

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
*«Εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στους Φυσικούς Πόρους»*

### **Μεταπτυχιακή διατριβή:**

“Χαρτογράφηση της αναβλάστησης του φυσικού οικοσυστήματος της περιοχής Πάρνηθας Αττικής με χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων και γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων”

**Ξενούλης Ν. Μιχαήλ**

Επιβλέποντες:

Κόλλια Βασιλική – Πετρόπουλος Γεώργιος

## **Μεταπτυχιακή διατριβή:**

“Χαρτογράφηση της αναβλάστησης του φυσικού οικοσυστήματος της περιοχής Πάρνηθας Αττικής με χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων και γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων”

## **Thesis:**

‘Vegetation regeneration mapping of Mount Parnitha region from satellite observations with G.I.S. analysis’

**Ξενούλης Ν. Μιχαήλ**

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Κόλλια Βασιλική  
Καλύβας Διονύσιος  
Βάλμης Σπυρίδων

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη .....	i
Abstract .....	ii
Ευχαριστίες .....	iii

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Εισαγωγή

1.1. Η σημασία της χαρτογράφησης των πυρκαγιών (σε Μεσογειακό και όχι μόνο περιβάλλον) και σύνοψη προβλήματος .....	1
1.2. Στόχοι μεταπτυχιακής εργασίας .....	6
1.3. Περιγραφή περιοχής μελέτης .....	6
1.3.1. Η πυρκαγιά τον Ιούνιο του 2007 .....	9

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Βιβλιογραφική Αναφορά

2.1. Τηλεπισκόπηση (εισαγωγή, βασικές έννοιες) .....	10
2.2. Η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης για τη χαρτογράφηση και παρακολούθηση της αναβλάστησης μετά από πυρκαγιά .....	13
2.3. Η σημασία και ο ρόλος των GIS στη χαρτογράφηση και τη μελέτη της αναβλάστησης καμένων περιοχών .....	15
2.4. Σύνοψη κεφαλαίου για τη σημαντικότητα της συγκεκριμένης μελέτης .....	16

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Συλλογή & Διαχείριση Δεδομένων

3.1. Γενική περιγραφή .....	19
3.2. Περιγραφή – συλλογή δεδομένων .....	19
3.2.1. Περιγραφή δορυφορικού αισθητήρα LANDSAT TM .....	20
3.2.2. Περιγραφή ASTER DEM .....	25
3.2.3. Περιγραφή CORINE 2000 (100m version) .....	26
3.3. Προεπεξεργασία δεδομένων .....	28
3.3.1. Μετατροπή των Digital Numbers (DNs) μιας εικόνας σε ανάκλαση - top of the atmosphere reflectance (TOA) / Διαδικασία Calibration.....	28
3.3.2. Αποκοπή (Subset) τμήματος στην περιοχή μελέτης από τις εικόνες.....	30
3.3.3. Δείκτες Βλάστησης .....	31
3.3.4. Υπολογισμός κλίσης και έκθεσης προσανατολισμού από ASTER DEM.....	32
3.3.5. Ενοποίηση συνόλου δεδομένων (Layer stacking data) .....	33
3.4. Κύρια τμήματα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων .....	34
3.4.1. Διαδικασία ταξινόμησης εικόνων .....	34
3.4.2. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised classification) .....	35
3.4.3. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Supervised classification) .....	38
3.4.3.1. Συμπεράσματα Ταξινόμησης .....	53
3.5. Εξαγωγή καμένης έκτασης .....	54
3.6. Σύνοψη διαδικασιών κεφαλαίου .....	55

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Παρουσίαση & Ανάλυση Τελικών Αποτελεσμάτων

4.1. Εισαγωγή – σύντομη περιγραφή.....	57
4.2. Χαρτογράφηση βλάστησης εντός καμένης έκτασης.....	57
4.3. Εκτίμηση της βιομάζας για την αναβλάστηση της καμένης έκτασης (με χρήση του δείκτη βλάστησης NDVI) .....	62
4.4. Μεταβολή της αναβλάστησης στα διαφορετικά είδη βλάστησης που κάηκαν από την πυρκαγιά.....	64
4.5. Διερεύνηση της επίδρασης της τοπογραφίας στην αναβλάστηση της περιοχής μελέτης.....	70
4.6. Συμπεράσματα κεφαλαίου .....	80

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Συμπεράσματα & Προοπτικές Συνέχισης της Εργασίας

5.1. Εισαγωγή .....81

5.2. Κύρια συμπεράσματα από την εργασία που πραγματοποιήθηκε.....81

Βιβλιογραφία .....84

Παράρτημα Α – Απεικόνιση περιοχής μελέτης μέσω δορυφορικών εικόνων  
LANDSAT TM .....88

Παράρτημα Β – Πίνακες αξιολόγησης.....90

Παράρτημα Γ – Θεματικοί χάρτες μεταβολής δείκτη βλάστησης NDVI .....93

## Περίληψη

Οι φυσικές πυρκαγιές γενικά αποτελούν μια από τις πιο συχνές περιβαλλοντικές καταστροφές και χαρακτηρίζονται ως μία από τις κύριες πηγές διατάραξης των φυσικών οικοσυστημάτων, πολύ δε περισσότερο στην περιοχή της Μεσογείου. Η συμβολή της χρήσης τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης είναι σημαντική σε προβλήματα που αφορούν την διαχείριση και ανάλυση των φυσικών πυρκαγιών και την παρακολούθηση της αναβλάστησης των περιοχών που επλήγησαν.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη της αναβλάστησης της καμένης έκτασης του Όρους Πάρνηθα στο Νομό Αττικής με τη συνδυαστική χρήση δορυφορικών δεδομένων και Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (Γ.Π.Σ.). Το όρος Πάρνηθα είναι μια περιοχή της Ελλάδας η οποία επλήγη δραματικά από τις καταστροφικές δασικές πυρκαγιές το καλοκαίρι του 2007. Η επιλογή της ως πιλοτική περιοχή έγινε με κύριο γνώμονα τη μεγάλη σημασία της από οικολογική, περιβαλλοντική και πολιτιστική άποψη. Η περιοχή αυτή συνιστά έναν από τους λίγους Εθνικούς Δρυμούς της Ελλάδας και ανήκει στο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000.

Για την εκπλήρωση των στόχων της παρούσης εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα διαφορετικών ημερομηνιών λήψης από τον δορυφορικό πολυφασματικό δέκτη LANDSAT TM σε συνδυασμό με λοιπά διαθέσιμα δεδομένα εδάφους της πιλοτικής περιοχής. Στα πλαίσια της μελέτης, αναλύθηκαν παράγοντες με χρήση αλγεβρικών συνδυασμών φασματικών διαύλων, όπως ο υπολογισμός του δείκτη βλάστησης NDVI για την ανίχνευση, οριοθέτηση και εκτίμηση της καμένης περιοχής. Επίσης εξετάστηκε η επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής στην αναβλάστηση. Οι χαρτογραφικές συνθέσεις που δημιουργήθηκαν με τη χρήση Γ.Π.Σ., μπορούν δυνητικά να αποτελέσουν ένα πολύτιμο εργαλείο στη διάθεση των τοπικών φορέων για την μελλοντική παρακολούθηση της πληγείσας περιοχής.

*Λέξεις Κλειδιά:* Δασικές πυρκαγιές, Χαρτογράφηση καμένης έκτασης, Landsat TM, Δείκτης βλάστησης NDVI

## **Abstract**

Generally natural wildfires are one of the most environmental hazards and are characterized as the source of disturbance of physical ecosystems, especially in Mediterranean basin. The contribution of satellite remote sensing is important in different issues and problems concerning the operation and analysis of wildfires and the monitoring of vegetation regeneration of burnt area.

The aim of this thesis is to study, in combined use of remote sensing and GIS, the vegetation regeneration of burnt area of Mount Parnitha of Attica prefecture, a region in Greece, which burnt dramatically from hazardous wildfires in summer of 2007. The choice of Mount Parnitha, as case study, was due to the large significance of that region from ecological, environmental and cultural view. This region is a National forest of Greece and a protected region in Natura 2000 network.

Carrying out the aims of this study, remote sensing data from different download dates coming from multispectral LANDSAT TM were used. These data were combined with ground data of the region. In this study, mathematical spectral data, such as the vegetation index NDVI were analyzed for the monitoring and estimation of the burnt area. Also the effect of topographic factors in vegetation regeneration was examined. Moreover maps that were created with GIS might be a valuable tool in local authorities for future studies of the burnt area.

*Key Words:* Forest fires, Burnt area mapping, Landsat TM, Vegetation index NDVI

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Πετρόπουλο Γεώργιο για την πολύτιμη βοήθειά του και συμβουλές που μου διέθεσε, σ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μελέτης.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Κόλλια Βασιλική – καθηγήτρια και κ. Καλύβα Διονύσιο – επίκουρο καθηγητή για την άρτια συνεργασία μας και το κ. Βάλμη Σπυρίδων – καθηγητή για τις επιμέρους διορθώσεις και κατευθύνσεις που μου 'δωσε για τη παρουσίαση της τελικής μορφής της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου, που συμπαραστάθηκαν δίπλα μου όλο το χρονικό διάστημα εκπόνησης της εργασίας αλλά και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία έγινε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος με τίτλο «Εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στους Φυσικούς Πόρους» του τμήματος «Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής (Α.Φ.Π. & Γ.Μ.)» του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Ο κύριος στόχος αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, από τη χαρτογράφηση και την επεξεργασία στατιστικών στοιχείων αλλά και μέσω διαγραμμάτων μεταβολής για την αναβλάστηση της καμένης έκτασης του εθνικού δρυμού της Πάρνηθας.

Υπολογίστηκε ο ρυθμός αναβλάστησης της καμένης έκτασης, μέσω επεξεργασίας δορυφορικών απεικονίσεων πριν και μετά την πυρκαγιά, σε περιβάλλον ταξινόμησης εικόνας, σε συνδυασμό με τη χρήση τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.)

## **1.1. Η σημασία της χαρτογράφησης των πυρκαγιών (σε Μεσογειακό και όχι μόνο περιβάλλον) και σύνοψη προβλήματος**

Η δασική πυρκαγιά ως φυσικό φαινόμενο είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον, με αποτέλεσμα τη διαταραχή σύνθεσης της ισορροπίας στη φύση και τη μακροχρόνια υποβάθμιση στη λειτουργία και δομή των οικοσυστημάτων.

Η πυρκαγιά προκαλεί και οικολογικές ανισορροπίες στο φυσικό περιβάλλον, εκτός από κοινωνικές, οικονομικές και κλιματικές αλλαγές. Παρατηρείται μείωση στην ποσότητα οργανικής ουσίας στην επιφάνεια του εδάφους και καταστροφή της βιομάζας. Διαταράσσεται η βιοποικιλότητα αλλά και η ευεργετική λειτουργία του δάσους. Υποβαθμίζεται το έδαφος ως προς τη γονιμότητα του, μιας και επηρεάζονται οι φυσικές και χημικές ιδιότητές του. Παρουσιάζεται αύξηση της διάβρωσης από τη βροχή και τον άνεμο και η υδατοπερατότητα του φυσικού περιβάλλοντος επηρεάζεται από τις ουσίες που συγκεντρώνονται στο στρώμα της επιφάνειας μετά την πυρκαγιά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει περισσότερη ξηρασία και διάβρωση. Επίσης υπάρχει απώλεια της πανίδας και γενικότερα το περιβάλλον διαβίωσης των ειδών καταστρέφεται (Δούβαλης, 2009; Χρονοπούλου, 2007).

Η πυρκαγιά δυστυχώς προκαλεί σοβαρές και δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη κοινωνία γενικότερα, έτσι ώστε ν' απασχολεί πολλούς ειδικούς επιστήμονες.

Επομένως η ανησυχία είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στο παρελθόν, για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και τη διαχείριση των δασικών πόρων, όπως η χαρτογράφηση και αποκατάσταση των καμένων περιοχών, αμέσως μετά την πυρκαγιά. Αυτό γίνεται με τη λήψη δεδομένων ακριβείας των καμένων περιοχών.

Η υψηλή συχνότητα των πυρκαγιών ιδιαίτερα στην ευρύτερη περιοχή της μεσογειακής λεκάνης, θέση που βρίσκεται και η Ελλάδα, αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο με σημαντικό ρόλο για την ισορροπία και την αναγέννηση των Μεσογειακών οικοσυστημάτων.

Πρόκειται για ένα επαναλαμβανόμενο γεγονός που είναι στενά συνδεδεμένο με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σ' αυτές τις περιοχές π.χ. περίοδοι ξηρασίας το καλοκαίρι, που ευνοούν την εκδήλωση πυρκαγιών και καύση της βλάστησης (βιομάζας) (Petropoulos et al., 2010; www.1).

Το μεσογειακό κλίμα, παρουσιάζει έντονες εναλλαγές στις εποχές του χρόνου (ξηρά θερμά καλοκαίρια με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία και υγροί δροσεροί χειμώνες με χαμηλή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας) και σημαντική μεταβολή στην κατανομή των βροχοπτώσεων. Ο συνδυασμός της διακύμανσης στην τοπογραφία των κατά τόπους περιοχών και της μακράς ιστορίας της ανθρώπινης εκμετάλλευσης των δασών, δημιουργεί τα πιο έντονα διαφοροποιημένα ανθρώπινα φυσικά οικοσυστήματα στον πλανήτη (Vila and Pablo, 2007).

Αυτά τα οικοσυστήματα, είναι προσαρμοσμένα στη φωτιά, με αποτέλεσμα να έχουν συνήθως τη δυνατότητα να αναγεννηθούν άμεσα και αποτελεσματικά μετά από αυτή. Κατά μέσο όρο σε ένα Μεσογειακού τύπου δάσος εμφανίζεται μία πυρκαγιά από φυσικά αίτια κάθε 100 - 150 χρόνια. (www.1)

Οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα αποτελούν μία από τις σημαντικές φυσικές καταστροφές σε ένα κατεξοχήν εύρωστο περιβάλλον από άποψη κλίματος και βλάστησης (αναφορικά ο ορεινός όγκος της Πάρνηθας είχε καεί το 1870), δεδομένου ότι καταστρέφουν ετησίως μεγάλες και πολύτιμες δασικές εκτάσεις. Επηρεάζουν σημαντικά τις επιμέρους λειτουργίες και πολλαπλές χρήσεις του δάσους καθώς ασκούν καθοριστικές επιδράσεις στο φυσικό κύκλο διαδοχής της βλάστησης.

Υπάρχουν πολλοί λόγοι που τα ελληνικά δάση είναι ευάλωτα στις πυρκαγιές, όπως: τα παρατεταμένα θερμά και ξηρά καλοκαίρια, οι ήπιοι χειμώνες (χαρακτηριστικοί του Μεσογειακού κλίματος), οι δυνατοί άνεμοι, το έντονο ανάγλυφο των δασικών εδαφών και η εύφλεκτη βλάστηση.

Όταν σε αυτούς τους παράγοντες προστεθεί και η έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα, η ελλιπής διαχείριση των εύφλεκτων αυτών δασών και η επικράτηση της αντίληψης ότι η προστασία από τις δασικές πυρκαγιές ταυτίζεται με την δασοπυρόσβεση, αυξάνεται ο αριθμός των πυρκαγιών όπως και οι δασικές εκτάσεις που αυτές καταστρέφουν.

Το αποτέλεσμα της πυρκαγιάς σε μια περιοχή οφείλεται στο γεγονός σημαντικών παραμέτρων: όπως δυνατότητα διαχείρισης (απουσία βλάστησης λόγω πυρκαγιάς) και ανάκαμψη του οικοσυστήματος για αναβλάστηση της καμένης έκτασης.

Η αναβλάστηση μιας καμένης περιοχής καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, όπως: η σωστή διαχείριση της καμένης γης με τη δημιουργία αναβαθμών για την αποφυγή κατολισθήσεων και απομάκρυνση των φυτικών γαιών, ενώ κάποιες άλλες είναι οι υπάρχουσες κλιματικές συνθήκες, οι ιδιότητες του εδάφους, η πρόσληψη ηλιακού φωτός, το νερό και τα θρεπτικά στοιχεία των διαφόρων ειδών - ποικιλιών των φυτών.

Η χαρτογράφηση και μελέτη της χωρο-χρονικής μεταβολής της αναβλάστησης μετά από δασικές πυρκαγιές είναι ιδιαίτερα σημαντική, για την παρατήρηση της βιοποικιλότητας των πυρόπληκτων οικοσυστημάτων. Η μελέτη της αναβλάστησης στη καμένη περιοχή γίνεται συνήθως με χρήση δορυφορικών εικόνων και τεχνικών τηλεπισκόπησης (*Mutanga, 2007*).

Η χαρτογράφηση των καμένων περιοχών, έχει ιδιαίτερη σημασία όταν πρόκειται για εκτάσεις που βρίσκονται κοντά σε αστικό ιστό και εντάσσονται στο περιαστικό πράσινο όπως συμβαίνει στην περίπτωση της Πάρνηθας, όπου θα μελετηθεί η διαχρονική μεταβολή για την αναβλάστηση της περιοχής (*Χρονοπούλου, 2007*).

Είναι γνωστός ο ρόλος της πυρκαγιάς, ως ένας από τους σημαντικότερους οικολογικούς παράγοντες που επηρεάζουν το μεσογειακό τοπίο, τις τελευταίες δεκαετίες, το πλήθος, η ένταση, το μέγεθος και η εξάπλωση των πυρκαγιών έχουν αυξηθεί θεαματικά. Αυτό οφείλεται κυρίως στους εξής λόγους:

1. Υπάρχουσες χρήσεις γης
2. Έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα
3. Κλιματολογικές συνθήκες (περίοδοι ξηρασίας)
4. Χαρακτηριστικά καύσιμης ύλης (είδος, ποσότητα, μέγεθος, σχήμα, κατανομή, υφή, συσσώρευση)
5. Τοπογραφικοί παράγοντες (υψόμετρο περιοχής, κλίση εδάφους, έκθεση πλαγιάς) (*Χρονοπούλου, 2007; Vila and Pablo, 2007*).

Στη συγκεκριμένη εργασία εξετάστηκε η επίδραση της τοπογραφίας και πιο συγκεκριμένα της έκθεσης προσανατολισμού (aspect) του τοπίου. Ειδικότερα αναλύθηκε το τμήμα της καμένης έκτασης ανά κατηγορία χρήσης – κάλυψης γης, δηλ. ποιες περιοχές ανάλογα με την έκθεση προσανατολισμού παρουσίασαν γρηγορότερη αναβλάστηση.

Μπορούν να διαχωριστούν σε μικροπρόθεσμες επιπτώσεις, ανάλογα με τα είδη, τον τρόπο και το βαθμό που επηρεάζονται τα είδη βλάστησης και πανίδας.

Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις απ' την άλλη σχετίζονται με ατμοσφαιρικούς παράγοντες, δηλαδή με τις αέριες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, όζοντος, νιτρικών, που μπορούν να προκαλέσουν διαφοροποίηση της χλωρίδας, τοξικότητα του εδάφους και του μικροκλίματος της περιοχής (αύξηση θερμοκρασίας που είναι και το πιο συνηθισμένο φαινόμενο, μείωση επιπέδων υγρασίας).

Επιπτώσεις στην επιφάνεια του εδάφους, είναι η μεταβολή της ποσότητας της οργανικής ουσίας, της υδατοπερατότητας και της διάβρωσης από τον αέρα και τις βροχές. Οι συνέπειες των πυρκαγιών στο έδαφος, προκαλούν ξηρασία και μεγάλη επιφανειακή απορροή.

Συνοψίζοντας εξαιτίας των πυρκαγιών, παρατηρούνται φαινόμενα κλιματικής αλλαγής. Συνεπώς οι πληγείσες περιοχές εμφανίζουν υψηλότερες θερμοκρασίες (καύσωνα), ξηρασία, διάβρωση με τελικό αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η ποιότητα ζωής των ανθρώπινων κοινωνιών (Στυλιανοπούλου, 2008).

Οι μεταβολές στην τοπογραφία μιας περιοχής μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αλλαγές στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς, αφού η φωτιά εξελίσσεται, όπως είναι γνωστό, στην επιφάνεια του εδάφους.

Η προσφερόμενη καύσιμη ύλη διαφέρει ανάλογα με την έκθεση προσανατολισμού. Το έδαφος είναι ξηρό σε νότιες εκθέσεις αφού το εύρος θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερο και η εξάτμιση εντονότερη. Οι νότιες εκθέσεις δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία για περισσότερο χρόνο με αποτέλεσμα να γίνονται ακατάλληλες για τη δασική ανάπτυξη και εν γένει τη βλάστηση, μιας και επικρατούν ξηρές κλιματικές συνθήκες.

Αντιθέτως οι πλαγιές με βόρεια έκθεση παρουσιάζουν περισσότερη υγρασία στο έδαφος, αφού δέχονται λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία, κατά τη διάρκεια της ημέρας, που η θερμοκρασία είναι πιο ομοιόμορφη με μικρότερο εύρος θερμοκρασίας και τα φυτά έχουν πιο ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης (Στυλιανοπούλου, 2008; Χρονοπούλου, 2007).

Αυτό παίζει σημαντικό ρόλο στους υπολογισμούς, εξετάζοντας την έκθεση προσανατολισμού της περιοχής, σχετικά με το ποια πλευρά – πλαγιά, παρουσιάζει γρήγορη αναβλάστηση.

Προκειμένου να γίνει εκτίμηση των επιπτώσεων (κοινωνικών, οικονομικών) των δασικών πυρκαγιών και για την ελαχιστοποίησή τους, πρέπει να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν πολιτικές και μέτρα διαχείρισης με αποτελεσματικό τρόπο και σε διαφορετικά επίπεδα., όπου θα παρέχονται αξιόπιστες πληροφορίες με δυνατότητα σύγκρισης.

Το σύστημα αναφοράς που δημιουργήθηκε από το Κοινό Κέντρο Ερευνών (Joint Research Centre) και το Ινστιτούτο Περιβαλλοντικής Αειφορίας (Institute for Environment and Sustainability - IES) της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) το 2000, που ονομάζεται Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών Δασικών Πυρκαγιών (European Forest Fire Information System – E.F.F.I.S.) είναι ένα μοντέλο παρακολούθησης των πυρκαγιών στα δάση. Γίνεται αποτίμηση στις ζημιές που προκάλεσε η πυρκαγιά και εκτίμηση του μεγέθους της καμένης περιοχής ανά τύπο κάλυψης.

Η αρχική δημιουργία του EFFIS ήταν για την εκτίμηση του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς, σε δασικές εκτάσεις στα κράτη – μέλη της Ε.Ε. σχετικά με τις καιρικές συνθήκες. Μερικές από τις λειτουργίες του είναι η συγκέντρωση στοιχείων και απόδοση χαρτών (με το πώς εξελίσσονται οι πυρκαγιές στα δάση), αλλά και πληροφορίες σχετιζόμενες με τους παράγοντες που συμμετέχουν και επιδρούν στις πυρκαγιές (Στυλιανοπούλου, 2008).

Οι πληροφορίες αυτές είναι σημαντικές, για την εκτίμηση των οικονομικών επιπτώσεων από τη φωτιά και τη θέσπιση νομοθεσίας για την αποκατάσταση των περιοχών που επλήγησαν προκειμένου να αποφευχθεί η μακροπρόθεσμη υποβάθμισή τους από την πυρκαγιά.

Τα φυσικά αίτια ευθύνονται μόνο για το 5% των πυρκαγιών που ξεσπούν στην Ελλάδα. Το υπόλοιπο 95% οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα.

## 1.2. Στόχοι μεταπτυχιακής εργασίας

Ο στόχος της μελέτης ήταν η μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της αναβλάστησης του εθνικού δρυμού της Πάρνηθας μετά από μια πυρκαγιά. Ακολουθήθηκαν οι παρακάτω διαδικασίες:

- i) Χαρτογράφηση της καμένης έκτασης από δορυφορική εικόνα Landsat TM μετά την πυρκαγιά βασιζόμενη σε διαδικασία επιβλεπόμενης ταξινόμησης (χρήση εικόνας - 3 Ιουλίου 2007).
- ii) Εκτίμηση του είδους των χρήσεων γης που κάηκαν (με ανάλυση εικόνας πριν την πυρκαγιά - 16 Μαΐου 2007)
- iii) Παρακολούθηση της αναβλάστησης της καμένης έκτασης με μεθόδους επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων.
- iv) Μελέτη της σχέσης της αναβλάστησης της περιοχής με τοπογραφικές παραμέτρους.

## 1.3. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Ο ορεινός όγκος της Πάρνηθας, όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 1, βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νομού Αττικής, σε απόσταση περίπου 30χλμ. από την Αθήνα. Η έκταση της Πάρνηθας καταλαμβάνει περίπου 300.000 στρέμματα και έχει υψόμετρο 1.413 m., ενώ η κλίση της περιοχής κυμαίνεται από 3 έως 90%.

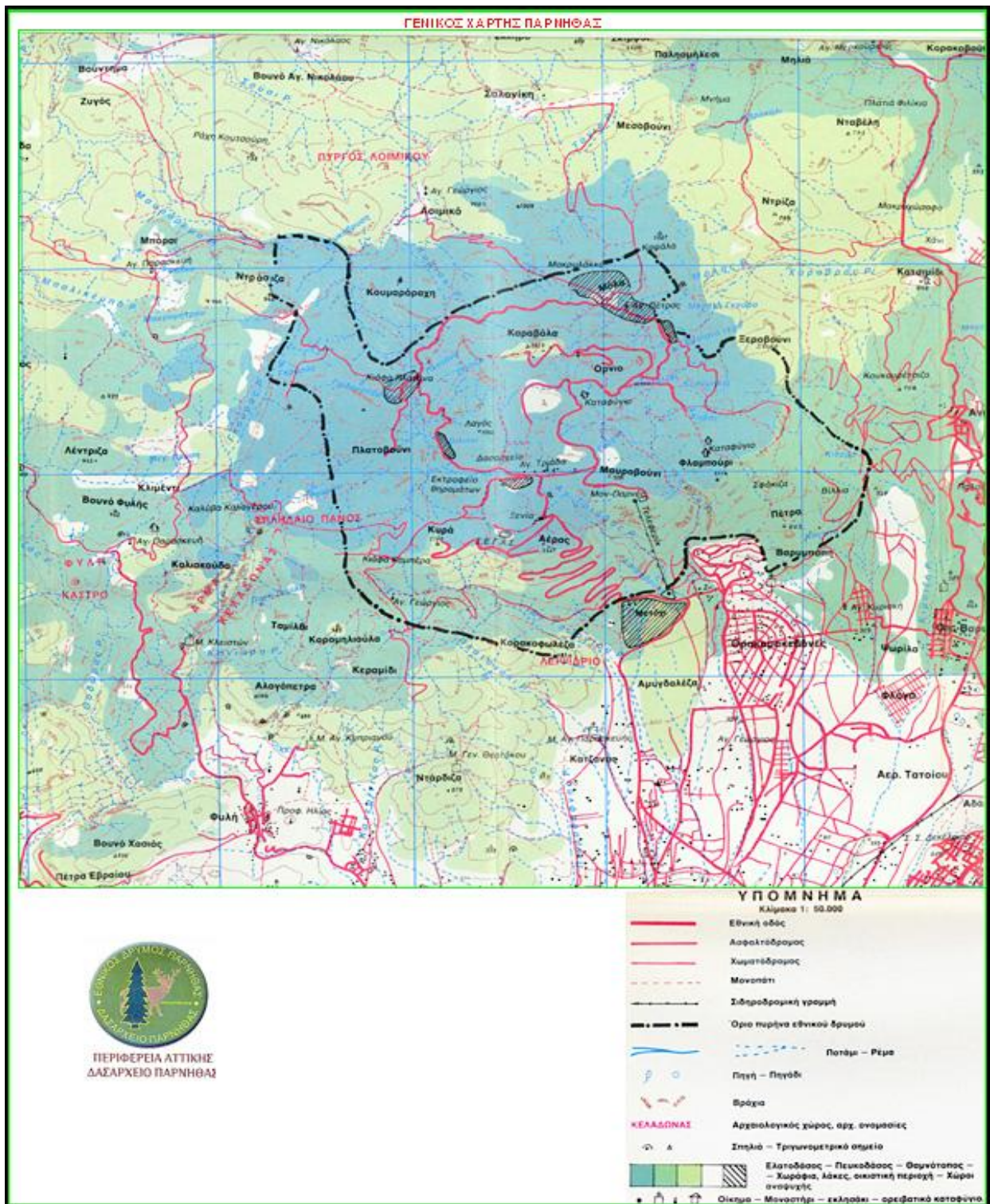


Εικόνα 1: Περιοχή Πάρνηθας (www.2)

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που συνθέτουν τη περιοχή μελέτης, είναι ο χαρακτηρισμός της σε Εθνικό Δρυμό, όπου καταλαμβάνει έκταση περίπου 200.000 στρεμμάτων. Αυτός είναι ένας από τους σημαντικότερους λόγους που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή για τη διαχρονική μελέτη της αναβλάστησης. Επιπροσθέτως έχει ενταχθεί στο δίκτυο Natura 2000, εξαιτίας της ιδιαίτερης βιοποικιλότητας, ενώ αποτελεί σημαντική περιοχή για πολλά σπάνια είδη άγριων ζώων και πτηνών. Εμφανίστηκε με τη μορφή δασικού χάρτη η Εικόνα 2.

Η βλάστηση στην Πάρνηθα είναι αποτέλεσμα επίδρασης πολλών παραγόντων κυρίως της χλωρίδας, του κλίματος, της γεωμορφολογίας – τοπογραφίας του εδάφους και της ανθρώπινης επέμβασης.

Το υψόμετρο όσο διαφοροποιείται, επηρεάζει τα είδη βλάστησης που αναπτύσσονται. Η Πάρνηθα περιλαμβάνει διάφορα είδη φρυγάνων (χαμηλοί θάμνοι) σε χαμηλά υψόμετρα γύρω στα 300 m. καθώς και πευκοδάσος (χαλέπιος πεύκη). Υπάρχουν τμήματα με σκληρόφυλλο αείφυλλο δάσος, ενώ στις υψηλές περιοχές παρατηρούμε ελατοδάσος με υψόμετρο πάνω από 800μ.. Σε περιοχές κάτω από 300m. παρατηρούμε αγροτικές εκτάσεις στα βόρεια και περιαστικές κατοικίες κυρίως στα ανατολικά της Πάρνηθας αντίστοιχα (Ελευθεριάδης, 2007; Χρονοπούλου, 2007).



Εικόνα 2: Δασικός χάρτης Πάρνηθας (www.3)



### 1.3.1. Η πυρκαγιά τον Ιούνιο του 2007

Η φωτιά ξεκίνησε στο τέλος ενός πρόωρου αλλά ιδιαίτερα έντονου και πολυήμερου καύσωνα. Εξαπλώθηκε από μια περιοχή χαμηλού υψομέτρου δίπλα στον οικισμό Στεφάνη Βοιωτίας στις 27 Ιουνίου 2007, στα δυτικά του βουνού. Αφού έκαψε με αργό ρυθμό μια σχετικά επίπεδη και βοσκημένη δασική έκταση, πέρασε το μεσημέρι τις 28ης Ιουνίου 2007 στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας, για να συνεχίσει ανεξέλεγκτη και να κάψει μέσα σε λίγες ώρες ένα πολύ μεγάλο μέρος. Η φωτιά ουσιαστικά σταμάτησε όταν έφθασε στη χαράδρα της Χούνης. Σε αυτό το σημείο συνέπεσε η καθοδική της πορεία (που δεν ευνοούσε την εξέλιξή της) την ώρα που κόπασαν να πνέουν οι άνεμοι. Η κατάσβεση της φωτιάς έγινε στις 1 Ιουλίου 2007 μετά από μεγάλες προσπάθειες τόσο επίγειων όσο και εναέριων μέσων (Δασαρχείο Πάρνηθας, [www.4](#)).

Το αποτέλεσμα από την πυρκαγιά που έγινε στην Πάρνηθα το καλοκαίρι του 2007, ήταν να καταστραφούν περίπου 38.000 στρέμματα από στην έκταση των περίπου 200.000 στρεμμάτων που περιλαμβάνουν τον εθνικό δρυμό. Ένα τμήμα από την περιοχή της Πάρνηθας, εμφανίζεται στην Εικόνα 3.



Πριν τη Φωτιά της 28/06/2007



Μετά τη Φωτιά της 28/06/2007

**Εικόνα 3:** Εθνικός δρυμός Πάρνηθας ([www.5](#))

Το σύνολο των καμένων εκτάσεων στην Ελλάδα, σύμφωνα με το E.F.F.I.S. την ίδια χρονιά, ήταν περίπου 2.700.000 στρέμματα (*Στυλιανοπούλου, 2008*).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Βιβλιογραφική Αναφορά

### 2.1. Τηλεπισκόπηση (εισαγωγή, βασικές έννοιες)

Η Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) είναι η επιστήμη καταγραφής, ανάλυσης (ερμηνείας) και απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα, με τα οποία τα συστήματα καταγραφής δεν έχουν επαφή μαζί τους, με υπολογισμό της ενέργειας, η οποία ανακλάται ή εκπέμπεται από το παρατηρούμενο αντικείμενο (*Καρτάλης και Φείδας, 2006; Μερτίκας, 2006; Συλλαίος, 2000*).

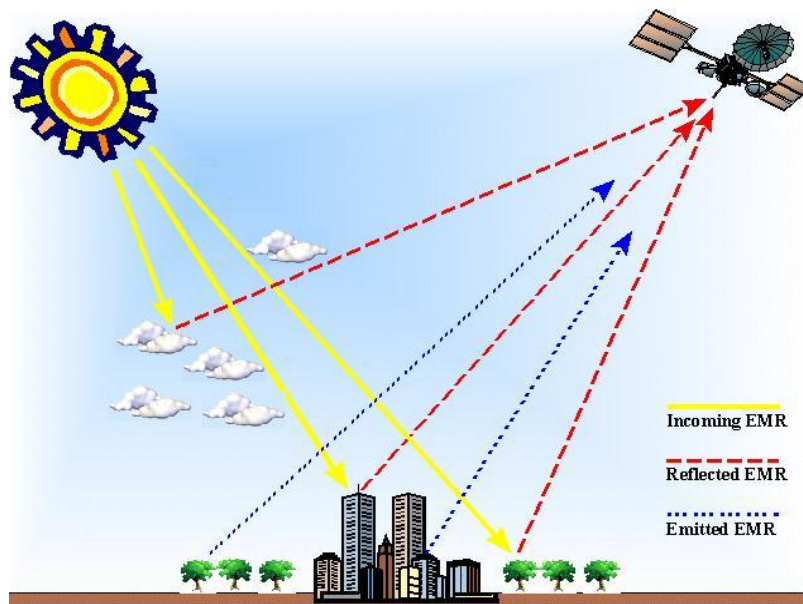
Παραδείγματα παραμέτρων που μπορούν να καταγραφούν άμεσα ή έμμεσα με τηλεπισκοπικές μεθόδους είναι:

α) Χωρική θέση, β) Υψόμετρο, γ) Χρώμα, δ) Φασματική συμπεριφορά της χλωροφύλλης, ε) Βιομάζα, στ) Ποσοστό υγρασίας της βλάστησης, ζ) Ποσοστό υγρασίας του εδάφους, η) Θερμοκρασία, θ) Υφή / δομή διαφόρων στοιχείων (*Συλλαίος, 2000*)

Η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται σε μεγάλο σύνολο επιστημών και εφαρμογών όπως:

- Παρατήρηση ωκεανών (Χαρτογράφηση θαλάσσιου πυθμένα, μετρήσεις θερμοκρασίας στη θαλάσσια επιφάνεια)
- Γεωλογία (ανίχνευση ορυκτών πόρων – κοιτασμάτων - υδρογονανθράκων)
- Περιβαλλοντικές μελέτες
- Τεχνικά έργα
- Μελέτη βλάστησης (*Εδώ θα επικεντρωθεί η ανάλυση της μεταπτυχιακής εργασίας*)

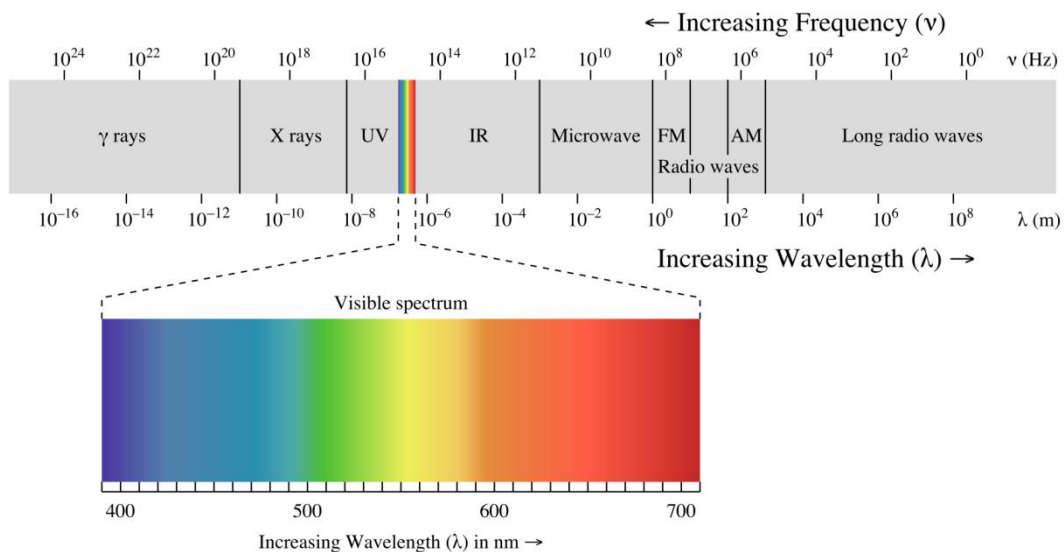
Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι η ταξινόμηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας - electromagnetic radiation (EMR) σύμφωνα με το μήκος κύματος ή τη συχνότητα ή την ενέργεια. Εκτείνεται μεταξύ των κοσμικών ακτίνων (ακτίνες x), το οπτικό φάσμα και των ραδιοκυμάτων. Στην τηλεπισκόπηση το πιο σημαντικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι εκείνο που δημιουργείται από την ακτινοβολία του ήλιου, όπου τμήμα του αφού διασχίσει την ατμόσφαιρα προσπίπτει στην επιφάνεια της γης (αντικείμενα παρατήρησης), ανακλάται και καταγράφεται στο δέκτη (*Μερτίκας, 2006; Μηλιαρέσης, 2003*).



