ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

Χαρτογράφηση μεταβολής καμένων δασικών εκτάσεων σε δομημένο περιβάλλον με αντικειμενοστρεφή ανάλυση δορυφορικών εικόνων Landsat. Η περίπτωση της Βορειανατολικής Αττικής για το χρονικό διάστημα 1984-2016

Μιχαήλ Ξανθούλα

Μεταπτυχιακή Εργασία η οποία υποβάλλεται
για μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων
για το Διεπιστημονικό - Διατμηματικό
Δίπλωμα Ειδίκευσης
του Δ.Π.Μ.Σ. του Ε.Μ.Πολυτεχνείου
"Περιβάλλον και Ανάπτυξη"

Περιβάλλον και Ανάπτυξη

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

Επιβλέπων: Καθηγητής Αργιαλάς Δ.

Επιτροπή Παρακολούθησης:

Καθηγητής Αργιαλάς Δ.
Καθηγητής Καράντζαλος Κ.
Ε.Δ.Ι.Π. Κολοκούσης Π.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή 4

2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας και αρθρογραφίας 5

2.1 Πυρκαγιές στον ελλαδικό χώρο 5

2.1.1 Η φωτιά ως φυσικός παράγοντας των μεσογειακών οικοσυστημάτων και ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών παραγόντων 5

2.1.2 Στατιστικά στοιχεία (πηγή: Οικοσκόπιο) 6

2.1.3 Χρονικό μεγάλων πυρκαγιών στην Αττική 10

2.2 Το φαινόμενο της δόμησης σε καμένες δασικές εκτάσεις 11

2.3 Τηλεπισκόπηση - Φωτοερμηνεία 13

2.3.1 Η συμβολή της τηλεπισκόπησης στην διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος 14

2.3.2 Αντικειμενοστραφης ανάλυση 17

3. Μεθοδολογία 21

3.1 Διάγραμμα Ροής 22

3.2 Περιοχή μελέτης 23

3.3 Δεδομένα 24

3.4 Επιλογή χρονολογιών προς μελέτη 25

3.5 Φωτοερμηνεία δορυφορικών εικόνων 26

3.6 Ανίχνευση καμένων εκτάσεων με αντικειμενοστρεφή ανάλυση δορυφορικών εικόνων Landsat στο eCognition 29

3.6.1 Περιγραφή επεξεργασιών 29

3.6.2 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα του 1986 32

3.6.3 Καμένες εκτάσεις στην εικόνα Landsat του 1988 39

3.6.4 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα Landsat του 1991 47

3.6.5 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα του 1999 53

3.6.6 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα του 2001 60

3.6.7 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα του 2009 66

3.6.8 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα του 1984 72

3.7 Αντικειμενοστρεφής ανάλυση δορυφορικών εικόνων στο eCognition. Ανίχνευση δομημένων περιοχών το έτος 2016 74

3.8 Επεξεργασία των αρχείων shapefile στο λογισμικό QGIS και εντοπισμός μεταβολών 84

4. Συμπεράσματα 90

5. Προοπτικές περαιτέρω έρευνας 91

Βιβλιογραφία 92

Πίνακας εικόνων 96

Πίνακας πινάκων 100

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η χαρτογράφηση των δασικών εκτάσεων στην περιοχή της Βορειοανατολικής Αττικής, που έχουν πληγεί από πυρκαγιές κατά το χρονικό διάστημα από το 1984 έως το 2014 και η ανίχνευση των περιοχών εξ αυτών οι οποίες έχουν μετατραπεί σε δομημένο περιβάλλον μέχρι το 2016 με τηλεπισκοπικές τεχνικές. Η μέθοδος που ακολουθείται είναι αυτή της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης δορυφορικών εικόνων με τη βοήθεια του λογισμικού eCognition.

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της βορειοανατολικής Αττικής και συγκεκριμένα τους δήμους: Μαρούσι, Βριλήσσια, Ηράκλειο, Κηφισιά, Λυκόβρυση-Πεύκη, Μεταμόρφωση, Νέα Ιωνία, Αχαρνές, Μαραθώνας, Διόνυσος, Ραφήνα-Πικέρμι, Ασπρόπυργος, Φυλή. Στην περιοχή αυτή συγκαταλέγονται δύο απ' τους σημαντικότερους ορεινούς όγκους του νομού Αττικής, της Πεντέλης και της Πάρνηθας, καθώς και η δασική έκταση στο δήμο Μαρκόπουλου - Ωρωπού, με το Δάσος Μαυροσουβάλας, περιοχές που έχουν πληγεί από πυρκαγιές σε μεγάλο βαθμό τις τελευταίες δεκαετίες.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε χωρίζεται σε τέσσερις ενότητες. Η πρώτη περιλαμβάνει το κομμάτι της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας και της αρθρογραφίας για τη συλλογή της απαραίτητης πληροφορίας τόσο σε θεωρητικό επίπεδο όσο και σε τεχνικό.

Η δεύτερη ενότητα αφορά στην επιλογή των επιμέρους χρονολογιών προς μελέτη και σε μία πρώτη διερεύνηση του φαινομένου των πυρκαγιών στην περιοχή μελέτης μέσω της διαδικασίας της φωτοερμηνείας δορυφορικών εικόνων με τη βοήθεια του λογισμικού QGIS.

Στην τρίτη ενότητα γίνεται προσπάθεια χαρτογράφησης των καμένων εκτάσεων κατά τη χρονική περίοδο που μελετάται μέσω της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης των επιλεχθέντων δορυφορικών εικόνων. Πιο συγκεκριμένα οι επεξεργασίες έγιναν σε δορυφορικές εικόνες για τις χρονολογίες 1984, 1986, 1988, 1991, 1999, 2001, 2009. Η χαρτογράφηση των καμένων περιοχών έγινε όσο το δυνατόν με τη χρήση δεικτών και χαρακτηριστικών που τις αναδεικνύουν, σε συνδυασμό με το δείκτη της διαφοράς των τιμών του NDVI μεταξύ εικόνων πριν και μετά την πυρκαγιά, ο οποίος αναδεικνύει τη μεταβολή της βλάστησης. Στη συνέχεια επιχειρήθηκε η χαρτογράφηση του δομημένου περιβάλλοντος σε πρόσφατη δορυφορική εικόνα του 2016, πάλι με τη διαδικασία της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης στο λογισμικό eCognition.

Το τελικό στάδιο αφορά στην διεξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με τη μεταβολή καμένων δασικών εκτάσεων σε δομημένο περιβάλλον, μέσα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραπάνω διαδικασιών στο λογισμικό QGIS. Σαν συμπέρασμα προκύπτει ότι το φαινόμενο της παρουσίας δομημένου περιβάλλοντος σε καμένες εκτάσεις σχετίζεται άμεσα με την τάση επέκτασης του αστικού ιστού. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι περιοχές που έχουν δομηθεί ανήκουν ή βρίσκονται κοντά σε ζώνες μίξης δασών-οικισμών, όπου ο αστικός ιστός ασκεί πιέσεις στις δασικές εκτάσεις. Οι περιοχές όπου παρατηρείται έντονο το φαινόμενο είναι οι Δήμοι: Διονύσου, Ραφήνας-Πικερμίου, Κηφισιάς, Αχαρνών, Πεντέλης και Μαραθώνα. Αντίστοιχες πιέσεις σε δασικές περιοχές ασκούνται και από γεωργικές εκτάσεις, όπως παρατηρείται στο δήμο Ωρωπού.

Λεξεις κλειδιά: Β.Α. Αττική, χαρτογράφηση, καμένες δασικές εκτάσεις, δομημένο περιβάλλον, αντικειμενοστρεφής ανάλυση, ταξινόμηση, δορυφορικές εικόνες Landsat

Abstract

The purpose of the present study is mapping the forest land damaged by fires during the period 1984-2014, in the region of North-East Attica, and the detection of those areas which have been converted into built environment until 2016, using remote sensing techniques. The method followed is Object Based Image Analysis of satellite images using software eCognition.

The study area includes a large area of north-eastern Attica and specifically the municipalities of: Marousi, Vrilissia, Heraklion Kifissia Lykovrysi-Pefki, Metamorfosi, Nea Ionia, Acharnes, Marathon, Dionysus, Rafina-Pikermi, Aspropyrgos, Fili. In this area, two of the most important mountains of Attica are located, Pendeli and Parnitha, as well as the forest area in Markopoulos municipality - Oropos, including the forest Mavrosouvala. All of these areas were greatly affected by fires in recent decades.

The methodology followed is divided into four sections. The first includes the part of the review of the literature and editorial in order to collect the necessary information both theoretical and technical.

The second section relates to the selection of the chronologies, and a first exploration of the phenomenon of fires in the study area through the process of satellite image interpretation, using the QGIS software.

The third part is about burnt areas mapping during the period studied, using the method of object based image analysis for the selected satellite imagery. Specifically, OBIA was performed in satellite images for the years 1984, 1986, 1988, 1991, 1999, 2001, 2009. Burnt area mapping was attempted using indicators and features that highlight these areas, in conjunction with the difference index of NDVI values between images before and after the fire, which shows the change in vegetation. Built environment was also mapped in a recent satellite image of 2016, again with the object-oriented analysis process in eCognition software.

The final step was to draw conclusions about the transition from burnt forest land into built environment, through the comparison of all the procedure results, using QGIS software. The results suggested that the presence of built environment in burnt areas is directly related to the trend of extending the urban lanscape/tissue. In most cases the built areas belong to or are near forest-settlements mixed zones, where urban landscape exerts pressure on forest land. The phenomenon is observed in the municipalities of: Dionysus Rafina-Pikermi, Kifissia, Acharnon, Penteli and Marathon. Similar pressures to forest land are exerted by agricultural land, as observed in the municipality of Oropos.

Key Words: N.E. Attika, mapping, burnt forest land, built environment, Object Based Image Analysis, classification, Landsat satellite imagery

1. Εισαγωγή

Το φαινόμενο των πυρκαγιών αποτελεί μια από τις πιο συχνές περιβαλλοντικές καταστροφές και μια από τις βασικές αιτίες διατάραξης και υποβάθμισης των φυσικών οικοσυστημάτων, και ειδικότερα στα μεσογειακά εδάφη. Παρόλο που η πυρκαγιά μπορεί να αποτελεί φυσικό φαινόμενο, απαραίτητο για την αναπαραγωγή των δασικών οικοσυστημάτων, όταν η συχνότητα με την οποία παρουσιάζεται αλλά και οι εκτάσεις που πλήττονται αυξάνονται εξαιτίας ανθρωπογενών παραγόντων οι συνέπειες είναι καταστροφικές.

Η χαρτογράφηση των περιοχών που έχουν πληγεί από πυρκαγιές καθώς και η παρακολούθηση της μεταβολής των χρήσεων γης σε αυτές, αποτελεί ένα πρώτο και ιδιαίτερα σημαντικό βήμα για την αντιμετώπισή του φαινομένου. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από αυτή τη διαδικασία μπορεί να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση του φαινομένου και των αιτιών του, καθώς και στη λήψη αποφάσεων για την προστασία και αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος αλλά και την πρόληψη επόμενων πυρκαγιών.

Η συμβολή της χρήσης τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης είναι σημαντική σε ζητήματα που αφορούν στην διαχείρηση και ανάλυση του φαινομένου των πυρκαγιών, τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων, καθώς και την παρακολούθηση της μεταβολής των χρήσεων γης σε αυτές.

Η συλλογή δεδομένων με μεγάλη συχνότητα αλλά και ακρίβεια, παρέχει πληθώρα πληροφοριών και σε μεγάλη συχνότητα, έτσι ώστε η ανάλυση φαινομένων, όπως οι πυρκαγιές, να είναι εφικτή ακόμα και για τοποθεσίες που δεν είναι προσβάσιμες με άλλο τρόπο.

Το εγχείρημα της χαρτογράφησης των καμένων εκτάσεων στο νομό Αττικής, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, αποτελεί ένα πρωτόλειο στάδιο που έχει κατά κύριο λόγο μεθοδολογικό χαρακτήρα παρά χαρακτήρα πλήρους καταγραφής του φαινομένου.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η χαρτογράφηση των δασικών εκτάσεων στην περιοχή της Βορειοανατολικής αττικής, που έχουν πληγεί από πυρκαγιές κατά το χρονικό διάστημα από το 1984 έως το 2014 και η ανίχνευση των περιοχών εξ αυτών οι οποίες έχουν μετατραπεί σε δομημένο περιβάλλον μέχρι το 2016, με τη χρήση της μεθόδου της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης δορυφορικών εικόνων.

2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας και αρθρογραφίας

2.1 Πυρκαγιές στον ελλαδικό χώρο

2.1.1 Η φωτιά ως φυσικός παράγοντας των μεσογειακών οικοσυστημάτων και ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών παραγόντων

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα φαινόμενο άρρηκτα συνδεδεμένο με τον ελλαδικό χώρο. Στα μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα οι κλιματικές συνθήκες (φως, υγρασία, θερμοκρασία) είναι τέτοιες, ώστε ο ρυθμός παραγωγής της βιομάζας (χόρτα, φύλλα, βελόνες, κλαδιά, κ.λ.π.) με τη φωτοσύνθεση είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό διάσπασης της νεκρής βιομάζας μέσω της δράσης των μικροοργανισμών και της σήψης. Το πλεόνασμα της βιομάζας που δημιουργείται, όταν δεν απομακρύνεται με κάποιον άλλον τρόπο, όπως η βόσκηση και η χρήση ξυλείας από τους ανθρώπους, η φυσική της κατάληξη θα είναι η πυρκαγιά, ως ένας εναλλακτικός τρόπος για την αποσυμφόρηση και κατ' επέκταση την ανανέωση του οικοσυστήματος. Η φωτιά αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τη φυσική λειτουργία των οικοσυστημάτων και η συχνότητα με την οποία εκδηλώνεται εξαρτάται κυρίως από το ρυθμό συσσώρευσης της βιομάζας. (Ξανθόπουλος, 1998)

Κατά μέσο όρο σε ένα μεσογειακού τύπου δάσος υπολογίζεται ότι εμφανίζεται μία πυρκαγιά από φυσικά αίτια κάθε 100 – 150 χρόνια. Τα οικοσυστήματα αυτά είναι προσαρμοσμένα ώστε να έχουν τη δυνατότητα να αναγεννηθούν άμεσα και αποτελεσματικά μετά από εκδηλώσεις πυρκαγιών σε τέτοια συχνότητα.

Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες είτε λόγω αμέλειας, είτε για εξασφάλιση οικονομικού οφέλους, αυξάνουν σημαντικά τη συχνότητα εκδήλωσης πυρκαγιών. Το αποτέλεσμα είναι η διατάραξη της φυσικής ισορροπίας και μακροχρόνια η υποβάθμιση των δασικών οικοσυστημάτων.

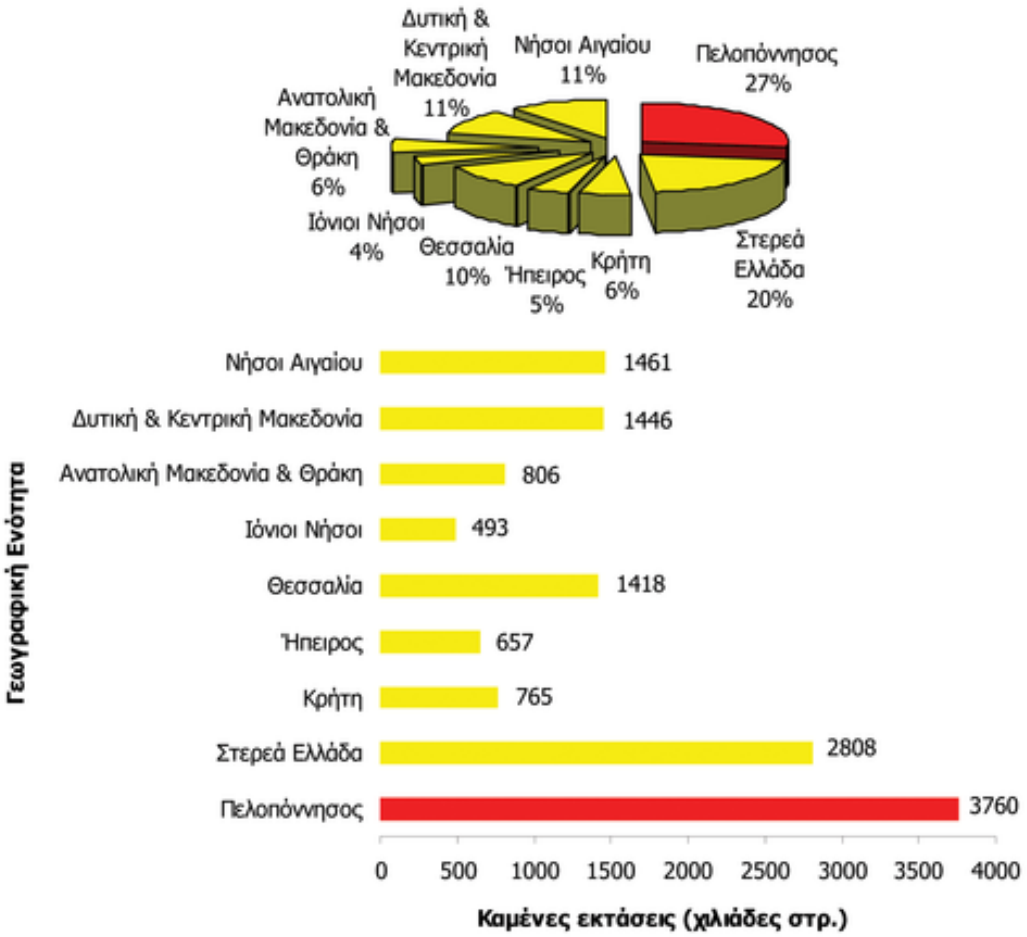
Στον ελλαδικό χώρο κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του '70, '80 και '90 ο αριθμός των πυρκαγιών υπερτριπλασιάστηκε ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, της εγκατάλειψης της υπαίθρου και της αύξησης των οικισμών σε επαφή με τα δάση. Η έντονη εσωτερική και εξωτερική μετανάστευση από την ύπαιθρο οδήγησε στην κατακόρυφη μείωση του πληθυσμού της, και παράλληλα αύξησε τον κίνδυνο εμφανισης πυρκαγιών, καθώς άρχισε να συσσωρεύεται η νεκρή βιομάζα λόγω μείωσης του ρυθμού απόληψής της, φαινόμενο που εντάθηκε λόγω της υποκατάστασης του ξύλου από άλλες πηγές ενέργειας.
Παράλληλα, λόγω της αυξανόμενης δράσης της πυροσβεστικής υπηρεσίας για την καταπολέμηση των πυρκαγιών, οι πληθυσμοί της υπαίθρου, οι οποίοι μέχρι πρότινος ήταν αυτοί που τις αντιμετώπιζαν, με τον καιρό έχασαν αυτή τη γνώση, όπως έχασαν σε μεγάλο βαθμό και το ίδιο το ενδιαφέρον για την προστασία του δάσους από τη στιγμή που έπαψαν να εξαρτώνται από αυτό για την επιβίωση τους.

Από τα τέλη της δεκαετίας το 1970, άρχισε με αλματώδεις ρυθμούς η δόμηση τουριστικών

και παραθεριστικών οικισμών και μεμονωμένων κατοικιών στην ύπαιθρο, ιδιαίτερα στην παραλιακή ζώνη και συχνά σε επαφή με τη δασική βλάστηση. Παράλληλα, σε πολλά αστικά κέντρα και κυρίως στην Αθήνα αναπτύχθηκαν εκτεταμένες ζώνες μίξης δασών-οικιστικών περιοχών. Στις νέες αυτές οικιστικές ζώνες ο πληθυσμός είχε άγνοια του φαινομένου της πυρκαγιάς και των τρόπων τόσο πρόληψης όσο και αντιμετώπισής της. Στην αύξηση του αριθμού των πυρκαγιών συντέλεσε και η έντονη βόσκηση των δασικών εκτάσεων. (Ξανθόπουλος, 1998). Ο μεγάλος αριθμός και η έκταση των πυρκαγιών που εκδηλώνονται στον ελλαδικό χώρο έχουν ήδη καταστρέψει και εξακολουθούν να καταστρέφουν σημαντικό μέρος των δασών και των δασικών εκτάσεων.

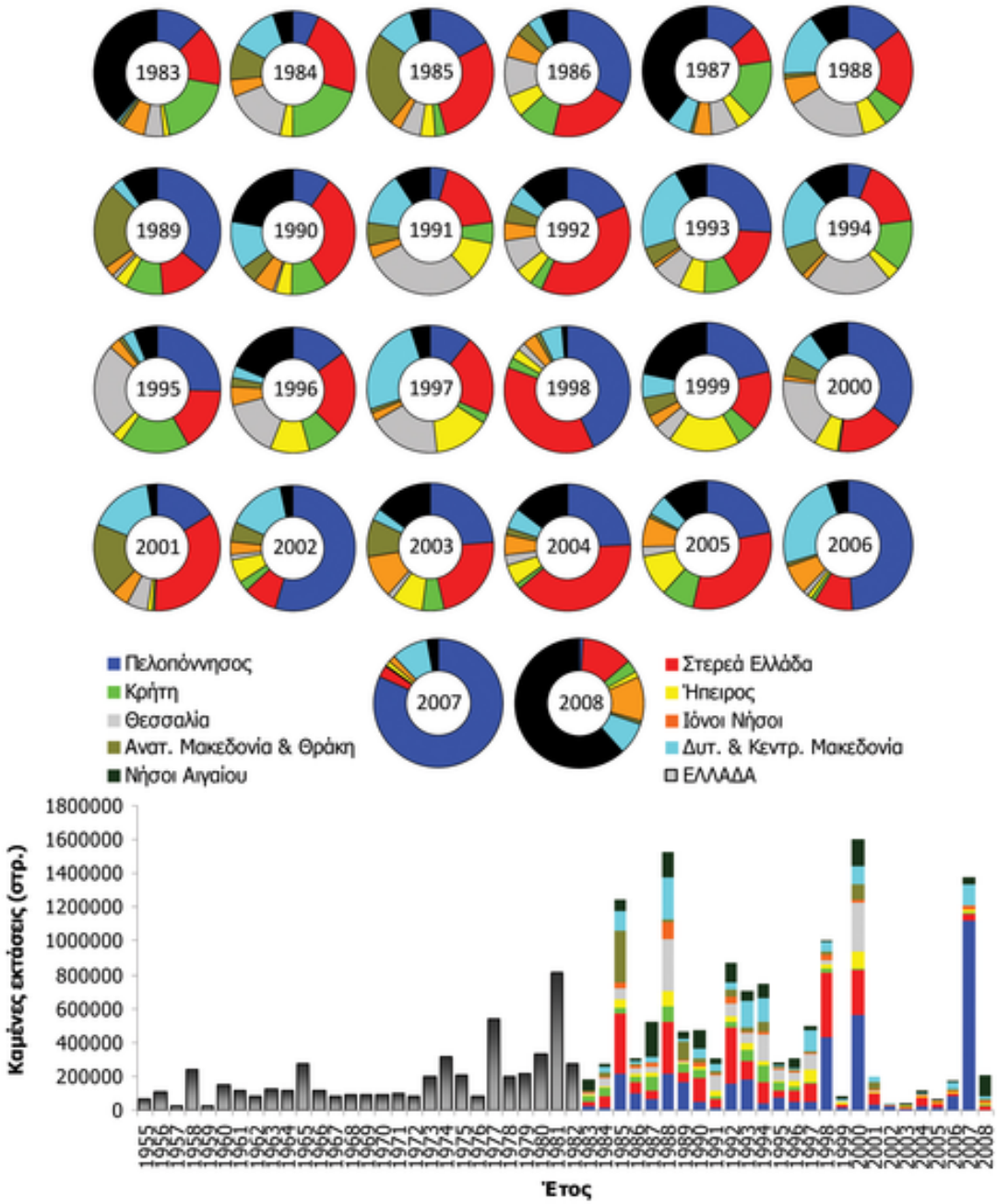
2.1.2 Στατιστικά στοιχεία (πηγή: Οικοσκόπιο)

Το σύνολο των καμένων εκτάσεων στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο 1983-2008 ανέρχεται σε 13.613.121 στρ. Το μεγαλύτερο ποσοστό καμένων εκτάσεων (27%) αναφέρεται στην Πελοπόννησο, ενώ το μικρότερο (4%) στα νησιά του Ιονίου (Οικοσκόπιο, 2011).



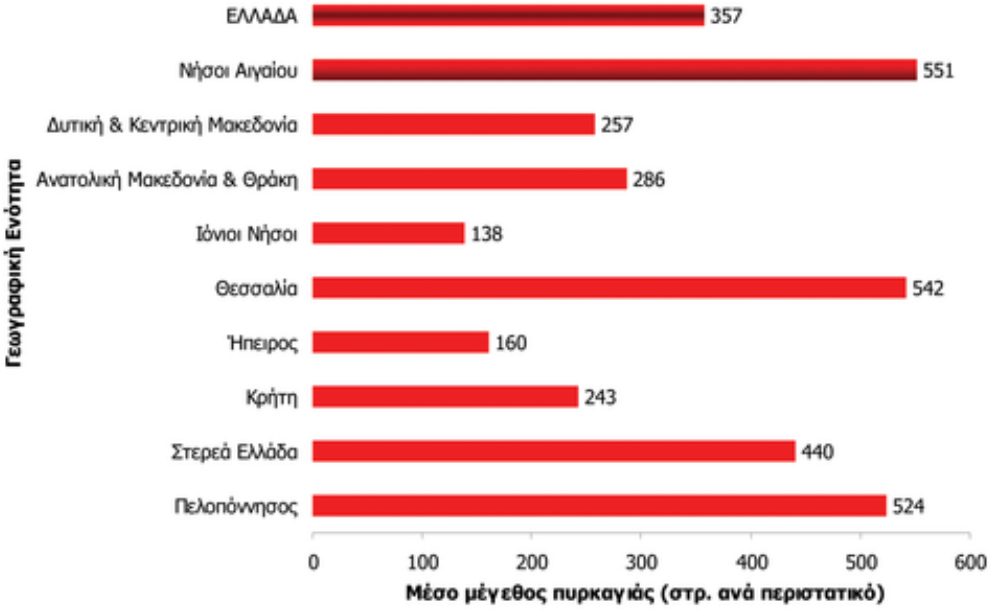
Εικόνα 2.1.1: Καμένες εκτάσεις ανά γεωγραφική ενότητα (Οικοσκόπιο, 2011)

Κάθε χρόνο καίγονται, κατά μέσο όρο, 523.582 στρ. δασικών και γεωργικών εκτάσεων. Οι μεγαλύτερες ετήσιες καταστροφές καταγράφηκαν το 2000 και έφτασαν τα 1.600.071 στρ., και ακολουθούν τα έτη 1988 και 2007 με 1.522.779 στρ. και 1.372.857 στρ., αντίστοιχα. Οι περισσότερες καμένες εκτάσεις εντοπίζονται κατά την πενταετία 1996-2000 με μέση ετήσια τιμή 699.619 στρέμματα (Οικοσκόπιο, 2011).



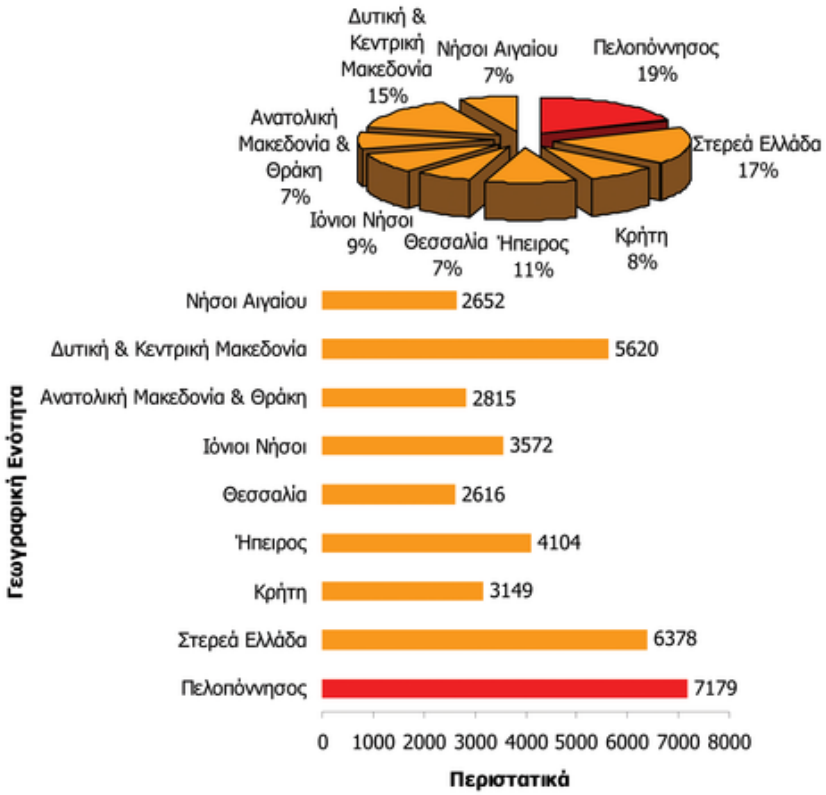
Εικόνα 2.1.2: Καμένες εκτάσεις ανά έτος (Οικοσκόπιο, 2011)

Η μέση δριμύτητα των δασικών πυρκαγιών της Ελλάδας είναι 357 στρ. καμένης έκτασης ανά περιστατικό για τη χρονική περίοδο 1983-2008. Η δριμύτητα μεγιστοποιείται στα νησιά του Αιγαίου (551 στρ. καμένης έκτασης ανά περιστατικό), ενώ αρκετά αυξημένη μέση δριμύτητα εμφανίζουν και οι δασικές πυρκαγιές της Θεσσαλίας (542) αλλά και της Πελοποννήσου (524) (Οικοσκόπιο, 2011).



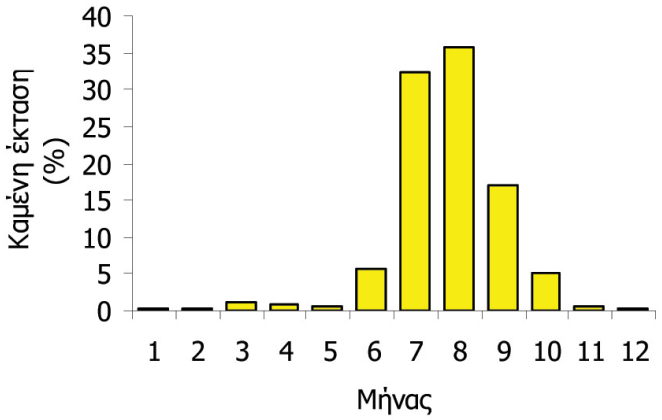
Εικόνα 2.1.3: Δριμύτητα πυρκαγιών ανά γεωγραφική ενότητα (Οικοσκόπιο, 2011)

Ο συνολικός αριθμός δασικών πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν στη χώρα κατά την περίοδο 1983-2008 ανέρχεται σε 38.085. Το μεγαλύτερο ποσοστό τους (19%) κατανέμεται στη γεωγραφική ενότητα της Πελοποννήσου, ενώ το μικρότερο (περίπου 7%) στη Θεσσαλία (Οικοσκόπιο, 2011).



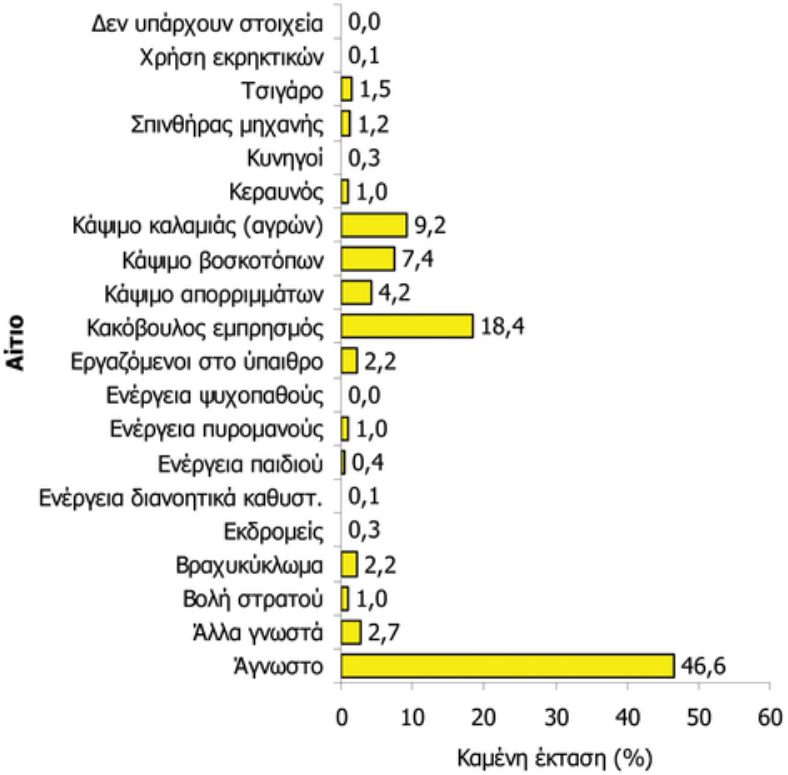
Εικόνα 2.1.4: Περιστατικά πυρκαγιών ανά γεωγραφική ενότητα (Οικοσκόπιο, 2011)

Αυξημένες είναι οι καμένες εκτάσεις από Ιούλιο μέχρι Σεπτέμβριο, ενώ είναι μειωμένες τους υπόλοιπους μήνες του έτους. Οι πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν κατά τη διάρκεια αυτού του 3μήνου ευθύνονται για το 85% των καμένων εκτάσεων της χώρας. Βέβαια, ο Αύγουστος είναι ο μήνας με τις περισσότερες καταστροφές εκτάσεων (36%) (Οικοσκόπιο, 2011).



Εικόνα 2.1.5: Ποσοστό περιστατικών πυρκαγιών ανά μήνα (Οικοσκόπιο, 2011)

Η εξακρίβωση των αιτίων των πυρκαγιών της Ελλάδας περιορίζεται μόνο στο 21,4% των περιστατικών και μόνο στο 11,7 % των περιπτώσεων έχει εξακριβωθεί ο υπαίτιος. Το 47% των καμένων εκτάσεων έχουν προέλθει από περιστατικά αγνώστων αιτίων. Ακολουθεί ο κακόβουλος εμπρησμός που ευθύνεται για το 18% των καμένων εκτάσεων, ενώ μικρότερα είναι τα αντίστοιχα ποσοστά των άλλων κατηγοριών. Οι πυρκαγιές από πυρομανείς είναι αρκετά σπάνιες (το 0,16% του συνόλου) και ευθύνονται για το 1% περίπου των καμένων εκτάσεων (Οικοσκόπιο, 2011).



Εικόνα 2.1.6: Ποσοστό περιστατικών πυρκαγιών ανά αίτιο (Οικοσκόπιο, 2011)

2.1.3 Χρονικό μεγάλων πυρκαγιών στην Αττική

Το παρακάτω χρονολόγιο αρκεί για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος της υποβάθμισης που έχουν υποστεί οι δασικές εκτάσεις της Αττικής τις τελευταίες δεκαετίες.

1981 (Αύγουστος): Βόρεια προαστία, ξεκίνησε από τη Ν.Ερυθραία και έφτασε μέχρι τα Μελίσσια και το κτήμα Συγγρού στο Μαρούσι (Ξανθόπουλος Γ.). Εκτιμάται ότι κάηκαν περισσότερα από 6.000 στρέμματα δάσους (Μυστακίδου, 2009).

1982: Διόνυσος, η πυρκαγιά επεκτάθηκε στην Πεντέλη, την Εκάλη, το Πικέρμι, τον Γέρακα και τον Μαραθώνα. Εκτιμάται ότι καταστράφηκαν συνολικά περισσότερα από 25.000 στρέμματα πρασίνου (Μυστακίδου, 2009).

1986: Βαρυμπόμπη, Πεντέλη, περισσότερα από 40.000 στρέμματα (Μυστακίδου, 2009)

1987: 1050 στρέμματα αγροτοδασικής έκτασης (Γουρμπάτσης, 2015)

1992: Αυλώνας, η πυρκαγιά επεκτάθηκε μέχρι τη Μαλακάσα, τα Κιούρκα, περιοχές κοντά στη λίμνη του Μαραθώνα, το Καπανδρίτι, το Γραμματικό, τον Κάλαμο, και τον Ωρωπό. Υπολογίζεται ότι καταστάφηκαν περισσότερα από 55.000 στρέμματα (Μυστακίδου, 2009).

1993: Αγιος Στέφανος, η πυρκαγιά επεκτάθηκε μέχρι το Σούνιο, το Μαραθώνα, τη Σταμάτα, το Διόνυσος, τη Μάνδρα Αττικής και τη Παλλήνη. Παλαιά Πεντέλη, Ντράφι και Παλλήνη. Συνολικά το 1993 υπολογίζεται ότι καταστράφηκαν περισσότερα από 11.000 στρέμματα (Μυστακίδου, 2009).

1995 (Ιούλιος): Πεντέλη, 62.000 στρέμματα. Η πυρκαγιά έφτασε μέχρι το Ντράφι, την Καλλιτεχνούπολη και τον Νέο Βουτζά. Την ίδια περίοδο κάηκαν και 9.000 στρέμματα στον Ωρωπό. Πυρκαγιές ξέσπασαν και στο Σχηματάρι και τα Βίλια (Ξανθόπουλος Γ.), (Μυστακίδου, 2009).

1992 (Σεπτέμβριος): Βόρεια Αττική, 54.980 στρέμματα

1998 (Αύγουστος): Πεντέλη, 75.000 στρέμματα

1999: Ραφήνα-Πικέρμι, 85.652 στρέμματα (Γουρμπάτσης, 2015)

2000: Πεντέλη

2001 (Ιούνιος): Βόρεια Αττική, 33.970 στρέμματα (Ξανθόπουλος Γ.)

2005: Ραφήνα, Καλλιτεχνούπολη, Ν. Βουτζάς, γύρω στα 10.000 στρέμματα

2005: 4.236 στρέμματα (Γουρμπάτσης, 2015)

2007: Πάρνηθα, 50.000 στρέμματα

2007: Πεντέλη, 10.000 στρέμματα (Μυστακίδου, 2009)

2009: 130.425 στρέμματα (Γουρμπάτσης, 2015)

2.2 Το φαινόμενο της δόμησης σε καμένες δασικές εκτάσεις

Αρκετές φορές η ανάγκη επέκτασής των αστικών περιοχών είναι συνυφασμένη με την υποβάθμιση των δασικών εκτάσεων, και μάλιστα οι πυρκαγιές μπορούν να αποτελέσουν «εργαλείο» για αυτό το σκοπό. Πολλές φορές πιθανά κίνητρα για την εμφάνιση πυρκαγίων έχουν θεωρήθεί οικονομικά και ιδιοκτησιακά οφέλη μέσω της διείσδυσης του αστικού ιστού μέσα στο δασικό, με την αυθαίρετη ιδιοποίηση (καταπάτηση) ή την παράνομη δόμηση σε δασικές εκτάσεις (Γκουρμπάτσης, 2015).

Η ταχεία οικοδομική ανασυγκρότηση της χώρας μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, τα κίνητρα που δόθηκαν στην οικοδομική δραστηριότητα, καθώς και η πολιτικής της μεγαλύτερης δυνατής εκμετάλλευσης των οικοπέδων, σε κάλυψη και ύψος, οδήγησαν στην υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος στα μεγάλα αστικά κέντρα. Η κατάσταση αυτή δημιούργησε την ανάγκη σε μεγάλο αριθμό κατοίκων των μεγάλων αστικών κέντρων για απόκτηση εξοχικής κατοικίας και στη συνέχεια πρώτης κατοικίας στην ύπαιθρο, κοντά στα δάση και τη θάσασσα. Έτσι άρχισαν να δημιουρούνται περιοχές μίξης οικισμών-δασών.

Στις περιοχές μίξης οικισμών-δασών παρατηρείται μια προοδευτική αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς. Το πυκνό δίκτυο δασικών δρόμων θέτει τα δάση και κυρίως εκείνα που βρίσκονται κοντά σε αστικά και παραθεριστικά κέντρα σε μεγαλύτερο κίνδυνο (Μαρκάλας 1989 και Παπασταύρου 1992). Αφ' ενός ένα πυκνό δίκτυο δασικών δρόμων μπορεί να διευκολύνει, εκτός των άλλων, την έγκαιρη επισήμανση και κατάσβεση των δασικών πυρκαγιών, αφ' ετέρου όμως η αύξηση του αριθμού των επισκεπτών έχει ως αποτέλεσμα και την αύξηση του αριθμού των πυρκαγιών (Luce and McArthur, 1978, Μαρκάλας, 1989). Έχει διατυπωθεί επίσης η άποψη, ότι η διάνοιξη δρόμων στα δάση, γενικά, δεν αυξάνει τις δασικές πυρκαγιές (Izard, 1973), όμως μετά την κατασκευή ενός δρόμου αυξάνεται η αξία της γης (Ντούρος, 1993) και το κίνητρο της οικοπεδοποίησης της μπορεί να οδηγήσει σε εμπρησμό (Σ. Ταμπάκης, 2015).

Η αύξηση της ζήτησης κατοικίας σε περιοχές κοντά στην ύπαιθρο, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη του οδικού δικτύου που διευκολύνει την πρόσβαση σε αυτές οδηγεί στην αύξηση της αξίας τους. Η αύξηση αυτή αποτελεσε πρόκληση για την ανάπτυξη οικοδομικής δραστηριότητας, ιδιαίτερα σε περιοχές οπου το ιδιοκτησιακό καθεστώς αμφισβητείται και βασικό τεκμήριο της κυριότητας του δημοσίου αποτελεί η δασική βλάστηση. Καθότι η πυρκαγιά είναι ένα μέσο που μπορεί να απομακρύνει τη δασική βλαστηση, άρα και το τεκμήριο κυριότητας του δημοσίου (Δημητρακόπουλος, 1991) πολλές φορές χρησιμοποιείται ως τέτοιο.

Η συνεχώς ανερχόμενη αξία της γης κοντά στις μεγάλες πόλεις, στις παραθαλάσσιες και αστικές περιοχές και στα κέντρα τουριστικής ανάπτυξης αποτέλεσε ανά τα χρόνια αιτία

εμπρησμών (Καϊλίδης, 1993). Οι πυρκαγιές που οφείλονται σε σκόπιμες ενέργειες στοχεύουν: α) στην αλλαγή μορφής της δασικής έκτασης, β) στην εξαφάνιση του βασικού τεκμηρίου ιδιοκτησίας του Δημοσίου, που είναι η κάλυψη της έκτασης με δάσος, γ) στην αλλαγή χρήσης της γης, δ) στην κατάτμηση και οικοπεδοποίηση των εκτάσεων και ε) στην πώληση και παράνομη οικοδόμηση αυτών (Ταμπάκης, 2000).

Η έξαρση των καταπατήσεων, των εκχερσώσεων των δασικών γαιών και των πυρκαγιών οφείλεται στην παντελή έλλειψη χωροταξικού σχεδιασμού των χρήσεων γης (Παπασταύρου, 1990). Η οικοπεδοποίηση αυτή επιτελείται με την ανοχή ή και την επίσημη κάλυψη του κράτους (Παπαναστάσης, 1994). Είναι τόσο υψηλά τα κέρδη από το εμπόριο της δασικής γης που υποστηρίζεται από τεράστια κυκλώματα με προσβάσεις όχι μόνο στη δημόσια διοίκηση, αλλά και σε πολλούς άλλους κοινωνικούς φορείς (Δημητρακόπουλος 1991).

Η Πολιτεία με την ψήφιση τριών νομοθετικών διαταγμάτων (1977, 1983 και 1985) εξαιρεί από την κατεδάφιση όσους δηλώσουν το αυθαίρετο τους και καταβάλλουν στο Δημόσιο ένα χρηματικό ποσό (Καρανικόλα και Ταμπάκης, 2005). Παράλληλα έχουν θεσπιστεί νόμοι όπως ο Ν. 998/1979 ο οποίος εισάγει άρθρα που αφήνουν διέξοδο προς την κατεύθυνση της αλλαγής χρήσης των δασικών εδαφών, μεταφέροντας τις χορτολιβαδικές εκτάσεις από τη σκέπη του Δασικού Κώδικα στον Αγροτικό Κώδικα (Παπασταύρου, 1992). Επίσης, ο Ν. 1734/1987 αφήνει διεξόδους προς την κατεύθυνση της αλλαγής χρήσης των δασικών εκτάσεων. Γι' αυτό και ο υπόψη νόμος ονομάστηκε νόμος- εμπρηστής των δασών (Παπασταύρου 1992). Το 1989 οι επίμαχες διατάξεις του Ν. 1734/1987 επιχείρησαν να εντάξουν τις περιοχές αυτές στο σχέδιο πόλης (Καρανικόλα και Ταμπάκης 2005). Χιλιάδες στρέμματα δασικών περιοχών θεωρήθηκαν ως δήθεν εμπεριεχόμενες σε όρια οικισμών που προϋπήρχαν του ΄23 και πολεοδομήθηκαν ή πολεοδομούνται (Φρακιουδάκης, 1991). Έτσι, αρκετά προάστια της Αθήνας, ενώ φαίνονται ακόμα ως δασικές γενικά εκτάσεις στη Δασική Υπηρεσία, έχουν από χρόνια ενταχθεί στο σχέδιο πόλης της Πολεοδομίας (Στεργιόπουλος, 1985).

Η προστασία των δασών και των δασικών εκτάσεων της χώρας μας είναι πολύ δύσκολη υπόθεση, εξ' αιτίας της έλλειψης Κτηματολογίου και Δασικών Χαρτών. Το Εθνικό Κτηματολόγιο αποτελεί μία δημόσια αποδεικτική μέθοδο προστασίας της δημόσιας γης (Ρόκος, 1985) μέσω της οποίας θα μπορούσε να ρυθμιστεί το ιδιοκτησιακό ζήτημα αυτών των εκτάσεων.

2.3 Τηλεπισκόπηση - Φωτοερμηνεία

Η φωτοερμηνεία και η τηλεπισκόπηση είναι δύο προσεγγίσεις οι οποίες έχουν ως κύριο στόχο την ερμηνεία του φυσικού και τεχνικού περιβάλλοντος μέσω ποιοτικών και ποσοτικών πληροφοριών.

Φωτοερμηνεία:

Η δυνατότητα αναγνώρισης αντικειμένων που υπάρχουν στις φωτογραφίες και αναμετάδοση της πληροφορίας αυτής σε τρίτους, χαρακτηρίζει το πρόσωπο που εκτελεί τη διαδικασία αυτή, ότι εκτελεί Φωτοερμηνεία (Αργιαλάς, 1999).

