



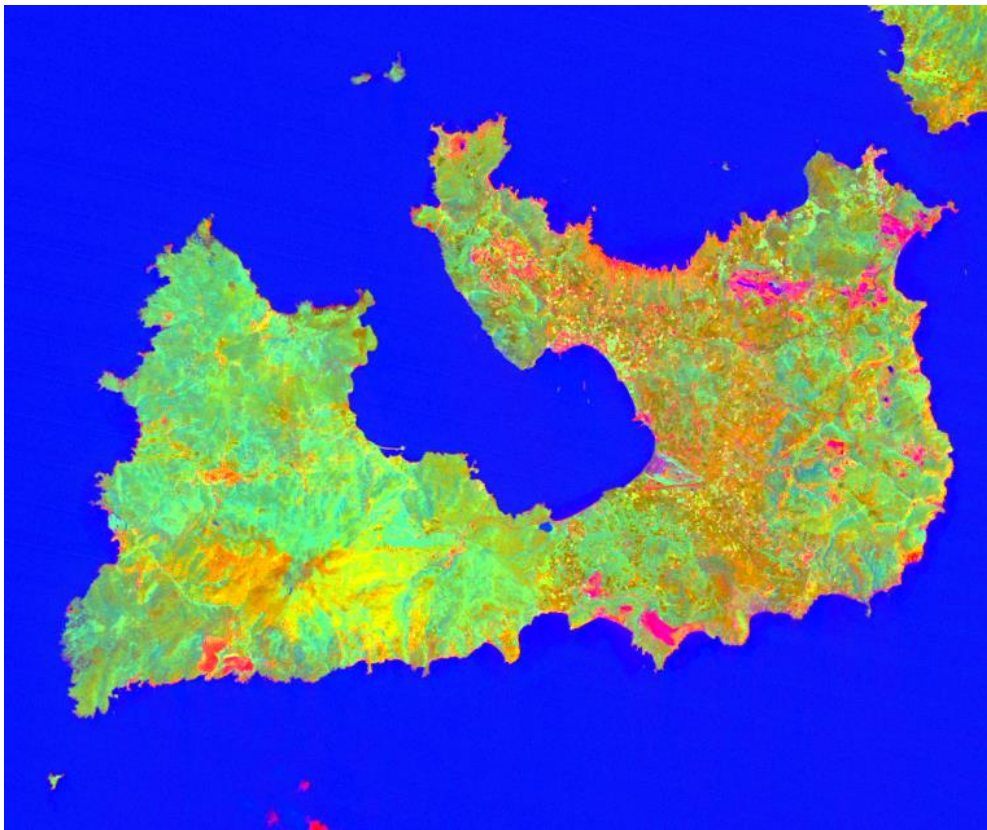
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής

ΠΜΣ: Εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στους Φυσικούς Πόρους

Διπλωματική Εργασία

**Παρακολούθηση της δραστηριότητας εξόρυξης και της αποκατάστασης
τοπίου σε ανοικτά ορυχεία, με χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης**



Φαίδων Κουτσογιαννόπουλος

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Καλύβας Διονύσιος

Πετρόπουλος Γεώργιος

ΑΘΗΝΑ 2015



Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής

ΠΜΣ: Εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στους Φυσικούς Πόρους

Διπλωματική Εργασία

**Παρακολούθηση της δραστηριότητας εξόρυξης και της αποκατάστασης
τοπίου σε ανοικτά ορυχεία, με χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης**

Φαίδων Κουτσογιαννόπουλος

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Καλύβας Διονύσιος

Πετρόπουλος Γεώργιος

ΑΘΗΝΑ 2015

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**ΤΙΤΛΟΣ**

ΘΕΜΑ: Παρακολούθηση της δραστηριότητας εξόρυξης και της αποκατάστασης τοπίου σε ανοικτά ορυχεία, με χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης

ΤΟΥ

ΦΑΙΔΩΝΑ ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέποντες: κ Καλύβας Διονύσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής

κ. Πετρόπουλος Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

κ. Καλύβας Διονύσιος (Αναπληρωτής Καθηγητής)

κ. Κοσμάς Κωνσταντίνος (Καθηγητής)

κ. Πετρόπουλος Γεώργιος (Αναπληρωτής Καθηγητής)

ΑΘΗΝΑ 2015

Στην Αιμιλία και στην Γεωργία

Περίληψη

Καθώς φυσικά και ημι-φυσικά (μερικώς φυσικά) περιβάλλοντα είναι συνεχώς εκτεθειμένα σε αναπτυσσόμενες τάσεις εξαιτίας ποικίλων ατμοσφαιρικών δραστηριοτήτων, διατηρούμενες και βιώσιμες χρήσεις γης έχουν έρθει σε προτεραιότητα. Πιο συγκεκριμένα, με την ποσοτικοποίηση των αλλαγών κάλυψης γης κατά την εξόρυξη και την αποκατάσταση σε μια λεκάνη απορροής, είναι σημαντική η διαχείριση και η εκτίμηση των ενδχόμενων επιδράσεων στο σύστημα της Γης. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, η εξέλιξη στην τεχνολογία της παρατήρησης της γης έχει επιτρέψει την παρακολούθηση από το διάστημα των μεταβολών των τοπίων εξαιτίας της δραστηριότητας των εξορύξεων.

Η εργασία αυτή στοχεύει στην αξιολόγηση της χρήσης τεχνολογικά σύγχρονων τηλεπισκοπικών ραδιομέτρων για την αναγνώριση, την ποσοτικοποίηση και την ανάλυση της χωρικής ανταπόκρισης του τοπίου στις δραστηριότητες των ανοιχτών ορυχείων. Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι της παρούσης εργασίας ήταν:

Πρώτον, η εκτίμηση της χρήσης ενός εύρους τεχνικών επιβλεπόμενης ταξινόμησης με βάση τα εικονοστοιχεία «pixel-based», για την χαρτογράφηση κάλυψης γης, με έμφαση συγκεκριμένα στην ενεργή εξόρυξη, χρησιμοποιώντας δεδομένα παρατήρησης της Γης «Earth Observation (EO) data» από τους δορυφόρους Landsat 5 και 7.

Δεύτερον, η παρακολούθηση της δραστηριότητας των εξορύξεων και της αποκατάστασης στις περιοχές που υπήρχαν λατομεία. Σαν περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν επιλεγμένες περιοχές ανοιχτών ορυχείων στο ελληνικό νησί Μήλος, αντιπροσωπευτικό τυπικών χαρακτηριστικών Μεσογειακών τοπίων, διερευνώντας την δραστηριότητα των εξορύξεων και των περιοχών αποκατάστασης για μια περίοδο 23 χρόνων, από το 1987 μέχρι το 2010.

Το προσδοκώμενο είναι, τα αποτελέσματα από αυτή τη μελέτη να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σε τοπική κλίμακα για την χαρτογράφηση και παρακολούθηση του σχεδιασμού αποκατάστασης ορυχείων και την παρακολούθηση των περιοχών μελέτης.

Λέξεις κλειδιά: Χρήσεις γης, Ταξινόμηση, Landsat TM, Πολυφασματικό, Διεργασίες εξόρυξης, Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα «ANN», Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης «SVM», Δέντρο Αποφάσεων, Εκτίμηση Αλλαγών.

ABSTRACT

As natural and semi-natural habitats are continuously exposed to a growing pressure due to various anthropogenic activities, conservation and sustainable land use has become a priority. In particular, being able to quantify land cover changes due to mining and reclamation at a watershed scale is of critical importance in managing and assessing their potential impacts to the Earth system. The progress in earth observation technology of the past three decades has allowed monitoring of the landscape alteration due to mining activity from space.

The present work aims at evaluating the use of technologically sophisticated remote sensing radiometers for identifying, quantifying and analysing the spatial response of landscape due to the open mining activities. Specifically the objectives of this work are:

First, to assess the use of a range of pixel-based supervised classification methods, for mapping land cover with particular emphasis to active mining using Earth Observation (EO) data from Landsat 5 and 7 sensors.

Second, the observation of mining activities and reclamation of the regions that used to be open-pit mines. As a case study were selected open mining sites located in the Greek island of Milos, representative of typical Mediterranean landscape characteristics, exploring mining activity and areas reclamation for a period of over 23 years from 1987 till 2010.

It is anticipated that results from this study will offer significant information at a local scale for mapping and monitoring mine reclamation planning and monitoring in the studied areas.

Keywords: Land Use, Classification, Landsat TM, Multispectral, Mining Activity, Artificial Neural Networks, Support Vector Machines, Decision Tree, Change Detection.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή	9
1.1 Λατομεία – Ορυχεία	9
1.2 Τηλεπισκόπηση	10
1.2.1 Εργαλεία και Τεχνικές	10
1.3 Χρήση και Εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης.....	13
1.4 Στόχοι.....	14
Κεφάλαιο 2 - Περιοχή Μελέτης	15
2.1 Μήλος.....	15
2.2 Αστική Ανάπτυξη.....	17
2.3 Γεωλογία.....	18
2.4 Διεργασίες Εξόρυξης	21
Κεφάλαιο 3 – Μεθοδολογία	24
3.1 Δεδομένα.....	24
3.2 Προεπεξεργασία – Pre-processing	25
3.2.1 Δημιουργία Ραδιομετρικών Δεικτών	25
3.2.2 Ανάλυση Φασματικών Υπογραφών.....	29
3.3 Κύρια Διαδικασία και Επεξεργασία.....	31
3.3.1 Σημεία Εκπαίδευσης	31
3.3.2 Ταξινομήσεις.....	32
3.3.2.1 Artificial Neural Network.....	33
3.3.2.2 Support Vector Machine	35
3.3.3 Διαμερισμός «Segmentation	38
3.4 Υβριδική Ταξινόμηση «Hybrid Classification.....	39
3.4.1 Δέντρο Αποφάσεων «Decision Tree»	39
3.5 Επαλήθευση Σημείων.....	41
Κεφάλαιο 4 – Αποτελέσματα και Συζήτηση	43
4.1 Αποτελέσματα Ταξινομήσεων.....	43
4.1.1 Ακρίβεια Ταξινομήσεων.....	43
4.1.2 Αποτελέσματα ταξινομήσεων.....	45
4.1.3 Ανάλυση Υποπεριοχών	51
4.2 Συνδιασμός Ταξινομήσεων «Hybrid Classification».....	55
4.3 Εντοπισμός Αλλαγών «Post-classification Change Detection»	59
4.4 Συζήτηση Αποτελεσμάτων	64

Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα	73
Βιβλιογραφία	76
Παράρτημα	79

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Λατομεία – Ορυχεία

Οι δραστηριότητες εξόρυξης σε μια περιοχή αποτελούν κύριο παράγοντα επίδρασης στο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον. Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι άμεσες ή έμμεσες επηρεάζοντας τόσο τη φυσική αισθητική, όσο και το κοινωνικοοικονομικό υπόβαθρο σε μια γεωγραφικά οριοθετημένη περιοχή.

Η ποσοτικοποίηση των επιδράσεων, των διεργασιών εξόρυξης, στο οικοσύστημα είναι μείζον θέμα στην αιεφόρο ανάπτυξη και διαχείριση των πόρων. Η διαμάχη μεταξύ των διεργασιών εξόρυξης και της περιβαλλοντικής προστασίας έχει γίνει πιο έντονη τα τελευταία χρόνια, δίνοντας έμφαση στην ανάγκη για καλύτερες πληροφορίες επίδρασης σε περιφερειακές και τοπικές κλίμακες. Οι εργασίες μετάλλευσης και λατόμευσης αποτελούν μεγάλη απειλή για τους οικολογικά σπουδαίους βιότοπους που πολλές φορές περιλαμβάνουν τοπικά και εθνικά σπάνια είδη της χλωρίδας και πανίδας. Μερικοί από τους βιότοπους αυτούς είναι ευάλωτοι και δυσαναπλήρωτοι. Τεράστιες δασικές εκτάσεις καταστρέφονται, με αποτέλεσμα τη διατάραξη της λεπτότατης ισορροπίας του γενικότερου οικοσυστήματος της περιοχής. Σημαντικό κομμάτι της αιεφορικής διαχείρισης είναι να ληφθούν υπόψη όλες οι περιβαλλοντικές επιδράσεις και να συνυπολογιστούν τα πλεονεκτήματα ισορροπώντας την εκμετάλλευση των πόρων έναντι της υποβάθμισης του εδάφους. Η επιτυχία στο να καθοριστεί η κατάλληλη ισορροπία απευθείας, εξαρτάται από την ικανότητα πρόβλεψης, ποσοτικά και εκτίμησης των επιδράσεων στο περιβάλλον που προκλήθηκαν από βιομηχανική ανάπτυξη.

Η έννοια της αιεφόρου ανάπτυξης αναφέρεται στην ανάπτυξη που οδηγεί στην ικανοποίηση των αναγκών της σημερινής κοινωνίας χωρίς να υπονομεύεται η δυνατότητα κάλυψης των αναγκών των μελλοντικών γενεών. Παλαιότερα οι φυσικοί πόροι θεωρούνταν απεριόριστοι. Αυτό δεν συμβαίνει σήμερα πλέον και ορισμένοι από τους φυσικούς πόρους θεωρούνται εξαντλήσιμοι.

Η σημαντική επίδραση της εκμετάλλευσης του ορυκτού πλούτου πάνω στις υπόλοιπες αξίες που προσφέρει η γη, προκαλεί αναπόφευκτα μία σύγκρουση ανάμεσα στη διατήρηση του τοπίου και του περιβάλλοντος αφενός και στον οικονομικό πλούτο αφετέρου.

Η μεγάλη οικοδομική δραστηριότητα και η ανάγκη της βιομηχανίας σε πρώτες ύλες και ενέργεια, οδήγησαν στη διάνοιξη μεγάλων λατομικών και μεταλλευτικών επιχειρήσεων, με αποτέλεσμα την αποψίλωση πολλών περιοχών, την καταστροφή των φυσικών στοιχείων του τοπίου και την εμφάνιση νέων καθαρά ανθρωπογενών οπτικών χαρακτηριστικών.

Τα τελευταία χρόνια οι εξορυκτικές δραστηριότητες στην Ελλάδα έχουν πτωτική τάση λόγω της οικονομικής κρίσης, ακολουθώντας την σημαντική πτώση στη ζήτηση αλλά και την πτώση των τιμών των πρώτων υλών στους κλάδους της χαλυβουργίας, των κατασκευών, της οικοδομής, του τσιμέντου και του σκυροδέματος. Η ύφεση ενισχύθηκε από την αστάθεια στις διεθνείς αγορές των πρώτων υλών, τη μείωση στις διεθνείς τιμές των μετάλλων και την αύξηση των τιμών ενέργειας σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Το 2003 απαριθμήθηκαν 735 εγκαταστάσεις εξόρυξης με ακαθάριστη αξία παραγωγής 1.304.347.173 ευρώ, το 2010 ο αριθμός υπέστη μείωση με 462 εγκαταστάσεις να είναι σε λειτουργία και με ακαθάριστη αξία παραγωγής 856.432.990 ευρώ. Τέλος το 2012 εγκαταστάσεις έχουν φτάσει 377 με ακαθάριστη παραγωγή 601.932.358 ευρώ (Ελληνική Στατιστική Αρχή, <http://www.statistics.gr/>).

1.2 Τηλεπισκόπηση

1.2.1 Εργαλεία και Τεχνικές

Τα δορυφορικά δεδομένα και ό,τι μπορούμε να παράγουμε από αυτά, παρέχουν πολλές πληροφορίες που μπορούν να βοηθήσουν την διαδικασία αναζήτησης, ιδιαίτερα σε επικίνδυνες και δυσπρόσιτες περιοχές.

Οι αισθητήρες μέσης ανάλυσης Landsat ETM+ και ASTER μετρούν τα μήκη κύματος που είναι χρήσιμα για την αναγνώριση αλλαγών που σχετίζονται με διεργασίες εξόρυξης. Ο Landsat ETM+ περιλαμβάνει το κανάλι μέσο υπέρυθρο «shortwave infrared» που κυμαίνεται μεταξύ 2,08 και 2,35μm και μπορεί να διαχωρίσει τύπους πετρωμάτων και να χαρτογραφήσει υδροθερμικές αργιλικές αποθέσεις ενώ τα κανάλια που ανήκουν στο ορατό φάσμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χαρτογραφηθούν αποθέσεις οξειδίων σιδήρου. Ο ASTER με δύο κανάλια στο ορατό φάσμα, ένα near infrared (κοντά στο υπέρυθρο), έξι «shortwave infrared» και πέντε thermal infrared (θερμικά υπέρυθρα) παρέχει αρκετή ευκρίνεια ώστε να μπορεί κανείς να διαχωρίσει εναλλαγές στις αποθέσεις επιθερμικών αργιλικών ορυκτών, οξειδίων σιδήρου, πυριτικών, ανθρακικών, μαφικών και προπυλιτικών πετρωμάτων. Είναι καλύτερο να χρησιμοποιείται για περιοχές χαρτογράφησης σε κλίμακα 1:50000 (Landsat Spectral Bands, <http://igett.delmar.edu/>).

Ο WorldView-2 με 8 κανάλια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση ρεγκόλιθου σε κλίμακα 1:2000. Με εικόνες υψηλής φασματικής ανάλυσης 50 cm, μπορεί κανείς να πραγματοποιήσει σύνθετες τεχνικές ταξινόμησης μαζί με δοκιμασμένες χρωματικές ενισχύσεις (enhancements) και να εφαρμόσει δείκτες (indices) και θεμελιώδη στοιχεία.

Τα φασματικά προϊόντα που συζητήθηκαν μπορούν να συνδυαστούν με υψομετρικά μοντέλα εδάφους (surface elevation models) και να χρησιμοποιηθούν σε στερεοσκοπική ανάλυση (stereo analysis) για να περιγραφούν και να φανούν δομικά στοιχεία και μορφολογικά

χαρακτηριστικά. Η ανάλυση του υψομετρικού μοντέλου εδάφους που είναι κατάλληλη, εξαρτάται από την έκταση της περιοχής και την κλίμακα των σχημάτων και των μορφολογιών που θέλουμε να συμπεριλάβουμε (Apollo Mapping, <https://apollomapping.com/>).

Πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης (VHR) δεδομένα έχουν χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές πάνω στις εξορύξεις. (QuickBird, IKONOS) όπως επίσης και από μέτριας χωρικής ανάλυσης αισθητήρες όπως Landsat ή SPOT.

Από το 1972 μια σειρά από πλατφόρμες (MSS, TM, ETM+) παρέχουν δεδομένα φασματικών καταγραφών παγκοσμίως, δωρεάν. Τα δεδομένα παρέχουν πληροφορίες από το ορατό μέχρι το θερμικό υπέρυθρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και η χωρική ανάλυση κυμαίνεται από τα 15m έως 120m με χρονική επανάληψη 16 με 19 μέρες.

Οι Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης «Support Vector Machines» μέχρι τώρα έχουν συνδυαστεί με διάφορους τύπους δεδομένων τηλεπισκόπησης όπως SPOT, MODIS, Landsat TM/TM+, παράγοντας αξιόπιστα αποτελέσματα και συχνά αρκετά καλύτερα από άλλες προσεγγίσεις ταξινομήσεων.

Διάφοροι τύποι δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για διεργασίες εξορύξεων, λατομεία και ορυχεία:

- Πολύ υψηλής ανάλυσης (Very High Resolution) – μέγεθος pixel κάτω από ένα μέτρο
- Υψηλής ανάλυσης (High Resolution) – μέγεθος pixel 2,5m έως 10m
- Μέτριας ανάλυσης (Mid Resolution) – μέγεθος pixel μεγαλύτερο από 10m

Πίνακας 1.1. Δορυφόροι Πολύ Υψηλής Ανάλυσης

Δορυφόροι	Panchromatic resolution	Multispectral resolution	Pan-sharpened resolution	Multispectral Bands available
Worldview-2	0,5m	2,0m	0,5m	4 ή 8 κανάλια
Worldview-1	0,5m	Δεν υπάρχει		Κανένα
Geo Eye-1	0,5m	2,0m	0,5m	4 κανάλια
QuickBird	0,6m	2,44m	0,6m	4 κανάλια
Pleiades	0,5m	2,0m	0,5m	4 κανάλια
IKONOS	0,82m	3,2m	0,8m	4 κανάλια
SkySat	0,9m	2,0m	0,9m	4 κανάλια

Πίνακας 1.2. Δορυφόροι Υψηλής Ανάλυσης

SPOT 6	1,5m	6,0m	1,5m	4 κανάλια
SPOT 5	2,5m ή 5m	10m στο ναδίρ	2,5m	4 κανάλια
ALOS Αρχεία μόνο	2,5m	10m	2,5m	4 κανάλια
Rapid Eye		5m		5 κανάλια
SPOT 4 Αρχεία μόνο	10m	20m	10m	4 κανάλια

Πίνακας 1.3. Δορυφόροι Μέσης Ανάλυσης

Landsat 8	15m	OLI=30m TIR=100m	15m	7 OLI κανάλια 2 TIR κανάλια
ASTER		VNIR=15m SWIR=30m TIR=90m		3 VNIR κανάλια 6 SWIR κανάλια 5 TIR κανάλια
Landsat 7	15m	TM=30m TIR=60m	15m	6 TM κανάλια 2 TIR κανάλια
Landsat 5 Αρχεία μόνο		TM=30m TIR=60m		6 TM κανάλια 1 TIR κανάλι

Η τηλεπισκόπηση είναι μία αποτελεσματική και ευρέως καθιερωμένη επιστήμη που χρησιμοποιείται στην Γεωλογία και γενικότερα στην εξερεύνηση ορυκτών και έχει αποδειχθεί εξαιρετικά λειτουργική με το να παρέχει πληροφορίες για μέρη επικίνδυνα ή προηγουμένως δυσπρόσιτα. Αεροφωτογραφίες από υπερφασματικούς και πολυφασματικούς αισθητήρες όπως είναι οι Landsat, ASTER, AVIRIS, HyMap και Hyperion έχουν εφαρμογή σε γεωλογικές έρευνες, χαρτογράφηση ζωνών περιοχών που έχουν υποστεί αλλαγές και γεωμορφολογικές εφαρμογές (Kernyn et al., 2007). Εικόνες από δορυφόρους συσχετισμένες με πραγματικά δεδομένα από μετρήσεις ή πληροφορίες από το έδαφος ή την γη γενικότερα, χρησιμοποιούνται για εκτιμήσεις και παρατηρήσεις αλλαγών που έχουν προέλθει από φυσικά συμβάντα όπως οι ηφαιστειακές εκρήξεις, πλημύρες, σεισμούς και όταν φαίνονται διακριτές αλλαγές στην απόθεση των ορυκτών ή των πετρωμάτων.

1.3 Χρήση και Εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης

Με την επιστήμη της τηλεπισκόπησης μπορούν να παρατηρηθούν, να μελετηθούν, να διαχωριστούν και να ποσοτικοποιηθούν οι διάφορες χρήσεις γης από απόσταση. Κατά την ανάκτηση αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων μπορούν να επεξεργαστούν για την εξαγωγή των δεδομένων ενδιαφέροντος. Για την επεξεργασία υπάρχουν πολλές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση εικόνων σε κατηγορίες θεματικών τάξεων (περιοχών ενδιαφέροντος) και για την διαχρονική παρατήρηση των αλλαγών χρήσεων γης. Για την επίλυση πολλών κοινωνικό-οικονομικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων χρησιμοποιούνται μέσω της Τηλεπισκόπησης, αποτελέσματα τεχνικών ταξινόμησης εικόνων. Βελτιώνοντας την ακρίβεια των αποτελεσμάτων επιτυγχάνονται πιο αντιπροσωπευτικές απεικονίσεις των δεδομένων. Αναπτύσσοντας καλύτερες προσεγγίσεις ταξινόμησης με στόχο την αναβάθμιση της ακρίβειας (accuracy) δημιουργήθηκαν διάφορες μελέτες (Lu and Weng, 2007; Lemonsu et al., 2008; Xie et al., 2008; Demirel et al., 2010; Szuster et al., 2011; Alqurashi and Kumar, 2013). Υπάρχουν πολλοί τύποι μη επιβλεπόμενων και επιβλεπόμενων ταξινομήσεων, ωστόσο ανάλογα της ποιότητας των δεδομένων, των απαιτήσεων και των περιορισμών της περιοχής εφαρμόζονται συγκεκριμένες μέθοδοι κάθε φορά. Πολλοί ερευνητές ακολούθησαν διαφορετικές προσεγγίσεις με χρήση όμοιων τεχνικών (Lillesand and Kiefer, 1999; Αδάμος, 2006; Rivas et al., 2006).

Στις διεργασίες εξόρυξης και στην μελέτη ανοιχτών λατομείων μέσω της τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές ταξινόμησης ή συνδυασμό αυτών των τεχνικών για την οριοθέτηση και χαρτογράφηση του ανάγλυφου της εκάστοτε περιοχής (Duncan et al., 2009; Garcia-Ruiz, 2010). Τεχνικές ταξινόμησης που είναι δημοφιλείς και συσχετίζονται με την χαρτογράφηση των χρήσεων γης σε περιβάλλοντα που φιλοξενούν χώρους εξόρυξης είναι κυρίως επιβλεπόμενες όπως πολλοί τύποι Μηχανών Διανυσμάτων Υποστήριξης «SVM», τα Νευρωνικά Δίκτυα «ANN» και τα Δέντρα Αποφάσεων γνωστά στην διεθνή ορολογία ως «Decision Trees». Λόγω της λειτουργίας τους και του τρόπου επεξεργασίας τους έχουν φανεί ιδιαίτερα χρήσιμα σε πολλές μεθοδολογίες επιστημόνων πάνω σε πολυφασματικά δεδομένα (Du et al., 2007; Drobne and Lisec, 2009; Weng, 2010; Myburgh and Niekerk, 2012). Πολλές έρευνες έχουν επικεντρωθεί στην διαχρονική παρατήρηση των αλλαγών των καλύψεων και χρήσεων γης. Μετά την ανάλυση και την κατηγοριοποίηση των θεματικών τάξεων που απασχολούν κάθε μελέτη, γίνεται ο εντοπισμός των αλλαγών που δημιουργούνται με το πέρασμα του χρόνου. Στις περιοχές ανάλυσης μπορούν να φανούν οι αλλαγές σε επίπεδα όπως η κάλυψη της βλάστησης, την κατάσταση και τους τύπους εδάφους, υδάτινες μάζες, αστικές περιοχές και κυρίως χώροι διεργασιών εξορύξεων. Για την εκτίμηση των αλλαγών χρήσεων γης έχουν υλοποιηθεί πολύ σημαντικές έρευνες από αρκετούς

επιστήμονες (Singh, 1989; Mas, 1999; Kontoes, 2008; Townsend et al., 2009; Purkis and Klemas, 2010; Gould et al., 2012; Petropoulos et al., 2012).

1.4 Στόχοι

Βασικός σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να αξιολογηθούν ο Landsat 5 TM και Landsat 7 TM ως προς την αναγνώριση, την ποσοτικοποίηση και την ανάλυση της χωρικής ανταπόκρισης του τοπίου στις δραστηριότητες ανοιχτών ορυχείων, λατομείων και περιοχών εξόρυξης. Επί πλέον στόχος είναι μέσω των δεδομένων παρατήρησης της γης που έχουν καταγραφεί από τους αισθητήρες αυτούς, η αξιολόγηση της χρήσης «pixel-based» και «object-based» ταξινομητών στη χαρτογράφηση της κάλυψης γης και των διαφόρων χρήσεων γης. Συγκεκριμένα για τη ταξινόμηση θα αξιολογηθούν οι τεχνικές των Μηχανών Διανυσμάτων Υποστήριξης «SVM», του Νευρωνικού Δικτύου «NN» («pixel-based») και του Δέντρου Αποφάσεων «Decision Tree» («object-based»).

Περιοχή μελέτης είναι τα ανοιχτά ορυχεία στο ελληνικό νησί Μήλος με εστίαση στις δραστηριότητες των εξορύξεων και των περιοχών αποκατάστασης για τις περιόδους 1987 – 2003, 2003 – 2010 και 1987 – 2010. Δηλαδή μιας συνολικής περιόδου αλλαγών 23 χρόνων. Τα αποτελέσματα από αυτή την μελέτη θα παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την χαρτογράφηση της ευρύτερης περιοχής της νήσου Μήλου και την παρακολούθηση των σημείων αποκατάστασης καθώς και τον εντοπισμό των αλλαγών των υποπεριοχών μελέτης.

Πιο συγκεκριμένα ο σκοπός της μελέτης είναι η παρακολούθηση της δραστηριότητας εξόρυξης και της αποκατάστασης τοπίου σε ανοικτά ορυχεία, με χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης για όλη τη νήσο Μήλος. Οι επιμέρους στόχοι είναι:

- Η σύγκριση των δύο τύπων ταξινομήσεων («SVM» και «ANN») ώστε να επιλεγθεί ο πιο αποτελεσματικός.
- Η χρήση της συνδυαστικής ταξινόμησης «Hybrid Classification» ώστε να καθοριστούν και να διαχωριστούν καλύτερα οι ταξινομημένες κλάσεις.
- Ο εντοπισμός αλλαγών χρήσεων γης ώστε να μελετηθούν και μετρηθούν οι χωρικές μεταβολές των εκτάσεων εξόρυξης σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο.

Κεφάλαιο 2 - Περιοχή Μελέτης

2.1 Μήλος

(Φυσικό Περιβάλλον – Χρήσεις Γης)

Η Μήλος βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο των Κυκλάδων ανάμεσα στα νησιά Αντίμηλος, Κίμωλος & Πολύαιγος. Το γεωγραφικό της πλάτος είναι από $36^{\circ} 46' 27''$ έως $36^{\circ} 38' 37''$, ενώ το γεωγραφικό της μήκος είναι από $24^{\circ} 19' 01''$ έως $24^{\circ} 32' 47''$. Η έκτασή της είναι 151 τετραγωνικά χιλιόμετρα (το πέμπτο σε μέγεθος νησί των Κυκλάδων) και το μήκος των ακτών της είναι περίπου 126 χιλιόμετρα. Σύμφωνα με το Πρόγραμμα Καλλικράτης είναι η έδρα της Περιφερειακής Ενότητας Μήλου (Μήλος-Κίμωλος-Σέριφος-Σίφνος) και αποτελεί τον ενιαίο Δήμο Μήλου.

Ο δήμος Μήλου περιμετρικά περιλαμβάνει επίσης :

- Βόρεια του κόλπου της Μήλου τη Μικρή Αρκαδιά, τη Μεγάλη Αρκαδιά και τις βραχονησίδες Αρκούδες.
- Βόρεια της τοποθεσίας Φυλακωπή τα Γλαρονήσια και τον Καλόγηρο.
- Στις βορειοανατολικές ακτές το Πηλονήσιο.
- Στις νοτιοδυτικές ακτές το Παξιμαδί και τη νησίδα Ανάνες
- Βορειοδυτικά την Αντίμηλο.



Εικόνα 2.1. Γεωγραφικός χάρτης της νήσου Μήλος (Εικόνες Google).

Είναι ένα ηφαιστειογενές νησί, και ανήκει στο ονομαζόμενο «ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου». Το τόξο αυτό ξεκινάει από την Κόρινθο και περνώντας από την Αίγινα, Μέθανα, Μήλο, Σαντορίνη, και Νίσυρο καταλήγει στην Μικρά Ασία. Στο νησί εμφανίζονται δύο ανενεργά ηφαίστεια. Το πρώτο είναι στη Φυρίπλακα, με κρατήρα διαμέτρου 1700 μέτρα και ύψος 220 μέτρα, είναι εμφανής η μορφολογία του και βρίσκεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα του νησιού. Το δεύτερο είναι στον Τράχηλα, στο βόρειο-βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, διατηρείται ένα μικρό τμήμα. Η μορφολογία του νησιού εξαρτάται άμεσα από τη γεωλογία της.

Εξ αιτίας ενδογενών διεργασιών στο υπέδαφος οι οποίες συνδυάζονται άμεσα με το γεωλογικό καθεστώς στο χώρο του ηφαιστειακού τόξου (έντονες τεκτονικές δυνάμεις, γεωθερμική δραστηριότητα, εξαλλοιώσεις) έχουν δημιουργηθεί προϊόντα εξαλλοίωσης οικονομικού ενδιαφέροντος (καολίνης, μπετονίτης), μεταλλεύματα (βαρύτης, άργυρος, θείο, μαγγάνιο κλπ.) καθώς και σημαντικά γεωθερμικά πεδία στο νησί, κυρίως στη περιοχή της Ανατολικής Μήλου.

Πεδινές περιοχές υπάρχουν στον Προβατά, στην Ζεφυρία (Αεροδρόμιο), στον Αδάμαντα, στον Μικρό & Μεγάλο Αρχοντιμιά, στην Φυλακωπή, Πάχαινα, Αγία Ειρήνη, Εμπουρειός (σιτηρά, αμπέλια, ελαιόδεντρα) και στα Πολλώνια.

Το δυτικό τμήμα της Μήλου είναι περισσότερο ορεινό με μεγαλύτερα υψόμετρα και εντονότερες κλίσεις σε σχέση με το ανατολικό τμήμα της. Οι μεγάλοι και πολυάριθμοι ηφαιστειακοί δόμοι επέδρασαν καθοριστικά στη μορφολογία του. Η υψηλότερη κορυφή του νησιού είναι ο Προφήτης Ηλίας με ύψος 751 μέτρα και βρίσκεται στο Ν.Δ. τμήμα του. Επίσης το Χονδρόβουνο, μία άλλη κορυφή στην ίδια περιοχή, έχει ύψος 635 μέτρα. Στο ανατολικό τμήμα η μεγαλύτερη εξάπλωση των χαλαρών και εξαλλοιωμένων πετρωμάτων έδωσε χαμηλό ανάγλυφο. Στο τμήμα αυτό το μεγαλύτερο υψόμετρο είναι 251μ. στην Μουρτόραχη. Όλες οι άλλες κορυφές είναι κάτω από τα 400 μέτρα και το 86% του νησιού είναι υψομετρικά χαμηλότερο από 200μ.

Σχεδόν όλη η δυτική Μήλος και η νήσος Αντίμηλος είναι περιοχές ενταγμένες στο Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000 με κωδικούς GR4220005 «Δυτική Μήλος» & GR4220007 «Νήσος Αντίμηλος» & έχουν χαρακτηριστεί ως βιότοποι CORINE, ανάμεσα στους 39 της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου.

Στη Δυτική Μήλο δεν υπάρχουν χωριά, παρά μόνο ελάχιστοι οικισμοί και κάποια παλιά ορυχεία (το μόνο που λειτουργεί είναι το ορυχείο ποζολάνης στην ξυλοκερατιά) και δραστηριοποιούνται κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις.

Στην περιοχή Natura ανήκουν η Αχιβαδόλιμνη και οι Αλυκές φυσικοί υγρότοποι και σημαντικοί σταθμοί μεταναστευτικών πτηνών.

Στη δυτική Μήλο υπάρχει πλήθος από φυτά, βότανα και αγριολούλουδα και προστατευόμενα πουλιά.

Πίνακας 2.1. Η έκταση και τα ποσοστά κατά είδος των καλλιεργημένων περιοχών της νήσου Μήλος το έτος 1997.

Κατηγορία γης	Έκταση (στρέμματα)	Ποσοστό (%)
Ετήσιες καλλιέργειες	27.662	87,26
Δενδρώδεις καλλιέργειες	2.554	8,06
Αμπέλια και σταφιδάμπελα	810	2,56
Λοιπές εκτάσεις (λιβάδια, βοσκότοποι, οικολογικοί/λαχανότοποι και αγραναπαύσεις)	684	2,16
Σύνολο	31.700	100,0

2.2 Αστική ανάπτυξη

Οι περισσότεροι οικισμοί στην Μήλο συγκεντρώνονται στο βόρειο τμήμα της. Η πρωτεύουσα του νησιού είναι η Πλάκα η οποία βρίσκεται πολύ κοντά με άλλους κύριους οικισμούς όπως είναι οι Πλάκες, το Τριοβάσαλο, το Πέρα Τριοβάσαλο και την Τρυπητή.

