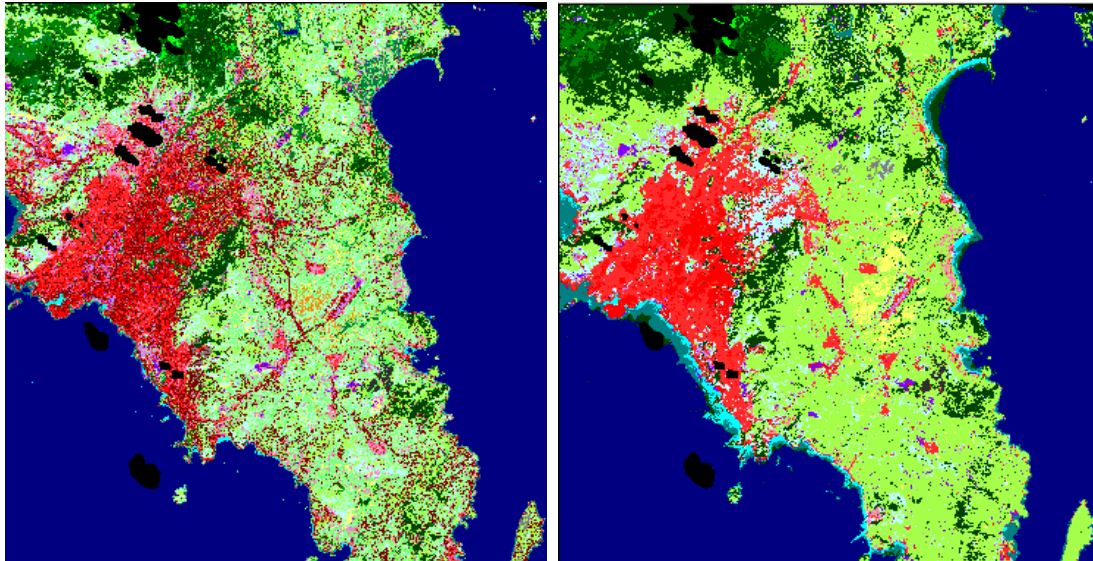
Να σημειωθεί ότι σύμφωνα με την δημοσίευση “ A comparison study on fusion methods using evaluation indicators” των Καραθανάση, Κολοκούση και Ιωαννίδου αποδείχτηκε τόσο με φωτοερμηνευτικά όσο και με στατιστικά στοιχεία ότι η μέθοδος Local Mean and Variance Matching παρέχει ορθότερα και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα από την μέθοδο συγχώνευσης Local Mean Matching.

Έτσι λοιπόν αφού πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της συγχώνευσης, ακολούθησε η ταξινόμηση των εικόνων με τις ίδιες περιοχές εκπαίδευσης όπως και στην μη συγχωνευμένη εικόνα. Στην Εικόνα 43 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της συγχωνευμένης εικόνας με το μικρότερο παράθυρο, τόσο με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης όσο και με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας.



**Εικόνα 43 : Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης α) με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης και β) με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για την συγχωνευμένη απεικόνιση του Landsat 8 με εφαρμογή παραθύρου 5 x 5.**

Ύστερα ακολουθεί στην Εικόνα 44 το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της συγχωνευμένης απεικόνισης με το μεγαλύτερο παράθυρο (11 x 11), όπου έγινε η χρήση ακριβώς των ίδιων περιοχών εκπαίδευσης και παραμέτρων όπως στη προηγούμενη απεικόνιση με το μικρότερο παράθυρο.



α)


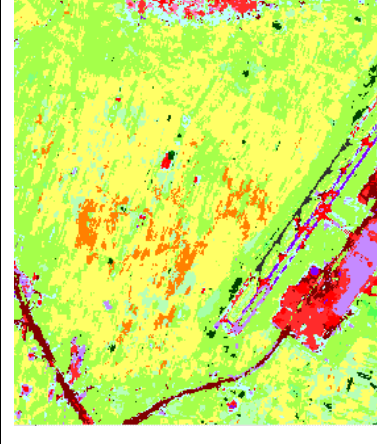
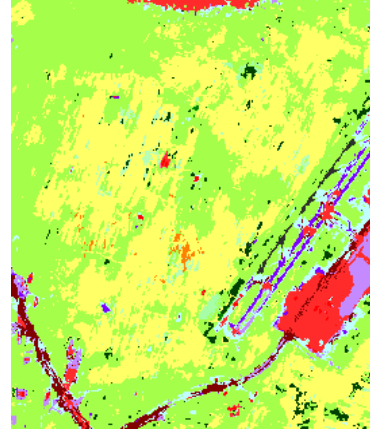

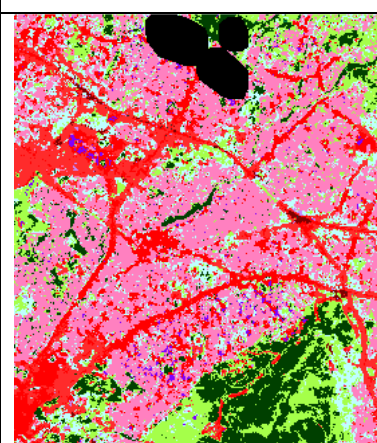
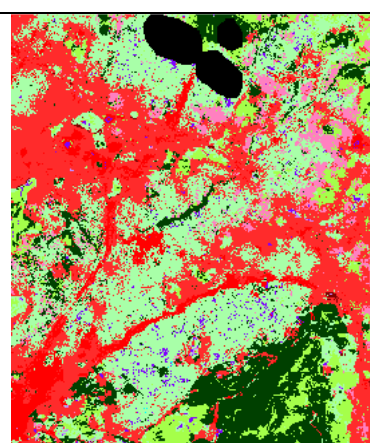

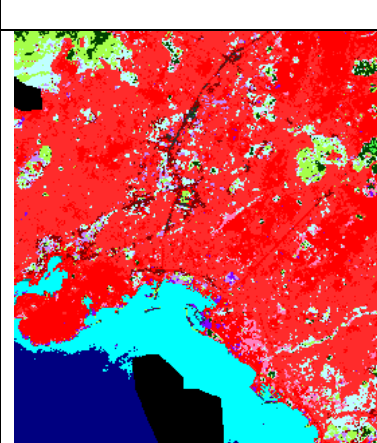
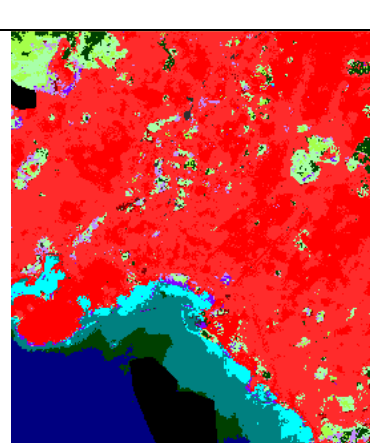
β)

**Εικόνα 44:** Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης α) με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης και β) με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας για την συγχωνευμένη απεικόνιση του Landsat 8 με εφαρμογή παραθύρου 11 x 11.

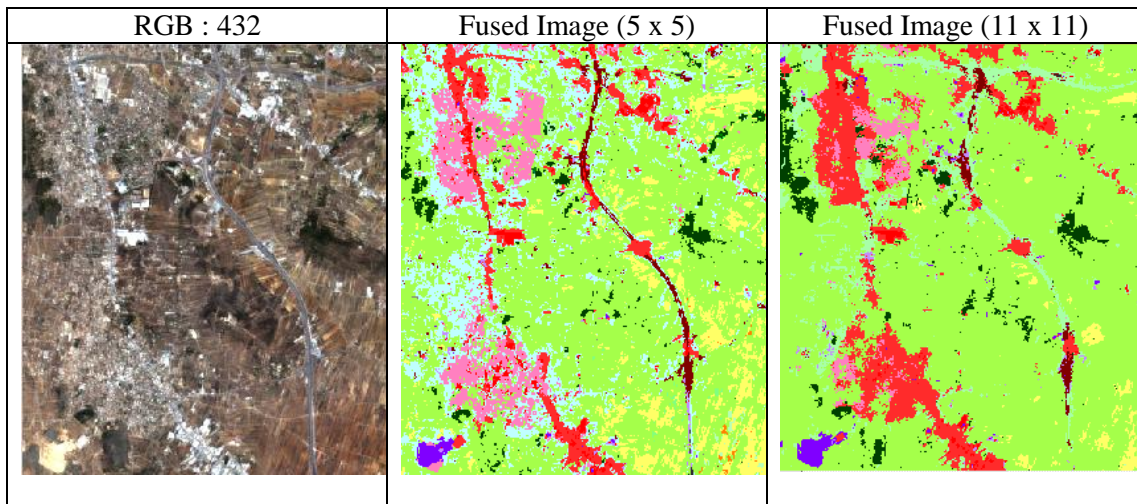
Όπως ήταν αναμενόμενο το αποτέλεσμα με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας είναι πιο ομοιογενές και στις δύο περιπτώσεις. Ωστόσο πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των ταξινομήσεων αυτών στους παρακάτω Πίνακες 16-18 σε μεγεθυμένες περιοχές και παρατηρήθηκε πως όσο αυξάνεται το μέγεθος του φίλτρου, το αποτέλεσμα της ταξινόμησης χειροτερεύει.

RGB : 432	Fused Image (5 x 5)	Fused Image (11 x 11)

**Πίνακας 16 :** Πίνακας σύγκρισης μεταξύ των δύο παραθύρων που εφαρμόστηκαν κατά τη μέθοδο συγχώνευσης LMVM (I).

RGB : 432	Fused Image (5 x 5)	Fused Image (11 x 11)
		
		
		

**Πίνακας 17: Πίνακας σύγκρισης μεταξύ των δύο παραθύρων που εφαρμόστηκαν κατά τη μέθοδο συγχώνευσης LMVM (II).**



**Πίνακας 18: Πίνακας σύγκρισης μεταξύ των δύο παραθύρων που εφαρμόστηκαν κατά τη μέθοδο συγχώνευσης LMVM (III).**

Όπως είναι εμφανές παραπάνω, το μικρότερο μέγεθος παραθύρου (5x5) παρέχει ακριβέστερα αποτελέσματα συγκριτικά με το μεγαλύτερο. Με το παράθυρο 11x11 παρατηρείται αρχικά μια σημαντική σύγχυση της θάλασσας με τα κωνοφόρα δάση όπως επίσης μια υποτίμηση της κατηγορίας των αμπελιών. Παράλληλα, όσον αφορά την αστική δόμηση, την συγχέει με την αραιή βλάστηση σε μεγάλο ποσοστό, όπως φαίνεται στη τρίτη γραμμή. Τέλος στις δύο τελευταίες γραμμές είναι εμφανής η υποτίμηση και παράλειψη του οδικού δικτύου. Στις περιπτώσεις που δεν το παραλείπει εντελώς, το συγχέει με την αραιή βλάστηση.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω επιλέχθηκε το μικρότερο μέγεθος παραθύρου για τη διαδικασία της συγχώνευσης το οποίο παρείχε περισσότερο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα. Ακολουθούν οι πίνακες σύγχυσης (Πίνακας 19 και 20) της συγχωνευμένης εικόνας με παράθυρο 5x5 και για τις δύο μεθόδους ταξινόμησης. Οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν ήταν 72.5% και 74.8% για τους δύο αλγορίθμους αντίστοιχα. Υπενθυμίζεται ότι στο κεφάλαιο «Αξιολόγηση και Συμπεράσματα» πραγματοποιήθηκε λεπτομερής σχολιασμός των αποτελεσμάτων, τόσο φωτοερμηνευτικά όσο και στατιστικά.

	sparsely_ve	vineyards	urban2_1	industrial	rock_outc	urban_4	mines	rock_outc	wetland_4	industrial	trees	burnt_are	perix_aer	perix_aer	highway	urban_1	mixed_for	water_bod	sea	mi_ardeus	sparsely_ve	bare_soil	industrial	sclerophy	coniferou	broadleav	dense_ve	sea_shallow	Αθροισμα Γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη (%)
sparsely_vegeta	85	15	0	0	0	39	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	2	0	0	0	0	159	53,459
vineyards	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	1	0	0	0	0	0	0	75	38,667
urban2_1	0	0	122	3	4	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212	57,547	
industrial_units	0	7	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	77,419	
rock_outcrops/m	0	0	0	0	30	2	5	0	0	9	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	54,545	
urban_4	0	0	6	0	6	124	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	25	10	10	0	0	0	0	0	197	62,944	
mines	0	0	0	0	10	0	27	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	65,854	
rock_outcrops_3	0	0	0	0	0	0	0	106	1	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	32	19	0	1	0	0	0	0	166	63,855	
wetland_4	0	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115	98,261	
industrial_units	0	0	0	0	4	2	0	0	56	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	79
trees	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	63	93,651	
burnt_areas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	287	3	23	26	0	0	0	0	0	0	5	0	10	0	0	10	364	78,846	
perix_aerodrom	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	16	56,250	
perix_aerodrom	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	6	0	0	10	65	67,692	
highway	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	50,000	
urban_1	0	0	56	9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168	60,714	
mixed_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	304	0	0	0	0	0	13	68	56	1	0	450	67,556	
water_bodies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	122	8	0	0	0	0	0	0	0	0	130	93,846	
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	347	0	0	0	0	0	0	0	10	360	96,389	
mi_ardeusimi_ar	0	35	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	7	14	0	0	0	0	0	115	2	0	0	0	0	0	0	195	58,974	
sparsely_vegeta	40	8	0	0	0	1	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	38	0	0	0	0	0	0	106	35,849	
bare_soil	0	0	0	0	0	1	0	67	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	77	0	0	0	190	22,632	
industrial_units	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	6	133	0	0	0	0	152	87,500	
sclerophyllus_ve	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	335	0	0	10	0	386	86,788	
coniferous_fore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	5	213	1	0	0	277	76,895	
broadleaved_for	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	11	230	11	0	296	77,703	
dense_vegetati	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	78	53,846
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	275	275	100,000
Αθροισμα στηλη	125	94	207	36	54	202	41	246	118	74	93	287	19	91	54	190	406	127	355	203	92	98	133	450	292	287	90	285	4749	
Ακρίβεια παραγ	68,000	30,85	58,937	67	55,556	61,386	65,854	43	95,763	75,68	63,441	100,000	47,368	48,352	51,852	53,684	74,877	96,063	97,746	56,650	41,304	43,878	100,000	74,444	72,945	80,14	46,667	96		

Overall Accuracy : 72.478% from 4749 observations  
Kappa statistic : 0.709

Πίνακας 19 : Πίνακας σύγκρισης της συγχωνευμένης εικόνας του Landsat 8 με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης.

Classified File/Reference File	sparsely	vineyards	urban2_1	industrial	rock_outc	urban_4	mines	rock_outc	wetland	industrial	trees	burnt_areas	perix_aer	perix_aer	highway	urban_1	mixed_forest	water_bodies	sea	mi_ardeusi	sparsely	bare_soil	industrial	sclerophyllous	coniferous	broadleaved	dense_vegetation	sea_shallow	Άθροισμα Γραμμής	Ακρίβεια Χρήστη (%)
sparsely_vegetated_a	88	0	0	0	12	5	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	144	61,111
vineyards	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	5	0	0	0	0	0	0	82	45,122
urban2_1	0	0	131	4	0	4	0	0	0	8	0	0	0	0	4	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221	59,276
industrial_units_3	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	32	53,125	
rock_outcrops/mines	0	0	0	0	32	0	0	0	2	0	0	11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	69,565	
urban_4	0	0	30	0	0	145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	204	71,078	
mines	0	0	0	0	0	28	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	71,795	
rock_outcrops_3	0	0	0	0	0	5	0	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	38	0	0	0	0	0	0	173	69,942	
wetland_4	0	0	0	0	0	0	0	0	114	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115	99,130	
industrial_units_2	0	0	0	0	0	13	0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	77	
trees	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	62	98	
burnt_areas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	276	0	36	16	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	346	79,769	
perix_aerodromiou_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	64,286	
perix_aerodromiou_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	44	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	63	69,841	
highway	0	0	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	56,410	
urban_1	0	0	28	6	0	2	0	0	12	0	0	0	0	0	12	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173	65,318	
mixed_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	333	0	0	0	0	0	51	67	49	22	0	522	63,793	
water_bodies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	8	0	0	0	0	0	0	0	0	132	93,939	
sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	347	0	0	0	0	0	0	0	13	360	96,389	
mi_ardeusimi_arosimi	0	40	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	0	0	0	0	0	0	0	0	167	73,653	
sparsely_vegetated_a	27	0	14	0	10	26	0	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	4	0	25	0	0	0	0	232	22,414	
bare_soil	0	17	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	11	20	0	0	0	0	104	45,192	
industrial_units	10	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107	0	0	0	0	0	119	89,916	
sclerophyllous_vegetation	0	0	0	0	0	2	0	12	2	0	0	0	6	6	0	0	0	0	7	2	4	0	351	0	0	0	0	392	89,541	
coniferous_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	25	1	0	0	0	0	3	216	6	2	0	263	82,129	
broadleaved_forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	9	232	0	0	289	80,277		
dense_vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0	86	75,581	
sea_shallow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	272	274	99,270	
Άθροισμα στήλης	125	94	207	36	54	202	41	246	118	74	93	287	19	91	54	190	406	127	355	203	92	98	133	450	292	287	90	285	4749	
Ακρίβεια παραγωγού	70,400	39,362	63,285	47	59,259	71,782	68,293	49	96,610	58	66	96,167	47,368	48,352	40,741	59,474	82,020	97,638	97,746	60,591	56,522	47,959	80,451	78,000	73,973	80,84	72,222	95		

Overall Accuracy : 74.753% from 4749 observations  
Kappa statistic : 0.733

Πίνακας 20: Πίνακας σύγκρισης της συγχωνευμένης εικόνας του Landsat 8 με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας.

