

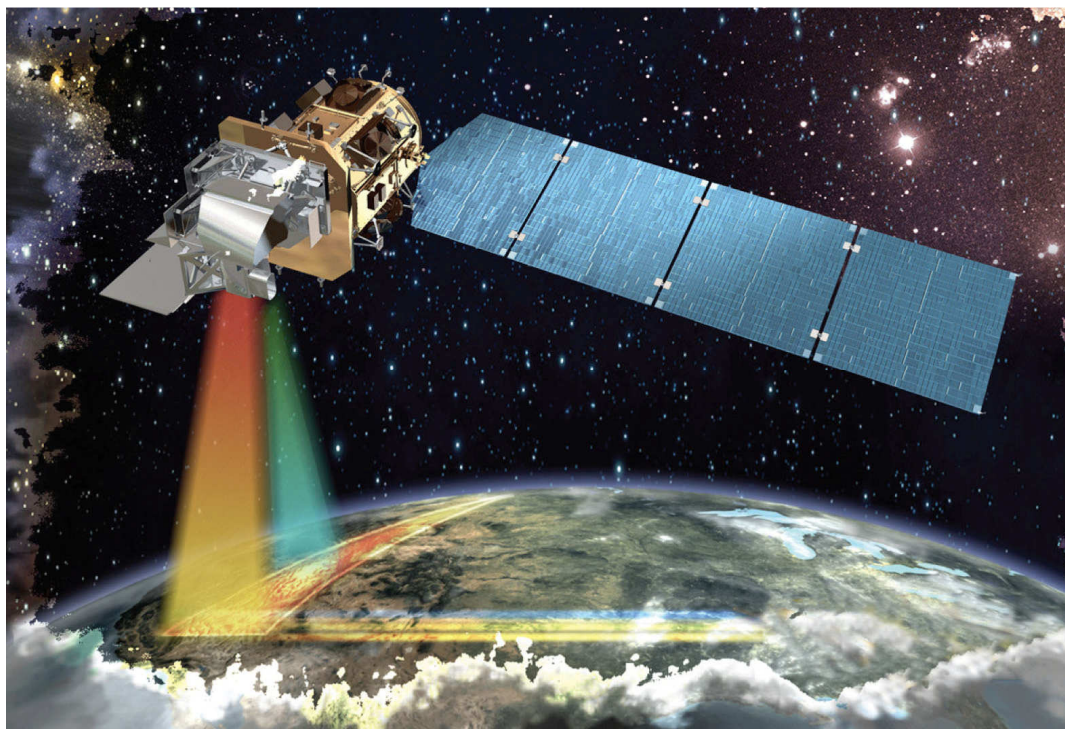
**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Δ.Π.Μ.Σ: «Περιβάλλον και Ανάπτυξη, 2<sup>η</sup> κατεύθυνση,  
Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών»

**Διπλωματική εργασία με θέμα:**

**«Χαρτογράφηση καύσιμης ύλης με Αντικειμενοστρεφή Ανάλυση Εικόνας για χρήση στο  
μοντέλο δασικής πυρκαγιάς Farsite. Μελέτη Περίπτωσης: Πυρκαγιά Πλωμαρίου,  
Λέσβου 1994»**



**Πουλάκη Παναγιώτα, Γεωγράφος**

**Επιβλέπων καθηγητής: Αργιαλάς Δημήτριος**





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ**  
**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)**  
**«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»**

**Διπλωματική εργασία με θέμα:**

**«Χαρτογράφηση καύσιμης ύλης με Αντικειμενοστρεφή Ανάλυση Εικόνας για χρήση στο μοντέλο δασικής πυρκαγιάς Farsite. Μελέτη Περίπτωσης: Πυρκαγιά Πλωμαρίου, Λεσβου 1994»**

***Επιμέλεια εργασίας:***

***Πουλάκη Παναγιώτα***

***Γεωγράφος***

Τριμελής επιτροπή:

Αργιαλάς Δημήτριος  
(επιβλέπων)

Καλιαμπάκος Δημήτριος

Κολοκούσης Πολυχρόνης

.....  
(Υπογραφή)

.....  
(Υπογραφή)

.....  
(Υπογραφή)



## Περίληψη

Οι δασικές πυρκαγιές, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, αποτελούν ένα εξαιρετικά μεγάλο πρόβλημα ιδιαίτερα για τις Μεσογειακές χώρες. Στην Ελλάδα σύμφωνα με το Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος, τα έτη 2000-2011 έχουν καεί 440133 εκτάρια δασικής έκτασης. Η συνεισφορά της τεχνολογίας και των συστημάτων πληροφοριών στην πρόληψη, καταγραφή αλλά ακόμα και την αποτελεσματικότερη καταπολέμηση των πυρκαγιών είναι πολύ σημαντική. Με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι δυνατό να δημιουργήσουμε χάρτες επικινδυνότητας πυρκαγιών, να ανιχνεύσουμε έγκαιρα τα σημεία ανάφλεξης, να έχουμε ακριβή πρόγνωση του καιρού έως και πέντε μέρες νωρίτερα, και με χρήση κατάλληλων μοντέλων να προσομοιώνουμε την συμπεριφορά των πυρκαγιών, ακόμα και να αποφασίσουμε για το βέλτιστο τρόπο κατάσβεσής τους. Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην πυρκαγιά που ξέσπασε το έτος 1994 στον ορεινό όγκο του Πλωμαρίου, Λέσβου. Για την περιοχή αυτή δημιουργήθηκαν χάρτες καύσιμης ύλης και πυκνότητας κόμης με χρήση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων Landsat 5 TM και αντικειμενοστρεφή ανάλυση εικόνας. Οι χάρτες αυτοί δημιουργήθηκαν τόσο για την περίοδο ακριβώς πριν την πυρκαγιά του 1994 όσο και με εικόνες του 2011. Απώτερος στόχος ήταν η εφαρμογή μοντέλου προσομοίωσης πυρκαγιάς πριν τη φωτιά, ώστε να διακριβωθεί η ακρίβεια τόσο των χαρτών όσο και του μοντέλου, και μετά την πυρκαγιά, με σκοπό να προκύψει ένας χάρτης ο οποίος θα δείχνει προς τα πού θα κινηθεί μία ενδεχόμενη νέα πυρκαγιά με βάση την υπάρχουσα πλέον βλάστηση της περιοχής, την τοπογραφία, και μετεωρολογικά δεδομένα. Με την παραγωγή ενός τέτοιου χάρτη μπορούμε να έχουμε την δυνατότητα πρόβλεψης της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς με σκοπό την έγκαιρη κατάσβεση της. Η προστασία μιας δασικής περιοχής που έχει ήδη καεί στο πρόσφατο παρελθόν είναι πολύ σημαντική καθώς μετά από τρεις συνεχόμενες πυρκαγιές της ίδιας περιοχής υπάρχει πολύ μεγάλος κίνδυνος ερημοποίησης της περιοχής.



## **Abstract**

The fire apart of the good things that it provides the humanity, these days constitutes a plague that suffers countries as Mediterranean, mainly summer months with the form of fire forest. In Greece, according to the Fire Brigade Greece, the years 2000 - 2011 have been burned 440.133 hectares. It is actually necessary the direct mobilization, awareness of energies for prevention, briefing and repression. The contribution of technology and the growth of systems of information in these directions are very important. The technological development allows us, to recognize the points of ignition, to create maps of venturousness of fires, to have precise forecast of time up to five days earlier, to simulate the behavior of fires, etc. In this research work for the master thesis we have been simulate the fire that burst out in 1994 at the mountainous region of Plomari. Then we will be started the model for simulation of the fire behavior afterwards as well. The aim is the result, of a map where it will be shown us the case where affected already region it suffers some ignition, to where will be moved the fire with base the vegetation – fuel matter of region, topography, meteorological data. With the map of the Savory we will have the possibility of forecast behavior of fire aiming at her convenient extinguishment. The prevention of fire in region that has been burned in the past is very important because with three possessed fires at the same region exists very big danger of disertification.





## Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εκπονήθηκε στο εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στα πλαίσια της ολοκλήρωσης του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Περιβάλλον και ανάπτυξη Ορεινών Περιοχών».

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον Δρ. Πολυχρόνη Κολοκούση που σενέβαλε σημαντικά με την υπομονή και την καθοδήγηση του καθόλη τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής, διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στη ολοκλήρωση της.

Οφείλω επίσης ευχαριστίες σε έναν πολύ σημαντικό άνθρωπο τον κύριο Δημήτριο Αργιαλά που ήταν ο επιβλέπων καθηγητής μου, με την σοφία του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του και συμβουλές του καταφέραμε να έχουμε ένα αξιόλογο αποτέλεσμα.

Ενά μεγάλο ευχαριστώ επίσης θα ήθελα εκφράσω στην αγαπητή Ναταλία Καλεβρά από την WWF-HELLAS, τον Κύριο Αθανάσιο Σαραντόπουλο από την Ε..Μ.Υ για την βοήθεια τους.

Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω τον κύριο Παλαιολόγο Παλαιολόγου για την πολύτιμη βοήθεια του με την παραχώρηση των δεδομένων πεδίου αλλά και της βιβλιογραφίας η οποία ήταν πολύ χρήσιμη για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής.

Τέλος , ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου, για την οικονομική και ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχε.



## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract.....	3
Ευχαριστίες.....	5
Κατάλογος Εικόνων .....	9
Κατάλογος Πινάκων.....	11
1. Γενικά.....	13
2. Σκοπός της Μελέτης .....	15
3. Εισαγωγή .....	17
3.1 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας.....	19
3.2 Μετάδοση της θερμότητας σε δασικές πυρκαγιές.....	21
3.3 Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών. ....	23
3.4 Μοντέλα προσομοίωσης συμπεριφοράς της πυρκαγιάς.....	25
3.4.1 Farsite .....	27
3.4.2 BehavePlus.....	39
3.5 Χαρτογράφηση καύσιμης ύλης με χρήση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων Landsat.....	47
3.6 Μοντέλα Καύσιμης Ύλης.....	51
3.7 Αντικειμενοστρεφής ανάλυση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων .....	55
4. Στόχοι της παρούσας μελέτης.....	59
5. Μεθοδολογία.....	61
5.1 Περιοχή μελέτης.....	61
5.1.1 Ιστορική αναδρομή του Πλωμαρίου .....	63
5.1.2 Τα χωριά του Πλωμαρίου .....	65
5.1.3 Ορεινός όγκος Πλωμαρίου .....	69
5.1.4 Χλωρίδα - Πανίδα περιοχής .....	71
5.1.5 Birdwatching .....	72
5.1.6 Δίκτυο Natura 2000.....	72

5.1.7	Κλίμα της περιοχής.....	73
5.1.8	Υδρογραφικό δίκτυο.....	73
5.1.9	Γεωλογία.....	74
5.1.10	Η φωτιά του Μεγαλοχωρίου Λέσβου του 1994.....	74
5.2	Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.....	75
5.3	Προεπεξεργασία δεδομένων.....	76
5.4	Δημιουργία χάρτη καύσιμης ύλης για τα έτη 1994 και 2011.....	76
5.4.1	Ταξινόμηση 1 <sup>ου</sup> επιπέδου - χάρτης χρήσεων/κάλυψης γής πριν και μετά την Πυρκαγιά του 1994.....	81
5.5	Δημιουργία χάρτη πυκνότητας της κόμης για τα έτη 1994 και 2011.....	89
5.5.1	Ταξινόμηση 2 <sup>ου</sup> επιπέδου με χρήση του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI).....	95
5.5.2	Ταξινόμηση 3 <sup>ου</sup> επιπέδου.....	99
5.6	Διάγραμμα ροής.....	103
6.	Προσομοίωση Πυρκαγιάς με το πρόγραμμα Farsite για το έτος 1994.....	105
7.	Προσομοίωση Πυρκαγιάς με το πρόγραμμα Farsite για το έτος 2011.....	107
8.	Αποτελέσματα – Συζήτηση.....	109
9.	Συμπεράσματα – Προοπτικές.....	113
	Βιβλιογραφία.....	115

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1:Το τρίγωνο της φωτιάς .....	19
Εικόνα 2 Αρχικό πλαίσιο δημιουργίας LCP αρχείου .....	28
Εικόνα 3: Πλαίσιο δημιουργίας Generate Landscape (LCP) αρχείου τοπίου με επιλεγμένα τα απαραίτητα στοιχεία.....	29
Εικόνα 4: Πλαίσιο δημιουργίας FPJ αρχείου εργασίας .....	30
Εικόνα 5: Πλαίσιο δημιουργίας FPJ αρχείου εργασίας με επιλεγμένα τα απαραίτητα αρχεία .....	31
Εικόνα 6: Πλαίσιο διαλόγου “Attached Vector Files” .....	31
Εικόνα 7: Επίδειξη του Τοπίου της Εφαρμογής.....	32
Εικόνα 8: Καθορισμός Προτύπων Παραμέτρων Εφαρμογής.....	33
Εικόνα 9: Πλαίσιο διαλόγου Fire Behavior Options.....	35
Εικόνα 10: Πλαίσιο διαλόγου επιλογής δεδομένων εξόδου .....	37
Εικόνα 11: Παράθυρο της εφαρμογής.....	38
Εικόνα 12: Γραμμή Εργαλείων και Μενού .....	40
Εικόνα 13: Γραμμής εργαλείων και εντολών μενού .....	40
Εικόνα 14: Φύλλο εργασίας.....	41
Εικόνα 15: Καθορισμός Πινάκων Εξόδου.....	44
Εικόνα 16: Πίνακας αποτελεσμάτων με πολλαπλές σελίδες .....	46
Εικόνα 17: Νήσος Λέσβος (πηγή: Google maps).....	61
Εικόνα 18: Το σύνολο των απαιτούμενων layer με RGB: 453.....	78
Εικόνα 19: Εισαγωγή δεδομένων για το project.....	78
Εικόνα 20: Κατάτμηση εικόνας περιοχής μελέτης με scale 10, shape 0.1, compactness 0.5 .....	79
Εικόνα 21: Κατάτμηση εικόνας περιοχής μελέτης με scale 50, shape 0.1, compactness 0.5 .....	80
Εικόνα 22: Χαρτογράφηση των βασικών τύπων κάλυψης γης, 1987, WWF-HELLAS.....	81
Εικόνα 23: Zoom στην περιοχή μελέτης από τον χάρτη: «Χαρτογράφηση των βασικών τύπων κάλυψης γης», 1987, WWF-HELLAS.....	81
Εικόνα 24: Χαρτογράφηση των βασικών τύπων κάλυψης γης, 2007, WWF-HELLAS.....	82
Εικόνα 25: Zoom στην περιοχή μελέτης από τον χάρτη: «Χαρτογράφηση των βασικών τύπων κάλυψης γης», 2007, WWF-HELLAS.....	82
Εικόνα 26: Χάρτης καλύψεων/χρησεων γης σύμφωνα με τον κο. Παλαιολόγο Παλαιολόγου,2011. ....	83
Εικόνα 27: Δείγματα εκπαίδευσης για την περιοχή ενδιαφέροντος το έτος 1994 .....	85
Εικόνα 28: Δείγματα εκπαίδευσης για την περιοχή ενδιαφέροντος το έτος 2011 .....	85
Εικόνα 29: Ταξινόμηση 1 <sup>ου</sup> επιπέδου σε χρήσεις/κάλυψεις γης πριν την πυρκαγιά του 1994 .....	86
Εικόνα 30: Ταξινόμηση 1 <sup>ου</sup> επιπέδου σε χρήσεις/κάλυψεις γης πριν την πυρκαγιά του 2011 .....	86

Εικόνα 31: Δημιουργία των κανονικοποιημένων δεικτών NDVI σε διάστημα 0-100.....	91
Εικόνα 32: NDVI από 0-100 σε συγκεκριμένες κατηγορίες.....	92
Εικόνα 33: Κανόνας που περιορίζει την ταξινόμηση σε συγκεκριμένη κατηγορία βλάστησης.....	92
Εικόνα 34: Κανόνας που περιορίζει την ταξινόμηση σε συγκεκριμένη κατηγορία βλάστησης με ποσοστό κάλυψης μεγαλύτερο από 60%.....	93
Εικόνα 35: Εφαρμογή Κανόνα κατηγορίας πυκνότητα κόμης.....	94
Εικόνα 36: Ιεράρχηση των επιπέδων των ταξινομήσεων (1 <sup>ου</sup> , 2 <sup>ου</sup> , 3 <sup>ου</sup> επιπέδου).....	99
Εικόνα 37: Εφαρμογή κανόνων στο επίπεδο 3.....	100
Εικόνα 38: Περιβάλλον εργασίας eCognition με όλα τα επίπεδα ταξινόμησης.....	100
Εικόνα 39: Τελικός χάρτης πυκνότητας της κόμης για το έτος 1994.....	101
Εικόνα 40: Τελικός χάρτης πυκνότητας της κόμης για το έτος 2011.....	101
Εικόνα 41: Διάγραμμα Ροής που απεικονίζει την μεθοδολογία.....	103
Εικόνα 42: Φωτογραφία από το Μεγαλοχώρι στην καμένη περιοχή, (Πηγή: Π. Παλαιολόγου, 2011).....	105
Εικόνα 43: Περιβάλλον εργασίας Farsite για το έτος 2011.....	107
Εικόνα 44: Αρχείο εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης πυρκαγιάς με τα δυο σημεία ανάφλεξης κατά μήκος της διαδρομής από το χωριό Μεγαλοχώρι μέχρι την περιοχή Σκοτεινό, 1994.....	109
Εικόνα 45: Σύγκριση αρχείου εξόδου προσομοίωσης από το Farsite με ψηφιοποιημένη περιοχή που κάηκε σύμφωνα με τον Π. Παλαιολόγου.....	110
Εικόνα 46: Αρχείο εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης πυρκαγιάς με το ένα σημείο ανάφλεξης στην περιοχή Μεγαλοχώρι (παλαιό λατομείο), 2011.....	111
Εικόνα 47: Αρχείο εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης πυρκαγιάς με τα δύο σημεία ανάφλεξης μήκος της διαδρομής από το χωριό Μεγαλοχώρι μέχρι την περιοχή Σκοτεινό, 2011.....	112

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Πλήθος πυρκαγιών και των εκτάσεων που κάηκαν την περίοδο 2000-2011 .	18
Πίνακας 2: Συστήματα προσομοίωσης πυρκαγιάς .....	26
Πίνακας 3: Τα πρότυπα Μοντέλα Κάυσιμης Ύλης που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο διάδοσης πυρκαγιάς του Rothermel (Πηγή: Scott & Burgan, 2005, Rothermel, 1972).....	52
Πίνακας 4: Πηγή ΕΛ.ΣΤΑΤ., δεδομένα που αφορούν τον πλυθυσμό, έκταση, το μέσο σταθμικό υψόμετρο για τα έτη 1961-2011 της κοινότητας Πλωμαρίου, Λέσβου .....	69
Πίνακας 5: Στοιχεία παραμέτρων κατάτμησης επιπέδου 1.....	79
Πίνακας 6: Στοιχεία παραμέτρων κατάτμησης επιπέδου 1.....	80
Πίνακας 7: Σύνολο κατηγοριών ταξινόμησης επιπέδου καλύψεων γής (Ρούσσου Ο., 2009) .....	84
Πίνακας 8 : Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1994 .....	87
Πίνακας 9: Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2011 .....	88
Πίνακας 10: Αντιστοίχιση Μοντέλων Κάυσιμης ύλης με Κατηγορίες Βλάστησης (Ρούσσου Ο., 2009) .....	88