Άλλοι οικισμοί είναι η Ζεφυρία (παλαιά πρωτεύουσα) και τα Πολλώνια ενώ μικρότεροι οικισμοί είναι: ο Εμπορείός, η Ξυλοκερατιά, τα Ψαθάδικα, το Ραλάκι, ο Κατσαρώνας, η Κώμια, οι Άγιοι Ανάργυροι, ο Άγιος Γεράσιμος, η Σχινωπή, ο Μύτακας, η Πάχαινα, η Φυλακωπή, η Κάναβα, ο Προβατάς, το Παλαιοχώρι, το Κλήμα, το Φουρκοβούνι, τα Μανδράκια και ο Φυροπόταμος.

Το κύριο λιμάνι είναι ο Αδάμαντας που βρίσκεται στον όρμο της Μήλου ένα από τα μεγαλύτερα φυσικά λιμάνια της Μεσογείου. Τα Πολλώνια είναι μικρότερο λιμάνι που εξυπηρετεί κυρίως για την συγκοινωνία Μήλου-Κιμώλου.

Ο πληθυσμός της Μήλου σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011, ανέρχεται σε 4.977 κατοίκους.

Πίνακας 2.2. Η εξέλιξη του πληθυσμού φαίνεται στον παραπάνω πίνακα.

	Πραγματικός Πληθυσμός / ΑΠΟΓΡΑΦΕΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ						
	1951	1961	1971	1981	1991	2001	2011
ΜΗΛΟΣ	5.588	4.914	4.503	4.556	4.390	4.771	4.966
ΚΥΚΛΑΔΕΣ	125.959	99.959	86.337	88.458	94.005	112.615	124.525
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	247.439	222.980	207.354	233.529	257.481	302.686	366.795

Στον πρωτογενή τομέα απασχολείται το 5,81% επί του συνόλου των απασχολούμενων, από τους οποίους οι περισσότεροι είναι μερικής απασχόλησης (απασχολούνται στις εξορύξεις και κυρίως έχουν σαν δεύτερη απασχόληση την γεωργία-κτηνοτροφία ενώ λίγοι ασχολούνται με την αλιεία.) Αξιοσημείωτη είναι η συμβολή του κλάδου των Εξορύξεων στη οικονομία του νησιού καθώς εξαγονται σημαντικές ποσότητες μπετονίτη, περλίτη, καολίνη, ποζολάνης.

Κατά την αρχαιότητα η Μήλος γνώρισε ακμή λόγω του ορυκτού της πλούτου. Κατοικήθηκε ήδη από τη Νεολιθική εποχή (7000 π.Χ.) και σύντομα πλούτισε περισσότερο από τα γειτονικά της νησιά χάρη στον οψιδιανό λίθο, ένα μαύρο ηφαιστειακό πέτρωμα που χρησιμοποιούσαν οι Μήλιοι στα όπλα και τα εργαλεία τους. Πιστεύεται μάλιστα ότι είχαν προχωρήσει και σε εξαγωγικό εμπόριο, καθώς ο οψιδιανός της Μήλου έχει βρεθεί στην Πελοπόννησο, την Κρήτη, την Κύπρο, ακόμα και την Αίγυπτο. Οψιδιανός της Μήλου έχει βρεθεί σε διάφορες Νεολιθικές τοποθεσίες του Ελλαδικού χώρου, όπως αυτή του Δισπηλιού στην Καστοριά και του Μακρύγιαλου στην Πιερία. Παράλληλα όμως, και με γνώμονα πάντα το πλούσιο υπέδαφος (υπάρχει άφθονος πηλός εξαιρετικής ποιότητας), αρχίζει να αναπτύσσεται η αγγειοπλαστική, με αποτέλεσμα να μείνουν στην ιστορία οι «Μήλιοι αμφορείς» ως οι τελειότεροι για εκείνη την εποχή (6ος και 7ος αιώνας π.Χ.).

Κατά την Ρωμαϊκή εποχή εξάγονται συστηματικά κίσσηρις (ελαφρόπετρα που χρησιμοποιούνταν για το τρίψιμο και το στίλβωμα των μωσαϊκών της Ρώμης), μήλινον (καολίνης ορυκτό λευκού χρώματος, χρησιμοποιούνταν από τους ζωγράφους εκείνη την εποχή), θείον, στυπτηρία (για ανάγκες ιατρικής), ενώ τα ορυχεία δουλεύουν ασταμάτητα. Ο γύψος, οι μυλόπετρες και το αλάτι βρίσκονται υπό κρατικό έλεγχο (η αλυκή της Μήλου είναι μία από τις έξι που λειτουργούν σε όλη την Ελλάδα τη δεκαετία του 1840). Μέχρι το 1900 περίπου η βιομηχανία ανθίζει και στη Μήλο εξορύσσονται από διάφορες εταιρείες κοιτάσματα μόλυβδου, θείου και μαγγανίου. Αργότερα, στα χρόνια μεταξύ 1930 και 1960, θα εγκατασταθούν στο νησί νέες εταιρείες οι οποίες θα εκμεταλλευτούν την βαρυτίνη, τον καολίνη, τον περλίτη, τον μπεντονίτη και την ποζολάνη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως Βιομηχανικά Μνημεία παρουσιάζουν τα Θειωρυχεία, το Βάνι και τα ορυχεία Μυλόπετρας στη Κώμια. Ενδιαφέροντα επισκέψιμα ορυχεία είναι της Αγγεριάς (μπεντονίτης) με το τεράστιο μέγεθος και τα χίλια χρώματα, του Τράχηλα (περλίτης) με μερική αποκατάσταση, της Καστριανής (καολίνης) με μερική αλλά εντυπωσιακή αποκατάσταση, τα παλιά αποκατεστημένα εν μέρει ορυχεία όπως το ορυχείο Κάβου (βαρυτίνης) κ.ά.

2.3 Γεωλογία

Πριν από 3 εκατομμύρια χρόνια (μέσο-ανώτερο Πλειόκαινο) σημειώθηκε εκρηκτική ηφαιστειακή δραστηριότητα -ως αποτέλεσμα νέας σύγκρουσης των λιθοσφαιρικών πλακών- η οποία, κατά τις διάφορες φάσεις της, δημιούργησε τα ορυκτά που κατά κύριο λόγο εκμεταλλευόμαστε σήμερα στη Μήλο. Στο τέλος του Πλειόκαινου (πριν από 2 εκατομμύρια χρόνια) σημειώνονται μετακινήσεις των υδάτων της Μεσογείου. Ήταν η αρχή του σχηματισμού του Αιγαίου πελάγους. Η τελική φάση ολοκληρώνεται κατά το Πλειστόκαινο (2 εκατομμύρια χρόνια - 10.000 χρόνια) οπότε, μετά από αλληπάλληλες καταβυθίσεις και εισχωρήσεις των υδάτων, ο

ελληνικός χώρος είχε ουσιαστικά διαμορφωθεί. Ενώ η ηφαιστειακή δραστηριότητα έχει σταματήσει τα τελευταία 100.000 χρόνια. Η Μήλος ανήκει σε ένα ηφαιστειακό τόξο μήκους 220 χιλιομέτρων που εκτείνεται από την Αίγινα και τα Μέθανα, μέχρι την Νίσυρο και την Κω. Τα παλαιότερα ίχνη ανθρώπινης παρουσίας που έχουν επισημανθεί στις Κυκλάδες χρονολογούνται από το τέλος της 5ης χιλιετίας π.Χ. Το ήπιο κλίμα των Κυκλάδων ευνόησε τους πρώιμους οικισμούς, ενώ η προνομιά τους γεωγραφική και στρατηγική θέση τους, υποβοήθησε την ανάπτυξη ενός από τους παλαιότερους πολιτισμούς της Ευρώπης.

Το υπέδαφος της Μήλου, ως εκ της ηφαιστειακής του προελεύσεως, περιείχε σημαντικές ποσότητες οψιδιανού, ενός στιλπνού και σκληρού, τεφρού έως μέλανος λίθου, κατάλληλου για την κατασκευή εργαλείων και όπλων. Ο οψιδιανός αυτός ήτο εξαιρετικής ποιότητας και η Μήλος η μόνη πηγή προμήθειάς του. Μικρές ποσότητες οψιδιανού προερχόμενες κατά πάσα πιθανότητα από τη Μήλο, βρέθηκαν πρόσφατα στη Στερεά Ελλάδα και χρονολογήθηκαν ως ανήκουσες στην 11η χιλιετία π.Χ., δηλαδή στην ανώτερη παλαιολιθική περίοδο, ως επίσης στο 7250 π.Χ., δηλαδή στη μεσολιθική περίοδο.

Από τη Νεολιθική εποχή και ενώ το εμπόριο έχει αρχίσει να ανθεί στον Αιγαίο χώρο, η Μήλος εξάγει οψιδιανό στην Κρήτη, στα άλλα νησιά του Αιγαίου, στην Ηπειρωτική Ελλάδα και στη Μικρά Ασία. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σε παλαιότατο προκεραμικό οικισμό της Κνωσού, που τοποθετείται στο τέλος της 7ης χιλιετίας π.Χ. διαπιστώθηκε λιθοτεχνία με άφθονο οψιδιανό της Μήλου. Αργότερα, από τα παλαιοανακτορικά χρόνια (μέχρι το 1400 π.Χ.) είχε εγκατασταθεί εμπόριο για την εκμετάλλευση του οψιδιανού στην πόλη της Φυλακωπής, που άνθησε σε όλη τη 2η χιλιετία π.Χ. Συμπερασματικά, οι κάτοικοι της Μήλου ανακάλυψαν και εκμεταλλεύτηκαν αρκετά νωρίς τον οψιδιανό, μια ανεξάντλητη πηγή πλούτου που διέθετε το νησί, σε αντίθεση με τα άλλα νησιά των Κυκλάδων. Οι αυξημένες ανάγκες για την κατασκευή τελειότερων λίθινων εργαλείων για κάθε χρήση -πριν από την είσοδο του Χαλκού στο Αιγαίο (3000 π.Χ.) αλλά και μετέπειτα - δεν μπορούσε να καλυφθεί παρά μόνο με τη χρησιμοποίηση πυριτόλιθων και οψιδιανού. Έτσι, η ζήτηση του Μηλιακού οψιδιανού ανάγκαζε ένα μέρος του πληθυσμού να ασχοληθεί με την εξόρυξη, την επεξεργασία του αλλά και την οργάνωση του εμπορίου, που ανελήφθη κυρίως από τη δεύτερη πόλη της Φυλακωπής που κτίστηκε περί το 2000 π.Χ. Συνεπώς ο οψιδιανός έπαιξε ένα σημαντικό ρόλο στην οικονομική άνθηση του νησιού στις εποχές που προαναφέραμε.

Το υπέδαφος της Μήλου δεν διέθετε ορυκτά από τα οποία μπορούσαν να εξαχθούν μέταλλα. Διέθετε όμως μια ποικιλία ορυκτών για ειδικές χρήσεις. Έτσι, αναπτύχθηκε η παραγωγή και εμπορία:

Θείου: Μεγάλες ποσότητες θείου εξορύχθηκαν κατά την αρχαιοελληνική περίοδο στη Μήλο. Χρησιμοποιήθηκε για απολυμαντικούς, αντισηπτικούς και θρησκευτικούς σκοπούς.

Πωρόλιθων: Χρησιμοποιήθηκαν από την αρχιτεκτονική σε μεγάλες για την εποχή οικοδομές και δημόσια κτίρια.

Τραχείτου: Μεγάλες ποσότητες τραχείτου εξορύχθηκαν στα λατομεία της Μήλου. Ο τραχείτης χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή μυλόλιθων (μυλόπετρες) για άλεση δημητριακών αλλά και σκληρότερων υλών. Πιθανόν εξαγόταν και στο Λαύριο, για την κατάτμηση του μεταλλεύματος.

Καολίνη: Τον χρησιμοποιούσαν οι ζωγράφοι για να επιτύχουν το λευκό χρώμα. Ακόμη χρησιμοποιήθηκε στην αγγειοπλαστική.

Κίσσηρης (ελαφρόπετρα): Χρησιμοποιήθηκε για τη λείανση των μωσαϊκών, των δερμάτων κ.λπ.

Αλουνίτη (στυπτηριάτη λίθου ή στυπτηρίας): Χρησιμοποιήθηκε στη φαρμακευτική ως δραστικό φάρμακο ή συστατικό φαρμάκων.

Μετά την απελευθέρωση, το Ελληνικό κράτος αρχίζει να ασχολείται κάπως συστηματικά με τα μεταλλεία, 30 τουλάχιστον χρόνια μετά τη σύστασή του. Στις 24 Αυγούστου του **1861** δημοσιεύεται στην εφημερίδα της Κυβερνήσεως ο πρώτος νόμος “περί μεταλλείων, ορυχείων και λατομείων”. Μέχρι τότε εξορύσσονταν στη χώρα μικρές μόνο ποσότητες λιγνιτών, σμύριδος, θηραϊκής γης, γύψου και μυλοπετρών. Στη Μήλο, το **1890** τα θειωρυχεία βρίσκονταν σε πλήρη παραγωγή, περίπου 15.000 τόνων ετησίως. Η παραγωγή διακόπηκε το 1905.

Το **1886** η εταιρεία “Σίφνος - Εύβοια” εξορύσσει μετάλλευμα γαληνίτη και αργυρούχου μόλυβδου στην περιοχή Τριάδες, αφού προηγουμένως, από το 1883, είχε αρχίσει να ασχολείται με συναφή μεταλλεύματα στην ίδια περιοχή.

Το **1890** άρχισε η εκμετάλλευση κοιτάσματος μαγγανίου (πυρολουσίτου) στη θέση Βάνι, η οποία διακόπηκε οριστικά το 1928.

Το **1899** διαπιστώθηκε η σπουδαιότητα των καολινών της Μήλου, η παραγωγή των οποίων κατά τη δεκαετία του 1960 ανερχόταν σε 100.000 τόνους ετησίως. Σημειωτέο ότι το εργοστάσιο Κλωναρίδη που κτίστηκε το 1925 για επεξεργασία καολίνη, ανακαινίστηκε προσφάτως από την εταιρεία ΟΡΥΜΗΛ, προκειμένου να διατίθεται για πολιτιστικές εκδηλώσεις.

Το **1934** η Α.Ε.Ε. Αργυρομεταλλευμάτων & Βαρυτίνης αποκτά τα δικαιώματα εξόρυξης της βαρυτίνης και εγκαθίσταται στη Μήλο, στην περιοχή Βούδια. Αρχίζει συστηματικά μια σοβαρή προσπάθεια βιομηχανοποίησης των ορυκτών προϊόντων της Μήλου. Η εταιρεία σταδιακά γιγαντώνεται και κυριαρχεί στην παραγωγή μπεντονίτη και περλίτη.

Το **1952** η εταιρεία Γ. Μπούρλος εγκαθίσταται στη Μήλο και ασχολείται με την εξόρυξη και εμπορία καολίνη και μπεντονίτη. Σημειωτέο ότι ο χημικός-μηχανικός Γ. Μπούρλος υπήρξε εκ των πρώτων μελετητών του ελληνικού μπεντονίτη, ένα σημαντικό δε μέρος των γνώσεων μας που αφορούν το εν λόγω ορυκτό οφείλονται στις προσπάθειές του.

Το **1952** οι αδελφοί Σβορώνοι με τους αδελφούς Ζάννου και τον Η. Τριάντη ιδρύουν την εταιρεία “Α.Ε. Θειωρυχεία Μήλου”. Σημειωτέο ότι ο Ιάσωνας Σβορώνος είχε το 1938 λάβει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας δια μέθοδο απολήψεως θείου από θειούχα πετρώματα.

Το **1953** εγκαθίσταται στη Μήλο η εταιρεία ΜΥΚΟΜΠΑΡ και ασχολείται με εξόρυξη μπεντονίτη.

Το **1955** άρχισαν οι πρώτες φορτώσεις μπεντονίτη για το εξωτερικό και λίγο αργότερα το 1957 οι πρώτες φορτώσεις περλίτη, η σπουδαία σημασία του οποίου είχε διαπιστωθεί από το 1954.

Το **1955** η εταιρεία Μ. Παπαμιχαήλ Α.Ε., θυγατρική της ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΤΙΤΑΝ Α.Ε., αποκτά το 50% της εταιρείας ΕΜΧΕ που είχε εγκατασταθεί στη Μήλο το 1947 και δραστηριοποιείται στην εκμετάλλευση καολίνη.

Το **1956** σταμάτησε η εξόρυξη μυλοπετρών.

Το **1958** η Α.Ε. Θειωρυχεία Μήλου κηρύχθηκε σε πτώχευση και λίγο αργότερα η Α.Ε. Μεταλλεία Βωξίτες Ελευσίνος του συγκροτήματος Σκαλιστήρη αγόρασε τα Θειωρυχεία Μήλου (1961) τα οποία αργότερα περιήλθαν στην Α.Ε. Επιχειρήσεων Μ.Β.Ν. (1978).

Το **1984** η εταιρεία ΕΛΜΕ, θυγατρική της ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΤΙΤΑΝ Α.Ε., άρχισε εξόρυξη ποζολάνης στην περιοχή Ξυλοκερατιά.

Το **1988** η εταιρεία ΛΑΒΑ Α.Ε., θυγατρική της ΑΓΕΤ, εγκαθίσταται στη Μήλο και δραστηριοποιείται στην εξόρυξη ποζολάνης, από το 1990.

Το **1992** η Α.Ε.Ε. Αργυρομεταλλευμάτων & Βαρυτίνης, κατόπιν διεθνούς πλειοδοτικού διαγωνισμού, αποκτά τα σχετικά μεταλλευτικά δικαιώματα και αρχίζει στη Μήλο τις έρευνες για τον εντοπισμό κοιτασμάτων επιθερμικού χρυσού.

2.4 Διεργασίες Εξόρυξης

Η περιοχή του Δήμου Μήλου διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο υπέδαφος το οποίο περιλαμβάνει μια σειρά ορυκτών αλλά και σημαντικά γεωθερμικά πεδία. Συγκεκριμένα στη Μήλο εντοπίζονται θείο, περλίτης, βαρυτίνη, καολίνης, μπεντονίτης, αλουνίτης, σίδηρος με τη μορφή λιμονίτη, μαγγάνιο, χρυσός και άργυρος, ενώ στην περιοχή της Ζεφυρίας υπάρχουν γεωθερμικά πεδία υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας (Μεταλλευτικό Μουσείο Μήλου, <http://www.milosminingmuseum.com/>).

Στην περιοχή της Μήλου έχουν εγκατασταθεί σημαντικές επιχειρήσεις με αντικείμενο δραστηριοποίησης την εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου. Η πλέον γνωστή επιχείρηση είναι η S & B Βιομηχανικά Ορυκτά. Πρόκειται για μια από τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις του κλάδου των μη μεταλλικών ορυκτών, εισηγμένη στο ΧΑΑ. Άλλα σημαντικά ορυχεία βιομηχανικών ορυκτών

λειτουργούν στις θέσεις: Ξυλοκερατιά, των εταιρειών TITAN και ΗΡΑΚΛΗΣ, όπου εξορύσσεται ποζολάνη, στην Αγία Ειρήνη με μπεντονίτη, στον Τσιγκράδο με περλίτη, στην Καστριανή με μπεντονίτη και καολίνη, στον Τράχηλα με περλίτη, στο Ραλάκι με καολίνη και πυριτικό, στα Βούδια και τον Άγιο Θεόδωρο με μπεντονίτη. Οι λιμενικές εγκαταστάσεις φόρτωσης των ορυκτών βρίσκονται στην Ξυλοκερατιά, τα Βούδια, τον Καννάβα και το Αμπουρδεχτάκι.

Ο τομέας της εξόρυξης απορρόφησε το μεγαλύτερο μέρος του εργατικού δυναμικού της Μήλου, σε βάρος άλλων παραγωγικών κλάδων (γεωργία, αλιεία, κτηνοτροφία, τουρισμός). Η εργασία στα ορυχεία, αν και σκληρή, παρείχε σταθερό εισόδημα στους κατοίκους της Μήλου, οι οποίοι απέφυγαν έτσι την μεταπολεμική μετανάστευση. Έτσι, η Μήλος αποτέλεσε το πιο εκβιομηχανισμένο νησί της Ελλάδας μετά τη δεκαετία του '40.

Από το 1936 η παραγωγή μεταλλευμάτων, ξεπέρασε τους 100.000 τόνους ετησίως, φτάνοντας τη δεκαετία του 1990 τους 1.800.000 τόνους. Οι εξορυκτικοί χώροι είναι διάσπαρτοι σε όλη τη Μήλο, με έντονη συγκέντρωση των σημερινών ενεργών ορυχείων στο ΒΑ τμήμα της Μήλου. Συνολικά τα ορυχεία είναι περίπου 100 από τα οποία σήμερα είναι ενεργά τα 25.

Η εξορυκτική δραστηριότητα ασκείται από ιδιωτικές εταιρίες και αποτελεί πηγή (άμεσα και έμμεσα) εισοδήματος για τον τοπικό πληθυσμό. Σύμφωνα με τη νομοθεσία, οι εταιρίες είναι υποχρεωμένες να αποδίδουν το 2% επί της αξίας του εξορυσσόμενου πλούτου στην τοπική αυτοδιοίκηση ως αντιστάθμιση για τι περιβαλλοντικό κόστος των ορυχείων στο νησί.

Από τις εταιρίες εξόρυξης και επεξεργασίας ορυκτών που δραστηριοποιούνται στην περιοχή, η κύρια εξορυκτική δραστηριότητα γίνεται από τις 5 μεγαλύτερες. Σημαντικότερη είναι η S & B Βιομηχανικά Ορυκτά, η οποία απασχολεί άμεσα ή έμμεσα μέσω εργολαβιών 340 εργαζόμενους. Από τα ορυκτά που κατά καιρούς εξορύχτηκαν ή συνεχίζουν να εξορύσσονται αξίζει να αναφερθούν, από τα χαρακτηριζόμενα ως «μεταλλευτικά», η βαρυτίνη, ο αλλουνίτης, το μαγγανιομετάλλευμα και το θειάφι, ενώ από τα «βιομηχανικά», η ποζολάνη, ο περλίτης, ο μπεντονίτης και ο καολίνης. Τα εξορυσσόμενα υλικά μεταφέρονται στις 6 εξέδρες φόρτωσης (σκάλες), 3 από τις οποίες βρίσκονται στο εσωτερικό του κόλπου του Αδάμαντα, 1 στα Βούδια και 2 στην Ξυλοκερατιά.

Η διασπορά των ορυχείων στο σύνολο του νησιού, η εξορυκτική δραστηριότητα η οποία γίνεται επιφανειακά, ο κατατεμαχισμός του γεωγραφικού χώρου της Μήλου από το οδικό δίκτυο, η αποψίλωση της γης, η εγκατάλειψη παλιών ορυχείων και οι αποθέσεις στείρου υλικού (μπάζα) δίπλα σε οικισμούς και κατά μήκος του οδικού δικτύου είχαν σαν αποτέλεσμα την αλλοίωση του φυσικού τοπίου. Σημαντική προσπάθεια έχει γίνει και γίνεται τα τελευταία χρόνια για την αποκατάσταση του τοπίου μετά το πέρας των εκμεταλλεύσεων αυτών. Μία από τις μεταλλευτικές εταιρίες η οποία έχει προβεί σε ενέργειες αποκατάστασης στη Μήλο είναι η S & B., διαθέτει ένα

φυτώριο (περιοχή Πολλώνια-Μήλου) και επιστημονικό προσωπικό για αναπαραγωγή φυτών που φύονται στη Μήλο και φύτευσή τους στις περιοχές αποκατάστασης.

Σημειώνεται ότι στο νησί υπάρχει έντονος προβληματισμός για την αλλοίωση του τοπίου λόγω της εξορυκτικής δραστηριότητας. Η δραστηριότητα αυτή αλλοιώνει το τοπίο, αν και με τις κατάλληλες εργασίες αποκαταστάσεων, όπου αυτές γίνονται, το τοπίο σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα αποκαθίσταται μερικώς. Η αποκατάσταση βεβαίως περιορίζεται στο επίπεδο της αισθητικής του τοπίου, και δεν αναπληρώνει σε καμιά περίπτωση την οριστική απώλεια του πρωτογενούς οικοσυστήματος. Τα θετικά αποτελέσματα οφείλονται κυρίως στο γεγονός ότι η εξορυκτική δραστηριότητα γίνεται σε αργιλικά εδάφη και υπεδάφη, με αποτέλεσμα τα ανοιχτά λατομεία στο τοπίο να αποκαθίστανται γρήγορα (σε αντίθεση για παράδειγμα με τα λατομεία μαρμάρου που οι διεργασίες εξόρυξης δεν αποκαθίστανται ποτέ). Παράλληλα έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχουν τεχνικές λύσεις για την επιτάχυνση της αποκατάστασης του τοπίου. Όσο αφορά την εκτός σχεδίου δόμηση η οποία παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στην Μήλο, είναι βέβαιο ότι αλλοιώνει μη αναστρέψιμα το τοπίο ενώ τροφοδοτεί με ρύπους και ανεξέλεγκτα λύματα την περιοχή.

Κεφάλαιο 3 - Μεθοδολογία

3.1 Δεδομένα

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του Landsat TM για την περιοχή της νήσου Μήλου που καλύπτεται από τις λήψεις της τροχιάς (path: 182, row: 34) στα οποία έχει γίνει ορθοαναγωγή (Level-1T orthorectified). Η διαδικασία αυτή που είναι γνωστή ως ορθοδιόρθωση ή ορθοαναγωγή είναι γεωμετρική διόρθωση που επιβάλλεται ώστε να διορθωθούν σφάλματα που οφείλονται στο έντονο ανάγλυφο μιας περιοχής. Τα δεδομένα δόθηκαν δωρεάν από την United States Geological Survey (USGS) στην ιστοσελίδα (<http://glovis.usgs.gov/>) και είχαν ημερομηνία λήψης 21 Ιουλίου 1987, 01 Ιουλίου 2003 και 04 Ιουλίου 2010. Το χρονικό διάστημα που καλύπτουν οι εικόνες είναι 23 χρόνια που κρίνεται ικανοποιητικό για να παρατηρήσουμε, να εντοπίσουμε και να αναλύσουμε τις χωρικές μεταβολές και τις αλλαγές των χρήσεων γης με κύριο παράγοντα τις διεργασίες εξόρυξης και τον περιβάλλοντα χώρο που επηρεάζουν. Όπως την βλάστηση, την γεωμορφολογία και την αστική ανάπτυξη.

Από κάθε ημερομηνία χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο σετ 6 φασματικών καναλιών (bands) με χωρική ανάλυση 30 μέτρων:

Band 1 Blue 0,45-0,52 μm

Band 2 Green 0,52-0,6 μm

Band 3 Red 0,63-0,69 μm

Band 4 Near Infrared 0,76-0,9 μm

Band 5 Shortwave Infrared-1 1,55-1,75 μm

Band 7 Shortwave Infrared-2 2,09-2,35 μm

Το κανάλι 6 (Band 6) που αντιστοιχεί στο θερμικό υπέρυθρο (Thermal Infrared) με μήκος κύματος 10,4-12,5 μm και χωρική ανάλυση 60m (Landsat 7)/120m (Landsat 4 και 5) δεν χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία διότι το κανάλι 6 έχει χαμηλότερη χωρική ανάλυση με 60 μέτρα το μέγεθος κάθε ρικελ ενώ τα υπόλοιπα κανάλια έχουν χωρική ανάλυση 30 μέτρα το κάθε pixel.

3.2 Προεπεξεργασία «pre-processing» και Διόρθωση «rectification»

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων τηλεπισκόπησης ENVI (v. 4.7, ITT Visual Solutions), έγιναν όλες οι διαδικασίες προεπεξεργασίας (pre-processing), επεξεργασίας (main processing), ανάλυσης (analysis) και αναπαραγωγής (results, outputs) των δεδομένων. Στο πρώτο κομμάτι της προεπεξεργασίας έγινε ραδιομετρική διόρθωση ώστε να μετατραπούν οι τιμές των ψηφιακών αριθμών (Digital Number values) σε τιμές ακτινοβολίας (radiance values). Για την ραδιομετρική διόρθωση ακολουθήθηκε η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στη δημοσίευση «Change detection of surface mining activity and reclamation based on a machine learning approach of multi-temporal Landsat TM imagery» (Petrooulos et al., 2012). Η γεωμετρική διόρθωση είχε γίνει στις εικόνες πριν την ανάκτησή τους, σε βαθμό Level-1T orthorectified. Η διόρθωση εικόνας αναφέρεται στην διαδικασία μετατροπής μιας ακατέργαστης εικόνας (raw image) σε καθορισμένη χαρτογραφική προβολή (Frankvich, 1999).

3.2.1 Δημιουργία Ραδιομετρικών Δεικτών «Radiometric Indices»

Αρχικά χρησιμοποιώντας τα 6 κανάλια φασματικών συχνοτήτων υπολογίστηκαν οι γνωστοί δείκτες βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και Tasseled Cap (Kauth και Thomas, 1976, Crist και Cicone, 1984). Επί πλέον δημιουργήθηκαν δείκτες όπως ο Fractional vegetation cover (Choudhury et al., 1994) που επίσης αφορά την βλάστηση και οι δείκτες NDBI (Normalized built-up index), NBI (New Built-up index), NBAI (Normalized Built-up Area Index) και BRBA (Band Ratio Built-up Area) (Mirza et al., 2012) που χρησιμοποιήθηκαν για τα εδάφη και τις αστικές περιοχές. Έτσι δημιουργήθηκαν οι υπόλοιπες φασματικές απεικονίσεις ή φασματικά επίπεδα ώστε να αυξηθεί διαχωριστικότητα των τάξεων των δεδομένων που θέλαμε να παράγουμε. (Bannari et al., 1995; Silleos et al., 2006; Petrooulos and Kalaitzidis, 2012).

Αναλυτικά για κάθε εικόνα δημιουργήθηκαν οι παρακάτω δείκτες για τον διαχωρισμό των επιμέρους τάξεων που μας απασχολεί να απεικονίσουμε:

(Δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την έντονη διαφοροποίηση της βλάστησης)

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

(Δείκτης Κανονικής Διαφοροποίησης Βλάστησης)

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}, -1 \leq NDVI \leq +1 \quad (3.1)$$

[NIR(Band 4), RED (Band 3)], που αντιστοιχούν στα κανάλια του Landsat.

Η επιλογή εφαρμογής του δείκτη υπάρχει έτοιμη στο πρόγραμμα επεξεργασίας ENVI (v. 4.7) όπως και αυτή των Tasseled Cap δεικτών που αναφέρονται πιο κάτω.

Fr (Fractional vegetation cover) (Choudhury et al., 1994)

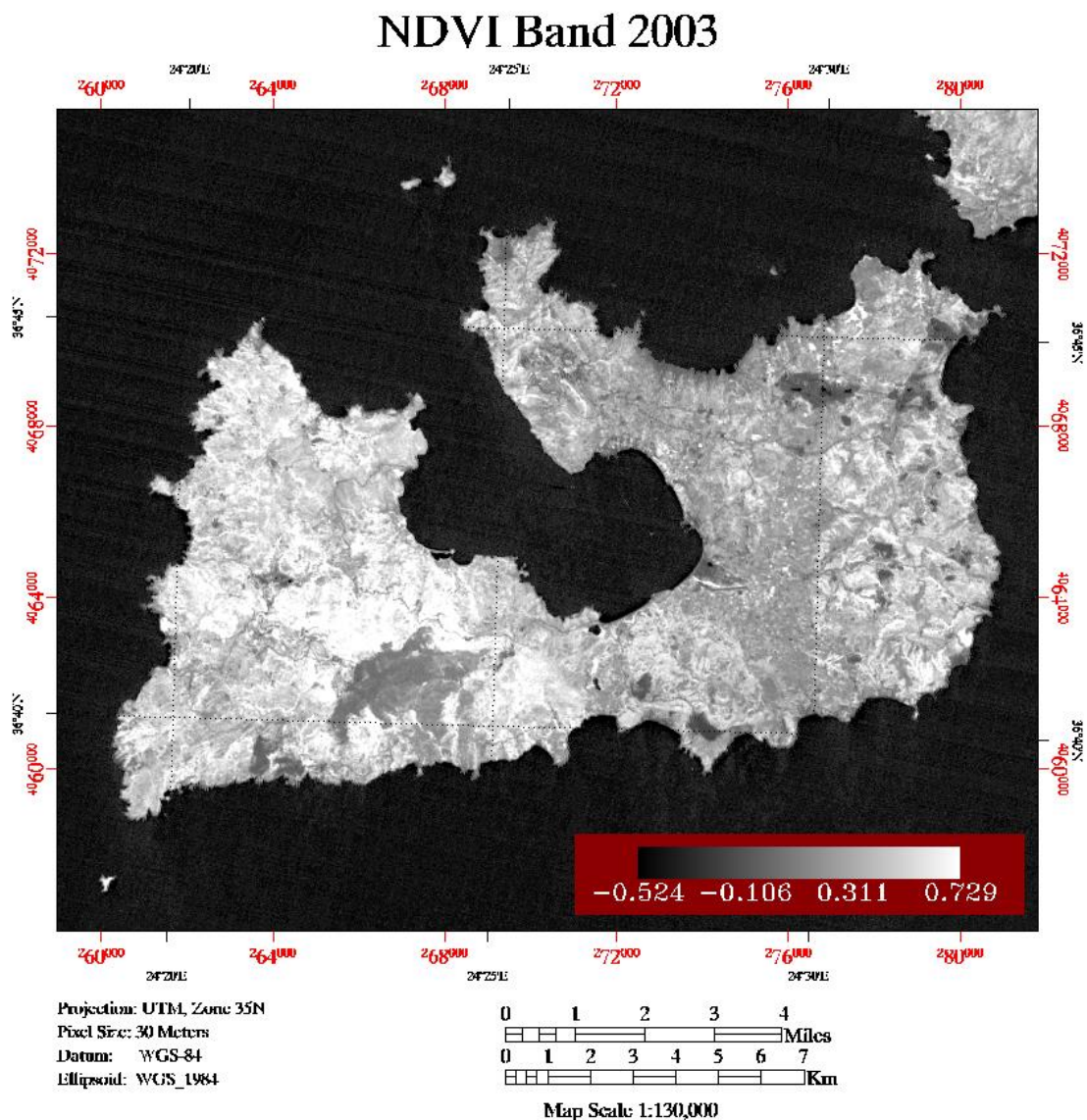
(Κλασματική κάλυψη βλάστησης)

$$N_{\text{scaled}} = \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_0}{\text{NDVI}_5 - \text{NDVI}_0}, \quad (3.2)$$

$$\text{Fr} = N_{\text{scaled}}^2, \quad (3.3)$$

$0 \leq \text{Fr} \leq +1$ (αύξηση των τιμών δείχνουν αύξηση στο ποσοστό βλάστησης)

[NDVI_0 (οι μικρότερες τιμές NDVI) το ελάχιστο ποσοστό κάλυψης, NDVI_5 (οι μεγαλύτερες τιμές του NDVI) μέγιστο ποσοστό κάλυψης]



Εικόνα 3.1. Το κανάλι (επίπεδο) NDVI που αφορά την ημερομηνία 2003. Οι τιμές της εικόνας κυμαίνονται από το -0,523810 μέχρι το 0,728643. Οι χαμηλές και αρνητικές τιμές αντιπροσωπεύουν σημεία με νερό, ανασκαμμένο έδαφος (διεργασίες εξορύξεων και άλλα), την ακτογραμμή και πολλά είδη εδάφους που είναι περιβάλλοντα σε ανασκαμμένα εδάφη και αστικές περιοχές.