### 3.4 Ταξινόμηση με Αντικειμενοστραφή Προσέγγιση

Στόχος του παρόντος εδαφίου είναι η διερεύνηση της χρήσης της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας στην ταξινόμηση των βασικών χρήσεων γης της συγχωνευμένης απεικόνισης του δορυφόρου Landsat 8. Στο κεφάλαιο 4 που ακολουθεί αποδεικνύεται τόσο φωτοερμηνευτικά όσο και με στατιστικά δεδομένα ότι η απεικόνιση του Landsat 8 ύστερα από τη διαδικασία της συγχώνευσης του παγχρωματικού καναλιού προσφέρει καλύτερα και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό τέθηκε ως στόχος να διερευνηθεί κατά πόσο η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας μπορεί να συμβάλει περαιτέρω στην βελτίωση του αποτελέσματος αυτού.

Όπως αναφέρθηκε και στην Βιβλιογραφική Ανασκόπηση το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα εργασία ήταν το eCognition Developer 8.7. Για την επεξεργασία των δεδομένων σε αυτό το λογισμικό, πρωταρχικό βήμα ήταν η εισαγωγή των θεματικών επιπέδων της συγχωνευμένης απεικόνισης. Τα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα Κανάλια 1-7 του Landsat 8, τα οποία έχουν χωρική ανάλυση στα 15 m. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε το διατιθέμενο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της Αττικής ( μέγεθος εικονοστοιχείου στα 25 m) το οποίο συνέβαλλε στον αποκλεισμό της αστικής περιοχής σε ορεινούς όγκους, καθώς υπήρχε σύγχυση με τις βραχώδεις εκτάσεις.

Αφού πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή και η απεικόνιση των δεδομένων, στη συνέχεια εκτελέστηκε ένα σύνολο δοκιμών κατάτμησης τύπου “multiresolution segmentation”, με την εφαρμογή αρκετών συνδυασμών παραμέτρου κλίμακας, κριτηρίων ομοιογένειας και βαρών για κάθε θεματικό επίπεδο (image layer). Εν τέλει επιλέχτηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης και ακολούθησε η διαδικασία δημιουργίας των κλάσεων τόσο με την μέθοδο των δειγμάτων όσο και με την εφαρμογή συναρτήσεων. Να αναφερθεί ότι οι θεματικές κατηγορίες που δημιουργήθηκαν είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στις ταξινομήσεις με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο.

Στη συνέχεια αναλύεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία των επιπέδων κατάτμησης και ταξινόμησης. Η σειρά παρουσίασής των επιπέδων, ακολουθεί τη σειρά με την οποία αυτά δημιουργήθηκαν.

#### 3.4.1 Επίπεδα κατάτμησης

Πρωταρχικό βήμα ήταν η δημιουργία ενός “project” με την απεικόνιση του Landsat 8 ύστερα από τη συγχώνευση του παγχρωματικού καναλιού στα πολυφασματικά κανάλια. Το “project” αυτό περιελάμβανε επτά θεματικά επίπεδα, τα οποία ήταν τα επτά κανάλια του Landsat 8 (Coastal aerosol, Blue, Green, Red, Near Infrared, SWIR 1, SWIR 2) με χωρική ανάλυση στα 15 m. Στη συνέχεια προστέθηκαν τρία ακόμα επίπεδα, τα DEM, Slope και Aspect, με μορφή ψηφιδωτών εικόνων. Η ψηφιακή τιμή

κάθε εικονοστοιχείου αναφέρεται στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ( υψόμετρα), στο μοντέλο κλίσεων του εδάφους (%) και στο αζιμούθιο ( 0° – 360°) αντίστοιχα. Η χωρική ανάλυση των τριών τελευταίων επιπέδων ήταν στα 25 m.

Ύστερα λοιπόν από πειραματική διαδικασία κατατμήσεων και ταξινομήσεων στο λογισμικό eCognition, η βάση γνώσης εν τέλει αναπτύχθηκε σε τρία επίπεδα κατάτμησης, εκ των οποίων το δεύτερο και το τρίτο είχαν ως στόχο την ταξινόμηση επιμέρους κατηγοριών, ενώ στο πρώτο πραγματοποιήθηκε η προβολή του αποτελέσματος των υπολοίπων επιπέδων και αναπτύχθηκε η τελική ταξινόμηση. Τα αντικείμενα κάθε επιπέδου προέρχονται από ειδική κλίμακα και κατάλληλη συμμετοχή φασματικών υπογραφών και σχήματος ώστε να αντιπροσωπεύουν καλύτερα την ή τις κατηγορίες που είναι επιθυμητό να ταξινομηθούν εκεί.

Στο πρώτο επίπεδο, το οποίο έχει και την μικρότερη κλίμακα, στόχος είναι η ταξινόμηση των περισσότερων κατηγοριών, όπως της βλάστησης, της αστικής περιοχής, των καλλιεργιών, των ορεινών εκτάσεων κ.α. Το εικονοστοιχείο της εικόνας Landsat είναι χωρικής ανάλυσης της τάξης των 15 m. Σε αυτή την ανάλυση είναι πιθανό να εμφανιστεί μικτή χρήση/ κάλυψη γης ανά εικονοστοιχείο για το λόγο αυτό η επιλογή μιας μικρής κλίμακας περιορίζει πιθανές εσφαλμένες ταξινομήσεις κατηγοριών. Στο επίπεδο αυτό δόθηκε η μεγαλύτερη βαρύτητα της κατάτμησης στην φασματική υπογραφή και λιγότερο στο μέγεθος των αντικειμένων. Να σημειωθεί ότι εδώ θα προβληθούν κατηγορίες από τα επίπεδα ανώτερης κλίμακας.

Στο δεύτερο επίπεδο επιλέχτηκε η κλίμακα και οι παράμετροι εκείνες, ώστε να δημιουργηθούν αντικείμενα κατάλληλα για την ανάδειξη του κύριου οδικού δικτύου της περιοχής αλλά και των ορυχείων.

Τέλος, στο τρίτο επίπεδο γίνεται κατάτμηση σε μεγάλη κλίμακα για την εξαγωγή μεγάλων αντικειμένων. Μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στο χρώμα, ενώ από τις παραμέτρους του σχήματος, στο λείο της οριογραμμής των αντικειμένων. Το επίπεδο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή της θάλασσας και των υδάτινων επιφανειών.

Οι παράμετροι και τα κριτήρια της κατάτμησης κάθε επιπέδου συνοψίζονται στον Πίνακα 21 που ακολουθεί.

Επίπεδο	Παράμετροι/Κριτήρια Κατάτμησης				
	Scale	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	30	0.7	0.3	0.9	0.1
2	50	0.1	0.9	0.9	0.1
3	300	0.7	0.3	0.7	0.3

**Πίνακας 21: Παράμετροι κατάτμησης ανά επίπεδο.**



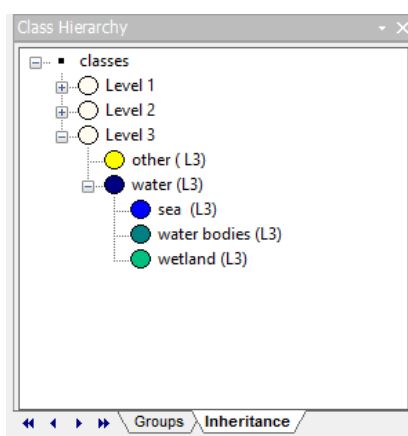
### 3.4.3 Ταξινόμηση επιπέδων

Στο εδάφιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία ταξινόμησης του κάθε επιπέδου. Σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω έχει δημιουργηθεί ένα ιεραρχικό δίκτυο από αντικείμενα της εικόνας, μέσω της διαδικασίας της κατάτμησης. Τμήματα μεγαλύτερου επιπέδου αναπαριστούν μεγάλης κλίμακας αντικείμενα, ενώ χαμηλότερων επιπέδων αναπαριστούν μικρής κλίμακας αντικείμενα. Εν συνεχεία όπως αναφέρθηκε και στο υποκεφάλαιο 2.7.6.3 της Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης, αρχικά δημιουργούνται οι κλάσεις, και στη συνέχεια ταξινομούνται τα αντικείμενα σε αυτές. Η κάθε κλάση ορίζεται από ένα σύνολο συνθηκών (που αφορούν τις ιδιότητες- χαρακτηριστικά των αντικειμένων), τις οποίες θα πρέπει να πληρεί ένα αντικείμενο για να ανήκει στην εκάστοτε κλάση. Η ταξινόμηση των αντικειμένων γίνεται με χρήση κανόνων ασαφούς λογικής και πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- ο Με τη χρήση δειγμάτων-samples (τα οποία ορίζονται από τον χρήστη για την εκάστοτε κλάση) και την εφαρμογή της ασαφούς εκδοχής του αλγορίθμου του εγγύτερου γείτονα.
- ο Με τη χρήση συναρτήσεων συμμετοχής (membership functions). Οι συναρτήσεις συμμετοχής ορίζονται από τον χρήστη και αφορούν τις ιδιότητες των αντικειμένων.

#### 3.4.3.1 Ταξινόμηση τρίτου επιπέδου

Στόχος του επιπέδου αυτού ήταν ο διαχωρισμός των υδάτινων επιφανειών ( θάλασσα, λίμνη, υδροβιότοπος) από την ξηρά. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν δύο κλάσεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 45 που ακολουθεί, με την κατηγορία “water (L3)” να περιλαμβάνει τις τρεις υποκατηγορίες “sea (L3)”, “water bodies (L3)” και “wetland (L3)”.








**Εικόνα 45:** Ιεραρχία τρίτου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.

Ο εντοπισμός των υδάτινων επιφανειών επιτεύχθηκε με τη χρήση του δείκτη NDWI (Normalised Difference Water Index), ο οποίος χρησιμοποιεί το πράσινο φάσμα και μια περιοχή στο μέσο υπέρυθρο (Short Wave Infrared SWIR). Ο δείκτης NDWI εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$NDWI = (Green-SWIR) / (Green + SWIR)$$

Στον Πίνακα 22 παρατίθενται για κάθε κατηγορία του επιπέδου, τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν να περιγράφουν κάθε κατηγορία, δηλαδή οι κανόνες καθώς και οι συναρτήσεις συμμετοχής με τα όρια της ασαφούς ζώνης που ορίζονται για κάθε χαρακτηριστικό. Οι υποκατηγορίες “water bodies (L3)”, “wetland (L3)” και “sea (L3)” κληρονομούν τον κανόνα NDWI της κεντρικής κατηγορίας “water (L3)”.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο	
3	Water (L3)		NDWI		-0.02	0.02	
	Water bodies (L3)	and	Area		9000	11000	
			Mean Layer 5		8800	9200	
	Wetland (L3)	and	Area		9000	11000	
			Mean Layer 5		8800	9200	
	Sea (L3)	and	not water bodies (L3)				
			not wetland (L3)				
	Other (L3)		not water (L3)				

**Πίνακας 22: Ιεραρχία των κατηγοριών του τρίτου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8 με τους κανόνες και τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής.**

Έτσι λοιπόν χρησιμοποιώντας τον δείκτη NDWI και θέτοντας πειραματικά τα κατάλληλα όρια ασαφούς ζώνης, εντοπίστηκαν όλες οι υδάτινες επιφάνειες της περιοχής μελέτης, οι οποίες διαχωρίστηκαν με αυτόν τον τρόπο από την στεριά. Αφού πραγματοποιήθηκε μια πρώτη ταξινόμηση του επιπέδου, ακολούθησε η ένωση των γειτονικών αντικειμένων της κάθε κλάσης σε ένα ενιαίο αντικείμενο με τον αλγόριθμο “merge region”. Η ταξινόμηση δεν άλλαξε, παρά μόνο μειώθηκε ο αριθμός των αντικειμένων. Αφού πραγματοποιήθηκε αυτή η διαδικασία δύο φορές, μια για τη στεριά και μια για τη κατηγορία των υδάτινων ζωνών, εφαρμόστηκε ο κανόνας του εμβადού, προκειμένου να διαχωριστούν οι συλλογές υδάτων από τη κατηγορία της θάλασσας.

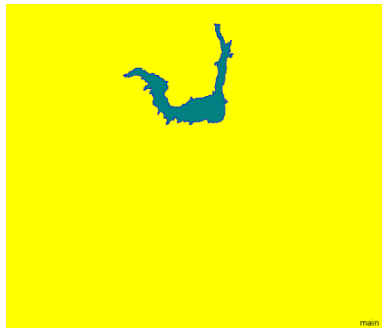
Έπειτα διεξάχθηκε ο περαιτέρω διαχωρισμός των υδάτινων ζωνών της στεριάς σε συλλογές υδάτων ( λίμνη, κωπηλατοδρόμιο) και σε υδροβιότοπο ελέγχοντας και θέτοντας τα κατάλληλα όρια ασαφούς ζώνης στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι του

δορυφόρου. Οτιδήποτε δεν κατηγοριοποιήθηκε στις παραπάνω κατηγορίες, ορίστηκε στη κατηγορία “other (L3) ”.

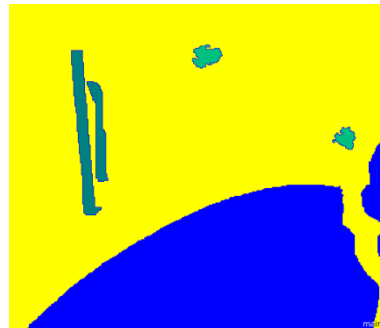
Με το πέρας της παραπάνω διαδικασίας, πραγματοποιήθηκε εκ νέου η ταξινόμηση του τρίτου επιπέδου, της οποίας το αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 46:



(α)



(β)

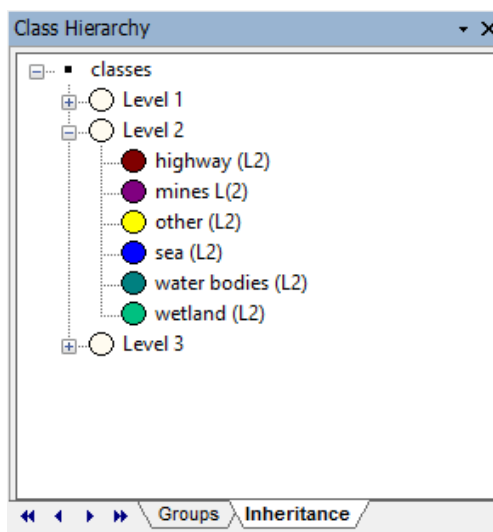


(γ)

**Εικόνα 46 : Αποτέλεσμα ταξινόμησης τρίτου επιπέδου (α) ολόκληρης της απεικόνισης του Landsat 8, (β) της λίμνης σε μεγέθυνση, (γ) του κωπηλατοδρομίου και υδροβιότοπου σε μεγέθυνση.**

### 3.4.3.2 Ταξινόμηση δεύτερου επιπέδου










Στόχος του επιπέδου αυτού ήταν η ταξινόμηση του κύριου οδικού δικτύου και των ορυχείων. Στην Εικόνα 47 απεικονίζεται η ιεραρχία του επιπέδου ενώ στο Πίνακα 23 παρατίθενται για κάθε κατηγορία του επιπέδου, τα χαρακτηριστικά και οι συναρτήσεις συμμετοχής με τα όρια της ασαφούς ζώνης που ορίζονται για κάθε χαρακτηριστικό. Στο επίπεδο αυτό για να γίνει η ταξινόμηση των οδών, προβλήθηκε η θάλασσα από το τρίτο επίπεδο, όπου βελτιώθηκε η κατηγορία των οδών καθώς συγγεόταν η ακτογραμμή με το οδικό δίκτυο.