## 1. Γενικά

Η Δασική Πυρκαγιά εντάσσεται στις φυσικές καταστροφές. Στον Ελληνικό χώρο κάθε χρόνο καίγονται χιλιάδες στρέμματα με ανυπολόγιστες επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή και το περιβάλλον (Τσαγκαρης Κ. κ.α, 2011). Οι τεχνολογίες γεωπληροφορικής, ασύρματων αισθητήρων, video analytics, ασύρματων προσωπικών επικοινωνιών, κ.ά., προσφέρουν λύση στη πρόληψη, ενημέρωση και καταστολή Πυρκαγιών μέσω Μοντέλων Προσομοίωσης Συμπεριφοράς των Πυρκαγιών (Βεσκούκης Β. κ.α, 2010)

Η εκτίμηση επικινδυνότητας αναδεικνύει ευάλωτα σημεία υψηλού ρίσκου και υποδεικνύει δράσεις πρόληψης. Τα Μοντέλα Πρόβλεψης δίνουν τη δυνατότητα στους ειδικούς (δασολόγους, γεωπόνους, γεωγράφους, και άλλους) να οργανώσουν καταλόγους με μοντέλα μεγάλης ακρίβειας, προσαρμοσμένα στην τοπική πραγματικότητα. Η έγκαιρη προειδοποίηση εξασφαλίζει την κινητοποίηση του Μηχανισμού Καταστολής (Βεσκούκης Β. κ.α, 2010).

Η προσομοίωση του Μετώπου της Πυρκαγιάς σε πραγματικό χρόνο είναι πολύ σημαντική για τις επόμενες ώρες, διότι παρέχει πληροφορίες , έτσι ώστε να είναι εφικτή η παρακολούθηση της θέσης (tracking) των επιγείων και εναερίων μέσων πυρόσβεσης, η αποτύπωση ασφαλών δρόμων διαφυγής για πολίτες και πυροσβέστες, η αναγνώριση σημαντικών υποδομών που εκτίθενται σε κίνδυνο. Η ασφάλεια των ανθρώπων και η αποτελεσματικότητα των επιχειρήσεων έχουν προτεραιότητα (Βεσκούκης Β. κ.α, 2010).



## 2. Σκοπός της Μελέτης

Με αφορμή την μεγαλύτερη πυρκαγιά που ξέσπασε στο Νησί της Λέσβου το έτος 1994 στον ορεινό όγκο του Πλωμαρίου, καταστρώντας ευάλωτη πλέον την περιοχή, η παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθεί με την προσομοίωση αυτής της πυρκαγιάς.

Κρίθηκε λοιπόν σκόπιμο σε πρώτη φάση, να κάνουμε αναπαράσταση της πυρκαγιάς και εν συνεχεία να προσομοιώσουμε την ίδια πυρκαγιά 17 χρόνια μετά. Μετά από έρευνα της βιβλιογραφίας καταλήξαμε στην επιλογή του μοντέλου προσομοίωσης Farsite 4 (Παλαιολόγος Π., 2011, Ρούσσου Ν., 2009, Ψῆμος Β., 2007, Andrews et al., 2003, Finney, 1998 Andrews P.L., Bevins C.D, and. Seli. R.C, 2003, Finney, M.A., 2004) Τα δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν στο μοντέλο για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση είναι:

1. Τα μετεωρολογικά
2. Τα τοπογραφικά στοιχεία της περιοχής
3. Χάρτης καύσιμης ύλης
4. Πυκνότητα της κόμης των δέντρων
5. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που ήταν απαραίτητα παραχωρήθηκαν από την Ε.Μ.Υ μετά από προσωπική επικοινωνία με τον Κο ΑΘ. Σαραντόπουλο. Τα τοπογραφικά δεδομένα δημιουργήθηκαν μέσω του προγράμματος QGIS από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

Τέλος, ο χάρτης πυκνότητας της κόμης και ο χάρτης καύσιμης ύλης για την περιοχή μας, δημιουργήθηκε με την μέθοδο Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης στο περιβάλλον εργασίας του eCognition



### 3. Εισαγωγή

#### Δασικός πλούτος στον Ελλαδικό χώρο

Το Ελληνικό τοπίο χαρακτηρίζεται για το δασικό πλούτο του καθώς το 24% της ελληνικής επικράτειας απαρτίζεται από δασικές εκτάσεις (WWF Ελλάς, 2003). Ο όρος «δασική έκταση» φέρει δύο έννοιες, τόσο επιστημονική όσο και νομική. Το άρθρο 24 του Συντάγματος ορίζει ως δασική έκταση, το δασικό σύνολο του οποίου η άγρια ξυλώδης βλάστηση, υψηλή ή θαμνώδης, είναι αραιά. Η δασολογική επιστήμη δε ορίζει την επιστημονική διαδικασία που καθορίζεται από την ύπαρξη ή όχι συγκεκριμένων οικολογικών χαρακτηριστικών και δεν υπόκειται στην κρίση του νομοθέτη ή του πολιτικού μια έκταση ως δασική (WWF Ελλάς, 2003). Ο ορισμός αυτός συγκροτεί πόρισμα και είναι δεσμευτικός για την δασολογική επιστήμη. Οι δασικές εκτάσεις, περιοχές που συνήθως καλύπτονται από αραιά δενδρώδη ή θαμνώδη βλάστηση, έχουν συχνά εξαιρετική οικολογική αξία, καθώς σχηματίζουν πολύ σημαντικούς βιότοπους για διεθνώς προστατευόμενα είδη πουλιών, ενώ φιλοξενούν πολλά ενδημικά είδη χλωρίδας και πανίδας. Σε μια χώρα που έχει προικισθεί με τον μεγαλύτερο οικολογικό πλούτο της Ευρώπης, η προστασία αυτών των εκτάσεων εγγυάται την οικολογική συνοχή του ελληνικού χώρου, ώστε από μόνες τους οι προστατευόμενες περιοχές να μην καταλήξουν να είναι μοναχικές νησίδες βιοποικιλότητας. Και βέβαια δεν πρέπει να παραγνωρίζεται η σημασία των δασικών οικοσυστημάτων για την προστασία των εδαφών και την αντιμετώπιση της λειψυδρίας (WWF Ελλάς, 2003).

#### Δασικές πυρκαγιές

Η φωτιά αν και αποτελεί αναπόσπαστη διαταραχή στα μεσογειακά οικοσυστήματα (Agee, 1993, Wright and Bailey, 1982) επηρεάζει σημαντικά τις επιμέρους λειτουργίες και πολλαπλές χρήσεις του δάσους. Παράλληλα ασκεί καθοριστικές επιδράσεις στο φυσικό κύκλο διαδοχής της βλάστησης, καθώς και στη λειτουργία και δομή των φυσικών οικοσυστημάτων (Κούτσιας κ.α., 2001). Με την δύναμη της φωτιάς το ανθρώπινο όν δημιούργησε τον σύγχρονο πολιτισμό αφήνοντας πίσω τα σπήλαια. Στην περίπτωση που διαφύγει από τον έλεγχο θα μπορούσε όμως να προκαλέσει αναπάντεχες καταστροφές σε ελάχιστο χρόνο. Παρόλα τα αγαθά που μας προσφέρει η φωτιά, δυστυχώς σήμερα αποτελεί επίσης μια μάστιγα που καταδυναστεύει χώρες όπως οι Μεσογειακές, κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, με την μορφή πυρκαγιάς. Οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα αποτελούν μία από τις σημαντικότερες φυσικές καταστροφές σε ένα κατεξοχήν πυριγενές φυσικό περιβάλλον από άποψη κλίματος και βλάστησης (Kozlowski and Ahlgren, 1974). Από τα στατιστικά στοιχεία του Πυροσβεστικού Σώματος Ελλάδος η συνολική δασική γη που κάηκε στην περίοδο 2000 μέχρι και 2011 στον Ελλαδικό χώρο είναι 440.133 εκτάρια (πηγή Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος, Δημόσια Δεδομένα). Η Ελλάδα όπως και όλες οι Μεσογειακές χώρες έχει την

ευαισθησία να πλήττεται από καταστροφές των δασών από πυρκαγιά. Με μια σύντομη διαχρονική ανασκόπηση θα ήταν δυνατό να ειπωθεί πως, κάθε χρόνο εξ αιτίας των πυρκαγιών σημειώνονται καταστροφές κατοικημένων περιοχών, τόσο στρεμμάτων δασικών εκτάσεων και γεωργικών εκμεταλλεύσεων όσο και στρατιωτικών εγκαταστάσεων που η αξία τους εκτιμάται σε εκατομμύρια ευρώ. Επιπροσθέτως οι

Έτος	Πλήθος Πυρκαγιών	Καμένη έκταση (ha)
2000	12.980	110.448
2001	15.303	20.164
2002	8.854	3.918
2003	9.547	5.460
2004	10.815	8.269
2005	9.828	5.830
2006	8.868	8.093
2007	11.894	179.496
2008	12.035	28.089
2009	8.245	34.547
2010	8.389	10.674
2011	11.342	25.145
<b>Σύνολο</b>	<b>128.100</b>	<b>440.133</b>

Πίνακας 1: Πλήθος πυρκαγιών και των εκτάσεων που κάηκαν την περίοδο 2000-2011

δασικές πυρκαγιές αποτελούν μια από τις βασικές αιτίες των γυμνών βουνών της χώρας μας.