Tasseled Cap (Kauth και Thomas, 1976; Crist και Cicone, 1984)

Χρησιμοποιήθηκαν όλα τα κανάλια από κάθε εικόνα και δημιουργήθηκαν τρεις επιφάνειες για κάθε ημερομηνία που αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα:

Brightness (Soil Brightness Index, ενδείνεται οι τιμές που αντιπροσωπεύουν τύπους εδαφών, διεργασίες εξορύξεων, δρόμους και αστικό τοπίο).

Greenness (Green Vegetation Index, για τις τιμές που αντιπροσωπεύουν είδη βλάστησης)

Third (Soil, Moisture, Wetness Index για τις τιμές που αντιπροσωπεύουν περιοχές με νερό, με μεγάλο ποσοστό νερού στην εκάστοτε περιοχή ή έντονη υγρασία)

Οι τιμές που αναπαράγονται κυμαίνονται ανάλογα την επιφάνεια (Brightness, Greenness, Third) που δημιουργείται. Θετικές και αρνητικές τιμές παρατηρούνται για τα pixels που αντιπροσωπεύουν την εκάστοτε δημιουργηθείσα επιφάνεια.

Πίνακας 3.1. Συντελεστές που χρησιμοποιούνται στις πράξεις των Tasseled Cap για τα κανάλια 1-5 και 7 Landsat TM.

TM Band	1	2	3	4	5	7
Brightness	0,3037	0,2793	0,4343	0,5585	0,5082	0,1863
Greenness	-0,2848	-0,2435	-0,5436	0,7243	0,084	-0,18
Wetness	0,1509	0,1793	0,3299	0,3406	-0,7112	-0,4572

Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την έντονη διαφοροποίηση του εδάφους, των εξορύξεων και των αστικών περιοχών, δημιουργήθηκαν στο ENVI (v. 4.7) με την χρήση του εργαλείου «band math». (Rogers and Keamey, 2004; Waqar et al., 2012)

NDBI (Normalized built-up index) (Rogers AS and Keamey, 2004)

(Δείκτης για την διαφοροποίηση αστικών περιοχών)

$$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR}, -1 \leq NDBI \leq 1 \quad (3.4)$$

[SWIR1(Band 5), NIR (Band 4)], που αντιστοιχούν στα κανάλια του Landsat.

Εξαιτίας της δυσκολίας να διαχωριστούν τα pixels που αφορούν τις αστικές περιοχές, τα εδάφη, τις περιοχές εξόρυξης του γυμνού εδάφους και της ακτογραμμής, η φασματική αποτύπωση μπορεί να αποτελεί συνδυασμό διαφόρων καλύψεων γης, αποκαλούμενων ως μεικτά εικονοστοιχεία (mixed pixels). Στις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις όπως είναι τα SVM και τα ANN υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να δημιουργηθούν σημεία με λάθος ταξινόμηση μεταξύ εδάφους και αστικών περιοχών, επειδή φέρουν όμοιες απογραφές σε κάποια σημεία (Candade and Dixon, 2004).

NBI (New Built-up index)

$$NBI = \frac{RED * SWIR1}{NIR}, [0,65025(255 * 255)] \quad (3.5)$$

[RED (Band3), SWIR1(Band 5), NIR (Band 4)], που αντιστοιχούν στα κανάλια του Landsat.

Η επιφάνεια που δημιουργείται περιέχει την μέγιστη τιμή 300,65. Όσο πιο μικρή είναι η τιμή του υπέρυθρου καναλιού (band4) τόσο πιο μεγάλη είναι η τιμή του NBI. Μεγάλες τιμές του NBI υποδεικνύουν αστικές περιοχές, περιοχές γυμνού εδάφους, περιοχές έντονης επίγειας διεργασίας ή περιοχές χωρίς βλάστηση (Mirza et al., 2012).

Ο NBI δείκτης όπως και ο δείκτης NDBI χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση της ταξινόμησης για τις αστικές περιοχές.

NBAI (Normalized Built-up Area Index)

(Κανονικός Δείκτης Αστικής Περιοχής)

$$NBAI = \frac{\frac{SWIR2 - SWIR1}{GREEN}}{\frac{SWIR2 + SWIR1}{GREEN}}, 0 \leq NBAI \leq 1 \quad (3.6)$$

[SWIR2 (Band7), SWIR1(Band 5), GREEN (Band 2)], που αντιστοιχούν στα κανάλια του Landsat.

BRBA (Band Ratio Built-up Area)

(Λόγος Καναλιών Αστικής Περιοχής)

$$BRBA = \frac{RED}{SWIR1}, 0 \leq BRBA \leq 255 \quad (3.7)$$

[RED (Band3), SWIR1(Band 5)], που αντιστοιχούν στα κανάλια του Landsat.

Μετά την δημιουργία του NDVI αναπτύχθηκαν πολλοί δείκτες με σκοπό την εξαγωγή χρήσεων γης από δεδομένα τηλεπισκόπησης. Η δημιουργία των δεικτών NDBI, NBI, NBAI και BRBA έχει στόχο την αναγνώριση και την διάκριση της ακτινοβολίας μέσω πολυφασματικών δεδομένων, για την αποτελεσματικότερη ταξινόμηση των τάξεων που αφορούν κυρίως το έδαφος, την αστική ανάπτυξη, τις βραχώδεις περιοχές και την ακτογραμμή (Mirza et al., 2012).

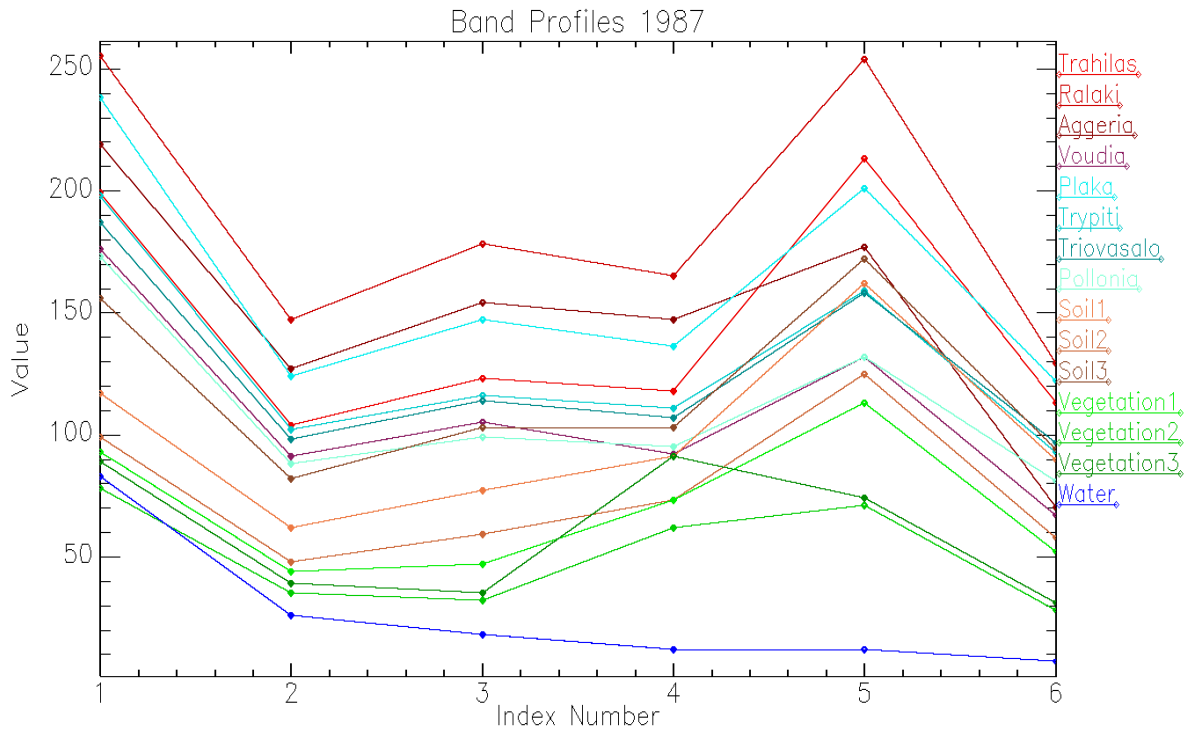
Όλοι οι δείκτες που δημιουργήθηκαν καθώς και όλα τα κανάλια συμπεριλήφθηκαν για την δημιουργία των ταξινομήσεων.

Στο τελευταίο κομμάτι της προεπεξεργασίας οι εικόνες που δημιουργήθηκαν από τους δείκτες για κάθε ημερομηνία μαζί με τα κανάλια συγκεντρώθηκαν έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν για την κύρια διαδικασία. Η κύρια διαδικασία συμπεριλαμβάνει τις διαφορετικές ταξινομήσεις που

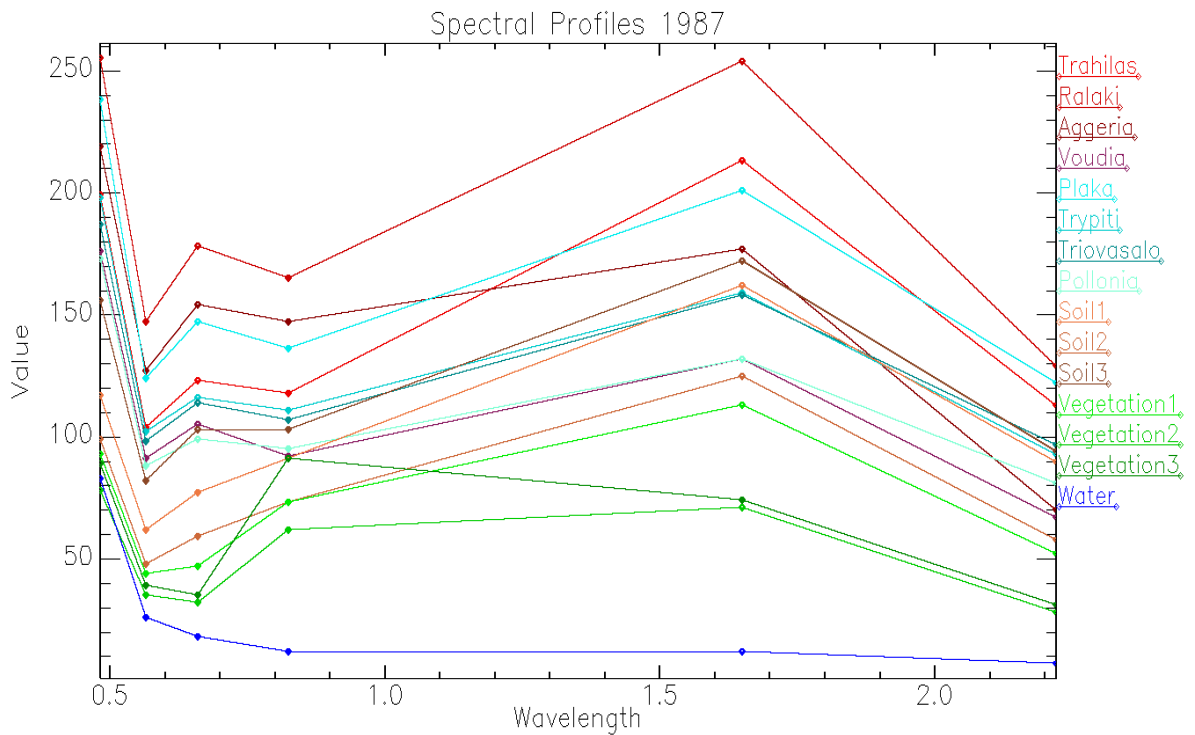
δοκιμάστηκαν και την μελέτη αλλαγών χρήσεων γης. Για την καλύτερη διευκόλυνση συλλέχθηκαν όλα τα επίπεδα δεδομένων που δημιουργήθηκαν ώστε να επεξεργαστούν κατά ημερομηνία (1987, 2003, 2010). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ενοποίηση επιπέδων «layer stacking» και αφορά την τοποθέτηση των επιπέδων δεδομένων που δημιουργήθηκαν κατά επιλογή. Σε κάθε ημερομηνία αντιστοιχούν 15 επίπεδα δεδομένων (6 κανάλια και 9 ραδιομετρικοί δείκτες) και τα 4 επίπεδα δεδομένων που δημιουργήθηκαν κατά την διαδικασία διαμερισμού των εικόνων. Λόγω του πλήθους των επιπέδων που συλλέχθηκαν θεωρήθηκε αναγκαίο να γίνει η ενοποίηση των επιπέδων των δεδομένων κατά ημερομηνία και με αυτό τον τρόπο έγινε πιο εύκολη η κυρίως διαδικασία, δηλαδή οι ταξινομήσεις των εικόνων.

3.2.2 Ανάλυση Φασματικών Υπογραφών

Για την περαιτέρω ανάλυση και σύγκριση όλων των θεματικών κατηγοριών χρήσεων γης που ταξινομήθηκαν, κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα των μέσων τιμών φωτεινότητας των καναλιών και των φασματικών υπογραφών «spectral signatures» (Διαγράμματα 3.1, 3.2 και Παράρτημα Διαγράμματα 1 έως 4) και ταξινομήθηκαν βασικές υποπεριοχές της Μήλου που αφορούν κύρια σημεία εξόρυξης. Τα διαγράμματα αφορούν τέσσερις περιοχές λατομείων (Τράχηλας, Ραλάκι-Χάλακας, Αγγελιά, Βούδια), τέσσερις αστικές περιοχές (Πλάκα, Τρυπητή, Τριοβάσαλος, Πολλώνια), τρία σημεία εδάφους «Soil», τρία σημεία βλάστησης («Low Vegetation/Crops» και «Vegetation» και ένα σημείο νερό «Water». Τα σημεία αυτά επιλέχθηκαν μέσα από τα «training points» και αφορούν τα δεδομένα εκπαίδευσης για τις αντίστοιχες περιοχές. Για κάθε ημερομηνία τα διαγράμματα μέσων τιμών φωτεινότητας και φασματικών υπογραφών υποδεικνύουν τις σχέσεις τιμών των βασικότερων κατηγοριών της ταξινόμησης «SVM» και τις ομοιότητες των προηγουμένως συγκριθέντων τάξεων. Για τις αστικές περιοχές και τις περιοχές εξόρυξης επιλέχθηκαν από τέσσερα σημαντικά και εμφανή χωριά της Μήλου και από τέσσερα μεγάλα και καθοριστικά λατομεία αντίστοιχα. Σε όλα τα κανάλια οι τιμές που αφορούν κυρίως τις αστικές περιοχές και τις περιοχές εξόρυξης και δευτερευόντως το έδαφος, φέρουν το ίδιο μοτίβο και είναι δύσκολο να διαχωριστούν και να απομονωθούν οι καμπύλες που σχηματίζονται στα διαγράμματα. Αντιθέτως το ένα από τα τρία σημεία εδάφους, η βλάστηση και το νερό διακρίνονται και είναι πιο εύκολο κατηγοριοποιηθούν.



Διάγραμμα 3.1. Τιμές φωτεινότητας 1987



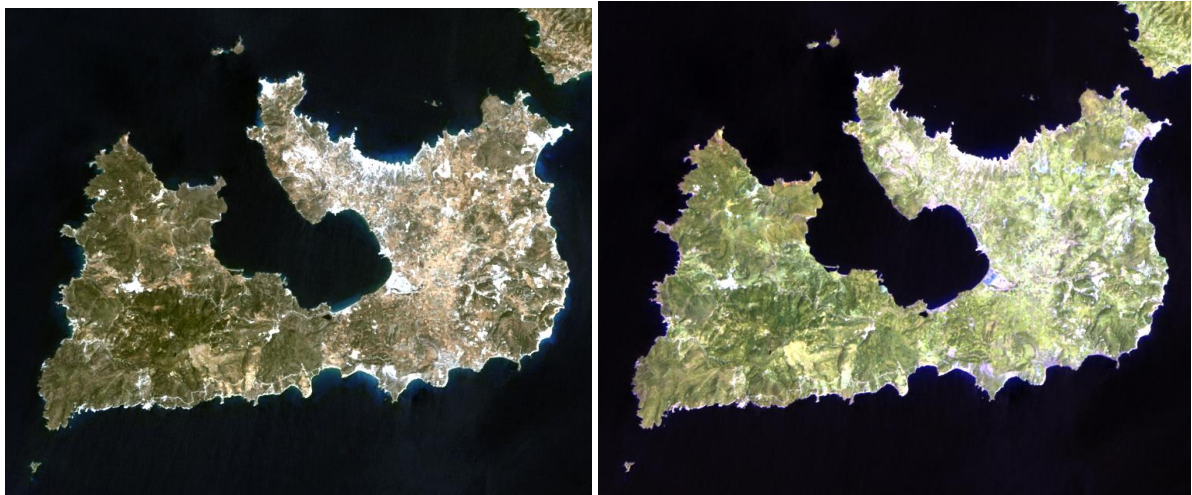
Διάγραμμα 3.2. Φασματικές υπογραφές 1987

3.3 Κύρια Διαδικασία

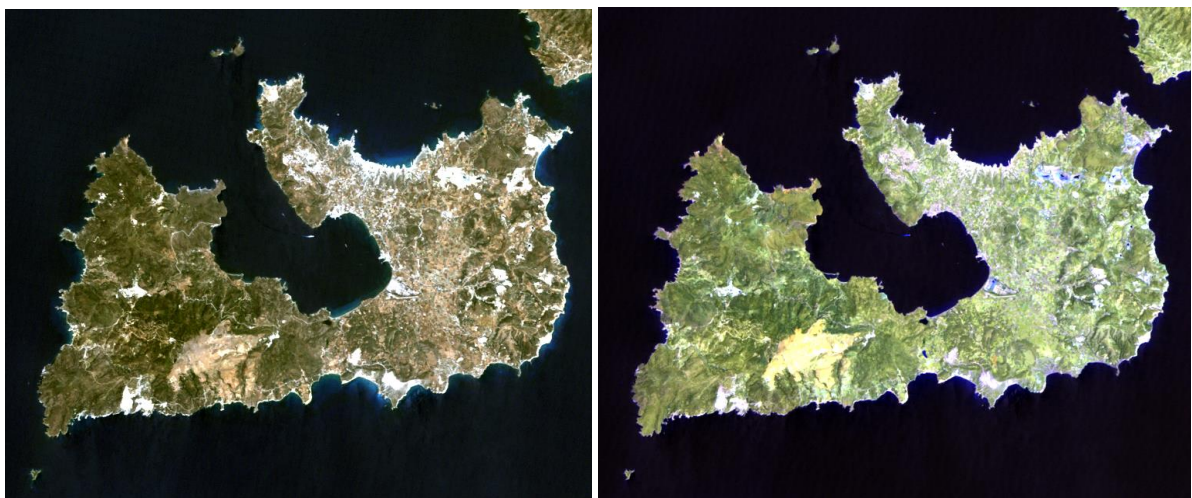
3.3.1 Σημεία Εκπαίδευσης

Αρχικά για την δημιουργία των ταξινομήσεων επιλέχθηκαν τα σημεία εκπαίδευσης (training points) για κάθε ημερομηνία με στόχο τον διαχωρισμό των τάξεων «Water», «Mining», «Rocks/Sands», «Soil», «Urban», «Low Vegetation/ Crops», «Vegetation». Κάθε σημείο αντιστοιχεί στην τιμή του εικονοστοιχείου (pixel) της κάθε εικόνας των ημερομηνιών. Η αναγνώριση των περιοχών έγινε κυρίως με την «True Color» απεικόνιση των Landsat TM όλης της Μήλου, του NDVI και την ταυτόχρονη σύγκριση των τιμών όλων των υπολοίπων εικόνων και των συνδυασμό αυτών σε «False Color» απεικονίσεις (Sarma and Kushwaha, 2005).

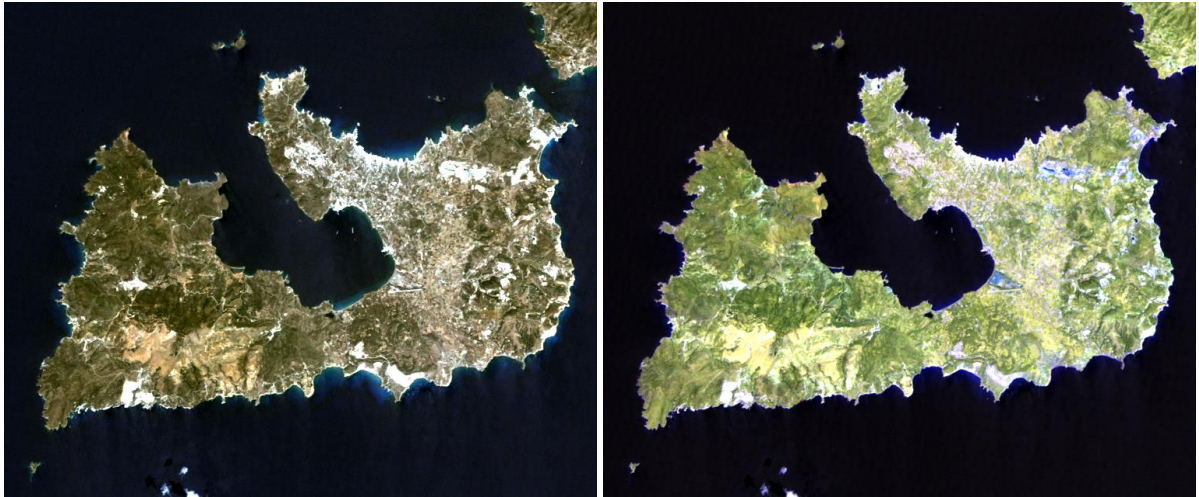
Στα αριστερά είναι οι «True Color» απεικονίσεις των ημερομηνιών 1987, 2003 και 2010 αντίστοιχα και στα δεξιά είναι μία από τις «False Color» που χρησιμοποιήθηκαν, με συνδυασμό καναλιών Band7, Band5, Band2.



Εικόνες 3.3 και 3.4. Η «True Color» απεικόνιση (συνδυασμός καναλιών: band1, band2, band3) και η «False Color» (band2, band5, band7) αντίστοιχα, την ημερομηνία 1987.



Εικόνες 3.5 και 3.6. Η «True Color» απεικόνιση (συνδυασμός καναλιών: band1, band2, band3) και η «False Color» (band2, band5, band7) αντίστοιχα, την ημερομηνία 2003.



Εικόνες 3.7 και 3.8. Η «True Color» απεικόνιση (συνδυασμός καναλιών: band1, band2, band3) και η «False Color» (band2, band5, band7) αντίστοιχα, την ημερομηνία 2010.

Για τις τάξεις «Water», «Mining», «Soil», «Vegetation/Crops» επιλέχθηκαν περίπου 200 σημεία εκπαίδευσης και για τις τάξεις «Rocks/Sand», «Urban», «Vegetation» περίπου 100 σημεία. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό ENVI 4.7 υπολογίστηκαν οι δείκτες διαχωρισμού των σημείων εκπαίδευσης για κάθε ημερομηνία. Το ENVI (ENVI User's Guide) προσφέρει την δυνατότητα να υπολογιστούν οι δείκτες διαχωρισμού (separability indices) «Jeffries–Matusita» και «Transformed Divergence». Λαμβάνοντας υπόψη τα σημεία επιλογής και όλες τις εικόνες εκτός από τις 3 εικόνες «Tasseled Cap», ξεχωριστά για κάθε ημερομηνία, υπολογίστηκε στατιστικά ο διαχωρισμός των φασματικών τιμών και των υπολογισθέντων τιμών των δεικτών (NDVI, Fr, NDBI, NBI, NBAI, BRBA). Ως αποτέλεσμα παράγονται δύο τιμές για κάθε ζεύγος των τάξεων που έχουν καθοριστεί από τα σημεία ενδιαφέροντος (region of interest). Οι τιμές κυμαίνονται από το 0 έως το 2 και αυξανόμενα δείχνουν το πόσο καλά έχουν διαχωριστεί και επιλεγθεί τα σημεία. Τιμές πάνω από το 1,9 δείχνουν πολύ μεγάλο διαχωρισμό μεταξύ των ζευγαριών των τάξεων. Στην παρούσα εργασία χαμηλότερες τιμές παρουσιάζει το ζεύγος «Mining – Urban» και για τις τρεις ημερομηνίες : 1987 -> 1,79, 2003 -> 1,9 και 2010 -> 1,81. Για όλα τα υπόλοιπα ζεύγη οι τιμές ξεπερνούν το 1,9 (βλ. Παράρτημα, Ζεύγη Σύγκρισης Διαχωρισμού - «Jeffries–Matusita», «Transformed Divergence»).

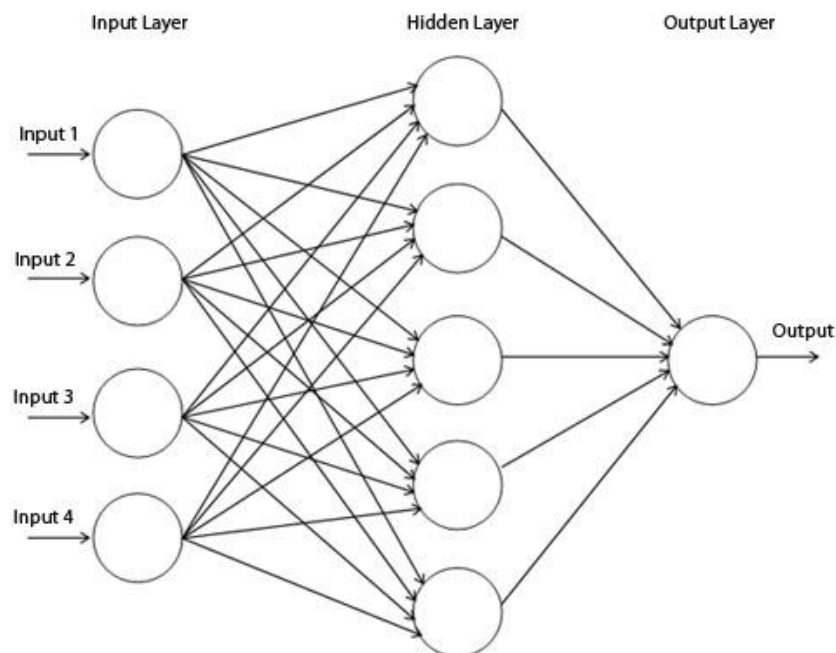
3.3.2 Ταξινομήσεις

Για τις ταξινομήσεις των εικόνων κάθε ημερομηνίας, εφαρμόστηκαν οι τεχνικές ταξινόμησης Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο «ANN (Artificial Neural Network)» και Μηχανή Υποστήριξης Διανυσμάτων «SVM (Support Vector Machine)». Δημιουργήθηκαν τρεις εικόνες ταξινόμησης για κάθε τεχνική που χρησιμοποιήθηκε και αφορούν την κάθε ημερομηνία (1987, 2003, 2010). Ο σκοπός της εφαρμογής των δύο τεχνικών είναι να

συγκριθούν οι διαδικασίες λειτουργίας και η αποτελεσματικότητα ταξινόμησης στις θεματικές τάξεις που μας απασχολούν. (Xiong et al., 2010; Candade and Dixon, 2004; Kalidas et al., 2010).

3.3.2.1 Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο - ANN (Artificial Neural Network)

Το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι μια παράλληλα κατανεμημένη επεξεργασία η οποία έχει την φυσική τάση να ταξινομεί πειραματική γνώση. Η ταξινόμηση σε εικόνες χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα γίνεται με την εξαγωγή γραφικών στοιχείων (texture features) και την εφαρμογή του αλγορίθμου αντίστροφης διάδοσης (back-propagation). Το τυπικό δίκτυο αντίστροφης διάδοσης έχει ένα επίπεδο εισόδου (input layer), ένα επίπεδο εξόδου (output layer) και το λιγότερο ένα «κρυφό» επίπεδο (hidden layer). Θεωρητικά δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των «κρυφών» επιπέδων αλλά τυπικά χρησιμοποιούνται ένα ή δύο. Κάθε επίπεδο είναι πλήρως συνδεδεμένο με το ακόλουθο επίπεδο. Στο ENVI χρησιμοποιείται η τεχνική νευρωνικού δικτύου τυπικής αντίστροφης διάδοσης με επιβλεπόμενη εκπαίδευση (supervised learning). Η εκπαίδευση επιτυγχάνεται με το να καθοριστούν τα βάρη (weights) δηλαδή την επιλογή των σημείων (region of interest), ώστε να μειωθεί η διαφορά μεταξύ της ενεργοποίησης των σημείων εξόδου (output node activation) και των επιθυμητών σημείων εξόδου (desired output) δηλαδή του επιθυμητού αποτελέσματος. Το σφάλμα (error) διαδίδεται αντιστρόφως (back propagated) μέσω του δικτύου και ο καθορισμός του βάρους δημιουργείται από μια επαναλαμβανόμενη μέθοδο. (Rumelhart and Mc Clelland, 1987; Richards, 1999).



Διάγραμμα 3.3. Πολυεπίπεδος Perceptron (Εικόνες Google)

$$\Delta W_{ij} = \eta \delta_j O_i \quad (3.8)$$

Αν το j είναι συντελεστής εξόδου, τότε

$$\delta_j = f'_j(\text{net}_j) (t_j - O_j) \quad (3.9)$$

Αν το j είναι κρυφός συντελεστής, τότε

$$\delta_j = f'_j(\text{net}_j) \sum_k \delta_k W_{jk} \quad (3.10)$$

όπου:

η -> παράμετρος εκμάθησης που καθορίζει το βήμα μείωσης της κλίσης

$d_j = t_j - O_j$ -> η διαφορά μεταξύ της τιμής εκμάθησης t_j και του αποτελέσματος O_j ενός συντελεστή εξόδου ο οποίος αναπαράγεται οπισθοδρομικά.

$f'_j(\text{net}_j)$ -> υποδεικνύει την συνάρτηση η οποία σε αυτή την περίπτωση θα καθοριστεί από το δ .

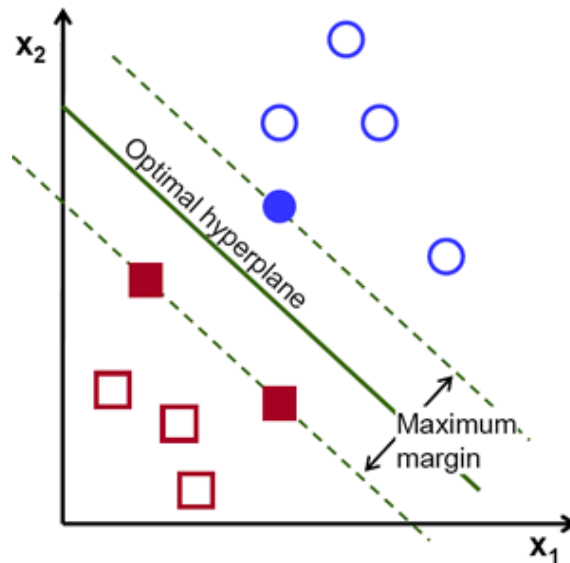
Αυτός ο αλγόριθμος ενημερώνει τα «βάρη» «weights» σε κάθε περίπτωση εκπαίδευσης. Μια μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων μειώνεται με ένα βήμα «step» εμπρόσθιας τροφοδότησης που ακολουθείται από το βήμα σφάλματος «error» αντίστροφης τροφοδότησης, κατά την διάρκεια του οποίου το αποτέλεσμα και τα βάρη των ενδιάμεσων επιπέδων «layers» είναι προσαρμοσμένα να μειώνουν το μέγεθος του σφάλματος. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται με έναν επαναληπτικό τρόπο για κάθε παρατήρηση στο σύνολο των δεδομένων που έχουν ορισθεί, μέχρι να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός μείωσης του σφάλματος ή του σημείου σύγκλισης.

Οι προκαθορισμένοι παράμετροι ορίστηκαν για την ταξινόμηση και χρησιμοποιήθηκαν 15 κανάλια (6 βασικά κανάλια και 9 ραδιομετρικοί δείκτες που δημιουργήθηκαν). Οι παράμετροι αυτοί είναι οι προκαθορισμένοι του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των εικόνων με ANN. (ENVI 4.7) Για την ενεργοποίηση του ταξινομητή επιλέχθηκε η λογιστική «logistic» μέθοδος. Ορίστηκε η συμμετοχή του κατωφλίου εκπαίδευσης «Training Threshold Contribution» με την τιμή 0,9. Η τιμές που δέχεται κυμαίνονται από το 0 έως το 1 και καθορίζουν το μέγεθος της συμμετοχής του εσωτερικού βάρους «weight». Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης προσαρμόζει τα βάρη ανάμεσα στους κόμβους εσωτερικά του νευρωνικού δικτύου και επιλεκτικά στους κόμβους των κατωφλίων για να μειώσει το σφάλμα ανάμεσα στο επίπεδο αποτελέσματος «output layer» και της επιθυμητής ανταπόκρισης. Μηδενικές τιμές κατωφλίου δεν θα προσαρμοστούν εσωτερικά βάρη στους κόμβους. Στην επιλογή του ρυθμού εκπαίδευσης «Training Rate» ορίστηκε η τιμή 0,2. Μεγάλες τιμές επιταχύνουν τον ρυθμό και επίσης θα αυξήσουν την πιθανότητα για μεγάλη διακύμανση και μη σύγκλιση των αποτελεσμάτων. Η τιμή ήταν η προεπιλεγμένη τιμή που όριζε το λογισμικό επεξεργασίας και θεωρήθηκε ικανοποιητική για να ορισθεί ένας κανονικός ρυθμός εκπαίδευσης, ώστε να μην υπάρχει ούτε μεγάλη διακύμανση των αποτελεσμάτων ούτε να παρατηρείται μεγάλη σύγκλιση. Οι τιμές κυμαίνονται από το 0 έως το 1. Το βήμα εκπαίδευσης «Training Momentum» ως 0,9. Οι τιμές κυμαίνονται επίσης από το 0 έως το 1 και όσο μεγαλύτερη η τιμή από το μηδέν, τόσο μεγαλύτερο το βήμα επιτρέποντας τον ρυθμό εκπαίδευσης χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Με την τιμή του σφάλματος «RMS» ορίζεται τότε θα σταματήσει η

διαδικασία εκπαίδευσης, ορίζοντας την τιμή 0,1 στην επιλογή κριτηρίων εξόδου του σφάλματος εκπαίδευσης «Training RMS Exit Criteria». Στον αριθμό των κρυφών επιπέδων «Hidden Layers» του νευρωνικού δικτύου επιλέχθηκε ένα επίπεδο και έτσι θα πραγματοποιηθεί μη γραμμική ταξινόμηση. Τέλος ορίστηκαν οι επαναλήψεις που θα γίνουν στην διαδικασία με την τιμή 1000. Όλες οι ανώτερες τιμές που αναφέρθηκαν ήταν οι προεπιλεγμένοι παράμετροι που όριζε το λογισμικό και θεωρήθηκαν ικανοποιητικές για την έκβαση της διαδικασίας ταξινόμησης.

3.3.2.2 Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης – SVM (*Support Vector Machines*)

Οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης είναι ένα σύστημα ταξινόμησης που προέρχεται από στατιστική θεωρία εκπαίδευσης. Διαχωρίζει τις τάξεις σε μία επιφάνεια αποφάσεων που μεγιστοποιεί το όριο μεταξύ των τάξεων, Η επιφάνεια αυτή συχνά αποκαλείται ως η «ιδανικό υπερεπίπεδο» (optimal hyper plane) και τα δεδομένα που τείνουν πιο κοντά στο «υπερεπίπεδο» αποκαλούνται διανύσματα υποστήριξης (support vectors). Τα διανύσματα αυτά είναι βασικά στοιχεία στο κομμάτι της εκπαίδευσης. Η εφαρμογή της τεχνικής μηχανής διανυσμάτων υποστήριξης στο ENVI χρησιμοποιεί την ταξινόμηση ανά ζεύγη για τον διαχωρισμό πολλών τάξεων (multiclass). Το αποτέλεσμα ταξινόμησης σε ένα SVM είναι οι τιμές απόφασης του κάθε pixel σε κάθε τάξη, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τις εκτιμήσεις πιθανότητας (probability estimates). Στο ENVI η ταξινόμηση πραγματοποιείται επιλέγοντας την υψηλότερη πιθανότητα. Υπάρχει μια προαιρετική επιλογή για την τιμή κατωφλίου (threshold) που επιτρέπει την κατάταξη των pixel ως αταξινόμητα, που έχουν όλες τις τιμές πιθανότητας που είναι μικρότερες από την τιμή κατωφλίου. Το SVM εμπεριέχει μια παράμετρο σφάλματος (penalty parameter) που επιτρέπει ορισμένο βαθμό λανθασμένης ταξινόμησης, που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για μη διαχωρίσιμα σημεία εκπαίδευσης. Η παράμετρος σφάλματος ελέγχει τον διαμοιρασμό (trade-off) μεταξύ επιτρεπτών λαθών εκπαίδευσης (training errors) και δύσκολα ακαθόριστων ορίων (rigid margins).