Εικόνα 47: Ιεραρχία δεύτερου επιπέδου της απεικόνισης του Landsat 8.

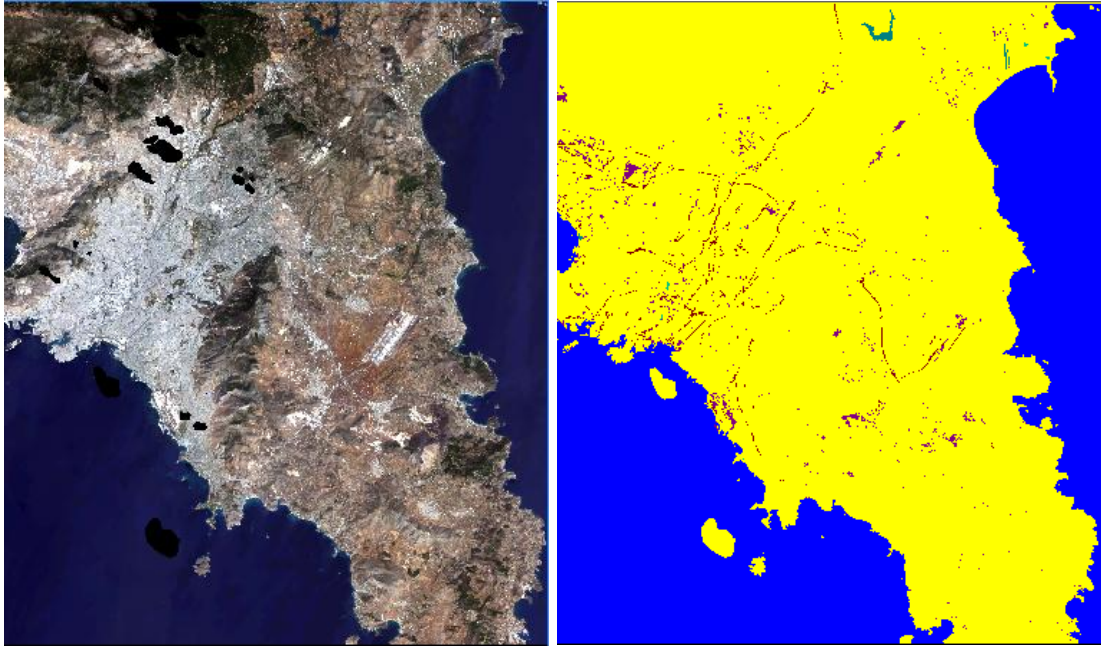
Η κατηγορία του κύριου οδικού δικτύου προέκυψε ύστερα από τον συνδυασμό πέντε συναρτήσεων συμμετοχής, εκμεταλλευόμενοι διαφόρων ειδών χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, αντλείται πληροφορία από τις φασματικές υπογραφές (λόγος καναλιών 5/3), από τις ιδιότητες του σχήματος των αντικειμένων (πυκνότητα, μήκος/πλάτος), αλλά και από χαρακτηριστικά του εδάφους όπως η κλίση (Mean Layer 9) και το υψόμετρο (Mean Layer 8). Όσον αφορά την κλίση του εδάφους, είναι προφανές, ότι πάνω από μια ορισμένη τιμή είναι δύσκολο να εμφανιστούν οδικοί άξονες.

Στο παρών επίπεδο πραγματοποιήθηκε και η ταξινόμηση ορυχείων και άλλων αντικειμένων που παρουσιάζουν μέση υψηλή τιμή φωτεινότητας και είναι δύσκολο να ταξινομηθούν σε μικρότερο επίπεδο ανάλυσης καθώς συχνά συγγέονται με αστικές και βιομηχανικές περιοχές. Ο εντοπισμός τους διευκολύνθηκε στο κόκκινο κανάλι του Landsat 8, όπου βρέθηκαν δοκιμαστικά τα όρια της ασαφούς ζώνης που όριζαν καλύτερα το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής.

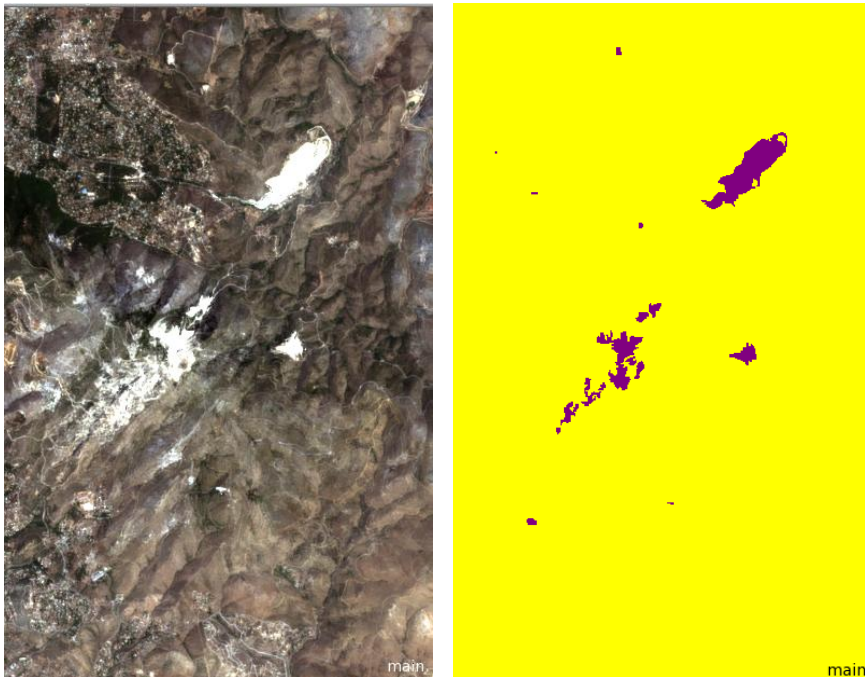
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο	
2	highway (L2)	and	5/3		1.3	1.35	
			Density		1.06	1.09	
			Length/Width		1	1.5	
			Mean Layer 8		330	340	
			Mean Layer 9		17	19	
	Mines (L2)		Mean Layer 4		16800	17000	
	Sea (L2)		Existence of super objects sea (L3) (1)		0	1	
	Water bodies (L2)		Existence of super objects water bodies (L3) (1)		0	1	
	Wetland (L2)		Existence of super objects wetland (L3) (1)		0	1	
	Other (L2)	and	Not highway (L2)				
			Not mines (L2)				
			Not sea (L2)				
Not water bodies (L2)							
Not wetland (L2)							

**Πίνακας 23: Ιεραρχία κατηγοριών του δεύτερου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8 με τους κανόνες και τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής.**

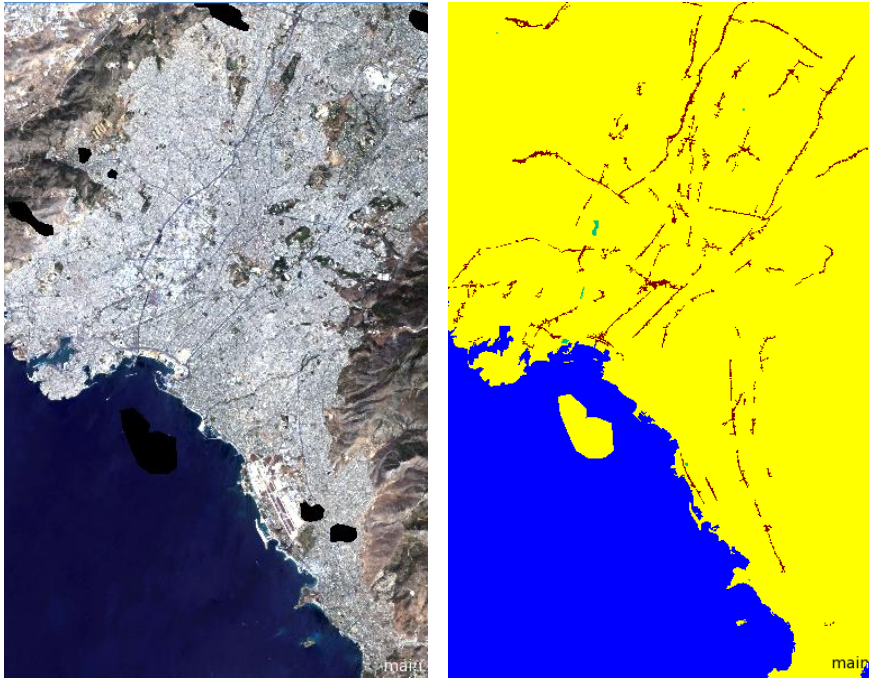
Στις παρακάτω Εικόνες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του παρόντος επιπέδου. Στην Εικόνα 48 φαίνεται η συνολική ταξινόμηση του επιπέδου, ενώ στις Εικόνες 49 και 50 εμφανίζονται οι ταξινομήσεις των αυτοκινητόδρομων και των ορυχείων σε επιμέρους τμήματα της εικόνας. Όπως γίνεται εμφανές και από τις μεγεθύνσεις των εικόνων έχει πραγματοποιηθεί πολύ καλή οριοθέτηση τόσο του οδικού δικτύου όσο και της κατηγορίας των ορυχείων. Ωστόσο να αναφερθεί πως εξαιτίας της χωρικής διακριτικής ικανότητας των απεικονίσεων Landsat δεν είναι δυνατόν να διαχωριστούν επιτυχώς οι οικιστικές οδοί. Αναλογιζόμενοι το μέγεθος του εικονοστοιχείου, μόνο οι αυτοκινητόδρομοι και οδοί ταχείας κυκλοφορίας διακρίθηκαν στα παρακάτω αποτελέσματα με όσο το δυνατό μεγαλύτερη συνέχεια.



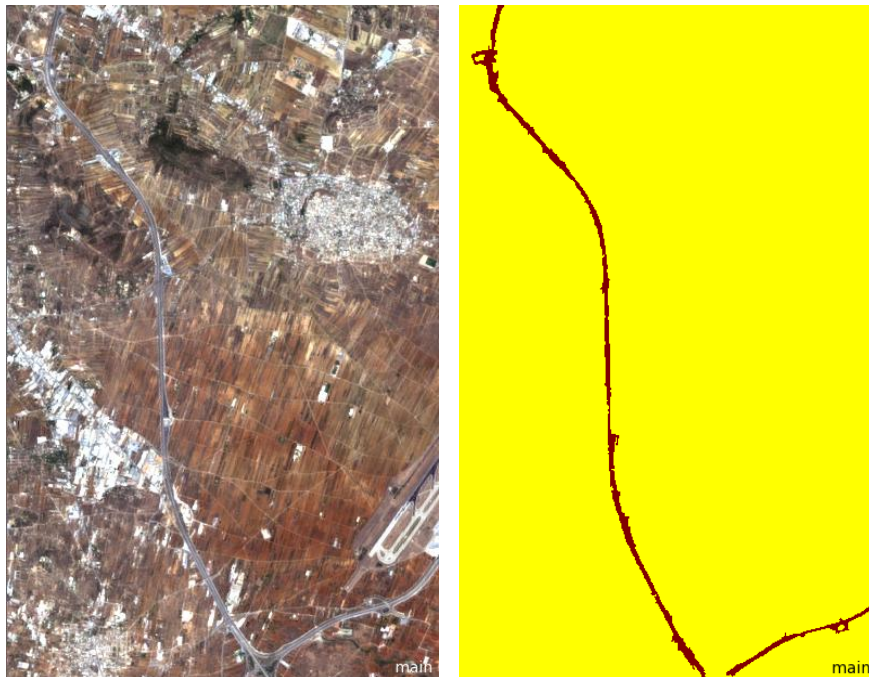
**Εικόνα 48 :** Αποτέλεσμα ταξινόμησης δεύτερου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.



**Εικόνα 49:** Αποτέλεσμα ταξινόμησης των ορυχείων στο δεύτερο επίπεδο της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.



(α)



(β)

**Εικόνα 50 : Αποτελέσματα ταξινόμησης του οδικού δικτύου στο δεύτερο επίπεδο της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.**

### 3.4.3.3 Ταξινόμηση πρώτου επιπέδου

Το επίπεδο αυτό αποτελεί το βασικό επίπεδο στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση των κατηγοριών, τόσο με προβολές των υπερ-αντικειμένων όσο και με τη συλλογή δειγμάτων στο επίπεδο αυτό. Οι κατηγορίες είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στις ταξινομήσεις με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο, προκειμένου να μπορεί να καταστεί δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση στο επόμενο κεφάλαιο.

Οι υδάτινες μάζες, το οδικό δίκτυο και τα ορυχεία προβλήθηκαν από τα υπεραντικείμενα του τρίτου και δεύτερου επιπέδου, ενώ οι υπόλοιπες κατηγορίες ταξινομήθηκαν με τη χρήση δειγμάτων, τα οποία ορίστηκαν για κάθε κλάση και την εφαρμογή της ασαφούς εκδοχής του αλγορίθμου του εγγύτερου γείτονα.

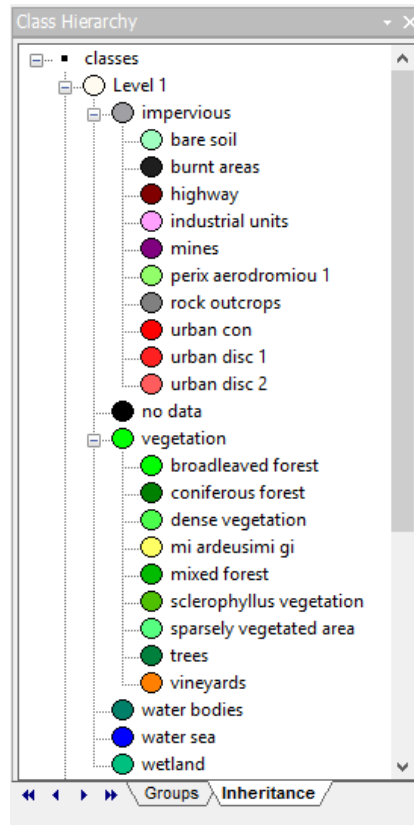
Προκειμένου να είναι αξιόπιστη η σύγκριση μεταξύ των ταξινομήσεων που έχουν ως βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο και αυτών της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν είναι αυτό εφικτό τα ίδια δείγματα με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στις προηγούμενες ταξινομήσεις.

Έπειτα για να αξιοποιηθούν οι δυνατότητες της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης και να διερευνηθεί κατά πόσο μπορεί να βελτιωθεί ακόμα το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8, έγινε και χρήση συναρτήσεων συμμετοχής στις ιδιότητες ορισμένων κατηγοριών. Παρακάτω εμφανίζεται στην Εικόνα 54 η ιεραρχία του πρώτου επιπέδου.

Όσον αφορά τις κατηγορίες “industrial units”, “urban con”, “urban disc 1”, “urban disc 2”, “mi ardeusimi gi”, “vineyards” και “rock outcrops” αξιοποιήθηκε και το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και Κλίσεων ορίζοντας συγκεκριμένες ιδιότητες για τον καλύτερο διαχωρισμό των κατηγοριών.

Πιο συγκεκριμένα λόγω της σύγχυσης των αστικών και βιομηχανικών περιοχών με τις βραχώδεις εκτάσεις ορίστηκε ένα όριο Κλίσεων, όπου από αυτό και πέρα δεν είναι δυνατή η εμφάνιση αυτών των κατηγοριών. Παρ’όλο που διορθώθηκε εμφανώς το πρόβλημα, εξακολουθούσε η κατηγορία “urban disc 2” να εμφανίζεται σε κορυφές ορεινών εκτάσεων και για το λόγο αυτό αξιοποιήθηκε και το επίπεδο του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, ορίζοντας ένα ανώτερο όριο, στο οποίο είναι δυνατή η εμφάνιση μη συνεχούς αστικής δόμησης.





**Εικόνα 51: Ιεραρχία πρώτου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.**

Επιπρόσθετα για την ανάδειξη των περιοχών βλάστησης έγινε χρήση του δείκτη NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), ενός λόγου ανάμεσα στη διαφορά ανάκλασης του κοντινού υπέρυθρου (NIR) και κόκκινου (Red), διαιρούμενος με το άθροισμα αυτών. Ο NDVI λαμβάνει τιμές από -1 (καθόλου βλάστηση) έως 1 (πλούσια βλάστηση) και εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$


































Ο δείκτης αξιοποιήθηκε για τον γενικό διαχωρισμό της κατηγορίας «βλάστησης», όπου και κληρονόμησε τις ιδιότητές του στις υποκατηγορίες του. Από εκεί και πέρα κάθε κλάση διαχωρίστηκε είτε με χρήση δειγμάτων είτε χρησιμοποιώντας κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής σε συνδυασμό. Ένα παράδειγμα αποτελούν οι καμένες εκτάσεις, όπου βρέθηκαν πειραματικά οι χαμηλές τιμές τις οποίες λαμβάνει η συγκεκριμένη κατηγορία και θέτοντας τα κατάλληλα όρια ασαφούς λογικής, επιτεύχθηκε η ανάδειξη της κατηγορίας αυτής. Ο ορισμός αυτού του κανόνα συνέβαλλε ιδιαίτερα στον διαχωρισμό των «καμένων εκτάσεων» από τη περιοχή «γύρω από το αεροδρόμιο», η οποία χαρακτηρίζεται και αυτή από χαμηλές τιμές του δείκτη NDVI, λόγω του γυμνού εδάφους που απαιτείται στα περίχωρα του αεροδρομίου.