Είναι φανερό ότι η προσέγγιση αυτή εμπεριέχει μία έντονη υποκειμενικότητα ως προς τα παρατηρούμενα αντικείμενα, γεγονός που σε ορισμένες περιπτώσεις χαρακτηρίζεται ως θετικό και σε άλλες όχι. Θετικό γιατί ο ανθρώπινος νους μπορεί να αποκαλύψει εξαιρετικά σύνθετες σχέσεις αντικειμένων σε μία εικόνα, βάσει της κριτικής του ματιάς, ωστόσο συχνά μπορεί να οδηγηθεί σε παρανοήσεις που οφείλονται στην περιορισμένη πληροφορία που μπορεί να δεχθεί μέσα από τις αισθήσεις του, σε σχέση πάντα με μία σχεδιασμένη μηχανή αυτού του σκοπού, όπως ένας δέκτης (Γραμματικογιάννης, 2008).

Τηλεπισκόπηση:

Παρατίθενται δύο ορισμοί που περιγράφουν την εννοια της τηλεπισκόπησης:

Η Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων, τα οποία έχουν αποκτηθεί από μία συσκευή, η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο (Αργιαλάς, 1999).

Σαν Τηλεπισκοπική Μεθοδολογία θεωρείται η συστηματική και λογική μελέτη των αρχών που διέπουν τη διαδικασία της έρευνας κι απόκτησης ποιοτικών και ποσοτικών πληροφοριών με την κατάλληλη εξέταση κατάλληλων φωτογραφιών ή γενικότερα, απεικονίσεων αντικειμένων ή συμβάντων (Ρόκος, 1979).

Και οι δύο αυτοί ορισμοί συγκλίνουν στο ότι ένα σύνολο πληροφοριών που αφορούν αντικείμενα ή φαινόμενα/συμβάντα συλλέγονται με τρόπο αυτοματοποιημένο, την λήψη δηλαδή, δορυφορικών εικόνων, από ένα πλήθος δορυφόρων διαφόρων τύπων, που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη με διαφορετικό επιστημονικό σκοπό ο καθένας (Γραμματικογιάννης, 2008).

Παραδείγματα παραμέτρων που μπορούν να καταγραφούν άμεσα ή έμμεσα με τηλεπισκοπικές μεθόδους είναι: η χωρική θέση, το υψόμετρο, το χρώμα, η φασματική συμπεριφορά της χλωροφύλλης, η βιομάζα, το ποσοστό υγρασίας της βλάστησης ή του εδάφους, η θερμοκρασία, η υφή και η δομή σιφόρων στοιχείων (Συλλαίος, 2000).

Παραδείγματα επιστημών και εφαρμογών που μπορεί αν συμβάλλει η τηλεπισκόπηση απο-

τελούν τα εξής:

- Περιβαλλοντικές μελέτες
- Μελέτη βλάστησης
- Παρατήρηση ωκεανών
- Γεωλογία
- Τεχνικά έργα

(Ξενούλης, 2011)

Πιο ειδικά σε σχέση με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, 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 (0,45-3μm). Τα φασματικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης αλλάζουν μετά από μία πυρκαγιά με αποτέλεσμα την ισχυρή αντίθεση ανάμεσα στην καμένη έκταση και τη γύρω περιοχή. Η μείωση της φυτοκάλυψης, της χλωροφύλλης και της περιεκτικότητας σε νερό από τη βλάστηση μεταβάλλει ταυτόχρωνα το χρώμα και τη φωτεινότητα του εδάφους. Στις διάφορες μελέτες για την εκτίμηση των καμένων περιοχών εξετάζεται η μεταβολή στις φασματικές ή θερμικές ιδιότητες της επιφάνειας της γης πριν και μετά από μία πυρκαγιά (Petropoulos G. P., 2010).

Οι μεταβολές των φασματικών χαρακτηριστικών της βλάστησης σχετίζονατι με την ύπαρξη ή μη υγιούς βλάστησης. Η βλάστηση εμφανίζει χαμηλές ραδιομετρικές τιμές στην περιοχή του ορατού φάσματος (0,4-0,7μm), λόγω της μεγάλης απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από τη χλωροφύλλη. Στην περιοχή, όμως, του εγγύς υπέρυθρου (0,7-1,3μm) παρουσιάζει έντονη άυξηση λόγω της ανακλαστικότητας της χλωροφύλλης (Ξενούλης, 2011).

2.3.1 Η συμβολή της τηλεπισκόπησης στην διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος

Η παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα τελευταία χρόνια ένα σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, καθώς και την ενίσχυση αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή.

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελεί σημαντικό εργαλείο για περιβαλλοντικές εφαρμογές και για τη διερεύνηση νέων μεθόδων και τεχνικών. Χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία για την χαρτογράφηση και καταγραφή των αλλαγών κάλυψης γης. Μείζονος σημασίας είναι το γεγονός της συλλογής δεδομένων με μεγάλη συχνότητα αλλά και ακρίβεια, παρέχοντας πληροφορίες τόσο για τα φασματικά χαρακτηριστικά των στοιχείων κάλυψης/χρήσης γης, αλλά και για το χώρο, το σχήμα και το μέγεθός τους, με επαναλαμβανόμενες απεικονίσεις,

έτσι ώστε η ανάλυση φαινομένων, όπως οι πυρκαγιές, να είναι εφικτή και για τοποθεσίες που δεν είναι προσβάσιμες με άλλο τρόπο.

Η ραγδαία εξέλιξη τα τελευταία χρόνια στο χώρο της τηλεπισκόπησης, με την εκτόξευση νέων δορυφόρων πολύ υψηλής διακριτικής ανάλυσης, την κατέστησε ως ένα από τα πλέον ουσιαστικά εργαλεία στην λήψη αποφάσεων σε παγκόσμιο επίπεδο, στον τομέα διαχείρησης του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων.

Η δορυφορική τεχνολογία αρχίζει στα μέσα της δεκαετίας του 50, όταν πρώτοι οι Ρώσοι εκτοξεύουν τον Sputnik-1, ενώ αμέσως μετά τους ακολουθούν οι Αμερικάνοι με τον Explore-1. Το 1972 η NASA, σε συνεργασία με το Υπουργείο Εσωτερικών των Η.Π.Α., θέτει σε εφαρμογή ένα πρόγραμμα εκτόξευσης μη επανδρωμένων δορυφόρων με το όνομα ERTS (Earth Resources Technology Satellites = Δορυφόροι για την "καταγραφή" των φυσικών διαθεσίμων της Γης). Σκοπός είναι η, σε πειραματικό στάδιο στην αρχή, καταγραφή των πλουτοπαραγωγικών πηγών της Γης σε τακτά χρονικά διαστήματα με παθητικούς δέκτες που θα λειτουργούσαν σε διακεκριμένα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Meliadis I. & M. Karteris 1992). Μέχρι τα τέλη του 70 άλλοι δύο παρόμοιοι δορυφόροι τέθηκαν σε τροχιά γύρω από την Γη και αποτελούν τους Δορυφόρους της πρώτης γενιάς. Στην δεκαετία του '80 δύο νέοι δορυφόροι, της ίδιας σειράς που μετονομάσθηκαν σε LANDSAT (από το Land Satellite) τίθενται σε λειτουργία. Συγχρόνως και άλλες χώρες, όπως η Γαλλία με τον SPOT (Satellite Probatoire pour l' Observation Terrestre), η Ιαπωνία με τον MOS-1 (Marine Observation Satellite), η Ινδία με τον IRS-1A (Indian Resource Satellite) και η Ρωσία με τον SOJUZKARTA εκτοξεύουν δορυφόρους με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Οι δορυφόροι αυτοί αποτελούν τους δορυφόρους της δεύτερης γενεάς (dasodata.gr).

Η αλλαγή της πολιτικής των Η.Π.Α. που επέτρεψε την εμπορική εκμετάλλευση δορυφορικών εικόνων με χωρική ανάλυση μέχρι και ένα μέτρο (1994) και η αλματώδης εξέλιξη των τεχνολογιών απεικόνισης και επεξεργασίας των εικόνων, έδωσαν μία νέα ώθηση στη χρήση της τηλεπισκόπησης. Το 1999 τέθηκε σε τροχιά 680χλμ. πάνω από τη Γη, ο πρώτος δορυφόρος τηλεπισκόπησης που παρέχει εικόνες της Γης με χωρική ανάλυση ενός μέτρου (Satellite Imaging Corporation 2007). Ο δορυφόρος ονομάζεται IKONOS και κατασκευάστηκε από την Lockheed Martin για λογαριασμό της εταιρείας Space Imaging Inc.

Η Ευρωπαϊκή απάντηση στη δορυφορική τεχνολογία ήρθε με τον ERS 1 της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος. Ο δορυφόρος ERS-1 τέθηκε σε λειτουργία το 1991 ενώ ο ERS-2 το 1995. Λαμβάνουν λήψεις δεδομένων radar σε σταθερή γωνία 23ο, χωρίς να επηρεάζονται από καιρικές συνθήκες ή συνθήκες φωτός. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για εφαρμογές ταξινόμησης, τοπογραφίας, παραμορφώσεων αναγλύφου και μεταλλευτικών ερευνών, γεωργίας, χρήσης γης, υδρολογία και παρακολούθηση μόλυνσης υδάτων.

Σήμερα μεγάλη σημασία για τη δορυφορική τηλεπισκόπηση έχουν οι εμπορικοί δορυφόροι υψηλής διακριτικής ικανότητας που είναι : IKONOS της Space Imaging, EROS1 της ImageSat, SPOT5 της SpotImage, QUICKBIRD της DigitalGlobe, και OVERVIEW της Orbimage (Canada, Center of Remote Sensing, 2006). (dasodata.gr)

Η Τηλεπισκόπηση έχει πολλά πεδία εφαρμογών όπως το Κτηματολόγιο, τη μετεωρολογία,

τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής, τις δασικές φωτιές, το βαρυτικό πεδίο και πολλά άλλα. Πολλοί επιστημονικοί τομείς αξιοποιούν τα δεδομένα αυτά για ειρηνικούς σκοπούς, ο καθένας σύμφωνα με τις ανάγκες του: μετεωρολόγοι για την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας και την πρόβλεψη του καιρού, χωροτάκτες για το σχεδιασμό χρήσεων γης, βιολόγοι για τη μελέτη των οικοσυστημάτων και την εφαρμογή και δοκιμή μοντέλων, γεωπόνοι για την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση γεωργικών εκτάσεων, δασολόγοι για την πρόγνωση και παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών, ωκεανογράφοι για τη χαρτογράφηση των βιοφυσικών παραμέτρων των ωκεανών, γεωλόγοι για τον εντοπισμό κοιτασμάτων, τοπογράφοι για την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους κ.α.. Η παρατήρηση της επιφάνειας της γης είναι δυνατή με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών) που ανιχνεύουν την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Οι σαρωτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι σε τεχνητούς δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη ή να βρίσκονται σε αερομεταφερόμενα μέσα (αεροσκάφη, ελικόπτερα). Ένα διαστημικό όχημα μπορεί να μεταφέρει περισσότερους από ένα ανιχνευτές (dasodata.gr).

Η χρήση δορυφορικών εικόνων έχει σημαντική αξία σε διαφορετικά θέματα και προβλήματα, που αφορούν τη διαχείριση και ανάλυση των πυρκαγιών. Οι κύριοι λόγοι για τη χρήση τεχνολογιών δορυφορικής τηλεανίχνευσης σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μελέτες χαρτογράφησης των καμένων εκτάσεων που είναι βασισμένες στη χρήση επίγειων παρατηρήσεων εδάφους, αφορούν κυρίως τη μείωση του κόστους και του χρόνου, που απαιτούνται για την απόκτηση αυτής της πληροφορίας, θεωρώντας πάντα ότι υπάρχει ανάλογο επίπεδο ακρίβειας μεταξύ των διαφορετικών προσεγγίσεων. Συγκεκριμένα όσον αφορά τον υπολογισμό των καμένων εκτάσεων από δορυφορικά δεδομένα, οι μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα γενικά κατηγοριοποιούνται με βάση είτε το είδος της επεξεργασίας το οποίο εφαρμόζεται στα δορυφορικά δεδομένα, είτε τον αριθμό των δορυφορικών εικόνων οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου να χαρτογραφηθεί η καμένη έκταση. Γενικά, οι μέθοδοι επεξεργασίας που εφαρμόζονται βασίζονται στη διαφοροποίηση των φασματικών χαρακτηριστικών ανάκλασης της βλάστησης και των φασματικών υπογραφών των διαφόρων υλικών εξαιτίας της πυρκαγιάς. Όσον αφορά τον αριθμό των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιούνται, οι αλγόριθμοι εξαγωγής καμένων εκτάσεων διακρίνονται γενικά σε δύο κατηγορίες: σε εκείνους που βασίζονται στην ανάλυση μιας μόνο δορυφορικής εικόνας, η οποία λήφθηκε σε χρονική στιγμή κοντινή με εκείνη της λήξης της πυρκαγιάς και σε εκείνους οι οποίοι βασίζονται στην ανάλυση δύο εικόνων, μια πριν και μία μετά το τέλος της πυρκαγιάς (Γ. Πετρόπουλος, 2011).

2.3.2 Αντικειμενοστρεφής ανάλυση

Μέχρι πρόσφατα οι μέθοδοι ανάλυσης και ταξινόμησης των τηλεπισκοπικών δεδομένων είχαν ως στοιχειώδη μονάδα το εικονοστοιχείο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, οι μελέτες να σχετίζονται μόνο με ένα επίπεδο, αυτό του εικονοστοιχείου, αγνοώντας τις έννοιες της ιεραρχίας, της κλίμακας και της γειτνίασης μεταξύ των διάφορων στοιχείων τα οποία απαρτίζουν μια τηλεπισκοπική απεικόνιση.

Η μέθοδος αυτή είναι πιο κατάλληλη για την μελέτη και την αποτύπωση καλύψεων γης, σε επιφάνειες στις οποίες τα ακραία μεταβαλλόμενα εικονοστοιχεία κάθε κλάσης είναι λίγα, καθώς επίσης και όταν η εικόνα παρουσιάζει ομοιομορφία ως προς της καλύψεις γης (Settle and Drake, 1993). Κατά την περίπτωση όμως, όπου η μελέτη σχετίζεται με κάποιο πιο πολύπλοκο περιβάλλον, όπου οι καλύψεις γης ποικίλουν σημαντικά, όπως τα Μεσογειακά οικοσυστήματα ή σε πιο μικρή κλίμακα μια αστική περιοχή με υψηλής ανάλυσης δορυφορικά δεδομένα, η εφαρμογή μεθόδων οι οποίες ταξινομούν με βάση μόνο την φασματική υπογραφή του κάθε εικονοστοιχείου δεν ενδείκνυται να χρησιμοποιούνται.

Στις μεθόδους αναγνώρισης του πολυφασματικού προτύπου δεν λαμβάνονται υπόψη σημαντικές σχέσεις ιεραρχίας και τοπολογίας μεταξύ των στοιχείων καθώς επίσης και χαρακτηριστικών της εικόνας. Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η γνώση υψηλού επιπέδου που πιθανότατα να διαθέτει ένας φωτοερμηνευτής με χρόνια εμπειρίας. Όλα τα παραπάνω, δημιούργησαν την ανάγκη εύρεσης μιας νέας μεθοδολογίας ταξινόμησης (Κολόπτας, 2013).

- **Αντικειμενοστρεφής ανάλυση δορυφορικών εικόνων**

Η ανάγκη να ξεπεραστούν τα προβλήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, έδωσε κίνητρα για την ανάπτυξη καινούργιων τεχνικών επεξεργασίας και ανάλυσης των δορυφορικών εικόνων. Ένα κυρίαρχο ζήτημα της ψηφιακής τηλεπισκόπησης ήταν για πολλά χρόνια η δημιουργία ενός προγράμματος το οποίο προσφέρει την δυνατότητα «μίμησης» της ανθρώπινης σκέψης. Ο κοντινότερος προς την ανθρώπινη σκέψη τρόπος για να επιτευχθεί η ανάλυση μιας εικόνας και στη συνέχεια η ταξινόμηση της, είναι η μέθοδος της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης (Object oriented image analysis).

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας, αποτελεί μια μεθοδολογία η οποία εισήγαγε την διαδικασία της κατάτμησης της εικόνας σε αντικείμενα (Ketting and Landgrebe, 1976). Ως αντικείμενα θεωρούνται γειτονικά εικονοστοιχεία τα οποία ομαδοποιούνται βάσει κριτηρίων, που ορίζονται από το χρήστη. Κάθε ένα από αυτά τα αντικείμενα, περιλαμβάνει πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με το σχήμα, του «γείτονες» του συγκεκριμένου αντικειμένου, τα φασματικά χαρακτηριστικά και τις σχέσεις με το περιβάλλον (Κολόπτας, 2013).

Μέσα από την δημιουργία των αντικειμένων αυτών, τα οποία προκύπτουν από τη διαδικασία κατάτμησης, γίνεται εμφανής η δυνατότητα που παρέχεται στον χρήστη να αντλήσει πλήθος πληροφοριών από αυτά, σε αντίθεση με τις πληροφορίες τις οποίες λάμβανε από τα μεμονωμένα εικονοστοιχεία. Ένα εικονοστοιχείο προσφέρει την φασματική του πληροφο-

ρία και τη σημειακή του πληροφορία ως διάνυσμα. Τα αντικείμενα της εικόνας, λόγω της ιδιότητας τους να απαρτίζονται από εικονοστοιχεία, παρέχουν την δυνατότητα υπολογισμού χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την γεωμετρία και το περιβάλλον του αντικειμένου. Τα χαρακτηριστικά αυτά σε συνδυασμό με την φασματική πληροφορία την οποία την θεωρούμε δεδομένη, παρέχουν νέες δυνατότητες για την ανάλυση της εικόνας με αποτέλεσμα να βελτιώνονται σε μεγάλο βαθμό τα ποσοστά ακρίβειας στις ταξινομήσεις (Δημητρακόπουλος, 2010).

- **Η ροή των βασικών διαδικασιών στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση εικόνας**

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας απαρτίζεται από λειτουργίες οι οποίες πραγματοποιούνται μέχρι την τελική εξαγωγή της ταξινομημένης εικόνας, από την οποία θα μπορεί ο αναλυτής να αντλήσει πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο καλύπτεται η επιφάνεια της γης ή χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους. Οι δύο πιο καθοριστικές είναι αυτές της κατάτμησης της εικόνας και στη συνέχεια της ταξινόμησης της. Μέτα από την εφαρμογή των δύο αυτών διαδικασιών, οι οποίες μπορεί να απαιτούν μεγάλο πλήθος επαναλήψεων, πραγματοποιείται η διαδικασία της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων μέσω διάφορων αλγορίθμων του ίδιου λογισμικού με το οποίο πραγματοποιήθηκαν και οι προηγούμενες διαδικασίες (Κολόπτας, 2013).

- **Η μεθοδολογία της κατάτμησης της εικόνας**

Αρχικό και καθοριστικό βήμα, της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, είναι η κατάτμηση της απεικόνισης, λειτουργία μέσω της οποίας δημιουργούνται τα λεγόμενα αντικείμενα. Η κατάτμηση της εικόνας μειώνει την πολυπλοκότητα της και επιτρέπει μια καλύτερη μελέτη των λεπτομερειών της, με αποτέλεσμα η διαχείριση των πληροφοριών της να είναι πιο εύκολη και να οδηγεί σε πιο ακριβή αποτελέσματα. Υπάρχουν δύο γενικές αρχές κατάτμησης, οι οποίες υποστηρίζονται από το σύνολο των λογισμικών τα οποία χρησιμοποιούνται κατά την αντικειμενοστρεφή ανάλυση της εικόνας. Οι αρχές αυτές είναι:

- **Η από κάτω προς τα πάνω κατάτμηση** (bottom up strategy), σύμφωνα με την οποία μικρά αντικείμενα ενώνονται με σκοπό την δημιουργία μεγαλύτερων αντικειμένων,

- **Η από πάνω προς τα κάτω κατάτμηση** (top down strategy), σύμφωνα με την οποία κάποιο αντικείμενο υποδιαιρείται σε πολλά μικρότερα (e-Cognition Developer 8.8, User's Guide, 2012).

Σύμφωνα με τους Baatz et al, 2001, στην διαδικασία της κατάτμησης η προσοχή του μελετητή πρέπει να εστιάζεται στα παρακάτω:

- Η διαδικασία της κατάτμησης πρέπει να παράγει υψηλής ομοιογένειας αντικείμενα για τον καλύτερο διαχωρισμό και αναπαράσταση των περιοχών της εικόνας.

- Το μέγεθος των αντικειμένων της εικόνας πρέπει να προσαρμόζεται στη κλίμακα που απαιτείται για κάθε εφαρμογή

- Τα αντικείμενα που προκύπτουν από την κατάτμηση πρέπει να είναι παρόμοιου μεγέ-

θους καθώς σχεδόν όλες οι ιδιότητες των αντικειμένων εξαρτώνται από την κλίμακα και επιπλέον μόνο οι δομές σε παρόμοιες κλίμακες είναι συγκρίσιμες ποιοτικά και ως προς τις ιδιότητες τους.

- Η διαδικασία της κατάτμησης θα πρέπει να είναι καθολική και εφαρμόσιμη σε πλήθος προβλημάτων.

- Το αποτέλεσμα της κατάτμησης θα πρέπει να είναι δυνατόν να αναπαραχθεί αξιόπιστα.

- Η κατάτμηση ακολουθεί μια λογική αναλογία ακρίβειας αποτελέσματος χρόνου επεξεργασίας, ακόμα και σε εικόνες μεγάλου μεγέθους.

Οι **παράμετροι κατάτμησης** βάσει των οποίων πραγματοποιείται η κατάτμηση της εικόνας είναι:

1. Η παράμετρος κλίμακας (scale parameter)

2. Το κριτήριο του χρώματος και το κριτήριο του σχήματος (color and shape)

3. Το κριτήριο του συμπαγούς και το κριτήριο της ομαλότητας

- **Τα αντικείμενα της εικόνας**

Τα αντικείμενα είναι τα βασικά στοιχεία της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας και συνοδεύονται από ένα σύνολο χαρακτηριστικών με βάση τα οποία πραγματοποιείται η διαδικασία της ταξινόμησης. Δεν έχουν κάποια φυσική σημασία στον πραγματικό κόσμο αλλά μόνο στο επίπεδο της εικόνας και εκτός από τα φασματικά τους χαρακτηριστικά συνοδεύονται από πλήθος πληροφοριών οι οποίες τα περιγράφουν, όπως το σχήμα, η υφή, καθώς και οι σχέσεις με τα υπόλοιπα αντικείμενα του κοντινού τους περιβάλλοντος (Κολόπτας, 2013).

Κάθε αντικείμενο εικόνας συνοδεύεται από τα εξής χαρακτηριστικά (Φώτη, 2011):

1. Εσωτερική συνοχή

Κάθε αντικείμενο αποτελείται από ένα σύνολο εικονοστοιχείων τα οποία ομαδοποιήθηκαν με σκοπό την δημιουργία του. Με το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό εξασφαλίζεται ότι τα εικονοστοιχεία τα οποία απαρτίζουν ένα αντικείμενο πρέπει να είναι ενωμένα μεταξύ τους, χωρίς αυτό να σημαίνει απαραίτητα ότι τα εικονοστοιχεία αυτά θα είναι και ομοιογενή. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα το οποίο αποκομίζει ο μελετητής από την χρήση της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης της εικόνας για μια ταξινόμηση είναι η ευκολία μετατροπής της εικόνας από ένα σύνολο εικονοστοιχείων σε διανυσματική μορφή, η οποία αποτελείται από σημεία, γραμμές και πολύγωνα, δηλαδή η μετατροπή της εικόνας από raster σε vector, οδηγεί σε πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα.

2. Αντίθεση από τα αντικείμενα του ευρύτερου περιβάλλοντος

Κάθε αντικείμενο, το οποίο έχει δημιουργηθεί από την ένωση των εικονοστοιχείων, για να

συνιστά μια ξεχωριστή οντότητα θα πρέπει, όχι μόνο να έχει ομοιομορφία στο εσωτερικό της, αλλά και να παρουσιάζει ιδιαίτερα έντονες αντιθέσεις σε σχέση με τα γειτονικά αντικείμενα. Οι αντιθέσεις αυτές σχετίζονται τις περισσότερες φορές είτε με το χρώμα, είτε με τον τόνο και την υφή.

Ο μελετητής είναι αυτός που καθορίζει το πλήθος και το μέγεθος των τελικών αντικειμένων, με τον καθορισμό των αντίστοιχων παραμέτρων. Οι πληροφορίες συνεπώς δεν αντλούνται από τα αρχικά δεδομένα αλλά από τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα αυτά θα επεξεργαστούν και στη συνέχεια θα διαχειριστούν.

- **Σχέσεις ιεραρχίας μεταξύ των αντικειμένων**

Με σκοπό την καλύτερη διαχείριση της πληροφορίας που αντλείται με την βοήθεια των αντικειμένων, εισάγονται έννοιες σχέσεων μεταξύ των διάφορων αντικειμένων της εικόνας με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα δίκτυο με διάφορα επίπεδα ιεραρχίας για το πλήθος των αντικειμένων που έχουν προκύψει από το στάδιο της κατάτμησης.

Το δίκτυο αυτό μπορεί να απαρτίζεται από ένα ή περισσότερα επίπεδα. Κατά την περίπτωση στην οποία ένα ιεραρχικό δίκτυο αποτελείται από πολλά επίπεδα, στις υψηλότερες βαθμίδες τοποθετούνται τα μεγάλα σε μέγεθος αντικείμενα, ενώ στις χαμηλότερες βαθμίδες τοποθετούνται τα αντικείμενα μικρότερου μεγέθους.

Μέσα από την διαδικασία κατασκευής ιεραρχικού δικτύου δημιουργούνται σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων, με το κάθε ένα από αυτά να κατέχει θέση σε υψηλότερο επίπεδο από ότι τα υπό-αντικείμενα του, και αντίθετα να κατέχει θέση σε χαμηλότερο επίπεδο απ ότι τα υπέρ-αντικείμενα που το περικλείουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το εμβαδόν ενός υπέρ-αντικειμένου κάποιου επιπέδου να προκύπτει από το άθροισμα των αντίστοιχων εμβαδών όλων των υπό-αντικειμένων που περιέχει σε χαμηλότερα επίπεδα. Το πιο χαμηλό επίπεδο είναι αυτό το οποίο συνίσταται από εικονοστοιχεία και ακολουθούν άλλα τρία επίπεδα αντικειμένων μέχρι το τελικό υψηλότερο επίπεδο το οποίο συνιστά ολόκληρη την εικόνα (Willhauck, 2000).

Κατά την διαδικασία της ομαδοποίησης αντικειμένων πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι γειτονικά αντικείμενα είναι αδύνατον να ενωθούν όταν τα υπό-αντικείμενα τους ανήκουν σε διαφορετικά υπέρ-αντικείμενα. Με σκοπό την εξασφάλιση αποτελεσματικών σχέσεων ιεραρχίας μεταξύ των διάφορων αντικειμένων, είναι θεμιτό κατά την διάρκεια των διάφορων κατατμήσεων, να ακολουθείται η αρχή ότι τα όρια των αντικειμένων οφείλουν να ακολουθούν τα όρια των αντικειμένων στο αμέσως επόμενο κατώτερο επίπεδο, καθώς και να μην ξεπερνούν τα όρια του αντικειμένου στο αμέσως επόμενο ανώτερο επίπεδο. Ως τελικό συμπέρασμα από τις πληροφορίες οι οποίες παρουσιάστηκαν, είναι ότι κάθε διαφορετική διαδικασία κατάτμησης ενός επιπέδου λαμβάνει χώρα μεταξύ ενός ανώτερου και ενός κατώτερου επιπέδου (Willhauck, 2000).

3. Μεθοδολογία

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το τμήμα του νομού της Περιφέρειας Αττικής το οποίο διαχρονικά έχει υποστεί το μεγαλύτερο πλήγμα από πυρκαγιές τόσο σε επίπεδο έκτασης αλλά και συχνότητας. Είναι η περιοχή που περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους της Πεντέλης και της Πάρνηθας, καθώς και τη δασική έκταση στο δήμου Ωρωπού. Σημαντικό χαρακτηριστικό της περιοχή μελέτης αποτελεί η γειτνίαση της με τον κεντρικό τομέα Αθηνών, γεγονός που καθιστά ιδιαιτέρως έντονο το φαινόμενο μίξης οικισμών-δασών.

Η χρονική περίοδος μελέτης της συγκεκριμένης περιοχής, επιλέχθηκε με βάση την πορεία του φαινομένου των πυρκαγιών στον ελλαδικό χώρο, η οποία παρουσιάζει αυξητική τάση από τη δεκαετία του 1980. Η διαθεσιμότητα των δεδομένων αποτέλεσε επίσης καθοριστικό παράγοντα στην επιλογή της χρονικής περιόδου, αλλά και των επιμέρους χρονολογιών προς μελέτη, καθώς στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έγινε χρήση αποκλειστικά ανοιχτών δεδομένων ελεύθερων προς χρήση χωρίς αντίτιμο.

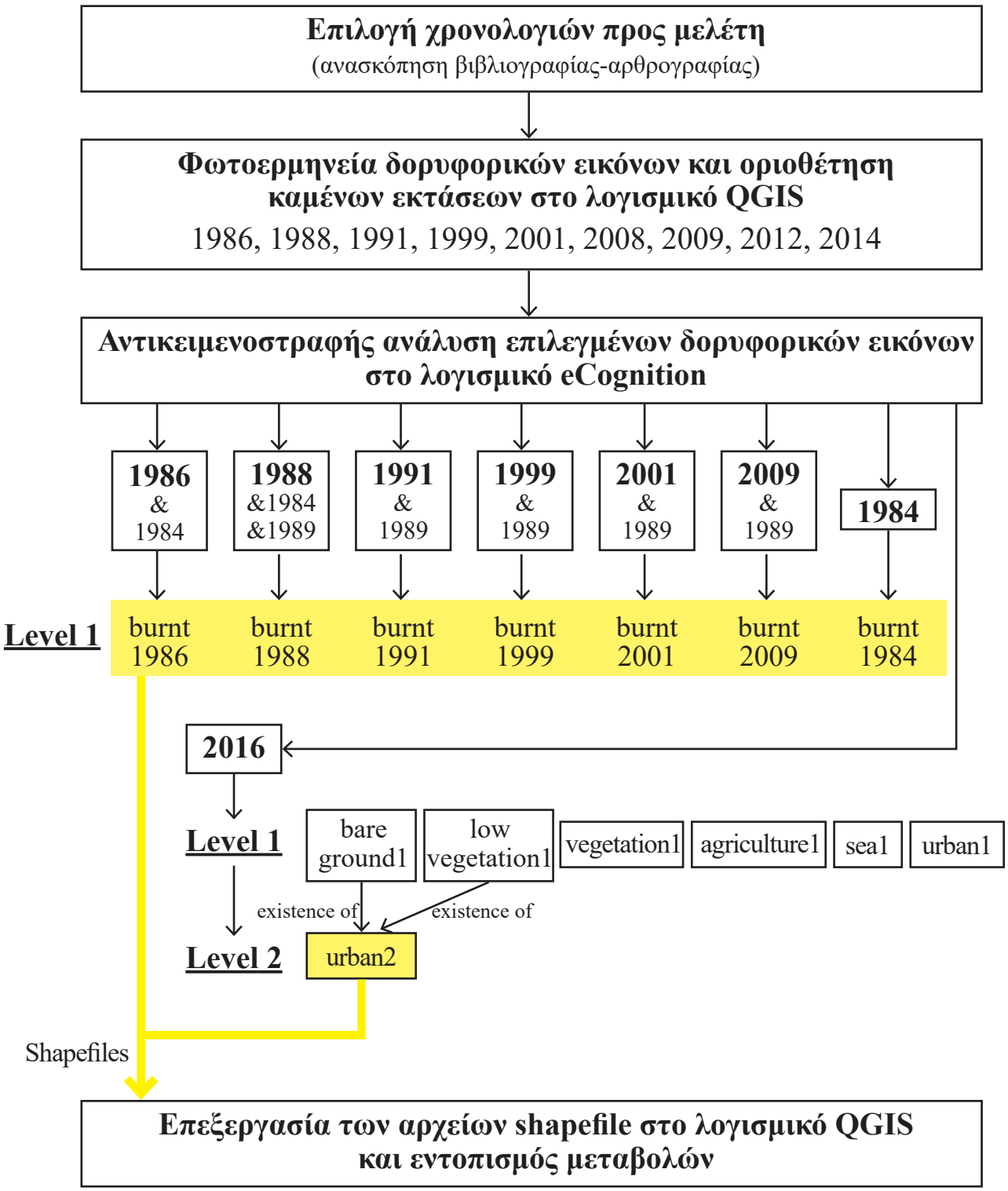
Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση για τις επιμέρους χρονολογίες προς μελέτη, διαδικασία που περιέλαβε δύο σκέλη. Το πρώτο σκέλος αφορά στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και της αρθρογραφίας και το δεύτερο στην φωτοερμηνεία των διαθέσιμων δορυφορικών εικόνων στο λογισμικό QGIS, για μια πρώτη χειροκίνητη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων στην περιοχή μελέτης.

Ύστερα από την τελική επιλογή των χρονολογιών ακολούθησε το στάδιο της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης των δορυφορικών εικόνων με τη χρήση του λογισμικού eCognition για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων στην καθεμία. Οι επεξεργασίες έγιναν σε δορυφορικές εικόνες για τις χρονολογίες 1984, 1986, 1988, 1991, 1999, 2001, 2009. Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια ανίχνευσης του δομημένου περιβάλλοντος σε πρόσφατη δορυφορική εικόνα του 2016, πάλι με τη διαδικασία της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης στο λογισμικό eCognition, ώστε στο επόμενο στάδιο να εντοπιστούν οι περιοχές τομής με τις καμένες εκτάσεις.

Το τελικό στάδιο αφορά στην διεξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με τη μεταβολή καμένων δασικών εκτάσεων σε δομημένο περιβάλλον μέχρι το έτος 2016, μέσα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραπάνω διαδικασιών. Για το σκοπό αυτό, εξάχθηκαν τα αποτελέσματα των διαδικασιών αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης σε raster αρχεία shapefile και επεξεργάστηκαν στο λογισμικό QGIS.

3.1 Διάγραμμα Ροής

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται σχηματικά στο διάγραμμα 3.1.1



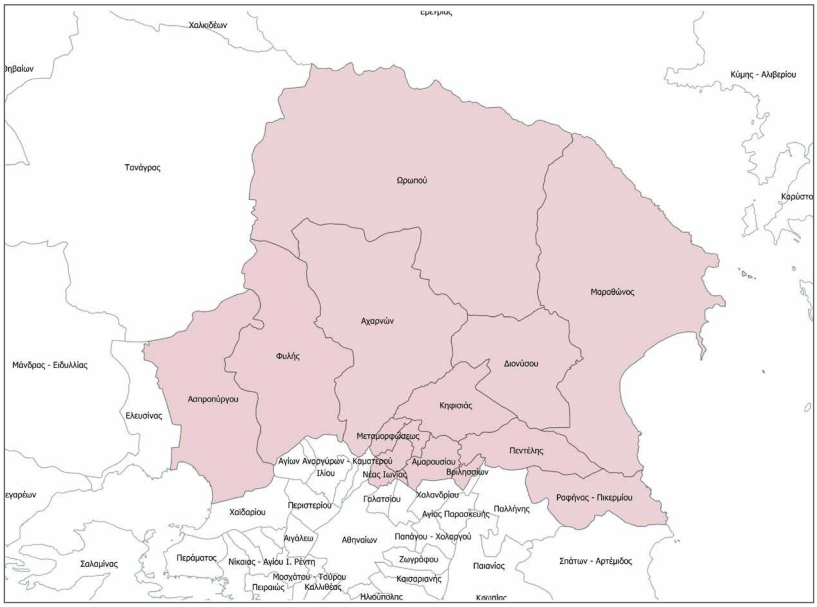
Διάγραμμα 3.3.1: Διάγραμμα ροής της παρούσας μελέτης

3.2 Περιοχή μελέτης

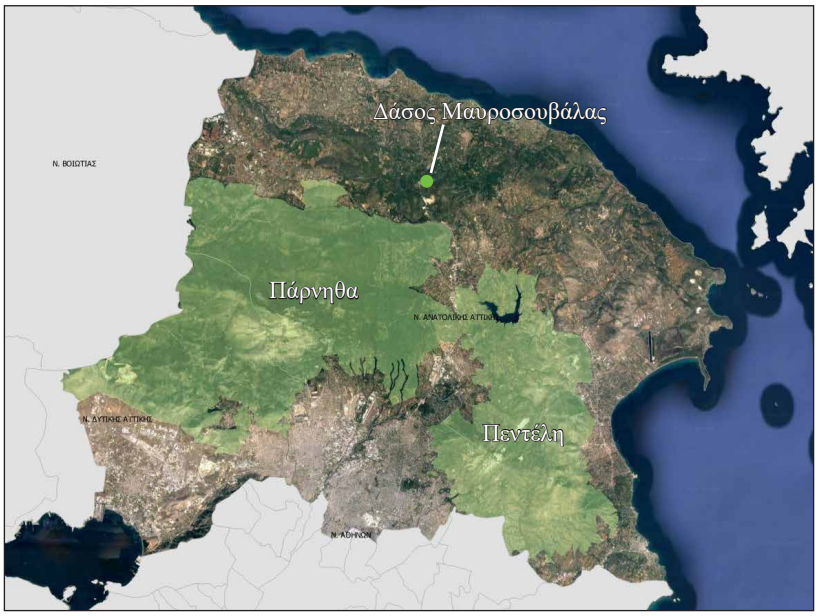
Η περιοχή η οποία μελετάται στην παρούσα εργασία περιλαμβάνει τους παρακάτω δήμους του νομού Αττικής:

Η συγκεκριμένη περιοχή περιλαμβάνει δύο σημαντικούς ορεινούς όγκους του νομού Αττικής, της Πεντέλης και της Πάρνηθας, καθώς και τη δασική έκταση στο δήμο Μαρκόπουλου - Ωρωπού, με το Δάσος Μαυροσουβάλας, περιοχές οι οποίες έχουν πληγεί από πυρκαγιές σε μεγάλο βαθμό τις τελευταίες δεκαετίες.

- Μαρούσι - Βριλήσσια - Ηράκλειο - Κηφισιά - Λυκόβρυση-Πεύκη - Μεταμόρφωση - Νέα Ιωνία - Πεντέλη	Βόρειος Τομέας Αθηνών Νομού Αττικής	- Ωρωπός - Αχαρνές - Μαραθώνας - Διόνυσος - Ραφήνα-Πικέρμι	Ανατολική Αττική
		- Ασπρόπυργος - Φυλή	Δυτική Αττική



Εικόνα 3.2.1α: Περιοχή μελέτης, δήμοι.



Εικόνα 3.2.1β: Περιοχή μελέτης, ορεινοί όγκοι.

3.3 Δεδομένα

- **Δορυφορικές εικόνες:**
  Για τη μελέτη της περιοχής έγινε χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat. Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν συλλέχθηκαν από την ιστοσελίδα της υπηρεσίας USGS (United States Geological Survey) *https://earthexplorer.usgs.gov* και δίνονται στον πίνακα 3.3.1.

Landsat 4 TM	28/1/1988 9/7/1989 29/6/1991
Landsat 5 TM	4/8/1984 23/10/1984 25/7/1986 29/11/2009
Landsat 7 ETM	23/9/1999 26/7/2001 14/8/2008 26/9/2012
Landsat 8 LDCM OLI/TIRS	22/8/2014 23/4/2016

Πίνακας 3.3.1: Ληφθείσες δορυφορικές εικόνες Landsat

- **Shapefiles**
  Έγινε επίσης λήψη των παρακάτω vector αρχείων, shapefiles, από την υπηρεσία *geodata.gov,* όπου διατίθενται ανοικτά γεωχωρικά δεδομένα και υπηρεσίες για την Ελλάδα *(http://geodata.gov.gr).*[1]
  - όρια των ζωνών προστασίας του ορεινού όγκου της Πεντέλης
  - όρια των ζωνών προστασίας του ορεινού όγκου της Πάρνηθας
  - Δίκτυο Natura 2000
  - όρια δήμων Καλλικράτης
  - όρια νομών Ο.Κ.Χ.Ε.

- **Λογισμικά:**
  Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία και ανάλυση των δορυφορικών εικόνων και των αρχείων shapefile είναι το QGIS και το eCognition.

---

1 *Οι ζώνες προστασίας του ορεινού όγκου της Πεντέλης καθορίζονται από το Π.Δ. ΦΕΚ 775Δ/1988. Οι ζώνες προστασίας του ορεινού όγκου της Πάρνηθας καθορίζονται από το Π.Δ. ΦΕΚ 619Δ/2008. Το Δίκτυο Natura 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η Ελλάδα έχει χαρακτηρίσει σήμερα 202 Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) και 241 Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ), εκ των οποίων οι δύο είναι ακόμη προτεινόμενοι. Τα διατιθέμενα δεδομένα αποτελούν την έκδοση 29 (v.29) η οποία προέκυψε μετά από την επικαιροποίηση της βάσης δεδομένων Natura 2000 τον Μάιο του 2011.]*
Τα όρια των Δήμων της χώρας δίνονται σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης.

3.4 Επιλογή χρονολογιών προς μελέτη

Η χρονική περίοδος μελέτης της συγκεκριμένης περιοχής, επιλέχθηκε με βάση την πορεία του φαινομένου των πυρκαγιών στον ελλαδικό χώρο, αλλά και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Όπως προκύπτει από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και της αρθρογραφίας, από τη δεκαετία του 1980 και μετά το φαινόμενο των πυρκαγιών στον ελλαδικό χώρο παρουσίασε όξυνση, και πιο συγκεκριμένα στο νομό Αττικής, η περίοδος μετά το 1980 χαρακτηρίζεται από πληθώρα μεγάλων πυρκαγιών (βλ. Χρονικό μεγάλων πυρκαγιών στην Αττική, κεφ. 2.1.3).

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έγινε χρήση αποκλειστικά ανοιχτών δεδομένων ελεύθερων προς χρήση χωρίς αντίτιμο, και συγκεκριμένα δορυφορικών εικόνων Landsat. Οι παλαιότερες διαθέσιμες εικόνες Landsat 4,5 ήταν του 1984, ενώ από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι η πρώτη μεγάλη πυρκαγιά από το 1984 ήταν αυτή του 1986 στην Πεντέλη, συνεπώς αυτό ήταν το πρώτο έτος της περιόδου που μελετήθηκε.

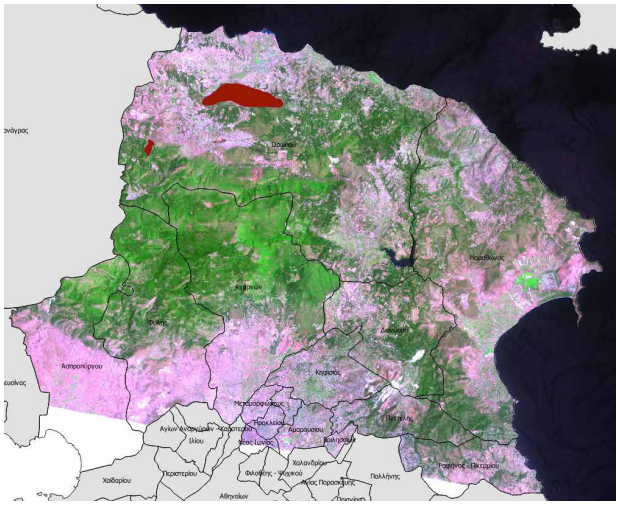
Μια σωστή προσέγγιση θεωρήθηκε η λήψη εικόνων ανά δύο με τρία χρόνια για το χρονικό διάστημα 1986-2014, στις οποίες θα γινόταν μια πρώτη αξιολόγηση και οριοθέτηση των καμένων εκτάσεων μέσω της μεθόδου της φωτοερμηνείας, ώστε να επιλεχθούν οι τελικές χρονολογίες προς μελέτη.

Κατά την προσπάθεια λήψης των δορυφορικών εικόνων προέκυψαν ορισμένα ζητήματα που περιόρισαν τις διαθέσιμες εικόνες σε αυτές που αναγράφονται στον πίνακα 3.3.1 (βλ. κεφ. 3.3). Κατά το χρονικό διάστημα 1988 έως 1991 δεν υπάρχουν καθόλου διαθέσιμες εικόνες, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις είτε δεν υπήρχαν διαθέσιμες εικόνες για τις επιθυμητές εποχές, είτε η παρουσία νεφών τις καθιστούσε ακατάλληλες. Έπειτα, λόγω ενός προβλήματος που προέκυψε στον δορυφόρο Landsat 7 τον Μάιο του 2003, οι εικόνες του μετά από αυτή την ημερομηνία παρουσιάζουν κενές λωρίδες που δεν επιτρέπουν την επεξεργασία τους. (εικ. 3.5.6, 8, βλ. κεφ. 3.5). Για τα έτη 2008 και 2012 υπήρχαν διαθέσιμες εικόνες μόνο από το Landsat 7 κι έτσι πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων μόνο με τη μέθοδο της φωτοερμηνείας στο βαθμό που ήταν εφικτό.

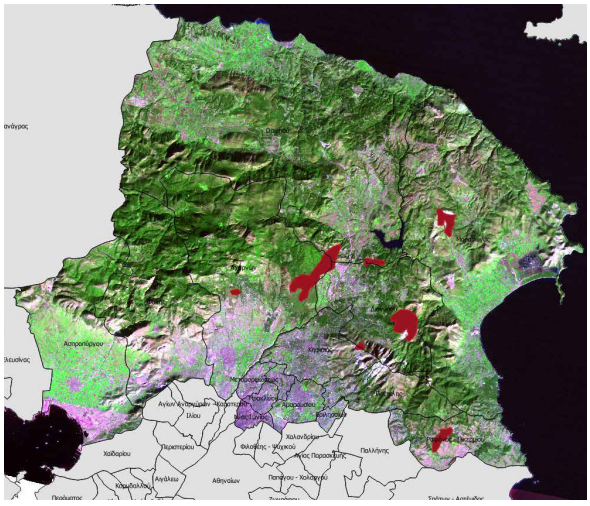
Οι δορυφορικές εικόνες ιδανικά πρέπει να είναι της ίδιας περίπου περιόδου, διότι η βλάστηση και συνεπώς η ανακλαστικότητά της στις περιοχές των διαφόρων καναλιών μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή. Επιπλέον, είναι προτιμότερο να έχουν ημερομηνία λήψης όσο πιο κοντά γίνεται στους θερινούς μήνες, αφενός για να μην απέχουν πολύ από το συμβάν της πυρκαγιάς και αφετέρου διότι έχει παρατηρηθεί ότι οι καιρικές συνθήκες και οι συνθήκες φωτισμού κατά τους χειμερινούς και φθινοπωρινούς μήνες είναι χειρότερες, πράγμα το οποίο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα. Αυτό, βέβαια, δεν ήταν εφικτό σε όλες τις περιπτώσεις λόγω της μη διαθεσιμότητας εικόνων ελεύθερων προς χρήση.