Συμφώνα με τον Πίνακα 1 το έτος 2007 κάηκαν 179.496 εκτάρια δηλαδή το 45% του συνολικού αριθμού της δεκαετίας. Είναι προφανές πως οι ενέργειες καταπολέμησης των πυρκαγιών είναι μεγάλης σπουδαιότητας και οι φορείς πρέπει να συντονιστούν στην προσπάθεια προς αυτήν την κατεύθυνση.

Για την μείωση των πυρκαγιών είναι απαραίτητες οι ενέργειες πρόληψης, ενημέρωσης και καταστολής. Η ανάπτυξη των πληροφοριακών συστημάτων σε αυτές τις κατευθύνσεις είναι πολύ σημαντική. Η τεχνολογική εξέλιξη μας επιτρέπει να αναγνωρίζουμε σημεία ανάφλεξης, να δημιουργούμε χάρτες επικινδυνότητας πυρκαγιών, να έχουμε ακριβή προγνωστικά καιρικά στοιχεία μέχρι και πέντε ημερών και να προσομοιώνουμε την συμπεριφορά πυρκαγιών κ.ά.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 50 έχει ξεκινήσει η προσπάθεια αναγνώρισης και ψηφιοποίησης του φαινομένου πυρκαγιών. Το σημαντικό βήμα όμως έγινε το 1972 με την μελέτη του Richard C Rothermen με το “Mathematical Model for predicting spread in Wild land Fuel όπου προέκυψε από πειραματικά δεδομένα. Στην συνέχεια έγιναν αρκετές βελτιώσεις και αλλαγές, όμως στην ουσία, το μοντέλο Rothermel είναι ο βασικός πρωταγωνιστής στην εξομοίωση των πυρκαγιών (Fire Science Digest, Μάρτιο 2008).

Σε κάθε περίπτωση το σημαντικό είναι, η μελέτη του φαινομένου της πυρκαγιάς, η εξάπλωση της και η ανάλυση των δεδομένων που την επηρεάζουν.

### 3.1 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Η φωτιά είναι αποτέλεσμα μιας χημικής διεργασίας για την οποία απαιτείται η συνύπαρξη τριών θεμελιωδών στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά είναι η καύσιμη ύλη, η θερμότητα και το οξυγόνο. Συχνά συναντώνται στην βιβλιογραφία σαν πλευρές ενός τριγώνου που ονομάζεται ως «το τρίγωνο της φωτιάς». Εάν, λοιπόν, απαλειφτεί μία πλευρά τριγώνου, δεν υφίσταται πλέον αυτό.

Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και με την φωτιά. Εάν απαλειφτεί οποιοδήποτε από τα τρία στοιχεία (καύσιμη ύλη, οξυγόνο, θερμότητα), η φωτιά δεν υφίσταται. Πάνω λοιπόν σε αυτήν την αρχή στηρίζονται όλες οι μέθοδοι πρόληψης και καταστολής των δασικών πυρκαγιών.



Εικόνα 1: Το τρίγωνο της φωτιάς

Οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στην έναρξη, συμπεριφορά και εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών είναι τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης (υφή, μέγεθος, συσσώρευση, κατανομή), η τοπογραφία (έκθεση, κλίση, υψόμετρο, διαμόρφωση εδάφους) και οι μετεωρολογικές συνθήκες (άνεμος, θερμοκρασία, σχετική υγρασία) (Καλαμποκίδης Κ. κ.α, 2004) Είναι γεγονός ότι σε περιβάλλον με παρόμοιο ανάγλυφο και καιρικές συνθήκες, ο κρίσιμος παράγοντας που καθορίζει την έναρξη και εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς, το μέγεθος, τη διάρκεια, και γενικότερα τις αρνητικές της επιπτώσεις στο φυσικό και κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον, είναι το είδος, η πυκνότητα, η κατανομή και η ευφλεκτικότητα της βλάστησης. Η βλάστηση αποτελεί το μέσο που εκδηλώνεται μια πυρκαγιά, και συνεπώς η άριστη γνώση της ποιοτικής και ποσοτικής δομής της βλάστησης είναι σημαντικό στοιχείο σε κάθε σχεδιασμό αποδοτικής πυροπροστασίας είτε πρόληψης είτε καταστολής.

Στις δασικές πυρκαγιές η καύσιμη ύλη μπορεί να διακριθεί σε τρεις κατηγορίες.

- Υπεδάφια καύσιμη ύλη η οποία αποτελείται από την αποσυντιθέμενη οργανική ύλη δηλ την τύρφη, τις νεκρές ρίζες και τον χούμος.
- Επί του εδάφους καύσιμη ύλη (ύψους μέχρι 2 μέτρα) συγκαταλέγεται ο ξηροτάπητας, την ποώδη βλάστηση, θάμνους, πεσμένα δέντρα, φρύγανα κοκ.

- Εναέρια καύσιμη ύλη (ύψους πάνω από 2 μέτρα από το έδαφος) φύλλωμα, κλαδιά δέντρων, λειχήνες κοκ. Ακολουθεί το οξυγόνο το οποίο υφίσταται στον ατμοσφαιρικό αέρα σε αναλογία 21% κατ όγκο.

Ένα από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης είναι η περιεχόμενη υγρασία.

Περιεχόμενη υγρασία είναι το ποσό του νερού που περιέχεται στην καύσιμη ύλη, και εκφράζεται ως ποσοστό επί του ξηρού της βάρους και είναι ιδιαίτερα σημαντική για όλες τις παραμέτρους της συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς (ταχύτητα διάδοσης, θερμική ένταση του μετώπου, παραγωγή καπνού, θνησιμότητα). Η περιεχόμενη υγρασία μεταβάλλεται με διαφορετικό τρόπο και ρυθμό, στη ζωντανή και τη νεκρή καύσιμη ύλη και η μεταβολή αυτή είναι κυρίως αποτέλεσμα της επίδρασης των μετεωρολογικών συνθηκών. Όσο πιο ομοιόμορφη και συνεχόμενη κατανομή της καύσιμης ύλης υπάρχει, τόσο μεγαλύτερη και γρηγορότερη ανάφλεξη και πλήρη καύση αναμένεται, ενώ όσο πιο πολλά διάκενα βλάστησης υπάρχουν τόσο περισσότερες είναι οι αλλαγές στην ταχύτητα εξάπλωσης και την ένταση μιας πυρκαγιάς.

Άλλα βασικά χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης είναι:

- το φορτίο της καύσιμης ύλης
- το βάθος
- ο λόγος επιφάνεια προς όγκο



### **3.2 Μετάδοση της θερμότητας σε δασικές πυρκαγιές**

Η θερμότητα της φλόγας μεταδίδεται στην γύρω καύσιμη ύλη και την προθερμαίνει μέχρι να φτάσει σε θερμοκρασία ανάφλεξης. Έτσι η φλόγα προχωρά σε νέα θέση και η πυρκαγιά εξαπλώνεται. Η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με τρεις τρόπους.

- Με την επαφή, από ένα σημείο της καύσιμης ύλης σε ένα άλλο, χάρη στην αγωγιμότητα αυτής της θερμότητας.
- Με επαγωγή, που σημαίνει την μεταφορά και διάχυση των θερμών αερίων της καύσης.
- Με την ακτινοβολία που προέρχεται από την φλόγα.

Από τους παραπάνω τρόπους η επαφή έχει πολύ μικρό ρόλο στην εξάπλωση της πυρκαγιάς λόγω της μικρής αγωγιμότητας της καύσιμης ύλης.

Η μεταφορά θερμότητας με επαγωγή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. Η συνεισφορά της επαγωγής στην συνολική θερμότητα που προθερμαίνει την καύσιμη ύλη στις δασικές πυρκαγιές είναι εξαιρετικά μεταβλητή. Σε πυρκαγιές επιφάνειας στην περίπτωση των επίπεδων επιφανειών χωρίς άνεμο, το σύνολο των θερμών αερίων ανέρχεται προς τα επάνω και διαχέεται στην ατμόσφαιρα χωρίς να έρθει σε επαφή με καύσιμη ύλη μπροστά από την φλόγα. Στη περίπτωση που καίγεται επί-εδάφια καύσιμη ύλη κάτω από κόμες δένδρων, τότε οι κόμες επιδέχονται μεγάλες ποσότητες θερμότητας από την επαγωγή των θερμών αερίων. Η κλίση στο έδαφος παίζει καθοριστικό ρόλο στην εξάπλωση την φωτιάς.



### **3.3 Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών.**

Η ύπαρξη της καύσιμης ύλης και του οξυγόνου είναι προφανής. Στην περίπτωση που παρουσιαστεί και κάποια πηγή θερμότητας που προθερμαίνει την καύσιμη ύλη το αποτέλεσμα θα είναι η εκδήλωση πυρκαγιάς. Η συμπεριφορά της κάθε πυρκαγιάς εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες. Σε κάθε περίπτωση υπάρχουν περισσότεροι από ένας παράγοντες που συμβάλουν στην συμπεριφορά της φωτιάς. Οι παράγοντες αυτοί εμπίπτουν σε τρεις βασικές κατηγορίες όπως αναφέρθηκε και παραπάνω:

#### **1. Καύσιμη ύλη**

Ως καύσιμη ύλη (Κ.Υ) χαρακτηρίζεται όλο το ζωντανό ή νεκρό βλαστητικό υλικό που υπάρχει είτε στο έδαφος (φυλλόστρωμα, βελόνες, κλαδιά, κορμοί, χόρτα, θάμνοι, δενδρύλλια και δέντρα), είτε πάνω στα δέντρα (κλαδιά, φύλλωμα, όρθια νεκρά δέντρα) που προκαλεί ή υφίσταται ανάφλεξη και καίγεται (Pyne et al., 1996).