Διάγραμμα 3.4. Μηχανή Διανυσμάτων Υποστήριξης με το ανώτερο επίπεδο να μεγιστοποιεί το όριο διαχωρισμού μεταξύ των δύο τάξεων. Τα διανύσματα υποστήριξης είναι στοιχεία της διαδικασίας εκπαίδευσης τα οποία εξαπλώνονται στο όριο των ανώτερων επιπέδων «hyper planes» των δύο τάξεων. (Issam et. al., 2002).

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι προκαθορισμένοι παράμετροι του λογισμικού. Σαν προεπιλογή επιλέχθηκε η πολυωνυμική μορφή του «radial basis function (RBF)».

$$\text{RBF τύπος kernel: } k(x,y) = \exp(-\gamma |u-v|^2), \gamma > 0 \quad (3.11)$$

όπου:

x, y, u, v -> τιμές εκπαίδευσης

γ -> αντιστρόφως ο αριθμός των καναλιών που έχουν οριστεί, παράμετρος που καθορίζεται από τον χρήστη.

Οι προκαθορισμένοι παράμετροι ορίστηκαν για την ταξινόμηση και χρησιμοποιήθηκαν 15 κανάλια (6 βασικά κανάλια και 9 ραδιομετρικοί δείκτες που δημιουργήθηκαν). Για τον τύπο «kernel» επιλέχθηκε η «RBF (Radial Basis Function)» και παράλληλα η παράμετρος του « γ » «Gamma in Kernel Function», με τιμή 0,053. Η παράμετρος λάθους «Penalty Parameter» καθορίζει το κόστος λάθους ταξινομημένων σημείων και η προκαθορισμένη επιλογή είναι το 100. Δεν ορίστηκε κανένα επίπεδο πυραμίδας «Pyramid Levels»(τιμή 0). Τέλος ορίστηκε το κατώφλι πιθανότητας ταξινόμησης «Classification Probability Threshold» στην τιμή 0,00. Όλες οι ανώτερες τιμές που αναφέρθηκαν ήταν οι προεπιλεγμένοι παράμετροι που όριζε το λογισμικό και θεωρήθηκαν ικανοποιητικές για την έκβαση της διαδικασίας ταξινόμησης.

Παρόλο που ο ένας τύπος ταξινόμησης έφερε καλύτερα αποτελέσματα από τον άλλο, το οπτικό αποτέλεσμα των χαρτών έφερε λάθη ταξινόμησης. Τρεις βασικοί παράγοντες οδήγησαν στην περεταίρω ανάλυση των αποτελεσμάτων, την μεμονωμένη ταξινόμηση των πιο σημαντικών περιοχών και την σύγκριση των τάξεων που δημιουργήθηκαν. Η μέτρια ανάλυση των δεδομένων

(mid resolution Landsat TM 30m), η μεγάλη κλίμακα της περιοχής (όλο η νήσος Μήλος) και η πολύ μεγάλη ομοιότητα των δεδομένων που φέρουν συγκεκριμένες θεματικές τάξεις, όπως οι περιοχές εξόρυξης «Mining», οι αστικές περιοχές «Urban», η βραχώδης ακτογραμμή και οι αμμώδεις αποθέσεις «Rocks/Sands» και το γυμνό έδαφος «Soil».

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας «pre processing» δημιουργήθηκαν επίπεδα δεικτών «band indices» που εξυπηρετούν τον καλύτερο διαχωρισμό των δεδομένων που αφορούν τις περιοχές εξορύξεων, τις αστικές περιοχές και τους διάφορους τύπους εδαφών. Τα φασματικά κανάλια, ο δείκτης NDVI, ο δείκτης «Fractional vegetation cover», τα τρία «Tasseled Cap» επίπεδα και οι τέσσερις δείκτες NDBI, NBI, NBAI, BRBA χρησιμοποιήθηκαν για τους δύο τύπους πολυεπίπεδων ταξινομήσεων «multi-layer classification». Τα αποτελέσματα έφεραν λάθη στις ταξινομήσεις των συγκεκριμένων θεματικών τάξεων λόγω τον πολύ κοντινών τιμών «values» που είχαν σε όλα τα επίπεδα που χρησιμοποιήθηκαν. Η χρήση των δεικτών εξυπνέτησε σε ένα καλύτερο αποτέλεσμα στατιστικά αλλά όχι οπτικά. Για την καλύτερη ανάλυση και σύγκριση των τιμών και του μήκους κύματος που αντιπροσωπεύουν, παρατηρήθηκαν οι φασματικές υπογραφές τεσσάρων μεγάλων βασικών περιοχών εξόρυξης (Τράχηλας, Ραλάκι-Χάλακα, Αγγελιά, Βούδια), τεσσάρων αστικών περιοχών (Πλάκα, Τρυπητή, Τριοβάσαλος, Πολλώνια), τριών περιοχών με γυμνό έδαφος, τριών περιοχών βλάστησης και από μια περιοχή με νερό. Δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικής αναπαράστασης διαγράμματα που αφορούν την κάθε ημερομηνία (1987, 2003, 2010). Το ένα διάγραμμα απεικονίζει τιμές φωτεινότητας των έξι πρώτων φασματικών καναλιών (BLUE, GEEN, RED, NIR, SWIR1, SWIR2) και το δεύτερο τις τιμές φωτεινότητας συναρτήσει του μήκους κύματος.

Στις περιοχές εξόρυξης «Mining» και σε κάποια σημεία του εδάφους «Soil» που δημιουργήθηκαν στους ταξινομημένους χάρτες, είχαν ταξινομηθεί pixels που ανήκουν σε άλλες θεματικές τάξεις όπως οι αστικές περιοχές «Urban». Για την πιο αποτελεσματική ταξινόμηση και απεικόνιση των περιοχών εξόρυξης και του γειτονικού περιβάλλοντος (τάξεις που αφορούν έδαφος «Soil» και βλάστηση «Vegetation/Crops») δημιουργήθηκαν υποσύνολα περιοχών «subsets» για τα πιο σημαντικά και πιο εμφανή σημεία εξόρυξης του νησιού. Τα λατομεία και οι περιοχές εξόρυξης συμπεριλήφθηκαν κυρίως για το μέγεθος τους, την σημαντικότητα του προϊόντος που εξορύσσεται και την παρατήρηση της αποκατάστασης που υπέστησαν. Οι περιοχές είναι: Τράχηλας (Περλίτης), Ραλάκι - Χάλακα (Καολίνης), Αγγελιά και ανατολικά Αγία Ελένη (Μπετονίτης, Πυριτικό υλικό, Βαρύτης), Βούδια (Μπετονίτης, Βαρύτης), Ξυλοκερατιά (Ποζολάνη), στη Νότια και κεντρική Μήλο Τσιγκράδο (Περλίτης), Δυτικά του Τσιγκράδου (Περλίτης, Πυριτικό υλικό), Δεμεναγάκι (Καολίνης, Περλίτης, Πυριτικό υλικό). Στη συνέχεια επιλέχθηκαν σημεία εκπαίδευσης «training points» για τις θεματικές τάξεις «Mining», «Vegetation», «Water» (όπου υπάρχει) και «Soil» για κάθε υποπεριοχή δημιουργήθηκε και για κάθε ημερομηνία. Ακολούθως εφαρμόστηκε ταξινόμηση μηχανής

διανυσμάτων υποστήριξης «SVM» με τύπο kernel «RBF» και με τις προκαθορισμένες παραμέτρους, χρησιμοποιώντας όλα τα φασματικά κανάλια και τις εικόνες που είχαν δημιουργηθεί προηγουμένως, για να δημιουργηθούν οι θεματικοί χάρτες των υποπεριοχών σε όλες τις ημερομηνίες (1987, 2003, 2010). Με τον τρόπο αυτό κατάφεραν να συγκριθούν και να μελετηθούν πιο αποτελεσματικά οι πιο σημαντικές περιοχές εξόρυξης της νήσου Μήλος και να παρατηρηθούν μεμονωμένα οι θεματικές τάξεις που αφορούν τον περιβάλλοντα χώρο.

Ο τύπος ταξινόμησης που έφερε τα καλύτερα αποτελέσματα σύμφωνα με την αναφορά επαλήθευσης των σημείων επιλέχθηκε για τον συνδυασμένο τρόπο δύο ταξινομήσεων που ονομάζεται «hybrid classification». Ο δεύτερος τρόπος ταξινόμησης εφαρμόστηκε πάνω στους ταξινομημένους θεματικούς χάρτες κάθε ημερομηνίας, που παρήχθησαν στην διαδικασία της ταξινόμησης όλης της νήσου και χρησιμοποιήθηκαν μεμονωμένα δύο τεχνικές ταξινόμησης. Η πρώτη τεχνική είναι ο κατακερματισμός «segmentation» της εικόνας δημιουργώντας διαμερίσματα «segments» που φέρουν τιμές σύμφωνα με τα κατώφλια «thresholds» που έχουμε ορίσει. Αυτή η τεχνική ταξινόμησης λαμβάνει μέρος στην διαδικασία του κατακερματισμού της εικόνας (κανάλι) και διαμερισμού του χώρου σε ομοιογενείς και αντιπροσωπευτικές περιοχές. Η δεύτερη τεχνική έγινε μέσω δέντρων αποφάσεων «decision trees» και είναι «rule based» ταξινομήσεις δημιουργώντας «κανόνες» που ορίζονται από τις τιμές που έχουμε συμπεριλάβει. Στην παρούσα μελέτη εφαρμόστηκαν τρία «decision trees» με τις ίδιες αποφάσεις για κάθε ημερομηνία.

3.3.3 Διαμερισμός «Segmentation»

Η επεξεργασία του κατακερματισμού «segmentation» της εικόνας περιλαμβάνει υποδιαίρεση ή διαμερισμό της εικόνας σε ομοιογενείς και ευδιάκριτες περιοχές διαφορετικά στατιστικά χαρακτηριστικά που ονομάζονται διαμερίσματα-τεμάχια-υποπεριοχές «segments». Αυτές οι περιοχές αποτελούνται από ομάδες πολυφασματικών ή υπερφασματικών εικονοστοιχείων «pixels» που φέρουν παρόμοιες τιμές ή χαρακτηριστικά δεδομένων. Τα τεμάχια της εικόνας που διαχωρίστηκαν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αργότερα και να συνδυαστούν με άλλα επίπεδα πληροφοριών ή τα πρωταρχικά φασματικά κανάλια και παράγεται για κάθε περιοχή ένα γενικό επίπεδο. Με την σωστή χρήση μπορούν να δημιουργηθούν τύποι κάλυψης γης ή κατηγορίες χρήσεων γης και να χρησιμοποιηθούν σε μετέπειτα ταξινόμηση.

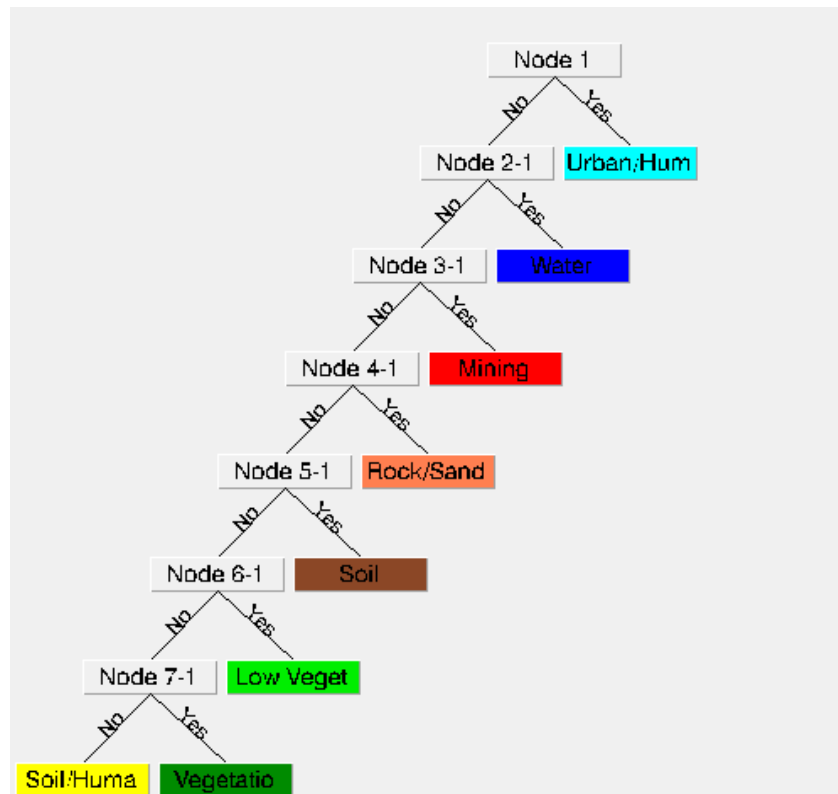
Ο κατακερματισμός των εικόνων έγινε στο λογισμικό πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων ENVI 4.7 (ITT Visual Information Solutions) και δημιουργήθηκαν τέσσερα επίπεδα πληροφοριών για κάθε ημερομηνία χρησιμοποιώντας τον δείκτη NDVI. Το κάθε επίπεδο εμπεριέχει τιμές του NDVI που ορίστηκαν από το κατώτερο και το ανώτερο κατώφλι «Minimum Threshold Value, Maximum Threshold Value» και χωρίστηκαν σε τέσσερις διακυμάνσεις. Οι τιμές κυμαίνονται ως εξής : 1. από

-0,1 εως -0,05, 2. από -0,05 εως 0, 3. από 0 εως 0,05 και 4. από 0,05 εως 0,1. Ως ελάχιστος αριθμός εικονοστοιχείων σε κάθε περιοχή «Population Minimum» ορίστηκε το 20 και ως αριθμό γειτονικών εικονοστοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την σύνθεση των ομάδων ορίστηκε το 8. Η επιλογή του συγκεκριμένου εύρους τιμών του NDVI, έγινε για να οριοθετηθεί και να διαχωριστεί η κατηγορία χρήσεως γης αστικών περιοχών «Urban». Όπως φάνηκε από τις ταξινομήσεις των εικόνων (SVM) η συγκεκριμένη θεματική τάξη εμφανίζεται λανθασμένα στις υπόλοιπες θεματικές τάξεις όπου το αστικό τοπίο φέρει παρόμοιες τιμές, δηλαδή τις περιοχές εξόρυξης «Mining», την ακτογραμμή «Rocks/Sand» και το γυμνό έδαφος. Τα επίπεδα ομαδοποιημένων τιμών των αστικών περιοχών χρησιμοποιήθηκαν αργότερα για την δημιουργία των «decision trees» και τον καθορισμό των τελικών θεματικών τάξεων.

3.4 Υβριδική Ταξινόμηση «Hybrid Classification

3.4.1 Δέντρο Αποφάσεων «Decision Tree»

Η ταξινόμηση της μηχανής διανυσμάτων υποστήριξης (SVM) παρήγαγε συγκριτικά καλύτερα αποτελέσματα και επιλέχθηκε για την συνδυαστική ταξινόμηση με την τεχνική δένδρων αποφάσεων. Η συνδυαστική χρήση δύο τεχνικών ταξινομήσεων ονομάζεται «hybrid classification» και εξυπηρετεί στην πιο αποτελεσματικά ελεγχόμενη οριοθέτηση των θεματικών τάξεων. Τα «decision trees» δέχονται οποιοδήποτε επίπεδο πληροφοριών που μπορεί να επεξεργαστεί και να «φιλτραριστεί» από κανόνες και αποφάσεις που ο χρήστης καθορίζει με αποτέλεσμα να παραχθεί ένα ταξινομημένο επίπεδο (ταξινομημένη εικόνα). Σε κάθε κόμβο «node» αποφάσεων του δέντρου μπορούν να εισαχθούν οι φασματικές εικόνες των καναλιών «bands», οποιοδήποτε επίπεδο που έχει δημιουργηθεί για την παραγωγή δεικτών (NDVI, NDBI, NBI, NBAI, BRBA, Fr Vegetation, Tasseled Caps) «band indices», αποτελέσματα ταξινομήσεων «classification images», μεμονωμένες περιοχές που έχουν που έχουν διαμεριστεί «segmentations».



Εικόνα 3.9. Δένδρο αποφάσεων «Decision Tree»

Αρχικά στον πρώτο κόμβο «node 1» επιλέχθηκαν οι αστικές περιοχές χρησιμοποιώντας τα τέσσερα επίπεδα κατακερματισμού που δημιουργήθηκαν προηγουμένως. Από αυτά σημειώθηκαν και ορίστηκαν οι τιμές που αφορούν τα κομμάτια των αστικών περιοχών και εισήχθησαν σε λογαριθμική μορφή ώστε να δημιουργηθεί η πρώτη «απόφαση». Για τους υπόλοιπους κόμβους που αφορούν τις θεματικές τάξεις «Water» (Node 2-1) «Mining» (Node 3-1) «Rock/Sand» (Node 4-1) «Soil» (Node 5-1) «Low Vegetation/Crops» (Node 6-1) «Vegetation» (Node 7-1) ορίστηκαν για «αποφάσεις» οι τιμές που αφορούν την εκάστοτε τάξη που είχε δημιουργηθεί στην προηγούμενη ταξινόμηση (SVM). Η τελευταία θεματική τάξη που δημιουργήθηκε στο «decision tree» είναι μια επιπρόσθετη μεταβατική κατηγορία κάλυψης γης «Soil/Human Activity» που αφορά χρήσεις γης που έχουν υποστεί ανθρωπογενή επίδραση. Είναι κυρίως περιοχές με γυμνό έδαφος που βρίσκονται περιμετρικά από τις αστικές περιοχές, των λατομείων και κάθε τύπου ανθρωπογενούς επίδραση (κτήρια και κατασκευές εκτός κατοικημένων περιοχών, χωμάτινοι δρόμοι, σποραδικές επιφανειακές ανασκαφές και χωματερές, περιοχές γύρω από τα λατομεία που έχουν επηρεαστεί από την τοπική δραστηριότητα των διεργασιών). Άμα δεν είχε ορισθεί η τελευταία τάξη, οι τιμές κανονικά θα ταξινομούσαν στις κατηγορίες του εδάφους ή των αστικών περιοχών αλλά σε λάθος σημεία.

Το αποτέλεσμα ήταν τρεις εικόνες ταξινόμησης που αφορούν τις ημερομηνίες 1987, 2003 και 2010 αντίστοιχα. Οι εικόνες αυτές χρησιμοποιήθηκαν για την διαχρονική μελέτη των αλλαγών των χρήσεων γης της νήσου Μήλος.

Για την παρατήρηση των αλλαγών καλύψεων γης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ENVI EX και την ανάλυση αυτών στατιστικά χρησιμοποιήθηκε και το λογισμικό ENVI 4.7. Οι χρονικοί περίοδοι που μελετήθηκαν είναι από το 1987 έως το 2003, από το 2003 έως το 2010 και από το 1987 έως το 2010. Στο ENVI EX έγινε τρεις φορές η διαδικασία θεματικής αλλαγής «Thematic Change» και τοποθετήθηκαν τα αποτελέσματα των «Tree Decision» ταξινομήσεων. Στις τάξεις των νέων θεματικών χαρτών συμπεριλήφθηκαν και οι τάξεις μηδενικών αλλαγών δηλαδή που δεν υπέστησαν καμία αλλαγή στην χρήση γης. Τέλος δεν εφαρμόστηκε κανένα είδος τελικής επεξεργασίας της εικόνας όπως «Smoothing» και «Aggregation» για να μην αλλοιωθούν τα όρια των τάξεων που δημιουργήθηκαν.

3.5 Επαλήθευση Σημείων «Validation Points»

Με την χρήση του Google Earth, την αναδρομή σε ιστορικά δεδομένα και θεματικούς χάρτες επιλέχθηκαν τα σημεία επαλήθευσης των χρήσεων γης για την εκάστοτε ημερομηνία. Οι περιοχές που επαληθεύθηκαν αφορούν σημεία που υπάρχει νερό, σημεία εξόρυξης και λατομεία, βραχώδεις και αμμώδεις περιοχές της ακτογραμμής, έδαφος, αστική ανάπτυξη, χαμηλή βλάστηση και καλλιέργειες και έντονη βλάστηση και δάσος. Για κάθε ημερομηνία συλλέχθηκαν περίπου 10 σημεία για κάθε περιοχή χαμηλότερου ποσοστιαίου ενδιαφέροντος όπως είναι οι βραχώδεις περιοχές και η ακτογραμμή, οι αστικές περιοχές και η έντονη βλάστηση. Για τις περιοχές μεγαλύτερου ενδιαφέροντος όπου επικεντρώνεται και η ανάλυση, συλλέχθηκαν περίπου 25 σημεία για κάθε κατηγορία που αφορά την παρουσία νερού, την εξόρυξη και τα λατομεία, το γυμνό έδαφος, την βλάστηση και τις καλλιέργειες. Πιο συγκεκριμένα οι περιοχές που επιλέχθηκαν τα σημεία αφορούν τις θεματικές τάξεις «Mining», «Soil», «Water», «Rocks/Sands», «Urban», «Low Vegetation/ Crops» και «Vegetation» που δημιουργήθηκαν αργότερα στην διαδικασία της ταξινόμησης. Τέλος η διάκριση για την επιλογή των σημείων έγινε με αναγνώριση των περιοχών στο Google Earth. Συγκρίνοντας με θεματικούς χάρτες των χρονολογιών 1987, 2003, 2010 μπόρεσαν να καθοριστούν και να επαληθευθούν η παρουσία, τα επακριβή όρια και εκτάσεις των περιοχών που μας απασχολούν.



Εικόνα 3.2. «Google earth» εικόνα που λήφθηκαν τα σημεία επαλήθευσης των περιοχών.

Με τα σημεία που είχαν επιλεγεί, επαληθευθεί και σημειωθεί προηγουμένως, ως σημεία επαλήθευσης «validation points», εφαρμόστηκε αναφορά επαλήθευσης και αποτελεσματικότητας των ταξινομήσεων «classification accuracy assessment». Παράχθηκαν στατιστικά στοιχεία για κάθε αποτέλεσμα που αφορά την κάθε ημερομηνία, ώστε να συγκριθούν οι δύο τύποι ταξινόμησης. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, χρησιμοποιήθηκαν 10 – 20 σημεία επαλήθευσης για κάθε τάξη και για κάθε ημερομηνία. Το βασικότερο στατιστικό στοιχείο σύγκρισης που υπολογίστηκε είναι η ολική αποτελεσματικότητα «ευστοχία» «overall accuracy» του κάθε χάρτη και αφορά το ποσοστό των pixels που ταξινομήθηκαν σωστά. Μαζί υπολογίστηκαν ο συντελεστής συσχέτισης «kappa coefficient», η παραγόμενη «ακρίβεια» «producer's accuracy (PA)» και η «ευστοχία» του χρήστη «user's accuracy(UA)». Το αποτέλεσμα της παραγόμενης «ακρίβειας» εκφράζει το ποσοστό και τον λόγο των pixels που ταξινομήθηκαν σωστά όπως επιλέχθηκαν και αντιπροσωπεύει την κάθε τάξη. Η «ευστοχία του χρήστη εκφράζει το ποσοστό και τον λόγο των pixels κάθε τάξης που δεν ταξινομήθηκαν στην τάξη που αναφέρονται. Έγινε ανάλυση, παρατηρήθηκαν οι διαφορές και συγκρίθηκαν οι αναφορές «ευστοχίας» των ταξινομήσεων «Accuracy Assessment» για την επιλογή του πιο κατάλληλου τύπου ταξινόμησης.

Κεφάλαιο 4 – Αποτελέσματα και Συζήτηση

4.1 Αποτελέσματα

4.1.1 Ακρίβεια Ταξινομήσεων

Για κάθε ημερομηνία (1987, 2003, 2010) εφαρμόστηκαν οι τεχνικές ταξινόμησης «ANN» και «SVM», δημιουργήθηκαν έξι θεματικοί χάρτες χρήσεων γης και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα τους. Κάθε θεματικός χάρτης αποτελείται από τις τάξεις «Water» (Μπλε), «Mining» (Κόκκινο), «Rocks/Sand» (Καφέ ανοιχτό), «Soil» (Καφέ σκούρο), «Urban» (Γαλάζιο), «Low Vegetation/Crops» (Πράσινο ανοιχτό) και «Vegetation» (Πράσινο σκούρο). Αταξινόμητα εικονοστοιχεία «pixels» συμβολίζονται με το μαύρο χρώμα αλλά δεν υπάρχει κανένα αταξινόμητο στοιχείο σε όλα τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων με τις μεθόδους «ANN», «SVM» και τα «Decision Trees» (Εικόνες 4.1 έως 4.6).

Για την σύγκριση των δύο τύπων ταξινομήσεων υπολογίστηκε η αναφορά ακρίβειας των ταξινομήσεων «accuracy assessment» για όλους τους χάρτες. Στην αναφορά φαίνεται η ολική ακρίβεια «Overall Accuracy», ο συντελεστής συσχέτισης «Kappa coefficient» καθώς και τα ποσοστά σφαλμάτων «errors of commission» (ποσοστό επιπρόσθετων εικονοστοιχείων στην κάθε τάξη), «errors of omission» (ποσοστό εικονοστοιχείων που έμειναν εκτός της κάθε τάξης), το ποσοστό της παραγόμενης «ακρίβειας» «producer's accuracy (PA)» και της «ακρίβειας» του χρήστη «user's accuracy (UA) της κάθε τάξης (Petropoulos et al., 2012). Η εκτίμηση της ταξινόμησης σε όλη την έκταση της εικόνας αφού επεξεργάστηκαν όλα τα επίπεδα πληροφοριών (Landsat TM Bands 1-5 & 7, NDVI, Fr Vegetation, Tasseled Caps, NDBI, NBI, NBAI, BRBA) έδειξε ότι η ολική «ακρίβεια» «overall accuracy» στις «SVM» ταξινομήσεις είναι καλύτερη με ποσοστά από 85,71% έως 93,57% και συντελεστή συσχέτισης από 0,83 έως 0,92 (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1. «Overall Accuracy» και ο συντελεστής συσχέτισης «Kappa coefficient».

		SVM	ANN
1987	Kappa coefficient	0,9049	0,8860
	Overall Accuracy	92,1260%	90,5512%
2003	Kappa coefficient	0,8303	0,8493
	Overall Accuracy	85,7143%	87,3016%
2010	Kappa coefficient	0,9235	0,8286
	Overall Accuracy	93,5714%	85,7143%

Παρόλο που η «SVM» ταξινόμηση φέρει καλύτερα αποτελέσματα από την «ANN» ταξινόμηση, κάποιες κατηγορίες ταξινομήθηκαν λάθος. Όπως φαίνεται και στους πίνακες αλλά και στις θεματικές εικόνες οι τάξεις που αναφέρονται στις περιοχές εξορύξεων «Mining» στους τύπους εδαφών «Rocks/Sand», «Soil» και στις αστικές περιοχές «Urban» μοιράζονται πολλά

εικονοστοιχεία διότι φέρουν πολύ όμοιες τιμές σχεδόν σε όλα τα επίπεδα πληροφοριών που επεξεργάστηκαν. Στους πίνακες που αναφέρονται τα ποσοστά των «errors of commission» και «errors of omission» (Πίνακες 4.2 και 4.3) οι τάξεις «Mining» και «Urban» δείχνουν να φέρουν τις μεγαλύτερες τιμές όσο αφορά τα επιπρόσθετα εικονοστοιχεία («commission») και στις δύο ταξινομήσεις. Αυτό φαίνεται και στις Εικόνες των δύο τύπων ταξινομήσεων με την διαφορά ότι το αποτέλεσμα στην «SVM» ταξινόμηση είναι πιο αντιπροσωπευτικό. Στα εικονοστοιχεία που έμειναν εκτός της εκάστοτε τάξης φαίνεται ο διαμοιρασμός που γίνεται τόσο στα «Rocks/Sand» και «Soil» όσο και στα «Mining» και «Urban». Οι τάξεις «Water» «Low Vegetation» «Vegetation» δείχνουν καλύτερα επίπεδα ταξινόμησης.

Πίνακας 4.2. Ποσοστά «errors of commission»

Class		1987	2003	2010
Water	SVM	0	8,33%	0
	ANN	0	8,33%	0
Mining	SVM	18,18%	14,81%	9,68%
	ANN	18,18%	11,11%	29,27%
Rocks/Sand	SVM	0	50%	20%
	ANN	16,67%	50%	0
Soil	SVM	3,85%	8,7%	4%
	ANN	7,69%	4,35%	4%
Urban	SVM	18,75%	35%	16,67%
	ANN	7,69%	31,58%	33,33%
Low Vegetation	SVM	0	0	0
	ANN	4%	0	4,17%
Vegetation	SVM	0	0	0
	ANN	6,25%	0	23,08%

Πίνακας 4.3. Ποσοστά «errors of omission»

Class		1987	2003	2010
Water	SVM	0	26,67%	5%
	ANN	0	26,67%	0
Mining	SVM	0	4,17%	6,67%
	ANN	0	0	3,33%
Rocks/Sand	SVM	75%	69,23%	38,46%
	ANN	58,33%	61,54%	38,46%
Soil	SVM	3,85%	12,50%	4%
	ANN	7,69%	8,33%	4%
Urban	SVM	0	0	0
	ANN	7,69%	0	60%
Low Vegetation	SVM	0	3,85%	0
	ANN	7,69%	7,69%	11,54%
Vegetation	SVM	0	0	0
	ANN	0	0	9,09%

Πίνακας 4.4. «Producer Accuracy (PA)»

Class		1987	2003	2010
Water	SVM	100,00%	73,33%	95,00%
	ANN	100,00%	73,33%	100,00%
Mining	SVM	100,00%	95,83%	93,33%
	ANN	100,00%	100,00%	96,67%
Rocks/Sand	SVM	25,00%	30,77%	61,54%
	ANN	41,67%	38,46%	61,54%
Soil	SVM	96,15%	87,50%	96,00%
	ANN	92,31%	91,67%	96,00%
Urban	SVM	100,00%	100,00%	100,00%
	ANN	92,31%	100,00%	40,00%
Low Vegetation	SVM	100,00%	96,15%	100,00%
	ANN	92,31%	92,31%	88,46%
Vegetation	SVM	100,00%	100,00%	100,00%
	ANN	100,00%	100,00%	90,91%

Πίνακας 4.5. «User's Accuracy (UA)»

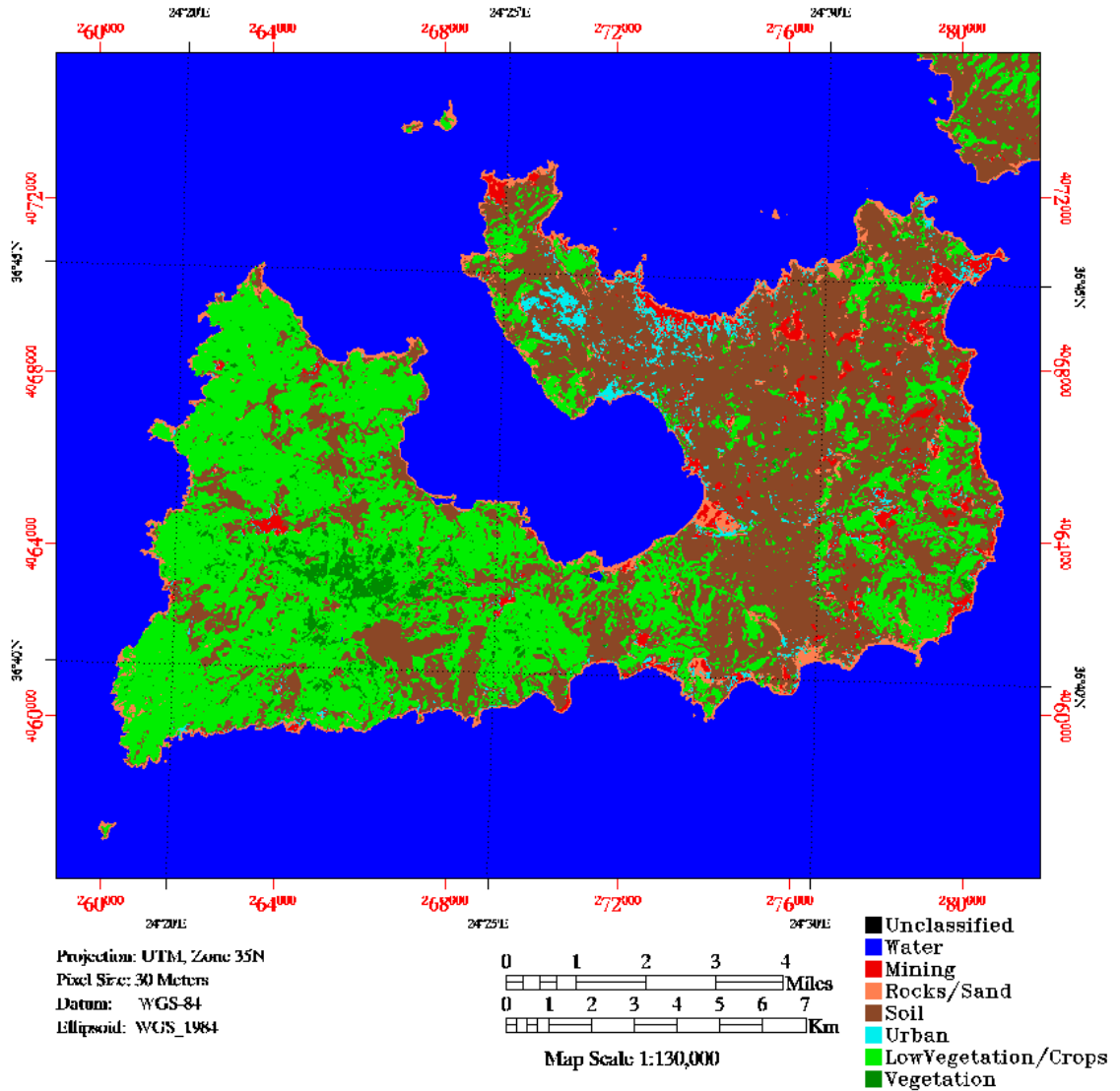
Class		1987	2003	2010
Water	SVM	100,00%	91,67%	100,00%
	ANN	100,00%	73,33%	100,00%
Mining	SVM	81,82%	85,19%	90,32%
	ANN	81,82%	88,89%	70,73%
Rocks/Sand	SVM	100,00%	50,00%	80,00%
	ANN	83,33%	50,00%	100,00%
Soil	SVM	96,15%	91,30%	96,00%
	ANN	92,31%	95,65%	96,00%
Urban	SVM	81,25%	65,00%	83,33%
	ANN	92,31%	68,42%	66,67%
Low Vegetation	SVM	100,00%	100,00%	100,00%
	ANN	96,00%	100,00%	95,83%
Vegetation	SVM	100,00%	100,00%	100,00%
	ANN	100,75%	100,00%	76,92%

4.1.2 Αποτελέσματα ταξινομήσεων

Πολλά σημεία της θεματικής τάξης των αστικών περιοχών έχουν ταξινομηθεί στην κατηγορία των περιοχών των εξορύξεων όπως και αντίστοιχα πολλά ταξινομημένα εικονοστοιχεία των περιοχών εξορύξεων εμφανίζονται σε αστικές περιοχές και σε σημεία που έχει γυμνό έδαφος. Τα λατομεία, οι περιοχές εξόρυξης, πολλά σημεία που έχουν υποστεί ανασκαφές για πολλαπλούς λόγους δείχνουν και φέρουν πολύ όμοιες τιμές και είναι πολύ πιθανό να ταξινομηθούν σαν «Mining» δηλαδή διεργασίες εξόρυξης. Τα εικονοστοιχεία «Urban» αστικών περιοχών αντιθέτως δεν βρίσκονται κοντά σε διεργασίες εξόρυξης και η ταξινόμηση τους κοντά στην κατηγορία αυτή είναι λανθασμένη. Λανθασμένη ταξινόμηση του «Urban» εμφανίζει και με το έδαφος που έχει μεγάλη έκταση και περιβάλλει συνήθως όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες. Οι κατηγορίες «Mining» «Rocks/Sand» «Soil» «Urban» φέρουν πολύ όμοια στοιχεία μεταξύ τους και πού όμοιες τιμές. Μεγαλύτερης σημασίας χρήζουν οι τάξεις «Mining» και «Urban» όσο αφορά τα όρια ταξινόμησης τους και τα σημεία που εμφανίζονται καθώς επίσης και οι τάξεις «Mining» και «Soil» για την μελέτη της χωρικής τους κατάστασης στις υποπεριοχές που αναπτύσσονται οι διεργασίες εξόρυξης.