3.5 Φωτοερμηνεία δορυφορικών εικόνων

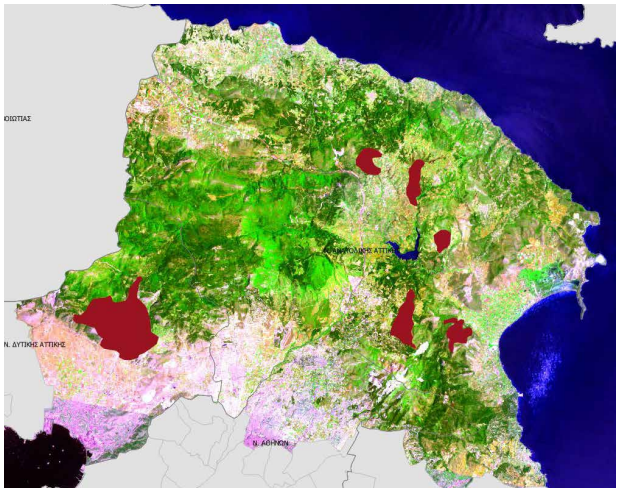
Οι δορυφορικές εικόνες εισήχθηκαν στο λογισμικό QGIS με όλα τα κανάλια. Δημιουργήθηκαν τα έγχρωμα - σύνθετα 7-4-1 ή 7-4-3 στο R-G-B αντίστοιχα, και εφαρμόστηκε βελτίωση της αντίθεσης των εικόνων (Contrast Enhancement) μέσω της διάτασης του ιστογράμματος ούτως ώστε να γίνουν πιο ευδιάκριτες οι καμένες εκτάσεις. Κατ' αυτό τον τρόπο οι καμένες εκτάσεις διακρίνονται λόγω της κόκκινης απόχρωσης. Όσο πιο κοντά χρονικά είναι η ημερομηνία λήψης της εικόνας με την πυρκαγιά τόσο πιο εύκολα διακρίνεται και μπορεί να οριοθετηθεί με ακρίβεια η καμένη έκταση. Το επόμενο βήμα ήταν η χειροκίνητη οριοθέτηση των καμένων εκτάσεων με τη δημιουργία πολυγώνων. Τα αποτελέσματα φαίνονται στις εικόνες 3.5.1-3.5.9. Τα πολύγωνα των καμένων εκτάσεων φαίνονται με κόκκινο χρώμα. Στην εικόνα 3.5.10 φαίνεται το σύνολο των καμένων εκτάσεων, όπως αυτές οριοθετήθηκαν, για το χρονικό διάστημα 1986-2014.



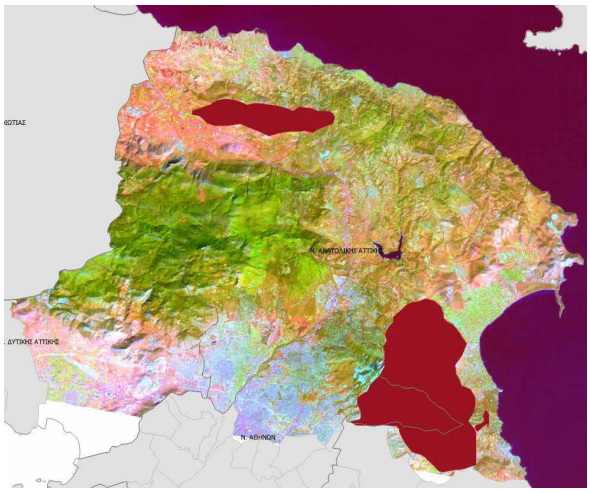
Εικόνα 3.5.1: Ημ. λήψης: 25 Ιουλίου 1986, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3



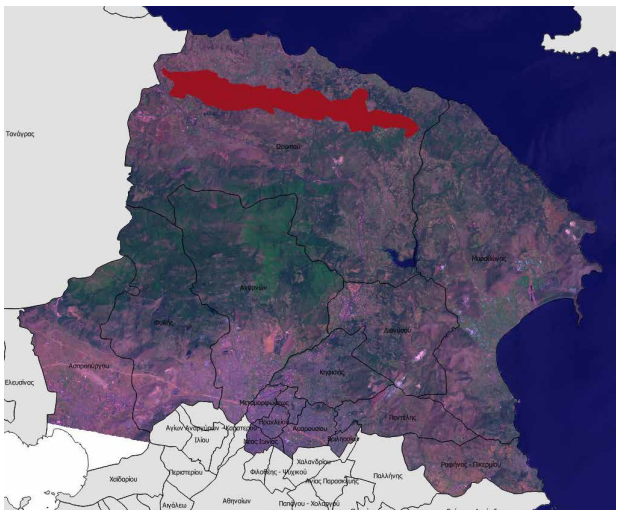
Εικόνα 3.5.2: Ημ. λήψης: 28 Ιανουαρίου 1988, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3



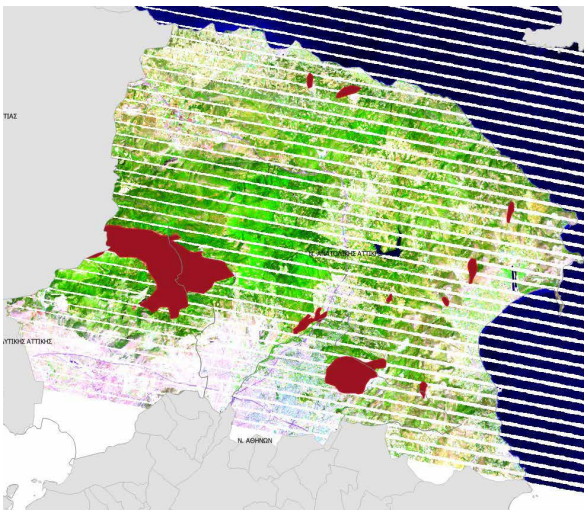
Εικόνα 3.5.3: Ημ. λήψης: 29 Ιουνίου 1991, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1



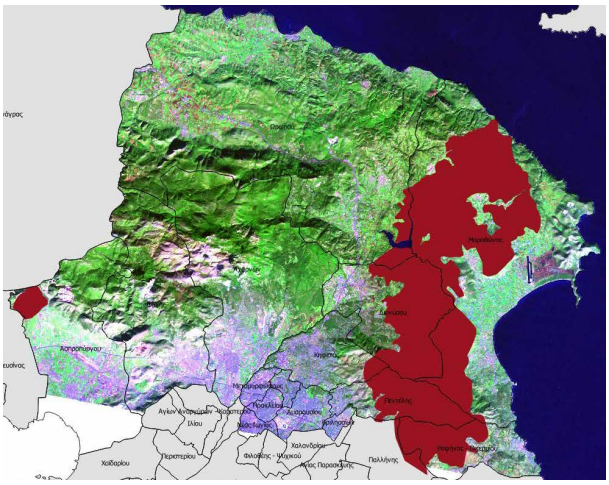
Εικόνα 3.5.4: Ημ. λήψης: 23 Σεπτεμβρίου 1999, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1



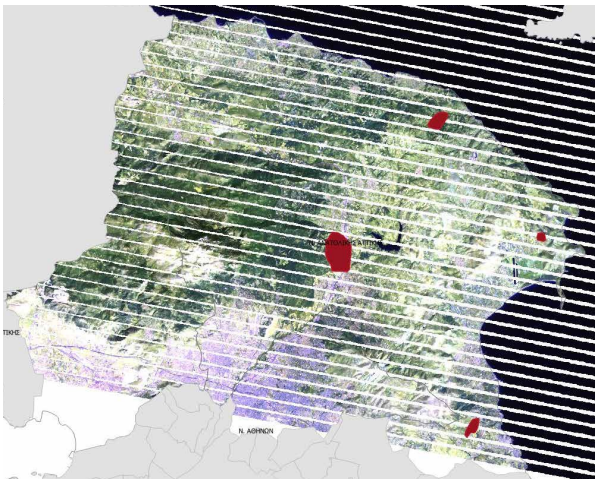
Εικόνα 3.5.5: Ημ. λήψης: 26 Ιουλίου 2001, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1



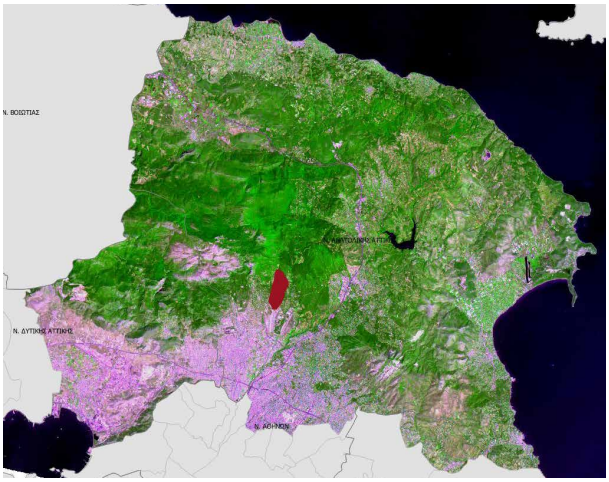
Εικόνα 3.5.6: Ημ. λήψης: 14 Αυγούστου 2008, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1



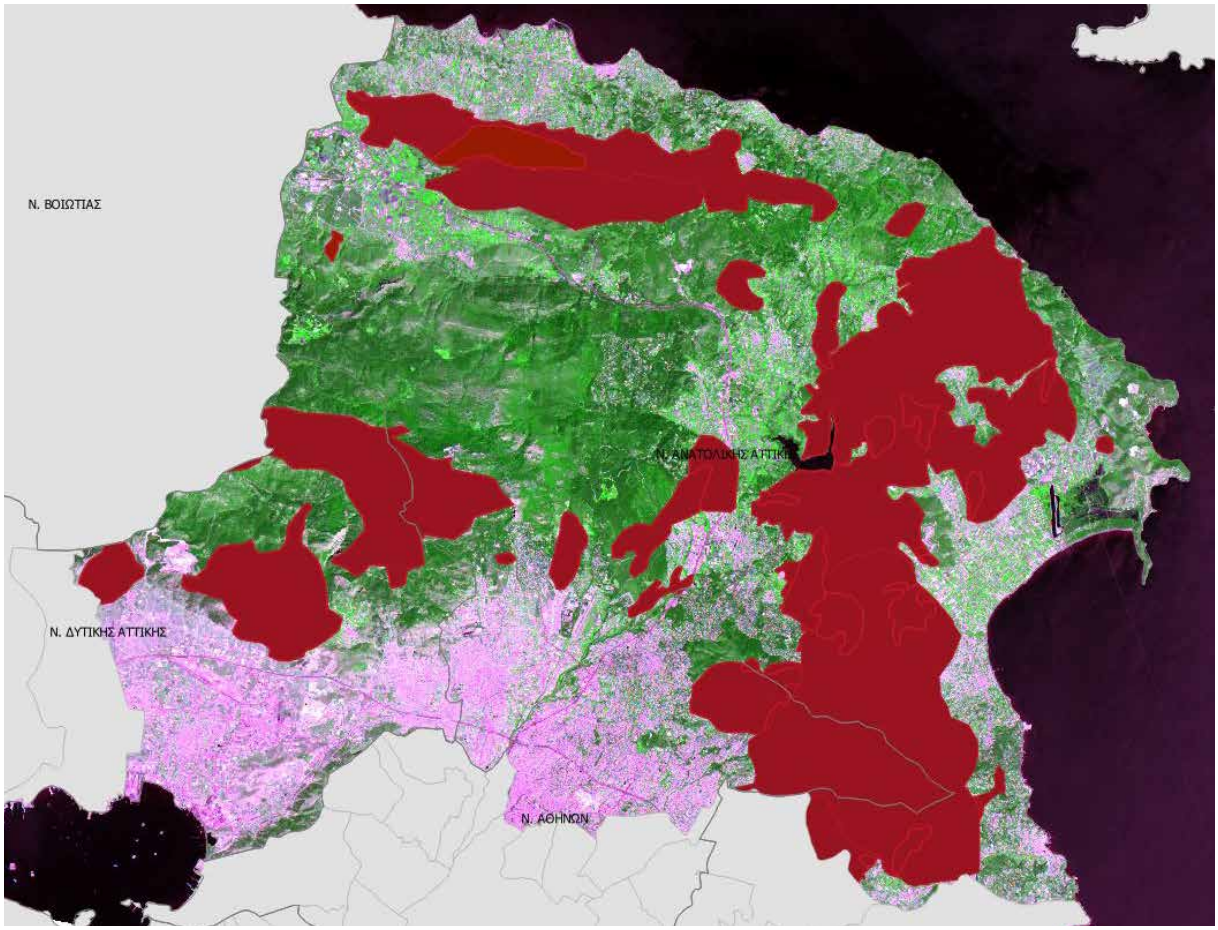
Εικόνα 3.5.7: Ημ. λήψης: 29 Νοεμβρίου 2009, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1



Εικόνα 3.5.8: Ημ. λήψης: 26 Σεπτεμβρίου 2012, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1



Εικόνα 3.5.9: Ημ. λήψης: 22 Αυγούστου 2014, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1



Εικόνα 3.5.10: Συνολική έκταση που έχει καεί από το 1986 εως το 2014 στην περιοχή μελέτης

3.6 Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων με αντικειμενοστρεφή ανάλυση δορυφορικών εικόνων Landsat στο eCognition

3.6.1 Περιγραφή επεξεργασιών

Οι τελικές εικόνες στις οποίες εφαρμόστηκε η μέθοδος της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων επιλέχθηκαν με βάση την έκταση και τον αριθμό των πυρκαγιών της εκάστοτε χρονολογίας, προκειμένου να περιοριστεί ο αριθμός των εικόνων προς επεξεργασία στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Συγκεκριμένα οι επεξεργασίες έγιναν σε δορυφορικές εικόνες για τις χρονολογίες 1984, 1986, 1988, 1991, 1999, 2001, 2009.

Η χαρτογράφηση των καμένων περιοχών μέσω της διαδικασίας της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης των δορυφορικών εικόνων Landsat έγινε όσο το δυνατόν με τη συνδυαστική χρήση κανόνων. Ύστερα από δοκιμές, η μέθοδος που αποδείχτηκε ως η πιο αποτελεσματική ήταν η χρήση δεικτών και χαρακτηριστικών που αναδεικνύουν τις καμένες εκτάσεις, σε συνδυασμό με το δείκτη της διαφοράς των τιμών του *NDVI* μεταξύ εικόνων πριν και μετά την πυρκαγιά, ο οποίος αναδεικνύει τη μεταβολή της βλάστησης. Οι περιοχές που έχουν καεί σε μία εικόνα μετά την πυρκαγιά έχουν εμφανώς χαμηλότερες τιμές στο δείκτη *NDVI* σε σχέση με μια παλαιότερη χρονιά όπου οι περιοχές αυτές καλύπτονταν με βλάστηση.

Για το λόγο αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις εισάγονται δύο εικόνες συγχρόνως, μία πριν το συμβάν της πυρκαγιάς και μία μετά απ' αυτό. Στην περίπτωση της χαρτογράφησης των καμένων εκτάσεων του 1988, εισήχθησαν τρεις δορυφορικές εικόνες, διότι λόγω μεγάλης απόκλισης των εποχών λήψης των εικόνων πριν και μετά την πυρκαγιά, χρειάστηκε να εισαχθεί και μία εικόνα της επόμενης χρονιάς, προκειμένου να εφαρμοστεί ο δείκτης της διαφοράς των τιμών του *NDVI*. Ενώ στην περίπτωση του 1984 εισήχθηκε μόνο μία εικόνα, λόγω μη διαθεσιμότητας εικόνων πριν από αυτή τη χρονολογία.

Οι διαδικασίες αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης που ακολουθήθηκαν στις εικόνες των διαφορετικών χρονολογιών είναι σχετικά παρόμοιες. Η ανάλυση των εικόνων περιέλαβε ένα επίπεδο κατάτμησης και ταξινόμησης. Στην κάθε περίπτωση ορίστηκαν τα κατάλληλα κριτήρια κατάτμησης και ανάλογα με την περίπτωση εφαρμόστηκε ένας συνδυασμός κανόνων ώστε να προκύψει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Για όλες τις επεξεργασίες που περιγράφονται παρακάτω έχουν εισαχθεί στο λογισμικό eConition τα κανάλια των εικόνων:
Blue, **Green**, **Red**, **Near Infrared** *(NIR)*, **Short-Wave Infrared-1** *(SWIR-1)*, **Thermal**, **Short-Wave Infrared-2** *(SWIR-2)*, **Panchromatic** *(PAN)*. Το πανχρωματικό κανάλι *(PAN)* ισχύει για τις εικόνες από Landsat 7 και Landsat 8.

Οι δείκτες και τα χαρακτηριστικά στο σύνολό τους που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των εικόνων είναι τα εξής:

- **Δείκτης βλάστησης NDVI** (Normalised Difference Vegetation Index) (Rouse et al, 1973)

$$NDVI = \frac{\text{Band NIR - Band Red}}{\text{Band NIR + Band Red}}$$

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης δημιουργήθηκε για το διαχωρισμό της βλάστησης και βρίσκει ευρεία χρήση. Το εύρος των τιμών, ορίζεται από -1 έως το +1. Ο NDVI έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές περιπτώσεις σε εφαρμογές σχετικές με τις δασικές πυρκαγιές.

- **Δείκτης: Band SWIR 2/NIR**

Στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι, η καμένη γη απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας. Η απορρόφηση αυτή είναι πολύ ισχυρή, όπως και στη περίπτωση έντονων σκιών (από νέφη ή έντονες εξάρσεις του αναγλύφου), όπου και δημιουργείται μία σύγχυση μεταξύ τους. Αυτή η απότομη μείωση της ανακλώμενης ακτινοβολίας στις καμένες εκτάσεις, δικαιολογείται από την πλήρη αφαίρεση της χλωροφύλλης που υπήρχε στα φύλλα της βλάστησης (πριν τη φωτιά) και την ταυτόχρονη εναπόθεση μεγάλων ποσοτήτων άνθρακα (τέφρα) στην επιφάνεια του εδάφους.

Στο μέσο υπέρυθρο η συμπεριφορά των καμένων εκτάσεων είναι εντελώς αντίθετη. Το μεγαλύτερο τμήμα της ακτινοβολίας ανακλάται. Ο λόγος είναι πιθανώς η απομάκρυνση της υγρασίας η οποία υπήρχε στο φύλλωμα της βλάστησης (Koutsias and Karteris 2000). Στο κανάλι αυτό, οι καμένες εκτάσεις συγχέονται με τις εκτάσεις οι οποίες καλύπτονται από αραιή βλάστηση.

- **Δείκτης NBR** (Normalised Burnt Ratio) (Key and Benson 2000)

$$NBR = \frac{\text{Band NIR - SWIR 2}}{\text{Band NIR + SWIR 2}}$$

Πρόκειται ουσιαστικά για τον κανονικοποιημένο δείκτη που χρησιμοποιεί τα ίδια κανάλια με τον προηγούμενο. Παρουσιάστηκε αρχικά σε μία έρευνα η οποία είχε ως αντικείμενο την εκτίμηση των καταστροφών από τις δασικές πυρκαγιές. Ο δείκτης αυτός, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε μελέτες σχετικές με τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση των πυρκαγιών.

- **Band Blue/Band NIR** και **Band SWIR2/Band Blue**

Σύμφωνα με τους Κούτσια και Καρτέρη (2000), τα κανάλια NIR και SWIR2 μαζί με το κανάλι Blue αποτελούν έναν από τους καταλληλότερους συνδυασμούς για την ανάδειξη των καμένων εκτάσεων.

- **Δείκτης υδάτινων επιφανειών NDWI** (Normalised Difference Water Index)

$$NDWI = \frac{\text{Band Green - SWIR 2}}{\text{Band Green + SWIR 2}}$$

Πρόκειται για ένα δείκτη που έχει αναπτυχθεί για την ανάδειξη των υδάτινων επιφανειών,

Με τη χρήση των συγκεκριμένων καναλιών εξαλείφει την παρουσία του εδάφους και της βλαστησης.

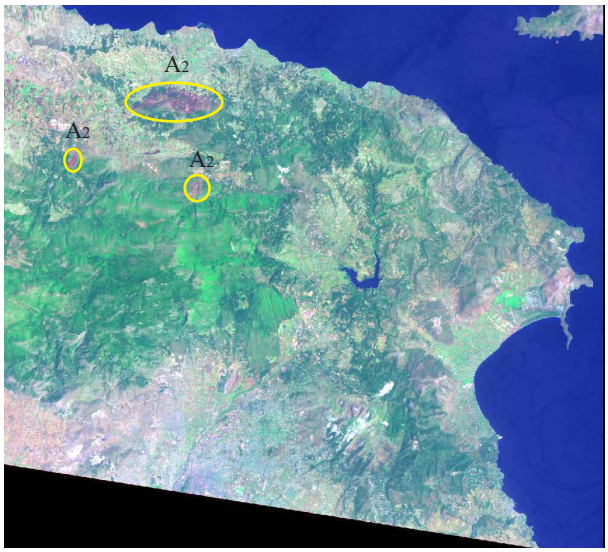
- **Mean Layer Value Band 1**, για την ανάδειξη του κτισμένου περιβάλλοντος.
- **Mean Layer Value Band 5**, για την ανάδειξη της χέρσας γης.
- **Hue** (απόχρωση): Χαρακτηρίζει το χρώμα ή το κυρίαρχο μήκος κύματος του εικονοστοιχείου. Ορίζεται από 0 (στο μέσο του ερυθρού) έως 360 (κάνοντας τον κύκλο και περνώντας από το πράσινο και το μπλε, πίσω στο μέσο του ερυθρού).
- **Saturation** (κορεσμός): αντιπροσωπεύει τη καθαρότητα των χρωμάτων. Ορίζεται από (μαύρο) σε 1 (λευκό).

3.6.2 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα του 1986

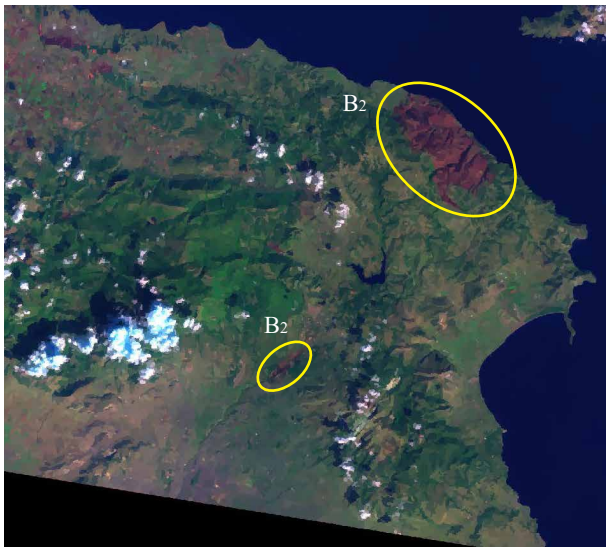
Εισήχθηκαν στο λογισμικό eCognition δύο δορυφορικές εικόνες **Landsat 5**, μία πριν την πυρκαγιά του 1986 και μία μετά, προκειμένου να αξιοποιηθεί το χαρακτηριστικό της διαφοράς των δεικτών του NDVI ανάμεσα στις δύο χρονολογίες. Οι εικόνες έχουν ημερομηνία λήψης **23 Οκτωβρίου 1984** και **25 Ιουλίου 1986**. Επιλέχθηκε το μέρος της εικόνας που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης, μέσω της επιλογής *subject selection*.

Δημιουργήθηκαν τα έγχρωμα σύνθετα **RGB: 7-4-1** *(SWIR2-NIR-Blue)* για τις δύο εικόνες του 1984 και του 1986, ώστε να αναδειχθούν οι καμένες περιοχές. Οι καμένες περιοχές του έτους 1986 σε αυτό το έγχρωμο σύνθετο εμφανίζονται με σκούρο κόκκινο χρώμα, η βλάστηση με πράσινο, οι πυκνοκατοικημένες περιοχές με ανοιχτό μοβ και οι αραιοκατοικημένες όπως και το γυμνό έδαφος με ανοιχτό καφέ και άσπρο (εικ. 3.6.1)

Παρατηρείται στην εικόνα του 1984 (εικ. 3.6.2) ότι υπάρχουν σύννεφα, ωστόσο δεν επικαλύπτουν τις καμένες περιοχές που θέλουμε να ανιχνευτούν στην εικόνα του 1986 (εικ. 3.6.2 - κύκλοι A2), οπότε δεν θα δημιουργηθεί πρόβλημα. Επίσης, παρατηρείται ότι υπάρχει κι εδώ μία μεγάλη καμένη έκταση (εικ. 3.6.2 - κύκλοι B2), πιθανώς της ίδιας χρονιάς αν κρίνουμε από την έντονη κόκκινη απόχρωση στο συγκεκριμένο έγχρωμο σύνθετο. Η ύπαρξη της περιοχής αυτής δεν θα δημιουργήσει πρόβλημα στην ανάδειξη της καμένης έκτασης του 1986 γιατί δεν αλληλοεπικαλύπτεται με καμία του 1986.



Εικόνα 3.6.1: Ημερομηνία λήψης: 25 Ιουλίου 1986, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κόκκινο χρώμα)



Εικόνα 3.6.2: Ημερομηνία λήψης: 23 Οκτωβρίου 1984, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η κατάτμηση της εικόνας περιέλαβε ένα επίπεδο κατάτμησης, **Level 1**. Οι παράμετροι που καθορίζονται για την κατάτμηση των εικόνων είναι το βάρος με το οποίο συμμετέχει κάθε κανάλι, η κλίμακα και τα βάρη που θα δοθούν στα κριτήρια κατάτμησης, δηλαδή στο σχήμα και στη συμπαγότητα. Σε όλα τα κανάλια της εικόνας του 1986 δόθηκε βάρος 1, ενώ σε αυτά της εικόνας του 1984 δόθηκε βάρος 0, ώστε να μην επηρεάσουν τη δημιουργία των αντικειμένων που θα ορίσουν την καμένη έκταση του 1986. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: **Κλίμακα** (scale parameter): 10 και βάρη κριτηρίων κατάτμησης: **Σχήμα** (shape): 0,1 / **Συμπαγότητα** (compactness): 0,5 (εικ. 3.6.3α,β).

Η κλίμακα ορίστηκε σχετικά μικρή καθώς υπάρχουν μικρά τμήματα καμένων εκτάσεων, τα οποία παρατηρήθηκε ότι με τη χρήση μεγαλύτερης κλίμακας κατάτμησης συγχέονταν με τις γύρω περιοχές. Στο σχήμα δόθηκε μικρή τιμή ώστε να δοθεί μεγαλύτερο βάρος στην ομοιογένεια του χρώματος (το σχήμα και το χρώμα έχουν συμπληρωματικές τιμές με άθροισμα τη μονάδα), ενώ στη συμπαγότητα δόθηκε τιμή 0,5, ώστε να είναι ισοβαρής με την ομαλότητα με την οποία είναι συμπληρωματική. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 3.6.4α,β.

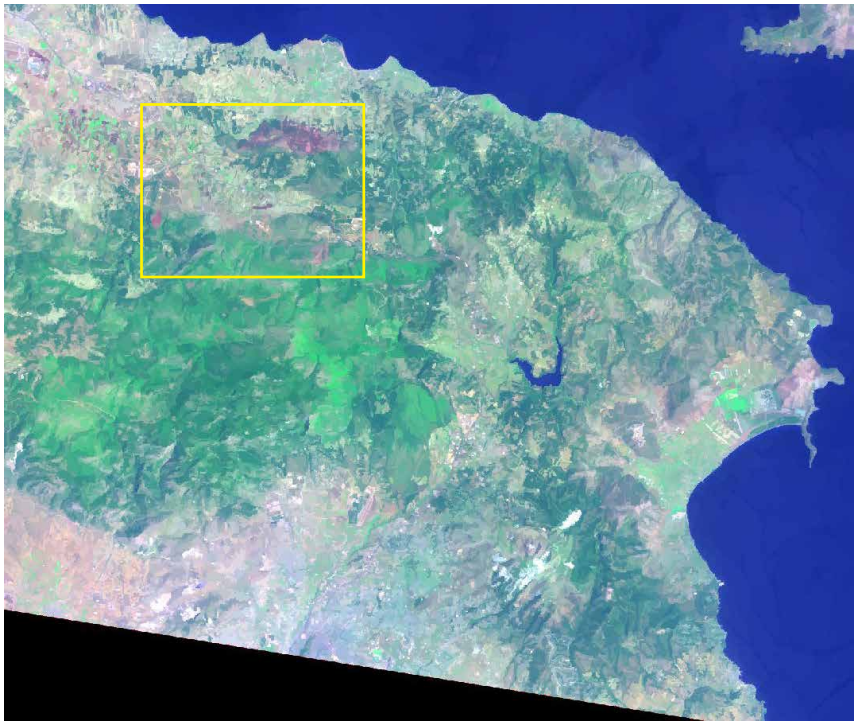
Parameter	Value
Segmentation Settings	
Image Layer weights	0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1
1_1984	0
1_1986	1
2_1984	0
2_1986	1
3_1984	0
3_1986	1
4_1984	0
4_1986	1
5_1984	0
5_1986	1
6_1984	0
6_1986	1
7_1984	0
7_1986	1

Εικόνα 3.6.3α: Βάρη καναλιών (1986)

Algorithm parameters

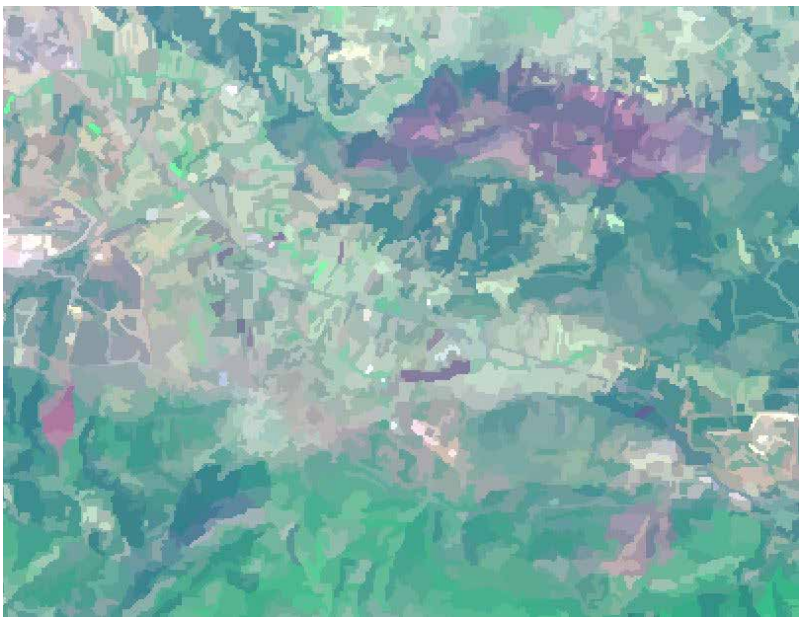
Parameter	Value
Overwrite existing level	Yes
Level Settings	
Level Name	Level 1
Segmentation Settings	
Image Layer weights	0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1
Thematic Layer usage	
Scale parameter	10
Composition of homogeneity criterion	
Shape	0.1
Compactness	0.5

Εικόνα 3.6.3β: Κλίμακα και βάρη κριτηρίων κατάτμησης (1986)



Εικόνα 3.6.4α: Κατάτμηση εικόνας του 1986. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1

Στην εικόνα 3.6.4β απεικονίζεται σε μεγέθυνση ένα τμήμα της εικόνας υπό κατάτμηση, όπου διακρίνονται τα αντικείμενα που συνθέτουν την εικόνα. Στη συγκεκριμένη φαίνονται οι καμένες εκτάσεις με κόκκινη απόχρωση. Φαίνεται, επίσης τμήμα του αστικού ιστού με γκρί χρώμα, καλλιέργειες με ανοιχτό πράσινο καθώς και τμήμα της βλάστησης με έντονο πράσινο.

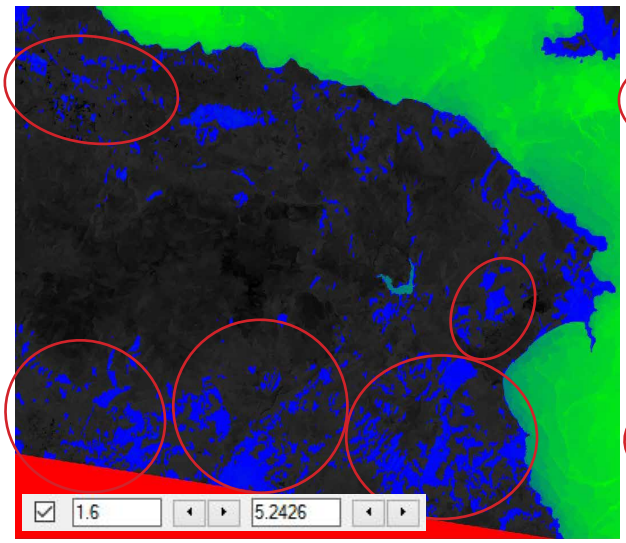


Εικόνα 3.6.4β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.4α: Κατάτμηση εικόνας του 1986. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1

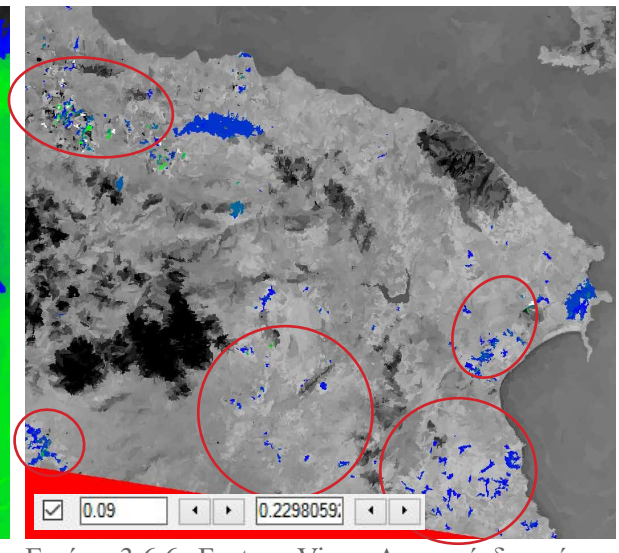
Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση για τα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάδειξη των καμένων περιοχών. Ύστερα από παρατήρηση με τη βοήθεια του *feature view* (εικόνες 3.6.5 - 3.6.9) και διάφορες δοκιμές επιλέχθηκαν τα χαρακτηριστικά καθώς και τα όρια των συναρτήσεων, όπως φαίνονται στις εικόνες:

- **Blue/NIR (1/4)**
- **NDVI 1984, NDVI 1986**
- **NDVI 1984-1986**
- **NRB 1986: (NIR-SWIR2)/(NIR+SWIR2)**
- **Mean 1_1984**
- **Mean 5_1984**

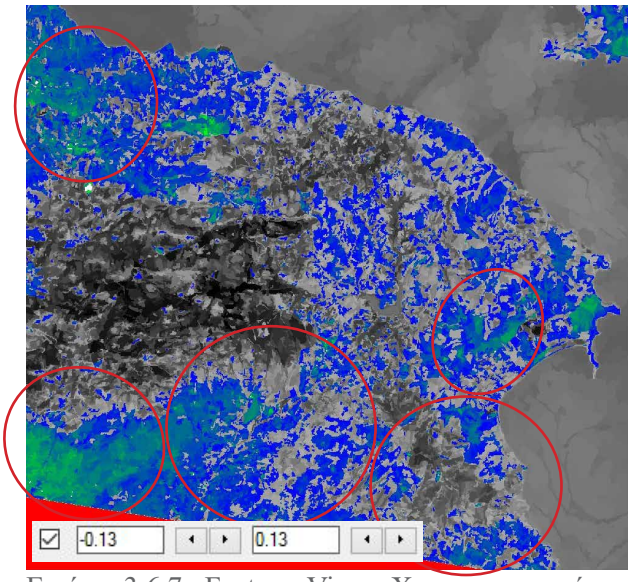
Με μπλε και πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές, των οποίων οι τιμές βρίσκονται εντός των ορίων των συναρτήσεων.



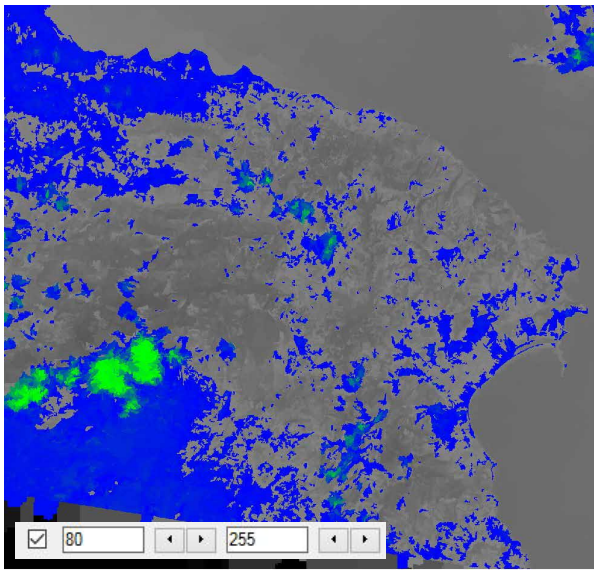
Εικόνα 3.6.5: Feature View: Χαρακτηριστικό Blue/NIR 1986



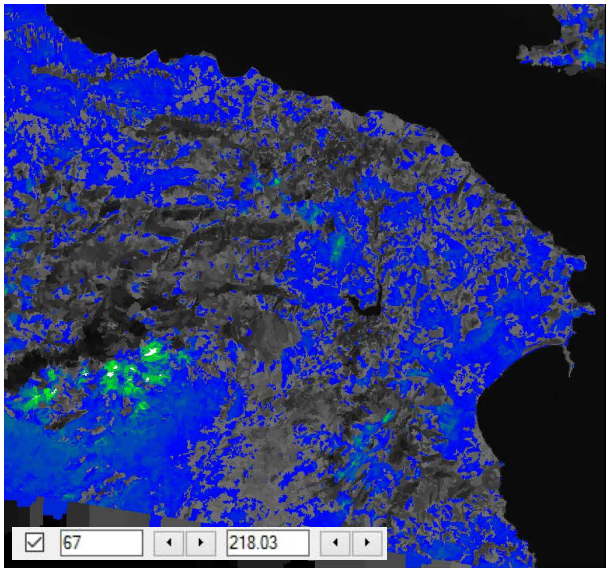
Εικόνα 3.6.6: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1984-1986



Εικόνα 3.6.7: Feature View: Χαρακτηριστικό NBR 1986



Εικόνα 3.6.8: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 1 (Blue), 1984



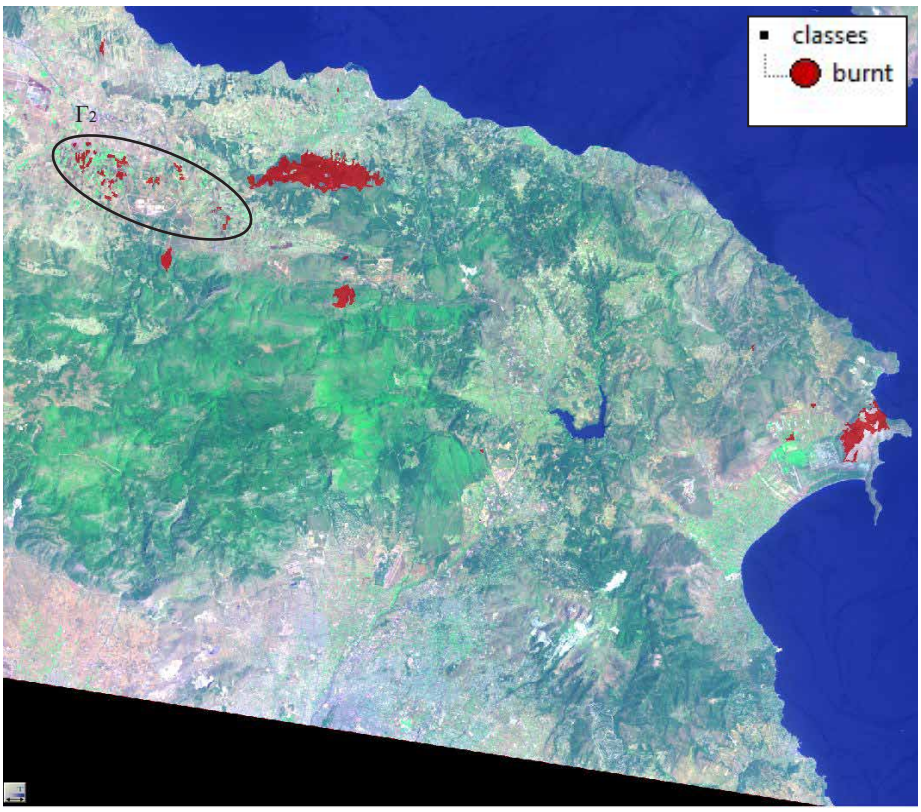
Εικόνα 3.6.9: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 5 (SWIR1), 1984

Δημιουργήθηκε η κλάση **“burnt”** στο επίπεδο 1, όπου εισήχθηκαν οι κανόνες. Η συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και τα όρια παρατίθενται στον πίνακα 3.6.1. Ο λόγος *Blue/NIR 1986 καθώς* και δείκτης *NRB 1986* χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη των καμένων εκτάσεων, ενώ η διαφορά των δεικτών *NDVI 1984-1986* δείχνει τη μεταβολή της βλάστησης μεταξύ των λήψεων πριν την πυρκαγιά και μετά. Παρατηρείται ότι οι καμένες εκτάσεις αναδεικνύονται πολύ ικανοποιητικά με τη διαφορά των NDVI. Τα χαρακτηριστικά της μέσης τιμής της φασματικής υποραφής (*Mean Layer Value*) των καναλιών 1 (*blue*) και 5 (*SWIR1*) του 1984 βελτίωσαν την ταξινόμηση καθώς βοήθησαν στον αποκλεισμό του κτισμένου περιβάλλοντος και της χέρσας γης, περιοχές οι οποίες όπως φαίνεται και στις εικόνες του *feature view* (εικ. 3.6.5-3.6.7 - κόκκινοι κύκλοι) συγχέονταν με τις καμένες εκτάσεις.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση συμετοχής	αριστερό όριο	δεξί όριο
1	**Burnt**	and	Blue/NIR 1986		1.5	1.7
		and	NDVI 1984-1986		0.08	0.1
		and	NBR 1986		-0.14	-0.12
		and	Mean Layer Value Band 1, 1984		80.38	80.4
		and	Mean Layer Value Band 5, 1984		67.1	67.3

Πίνακας 3.6.1: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *“Burnt”* (1986)

Στην εικόνα 3.6.10 φαίνεται το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης *(classification)* στην κλάση *burnt*. Παρατηρείται ότι πέρα από τις καμένες εκτάσεις που διακρίνονταν αρκετά ξεκάθαρα εξ’ αρχής, υπάρχουν κάποιες διάσπαρτες μικρές περιοχές στην περιοχή Οινόφυτα-Αυλώνας (εικ. 3.6.10 - κύκλος Γ2) που έχουν συμπεριληφθεί στην κατηγορία *burnt*, οι οποίες πιθανολογείται ότι είναι καλλιεργήσιμες εκτάσεις που έχουν καεί ή περιοχές που έχουν κατηγοριοποιηθεί ως καμένες λόγω σφάλματος της διαδικασίας της ταξινόμησης. Το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει από τον συνδυασμό των παραπάνω κανόνων θεωρείται αρκετά ικανοποιητικό, κάτι το οποίο επαληθεύεται και από την αξιολόγηση της ταξινόμησης με βάση τον έλεγχο που έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού eCognition.



Εικόνα 3.6.10: Ταξινόμηση στην κατηγορία “burnt”, 1986.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των εργαλείων που ενσωματώνει το λογισμικό eCognition με τρεις μεθόδους: τη Μέθοδο Καλύτερης Ταξινόμησης *(Best Classification Result)*, τη Μέθοδο Σταθερότητας Ταξινόμησης *(Classification Stability)* και τη Μέθοδο του Πίνακα Σύγχυσης Βασισμένου σε Δείματα *(Error Matrix Based on Samples)*. Στους πίνακες 3.6.2, 3.6.3, 3.6.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ταξινόμησης.