#### **2. Μετεωρολογία**

Οι καιρικές συνθήκες και γενικότερα οι μετεωρολογικές συνθήκες είναι βασικοί παράγοντες για την συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών:

- Ο άνεμος (ταχύτητα και διεύθυνση)
- Η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας
- Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας
- Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα
- Ύπαρξη νεφώσεων ή ηλιοφάνειας
- Η σταθερότητα της ατμόσφαιρας

#### **3. Τοπογραφία**

Τα τοπογραφικά στοιχεία που έχουν ιδιαίτερη σημασία για την πυρκαγιά είναι η κλίση του εδάφους, η έκθεση της πλαγιάς, το υψόμετρο και ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά της τοπογραφίας όπως φαράγγια, διάσελα και κορυφογραμμές. Η επίδραση της τοπογραφίας στην πυρκαγιά είναι τόσο άμεση όσο και έμμεση.



### 3.4 Μοντέλα προσομοίωσης συμπεριφοράς της πυρκαγιάς

Η προσπάθεια ανάλυσης της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης της σε ανάλογα πληροφοριακά συστήματα. Τα δεδομένα εισόδου των συστημάτων προσομοίωσης της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, είναι αυτά που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους αυτής της μελέτης, η τοπογραφία, η καύσιμη ύλη και τέλος τα μετεωρολογικά δεδομένα. Με την επεξεργασία των δεδομένων εισόδου με κατάλληλο τρόπο, προκύπτουν στοιχεία για τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Για την υλοποίηση των συστημάτων προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα, που δίνουν στοιχεία για την εξάπλωση της πυρκαγιάς.

Τα περισσότερα συστήματα προσομοίωσης χρησιμοποιούν το μοντέλο προσομοίωσης του Rothermel (1972). Το μοντέλο αυτό, χαρακτηρίζεται ως ημι-εμπειρικό μοντέλο προσομοίωσης πυρκαγιάς. Ο κύριος λόγος αυτού του χαρακτηρισμού, είναι η εμπειρική ανάπτυξη και εξαγωγή των μαθηματικών εξισώσεων, που περιγράφουν τη συμπεριφορά των πυρκαγιών. Ένα από τα πρωτοποριακά συστήματα, που υιοθέτησαν το μοντέλο Rothermel, είναι το BEHAVE Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System (Andrews, 1986). Μετά από την πρώτη έκδοση του προγράμματος, ήλθε το νεότερο BehavePlus στην πέμπτη έκδοση (Andrews, 2008). Στον πίνακα εμφανίζονται τα περισσότερα από τα συστήματα προσομοίωσης πυρκαγιάς.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΧΩΡΑ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ
Burn	ΗΠΑ	Κυψελοειδή Τεχνική
Cardin	Ισπανία	Κυψελοειδή Τεχνική
Dynfare	ΗΠΑ	Κυψελοειδή Τεχνική
Embyr	ΗΠΑ	Κυψελοειδή Τεχνική Αρχικής Ανάφλεξης Albini
Farsite	ΗΠΑ	Κυψελοειδή Τεχνική Αρχικής Ανάφλεξης Albini
Prometheys	Καναδάς	Τεχνική Κυματομορφής

Wildfire	Καναδάς	Κόμης FCFDG
Firegis	Πορτογαλία	Κυψελοειδή Τεχνική

Πίνακας 2: Συστήματα προσομοίωσης πυρκαγιάς

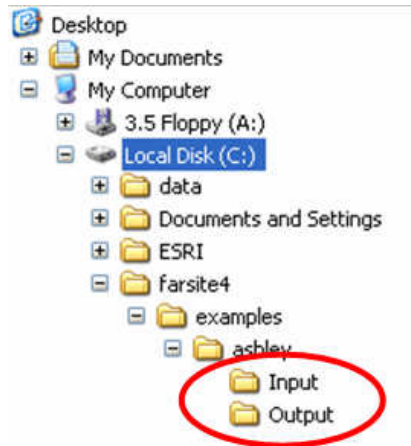
Ο κύριος διαχωρισμός των συστημάτων προσομοίωσης της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, είναι το μοντέλο, ή τα μοντέλα που χρησιμοποιούν.

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκαν δυο μοντέλα προσομοίωσης το BehavePlus και το Farsite και κατάλήξαμε στην εφαρμογή του μοντέλου Farsite για την παρούσα μελέτη. Τα προγράμματα BehavePlus και Farsite αποτελούν υπολογιστικά προγράμματα φιλικά προς το χρήστη και αποτελούνται από μια συλλογή μαθηματικών μοντέλων (αλγορίθμων). Η κυριότερη διαφορά τους είναι ότι το σύστημα BehavePlus κάνει στατική προσομοίωση ενώ το Farsite κάνει χωρική προσομοίωση. Το BehavePlus δεν λαμβάνει υπόψη του ούτε την εστία της πυρκαγιάς ούτε την μορφολογία του εδάφους. Στο BehavePlus μπορούν να υπάρχουν μόνο δυο μεταβλητές οι οποίες να παρουν πολλαπλές τιμές για κάθε τρέξιμο της εφαρμογής θα πρέπει να επιλέξει κανείς ποιες θα είναι αυτές οι δυο. Στο Farsite οποιαδήποτε μεταβλητή κριθεί ότι συμμετέχει στην λεπτομερύτερη απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης μπορεί αυτομάτως να εισαχθεί και να συνεισφέρει στην προσομοίωση.

Στην συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση των δύο προγραμμάτων.

### 3.4.1 Farsite

Λόγω του μεγάλου αριθμού αρχείων που χρειάζονται για μια προσομοίωση του Farsite4, αλλά και του μεγάλου αριθμού αρχείων που δημιουργούνται από αυτές είναι απαραίτητη η οργάνωση των αρχείων εισόδου και εξόδου αντίστοιχα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένας φάκελος με το όνομα της προσομοίωσης π.χ. ashley και δυο υποφάκελοι με ονόματα input & output όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Ψέμος Β., 2007).



#### LCP αρχείο

Το Farsite είναι χωρικό και πρέπει να εισαχθούν σε αυτό ένα πλήθος από χωρικά δεδομένα. Τα τελευταία εισάγονται και τελικά περιέχονται σε ένα αρχείο τοπικού Generate Landscape File (LCP). Το αρχείο τοπικού περιέχει τόσο τα δεδομένα που αφορούν το έδαφος και τη μορφολογία του, όσο και της καύσιμης βλής. Όλα τα ψηφιακά αυτά δεδομένα πρέπει να είναι σε ASCII μορφή είτε μέσω του ARC/INFO (ή Arcview) είτε μέσω του GRASS. Μάλιστα συνίσταται να είναι αποθηκευμένα μέσα στο υποφάκελο input του φακέλου της αντίστοιχης εφαρμογής που αφορούν. Η φόρτωση των διαφορετικών αυτών αρχείων σε ένα και μοναδικό αρχείο τοπικού είναι δουλειά του χειριστή. Τα αρχεία που χρειάζονται και είναι απαραίτητα για την δημιουργία του LCP αρχείου τοπικού είναι πάντα:

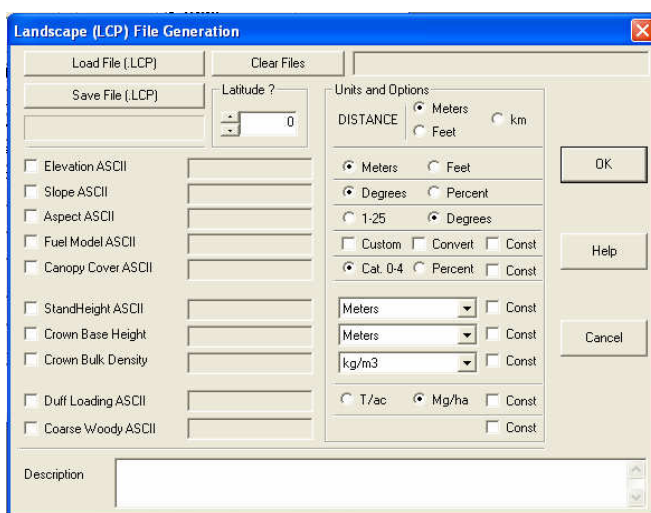
1. Fuels (Καυσίμου)
2. Canopy Cover (Κάλυψη Δασικής Κωμοστέγης)
3. Elevation (Ύψους)

#### 4. Slope (Κλίσης)

#### 5. Aspect (Προσανατολισμο)

Όλα τα αρχεία πρέπει να είναι του ίδιου ακριβούς μεγέθους, να επικαλύπτονται ακριβώς και να είναι ίδιου τύπου (δηλ. να προέρχονται όλα από την ίδια εφαρμογή π.χ. GRASS).