Παράλληλα για τη βελτίωση της ταξινόμησης των καλλιεργειών ( αμπέλια και μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη) αξιοποιήθηκαν πληροφορίες σχετικά με το υψόμετρο και τη κλίση στην οποία είναι δυνατόν να εμφανιστούν και εφαρμόστηκαν οι αντίστοιχοι κανόνες. Κάποιες από τις πληροφορίες που αξιοποιήθηκαν φαίνονται ενδεικτικά στον παρακάτω Πίνακα 24. Παραδείγματος χάριν η μέγιστη κλίση στη οποία εμφανίζονται συχνά τα αμπέλια είναι μέχρι 18% και από 500 m υψόμετρο και πέρα συναντώνται σπάνια έως πολύ δύσκολα

VINEYARDS PLANTATIONS (VITIS VINIFERA)				
Typical Geographic Context Factors	Estimated Degrees Of Certainty			
	No	Rarely	Very Often	Always
<b>Latitude Limits (Degrees)</b>				
35-38				*
38-41			*	
<b>Longitude Limits (Degrees)</b>				
20-22			*	measured from
22-25			*	Athens observatory
25-27			*	
<b>Altitude Limits (Meters)</b>				
0-100			*	
101-200			*	
201- 500			*	
501-1000		*		
1000-2000	*			
>2000	*			
<b>Slope Gradient</b>				
0-3%			*	
3-6%			*	
6-12%			*	
12-18%			*	
18-25%		*		
>25%	*			
<b>Slope Aspect</b>				
South			*	
West			*	
North		*		
East			*	

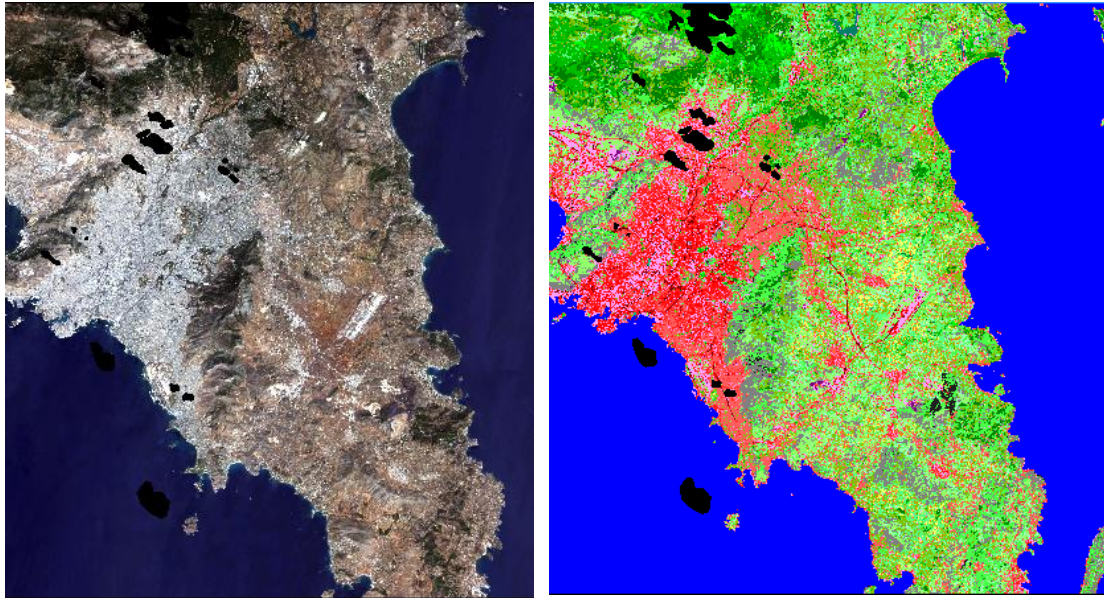
**Πίνακας 24 : Τυπικά Γεωγραφικά Στοιχεία Αμπελιών [Πηγή: Α. Ρόκος, Σ. Θεοχαρόπουλος, Γ. Χάλαρης, 1992, «Γεωγραφικό Περιβάλλον Τυπικών Μεσογειακών Καλλιεργειών και Τύπων Βλάστησης ως βάση κανόνων Εμπείρου Συστήματος Ανάλυσης Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Απεικονίσεων – Τελική έκθεση».**

Στον Πίνακα 25 που ακολουθεί παρουσιάζονται μόνο οι κατηγορίες για τις οποίες έγινε και χρήση κανόνων πέρα από την λήψη δειγμάτων. Παρατίθενται για κάθε κατηγορία τα χαρακτηριστικά που επιλέχτηκαν να τις περιγράψουν καθώς και οι συναρτήσεις συμμετοχής, με τα όρια της ασαφούς ζώνης που ορίζονται για κάθε χαρακτηριστικό. Να σημειωθεί πως η κατηγορία “no data” που έχει οριστεί αφορά τα σύννεφα τα οποία είχαν απαλειφθεί στο ER Mapper με την εφαρμογή μιας μάσκας και της οποίας οι ιδιότητες δεν πέρασαν στο λογισμικό του eCognition. Παραπάνω αναφέρθηκαν οι λόγοι που χρησιμοποιήθηκε ο εκάστοτε κανόνας για την κάθε κατηγορία

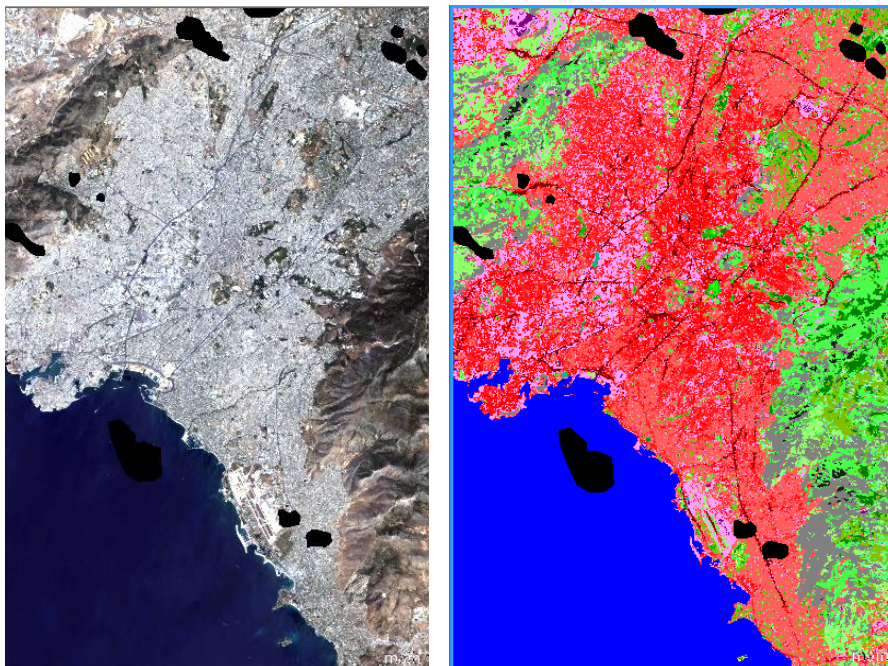
Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό Όριο	Δεξί Όριο
1	impervious	and	not vegetation			
			not water bodies			
			not water sea			
			not wetland			
	highway		Existence of super objects highway (L2) (1)		0	1
	industrial units	and	Mean Layer 8		470	490
			Mean Layer 9		15	25
	mines		Existence of super objects mines (L2) (1)		0	1
	rock outcrops	and	Mean Layer 9		15	25
			NDVI		0.21	0.23
	urban con	and	Mean Layer 9		14	16
			Standard deviation Layer 2		60	80
	urban disc 1	and	Mean Layer 8		470	490
			Mean Layer 9		14	16
			Standard deviation Layer 2		60	80
	urban disc 2	and	Mean Layer 9		15	25
			Standard deviation Layer 2		60	80
			Mean Layer 8		470	490
			NDVI		0.25	0.27
	water sea		Existence of super objects sea (L3) (2)		0	1
	water bodies		Existence of super objects water bodies (L3) (2)		0	1
	wetland		Existence of super objects wetland (L3) (2)		0	1
	no data		Brightness		0	1
	vegetation	and	NDVI		0.17	0.18
			not water sea			
			not water bodies			
			not wetland			
	mi ardeusimi gi	and	Mean Layer 8		150	250
			Mean Layer 9		17	19
	vineyards	and	Mean Layer 8		150	250
Mean Layer 9				17	19	
perix aerodromiou		NDVI		0.21	0.23	
burnt areas		NDVI		0.12	0.14	

**Πίνακας 25: Ιεραρχία των κατηγοριών του πρώτου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8 με τους κανόνες και τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής.**

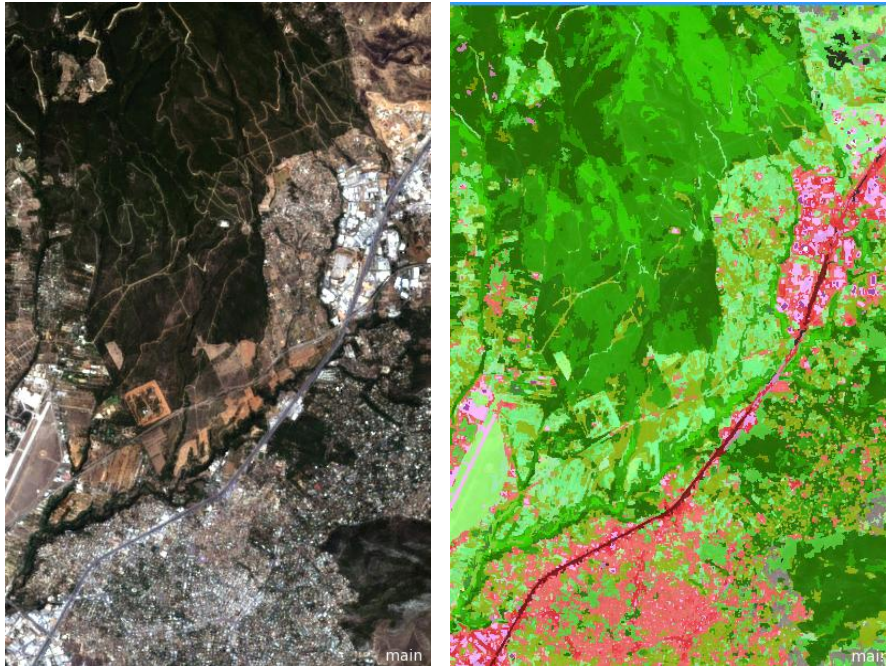
Ακολουθούν στην Εικόνα 52 τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του παρόντος επιπέδου. Παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες κατηγορίες σε μεγέθυνση (Εικόνα 53-55), ενώ λεπτομερέστερη απεικόνιση και σύγκριση των αποτελεσμάτων θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.



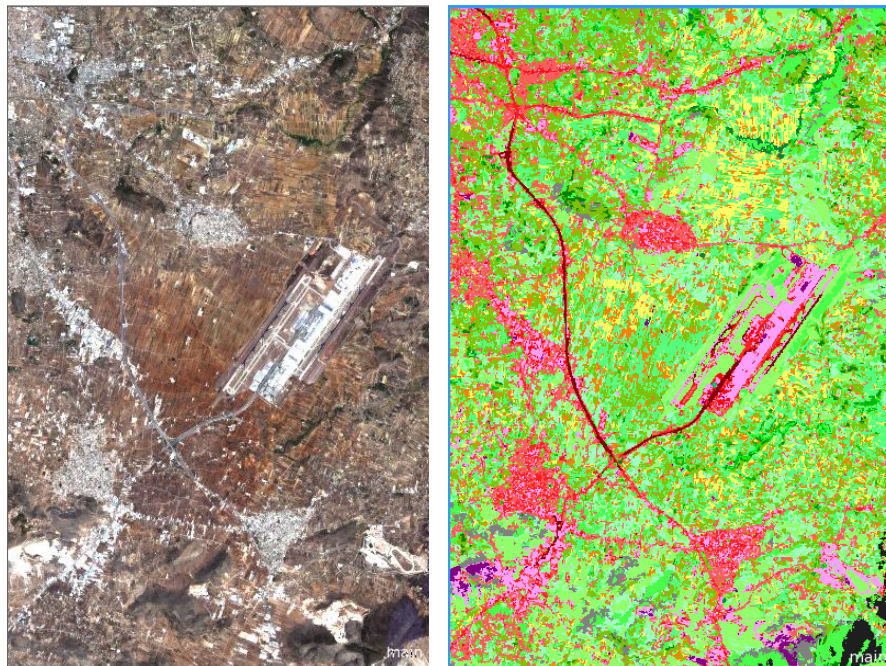
**Εικόνα 52 : Αποτέλεσμα ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.**



**Εικόνα 53 : Αποτέλεσμα ταξινόμησης πρώτου επιπέδου της αστικής περιοχής της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.**



**Εικόνα 54: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πρώτου επιπέδου της βλάστησης της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.**



**Εικόνα 55: Αποτέλεσμα ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου της περιοχής του αεροδρομίου και των γύρω γεωργικών εκτάσεων της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.**

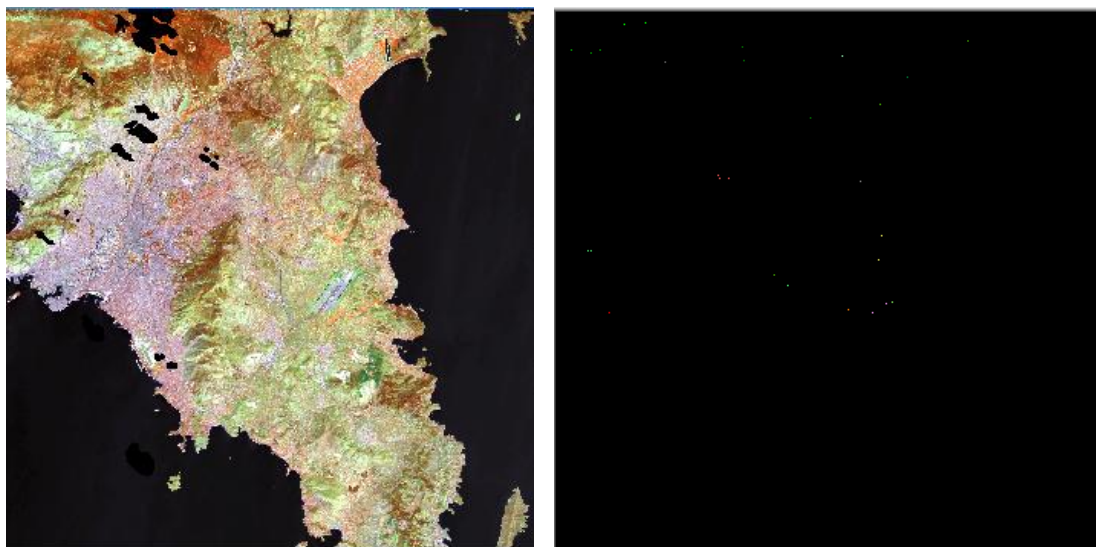
Με μια πρώτη ματιά γίνεται εμφανές το πιο λεπτομερές και οριοθετημένο αποτέλεσμα της αντικειμενοστρεφούς ταξινόμησης σε σχέση με τις προηγούμενες ταξινομήσεις που είχαν ως βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο. Η ταξινόμηση του οδικού δικτύου στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης, δίνοντας έμφαση στις ιδιότητες του σχήματος των αντικειμένων αλλά και σε σχέσεις γειτνίασης, συνέβαλλε στη διάκριση της κατηγορίας αυτής με όσο το δυνατό μεγαλύτερη συνέχεια.

Επίσης είναι εμφανείς οι διαβαθμίσεις της κατηγορίας αστικής δόμησης, με το έντονο κόκκινο να αντιστοιχεί στη συνεχή δόμηση και πηγαίνοντας προς τους ανοιχτότερους τόνους του κόκκινου να χαρακτηρίζονται δύο αραιότεροι τύποι δόμησης. Παράλληλα στην Εικόνα 55 φαίνεται το αεροδρόμιο Ελ.Βενιζέλος, όπου το μεγαλύτερο τμήμα του, ταξινομήθηκε ορθά ως «Βιομηχανική Περιοχή» με το ροζ χρώμα, ενώ ένα μικρό τμήμα της επιφάνειας του έχει ταξινομηθεί ως αστική δόμηση λόγω της υψηλής ανακλαστικότητας των κατηγοριών αυτών.