Οι δύο πρώτες μέθοδοι, *best classification result* και *classification stability*, δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα με **μέση τιμή** *(mean value)* **0.926**, που είναι πολύ κοντά στη μονάδα. Με την τρίτη μέθοδο, *error matrix based on samples,* πραγματοποιείται αξιολόγηση της ταξινόμησης μέσω δειγμάτων επιλεγμένων από το χρήστη (εικ. 3.6.13). Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.6.4, τα 10 από τα 11 αντικείμενα που δόθηκαν ως δείγματα έχουν ταξινομηθεί στην τάξη *“burnt”* και η **τιμή της «συνολικής ακρίβειας»** *(overall accuracy)* είναι ίση με **0.909**, δηλαδή πολύ κοντά στην μονάδα γεγονός που υποδεικνύει ότι γενικότερα η ταξινόμηση έγινε με επιτυχία.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	138	0.926	0.1904417	0.1055868	1

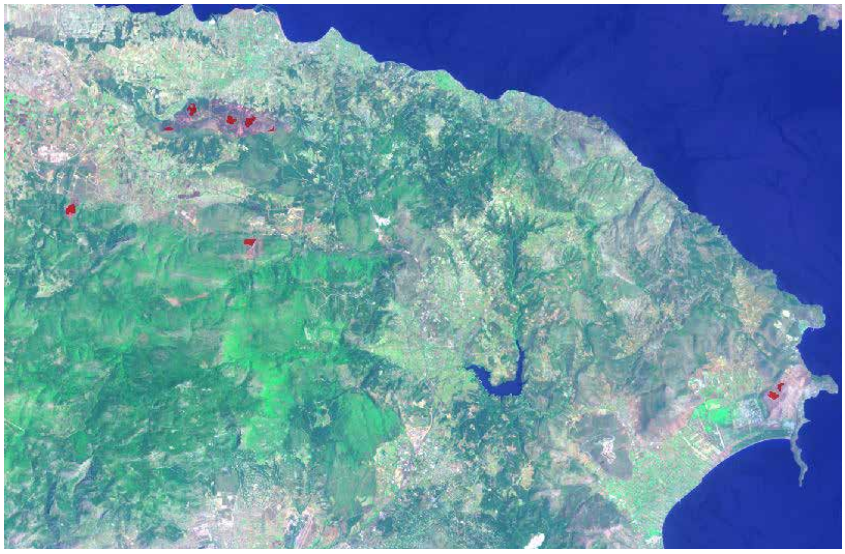
Πίνακας 3.6.2: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (1986)

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	138	0.926	0.1904417	0.1055868	1

Πίνακας 3.6.3: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (1986)

Εικόνα 3.6.11: Best Classification Result (1986)

Εικόνα 3.6.12: Classification Stability (1986)



Εικόνα 3.6.13: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1986)

User Class \ Sa...	burnt	Sum
Confusion Matrix		
burnt	10	10
unclassified	1	1
Sum	11	
Accuracy		
Producer	0.909	
User	1	
Hellden	0.9523810	
Short	0.909	
KIA Per Class	0	
Totals		
Overall Accuracy	**0.909**	
KIA	**0**	

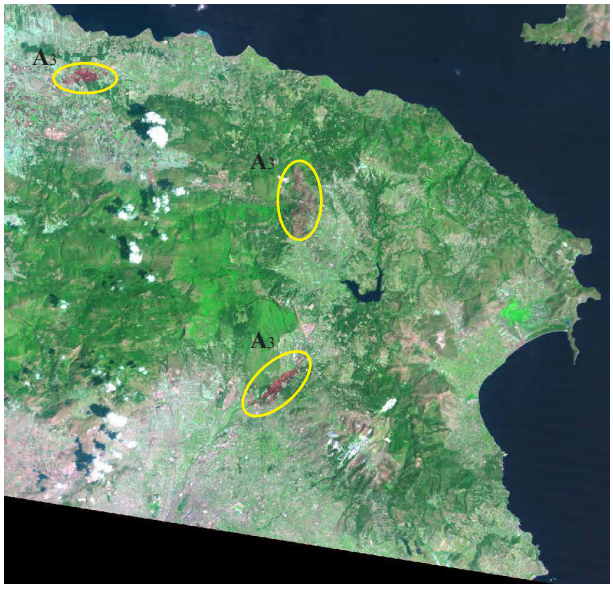
Πίνακας 3.6.4: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1986)

3.6.3 Καμένες εκτάσεις στην εικόνα Landsat του 1988

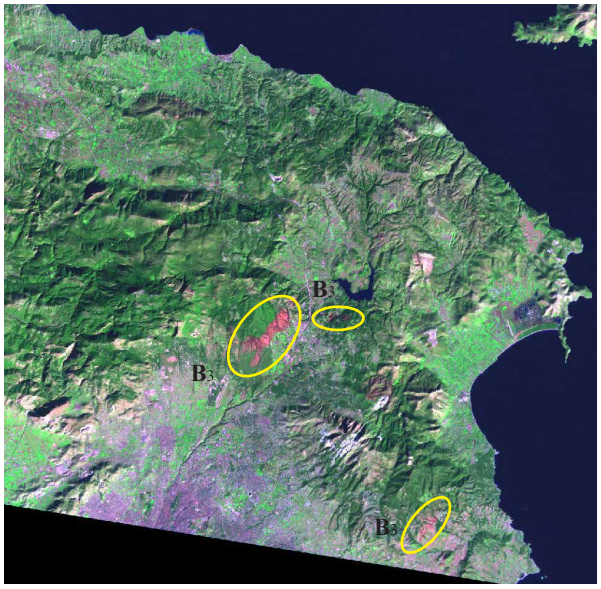
Για την χαρτοράφηση των καμένων εκτάσεων από τις πυρκαγιές του 1987 εισήχθηκαν στο λογισμικό eCognition τρεις δορυφορικές εικόνες Landsat (4-5). Μία πριν την πυρκαγιά με ημερομηνία λήψης **4 Αυγούστου 1984**, μία μετά την πυρκαγιά με ημερομηνία λήψης **28 Ιανουαρίου 1988** και μία με ημερομηνία λήψης **9 Ιουλίου 1989**. Ο λόγος που εισήχθηκαν τρεις εικόνες ήταν διότι η κοντινότερη διαθέσιμη στην πυρκαγιά ήταν αυτή με ημερομηνία λήψης στις 28 Ιανουαρίου 1988, η οποία όμως λόγω της διαφορετικής εποχής λήψης σε σχέση με την εικόνα του 1984 δεν μπορούσε να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα με τη μέθοδο της διαφοράς των δεικτών NDVI. Συνεπώς, για να εφαρμοστεί η διαφορά των δεικτών NDVI χρησιμοποιήθηκε εικόνα της επόμενης χρονιάς 1989 ίδιας εποχής με την εικόνα του 1984. Η βλάστηση δεν θα έχει προλάβει να ανακάμψει από τις πυρκαγιές του 1987 κι έτσι ο δείκτης NDVI στις καμένες περιοχές εξακολουθεί να είναι ιδιαίτερα χαμηλός.

Επιλέχθηκε το μέρος της εικόνας που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης και δημιουργήθηκαν τα έγχρωμα σύνθετα **RGB: 7-4-3** *(SWIR2-NIR-Red)* και για τις τρεις εικόνες, του 1984 (εικ.3.6.14), του 1988 (εικ.3.6.15) και του 1989 (εικ.3.6.16), ώστε να αναδειχθούν οι καμένες εκτάσεις. Οι καμένες περιοχές στην εικόνα Landsat του 1988 σε αυτό το έγχρωμο σύνθετο εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα, η βλάστηση με πράσινο, οι πυκνοκατοικημένες περιοχές με μοβ και οι αραιοκατοικημένες όπως και το γυμνό έδαφος με αποχρώσεις προς το ανοιχτό καφέ και το άσπρο (εικ. 3.6.17).

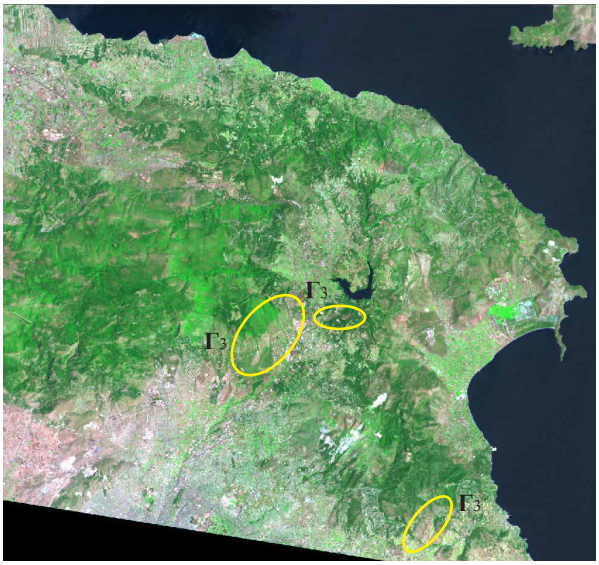
Παρατηρείται στην εικόνα του 1984 ότι υπάρχουν σύννεφα και κάποιες καμένες εκτάσεις (εικ. 3.6.14 - κύκλοι Α3), οι οποίες όμως δεν επικαλύπτουν τις καμένες περιοχές που θέλουμε να ανιχνευτούν στην εικόνα του 1988 (εικ. 3.6.15 - κύκλοι Β3), οπότε δεν θα δημιουργηθεί πρόβλημα. Επίσης, στο έγχρωμο σύνθετο του 1989 οι καμένες έκτάσεις του 1987 δεν φαίνονται με κόκκινη απόχρωση, ωστόσο παρατηρείται η έλλειψη βλάστησης (εικ. 3.6.16 - κύκλοι Γ3).



Εικόνα 3.6.14: Ημερομηνία λήψης: 4 Αυγούστου 1984, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1



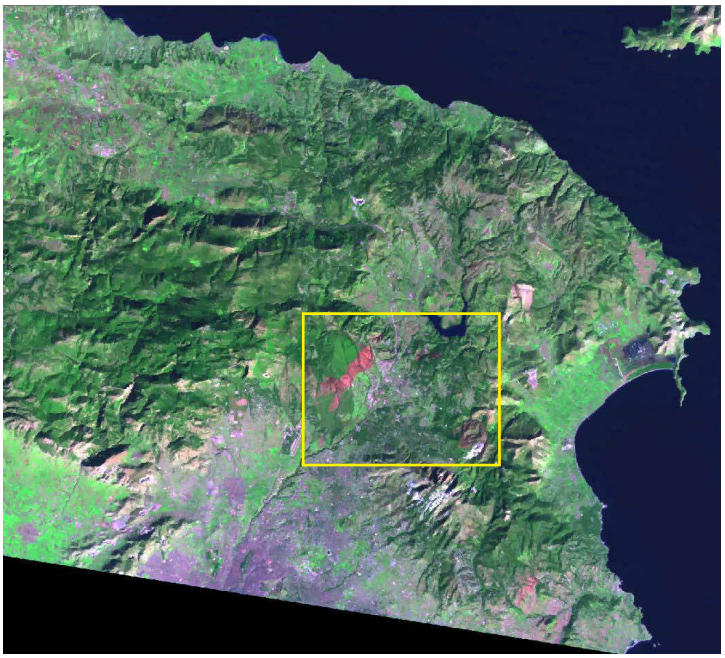
Εικόνα 3.6.15: Ημερομηνία λήψης: 28 Ιανουαρίου 1988, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κόκκινο χρώμα)



Εικόνα 3.6.16: Ημερομηνία λήψης: 9 Ιουλίου 1989, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1

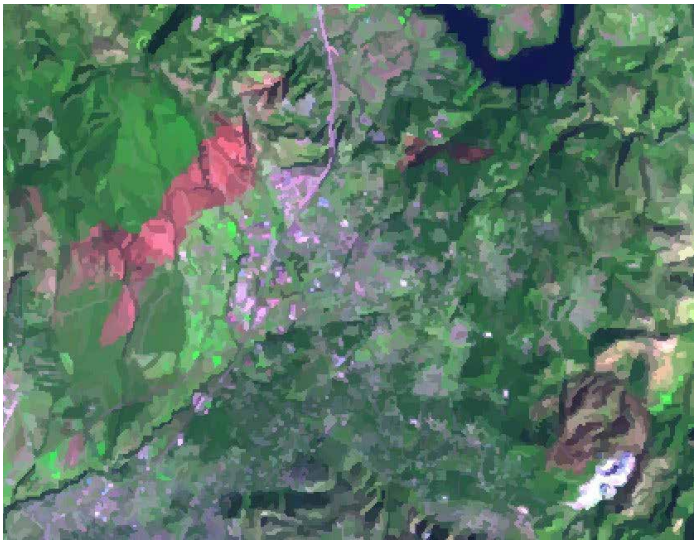
Η κατάτμηση της εικόνας περιέλαβε ένα επίπεδο κατάτμησης, **Level 1**. Οι παράμετροι που καθορίζονται για την κατάτμηση των εικόνων είναι το βάρος με το οποίο συμμετέχει κάθε κανάλι, η κλίμακα και τα βάρη που θα δοθούν στα κριτήρια κατάτμησης, δηλαδή στο σχήμα και στη συμπαγότητα. Σε όλα τα κανάλια της εικόνας του 1988 και του 1989 δόθηκε βάρος 1, ενώ σε αυτά της εικόνας του 1984 δόθηκε βάρος 0, ώστε να μην επηρεάσουν τη δημιουργία των αντικειμένων που θα ορίσουν τις καμένες εκτάσεις. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: **Κλίμακα** (scale parameter): 5 και βάρη κριτηρίων κατάτμησης: **Σχήμα** (shape): 0,1 / **Συμπαγότητα** (compactness): 0,5.

Η κλίμακα ορίστηκε αρκετά μικρή καθώς υπάρχουν μικρά τμήματα καμένων εκτάσεων, τα οποία παρατηρήθηκε ότι με τη χρήση μεγαλύτερης κλίμακας κατάτμησης συγχέονταν με τις γύρω περιοχές. Στο σχήμα και στη συμπαγότητα δόθηκαν τιμές ίδιες με αυτές που είχαν δοθεί και για την ανάλυση της εικόνας του 1986 (κεφ. 3.6.2) για τους ίδιους λόγους. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 3.6.17α,β.



Εικόνα 3.6.17α: Κατάτμηση εικόνας του 1988. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1

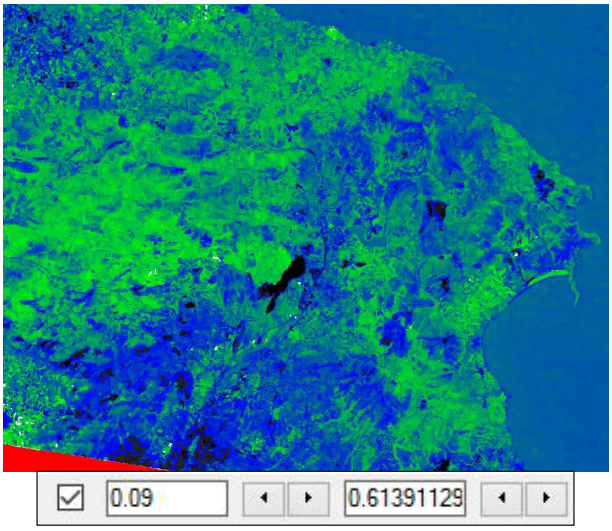
Στην εικόνα 3.6.17β απεικονίζεται σε μεγέθυνση ένα τμήμα της εικόνας υπό κατάτμηση, όπου διακρίνονται τα αντικείμενα που συνθέτουν την εικόνα. Στη συγκεκριμένη φαίνονται οι καμένες εκτάσεις με κόκκινη απόχρωση, ένα τμήμα του αστικού ιστού με ανοιχτό μοβ και γκρί χρώμα, τμήμα της χέρσας γης με γκρι και καφέ, καθώς και μέρος της βλάστησης με πράσινο.



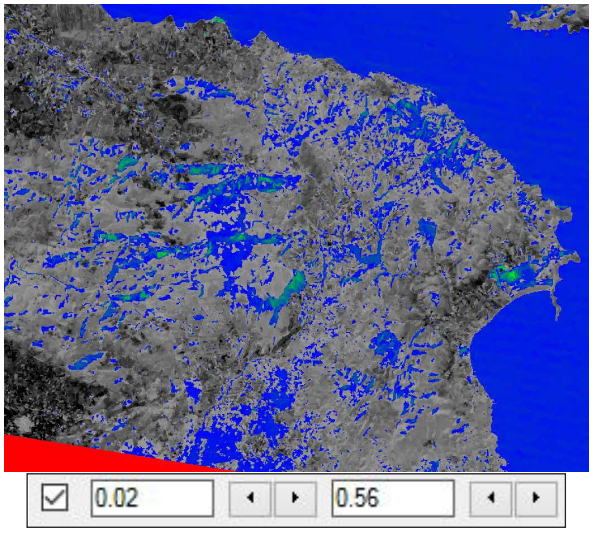
Εικόνα 3.6.17β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.17α: Κατάτμηση εικόνας του 1988. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1

Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση για τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη των καμένων περιοχών. Ύστερα από παρατήρηση με τη βοήθεια του *feature view* (εικόνες 3.6.18 - 3.6.23) και διάφορες δοκιμές αρχικά επιλέχθηκαν τα χαρακτηριστικά καθώς και τα όρια των συναρτήσεων, όπως φαίνονται στις εικόνες:

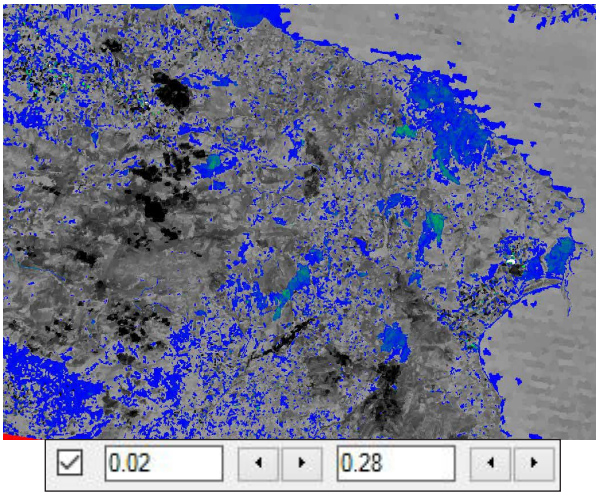
- **NRB 1988**
- **NDVI 1984-1988**
- **NDVI 1984-1989**
- **Mean 1 (Blue)_1984**
- **Mean 5 (SWIR1)_1988**



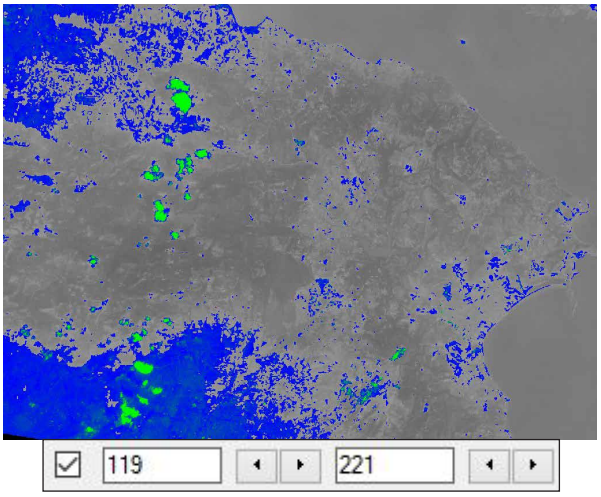
Εικόνα 3.6.18: Χαρακτηριστικό NBR 1988



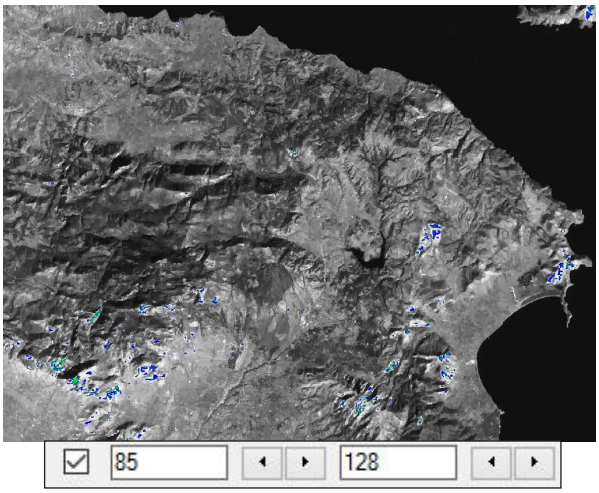
Εικόνα 3.6.19: Διαφορά δεικτών NDVI 1984-1988



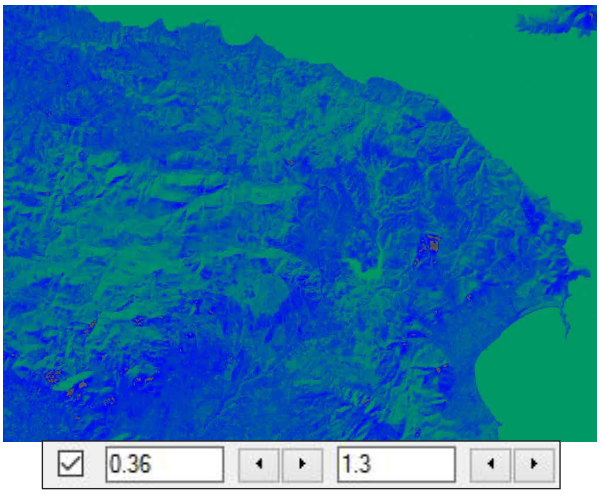
Εικόνα 3.6.20: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1984-1989



Εικόνα 3.6.21: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 1 (Blue), 1984



Εικόνα 3.6.22: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 5 (SWIR1), 1988



Εικόνα 3.6.23: Feature View: Χαρακτηριστικό HSI Tranformation Saturation RGB: 7-4-1_1988

• **HSI Tranformation Saturation RGB:7-4-1_1988**

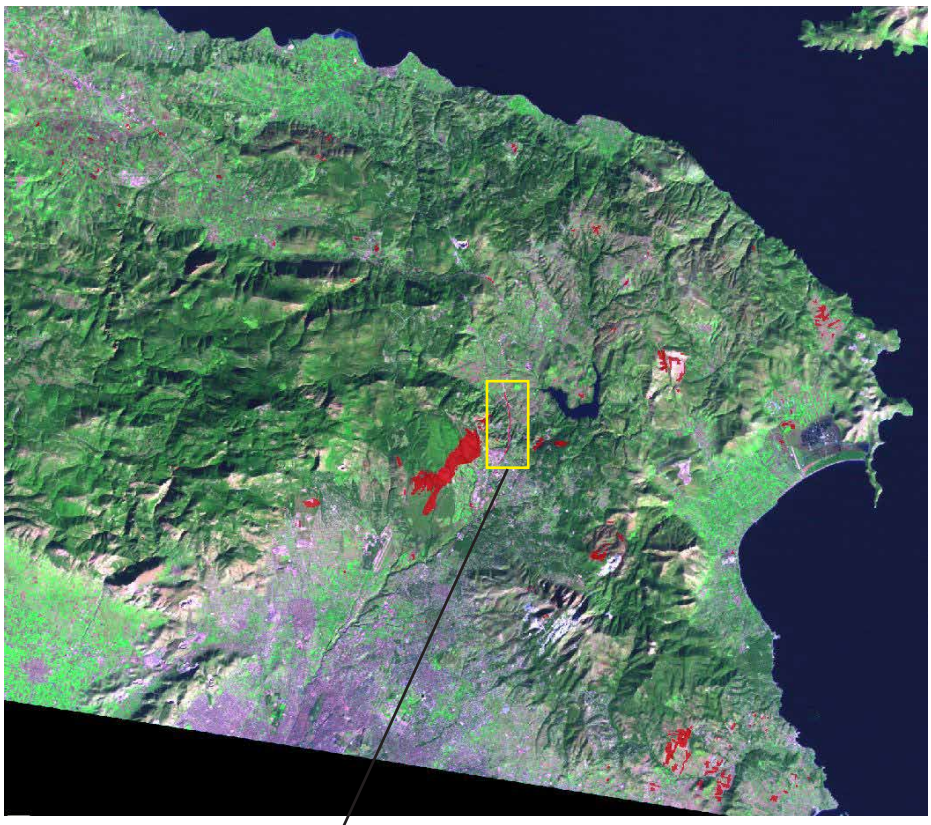
Δημιουργήθηκε η κλάση **"burnt"** στο επίπεδο 1, όπου εισήχθηκαν οι κανόνες. Η συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και τα όρια παρατίθενται στον πίνακα 3.6.5. Ο δείκτης *NRB 1988* χρησιμοποιήθηκε για την ανάδειξη των καμένων εκτάσεων, ενώ οι διαφορές των δεικτών *NDVI 1984-1988* και *NDVI 1984-1989* δείχνουν τη μεταβολή της βλάστησης μεταξύ των λήψεων πριν την πυρκαγιά και μετά. Τα χαρακτηριστικά της μέσης τιμής της φασματικής υπογραφής (*Mean Layer Value*) του καναλιού 1 (*blue*) του 1984 και του καναλιού 5 (*SWIR1*) του 1988 βελτίωσαν την ταξινόμηση καθώς βοήθησαν στον αποκλεισμό του κτισμένου περιβάλλοντος και της χέρσας γης, περιοχές οι οποίες συγχέονταν με τις καμένες εκτάσεις. Οι περιοχές της χέρσας γης που δεν κατάφεραν να αποκλειστούν με τη χρήση των προηγούμενων χαρακτηριστικών τελικά αποκλείστηκαν με το χαρακτηριστικό HSI Tranformation Saturation RGB:7-4-1 του 1988, αξιοποιώντας την ιδιότητά τους να φαίνονται σχεδόν λευκές στο έγχρωμο σύνθετο RGB:7-4-1.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση συμετοχής	αριστερό όριο	δεξί όριο
1	**Burnt**	and	NBR		0.08	0.1
		and	NDVI 1984-1988		0	0.04
		and	NDVI 1984-1989		0	0.04
		and	Mean Layer Value Band 1, 1984		118	120
		and	Mean Layer Value Band 5, 1988		85	86
		and	HSI Tranformation Saturation RGB: 7-4-1_1988		0.34	0.38

Πίνακας 3.6.5: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt" (1988)*

Στην εικόνα 3.6.24 φαίνεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης *(classification)* στην κλάση *burnt*. Παρατηρείται ότι πέρα από τις καμένες εκτάσεις που διακρίνονταν αρκετά καθαρά από την αρχή, υπάρχουν κάποιες περιοχές που έχουν συμπεριληφθεί στην κατηγορία *burnt*, οι οποίες πιθανολογείται ότι είναι κυρίως καμένες εκτάσεις προηγούμενων ετών, αλλά και κάποιες καμένες καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Υπάρχει ωστόσο κι ένα αρκετά μεγάλο τμήμα δρόμου που έχει συμπεριληφθεί και το οποίο έγινε προσπάθεια να αφαιρεθεί.

Το χαρακτηριστικό αυτού του τμήματος είναι ότι είναι μακρόστενο κι έτσι ο λόγος του μήκους του προς το πλάτος του είναι μεγάλος. Προκειμένου να αφαιρεθεί αυτή η περιοχή από την κατηγορία *"burnt"* έγινε χρήση αυτού του γεωμετρικού χαρακτηριστικού *(lenght/ width)* σε συνδυασμό όμως με την παράμετρο του αριθμού των pixels *(number of pixels),* για να διατηρηθεί η βασική καμένη περιοχή που είναι επίσης μακρόστενη αλλά κατά πολύ μεγαλύτερη. Προτού εφαρμοστεί ο αλγόριθμος για την αφαίρεση των αντικειμένων *(remove objects)*, όλα τα επιμέρους αντικείμενα που είχαν ταξινομηθεί στην κατηγορία *"burnt"* ενοποιήθηκαν σε ενιαία αντικείμενα με τον αλγόριθμο *"merge region"*.



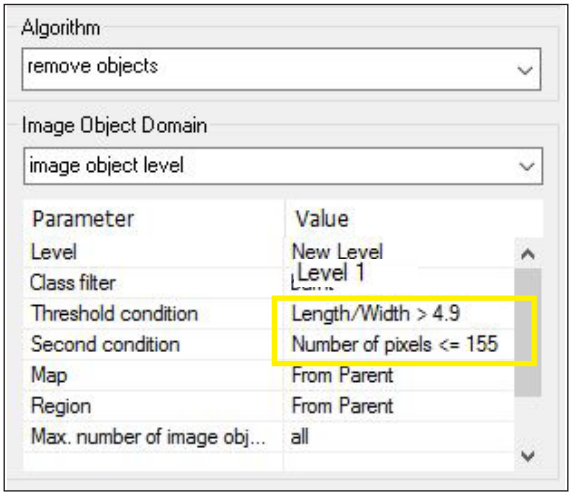
Εικόνα 3.6.24: Αρχική ταξινόμηση στην κατηγορία “burnt”, 1988.

Χαρακτηριστικά αντικειμένων:

Geometry	Extent
Length/Width	9.638
Number of pixels	155

Geometry	Extent
Length/Width	4.915
Number of pixels	33

Εικόνα 3.6.24β: Τμήμα δρόμου το οποίο επιθυμείται να αφαιρεθεί από την κατηγορία *“burnt”* (1988)

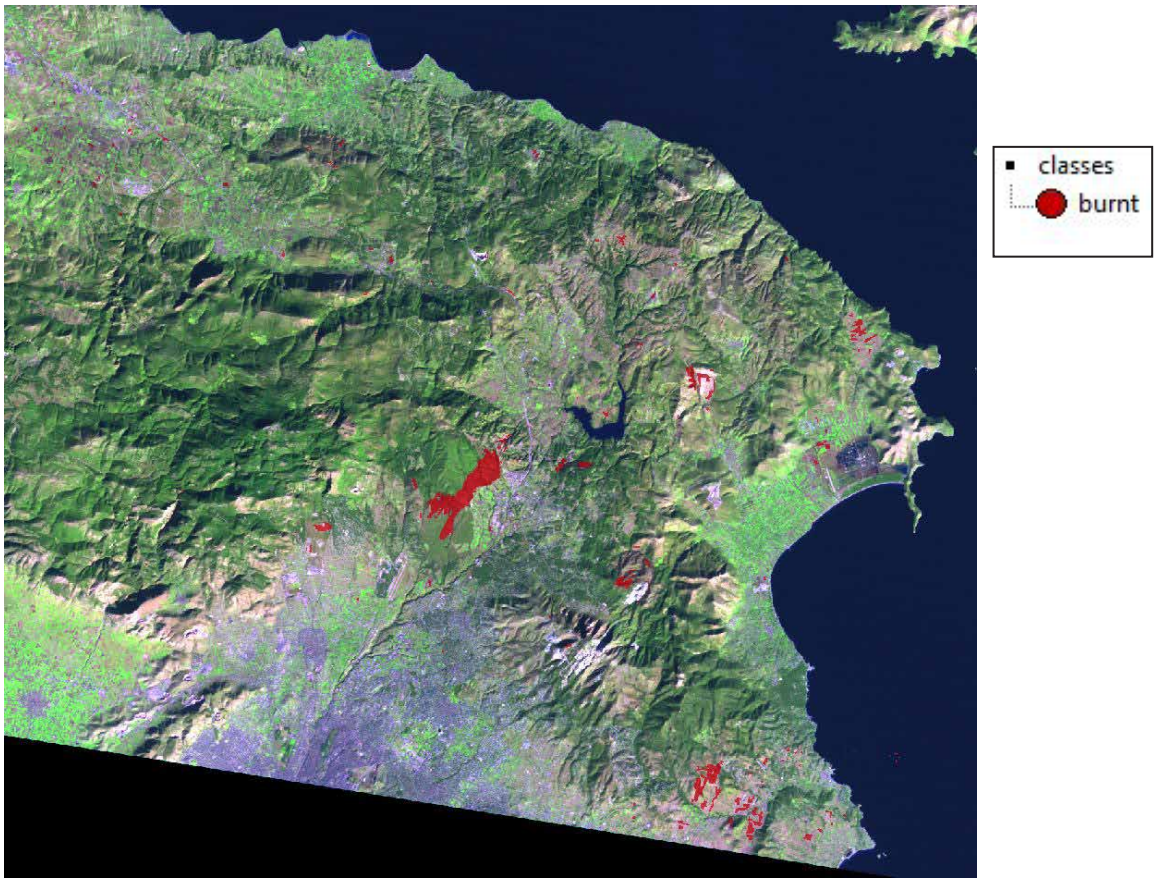


Εικόνα 3.6.25: Αλγόριθμος για την αφαίρεση των αντικειμένων του τμήματος δρόμου από την κατηγορία *“burnt”* (1988)

Το αποτέλεσμα της τελικής ταξινόμησης μετά τη βελτίωση φαίνεται στην εικόνα 3.6.26.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη Μέθοδο Καλύτερης Ταξινόμησης *(Best Classification Result)*, τη Μέθοδο Σταθερότητας Ταξινόμησης *(Classification Stability)* και τη Μέθοδο του Πίνακα Σύγχυσης Βασισμένου σε Δείματα *(Error Matrix Based on Samples)*. Στους πίνακες 3.6.6, 3.6.7, 3.6.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ταξινόμησης.

Οι δύο πρώτες μέθοδοι, *best classification result* και *classification stability*, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με **μέση τιμή** *(mean value)* **0.85**, που είναι κοντά στη μονάδα. Στον πίνακα της τρίτης μεθόδου, *error matrix based on samples*, φαίνεται ότι τα 11 από τα 12 αντικείμενα που δόθηκαν ως δείγματα έχουν ταξινομηθεί στην τάξη *"burnt"* και η **τιμή της «συνολικής ακρίβειας»** *(overall accuracy)* είναι ίση με **0.916**, δηλαδή πολύ κοντά στην μονάδα γεγονός που υποδεικνύει ότι γενικότερα η ταξινόμηση έγινε με επιτυχία.



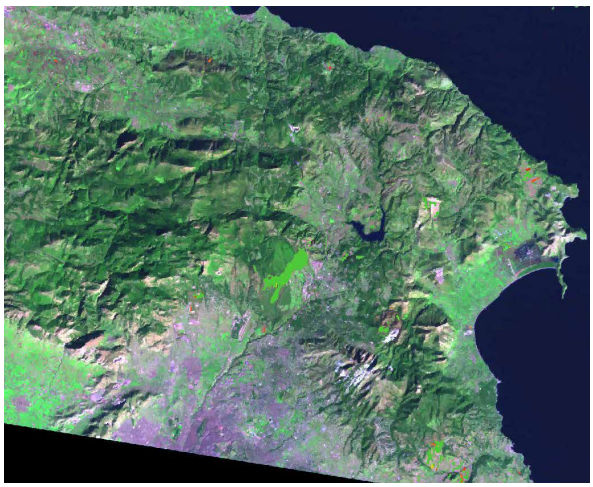
Εικόνα 3.6.26: Τελική βελτιωμένη ταξινόμηση στην κατηγορία "burnt", 1988.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	419	0.8536014	0.2672443	0.1116	1

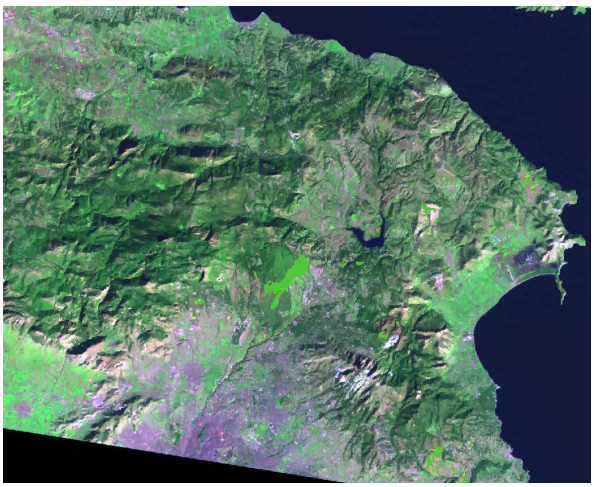
Πίνακας 3.6.6: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (1988)

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	419	0.8536014	0.2672443	0.1116	1

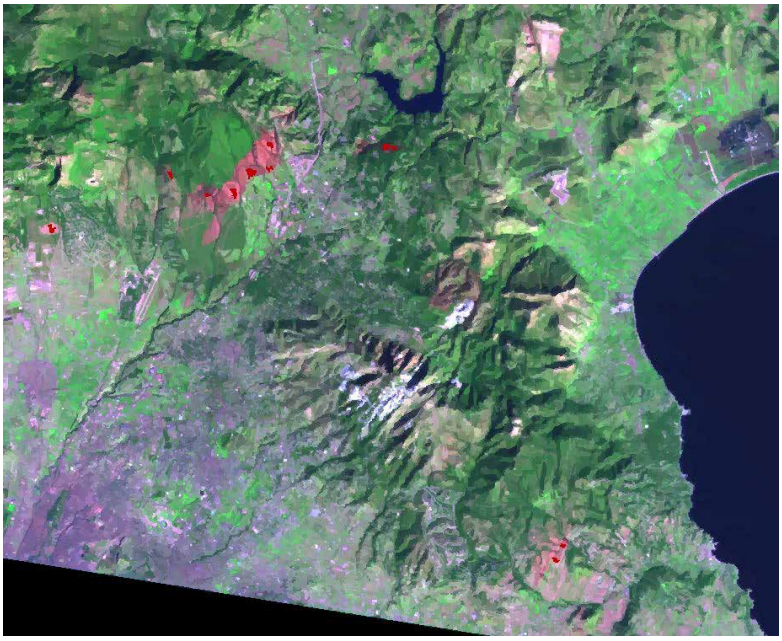
Πίνακας 3.6.7: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (1988)



Εικόνα 3.6.27α: Best Classification Result (1988)



Εικόνα 3.6.27β: Classification Stability (1988)



Εικόνα 3.6.28: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1988)

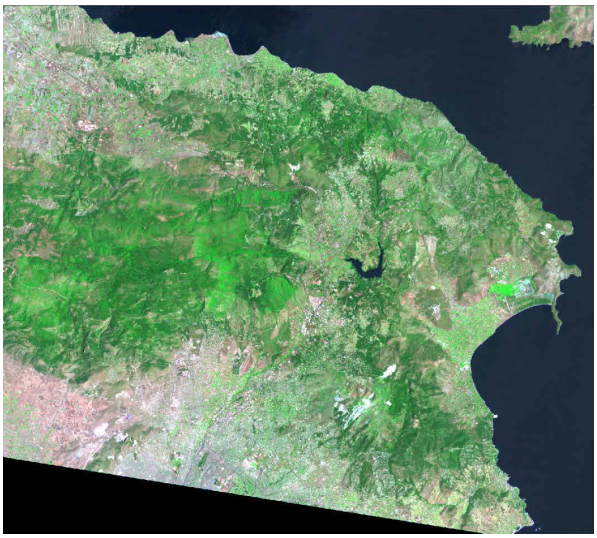
User Class \ Sample	burnt	Sum
Confusion Matrix		
burnt	11	11
unclassified	1	1
Sum	12	
Accuracy		
Producer	0.9166667	
User	1	
Hellden	0.9565217	
Short	0.9166667	
KIA Per Class	0	
Totals		
Overall Accuracy	**0.9166667**	
KIA	**0**	

Πίνακας 3.6.8: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1988)

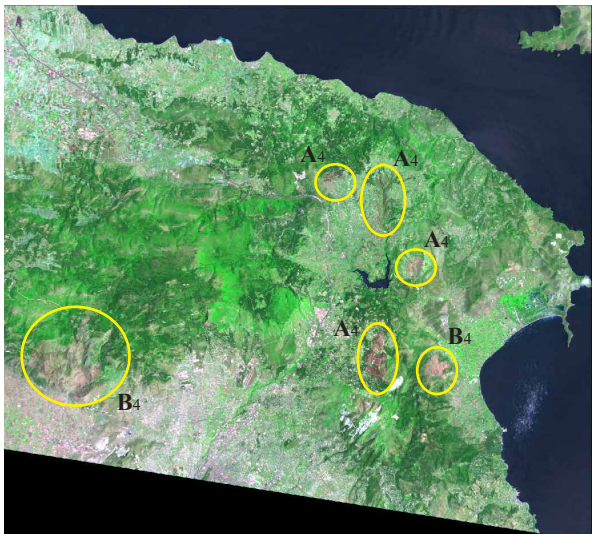
3.6.4 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα Landsat του 1991

Η χαρτοράφηση των καμένων εκτάσεων από τις πυρκαγιές του 1990 και του 1991 έγινε σε δορυφορική εικόνα του 1991. Εισήχθηκαν στο λογισμικό οι εικόνες με ημερομηνίες λήψης **9 Ιουλίου 1989**, πριν τις πυρκαγιές, και **29 Ιουνίου 1991** μετά τις πυρκαγιές.

Επιλέχθηκε το μέρος της εικόνας που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης και δημιουργήθηκαν τα έγχρωμα σύνθετα **RGB: 7-4-3** *(SWIR2-NIR-Red)* και για τις δύο εικόνες, του 1989 (εικ.3.6.29) και του 1991 (εικ.3.6.30) ώστε να αναδειχθούν οι καμένες εκτάσεις με κόκκινο χρώμα. Παρατηρείται στην εικόνα του 1991 ότι οι περιοχές που έχουν καεί το 1990 (κύκλοι A4) και το 1991 (κύκλοι B4) έχουν κόκκινη απόχρωση σε αυτό το έγχρωμο σύνθετο.



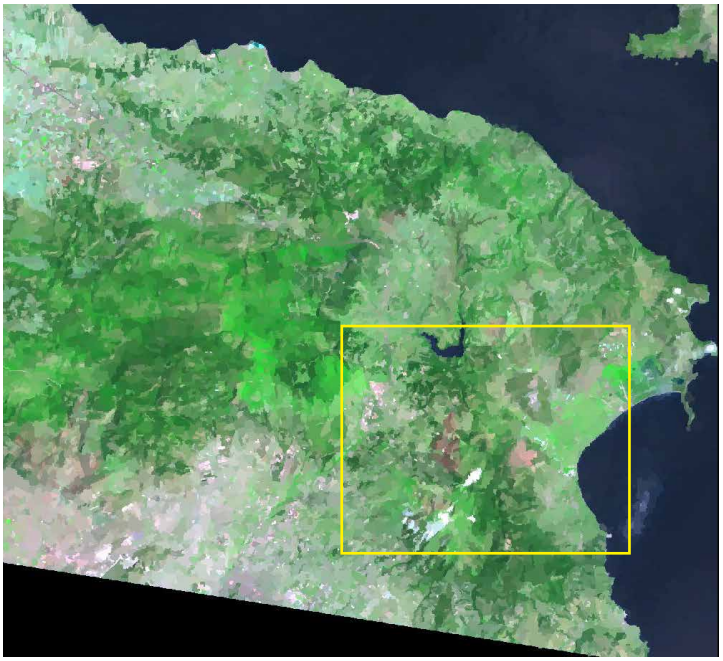
Εικόνα 3.6.29: Ημερομηνία λήψης: 9 Ιουλίου 1989, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3



Εικόνα 3.6.30: Ημερομηνία λήψης: 29 Ιουνίου 1991, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κόκκινη απόχρωση)

Η κατάτμηση της εικόνας περιέλαβε ένα επίπεδο κατάτμησης, **Level 1**. Σε όλα τα κανάλια της εικόνας του 1991 δόθηκε βάρος 1, ενώ σε αυτά της εικόνας του 1989 δόθηκε βάρος 0, ώστε να μην επηρεάσουν τη δημιουργία των αντικειμένων που θα ορίσουν τις καμένες εκτάσεις. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: **Κλίμακα** (scale parameter): 10 και βάρη κριτηρίων κατάτμησης: **Σχήμα** (shape): 0,5 / **Συμπαγότητα** (compactness): 0,5.

Η κλίμακα ορίστηκε αρκετά μικρή όπως και στις προηγούμενες ταξινομήσεις. Στο σχήμα δόθηκε τιμή 0,5 ώστε να δοθεί το ίδιο βάρος στην ομοιογένεια του χρώματος (συμπληρωματικές τιμές), όπως και στη συμπαγότητα δόθηκε τιμή 0,5, ώστε να είναι ισοβαρής με την ομαλότητα με την οποία είναι συμπληρωματική. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 3.6.31α,β.



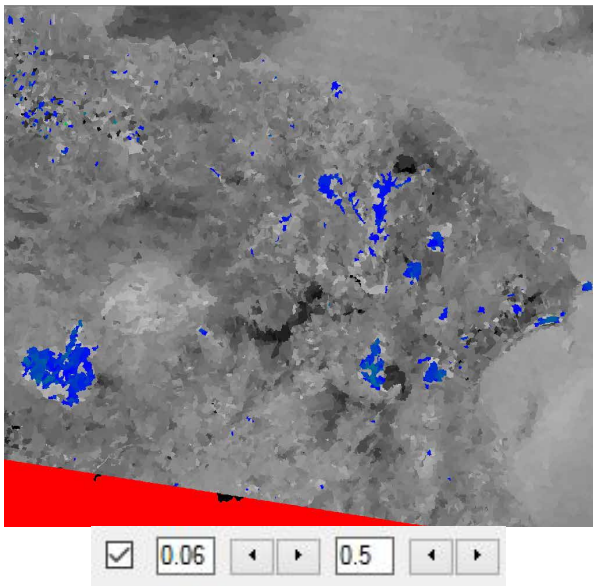
Εικόνα 3.6.31α: Κατάτμηση εικόνας του 1991. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1

Στην εικόνα 3.6.31β απεικονίζεται σε μεγέθυνση ένα τμήμα της εικόνας υπό κατάτμηση, όπου διακρίνονται τα αντικείμενα που συνθέτουν την εικόνα. Στη συγκεκριμένη φαίνονται κάποιες καμένες εκτάσεις με κόκκινη απόχρωση, τμήμα της χέρσας γης με γκρι και καφέ, καθώς και μέρος της βλάστησης με πράσινο.