Για την δημιουργία του αρχείου τοπίου από το κύριο Menu επιλέγουμε Input > Landscape Utilities > Generate Landscape File, οπότε και εμφανίζεται το πλαίσιο διαλόγου δημιουργίας αρχείου τοπίου όπως φαίνεται παρακάτω:

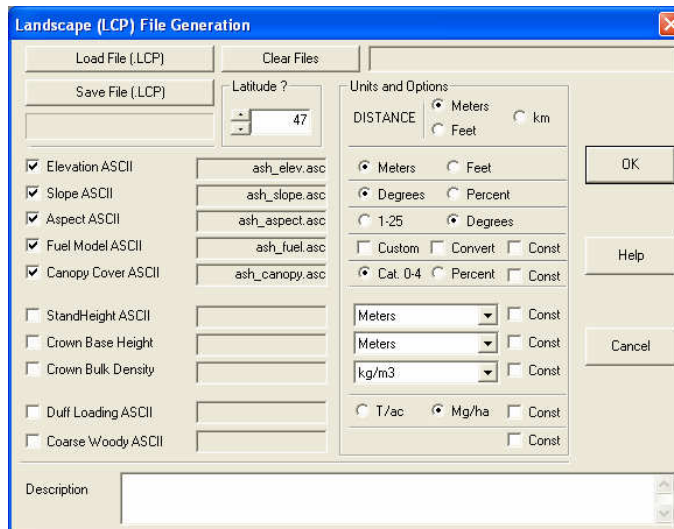


Εικόνα 2 Αρχικό πλαίσιο δημιουργίας LCP αρχείου

Αρχικά επιλέγουμε το γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες. Στην συνέχεια πρέπει να γίνει η εισαγωγή των πέντε απαραίτητων αρχείων ψηφιακών δεδομένων «raster». Με το τσεκάρισμα του παραθύρου ελέγχου αριστερά από τον κάθε επιθυμητό τύπο αρχείου εμφανίζεται ένα νέο πλαίσιο διαλόγου που μας ζητά να υποδεχτούμε τη σωστή διαδρομή όπου είναι αποθηκευμένο το αρχείο. Με κάθε επιλογή, στο ακριβές διπλανό δεξιά πλαίσιο κειμένου, θα αναγράφονται το όνομα και η επέκταση του κάθε αρχείου.

Στο ίδιο πνεύμα μπορούμε πάντοτε να φορτίσουμε και να διορθώσουμε οτιδήποτε σε ένα αρχείο τοπίου Generate Landscape File (LCP).





Εικόνα 3: Πλαίσιο δημιουργίας Generate Landscape (LCP) αρχείου τοπίου με επιλεγμένα τα απαραίτητα στοιχεία.

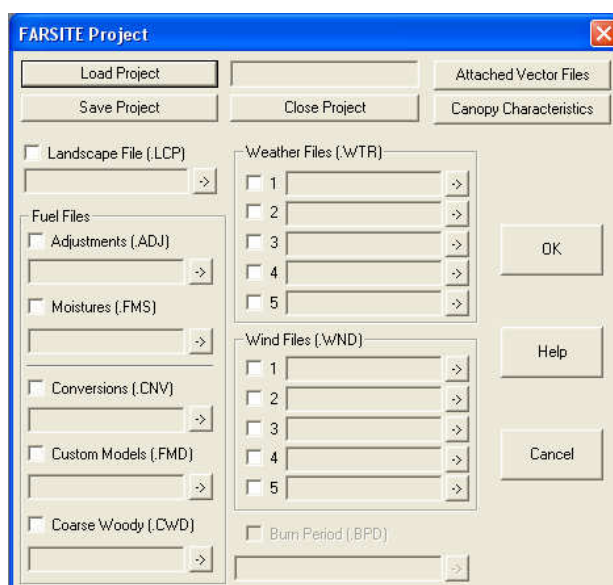
Πέρα από τα απαραίτητα στοιχεία μπορούμε να εισάγουμε ένα πλήθος από συμπληρωματικά στοιχεία για να πετύχουμε βέλτιστη προσομοίωση. Επίσης προαιρετικά μπορούμε να σημειώσουμε στο πεδίο description μια απλή περιγραφή για να μας υπενθυμίζει αργότερα το σκοπό δημιουργίας του συγκεκριμένου LCP αρχείου.

Η αποθήκευση γίνεται επιλέγοντας «save file» και καθορίζοντας το όνομα και την διαδρομή αποθήκευσης μέσα στο υποφύλλο input. Οι επιλογές μας μετά την επιτυχή αποθήκευση θα φαίνεται στο πλαίσιο κειμένου επάνω δεξιά.

Ένα αρχείο εργασίας file site project (FPJ) περιέχει τα ονόματα όλων των απαραίτητων αρχείων εισόδου για την δημιουργία μιας προσομοίωσης. Περιέχει δεδομένα καυσίμου, καιρού και τοπογραφίας, αλλά και πληροφορίες που αφορούν την οπτική παρουσίαση της προσομοίωσης. Δεν περιέχει ωστόσο πληροφορίες σε σχέση με την εκτέλεση της προσομοίωσης όπως δεδομένα της φωτις, διάρκεια της φωτις, εστίες φωτις κτλ.

Ο λόγος που χρησιμοποιούνται αρχεία εργασίας είναι διότι στις περισσότερες περιπτώσεις μια προσομοίωση επαναλαμβάνεται πολλές φορές. Θα ήταν πραγματικά κουραστικό και χρονοβόρο να εισάγαμε όλη αυτή την πλειάδα των αρχείων και τις πληροφορίες εισόδου από την αρχή για κάθε τρέξιμο της εργασίας.

Για να δημιουργηθεί ένα αρχείο εργασίας επιλέγουμε Input > Project Inputs, οπότε και εμφανίζεται το παρακάτω πλαίσιο διαλόγου.



Εικόνα 4: Πλαίσιο δημιουργίας FPJ αρχείου εργασίας

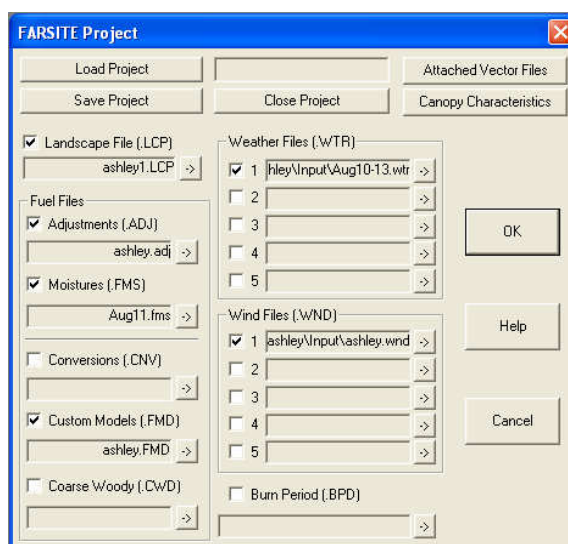
Αρχικά πρέπει να φορτωθεί ένα «αρχείο τοπίου» LCP. Τσεκάροντας το κουτάκι αριστερά του Landscape File (.LCP) μας ζητείται να επιλέξουμε το επιθυμητό αρχείο. Στη συνέχεια είναι απαραίτητο να εισαχθούν άλλα πέντε ASCII αρχεία.

1. Adjustments (Ρυθμίσεις)
2. Initial Fuel Moisture (Αρχική υγρασία της καύσιμης ύλης)
3. Custom Fuel

#### 4. Weather (Καιρός)

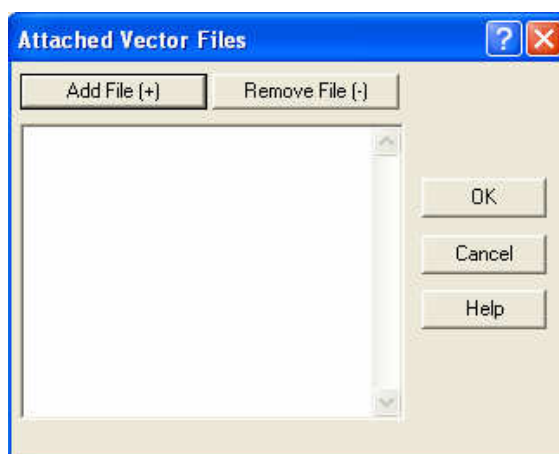
#### 5. Wind (Ανέμου)

Η επιλογή και εισαγωγή των αντιστοιχών αρχείων γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο τσεκάροντας το αντίστοιχο εικονίδιο στα αριστερά κάθε τύπου αρχείου και πλοήγηση στο πλαίσιο διαλόγου που εμφανίζεται. Με κάθε επιλογή, στο ακριβές από κάτω πλαίσιο κειμένου, θα αναγράφονται το όνομα και η επέκταση του κάθε αρχείου.




Εικόνα 5: Πλαίσιο δημιουργίας FPJ αρχείου εργασίας με επιλεγμένα τα απαραίτητα αρχεία


Επιπλέον μπορούν να εισαχθούν διανυσματικά αρχεία με σκοπό να βελτιωθεί η απεικόνιση του τοπίου. Τέτοια θα μπορούσαν να είναι δρόμοι, ποτάμια κτλ. Για το λόγο αυτό επιλέγεται το “Attached Vector Files”, οπότε και εμφανίζεται το πλαίσιο διαλόγου “Attached Vector Files” που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 6: Πλαίσιο διαλόγου “Attached Vector Files”

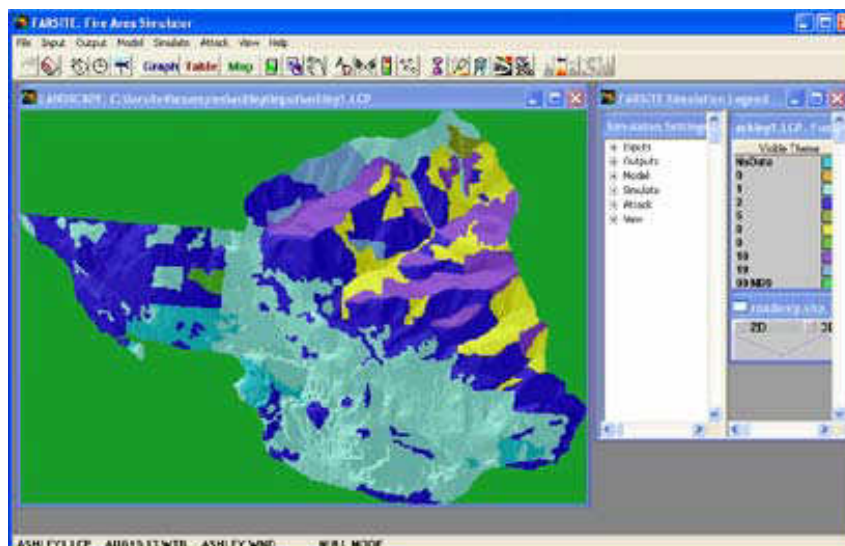
Επιλέγοντας  εμφανίζεται το πλαίσιο διαλόγου επιλογής διανυσματικού αρχείου “Select Vector File”.