Στην Εικόνα 54 παρουσιάζεται και ένα ενδεικτικό παράδειγμα της ταξινόμησης της βλάστησης με τους σκουρότερους τόνους του πράσινου να αντιστοιχούν στα «κωνοφόρα δάση», τους ενδιάμεσους τόνους στο «μικτό δάσος» ενώ οι ανοιχτότεροι τόνοι αναδεικνύουν τα «πλατύφυλλα δέντρα». Να σημειωθεί ότι η ταξινόμηση των δασών πραγματοποιήθηκε αποκλειστικά με χρήση δειγμάτων, τα οποία προσέγγιζαν όσο το δυνατόν περισσότερο τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις. Αυτό κάνει σαφές το γεγονός ότι το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της βλάστησης βελτιώθηκε σημαντικά φωτοερμηνευτικά, αποδεικνύοντας ότι η αντικειμενοστρεφής λογική με την εφαρμογή της ασαφούς εκδοχής του εγγύτερου γείτονα, προσαρμόζεται καλύτερα στις σταδιακές μεταβολές και την πολυπλοκότητα των φαινομένων του φυσικού κόσμου.

Μια ταξινόμηση όμως δεν έχει ολοκληρωθεί μέχρι να γίνει η αποτίμηση της ακρίβειάς της και για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση του αποτελέσματος με τη δημιουργία του Πίνακα Σύγχυσης. Αρχικώς επιλέχθηκαν τα δεδομένα ελέγχου, όπου έγινε προσπάθεια να αντιστοιχούν, όσο το δυνατό, στα πολύγωνα ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που έγιναν με μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο. Εν συνεχεία λήφθηκαν ορισμένα ακόμα αντικείμενα ως δεδομένα ελέγχου για μεγαλύτερη αξιοπιστία του αποτελέσματος. Τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν ως “Μάσκα” (Εικόνα 56) και στη συνέχεια ο αλγόριθμος “Error Matrix based on TTA Mask” συνέκρινε τα αποτελέσματα της ταξινόμησης με τιμές αναφοράς που αναφέρονται στις δεδομένες περιοχές ελέγχου και είχαν ως αναφορά την οντότητα των εικονοστοιχείων

Στην Εικόνα 56 λοιπόν φαίνεται αριστερά η αρχική απεικόνιση στο έγχρωμο σύνθετο 564 και στη δεξιά πλευρά παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της μάσκας για τα δεδομένα ελέγχου που λήφθηκαν με σκοπό τη δημιουργία του Πίνακα Σύγχυσης για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

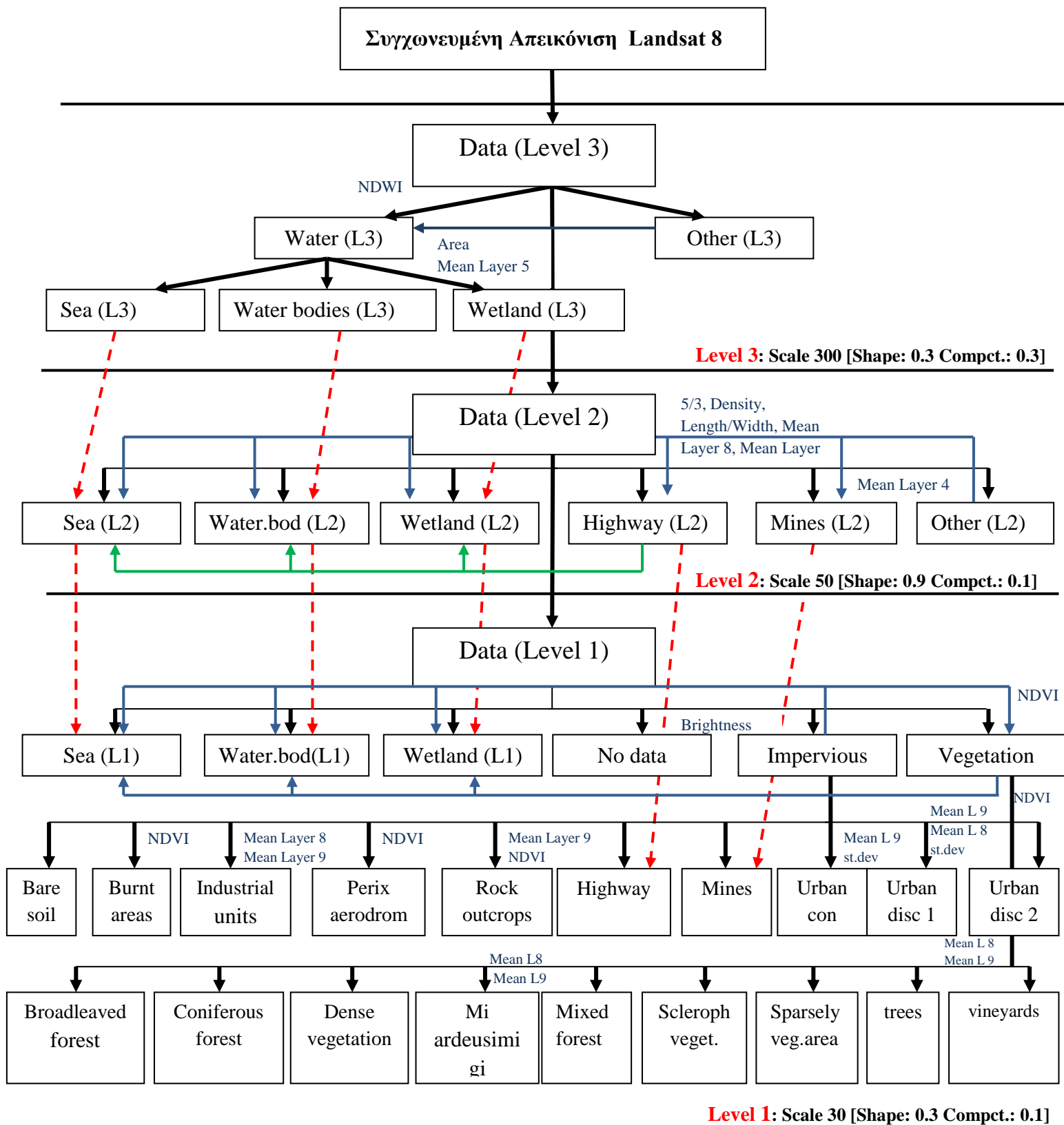


**Εικόνα 56 : Δημιουργία Μάσκας για τα δεδομένα ελέγχου της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8.**

Στο Γράφημα 5 απεικονίζεται μια αναλυτική μορφή της προβολής των κατηγοριών που παρουσιάστηκαν έως αυτό το σημείο, μαζί με τους κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε κατηγορία. Τα επίπεδα τοποθετήθηκαν ανάλογα με την αριθμητική τους προτεραιότητα και την προτεραιότητα της προβολής.

Ακολουθεί ο Πίνακας Σύγχυσης (Πίνακας 26) στον οποίο εμφανίζονται οι ακρίβειες του χρήστη και του παραγωγού αλλά και η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης, η οποία έλαβε περίπου την τιμή 85%. Οι ακρίβειες τόσο ολικά όσο και στις επιμέρους κατηγορίες είναι σαφώς μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που επιτεύχθηκαν με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Σε κατηγορίες όπως οι υδάτινες επιφάνειες και οι καμένες εκτάσεις επιτεύχθηκε απόλυτη ακρίβεια της τάξης του 100%, λόγω της αποκλειστικής χρήσης κανόνων ασαφούς λογικής, για την ανάδειξή τους. Με τα αποτελέσματα του Πίνακα Σύγχυσης αποδεικνύεται και στατιστικώς το ορθότερο αποτέλεσμα της αντικειμενοστρεφούς ταξινόμησης σε σχέση με τις προηγούμενες ταξινομήσεις, οι οποίες είχαν ως βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο.

Το παρών εδάφιο αρκείται μόνο στη παρουσίαση των αποτελεσμάτων χωρίς την συζήτησή τους. Η αξιολόγησή τους θα γίνει λεπτομερέστερα, τόσο φωτοερμηνευτικά όσο και στατιστικά, αξιοποιώντας τους Πίνακες Σύγχυσης στο Κεφάλαιο 4 «Συμπεράσματα και Αξιολόγηση» που ακολουθεί.



Γράφημα 5: Αναλυτικός αλγόριθμος ταξινόμησης της συγχωνευμένης απεικόνισης.



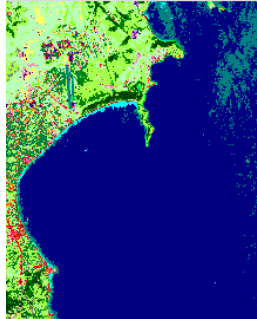
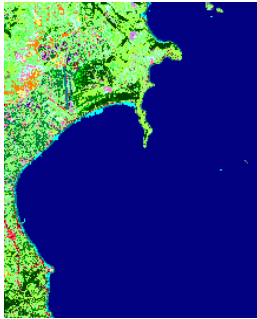
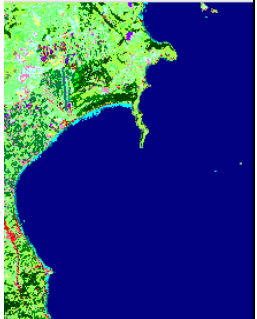
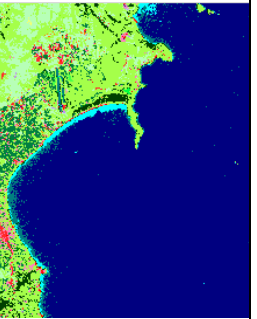
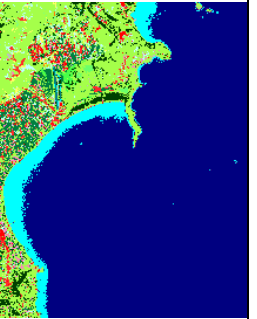
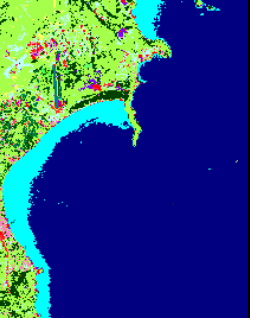
User \ Reference	bare soil	highway	urban con	rock outcr	vineyards	industrial	water sea	water bod	burnt area	sparsely ve	urban disc	urban disc	broadleav	coniferous	mixed fore	sclerophyl	mi ardeusi	wetland	mines	trees	dense veg	perix aero	Sum	
bare soil	123	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133	
highway	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	
urban con	0	0	95	0	0	17	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	139	
rock outcrops	0	0	0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	170	
vineyards	0	0	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	100	
industrial units	0	38	0	0	0	106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	144	
water sea	0	0	0	0	0	0	765	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	765	
water bodies	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	
burnt areas	0	0	0	0	0	0	0	0	128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	
sparsely vegetate	45	0	0	27	36	0	0	0	0	315	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	66	530
urban disc 1	0	27	15	0	0	0	0	0	0	0	82	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	134	
urban disc 2	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141	
broadleaved fore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	193	0	41	0	0	0	0	0	0	0	234	
coniferous forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	294	0	0	0	0	0	0	0	0	294	
mixed forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84	173	0	0	0	0	0	0	0	257	
sclerophyllus veg	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0	0	0	282	
mi ardeusimi gi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	143	0	0	0	0	0	143	
wetland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	
mines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	41	
trees	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	44	
dense vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	18	42	0	87	
perix aerodromic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	65	
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sum	195	155	110	215	119	123	765	150	128	325	109	123	220	378	214	296	160	30	51	62	42	131		
Producer	0,631	0,581	0,864	0,744	0,697	0,862	1,000	1,000	1,000	0,969	0,752	0,919	0,877	0,778	0,808	0,861	0,894	1,000	0,804	0,710	1,000	0,496		
User	0,925	1,000	0,683	0,941	0,830	0,736	1,000	1,000	1,000	0,594	0,612	0,801	0,825	1,000	0,673	0,904	1,000	1,000	1,000	1,000	0,483	1,000		
Hellden	0,750	0,735	0,763	0,831	0,758	0,794	1,000	1,000	1,000	0,737	0,675	0,856	0,850	0,875	0,735	0,882	0,944	1,000	0,891	0,830	0,651	0,663		
Short	0,600	0,581	0,617	0,711	0,610	0,658	1,000	1,000	1,000	0,583	0,509	0,748	0,739	0,778	0,581	0,789	0,894	1,000	0,804	0,710	0,483	0,496		
KIA Per Class	0,618	0,571	0,859	0,733	0,690	0,857	1,000	1,000	1,000	0,965	0,744	0,916	0,870	0,761	0,796	0,851	0,890	1,000	0,802	0,707	1,000	0,488		


Overall Accuracy :	0,8510119
KIA :	0,8386193


**Πίνακας 26 : Πίνακας Σύγκρισης της ταξινόμησης της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8 με την μέθοδο αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας.**

#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο παρόν εδάφιο πραγματοποιήθηκε συγκριτική διερεύνηση μεταξύ των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων που δημιουργήθηκαν στα προηγούμενα υποκεφάλαια. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν τόσο φωτοερμηνευτικά όσο και με τη χρήση κατάλληλων στατιστικών δεικτών. Ακολουθεί ο Πίνακας 27 στον οποίο φαίνονται σε μεγέθυνση οι διαφορές των ταξινομήσεων που πραγματοποιήθηκαν τόσο με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης όσο και με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, έχοντας ως βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο.

Κατηγορία Θάλασσα	Minimum Distance			Maximum Likelihood		
	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 8 Fused	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 8 Fused
Landsat 8 RGB : 432	 84/82.7	 95.6/92.2	 97.7/96	 89/88	 96.9/97.3	 97.8/96.4

Ακρίβεια   
 Παραγωγού


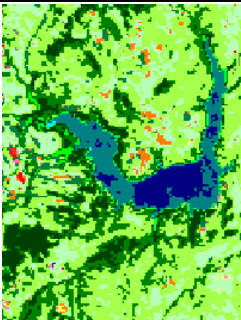
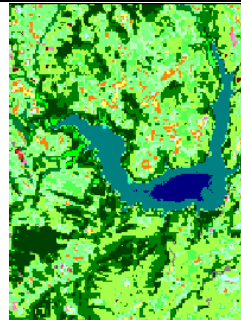
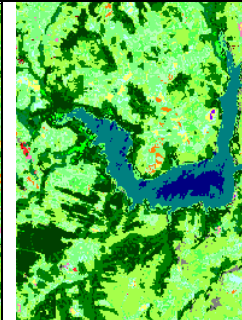
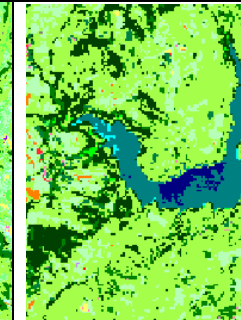
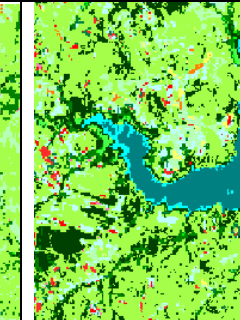
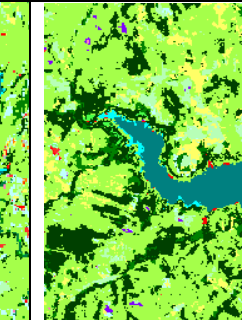

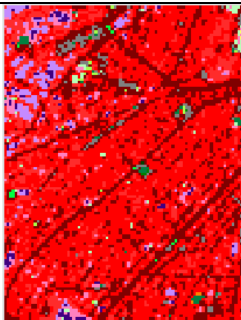
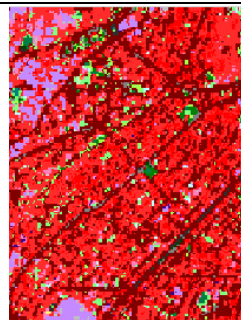
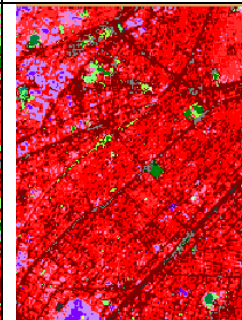
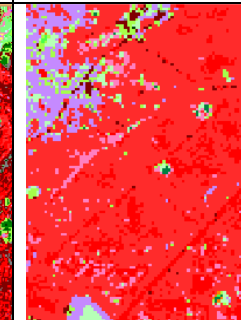
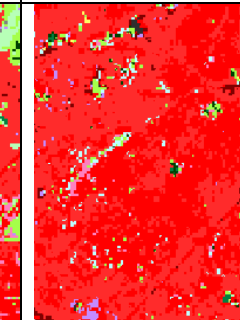
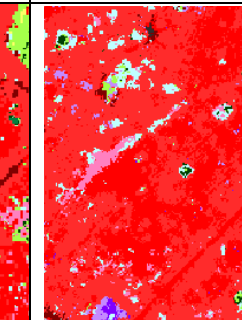
 Ακρίβεια  
 Χρήστη

Πίνακας 27 : Συγκριτική Διερεύνηση μεταξύ των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων για τη κατηγορία της θάλασσας.