**Εικόνα 4:** Λειτουργία συστήματος τηλεπισκόπησης (www.6)

Οι γνώσεις για το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι απαραίτητες για τον αναλυτή δορυφορικών εικόνων, όταν χρησιμοποιούνται για περιβαλλοντικούς, εδαφολογικούς και άλλους σκοπούς. Γνωρίζοντας τον τρόπο που ανακλάται το φως ή ενέργεια στην επιφάνεια της γης, δίνεται η δυνατότητα επιλογής των κατάλληλων φασματικών ζωνών.

Επειδή το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαιρείται σε πολλές ζώνες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5 (χωρίς να είναι καθορισμένα τα όριά τους), για τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται οι περιοχές του μήκους κύματος στο ορατό με εύρος από 0,4 – 0,5 μm στο μπλε, από 0,5 - 0,6 μm στο πράσινο και από 0,6 – 0,7 μm στο κόκκινο αλλά και στο υπέρυθρο από 0,7 – 1,5 μm στο κοντινό υπέρυθρο ενώ από 1,5 - 3 μm στο μέσο υπέρυθρο φάσμα για την ανακλώμενη ακτινοβολία ενώ σπανιότερα όταν χρησιμοποιείται το θερμικό από 3 – 14 μm (Καρτάλης και Φείδας, 2006; Μηλιαρέσης, 2003; Συλλαίος, 2000).



**Εικόνα 5:** Περιοχές ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (www.7)

Η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά κάθε σώμα σε διάφορα μήκη κύματος είναι χαρακτηριστική της φυσικής κατάστασης και της χημικής του σύστασης (φασματική υπογραφή) (Μεταξάς, 2004).

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τη πηγή ακτινοβολίας που καταγράφουν:

α) Τα παθητικά συστήματα που είναι συστήματα ανίχνευσης και καταγραφής της ακτινοβολίας εκπεμπόμενης ή ανακλώμενης από το παρατηρούμενο αντικείμενο.

Διακρίνονται τα εξής παθητικά συστήματα:

- i. Απεικονιστές καταγραφής του οπτικού τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (πανχρωματικοί απεικονιστές)
- ii. Απεικονιστές καταγραφής περισσότερων του ενός τμημάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, συνήθως οπτικού και υπέρυθρου (πολυφασματικοί απεικονιστές)
- iii. Απεικονιστές καταγραφής της εκπεμπόμενης θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας (θερμικοί απεικονιστές)

β) Τα ενεργητικά συστήματα έχουν δική τους ακτινοβολία την οποία εκπέμπουν στο προς έρευνα αντικείμενο και παρατηρούν την ανάκλασή της (Καρτάλης και Φείδας, 2006; Συλλαίος, 2000).

Σήμερα οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι τηλεπισκόπησης, διαφέρουν ως προς τον τύπο των δορυφορικών λήψεων που χρησιμοποιούνται και το είδος των επεξεργασιών που παράγονται στην ανάλυση των δεδομένων.

Ανάλογα με τον αριθμό των εικόνων που χρησιμοποιούνται σε μια ανάλυση, οι μέθοδοι διαχωρίζονται σε μονο-εικονικές, αν μια μετά την πυρκαγιά εικόνα χρησιμοποιείται και πολυ-χρονικές, όταν περισσότερες από μία εικόνα (συνήθως μία εικόνα πριν και μία εικόνα μετά την πυρκαγιά) χρησιμοποιούνται.

Οι μονο-εικονικές μέθοδοι έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των πολύ-χρονικών, κυρίως επειδή είναι περισσότερο οικονομικές. Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτήν την εργασία, έχουν αποκτηθεί σε κοντινές χρονικά περιόδους μετά την πρόκληση της πυρκαγιάς (*Petropoulos et al., 2010*).

Μία ψηφιακή δορυφορική εικόνα, αναπαριστάται από πολλά κανάλια, π.χ. μια εικόνα Landsat TM, μπορεί να έχει ως 7 κανάλια – μπάντες, παρέχοντας τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε έγχρωμες εικόνες, με συνδυασμούς 3 καναλιών κάθε φορά, με αντιστοίχιση στις αποχρώσεις, κόκκινου - Red (R), πράσινου - Green (G), μπλε - Blue (B) (*Μερτίκας, 2006; Συλλαίος, 2000*).

## **2.2. Η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης για τη χαρτογράφηση και παρακολούθηση της αναβλάστησης μετά από πυρκαγιά**

Η τηλεπισκόπηση στις δασικές πυρκαγιές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση των κατηγοριών βλάστησης, στη συνολική έκταση του καμένου δάσους, από δορυφορικές εικόνες.

Η μελέτη μιας καμένης περιοχής, μπορεί να παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τις αλλαγές χρήσεων γης, σχετικά με τη βιοδιαθεσιμότητα, ώστε να βοηθήσουν σε μεγάλο βαθμό στην κατανόηση της αναβλάστησης της καμένης περιοχής.

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί: α) στο σχεδιασμό για την πρόληψη της πυρκαγιάς β) τη λήψη αποφάσεων, γ) την ανίχνευση, δ) το σχεδιασμό πολιτικών για την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς και ε) την εκτίμηση των επιπτώσεων της φωτιάς.

Στη παρούσα εργασία θα γίνει εκτίμηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς της Πάρνηθας μέσα από επεξεργασία δορυφορικών εικόνων..

Η χαρτογράφηση της καμένης έκτασης με τη χρήση τηλεπισκόπησης, γίνεται κυρίως με τις μετρήσεις των αλλαγών στην ανάκλαση της ακτινοβολίας των επίγειων αντικειμένων μετά τη φωτιά που συμβαίνουν κυρίως στο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (0,45 – 3 μm).

Αυτό συμβαίνει από την εναλλαγή των φασματικών χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας μετά από μια πυρκαγιά, με αποτέλεσμα την ισχυρή αντίθεση ανάμεσα στην καμένη έκταση και τη γύρω περιοχή. Μειώνεται τμήμα της φυτοκάλυψης, της πυκνότητας, της χλωροφύλλης και της περιεκτικότητας σε νερό της βλάστησης από τη μερική ή ολική εκτόπιση τμήματος της επιφάνειας της γης, μεταβάλλοντας ταυτόχρονα το χρώμα και τη φωτεινότητα του εδάφους. Στο σύνολό τους οι διάφορες μελέτες εκτίμησης καμένων περιοχών, εξετάζουν τη μεταβολή στις φασματικές ή θερμικές ιδιότητες της γήινης επιφάνειας πριν και μετά από μια φωτιά (*Petropoulos et al., 2010; Leigh Lentile et al., 2006*).

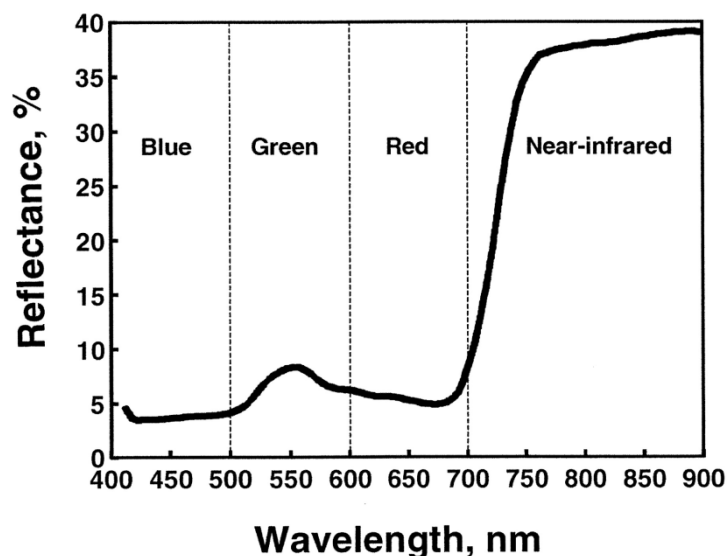
Έχουν γίνει πολλές μελέτες αναφορικά με την επίδραση και την ανάλυση της επίδρασης της πυρκαγιάς καθώς και τη μελέτη του ρυθμού αναβλάστησης πυρόπληκτων οικοσυστημάτων, π.χ. στη λεκάνη της Μεσογείου (*Petropoulos et al., 2010; Vila and Pablo, 2007*).

Η χρήση της τηλεπισκόπησης για τη μελέτη της αλλαγής της κάλυψης – χρήσης γης και ειδικότερα της βλάστησης είναι ένας από τους στόχους της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας. Αρχικά έγινε παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς της βλάστησης μέσω του κύκλου ανάπτυξής της, καθώς και η μελέτη της υγείας των φυτών.

Η μελέτη της αναβλάστησης με χρήση τηλεπισκόπησης στηρίζεται στη χρήση δορυφορικού ανιχνευτή, με δεδομένο αριθμό φασματικών καναλιών, στη χωρική διακριτική ικανότητα που παρέχουν και στη χρονική μεταβολή (περιοδικότητα).

Τα φασματικά κανάλια στο ορατό και υπέρυθρο, δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης των επιπτώσεων της πυρκαγιάς αλλά και της αναβλάστησης σε μια περιοχή (*Καρτάλης και Φείδας, 2006*).

Οι μεταβολές των φασματικών χαρακτηριστικών της βλάστησης, όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 6, έχουν άμεση σχέση στην ύπαρξη υγιούς βλάστησης. Η βλάστηση εμφανίζει χαμηλές ραδιομετρικές τιμές στην περιοχή του ορατού φάσματος (0,4 – 0,7 μm), εξαιτίας της μεγάλης απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από τη χλωροφύλλη, όμως στην περιοχή του κοντινού υπέρυθρου (0,7 – 1,3 μm) παρουσιάζει ισχυρή αύξηση της ανάκλασης λόγω της ελάχιστης ανακλαστικότητας της χλωροφύλλης. Η ποσότητα της πράσινης βιομάζας επιδρά επιπλέον στην ανακλαστικότητα των βιολογικών υλικών (*Μερτίκας, 2006; Συλλαίος, 2000*).



**Εικόνα 6:** Διάγραμμα μεταβολής της βλάστησης στην περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. (www.8)

### 2.3. Η σημασία και ο ρόλος των GIS στη χαρτογράφηση και τη μελέτη της αναβλάστησης καμένων περιοχών

Με τον όρο Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) - Geographical Information Systems (G.I.S.) περιγράφεται το πληροφοριακό σύστημα που είναι σχεδιασμένο για να διαχειρίζεται ένα σύνολο διαδικασιών, λήψης, αποθήκευσης, ανάλυσης και γενικότερα διαχείρισης δεδομένων με γεωγραφική αναφορά στον πραγματικό χώρο.

Αποτελείται από μια βάση δεδομένων, από δεδομένα με πληροφορίες στο χώρο και περιλαμβάνει ένα σύνολο διεργασιών με σκοπό τη συλλογή, εισαγωγή, κωδικοποίηση, ενημέρωση και απεικόνιση τους. Γι' αυτό συνήθως γίνεται αναφορά στη βάση δεδομένων των G.I.S. ως χωρική βάση δεδομένων.

Τα G.I.S. είναι ένα εργαλείο – τεχνική που επιτρέπει στους χρήστες να καταχωρούν, να επεξεργάζονται, να διορθώνουν, ν' αναλύουν και να παρουσιάζουν στην οθόνη ή έντυπους θεματικούς χάρτες (Σπέντζου, 2009; Μισαηλίδης, 2008; Χρονοπούλου, 2007).

Τα G.I.S. είναι χρήσιμα στη διαχείριση των πυρκαγιών, όπως η περίπτωση της Πάρνηθας (περιοχή μελέτης) και της Πελοποννήσου την ίδια χρονική περίοδο το καλοκαίρι του 2007.

Η κύρια χρήση τους έγκειται στη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων, με σκοπό τη διαδικασία λήψης στρατηγικών για την αντιμετώπιση και διαχείριση των πυρκαγιών. Υπάρχουν και άλλες χρήσεις των G.I.S. στον τομέα των πυρκαγιών όπως η δημιουργία και χρησιμοποίηση ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για την παρακολούθηση, πρόβλεψη και διαχείριση πυρκαγιάς π.χ. σύστημα για την πρόληψη και εντοπισμό επικίνδυνων περιοχών και δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας (μοντέλο EFFIS που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1).

#### **2.4. Σύνοψη κεφαλαίου για τη σημαντικότητα της συγκεκριμένης μελέτης**

Η παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα τελευταία χρόνια ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος, τη κατανόηση του παγκόσμιου κλίματος και την ενίσχυση αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση για τη μελέτη της γης άρχισε να αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον, όταν οι δυνατότητες των δορυφόρων, κυρίως τεχνικές, που κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη, ακολουθούνται από τη ραγδαία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων σε μικρό χρονικό διάστημα (*Μεταξάς, 2004*).

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελεί σημαντικό εργαλείο για περιβαλλοντικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία για την χαρτογράφηση και καταγραφή των αλλαγών κάλυψης γης. Πλεονέκτημά της αποτελεί το γεγονός της συλλογής δεδομένων με μεγάλη συχνότητα αλλά και ακρίβεια, παρέχοντας πληροφορίες ανά τακτά χρονικά διαστήματα, τόσο για τα φασματικά χαρακτηριστικά των στοιχείων κάλυψης – χρήσης γης, αλλά και για το χώρο, το σχήμα και το μέγεθός τους, με επαναλαμβανόμενες απεικονίσεις σχετικά μεγάλων εκτάσεων, έτσι ώστε η χωρική μελέτη για την ανάλυση πυρκαγιών να είναι εφικτή και σε μη προσβάσιμες τοποθεσίες.

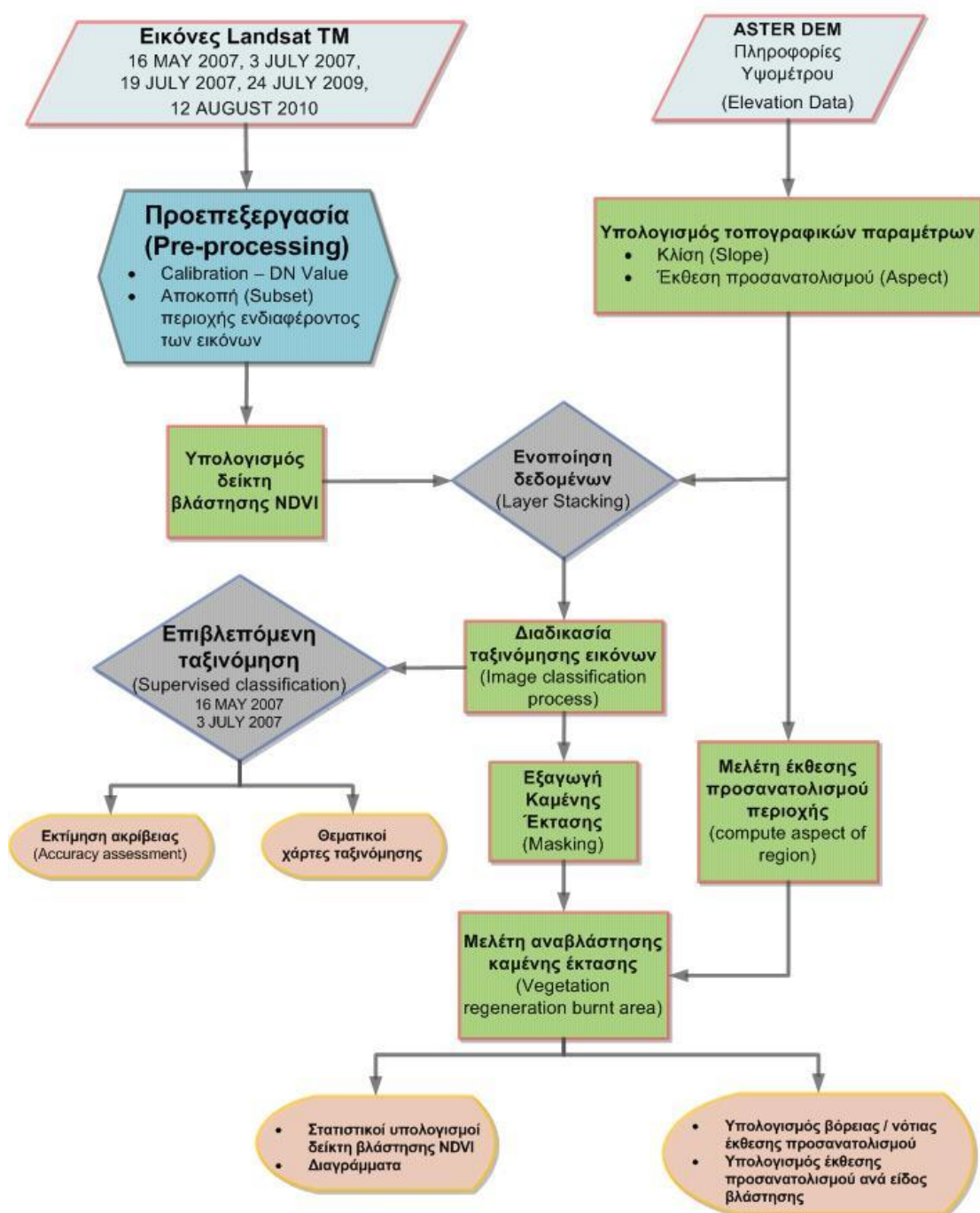
Γενικά η δορυφορική τηλεπισκόπηση (με τις μεθόδους επεξεργασίας των εικόνων) χρησιμοποιείται στη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων, βασίζεται στη μεταβολή των φασματικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας του εδάφους μετά από μια φωτιά, ενώ έχει αποδειχθεί ότι είναι μια χρήσιμη, οικονομική και αξιόπιστη τεχνική για την παρουσίαση τέτοιων εκτιμήσεων (*Petropoulos et al. 2010*).



Τα Γ.Π.Σ. – G.I.S. παρέχουν τη δυνατότητα ανάλυσης πληροφοριών (χωρικών και περιγραφικών) μέσω επιστημονικών μεθοδολογιών και την παραγωγή χαρτογραφικών απεικονίσεων. Πιο συγκεκριμένα γίνεται διαχείριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτη και ανάλυση της αναβλάστησης μιας περιοχής από πυρκαγιά) μέσω χωρικών δεδομένων και διαδικασιών.

Αυτό δείχνει ότι η χρήση των G.I.S. παίζει σημαντικό ρόλο στη παρακολούθηση περιβαλλοντικών μεταβολών, μιας και είναι στενά συνδεδεμένα με τη διάσταση του χώρου (γεωγραφική - χωρική) με αποτελεσματικό τρόπο. Έτσι προκύπτει ότι τα G.I.S. με την ανάλυση (ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων) και επεξεργασία περιβαλλοντικών θεμάτων, μπορούν να διαχειριστούν κοινωνικό – οικονομικής φύσεως θέματα στα οποία εμπλέκονται διαφορετικές επιστημονικές ομάδες αναλυτών, που μπορούν να λάβουν σημαντικές αποφάσεις μέσα από το περιβάλλον ενός G.I.S. εντός ενός ολοκληρωμένου επιπέδου διαδικασιών, όπως μια χαρτοσύνθεση ενός θέματος προς μελέτη.

## Διάγραμμα Ροής Εργασιών



**Εικόνα 7:** Παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τη μελέτη και ανάλυση της αναβλάστησης της καμένης έκτασης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Συλλογή & Διαχείριση Δεδομένων

### 3.1. Γενική περιγραφή

Η χαρτογράφηση των χρήσεων γης (land use) και των καλύψεων γης (land cover) είναι ένα από τα πιο σημαντικά πεδία εφαρμογών της τηλεπισκόπησης.

Υπάρχει διάκριση μεταξύ της χρήσης γης και κάλυψης γης. Η χρήση γης αναφέρεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες (κοινωνικές – πολιτικές – οικονομικές) σε συγκεκριμένο τύπο εδάφους. Για παράδειγμα είναι: αγροτική, βιομηχανική, εμπορική, κατασκευαστική.

Η κάλυψη γης απ' την άλλη αναφέρεται στη κατηγοριοποίηση των φυσικών και τεχνητών στοιχείων που αναγνωρίζονται – ερμηνεύονται από μια τηλεπισκοπική εικόνα που καλύπτουν το έδαφος. Τα φυσικά στοιχεία μπορεί να είναι: βλάστηση, καλλιέργειες, νερό ενώ στα τεχνητά περιλαμβάνονται: κτίσματα, δρόμοι. Όμως όλες αυτές οι καλύψεις γης δεν είναι εύκολα αναγνωρίσιμες από δορυφορικά τηλεπισκοπικά δεδομένα (*Καρτάλης και Φεΐδας, 2006; Μηλιαρέσης, 2003*).

Η χρησιμοποίηση των πληροφοριών που παρέχουν οι χρήσεις / καλύψεις γης είναι ιδιαίτερα σημαντική σε ειδικούς για θέματα περιβάλλοντος, για τον αειφορικό σχεδιασμό και διαχείριση οικοσυστημάτων, στον περιβαλλοντικό και αστικό σχεδιασμό μελετών (*Ψωμιάδης, 2010*).

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων ήταν το πακέτο ENVI έκδοση 4.7 (ITT Visual Information Solutions) λογισμικό τηλεπισκόπησης που αποτελείται από ένα σύνολο προγραμμάτων για την οπτικοποίηση, επεξεργασία και ανάλυση, ενός μεγάλου εύρους δορυφορικών δεδομένων. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το ARCGIS 9 – ARCMar έκδοση 9.3 για την απόδοση των χαρτών των επιμέρους επεξεργασιών.

### 3.2. Περιγραφή – συλλογή δεδομένων

Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν οι κατάλληλες δορυφορικές εικόνες Landsat 5 (έτσι έγινε και μια ανάλογη μελέτη Petropoulos et al. 2010), που αποκτήθηκαν μέσω της εφαρμογής – πλατφόρμας USGS EROS Data Center ([www.9](http://www.9)) όπου δίνει τη δωρεάν δυνατότητα λήψης δορυφορικών δεδομένων.

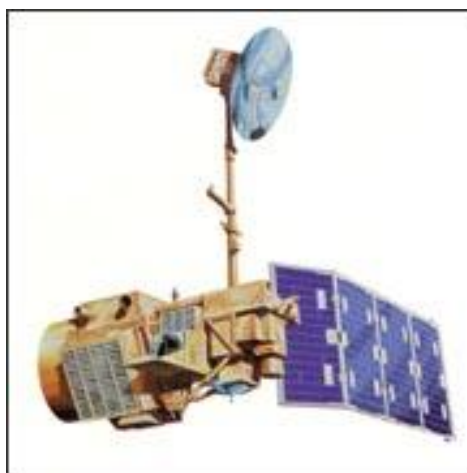
Η επιλογή των δορυφορικών εικόνων έγινε με διάφορα κριτήρια, όπως: α) την απουσία ύπαρξης σύννεφων στην περιοχή μελέτης και β) τη χρονική περίοδο που λήφθηκαν οι εικόνες, ώστε να είναι περίπου τον ίδιο μήνα ή την ίδια εποχή του έτους, για τη μείωση διαφορών στη φαινολογία των φυτών, που θα έχουν ως αποτέλεσμα διαφοροποιήσεις στη διαδικασία της ταξινόμησης.

Επιπλέον καταγράφηκαν οι πληροφορίες Path / Row (π.χ. 183/33), για την περιοχή ενδιαφέροντος. Από τα δεδομένα του Landsat TM (Thematic Mapper) χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι έξι (6) ανακλώμενες φασματικές ζώνες, για την παρουσίαση της περιοχή μελέτης με τους συνδυασμούς των έξι καναλιών.

*Το θερμικό κανάλι δεν χρησιμοποιήθηκε γιατί η διερεύνηση της θερμικής απεικόνισης δεν ήταν απαραίτητη για την υπό μελέτη περιοχή, αφού χρησιμοποιείται για μελέτες μεταβολής της θερμοκρασίας κι όχι τόσο για τα φυσικά χαρακτηριστικά των επιφανειών.*

### **3.2.1. Περιγραφή δορυφορικού αισθητήρα LANDSAT TM**

Οι δορυφόροι Landsat, είναι σειρά της αμερικάνικης εταιρίας National Aeronautics and Space Administration – N.A.S.A. και βρίσκονται σε λειτουργία από το 1972 και προορίζονταν για την παροχή σχεδόν παγκόσμιας κάλυψης της γήινης επιφάνειας σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η τροχιά τους είναι στατική και ηλιοσύγχρονη. Οι πρώτοι δορυφόροι που εκτοξεύτηκαν ήταν οι Landsat 1-2-3 στη δεκαετία 1970, ενώ ο αισθητήρας των δορυφόρων ήταν ο MSS (Multispectral Scanner Subsystem).



**Εικόνα 8:** Δορυφόρος Landsat 5 - T.M. (www.10)

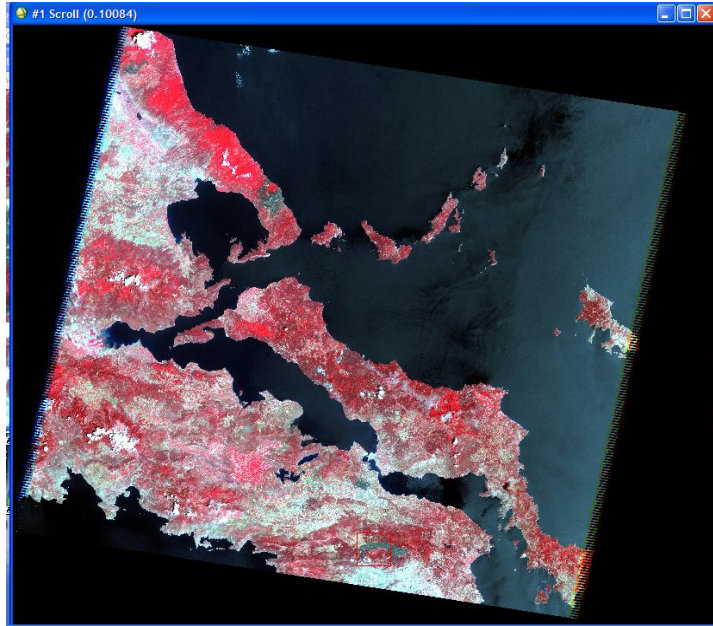
Οι δορυφόροι Landsat 4 και 5 (εκτοξεύτηκαν το 1982 και 1984 αντίστοιχα) μεταφέρουν δύο όργανα καταγραφής ακτινοβολίας, τον Πολυφασματικό σαρωτή (M.S.S. – Multispectral Scanner) που φέρει 4 κανάλια και έχει μέγιστη διακριτική ικανότητα 80m και το Θεματικό Χαρτογράφο (T.M. – Thematic Mapper) που φέρει 7 κανάλια.

Τα τρία (3) κανάλια 1,2,3 αντιστοιχούν στις τιμές Red (R), Green (G), Blue (B) και βρίσκονται στο ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με εύρος τιμών από 0,45 - 0,52 μm από 0,52 - 0,60 μm και από 0,63 - 0,69 μm αντίστοιχα, τρία (3) κανάλια 4,5,7 στο υπέρυθρο, κοντινό, μέσο και μακρινό όπου το εύρος τους είναι από 0,76 - 0,9 μm από 1,55 - 1,75 μm και 2,08 - 2,35 μm αντίστοιχα και ένα στο θερμικό υπέρυθρο με φασματικό εύρος από 10,4 - 12,5 μm.

Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι 30m \* 30m σ' όλα τα κανάλια πλην του θερμικού υπέρυθρου που είναι 120 \* 120 m. Το μικρότερο στοιχείο μιας δορυφορικής και γενικότερα εικόνας που μπορεί να καταγραφεί είναι το εικονοστοιχείο (pixel) και η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 0 – 255 (0 = μαύρο, 255 = λευκό) ως ποσότητα ανάκλασης.

Μια εικόνα - σκηνή Landsat καλύπτει περίπου μια περιοχή 180 \* 180 km δηλαδή έκτασης 32.400 km<sup>2</sup>. Αυτό το γεγονός δίνει στον ερευνητή – μελετητή, τη δυνατότητα να έχει μια ολοκληρωμένη εικόνα ενός μεγάλου τμήματος του τοπίου και να καταγράφει τις αλλαγές π.χ. στην βλάστηση (Τσιώτας, 2008; Ελευθεριάδης, 2007; Μερτίκας, 2006; Καρτάλης και Φείδας, 2006; Μεταζάς, 2004; Συλλαίος, 2000).

Η Εικόνα 9 κατέβηκε από το site USGS EROS Data Center. Οι χάρτες που παρουσιάστηκαν στις 5 διαφορετικές χρονικές περιόδους λήψης εστίασαν στη περιοχή μελέτης.



**Εικόνα 9:** Σκηνή εικόνας όπως «κατεβαίνει» από το site USGS EROS Data Center.

Για την ανίχνευση και καταγραφή των μεταβολών των καλύψεων – χρήσεων γης στην περιοχή της Πάρνηθας, χρησιμοποιήθηκαν πέντε (5) δορυφορικές εικόνες του LANDSAT TM με ημερομηνίες λήψης, μία (1) πριν τη πυρκαγιά και τέσσερις (4) μετά την πυρκαγιά:

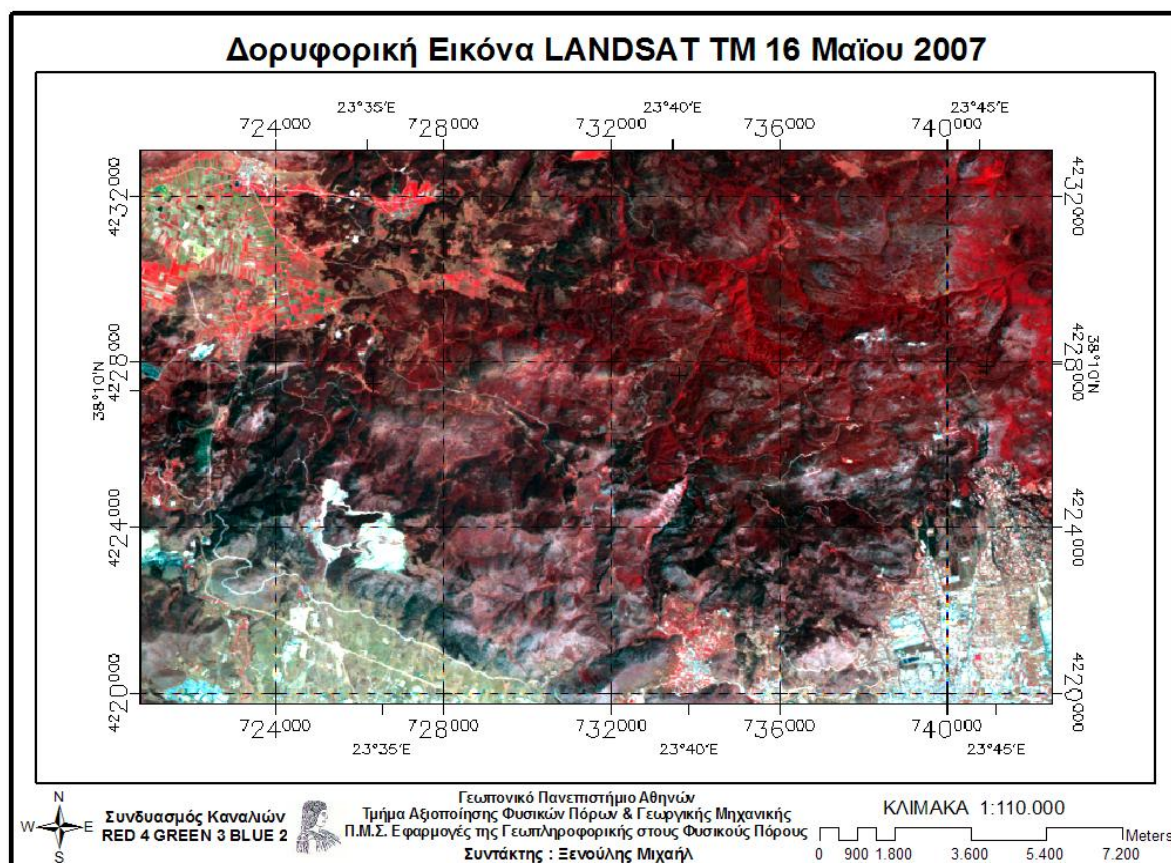
- (εικόνα πριν την πυρκαγιά) – 16 Μαΐου 2007,
- (εικόνες αμέσως μετά την κατάσβεση της πυρκαγιάς) – 3 Ιουλίου 2007, 19 Ιουλίου 2007, 24 Ιουλίου 2009 και 12 Αυγούστου 2010.

Έγινε παρουσίαση της περιοχής μελέτης από τις δορυφορικές εικόνες πριν και αμέσως μετά την πυρκαγιά, όπως καταγράφηκε από τον Landsat TM από συνδυασμό φασματικών καναλιών. Για την παρουσίαση της περιοχής στις υπόλοιπες ημερομηνίες βλέπε Παράρτημα Α.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ο σύνθετος ψευδέχρωμος συνδυασμός (false color composite) που προκύπτει από το συνδυασμό τριών φασματικών καναλιών στο σύστημα χρωματικής απόδοσης: Red, Green, Blue (R,G,B).

Για την εικόνα 16 Μαΐου 2007 επιλέχτηκε ο συνδυασμός R4 G3 B2, επειδή δίνει τον καλύτερο διαχωρισμό της βλάστησης. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος, όμως για την ανάλυση εφαρμόστηκαν διάφοροι συνδυασμοί.

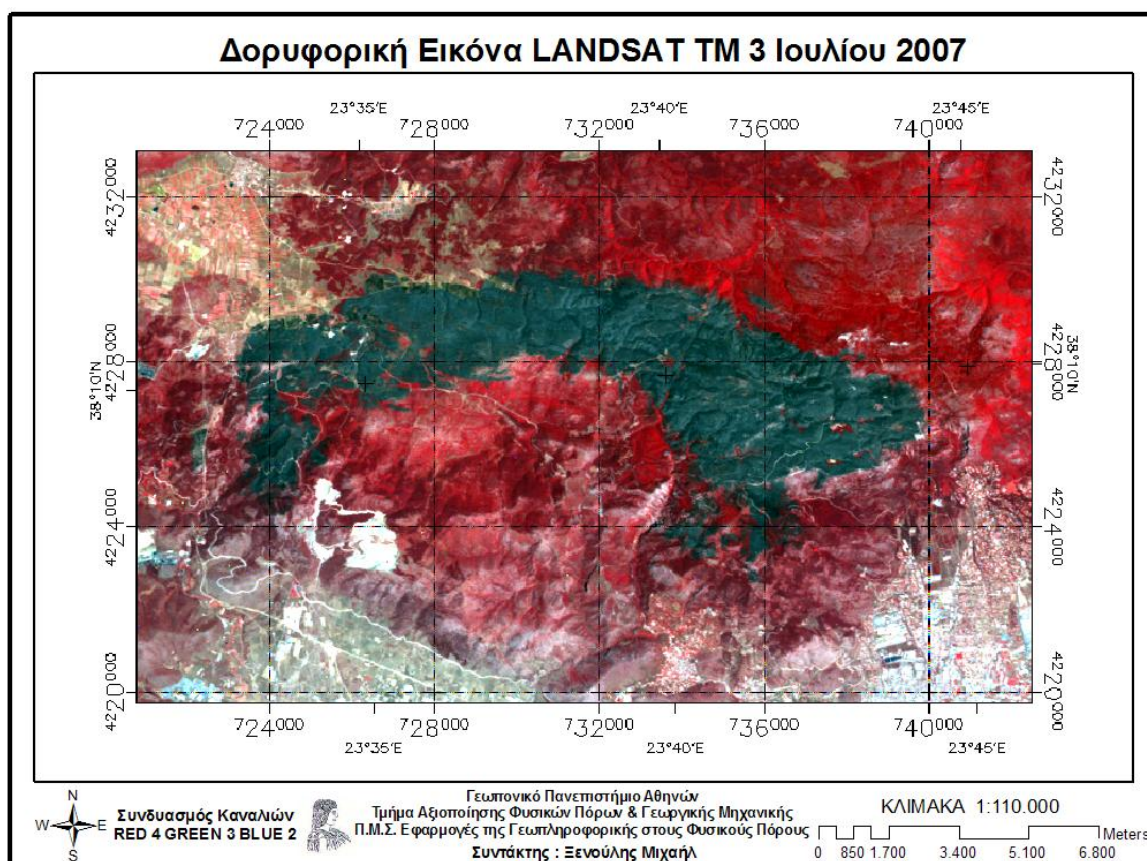
Επομένως διαπιστώθηκε από το Χάρτη 1, ότι η δασώδης έκταση της Πάρνηθας διαχωρίζεται αρκετά από τις υπόλοιπες επιφάνειες, με σκούρες και ανοικτές κόκκινες αποχρώσεις, από τη συνεισφορά του καναλιού 4, επίσης η αστική δόμηση και οι βιομηχανικές περιοχές απεικονίζονται με ένα ιώδες χρώμα, ενώ και η βλάστηση είναι εμφανής με πράσινο χρώμα.