Ο προεπιλεγμένος τύπος αρχείων εισαγωγής είναι ανυσματικό αρχείο με επέκταση .VCT. Ωστόσο είναι δυνατό η εισαγωγή και διανυσματικών αρχείων μορφής shapefile (.SHP) από το ArcView.

Με την επιλογή  σβήνουμε το αρχείο εργασίας μας, το οποίο μπορεί να έχει ακριβώς το ίδιο όνομα με το αρχείο τοπίου, παίρνοντας όμως την χαρακτηριστική κατάληξη .FPJ.

### Επιδείξη του Τοπίου της Εφαρμογής

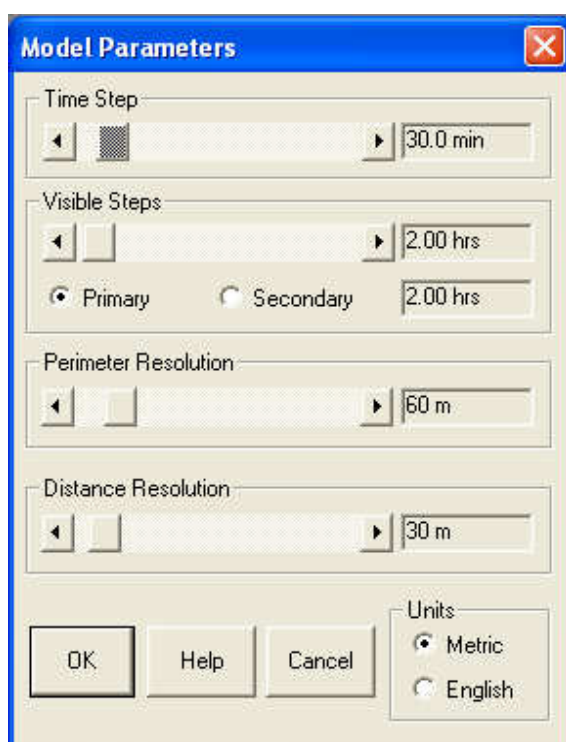
Το τοπίο προσομοίωσης της πυρκαγιάς εμφανίζεται με την επιλογή από το κεντρικό Menu Simulate > Initiate/Terminate. Εναλλακτικά από την γραμμή εργαλείων κλικάρουμε το εικονίδιο. Οι χρωματισμοί θα είναι τυχαίοι και για αυτό το λόγο το αποτέλεσμα σε αυτόν τη φάση δεν θα είναι ωραίο. Αυτό φαίνεται και στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7: Επιδείξη του Τοπίου της Εφαρμογής

## Καθορισμός Προτύπων Παραμέτρων Εφαρμογής

Η χωρική και χρονική λεπτομέρεια των υπολογισμών προσομοίωσης της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς που εκτελούνται από το FARSITE 4 καθορίζεται από τις προτύπες παραμέτρους. Ο χρήστης είναι αρμόδιος για τη ρύθμισή τους κατά τρόπο κατάλληλο για την προσομοίωση. Δεν υπάρχει καμία απόλυτη σωστή και λανθασμένη τοποθέτηση, επειδή η καταλληλότητά τους καθορίζεται ακριβώς από το σκοπό της προσομοίωσης. Η επιλογή των παραμέτρων γίνεται με την εντολή Model > Model Parameters, οπότε και εμφανίζεται το παρακάτω πλαίσιο διαλόγου.



Εικόνα 8: Καθορισμός Προτύπων Παραμέτρων Εφαρμογής

### Ορατό χρονικό βήμα

Το ορατό χρονικό βήμα είναι το μέγιστο χρονικό διάστημα για το οποίο οι συνθήκες σε ένα δεδομένο σημείο θεωρούνται σταθερές, έτσι ώστε η θέση του μετέπου της πυρκαγιάς να μπορεί να προβληθεί. Οι θέσεις όλων των περιμέτρων των πυρκαγιών υπολογίζονται με βάση αυτό το βήμα και αυτές είναι οι περιμέτροι που απεικονίζονται στο τέλος της προσομοίωσης.

## **Πραγματικό χρονικό βήμα**

Το πραγματικό χρονικό βήμα που χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο της προσομοίωσης αλλάζει συνεχώς στον ελάχιστο χρόνο που απαιτείται για να διαδοθεί η πυρκαγιά σε απόσταση ίση με μέγεθος του βήματος της πυρκαγιάς. Το χρονικό βήμα χρησιμοποιείται ως συνεπής περίοδος κατά τη διάρκεια της οποίας όλες οι πυρκαγιές θα προβέλλουν σε έναν συμπύκνота χρόνο προτού να υπολογιστούν οι συγχωνεύσεις και η επισήμανση.

Υπάρχουν δυο ορατά χρονικά βήματα: τα αρχικά και δευτεροβάθμια ορατά χρονικά βήματα. Το αρχικό ορατό βήμα πρέπει πάντα να τεθεί. Το δευτεροβάθμιο ορατό χρονικό βήμα είναι προαιρετικό και τίθεται ως πολλαπλάσιο του αρχικού ορατού βήματος. Αυτό είναι χρήσιμο για την μελέτη πυρκαγιάς σε δύο σημαντικά διαφορετικά χρονικά διαστήματα (π.χ. ώρες και ημέρες).

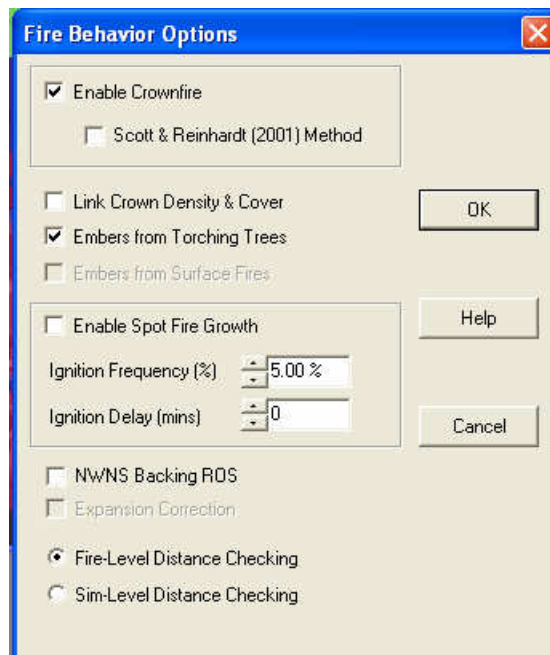
## **Βήμα Περιμέτρου & Βήμα Απόστασης**

Το βήμα της περιμέτρου καθορίζει το μέγιστο διάστημα των σημείων προβολής κατά μήκος της περιμέτρου πυρκαγιάς. Αυτό η ρύθμιση έχει το μεγάλο αντίκτυπο στις υπολογιστικές απαιτήσεις της προσομοίωσης, δεδομένου ότι ένα μικρότερο βήμα περιμέτρου παράγει περισσότερα σημεία προβολής πυρκαγιάς και συνεπώς περισσότερους υπολογισμούς. Είναι σημαντικό ότι οι υπολογισμοί συμπεριφοράς πυρκαγιάς μπορούν να υπερπηδίσουν χωρικές λεπτομέρειες σε κλίμακες μικρότερες από το βήμα της περιμέτρου.

Το βήμα απόστασης καθορίζει τη μέγιστη απόσταση που η πυρκαγιά μπορεί να εξαπλωθεί σε ένα χρονικό βήμα χωρίς τη λήψη των νέων πληροφοριών από το περιβάλλον.

## Καθορισμός Παραμέτρων Συμπεριφοράς Πυρκαγιών

Η συμπεριφορά της πυρκαγιών που προσομοιώνεται από την εφαρμογή Farsite4 είναι απόλυτα κάτω από τον έλεγχο του χρήστη. Οι επιλογές για την συμπεριφορά της πυρκαγιών εμφανίζονται με επιλογή Model > Fire Behavior Options, οπότε και εμφανίζεται το αντίστοιχο πλαίσιο διαλόγου (Tutorial programme Farsite4, Ψέμος Β., 2007).



Εικόνα 9: Πλαίσιο διαλόγου Fire Behavior Options

Η επιλογή περιόδου ρύθμισης για την υγρασία της καύσιμης βλάστησης (Conditioning Period for Fuel Moistures) έχει επιπτώσεις μόνο στους υπολογισμούς υγρασίας της καύσιμης βλάστησης πριν από την έναρξη των υπολογισμών συμπεριφοράς πυρκαγιών. Αυτός ο τρόπος σκοπεί να φέρει την αρχική υγρασία της καύσιμης βλάστησης σε έλλο το τοπίο στις συνθήκες που αντιπροσωπεύουν τον τοπικό περιβάλλοντα χώρο. Και αυτό διότι το Farsite υπολογίζει την υγρασία της καύσιμης βλάστησης λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία και την σκίαση. Έτσι οι υγρασίες της καύσιμης βλάστησης στην έναρξη της προσομοίωσης θα απεικονίζουν τις διαφορές μεταξύ των θύσεων των αρχικών υγρασιών της καύσιμης βλάστησης, του καιρικού ρεζιματος, αλλά και της τοπογραφίας (Ψέμος Β., 2007).