Στον παραπάνω Πίνακα 27 απεικονίζονται τα αποτελέσματα όλων των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων για τη κατηγορία της θάλασσας. Παρατηρείται ότι στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης του Landsat 5 με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης, μέρος των εικονοστοιχείων της θάλασσας συγχέεται με εικονοστοιχεία άλλων υδάτινων επιφανειών. Αυτό αποδεικνύεται και από τον Πίνακα 12 (Πίνακας Σύγχυσης της απεικόνισης του Landsat 5) του προηγούμενου κεφαλαίου όπου 20 εικονοστοιχεία, τα οποία έπρεπε να έχουν ταξινομηθεί ως «θάλασσα», αποκλείστηκαν από τη κατηγορία αυτή και συμπεριλήφθηκαν στη κατηγορία «συλλογές υδάτων».

Το πρόβλημα αυτό βελτιώνεται στις ταξινομήσεις του Landsat 8 με την αντίστοιχη μέθοδο, όπου η ακρίβεια του παραγωγού καλυτερεύει από 85% σε 95.6% και με αντίστοιχη ακρίβεια χρήστη από 82.7% σε 92.2%. Με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, η συμμετοχή της συμμεταβλητότητας των εικονοστοιχείων φαίνεται πως έχει μειώσει σε μεγάλο βαθμό το προηγούμενο πρόβλημα στην απεικόνιση του Landsat 5. Η σύγχυση των κατηγοριών της λίμνης με τη θάλασσα εμφανίζεται μόνο κοντά στην ακτογραμμή, γεγονός που οφείλεται στο μειωμένο βάθος. Η ταξινόμηση της θάλασσας στις απεικονίσεις του Landsat 8 είναι πολύ ικανοποιητική και παρατηρείται μάλιστα ότι είναι εμφανής η κατηγορία «sea shallow», παρουσιάζοντας ελαφρώς μεγαλύτερη ομογενοποίηση στη συγχωνευμένη εικόνα του Landsat 8. Σύμφωνα με τους πίνακες σύγχυσης των τριών ταξινομήσεων με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας η κατηγορία της «θάλασσας» παρουσιάζει σταδιακή βελτίωση της ακρίβειάς της, δηλαδή 89%, 96.9% και 97.8% αντίστοιχα.

Στην πρώτη γραμμή του Πίνακα 28 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση της κατηγορίας της λίμνης. Παρατηρείται ότι το παραπάνω πρόβλημα της σύγχυσης με τη θάλασσα δείχνει να βελτιώνεται σημαντικά στη ταξινόμηση της απεικόνισης του Landsat 8 με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της συγχωνευμένης εικόνας παρέχει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα καθώς, όπως φαίνεται σχεδόν όλη η επιφάνεια της λίμνης έχει ταξινομηθεί σωστά, με εξαίρεση ένα μικρό μέρος των ρηχών σημείων της, που έχει ταξινομηθεί ως «sea shallow». Ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας δείχνει να συμβάλλει εξαιρετικά στη βελτίωση της ταξινόμησης. Το ικανοποιητικό αυτό αποτέλεσμα πιστοποιείται και από την ακρίβεια της ταξινόμησης της συγκεκριμένης κατηγορίας όπου σύμφωνα με τους αντίστοιχους Πίνακες Σύγχυσης (Πίνακας 13, 15 και 20), λαμβάνει τιμές παραγωγού 85%, 93.7% και 97.6% αντίστοιχα.


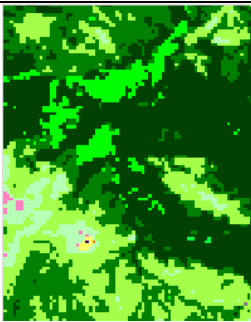
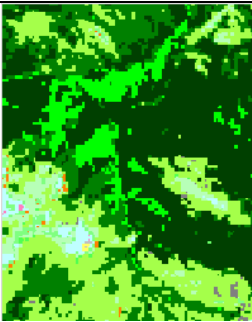
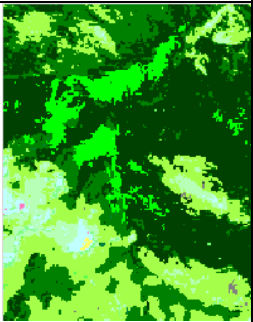
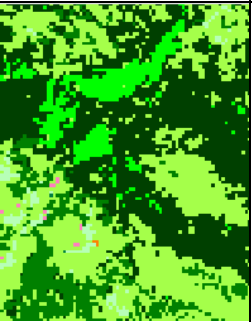
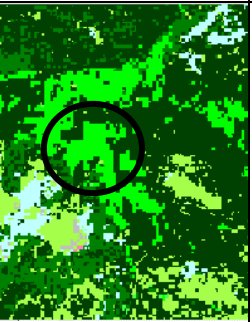
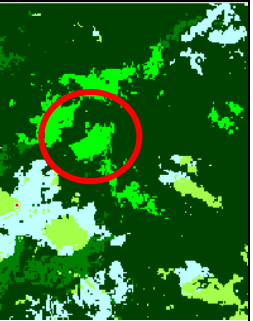

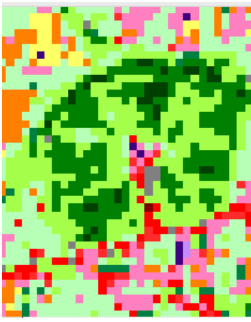
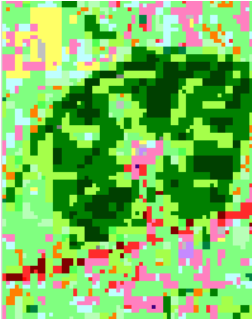
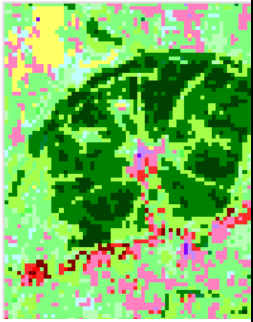
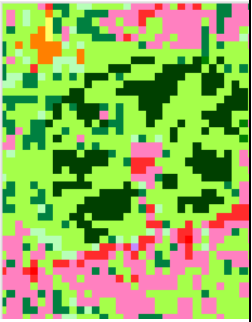
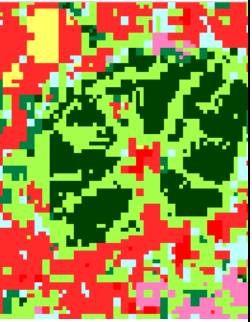
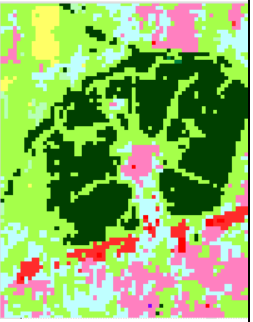
	Κατηγορία Λίμνη	Minimum Distance			Maximum Likelihood		
	Landsat 8 RGB : 432	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 8 Fused	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 8 Fused
1		 84/72.2	 92.9/89.4	 96.1/93.8	 85/78	 93.7/92.9	 97.6/94
	Κατηγορία Οδικό Δίκτυο						
2		 45.7/45.7	 47.6/46.2	 51.9/50	 37.1/43	 39.6/53	 40.7/56

Πίνακας 28: Συγκριτική Διερεύνηση μεταξύ των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων για τη κατηγορία της λίμνης και του οδικού δικτύου.

Στην δεύτερη γραμμή του Πίνακα 28 παρουσιάζεται η ταξινόμηση του οδικού δικτύου. Όπως είναι εμφανές η κατηγοριοποίησή τους είναι λεπτομερέστερη με τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης. Η διαφοροποίηση ανάμεσα στα αποτελέσματα των δύο δορυφόρων είναι εμφανής, με την συγχωνευμένη εικόνα του Landsat 8 να παρέχει πιο ευκρινές και λεπτομερές αποτέλεσμα ακόμα και ανάμεσα σε οικοδομικά τετράγωνα. Η αντίστοιχη ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας προσφέρει πιο ομογενές αποτέλεσμα χωρίς να προσφέρει διαχωρισμό του οδικού δικτύου, γεγονός που αποδεικνύεται και από τους αντίστοιχους Πίνακες Σύγκρισης, με την μέθοδο της ελάχιστης απόστασης να προσφέρει ακρίβειες που κυμαίνονται από 45.7% σε 47.6% και σε 51.9%. Αντίθετα οι ακρίβειες με τη μέθοδο της μέγιστης Πιθανοφάνειας παίρνουν τιμές 37.1%, 39.6% 40.7% αντίστοιχα. Να σημειωθεί ότι οι ακρίβειες δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές για τη συγκεκριμένη κατηγορία, λόγω της χωρικής διακριτικής ικανότητας των απεικονίσεων Landsat, οι οποίες δεν δίνουν τη δυνατότητα του επιτυχή διαχωρισμού των οικιστικών οδών. Αναλογιζόμενοι το μέγεθος του εικονοστοιχείου, μόνο αυτοκινητόδρομοι και οδοί ταχείας κυκλοφορίας μπορούν να διαχωριστούν με όσο το δυνατό μεγαλύτερη συνέχεια.

Παρακάτω ακολουθεί ο Πίνακας 29 στον οποίο παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση της βλάστησης και πιο συγκεκριμένα των πλατύφυλλων και κωνοφόρων δασών ενώ στη πρώτη στήλη του Πίνακα απεικονίζεται η αρχική εικόνα του Landsat 8 στο έγχρωμο σύνθετο RGB 543 για την ανάδειξη της βλάστησης. Στη πρώτη γραμμή του Πίνακα φαίνεται η ταξινόμηση της κατηγορίας «πλατύφυλλο δάσος» με ανοιχτούς τόνους του πράσινου. Τόσο με τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης όσο και με της μέγιστης πιθανοφάνειας παρατηρείται ότι αυτού του είδους βλάστηση οριοθετείται καλύτερα στην συγχωνευμένη απεικόνιση του Landsat 8.

Χαρακτηριστικά φαίνεται στα τμήματα που έχουν σημειωθεί με ελλείψεις, η υπερεκτίμηση της κατηγορίας αυτής από την μη συγχωνευμένη απεικόνιση του Landsat 8. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται στο τμήμα που έχει σημειωθεί στην αρχική εικόνα με την μπλε έλλειψη, ότι η μια πλευρά του λόφου απεικονίζεται με ανοιχτούς τόνους του κόκκινου (δηλαδή πλατύφυλλα δέντρα) και η άλλη πλευρά με σκουρότερους τόνους (πρόκειται είτε για κωνοφόρα δέντρα είτε αλλαγή στο φωτισμό λόγω του τοπογραφικού ανάγλυφου). Η μαύρη έλλειψη αναδεικνύει την υπερεκτίμηση της κατηγορίας των «πλατύφυλλων» ενώ η κόκκινη έλλειψη δείχνει τον ορθότερο διαχωρισμό της βλάστησης στη μια πλευρά του λόφου και στην άλλη. Τα καλύτερα αποτέλεσμα που παρέχει η ταξινόμηση της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat8, με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, αποδεικνύονται και στατιστικώς με τις ακρίβειες να λαμβάνουν τις τιμές 75.3%, 76.8% και 81% αντίστοιχα.


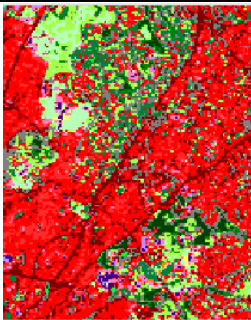
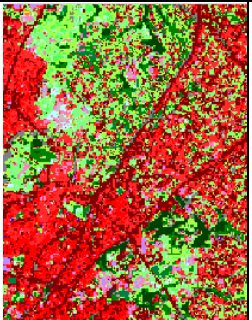
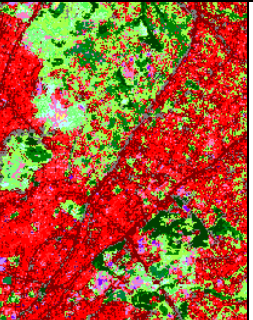
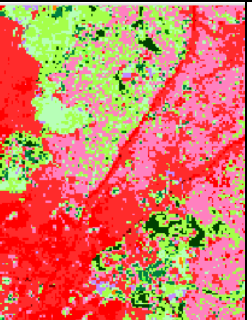
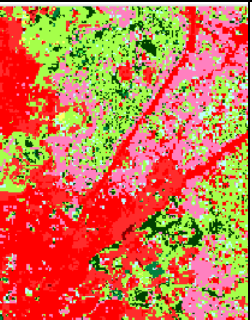
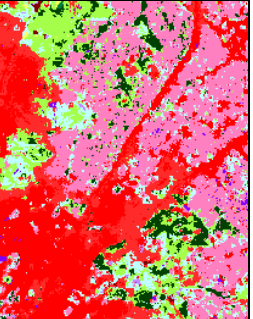
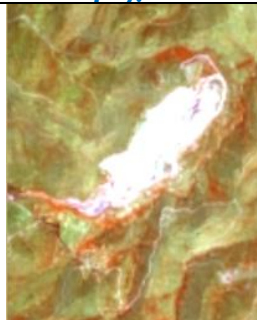
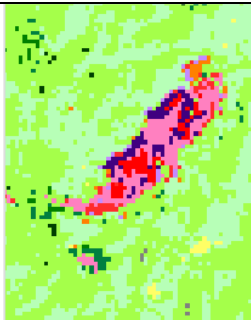
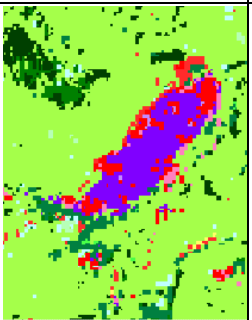
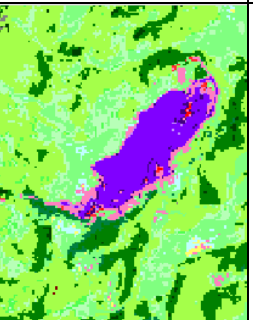
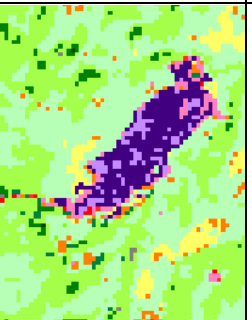
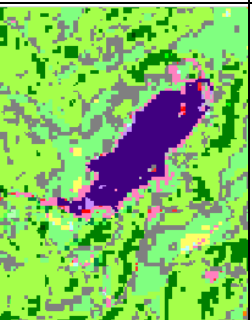
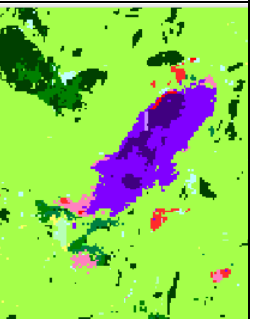
	Κατηγορία Πλατύφυλλα Δάση	Minimum Distance			Maximum Likelihood		
	Landsat 8 RGB :543	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 8 Fused	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 8 Fused
1		 74.3/76.4	 76/77.4	 80.1/77.7	 75.3/77.2	 76.8/79.6	 81/80.2
2		 67.9/70.7	 70.8/77	 72.9/78	 69.4/74.7	 72/79.3	 73.9/82.1

Πίνακας 29: Συγκριτική Διερεύνηση μεταξύ των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων για τη κατηγορία των πλατύφυλλων και κωνοφόρων δασών.

Στη δεύτερη γραμμή του Πίνακα 29 φαίνεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ταξινόμησης της κατηγορίας «κωνοφόρα δάση». Είναι εμφανές ότι ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης συγγέει μεγάλο τμήμα της περιοχής με τη κατηγορία «μικτό δάσος». Το πρόβλημα δείχνει να βελτιώνεται με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας, όπου είναι πιο εμφανής η ανάδειξη των κωνοφόρων. Ωστόσο στην απεικόνιση του Landsat 5 εξακολουθεί να υπάρχει σύγχυση, αλλά αυτή τη φορά με την κατηγορία της «σκληροφυλλικής βλάστησης» που εμφανίζεται με το πιο ανοιχτό πράσινο. Η ανάδειξη της κατηγορίας επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό στην τελευταία ταξινόμηση της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8, γεγονός που αποδείχτηκε και στατιστικώς. Παρατίθενται πρώτα οι ακρίβειες του αλγορίθμου της ελάχιστης απόστασης, οι οποίες σταδιακά είναι 67.9%, 70.8% και 72.9% ενώ του αλγορίθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας λαμβάνουν τις τιμές 69.4%, 72% και 73.9% αντίστοιχα, αποδεικνύοντας με τον τρόπο αυτό τα φωτοερμηνευτικά συμπεράσματα.