**Χάρτης 1:** Δορυφορική εικόνα LANDSAT TM 16 Μαΐου 2007 - (R4 G3 B2)

Για την εικόνα της 3 Ιουλίου 2007, όπως φαίνεται στο Χάρτη 2, επιλέχτηκε επίσης ο συνδυασμός R4 G3 B2, επειδή το χρώμα της βλάστησης φαίνεται πιο έντονα και είναι ευδιάκριτα τα χαρακτηριστικά της, εξαιτίας της μεγάλης ανάκλασης που παρουσιάζει το κανάλι 4 (NIR - near infrared) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Η καμένη έκταση εμφανίζεται με σκούρο γκρι και είναι ιδιαίτερα εμφανής ενώ για τις υπόλοιπες καλύψεις – χρήσεις γης διακρίνεται με έντονο κόκκινο χρώμα η δασική βλάστηση, ενώ με ανοιχτό κόκκινο χρώμα το έδαφος, με την υπάρχουσα (αραιή ή χαμηλή) βλάστηση. Αντίστοιχα οι καλλιέργειες παρουσιάζονται με πράσινο κυρίως χρώμα ή ανοιχτό καφέ, όπου φανερώνει αραιή ή πυκνή βλάστηση. Αντίστοιχα, ο αστικός ιστός της Αθήνας, εμφανίζεται με ανοιχτό γαλάζιο χρώμα.



**Χάρτης 2:** Δορυφορική εικόνα LANDSAT TM 3 Ιουλίου 2007 - (R4 G3 B2)

*Η εικόνα της 3 Ιουλίου 2007 χρησιμοποιήθηκε ως εικόνα αναφοράς για όλες τις μετέπειτα διαδικασίες και αναλύσεις.*

Η ανάλυση της φασματικής πληροφορίας με χρήση ψευδέχρωμου συνδυασμού καναλιών δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, αλλά χρησιμοποιήθηκε με σκοπό την καλύτερη φωτοερμηνεία της δορυφορικής εικόνας.

Επομένως δίνεται η δυνατότητα ανάλογα με τον αντίστοιχο συνδυασμό τριών καναλιών, καλύτερη ανάδειξη και κατά συνέπεια ερμηνεία διαφορετικών χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας για εξαγωγή καλύτερων πληροφοριών.

Ο τόνος του γκρι δείχνει τη χρονική περίοδο που έγινε η πυρκαγιά, δηλαδή όσο πιο σκούρος είναι ο τόνος τόσο πιο πρόσφατη είναι η πυρκαγιά (Χρονοπούλου, 2007; Ελευθεριάδης, 2007).

Οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να παρακολουθούνται και να εξετάζονται σε μεγάλες εκτάσεις με ακρίβεια, χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες συνδυαζόμενες με τη χωρική ανάλυση που παρέχουν οι εφαρμογές των GIS. Οι μέθοδοι επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιούνται, είναι η φασματική ανάλυση, ο δείκτης βλάστησης και η ταξινόμηση σε εδαφικές κατηγορίες.



### 3.2.2. Περιγραφή ASTER DEM

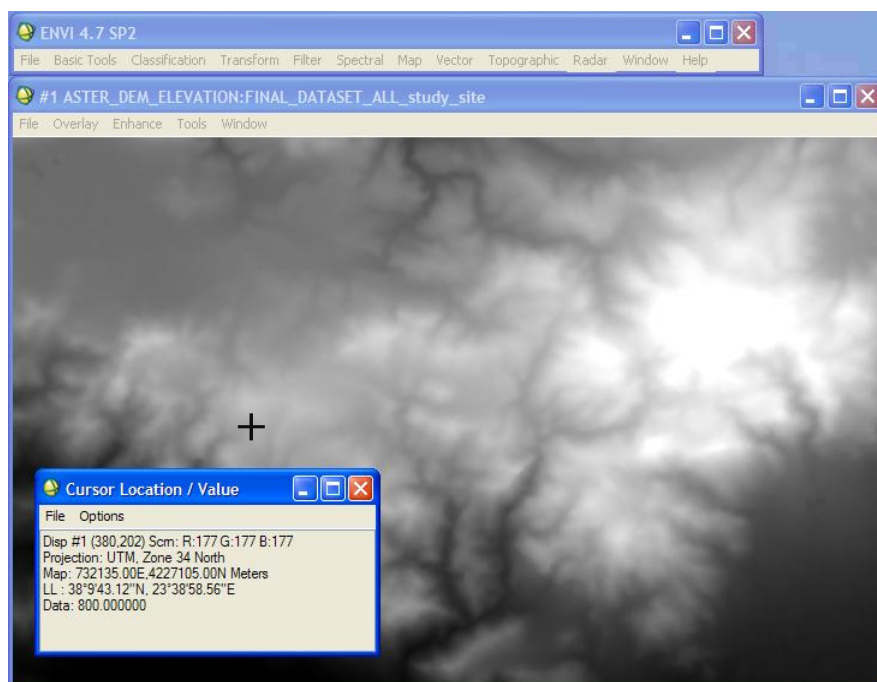
Ο ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) είναι ένα μέσο απεικόνισης που βρίσκεται στο δορυφόρο Terra και χρησιμοποιείται ως μέρος του συστήματος παρατήρησης της NASA – Earth Observing System (EOS). Ο ASTER είναι προϊόν συνεργασίας μεταξύ της NASA, του Ιαπωνικού Υπουργείου Οικονομίας, Εμπορίου και Βιομηχανίας (Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry - METI) και του Ιαπωνικού Κέντρου παρατήρησης της γης (Japan's Earth Remote Sensing Data Analysis Center - ERSDAC). Ο ASTER χρησιμοποιείται για την απόκτηση λεπτομερών χαρτών για τη θερμοκρασία της επιφάνειας της γης, του υψομέτρου κ.α. (www.11)

Η περιοχή που καλύπτει μια εικόνα ASTER DEM είναι περίπου 2000 γραμμές και 2000 στήλες σε 14 φασματικά κανάλια που είναι τα εξής: near-infrared (VNIR) – 3 κανάλια, shortwave-infrared (SWIR) - 6 κανάλια και thermal infrared (TIR) – 5 κανάλια. Η χωρική ανάλυση (spatial resolution) των εικόνων κυμαίνεται από 15 – 90 m. Το εύρος των τιμών τους είναι: από 0.5 - 0.9  $\mu\text{m}$  για το VNIR, από 1.6 – 2.5  $\mu\text{m}$  για το SWIR και 8 – 12  $\mu\text{m}$  για το TIR αντίστοιχα. (www.12)

Η λήψη των δεδομένων έγινε χωρίς κανένα κόστος από το διαδικτυακό τόπο (www.13) Έτσι έγινε η επιλογή της περιοχής ενδιαφέροντος, με το να θέσει ο χρήστης κάποιον αριθμό περιορισμών π.χ. ποσοστό νεφοκάλυψης μιας περιοχής.

Το DEM που εμφανίζεται στην Εικόνα 10, χρησιμοποιήθηκε για τη ψηφιακή αναπαράσταση του ανάγλυφου του εδάφους. Επομένως έγινε μοντελοποίηση στις μεταβολές του υψομέτρου της επιφάνειας μιας δεδομένης περιοχής (*Κόλλια – Κουσουρή, 2003; Κωνσταντινίδης, 2003*).

Το ASTER DEM χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για τον υπολογισμό των τοπογραφικών παραμέτρων, για τη μελέτη επίδρασής τους στο ρυθμό αναβλάστησης της καμένης έκτασης.



**Εικόνα 10:** Αναπαράσταση τμήματος της περιοχής μελέτης από ASTER με πληροφορία υψομέτρου, π.χ. 800 m.

### 3.2.3. Περιγραφή CORINE 2000 (100m version)

Τα συστήματα ταξινόμησης δημιουργούν διάφορα επίπεδα ταξινόμησης, ανάλογα με την περιοχή, τα δεδομένα που διαθέτουμε και κατά πόσο αναλυτική θα γίνει κάθε μελέτη (Τσιώτας, 2008).

Ο θεματικός χάρτης καλύψεων γης 'Corine' είναι μια προσπάθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης που άρχισε στη δεκαετία του 1980, για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων, για την κατηγοριοποίηση χρήσεων γης / καλύψεων γης με χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης. Το σύστημα ταξινόμησης είναι απλό και περιλαμβάνει συνολικά κύριες και δευτερεύουσες κατηγοριοποιήσεις κάλυψης γης, με τη μορφή επιπέδων ταξινόμησης της πληροφορίας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 11 (Μηλιαρέσης, 2003).

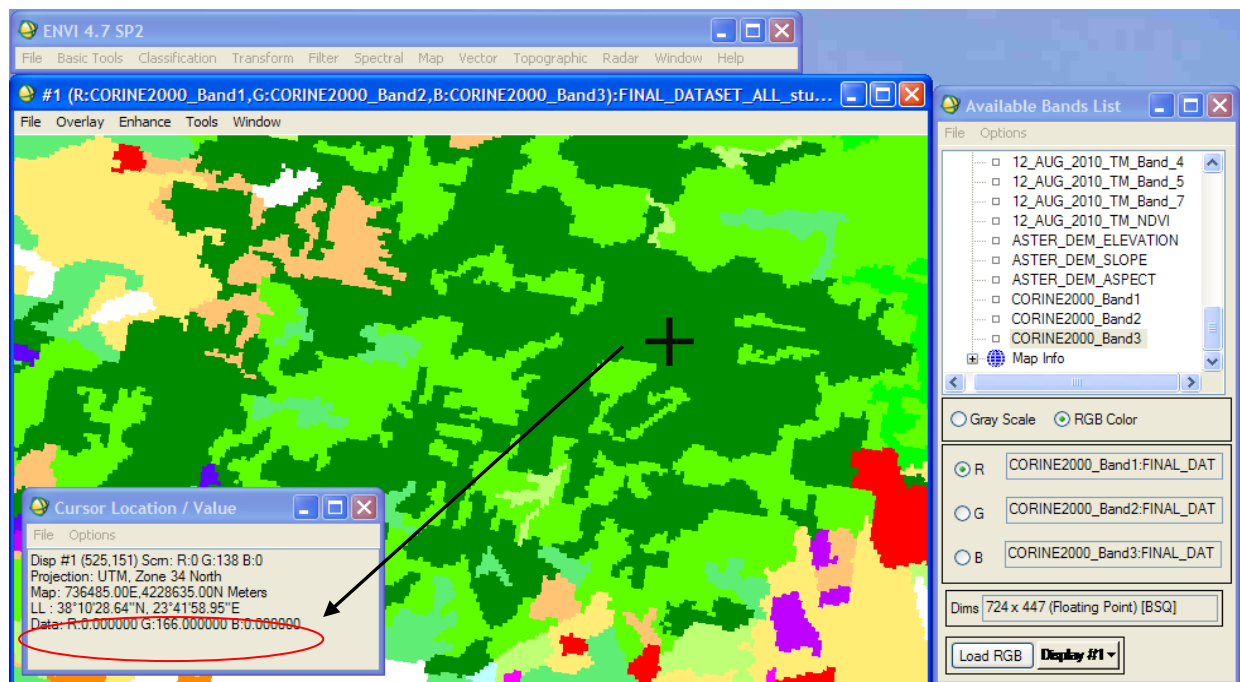
Οι πληροφορίες για τις χρήσεις / καλύψεις γης από το CORINE 2000 (Joint Research Centre (J.R.C.) - European Environment Agency (E.E.A.), 2005) χρησιμοποιούνται ως επιπλέον πληροφορία για τη βελτίωση στην κατηγοριοποίηση των πολυφασματικών εικόνων ASTER.

*Τα δεδομένα CORINE 2000 που χρησιμοποιούνται στη μεταπτυχιακή εργασία, έχουν χωρική ακρίβεια 100m\*100m και είναι δωρεάν διαθέσιμα.*

	C	D	E	F	G
1	<b>LABEL1</b>	<b>LABEL2</b>	<b>LABEL3</b>	<b>RGB</b>	
2	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Industrial or commercial units	204-077-242	
3	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-000-000	
4	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Mineral extraction sites	166-000-204	
5	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Construction sites	255-077-255	
6	Agricultural areas	Arable land	Non-irrigated arable land	255-255-168	
7	Agricultural areas	Permanent crops	Olive groves	230-166-000	
8	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Complex cultivation patterns	255-230-077	
9	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Land principally occupied by agriculture, with significant	230-204-077	
10	Forest and semi natural areas	Forests	Broad-leaved forest	128-255-000	
11	Forest and semi natural areas	Forests	Coniferous forest	000-166-000	
12	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Natural grasslands	204-242-077	
13	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Sclerophyllous vegetation	166-230-077	
14	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Transitional woodland-shrub	166-242-000	
15					
16					

**Εικόνα 11:** Το σύστημα ταξινόμησης καλύψεων γης ‘CORINE 2000’ σε μορφή πίνακα.

Η εφαρμογή του Corine στην ευρύτερη περιοχή της Πάρνηθας όπως φαίνεται στην εικόνα 12:



**Εικόνα 12:** Αναπαράσταση τμήματος της περιοχής μελέτης από ‘CORINE 2000’ με πληροφορία καλύψεων /χρήσεων γης, π.χ. είδος δάσους.

Το ‘Corine’ χρησιμοποιήθηκε βοηθητικά, επειδή έγινε η επιλογή με τη χρήση εκπαιδευτικών σημείων, των κατάλληλων καλύψεων – χρήσεων γης, στην ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων.

### 3.3. Προεπεξεργασία δεδομένων

#### 3.3.1. Μετατροπή των Digital Numbers (DNs) μιας εικόνας σε ανάκλαση - top of the atmosphere reflectance (TOA) / Διαδικασία Calibration

Στις δορυφορικές εικόνες που αποκτήθηκαν από τον Landsat TM έγιναν όλες οι διαδικασίες που ονομάζονται επεξεργασία εικόνας (image processing) για τη λήψη, ανάλυση και επεξεργασία πληροφοριών, με μεθόδους τηλεπισκόπησης.

Αρχικά έγιναν κάποιες διαδικασίες προεπεξεργασίας των δεδομένων και μετά εφαρμόστηκε η ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων, για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για το κατά πόσο μεταβάλλεται η αναβλάστηση της καμένης έκτασης με παρουσίαση πινάκων και διαγραμμάτων μεταβολής.

Γίνεται αναφορά, για το τι είναι D.N. και στη συνέχεια πως γίνεται η διαδικασία calibration. Ένας ψηφιακός αριθμός (Digital Number – D.N.) είναι μια αποθηκευμένη τιμή ακτινοβολίας μέσα στο pixel μιας εικόνας. Το D.N. του pixel αντιπροσωπεύει τη ποσότητα φωτός που ανακλάται από την επιφάνεια του εδάφους στο pixel και μετρείται από το δορυφόρο / αισθητήρα.

Στις επεξεργασίες εικόνας, χρησιμοποιούνται τιμές D.N., όπου οι τιμές φωτεινότητας κάθε pixel, αντιστοιχούν σε τόνους του γκρι (διαφορετικά επίπεδα φωτεινότητας λευκού από 0 – 255). Επομένως μετασχηματίζονται οι τιμές φωτεινότητας (brightness values) σε απόλυτες τιμές ακτινοβολίας (radiance).

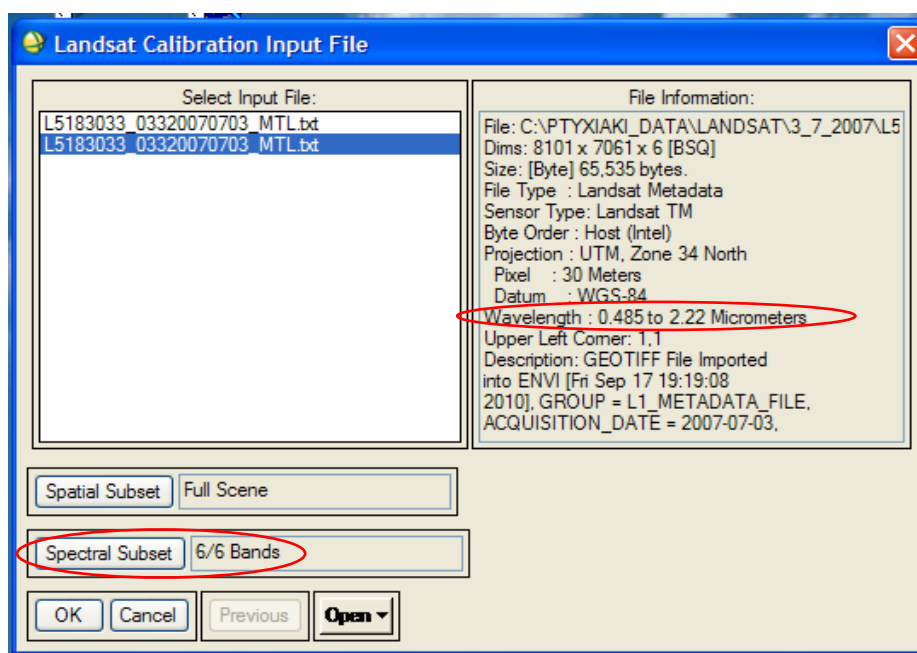
Κατά συνέπεια αυτό γίνεται γιατί κάθε καταγραφικό σύστημα έχει τη δική του τυποποίηση, που μετατρέπει την εισερχόμενη ακτινοβολία σε κάθε pixel σε τιμή ανάκλασης (Μηλιαρέσης, 2003; *www.14*).

Για τη βαθμονόμηση των δορυφορικών εικόνων Landsat, το λογισμικό ENVI παρείχε αυτή τη δυνατότητα, είτε με αυτοματοποιημένη διαδικασία είτε με χειροκίνητη εισαγωγή των δεδομένων.

- Στη συγκεκριμένη εργασία, επιλέχτηκε η αυτοματοποιημένη διαδικασία, επειδή είναι πιο εύκολη και παρέχει ασφαλή και έγκυρα αποτελέσματα.
- Επιλέχτηκε ως εικόνα αναφοράς, εκείνη στις 3 Ιουλίου 2007 (ημερομηνία αμέσως μετά την κατάσβεση της πυρκαγιάς), πάνω στην οποία έγιναν όλες οι αναλύσεις για τις υπόλοιπες ημερομηνίες (πριν και μετά την πυρκαγιά) στην εξέταση της μεταβολής της βλάστησης της περιοχής ενδιαφέροντος.

Επιλέχτηκε στο λογισμικό η δορυφορική εικόνα μετά τη πυρκαγιά. Αυτό έγινε με τη διαδικασία: 'File' → 'Open External File' → 'Landsat' → 'GeoTIFF with Metadata' και η ουσιαστική διαδικασία της βαθμονόμησης έγινε με την επιλογή: 'Basic Tools' → 'Preprocessing' → 'Calibration Utilities' → 'Landsat Calibration'.

Έγινε η βαθμονόμηση με φασματική δυνατότητα που έχει η δεύτερη εικόνα, από την επιλογή 'Spectral Subset' (δυνατότητα βαθμονόμησης στις μπάντες του αισθητήρα) αλλά και στις πληροφορίες του πίνακα το 'Wavelength' (εύρος τιμών «κυματομορφής»).



Εικόνα 13: Διαδικασία Calibration.

Επειδή επιλέχτηκε η εικόνα με τα συνοδευτικά δεδομένα, παρατηρούνται κάποιες υπάρχουσες τιμές στα επιμέρους τμήματα με τις πληροφορίες που παρέχουν. Επομένως γίνεται μια αναφορά στις επιμέρους πληροφορίες: 'Landsat Satellite Sensor' (Όνομα Δορυφόρου), 'Data Acquisition Month' (Μήνας Καταγραφής Δεδομένων), 'Data Acquisition Day' (Ημέρα Καταγραφής Δεδομένων), 'Data Acquisition Year' (Χρόνος Καταγραφής Δεδομένων), 'Sun Elevation' (Υψος Ήλιου). Επιλέγουμε το 'Calibration Type' (Είδος Βαθμονόμησης) που είναι 'Reflectance' (Ανάκλαση).

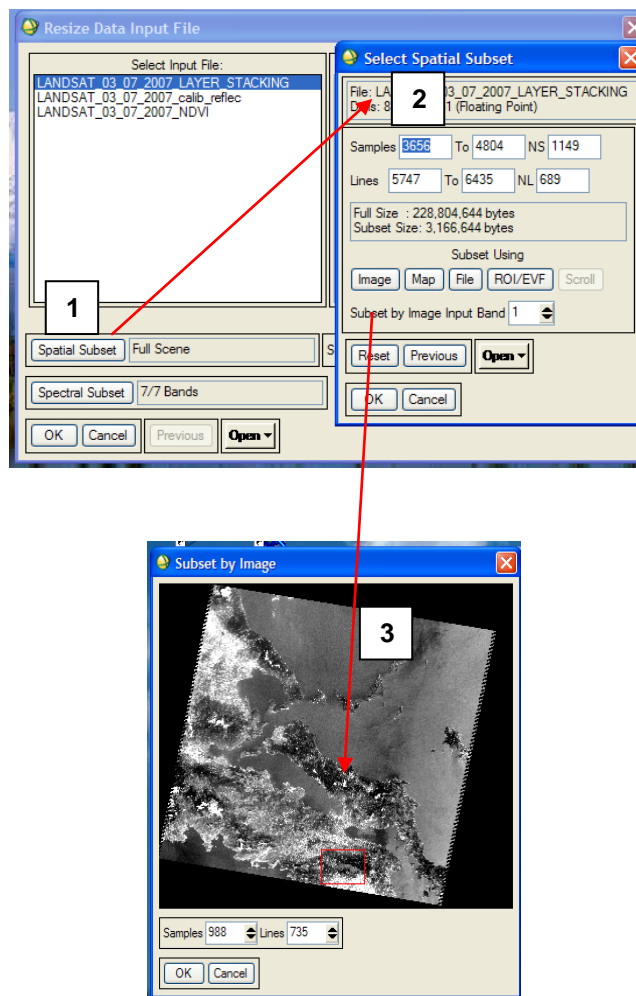
Μετά τη διαδικασία του 'Calibration' έγινε έλεγχος των τιμών ανάκλασης μεταξύ των εικόνων των διαφορετικών ημερομηνιών λήψης, με κοινούς κανόνες – παραδοχές και διαπιστώθηκε, ότι οι τιμές ήταν παραπλήσιες. Επομένως δε χρειάστηκε να γίνει ατμοσφαιρική διόρθωση των τιμών, για τις συγκρίσεις ανάμεσα στις εικόνες.

### 3.3.2. Αποκοπή (Subset) τμήματος στην περιοχή μελέτης από τις εικόνες

Η έκταση που καλύπτει κάθε εικόνα είναι μεγάλη, ενώ η περιοχή μελέτης της εργασίας είναι μικρότερη. Με τη διαδικασία 'Subset' αποκόπηκε η ευρύτερη περιοχή της Πάρνηθας.

Από το Basic Tools Resize Data (Spatial / Spectral), επιλέχθηκε η εικόνα που προήλθε από Layer Stacking, μέσω της επιλογής 'Image', αποκόπηκε η εικόνα στην περιοχή ενδιαφέροντος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 14. Έτσι επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος στις επεξεργασίες και τα αποτελέσματα, ενώ υπάρχει μείωση του υπολογιστικού χρόνου και αποθηκευτικού χώρου.

Το όνομα του αρχείου είναι 'LANDSAT\_03\_07\_2007\_LAYER\_STACKING\_subset'.



Εικόνα 14: Διαδοχικά βήματα για την εκτέλεση subset μιας εικόνας.

### 3.3.3. Δείκτες Βλάστησης

Οι δείκτες βλάστησης (vegetation indices) συνδυάζουν φασματικές πληροφορίες από επιλεγμένα μήκη κύματος σε μία τιμή, η οποία σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ή μία ιδιότητα της βλάστησης, συνήθως αποτελούν το μέτρο εκτίμησης της υγιούς βλάστησης. Γίνεται συνδυασμός των φασματικών καναλιών που πολλαπλασιάζονται ή διαιρούνται μεταξύ τους και δημιουργούν μια τιμή για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας. Αυτή η παραγόμενη τιμή δείχνει το βαθμό και τη ποσότητα της υγιούς βλάστησης (Καρτάλης και Φείδας, 2006).

Παρακάτω θα περιγραφεί ο βασικότερος δείκτης βλάστησης NDVI που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη αναβλάστησης της καμένης έκτασης στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία.

- **Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI)**

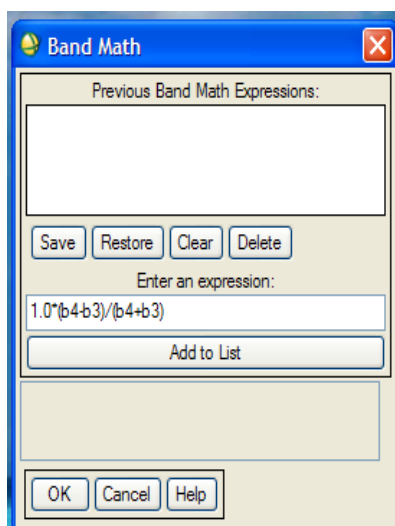
Ο δείκτης NDVI είναι ο λόγος της διαφοράς της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο (NIR) και στο κόκκινο (Red), που διαιρείται με το άθροισμα αυτών και εφαρμόζεται σε δορυφορικά δεδομένα από τους δορυφόρους LANDSAT της NASA.

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

Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 (καθόλου βλάστηση) μέχρι +1 (πλούσια βλάστηση):  
 $-1 < NDVI < +1$

Ο δείκτης NDVI είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό της κατάστασης της βλάστησης. Παρουσιάζει τις μεταβολές και την εκτίμηση της βιομάζας (Μερτίκας, 2006; Καρτάλης και Φείδας, 2006; Συλλαίος, 2000).

Υπολογίστηκε, όπως φαίνεται στην Εικόνα 15, ο δείκτης βλάστησης NDVI για την εικόνα στις 3-7-2007 στο πρόγραμμα ENVI ως εξής: 'Basic Tools' → 'Band Math'.



**Εικόνα 15:** Υπολογισμός δείκτη βλάστησης NDVI.

Από τη στιγμή που εισήχθη η συνάρτηση, έγινε η αντιστοίχιση, των μεταβλητών στα αντίστοιχα κανάλια που αντιπροσωπεύουν. Ειδικότερα, η μεταβλητή b3 αντιστοιχεί στο κανάλι 3 και η μεταβλητή b4 αντιστοιχεί στο κανάλι 4. Εφόσον έγινε αυτή η διαδικασία, αποθηκεύτηκε η εικόνα με τον υπολογισμένο πλέον δείκτη NDVI ως 'LANDSAT\_3\_7\_2007\_NDVI'.

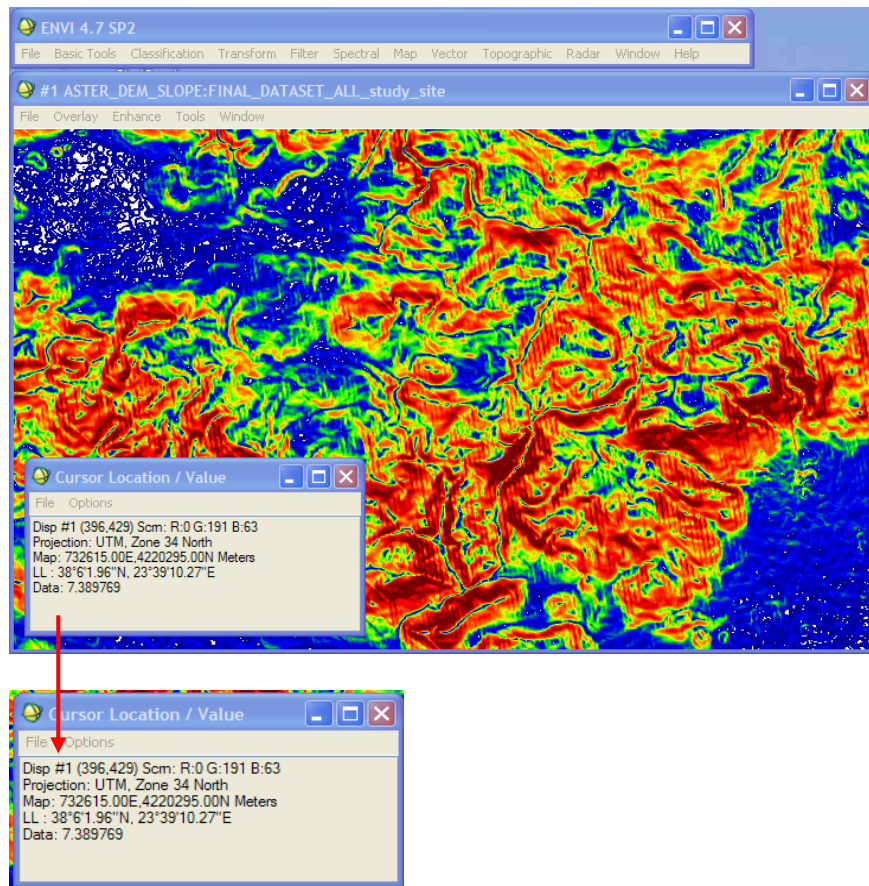
### 3.3.4. Υπολογισμός κλίσης και έκθεσης προσανατολισμού από ASTER DEM

Από το D.E.M. μπορούν να εξαχθούν πολλές πληροφορίες, όπως ο υπολογισμός των κλίσεων και των εκθέσεων προσανατολισμού μιας συγκεκριμένης περιοχής. Στη συγκεκριμένη μελέτη αναλύθηκε η μεταβολή αυτών των τοπογραφικών παραμέτρων σε σχέση με τη βλάστηση.

Η κλίση (slope) μιας επιφάνειας ορίζεται ως ο μέγιστος ρυθμός αλλαγής του υψομέτρου z στην έκταση της επιφάνειας, μετριέται σε μοίρες ή ποσοστό επί τοις εκατό (%) (Κωνσταντινίδης, 2003).

Επομένως για τον υπολογισμό της κλίσης στην περιοχή μελέτης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 16, επιλέχθηκαν από το λογισμικό επεξεργασίας ENVI, διαδοχικά τα εξής βήματα: 'Topographic' → 'Topographic Modeling' και αποθηκεύτηκε το παραγόμενο αποτέλεσμα με όνομα 'ASTER DEM SLOPE'.





**Εικόνα 16:** Εμφάνιση υπολογισμού κλίσης της περιοχής μελέτης με παρουσίαση μιας δεδομένης τιμής σε συγκεκριμένο σημείο.

Επειδή η έκθεση προσανατολισμού (aspect) είναι η τοπογραφική μεταβλητή για την οποία μελετήθηκε πως επηρεάστηκε η αναβλάστηση της καμένης έκτασης, έγινε λεπτομερής αναφορά στο κεφάλαιο 4.

### 3.3.5. Ενοποίηση συνόλου δεδομένων (Layer stacking data)

Προκειμένου να γίνουν πιο εύκολα οι μετέπειτα επεξεργασίες έγινε μια πολυεπίπεδη συνένωση (layer stacking) μεταξύ των εικόνων με την επιλογή: 'Map' → 'Layer Stacking' → 'Import File' προκειμένου να επιλεγούν τα δεδομένα που συνενώθηκαν.

*Αν για κάποιο λόγο πρέπει να υπάρχει κάποια συγκεκριμένη διάταξη στη σειρά που θα εμφανίζονται οι πληροφορίες, τότε μέσω της επιλογής 'Reorder Files' μπορεί να οριστεί η διάταξη.*

Το σύνολο των αποτελεσμάτων των επεξεργασιών μαζί με τα τοπογραφικά δεδομένα (υψόμετρο, κλίση και η έκθεση προσανατολισμού) αποθηκεύτηκαν σ' ένα ενιαίο αρχείο 'FINAL\_DATASET\_ALL\_study\_site'

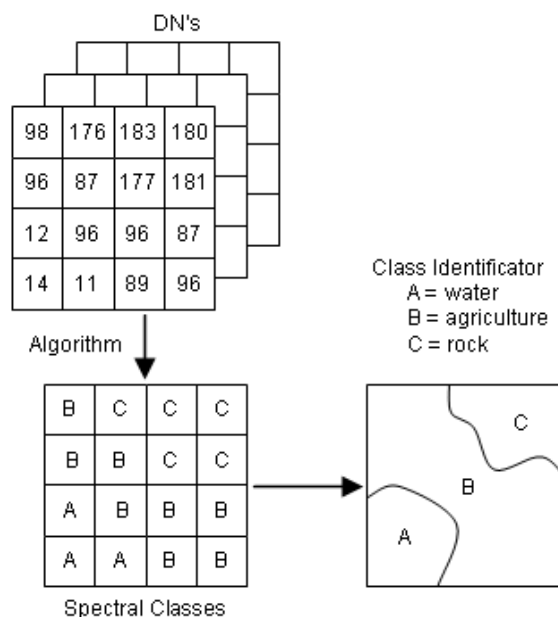
### 3.4. Κύρια τμήματα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων

#### 3.4.1. Διαδικασία ταξινόμησης εικόνων

Η ταξινόμηση (Classification) των φασματικών δεδομένων είναι η διαδικασία αναγνώρισης της δομής και καταχώρισης κάθε εικονοστοιχείου μιας εικόνας σε κατηγορία ταξινόμησης, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά αντικειμένων ή φαινομένων που βρίσκονται σε συγκεκριμένο σημείο στη γήινη επιφάνεια (Ελευθεριάδης, 2007; Συλλαίος, 2000).

Ταξινόμηση είναι η διαδικασία που σχετίζεται με το διαχωρισμό των παρατηρούμενων αντικειμένων και την αντιστοίχισή τους σε δύο ή περισσότερες κατηγορίες – κλάσεις. Επομένως προκύπτει ότι ο στόχος της ταξινόμησης, είναι η ανάλυση της διαφορετικότητας των αντικειμένων και η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου για το διαχωρισμό των αντικειμένων σε κλάσεις πχ. βλάστηση, νερό, αστική περιοχή (Μερτίκας, 2006; Καρτάλης και Φείδας, 2006).

Η διαδικασία της ταξινόμησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διαδικασία χαρτογράφησης αντικειμένων και γενικότερα φαινομένων από δορυφορικά δεδομένα τηλεπισκόπησης (Ελευθεριάδης, 2007).



**Εικόνα 17:** Διαδικασία ταξινόμησης εικόνας σε φασματικές κλάσεις σε μια εικόνα π.χ. διαστάσεων 4 x 4. Η εικόνα από το παράδειγμα ταξινομείται σε τρεις κατηγορίες A,B,C. (www.15)

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι ένας θεματικός χάρτης και μπορεί να γίνει εισαγωγή του σ' ένα σύστημα G.I.S. για επιπλέον επεξεργασία, ανάλυση ακόμη και συσχέτιση μ' άλλα θεματικά επίπεδα πληροφοριών (Ψωμάδης, 2010).

Εφόσον οριστούν οι κατηγορίες που θα χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση, πρέπει να γίνει η διαδικασία με βάση κάποιους «κανόνες απόφασης» “decision rules” που είναι οι ταξινομητές. Ο ταξινομητής (classifier) είναι το λογισμικό - αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση της ταξινόμησης των εικονοστοιχείων της εικόνας (Τσιώτας, 2008; Ελευθεριάδης, 2007; Συλλαίος, 2000).

Τα δεδομένα μιας εικόνας ταξινομούνται με τη χρήση φασματικών κατηγοριών σε κλάσεις (classes) με φυσική σημασία, όπως: δάσος, καλλιέργειες, νερό κτλ. Ο αλγόριθμος ταξινόμησης προσπαθεί στις ομάδες των εικονοστοιχείων κατά την ταξινόμηση, να βρει την αντιστοιχία μεταξύ της φασματικής δομής και των κατηγοριών από τις κλάσεις ταξινόμησης (Ελευθεριάδης, 2007; Μεταξάς, 2004).

Οι κύριες κατηγορίες ταξινόμησης είναι: α) Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised classification) και β) Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Supervised classification). Υπάρχει και η Υβριδική ταξινόμηση (Hybrid classification) που είναι μια συνδυαστική μέθοδος της μη επιβλεπόμενης με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

### **3.4.2. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised classification)**

Η μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, εξετάζει τα φασματικά χαρακτηριστικά ενός μεγάλου πλήθους αγνώστων εικονοστοιχείων και ζητά από τον αναλυτή μόνο τον αριθμό των κλάσεων – κατηγοριών, που επιθυμεί να γίνει διαίρεση από το σύνολο των εικονοστοιχείων της εικόνας κάθε φορά. Στην ουσία γίνεται καθορισμός του ελάχιστου και μέγιστου αριθμού κλάσεων που θα δημιουργηθούν από τον αλγόριθμο ταξινόμησης. Επομένως δε χρειάζεται από πριν να γνωρίζει ο αναλυτής την ανάλυση των δεδομένων που θα ταξινομηθούν. Πρόκειται για μια πιο αυτοματοποιημένη μέθοδο ταξινόμησης.

Ο αλγόριθμος εξετάζει τα χαρακτηριστικά όλων των εικονοστοιχείων της εικόνας που θα ταξινομηθούν και με συγκεκριμένους στατιστικούς κανόνες, τα ταξινομεί σε κάποια φασματική κατηγορία, χωρίς να είναι γνωστή από πριν η σχέση της φασματικής κατηγορίας και της πραγματικής. Έτσι ολοκληρώνεται η διαδικασία της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης όπου φαίνονται οι κλάσεις της εικόνας που ταξινομήθηκε και αντιστοιχούν σε πραγματικές εδαφικές καλύψεις (π.χ. δάσος, καλλιέργειες, αστική περιοχή κτλ.). Όμως όσο αυξάνεται ο αριθμός των φασματικών κατηγοριών τόσο πιο δύσκολα γίνεται η αναγνώριση των κλάσεων.