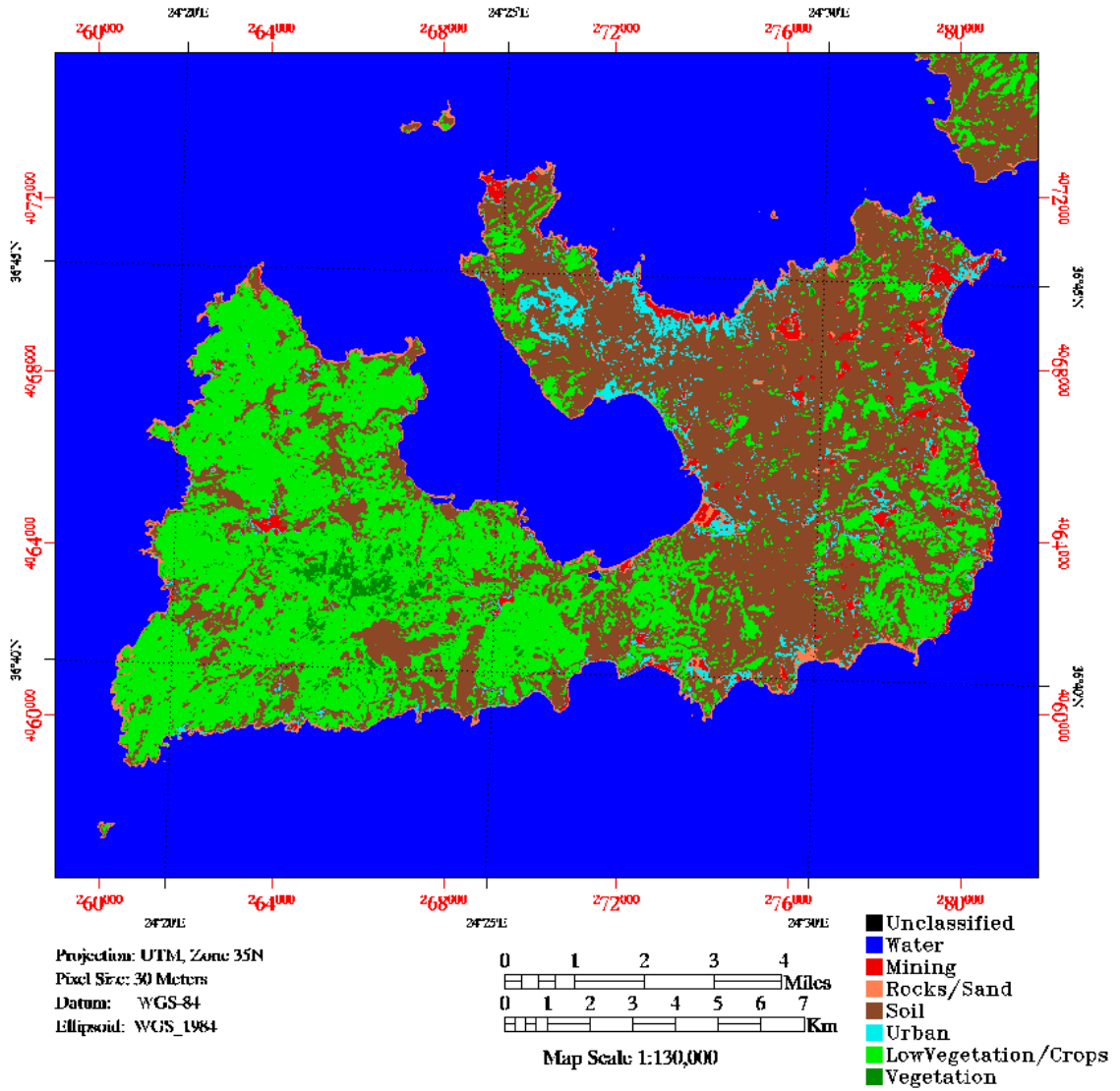
Πιο μεγάλη δυσκολία και πιθανότητα σφάλμα ταξινόμησης παρουσιάζει η ημερομηνία 2003 ενώ τις ημερομηνίες 1987 και 2010 δεν υπάρχουν μεγάλες εμφανίσεις λάθους ταξινόμησης μεταξύ των τάξεων «Mining» και «Urban». Η αστική ανάπτυξη είναι μικρότερη το 1987 από ότι το 2003 και οι περιοχές μπορούν διαχωριστούν καλύτερα. Η ποιότητα ανάλυσης στις Εικόνες της ημερομηνίας του 2010 είναι ελάχιστα καλύτερη από ότι του 2003 και σαν αποτέλεσμα έχουν οριοθετηθεί καλύτερα τα όρια των θεματικών τάξεων και τα λάθος ταξινομημένα σημεία είναι εμφανώς λιγότερα.

ANN Classification 1987



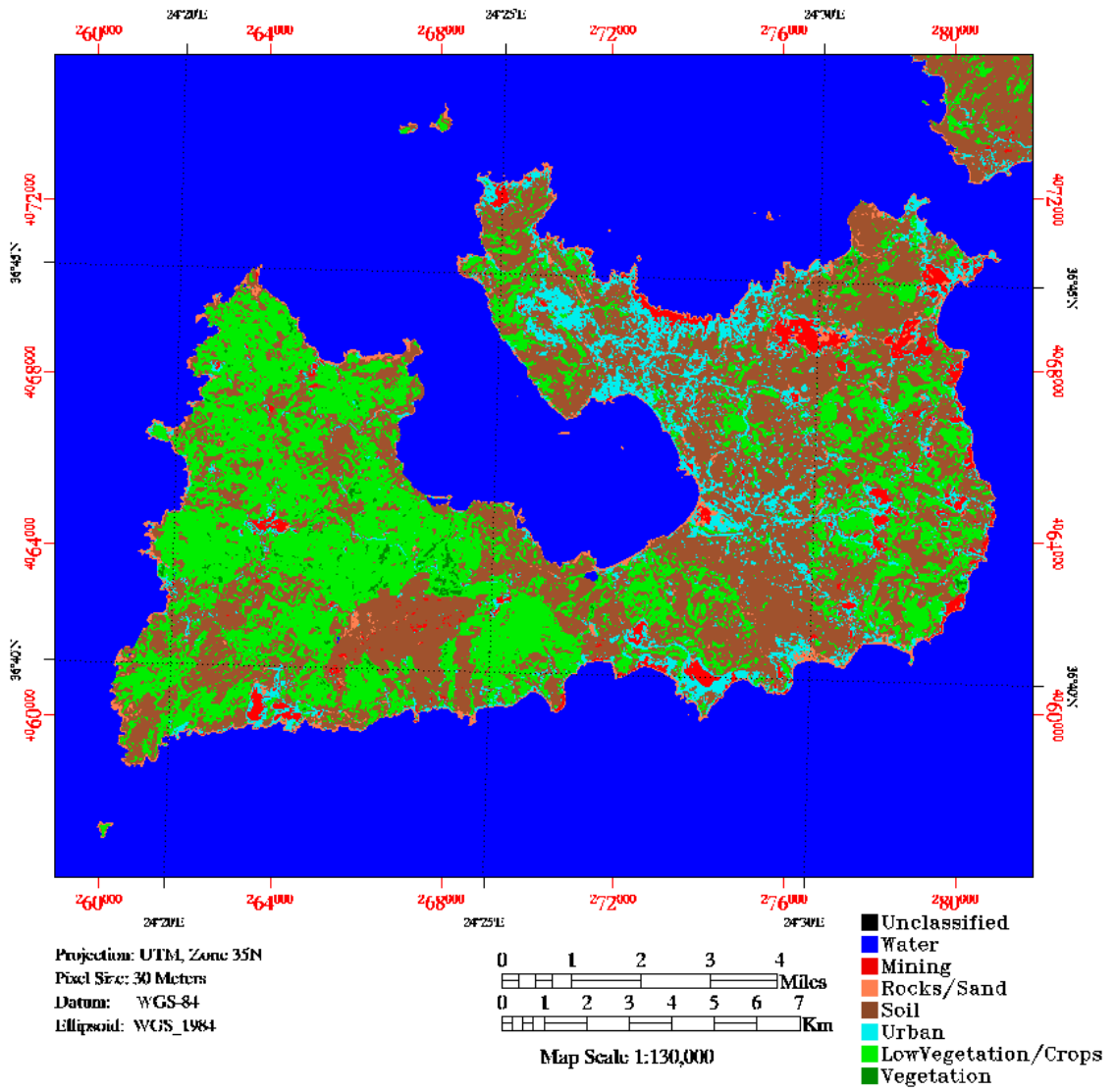
Εικόνα 4.1. ANN Ταξινόμηση 1987

SVM Classification 1987



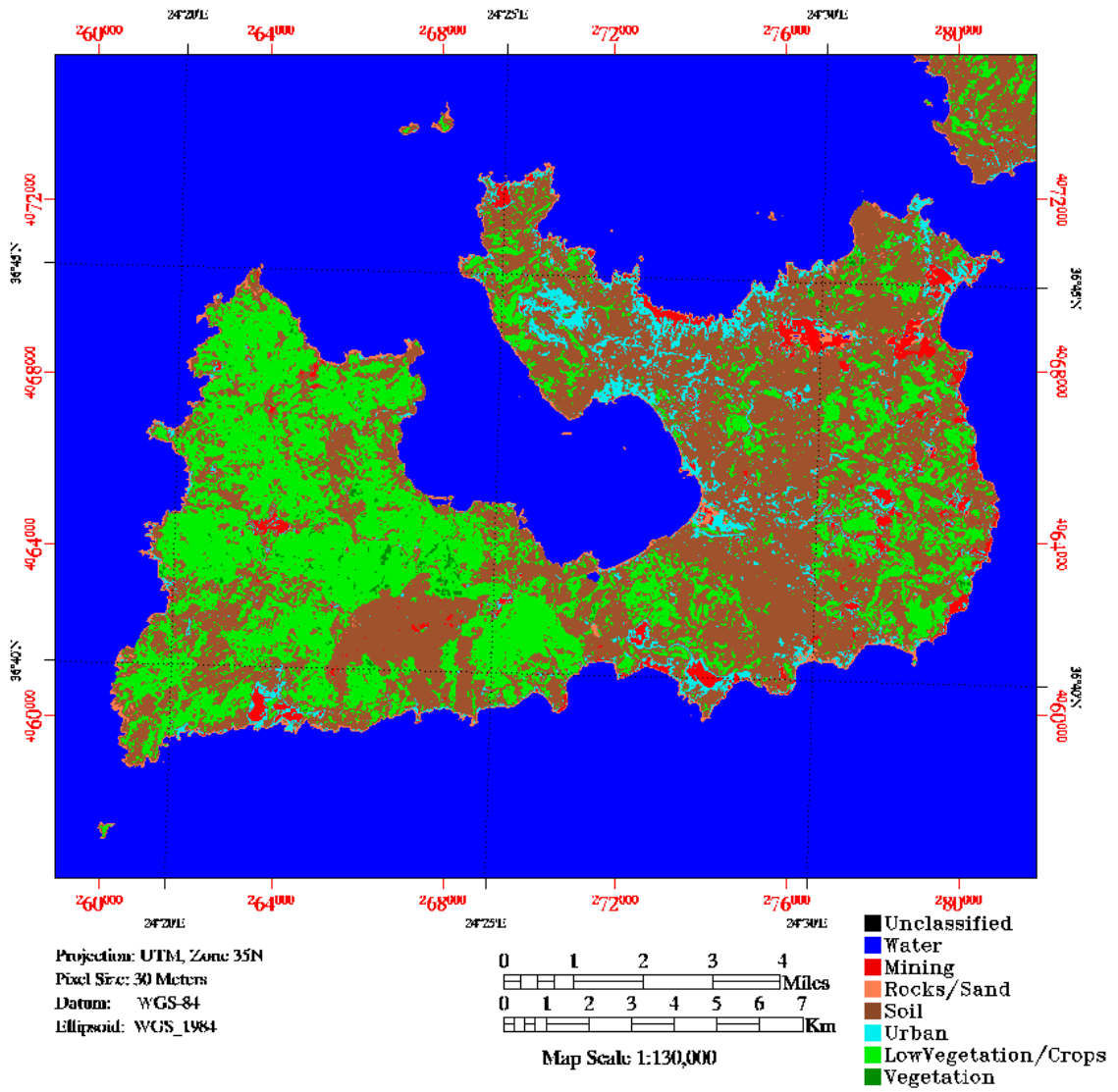
Εικόνα 4.2. SVM Ταξινόμηση 1987

ANN Classification 2003



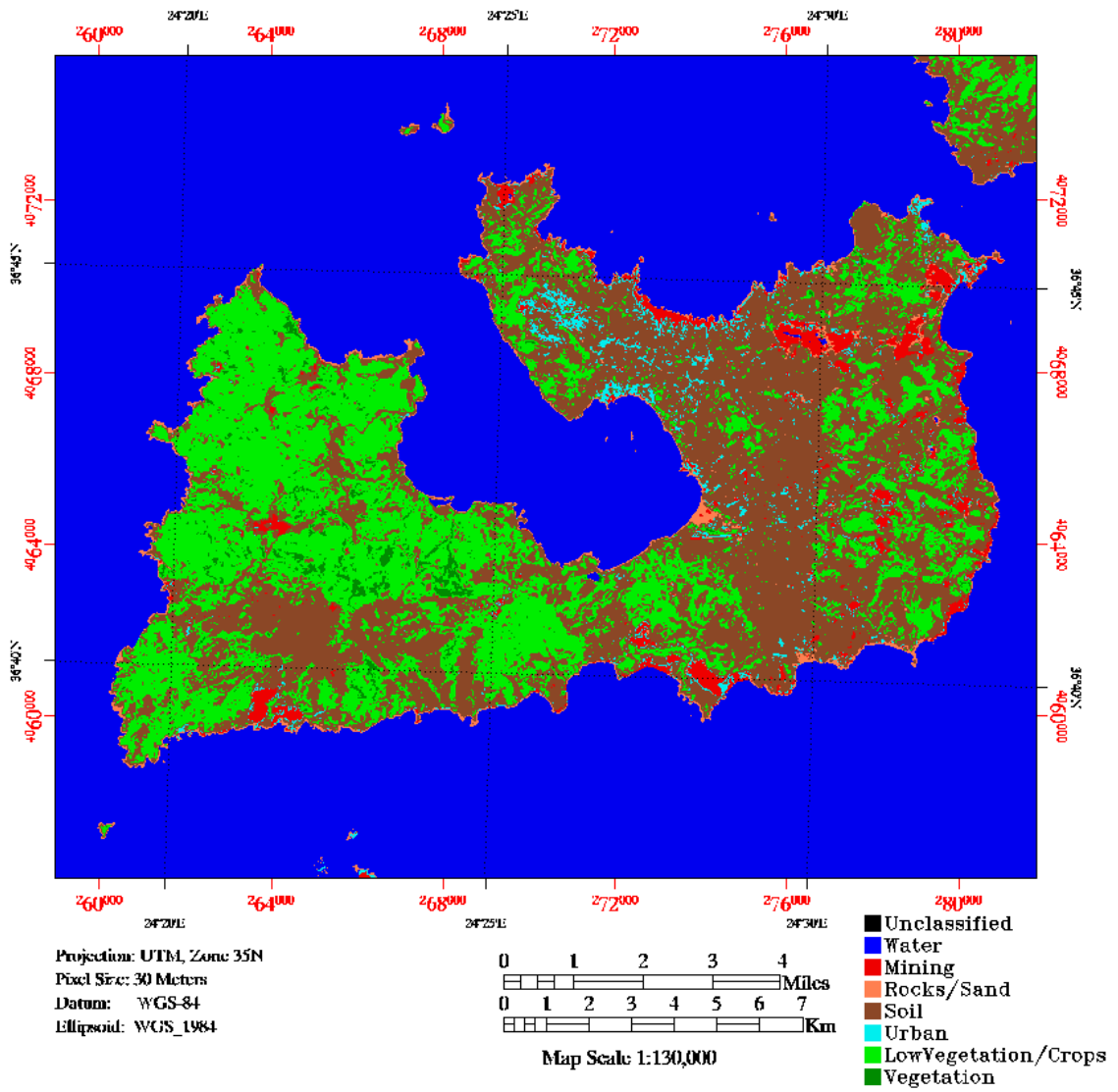
Εικόνα 4.3. NN Ταξινόμηση 2003

SVM Classification 2003



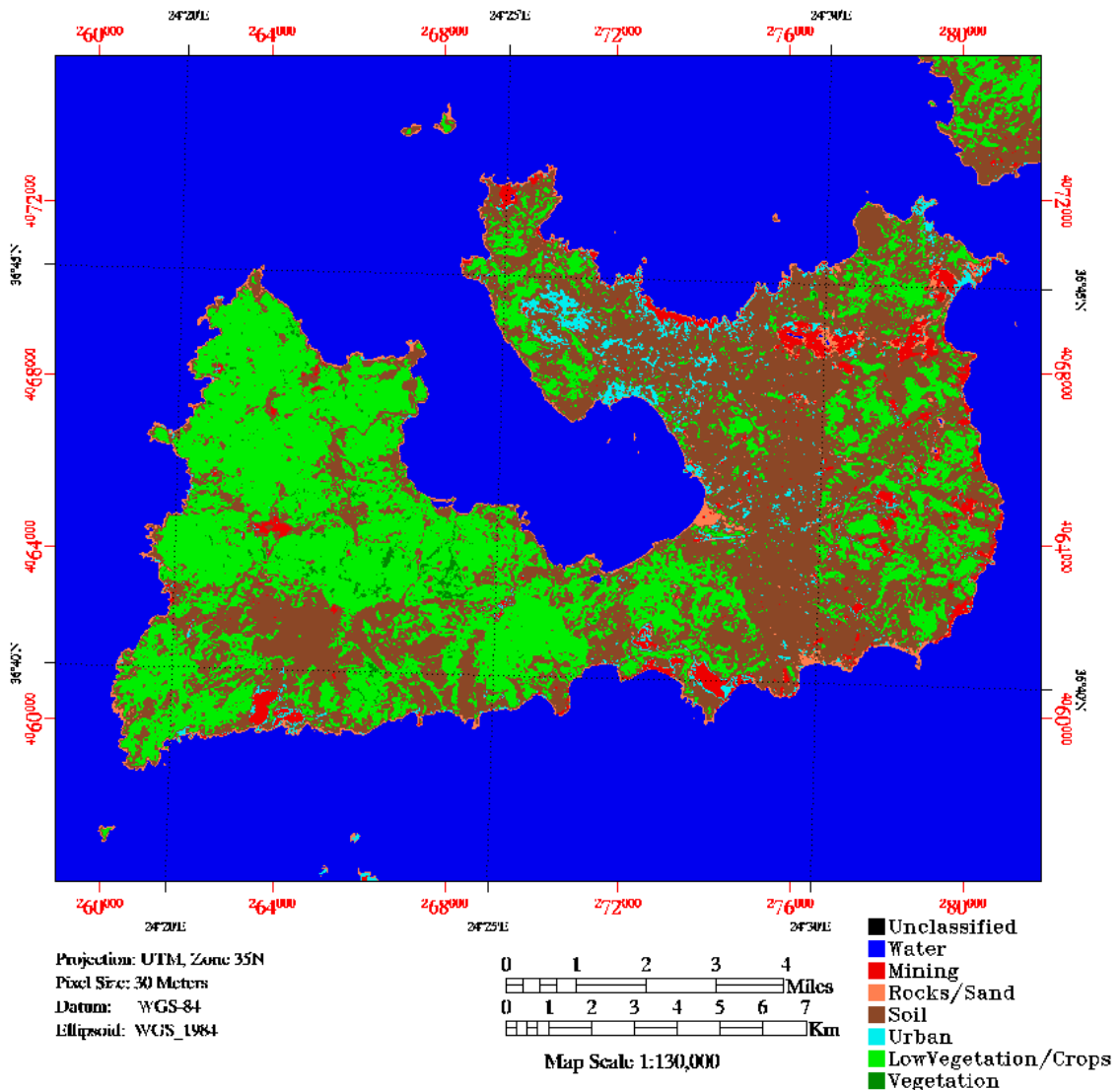
Εικόνα 4.4. SVM Ταξινόμηση 2003

ANN Classification 2010



Εικόνα 4.5. NN Ταξινόμηση 2010

SVM Classification 2010



Εικόνα 4.6. Ταξινόμηση SVM 2010

4.1.3 Ανάλυση Υποπεριοχών (περιοχών εξόρυξης)

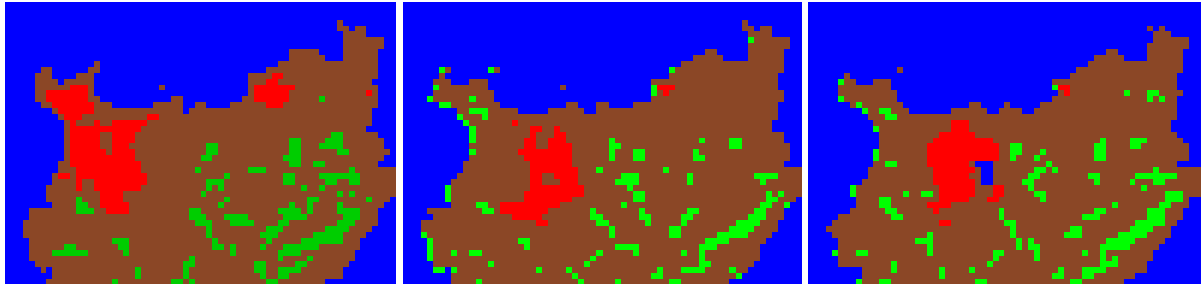
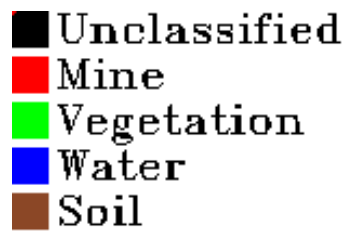
Στις περιοχές Τράχηλας, Ραλάκη-Χάλακα, Αγγελιά, Αγία Ελένη, Βούδια, Ξυλοκερατιά, Τσιγκράδο, Ανατολικά του Τσιγκράδου και στο Δεμεναγάκι υπάρχουν εμφανή και μεγάλης σημασίας λατομεία και χώροι εξόρυξης. Για την πιο λεπτομερή ταξινόμηση και καλύτερη απεικόνιση των πιο σημαντικών από τα σημεία εξόρυξης της Μήλου, εφαρμόστηκε ταξινόμηση μηχανής διανυσμάτων υποστήριξης «SVM» σε κάθε υποπεριοχή που ορίστηκε (Εικόνες 4.7 έως 4.33). Οι τάξεις που δημιουργήθηκαν αφορούν μόνο τις καλύψεις γης των περιοχών αυτών και δεν υπάρχουν παρεμβολές από λάθος ταξινομημένες κατηγορίες. Στις Εικόνες φαίνονται οι χωρικές σχέσεις των χρήσεων γης «Mining», «Water», «Vegetation» και «Soil» για κάθε ημερομηνία και μπορούν να παρατηρηθούν οι αλλαγές με τον χρόνο.

Κατά την διαδικασία των ταξινομήσεων τόσο των εικόνων όλης της νήσου Μήλος όσο και των υποπεριοχών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, εφαρμόστηκε ταξινόμηση μηχανής διανυσμάτων υποστήριξης «SVM» δοκιμάζοντας δύο σύνολα χρήσεων γης. Τα ένα σύνολο αφορά τις χρήσεις γης «Mining», «Soil», «Water», «Low Vegetation/ Crops», «Rocks/ Sand», «Urban» και «Vegetation» και το δεύτερο σύνολο αφορά μόνο τις «Mining», «Soil», «Water» και «Vegetation». Στις ταξινομήσεις όλης της νήσου εφαρμόζοντας το δεύτερο σύνολο, παρατηρήθηκαν λάθος ταξινομημένες περιοχές. Οι εκτάσεις που κανονικά αφορούν αστικές περιοχές ταξινομήθηκαν ως περιοχές εξόρυξης «Mining» και εδάφους «Soil». Παρόμοια και για πολλά σημεία στην ακτογραμμή που εμπεριέχει βραχώδεις και αμμώδεις περιοχές «Rocks/ Sand», ταξινομήθηκαν ως «Mining». Αντιθέτως εφαρμόζοντας το πρώτο σύνολο, τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων των εικόνων όλης της νήσου συμπεριελάμβαναν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τις καλύψεις γης.

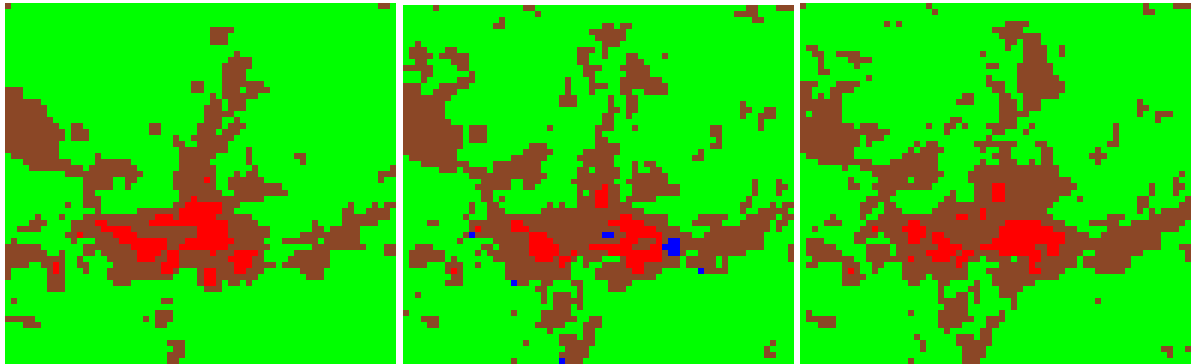
Στις ταξινομήσεις των υποπεριοχών έγινε η ίδια δοκιμή χρησιμοποιώντας και τα δύο σύνολα. Λαμβάνοντας υπόψη το πρώτο σύνολο («Mining», «Soil», «Water», «Low Vegetation/ Crops», «Rocks/ Sand», «Urban» και «Vegetation») τα αποτελέσματα έφεραν λάθος ταξινομήσεις και κυρίως μεταξύ των τάξεων που φέρουν κοντινές τιμές. Οι περιοχές εξόρυξης «Mining» εμπεριείχαν σημεία που αποτελούνταν από την τάξη «Urban» και την τάξη «Rocks/ Sand» καθώς επίσης και παράκτιες περιοχές «Rocks/ Sand» που λανθασμένα εμπεριείχαν σημεία αστικής περιοχής «Urban» και εξορύξεων «Mining». Σε όλες τις υποπεριοχές που επιλέχθηκαν για τις ταξινομήσεις των εκτάσεων των λατομείων, δεν υπάρχουν κοντά αστικές περιοχές παρά μόνο κτίσματα που αφορούν τις διεργασίες εξορύξεων. Για το λόγο αυτό αλλά και για το γεγονός ότι παρουσιάστηκαν λάθος ταξινομήσεις, επιλέχθηκε το δεύτερο σύνολο χρήσεων γης («Mining», «Soil», «Water» και «Vegetation»).

Συμπερασματικά, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δεδομένα (Landsat TM) και ο ίδιος τύπος ταξινόμησης («SVM») αλλά με διαφορά στην έκταση των περιοχών μελέτης δημιουργώντας διαφορετικά αποτελέσματα. Χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά σύνολα χρήσεων γης για διαφορετικά μεγέθη περιοχών (όλη η νήσος και οι υποπεριοχές). Τέλος γνωρίζοντας ότι συγκεκριμένες καλύψεις γης φέρουν παρόμοιες τιμές καθιστά άλλο ένα λόγο που ορίστηκε διαφορετικό σύνολο χρήσεων γης για τις ταξινομήσεις που αφορούν όλη τη νήσο Μήλο και διαφορετικό για τις ταξινομήσεις των υποπεριοχών.

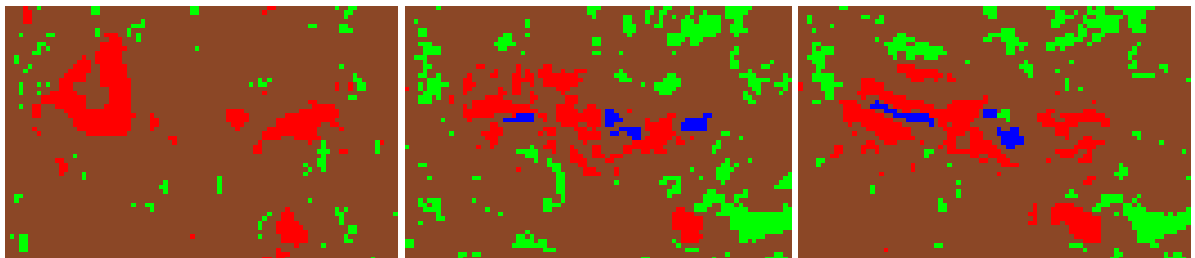
«SVM» Ταξινομήσεις Υποπεριοχών



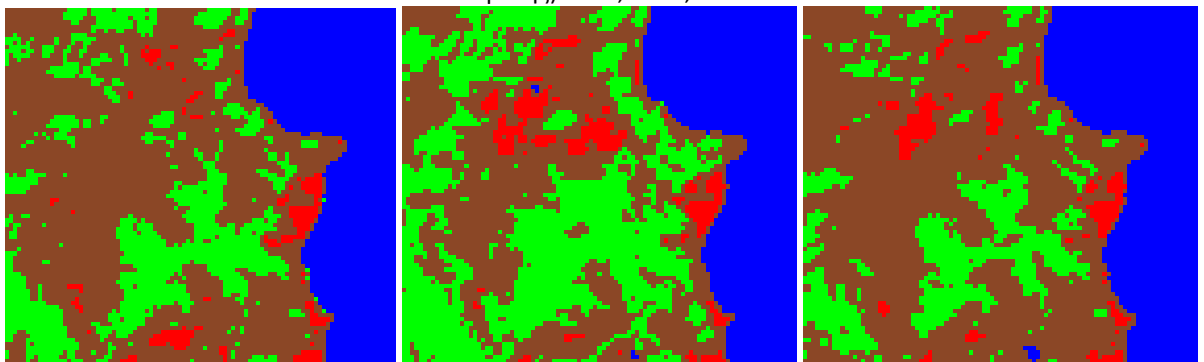
Εικόνες 4.7, 4.8, 4.9. Τράχηλας (Περλίτης) 1987, 2003, 2010



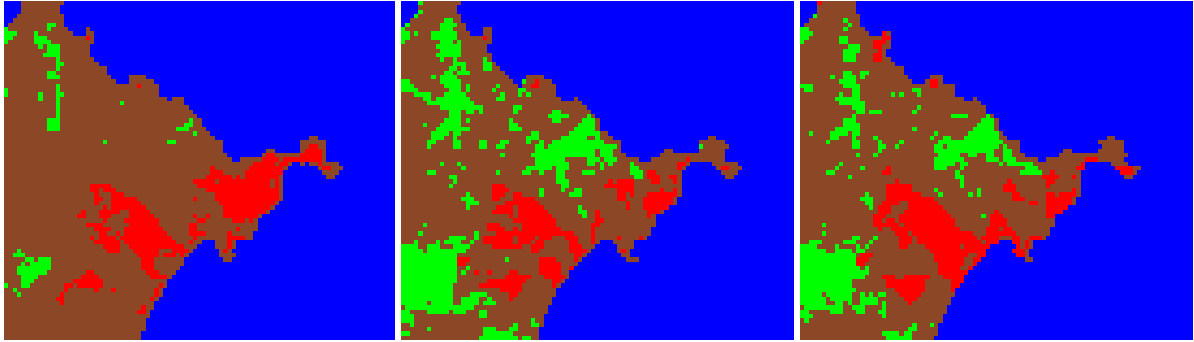
Εικόνες 4.10, 4.11, 4.12. Ραλάκη - Χάλακα (Καολίνης) 1987, 2003, 2010



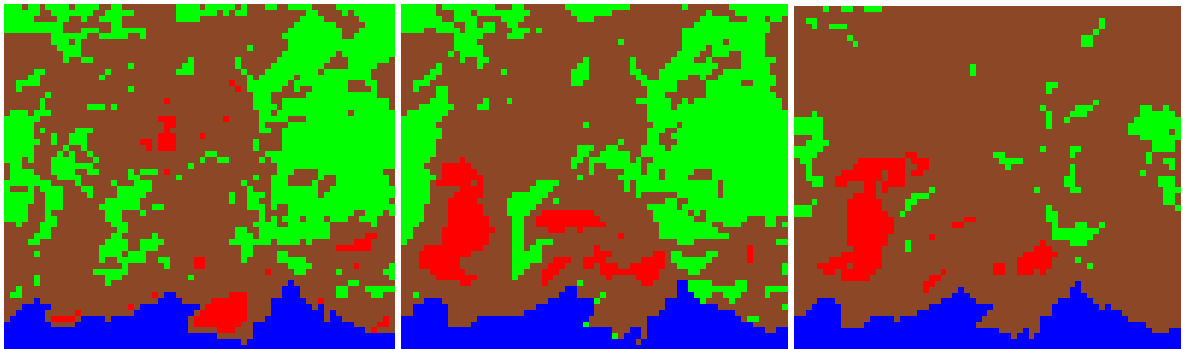
Εικόνες 4.13, 4.14, 4.15. Αγγελιά(πάνω) και ανατολικά Αγία Ελένη(κάτω) (Μπετονίτης, Πυριτικό υλικό, Βαρύτης) 1987, 2003, 2010