Παρακάτω ακολουθεί ο Πίνακας 30 ο οποίος απεικονίζει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης της αστικής δόμησης και των ορυχείων. Στην πρώτη γραμμή έχουν σχεδιαστεί δύο ελλείψεις οι οποίες απεικονίζουν δύο διαβαθμίσεις της μη συνεχούς αστικής δόμησης, με την κόκκινη έλλειψη να περιλαμβάνει περισσότερη επιφάνεια βλάστησης συγκριτικά με τη μπλε έλλειψη. Αυτό αποδεικνύεται λόγω των πιο έντονων τόνων του κόκκινου στο έγχρωμο σύνθετο 564 στη πρώτη στήλη του Πίνακα 29. Η κατηγοριοποίηση της αστικής δόμησης φαίνεται λοιπόν να είναι ορθότερη στις ταξινομήσεις με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας, καθώς φαίνεται να έχει επιτευχθεί ο διαχωρισμός των διαβαθμίσεών της, με το έντονο κόκκινο να αφορά τη συνεχή δόμηση ενώ το ροζ χρώμα την δεύτερη διαβάθμιση της μη συνεχούς δόμησης.

Αντίθετα ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης δεν έχει καταφέρει να διαχωρίσει τα διάφορα είδη αστικής δόμησης, γεγονός που αποδεικνύεται και στατιστικώς από τους αντίστοιχους Πίνακες Σύγχυσης. Αναφέρονται χαρακτηριστικά οι ακρίβειες της συνεχούς αστικής δόμησης, οι οποίες για τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης κυμαίνονται από 47.5%-53.7% ενώ με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας λαμβάνουν τιμές μεταξύ 49.5%-59.5%. Επιπρόσθετα όσο αφορά τη κατηγορία της δεύτερης διαβάθμισης της μη συνεχούς αστικής δόμησης (ροζ χρώμα), η διαφορά στις ακρίβειες της απεικόνισης του Landsat 8 με τους δύο αλγορίθμους είναι 58.8% και 66.4% αντίστοιχα, επιλέγοντας με τον τρόπο αυτό τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας ως βέλτιστο ταξινομητή.

	<b>Κατηγορία Αστική Δόμηση</b>	<b>Minimum Distance</b>			<b>Maximum Likelihood</b>		
	<b>Landsat 8 RGB :564</b>	<b>Landsat 5</b>	<b>Landsat 8</b>	<b>Landsat 8 Fused</b>	<b>Landsat 5</b>	<b>Landsat 8</b>	<b>Landsat 8 Fused</b>
1		 <b>52.4/49.3</b>	 <b>58.9/57.6</b>	 <b>63.1/58.9</b>	 <b>55.2/51.2</b>	 <b>59.7/55.8</b>	 <b>63.3/59.3</b>
2		 <b>32/57</b>	 <b>50/66.6</b>	 <b>65.8/65.8</b>	 <b>44/61</b>	 <b>54.5/68.6</b>	 <b>68.3/71.7</b>

Πίνακας 30: Συγκριτική Διερεύνηση μεταξύ των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων για τη κατηγορία της αστικής δόμησης και των ορυχείων.


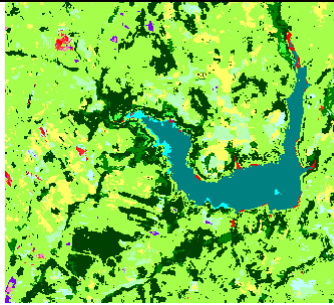


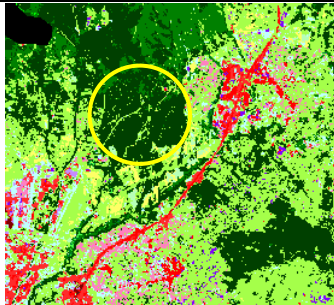



Στην δεύτερη γραμμή του Πίνακα 30 απεικονίζεται η κατηγοριοποίηση των ορυχείων. Η μέθοδος της ελάχιστης απόστασης συγχέει σημαντικά την αστική δόμηση με την κατηγορία αυτή, με την ταξινόμηση της απεικόνισης του Landsat 5 να αναδεικνύει εντονότερα αυτό το πρόβλημα. Τα αποτελέσματα βελτιώνονται σημαντικά με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας, όπου ο συνυπολογισμός της διασποράς των κατηγοριών συνεισφέρει σημαντικά. Τα φωτοερμηνευτικά αυτά συμπεράσματα αποδεικνύονται και στατιστικώς με τους αντίστοιχους Πίνακες σύγχυσης. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι ακρίβεια με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης ξεκίνησε από 32% για την απεικόνιση του Landsat 5 και έφτασε στο 44% ενώ η συγχωνευμένη απεικόνιση του Landsat 8 έδωσε ακρίβεια παραγωγού 68.3% με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Σύμφωνα λοιπόν με τη παραπάνω αξιολόγηση προκύπτει πως η απεικόνιση του Landsat 8 προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα ταξινόμησης από αυτά του Landsat 5. Τα αποτελέσματα όμως αυτά βελτιώνονται σημαντικά με την συγχώνευση του παγχρωματικού καναλιού στα πολυφασματικά κανάλια του δορυφόρου Landsat 8. Έτσι λοιπόν τέθηκε ως επιπλέον στόχος να διερευνηθεί κατά πόσο μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω το αποτέλεσμα αυτό, χρησιμοποιώντας τεχνικές αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας. Για τον λόγο αυτό ακολουθεί η σύγκριση των ταξινομήσεων της συγχωνευμένης απεικόνισης του Landsat 8 μεταξύ της μεθόδου ταξινόμησης με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο και της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας.

Στον παρακάτω Πίνακα 31 παρουσιάζονται σε μεγέθυνση ενδεικτικά παραδείγματα όπου είναι εμφανής η διαφορά των ταξινομήσεων των διαφόρων κατηγοριών.

Ξεκινώντας με την ταξινόμηση της λίμνης του Μαραθώνα, όπως απεικονίζεται και στην πρώτη γραμμή του Πίνακα 31, είναι εμφανής η καλύτερη οριοθέτηση και κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων με την αντικειμενοστραφή μέθοδο. Αυτό δικαιολογείται και στατιστικώς, όπου με την πρώτη μέθοδο ταξινόμησης η ακρίβεια παραγωγού και χρήστη των συλλογών υδάτων λαμβάνει τη τιμή 97.6% και 94% αντίστοιχα, σε αντίθεση με την αντικειμενοστραφή μέθοδο, όπου επιτυγχάνεται ακρίβεια της τάξης του 100%. Στην πραγματοποίηση αυτής της υψηλής ακρίβειας στη δεύτερη μέθοδο ταξινόμησης, συντέλεσε η εφαρμογή του δείκτη NDWI σε μεγάλο επίπεδο κατάτμησης, όπου σε συνδυασμό με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής επιτεύχθηκε ακριβής διαχωρισμός των υδάτινων περιοχών της περιοχής μελέτης.

	Landsat 8 RGB 432	Maximum Likelihood Classification	Object-oriented Analysis Classification
	<b>Κατηγορία: Λίμνη</b>		
1		 <b>97.6/94</b>	 <b>100/100</b>
	<b>Κατηγορία: Κωνοφόρα Δάση</b>	Κωνοφόρο δάσος	
2		 <b>73/82</b>	 <b>78/100</b>

**Πίνακας 31:** Συγκριτική διερεύνηση μεταξύ της επιβλεπόμενης και αντικειμενοστρεφής ταξινόμησης για τις κατηγορίες 1) της λίμνης και 2) των κωνοφόρων δασών.


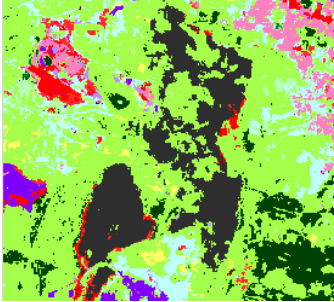
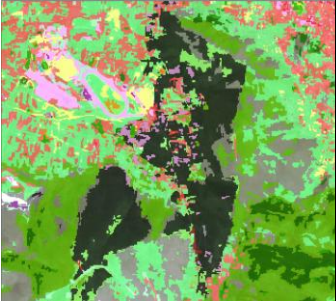

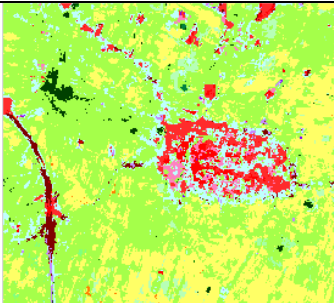
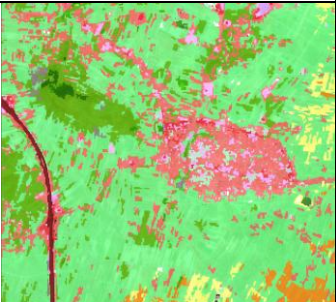

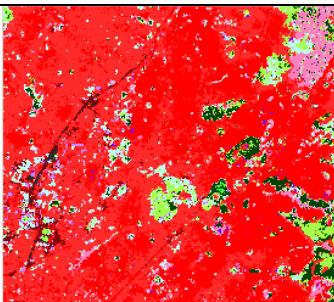

Στην δεύτερη γραμμή του Πίνακα 31 απεικονίζεται με τις ελλείψεις ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ύπαρξης κωνοφόρων δέντρων. Το κίτρινο βελάκι καταδεικνύει την ύπαρξη ενός σημείου με κωνοφόρα δέντρα τα οποία διαχωρίζονται από το γύρω περιβάλλον λόγω του σκουρότερου τόνου. Γύρω από τα κωνοφόρα δέντρα υφίσταται μια μίξη δέντρων (πλατύφυλλων και κωνοφόρων), γεγονός που φαίνεται από τους ενδιάμεσους τόνους του πράσινου. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο ταξινομήσεων φαίνεται πως η επιβλεπόμενη ταξινόμηση έχει προκαλέσει μια ομογενοποίηση του αποτελέσματος, υπερεκτιμώντας τη κατηγορία των κωνοφόρων και ταξινομώντας και τα γύρω εικονοστοιχεία στην κατηγορία αυτή, όπως φαίνεται εντός της κίτρινης έλλειψης. Αντίθετα η αντικειμενοστρεφής ταξινόμηση έχει διαχωρίσει πολύ ορθά τις κατηγορίες των κωνοφόρων δέντρων και του μικτού δάσους όπως φαίνεται στην μπλε έλλειψη. Τα φωτοερμηνευτικά αυτά συμπεράσματα αποδεικνύονται και στατιστικώς σύμφωνα με τους αντίστοιχους Πίνακες Σύγκυσης, όπου η κατηγορία των κωνοφόρων λαμβάνει ακρίβεια παραγωγού και χρήστη 73.9% και 82% αντίστοιχα, σε αντίθεση με την αντικειμενοστρεφή μέθοδο, όπου οι ακρίβειες είναι της τάξης του 78% και 100%. Με αποτέλεσμα η αντικειμενοστρεφής μέθοδος παρέχει καλύτερη και πιο αξιόπιστη ταξινόμηση της βλάστησης.

Στον παρακάτω Πίνακα 32 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων για τις κατηγορίες των καμένων εκτάσεων, της αστικής δόμησης και του οδικού δικτύου. Σχετικά με την ταξινόμηση των καμένων εκτάσεων στην πρώτη γραμμή του Πίνακα 32, παρατηρείται λεπτομερέστερη οριοθέτηση της κατηγορίας σύμφωνα με την αντικειμενοστραφή μέθοδο. Η χρήση του δείκτη NDVI στη ταξινόμηση αυτή συνέβαλλε πολύ στο αποτέλεσμα αυτό, καθώς τέθηκε κανόνας σχετικά με τις περιοχές που καταλαμβάνουν πολύ χαμηλές τιμές NDVI, αναδεικνύοντας με το τρόπο αυτό τις καμένες εκτάσεις.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση επέφερε ικανοποιητικό αποτέλεσμα, απλώς πιο ομογενοποιημένο και ανά περιοχές υποτιμώντας τη κατηγορία αυτή. Τα στατιστικά αποτέλεσμα αποδεικνύουν τα φωτοερμηνευτικά συμπεράσματα, λαμβάνοντας ακρίβεια παραγωγού και χρήστη της τάξης του 96% και 79% αντίστοιχα, σε αντίθεση με την αντικειμενοστρεφή μέθοδο, όπου η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε αποκλειστικά με χρήση κανόνων με αποτέλεσμα να επιφέρει απόλυτη ακρίβεια της τάξης του 100%.


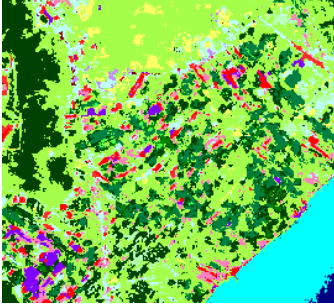
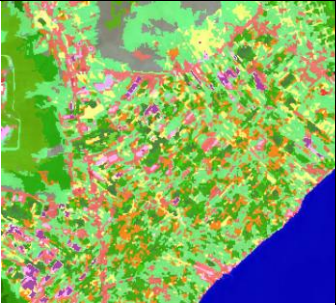

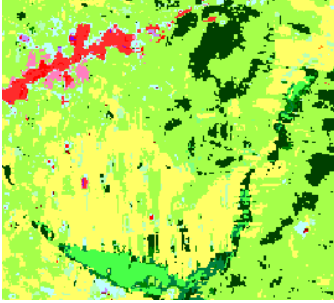

Στην δεύτερη και τρίτη γραμμή του Πίνακα 32 παρουσιάζεται η ταξινόμηση των αστικών περιοχών και του οδικού δικτύου. Είναι εμφανής η ορθότερη και λεπτομερέστερη ταξινόμηση των κατηγοριών με την αντικειμενοστρεφή μέθοδο. Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο, μέρος του οδικού δικτύου και της μη συνεχούς αστικής δόμησης έχει καταταχτεί ως γυμνό έδαφος (ανοιχτό πράσινο χρώμα), γεγονός που δεν υφίσταται στη δεύτερη μέθοδο ταξινόμησης. Παράλληλα στην αντικειμενοστρεφή μέθοδο ταξινόμησης αναδεικνύεται η χωρική λεπτομέρεια της εικόνας όπως φαίνεται στη τρίτη γραμμή του Πίνακα 32. Οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν στην πρώτη μέθοδο ταξινόμησης για το οδικό δίκτυο, τη συνεχή και μη συνεχή αστική δόμηση ήταν 41%, 59% και 63% σε αντίθεση με την αντικειμενοστραφή μέθοδο ταξινόμησης όπου οι αντίστοιχες ακρίβειες ήταν της τάξης του 59%, 87% και 76%.

Στη σημαντική αυτή βελτίωση του αποτελέσματος συνέβαλλε καθοριστικά η ύπαρξη του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους και Κλίσεων, όπου με τις κατάλληλες παραμέτρους αποφεύχθηκε η σύγχυση των αστικών περιοχών με τις ορεινές εκτάσεις, γεγονός που μείωνε σημαντικά την ακρίβεια. Στον διαχωρισμό της συνεχούς και μη συνεχούς αστικής δόμησης, αξιοποιήθηκε και ο δείκτης NDVI, όπου επισημαίνει την ύπαρξη βλάστησης ανάμεσα στη δόμηση με αποτέλεσμα να ενισχύει την αξιοπιστία του αποτελέσματος.

	<b>Landsat 8 RGB 432</b>	<b>Maximum Likelihood Classification</b>	<b>Object-oriented Analysis Classification</b>
	<b>Κατηγορία: Καμένες Εκτάσεις</b>		
1		 <b>96.2/79.8</b>	 <b>100/100</b>
	<b>Κατηγορία: Αστική Δόμηση</b>		
2		 <b>63/59</b>	 <b>75/61</b>
	<b>Κατηγορία: Οδικό Δίκτυο</b>		
3		 <b>40/56</b>	 <b>58/100</b>

**Πίνακας 32:** Συγκριτική διερεύνηση μεταξύ της επιβλεπόμενης και αντικειμενοστρεφής ταξινόμησης για τις κατηγορίες 1) των καμένων εκτάσεων, 2) της αστικής δόμησης και 3) του οδικού δικτύου.