Κατά τη διαδικασία της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, δίνονται πληροφορίες για τη κατανομή και διαχωρισμό των φασματικών κλάσεων, οι οποίες βοηθούν στην συνέχεια τον αναλυτή να διαχωρίσει τις κατηγορίες - κλάσεις που θα ταξινομήσει, στο αποτέλεσμα που παρουσιάζεται από την εκτέλεση ενός αλγορίθμου επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δημιουργεί ορισμένες φασματικές κατηγορίες από τον αλγόριθμο που επιλέγεται κάθε φορά και το αποτέλεσμα μπορεί να έχει ή όχι σχέση με τις πραγματικές κατηγορίες. Στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση μπορούν να διακριθούν πληροφορίες για το πως κατανέμονται και ξεχωρίζουν οι φασματικές τιμές των κατηγοριών που χρησιμεύουν στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Πολλές φορές χρησιμοποιείται βοηθητικά πριν την εφαρμογή κάποιου αλγορίθμου επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Ψωμάδης, 2010; Ελευθεριάδης, 2007; Μερτίκας, 2006; Συλλαίος, 2000).

*Οι κυριότεροι μέθοδοι μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι:*

α) ομαδοποίηση K – means (K – μέσες τιμές), β) ομαδοποίηση Ιστογραμμάτων, γ) Ιεραρχική ομαδοποίηση, δ) ISODATA

*Η μέθοδος ISODATA χρησιμοποιήθηκε βοηθητικά ως βήμα ταξινόμησης, για τη γενική παρουσίαση εφαρμογής της διαδικασίας της ταξινόμησης σε μια εικόνα. Επιλέχτηκε η συγκεκριμένη μέθοδος μιας και είναι διαδεδομένη μέθοδος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.*

Έγινε μια γενική αναφορά σε κάποια χαρακτηριστικά της μεθόδου ISODATA μιας και χρησιμοποιήθηκε βοηθητικά. Βασίζεται στον κανόνα της ελάχιστης απόστασης, από τα κέντρα των κλάσεων, με επαναλαμβανόμενες διαδικασίες. Για την ένταξη ενός εικονοστοιχείου σε μια κλάση, λαμβάνεται υπόψη η απόστασή του από το υπολογιζόμενο κέντρο της κλάσης – κατηγορίας. Επίσης γίνονται κάποιες παραδοχές με σκοπό είτε να διαχωρίζουν είτε να ενοποιούν τα εικονοστοιχεία με τις κλάσεις (Μηλιαρέσης, 2003).

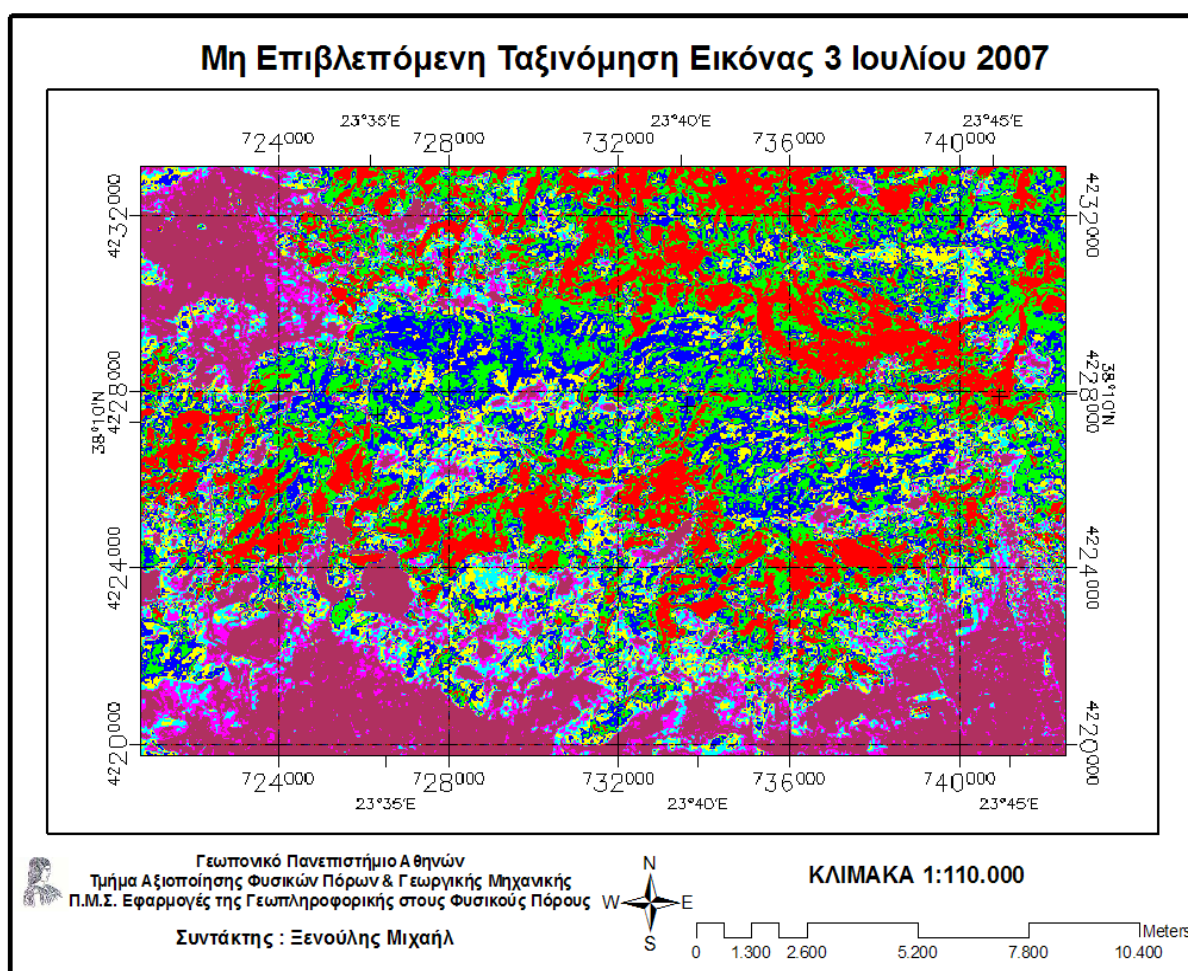
Παρακάτω περιγράφηκαν συνοπτικά τα βήματα εκτέλεσης του αλγορίθμου ISODATA. Επιλέχτηκε ο επιθυμητός αριθμός των κλάσεων που θα ταξινομηθεί η εικόνα. Ο αριθμός επιλογής αποτελεί και το μέγιστο αριθμό των κλάσεων ταξινόμησης που θα σχηματιστούν. Με τυχαίο τρόπο ο αλγόριθμος ISODATA ταξινόμησε την εικόνα μετά την κατάσβεση της πυρκαγιάς.

Η διαδικασία της ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων τόσο μετά (3 JUL 2007) όσο και πριν (16 MAY 2007) την πυρκαγιά, έγινε στο περιβάλλον του λογισμικού ENVI.

Η εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης έγινε μέσω της διαδικασίας: 'Classification' → 'Unsupervised' → 'ISODATA'

Επιλέχτηκε η εικόνα 3 JUL 2007 και ορίστηκε το σύνολο των φασματικών κατηγοριών για την ταξινόμησή της, με τη χρήση του ταξινομητή ISODATA. Το λογισμικό επέλεξε ως προεπιλογή εύρος κλάσεων 5 – 10, για τη φασματική διαφοροποίηση των καλύψεων - χρήσεων γης στην εικόνα.

Από την εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην εικόνα της 3 Ιουλίου 2007 με όνομα αρχείου 'ISODATA\_CLASSIFICATION', παρουσιάζονται στο Χάρτη 3, οι φασματικές κλάσεις και παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μια σύγχυση στο διαχωρισμό τους.



**Χάρτης 3:** Ταξινομημένη εικόνα στις 3 Ιουλίου 2007 με τον αλγόριθμο ISODATA από τη μη επιβλεπόμενη μέθοδο ταξινόμησης.

*Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση συνήθως, δε δίνει σαφή διαχωρισμό στις φασματικές κλάσεις που ταξινομούνται.*

*Η εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης έγινε μόνο στην εικόνα 3 Ιουλίου 2007, ενώ δεν εφαρμόστηκε σ' εκείνη της 16 Μαΐου 2007.*

### 3.4.3. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Supervised classification)

Η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης (supervised classification) είναι η πιο συχνά εφαρμοζόμενη διαδικασία ταξινόμησης και ποιοτικής ανάλυσης δορυφορικών εικόνων. Χρησιμοποιεί κατάλληλους αλγορίθμους για τον καθορισμό των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε μια συγκεκριμένη κατηγορία εδαφικής κάλυψης.

Στη συγκεκριμένη διαδικασία, ο αναλυτής, ορίζει από την αρχή τις κατηγορίες στις οποίες θα ταξινομηθεί η εικόνα. Καθορίζει τις περιοχές εκπαίδευσης (training points) που θα χρησιμοποιήσει ο αλγόριθμος ταξινόμησης, που αντιπροσωπεύουν περιοχές στη γήινη επιφάνεια. Η επιλογή των training points, συνιστά ένα σημαντικό και βασικό βήμα για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Ο καθορισμός των training points γίνεται από την εμπειρία του αναλυτή συνήθως ή από χάρτες ή από παρατηρήσεις πεδίου. Οι περιοχές εκπαίδευσης που θα ληφθούν, πρέπει να είναι ομοιογενείς μιας και αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες εδαφικής κάλυψης.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση βασίζεται σε στατιστικές παραμέτρους, επομένως χρειάζεται να ακολουθούν συνήθως κανονική κατανομή οι τιμές των training points κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου ταξινόμησης. Αφού εφαρμοστεί ο κατάλληλος αλγόριθμος, γίνεται στατιστικός έλεγχος των training points ώστε να διαπιστωθεί σε ποια κατηγορία ανήκουν (Τσιώτας, 2008; Ελευθεριάδης, 2007; Μερτίκας, 2006; Συλλαίος, 2000).

*Οι κυριότεροι μέθοδοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι:*

α) Μέθοδος Παραλληλεπιπέδου (Parallelepiped Method) , β) Μέθοδος Ελάχιστης Απόστασης (Minimum Distance Method), γ) Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Method)

Ο ταξινομητής μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood) κάνει τη παραδοχή ότι το «νέφος» (δηλαδή πλήθος) των εικονοστοιχείων παρουσιάζει κανονική κατανομή (*Gaussian distribution*).

Σε περίπτωση που αυτό ισχύει, τότε η maximum likelihood ταξινόμηση χρησιμοποιεί το μέσο όρο και το λόγο μεταβλητότητα / συμμεταβλητότητα των καναλιών, έτσι ώστε ο ταξινομητής εκτός από τη διακύμανση να υπολογίσει την πιθανότητα με την οποία, ένα άγνωστο εικονοστοιχείο ανήκει ή όχι (ταξινομείται) σε μια κατηγορία, με βάση τη Bayesian θεωρία πιθανοτήτων. Επομένως η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογίζει ποσοτικά τόσο τη διακύμανση όσο και τη συσχέτιση μεταξύ της φασματικής μορφής ορισμένης κατηγορίας όταν γίνεται ταξινόμηση σε κάποιο άγνωστο εικονοστοιχείο της εικόνας (Τσιώτας, 2008; Ελευθεριάδης, 2007; Συλλαίος, 2000).

Η ταξινόμηση με maximum likelihood δίνει καλύτερα αποτελέσματα με τη χρήση πολλών καναλιών, όμως το πλήθος των κατηγοριών που πρέπει να ταξινομηθούν και ο αριθμός των καναλιών που θα χρησιμοποιηθούν, επηρεάζουν το χρόνο υπολογισμού της ταξινόμησης.

Η συγκεκριμένη μέθοδος ταξινόμησης είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη τεχνική επειδή δίνει καλύτερα αποτελέσματα στην επεξεργασία, ανάλυση και αξιολόγηση των δορυφορικών εικόνων, μιας και λαμβάνει υπόψη την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των καναλιών. Αυτό δείχνει ότι είναι αξιόπιστη μέθοδος της καταγραφής των καλύψεων / χρήσεων γης. Δίνει ακριβή αποτελέσματα, με την προϋπόθεση ότι οι φασματικές κλάσεις έχουν οριστεί σωστά, είναι αντιπροσωπευτικές και ομοιογενείς (Καρτάλης και Φείδας, 2006).

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification) και χρησιμοποιήθηκε ως διαδικασία ταξινόμησης των εικόνων περιγράφεται από τα εξής βήματα:

- i. **Καθορισμός καλύψεων – χρήσεων γης:** Ορίζονται από την αρχή οι επιθυμητές πραγματικές κατηγορίες της εδαφικής κάλυψης, στις οποίες θα γίνει η ταξινόμηση της εικόνας π.χ. δάσος, καλλιέργειες, νερό, κτλ.
- ii. **Προεπεξεργασία εικόνας:** Γίνονται διάφορες διορθώσεις (ατμοσφαιρική, ραδιομετρική), ώστε να μπορεί η εικόνα να χρησιμοποιηθεί χωρίς να παρουσιάζει κάποια είδη σφαλμάτων. Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε μόνο η αποκοπή (subset) της περιοχής μελέτης, για τη καλύτερη και κυρίως γρηγορότερη εκτέλεση των επεξεργασιών. Επειδή τα δεδομένα προήλθαν από τον ίδιο δορυφορικό δέκτη, εξαιρέθηκαν οι μέθοδοι απαλοιφής ατμοσφαιρικών και ραδιομετρικών διορθώσεων, για τη διαδικασία ταξινόμησης των εικόνων.
- iii. **Επιλογή των σημείων εκπαίδευσης (training points):** Επιλέγονται κάποιες αντιπροσωπευτικές περιοχές πάνω στην εικόνα που αντιστοιχούν στις οριζόμενες από πριν κατηγορίες – κλάσεις. Τα training points για κάθε κατηγορία, προκύπτουν μετά από τον προσδιορισμό τους με επιτόπου μετάβαση στη περιοχή μελέτης ή με την αναγνώριση τους μέσω θεματικών χαρτών ή με χρήση αεροφωτογραφιών ή από κάποιο συνοδευτικό πίνακα κατηγοριών χρήσεων γης, όπως έγινε στη συγκεκριμένη περίπτωση της μεταπτυχιακής εργασίας, τον πίνακα χρήσεων γης CORINE 2000. Επίσης τα training points θα πρέπει επιλέγονται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια και να βρίσκονται στο σύνολο της περιοχής μελέτης και να αποφεύγεται η επιλογή τους στα όρια των υπό εξέταση κατηγοριών, ενώ πρέπει να κατανέμονται σ' όλη την περιοχή μελέτης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των training points τόσο καλύτεροι και κυρίως πιο ακριβείς (όπως περιγράφτηκε παραπάνω) θα είναι οι στατιστικοί υπολογισμοί των διαφορών μεγεθών.

- iv. **Διαδικασία ταξινόμησης της εικόνας (decision rule):** Στο σημείο αυτό επιλέγεται ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση της εικόνας, με βάση την επιλογή των training points που αντιστοιχούν σε αντιπροσωπευτικές κατηγορίες της γήινης επιφάνειας.
- v. **Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης:** Πρόκειται για το τελικό στάδιο κατά τη διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης μιας εικόνας και αποτελεί σημαντική διαδικασία, μιας και κρίνεται κατά πόσο η ταξινόμηση έγινε με επιτυχία, με την παρουσίαση και εξαγωγή αποτελεσμάτων. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που μπορεί να γίνει αυτή η εκτίμηση όπως α) με τη χρήση σημείων επαλήθευσης (validation points) που αντιστοιχούν στις κατηγορίες (αυτή η διαδικασία χρησιμοποιήθηκε και στη συγκεκριμένη μελέτη), όπως έγινε με τα training points και εφαρμόζονται πάνω στην ήδη ταξινομημένη εικόνα. Παράγεται ένας πίνακας που δίνει στατιστικούς υπολογισμούς για το κατά πόσο έγινε σωστός ο διαχωρισμός των φασματικών κατηγοριών – κλάσεων. β) με επαλήθευση στη περιοχή μελέτης του εδάφους από τη διάκριση των πραγματικών κατηγοριών καλύψεων – χρήσεων γης που υφίστανται και γ) από υπάρχοντες θεματικούς χάρτες που έχουν παραχθεί σε μια περιοχή μελέτης που εξετάζεται κάθε φορά (Ελευθεριάδης, 2007; Μερτίκας, 2006).

Κατά το σχεδιασμό της διαδικασίας ταξινόμησης, έγινε μια προσπάθεια εντοπισμού των σημαντικότερων τύπων κάλυψης – χρήσεων γης, από τις δορυφορικές εικόνες Landsat TM και το σύστημα ταξινόμησης γης CORINE 2000 στο επίπεδο 1 – που αντιστοιχεί στο γενικό, όπου έγινε εμφανής η ανάλυση για τη μελέτη αναβλάστησης της περιοχής ενδιαφέροντος.

Οι φασματικές κλάσεις καθορίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτονται πλήρως οι κατηγορίες καλύψεων – χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης. Οι κατηγορίες καλύψεων - χρήσεων γης που ταξινομήθηκαν οι εικόνες (μετά και πριν την πυρκαγιά) για τον καθορισμό των training points που αντιστοιχούν στις κλάσεις που πήραν μέρος στην ταξινόμηση, ήταν οι εξής 5:

- **Καμένη έκταση (BURNT AREA),**
- **Αγροτικές περιοχές (AGRICULTURAL AREAS),**
- **Δάσος (FORESTS),**
- **Θαμνότοποι (SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION),**
- **Αστική / Βιομηχανική περιοχή (URBAN / INDUSTRIAL AREA)**

*Οι λατινικοί χαρακτήρες χρησιμοποιήθηκαν για τη χρήση τους στο λογισμικό.*



Η πρώτη κατηγορία της καμένης έκτασης, αναφέρεται στην εικόνα αμέσως μετά την κατάσβεση της πυρκαγιάς, στις 3 Ιουλίου 2007. Ταξινομήθηκε και η εικόνα πριν από την πυρκαγιά, όπου παρουσιάστηκε η μεταβολή των διαφόρων καλύψεων – χρήσεων γης της περιοχής μελέτης.

*Οι επόμενες χρονολογίες μετά την πυρκαγιά δε χρησιμοποιήθηκαν στις διαδικασίες ταξινόμησης.*

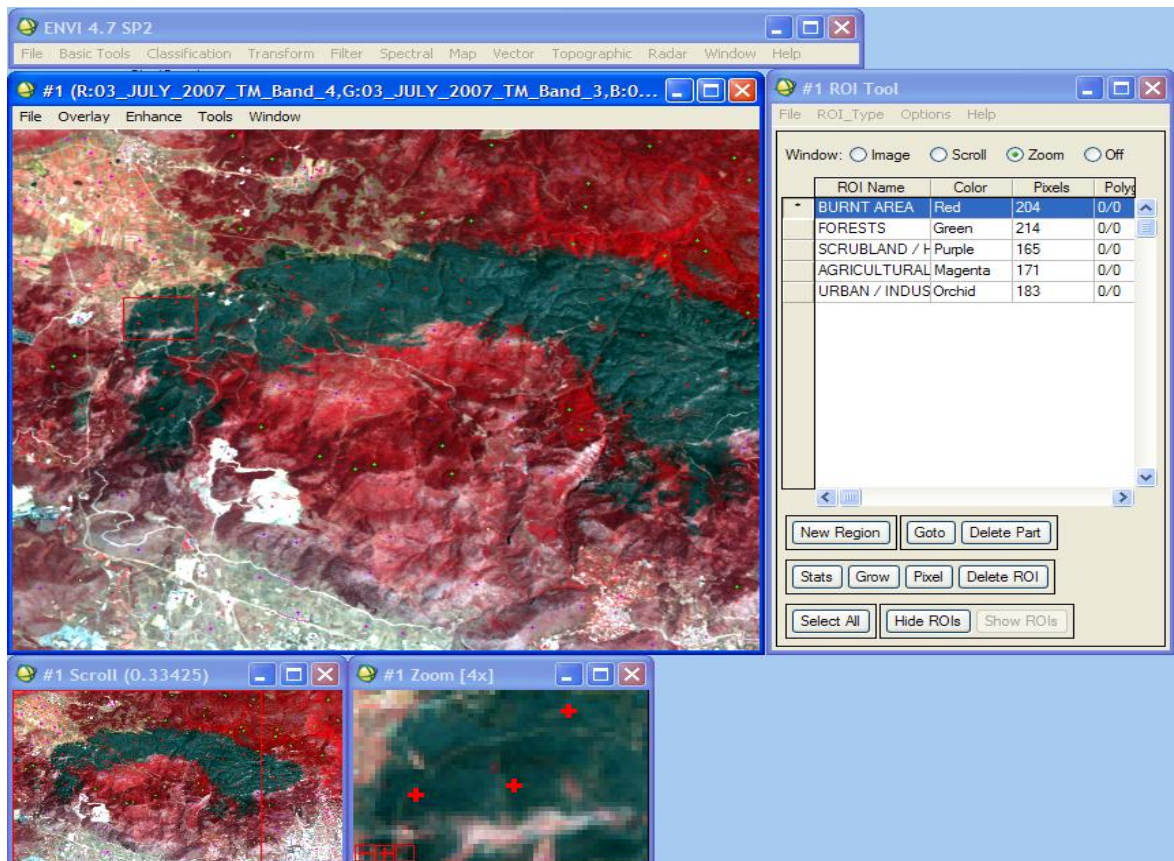
Στη διαδικασία της ταξινόμησης, μετά από την επιλογή των κατάλληλων συνδυασμών φασματικών καναλιών από τις εικόνες Landsat TM, για να είναι πιο εύκολη η επιλογή των κατηγοριών που θα ταξινομηθούν, επιλέγεται η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία, για τη περιοχή μελέτης, επιλέχτηκε η επιβλεπόμενη μέθοδος ταξινόμησης, ώστε το λογισμικό να «εκπαιδευτεί» στις κατηγορίες που έχουν οριστεί από την αρχή.

Η επιλογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης επηρέασε στη συνέχεια τους κανόνες ταξινόμησης, ιδιαίτερα στην ακρίβεια ταξινόμησης. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood). Τα training points έχουν συγκεκριμένες τιμές για κάθε φασματική κλάση που προσδιορίζουν και αντιπροσωπεύουν. Αποτελούν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των κατηγοριών, με βάση των οποίων έγινε η ταξινόμηση της εικόνας, για την κατανομή φασματικών κλάσεων των υπόλοιπων εικονοστοιχείων.

Ο αριθμός των training points που επιλέγονται, εξαρτάται κυρίως από τη μέγιστη εκτίμηση της ακρίβειας που επιθυμεί ο αναλυτής στην περιοχή μελέτης που αναλύει κάθε φορά, χωρίς να υπάρχει ένας σταθερός αριθμός αυτών των σημείων. Μια παραδοχή που γίνεται, βασίζεται στην έκταση που καταλαμβάνουν οι φασματικές κλάσεις στη περιοχή μελέτης κατά την επαλήθευση στα σημεία ταξινόμησης (μεγάλη έκταση → περισσότερος αριθμός training points). Είναι καλύτερα να ορίζονται πολλά και μικρού μεγέθους training points παρά λίγα και μεγάλου μεγέθους.

Από ένα δείγμα περίπου 200 αντιπροσωπευτικά training points για κάθε μια από τις κατηγορίες ταξινόμησης, συλλέχθηκαν από την εικόνα της 3 Ιουλίου 2007. Επιπλέον, επιλέχτηκε ένα σύνολο σημείων (validation points) περίπου 50 σημείων για κάθε κατηγορία, για την επαλήθευση των παραγόμενων αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Η επιλογή των training points βασίστηκε και στο σύστημα κατηγοριοποιήσεων CORINE 2000.

Με το συνδυασμό των καναλιών στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα R4 G3 B2 και την απόδοση ψευδέχρωμης σύνθεσης, έγινε η επιλογή των training points για την εικόνα στις 3 Ιουλίου 2007, όπως φάνηκαν στην Εικόνα 18.



**Εικόνα 18:** Επιλογή των training points που αντιστοιχούν στις φασματικές κλάσεις για την εικόνα στις 3 Ιουλίου 2007.

Πριν την εκτέλεση - εφαρμογή της ταξινόμησης, έγινε στατιστικός έλεγχος σχετικά με το διαχωρισμό των φασματικών κατηγοριών σε περιοχές ενδιαφέροντος – Regions Of Interest (ROIs), μεταξύ των κλάσεων που θα δημιουργηθούν. Ο έλεγχος διαχωρίζει τις φασματικές κλάσεις, με την επιλογή των training points στην εικόνα που ταξινομείται.

Το λογισμικό διαχώρισε ανά δύο τις κατηγορίες – κλάσεις, με βάση το συντελεστή ταξινόμησης που διαθέτει. Όταν η τιμή προσεγγίζει το 2, τότε οι κατηγορίες – κλάσεις διαχωρίζονται πλήρως. Σε αντίθετη περίπτωση, αν πλησιάζει ο συντελεστής ταξινόμησης την τιμή 0, υπάρχει αύξηση στο σφάλμα διαχωρισμού μεταξύ τους και πρέπει να γίνει ένα είδος επαναταξινόμησης.

Η διαδικασία αυτή είναι σημαντική, γιατί έτσι ορίστηκε η διαφοροποίηση των φασματικών κλάσεων. Αν υπάρχει μικρή διαφοροποίηση συνήθως γίνεται συγχώνευση μεταξύ δύο φασματικών κλάσεων ή γίνονται κάποιες άλλες ρυθμίσεις – ενέργειες ώστε να είναι δυνατόν ο αναλυτικός διαχωρισμός τους.

Για το διαχωρισμό μεταξύ των κλάσεων – κατηγοριών, επιλέχτηκε από το ROI Tools, η επιλογή 'Options' → 'Compute ROI Separability' για τον υπολογισμό του φασματικού διαχωρισμού μεταξύ τους ανά ζεύγη.

Το αποτέλεσμα εμφανίστηκε σε πίνακα, βλέπε Παράρτημα Β - Πίνακας Ι, που παρουσιάζεται ανά ζεύγος κατηγοριών – κλάσεων η διαχωριστικότητά τους.

Οι τιμές των συντελεστών ποικίλουν και δείχνουν πόσο καλά έχει γίνει ο στατιστικός διαχωρισμός μεταξύ των κλάσεων ταξινόμησης. Στο τμήμα του πίνακα 'Pair Separation' διακρίνεται ανά ζεύγη η διαχωριστικότητα μεταξύ των φασματικών κλάσεων που ταξινομήθηκαν και διαπιστώθηκε ότι ο καλύτερος διαχωρισμός έγινε ανάμεσα στην καμένη έκταση και τους θαμνότοπους με τιμή 1.99999970, ενώ χειρότερη διαχωριστικότητα έγινε μεταξύ των κλάσεων των θαμνότοπων και των καλλιεργειών με τιμή 1.52183328.

Παρατηρήθηκε σε γενικές γραμμές όμως, ότι υπάρχει αρκετά καλή διαχωριστικότητα μεταξύ των αντιπροσωπευτικών κλάσεων – κατηγοριών κατά την ταξινόμηση.

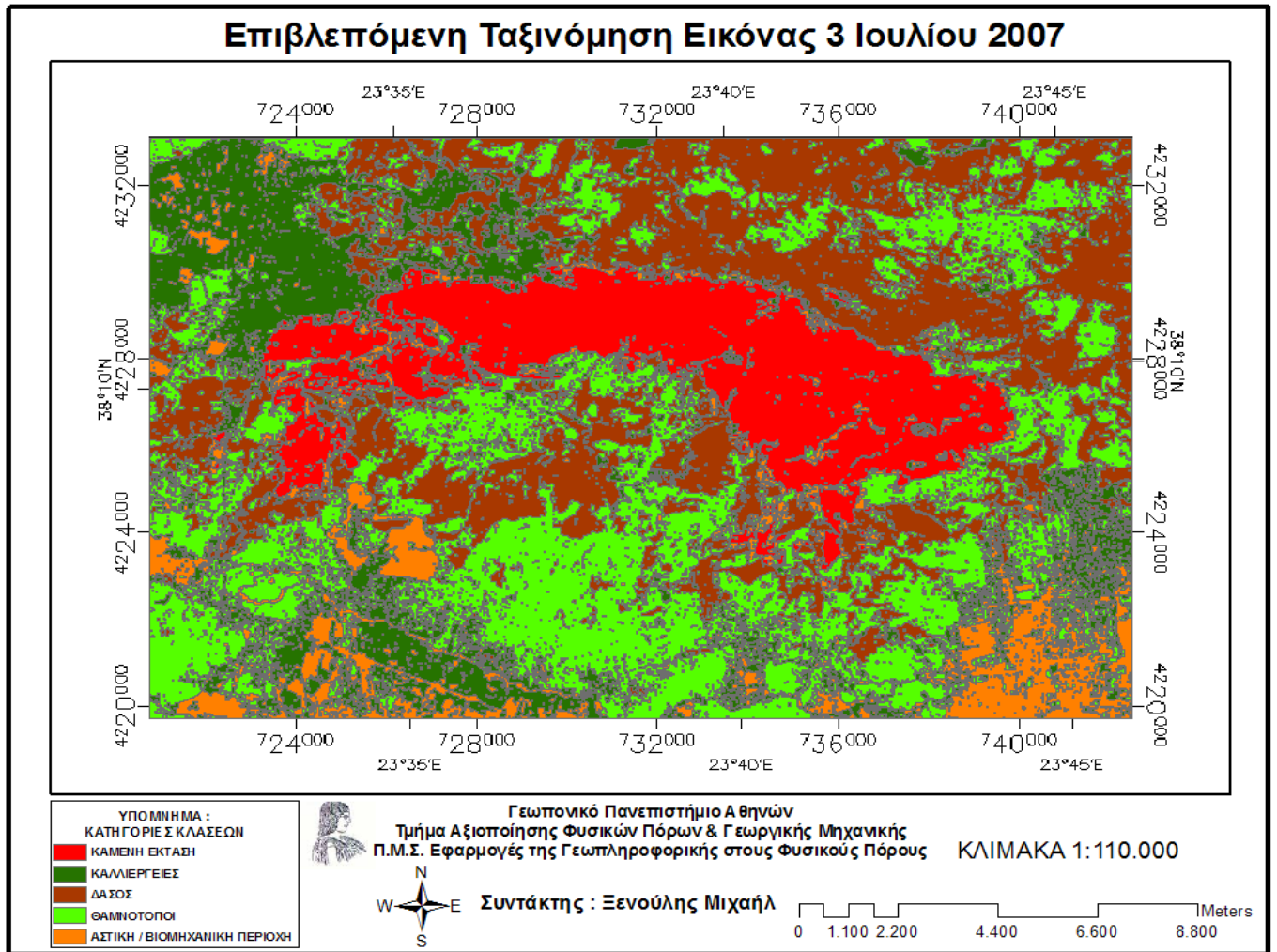
Εφόσον ολοκληρώθηκε η επιλογή των training points και ο έλεγχος διαχωρισμού μεταξύ των φασματικών κατηγοριών - κλάσεων, έγινε εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, επιλέγοντας τον αλγόριθμο 'maximum likelihood'.

Η εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης έγινε από το ENVI ως εξής:

'Classification' → 'Supervised' → 'Maximum Likelihood'

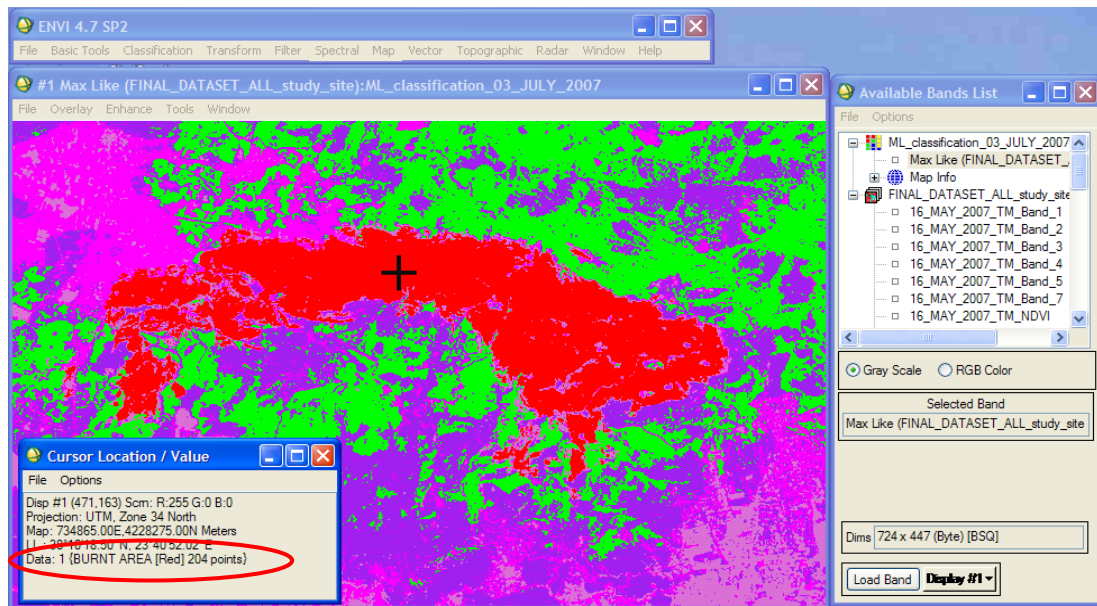
Επιλέχτηκε η εικόνα της 3 JUL 2007 και έγινε επιλογή του συνόλου των φασματικών κατηγοριών στις οποίες ταξινομήθηκε η εικόνα με τη χρήση του ταξινομητή 'maximum likelihood'.

Δημιουργήθηκε ο θεματικός χάρτης της εικόνας 3 Ιουλίου 2007 με τις καλύψεις – χρήσεις γης, όπως παρουσιάζεται στο Χάρτη 4. Το αποτέλεσμα αποθηκεύτηκε σε αρχείο με όνομα 'ML\_classification\_3\_JULY\_2007' .



**Χάρτης 4:** Ταξινομημένη εικόνα στις 3 Ιουλίου 2007 με τον αλγόριθμο maximum likelihood από την επιβλεπόμενη μέθοδο ταξινόμησης.

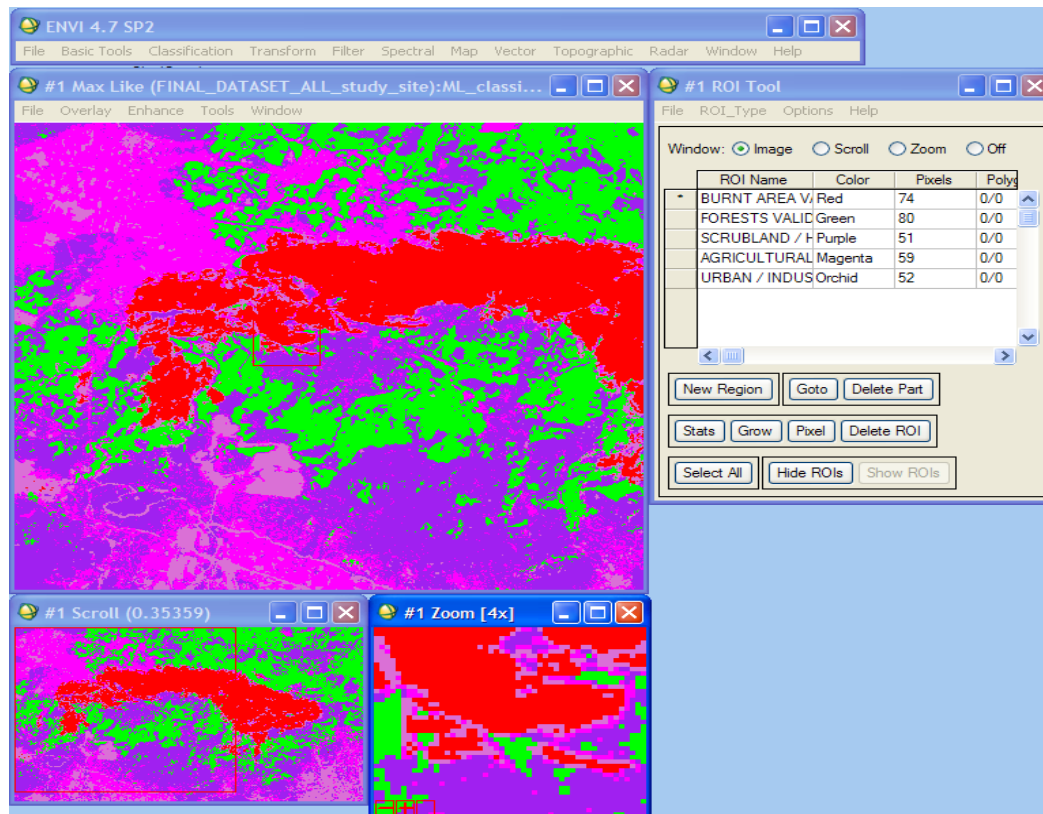
Το αποτέλεσμα της ταξινομημένης εικόνας από το λογισμικό ENVI 4.7 παρουσιάζεται στην Εικόνα 19. Οι φασματικές κλάσεις – κατηγορίες εξήχθησαν στο ArcMap όπως εμφανίστηκε στο Χάρτη 4 για καλύτερη παρουσίαση των κατηγοριών.



**Εικόνα 19:** Εμφάνιση μέσα από το λογισμικό επεξεργασίας εικόνας μια ορισμένη φασματική κλάση όπως ορίστηκε στην περιοχή μελέτης.

Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου της επιβλεπόμενης ταξινόμησης και πιο συγκεκριμένα της μεθόδου maximum likelihood, ακολούθησε η διαδικασία εκτίμησης της ακρίβειας (accuracy assessment) της ταξινόμησης των φασματικών κλάσεων.

Η ταξινομημένη εικόνα συγκρίθηκε με τα σημεία επαλήθευσης (validation points) και παράχθηκε ένας πίνακας που δείχνει τη σχέση μεταξύ των πραγματικών κατηγοριών εδαφοκάλυψης και αυτών που προήλθαν από τη διαδικασία της ταξινόμησης στην Εικόνα 20.