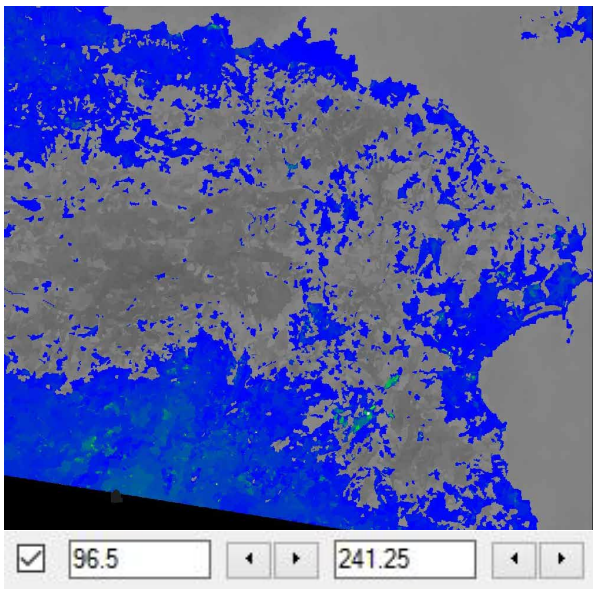
Εικόνα 3.6.31β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.17α: Κατάτμηση εικόνας του 1991. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1

Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση για τα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάδειξη των καμένων περιοχών. Ύστερα από παρατήρηση με τη βοήθεια του *feature view* (εικόνες 3.6.32 - 3.6.35) και διάφορες δοκιμές αρχικά επιλέχθηκαν τα χαρακτηριστικά καθώς και τα όρια των συναρτήσεων, όπως φαίνονται στις εικόνες:

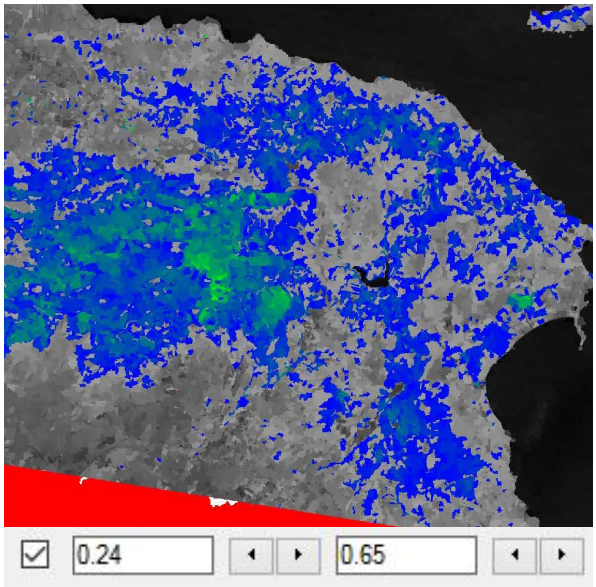
- **NDVI 1989-1991**
- **Mean Layer Value Band 1 (Blue)_1989**
- **NDVI 1991**
- **HSI Tranformation Hue RGB:7-4-3_1991**



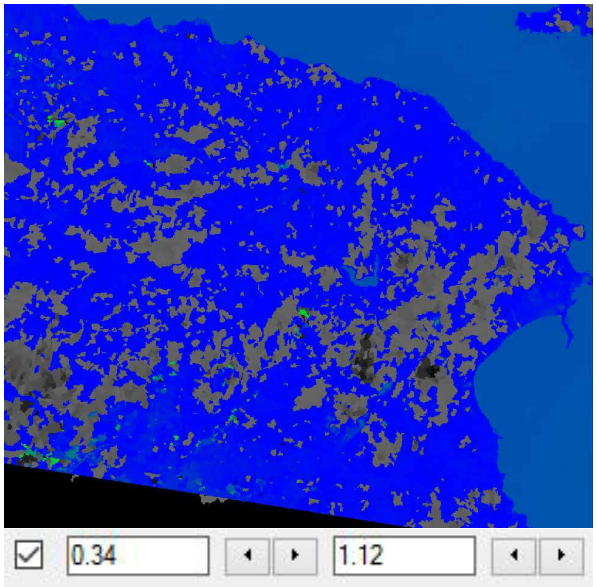
Εικόνα 3.6.32: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1989-1991



Εικόνα 3.6.33: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 1 (Blue), 1989



Εικόνα 3.6.34: Feature View: Δείκτης NDVI 1991



Εικόνα 3.6.35: Feature View: Χαρακτηριστικό HSI Tranformation Hue RGB: 7-4-3_1991

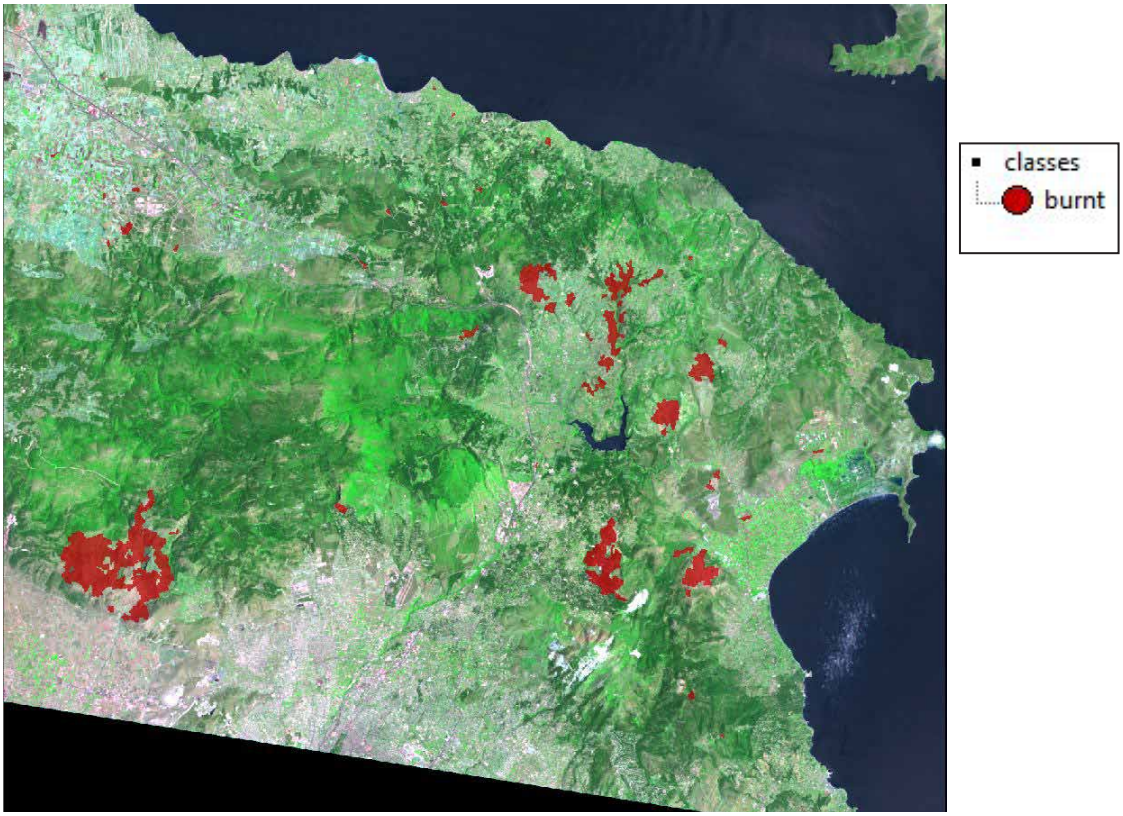
Δημιουργήθηκε η κλάση **"burnt"** στο επίπεδο 1, όπου εισήχθηκαν οι κανόνες. Η συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και τα όρια παρατίθενται στον πίνακα 3.6.9. Η διαφορά των δεικτών *NDVI 1989-1991* δείχνει τη μεταβολή της βλάστησης μεταξύ των λήψεων πριν την πυρκαγιά και μετά. Τα χαρακτηριστικά της μέσης τιμής της φασματικής υπογραφής (*Mean Layer Value*) του καναλιού 1 (*blue*) του 1989 και ο δείκτης NDVI του 1991 βελτίωσαν την ταξινόμηση καθώς βοήθησαν στον αποκλεισμό του κτισμένου περιβάλλοντος και της χέρσας γης του 1989, καθώς και της βλάστησης του 1991. Το χαρακτηριστικό HSI Tranformation Hue RGB:7-4-3 του 1991 βελτίωσε την ταξινόμηση αξιοποιώντας την ιδιότητά των καμένων εκτάσεων να έχουν κόκκινο χρώμα στο έγχρωμο-σύνθετο RGB:7-4-3.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση συμετοχής	αριστερό όριο	δεξί όριο
1	Burnt	and	NDVI 1989-1991		0.03	0.1
		and	Mean Layer Value Band 1, 1989		96	97
		and	NDVI 1991		0.23	0.25
		and	HSI Tranforma-tion Hue RGB: 7-4-3_1991		67.1	67.3

Πίνακας 3.6.9: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (1991)

Στην εικόνα 3.6.36 φαίνεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης *(classification)* στην κλάση *burnt*.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη Μέθοδο Καλύτερης Ταξινόμησης *(Best Classification Result)*, τη Μέθοδο Σταθερότητας Ταξινόμησης *(Classification Stability)* και τη Μέθοδο του Πίνακα Σύγχυσης Βασισμένου σε Δείματα *(Error Matrix Based on Samples)*. Στους πίνακες 3.6.10, 3.6.11, 3.6.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ταξινόμησης.



Εικόνα 3.6.36: Ταξινόμηση στην κατηγορία "burnt", 1991

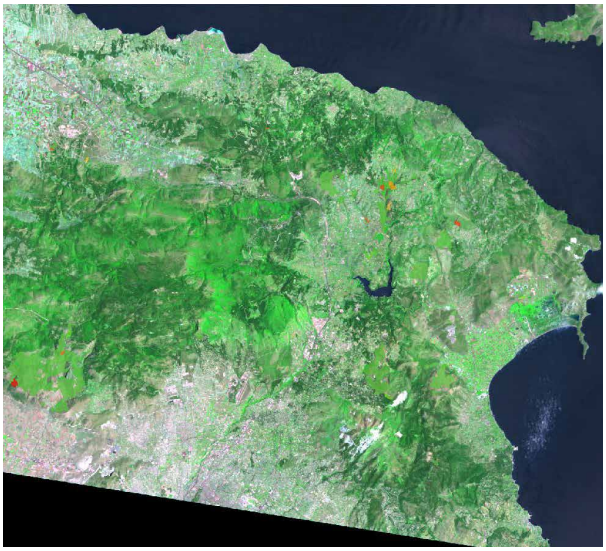
Οι δύο πρώτες μέθοδοι, *best classification result* και *classification stability*, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με **μέση τιμή** *(mean value)* **0.87**, που είναι κοντά στη μονάδα. Στον πίνακα της τρίτης μεθόδου, *error matrix based on samples*, φαίνεται ότι και τα 13 από τα 13 αντικείμενα που δόθηκαν ως δείγματα έχουν ταξινομηθεί στην τάξη *"burnt"* και η **τιμή της «συνολικής ακρίβειας»** *(overall accuracy)* είναι ίση με **1**, γεγονός που υποδεικνύει ότι η ταξινόμηση έγινε με επιτυχία.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	276	0.8703696	0.2433084	0.1055556	1

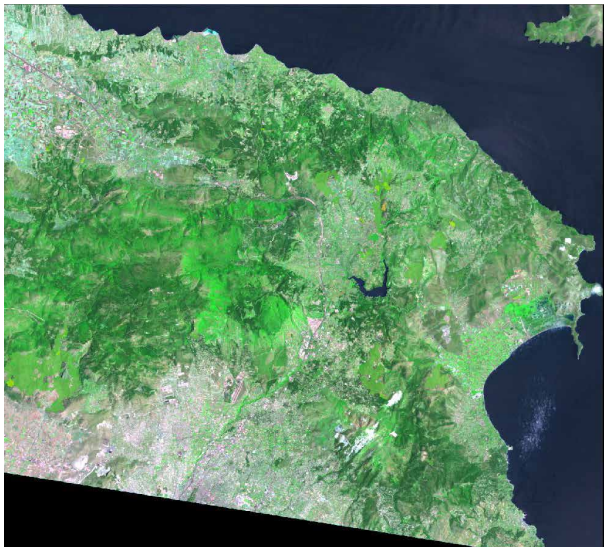
Πίνακας 3.6.10: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (1991)

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	276	0.8703696	0.2433084	0.1055556	1

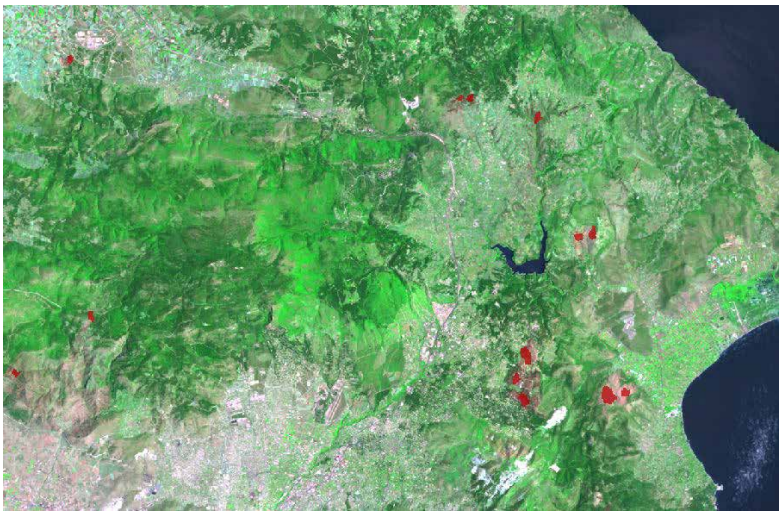
Πίνακας 3.6.11: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (1991)



Εικόνα 3.6.37: Best Classification Result (1991)



Εικόνα 3.6.38: Classification Stability (1991)



Εικόνα 3.6.39: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1991)

User Class \ Sa...	burnt	Sum
Confusion Matrix		
burnt	13	13
unclassified	0	0
Sum	13	
Accuracy		
Producer	1	
User	1	
Hellden	1	
Short	1	
KIA Per Class	undefined	
Totals		
Overall Accuracy	**1**	
KIA	**undefined**	

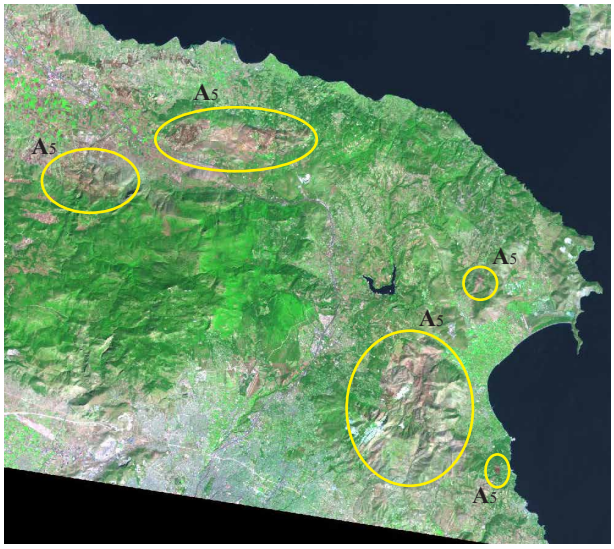
Πίνακας 3.6.12: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1991)

3.6.5 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα του 1999

Για τη χαρτοράφηση των καμένων εκτάσεων του 1991 εισήχθηκαν στο λογισμικό eConition οι εικόνες με ημερομηνίες λήψης **9 Ιουλίου 1989**, πριν τις πυρκαγιές, και **23 Σεπτεμβρίου 1999** μετά τις πυρκαγιές.

Επιλέχθηκε το μέρος της εικόνας που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης και δημιουργήθηκαν τα έγχρωμα σύνθετα **RGB: 7-4-3** *(SWIR2-NIR-Red)* και για τις δύο εικόνες, του 1989 (εικ.3.6.40) και του 1999 (εικ.3.6.41) ώστε να αναδειχθούν οι καμένες εκτάσεις με κόκκινο χρώμα. Παρατηρείται ότι στην εικόνα του 1999 οι περιοχές που έχουν καεί (κύκλοι Α5) έχουν κόκκινη απόχρωση παρόλο που δεν φαίνονται πολύ έντονα.

Εικόνα 3.6.40: Ημερομηνία λήψης: 9 Ιουλίου 1989, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3

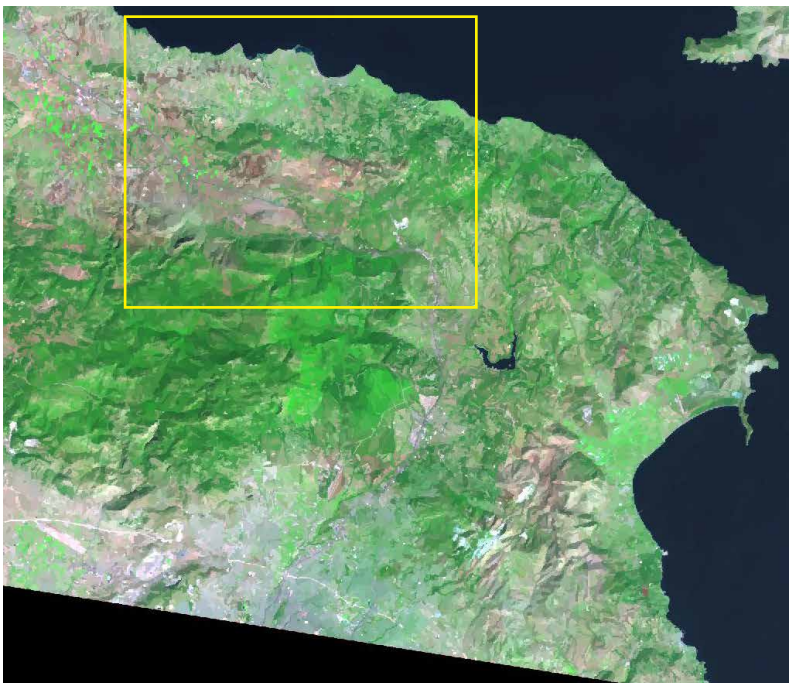


Εικόνα 3.6.41: Ημερομηνία λήψης: 23 Σεπτεμβρίου 1999, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κύκλοι Α5)

Η κατάτμηση της εικόνας περιέλαβε ένα επίπεδο κατάτμησης, **Level 1**. Σε όλα τα κανάλια της εικόνας του 1999 δόθηκε βάρος 1, ενώ σε αυτά της εικόνας του 1989 δόθηκε βάρος 0, ώστε να μην επηρεάσουν τη δημιουργία των αντικειμένων που θα ορίσουν τις καμένες εκτάσεις. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: **Κλίμακα** (scale parameter): 20 και βάρη κριτηρίων κατάτμησης: **Σχήμα** (shape): 0,3 / **Συμπαγότητα** (compactness): 0,5.

Η κλίμακα ορίστηκε μικρή όπως και στις προηγούμενες ταξινομήσεις. Στο σχήμα δόθηκε τιμή 0,3 ώστε να δοθεί λίγο μεγαλύτερο βάρος στην ομοιογένεια του χρώματος (συμπληρωματικές τιμές), ενώ στη συμπαγότητα δόθηκε τιμή 0,5, ώστε να είναι ισοβαρής με την ομαλότητα με την οποία είναι συμπληρωματική. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 3.6.42α,β.

Στην εικόνα 3.6.42β απεικονίζεται σε μεγέθυνση ένα τμήμα της εικόνας υπό κατάτμηση, όπου διακρίνονται τα αντικείμενα που συνθέτουν την εικόνα. Στη συγκεκριμένη φαίνονται κάποιες καμένες εκτάσεις με κόκκινη απόχρωση, ένα τμήμα του αστικού ιστού με γκρί χρώμα, τμήμα της χέρσας γης με γκρι και καφέ, καθώς και μέρος της βλάστησης με πράσινο.

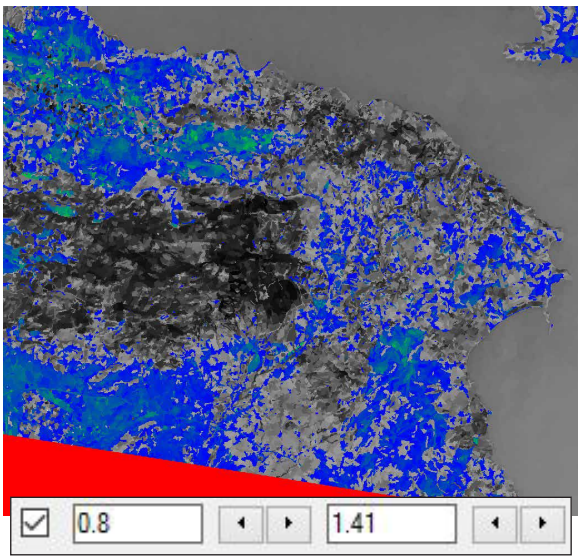


Εικόνα 3.6.42α: Κατάτμηση εικόνας του 1999. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3

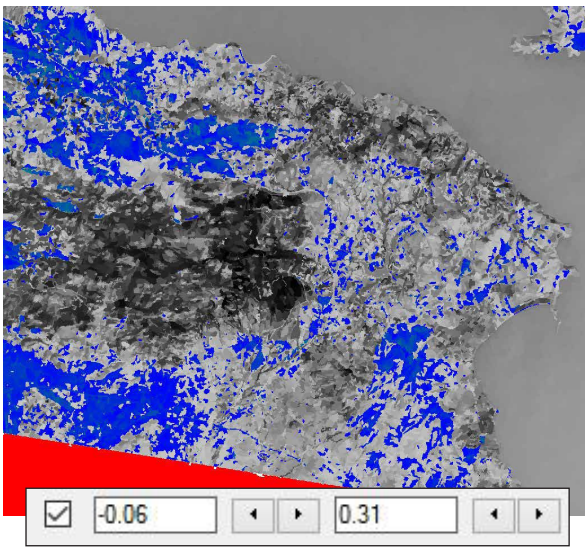
Εικόνα 3.6.42β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.17α: Κατάτμηση εικόνας του 1999. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3

Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση για τα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάδειξη των καμένων περιοχών. Ύστερα από παρατήρηση με τη βοήθεια του *feature view* (εικόνες 3.6.43 - 3.6.47) και διάφορες δοκιμές αρχικά επιλέχθηκαν τα χαρακτηριστικά καθώς και τα όρια των συναρτήσεων, όπως φαίνονται στις εικόνες:

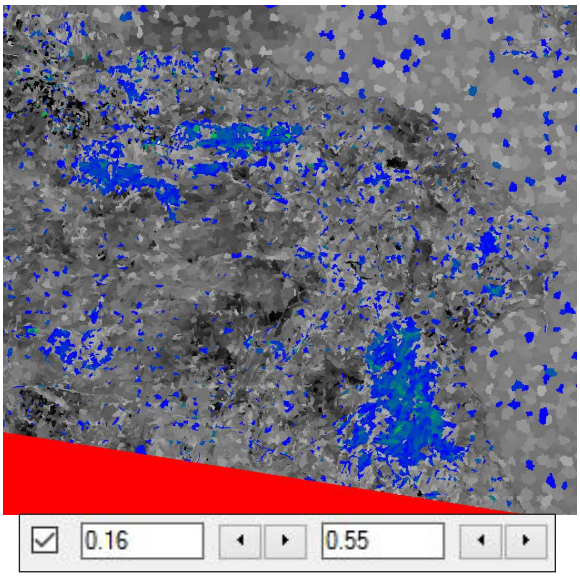
- **Band7/Band4 1999**
- **NBR 1999**
- **NDVI 1989-1999**
- **Mean Layer Value Band 5 (SWIR1)_1989**
- **Mean Layer Value Band 1 (Blue)_1989**



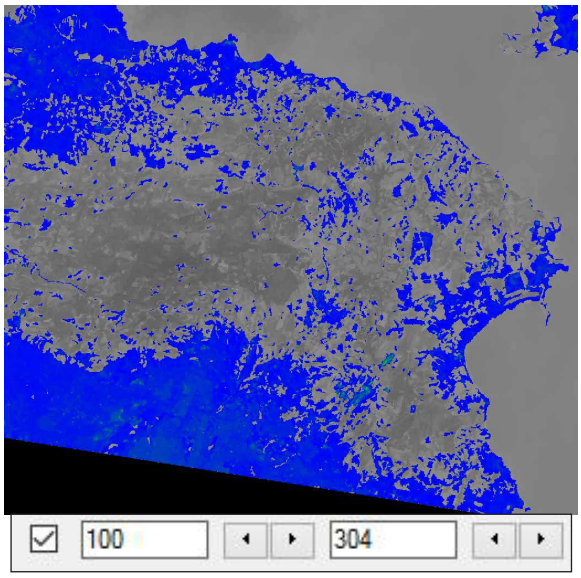
Εικόνα 3.6.43: Feature View: Χαρακτηριστικό SWIR2/NIR 1999



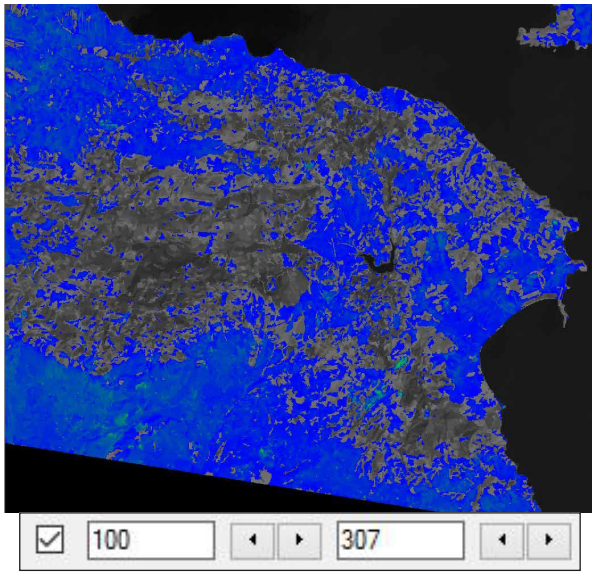
Εικόνα 3.6.44: Feature View: Χαρακτηριστικό NBR 1999



Εικόνα 3.6.45: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1989-1999



Εικόνα 3.6.46: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 1 (Blue), 1989



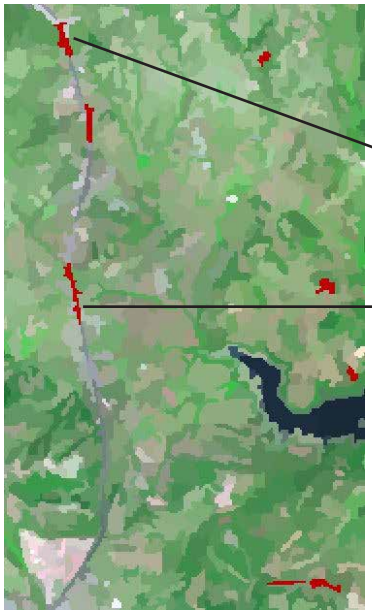
Εικόνα 3.6.47: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 5 (SWIR1), 1989

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση συμετοχής	αριστερό όριο	δεξί όριο
1	**Burnt**	and	Band7/Band4 (SWIR2/NIR)		0.7	0.85
		and	NBR 1999		-0.08	-0.05
		and	NDVI 1989-1999		0.15	0.17
		and	Mean Layer Value Band 1, 1989		100	101
		and	Mean Layer Value Band 5, 1989		100	101

Πίνακας 3.6.13: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (1999)

Έγινε μία πρώτη ταξινόμηση όπου παρατηρήθηκε ότι είχαν συμπεριληφθεί κάποια τμήματα δρόμου (εικ. 3.6.48) τα οποία έγινε προσπάθεια να αφαιρεθούν.

Όπως είχε γίνει και σε προηγούμενη ταξινόμηση (βλ. κεφ. 3.6.3) προκειμένου να αφαιρεθούν αυτές οι περιοχές από την κατηγορία *"burnt"* έγινε χρήση του γεωμετρικού χαρακτηριστικού *(lenght/width)* σε συνδυασμό με την παράμετρο του αριθμού των pixels *(number of pixels)*. Προτού εφαρμοστεί ο αλγόριθμος για την αφαίρεση των αντικειμένων *(remove objects) (εικ. 3.6.49)*, όλα τα επιμέρους αντικείμενα που είχαν ταξινομηθεί στην κατηγορία *"burnt"* ενοποιήθηκαν σε ενιαία αντικείμενα με τον αλγόριθμο *"merge region"*.

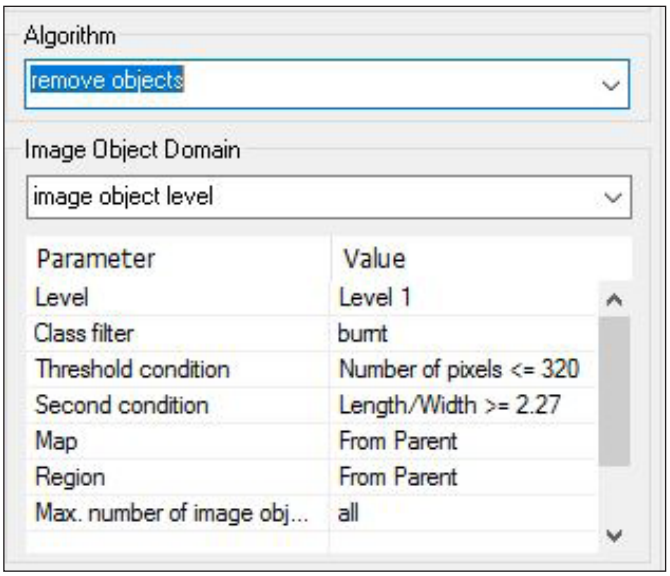


Χαρακτηριστικά αντικειμένων:

Geometry	Extent
Length/Width	2.277
Number of pixels	280

Geometry	Extent
Length/Width	4.151
Number of pixels	320

Εικόνα 3.6.48: Τμήμα δρόμου το οποίο επιθυμείται να αφαιρεθεί από την κατηγορία *"burnt"* (1999)

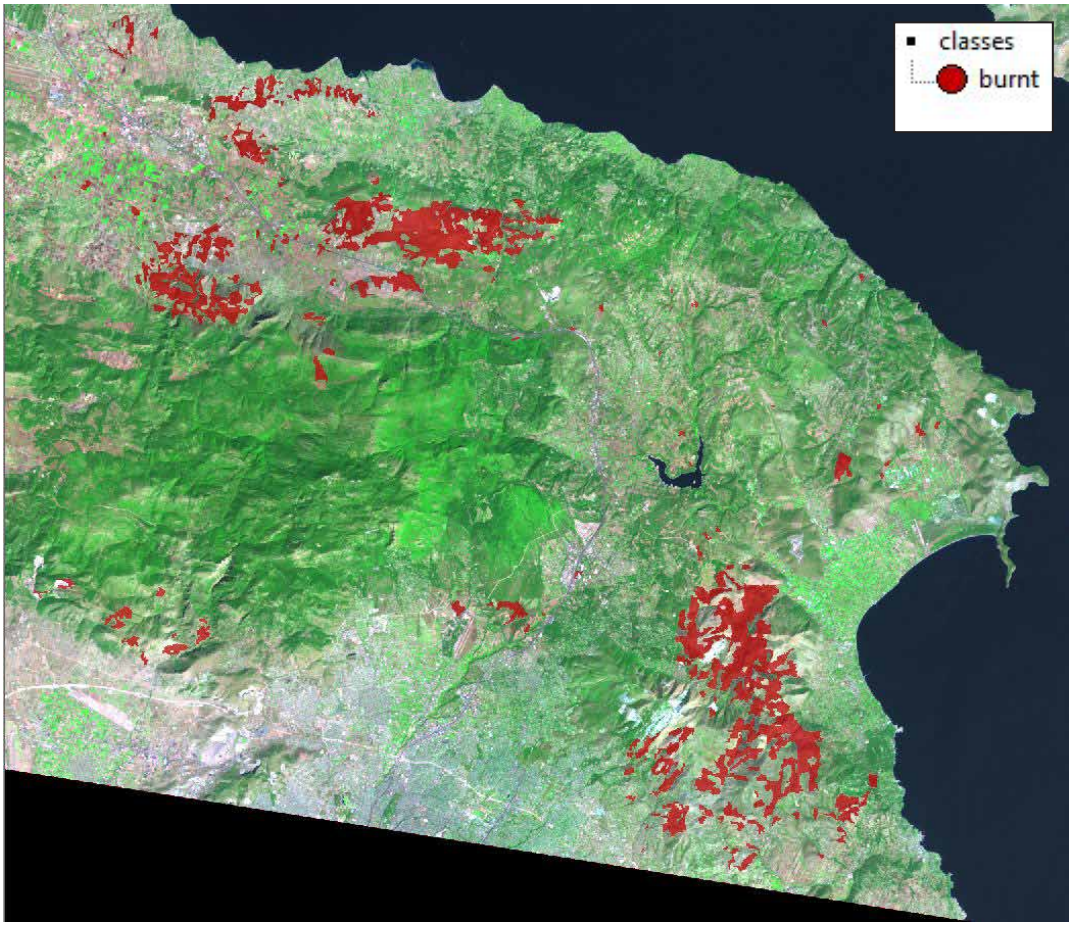


Εικόνα 3.6.49: Αλγόριθμος για την αφαίρεση των αντικειμένων του τμήματος δρόμου από την κατηγορία *"burnt"* (1999)

Το αποτέλεσμα της τελικής ταξινόμησης μετά τη βελτίωση φαίνεται στην εικόνα 3.6.50.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη Μέθοδο Καλύτερης Ταξινόμησης *(Best Classification Result)*, τη Μέθοδο Σταθερότητας Ταξινόμησης *(Classification Stability)* και τη Μέθοδο του Πίνακα Σύγχυσης Βασισμένου σε Δείματα *(Error Matrix Based on Samples)*. Στους πίνακες 3.6.14, 3.6.15, 3.6.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ταξινόμησης.

Οι δύο πρώτες μέθοδοι, *best classification result* και *classification stability*, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με **μέση τιμή** *(mean value)* **0.922**, που είναι πολύ κοντά στη μονάδα. Στον πίνακα της τρίτης μεθόδου, *error matrix based on samples*, φαίνεται ότι τα 11 από τα 12 αντικείμενα που δόθηκαν ως δείγματα έχουν ταξινομηθεί στην τάξη *"burnt"* και η **τιμή της «συνολικής ακρίβειας»** *(overall accuracy)* είναι ίση με **0.916**, δηλαδή πολύ κοντά στην μονάδα γεγονός που υποδεικνύει ότι γενικότερα η ταξινόμηση έγινε με επιτυχία.



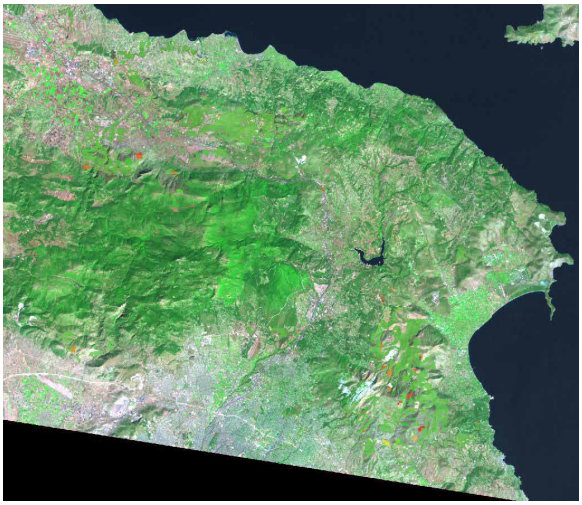
Εικόνα 3.6.50: Τελική βελτιωμένη ταξινόμηση στην κατηγορία “burnt”, 1999.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	890	0.922	0.2044457	0.1021421	1

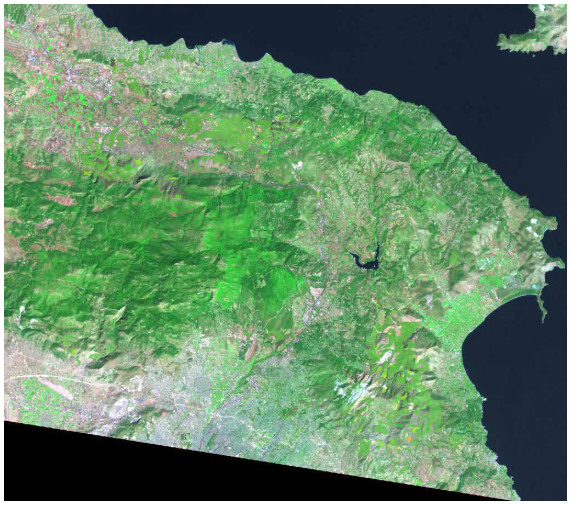
Πίνακας 3.6.14: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (1999)

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	890	0.922	0.2044457	0.1021421	1

Πίνακας 3.6.15: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability)



Εικόνα 3.6.51: Best Classification Result (1999)



Εικόνα 3.6.52: Classification Stability (1999)

Εικόνα 3.6.53: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1999)

User Class \ Sa...	burnt	Sum
Confusion Matrix		
burnt	11	11
unclassified	1	1
Sum	12	
Accuracy		
Producer	0.9166667	
User	1	
Hellden	0.9565217	
Short	0.9166667	
KIA Per Class	0	
Totals		
Overall Accuracy	**0.9166667**	
KIA	**0**	

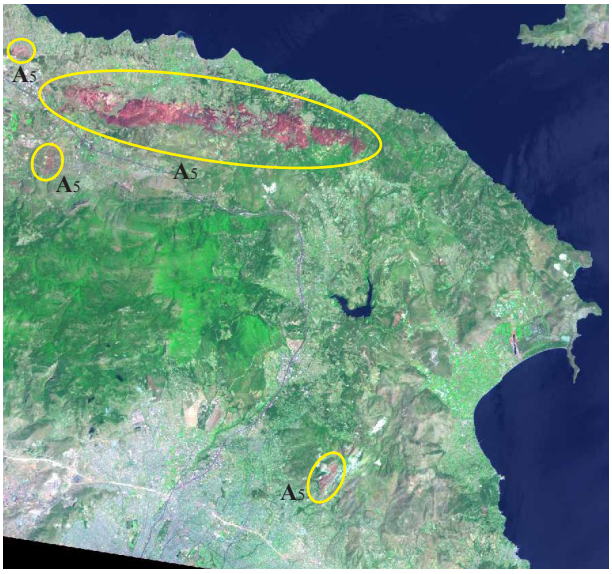
Πίνακας 3.6.16: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1999)

3.6.6 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα του 2001

Για την χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων στην εικόνα του 2001 εισήχθηκαν στο λογισμικό eConition οι εικόνες με ημερομηνίες λήψης **9 Ιουλίου 1989**, πριν τις πυρκαγιές, και **26 Ιουλίου 2001** μετά τις πυρκαγιές.

Επιλέχθηκε το τμήμα της εικόνας που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης και δημιουργήθηκαν τα έγχρωμα σύνθετα **RGB: 7-4-3** *(SWIR2-NIR-Red)* και για τις δύο εικόνες, του 1989 (εικ.3.6.54) και του 2001 (εικ.3.6.55) ώστε να αναδειχθούν οι καμένες εκτάσεις με κόκκινο χρώμα. (κύκλοι Α6)

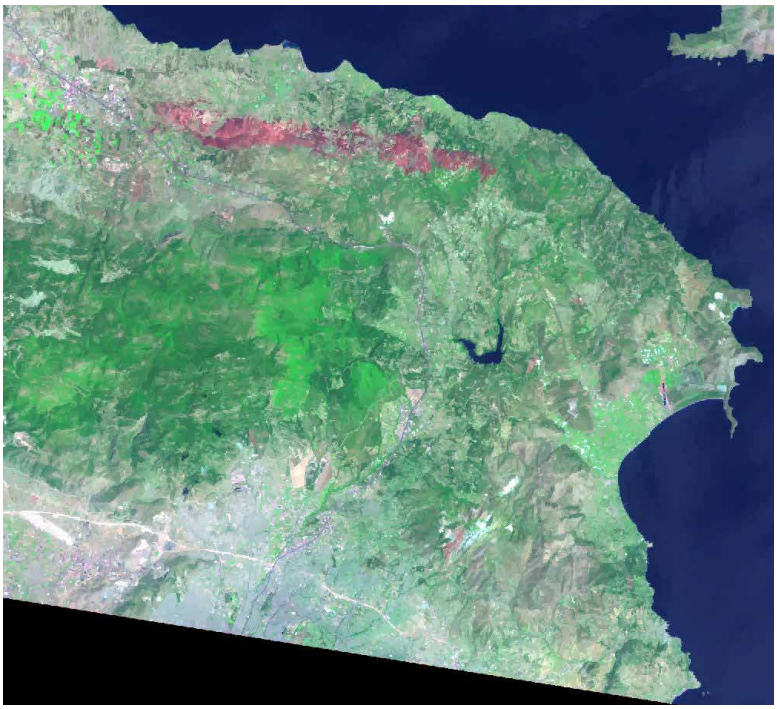
Εικόνα 3.6.54: Ημερομηνία λήψης: 9 Ιουλίου 1989, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3



Εικόνα 3.6.55: Ημερομηνία λήψης: 26 Ιουλίου 2001, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κύκλοι Α5)

Η κατάτμηση της εικόνας περιέλαβε ένα επίπεδο κατάτμησης, **Level 1**. Σε όλα τα κανάλια της εικόνας του 2001 δόθηκε βάρος 1, ενώ σε αυτά της εικόνας του 1989 δόθηκε βάρος 0, ώστε να μην επηρεάσουν τη δημιουργία των αντικειμένων που θα ορίσουν τις καμένες εκτάσεις. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: **Κλίμακα** (scale parameter): 15 και βάρη κριτηρίων κατάτμησης: **Σχήμα** (shape): 0,3 / **Συμπαγότητα** (compactness): 0,5.

Η κλίμακα ορίστηκε μικρή όπως και στις προηγούμενες ταξινομήσεις. Στο σχήμα δόθηκε τιμή 0,3 ώστε να δοθεί λίγο μεγαλύτερο βάρος στην ομοιογένεια του χρώματος (συμπληρωματικές τιμές), ενώ στη συμπαγότητα δόθηκε τιμή 0,5, ώστε να είναι ισοβαρής με την ομαλότητα με την οποία είναι συμπληρωματική. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 3.6.56α,β.



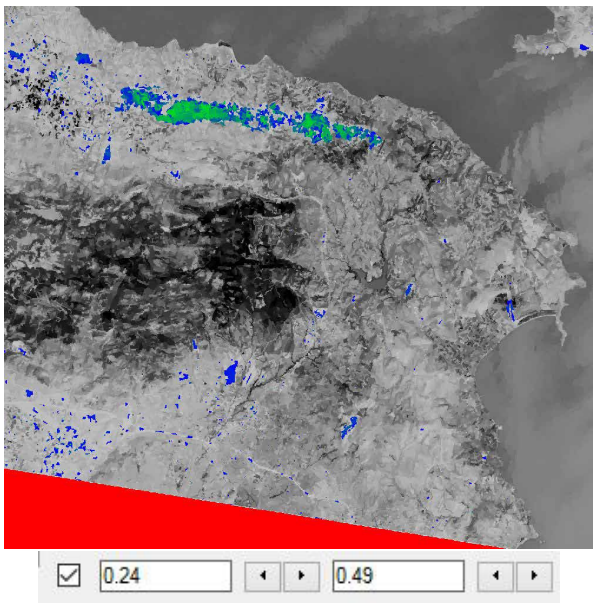
Εικόνα 3.6.56α: Κατάτμηση εικόνας του 2001. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3

Στην εικόνα 3.6.56β απεικονίζεται σε μεγέθυνση ένα τμήμα της εικόνας υπό κατάτμηση, όπου διακρίνονται τα αντικείμενα που συνθέτουν την εικόνα. Φαίνονται οι καμένες εκτάσεις με κόκκινη απόχρωση, ένα τμήμα του αστικού ιστού με γκρί και άσπρο χρώμα, τμήμα της χέρσας γης με γκρι και καφέ, καθώς και μέρος της βλάστησης με πράσινο.

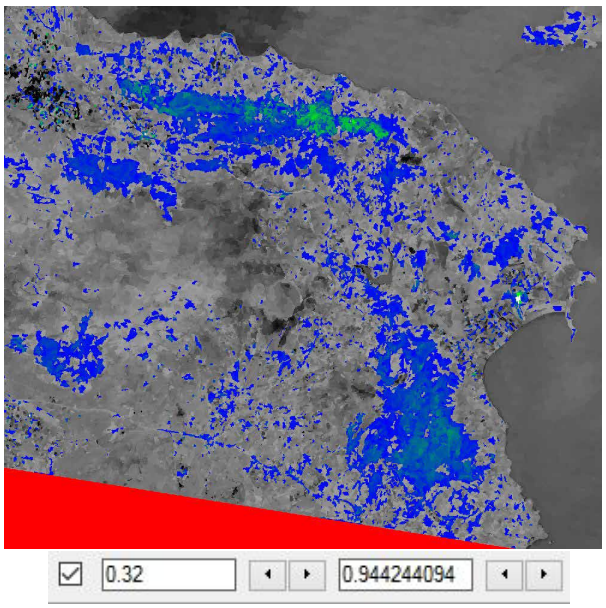
Εικόνα 3.6.56β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.56α: Κατάτμηση εικόνας του 2001. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3

Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη των καμένων περιοχών. Ύστερα από παρατήρηση με τη βοήθεια του *feature view* (εικόνες 3.6.32 - 3.6.35) επιλέχθηκαν τα χαρακτηριστικά καθώς και τα όρια των συναρτήσεων, όπως φαίνονται στις εικόνες:

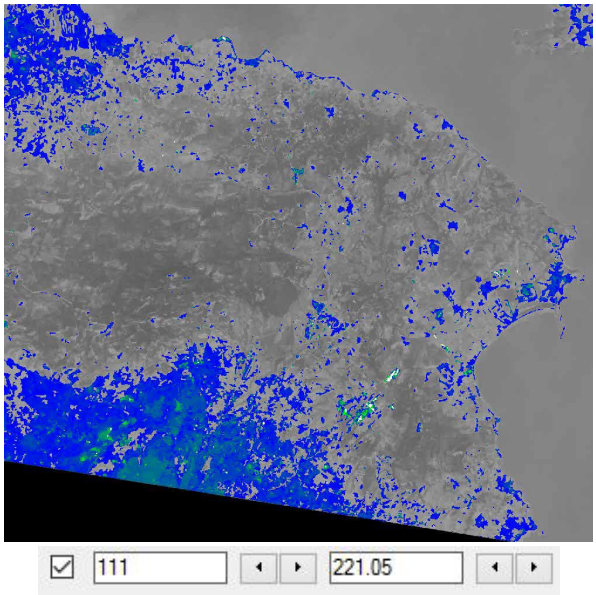
- **NDVI 1989-2001**
- **Mean Layer Value Band 1 (Blue)_1989**
- **NBR 2001**
- **HSI Tranformation Hue RGB:7-4-3_2001**



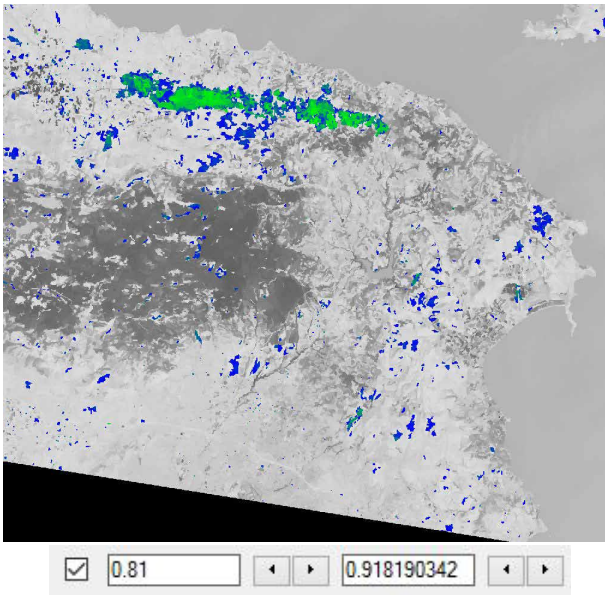
Εικόνα 3.6.57: Feature View: Χαρακτηριστικό NBR 2001



Εικόνα 3.6.58: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1989-2001



Εικόνα 3.6.59: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 1 (Blue), 1989



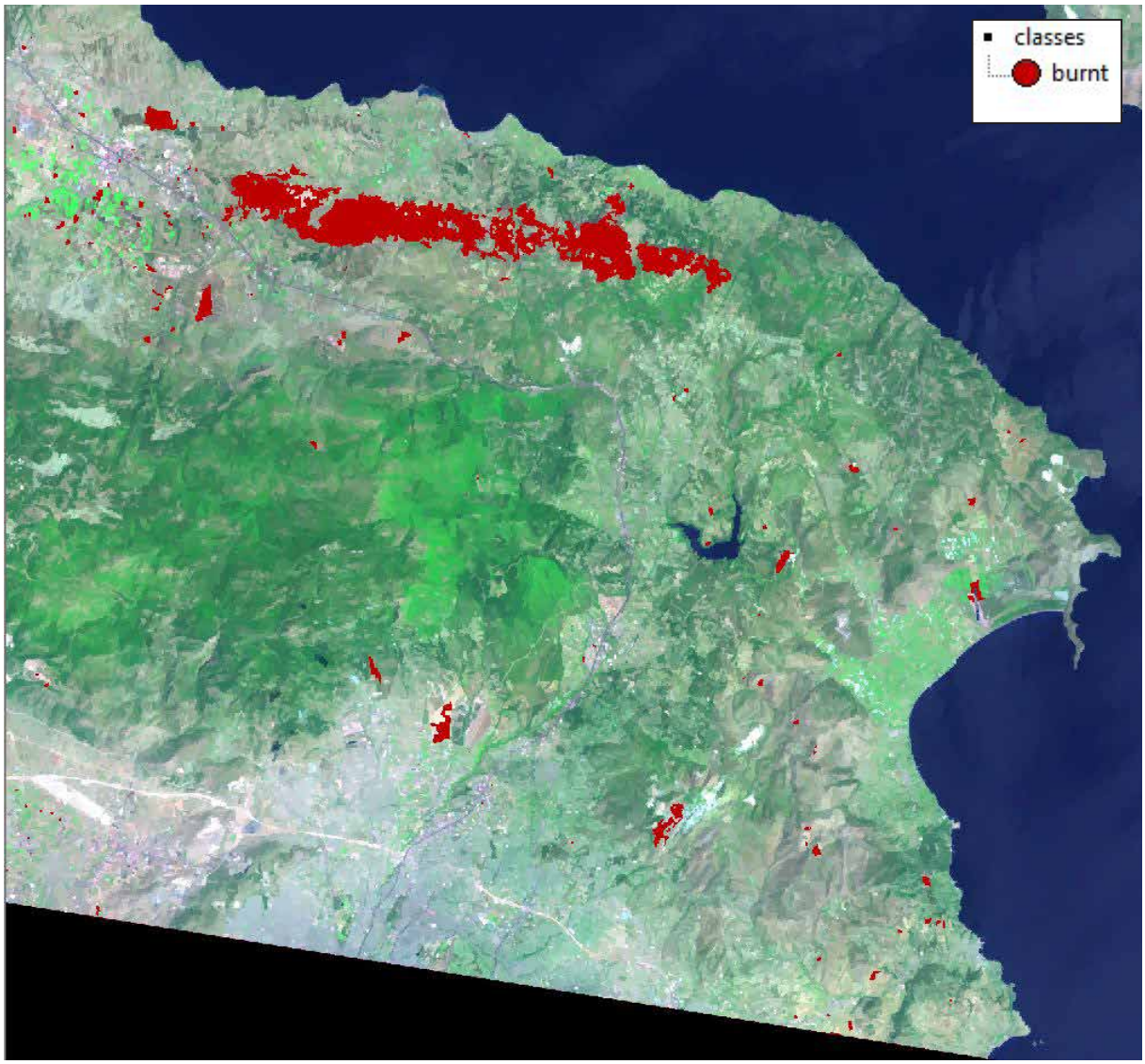
Εικόνα 3.6.60: Feature View: Χαρακτηριστικό HSI Tranformation Hue RGB: 7-4-3_2001

Δημιουργήθηκε η κλάση **"burnt"** στο επίπεδο 1, όπου εισήχθηκαν οι κανόνες. Η συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και τα όρια παρατίθενται στον πίνακα 3.6.17. Ο δείκτης *NRB 2001* αναδεικνύει την καμένη έκταση, ενώ η διαφορά των δεικτών *NDVI 1989-2001* δείχνει τη μεταβολή της βλάστησης μεταξύ των λήψεων πριν την πυρκαγιά και μετά. Το χαρακτηριστικό της μέσης τιμής της φασματικής υπογραφής (*Mean Layer Value*) του καναλιού 1 (*blue*) του 1989 βοήθησε στον αποκλεισμό του κτισμένου περιβάλλοντος και της χέρσας γης, ενώ το χαρακτηριστικό HSI Tranformation Hue RGB:7-4-3 του 2001 βελτίωσε την ταξινόμηση αξιοποιώντας την ιδιότητά των καμένων εκτάσεων να έχουν κόκκινο χρώμα στο έγχρωμο-σύνθετο RGB:7-4-3.