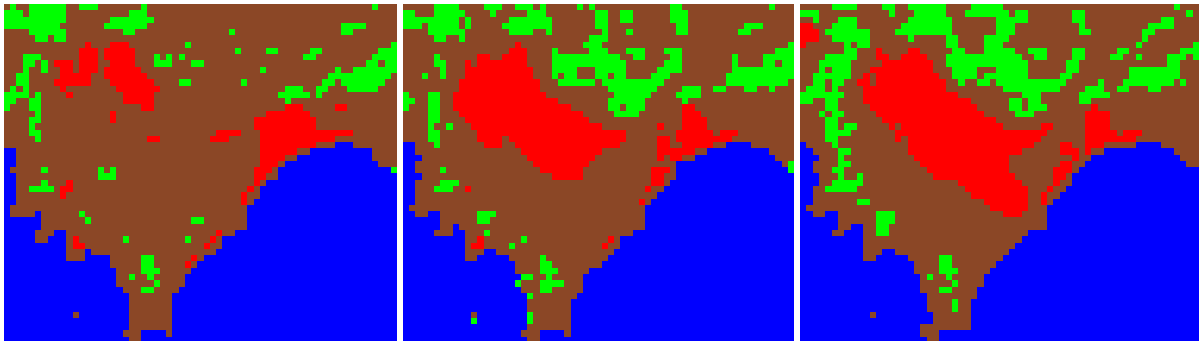
Εικόνες 4.16, 4.17, 4.18. Αγία Ελένη



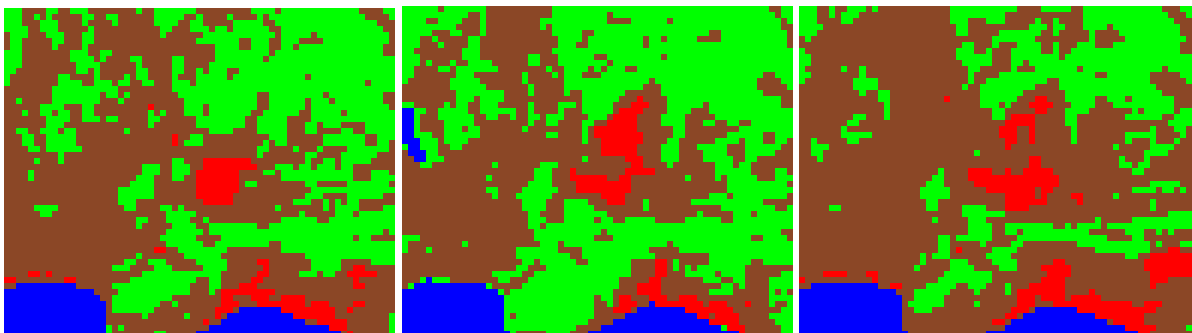
Εικόνες 4.19, 4.20, 4.21. Βούδια (Μπετονίτης, Βαρύτης) 1987, 2003, 2010



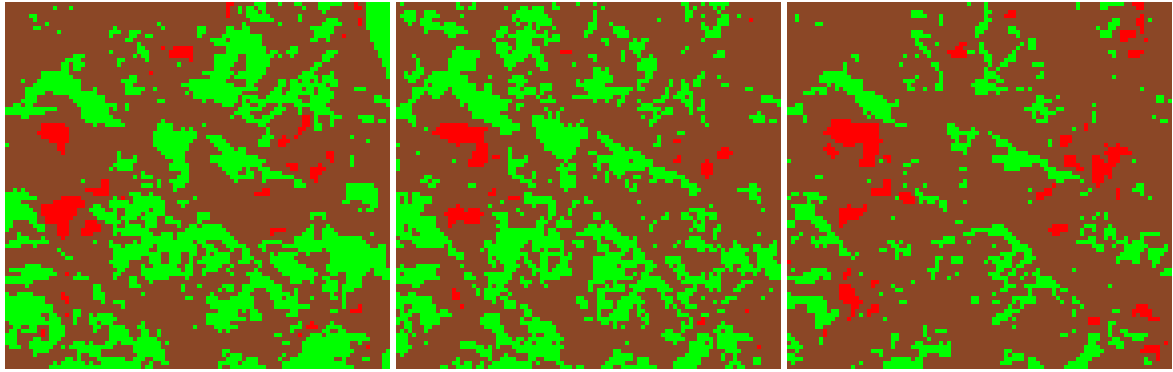
Εικόνες 4.22, 4.23, 4.24. Ξυλοκερατιά (Ποζολάνη) 1987, 2003, 2010



Εικόνες 4.25, 4.26, 4.27. Νότια και κεντρική Μήλος, Τσιγκράδο (Περλίτης) 1987, 2003, 2010



Εικόνες 4.28, 4.29, 4.30. Δυτικά του Τσιγκράδου (Περλίτης, Πυριτικό υλικό) 1987, 2003, 2010



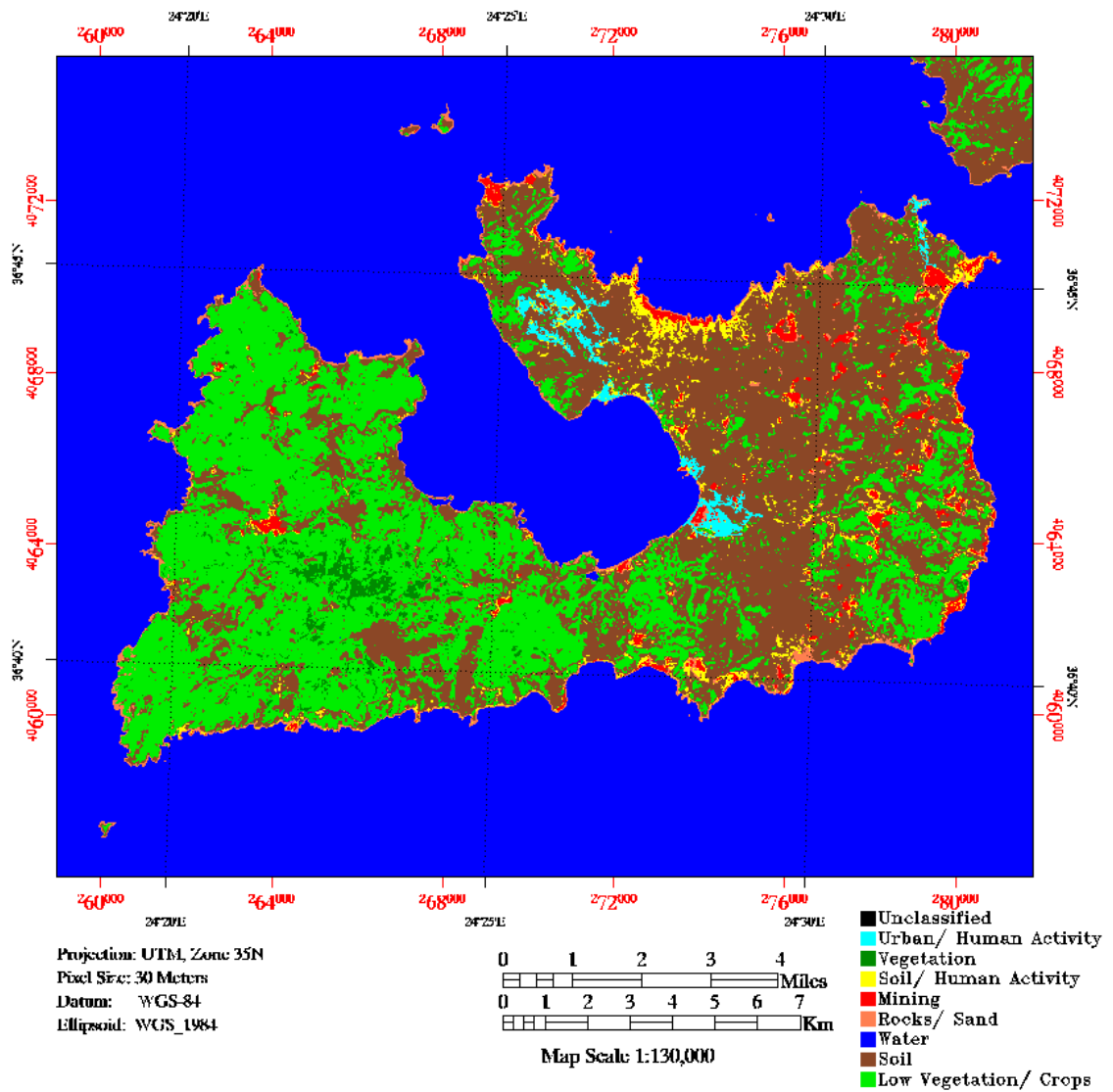
Εικόνες 4.31, 4.32, 4.33. Δεμεναγάκι (Καολίνης, Περγίτης, Πυριτικό υλικό) 1987, 2003, 2010

4.2 Συνδυασμός Ταξινομήσεων «Hybrid Classification»

Αφού δημιουργήθηκαν τα επίπεδα «segmentation» και η «SVM» ταξινόμηση επιλέχθηκε ως το καλύτερο αποτέλεσμα στο πρώτο στάδιο ταξινομήσεων, εφαρμόστηκε συνδυαστική ταξινόμηση «Hybrid Classification» με την τεχνική των «Decision Tree». Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων για κάθε ημερομηνία φαίνονται στις Εικόνες 4.34, 4.35 και 4.36. Με αυτό τον τρόπο βελτιώθηκε το επίπεδο ταξινόμησης αφού καθορίστηκαν οι κατηγορίες των θεματικών τάξεων σε πιο αντιπροσωπευτικές ομάδες και οριοθετήθηκαν καλύτερα οι περιοχές. Ουσιαστικά στην πρώτη «απόφαση», τα επίπεδα των διαχωρισμένων περιοχών «segments» λειτούργησαν σαν «μάσκα» ορίζοντας την έκτασή τους. Στη συνέχεια με τον ορισμό της τιμής που τους αντιστοιχεί, κάθε βήμα- «απόφαση»(κόμβος) επέτρεψε τις υπόλοιπες τάξεις του πρώτου ταξινομημένου επιπέδου («SVM»), να εμφανιστούν. Στο τελευταίο στάδιο όλα τα «μεικτά» εικονοστοιχεία που αντιστοιχούν στις κατηγορίες αστικές περιοχές και εδάφους και δεν έχουν ταξινομηθεί ταξινομούνται σε μία μεταβατική κατηγορία τύπου εδάφους με ανθρωπογενή επίδραση («Soil/Human Activity»). Γύρω από τις αστικές περιοχές οι τύποι εδαφών που τις περιβάλλουν έχουν υποστεί συνήθως ανθρωπογενή διεργασία, είτε λόγω κατασκευής δρόμων είτε λόγω οικιστικής εξάπλωσης. Επίσης οι τύποι εδαφών στα νησιά παρουσιάζουν μεγάλες τιμές φωτεινότητας λόγω της υψηλής ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Μεγάλες τιμές φωτεινότητας και μέτριας ανάλυσης δεδομένων εικόνας (Landsat TM) καθιστούν δύσκολη την διαφοροποίηση ορισμένων τύπων εδάφους και των αστικών περιοχών.

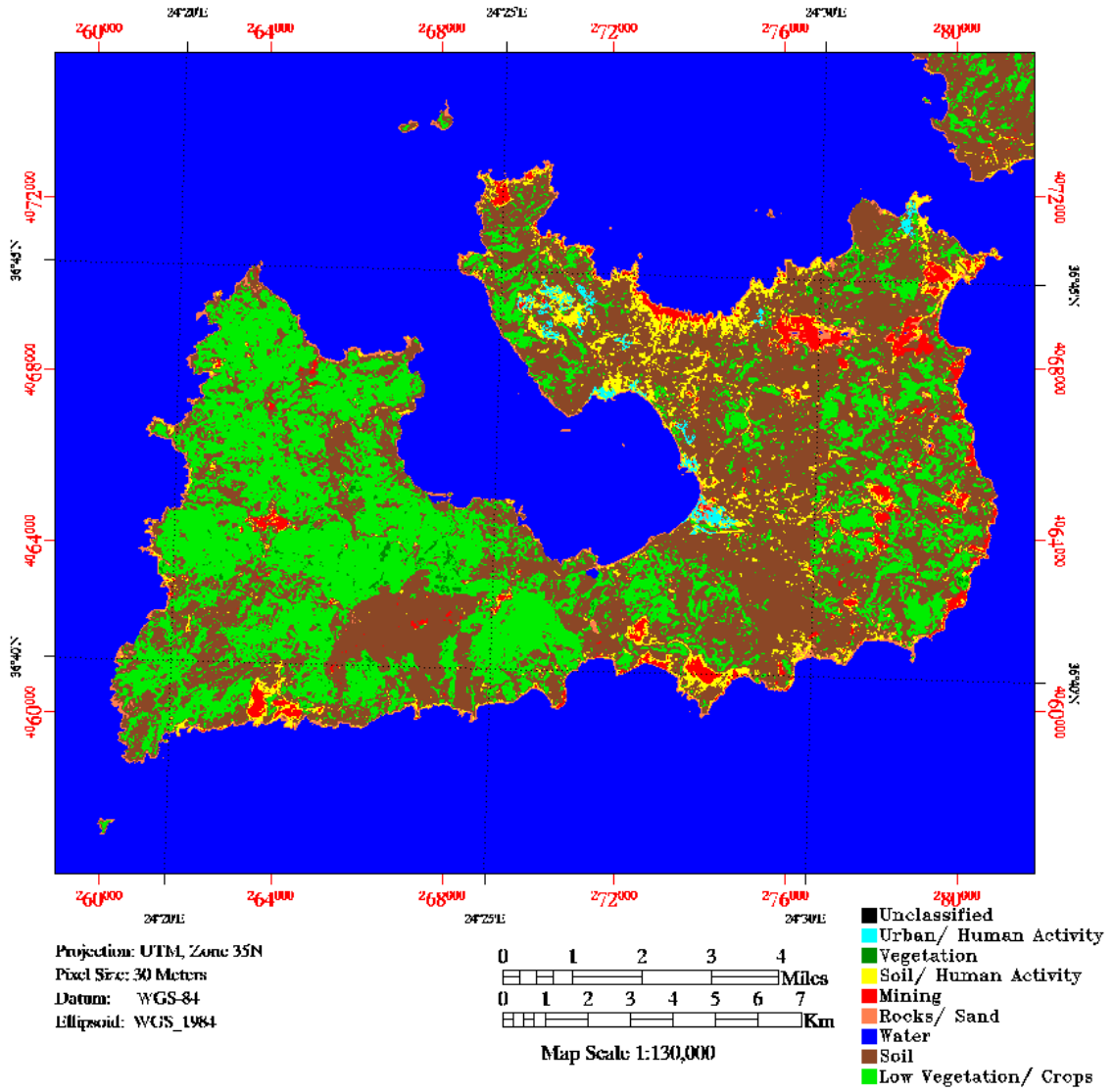
Η δημιουργία των ταξινομημένων εικόνων στις τρεις ημερομηνίες έγινε για την μελέτη, παρατήρηση και ανάλυση των διαχρονικών αλλαγών των χρήσεων και καλύψεων γης χρησιμοποιώντας τεχνική εντοπισμού αλλαγών «change detection».

Decision Tree Classification 1987



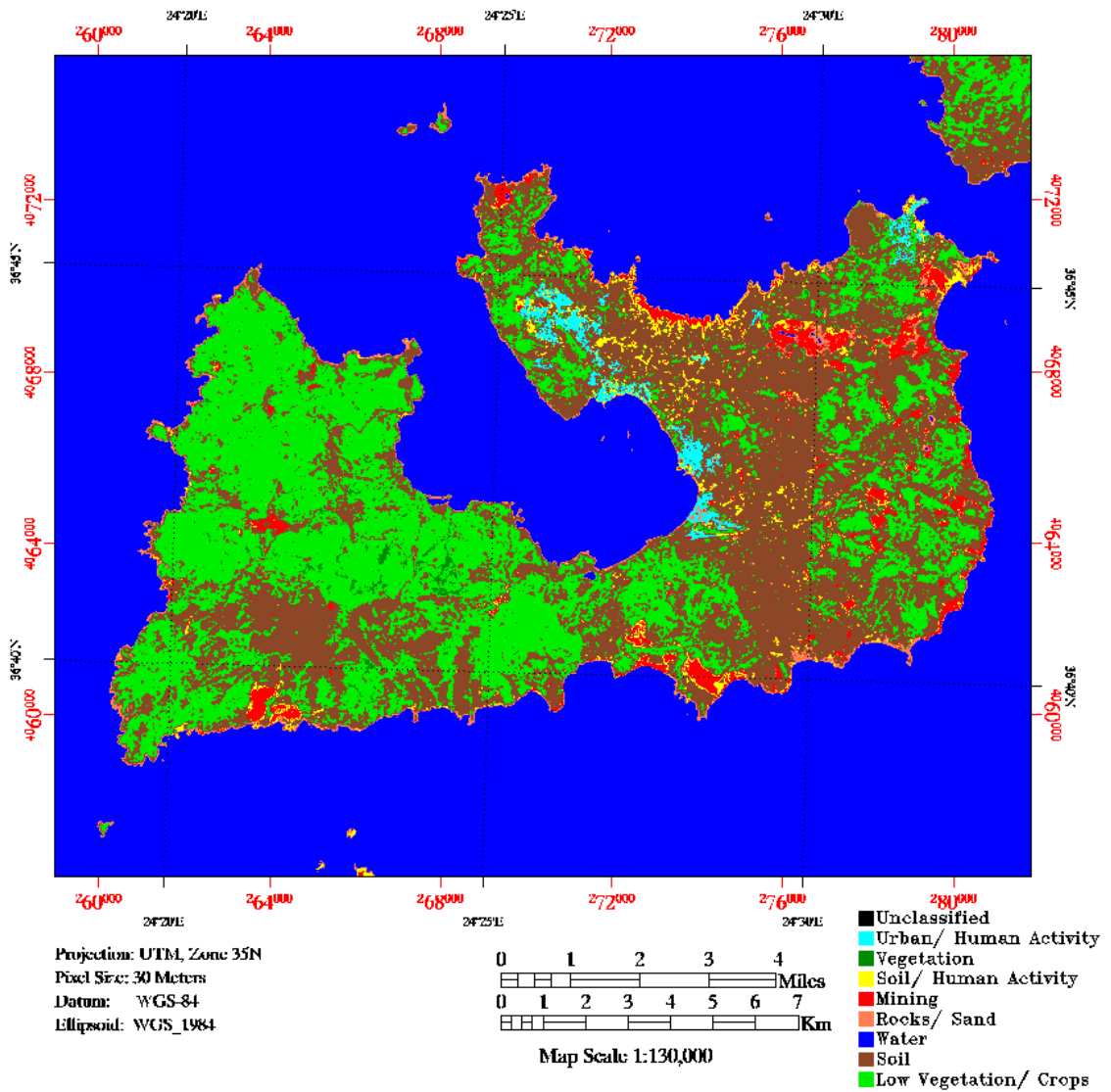
Εικόνα 4.34. DECISION TREE Ταξινόμηση 1987

Decision Tree Classification 2003



Εικόνα 4.35. DECISION TREE Ταξινόμηση 2003

Decision Tree Classification 2010



Εικόνα 4.36. DECISION TREE Ταξινόμηση 2010

4.3 Εντοπισμός Αλλαγών «Change Detection»

Στις Εικόνες 4.37, 4.38 και 4.39 απεικονίζονται οι αλλαγές των χρήσεων γης από το 1987 έως το 2003, από το 2003 έως το 2010 και από το 1987 έως το 2010 αντίστοιχα. Στους χάρτες αποτυπώνονται οι αλλαγές των θεματικών τάξεων όπως ορίστηκαν στις ταξινομήσεις. Οι βασικότερες κατηγορίες και αυτές που απασχολούν την μελέτη είναι κυρίως οι περιοχές εξόρυξης «Mining» σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες ταξινόμησης. Σημαντικές επίσης είναι οι κατηγορίες που αφορούν την βλάστηση, το έδαφος και τις αστικές περιοχές. Σε μελέτες που αφορούν την παρακολούθηση οικοσυστημάτων, αναλύθηκαν τεχνικές εντοπισμού αλλαγών καθώς και μέθοδοι για την διαχρονική παρατήρηση, χρησιμοποιώντας πολυφασματικά δεδομένα (Lu et al., 2004; Coppin et al., 2004).

Κατά την περίοδο 1987 – 2003 παρατηρείται ανάπτυξη στις περιοχές εξορύξεων και στις αστικές περιοχές, ενώ η βλάστηση φαίνεται να μειώνεται και να υποβαθμίζεται και η πυκνότητα της («Vegetation» -> «Low Vegetation/Crops»). Σε πολλές περιοχές που υπάρχουν λατομεία φαίνεται να υπάρχει εξάπλωση ή και μετακίνηση αφήνοντας τις παλαιές περιοχές σαν γυμνό έδαφος και σε λιγότερες σαν βλάστηση (πιθανή αποκατάσταση). Εξάπλωση παρατηρείται επίσης και στις αστικές περιοχές. Το ποσοστό της έκτασης των τάξεων που μετατράπηκαν σε «Mining» είναι 26,086% και το 50% αυτού προέρχεται κυρίως από τις αλλαγές από τους τύπους εδάφους «Soil» και «Soil/Human Activity». Το ποσοστό της έντονης βλάστησης «Vegetation» υφίσταται μείωση (-73,449%) και υποβαθμίζεται σε αραιή και χαμηλή βλάστηση «Low/Vegetation/Crops» ή έδαφος «Soil» με ποσοστά 68,882% και 12,472% αντίστοιχα. Μείωση δέχεται και η χαμηλή βλάστηση με ποσοστό -14,676% το μεγαλύτερο μέρος της (27,768%) μετατρέπεται σε έδαφος «Soil».

Από το 2003 έως 2010 αντιθέτως η έκταση της βλάστησης και η πυκνότητα αυξάνεται. Κατά συνέπεια αυξάνεται και στη διαχρονική εκτίμηση της περιόδου 1987-2010. Οι εκτάσεις που δημιουργήθηκε χαμηλή βλάστηση ή ανάπτυξη γεωργίας είναι έχουν το ποσοστό 15,605% και οι εκτάσεις που παρουσιάστηκε πιο έντονη βλάστηση έχουν το ποσοστό 48,043% που προέρχεται από εδάφη από πιο χαμηλή βλάστηση. Το κυριότερο ποσοστό που προέρχεται η χαμηλή βλάστηση ανήκει στο έδαφος και είναι 18,131% και η πιο έντονη βλάστηση με ποσοστό 22,42%. Όσο αφορά τις δραστηριότητες εξόρυξης παρατηρείται μικρότερο αλλά αυξανόμενο ποσοστό των εκτάσεων (11,884%), που προέρχεται κυρίως από τις αλλαγές στην χρήση γης των εδαφών και ένα μέρος αυτού οφείλεται στην τοπική μετακίνηση των κλιμάκων εξόρυξης ή την επέκταση κάποιων λατομείων με αποτέλεσμα την αλλαγή της κάλυψης γης λόγω εγκατάλειψης. Οι αστικές περιοχές επίσης επεκτείνονται, σε σημείο που 4 χωριά (Πλάκα, Τριοβάσαλος, Τρυπητή και Πέρα

Τριοβάσαλος) να έχουν πλέον πολύ κοντά τα όρια τους και να απεικονίζονται σαν μία ενιαία περιοχή.

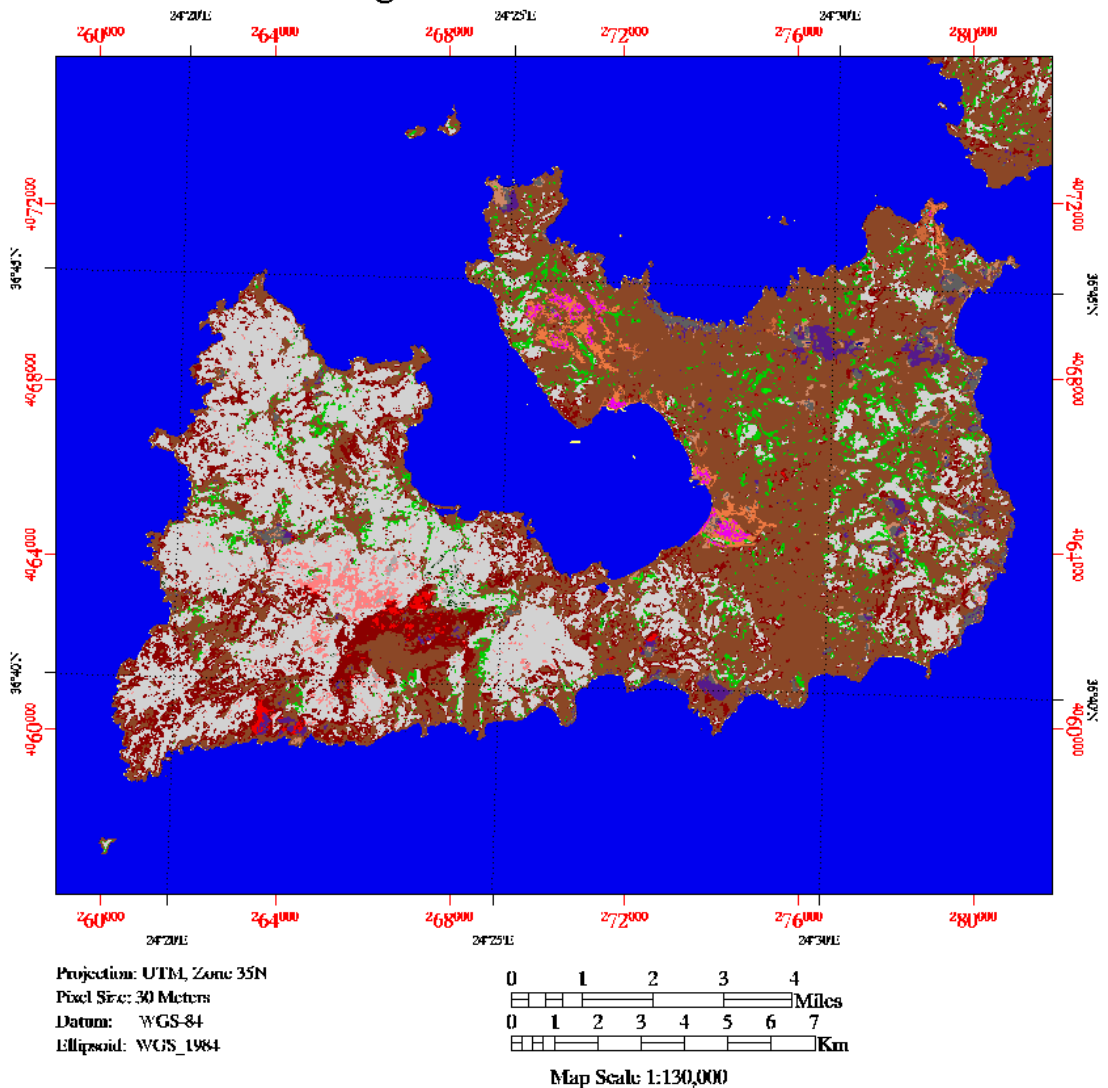
Γενικά τα ποσοστά των βασικότερων χρήσεων γης που δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη από 1987 έως το 2010 είναι: για τις δραστηριότητες εξόρυξης «Mining» 41,071%, για τους τύπους βλάστησης «Low Vegetation/Crops» -1,362% και «Vegetation» -60,693%, για τις αστικές περιοχές «Urban» 11,288% και για τους δυο βασικότερους τύπους εδαφών «Soil» και «Soil/Human Activity» στο σύνολο -23,095%. Το 18,082% των εδαφών μετατράπηκε σε χώρους εξόρυξης ενώ το 19,18% της χαμηλής βλάστησης έγινε έδαφος. Η έντονη βλάστηση υποβαθμίστηκε σε αραιή βλάστηση σε ποσοστό 63,213% (Πίνακας 4.6).

Πιο συγκεκριμένα όσο αφορά τις δραστηριότητες εξόρυξης «Mining», το χρονικό διάστημα 1987-2003, το ποσοστό της τάξης «Mining» που παρέμεινε «Mining» είναι 60,816%. Το υπόλοιπο 39,184% αποτελείται από τις τάξεις «Soil» με 11,803%, «Total Vegetation» με 1,009%, «Water» με 0,417% και τις υπόλοιπες τάξεις «Other» με 25,955% (Πίνακας 4.7 και Γράφημα 4.1). Το ποσοστό των τάξεων που έγινε «Mining» είναι 20,698% και αποτελείται από τις τάξεις «Soil» με 1,957%, «Total Vegetation» με 0,396%, «Water» με 0% και τις υπόλοιπες τάξεις Other με 18,345% (Πίνακας 4.8 και Γράφημα 4.2).

Το χρονικό διάστημα 2003-2010, το ποσοστό της τάξης «Mining» που παρέμεινε «Mining» είναι 76,44%. Το υπόλοιπο 23,56% αποτελείται από τις τάξεις «Soil» με 9,483%, «Total Vegetation» με 0,191%, «Water» με 0,331% και τις υπόλοιπες 6 τάξεις «Other» με 13,555% (Πίνακας 4.9 και Γράφημα 4.3). Το ποσοστό των τάξεων που έγινε «Mining» είναι 18,124% και αποτελείται από τις τάξεις «Soil» με 0,551%, «Total Vegetation» με 0,04%, «Water» με 0,011% και τις υπόλοιπες τάξεις «Other» με 17,522% (Πίνακας 4.10 και Γράφημα 4.4).

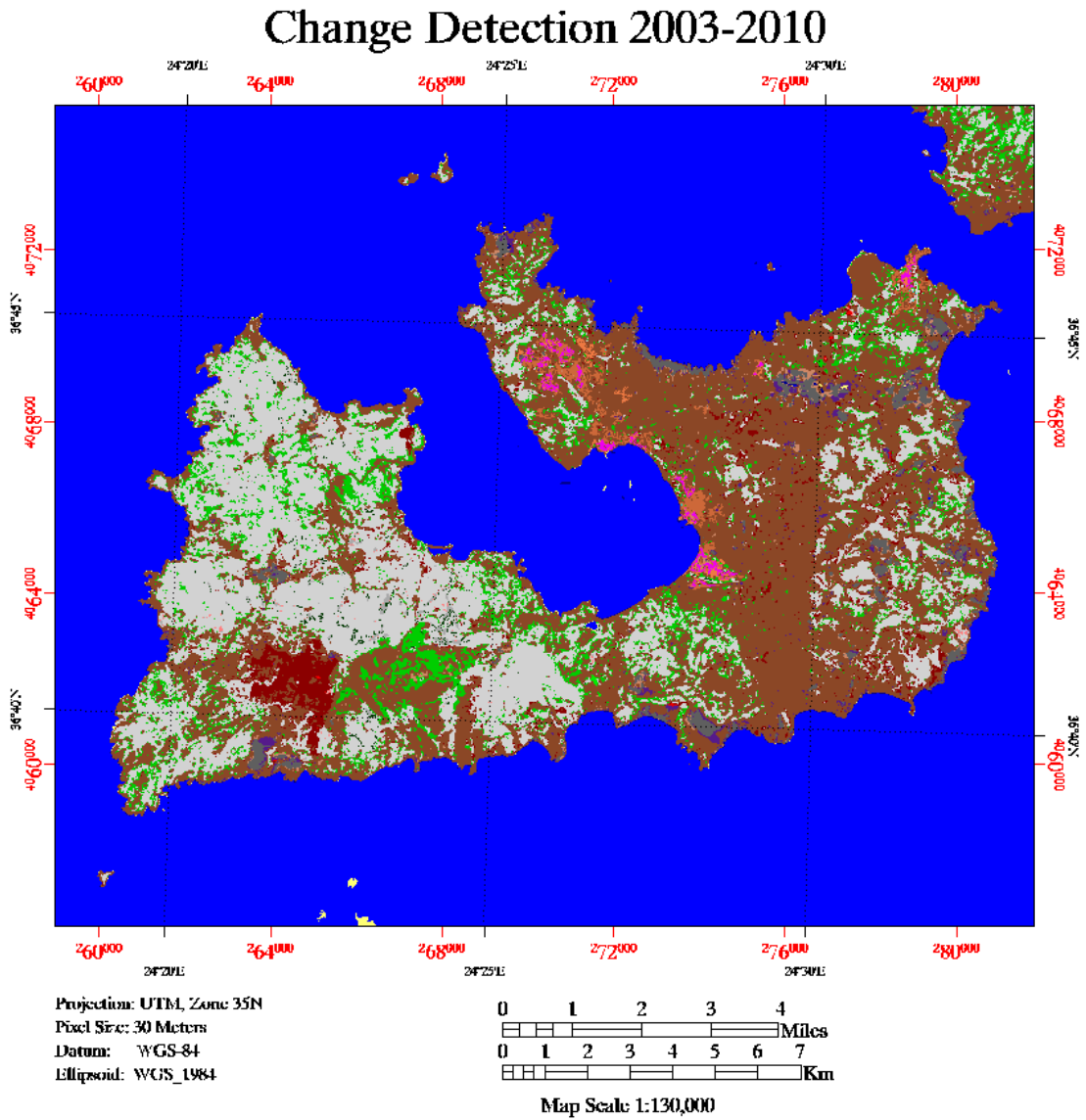
Τέλος το χρονικό διάστημα 1987-2010, το ποσοστό της τάξης «Mining» που παρέμεινε «Mining» είναι 62,374%. Το υπόλοιπο 37,626% αποτελείται από τις τάξεις «Soil» με 18,846%, «Total Vegetation» με 1,448%, «Water» με 0,57% και τις υπόλοιπες τάξεις «Other» με 16,762% (Πίνακας 4.11 και Γράφημα 4.5). Το ποσοστό των τάξεων που έγινε «Mining» είναι 26,471% και αποτελείται από τις τάξεις «Soil» με 2,231%, «Total Vegetation» με 1,43%, «Water» με 0,007% και τις υπόλοιπες τάξεις «Other» με 22,803% (Πίνακας 4.12 και Γράφημα 4.6).