**Εικόνα 20:** Εμφάνιση των validation points της εικόνας στις 3 Ιουλίου 2007 για την περιοχή μελέτης.

Η σύγκριση μεταξύ των training και validation points για την εικόνα της 3 Ιουλίου 2007 έγινε με τη διαδικασία ‘Classification Report’.

*Πρέπει να αναφερθεί ότι τα training και τα validation points, για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάποια άλλη στιγμή ή κυρίως να υπάρχουν με τη μορφή αντιγράφου ασφαλείας, αφού η επιλογή τους είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία, αποθηκεύτηκαν σε δύο διαφορετικά αρχεία τύπου ‘.roi’, ως ‘training points.roi’ και ‘validation points.roi’ αντίστοιχα.*

Η ακρίβεια της ταξινόμησης (accuracy assessment) εκτιμά το ποσοστό των εικονοστοιχείων των training points που ταξινομήθηκαν σε λάθος φασματική κλάση. Για την εκτίμηση της ακρίβειας έγινε σύγκριση των training points με τα validation points για το ποια φασματική κλάση αντιπροσωπεύουν.

Για την εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε η εικόνα που ταξινομήθηκε με αλγόριθμο επιβλεπόμενης μεθόδου.

Η στατιστική ακρίβεια της ταξινόμησης παρουσιάζεται μέσω ενός πίνακα που ονομάζεται μήτρα σύγχυσης ή σφάλματος (confusion or error matrix) (Ψωμιάδης, 2010).

Η μήτρα σύγχυσης είναι ένας πίνακας, που εμφανίζει τον αριθμό των δειγματοληπτικών εικονοστοιχείων training points, που αναπαριστούν μια συγκεκριμένη φασματική κλάση – κατηγορία, σε σχέση με την πραγματικότητα που επαληθεύεται από τα validation points.

Το μέγεθος της συνολικής ακρίβειας (overall accuracy) είναι μια μέτρηση συμφωνίας, υπολογιζόμενη από τις τιμές των κελιών που βρίσκονται στη κύρια διαγώνιο της μήτρας σύγχυσης και πιο συγκεκριμένα από το πηλίκο του αθροίσματος των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων προς το συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν (Ψωμιάδης, 2010).

Ο συντελεστής K είναι η μέτρηση διαφοράς μεταξύ πραγματικών και τυχαίων συμφωνιών που παρατηρήθηκαν ανάμεσα στα δεδομένα αναφοράς και της ταξινόμησης (Ελευθεριάδης, 2007).

Από τη μήτρα σύγχυσης υπολογίστηκαν οι συντελεστές ‘Overall Accuracy’ και ‘Kappa Coefficient’ που είναι μέτρα εκτίμησης της ακρίβειας στη διαδικασία ταξινόμησης.

Για την εκτέλεση της διαδικασίας ακρίβειας της ταξινόμησης της εικόνας στις 3 Ιουλίου 2007, επιλέχτηκε από το λογισμικό: ‘Classification’ → ‘Post Classification’ → ‘Confusion Matrix’ → ‘Using Ground Truth ROIs’.

Παρουσιάστηκαν, βλ. Παράρτημα Β – Πίνακας II, οι υπολογισμοί για τα εξής στατιστικά μεγέθη: α) Συνολική Ακρίβεια (Overall Accuracy), β) Συντελεστής K (Kappa Coefficient), γ) Ακρίβεια του Παραγωγού (Producer’s Accuracy – Prod. Acc.), δ) Ακρίβεια του Χρήστη (User’s Accuracy – User Acc.).

Η ακρίβεια του χάρτη στις καλύψεις – χρήσεις γης της εικόνας 3 Ιουλίου 2007 για το συνολικό αριθμό 316 training points που επιλέχτηκαν, ήταν 98.1013 %.

Η χαμηλότερη τιμή στην ακρίβεια του παραγωγού που εμφανίστηκε ήταν στην κατηγορία των θαμνότοπων με ποσοστό 94.12 % , ενώ η υψηλότερη και με απόλυτη ακρίβεια ήταν οι κατηγορίες δασών και αστικών – βιομηχανικών περιοχών, οπότε η ακρίβεια παραγωγού σε τιμή ξεπέρασε το 90 % για όλες τις φασματικές κλάσεις.

Η χαμηλότερη τιμή στην ακρίβεια του χρήστη εμφανίστηκε στην κατηγορία της αστικής – βιομηχανικής περιοχής με ποσοστό 94.55 %, ενώ οι υψηλότερες και με απόλυτη ακρίβεια ήταν οι κατηγορίες καμένης έκτασης, δασών και θαμνότοπων, εδώ πάλι και η ακρίβεια χρήστη ξεπέρασε περίπου το 90 % για όλες τις φασματικές κλάσεις.

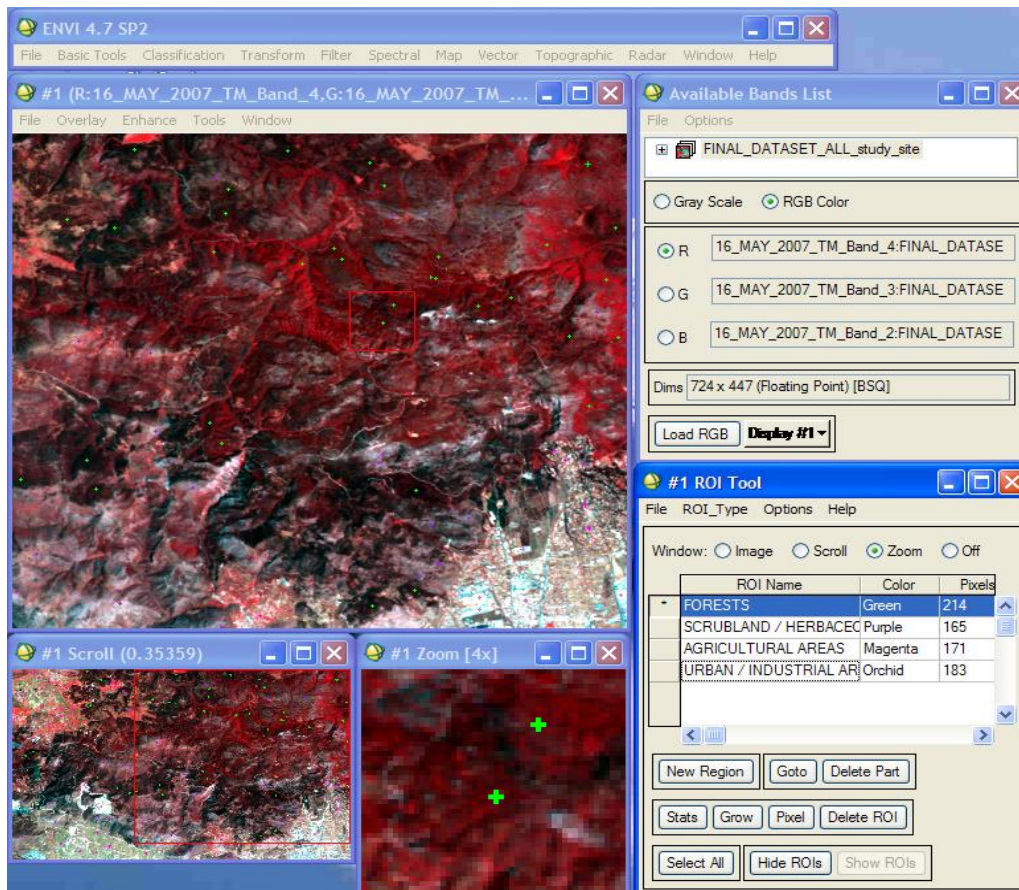
*Η μήτρα σύγχυσης έδωσε μια συνολική εκτίμηση της ακρίβειας του παραγόμενου θεματικού χάρτη, χωρίς τη παροχή πληροφοριών σχετικά με το εύρος και τη μεταβολή της ακρίβειας ή τη χωρική κατανομή των σφαλμάτων σε δεδομένο σημείο του χάρτη.*

Η ακρίβεια της ταξινόμησης (accuracy assessment) σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την ποιότητα πληροφορίας που παρέχει ένας θεματικός χάρτης, αφού παρουσιάζει μια γενίκευση του πραγματικού χώρου. Είναι σημαντική η ακρίβεια του θεματικού χάρτη, ώστε ο χρήστης του, να μπορεί να εξάγει χρήσιμα συμπεράσματα.

Μερικές παράμετροι που επηρεάζουν την ακρίβεια είναι: α) τύπος δορυφορικών εικόνων, β) αλγόριθμος ταξινόμησης που χρησιμοποιείται και γ) πλήθος φασματικών κλάσεων ταξινόμησης (Ψωμιάδης, 2010).

Η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, ακολουθήθηκε και στην εικόνα πριν από την πυρκαγιά (16 MAY 2007) με τη μέθοδο maximum likelihood, με συνδυασμό καναλιών στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα R4 G5 B3 και την επιλογή των training points, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 21.





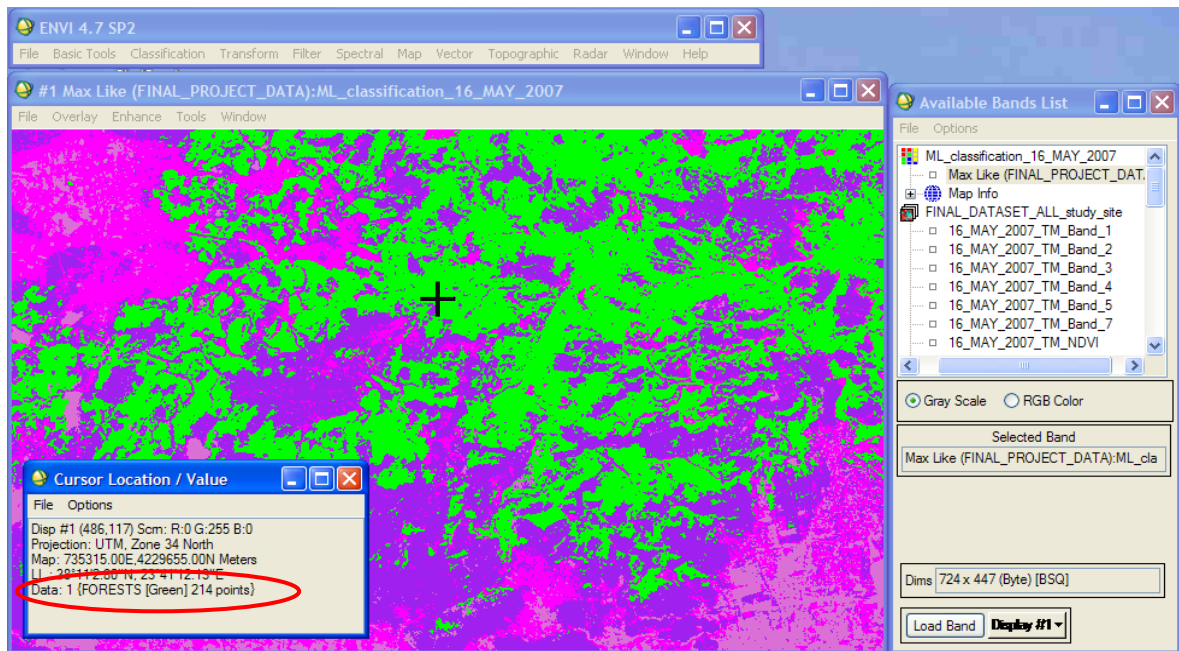
**Εικόνα 21:** Επιλογή των training points που αντιστοιχούν στις φασματικές κλάσεις για την εικόνα στις 16 Μαΐου 2007.

Εκτελέστηκε η διαδικασία διαχωρισμού των φασματικών κλάσεων ‘ROI Separability’ και για την εικόνα πριν από τη πυρκαγιά, βλέπε Παράρτημα Β – Πίνακας III.

Στο τμήμα του πίνακα ‘Pair Separation’ διακρίνεται ανά ζεύγη η διαχωριστικότητα μεταξύ των φασματικών κλάσεων που ταξινομήθηκαν και διαπιστώθηκε ότι ο καλύτερος διαχωρισμός έγινε ανάμεσα στο δάσος και την αστική / βιομηχανική περιοχή με τιμή 1.99965117, ενώ δυσχερής διαχωριστικότητα έγινε μεταξύ των κλάσεων των θαμνότοπων και των καλλιεργειών με τιμή 1.66898974.

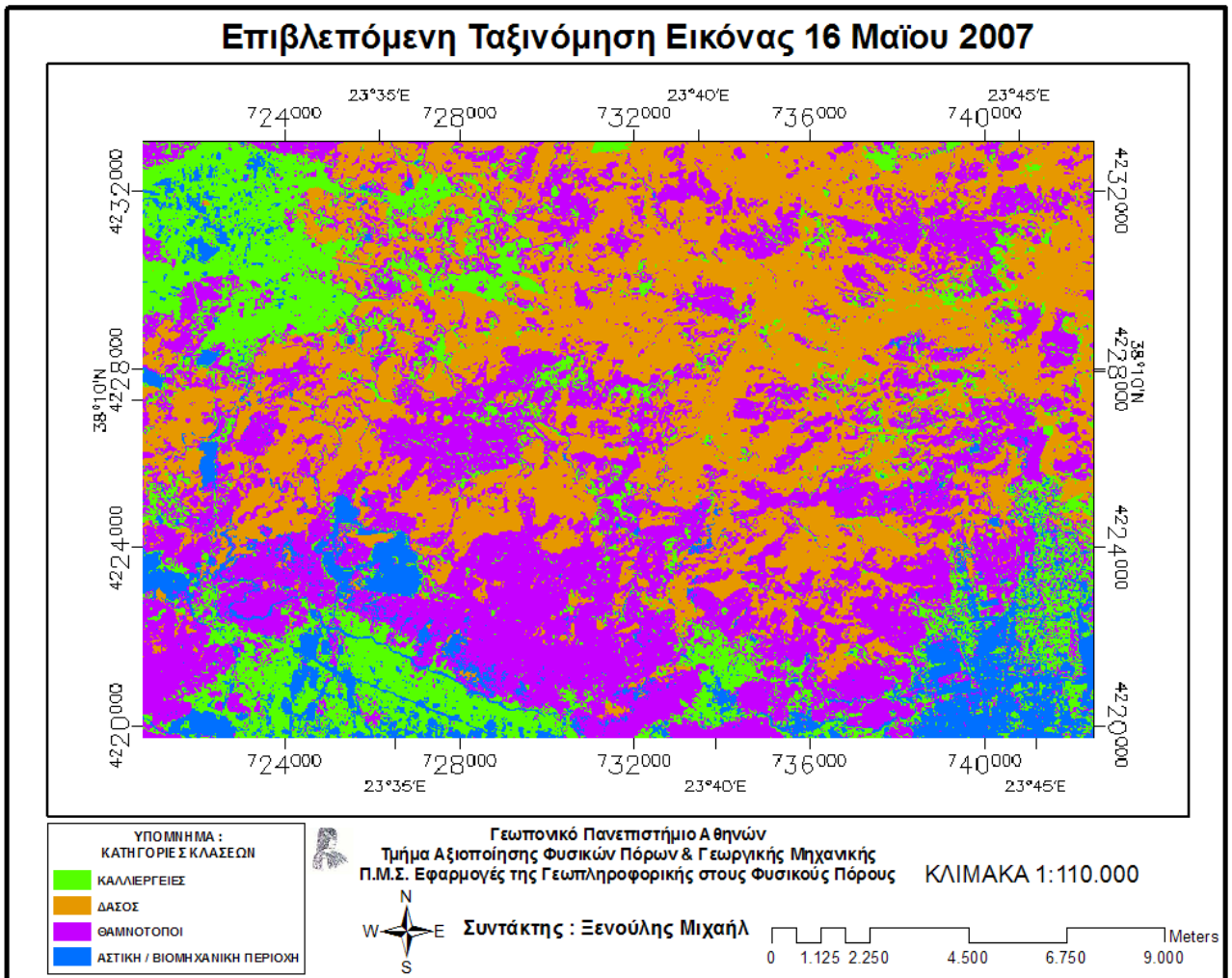
Αφού διαπιστώθηκε ότι υπάρχει καλός διαχωρισμός μεταξύ των κλάσεων, συνεχίστηκε η ουσιαστική διαδικασία ταξινόμησης όπως έγινε προηγουμένως με την εικόνα μετά την πυρκαγιά και το αποτέλεσμα αποθηκεύτηκε σε αρχείο με όνομα ‘ML\_classification\_16\_MAY\_2007’.

Παρουσιάζεται στην Εικόνα 22 η διαδικασία της ταξινόμησης της εικόνας 16 Μαΐου 2007.



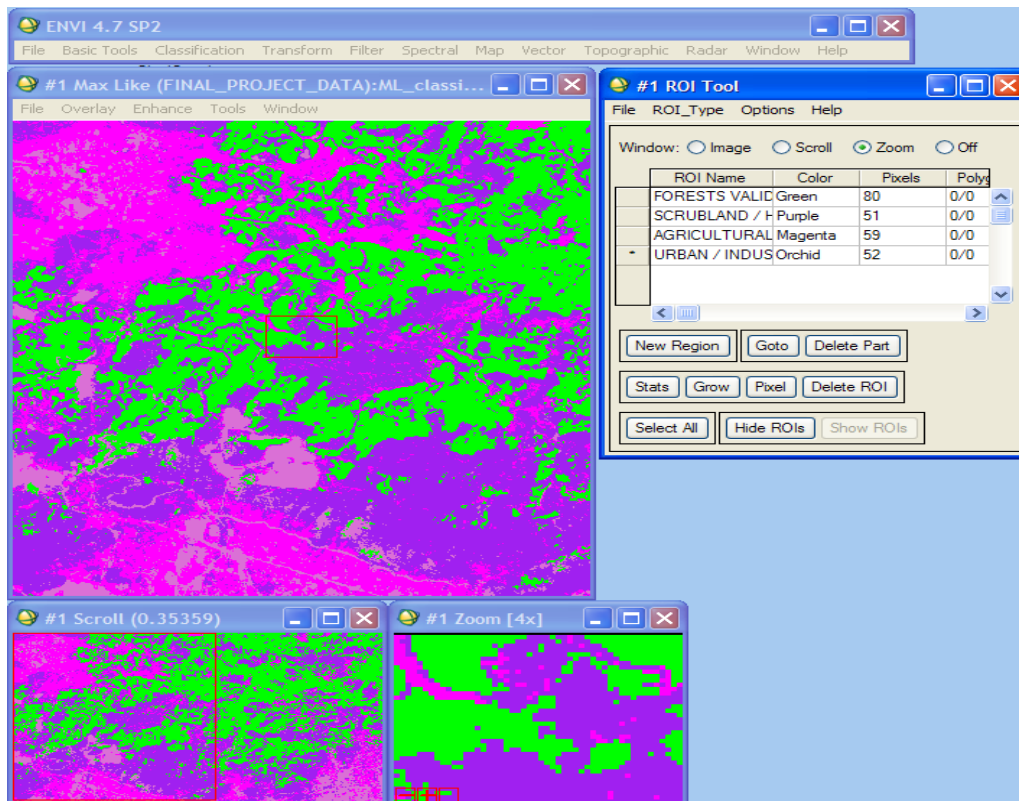
**Εικόνα 22:** Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης εικόνας 16 Μαΐου 2007.

Εμφανίζεται στο Χάρτη 5, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας 16 Μαΐου 2007, όπως έγινε και στην εικόνα της 3 Ιουλίου 2007 μέσω του ArcMap, για τον καλύτερο διαχωρισμό των φασματικών κλάσεων.



**Χάρτης 5:** Ταξινομημένη εικόνα στις 16 Μαΐου 2007 με τον αλγόριθμο maximum likelihood από την επιβλεπόμενη μέθοδο ταξινόμησης.

Αξιολογήθηκε κατά πόσο σωστά έγινε η ταξινόμηση στην εικόνα πριν τη πυρκαγιά (16 Μαΐου 2007) με τον ίδιο τρόπο που έγινε και στην εικόνα μετά την πυρκαγιά (3 Ιουλίου 2007).



**Εικόνα 23:** Εμφάνιση των validation points της εικόνας στις 16 Μαΐου 2007 για την περιοχή μελέτης.

Πραγματοποιήθηκε αντιστοίχιση μεταξύ των κατηγοριών – κλάσεων. Έγινε στατιστικός υπολογισμός της ακρίβειας ταξινόμησης της εικόνας 16 Μαΐου 2007. Το αποτέλεσμα παρουσιάστηκε στον πίνακα εκτίμησης σφάλματος βλέπε Παράρτημα Β – Πίνακας IV, με τα ποσοστά των εικονοστοιχείων των training points που ταξινομήθηκαν στη σωστή φασματική κλάση.

Η ακρίβεια του χάρτη στις καλύψεις – χρήσεις γης της εικόνας 16 Μαΐου 2007 για το συνολικό αριθμό 242 training points που επιλέχτηκαν, διαπιστώθηκε συνολική ακρίβεια 95.8678 %.

Η χαμηλότερη τιμή που εμφανίστηκε στην ακρίβεια του παραγωγού ήταν στην κατηγορία των καλλιεργειών με ποσοστό 94.23 %, ενώ η υψηλότερη ήταν στις κατηγορίες δασών και θαμνότοπων, όπου η ακρίβεια παραγωγού ξεπέρασε το 85 % για όλες τις φασματικές κλάσεις.

Η χαμηλότερη τιμή στην ακρίβεια του χρήστη εμφανίστηκε στην κατηγορία των θαμνότοπων με ποσοστό 91.07 %, ενώ η υψηλότερη ήταν στην κατηγορία της καμένης έκτασης, δασών. Επιπροσθέτως πάλι η ακρίβεια χρήστη ξεπέρασε το 90 % για όλες τις φασματικές κλάσεις.

Αυτό που παρατηρήθηκε από τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία είναι ότι η ταξινόμηση της εικόνας πριν την πυρκαγιά έγινε με ιδιαίτερη επιτυχία στο διαχωρισμό των κατηγοριών – κλάσεων.

Ο λόγος που έγινε ταξινόμηση στην εικόνα πριν την πυρκαγιά ήταν για την εκτίμηση με τη χρήση στατιστικών υπολογισμών του είδους των καλύψεων – χρήσεων γης που κάηκαν, εντός της μάσκας που δημιουργήθηκε, περιλαμβάνοντας την καμένη έκταση από την εικόνα αμέσως μετά την πυρκαγιά.

### **3.4.3.1. Συμπεράσματα Ταξινόμησης**

Στη συγκεκριμένη μελέτη για τις δύο εικόνες (πριν και μετά την πυρκαγιά) που ταξινομήθηκαν με μέθοδο επιβλεπόμενης ταξινόμησης, η λήψη έγινε σε πολύ κοντινή περίοδο, με μια απόκλιση 48 ημερών ανάμεσα στις λήψεις των δύο εικόνων.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της διαδικασίας της ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων είναι:

- α) τα φασματικά χαρακτηριστικά των καλύψεων / χρήσεων γης στη περιοχή μελέτης,*
- β) η φασματική μεταβολή των κλάσεων προς ταξινόμηση και*
- γ) η χωρική ανάλυση.*

Όταν η χωρική ανάλυση είναι μεγάλη αυτό έχει ως επακόλουθο τη σωστή κατανομή των εικονοστοιχείων στις κλάσεις ταξινόμησης με καλή ακρίβεια, όπως εμφανίστηκε στον πίνακα αξιολόγησης του Παραρτήματος Β.

Για την ύπαρξη θετικών αποτελεσμάτων κατά τη διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης πρέπει να γίνουν ορισμένες παραδοχές. Αν ο αναλυτής επιθυμεί να έχει αρκετή ακρίβεια στην ταξινόμηση, καλό είναι να μην υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ των διαφόρων υποκατηγοριών μιας κατηγορίας, π.χ. στην κατηγορία ‘Δάσος’.

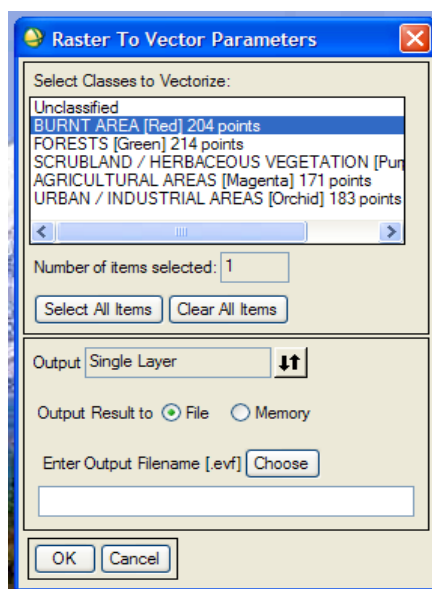
Ορίστηκαν έτσι οι κλάσεις – κατηγορίες, , ώστε να μη δημιουργείται σύγχυση μεταξύ τους αλλά και τόσες ώστε να μην υπάρχουν αταξινομήτα pixels (unclassified).

Αυτό που βγήκε ως συμπέρασμα από τους παραγόμενους θεματικούς χάρτες καλύψεων – χρήσεων γης (από τις εικόνες πριν και μετά την πυρκαγιά), ήταν ότι η συνολική ακρίβεια ξεπέρασε το 95% στις κατηγορίες ταξινόμησης ώστε να είναι επιτυχής.

### 3.5. Εξαγωγή Καμένης Έκτασης

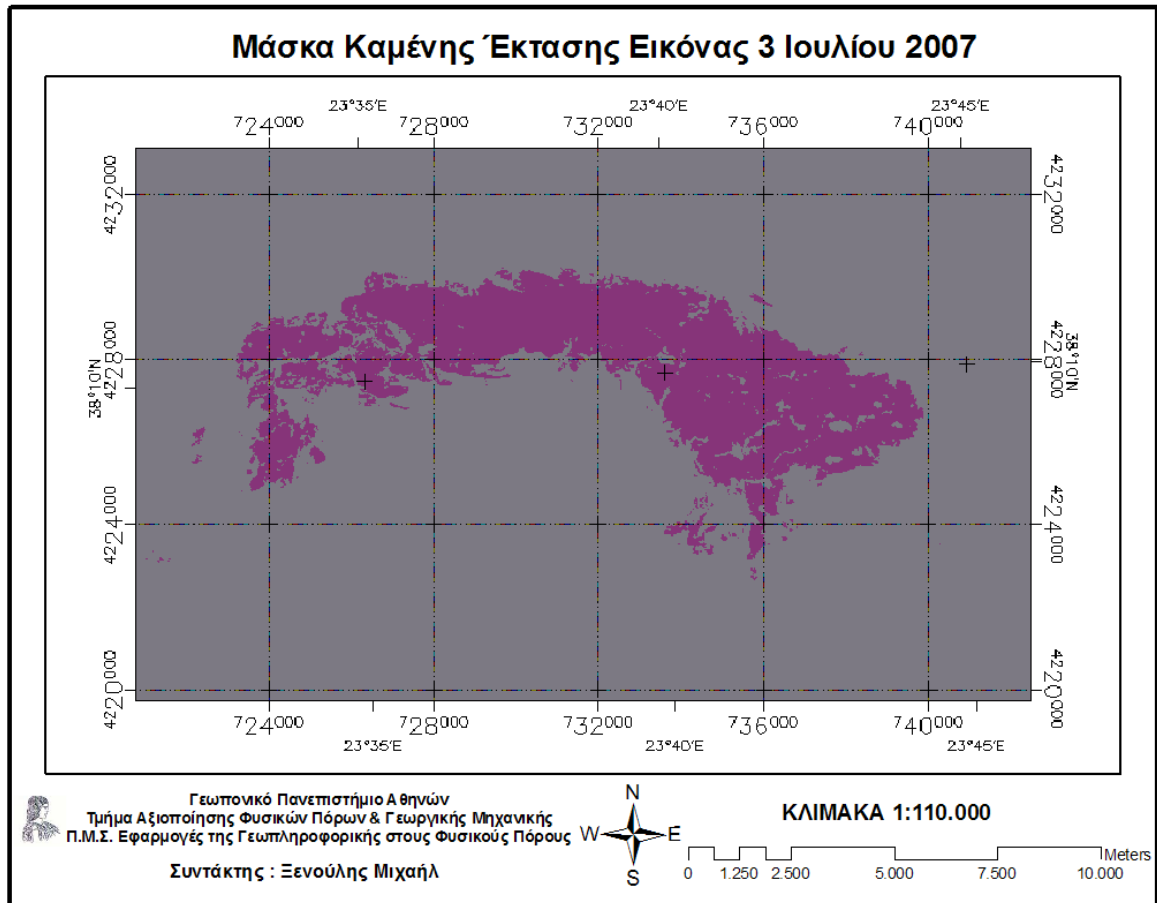
Αφού οι κατηγορίες ταξινόμησης αντιστοιχούν στις αντιπροσωπευτικές κατηγορίες της επιφάνειας του εδάφους, έγινε εξαγωγή με τη μορφή μάσκας η περιοχή της καμένης έκτασης από την πυρκαγιά.

Αυτή η δυνατότητα ήταν εφικτή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 24, μέσα από το περιβάλλον του ENVI: 'Classification' → 'Post Classification' → 'Classification to Vector', όπου επιλέχτηκε η κλάση – κατηγορία μόνο της καμένης έκτασης που έγινε στη συνέχεια η μάσκα.



**Εικόνα 24:** Επιλογή φασματικής κλάσης της κατηγορίας 'BURNT AREA' που αντιπροσωπεύει την καμένη έκταση για να δημιουργηθεί η μάσκα.

Αφού επιλέχτηκε η περιοχή που περιλαμβάνει την καμένη έκταση, έγινε η κύρια διαδικασία της δημιουργίας της μάσκας ως εξής: 'Basic Tools' → 'Masking' → 'Build Mask' ενώ το αποτέλεσμα αποθηκεύτηκε σε αρχείο με όνομα 'ML\_classification\_03\_JULY\_2007\_BURNT\_AREA\_MASK'. Η επιλογή της καμένης έκτασης σε μορφή μάσκας, εμφανίζεται στο Χάρτη 6.



**Χάρτης 6:** Μάσκα καμένης έκτασης της περιοχής μελέτης από την εικόνα 3 Ιουλίου 2007.

### 3.6. Σύνοψη διαδικασιών κεφαλαίου

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έγινε μια εκτενής αναφορά κυρίως σε διαδικασίες που εφαρμόστηκαν προκειμένου τα δεδομένα να μπορούν να δώσουν σαφή και ουσιαστικά συμπεράσματα. Αυτές οι διαδικασίες περιγράφονται περιληπτικά με τη σειρά που εφαρμόστηκαν:

α) Περιγραφή των χωρικών δεδομένων που προήλθαν από λήψη δορυφορικών εικόνων, από δεδομένα ASTER με τοπογραφικές πληροφορίες π.χ. υψομέτρου και του συστήματος ταξινόμησης γης CORINE 2000.

β) Προεπεξεργασία (διαδικασίες calibration, subset, υπολογισμού δείκτη βλάστησης NDVI και layer stacking) των δορυφορικών εικόνων, για τη μετέπειτα ευκολότερη και ταχύτερη επεξεργασία, ανάλυση και απόκτηση χρήσιμων συμπερασμάτων.

γ) Περιγραφή των δύο κύριων διαδικασιών ταξινόμησης των κατηγοριών καλύψεων – χρήσεων γης, μέσα από απεικόνιση σε παραγόμενους θεματικούς χάρτες των φασματικών κλάσεων που επιλέχτηκαν προς ταξινόμηση. Επιπροσθέτως έγινε εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης.

δ) Από την ταξινομημένη εικόνα της 3 Ιουλίου 2007 (εικόνα αμέσως μετά την κατάσβεση της πυρκαγιάς), έγινε εξαγωγή με τη μορφή μάσκας η καμένη έκταση, προκειμένου να διαπιστωθεί εντός της συγκεκριμένης έκτασης ο ρυθμός αναβλάστησης.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Παρουσίαση & Ανάλυση Τελικών Αποτελεσμάτων**

### **4.1. Εισαγωγή – σύντομη περιγραφή**

Από τη στιγμή που έγιναν όλες οι απαραίτητες επεξεργασίες των δεδομένων, ώστε να είναι δυνατή η κύρια ανάλυση της μεταβολής της αναβλάστησης στην καμένη έκταση των διαφόρων καλύψεων – χρήσεων γης, θα εκτελεστεί το τελευταίο και βασικό κομμάτι της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας, με την ανάλυση και ερμηνεία της μεταβολής του ρυθμού αναβλάστησης.

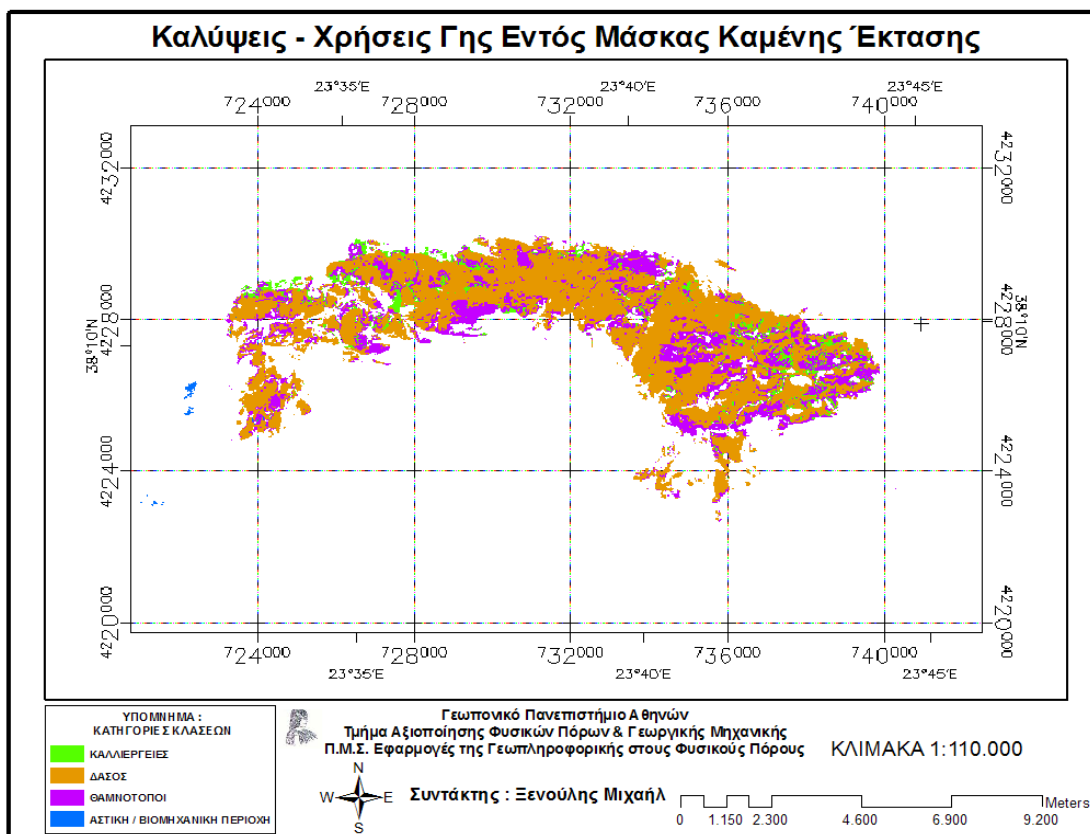
### **4.2. Χαρτογράφηση βλάστησης εντός καμένης έκτασης**

Στο τέλος του προηγούμενου κεφαλαίου έγινε εξαγωγή της καμένης έκτασης, από τη δορυφορική εικόνα της 3 Ιουλίου 2007 με τη μορφή μάσκας. Το σύνολο αυτής της έκτασης, εφαρμόστηκε στο αρχείο 'FINAL\_PROJECT\_DATASET\_BA\_only', ώστε να περιλαμβάνει μόνο την περιοχή που χαρακτηρίστηκε ως καμένη και έγινε η μελέτη του ρυθμού αναβλάστησής της.

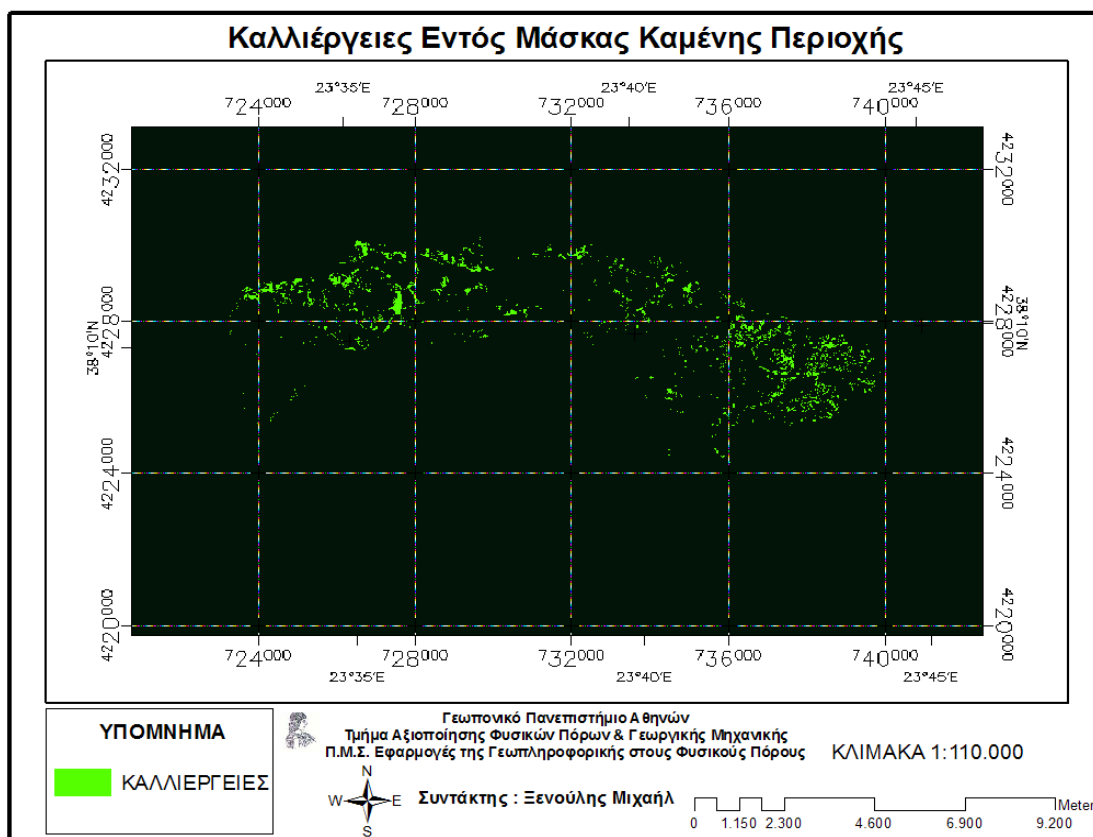
Από την περιοχή της καμένης έκτασης όπως χαρακτηρίστηκε από την εικόνα της 3 Ιουλίου 2007, εφαρμόστηκε στην εικόνα πριν από την πυρκαγιά (16 Μαΐου 2007), ώστε να παρουσιαστούν τι είδη βλάστησης, που περιέχονταν εντός της περιοχής που κάηκε και το παραγόμενο αποτέλεσμα αποθηκεύτηκε σε αρχείο με όνομα 'classes\_under\_burnt\_area'.