Στην εικόνα 3.6.36 φαίνεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης *(classification)* στην κλάση *burnt*.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση συμετοχής	αριστερό όριο	δεξί όριο
1	Burnt	and	NBR 2001		0.2	0.27
		and	NDVI 1989-2001		0.3	0.33
		and	Mean Layer Value Band 1, 1989		111	112
		and	HSI Tranformation Hue RGB: 7-4-3_2001		0.8	0.82

Πίνακας 3.6.17: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (2001)



Εικόνα 3.6.61: Ταξινόμηση στην κατηγορία "burnt", 2001.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους: *Best Classification Result*, *Classification Stability, Error Matrix Based on Samples* και στους πίνακες 3.6.18, 3.6.19, 3.6.20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Οι δύο πρώτες μέθοδοι, *best classification result* και *classification stability*, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με **μέση τιμή** *(mean value)* **0.865**, που είναι κοντά στη μονάδα. Στον πίνακα της τρίτης μεθόδου, *error matrix based on samples*, φαίνεται ότι και τα 14 από τα 14 αντικείμενα που δόθηκαν ως δείγματα έχουν ταξινομηθεί στην τάξη *"burnt"* και η **τιμή της «συνολικής ακρίβειας»** *(overall accuracy)* είναι ίση με **1**, γεγονός που υποδεικνύει ότι η ταξινόμηση έγινε με επιτυχία.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	800	0.8654043	0.2686271	0.1011504	1

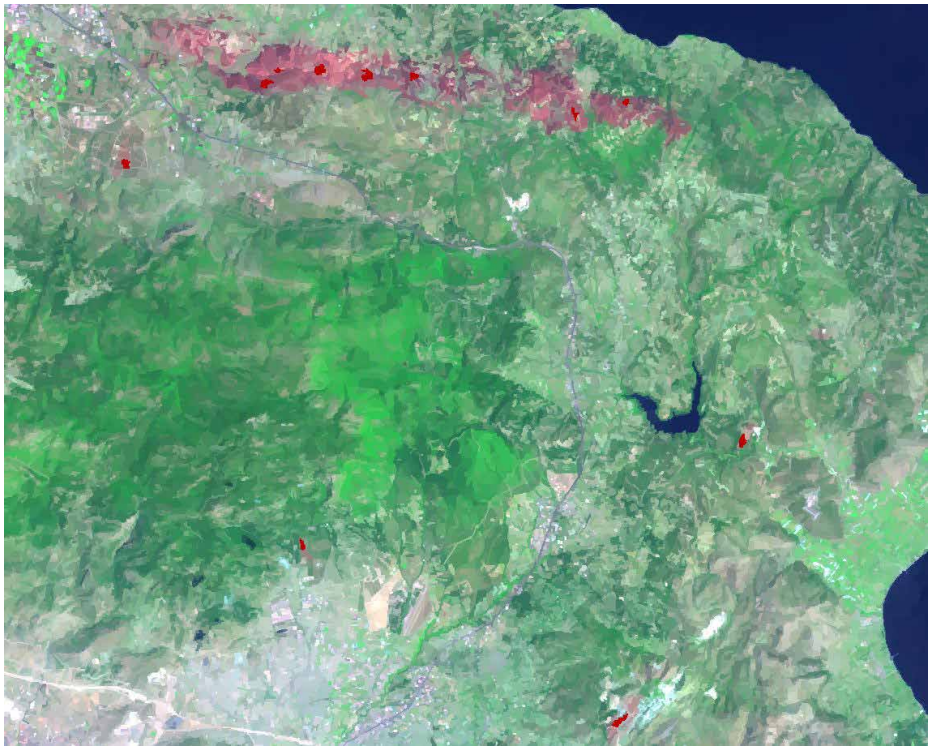
Πίνακας 3.6.18: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (2001)

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	800	0.8654043	0.2686271	0.1011504	1

Πίνακας 3.6.19: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (2001)

Εικόνα 3.6.62: Best Classification Result (2001)

Εικόνα 3.6.63: Classification Stability (2001)



Εικόνα 3.6.64: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2001)

Error Matrix based on Samples

User Class \ Sa...	burnt	Sum
Confusion Matrix		
burnt	14	14
unclassified	0	0
Sum	14	
Accuracy		
Producer	1	
User	1	
Hellden	1	
Short	1	
KIA Per Class	undefined	
Totals		
Overall Accuracy	**1**	
KIA	**undefined**	

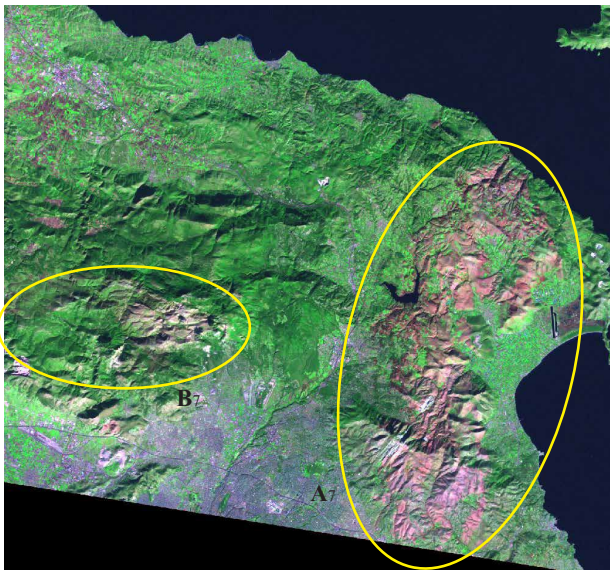
Πίνακας 3.6.20: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2001)

3.6.7 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα του 2009

Για την χαρτοράφηση των καμένων εκτάσεων του 2009 εισήχθηκαν στο λογισμικό eConition οι εικόνες με ημερομηνίες λήψης **9 Ιουλίου 1989**, πριν τις πυρκαγιές, και **29 Νοεμβρίου 2009** μετά τις πυρκαγιές.

Επιλέχθηκε το τμήμα της εικόνας που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης και δημιουργήθηκαν τα έγχρωμα σύνθετα **RGB: 7-4-3** *(SWIR2-NIR-Red)* και για τις δύο εικόνες, του 1989 (εικ.3.6.40) και του 2009 (εικ.3.6.41) ώστε να αναδειχθούν οι καμένες εκτάσεις με κόκκινο χρώμα (κύκλοι A7). Στην εικόνα του 2009 παρατηρείται ότι υπάρχει μία μεγάλη έκταση η οποία φαίνεται ότι έχει πληγεί από πυρκαγιά τα προηγούμενα έτη. Πρόκειται για ένα τμήμα της Πεντέλης το οποίο κάηκε από τις πυρκαγιές του 2007 (κύκλος B7). Λόγω της μη διαθεσιμότητας δορυφορικής εικόνας πιο κοντά στις πυρκαγιές του 2007 έγινε προσπάθεια να χαρτογραφηθεί αυτό το τμήμα, όσο το δυνατόν, μέσω της ταξινόμησης στην εικόνας του 2009.

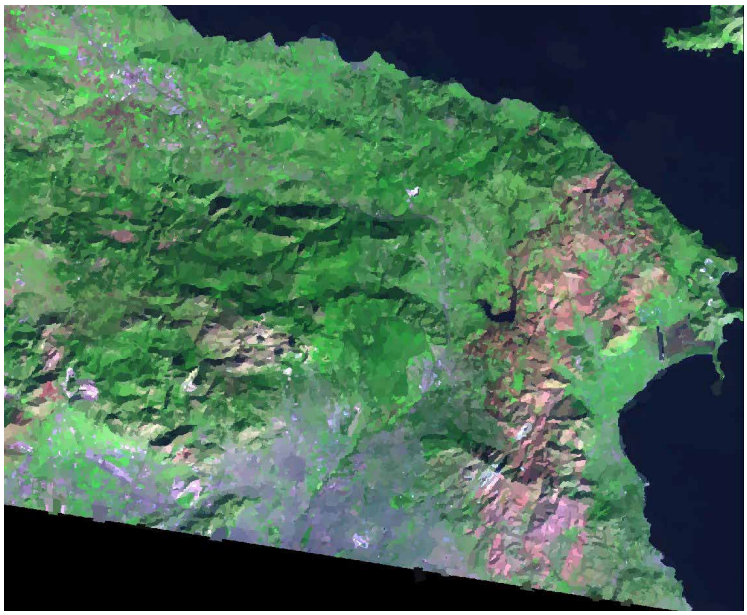
Εικόνα 3.6.65: Ημερομηνία λήψης: 9 Ιουλίου 1989, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3



Εικόνα 3.6.66: Ημερομηνία λήψης: 23 Σεπτεμβρίου 2009, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κύκλοι A5)

Η κατάτμηση της εικόνας περιέλαβε ένα επίπεδο κατάτμησης, **Level 1**. Σε όλα τα κανάλια της εικόνας του 2009 δόθηκε βάρος 1, ενώ σε αυτά της εικόνας του 1989 δόθηκε βάρος 0, ώστε να μην επηρεάσουν τη δημιουργία των αντικειμένων που θα ορίσουν τις καμένες εκτάσεις. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: **Κλίμακα** (scale parameter): 20 και βάρη κριτηρίων κατάτμησης: **Σχήμα** (shape): 0,3 / **Συμπαγότητα** (compactness): 0,5.

Η κλίμακα ορίστηκε μικρή όπως και στις προηγούμενες ταξινομήσεις. Στο σχήμα δόθηκε τιμή 0,3 ώστε να δοθεί λίγο μεγαλύτερο βάρος στην ομοιογένεια του χρώματος (συμπληρωματικές τιμές), ενώ στη συμπαγότητα δόθηκε τιμή 0,5, ώστε να είναι ισοβαρής με την ομαλότητα με την οποία είναι συμπληρωματική. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 3.6.67α,β.



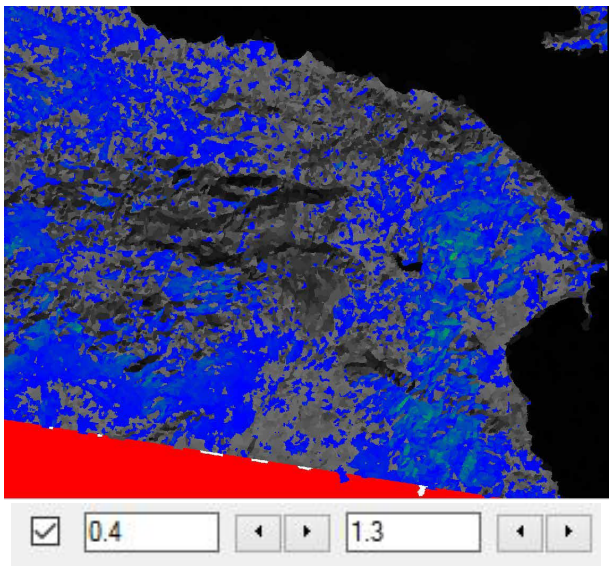
Εικόνα 3.6.67α: Κατάτμηση εικόνας του 2009. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3

Στην εικόνα 3.6.67β απεικονίζεται σε μεγέθυνση ένα τμήμα της εικόνας υπό κατάτμηση, όπου διακρίνονται τα αντικείμενα που συνθέτουν την εικόνα. Φαίνονται οι καμένες εκτάσεις με κόκκινη απόχρωση, ένα τμήμα του αστικού ιστού με ανοιχτό μοβ χρώμα, καθώς και μέρος της βλάστησης με πράσινο.

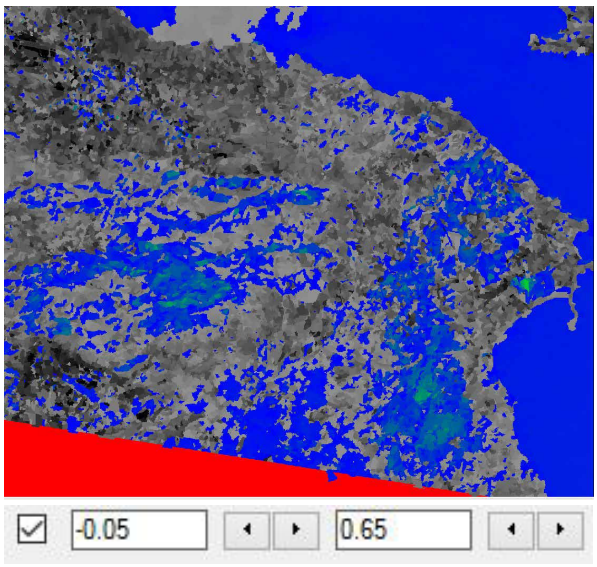
Εικόνα 3.6.67β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.17α: Κατάτμηση εικόνας του 2009. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3

Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη των καμένων περιοχών. Ύστερα από παρατήρηση με τη βοήθεια του *feature view* (εικόνες 3.6.32 - 3.6.35) επιλέχθηκαν τα χαρακτηριστικά καθώς και τα όρια των συναρτήσεων, όπως φαίνονται στις εικόνες:

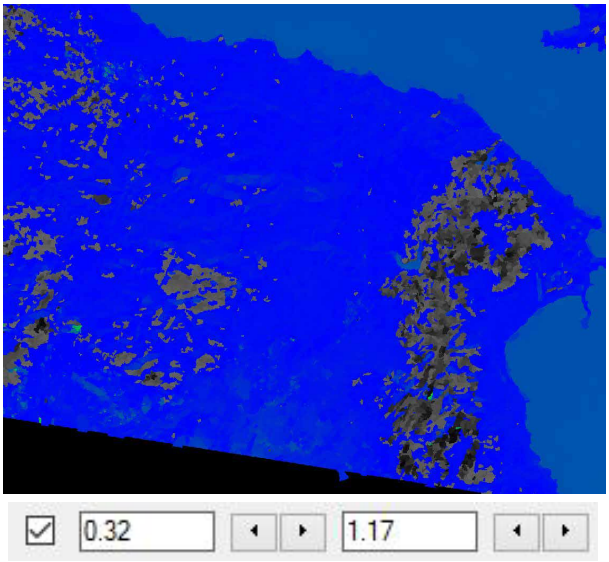
- **NDVI 1989-2009**
- **Band SWIR2/ Band Blue 2009**
- **HSI Tranformation Hue RGB:7-4-3_2009**



Εικόνα 3.6.68: Feature View: Χαρακτηριστικό SWIR2/Blue 2009



Εικόνα 3.6.69: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1989-2009



Εικόνα 3.6.70: Feature View: Χαρακτηριστικό HSI Tranformation Hue RGB: 7-4-3_2009

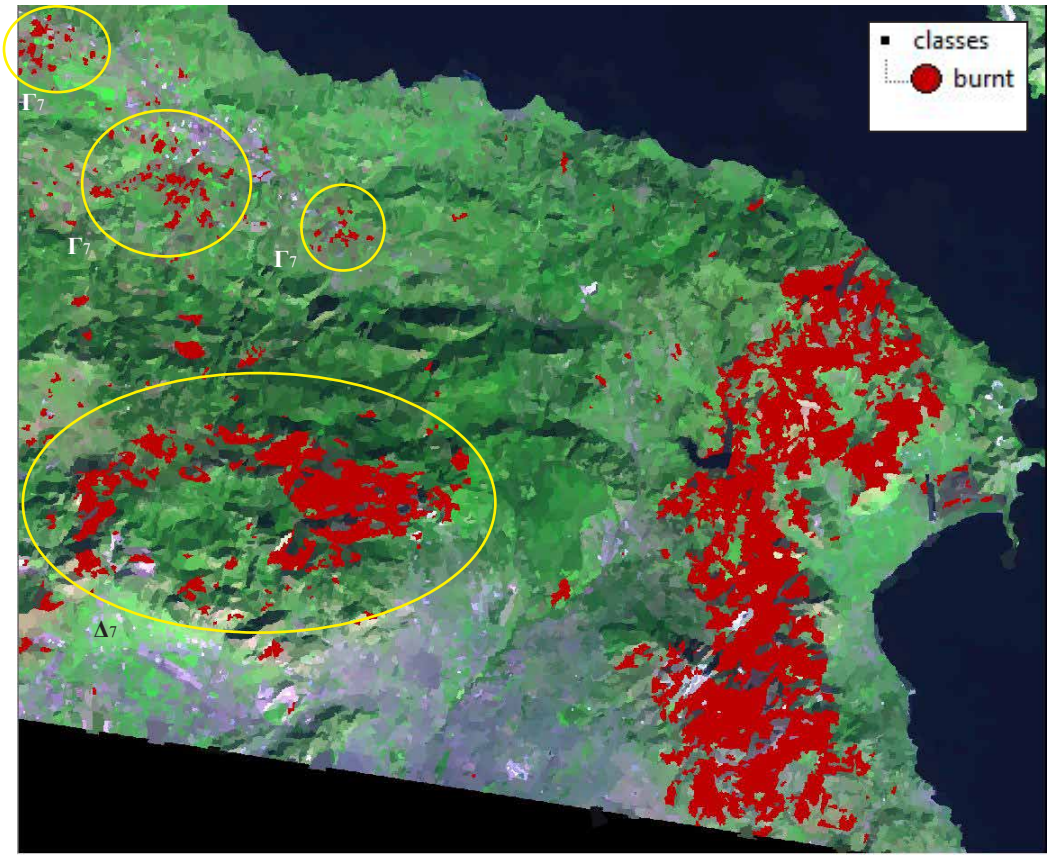
Δημιουργήθηκε η κλάση **"burnt"** στο επίπεδο 1, όπου εισήχθηκαν οι κανόνες. Η συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και τα όρια παρατίθενται στον πίνακα 3.6.21. Στην εικόνα 3.6.36 φαίνεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης *(classification)* στην κλάση *burnt*.

Ο δείκτης *Band SWIR2/ Band Blue 2009* αναδεικνύει την καμένη έκταση, ενώ η διαφορά των δεικτών *NDVI 1989-2009* δείχνει τη μεταβολή της βλάστησης μεταξύ των λήψεων πριν τις πυρκαγιές και μετά. Το χαρακτηριστικό HSI Tranformation Hue RGB:7-4-3 του 2009 βελτίωσε την ταξινόμηση αξιοποιώντας την ιδιότητά των καμένων εκτάσεων να έχουν κόκκινο χρώμα στο έγχρωμο-σύνθετο RGB:7-4-3.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση συμετοχής	αριστερό όριο	δεξί όριο
1	Burnt	and	Band7/Band1 (SWIR2/Blue) 2009		0.3	0.5
		and	NDVI 1989-2009		-0.1	-0.02
		and	HSI Tranformation Hue RGB: 7-4-3_2009		0.32	0.33

Πίνακας 3.6.21: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (2009)

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 3.6.71. Παρατηρείται ότι στην κατηγορία *burnt* έχει συμπεριληφθεί σε μεγάλο βαθμό το κομμάτι της έκτασης που είχε καεί το 2007 (κύκλος Δ7). Ωστόσο για να επιτευχθεί αυτό, τα όρια των συναρτήσεων συμμετοχής των χαρακτηριστικών που καθόρισαν το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης ορίστηκαν πιο διευρυμένα απ' ότι αν στόχος ήταν αποκλειστικά η χαρτογράφηση των καμένων του 2009, οδηγώντας στην ταξινόμηση και κάποιων άλλων τμημάτων που είτε αποτελούν επίσης παλαιότερα καμένες εκτάσεις, είτε καμένα χωράφια ή οφείλονται σε σφάλμα της ταξινόμησης. (κύκλοι Γ7)



Εικόνα 3.6.71: Ταξινόμηση στην κατηγορία "burnt", 2009.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους: *Best Classification Result*, *Classification Stability, Error Matrix Based on Samples* και στους πίνακες 3.6.22, 3.6.23, 3.6.24 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

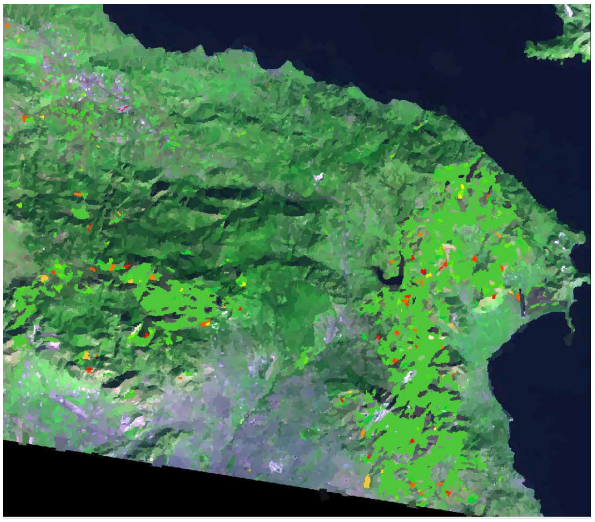
Οι δύο πρώτες μέθοδοι, *best classification result* και *classification stability*, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με **μέση τιμή** *(mean value)* **0.86**, που είναι κοντά στη μονάδα. Στον πίνακα της τρίτης μεθόδου, *error matrix based on samples*, φαίνεται ότι και τα 24 από τα 24 αντικείμενα που δόθηκαν ως δείγματα έχουν ταξινομηθεί στην τάξη *"burnt"* και η **τιμή της «συνολικής ακρίβειας»** *(overall accuracy)* είναι ίση με **1**, γεγονός που υποδεικνύει ότι η ταξινόμηση έγινε με επιτυχία.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	1889	0.863	0.2533632	0.1005033	1

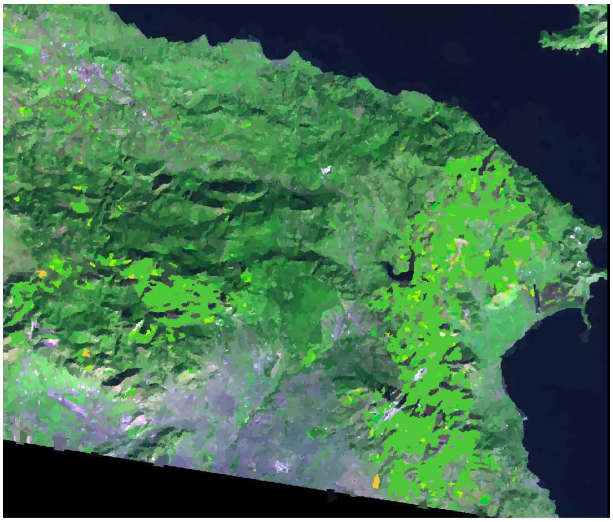
Πίνακας 3.6.22: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (2009)

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
burnt	1889	0.863	0.2533632	0.1005033	1

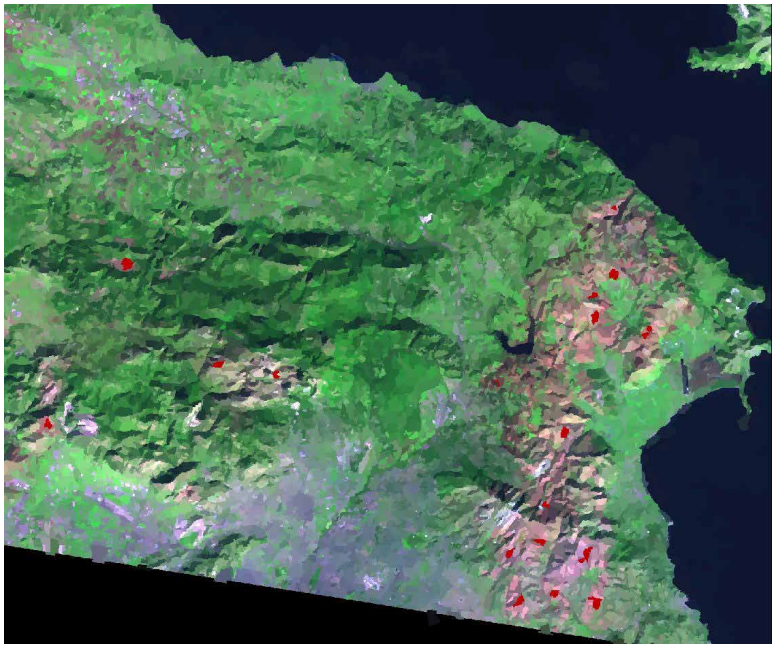
Πίνακας 3.6.23: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (2009)



Εικόνα 3.6.72: Best Classification Result (2009)



Εικόνα 3.6.73: Classification Stability (2009)



Εικόνα 3.6.74: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2009)

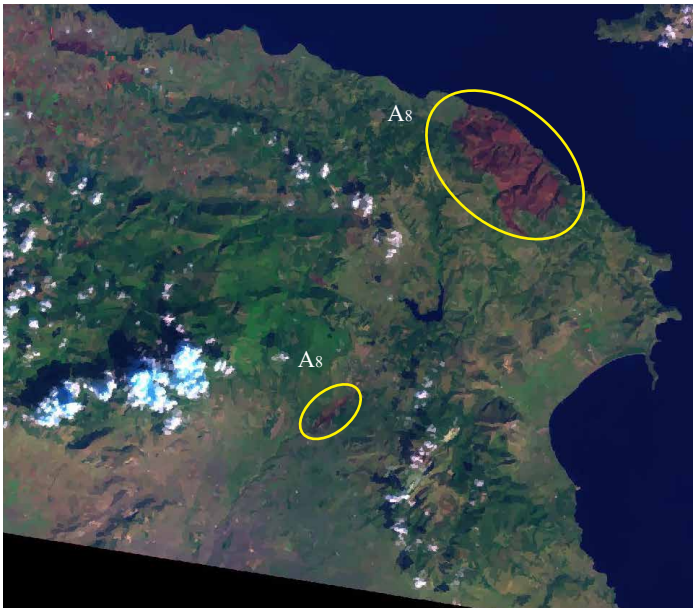
Error Matrix based on Samples

User Class \ Sa...	burnt	Sum
Confusion Matrix		
burnt	24	24
unclassified	0	0
Sum	24	
Accuracy		
Producer	1	
User	1	
Hellden	1	
Short	1	
KIA Per Class	undefined	
Totals		
Overall Accuracy	**1**	
KIA	**undefined**	

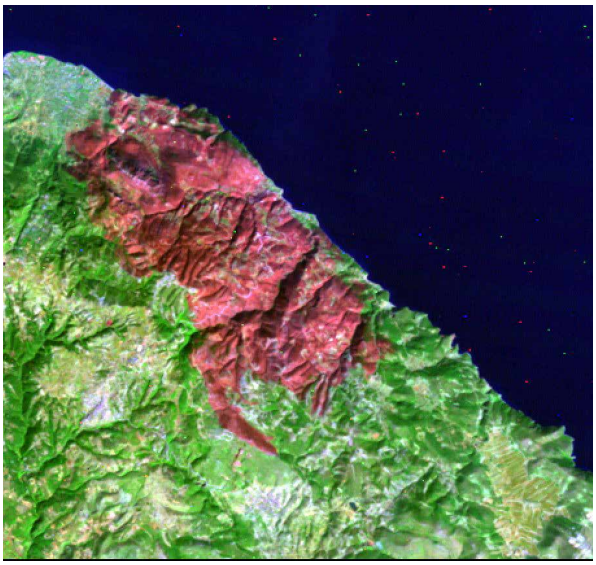
Πίνακας 3.6.24: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2009)

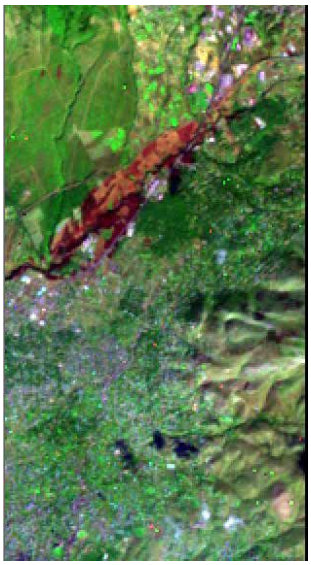
3.6.8 Καμένες εκτάσεις στη δορυφορική εικόνα του 1984

Με αντίστοιχο τρόπο χαρτογραφήθηκαν οι καμένες περιοχές στη δορυφορική εικόνα του 1984, με ημερομηνία λήψης **23 Οκτωβρίου 1984**. Η μόνη διαφορά είναι ότι δεδομένου ότι δεν υπήρχε διαθέσιμη προγενέστερη εικόνα, ώστε να εφαρμοστεί ο δείκτης της διαφοράς των NDVI, η διαδικασίας της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης έγινε για διευκόλυνση σε δύο μεμονωμένα τμήματα της εικόνας, οπού εντοπίστηκαν οι καμένες εκτάσεις. Στην εικόνα 3.6.75 παρουσιάζεται ολόκληρη η περιοχή μελέτης, σε έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 και σε κύκλους (A8) οι καμένες εκτάσεις.



Εικόνα 3.6.75: Ημερομηνία λήψης: 23 Οκτωβρίου 1984, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1





Εικόνες 3.6.76α,β: Ημερομηνία λήψης: 23 Οκτωβρίου 1984, έγχρωμα σύνθετα RGB: 7-4-1

Η κατάτμηση των επιμέρους εικόνων (3.6.76α,β) περιέλαβε ένα επίπεδο κατάτμησης, **Level 1**. Οι παράμετρι της κατάτμησης και στις δύο περιπτώσεις ορόστηκαν ως εξής: **Κλίμακα** (scale parameter): 10 και βάρη κριτηρίων κατάτμησης: **Σχήμα** (shape): 0,1 / **Συμπαγότητα** (compactness): 0,5.

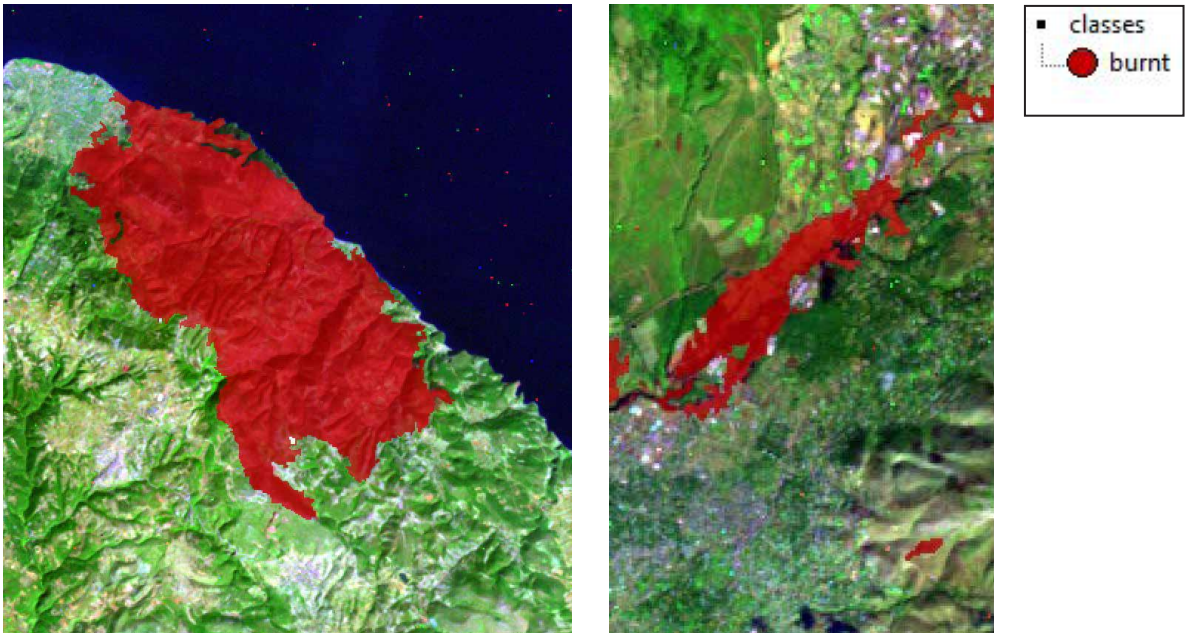
Στους πίνακες 3.6.25α,β παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά καθώς και τα όρια των συναρτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν, και στις εικόνες 3.6.77α,β τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων στην κλάση *burnt*.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση συμετοχής	αριστερό όριο	δεξί όριο
1	Burnt	and	NBR		0.53	0.57
		and	NBR		-0.18	-0.14
		and	HSI Tranformation Hue RGB: 7-4-1		0.61	0.63

Πίνακας 3.6.25α: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (1984)

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση συμετοχής	αριστερό όριο	δεξί όριο
1	Burnt	and	NBR		0.53	0.57
		and	NBR		-0.18	-0.14
		and	HSI Tranformation Hue RGB: 7-4-1		0.61	0.63
		and	Mean Layer Value Band 1		77.52	77.54

Πίνακας 3.6.25β: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (1984)



Εικόνες 3.6.77α,β: Ταξινομήσεις στην κατηγορία "burnt", 1984.

3.7 Αντικειμενοστρεφής ανάλυση δορυφορικών εικόνων στο eCognition. Ανίχνευση δομημένων περιοχών το έτος 2016

Σε αυτό το στάδιο επιχειρείται η ανίχνευση του δομημένου περιβάλλοντος σε πρόσφατη δορυφορική εικόνα Landsat 8, με ημερομηνία λήψης **23 Απριλίου 2016**. Το γεγονός ότι η συγκεκριμένη εικόνα είναι Landsat 8 δίνει τη δυνατότητα η ανίχνευση του κτισμένου περιβάλλοντος να γίνει με αρκετά μεγάλη ακρίβεια, καθότι η εικόνα έχει μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα (στα 15m).

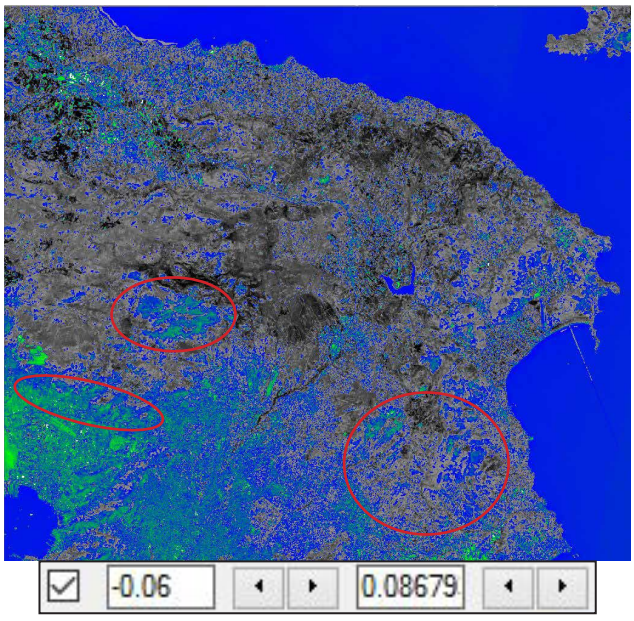
Εισήχθηκαν τα φασματικά κανάλια Blue, Green, Red, Near Infrared (NIR), Short-Wave Infrared-1 (SWIR-1), Short-Wave Infrared-2 (SWIR-2), Panchromatic (PAN). Επιλέχθηκε το τμήμα της εικόνας που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης και δημιουργήθηκε το έγχρωμο σύνθετο **7-5-2 (SWIR2-NIR-Blue)** (εικ.3.7.1). Το κτισμένο εμφανίζεται με ανοιχτή απόχρωση του μόβ και με άσπρο χρώμα.

Εικόνα 3.7.1: Ημερομηνία λήψης: 23 Απριλίου 2016, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-5-2

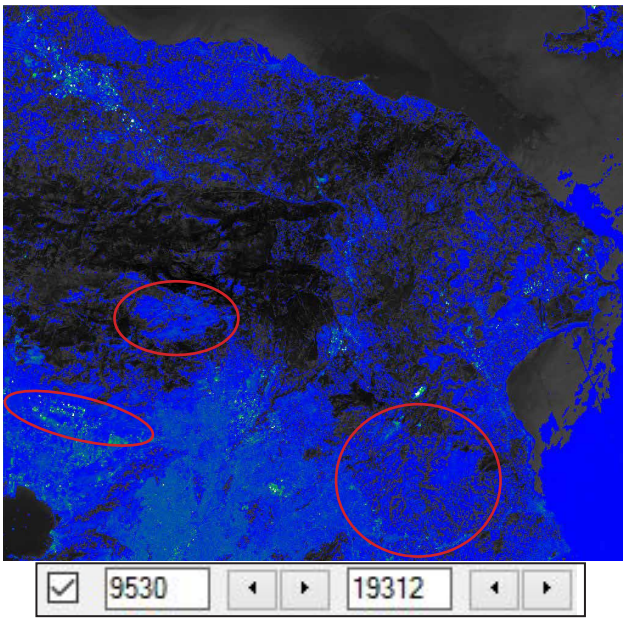
Η κατάτμηση της εικόνας περιέλαβε δύο επίπεδα κατάτμησης. Στο πρώτο επίπεδο ορίστηκε σχετικά μεγάλη κλίμακα για τη δημιουργία μεγάλων αντικειμένων. Το επίπεδο αυτό χρησίμευσε για την εξαγωγή των περιοχών του γυμνού εδάφους και της αραιής βλάστησης, οι οποίες συγχέονταν σε μεγάλο βαθμό με το δομημένο περιβάλλον και δεν θα ήταν εφικτό να διαχωριστούν μόνο με τη χρήση κανόνων. Στο επίπεδο αυτό, δηλαδή, οι κλάσεις που δόθηκε έμφαση ώστε να είναι ορθά ταξινομημένες ήταν οι κλάσεις *bare ground* και *low vegetation* οι οποίες στη συνέχεια αποκλείστηκαν από την τελική κατηγορία *urban2* (αστικό/ δομημένο περιβάλλον) η οποία δημιουργήθηκε στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης. Στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης ορίστηκε αρκετά μικρή κλίμακα ώστε να μπορέσουν να ανιχνευτούν και οι περιοχές πολύ αραιής δόμησης, σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και τα μεμονωμένα κτίσματα.

Δοκιμές

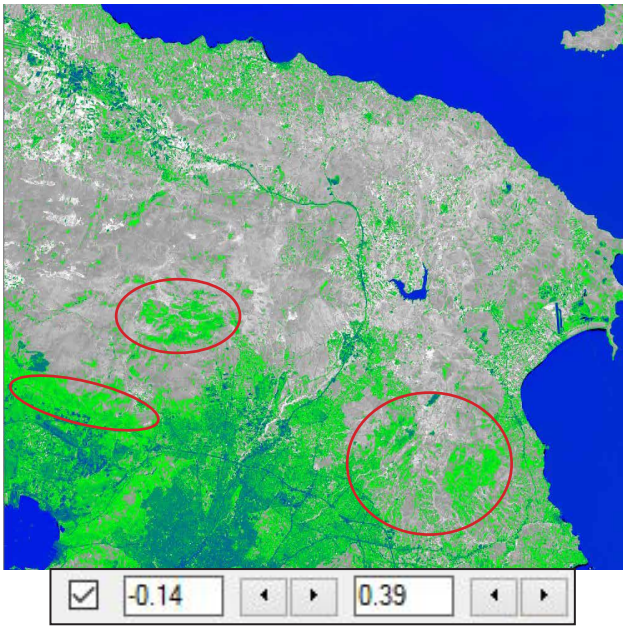
Για να εξηγηθεί καλύτερα ο λόγος για τον οποίο χρειάστηκε να ακολουθηθεί η μέθοδος με τα δύο επίπεδα κατάτμησης παρατίθενται ορισμένες λήψεις από δοκιμές που έγιναν στο feature view (στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης, το οποίο περιγράφεται παρακάτω) για κάποια χαρακτηριστικά με τα όριά τους, που θα μπορούσαν να αναδείξουν τις δομημένες περιοχές. Πρόκειται για τα χαρακτηριστικά ***IBI (Intelligent Building Index), Mean Value of Band Blue, SAVI (Soil-adjusted Vegetation Index), NDVI***. Παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχουν περιοχές χέρσας γης και αραιής βλάστησης (κόκκινοι κύκλοι) που συγχέονται με το κτισμένο. Συνεπώς από μόνος του ο συνδυασμός των κανόνων αυτών δεν θα έδινε ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Έτσι, έγινε προσπάθεια να αποκλειστούν οι περιοχές αυτές με τη δημιουργία του πρώτου επιπέδου, που περιλαμβάνει μεγαλύτερα αντικείμενα, με τον ορισμό δειγμάτων και την εφαρμογή της *hierarcichal classification*.