Change Detection 1987-2003

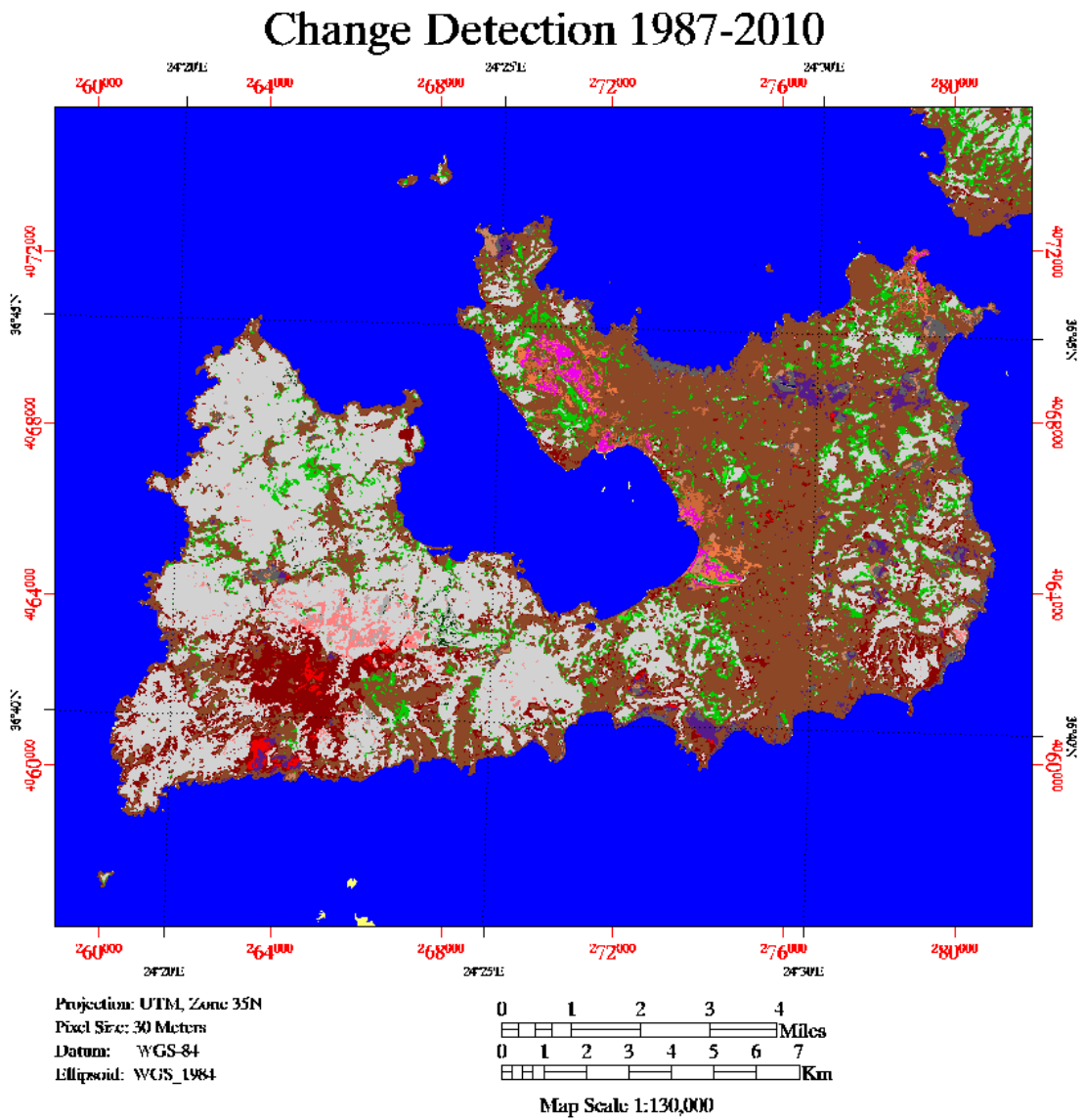


Εικόνα 4.37. Change Detection 1987 – 2003

- 'Urban/Human Activity' to 'Urban/Human Activity'
- 'Urban/Human Activity' to 'Soil/Human Activity'
- 'Urban/Human Activity' to 'Soil'
- 'Urban/Human Activity' to 'Low Vegetation/Crops'
- 'Vegetation' to 'Urban/Human Activity'
- 'Vegetation' to 'Vegetation'
- 'Vegetation' to 'Soil/Human Activity'
- 'Vegetation' to 'Soil'
- 'Vegetation' to 'Low Vegetation/Crops'
- 'Soil/Human Activity' to 'Urban/Human Activity'
- 'Soil/Human Activity' to 'Vegetation'
- 'Soil/Human Activity' to 'Soil/Human Activity'
- 'Soil/Human Activity' to 'Mining'
- 'Soil/Human Activity' to 'Low Vegetation/Crops'
- 'Mining' to 'Soil/Human Activity'
- 'Mining' to 'Mining'
- 'Mining' to 'Water'
- 'Mining' to 'Soil'
- 'Mining' to 'Low Vegetation/Crops'
- 'Soil' to 'Urban/Human Activity'
- 'Soil' to 'Vegetation'
- 'Soil' to 'Mining'
- 'Soil' to 'Water'
- 'Soil' to 'Soil'
- 'Soil' to 'Low Vegetation/Crops'
- 'Low Vegetation/Crops' to 'Urban/Human Activity'
- 'Low Vegetation/Crops' to 'Vegetation'
- 'Low Vegetation/Crops' to 'Soil/Human Activity'
- 'Low Vegetation/Crops' to 'Mining'
- 'Low Vegetation/Crops' to 'Water'
- 'Low Vegetation/Crops' to 'Soil'
- 'Low Vegetation/Crops' to 'Low Vegetation/Crops'



Εικόνα 4.38. Change Detection 2003 - 2010



Εικόνα 4.39. Change Detection 1987 – 2010

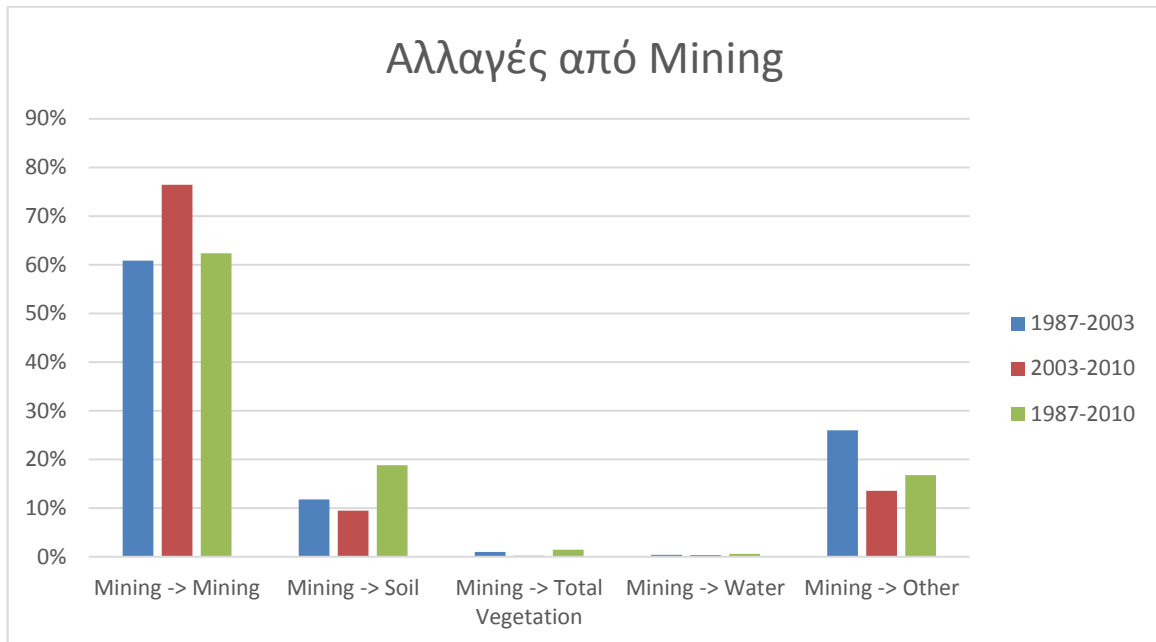
4.4 Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Στην νήσο Μήλος και συγκεκριμένα στις υποπεριοχές της Αγγεριάς και του Τράχηλα κατά την μελέτη του Petropoulos et al., (2012) συγκρίθηκαν οι pixel-based τύποι ταξινομήσεων «SVM» και «ANN», για να την ικανότητά τους να αποτυπώσουν τις διεργασίες εξορύξεων, στο πέρας του ίδιου χρονικού διαστήματος με την παρούσα μελέτη. Η εκτίμηση της μελέτης βασίστηκε στη σύγκριση του σφάλματος «error matrix» που έδειξε ότι οι «SVM» ήταν πιο αποτελεσματικές στο να αποτυπώσουν τις διεργασίες εξορύξεων από ότι οι ταξινομήσεις των «ANN». Σε άλλη μελέτη σε διαφορετική περιοχή μελέτης (Candade, 2004) συγκρίθηκαν οι τρεις τύποι «SVM» ταξινομητών (Polynomial, RBF και Linear) και τα «ANN» φτάνοντας στο συμπέρασμα ότι οι «SVM» ταξινομητές παράγουν καλύτερα αποτελέσματα. Η σύγκριση έγινε υπολογίζοντας το «Overall Accuracy» για κάθε τύπο και ανάμεσα στους «SVM» τύπους ο «Polynomial» αποδείχθηκε ο πιο αποτελεσματικός με ποσοστό 98,48%. Long-qian et al., (2009) χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat TM/ETM+ σύγκρινε τις τεχνικές ταξινόμησης «Maximum Likelihood Classifier (MLC)» και «SVM» για διαφορετικές ημερομηνίες με σκοπό την ανάλυση του αστικού τοπίου και των χώρων εξόρυξης της περιοχής μελέτης. Τα στοιχεία σύγκρισης που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο συντελεστής συσχέτισης «Kappa» και η «Overall Accuracy», αποδεικνύοντας ότι η «SVM» τεχνική φέρει καλύτερα αποτελέσματα ταξινόμησης σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μελέτης.

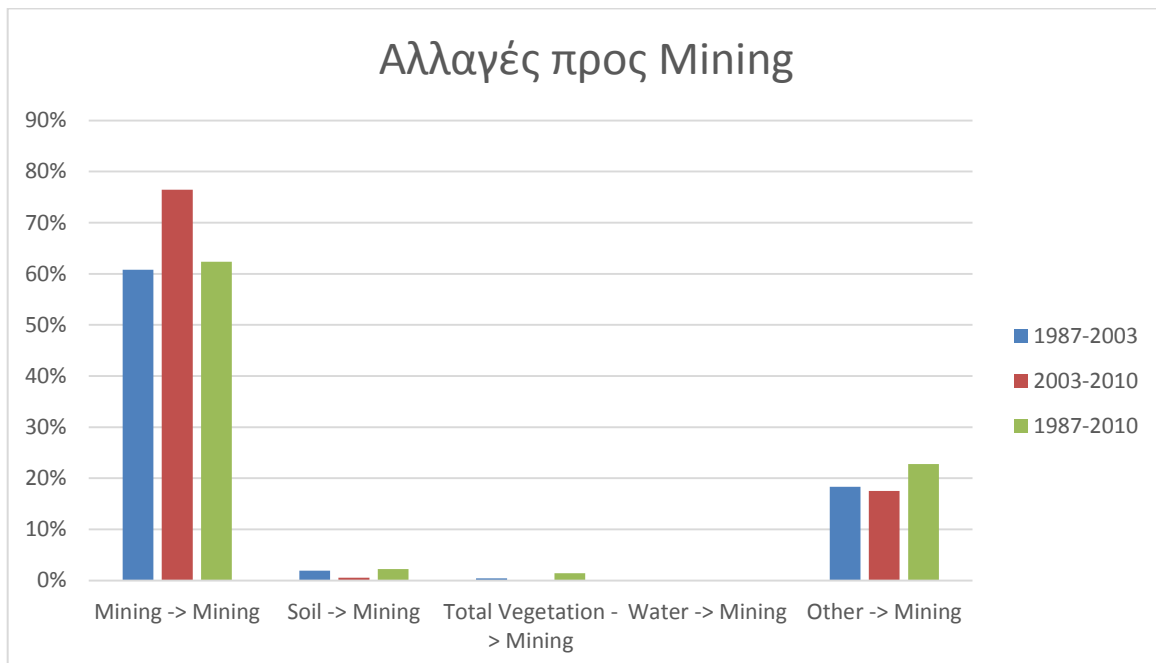
Υπάρχουν έρευνες που ασχολήθηκαν κυρίως με τον εντοπισμό των αλλαγών «Change Detection» όπως ο Sarp (2012) χρησιμοποιώντας τους Landsat TM και Landsat TM+, για μια περίοδο 21 χρόνων και με την χρήση του δείκτη βλάστησης «NDVI», έδειξε τις αλλαγές που υφίσταται η κάλυψη βλάστησης σε περιοχές ανοιχτών ορυχείων. Σε άλλη μελέτη η Sarma (2005) αναλύοντας δεδομένα Τηλεπισκόπησης διαφορετικών ημερομηνιών παρουσίασε τις χωρικές αλλαγές των περιοχών εξόρυξης κάρβουνου σε σχέση με τις δασικές εκτάσεις που συνορεύουν. Με αυτό τον τρόπο αξιολογήθηκε το αντίκτυπο των εξορύξεων εις βάρος της βλάστησης και αποδείχθηκε η επιρροή της χωρικής εξάπλωσης της βλάστησης που την επιρεάζουν οι χώροι των λατομείων.

	Decision Tree Change Detection 1987 - 2003			Decision Tree Change Detection 2003 - 2010			Decision Tree Change Detection 1987 - 2010		
	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	% (σε καθε τάξη)	% (στο σύνολο)	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	% (σε καθε τάξη)	% (στο σύνολο)	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	% (σε καθε τάξη)	% (στο σύνολο)
Mining -> Mining	2.494.800	60,816	0,570937	3.953.700	76,440	0,904807	2.558.700	62,374	0,585560
Mining -> Soil	484.200	11,803	0,110809	490.500	9,483	0,112251	773.100	18,846	0,176924
Mining -> Low Vegetation	41.400	1,009	0,009474	9.900	0,191	0,002266	59.400	1,448	0,013594
Mining -> Water	17.100	0,417	0,003913	17.100	0,331	0,003913	23.400	0,570	0,005355
Mining -> Soil/Human Activity	761.400	18,561	0,174247	443.700	8,578	0,101541	314.100	7,657	0,071882
Σύνολο	3.798.900	92,606000		4.914.900	95,023		3.728.700	90,895	
Σύνολο μαζί με τα υπόλοιπα ζεύγη (κάθε τάξη)	4.102.200	100		5.172.300	100		4.102.200	100	
-> Mining	5.172.300			5.787.000			5.787.000		
Ποσοστό αλλαγών της τάξης (Class Changes)	1.607.400	39,184		1.218.600	23,560		1.543.500	37,626	
Ποσοστό διαφοράς της εικόνας (Image Difference)	1.070.100	26,086		614.700	11,884		1.684.800	41,071	
Soil -> Soil	63.522.900	82,57	14,537257	67.796.100	78,927	15,515182	61.143.300	79,477	13,992684
Soil -> Mining	1.505.700	1,957	0,344580	473.400	0,551	0,108338	1.716.300	2,231	0,392776
Soil -> Low Vegetation	7.675.200	9,977	1,756475	15.573.600	18,131	3,564029	10.987.200	14,282	2,514428
Soil -> Vegetation	35.100	0,046	0,008033	18.900	0,022	0,004325	12.600	0,016	0,002884
Soil -> Urban/Human Activity	301.500	0,392	0,068998	1.018.800	1,186	0,233153	1.127.700	1,466	0,258075
Soil -> Water	4.500	0,006	0,001030	4.500	0,005	0,001030	19.800	0,026	0,004531
Σύνολο	73.044.900	94,948		84.885.300	98,822		75.006.900	97,498	
Σύνολο μαζί με τα υπόλοιπα ζεύγη (κάθε τάξη)	76.932.000	100		85.896.900	100		76.932.000	100	
-> Soil	85.896.900			79.306.200			79.306.200		
Ποσοστό αλλαγών της τάξης (Class Changes)	13.409.100	17,43		18.100.800	21,073		15.788.700	20,523	
Ποσοστό διαφοράς της εικόνας (Image Difference)	8.964.900	11,653		-6.590.700	-7,673		2.374.200	3,086	
Soil/Human Activity -> Soil/Human Activity	2.968.200	56,031	0,679275	2.506.500	27,296	0,573614	1.548.000	29,222	0,354261
Soil/Human Activity -> Mining	721.800	13,626	0,165184	1.114.200	12,134	0,254985	839.700	15,851	0,192166
Soil/Human Activity -> Low Vegetation	72.900	1,376	0,016683	55.800	0,608	0,012770	112.500	2,124	0,025746
Soil/Human Activity -> Vegetation	0	0	0,000000	900	0,010	0,000206	900	0,017	0,000206
Soil/Human Activity -> Urban/Human Activity	124.200	2,345	0,028423	702.000	7,645	0,160653	191.700	3,619	0,043871
Σύνολο	3.887.100	73,378		4.379.400	47,693		2.692.800	50,833	
Σύνολο μαζί με τα υπόλοιπα ζεύγη (κάθε τάξη)	5.297.400	100		9.182.700	100		5.297.400	100	
-> Soil/Human Activity	9.182.700			3.910.500			3.910.500		
Ποσοστό αλλαγών της τάξης (Class Changes)	2.329.200	43,969		6.676.200	72,704		3.749.400	70,778	
Ποσοστό διαφοράς της εικόνας (Image Difference)	3.885.300	73,344		-5.272.200	-57,414		-1.386.900	-26,181	
Low Vegetation -> Low Vegetation	48.375.900	70,923	11,070856	51.434.100	88,377	11,770727	54.181.800	79,435	12,399540
Low Vegetation -> Mining	249.300	0,365	0,057052	23.400	0,040	0,005355	333.900	0,490	0,076413
Low Vegetation -> Soil	18.940.500	27,768	4,334546	6.153.300	10,573	1,408187	13.082.400	19,180	2,993916
Low Vegetation -> Soil/Human Activity	349.200	0,512	0,079915	19.800	0,034	0,004531	147.600	0,216	0,033778
Low Vegetation -> Vegetation	194.400	0,285	0,044489	547.200	0,940	0,125227	372.600	0,546	0,085270
Low Vegetation -> Urban/Human Activity	9.900	0,015	0,002266	9.900	0,017	0,002266	27.000	0,040	0,006179
Low Vegetation -> Water	3.600	0,005	0,000824	0	0,000	0,000000	900	0,001	0,000206
Σύνολο	68.122.800	99,873		58.187.700	99,981		68.146.200	99,908	
Σύνολο μαζί με τα υπόλοιπα ζεύγη (κάθε τάξη)	68.209.200	100		58.198.500	100		68.209.200	100	
-> Low Vegetation/Crops	58.198.500			67.280.400			67.280.400		
Ποσοστό αλλαγών της τάξης (Class Changes)	19.833.300	29,077		6.764.400	11,623		14.027.400	20,565	
Ποσοστό διαφοράς της εικόνας (Image Difference)	-10.010.700	-14,676		9.081.900	15,605		-928.800	-1,362	
Vegetation -> Vegetation	529.200	18,52	0,121108	556.200	73,310	0,127287	735.300	25,732	0,168274
Vegetation -> Soil	356.400	12,472	0,081562	32.400	4,270	0,007415	309.600	10,835	0,070852
Vegetation -> Low Vegetation	1.968.300	68,882	0,450447	170.100	22,420	0,038927	1.806.300	63,213	0,413373
Vegetation -> Soil/Human Activity	2.700	0,094	0,000618	0	0,000	0,000000	2.700	0,094	0,000618
Vegetation -> Urban/Human Activity	0	0	0,000000	0	0,000	0,000000	900	0,031	0,000206
Σύνολο	2.856.600	99,968		758.700	100,000		2.854.800	99,905	
Σύνολο μαζί με τα υπόλοιπα ζεύγη (κάθε τάξη)	2.857.500	100		758.700	100		2.857.500	100	
->Vegetation	758.700			1.123.200			1.123.200		
Ποσοστό αλλαγών της τάξης (Class Changes)	2.328.300	81,48		202.500	26,690		2.122.200	74,268	
Ποσοστό διαφοράς της εικόνας (Image Difference)	-2.098.800	-73,449		364.500	48,043		-1.734.300	-60,693	
Urban/Human Activity -> Urban/Human Activity	577.800	26,258	0,132230	642.600	56,000	0,147059	947.700	43,067	0,216882
Urban/Human Activity -> Soil	623.700	28,344	0,142734	283.500	24,706	0,064879	708.300	32,188	0,162095
Urban/Human Activity -> Low Vegetation	19.800	0,9	0,004531	1.800	0,157	0,000412	77.400	3,517	0,017713
Urban/Human Activity -> Soil/Human Activity	868.500	39,468	0,198757	151.200	13,176	0,034602	329.400	14,969	0,075383
Σύνολο	2.089.800	94,97	35,197253	1.079.100	94,039	35,289937	2.062.800	93,741	36,118125
Σύνολο μαζί με τα υπόλοιπα ζεύγη (κάθε τάξη)	2.200.500	100		1.147.500	100		2.200.500	100	
-> Urban/Human Activity	1.147.500			2.448.900			2.448.900		
Ποσοστό αλλαγών της τάξης (Class Changes)	1.622.700	73,742		504.900	44,000		1.252.800	56,933	
Ποσοστό διαφοράς της εικόνας (Image Difference)	-1.053.000	-47,853		1.301.400	113,412		248.400	11,288	
Σύνολο μαζί με τα υπόλοιπα ζεύγη (όλη η εικόνα)			100			100			100

Πίνακας 4.6. Αποτελέσματα των αλλαγών όλων των τάξεων «Change Detection» για όλα τα χρονικά διαστήματα των ημερομηνιών που μελετήθηκαν.



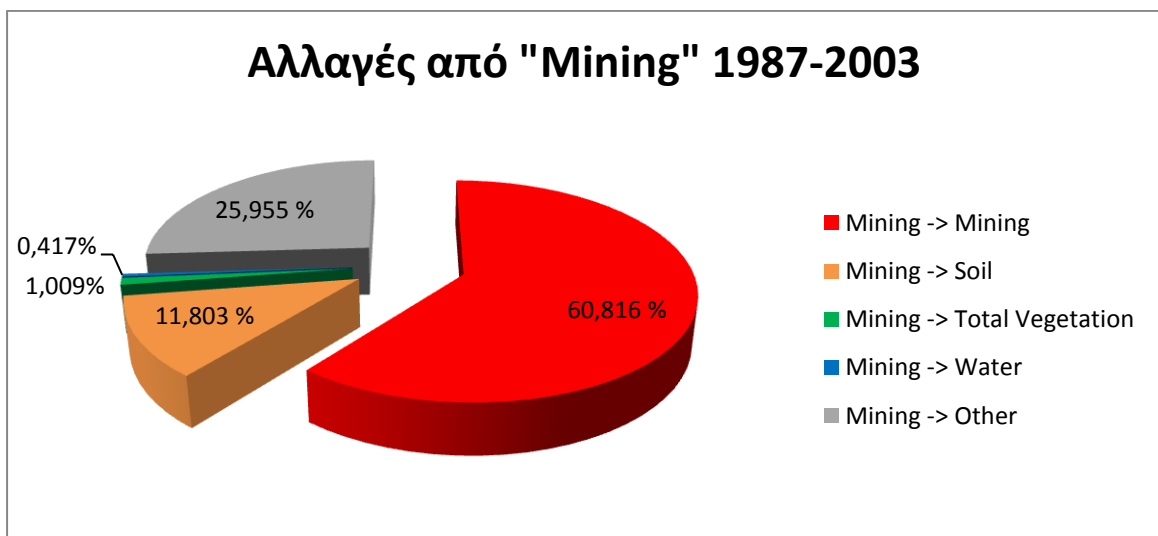
Γράφημα 4.1. Απεικόνιση των ποσοστών του «Mining» που παρέμειναν «Mining» και που μετατράπηκαν στις υπόλοιπες τάξεις στα χρονικά διαστήματα 1987-2003, 2003-2010 και 1987-2010. Οι τάξεις αυτές είναι: «Soil», το σύνολο των εκτάσεων «Low Vegetation» και «Vegetation» ως «Total Vegetation», «Water» και το σύνολο των υπόλοιπων τάξεων («Other») που αφορούν τις τάξεις «Soil/Human Activity», «Rocks/Sand», «Urban/Human Activity».



Γράφημα 4.2. Απεικόνιση των ποσοστών του «Mining» που παρέμειναν «Mining» και των υπόλοιπων τάξεων που μετατράπηκαν σε «Mining» στα χρονικά διαστήματα 1987-2003, 2003-2010 και 1987-2010. Οι τάξεις αυτές είναι: «Soil», το σύνολο των εκτάσεων «Low Vegetation» και «Vegetation» ως «Total Vegetation», «Water» και το σύνολο των υπόλοιπων τάξεων («Other») που αφορούν τις τάξεις «Soil/Human Activity», «Rocks/Sand», «Urban/Human Activity».

Πίνακας 4.7. Οι εκτάσεις (m²) και τα ποσοστά των αλλαγών που συνέβησαν το χρονικό διάστημα 1987-2003 και αφορούν την τάξη του «Mining Activity». Πιο συγκεκριμένα αφορούν τις αλλαγές των εκτάσεων των περιοχών που υπήρχαν διεργασίες εξόρυξης («Mining Activity»).

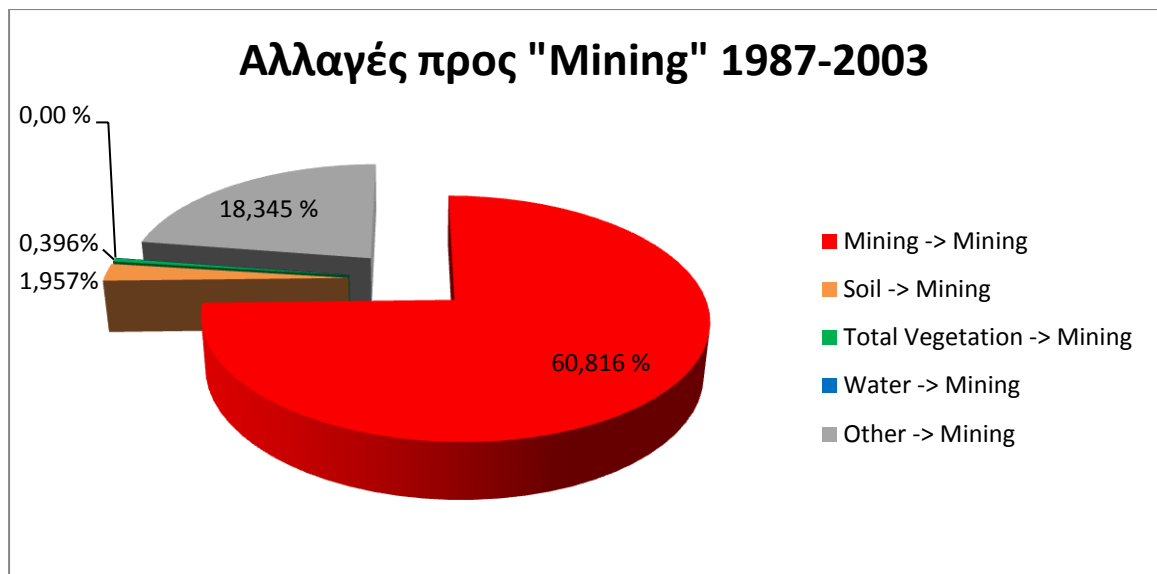
Decision Tree Change Detection 1987 - 2003		
	ΕΚΤΑΣΗ (m²)	% (σε κάθε τάξη)
Mining -> Mining	2.494.800	60,816
Mining -> Soil	484.200	11,803
Mining -> Low Vegetation	41.400	1,009
Mining -> Vegetation	0	0,000
Mining -> Water	17.100	0,417
Mining -> Soil/Human Activity	761.400	18,561
Mining -> Rocks/Sand	207.900	5,068
Mining -> Urban/Human Activity	95.400	2,326
Σύνολο	4.102.200	100,0
Σύνολο (χωρίς την τάξη Mining)	1.607.400	39,184



Γράφημα 4.3. Απεικόνιση των ποσοστών του «Mining» που παρέμειναν «Mining» και που μετατράπηκαν στις υπόλοιπες τάξεις. Εδώ συμπεριλαμβάνονται οι τάξεις με τη μεγαλύτερη σημασία όσο αφορά το «Mining». Οι τάξεις αυτές είναι: «Soil», το σύνολο των εκτάσεων «Low Vegetation» και «Vegetation» ως «Total Vegetation», «Water» και το σύνολο των υπόλοιπων τάξεων («Other») που αφορούν τις τάξεις «Soil/Human Activity», «Rocks/Sand», «Urban/Human Activity».

Πίνακας 4.8. Οι εκτάσεις (m²) και τα ποσοστά των αλλαγών που συνέβησαν το χρονικό διάστημα 1987-2003 και αφορούν την τάξη του «Mining Activity». Πιο συγκεκριμένα αφορούν τις αλλαγές των εκτάσεων των περιοχών που δημιουργήθηκαν διεργασίες εξόρυξης («Mining Activity»).

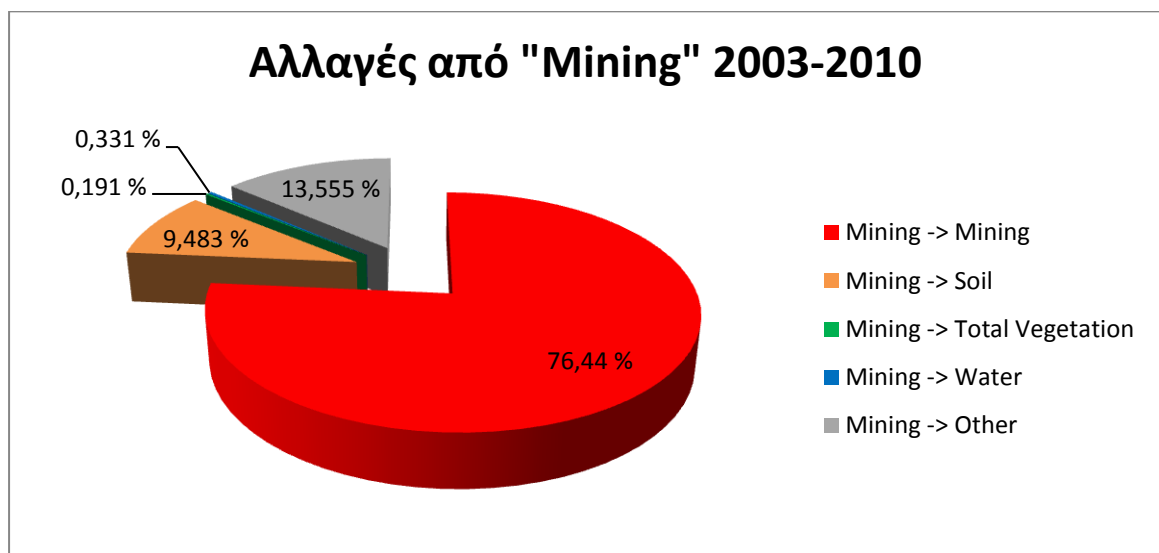
Mining -> Mining	2.494.800	60,816
Soil -> Mining	1.505.700	1,957
Low Vegetation -> Mining	249.300	0,365
Vegetation -> Mining	900	0,031
Water -> Mining	0	0,000
Soil/Human Activity -> Mining	721.800	13,626
Rocks/Sand -> Mining	155.700	2,715
Urban/Human Activity -> Mining	44.100	2,004
Σύνολο	5.172.300	100,0
Σύνολο (χωρίς την τάξη Mining)	2.677.500	20,698



Γράφημα 4.4. Απεικόνιση των ποσοστών του «Mining» που παρέμειναν «Mining» και των υπόλοιπων τάξεων που μετατράπηκαν σε «Mining». Εδώ συμπεριλαμβάνονται οι τάξεις με τη μεγαλύτερη σημασία όσο αφορά το «Mining». Οι τάξεις αυτές είναι: «Soil», το σύνολο των εκτάσεων «Low Vegetation» και «Vegetation» ως «Total Vegetation», «Water» και το σύνολο των υπόλοιπων τάξεων («Other») που αφορούν τις τάξεις «Soil/Human Activity», «Rocks/Sand», «Urban/Human Activity».

Πίνακας 4.9. Οι εκτάσεις (m²) και τα ποσοστά των αλλαγών που συνέβησαν το χρονικό διάστημα 2003-2010 και αφορούν την τάξη του «Mining Activity». Πιο συγκεκριμένα αφορούν τις αλλαγές των εκτάσεων των περιοχών που υπήρχαν διεργασίες εξόρυξης («Mining Activity»).

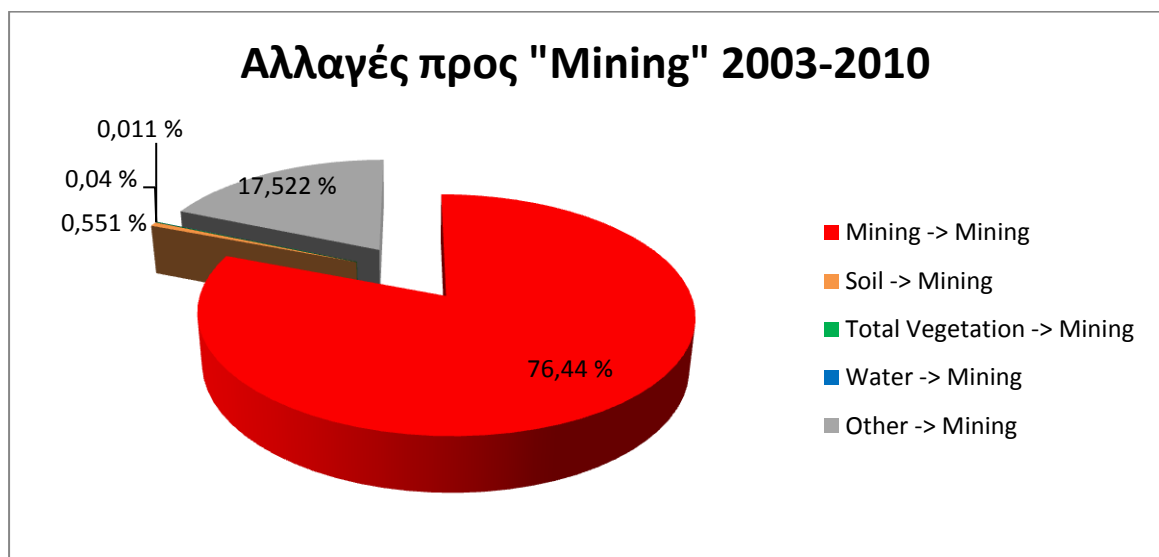
Decision Tree Change Detection 2003 - 2010		
	ΕΚΤΑΣΗ (m²)	% (σε κάθε τάξη)
Mining -> Mining	3.953.700	76,440
Mining -> Soil	490.500	9,483
Mining -> Low Vegetation	9.900	0,191
Mining -> Vegetation	0	0,000
Mining -> Water	17.100	0,331
Mining -> Soil/Human Activity	443.700	8,578
Mining -> Rocks/Sand	222.300	4,298
Mining -> Urban/Human Activity	35.100	0,679
Σύνολο	5.172.300	100,0
Σύνολο (χωρίς την τάξη Mining)	1.218.600	23,560



Γράφημα 4.5. Απεικόνιση των ποσοστών του «Mining» που παρέμειναν «Mining» και που μετατράπηκαν στις υπόλοιπες τάξεις. Εδώ συμπεριλαμβάνονται οι τάξεις με τη μεγαλύτερη σημασία όσο αφορά το «Mining». Οι τάξεις αυτές είναι: «Soil», το σύνολο των εκτάσεων «Low Vegetation» και «Vegetation» ως «Total Vegetation», «Water» και το σύνολο των υπόλοιπων τάξεων («Other») που αφορούν τις τάξεις «Soil/Human Activity», «Rocks/Sand», «Urban/Human Activity».

Πίνακας 4.10. Οι εκτάσεις (m²) και τα ποσοστά των αλλαγών που συνέβησαν το χρονικό διάστημα 2003-2010 και αφορούν την τάξη του «Mining Activity». Πιο συγκεκριμένα αφορούν τις αλλαγές των εκτάσεων των περιοχών που δημιουργήθηκαν διεργασίες εξόρυξης («Mining Activity»).

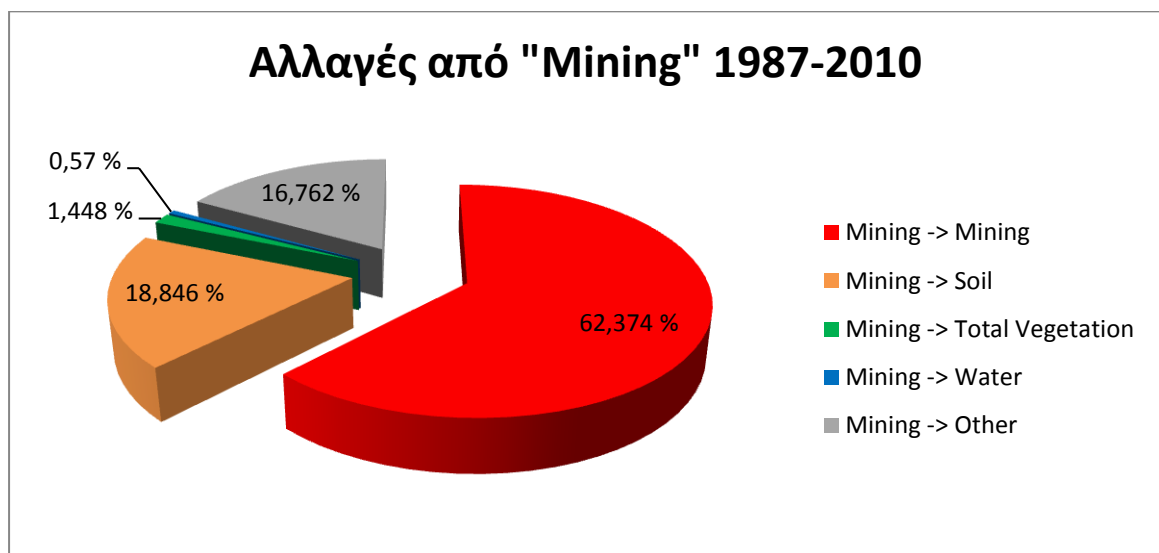
Mining -> Mining	3.953.700	76,440
Soil -> Mining	473.400	0,551
Low Vegetation -> Mining	23.400	0,040
Vegetation -> Mining	0	0,000
Water -> Mining	29.700	0,011
Soil/Human Activity -> Mining	1.114.200	12,134
Rocks/Sand -> Mining	171.000	3,506
Urban/Human Activity -> Mining	21.600	1,882
Σύνολο	5.787.000	100,0
Σύνολο (χωρίς την τάξη Mining)	1.833.300	18,124



Γράφημα 4.6. Απεικόνιση των ποσοστών του «Mining» που παρέμειναν «Mining» και των υπόλοιπων τάξεων που μετατράπηκαν σε «Mining». Εδώ συμπεριλαμβάνονται οι τάξεις με τη μεγαλύτερη σημασία όσο αφορά το «Mining». Οι τάξεις αυτές είναι: «Soil», το σύνολο των εκτάσεων «Low Vegetation» και «Vegetation» ως «Total Vegetation», «Water» και το σύνολο των υπόλοιπων τάξεων («Other») που αφορούν τις τάξεις «Soil/Human Activity», «Rocks/Sand», «Urban/Human Activity».