Παρουσιάστηκαν σε θεματικούς χάρτες, Χάρτες 7, 8, 9 και 10, οι διαφορετικές καλύψεις – χρήσεις γης, ενώ στη συνέχεια έγιναν οι στατιστικοί υπολογισμοί του βαθμού αναβλάστησης της οριζόμενης ως καμένη έκταση.

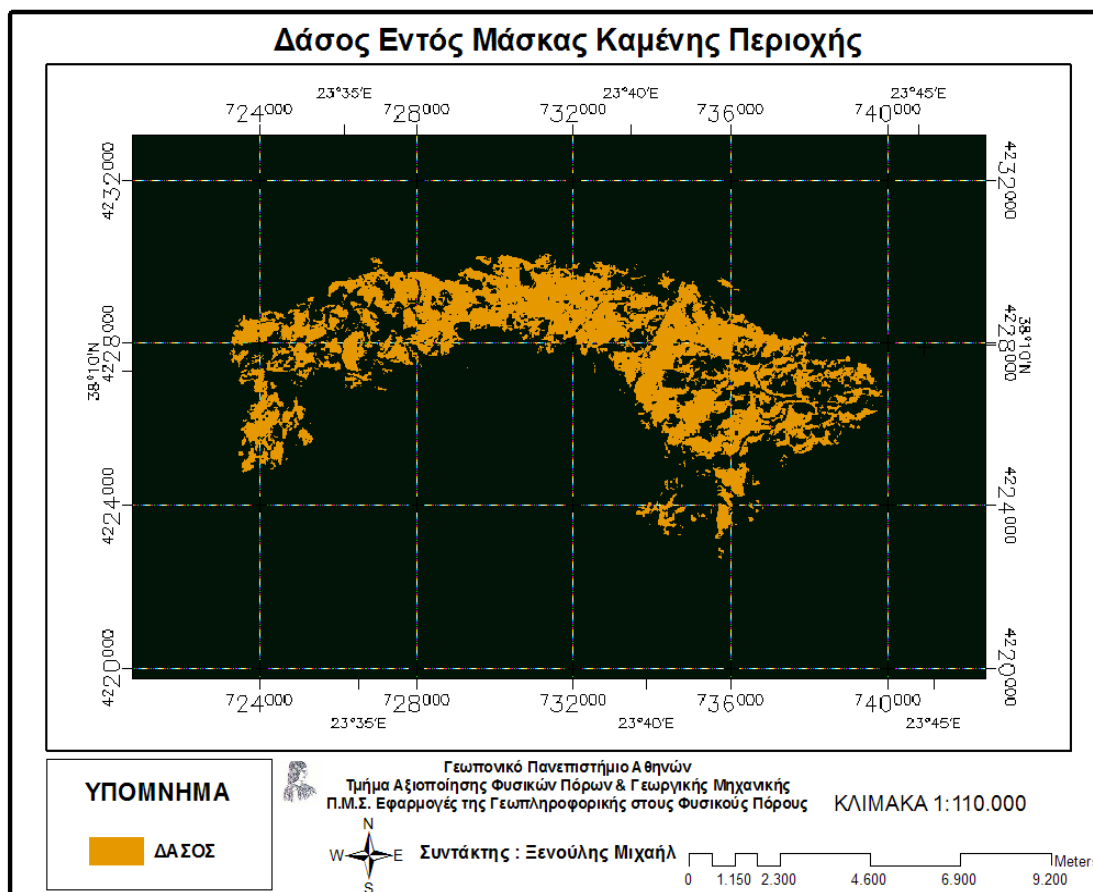
Παρουσιάζονται στο Χάρτη 7, ξεχωριστά ανά κάλυψη – χρήση γης τα διαφορετικά είδη βλάστησης εντός της καμένης έκτασης με τη μορφή μάσκας.



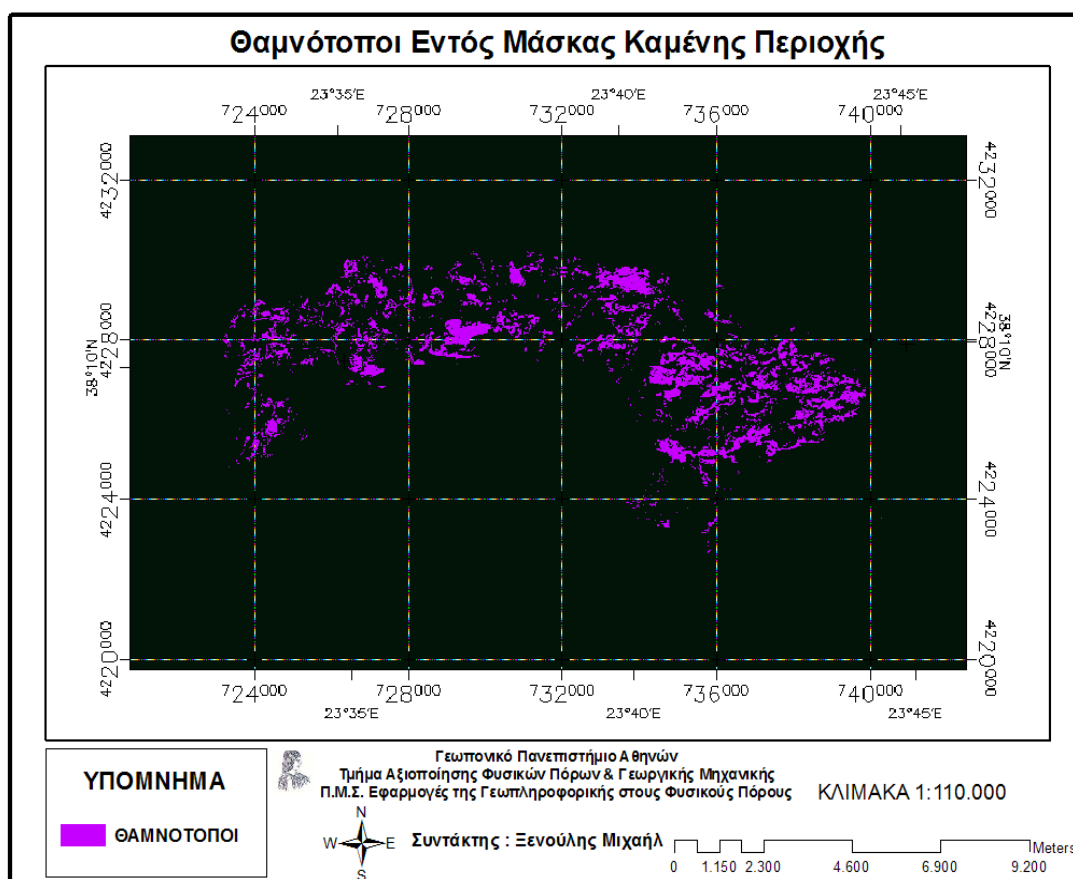
**Χάρτης 7:** Μάσκα καλύψεων – χρήσεων γης εντός καμένης έκτασης.



**Χάρτης 8:** Σύνολο καλλιιεργειών που κάηκαν εντός της μάσκας καμένης έκτασης στην περιοχή μελέτης της εικόνας 16 Μαΐου 2007.



**Χάρτης 9:** Σύνολο δάσους που κάηκε εντός της μάσκας καμένης έκτασης στην περιοχή μελέτης της εικόνας 16 Μαΐου 2007.



**Χάρτης 10:** Σύνολο θαμνότοπων που κάηκαν εντός της μάσκας καμένης έκτασης στην περιοχή μελέτης της εικόνας 16 Μαΐου 2007.

*Εξαιρέθηκε η κάλυψη – χρήση γης της αστικής / βιομηχανικής περιοχής, γιατί στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία δεν έγινε μελέτη των επιπτώσεων της πυρκαγιάς στον αστικό ιστό μιας περιοχής που επλήγη. Παρ’ όλα αυτά εμφανίστηκε στο σύνολο των καλύψεων – χρήσεων γης που κάηκαν από την πυρκαγιά και παρουσιάστηκε στο Χάρτη 7.*

Στους Χάρτες 8, 9 και 10, παρουσιάστηκαν ξεχωριστά τα διαφορετικά είδη βλάστησης εντός της καμένης έκτασης.

Εκτός από την εμφάνιση της έκτασης που καλύπτουν τα διαφορετικά είδη κάλυψης – χρήσης γης μέσω των χαρτών που παρουσιάστηκαν, υπολογίστηκαν σημαντικές αριθμητικές τιμές, όπως το ποσοστό (%) και το σύνολο της έκτασης (στρέμματα) κάθε κατηγορίας βλάστησης εντός της καμένης έκτασης, που παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Αυτό έγινε μέσω της διαδικασίας ‘Classification’ → ‘Post Classification’ → ‘Class Statistics’ από το αρχείο που αποθηκεύτηκε προηγουμένως μ’ όνομα ‘classes\_under\_burnt\_area’.

**Πίνακας 1:** Εμφάνιση πίνακα αριθμητικών τιμών των ειδών βλάστησης που κήκαν.

<i><b>ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΙΔΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ</b></i>		
	<b>Ποσοστό (%)</b>	<b>Έκταση (στρέμματα)</b>
<b>Καλλιέργειες</b>	0,942	2,742
<b>Δάσος</b>	9,250	26,942
<b>Θαμνότοποι</b>	3,518	10,246

### **4.3. Εκτίμηση της βιομάζας για την αναβλάστηση της καμένης έκτασης (με χρήση του δείκτη βλάστησης NDVI)**

Από το δείκτη βλάστησης NDVI υπολογίστηκαν τα μονομεταβλητά μεγέθη του δείκτη, για όλες τις ημερομηνίες των δορυφορικών εικόνων, από το αρχείο 'FINAL\_DATASET\_ALL\_study\_site\_BA\_ONLY' όπου στον Πίνακα 2, φάνηκαν συνολικά οι μεταβολές σε βασικά μονομεταβλητά μεγέθη, όπως:

α) Ελάχιστη τιμή (Min), β) Μέγιστη τιμή (Max), γ) Μέσος όρος (Mean), δ) Τυπική απόκλιση (StDev).

#### **❖ Γενικοί στατιστικοί υπολογισμοί του δείκτη βλάστησης NDVI**

**Πίνακας 2:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων δείκτη βλάστησης NDVI για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

<i><b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΕΙΚΤΩΝ NDVI</b></i>				
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Stdev</b>
<b>16 MAY 2007</b>	-0.006518	0.716074	0.504658	0.069304
<b>3 JULY 2007</b>	-0.019858	0.183435	0.071238	0.030269
<b>19 JULY 2007</b>	-0.020758	0.243986	0.077296	0.032922
<b>24 JULY 2009</b>	-0.000299	0.596644	0.256896	0.093730
<b>12 AUG 2010</b>	-0.026113	0.608279	0.263135	0.091815

Από το μέσο όρο (Mean) του δείκτη βλάστησης NDVI διαπιστώθηκε ότι, υπάρχει σταδιακή αύξηση στις τιμές ανάμεσα στις 5 ημερομηνίες που μελετήθηκαν, όπου εμφανίστηκε αυξητική τάση στην αναβλάστηση της καμένης έκτασης.

Παρατηρήθηκε ανοδική πορεία στις αριθμητικές τιμές του στατιστικού μεγέθους Mean, όπου στην ημερομηνία πριν την πυρκαγιά στις 16 Μαΐου 2007 εμφανίστηκε η μέγιστη τιμή του ‘Mean’ 0.504658 και στην ημερομηνία αμέσως μετά την πυρκαγιά στις 3 Ιουλίου 2007 η ελάχιστη τιμή του ‘Mean’ 0.071238. Οι υπόλοιπες ημερομηνίες μετά την πυρκαγιά παρουσίαζαν αύξηση, με τάση να επανέλθει η τιμή του ‘Mean’ σ’ αυτή που ήταν στην ημερομηνία πριν την πυρκαγιά.

Έγινε χαρτογραφική απόδοση της μεταβολής του δείκτη βλάστησης NDVI στο σύνολο των ημερομηνιών των εικόνων που ελήφθησαν, βλέπε Παράρτημα Γ.

Όμως επειδή έπρεπε να εξεταστεί ο ρυθμός αναβλάστησης, ανά είδος κάλυψης – χρήσης γης, έγινε εκτενής και λεπτομερής παρουσίαση στατιστικών υπολογισμών και διαγραμμάτων μεταβολής.

Έγινε ο στατιστικός υπολογισμός των καλλιεργειών με το δείκτη βλάστησης NDVI σε πίνακα και αποθηκεύτηκε το αποτέλεσμα σε αρχείο με όνομα ‘NDVI\_agricultural\_areas\_under\_burnt\_area\_ALL\_DATES’.

- **Γενικά στατιστικά για τις καλλιέργειες**

**Πίνακας 3:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων δείκτη βλάστησης NDVI των καλλιεργειών για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

<b>Ημερομηνίες Εικόνων</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Stdev</b>
16 MAY 2007	0.267530	0.692353	0.471064	0.058968
3 JUL 2007	-0.011310	0.176364	0.087940	0.028325
19 JUL 2007	0.003234	0.202511	0.096657	0.029293
24 JUL 2009	0.102369	0.436893	0.225592	0.072207
12 AUG 2010	0.097515	0.437360	0.224799	0.075105

Έγινε ο στατιστικός υπολογισμός του δάσους με το δείκτη βλάστησης NDVI σε πίνακα και αποθηκεύτηκε το αποτέλεσμα σε αρχείο με όνομα ‘NDVI\_forests\_under\_burnt\_area\_ALL\_DATES’.

- **Γενικά στατιστικά για το δάσος**

**Πίνακας 4:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων δείκτη βλάστησης NDVI του δάσους για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

Ημερομηνίες Εικόνων	Min	Max	Mean	Stdev
16 MAY 2007	0.344262	0.716074	0.534604	0.052797
3 JUL 2007	-0.019858	0.181527	0.064133	0.028756
19 JUL 2007	-0.019858	0.243986	0.068640	0.031694
24 JUL 2009	0.087109	0.596644	0.276426	0.096808
12 AUG 2010	0.081570	0.608279	0.284542	0.092755

Έγινε ο στατιστικός υπολογισμός των θαμνότοπων με το δείκτη βλάστησης NDVI σε πίνακα και αποθηκεύτηκε το αποτέλεσμα σε αρχείο με όνομα 'NDVI\_scrublands\_under\_burnt\_area\_ALL\_DATES'.

- **Γενικά στατιστικά για τους θαμνότοπους**

**Πίνακας 5:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων δείκτη βλάστησης NDVI των θαμνότοπων για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

Ημερομηνίες Εικόνων	Min	Max	Mean	Stdev
16 MAY 2007	0.274308	0.581925	0.439055	0.045671
3 JUL 2007	0.009935	0.183435	0.084916	0.027607
19 JUL 2007	0.006692	0.221611	0.094485	0.027287
24 JUL 2009	0.082509	0.465352	0.215121	0.071761
12 AUG 2010	0.082411	0.494384	0.218360	0.071167

Από τους πίνακες 3,4 και 5 παρατηρήθηκε ότι η διακύμανση στις τιμές της Μέσης Τιμής (Mean) του δείκτη βλάστησης NDVI, στις ημερομηνίες αμέσως μετά την πυρκαγιά, είναι ιδιαίτερα μικρή σε σχέση με την ημερομηνία σύγκρισης, αυτής πριν την πυρκαγιά, που έχει την υψηλότερη τιμή. Απ' την άλλη παρατηρήθηκε ότι στις ημερομηνίες 2 και 3 χρόνια μετά την πυρκαγιά οι τιμές παρουσιάζουν αυξητική τάση, που δείχνει ότι έχει αρχίσει πλέον να υπάρχει αναβλάστηση στις καλλιέργειες, στο δάσος και στους θαμνότοπους που καταστράφηκαν από την πυρκαγιά.

Αυτό διαπιστώθηκε μέσω της γραμμικής παλινδρόμησης και των γραφημάτων που προέκυψαν από την ανάλυση της μεταβολής του ρυθμού αναβλάστησης από τις διαφορετικές ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

#### **4.4. Μεταβολή της αναβλάστησης στα διαφορετικά είδη βλάστησης που κήκαν από την πυρκαγιά**

Το σύνολο των υπολογισμών για τους συντελεστές R και R<sup>2</sup> για τη μελέτη μεταβολής των καλλιεργειών, του δάσους και των θαμνότοπων, έγιναν μέσω του στατιστικού πακέτου 'SPSS έκδοση 18', από το οποίο μπόρεσαν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα και παρατηρήσεις.

Η τιμή R είναι η απόλυτη τιμή του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης ή αλλιώς συντελεστής συσχέτισης όπως ονομάζεται συνήθως.

Η τιμή R<sup>2</sup> είναι το τετράγωνο του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης και ονομάζεται συντελεστής προσδιορισμού. Ο συντελεστής προσδιορισμού δείχνει το ποσοστό της μεταβλητότητας των δεδομένων που εξηγείται από το γραμμικό μοντέλο που προσαρμόζει ο αναλυτής, π.χ. το μοντέλο εξηγεί το 7,5% → (0,075\*100) της συνολικής μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής.

- Για τις καλλιέργειες

**Πίνακας 6:** Υπολογισμός συντελεστή προσδιορισμού συσχέτισης των καλλιεργειών.

Εύρος Μεταβολής στις Ημερομηνίες Εικόνων	R	R <sup>2</sup>
16 MAY 2007 - 3 JUL 2007	0,261	0,068
16 MAY 2007 - 19 JUL 2007	0,241	0,058
16 MAY 2007 - 24 JUL 2009	0,256	0,065
16 MAY 2007 - 12 AUG 2010	0,262	0,069



- **Για το δάσος**

**Πίνακας 7:** Υπολογισμός συντελεστή προσδιορισμού συσχέτισης του δάσους.

Εύρος Μεταβολής στις Ημερομηνίες Εικόνων	R	R <sup>2</sup>
16 MAY 2007 - 3 JUL 2007	0,174	0,030
16 MAY 2007 - 19 JUL 2007	0,246	0,061
16 MAY 2007 - 24 JUL 2009	0,294	0,087
16 MAY 2007 - 12 AUG 2010	0,379	0,143

- **Για τους θαμνότοπους**

**Πίνακας 8:** Υπολογισμός συντελεστή προσδιορισμού συσχέτισης των θαμνότοπων.

Εύρος Μεταβολής στις Ημερομηνίες Εικόνων	R	R <sup>2</sup>
16 MAY 2007 - 3 JUL 2007	0,273	0,075
16 MAY 2007 - 19 JUL 2007	0,213	0,045
16 MAY 2007 - 24 JUL 2009	0,152	0,023
16 MAY 2007 - 12 AUG 2010	0,151	0,023

Για να διαπιστωθεί η σχέση ανάμεσα στις ημερομηνίες, έγινε στατιστική εκτίμηση ανά ζεύγη των ημερομηνιών μεταξύ τους, με σταθερή την ημερομηνία πριν την πυρκαγιά δηλ. στις 16 Μαΐου 2007 σε σχέση με τις υπόλοιπες, αμέσως μετά την κατάσβεση. Αυτή η μεταβολή έγινε στο σύνολο της βλάστησης που κάηκε, με πίνακες εκτιμήσεων παραμέτρων αλλά και διαγραμμάτων μεταβολής.

Έγινε αναλυτική περιγραφή στους συντελεστές, στο σύνολο των διαφορετικών ειδών βλάστησης ανά ζεύγη ημερομηνιών.

Το μοντέλο που προσαρμόστηκε στις δύο μεταβλητές (ευθεία ελαχίστων τετραγώνων - linear regression) είναι της μορφής  $y = \alpha * x + \beta$ , όπου  $y$  είναι η εξαρτημένη μεταβλητή,  $x$  η ανεξάρτητη μεταβλητή και  $\alpha$ ,  $\beta$  οι παράμετροι του μοντέλου.

Η τιμή  $\beta$  ονομάζεται και συντελεστής παλινδρόμησης και μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή. Οι τιμές του  $\beta$  αντιπροσωπεύουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης στους συγκεκριμένους συντελεστές.

Ο συντελεστής παλινδρόμησης μπορεί να είναι αρνητικός (αρνητική εξάρτηση), θετικός (θετική εξάρτηση), ενώ όταν είναι 0 δεν υπάρχει εξάρτηση μεταξύ των υπό εξέταση μεταβλητών. Επιπλέον φανερώνει την επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη. (www. 16, www. 17)

- Ο συντελεστής  $\alpha$  δείχνει τη κλίση της ευθείας.
- Ο συντελεστής  $\beta$  (Constant) είναι η τιμή στην οποία η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, τέμνει τον άξονα  $y'y$ .

Αναλυτικά περιγράφηκε για κάθε είδος κάλυψης – χρήσης γης η μεταβολή στην αναβλάστηση με πίνακες εκτιμήσεων και διαγραμμάτων μεταβολής.

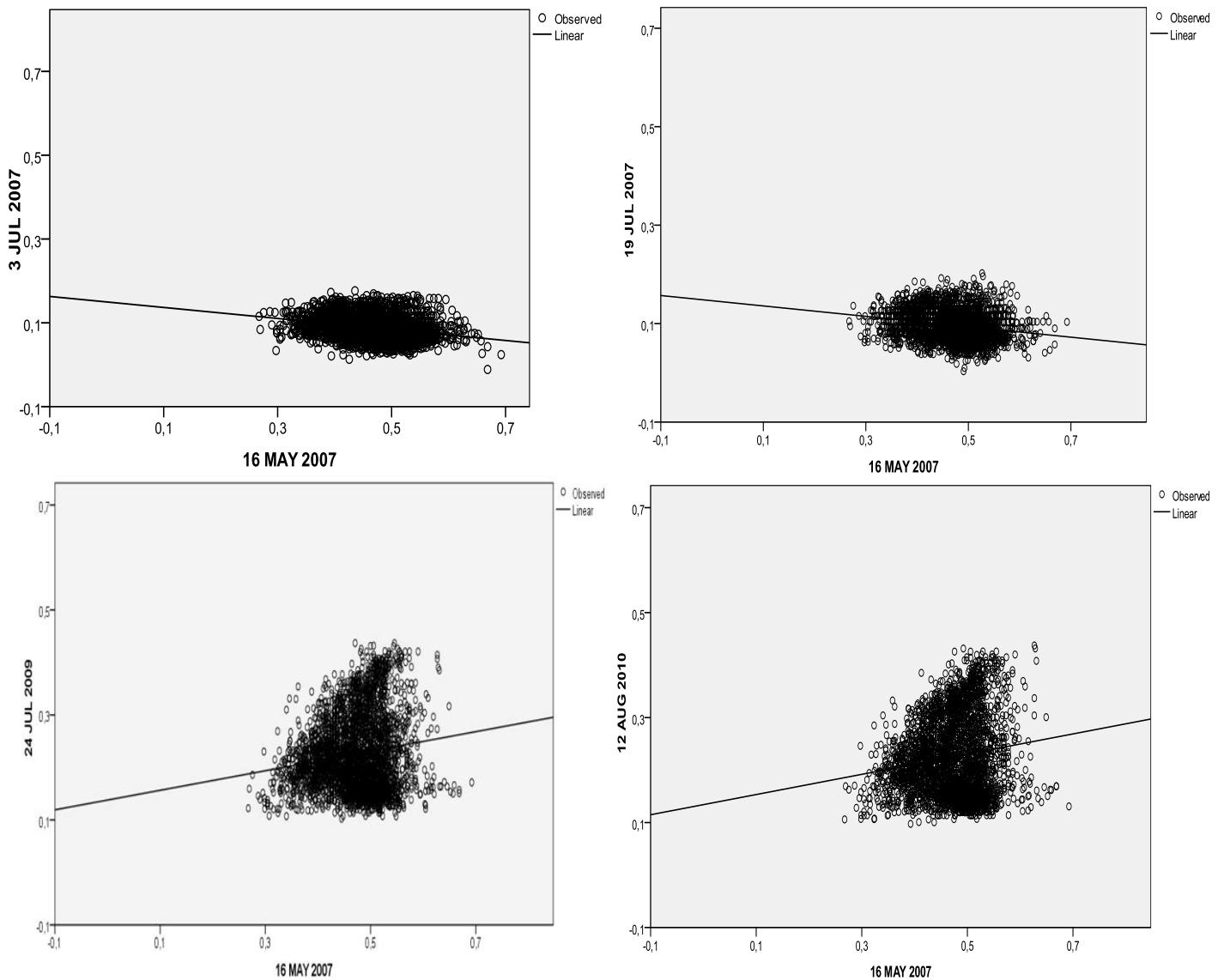
Η μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI για τα διαφορετικά είδη βλάστησης στο σύνολο των δορυφορικών εικόνων ανά ζεύγη ημερομηνιών, παρουσιάστηκαν με τη χρήση διαγραμμάτων μεταβολής.

*Παρόμοια ανάλυση παρουσιάστηκε στη μελέτη των Hope et al.*

**Πίνακας εκτίμησης παραμέτρων γραμμικής παλινδρόμησης και διαγράμματα μεταβολής των καλλιεργειών**

**Πίνακας 9:** Εμφάνιση παραμέτρων καλλιεργειών με συντελεστές γραμμικής παλινδρόμησης.

<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ</b>		
	<b>Συντελεστής α</b>	<b>Συντελεστής β (Constant)</b>
<b>16 MAY 2007 - 3 JUL 2007</b>	- 0,131	0,150
<b>16 MAY 2007 - 19 JUL 2007</b>	- 0,106	0,146
<b>16 MAY 2007 - 24 JUL 2009</b>	0,186	0,138
<b>16 MAY 2007 - 12 AUG 2010</b>	0,151	0,023

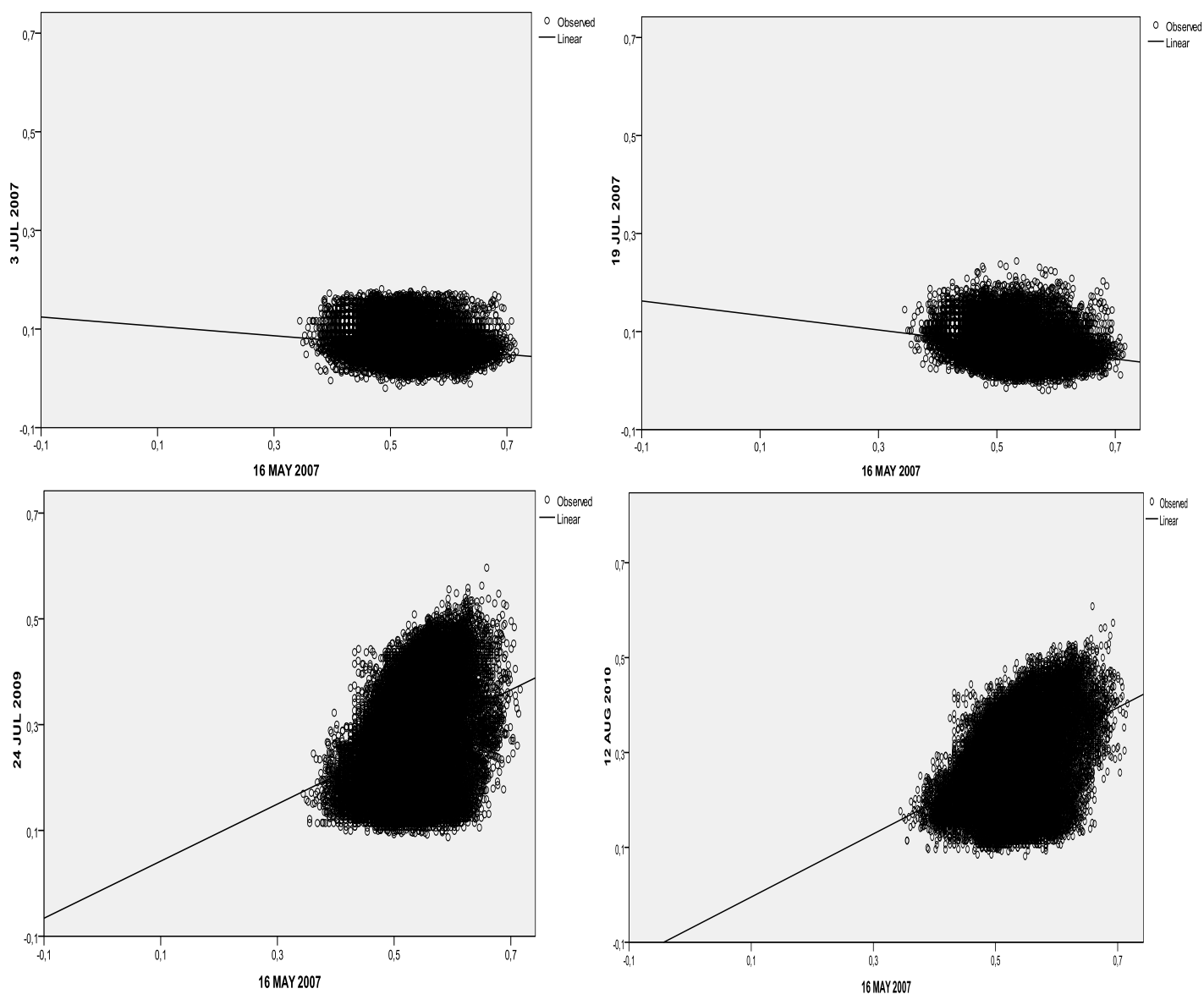


**Γράφημα 1:** Εμφάνιση διαγραμμάτων μεταβολής αναβλάστησης των καλλιεργειών.

**Πίνακας εκτίμησης παραμέτρων γραμμικής παλινδρόμησης και διαγράμματα μεταβολής του δάσους**

**Πίνακας 10:** Εμφάνιση παραμέτρων δάσους με συντελεστές γραμμικής παλινδρόμησης.

<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ</b>		
	<b>Συντελεστής α</b>	<b>Συντελεστής β (Constant)</b>
<b>16 MAY 2007 - 3 JUL 2007</b>	- 0,095	0,115
<b>16 MAY 2007 - 19 JUL 2007</b>	- 0,148	0,148
<b>16 MAY 2007 - 24 JUL 2009</b>	0,540	- 0,012
<b>16 MAY 2007 - 12 AUG 2010</b>	0,665	- 0,071



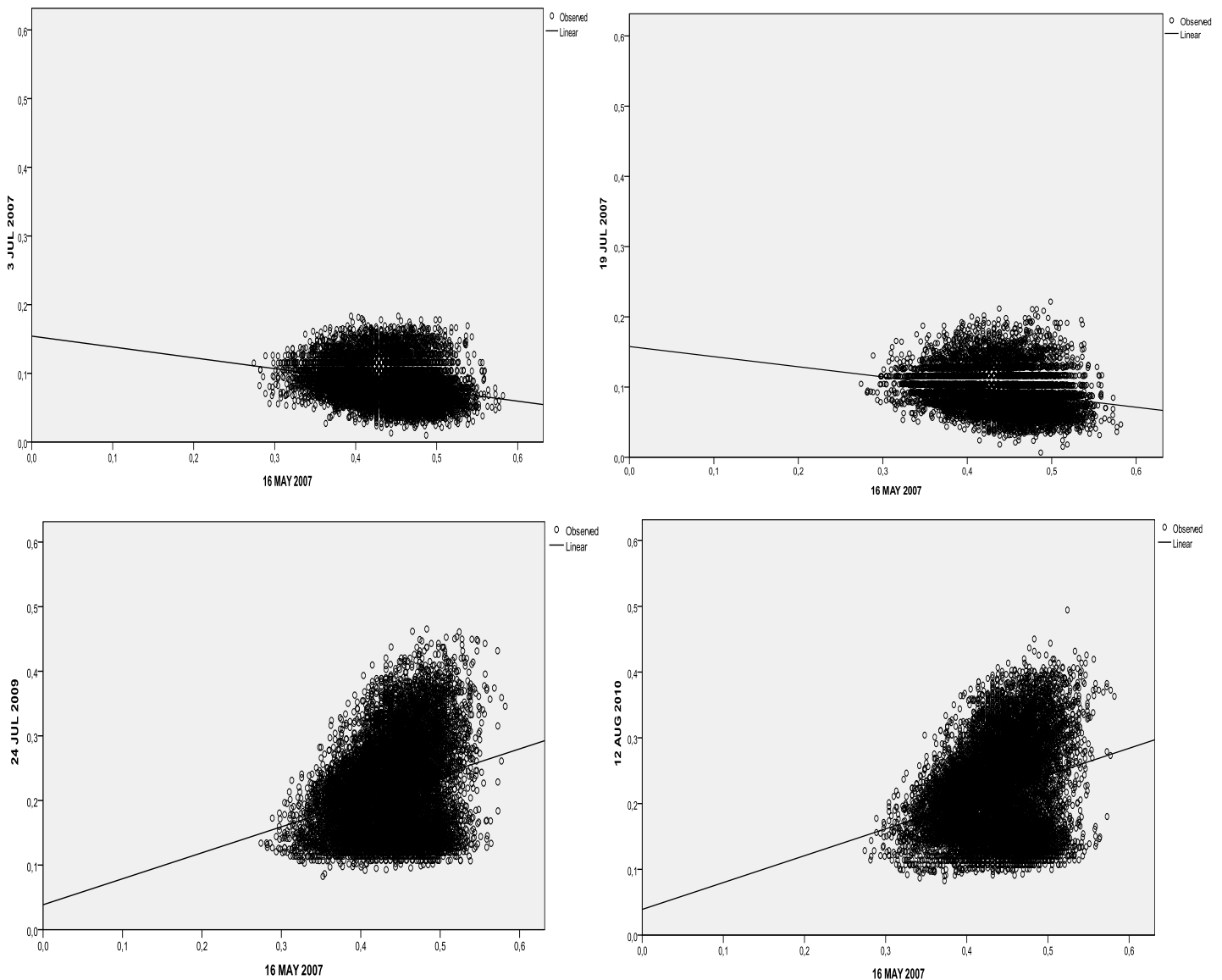
**Γράφημα 2:** Εμφάνιση διαγραμμάτων μεταβολής αναβλάστησης του δάσους.



## Πίνακας εκτίμησης παραμέτρων γραμμικής παλινδρόμησης και διαγράμματα μεταβολής των θαμνότοπων

Πίνακας 11: Εμφάνιση παραμέτρων θαμνότοπων με συντελεστές γραμμικής παλινδρόμησης.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ		
	Συντελεστής $\alpha$	Συντελεστής $\beta$ (Constant)
<b>16 MAY 2007 - 3 JUL 2007</b>	-0,158	0,154
<b>16 MAY 2007 - 19 JUL 2007</b>	- 0,144	0,158
<b>16 MAY 2007 - 24 JUL 2009</b>	0,402	0,039
<b>16 MAY 2007 - 12 AUG 2010</b>	0,408	0,039



Γράφημα 3: Εμφάνιση διαγραμμάτων μεταβολής αναβλάστησης των θαμνότοπων.

Η αναβλάστηση στις καλύψεις - χρήσεις γης των καλλιεργειών, του δάσους και των θαμνότοπων που παρατηρήθηκαν (τόσο από το γενικό πίνακα στατιστικών όσο και μέσα από τα γραφήματα με τις τιμές που έχει ο πίνακας εκτιμήσεων παραμέτρων – συντελεστών, ειδικότερα στο συντελεστή α), έχει αυξητική τάση, όσο η μεταβολή προέρχεται από ημερομηνίες πολύ μετά την πυρκαγιά και αυτό εμφανίστηκε ακόμη και με την κλίση της ευθείας, που παρουσίαζε άνοδο, όταν ήταν θετικές οι τιμές στο συντελεστή α.

Αυτό συνέβη επειδή η μεταβολή γίνεται ανά ζεύγη ημερομηνιών, δηλαδή όταν η χρονολογία στις ημερομηνίες των εικόνων είναι κοντά στην πυρκαγιά (επειδή δεν έχει γίνει σημαντική αναβλάστηση της καμένης έκτασης), υπήρχαν αρνητικές τιμές και κατά συνέπεια η κλίση στην ευθεία των αξόνων που εμφάνιζαν τα γραφήματα παρουσίαζε κάθοδο.

Αντιθέτως τα ζεύγη των ημερομηνιών που εξέτασαν το βαθμό της αναβλάστησης, που ήταν μετά την πυρκαγιά, παρουσίασαν ανοδικές τιμές, συνεπώς η κλίση της ευθείας ήταν ανοδική.