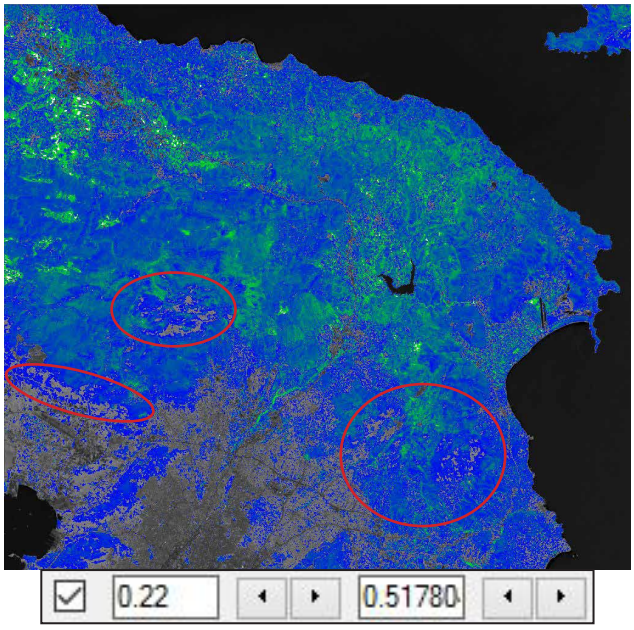
Εικόνα 3.7.2: Feature View: Δείκτης IBI, 2016



Εικόνα 3.7.3: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 2 (Blue), 2016

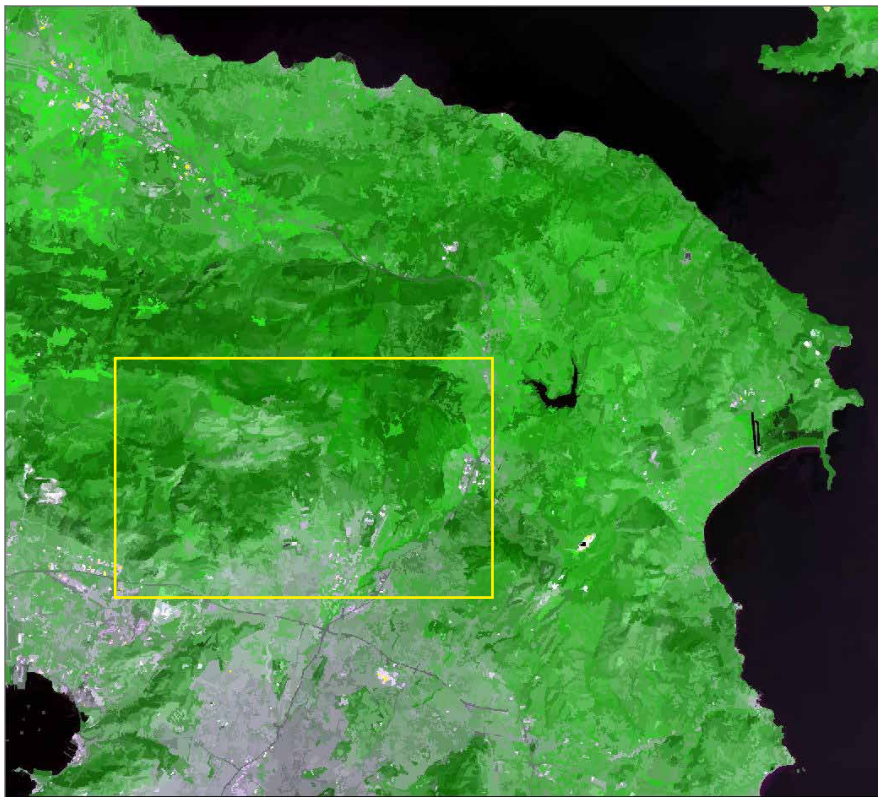


Εικόνα 3.7.4: Feature View: Δείκτης SAVI, 2016



Εικόνα 3.7.5: Feature View: Δείκτης NDVI, 2016

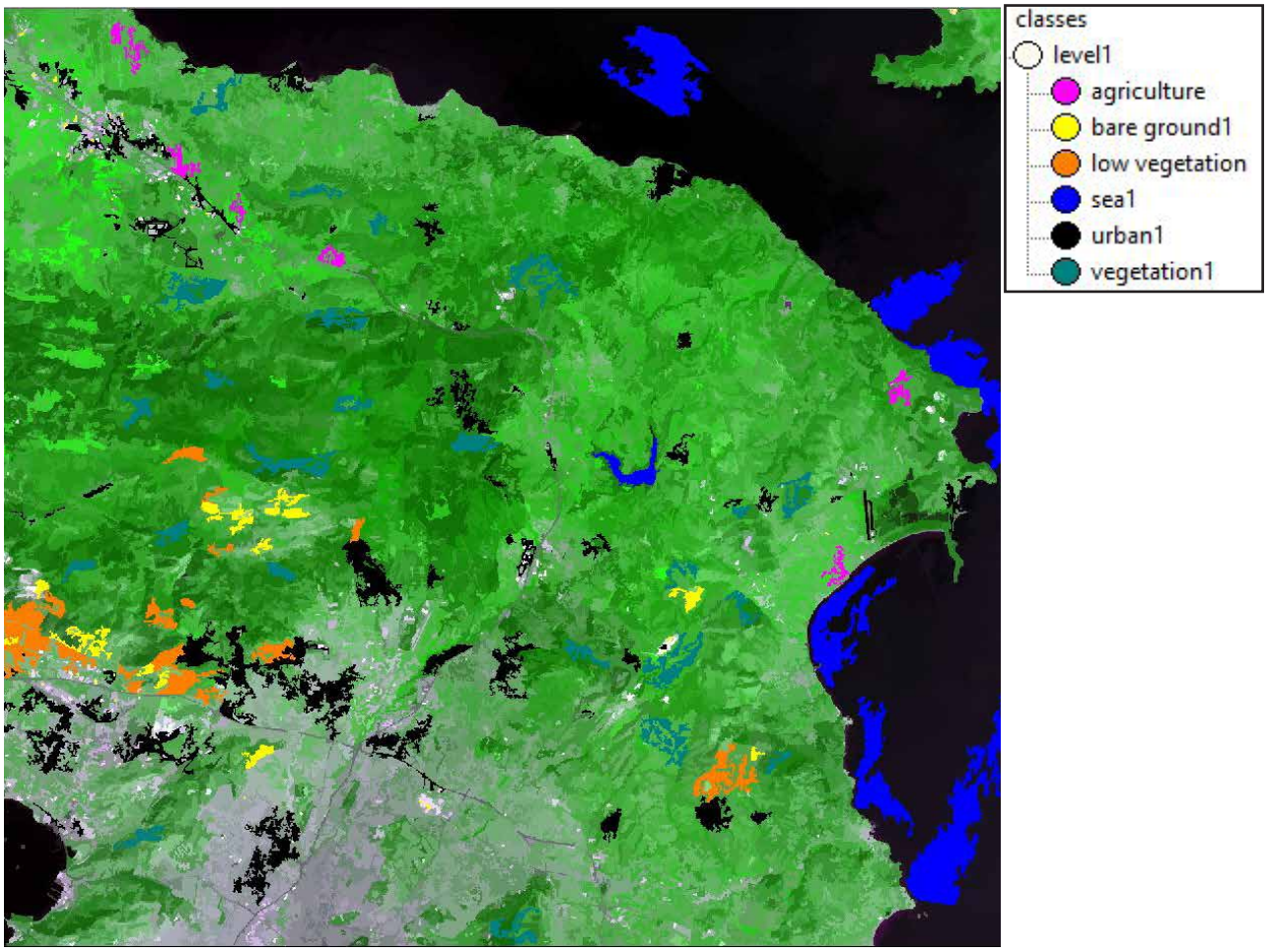
Για το πρώτο επίπεδο, **Level 1**, ορίστηκαν οι παράμετροι: **Κλίμακα** (scale parameter) : 300 και βάρη κριτηρίων κατάτμησης: **Σχήμα** (shape): 0,1 / **Συμπαγότητα** (compactness): 0,5 (εικ 3.7.2). Η κλίμακα ορίστηκε σχετικά μεγάλη διότι στόχος είναι ο ορισμός ευρύτερων περιοχών ανάλογα με τις χρήσεις γης. Στο σχήμα δόθηκε μικρή τιμή ώστε να δοθεί μεγαλύτερο βάρος στην ομοιογένεια του χρώματος (το σχήμα και το χρώμα έχουν συμπληρωματικές τιμές με άθροισμα τη μονάδα), ενώ στη συμπαγότητα δόθηκε τιμή 0,5, ώστε να είναι ισοβαρής με την ομαλότητα με την οποία είναι συμπληρωματική. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 3.7.6α,β.



Εικόνα 3.7.6α: Κατάτμηση *(level 1)* δορυφορικής εικόνας του 2016. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-5-2

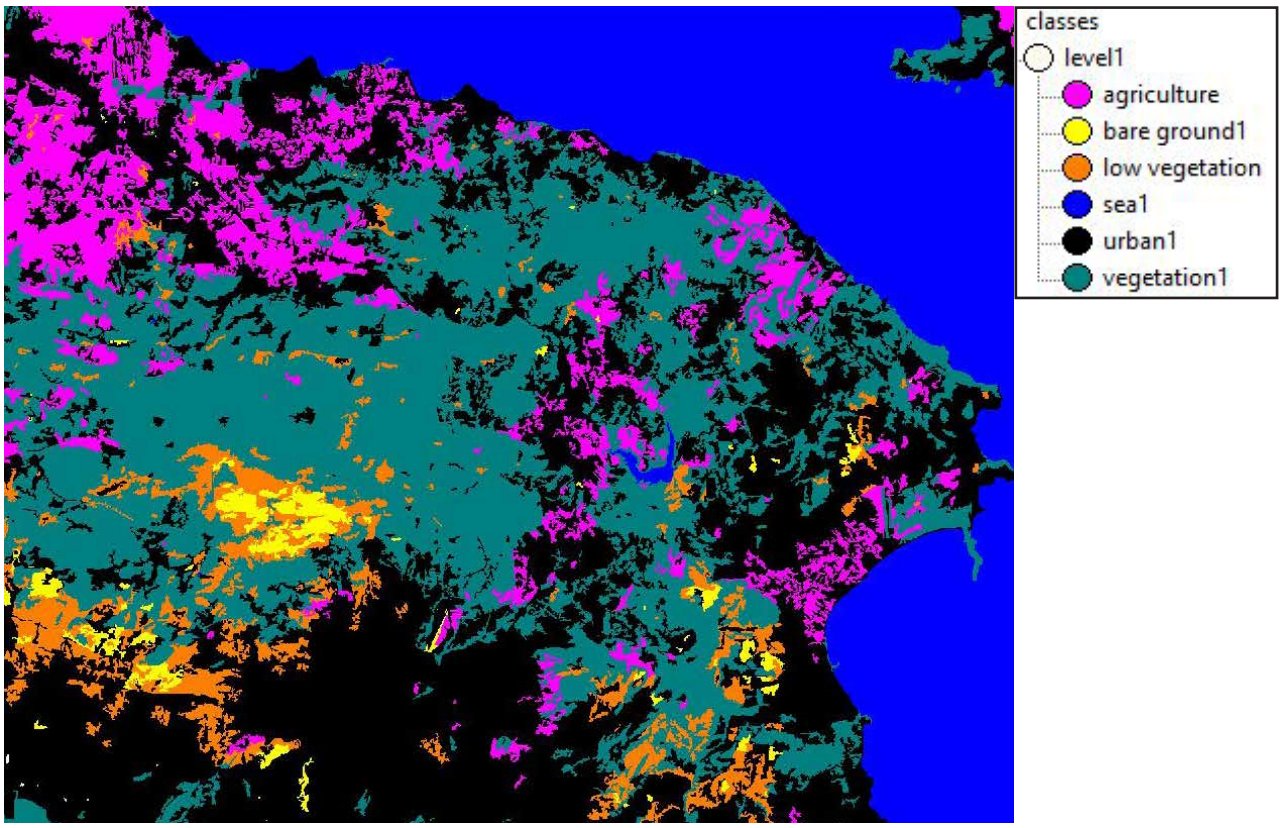
Εικόνα 3.7.6β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.7.6α: Κατάτμηση *(level 1)* δορυφορικής εικόνας του 2016. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-5-2

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες αυτού του επιπέδου και έγινε η επιλογή των δειγμάτων *(Samples)* (εικ. 3.7.7), ώστε να πραματοποιηθεί η **hierarchical classification**. Οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν είναι: **bare ground** (γυμνό έδαφος), **low vegetation** (χαμηλή βλάστηση), **vegetation** (βλάστηση), **agriculture** (καλλιέργειες), **water** (υδάτινες επιφάνειες), **urban** (κτισμένο περιβάλλον).



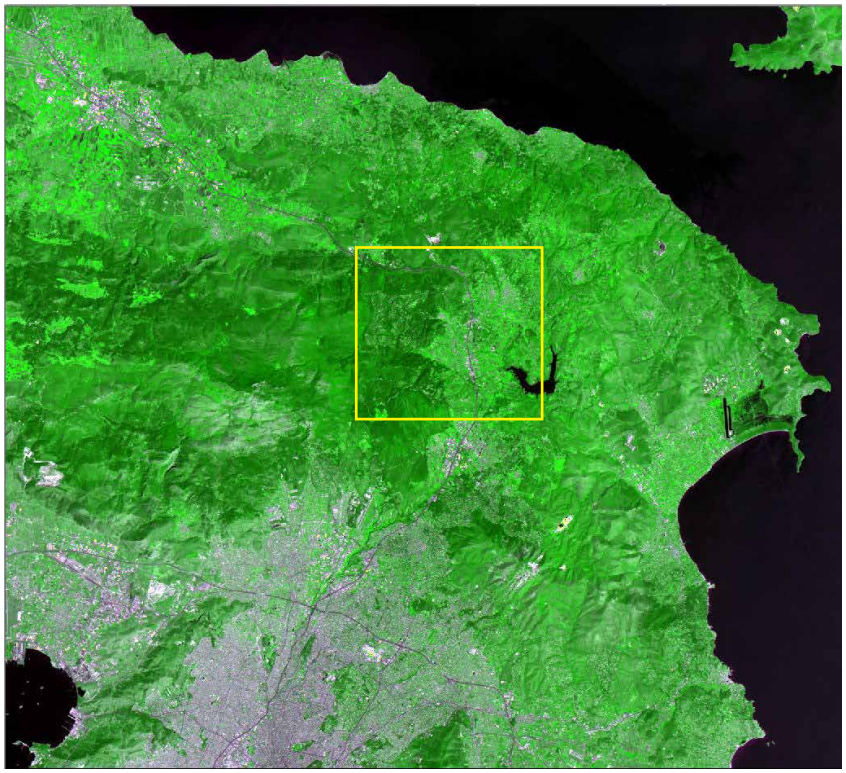
Εικόνα 3.7.7: Δείγματα *(Samples)* για την ταξινόμηση *(hierarchical classification)* στο πρώτο επίπεδο, 2016

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης φαίνεται στην εικόνα 3.7.8. Είναι αρκετά ικανοποιητικό για το σκοπό που προοριζόταν. Οι περιοχές του γυμνού εδάφους και της αραιής βλάστησης έχουν εντοπιστεί και διαχωριστεί από το κτισμένο σε μεγάλο βαθμό. Εδώ να σημειωθεί ότι η ταξινόμηση στο επίπεδο αυτό βελτιωνόταν παράλληλα με την ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο. Συνεπώς, μπορεί το αποτέλεσμα για το σύνολο των κατηγοριών να παρουσιάζει σφάλματα, ωστόσο σε συνδυασμό με την ταξινόμηση του δευτέρου επιπέδου έδωσε τα επιθυμητά αποτελέσματα, γι' αυτό και δεν υπέστη περαιτέρω βελτίωση.



Εικόνα 3.7.8: Ταξινόμηση *(hierarchical classification)* πρώτου επιπέδου *(level 1), 2016*

Στο δεύτερο επίπεδο, **Level 2**, ορίστηκε: **Κλίμακα** (scale parameter): 30 / σχήμα (shape): 0,1 / **Συμπαγότητα** (compactness): 0,5 (εικ 3.7.3). Η κλίμακα ορίστηκε μικρή ώστε να δημιουργηθούν αντικείμενα όσο γίνεται πιο κοντά στο μέγεθος των κτιρίων και να εντοπιστούν περιοχές αραιής δόμησης. Στο σχήμα και την ομοιογένεια δόθηκαν τιμές με την ίδια λογική που δόθηκαν και για την κατάτμηση του πρώτου επιπέδου. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 3.7.9α,β.

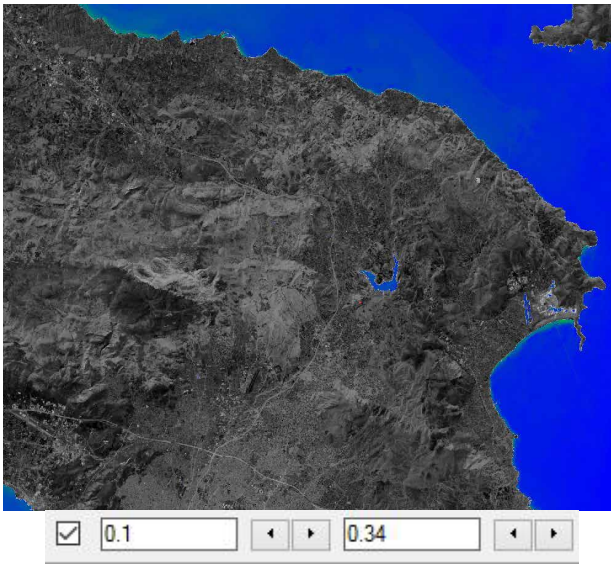


Εικόνα 3.7.9α: Κατάτμηση *(level 2)* δορυφορικής εικόνας του 2016. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-5-2

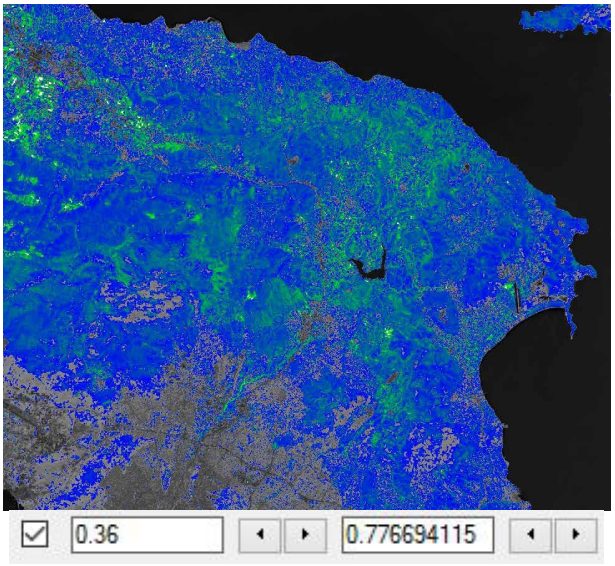
Εικόνα 3.7.9β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.7.9α: Κατάτμηση *(level 2)* δορυφορικής εικόνας του 2016. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-5-2

Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση για τα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάδειξη του δομημένου περιβάλλοντος. Ύστερα από παρατήρηση με τη βοήθεια του *feature view* (εικόνες 3.6.43 - 3.6.47) και διάφορες δοκιμές αρχικά επιλέχθηκαν τα χαρακτηριστικά καθώς και τα όρια των συναρτήσεων, όπως φαίνονται στις εικόνες:

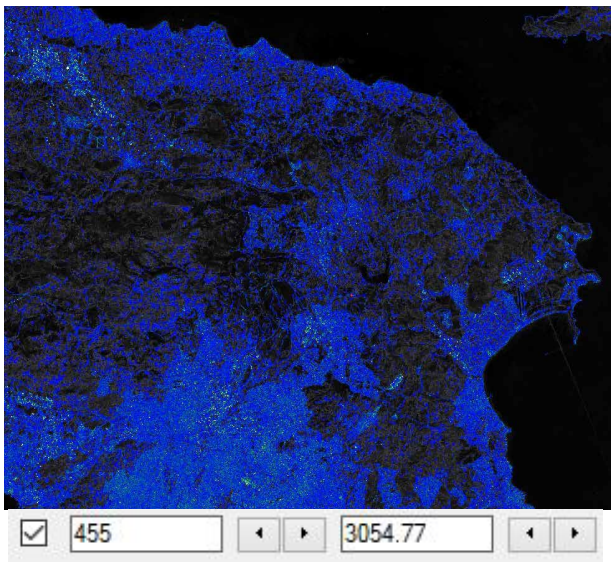
- **NDWI**
- **SAVI**
- **Existence of super objects, bare ground**
- **Existence of super objects, low vegetation**
- **Standard Deviation, band 7**



Εικόνα 3.7.10: Feature View: Δείκτης NDWI, 2016



Εικόνα 3.7.11: Feature View: Δείκτης SAVI, 2016



Εικόνα 3.7.11: Feature View: Χαρακτηριστικό Standard Deviation, band 7, 2016

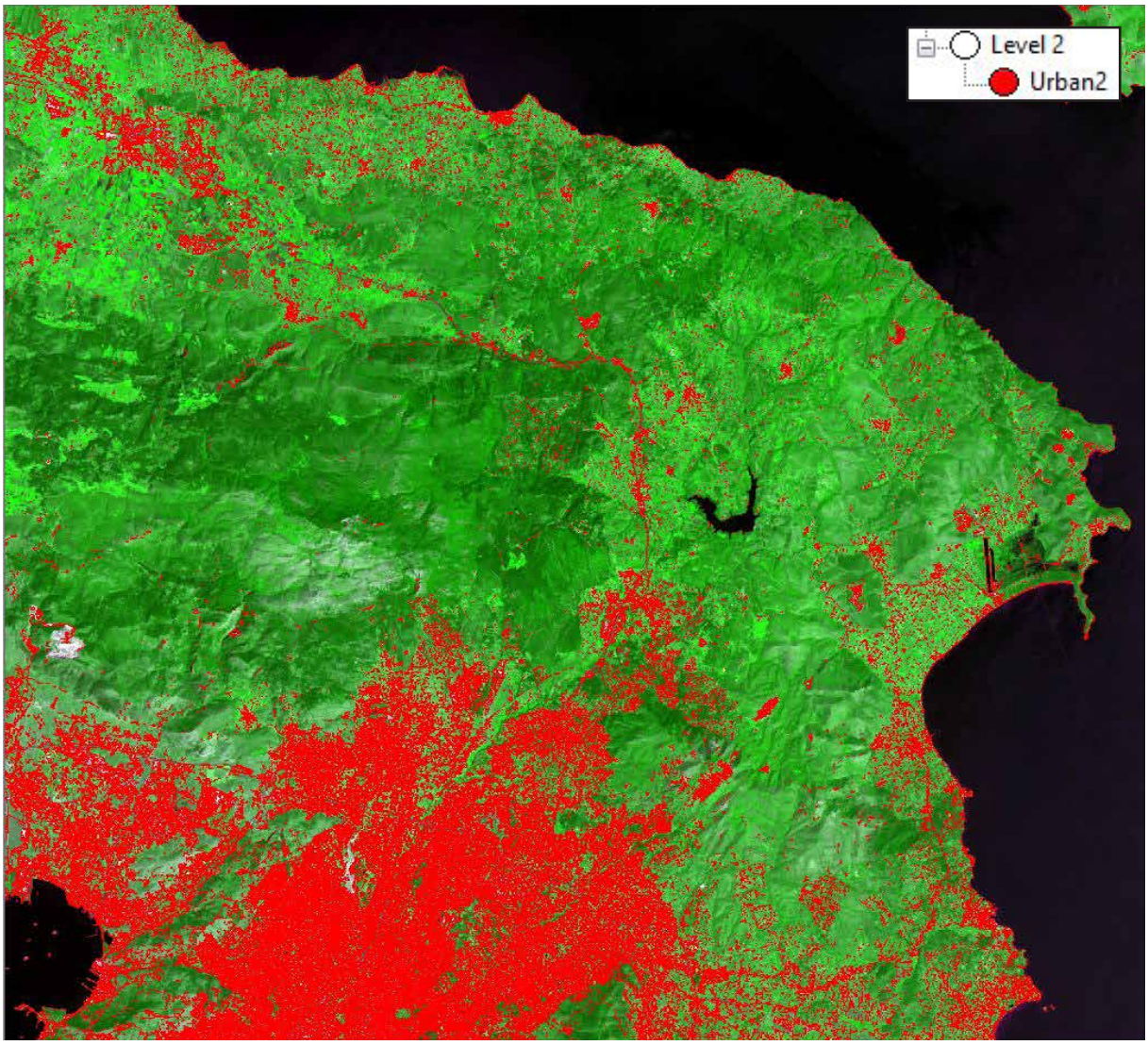
Δημιουργήθηκε η κλάση ***"Urban2"*** στο επίπεδο 2, όπου εισήχθηκαν οι κανόνες. Η συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και τα όρια παρατίθενται στον πίνακα 3.7.1. Τα χαρακτηριστικά "existence of super objects, bare ground (1)" και "existence of super objects, low vegetation (1)" χρησιμοποιούνται με συνάρτηση συμμετοχής η οποία ουσιαστικά εξασφαλίζει τον αποκλεισμό των αντικειμένων που ανήκουν σε αυτές τις δύο κατηγορίες, γυμνό έδαφος και χαμηλή βλάστηση, στην τάξη του δεύτερου επιπέδου, *Urban2.* Ο δείκτης *NDWI* χρησιμεύει στον αποκλεισμό των υδάτινων επιφανειών, ενώ ο δείκτης *SAVI* στον αποκλεισμό της βλάστησης. Τέλος, το χαρακτηριστικό *Standard Deviation, band 7* βοήθησε στον εντοπισμό του κτισμένου περιβάλλοντος χάρη στην ανομοιογένεια και τη μεγάλη διακύμανση στις φασματικές υπογραφές που παρατηρείται στις αστικές περιοχές.

Level	Κατηγορία	Τελεστής	Κανόνας	Συνάρτηση συμετοχής	αριστερό όριο	δεξί όριο
2	**Urban**	and	NDWI		0.08	0.12
		and	SAVI		0.34	0.38
		and	Existence of super objects, bare ground (1)		0	1
		and	Existence of super objects, low vegetation (1)		0	1
		and	Standard Deviation, band 7		453.5	456

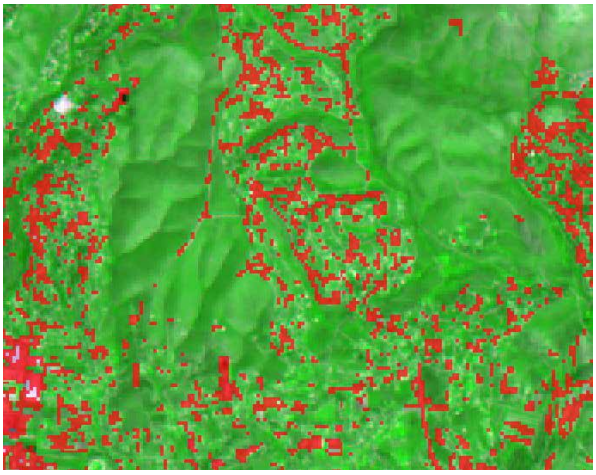
Πίνακας 3.7.1: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Urban2"* (2016)

Στην εικόνα 3.7.12α φαίνεται το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης (classification) στην κλάση ***Urban 2***.

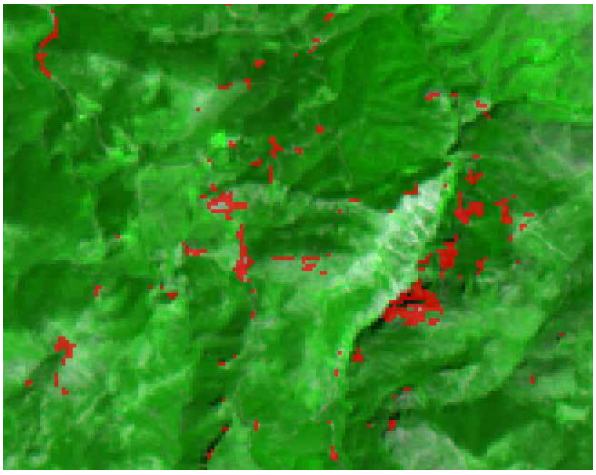
Μικρά τμήματα της δομημένης έκτασης δεν έχουν συμπεριληφθεί (π.χ. εικ. 3.7.12β), λόγω του ότι σε κάποια σημεία η πολύ αραιή δόμηση δεν μπορεί να ανιχνευτεί εξαιτίας της δεδομένης διακριτικής ικανότητας της εικόνας. Η χέρσα γη και η αραιή βλάστηση, που δημιουργούσαν και το βασικότερο πρόβλημα, έχουν καταφέρει να αποκλειστούν σε μεγάλο βαθμό, με εξαίρεση κάποιες μικρές διάσπαρτες περιοχές (π.χ. εικ. 3.7.12γ). Παρόλα αυτά δεδομένης της μεγάλης έκτασης της περιοχής μελέτης και της διακριτικής ικανότητας που παρέχει μια εικόνα Landsat, το αποτέλεσμα είναι αρκετά ικανοποιητικό.



Εικόνα 3.7.12α: Ταξινόμηση *(classification)* δευτέρου επιπέδου *(level 2)* στην κλάση *Urban 2, 2016*



Εικόνα 3.7.12β: Μικρά τμήματα δομημένης έκτασης που δεν έχουν συμπεριληφθεί στην κατηγορία *Urban 2* (πορτοκαλί χρώμα) (2016)



Εικόνα 3.7.12γ: Τμήματα χέρσας γης και αραιής βλάστησης που έχουν συμπεριληφθεί στην κατηγορία *Urban 2* (πορτοκαλί χρώμα) (2016)

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης στην κατηγορία *Urban 2* του δευτέρου επιπέδου πραγματοποιήθηκε με τη Μέθοδο Καλύτερης Ταξινόμησης *(Best Classification Result)*, τη Μέθοδο Σταθερότητας Ταξινόμησης *(Classification Stability)* και τη Μέθοδο του Πίνακα Σύγχυσης Βασισμένου σε Δείματα *(Error Matrix Based on Samples)*. Στους πίνακες 3.7.2, 3.7.3, 3.7.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης.

Οι δύο πρώτες μέθοδοι, *best classification result* και *classification stability*, δίνουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα με **μέση τιμή** *(mean value)* **0.95**, που είναι πολύ κοντά στη μονάδα. Στον πίνακα της τρίτης μεθόδου, *error matrix based on samples*, φαίνεται ότι τα 107 από τα 113 αντικείμενα που δόθηκαν ως δείγματα έχουν ταξινομηθεί στην τάξη *"Urban2"* και η **τιμή της «συνολικής ακρίβειας»** *(overall accuracy)* είναι ίση με **0.947**, δηλαδή πολύ κοντά στην μονάδα γεγονός που υποδεικνύει ότι η ταξινόμηση έγινε με επιτυχία.

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Urban2	200471	0.959175	0.1537498	0.1	1

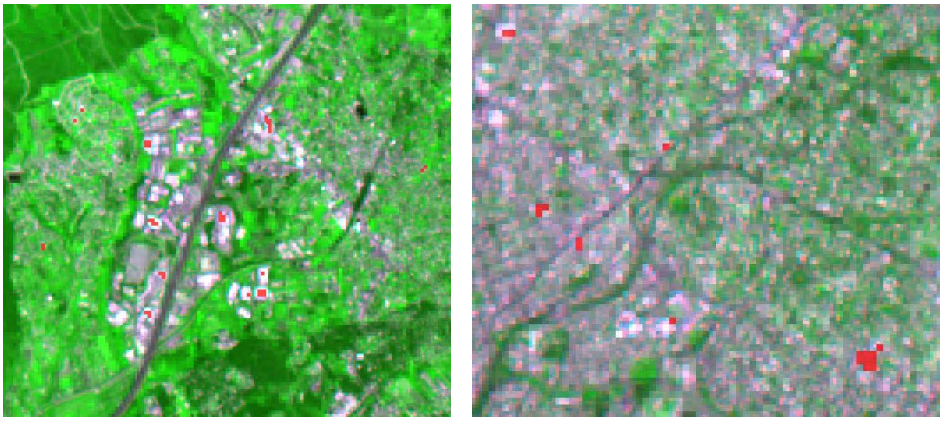
Πίνακας 3.7.2: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (2016)

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Urban2	200471	0.959175	0.1537498	0.1	1

Πίνακας 3.7.3: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (2016)

Εικόνα 3.7.13: Best Classification Result (2016)

Εικόνα 3.7.14: Classification Stability (2016)



Εικόνες 3.7.15α,β: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2016)

User Class \ Sa...	Urban2	Sum
Confusion Matrix		
Urban2	107	107
unclassified	6	6
Sum	113	
Accuracy		
Producer	0.947	
User	1	
Hellden	0.9727273	
Short	0.947	
KIA Per Class	0	
Totals		
Overall Accuracy	**0.947**	
KIA	**0**	

Πίνακας 3.7.4: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2016)

3.8 Επεξεργασία των αρχείων shapefile στο λογισμικό QGIS και εντοπισμός μεταβολών

Τα αποτελέσματα από τις ταξινομήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια εξήχθησαν σε vector δεδομένα shapefile και εισήχθησαν στο λογισμικό QGIS με στόχο τη δημιουργία χαρτών για την απεικόνιση του συνόλου της πληροφορίας και την διεξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με την μεταβολή καμένων εκτάσεων σε δομημένες.

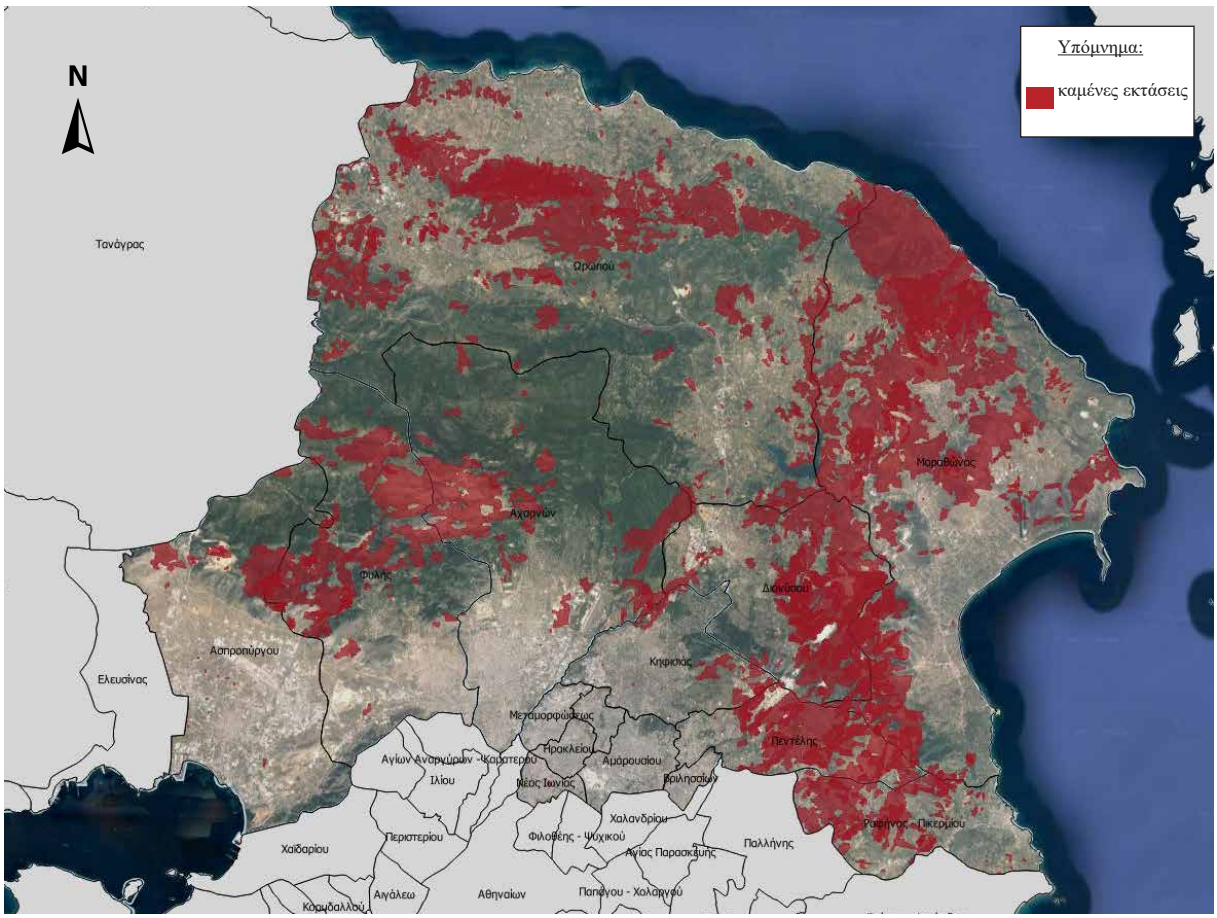
Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι μία ορθότερη μέθοδος για τη χαρτογράφηση των δασικών εκτάσεων οι οποίες κτίστηκαν αφότου κάηκαν, θα ήταν η παράλληλη διαχρονική μελέτη της μεταβολής του δομημένου περιβάλλοντος. Ωστόσο, επιλέχθηκε να γίνει η χαρτογράφηση του δομημένου περιβάλλοντος μόνο σε μία πρόσφατη δορυφορική εικόνα του 2016 και η σύγκριση με τις καμένες εκτάσεις των προηγούμενων ετών να γίνει με αυτή. Ο κύριος λόγος ήταν το συγκριτικό πλεονέκτημα των δορυφορικών εικόνων Landsat 8, οι οποίες χάρη στην υψηλή διακριτική ικανότητα που παρέχουν (στα 15m) σε σχέση με τις Landsat 4-5 (στα 30m), δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας μικρών αντικειμένων κατά την κατάτμηση, που προσεγγίζουν την κλίμακα των κτισμάτων. Η διερεύνηση της μεταβολής του κτισμένου περιβάλλοντος συγκρίνοντας δορυφορικές εικόνες με απόκλιση στην διακριτική ικανότητα δεν θα έδινε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Τα αντικείμενα, λόγου χάρη, που θα δημιουργούνταν μέσω της διαδικασίας της κατάτμησης μίας δορυφορικής εικόνας Landsat 4-5 θα περιελάμβαναν μία διευρυμένη περιοχή δομημένου περιβάλλοντος και δεν θα προσέγγιζαν την κλίμακα του μεμονωμένου κτιρίου, όπως μπορεί να συμβεί με μία εικόνα Landsat 8, και συνεπώς το αποτέλεσμα που θα προέκυπτε από τη σύγκριση μεταξύ δύο τέτοιων εικόνων θα ήταν εσφαλμένο.

Επομένως, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας γίνεται η παραδοχή ότι οι στις καμένες περιοχές που έχουν χαρτογραφηθεί δεν συμπεριλαμβάνονται καμένες κτισμένες εκτάσεις, παρά μόνο δασικές, χορτολιβαδικές εκτάσεις. Αυτό, βέβαια δεν απέχει πολύ απ' την πραγματικότητα καθότι κάποια από τα χαρακτηριστικά (διαφορά δεικτών NDVI, Mean Layer Value 1) που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης για την ταξινόμηση των εικόνων σε μεγάλο βαθμό απέκλειαν το ήδη κτισμένο περιβάλλον.

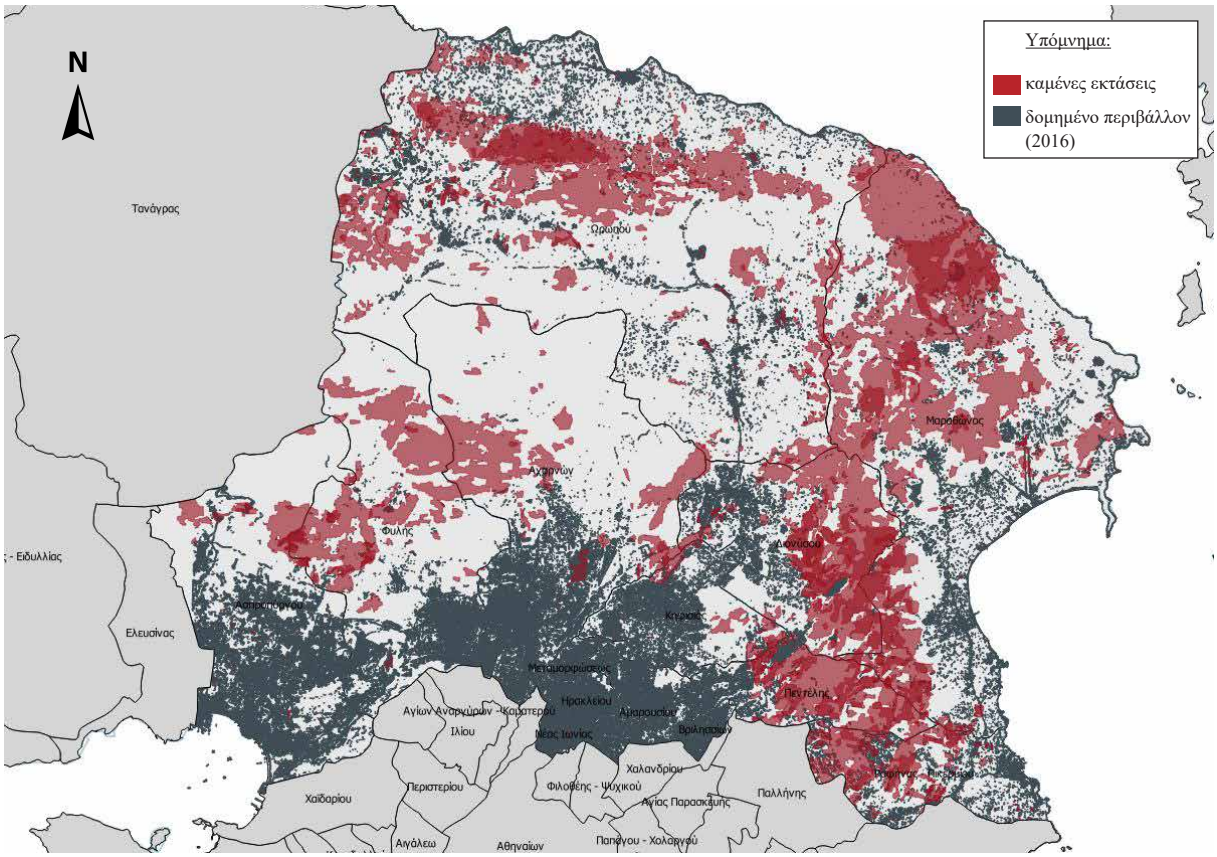
Στην εικόνα 3.8.1 απεικονίζεται το σύνολο των καμένων εκτάσεων διαχρονικά από το 1984 έως το 2014, όπως αυτές προέκυψαν από τις επεξεργασίες αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης των δορυφορικών εικόνων με ημερομηνίες λήψης: 1984, 1986, 1988, 1991, 1999, 2001, 2009. Σαν υπόβαθρο έχει χρησιμοποιηθεί δορυφορική απεικόνιση (Google Satellite).

Στην εικόνα 3.8.2 απεικονίζεται το σύνολο των καμένων εκτάσεων, καθώς και το δομημένο περιβάλλον όπως προέκυψε από την ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας του 2016.

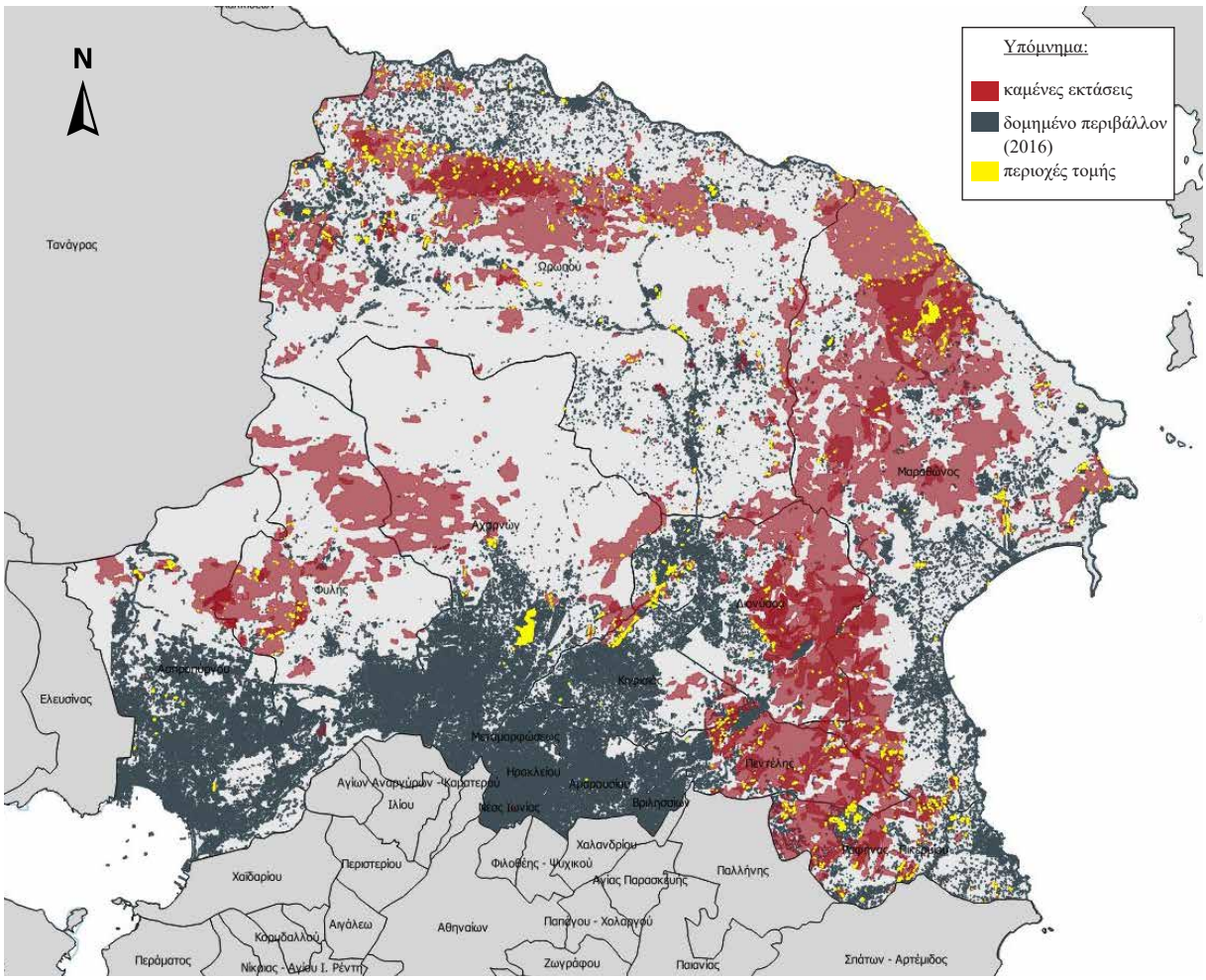
Στην εικόνα 3.8.3 απεικονίζονται το σύνολο των καμένων εκτάσεων, το δομημένο περιβάλλον του 2016 και οι περιοχές τομής αυτών των δύο επιπέδων.



Εικόνα 3.8.1: Συνολικά οι καμένες εκτάσεις από το 1984 εως το 2014



Εικόνα 3.8.2: Καμένες εκτάσεις από το 1984 εως το 1986 και δομημένο περιβάλλον το έτος 2016



Εικόνα 3.8.3: Καμένες εκτάσεις από το 1984 έως το 1986, δομημένο περιβάλλον το έτος 2016 και περιοχές που συμπίπτουν

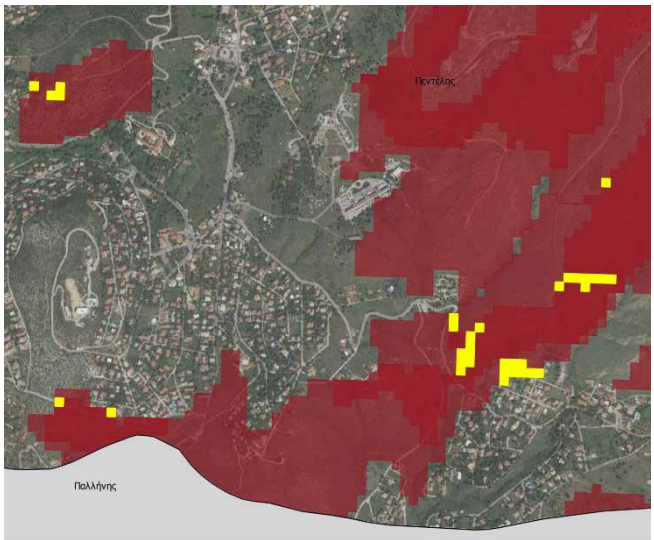
Στη συνέχεια απεικονίζονται σε μεγέθυνση επιμέρους λήψεις περιοχών όπου παρατηρείται πιο έντονο το φαινόμενο της παρουσίας δομημένου περιβάλλοντος σε καμένες εκτάσεις (εικ 3.8.4-3.8.12).