Πίνακας 4.11. Οι εκτάσεις (m²) και τα ποσοστά των αλλαγών που συνέβησαν το χρονικό διάστημα 1987-2010 και αφορούν την τάξη του «Mining Activity». Πιο συγκεκριμένα αφορούν τις αλλαγές των εκτάσεων των περιοχών που υπήρχαν διεργασίες εξόρυξης («Mining Activity»).

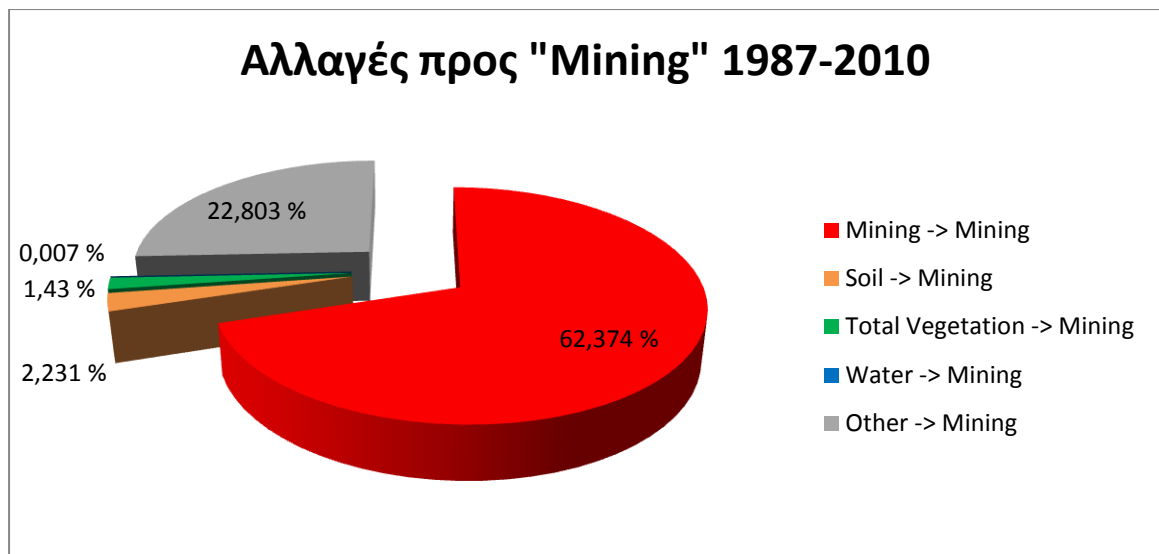
Decision Tree Change Detection 1987 - 2010		
	ΕΚΤΑΣΗ (m²)	% (σε κάθε τάξη)
Mining -> Mining	2.558.700	62,374
Mining -> Soil	773.100	18,846
Mining -> Low Vegetation	59.400	1,448
Mining -> Vegetation	0	0,000
Mining -> Water	23.400	0,570
Mining -> Soil/Human Activity	314.100	7,657
Mining -> Rocks/Sand	272.700	6,648
Mining -> Urban/Human Activity	100.800	2,457
Σύνολο	4.102.200	100,0
Σύνολο (χωρίς την τάξη Mining»)	1.543.500	37,626



Γράφημα 4.7. Απεικόνιση των ποσοστών του «Mining» που παρέμειναν «Mining» και που μετατράπηκαν στις υπόλοιπες τάξεις. Εδώ συμπεριλαμβάνονται οι τάξεις με τη μεγαλύτερη σημασία όσο αφορά το «Mining». Οι τάξεις αυτές είναι: «Soil», το σύνολο των εκτάσεων «Low Vegetation» και «Vegetation» ως «Total Vegetation», «Water» και το σύνολο των υπόλοιπων τάξεων («Other») που αφορούν τις τάξεις «Soil/Human Activity», «Rocks/Sand», «Urban/Human Activity».

Πίνακας 4.12. Οι εκτάσεις (m²) και τα ποσοστά των αλλαγών που συνέβησαν το χρονικό διάστημα 2003-2010 και αφορούν την τάξη του «Mining Activity». Πιο συγκεκριμένα αφορούν τις αλλαγές των εκτάσεων των περιοχών που δημιουργήθηκαν διεργασίες εξόρυξης («Mining Activity»).

Mining -> Mining	2.558.700	62,374
Soil -> Mining	1.716.300	2,231
Low Vegetation -> Mining	333.900	0,490
Vegetation -> Mining	2.700	0,940
Water -> Mining	18.000	0,007
Soil/Human Activity -> Mining	839.700	15,851
Rocks/Sand -> Mining	267.300	4,662
Urban/Human Activity -> Mining	50.400	2,290
Σύνολο	5.787.000	100,0
Σύνολο (χωρίς την τάξη Mining»)	3.228.300	26,471



Γράφημα 4.8. Απεικόνιση των ποσοστών του «Mining» που παρέμειναν «Mining» και των υπόλοιπων τάξεων που μετατράπηκαν σε «Mining». Εδώ συμπεριλαμβάνονται οι τάξεις με τη μεγαλύτερη σημασία όσο αφορά το «Mining». Οι τάξεις αυτές είναι: «Soil», το σύνολο των εκτάσεων «Low Vegetation» και «Vegetation» ως «Total Vegetation», «Water» και το σύνολο των υπόλοιπων τάξεων («Other») που αφορούν τις τάξεις «Soil/Human Activity», «Rocks/Sand», «Urban/Human Activity»

Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα

Αρχικά συγκρίθηκαν οι ταξινομήσεις των «ANN» και «SVM» και αποδείχθηκε ότι οι «SVM» ταξινομήσεις παράγουν καλύτερα αποτελέσματα. Αν και χρησιμοποιήθηκαν πολλά επίπεδα πληροφοριών για τον διαχωρισμό και κατηγοριοποίηση των τιμών, ήταν αδύνατο να παραχθεί οπτικά η ακριβής αντιπροσώπευση των τάξεων. Ο λόγος οφείλεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα με μέτρια ανάλυση («mid resolution») έχουν πολλούς περιορισμούς και φέρουν δυσκολίες στις ταξινομήσεις τέτοιων τοπίων με απότομες και ασαφείς αλλαγές στα όρια χρήσεων γης. Άλλος ένας λόγος είναι το μέγεθος της κλίμακας της περιοχής. Η ταξινόμηση σε μεγάλες περιοχές καθίσταται δύσκολη και συνιστάται να χωρίζεται με ευρύτερη περιοχή σε υποπεριοχές μελέτης και μεμονωμένης ανάλυσης. Βασική και κύριοι χώροι εξόρυξης ορίστηκαν σε νέες υποπεριοχές ώστε να εφαρμοστούν καλύτερα οι τεχνικές ταξινόμησης και εντοπιστούν οι θεματικές τάξεις.

Με την συνδυαστική χρήση ταξινομήσεων επιτυγχάνεται καλύτερα και πιο μεθοδευμένα ή κατηγοριοποίηση και ο ορισμός των χρήσεων γης που χρειάζεται να ταξινομηθούν. Τόσο η χρήση της «object oriented» ταξινόμησης δημιουργώντας «segments» με την διαδικασία κατακερματισμού της εικόνας «segmentation», όσο και η δημιουργία δέντρων αποφάσεων «decision trees» μπορούν να επιφέρουν αποτελέσματα ταξινομήσεων είτε μεμονωμένα, είτε συνδυαστικά με άλλους τύπους ταξινομήσεων. Οι τύποι ταξινόμησης όπως είναι τα «SVM» και «ANN» παρέχουν το επίπεδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης αλλά με τις «ruled based» τεχνικές, η διαχείριση των χαρακτηριστικών και η δυνατότητα τροποποίησης των αναγκών της ταξινόμησης είναι μεγαλύτερη.

Τέλος όσο πιο αντιπροσωπευτικά είναι τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων για την διαχρονική παρατήρηση των αλλαγών χρήσεων γης, τόσο πιο καλή θα είναι η αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των τιμών για να οριστούν οι νέες κατηγορίες. Η διεργασίες εξόρυξης που λαμβάνουν χώρα στο νησί παρουσίασαν σημεία αλλαγών στην έκτασή τους. Σε πολλές περιοχές εξακολουθούν να υπάρχουν λατομεία αλλά ο περιβάλλοντας χώρος τροποποιείται με το πέρασμα των χρόνων. Κάποια σημεία αποκτούν την φύση του γυμνού εδάφους και κάποια παρουσιάζουν βλάστηση που οφείλεται είτε σε διεργασίες αποκατάστασης τοπίου είτε σε φυσική αναβλάστηση και ειδικά σε περιοχές που έχουν εγκαταλειφθεί μεγάλο χρονικό διάστημα. Για να γίνει πιο αναλυτική μελέτη και παρατήρηση των αλλαγών χρειάζεται ο διαχωρισμός σε υποπεριοχές μελέτης, αν η περιοχή είναι μεγάλης κλίμακας και η ανάκτηση δεδομένων σε πιο κοντινά χρονικά διαστήματα.

Όλα τα αποτελέσματα και η μελέτη θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παρατήρηση των διεργασιών εξόρυξης και εξάπλωσης των λατομείων της Μήλου. Υπάρχουν πολλές διαδικασίες ακόμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση ή την αλλαγή του τρόπου προσέγγισης τόσο με την επεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων όσο και με την δυνατότητα της κατασκευής πιο εμπειριστατωμένης γεωγραφικής βάσης δεδομένων. Σίγουρα η χρήση υπερφασματικών δεδομένων (εικόνες πολύ υψηλής) και πολυφασματικών δεδομένων (εικόνες υψηλής ανάλυσης) εξυπηρετεί πολύ περισσότερο όσο η περιοχή και το τοπίο είναι πιο δυσμενές για επεξεργασία και ανάλυση.

Στην παρούσα μελέτη η ανάλυση και η επεξεργασία έγινε με χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat TM, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από άλλα δορυφορικά συστήματα όπως τον SPOT (Systeme Pour l' Observation de la Terre) του Γαλλικού Οργανισμού CNES (Centre National D' Etudes Spatiales) ή τον Rapid Eye τα οποία παρέχουν δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης. Επίσης δορυφορικά συστήματα πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης όπως τον IKONOS και τον GeoEye-1 της GeoEye καθώς και τους Worldview-2, Worldview-1 και QuickBird μπορούν να παρέχουν δεδομένα που εξυπηρετούν καλύτερα στην ανάλυση και ταξινόμηση των εικόνων.

Δημιουργώντας τα επίπεδα με τους ραδιομετρικούς δείκτες χρησιμοποιήθηκαν τα 6 κανάλια φασματικών συχνοτήτων και υπολογίστηκαν οι NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και Tasseled Cap. Επί πλέον δημιουργήθηκαν δείκτες όπως ο Fractional vegetation cover και οι δείκτες NDBI (Normalized built-up index), NBI (New Built-up index), NBAI (Normalized Built-up Area Index) και BRBA (Band Ratio Built-up Area) που χρησιμοποιήθηκαν για τα εδάφη και τις αστικές περιοχές. Έτσι δημιουργήθηκαν οι φασματικές απεικονίσεις ή φασματικά επίπεδα ώστε να αυξηθεί διαχωριστικότητα των τάξεων των δεδομένων. Για άλλες προοπτικές συνέχισης της εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθούν μόνο οι δείκτες βλάστησης (NDVI, Tasseled Cap, Fractional Vegetation) σε μελέτες που επικεντρώνονται στην εξέλιξη και κατάσταση της βλάστησης ενώ με συνδιασμό των υπόλοιπων δεικτών μπορούν να αναλυθούν χρήσεις γης που αφορούν αστικές περιοχές και τύπους εδαφών. Άλλοι δείκτες που μπορούν να εξεταστούν είναι ο NDSI (Normalized Difference Soil Index) και ο Soil Index που χρησιμοποιούνται για την ανάδειξη περιοχών με διαφορετικούς τύπους εδαφών. Ο υπολογισμός του Soil Index εμπεριέχει το θερμικό υπέρυθρο (κανάλι 6) που δεν χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Κατά την διαδικασία των ταξινομήσεων υπάρχει η δυνατότητα για διαφορετικό διαχωρισμό των τάξεων που αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές κατηγορίες πάνω στη γήινη επιφάνεια. Ένα παράδειγμα είναι η ανάλυση των περιοχών με εδάφη καθώς και η περιοχές με βλάστηση. Οι ταξινομήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα «ANN», η «SVM» και μετά την επιλογή της πιο αποτελεσματικής εκ των δύο, πραγματοποιήθηκε συνδιασμός ταξινομήσεων με την «Decision Tree» διαδικασία χρησιμοποιώντας τα επίπεδα δεδομένων που είχαν δημιουργηθεί κατά των διαμερισμό «Segmentation». Τόσο κατά την διαδικασία των ταξινομήσεων, όσο και την διαδικασία του διαμερισμού, οι τύποι ταξινομήσεων αλλά και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν υπάρχει η δυνατότητα να αλλάξουν ή να τροποποιηθούν. Ο τύπος της «SVM» ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκε είναι η «Radial Basis Function» με τις αντίστοιχες παραμέτρους, ενώ μπορούν να οριστούν διαφορετικοί παράμετροι και διαφορετικοί τύποι όπως είναι ο Γραμμικός «Linear», του Πολυωνύμου «Polynomial» και το Σιγμοειδές «Sigmoid». Στην «ANN» ταξινόμηση ο τύπος ενεργοποίησης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Λογιστικός «Logistic» ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο Υπερβολικός «Hyperbolic» με τις αντίστοιχες παραμέτρους. Τέλος στην διαδικασία του κατακερματισμού της εικόνας χρησιμοποιήθηκαν για κάθε ημερομηνία τα επίπεδα δεδομένων που είχαν δημιουργηθεί από τον δείκτη «NDVI». Για τον διαμερισμό των δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα επίπεδα δεδομένων ή όποια χρειάζεται ο χρήστης καθώς και να οριστούν διαφορετικά κατώφλια στις τιμές των δεδομένων ανάλογα τις ανάγκες της εκάστοτε εργασίας. Διαμερισμός σε πολλά επίπεδα δεδομένων μπορεί να επιφέρει πιο αναλυτική επεξεργασία και πιο λεπτομερή ταξινόμηση των κλάσεων που χρειάζεται. Πιο λεπτομερής διαμερισμός σε συνδιασμό με την «Decision Tree» ταξινόμηση και με διαφορετικούς αλγόριθμους αποφάσεων από αυτούς που ορίστηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη μπορούν να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα ταξινομήσεων.

Οι ανώτερες αναφορές για μελλοντική συνέχιση της εργασίας έχουν δύο κύριους σκοπούς. Ο πρώτος είναι η πιο λεπτομερή ανάλυση των δεδομένων ώστε να γίνονται πιο αντιπροσωπευτικά στις διαδικασίες των ταξινομήσεων και ο δεύτερος είναι η διερεύνηση των τύπων δεδομένων ή των μεθόδων που προσεγγίζουν καλύτερα στη μελέτη της παρακολούθησης της δραστηριότητας εξόρυξης και της αποκατάστασης τοπίου σε ανοικτά ορυχεία.

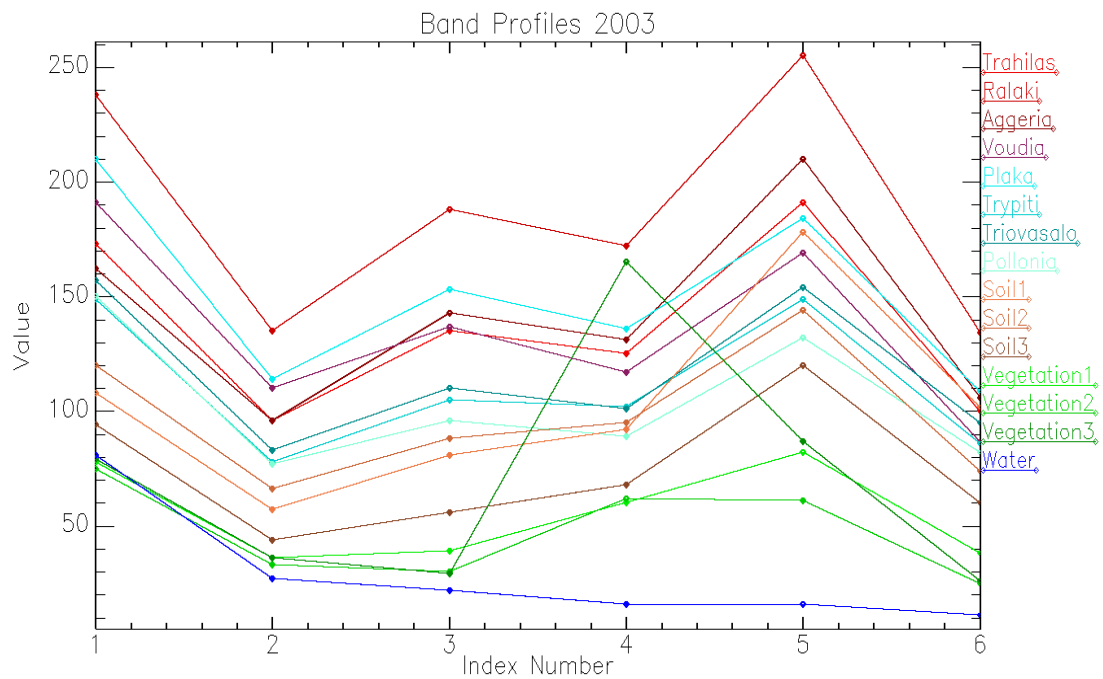
Βιβλιογραφία

- Αδάμος Αθανάσιος, 2006. Αλγόριθμοι ταξινόμησης δεδομένων υπερφασματικής απεικόνισης για την ανίχνευση, τμηματοποίηση και ταυτοποίηση χαρακτηριστικών διαγνωστικής σημασίας. *Διπλωματική Εργασία*.
- Abdullah F. Alqurashi, Lalit Kumar, 2013. Investigating the use of remote sensing and GIS techniques to detect land use and land cover change: A Review. *Advances in remote sensing*, 2013, 2, 193-204.
- Bannari A., Morin D., Bonn F., Hueteb A. R., 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13 (1), 95-120.
- Candade Nivedita, Dixon Barnali, 2004. MULTISPECTRAL CLASSIFICATION OF LANDSAT IMAGES: A COMPARISON OF SUPPORT VECTOR MACHINE AND NEURAL NETWORK CLASSIFIERS. *ASPRS Annual Conference Proceedings*.
- Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B. and Lambin E., 2004. Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (9), 1565-1596.
- Crist E.P., and Cicone R.C., 1984. A physically-based transformation of thematic mapper data - the TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, GE-22, 256–263.
- Demirel Nuray, Kemal Emil M., Sebnem Duzgun H., 2010. Surface coal mine area monitoring using multi-temporal high-resolution satellite imagery. *International Journal of Coal Geology (2010)*.
- Drobne Samo and Lisec Anka, 2009. Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging. *Informatica* 33, 459-474.
- Du Peijun, Zhang Huapeng, Liu Pei, Tan Kun and Yin Zuoxia, 2007. Land Use/Cover Change in Mining Areas Using Multi-source Remotely Sensed Imagery. *Published in: Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images, 2007. MultiTemp 2007. International Workshop*.
- Duncan Edward E., Kuma Jerry S., Primpong Seth, 2009. *Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 36 (3), 1-10.
- ENVI User's Guide, 2004. ENVI 4.1 User's guide. USA: Research Systems Inc.
- ENVI User's Guide, 2008. ENVI on-line software user's manual. USA: Research Systems Inc.
- Gould William A., Martinuzzi Sebastian, and Pares-Ramos Isabel K., 2012. Land Use, Population Dynamics, and Land-Cover Change in Eastern Puerto Rico. *Water Quality and Landscape Processes of Four Watersheds in Eastern Puerto Rico*, Chapter B 29-41.
- Jose M., Garcia-Ruiz, 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena* 81, 1-11.
- Kalidas Pakhale Gaurav, Kumar Gupta Prasun, 2010. Comparison of Advanced Pixel Based (ANN and SVM) and Object-Oriented Classification Approaches Using Landsat-7 Etm+ Data. *International Journal of Engineering and Technology*, 2 (4), 245-251.
- Kauth R.J., and Thomas G.S., 1976. The tasseled cap - a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. *In: Proceedings on the symposium on machine processing of remotely sensed data*, 29 June–1 July, West Lafayette, Indiana. West Lafayette, Indiana: LARS, Purdue University, 41–51.
- Kervyn M., Kervyn F., Goossens R., Rowland K. and Ernst G. J., 2007. Mapping volcanic terrain using high-resolution and 3D satellite remote sensing. *Geological Society of London, Special Publications*, 283, 5-30.
- Kontoes C. C., 2008. Operational land cover change detection using change vector analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (16), 4757-4779.
- Lemonsu A., Leroux A., Belair S., Trudel S., Mailhot J., 2008. A general methodology of urban land cover type classification for atmospheric modeling. *Canadian Urban Flow and Dispersion Model (CUDM), CRTI scientific report*.

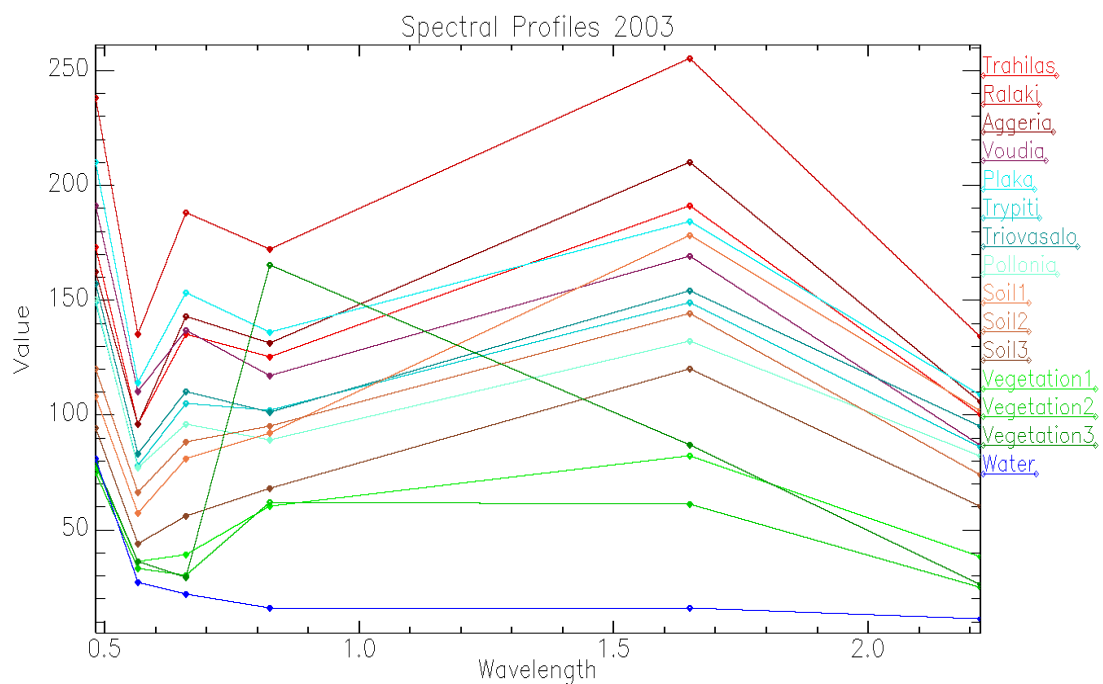
- Lillesand Thomas M., Kiefer Ralph W., 1999. *Remote Sensing and Image Interpretation (4th Edition)*.
- Long-qian Chen, Li Wang, Lin-shan Yuan, 2009. Analysis of Urban landscape pattern change in Yanzhou city based on TM/ETM+ images. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1, 1191-1197.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E. and Moran E., 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (12), 2365-2401.
- Lu D. and Weng Q., 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28 (5), 823-870.
- Mas J.F., 1999. Monitoring land-cover changes: A comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20 (1), 139-152.
- Mirza Muhammad Waqar, Mirza Johum Fatimah, Mumtaz Rafia and Hussain Ejaz, 2012. Development of New Indices for Extraction of Built-Up Area & Bare Soil from Landsat Data. *Open Access Scientific Reports* 1 (1).
- Myburgh Gerhard, Van Niekerk Adriaan, 2013. Effect of Feature Dimensionality on Object-based Land Cover Classification: A Comparison of Three Classifiers. *South African Journal of Geomatics* 2 (1).
- Petropoulos George P. and Kalaitzidis Chariton, 2012. Multispectral vegetation indices in remote sensing: An overview. *Ecological Modeling*. WenJun Zhang, pp 15-39.
- Petropoulos George P., Partsinevelos Panagiotis and Mitraka Zinovia, 2012. Change detection of surface mining activity and reclamation based on a machine learning approach of multi-temporal Landsat TM imagery. *Geocarto International*, 1-20, First article.
- Purkis Samuel, Klemas Victor, 2011. Remote sensing and global environmental change.
- Rahman As-syakur Abd., Wayan Sandi Adnyana, Wayan Arthana and Wayan Nuarsa, 2012. Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI) for Mapping Built-Up and Bare Land in an Urban Area. *Remote Sensing*, 4, 2957-2970.
- Richards J.A., 1999. Remote Sensing Digital Image Analysis, *Springer-Verlag, Berlin*, p.240.
- Rivas V., Cendrero A., Hurtado M., Cabral M., Giménez J., Forte L., del Rio L., Cantu M., Becker A., 2006. *Geomorphology* 73, 185–206.
- Rogers AS, Kearney, 2004. MS Reducing signature variability in Un-mixing coastal marsh Thematic Mapper scenes using spectral indices. *International Journal of Remote Sensing* 25: 2317-2335.
- Rumelhart D. and Mc Clelland J., 1987, Parallel Distributed Processing Vol. 1, *MIT Press*, Chp. 8 "Learning Internal Representation by Error Propagation", Rumelhart, Hinton and Williams.
- Sarma Kiranmay, 2005. Impact of Coal Mining on Vegetation: A Case Study in Jaintia Hills District of Meghalaya, India. *INTERNATIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND EARTH OBSERVATION ENSCHEDE, THE NETHERLANDS, INDIAN INSTITUTE OF REMOTE SENSING, NATIONAL REMOTE SENSING AGENCY (NRSA), DEPARTMENT OF SPACE, DEHRADUN, INDIA*.
- Sarp Gulcan, 2012. Determination of Vegetation Change Using Thematic Mapper Imagery in Afşin-Elbistan Lignite Basin; SE Turkey. *Department of Geodesy and Geographic Information Technologies. Procedia Technology*, 1, 407-411.
- Silleos Nikolaos G., Alexandridis Thomas K., Gitas Ioannis Z., Perakis Konstantinos, 2006. Vegetation Indices: Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30 Years. *Geocarto International*, 21 (4), 21-28.
- Singh Ashbindu, 1989. Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10 (6), 989-1003.

- Szuster Brian W., Chen Qi, Borger Michael, 2011. A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones. *Applied Geography* 31, 525-532.
- Townsend Philip A., Helmers David P., Kingdon Clayton C., McNeil Brenden E., Kirsten M. de Beurs, Eshleman Keith N., 2009. Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976–2006 Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 113, 62-72.
- Weng Qihao, 2010. Remote Sensing and GIS Integration, Theories, Methods, and Applications. *The McGraw-Hill Companies, Inc.*
- Xie Yichun, Sha Zongyao and Yu Mei, 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, 1 (1), 9–23.
- Xiong Yongzhu, Zhang Zhengdong and Chen Feng, 2010. Comparison of Artificial Neural Network and Support Vector Machine Methods for Urban Land Use/Cover Classifications from Remote Sensing Images. *IEEE, A Case Study of Guangzhou, South China. International Conference on Computer Application and System Modeling.*

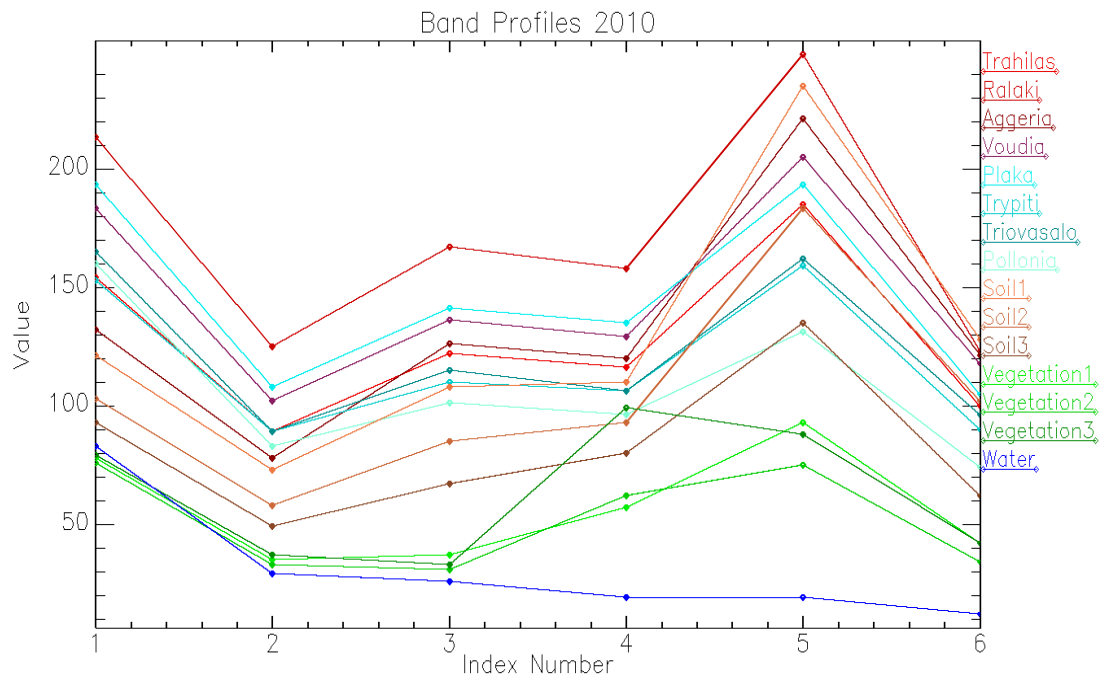
Παράρτημα



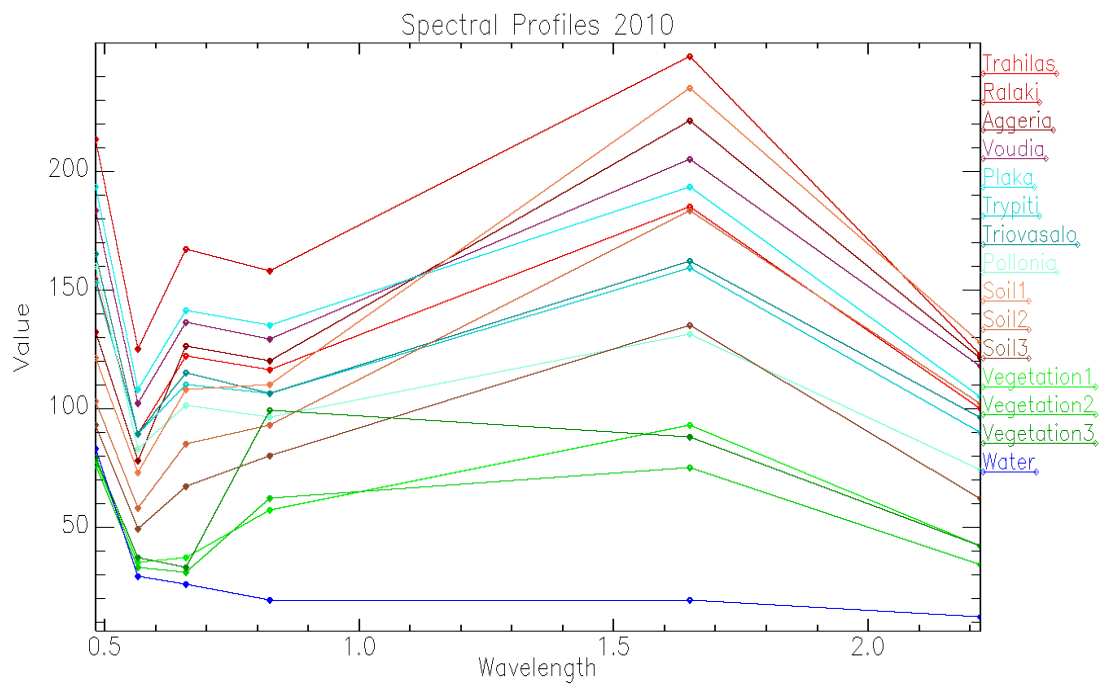
Διάγραμμα 1. Τιμές φωτεινότητας 2003



Διάγραμμα 2. Φασματικές υπογραφές 2003



Διάγραμμα 3. Τιμές φωτεινότητας 2010



Διάγραμμα 4. Φασματικές υπογραφές 2010

(Ζεύγη Σύγκρισης Διαχωρισμού - «Jeffries–Matusita», «Transformed Divergence»)

1987

«Mining» και «Urban» - 1,79944773, 1,99165799
 «Rocks/Sand» και «Urban» - 1,95093034, 1,99999998
 «Mining» και «Rocks/Sand» - 1,96365045, 1,99999973
 «LowVegetation/Crops» και «Vegetation» - 1,99885178, 2,00000000
 «Soil» και «Urban» - 1,99910181, 2,00000000
 «Rocks/Sand» και «Soil» - 1,99979788, 2,00000000
 «Mining» και «Soil» - 1,99992310, 2,00000000
 «Soil» και «LowVegetation/Crops» - 1,99999999, 2,00000000
 Τα υπόλοιπα ζεύγη και για τους δύο δείκτες είναι 2,0

2003

«Mining» και «Urban» - 1,90031552, 1,99625904
 «Rocks/Sand» και «Urban» - 1,90056645, 1,99999736
 «Mining» και «Rocks/Sand» - 1,97687259, 2,00000000
 «LowVegetation/Crops» και «Vegetation» - 1,99952161, 2,00000000
 «Mining» και «Soil» - 1,99985437, 2,00000000
 «Soil» και «Urban» - 1,99997270, 2,00000000
 «Rocks/Sand» και «Soil» - 1,99997987, 2,00000000
 «Soil» και «LowVegetation/Crops» - 1,99999995, 2,00000000
 Τα υπόλοιπα ζεύγη και για τους δύο δείκτες είναι 2,0

2010

«Mining» και «Urban» - 1,81900178, 1,98644658
 «Rocks/Sand» και «Urban» - 1,95705379, 2,00000000
 «Mining» και «Rocks/Sand» - 1,97200288, 2,00000000
 «LowVegetation/Crops» και «Vegetation» - 1,99488696, 2,00000000
 «Rocks/Sand» και «Soil» - 1,99854040, 2,00000000
 «Mining» και «Soil» - 1,99899924, 2,00000000
 «Soil» και «Urban» - 1,99913621, 2,00000000
 «Soil» και «LowVegetation/Crops» - 1,99999982, 2,00000000