#### **4.5. Διερεύνηση της επίδρασης της τοπογραφίας στην αναβλάστηση της περιοχής μελέτης**

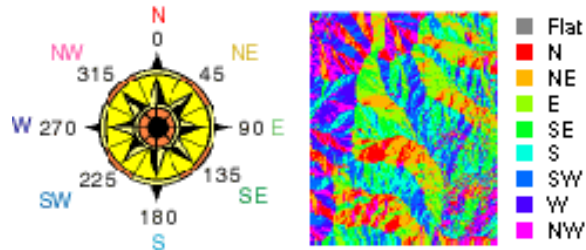
Έγινε ο υπολογισμός της κλίσης και της έκθεσης προσανατολισμού, από δεδομένα ASTER DEM, για την εξέταση της τοπογραφικής μορφολογίας που παρουσίασε η περιοχή της Πάρνηθας.

Μελετήθηκε σε τι βαθμό επηρεάστηκε η αναβλάστηση της καμένης έκτασης σε σχέση με την τοπογραφία της περιοχής μελέτης, με βάση την έκθεση προσανατολισμού (aspect).

Ο υπολογισμός της έκθεσης προσανατολισμού συνήθως προέρχεται από τη δημιουργία και τη μελέτη ενός ψηφιακού μοντέλου υψομέτρου (Digital Elevation Model - D.E.M.) που είναι χρήσιμο για διαδικασίες επεξεργασίας και παρουσίασης τοπογραφικής ανάλυσης.

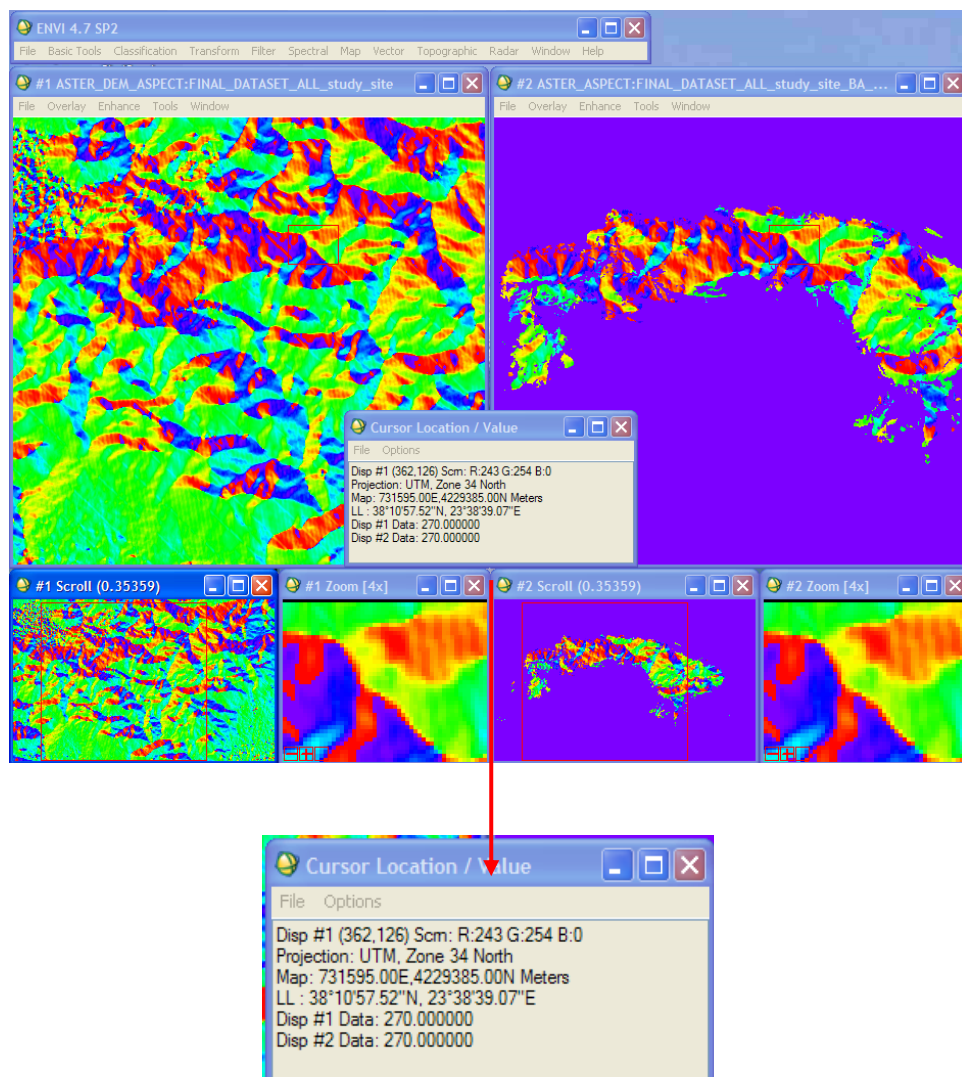
Η έκθεση προσανατολισμού μιας τοπογραφικής επιφάνειας είναι η κατεύθυνση του μέγιστου ρυθμού μείωσης του υψομέτρου (τιμή Z) και συνήθως η μονάδα μέτρησης είναι οι μοίρες από  $0^0$  έως  $360^0$  σύμφωνα με τη δεξιόστροφη φορά του ρολογιού, ξεκινώντας από το Βορρά (Κωνσταντινίδης, 2003).

Γενικά είναι η διεύθυνση ως προς την οποία "βλέπει" τη μέγιστη κλίση ενός εικονοστοιχείου. Στην Εικόνα 25 εμφανίζεται ένα τμήμα μιας επιφάνειας εδάφους και ανάλογα με τη χρωματική διαβάθμιση, παρουσιάζεται και η αντίστοιχη έκθεση προσανατολισμού.



**Εικόνα 25:** Υπολογισμός έκθεσης προσανατολισμού. (www. 18)

Φαίνεται στην Εικόνα 26 η έκθεση προσανατολισμού της περιοχής μελέτης.



**Εικόνα 26:** Εμφάνιση υπολογισμένης έκθεσης προσανατολισμού στο σύνολο της περιοχή μελέτης (αριστερά) και στην καμένη έκταση (δεξιά).

Σχετικά με την επίδραση της έκθεσης προσανατολισμού μιας περιοχής η Χρονοπούλου (2008), αναφέρει ότι επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες που αναλύονται παρακάτω.

Στις βόρειες εκθέσεις προσανατολισμού η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι πιο ομοιόμορφη και το εύρος της θερμοκρασίας είναι μικρότερο. Επιπλέον η εξάτμιση του εδάφους είναι μικρότερη και η υγρασία του εδάφους μεγαλύτερη. Αντιθέτως, στις νότιες εκθέσεις, το εύρος της θερμοκρασίας του εδάφους είναι μεγαλύτερο και η εξάτμιση είναι εντονότερη. Επομένως σύμφωνα με τις παραπάνω παραμέτρους επιρροής των βόρειων και νότιων εκθέσεων προσανατολισμού, τα είδη βλάστησης που βρίσκονται σε βόρειες εκθέσεις προσανατολισμού έχουν ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης. Για την απόδειξη των παραπάνω, έγινε αυτή η μελέτη επίδρασης της έκθεσης προσανατολισμού μέσω υπολογισμών. Αντιθέτως η επίδραση τόσο της ανατολικής όσο και της δυτικής έκθεσης προσανατολισμού, δε δίνουν χρήσιμα συμπεράσματα από την επιρροή τους, για την αναβλάστηση καμένης έκτασης.

Για τον υπολογισμό πλέον της επίδρασης της τοπογραφίας, σύμφωνα με την έκθεση προσανατολισμού χρησιμοποιήθηκε η μελέτη των Wittenberg Lea et al. και πιο συγκεκριμένα στο κομμάτι που αναφέρεται «Κελιά με τιμές από 135° έως 225° ταξινομήθηκαν ως νότιες εκθέσεις προσανατολισμού και κελιά με τιμές από 315° έως 45° ταξινομήθηκαν ως βόρειες εκθέσεις προσανατολισμού.» που δίνει τη δυνατότητα σε μελλοντικούς αναλυτές χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη μελέτη της τοπογραφίας και πιο συγκεκριμένα την επίδραση της έκθεσης προσανατολισμού με βάση ποιες παραμέτρους γίνονται οι υπολογισμοί. Από τη συγκεκριμένη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν οι αριθμητικές τιμές υπολογισμού των εκθέσεων προσανατολισμού.

Από το περιβάλλον του λογισμικού ENVI επιλέχτηκε: 'Basic Tools' → 'Band Math', όπου έγιναν οι υπολογισμοί της βόρειας και νότιας έκθεσης προσανατολισμού και δίνονται οι παρακάτω εξισώσεις υπολογισμού των δύο εκθέσεων προσανατολισμού.

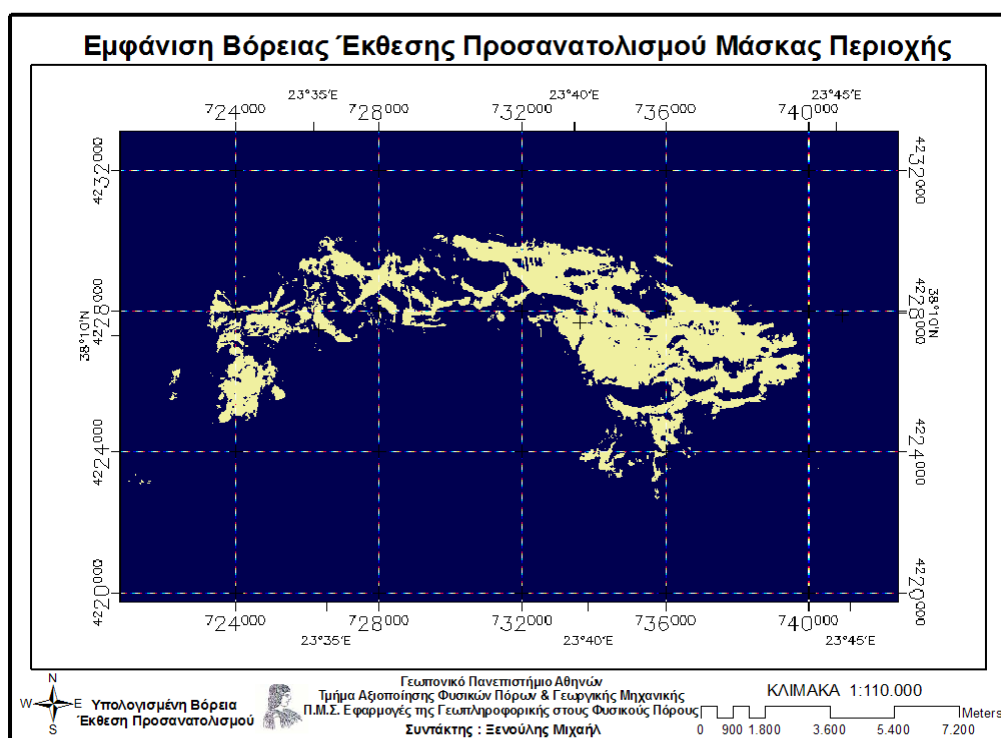
Για τον υπολογισμό των βόρειων (north) εκθέσεων προσανατολισμού (aspect) εισήχθη στη διαδικασία 'Band Math' η εξής εξίσωση:

<b1> GE 45 and <b1> LE 315

- ✓ όπου <b1> ορίστηκε το φασματικό κανάλι, αφού μετά την εισαγωγή της εξίσωσης έπρεπε να γίνει αντιστοίχιση σε ποιο κανάλι – δεδομένο αντιστοιχεί.
- ✓ Οι «μεταβλητές» GE και LE δηλώνουν τα 'Greater Than' και 'Lower Than' ως ανώτερα και κατώτερα όρια των τιμών που δόθηκαν στην εξίσωση.
- ✓ Ισχύει και για τις δύο περιπτώσεις υπολογισμού aspect.



Από τη στιγμή που έγινε η εισαγωγή της εξίσωσης υπολογισμού για τις βόρειες εκθέσεις προσανατολισμού της περιοχής, έπρεπε να γίνει αντιστοίχιση της μεταβλητής <b1> με το κατάλληλο επίπεδο πληροφορίας, αλλά και η αποθήκευση του αποτελέσματος με όνομα ‘north\_facing\_slopes’. Το αποτέλεσμα παρουσιάστηκε στο Χάρτη 11.

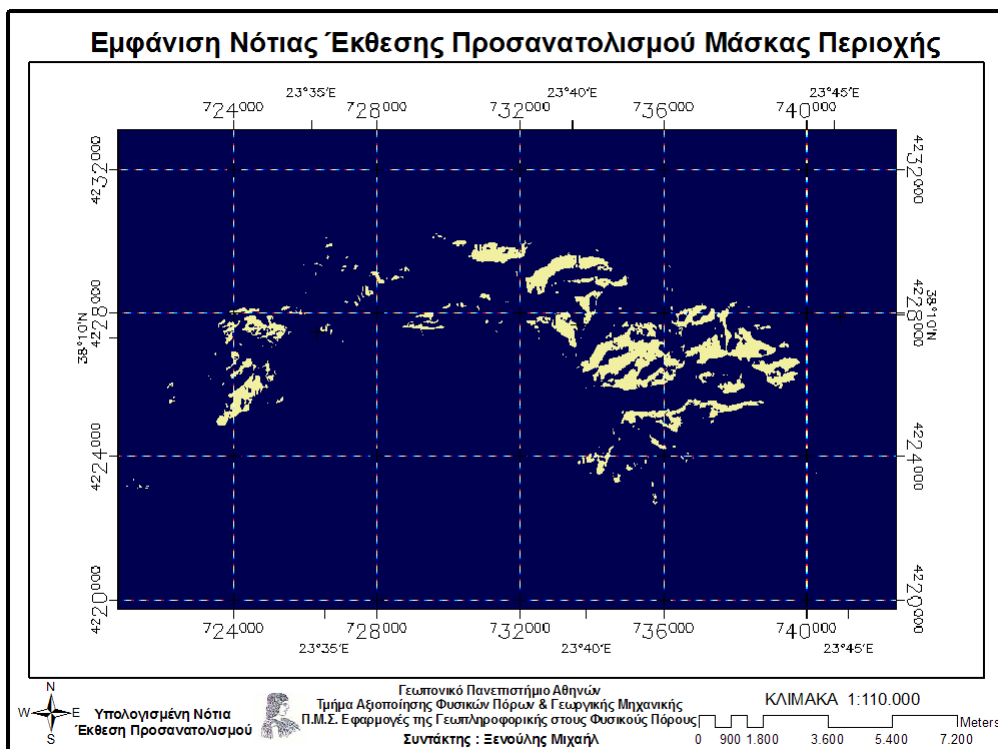


**Χάρτης 11:** Εμφάνιση βόρειας έκθεσης προσανατολισμού.

Για τον υπολογισμό των νότιων (south) εκθέσεων προσανατολισμού (aspect) εισήχθη στη διαδικασία ‘Band Math’ η εξής εξίσωση:

$$\langle b1 \rangle GE 135 \text{ and } \langle b1 \rangle LE 225$$

Από τη στιγμή που έγινε η εισαγωγή της εξίσωσης υπολογισμού για τις νότιες εκθέσεις προσανατολισμού στην περιοχή, έγινε η αντιστοίχιση της μεταβλητής <b1> με το κατάλληλο επίπεδο πληροφορίας, αλλά και η αποθήκευση του αποτελέσματος με όνομα ‘south\_facing\_slopes’. Το αποτέλεσμα παρουσιάστηκε στο Χάρτη 12.



**Χάρτης 12:** Εμφάνιση νότιας έκθεσης προσανατολισμού.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν με την εξαγωγή στατιστικών πληροφοριών, η διακύμανση της βόρειας και μετά της νότιας έκθεσης προσανατολισμού στην περιοχή.

Από το αρχικό αρχείο των συνολικών δεδομένων που έγιναν οι κύριες επεξεργασίες 'FINAL\_PROJECT\_DATASET\_BA\_only' υπολογίστηκαν με βάση τις υπολογισμένες από πριν εξισώσεις, βόρειες και νότιες εκθέσεις προσανατολισμού.

Ο υπολογισμός των βόρειων και νότιων εκθέσεων προσανατολισμού έγινε από το λογισμικό του ENVI ως εξής: 'Basic Tools' → 'Masking' → 'Apply Mask'.

Οι στατιστικές μονομεταβλητές αναλύσεις του δείκτη βλάστησης NDVI υπολογίστηκαν για τις βόρειες και νότιες εκθέσεις προσανατολισμού ως αρχεία μ' όνομα 'FINAL\_DATASET\_ALL\_study\_site\_BA\_ONLY\_NORTH\_FACING\_only' και 'FINAL\_DATASET\_ALL\_study\_site\_BA\_ONLY\_SOUTH\_FACING\_only' αντίστοιχα.

Το αποτέλεσμα των βόρειων και νότιων εκθέσεων προσανατολισμού παρουσιάστηκε στους Πίνακες 12 και 13 αντίστοιχα.

**Πίνακας 12:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων δείκτη βλάστησης NDVI στη βόρεια έκθεση προσανατολισμού για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΕΙΚΤΩΝ NDVI NORTH FACING SLOPE</b>				
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Stdev</b>
<b>16 MAY 2007</b>	-0.006518	0.694721	0.495584	0.069397
<b>3 JULY 2007</b>	-0.019858	0.183435	0.071726	0.029795
<b>19 JULY 2007</b>	-0.020758	0.243986	0.079190	0.032181
<b>24 JULY 2009</b>	-0.000299	0.558621	0.233337	0.086818
<b>12 AUG 2010</b>	-0.026113	0.573296	0.241293	0.086192

**Πίνακας 13:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων δείκτη βλάστησης NDVI στη νότια έκθεση προσανατολισμού για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΕΙΚΤΩΝ NDVI SOUTH FACING SLOPE</b>				
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Stdev</b>
<b>16 MAY 2007</b>	-0.006518	0.677674	0.482842	0.069064
<b>3 JULY 2007</b>	-0.015440	0.177999	0.072324	0.028443
<b>19 JULY 2007</b>	-0.020758	0.237452	0.081103	0.030720
<b>24 JULY 2009</b>	-0.000299	0.505872	0.212440	0.076995
<b>12 AUG 2010</b>	-0.026113	0.523368	0.220010	0.078264

Από τα αποτελέσματα των στατιστικών πινάκων που εμφάνισαν τη μεταβολή της αναβλάστησης της περιοχής μελέτης στην καμένη έκταση, τόσο στις βόρειες όσο και στις νότιες εκθέσεις προσανατολισμού, διαπιστώθηκε ότι τα **βόρεια τμήματα** παρουσίαζαν γρηγορότερη μεταβολή στην ανάπτυξη βλάστησης, εξαιτίας των ευνοϊκότερων κλιματικών συνθηκών που επικρατούν. Μπόρεσε με ευκολία να παρουσιαστεί η μεταβολή των δύο εκθέσεων προσανατολισμού, από το στατιστικό μέγεθος του υπολογισμένου Μέσου Όρου (Mean) των αριθμητικών τιμών.

Οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν ανάλογα με την έκθεση προσανατολισμού μιας περιοχής έχουν περιγραφεί στο Κεφάλαιο 1, πιο συγκεκριμένα «Οι μεταβολές στην τοπογραφία... ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης.»

Επισημαίνεται ότι οι διαφορές δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες των βόρειων με τα νότια τμήματα, στις αριθμητικές τιμές που παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 12 και 13 αντίστοιχα, που ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι η καμένη έκταση είναι σχετικά μικρή, γι' αυτό παρατηρήθηκαν μικρές αποκλίσεις στις τιμές.

Έγινε επίσης εξέταση για το πως μεταβάλλεται η βλάστηση της περιοχής ανά κάλυψη – χρήση γης εντός της καμένης έκτασης στη μορφή μάσκας, από τα δύο είδη έκθεσης προσανατολισμού που είχαν υπολογιστεί προηγουμένως.

#### ο Για τις Καλλιέργειες

- **Βόρεια έκθεση προσανατολισμού καλλιεργειών (North aspect agriculture)**

Η υπολογισμένη βόρεια έκθεση προσανατολισμού εφαρμόστηκε στη μάσκα που περιλάμβανε μόνο τις καλλιέργειες.

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας εφαρμογής της βόρειας έκθεσης προσανατολισμού για τις καλλιέργειες αποθηκεύτηκε με όνομα αρχείου 'agriculture\_north' και παρουσιάστηκε στον Πίνακα 14.

**Πίνακας 14:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων βόρειας έκθεσης προσανατολισμού των καλλιεργειών για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ - ΒΟΡΕΙΟ ASPECT</b>				
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Stdev</b>
<b>16 MAY 2007</b>	0.267530	0.626846	0.476592	0.057263
<b>3 JULY 2007</b>	0.021032	0.172638	0.082812	0.027254
<b>19 JULY 2007</b>	0.018212	0.202511	0.092641	0.028691
<b>24 JULY 2009</b>	0.102369	0.436893	0.219472	0.073478
<b>12 AUG 2010</b>	0.097515	0.425935	0.219816	0.077346

- **Νότια έκθεση προσανατολισμού καλλιεργειών (South aspect agriculture)**

Η υπολογισμένη νότια έκθεση προσανατολισμού θα εφαρμόστηκε στη μάσκα που περιλάμβανε μόνο τις καλλιέργειες.

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας εφαρμογής της νότιας έκθεσης προσανατολισμού για τις καλλιέργειες αποθηκεύτηκε με όνομα αρχείου ‘agriculture\_south’ και παρουσιάστηκε στον Πίνακα 15.

**Πίνακας 15:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων νότιας έκθεσης προσανατολισμού των καλλιεργειών για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ - ΝΟΤΙΟ ASPECT</b>				
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Stdev</b>
<b>16 MAY 2007</b>	0.269421	0.615288	0.477124	0.056167
<b>3 JULY 2007</b>	0.023538	0.163712	0.078158	0.026071
<b>19 JULY 2007</b>	0.018212	0.202511	0.089980	0.027589
<b>24 JULY 2009</b>	0.107275	0.436893	0.201644	0.067459
<b>12 AUG 2010</b>	0.105899	0.420295	0.201389	0.073195

Προκύπτουν και για τις άλλες καλύψεις – χρήσεις γης (για το δάσος και τους θαμνότοπους) οι εξής στατιστικές παράμετροι.

ο Για το Δάσος

• **Βόρεια έκθεση προσανατολισμού δάσους (North aspect forest)**

Η υπολογισμένη βόρεια έκθεση προσανατολισμού εφαρμόστηκε στη μάσκα που περιλάμβανε μόνο τα δάση.

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας εφαρμογής της βόρειας έκθεσης προσανατολισμού για το δάσος αποθηκεύτηκε με όνομα 'forests\_north' και παρουσιάστηκε στον Πίνακα 16.

**Πίνακας 16:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων βόρειας έκθεσης προσανατολισμού του δάσους για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΑΣΟΥΣ - ΒΟΡΕΙΟ ASPECT</b>				
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Stdev</b>
<b>16 MAY 2007</b>	0.344262	0.694721	0.527637	0.052785
<b>3 JULY 2007</b>	-0.019858	0.181527	0.064802	0.029019
<b>19 JULY 2007</b>	-0.019858	0.243986	0.070556	0.031774
<b>24 JULY 2009</b>	0.087109	0.558621	0.249922	0.091885
<b>12 AUG 2010</b>	0.081570	0.573296	0.260325	0.089055

• **Νότια έκθεση προσανατολισμού δάσους (South aspect forest)**

Η υπολογισμένη νότια έκθεση προσανατολισμού εφαρμόστηκε στη μάσκα που περιλάμβανε μόνο τα δάση.

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας εφαρμογής της νότιας έκθεσης προσανατολισμού για το δάσος αποθηκεύτηκε με όνομα 'forests\_south' και παρουσιάστηκε στον Πίνακα 17.

**Πίνακας 17:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων νότιας έκθεσης προσανατολισμού του δάσους για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΑΣΟΥΣ - ΝΟΤΙΟ ASPECT</b>				
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Stdev</b>
<b>16 MAY 2007</b>	0.360702	0.677674	0.521931	0.049660
<b>3 JULY 2007</b>	-0.015440	0.174429	0.064857	0.028199
<b>19 JULY 2007</b>	-0.004418	0.237452	0.070780	0.030767
<b>24 JULY 2009</b>	0.092103	0.505872	0.232786	0.083844
<b>12 AUG 2010</b>	0.093171	0.523368	0.242936	0.082776

ο Για τους Θαμνότοπους

• **Βόρεια έκθεση προσανατολισμού θαμνότοπων (North aspect scrublands)**

Η υπολογισμένη βόρεια έκθεση προσανατολισμού εφαρμόστηκε στη μάσκα που περιλάμβανε μόνο τους θαμνότοπους.

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας εφαρμογής της νότιας έκθεσης προσανατολισμού για τους θαμνότοπους αποθηκεύτηκε με όνομα 'scrublands\_north' και παρουσιάστηκε στον Πίνακα 18.

**Πίνακας 18:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων βόρειας έκθεσης προσανατολισμού των θαμνότοπων για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΑΜΝΟΤΟΠΩΝ - ΒΟΡΕΙΟ ASPECT</b>				
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Stdev</b>
<b>16 MAY 2007</b>	0.274308	0.577145	0.436689	0.046477
<b>3 JULY 2007</b>	0.012984	0.183435	0.083380	0.026896
<b>19 JULY 2007</b>	0.014981	0.221611	0.094108	0.026440
<b>24 JULY 2009</b>	0.082509	0.449814	0.202399	0.067004
<b>12 AUG 2010</b>	0.082411	0.443827	0.206882	0.067865

• **Νότια έκθεση προσανατολισμού θαμνότοπων (South aspect scrublands)**

Η υπολογισμένη νότια έκθεση προσανατολισμού εφαρμόστηκε στη μάσκα που περιλάμβανε μόνο τους θαμνότοπους.

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας εφαρμογής της νότιας έκθεσης προσανατολισμού για τους θαμνότοπους αποθηκεύτηκε με όνομα 'scrublands\_south' και παρουσιάστηκε στον Πίνακα 19.

**Πίνακας 19:** Παρουσίαση στατιστικών παραμέτρων νότιας έκθεσης προσανατολισμού των θαμνότοπων για όλες τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων.

<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΑΜΝΟΤΟΠΩΝ - ΝΟΤΙΟ ASPECT</b>				
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Mean</b>	<b>Stdev</b>
<b>16 MAY 2007</b>	0.274308	0.577145	0.433065	0.047280
<b>3 JULY 2007</b>	0.012984	0.177999	0.081428	0.025732
<b>19 JULY 2007</b>	0.033645	0.221611	0.093855	0.025000
<b>24 JULY 2009</b>	0.082509	0.446959	0.186639	0.057513
<b>12 AUG 2010</b>	0.089895	0.436678	0.191929	0.060001

Όπως παρατηρήθηκε από τα αποτελέσματα των στατιστικών πινάκων που εμφάνισαν τη μεταβολή της βλάστησης στη περιοχή της καμένης έκτασης, τόσο στις βόρειες όσο και στις νότιες εκθέσεις προσανατολισμού, διαπιστώθηκε ότι στα **βόρεια τμήματα** παρουσιάζεται γρηγορότερη μεταβολή στην ανάπτυξη βλάστησης, εξαιτίας των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν μιας και είναι ευνοϊκές. Το ίδιο συνέβη και στην παρατήρηση της αναβλάστησης ανά είδος βλάστησης στις δύο εκθέσεις προσανατολισμού που εξετάστηκαν.

Η ανάλυση του ρυθμού μεταβολής της αναβλάστησης ανά είδος βλάστησης, έγινε πάλι μέσω στατιστικών πινάκων, ελέγχοντας κυρίως το Μέσο Όρο (Mean) των αριθμητικών τιμών.

#### **4.6. Συμπεράσματα κεφαλαίου**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έγινε η κύρια ανάλυση και μελέτη του ρυθμού αναβλάστησης της καμένης έκτασης στην περιοχή του εθνικού δρυμού της Πάρνηθας.

Για να μελετηθεί αυτή η διαδικασία έγινε υπολογισμός του δείκτη βλάστησης NDVI με παρουσίαση στατιστικών πινάκων και εξέταση των αριθμητικών τιμών που προέκυψαν από τα υπολογιζόμενα μονομεταβλητά μεγέθη τόσο στο σύνολο της καμένης έκτασης αλλά και ανά είδος βλάστησης.

Επιπλέον υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης και προσδιορισμού, ενώ με παρουσίαση διαγραμμάτων μεταβολής, σε συνδυασμό με πίνακες εκτίμησης παραμέτρων γραμμικής παλινδρόμησης, παρουσιάστηκε καλύτερα ο ρυθμός μεταβολής της αναβλάστησης.

Τέλος κλείνοντας τη μελέτη, έγινε εξέταση της επίδρασης των τοπογραφικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή. Υπολογίστηκε η έκθεσης προσανατολισμού (βόρεια - νότια) και με χαρτογραφική απόδοση της μεταβολής της έγινε καλύτερη παρουσίαση της αναβλάστησης της καμένης έκτασης.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Συμπεράσματα & Προοπτικές Συνέχισης της Εργασίας**

### **5.1. Εισαγωγή**

Το κύριο θέμα της μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη αναβλάστησης της καμένης έκτασης στην περιοχή της Πάρνηθας. Αυτό έγινε με τη χρήση κυρίως δορυφορικών εικόνων και τον υπολογισμό του δείκτη βλάστησης NDVI. Έγινε ταξινόμηση αυτών των εικόνων, για το καλύτερο διαχωρισμό των χρήσεων – καλύψεων γης που επηρεάστηκαν από την πυρκαγιά. Επίσης έγινε μελέτη της επίδρασης της τοπογραφίας στη μεταβολή του ρυθμού βλάστησης.

Με το τέλος της ολοκλήρωσης της μελέτης, έγινε γενική επισκόπηση των θεμάτων που εξετάστηκαν για την απόκτηση χρήσιμων συμπερασμάτων, στο ρυθμό αναβλάστησης της καμένης έκτασης στον εθνικό δρυμό της Πάρνηθας και την προσέγγιση παραμέτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τυχόν μελλοντική συνέχιση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

### **5.2. Κύρια συμπεράσματα από την εργασία που πραγματοποιήθηκε**

Διαπιστώθηκε ότι η χρησιμοποίηση δορυφορικών εικόνων και πληροφοριών προερχόμενων από ψηφιακό μοντέλο εδάφους (D.E.M.), παρείχαν τη δυνατότητα εκτίμησης, εξέτασης και ανάλυσης μέσω του δείκτη βλάστησης NDVI, στατιστικών πινάκων, διαγραμμάτων μεταβολής, χαρτογραφικών συνθέσεων και κυρίως μελέτη του ρυθμού βλάστησης των καλύψεων – χρήσεων γης στην καμένη έκταση (συνολικά αλλά και ανά είδος βλάστησης). Αυτό έγινε με τη χρήση απαραίτητων επεξεργασιών, που έδωσαν τη δυνατότητα για την καλύτερη εκτίμηση στη προσέγγιση αυτής της ανάλυσης.

Πρέπει να τονιστεί ότι κατά τη διάρκεια όλων των επεξεργασιών που ήταν καθοριστικές για τη σωστή διαχείριση, επεξεργασία και κυρίως ανάλυση, τα κριτήρια των αποτελεσμάτων δε δημιούργησαν κάποιο πρόβλημα, π.χ. δυσχερή διαχωρισμό μεταξύ φασματικών κλάσεων στην ταξινόμηση.

Από τη χαρτογράφηση μέσω ταξινόμησης της εικόνας στις 3 Ιουλίου 2007 (μετά την πυρκαγιά), εμφανίστηκε μέσω του αλγορίθμου επιβλεπόμενης ταξινόμησης, ότι είχε καλή διαχωριστικότητα στις τιμές των φασματικών κλάσεων.

Από την ταξινόμηση στην εικόνα της 16 Μαΐου 2007, έγινε εκτίμηση των διαφορετικών ειδών κάλυψης – χρήσεων γης που κάηκαν στην εικόνα της 3 Ιουλίου 2007, που βρίσκονταν εντός της καμένης έκτασης, για την παρακολούθηση του ρυθμού αναβλάστησής τους.

Στο τέλος έγινε εξέταση πως επηρέασε η τοπογραφία και πιο συγκεκριμένα η έκθεση προσανατολισμού, την αναβλάστηση της περιοχής ενδιαφέροντος. Η έκθεση προσανατολισμού χωρίστηκε σε δύο κατηγορίες (βόρεια, νότια), όπου αναλύθηκε η επιρροή της στο σύνολο της περιοχής μελέτης και στη συνέχεια ανά είδος βλάστησης.

Συμπερασματικά διαπιστώθηκε με τη μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI, των στατιστικών πινάκων και των διαγραμμάτων μεταβολής, ότι υπάρχει αυξητική πορεία της αναβλάστησης της καμένης έκτασης.

Κατά τη διαδικασία ταξινόμησης των εικόνων υπάρχει η δυνατότητα για πιο λεπτομερή διαχωρισμό μεταξύ των φασματικών κλάσεων που αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές κατηγορίες πάνω στη γήινη επιφάνεια, π.χ. η κλάση που αντιστοιχεί στο δάσος να διαχωριστεί σε δύο κατηγορίες, κωνοφόρο και πλατύφυλλο.

Για την καλύτερη και αναλυτική κατανόηση των προηγούμενων, τονίζεται ότι η ανάλυση έγινε με χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat TM, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από τον Landsat 7 / Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) ή από άλλα δορυφορικά συστήματα όπως του Γαλλικού Οργανισμού CNES (Centre National D' Etudes Spatiales) τον SPOT (Systeme Pour l' Observation de la Terre) ή της GeoEye τον IKONOS, τα οποία παρέχουν δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, απαραίτητα για την παρακολούθηση της εξέλιξης αναβλάστησης μιας περιοχής.

Επίσης για τη μελέτη της μεταβολής αναβλάστησης, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης βλάστησης NDVI ενώ μπορεί να εξεταστεί και ο δείκτης Normalized Burn Ratio (NBR) – Κανονικοποιημένος Λόγος Καύσης, που χρησιμοποιείται για την ανάδειξη των περιοχών που έχουν καεί και τη σφοδρότητα που έπληξε η πυρκαγιά τη βλάστηση, μιας και εξετάζει τη μεταβολή της υγιούς φωτοσυνθετικά βλάστησης με αυτή που κάηκε.