Παρατηρείται ότι το φαινόμενο της παρουσίας δομημένου περιβάλλοντος σε καμένες εκτάσεις σχετίζεται άμεσα με την τάση επέκτασης του αστικού ιστού. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι περιοχές που έχουν δομηθεί ανήκουν ή βρίσκονται κοντά σε ζώνες μίξης δασών-οικισμών, όπου ο αστικός ιστός ασκεί πιέσεις και υπεισέρχεται στις δασικές εκτάσεις. Όπως φαίνεται και στις εικόνες, οι περιοχές όπου παρατηρείται το φαινόμενο είναι οι Δήμοι: Διονύσου, Ραφήνας-Πικερμίου, Κηφισιάς, Αχαρνών, Πεντέλης και Μαραθώνα (εικ. 3.8.6, 7, 8, 9, 10, 11).

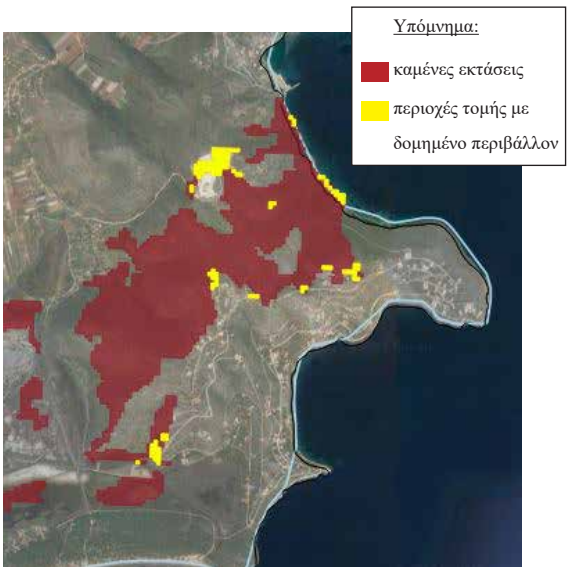
Στην περίπτωση του δήμου Ωρωπού (εικ. 3.8.12) οι περιοχές που φαίνεται να ασκούν πιέσεις στις δασικές εκτάσεις είναι οι καλλιεργήσιμες. Όπως προκύπτει από έρευνα της WWF Ελλάς, το πρώτο στάδιο απώλειας δασικής γης είναι η υποβάθμισή της σε θαμνότοπους και εκτάσεις χαμηλής βλάστησης, οι οποίες μπορούν εύκολα να μετατραπούν σε γεωργικές και ύστερα σε τεχνητές επιφάνειες, καθότι οι περιορισμοί στην αλλαγή χρήσης των περιοχών χαμηλής βλάστησης και γεωργίας, είναι σχεδόν ανύπαρκτοι. Οι πυρκαγιές είναι αυτές που συνήθως οδηγούν στο πρώτο στάδιο, στη μετατροπή δηλαδή της δασικής έκτασης σε θαμνότοπους και χαμηλή βλάστηση (Καλεβρά κ.α, 2011).

Παρατήρηση σφαλμάτων

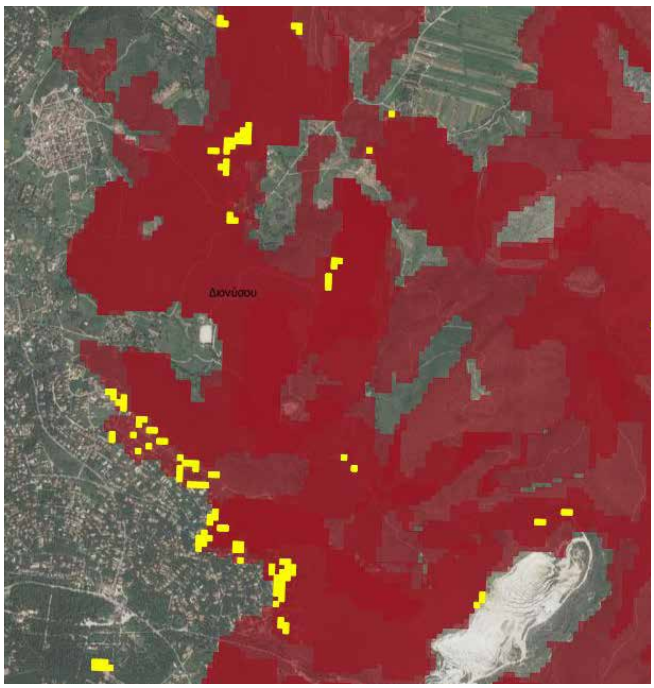
Στην δορυφορική εικόνα (Google Satellite) μπορούν να διακριθούν δομημένες περιοχές οι οποίες συμπίπτουν με τις καμένες αλλά από ανακρίβεια της ταξινόμησης δεν συμπεριλήφθηκαν στην κατηγορία *Urban2* (βλ. κεφ. 3.7), άρα ούτε στις *περιοχές τομής* δομημένου-καμένου περιβάλλοντος (εικ. 3.8.8, κύκλος Σ1). Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις όπου ως *περιοχές τομής* δομημένου-καμένου περιβάλλοντος έχουν χαρακτηριστεί καλλιεργήσιμες εκτάσεις (εικ. 3.8.8, 3.8.12, κύκλοι Σ2,3), αλλά και περιοχές οι οποίες είναι εμφανές ότι ήταν ανέκαθεν δομημένο περιβάλλον, διότι πρόκειται για μικρές περιοχές εντός αστικού ιστού (εικ. 3.8.12, κύκλος Σ4). Πρόκειται προφανώς για σφάλμα κατά την ταξινόμηση των καμένων εκτάσεων.



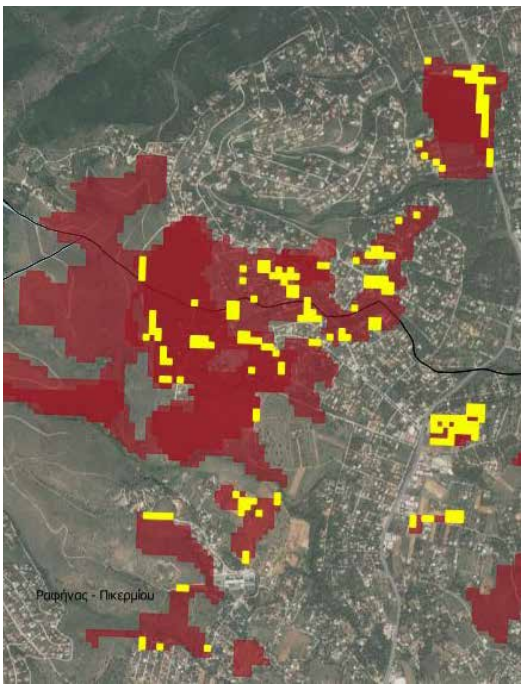
Εικόνα 3.8.4: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, Πεντέλη (2016)



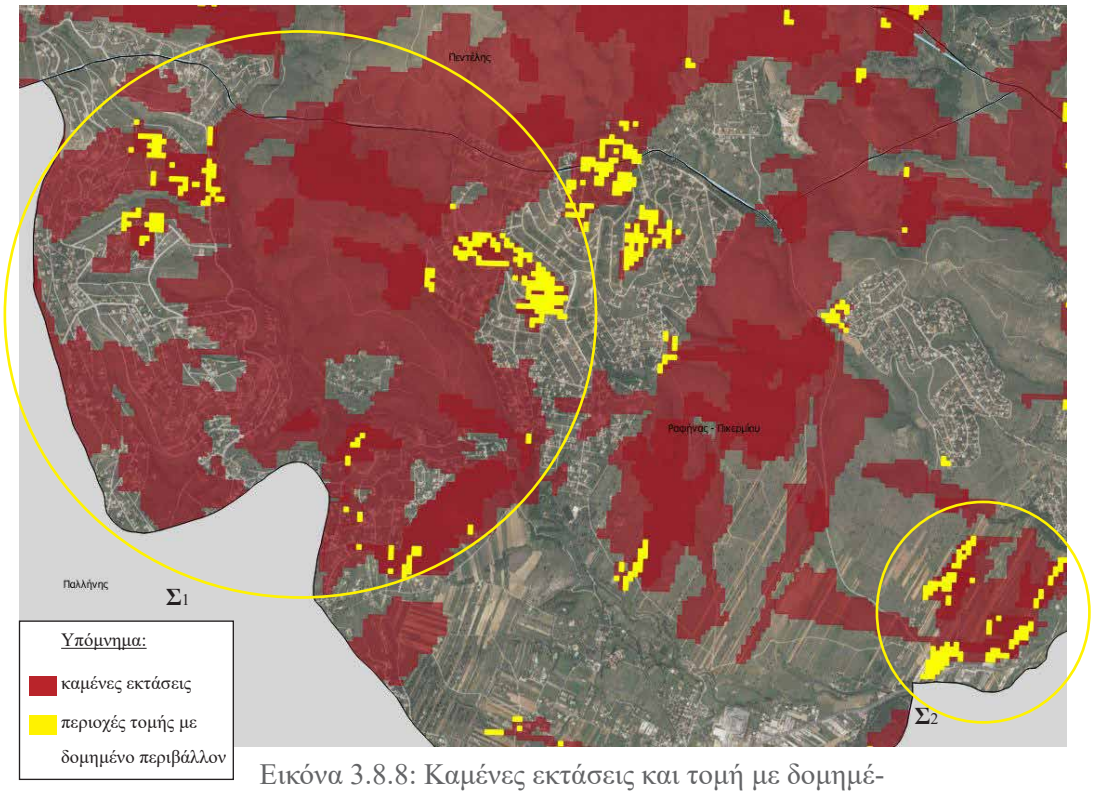
Εικόνα 3.8.5: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Μαραθώνα (2016)



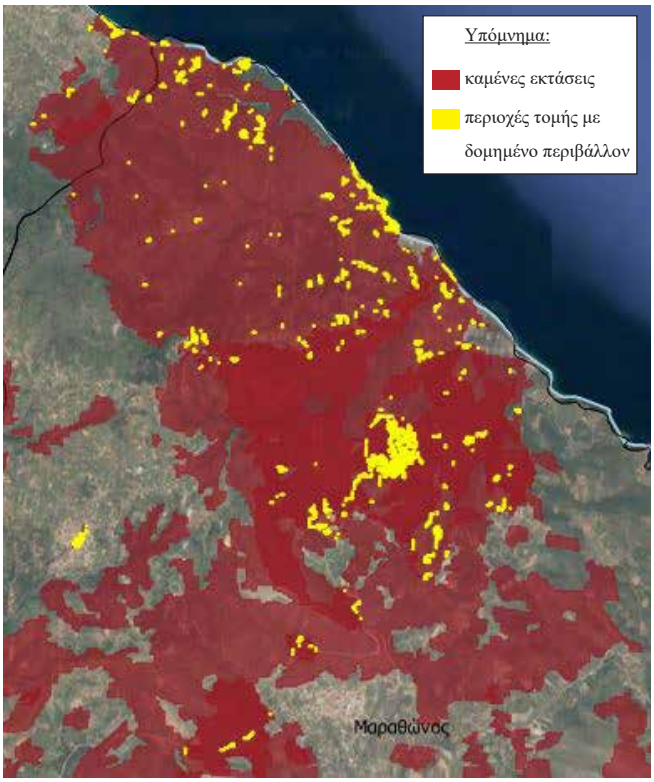
Εικόνα 3.8.6: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Διονύσου (2016)



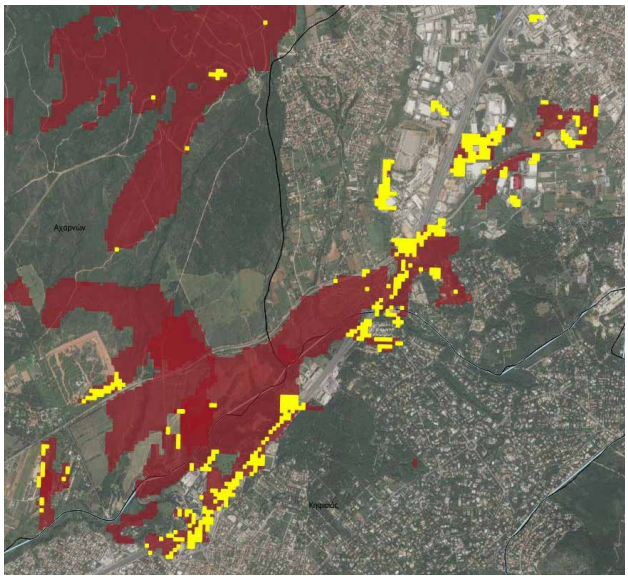
Εικόνα 3.8.7: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Ραφήνας-Πικερμίου (2016)



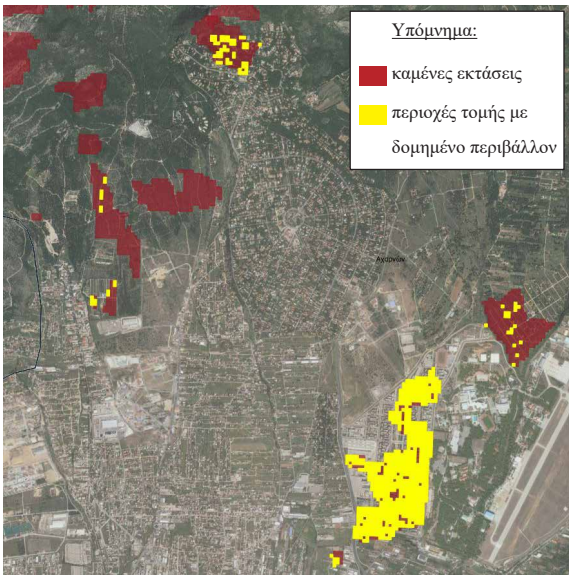
Εικόνα 3.8.8: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Ραφήνας-Πικερμίου (2016)



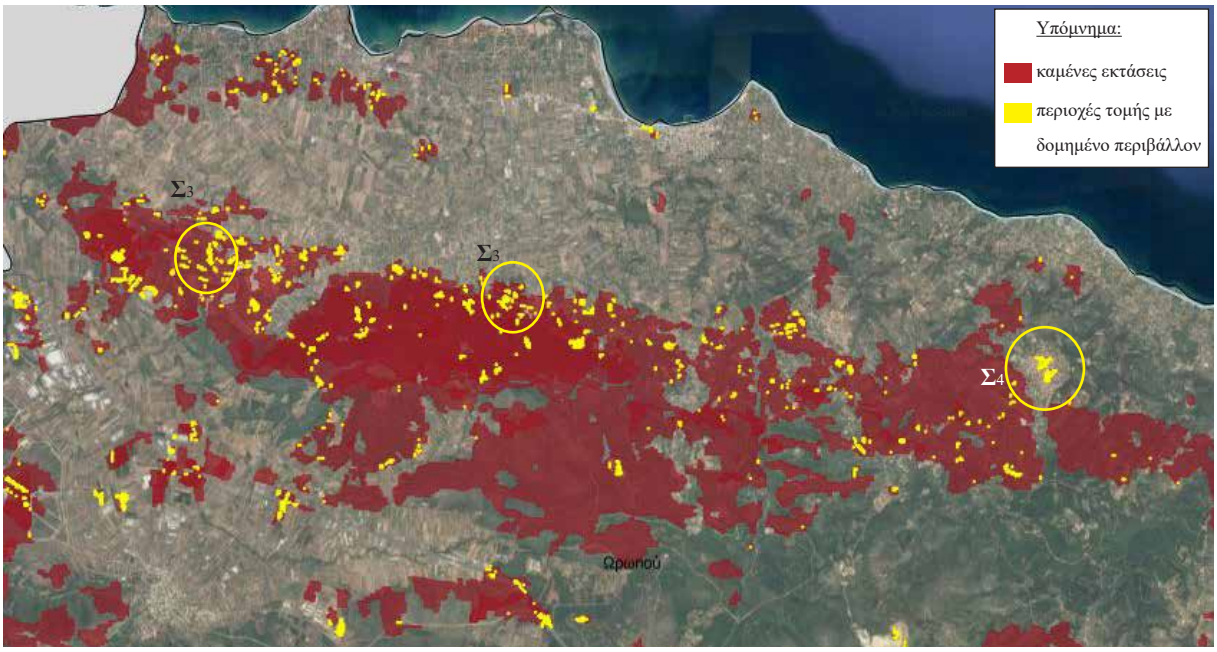
Εικόνα 3.8.9: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Μαραθώνα (2016)



Εικόνα 3.8.10: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Κηφισιάς (2016)



Εικόνα 3.8.11: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Αχαρνών (2016)



Εικόνα 3.8.12: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Ωρωπού (2016)

4. Συμπεράσματα

Μέσα από τη διαδικασία της εκπόνησης της παρούσας εργασίας έγινε εμφανής η σημασίας της συμβολής των τηλεπισκοπικών μεθόδων στην χαρτογράφηση περιοχών που έχουν πληγεί από το φαινόμενο της πυρκαγιάς, αλλά και στην μελέτη του δομημένου περιβάλλοντος μιας περιοχής.

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η χαρτογράφηση των δασικών εκτάσεων στην περιοχή της βορειοανατολικής Αττικής, που έχουν πληγεί από πυρκαγιές κατά το χρονικό διάστημα από το 1984 έως το 2014 και ο εντοπισμός των περιοχών εξ αυτών οι οποίες έχουν μετατραπεί σε δομημένο περιβάλλον μέχρι το 2016. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν αυτή της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης δορυφορικών εικόνων με τη βοήθεια του λογισμικού eCognition.

Χρήσιμα συμπεράσματα διεξάχθηκαν σε σχέση με το τεχνικό κομμάτι της μελέτης. Οι καμένες περιοχές σε μία δορυφορική εικόνα αναδεικνύονται καλύτερα στα έγχρωμα σύνθετα RGB: 7-4-1 και 7-4-3, όπου εμφανίζονται με κόκκινη απόχρωση. Η μέθοδος στην οποία βασίστηκε η διαδικασία της ταξινόμησης των καμένων εκτάσεων ήταν η χρήση του δείκτη της διαφοράς των τιμών του *NDVI* μεταξύ εικόνων πριν και μετά την πυρκαγιά, συνδυαστικά με τη χρήση δεικτών και χαρακτηριστικών που αναδεικνύουν τις καμένες εκτάσεις. Ο δείκτης της διαφοράς των *NDVI* αναδεικνύει τη μεταβολή της βλάστησης, στοιχείο πολύ σημαντικό για τη χαρτοράφηση των καμένων εκτάσεων. Έπειτα οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής: ***Band SWIR 2/NIR, NBR*** *(Normalised Burnt Ratio),* ***Band Blue/Band NIR, Band SWIR/Band Blue.*** Τα κανάλια δηλαδή που βασίστηκε κατά κύριο λόγο η διαδικασίας της ταξινόμησης των καμένων εκτάσεων ήταν τα ***SWIR, 2/NIR*** και ***Blue.*** Σημαντική ήταν επίσης η συμβολή των χαρακτηριστικών της απόχρωσης *(Hue)* και του κορεσμού *(Saturation)* στα έγχρωμα σύνθετα RGB: 7-4-1 και 7-4-3 που βασίστηκαν στην απόδοση του χρώματος των καμένων περιοχών σε αυτά.

Σε σχέση με τα αποτελέσματα των επεξεργασιών το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι το φαινόμενο της παρουσίας δομημένου περιβάλλοντος σε καμένες εκτάσεις σχετίζεται άμεσα με την τάση επέκτασης του αστικού ιστού. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι περιοχές που έχουν δομηθεί ανήκουν ή βρίσκονται κοντά σε ζώνες μίξης δασών-οικισμών, όπου ο αστικός ιστός ασκεί πιέσεις στις δασικές εκτάσεις. Οι περιοχές όπου παρατηρείται έντονο το φαινόμενο είναι οι Δήμοι: Διονύσου, Ραφήνας-Πικερμίου, Κηφισιάς, Αχαρνών, Πεντέλης και Μαραθώνα. Αντίστοιχες πιέσεις σε δασικές περιοχές ακούνται από γεωργικές εκτάσεις στην περίπτωση του δήμου Ωρωπού.

5. Προοπτικές περαιτέρω έρευνας

Κατά την εκπόνηση της παρούσας μελέτης προέκυψαν ορισμένες δυσκολίες και περιορισμοί. Η μεγάλη έκταση της περιοχής σε συνδυασμό με την μεγάλη ποικιλία καλύψεων γης που τις περισσότερες φορές δεν ακολουθούσαν συγκεκριμένα πρότυπα, σε συνάρτηση με την περιορισμένη διακριτική ικανότητα που παρέχουν οι δορυφορικές εικόνες Landsat, κατέστησε δύσκολο το χειρισμό και τον πλήρη έλεγχο του συνόλου των περιοχών ενδιαφέροντος. Η εστίαση σε μικρότερα τμήματα περιοχών προς μελέτη θα τα καθιστούσε περισσότερο διαχειρίσιμα και ενδεχομένως τα αποτελέσματα να ήταν μεγαλύτερης ακρίβειας.

Όσον αφορά στη χαρτογράφηση του δομημένου περιβάλλοντος μια πιο ακριβής προσέγγιση θα ήταν η διαχρονική μελέτη του παράλληλα με την χαρτογράφηση των καμένων περιοχών, για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα σε σχέση με τη διαχρονική μεταβολή της κάλυψης γης. Απαραίτητη προϋπόθεση γι' αυτό είναι η χρήση δορυφορικών εικόνων καλύτερης διακριτικής ικανότητας για όλες τις χρονολογίες, σε σχέση με τις εικόνες Landsat 4-5, που χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο στο κομμάτι της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης στην παρούσα εργασία.

Άλλες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα είναι η διερεύνηση του νομοθετικού πλαισίου σε σχέση με τη νομιμοποίηση δόμησης σε δασικές εκτάσεις και η συσχέτιση με συγκεκριμένες περιπτώσεις εμφάνισης του φαινομένου σε περιοχές που έχουν πληγεί από πυρκαγιές. Σημαντική συμβολή θα αποτελούσε επίσης η διερεύνηση και μία κριτική προσέγγιση των εργαλείων άσκησης ρυθμιστικής πολιτικής για το περιβάλλον, και πιο συγκεκριμένα για το φαινόμενο της εκμετάλλευσης των καμένων δασικών εκτάσεων για οικονομικά και πολιτικά οφέλη.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία:

Αργιαλάς. Δ. (1999). «Φωτοερμηνεία- Τηλεπισκόπηση», Ε.Μ.Π, Αθήνα.

Αργιαλάς Δ., Τζώτσος Α., Δερζέκος Π., (2002). "eCognition: Ένα εργαλείο χαρτογράφησης γεωμορφών". Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου, ΑΠΘ Θεσσαλονίκη, 3-6 Οκτωβρίου 2002, σελ. 24-30.

Γκουρμπάτσης, Α. (2015). Ο Χάρτης Των Πυρόπληκτων Περιοχών Της Ελλάδας (1984 – 2014). Αθήνα.

Γουρμπάτσης, Α. (2015). Ο χάρτης των πυρόπληκτων περιοχών της Ελλάδας (1984-2014). Αθήνα.

Γραμματικογιάννης, Α. Η. (2008). Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑΣ-ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π., ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ, ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ. ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ. Αθήνα.

Δημητρακόπουλος Α. Π., 1991. Σχέση ιδιοκτησιακού καθεστώτος και χρήσεως γης. Πρακτικά Συνεδρίου «Ιδιοκτησιακό ζήτημα δασικών εδαφών στην Ελλάδα». ΓΕΩΤΕΕ, σελ. 183.

Δημητρακόπουλος Κ. (2010), ''Χαρτογράφηση χρήσης/κάλυψης γης με την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση εικόνων SPOT'', Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος.

Καλεβρά, Ν., Κορδοπάτης, Π., Μαραγκού, Π. και Νάντσου, Θ. Αυθαίρετα στη δασική γη της Αττικής – Καταραφή αποφάσεων απομάκρυνσης αυθαίρετων. Α' Φάση: Δεδομένα Δ/νσης Δασών Ανατ. Αττικής. WWF Ελλάς: Αθήνα, Αύγουστος 2011.

Καρανικόλα, Π. (2009, Φεβρουάριος). Οι Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα. Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, σελ. 39-50.

Καρανικόλα Π. και Σ. Ταμπάκης (2005). Οικοδομική πίεση στις δασικές εκτάσεις. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού περιβάλλοντος του Α.Π.Θ., προς τιμή του Ομότιμου Καθηγητή Δημητρίου Κωτούλα. Τόμος ΜΒ/1 – VOL. 42/1, σελ. 169-184.

ΚΟΛΟΠΤΑΣ, Ε. (2013). Η ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ. Θεσσαλονικη.

Κορακάκη Ε., Π. Κ. (2012). Οικολογικός απολογισμός της πυρκαγιάς του Ιουνίου 2012 στη νοτιοανατολική Αττική: Γενικά στοιχεία, επιπτώσεις, προτάσεις. Αθήνα: WWF.

Μαντάς, Ι. (2006). Ανάπτυξη συστήματος πληροφοριών για τη διαχείριση και την προστασία του δασικού χώρου - Εφαρμοή στην περιοχή Πεντέλης. Αθήνα.

Μαρκάλας, Στ. (1989). "Το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών και πώς θα αντιμετωπιστούν". Αγροτική. Μηνιαία έκδοση της Α.Τ.Ε., Τεύχος 20, σελ. 8-10.

Μιγκίρος, Γ. (2010). Ολοκληρωμένη διαχείριση της κρίσης μετά την καταστροφική πυρκαγιά του 2009 στο δήμο Αγ. Στεφάνου: Καταγραφή και αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης, σχεδιασμός αποκατάστασης και προστασίας.

Μυστακίδου, Μ. (2009, Αύγουστος 24). enet. Retrieved from www.enet.gr: http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=75625

Ξανθόπουλος, Γ. (1998). Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον. Επίκεντρα. 6, pp. 62-71.

Ξανθόπουλος, Γ. (2006). Πυρκαγιές στη ζώνη μίξης δασών-οικισμών: ένα πολύπλοκο πρόβλημα. ΕΘΙΑΓΕ, τχ.24, σ.4-9

Ξενούλης, Ν. Μ. (2011). Χαρτογράφηση της αναβλάστησης του φυσικού οικοσυστήματος της περιοχής Πάρνηθας Αττικής με χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων και γεωραφικών πληροφοριακών συστημάτων. Αθήνα.

Παπαναστάσης Β. Π., (1994). Λιβαδοπονία και περιβάλλον. Επιστ. Ημερ. «Λιβάδια και αγροτική ανάπτυξη» Θεσ/νίκη 4 Φεβρουαρίου, σελ. 71-81.

Παπανικολάου, Θ. (2010). ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΟΥΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ "NATURA" ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΓΡ/ΤΡΙΑΣ, ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ & ΓΕΩΓΡ. ΣΥΣΤ. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ - ΔΕΛΤΑ ΑΧΕΛΩΟΥ. Αθήνα.

Παπασταύρου Α. Κ., (1990). Το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών στη χώρα μας από δασοπολιτική σκοπιά. Πρακτικά ημερίδας «Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα», σελ. 75-95.

Παπασταύρου Α. Κ., (1992). Κοινωνικές, οικονομικές, πολιτικές απόψεις και νομοθετικά πλαίσια για τις πυρκαγιές των δασών της Ελλάδας. Α.Π.Θ. Επιστημονική Επετηρίδα του τμήματος Δασολογία κ. Φυσικού Περιβάλλοντος, τόμος ΛΕ/1, αριθμός 9, σελ. 207-244.

Πετρόπουλος Γ., Καΐρης Ο., Καραντούνιας Γ., Ξανθόπουλος Γ., Knorr W. (2011). Διερεύνηση της συνδυαστικής χρήσης πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης και του συστήματος ταξινόμησης CORINE 2000 για την αποτελεσματική και ταχεία εκτίμηση καταστροφών από δασικές πυρκαγιές. 14ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο. Θεσσαλονίκη.

Ρόκος, Δ. (1979). "Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση ΙΙ." Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Ρόκος Δ., (1985). Δεν προστατεύεται επαρκώς η κρατική Περιουσία. Οικονομικός ταχυδρόμος, 21 Μαρτίου, σελ. 56-58.

Σιμώνη, Α. Δ. (2013). Η εξέλιξη της λεκάνης του Μαραθώνα. Φυσικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες. Αθήνα.

Στεργιόπουλος Ν., (1985). Μιας καταπάτησης προηγείται εμπρησμός και μιας πυρκαγιάς έπεται το συρματόπλεγμα. Οικονομικός Ταχυδρόμος, σελ. 24-26.

Συλλαίος, Ν. (2000). Εισαγωγή στη τηλεπισκόπηση και στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.

Ταμπάκης Σ., (2000). Οι Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα από Δασοπολιτικής Σκοπιάς Διδακτορική διατριβή στο Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.

Ταμπάκης Σ., Π. Κ. (2015). Δασικές Πυρκαγιές και Κοινωνία.

Φρακιουδάκης Λ., (1991). Η δασοπροστασία άλλοτε και σήμερα, τα ουσιαστικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η διοίκηση στην εν γένει προστασία των δασικών εκτάσεων", Πρακτικά Συνεδρίου «Ιδιοκτησιακό ζήτημα δασικών εδαφών στην Ελλάδα». ΓΕΩΤΕΕ, σελ. 105-116.

Φώτη Ε. (2011), ‘’ Αντικειμενοστραφής ανάλυση δορυφορικών εικόνων με σκοπό την αυτόματη ταξινόμηση χρήσεων/καλύψεων γης σε αγροτικές περιοχές για τον έλεγχο των αγροτικών επιδοτήσεων’’, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας-Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης.

Ξένη Βιβλιογραφία:

Ketting R.L., and Landgrebe D.A. (1976), ‘’Classification of multispectral image data by extraction and classification of homogeneous objects’’, IEEE Transactions on Geoscience Electronics, GE-14 (1), pp. 19–26.

Luce R. H. and McArthur G. A., (1978). Bushfires in Australia CSIRO Division of For. Research. Caberra, 1-359 p.

Petropoulos G. P., W. Knorr, M. Scholze, L. Boschetti, and G. Karantounias (2010). Combining ASTER multispectral imagery analysis and support vector machines for rapid and cost-effective post-fire assessment: acase study from the Greek wildland fires of 2007. Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union.

Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.

Settle J.J., and Drake N.A. (1993), ‘’Linear mixing and the estimation of ground cover proportions’’, International Journal of Remote Sensing 14, pp. 1159-1177.

Willhauck G. (2000), ‘’Comparison of object oriented image classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT multispectral satellite images and aerial photos’’, In ISPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam.

Διαδικτυακή Βιβλιογραφία:

American society of agronomy. Retrieved from www.agronomy.org: https://www.agronomy.org/images/publications/aj/94/6/1215f1.jpeg

dasodata.gr. Retrieved from Διαδικτυακός Ιστότοπος της Ελληνικής Κοινότητας των Δασολόγων: http://dasodata.gr/index.php/doryforiki-tilepiskopisi

Οικοσκόπιο. (2011). Retrieved from oikoskopio.gr: http://oikoskopio.gr/pyroskopio/intro.html

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 2.1.1: Καμένες εκτάσεις ανά γεωγραφική ενότητα (Οικοσκόπιο, 2011) 6
Εικόνα 2.1.2: Καμένες εκτάσεις ανά έτος (Οικοσκόπιο, 2011) 7
Εικόνα 2.1.3: Δριμύτητα πυρκαγιών ανά γεωγραφική ενότητα (Οικοσκόπιο, 2011) 8
Εικόνα 2.1.4: Περιστατικά πυρκαγιών ανά γεωγραφική ενότητα (Οικοσκόπιο, 2011) 8
Εικόνα 2.1.5: Ποσοστό περιστατικών πυρκαγιών ανά μήνα (Οικοσκόπιο, 2011) 9
Εικόνα 2.1.6: Ποσοστό περιστατικών πυρκαγιών ανά αίτιο (Οικοσκόπιο, 2011) 9
Διάγραμμα 3.3.1: Διάγραμμα ροής της παρούσας μελέτης 22
Εικόνα 3.2.1α: Περιοχή μελέτης, δήμοι. 23
Εικόνα 3.2.1β: Περιοχή μελέτης, ορεινοί όγκοι. 23
Εικόνα 3.5.1: Ημ. λήψης: 25 Ιουλίου 1986, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 26
Εικόνα 3.5.3: Ημ. λήψης: 29 Ιουνίου 1991, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 26
Εικόνα 3.5.2: Ημ. λήψης: 28 Ιανουαρίου 1988, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 26
Εικόνα 3.5.4: Ημ. λήψης: 23 Σεπτεμβρίου 1999, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 26
Εικόνα 3.5.5: Ημ. λήψης: 26 Ιουλίου 2001, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 27
Εικόνα 3.5.7: Ημ. λήψης: 29 Νοεμβρίου 2009, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 27
Εικόνα 3.5.9: Ημ. λήψης: 22 Αυγούστου 2014, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 27
Εικόνα 3.5.6: Ημ. λήψης: 14 Αυγούστου 2008, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 27
Εικόνα 3.5.8: Ημ. λήψης: 26 Σεπτεμβρίου 2012, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 27
Εικόνα 3.5.10: Συνολική έκταση που έχει καεί από το 1986 εως το 2014 στην περιοχή μελέτης 28
Εικόνα 3.6.1: Ημερομηνία λήψης: 25 Ιουλίου 1986, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κόκκινο χρώμα) 32
Εικόνα 3.6.2: Ημερομηνία λήψης: 23 Οκτωβρίου 1984, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 32
Εικόνα 3.6.3α: Βάρη καναλιών (1986) 33
Εικόνα 3.6.4α: Κατάτμηση εικόνας του 1986. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 33
Εικόνα 3.6.3β: Κλίμακα και βάρη κριτηρίων κατάτμησης (1986) 33
Εικόνα 3.6.4β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.4α: Κατάτμηση εικόνας του 1986. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 34
Εικόνα 3.6.5: Feature View: Χαρακτηριστικό Blue/NIR 1986 35
Εικόνα 3.6.7: Feature View: Χαρακτηριστικό NBR 1986 35
Εικόνα 3.6.9: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 5 (SWIR1), 1984 35
Εικόνα 3.6.6: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1984-1986 35
Εικόνα 3.6.8: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 1 (Blue), 1984 35
Εικόνα 3.6.10: Ταξινόμηση στην κατηγορία “burnt”, 1986. 37
Εικόνα 3.6.11: Best Classification Result (1986) 38
Εικόνα 3.6.13: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1986) 38
Εικόνα 3.6.12: Classification Stability (1986) 38
Εικόνα 3.6.14: Ημερομηνία λήψης: 4 Αυγούστου 1984, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 39
Εικόνα 3.6.15: Ημερομηνία λήψης: 28 Ιανουαρίου 1988, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κόκκινο χρώμα) 39
Εικόνα 3.6.17α: Κατάτμηση εικόνας του 1988. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 40
Εικόνα 3.6.16: Ημερομηνία λήψης: 9 Ιουλίου 1989, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 40
Εικόνα 3.6.18: Χαρακτηριστικό NBR 1988 41

Εικόνα 3.6.17β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.17α: Κατάτμηση εικόνας του 1988. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 41
Εικόνα 3.6.19: Διαφορά δεικτών NDVI 1984-1988 41
Εικόνα 3.6.20: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1984-1989 42
Εικόνα 3.6.22: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 5 (SWIR1), 1988 42
Εικόνα 3.6.21: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 1 (Blue), 1984 42
Εικόνα 3.6.23: Feature View: Χαρακτηριστικό HSI Tranformation Saturation RGB: 7-4-1_1988 42
Εικόνα 3.6.24: Αρχική ταξινόμηση στην κατηγορία “burnt”, 1988. 44
Εικόνα 3.6.25: Αλγόριθμος για την αφαίρεση των αντικειμένων του τμήματος δρόμου από την κατηγορία *“burnt”* (1988) 44
Εικόνα 3.6.24β: Τμήμα δρόμου το οποίο επιθυμείται να αφαιρεθεί από την κατηγορία *“burnt”* (1988) 44
Εικόνα 3.6.26: Τελική βελτιωμένη ταξινόμηση στην κατηγορία “burnt”, 1988. 45
Εικόνα 3.6.27α: Best Classification Result (1988) 46
Εικόνα 3.6.28: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1988) 46
Εικόνα 3.6.27β: Classification Stability (1988) 46
Εικόνα 3.6.29: Ημερομηνία λήψης: 9 Ιουλίου 1989, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 47
Εικόνα 3.6.30: Ημερομηνία λήψης: 29 Ιουνίου 1991, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κόκκινη απόχρωση) 47
Εικόνα 3.6.31α: Κατάτμηση εικόνας του 1991. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 48
Εικόνα 3.6.31β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.17α: Κατάτμηση εικόνας του 1991. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 48
Εικόνα 3.6.32: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1989-1991 49
Εικόνα 3.6.34: Feature View: Δείκτης NDVI 1991 49
Εικόνα 3.6.33: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 1 (Blue), 1989 49
Εικόνα 3.6.35: Feature View: Χαρακτηριστικό HSI Tranformation Hue RGB: 7-4-3_1991 49
Εικόνα 3.6.36: Ταξινόμηση στην κατηγορία “burnt”, 1991 50
Εικόνα 3.6.37: Best Classification Result (1991) 51
Εικόνα 3.6.39: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1991) 51
Εικόνα 3.6.38: Classification Stability (1991) 51
Εικόνα 3.6.40: Ημερομηνία λήψης: 9 Ιουλίου 1989, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 53
Εικόνα 3.6.41: Ημερομηνία λήψης: 23 Σεπτεμβρίου 1999, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κύκλοι A5) 53
Εικόνα 3.6.42α: Κατάτμηση εικόνας του 1999. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 54
Εικόνα 3.6.42β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.17α: Κατάτμηση εικόνας του 1999. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 54
Εικόνα 3.6.43: Feature View: Χαρακτηριστικό SWIR2/NIR 1999 55
Εικόνα 3.6.45: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1989-1999 55
Εικόνα 3.6.47: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 5 (SWIR1), 1989 55
Εικόνα 3.6.44: Feature View: Χαρακτηριστικό NBR 1999 55
Εικόνα 3.6.46: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 1 (Blue), 1989 55
Εικόνα 3.6.48: Τμήμα δρόμου το οποίο επιθυμείται να αφαιρεθεί από την κατηγορία *“burnt”* (1999) 56
Εικόνα 3.6.49: Αλγόριθμος για την αφαίρεση των αντικειμένων του τμήματος δρόμου από την κατηγορία *“burnt”* (1999) 57

Εικόνα 3.6.51: Best Classification Result (1999) 58
Εικόνα 3.6.50: Τελική βελτιωμένη ταξινόμηση στην κατηγορία “burnt”, 1999. 58
Εικόνα 3.6.52: Classification Stability (1999) 58
Εικόνα 3.6.53: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1999) 59
Εικόνα 3.6.54: Ημερομηνία λήψης: 9 Ιουλίου 1989, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 60
Εικόνα 3.6.55: Ημερομηνία λήψης: 26 Ιουλίου 2001, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κύκλοι A5) 60
Εικόνα 3.6.56α: Κατάτμηση εικόνας του 2001. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 61
Εικόνα 3.6.56β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.56α: Κατάτμηση εικόνας του 2001. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 61
Εικόνα 3.6.57: Feature View: Χαρακτηριστικό NBR 2001 62
Εικόνα 3.6.59: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 1 (Blue), 1989 62
Εικόνα 3.6.58: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1989-2001 62
Εικόνα 3.6.60: Feature View: Χαρακτηριστικό HSI Tranformation Hue RGB: 7-4-3_2001 62
Εικόνα 3.6.61: Ταξινόμηση στην κατηγορία “burnt”, 2001. 63
Εικόνα 3.6.62: Best Classification Result (2001) 64
Εικόνα 3.6.63: Classification Stability (2001) 64
Εικόνα 3.6.64: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2001) 65
Εικόνα 3.6.65: Ημερομηνία λήψης: 9 Ιουλίου 1989, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 66
Εικόνα 3.6.66: Ημερομηνία λήψης: 23 Σεπτεμβρίου 1999, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 για ανάδειξη καμένων εκτάσεων (κύκλοι A5) 66
Εικόνα 3.6.67α: Κατάτμηση εικόνας του 2009. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 67
Εικόνα 3.6.67β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.6.17α: Κατάτμηση εικόνας του 2009. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-3 67
Εικόνα 3.6.68: Feature View: Χαρακτηριστικό SWIR2/Blue 2009 68
Εικόνα 3.6.70: Feature View: Χαρακτηριστικό HSI Tranformation Hue RGB: 7-4-3_2009 68
Εικόνα 3.6.69: Feature View: Διαφορά δεικτών NDVI 1989-2009 68
Εικόνα 3.6.71: Ταξινόμηση στην κατηγορία “burnt”, 2009. 69
Εικόνα 3.6.72: Best Classification Result (2009) 70
Εικόνα 3.6.73: Classification Stability (2009) 70
Εικόνα 3.6.74: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2009) 71
Εικόνες 3.6.76α,β: Ημερομηνία λήψης: 23 Οκτωβρίου 1984, έγχρωμα σύνθετα RGB: 7-4-1 72
Εικόνα 3.6.75: Ημερομηνία λήψης: 23 Οκτωβρίου 1984, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-4-1 72
Εικόνες 3.6.77α,β: Ταξινομήσεις στην κατηγορία “burnt”, 1984. 73
Εικόνα 3.7.1: Ημερομηνία λήψης: 23 Απριλίου 2016, έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-5-2 74
Εικόνα 3.7.2: Feature View: Δείκτης IBI, 2016 75
Εικόνα 3.7.4: Feature View: Δείκτης SAVI, 2016 75
Εικόνα 3.7.3: Feature View: Χαρακτηριστικό Mean Layer Value Band 2 (Blue), 2016 75
Εικόνα 3.7.5: Feature View: Δείκτης NDVI, 2016 75
Εικόνα 3.7.6α: Κατάτμηση *(level 1)* δορυφορικής εικόνας του 2016. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-5-2 76
Εικόνα 3.7.6β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.7.6α: Κατάτμηση *(level 1)* δορυφορικής εικόνας του 2016. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-5-2 76
Εικόνα 3.7.7: Δείγματα *(Samples)* για την ταξινόμηση *(hierarchical classification)* στο πρώτο επίπεδο, 2016 77

Εικόνα 3.7.8: Ταξινόμηση *(hierarchical classification)* πρώτου επιπέδου *(level 1), 2016* 78
Εικόνα 3.7.9α: Κατάτμηση *(level 2)* δορυφορικής εικόνας του 2016. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-5-2 78
Εικόνα 3.7.10: Feature View: Δείκτης NDWI, 2016 79
Εικόνα 3.7.9β: Μεγέθυνση τμήματος της εικονας 3.7.9α: Κατάτμηση *(level 2)* δορυφορικής εικόνας του 2016. Έγχρωμο σύνθετο RGB: 7-5-2 79
Εικόνα 3.7.11: Feature View: Δείκτης SAVI, 2016 79
Εικόνα 3.7.11: Feature View: Χαρακτηριστικό Standard Deviation, band 7, 2016 80
Εικόνα 3.7.12α: Ταξινόμηση *(classification)* δευτέρου επιπέδου *(level 2)* στην κλάση *Urban 2, 2016* *81*
Εικόνα 3.7.12β: Μικρά τμήματα δομημένης έκτασης που δεν έχουν συμπεριληφθεί στην κατηγορία *Urban 2* (πορτοκαλί χρώμα) (2016) 82
Εικόνα 3.7.12γ: Τμήματα χέρσας γης και αραιής βλάστησης που έχουν συμπεριληφθεί στην κατηγορία *Urban 2* (πορτοκαλί χρώμα) (2016) 82
Εικόνα 3.7.13: Best Classification Result (2016) 83
Εικόνες 3.7.15α,β: Δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2016) 83
Εικόνα 3.7.14: Classification Stability (2016) 83
Εικόνα 3.8.1: Συνολικά οι καμένες εκτάσεις από το 1984 εως το 2014 85
Εικόνα 3.8.2: Καμένες εκτάσεις από το 1984 εως το 1986 και δομημένο περιβάλλον το έτος 2016 85
Εικόνα 3.8.3: Καμένες εκτάσεις από το 1984 έως το 1986, δομημένο περιβάλλον το έτος 2016 και περιοχές που συμπίπτουν 86
Εικόνα 3.8.4: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, Πεντέλη (2016) 87
Εικόνα 3.8.6: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Διονύσου (2016) 87
Εικόνα 3.8.5: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Μαραθώνα (2016) 87
Εικόνα 3.8.7: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Ραφήνας-Πικερμίου (2016) 87
Εικόνα 3.8.8: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Ραφήνας-Πικερμίου (2016) 88
Εικόνα 3.8.9: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Μαραθώνα (2016) 88
Εικόνα 3.8.10: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Κηφισιάς (2016) 89
Εικόνα 3.8.12: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Ωρωπού (2016) 89
Εικόνα 3.8.11: Καμένες εκτάσεις και τομή με δομημένο, δήμος Αχαρνών (2016) 89

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 3.3.1: Ληφθείσες δορυφορικές εικόνες Landsat 24
Πίνακας 3.6.1: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (1986) 36
Πίνακας 3.6.3: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (1986) 37
Πίνακας 3.6.2: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (1986) 37
Πίνακας 3.6.4: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1986) 38
Πίνακας 3.6.5: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* *43*
Πίνακας 3.6.6: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (1988) 45
Πίνακας 3.6.7: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (1988) 45
Πίνακας 3.6.8: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1988) 46
Πίνακας 3.6.9: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (1991) 50
Πίνακας 3.6.10: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (1991) 51
Πίνακας 3.6.11: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (1991) 51
Πίνακας 3.6.12: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1991) 52
Πίνακας 3.6.13: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (1999) 56
Πίνακας 3.6.14: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (1999) 58
Πίνακας 3.6.15: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) 58
Πίνακας 3.6.16: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (1999) 59
Πίνακας 3.6.17: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (2001) 63
Πίνακας 3.6.18: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (2001) 64
Πίνακας 3.6.19: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (2001) 64
Πίνακας 3.6.20: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2001) 65
Πίνακας 3.6.21: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (2009) 69

Πίνακας 3.6.22: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (2009) 70
Πίνακας 3.6.23: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (2009) 70
Πίνακας 3.6.24: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2009) 71
Πίνακας 3.6.25α: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (1984) 73
Πίνακας 3.6.25β: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Burnt"* (1984) 73
Πίνακας 3.7.1: Συνάρτηση συμμετοχής του κάθε χαρακτηριστικού και όρια, για την κλάση *"Urban2"* (2016) 80
Πίνακας 3.7.2: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της καλύτερης ταξινόμησης (Best Classification Result) (2016) 82
Πίνακας 3.7.3: Αξιολόγηση με τη μέθοδο της Σταθερότητας Ταξινόμησης (Classification Stability) (2016) 82
Πίνακας 3.7.4: Αξιολόγηση με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (Error Matrix Based on Samples) (2016) 83