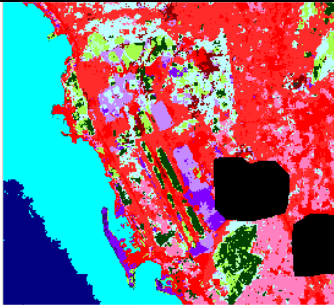
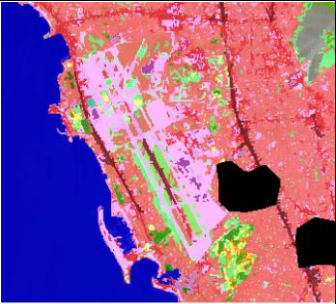

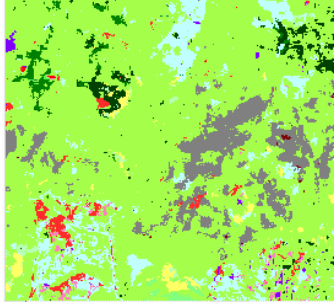
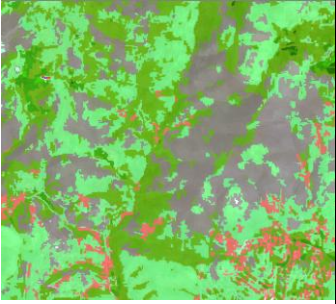
Εν συνεχεία απεικονίζονται επιμέρους περιοχές με καλλιέργειες στην πρώτη και δεύτερη γραμμή του Πίνακα 33. Είναι εμφανής ο πιο λεπτομερής διαχωρισμός των καλλιεργειών στην δεύτερη μέθοδο ταξινόμησης. Χαρακτηριστική είναι η υποτίμηση της κατηγορίας των αμπελιών στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο, όπως φαίνεται στη δεύτερη γραμμή του Πίνακα. Στην βελτίωση του αποτελέσματος στην αντικειμενοστραφή μέθοδο ανάλυσης εικόνας συνέβαλλε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και Κλίσεων, όπου οι κατάλληλες παράμετροι για το γεωγραφικό περιβάλλον των αμπελιών λήφθηκαν από Έκθεση των Δ. Ρόκου, Σ. Θεοχαρόπουλου και Γ. Χάλαρη σχετικά με το γεωγραφικό περιβάλλον των τυπικών μεσογειακών καλλιεργειών, όπου αναφέρονται και στην Βιβλιογραφία. Η έντονη διαφορά της ταξινόμησης της συγκεκριμένης κατηγορίας φαίνεται και στην ακρίβειά της με την πρώτη μέθοδο να λαμβάνει ακρίβεια κοντά στο 39% σε αντίθεση με την αντικειμενοστραφή να κυμαίνεται στο 70%.

	<b>Landsat 8 RGB 432</b>	<b>Maximum Likelihood Classification</b>	<b>Object-oriented Analysis Classification</b>
	<b>Κατηγορία: Καλλιέργειες</b>		
1		 <b>60.6/73.3</b>	 <b>89.4/100</b>
	<b>Κατηγορία: Αμπελώνες</b>		
2		 <b>39.3/45.1</b>	 <b>69.7/83</b>

**Πίνακας 33:** Συγκριτική διερεύνηση μεταξύ της επιβλεπόμενης και αντικειμενοστρεφής ταξινόμησης για τις κατηγορίες 1) των καλλιεργειών και 2) των αμπελώνων.

Στην πρώτη γραμμή του παρακάτω Πίνακα 34 απεικονίζεται το αεροδρόμιο του Ελληνικού ταξινομημένο ως βιομηχανική περιοχή. Στη πρώτη ταξινόμηση υπάρχει σύγχυση της βιομηχανικής περιοχής με την αστική περιοχή και τα ορυχεία λόγω της υψηλής ανακλαστικότητας των περιοχών αυτών. Το πρόβλημα παύει να υφίσταται στην δεύτερη ταξινόμηση, όπου σχεδόν όλο το τμήμα του αεροδρομίου έχει ταξινομηθεί σωστά. Σε αυτό συνέβαλλε η ταξινόμηση των ορυχείων στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης, προκειμένου να αποφευχθεί η σύγχυσή του με άλλες περιοχές που ανακλούν έντονα, όπως π.χ οι βιομηχανικές περιοχές στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Τέλος στην δεύτερη γραμμή του Πίνακα 34 απεικονίζονται οι πρόποδες της Πεντέλης, αποτελούμενοι από βραχώδεις εκτάσεις, σκληροφυλλική και αραιή βλάστηση. Παρατηρείται ότι η ταξινόμηση είναι εμφανώς καλύτερη με την αντικειμενοστραφή μέθοδο ταξινόμησης σε αντίθεση με την πρώτη ταξινόμηση, όπου το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής έχει ταξινομηθεί ως σκληροφυλλική βλάστηση. Οι ακρίβειες του παραγωγού και χρήστη για την ταξινόμηση με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο είναι 59% και 69% αντίστοιχα σε αντίθεση με την αντικειμενοστραφή μέθοδο που λαμβάνουν τιμές 75% και 94% αντίστοιχα, αποδεικνύοντας τα φωτοερμηνευτικά συμπεράσματα.

	<b>Landsat 8 RGB 432</b>	<b>Maximum Likelihood Classification</b>	<b>Object-oriented Analysis Classification</b>
	<b>Κατηγορία: Βιομηχανικές Περιοχές</b>		
1		 <b>80.4/89</b>	 <b>86.2/73</b>
	<b>Κατηγορία: Βραχώδεις Εκτάσεις</b>		
2		 <b>59.3/69.5</b>	 <b>75/94</b>

**Πίνακας 34: Συγκριτική διερεύνηση μεταξύ της επιβλεπόμενης και αντικειμενοστρεφής ταξινόμησης για τις κατηγορίες 1) των βιομηχανικών περιοχών και 2) των βραχώδων εκτάσεων.**

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ειδικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την πρακτική εφαρμογή των ταξινομήσεων στα τηλεπισκοπικά δεδομένα των δορυφόρων Landsat 5 και Landsat 8, όπως και αυτά που αφορούσαν τη θεωρία παρουσιάστηκαν στα αντίστοιχα κεφάλαια. Στο παρών κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα γενικά συμπεράσματα που απορρέουν μέσα από την ολοκληρωμένη μελέτη του θέματος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, λαμβάνοντας υπόψιν τόσο τη θεωρία όσο και τα αποτελέσματα της πρακτικής εφαρμογής των ταξινομήσεων στα τηλεπισκοπικά δεδομένα του Landsat 5 και Landsat 8. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν χωρίζονται σε δύο μέρη, σε αυτά που αφορούν τις εξελίξεις και βελτιώσεις των τεχνικών χαρακτηριστικών των δύο δορυφόρων και σε αυτά που σχετίζονται με τα αποτελέσματα που προέκυψαν ύστερα από τη συγκριτική διερεύνηση των φασματικών χαρακτηριστικών τους, μέσα από την αυτόματη κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων της εκάστοτε εικόνας στις γενικές χρήσεις γης.

### *Συμπεράσματα Τεχνικών Χαρακτηριστικών*

- Σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του νέου δορυφόρου, σημειώθηκαν αρκετές εξελίξεις συγκριτικά με τον Landsat 5. Μια βασική λοιπόν εξέλιξη αφορά το είδος του σαρωτή που χρησιμοποιεί ο νέος δορυφόρος, γεγονός που αποτελεί και μία από τις βασικότερες διαφορές του με τους προηγούμενους. Ο Landsat 5 έφερε σαρωτή εγκάρσιας σάρωσης (“whiskbroom”) σε αντίθεση με την τεχνική επιμήκους σάρωσης (“pushbroom scanning”) του Landsat 8.
- Ο Landsat 8 έχει καλύτερη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (μεγαλύτερη ευαισθησία) συγκριτικά με τον Landsat 5. Οι δέκτες του δορυφόρου Landsat 8 καταγράφουν πληροφορίες στα 12 bit (εύρος τιμών από 0 έως 4096) σε αντίθεση με τους δέκτες του Landsat 5 του οποίου η ραδιομετρική ανάλυση είναι 8 bit (εύρος τιμών από 0 έως 256). Επιπρόσθετα με την αύξηση του εύρους κωδικοποίησης, η χωρητικότητα που καταλαμβάνουν οι εικόνες του Landsat 8 είναι αρκετά μεγαλύτερη.
- Ο Landsat 8 διαθέτει δύο επιπλέον φασματικές ζώνες, δύο στενότερες θερμικές ζώνες στη θέση του ενιαίου θερμικού καναλιού του Landsat 5, καθώς επίσης μια παγχρωματική μάντα με αποτέλεσμα να διαθέτει 11 κανάλια. Οι δύο επιπλέον ζώνες είναι μια στενή παράκτια ζώνη σε ένα ελαφρώς μικρότερο μήκος κύματος από τη μπλε ζώνη και μια ζώνη θυσάνων (Cirrus) ευαίσθητη σε μήκη κύματος μεταξύ 1.36-1.38  $\mu\text{m}$ .

- Πέρα από τις διαφορές οι δύο αυτοί δορυφόροι εμφανίζουν και κάποιες ομοιότητες. Μια από αυτές είναι η μορφή του αρχείου (file format). Ασυμπίεστο GeoTiff αρχειοθετημένο σε μορφή zip. Τέλος μια ακόμα ομοιότητα αφορά την ανάλυση των καναλιών στο ορατό, εγγύς και μέσο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος η οποία είναι στα 30 m.

### **Συμπεράσματα Διερεύνησης Φασματικών Χαρακτηριστικών**

- Κατά τη διαδικασία συγχώνευσης του παγχρωματικού καναλιού στα πολυφασματικά κανάλια της δορυφορικής απεικόνισης του Landsat 8 παρατηρήθηκε ότι η μέθοδος με το φίλτρο προσαρμογής τοπικού μέσου και μεταβλητότητας (LMVM) παρέχει καλύτερο αποτέλεσμα από την μέθοδο που εφαρμόζει το φίλτρο προσαρμογής τοπικού μέσου (LMM), διατηρώντας την ραδιομετρία της αρχικής εικόνας.
- Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της συγχώνευσης έχει η επιλογή του μεγέθους του παραθύρου του φίλτρου που θα χρησιμοποιηθεί, από το οποίο εξαρτάται το ποσοστό της φασματικής πληροφορίας του κάθε καναλιού που διατηρείται στην τελική εικόνα. Παρατηρήθηκε ότι η επιλογή μεγαλύτερων παραθύρων είχε ως αποτέλεσμα την εισαγωγή περισσότερου θορύβου στο τελικό αποτέλεσμα, όπως επίσης και την σημαντική υποβάθμιση του αποτελέσματος της ταξινόμησης.
- Η χρήση του διατιθέμενου Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους και του Ψηφιακού Μοντέλου Κλίσεων της περιοχής της Αττικής, βελτίωσε περαιτέρω το αποτέλεσμα της ταξινόμησης, επιλύοντας σε μεγάλο βαθμό το σημαντικό πρόβλημα σύγχυσης των αστικών περιοχών με τις βραχώδεις εκτάσεις.
- Η αξιοποίησή γεωγραφικών και φυσιογραφικών παραμέτρων των καλλιεργειών σε συνδυασμό με το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους συνέβαλλε στην καλύτερη διάκρισή τους.
- Στη μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, ο αλγόριθμος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας αποδείχθηκε πιο αξιόπιστος από αυτόν της Ελάχιστης Απόστασης καθώς συνυπολογίζει την μεταβλητότητα και την συμμεταβλητότητα των προτύπων φασματικής απόκρισης των διαφόρων κατηγοριών. Για τις τρεις τηλεπισκοπικές απεικονίσεις (του Landsat 5, Landsat 8 και την συγχωνευμένη απεικόνιση του Landsat 8) η επιβλεπόμενη ταξινόμηση με την μέθοδο της Ελάχιστης Απόστασης παρείχε ακρίβειες της τάξης του 64.1%, 70.8% και 72.6%. Εν συνεχεία οι ακρίβειες αυτές



βελτιώθηκαν με χρήση του αλγορίθμου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας παρέχοντας αποτελέσματα της τάξης του 70.4%, 73.5% και 76.6% αντίστοιχα.

- Οι ταξινομήσεις με την αντικειμενοστραφή μέθοδο πραγματοποιήθηκαν τόσο με τη χρήση δειγμάτων εκπαίδευσης όσο και με κανόνες ασαφούς λογικής, βελτιώνοντας αυτομάτως σημαντικά τις ακρίβειες και την αξιοπιστία του αποτελέσματος.
- Η μέθοδος ταξινόμησης με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το αντικείμενο συγκριτικά με την μέθοδο με βασική μονάδα χωρικής ανάλυσης το εικονοστοιχείο, υπήρξε ακριβέστερη και ορθότερη, γεγονός που αποδείχτηκε τόσο φωτοερμηνευτικά όσο και στατιστικά, με τους αντίστοιχους Πίνακες Σύγκρισης. Πιο συγκεκριμένα η ακρίβεια με τη πρώτη μέθοδο από 76.6% βελτιώθηκε χρησιμοποιώντας τεχνικές αντικειμενοστραφούς λογικής στο 85.1%.

## 6. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Ακολούθως παρουσιάζονται μερικές από τις προτάσεις τόσο για τη μελλοντική αντιμετώπιση παρόμοιων ζητημάτων όσο και για περαιτέρω αξιοποίηση του αποτελέσματος της παρούσας εργασίας.

Προτείνεται η υλοποίηση ατμοσφαιρικής και ραδιομετρικής διόρθωσης των τηλεπισκοπικών δεδομένων επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό βελτίωση της ποιότητας της εικόνας και στατιστική αξιοπιστία.

Περαιτέρω χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, Κλίσεων και Προσανατολισμού για την ακριβέστερη και ορθότερη εξαγωγή τόσο των ήδη υπαρχόντων κατηγοριών κάλυψης γης όσο και καινούριων.

Η περαιτέρω αξιοποίησή των γεωγραφικών και φυσιογραφικών παραμέτρων των καλλιεργειών σε συνδυασμό με το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους για ορθότερη διάκριση των καλλιεργειών της περιοχής.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Αργιαλάς Δ. (1998). Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Αργιαλάς Δ. (1999). Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Καραθανάση Β. (2011) Σημειώσεις μαθήματος «Ειδικά Κεφάλαια Τηλεπισκόπησης», ΕΜΠ, Αθήνα.
- Σιώρα Ε., (2011), Διερεύνηση Εξέλιξης Χρήσεων Γης με Ταξινομήσεις Δορυφορικών Απεικονίσεων και Οικονομικά Πρότυπα, Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ: Γεωπληροφορική, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Baraldi A., Puzzolo V., Blonda P., Bruzzone L., and Tarantino C. (2006). Automatic Spectral Rule-based Preliminary Mapping of Calibrated Landsat TM and ETM+ Images. *IEEE, Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, September, Vol. 44, No.9.
- Benz U., Hoffman P., Willhauck G., Lingenfelder I., and Heynen M. (2004). Multiresolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol.58, pp. 239–258.
- Hyeungu Choi., Robert Bindschadler (2004). Cloud detection in Landsat imagery of ice sheets using shadow matching technique and automatic normalized difference snow index threshold value decision. *Remote Sensing of Environment*, 91, 237-242.
- Karathanassi V., Kolokousis P. and Ioannidou S. (2007). A comparison study on fusion methods using evaluation indicators. *International Journal of Remote Sensing*, Vol.28, No. 10 , 2309-2341.
- Martinuzzi Sebastian, William A. Gould, and Olga M. Ramos González (2007). Creating Cloud-Free Landsat ETM+ Data Sets in Tropical Landscapes: Cloud and Cloud-Shadow Removal. United States Department of Agriculture General, Technical Report IITF-GTR-32.
- Rokos D., Theocharopoulos S., Halaris G., (1992), "Geographic Context of Typical Mediterranean Crops and Vegetation Types as a Basis for Image Analysis Expert System Rules - Final Report", European programme, contract No 4569-91-12 ED ISP GR, EEC-NTUA, Funded by the European Economic Community (EEC), Joint Research Centre (JRC), Institute for Remote Sensing Applications, Ispra, Italy.

## **ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ – MANUALS**

eCognition Developer 8.7 User Guide, (2011), Trimble Documentation, München, Germany.

## **ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/landsat/spacecraft/index.html#.U6NNB\\_1\\_vCt](http://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/spacecraft/index.html#.U6NNB_1_vCt)

<http://landsat.usgs.gov/index.php>

<http://ldcm.gsfc.nasa.gov/>

<http://www.pancroma.com/Landsat%20%20Multispectral%20Analysis.html>

<https://www.mapbox.com/blog/putting-landsat-8-bands-to-work/>