Υπάρχει η δυνατότητα πιο λεπτομερώς ν' αναλυθεί η διαφορά τους, με τους αλγόριθμους differenced (or delta) dNDVI και (dNBR) των δεικτών NDVI και NBR αντίστοιχα, που καταγράφουν την απόλυτη μεταβολή μεταξύ εικόνων πριν και μετά την πυρκαγιά γι' αυτό υπάρχει η έννοια 'differenced' (d), αφού είναι μια διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών (change detection process) με τον προσδιορισμό των διαφορών στην κατάσταση των χαρακτηριστικών του εδάφους με την παρατήρηση τους σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Όλες οι παραπάνω αναφορές για μελλοντική συνέχιση της εργασίας, έχουν δύο σκοπούς, είτε την πιο λεπτομερή ανάλυση είτε τη διερεύνηση τι είδους τύπου δεδομένα ή μέθοδοι, προσεγγίζουν καλύτερα στη μελέτη αναβλάστησης μιας καμένης έκτασης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ Δούβαλης Σπυρίδων (2009), «Ο ρόλος της φωτιάς στην ισορροπία δυο Μεσογειακών κωνοφόρων της *J. phoenicea* και της *P. Halerensis*», Διπλωματική Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Βιώσιμη Ανάπτυξη», Κατεύθυνση «Διαχείριση Περιβάλλοντος», Αθήνα
- ❖ Ελευθεριάδης Ιωάννης (2007), «Εντοπισμός των αλλαγών κάλυψης γης με τη χρήση τηλεπικοινωνίας και Γ.Π.Σ. (Περιοχή εφαρμογής: Όρος Πάρνηθα)», Μεταπτυχιακή Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Θετικές Σπουδές στη Γεωπονία, Κλάδος: Γεωπληροφορική, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών & Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Αθήνα
- ❖ Καρτάλης Κωνσταντίνος / Φείδας Χαράλαμπος (2006), «Αρχές & Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης», Εκδόσεις Γκιούρδας, Αθήνα
- ❖ Κόλλια – Κουσουρή Βασιλική (2003), «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών», Σημειώσεις διδασκαλίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα
- ❖ Κωνσταντινίδης Αλέξανδρος (2003), «Εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS II)», Σημειώσεις διδασκαλίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας, Σέρρες
- ❖ Μερτίκας Στέλιος (2006), «Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- ❖ Μεταξάς Γεώργιος (2004), «Συμβολή της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων στη διαχείριση υδατικών πόρων (Διερεύνηση στη λεκάνη Πηνειού Ηλείας)», Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Αθήνα

- ❖ Μηλιαρέσης Γιώργος (2003), «Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- ❖ Μισαηλίδης Νικόλαος (2008), «Η συμβολή των Γ.Σ.Π. και της πολυκριτηριακής ανάλυσης στη διαχείριση έκτακτων αναγκών: Εφαρμογή σε πραγματικά δεδομένα», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας «Εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στους Φυσικούς Πόρους», Αθήνα
- ❖ Σπέντζου Μαίρη (2009), «Περιβαλλοντικές συνθήκες και ανθρωπογενείς επιβαρύνσεις στο Θριάσιο πεδίο (Υδρολογική λεκάνη Θριασίου) με χρήση τηλεπισκόπησης και GIS», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Θετικές Σπουδές στη Γεωπονία, Κλάδος: Ατμοσφαιρικό & Γεωλογικό Περιβάλλον για το σχεδιασμό Έργων Υποδομής, Αθήνα
- ❖ Στυλιανοπούλου Ευαγγελία (2008), «Μελέτη των Οικονομικών, Κοινωνικών και Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από τις Πυρκαγιές στην Πελοπόννησο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2007», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας, Αθήνα
- ❖ Συλλαίος Νικόλαος (2000), «Εισαγωγή στην τηλεπισκόπηση και στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών» (Τόμος Α' – Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση), Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη
- ❖ Τσιώτας Κώστας (2008), «Αλλαγή χρήσεων γης στην Ανατολική Αττική κατά την περίοδο 1990 – 2000 με χρήση εικόνων Landsat», Μεταπτυχιακή Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας «Εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στους Φυσικούς Πόρους», Αθήνα
- ❖ Χριστοπούλου Ρουμπίνη (2008), «Μελέτη των δασικών εκτάσεων σε περιοχές της δυτικής Μεσσηνίας», Μεταπτυχιακή Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας «Εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στους Φυσικούς Πόρους», Αθήνα

- ❖ Χρονοπούλου Γλυκερία (2007), «Διαχείριση των Δασικών Πυρκαγιών με τη χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών: Η περίπτωση της πυρκαγιάς της 28ης Ιουνίου 2007 στο όρος Πάρνηθα», Μεταπτυχιακή Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία & Διαχείριση του Χώρου», Κατεύθυνση Διαχείρισης φυσικών και ανθρωπογενών καταστροφών, Αθήνα
- ❖ Ψωμιάδης Εμμανουήλ (2010), «Έρευνα γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού ποταμού με χρήση νέων τεχνολογιών», Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Γενικό Τμήμα, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών & Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Ορυκτολογίας & Γεωλογίας, Αθήνα
- Hope A., Tague C., and Clark R. (2007), “*Characterizing post-fire vegetation recovery of California chaparral using TM/ETM+ time-series data*”, p.p. 1339 – 1354
- Lentile L. B., Holden Z. A., Smith A. M. S., Falkowski M. J., Hudak A. T., Morgan P., Lewis S. A., Gessler P. E., Benson N. C. (2006), “*Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects*”, p.p. 319 – 345
- Mutanga S.S. (2007), “*Spatial Monitoring & Dynamic Modelling of Vegetation Regeneration After Forest Fires using GIS and Remote Sensing: a case study of Portugal*”, p.p.1-50
- Petropoulos G., Knorr W., Sholze M., Boschetti L., Karantounias G. (2010), “*Combining ASTER multispectral imagery analysis and support vector machines for rapid and cost-effective post-fire assessment: a case study from the Greek wildland fires of 2007*”, p.p. 305–317
- Petropoulos G., Vadrevu K., Xanthopoulos G., Karantounias G., Scholze M., (2010), “*A Comparison of Spectral Angle Mapper and Artificial Neural Network Classifiers Combined with Landsat TM Imagery Analysis for Obtaining Burnt Area Mapping*”, p.p. 1967-1985
- Solans V. / Jose P. (2007), “*Monitoring Post-Fire Vegetation Cover Regeneration in the European Mediterranean Basin by Means of Remote Sensing*”, p.p. 1 -188

## □ Διαδικτυακή αναφορά

www. 1:

[http://www.wwf.gr/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=114&Itemid=132](http://www.wwf.gr/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=114&Itemid=132)

www. 2:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3f/Parnitha\\_satellite\\_map-blank.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3f/Parnitha_satellite_map-blank.jpg)

www.3: [http://www.parnitha-np.gr/index\\_fotia.htm](http://www.parnitha-np.gr/index_fotia.htm)

www. 4: [http://www.parnithanp.gr/xartes/genikos%20xartis%20parnithas/xartis\\_parnithas.pdf](http://www.parnithanp.gr/xartes/genikos%20xartis%20parnithas/xartis_parnithas.pdf)

www. 5: <http://www.parnitha-np.gr/>

www. 6: [http://www5.egi.utah.edu/GIS\\_CVEEN/Remote\\_Sensing/EMR.jpg](http://www5.egi.utah.edu/GIS_CVEEN/Remote_Sensing/EMR.jpg)

www. 7:

[http://whereisourscience.com/wp-content/uploads/2010/12/2000px-EM\\_spectrum.svg.png](http://whereisourscience.com/wp-content/uploads/2010/12/2000px-EM_spectrum.svg.png)

www. 8: <https://www.agronomy.org/images/publications/aj/94/6/1215f1.jpeg>

www. 9: <http://glovis.usgs.gov>

www. 10: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/graphics/landsat5.jpg>

www. 11: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>

www. 12: [http://terra.nasa.gov/Brochure/Sect\\_4-2.html](http://terra.nasa.gov/Brochure/Sect_4-2.html)

www. 13: <https://wist.echo.nasa.gov/wist-bin/api/ims.cgi?mode=MAINSRCH&JS=1>

www. 14: <http://terraweb.wr.usgs.gov/software/mips/link/glossary.html>)

www. 15: <http://www.ual.es/acg/soleres/skrs/figure1.gif>

www. 16: [http://stat-athens.aueb.gr/~jbn/courses/spps\\_sem/spss3.pdf](http://stat-athens.aueb.gr/~jbn/courses/spps_sem/spss3.pdf),

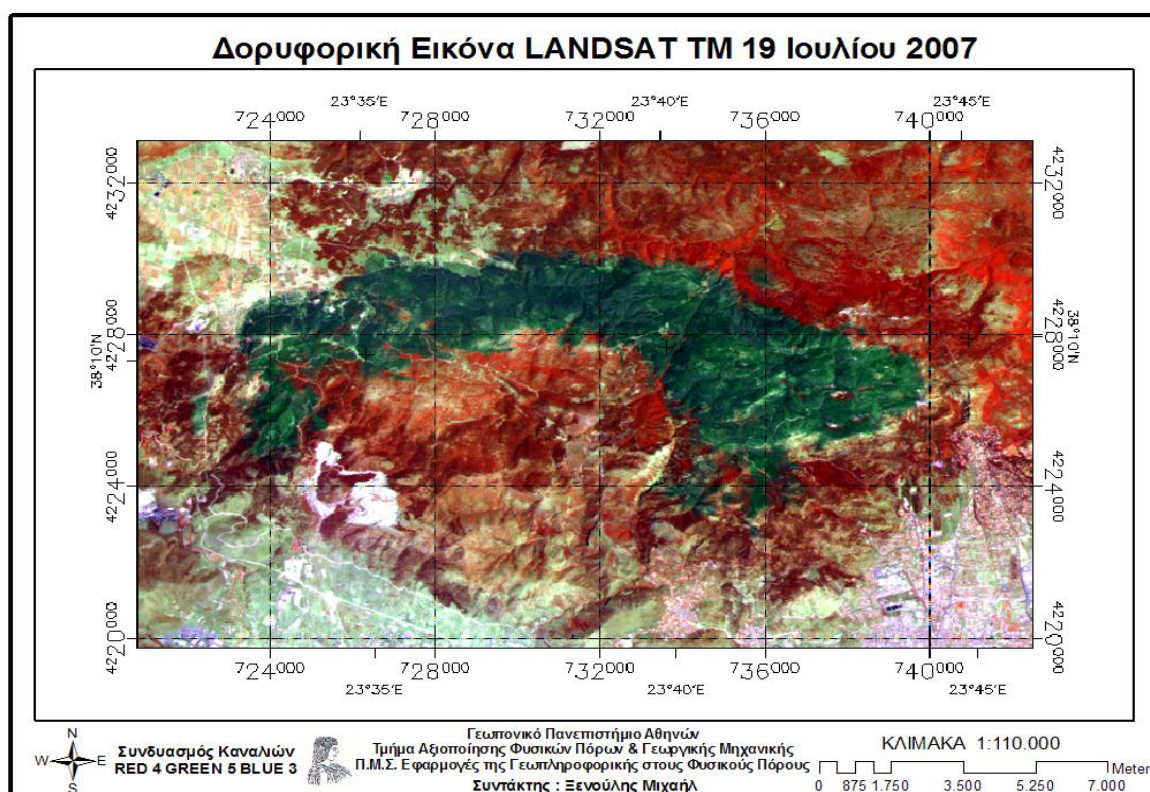
www. 17: <http://lib.stat.cmu.edu/otherplaces/grstats/notes/SPSS.pdf>

www. 18:

[http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gp\\_toolref/geoprocessing\\_with\\_3d\\_analyst/tst\\_sa\\_surface\\_aspect1.gif](http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gp_toolref/geoprocessing_with_3d_analyst/tst_sa_surface_aspect1.gif)

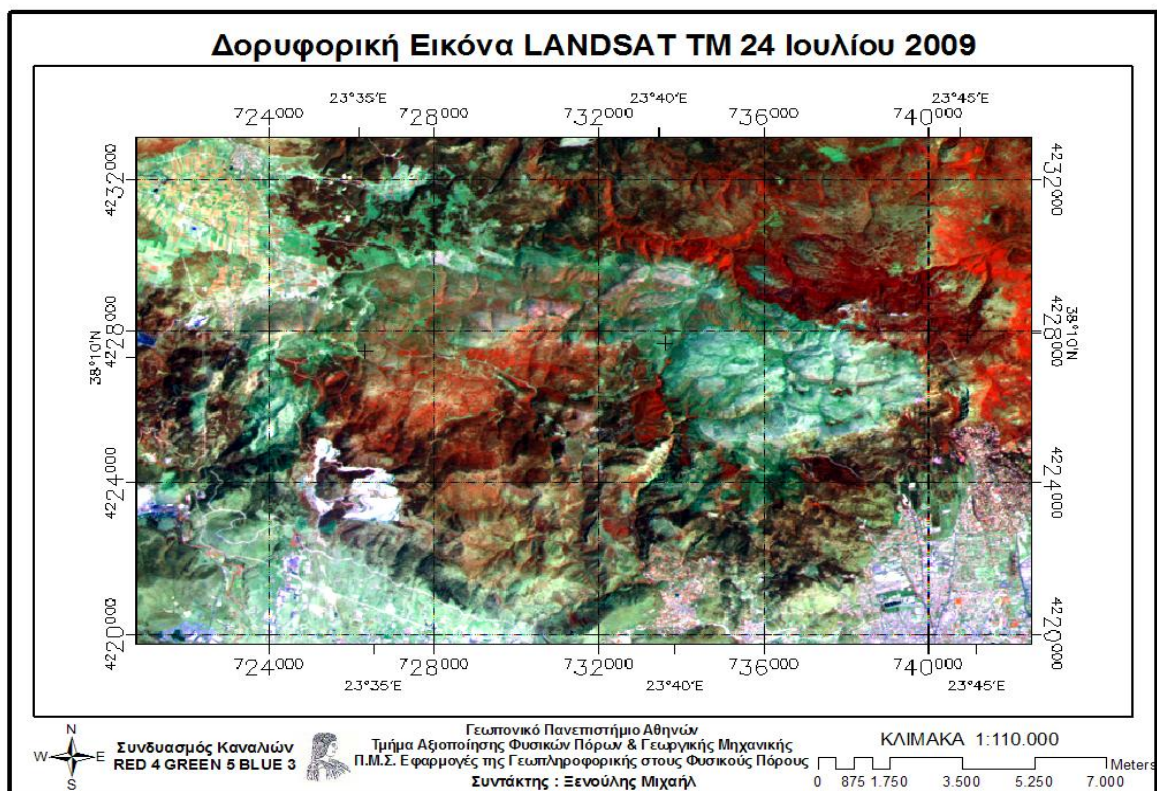
## Παράρτημα Α – Απεικόνιση περιοχής μελέτης μέσω δορυφορικών εικόνων Landsat TM

Δημιουργία χαρτών από τις υπόλοιπες δορυφορικές εικόνες 19 Ιουλίου 2007, 24 Ιουλίου 2009 και 12 Αυγούστου 2010, και επιλογή του συνδυασμού R4 G5 B3, για τον ευκολότερο διαχωρισμό του εδάφους από τα διαφορετικά είδη βλάστησης.

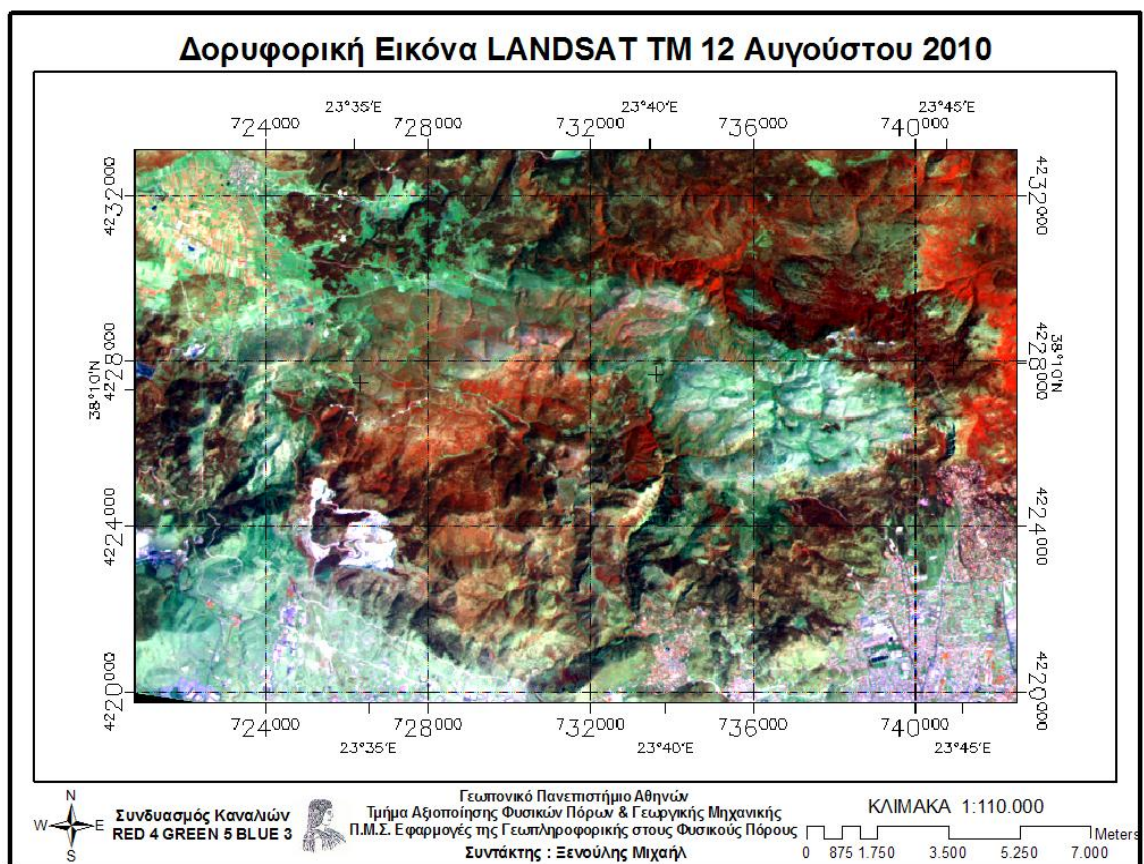


**Χάρτης Ι:** Θεματικός χάρτης δορυφορικής εικόνας LANDSAT TM 19 Ιουλίου 2007 - (R4 G5 B3)





**Χάρτης II:** Θεματικός χάρτης δορυφορικής εικόνας LANDSAT TM 24 Ιουλίου 2009 - (R4 G5 B3)



**Χάρτης III:** Θεματικός χάρτης δορυφορικής εικόνας LANDSAT TM 12 Αυγούστου 2010 - (R4 G5 B3)

## Παράρτημα Β – Πίνακες αξιολόγησης

ROI Separability Report	
File	
Input File: FINAL_DATASET_ALL_study_site ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)	
BURNT AREA [Red] 204 points: FORESTS [Green] 214 points: (1.99999862 2.00000000) SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points: (1.99999970 2.00000000) AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points: (1.99976356 2.00000000) URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points: (1.99937587 2.00000000)	
FORESTS [Green] 214 points: BURNT AREA [Red] 204 points: (1.99999862 2.00000000) SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points: (1.99498759 1.99999999) AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points: (1.99903472 2.00000000) URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points: (1.99971497 2.00000000)	
SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points: BURNT AREA [Red] 204 points: (1.99999970 2.00000000) FORESTS [Green] 214 points: (1.99498759 1.99999999) AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points: (1.52183328 1.68519585) URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points: (1.89311311 1.99886597)	
AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points: BURNT AREA [Red] 204 points: (1.99976356 2.00000000) FORESTS [Green] 214 points: (1.99903472 2.00000000) SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points: (1.52183328 1.68519585) URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points: (1.63294098 1.94624029)	
URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points: BURNT AREA [Red] 204 points: (1.99937587 2.00000000) FORESTS [Green] 214 points: (1.99971497 2.00000000) SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points: (1.89311311 1.99886597) AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points: (1.63294098 1.94624029)	
Pair Separation (least to most):	
SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points and AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points - 1.52183328 AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points and URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points - 1.63294098 SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points and URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points - 1.89311311 FORESTS [Green] 214 points and SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points - 1.99498759 FORESTS [Green] 214 points and AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points - 1.99903472 BURNT AREA [Red] 204 points and URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points - 1.99937587 FORESTS [Green] 214 points and URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points - 1.99971497 BURNT AREA [Red] 204 points and AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points - 1.99976356 BURNT AREA [Red] 204 points and FORESTS [Green] 214 points - 1.99999862 BURNT AREA [Red] 204 points and SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points - 1.99999970	

**Πίνακας Ι:** Εμφάνιση πίνακα διαχωριστικότητας ανάμεσα στις φασματικές κλάσεις στην εικόνα 3 Ιουλίου 2007.

**Class Confusion Matrix**

Confusion Matrix: H:\NA\_XENOULIS\_THESIS\RESULTS AND ANALYSIS\BURNT AREA MAPPING (OBJ 1)\ML\_classification\_03\_JULY\_2007

Overall Accuracy = (310/316) 98.1013%  
Kappa Coefficient = 0.9761

Class	Ground Truth (Pixels)				
	BURNT AREA [R	FORESTS [Gree	SCRUBLAND / H	AGRICULTURAL	URBAN / INDUS
Unclassified	0	0	0	0	0
BURNT AREA [R	73	0	0	0	0
FORESTS [Gree	0	80	0	0	0
SCRUBLAND / H	0	0	48	0	0
AGRICULTURAL	0	0	3	57	0
URBAN / INDUS	1	0	0	2	52
Total	74	80	51	59	52

Class	Ground Truth (Pixels)				
	Total				
Unclassified	0				
BURNT AREA [R	73				
FORESTS [Gree	80				
SCRUBLAND / H	48				
AGRICULTURAL	60				
URBAN / INDUS	55				
Total	316				

Class	Ground Truth (Percent)				
	BURNT AREA [R	FORESTS [Gree	SCRUBLAND / H	AGRICULTURAL	URBAN / INDUS
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BURNT AREA [R	98.65	0.00	0.00	0.00	0.00
FORESTS [Gree	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
SCRUBLAND / H	0.00	0.00	94.12	0.00	0.00
AGRICULTURAL	0.00	0.00	5.88	96.61	0.00
URBAN / INDUS	1.35	0.00	0.00	3.39	100.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)				
	Total				
Unclassified	0.00				
BURNT AREA [R	23.10				
FORESTS [Gree	25.32				
SCRUBLAND / H	15.19				
AGRICULTURAL	18.99				
URBAN / INDUS	17.41				
Total	100.00				

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
BURNT AREA [R	0.00	1.35	0/73	1/74
FORESTS [Gree	0.00	0.00	0/80	0/80
SCRUBLAND / H	0.00	5.88	0/48	3/51
AGRICULTURAL	5.00	3.39	3/60	2/59
URBAN / INDUS	5.45	0.00	3/55	0/52

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
BURNT AREA [R	98.65	100.00	73/74	73/73
FORESTS [Gree	100.00	100.00	80/80	80/80
SCRUBLAND / H	94.12	100.00	48/51	48/48
AGRICULTURAL	96.61	95.00	57/59	57/60
URBAN / INDUS	100.00	94.55	52/52	52/55

**Πίνακας II:** Εμφάνιση πίνακα αξιολόγησης σφάλματος κατά τον έλεγχο της διαδικασίας ταξινόμησης στην εικόνα 3 Ιουλίου 2007.

**ROI Separability Report**

Input File: FINAL\_DATASET\_ALL\_study\_site  
ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

FORESTS [Green] 214 points:  
SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points: (1.99559513 2.00000000)  
AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points: (1.98767957 2.00000000)  
URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points: (1.99965117 2.00000000)

SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points:  
FORESTS [Green] 214 points: (1.99559513 2.00000000)  
AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points: (1.66898974 1.84319581)  
URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points: (1.91817266 1.99947343)

AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points:  
FORESTS [Green] 214 points: (1.98767957 2.00000000)  
SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points: (1.66898974 1.84319581)  
URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points: (1.68407649 1.97858109)

URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points:  
FORESTS [Green] 214 points: (1.99965117 2.00000000)  
SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points: (1.91817266 1.99947343)  
AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points: (1.68407649 1.97858109)

Pair Separation (least to most):

SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points and AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points - 1.66898974  
AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points and URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points - 1.68407649  
SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points and URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points - 1.91817266  
FORESTS [Green] 214 points and AGRICULTURAL AREAS [Magenta] 171 points - 1.98767957  
FORESTS [Green] 214 points and SCRUBLAND / HERBACEOUS VEGETATION [Purple] 165 points - 1.99559513  
FORESTS [Green] 214 points and URBAN / INDUSTRIAL AREAS [Orchid] 183 points - 1.99965117

**Πίνακας III:** Εμφάνιση πίνακα διαχωριστικότητας ανάμεσα στις φασματικές κλάσεις στην εικόνα 16 Μαΐου 2007.

Class Confusion Matrix

Confusion Matrix: H:\A\_XENOULIS\_THESIS\RESULTS AND ANALYSIS\MASKS OF CLASSES UNDER BURNT AREA\ML\_classification\_16\_MAY\_2007

Overall Accuracy = (232/242) 95.8678%  
 Kappa Coefficient = 0.9443

Class	Ground Truth (Pixels)				Total
	FORESTS	VALIDSCRUBLAND / H	AGRICULTURAL	URBAN / INDUS	
Unclassified	0	0	0	0	0
FORESTS [Gree	80	0	0	0	80
SCRUBLAND / H	0	51	5	0	56
AGRICULTURAL	0	0	52	3	55
URBAN / INDUS	0	0	2	49	51
Total	80	51	59	52	242

Class	Ground Truth (Percent)				Total
	FORESTS	VALIDSCRUBLAND / H	AGRICULTURAL	URBAN / INDUS	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FORESTS [Gree	100.00	0.00	0.00	0.00	33.06
SCRUBLAND / H	0.00	100.00	8.47	0.00	23.14
AGRICULTURAL	0.00	0.00	88.14	5.77	22.73
URBAN / INDUS	0.00	0.00	3.39	94.23	21.07
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Pixels)	
	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
FORESTS [Gree	0.00	0.00	0/80	0/80
SCRUBLAND / H	8.93	0.00	5/56	0/51
AGRICULTURAL	5.45	11.86	3/55	7/59
URBAN / INDUS	3.92	5.77	2/51	3/52

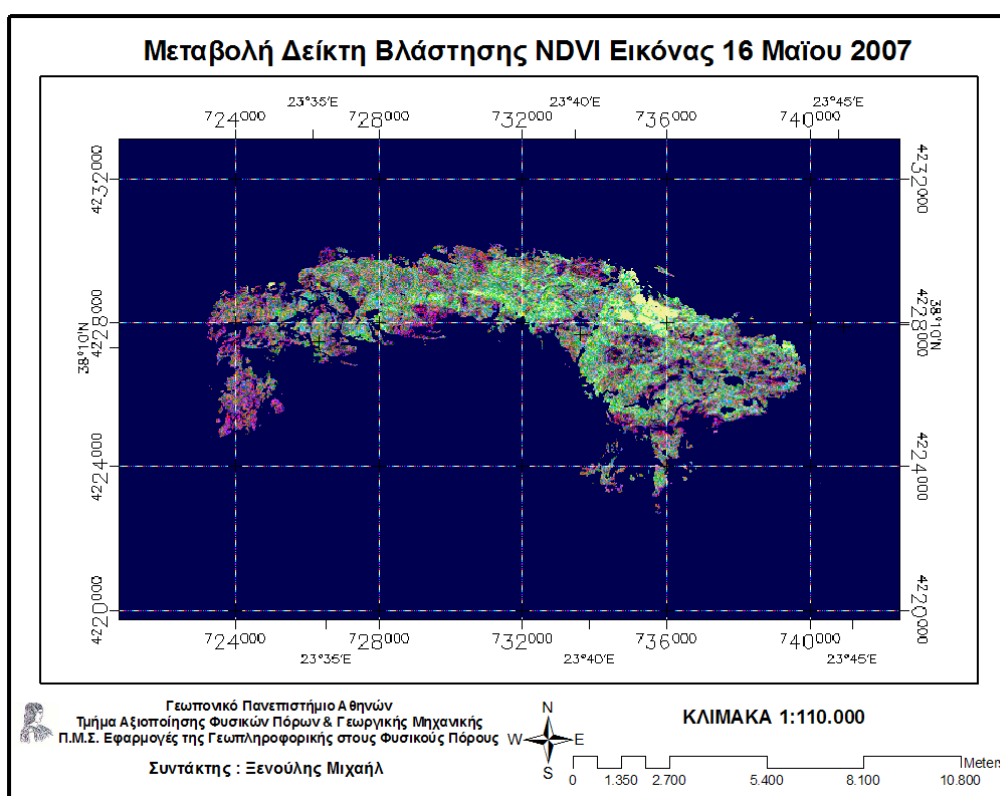
  

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Pixels)	
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
FORESTS [Gree	100.00	100.00	80/80	80/80
SCRUBLAND / H	100.00	91.07	51/51	51/56
AGRICULTURAL	88.14	94.55	52/59	52/55
URBAN / INDUS	94.23	96.08	49/52	49/51

**Πίνακας IV:** Εμφάνιση πίνακα αξιολόγησης σφάλματος κατά τον έλεγχο της διαδικασίας ταξινόμησης στην εικόνα 16 Μαΐου 2007.

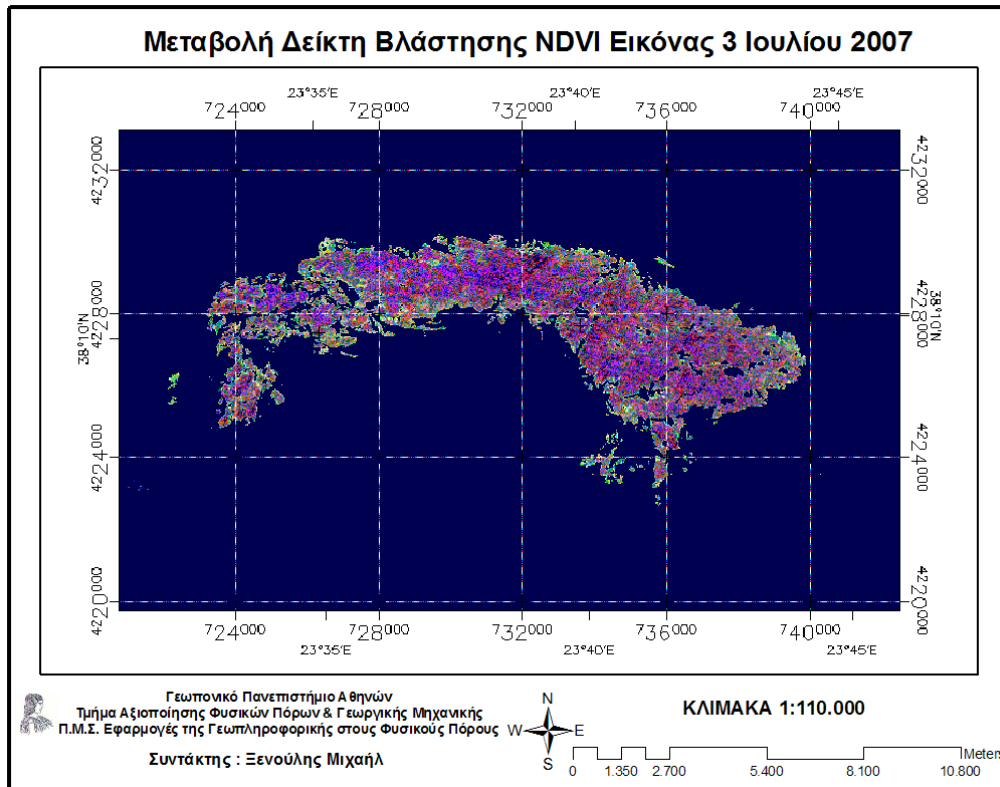
## Παράρτημα Γ – Θεματικοί χάρτες μεταβολής δείκτη βλάστησης NDVI

Με τη μορφή θεματικών χαρτών παρουσιάζεται η μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI<sup>1</sup> που είχε υπολογιστεί προηγουμένως, για όλες τις ημερομηνίες των δορυφορικών εικόνων που ελήφθησαν. Το σύνολο των 5 χαρτών που παρουσιάζονται προέρχονται από το αρχείο 'FINAL\_DATASET\_ALL\_study\_site\_BA\_ONLY\_obj3'.

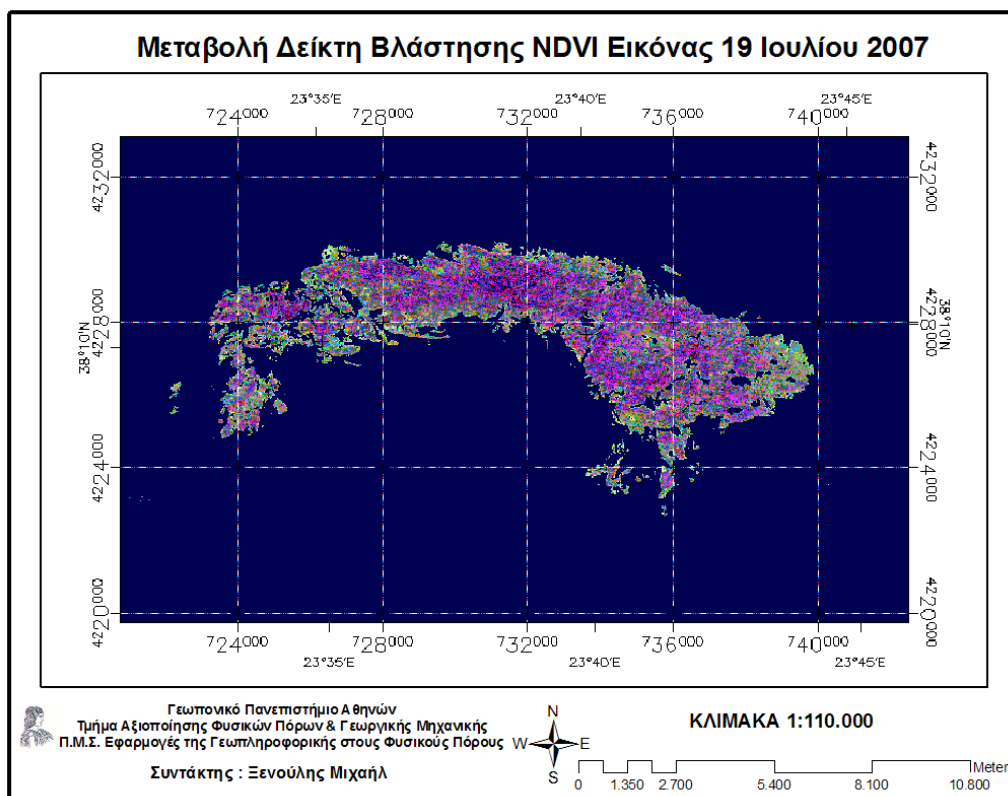


**Χάρτης I:** Μεταβολή δείκτη βλάστησης NDVI για την εικόνα 16 Μαΐου 2007 εντός μάσκας στην καμένη έκταση.

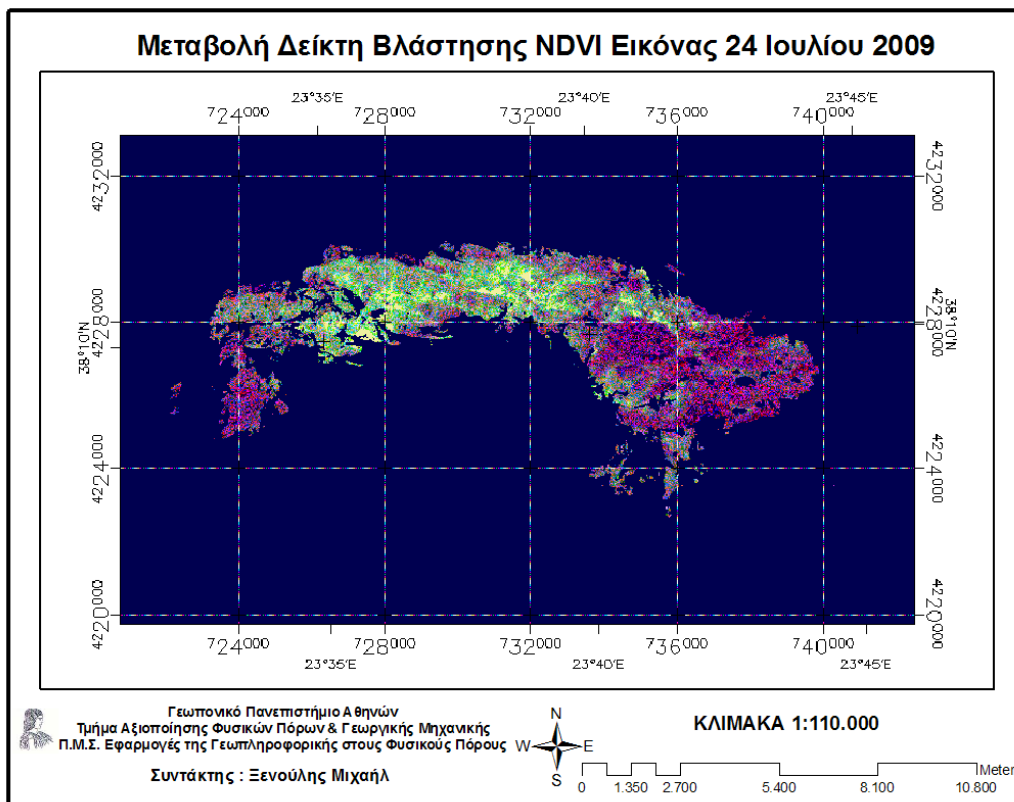
<sup>1</sup> Η χρωματική διαβάθμιση δείχνει αυτό που εμφανίστηκε προηγουμένως σε αριθμητικές τιμές, δηλ. το βαθμό αναβλάστησης της καμένης έκτασης. Όμως αυτό δε σημαίνει ότι μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα, για το πως μεταβάλλεται η αναβλάστηση στην καμένη έκταση, βλέποντας απλά τους χάρτες χωρίς να υπάρχει υπολογισμός αριθμητικών τιμών και παραμέτρων.



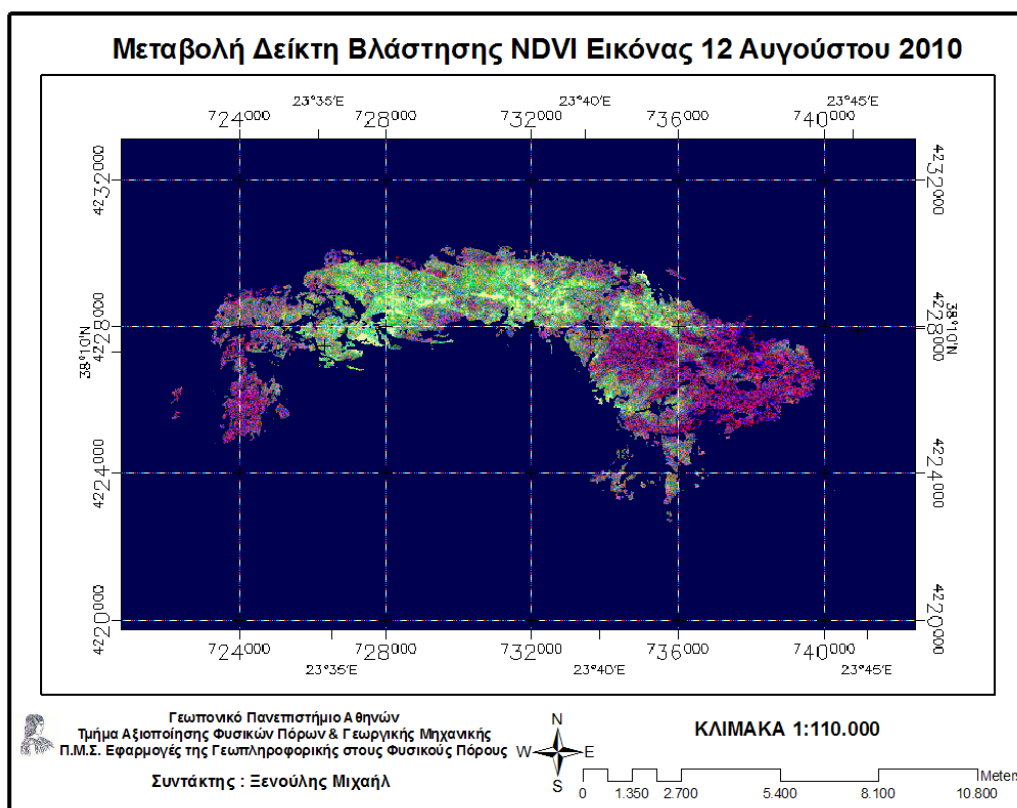
**Χάρτης II:** Μεταβολή δείκτη βλάστησης NDVI για την εικόνα 3 Ιουλίου 2007 εντός μάσκας στην καμένη έκταση.



**Χάρτης III:** Μεταβολή δείκτη βλάστησης NDVI για την εικόνα 19 Ιουλίου 2007 εντός μάσκας στην καμένη έκταση.



**Χάρτης IV:** Μεταβολή δείκτη βλάστησης NDVI για την εικόνα 24 Ιουλίου 2009 εντός μάσκας στην καμένη έκταση.



**Χάρτης V:** Μεταβολή δείκτη βλάστησης NDVI για την εικόνα 19 Ιουλίου 2007 εντός μάσκας στην καμένη έκταση.