Η επιλογή περιόδου ρύθμισης για την υγρασία της καύσιμης βλάστησης είναι χρησιμότερη για σύντομες προσομοιώσεις που αρχίζουν με μεγάλες πυρκαγιές σε ετερογενή τοπογραφία σε δασικές περιοχές. Μια μεγάλη πυρκαγιά είναι πιθανότερο να έχει στα μέρη της περιμέτρου της διαφορετική τοπογραφία και καύσιμα με τοπικές διαφορές στην υγρασία τους, παρά στην αρχή της προσομοίωσης. Κατά συνέπεια, εάν η

περίοδος προσομοίωσης είναι μικρή (1 ημέρα) είναι σημαντικό οι υπολογισμοί συμπεριφοράς πυρκαγιάς για όλα τα σημεία στην περιοχή να απεικονίσουν την επιρροή των αρχικών βρων.

Από την άλλη η επιλογή περιόδου ρύθμισης για την υγρασία της καύσιμης βλάστησης δεν έχει τόση σημασία για τις μακροχρόνιες προσομοιώσεις που αρχίζουν με μικρές πυρκαγιάς ή από σημειακές εστίες φωτιάς. Οι μικρές πυρκαγιάς είναι περιορισμένες σε μικρή και βραχίονα ομογενή χώρο. Η αρχική υγρασία της καύσιμης βλάστησης γρήγορα τροποποιείται με τον καιρό καθώς η πυρκαγιά εξαπλώνεται και κατά κανόνα θα απεικονίζει ορθά το τοπικό περιβάλλον, όπου να την φτάνει η πυρκαγιά. Γενικά για τις μακροχρόνιες προσομοιώσεις, η επιρροή των αρχικών βρων θα είναι γενικά μικρότερη όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική διάρκεια της προσομοίωσης. Συνεπώς, θα ήταν πιο αποδεκτό να αγνοηθούν οι αρχικοί βρων για τις μακροχρόνιες προσομοιώσεις.

**Σημείωση:** Πρέπει εδω να τονιστεί ότι τα μετεωρολογικά δεδομένα (WTR) θα πρέπει να είναι διαθέσιμα για μια ημέρα πριν από την έναρξη της πυρκαγιάς.

### Καθορισμός Διάρκειας Πυρκαγιάς

Είναι σημαντικό να συνειδητοποιηθεί ότι όλα τα πιθανά σχήδια ανάφλεξης σε μια προσομοίωση Farsite δεν είναι λογικά ή και δεν οδηγούν απαραίτητα σε λογική διάδοση και συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα μπορούν να είναι παραπλανητικά εάν αγνοηθούν κάποιες υποθέσεις και περιορισμοί της εφαρμογής (Ψώμος Β., 2007).

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι να εισάγει κανείς την πηγή ανάφλεξης σε μια προσομοίωση πυρκαγιάς.

- Με την χρησιμοποίηση του εικονιδίου τοποθέτησης ανάφλεξης
- Με την επιλογή Simulate > Modify Map > Locate Ignitions

Ο πιο εύκολος τρόπος εισαγωγής μιας πηγής ανάφλεξης είναι με την τοποθέτηση με τον κέρσορα. Ωστόσο μπορεί να γίνει με εισαγωγή ειδικού αρχείου ανάφλεξης. Ο τελευταίος τρόπος έχει το πλεονέκτημα να μπορεί να επαναλαμβάνεται με ακριβείς τις ίδιες πηγές ανάφλεξης (Ψώμος Β., 2007).

### Εμπόδιο στην εξάπλωση της πυρκαγιάς

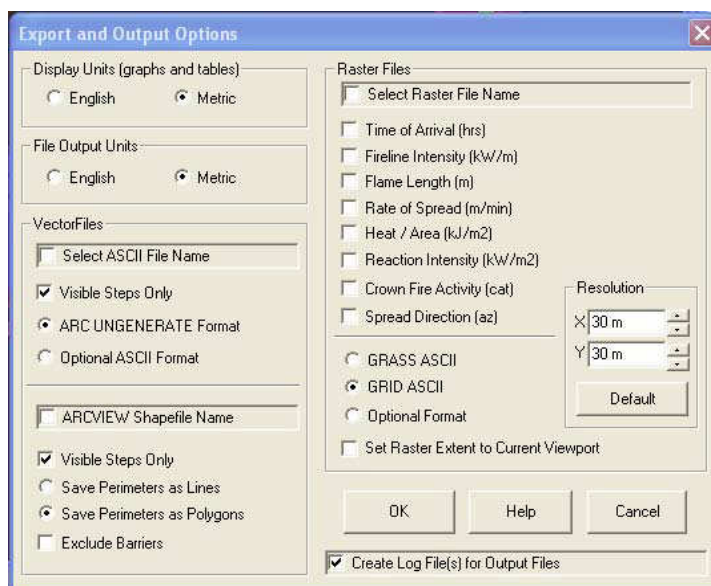
Για να εισάγει κανείς εμπόδιο (Barrier) γίνεται με την εισαγωγή ενός πολυγώνου ή μιας γραμμής από διανυσματικό αρχείο με την εντολή Simulate > Modify Map > Import Barrier File.



## Επιλογή Δεδομένων Εξόδου

Το Farsite μπορεί να τρέξει χωρικές να καθοριστούν καθόλου επιλογές εξόδου. Αν και κατά κανόνα γίνεται πάντοτε, είναι αποκλειστική για δική μας διευκόλυνση. Και πραγματικά υπάρχουν αρκετές επιλογές τόσο για την αποθήκευση όσο και την απεικόνιση των δεδομένων εξόδου (Ψίμος Β., 2007).

Η εμφάνισή τους γίνεται με την επιλογή Output > Export & Output οπότε και εμφανίζεται το παρακάτω πλαίσιο διαλόγου.



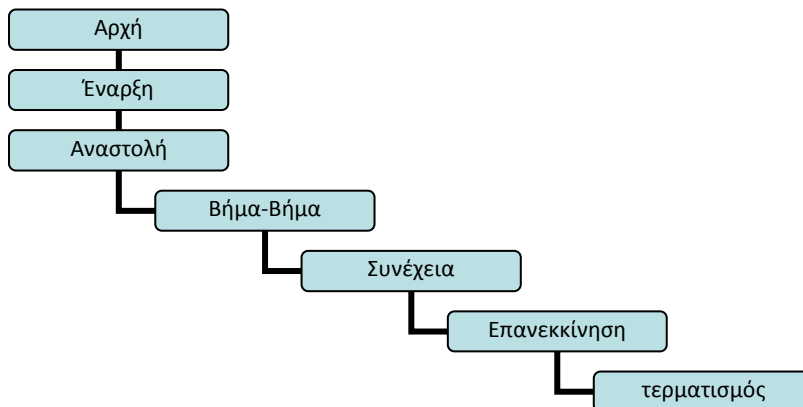
Εικόνα 10: Πλαίσιο διαλόγου επιλογής δεδομένων εξόδου

Υπάρχουν τρεις λειτουργίες που εκτελεί το συγκεκριμένο πλαίσιο διαλόγου.

1. Θέτει όλα τα αποτελέσματα σε αγγλικές ή μετρικές μονάδες.
2. Αναθέτει το όνομα και τον τύπο των αρχείων για τα ανυσματικά αρχεία περιμέτρου πυρκαγιάς.
3. Επιτρέπει την δημιουργία οκτώ διαφορετικών αρχείων ψηφιακών δεδομένων «raster» χαρακτηριστικής συμπεριφοράς πυρκαγιάς, το όνομά τους, και η ανάλυση (το βήμα δηλαδή στους δύο άξονες).
4. Δίνει την επιλογή δημιουργίας ημερολογιακών (log) αρχείων με τις πληροφορίες για χρησιμοποιούμενες παραμέτρους, εισαγωγή προσομοίωσης, και τους χρόνους έναρξης/τέλους για κάθε διανυσματικό ή raster αρχείο που δημιουργείται (Ψίμος Β., 2007).

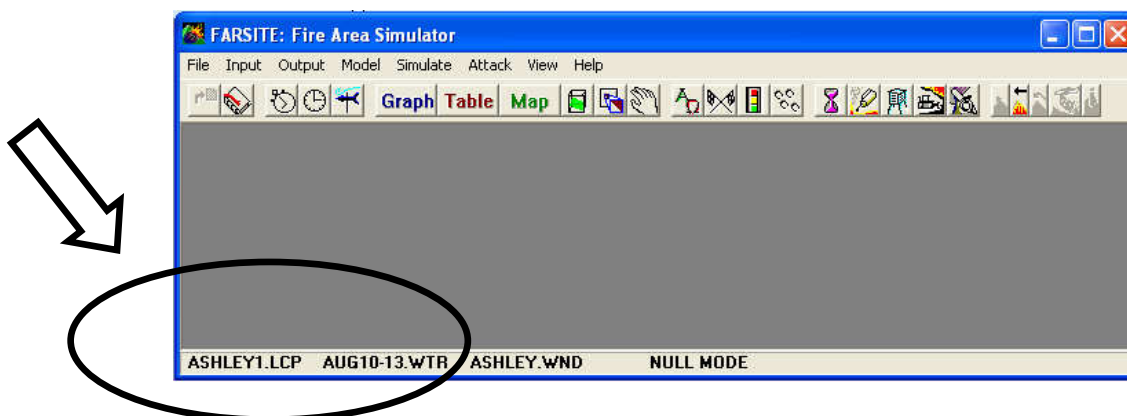
## Έκτέλεση της Προσομοίωσης

Για να τρέξει μια προσομοίωση Farsite, πρέπει να γίνει κατανοητή η ιεραρχία των λειτουργιών ελέγχου προσομοίωσης (Ψύμος Β., 2007). Αυτές οι λειτουργίες επιτρέπουν την επανέληψη των προσομοίσεων, την αναστολή και συνέχισή, πολλές φορές. Στην ακόλουθη επένδειξη παρουσιάζεται η ιεραρχία της λειτουργίας μιας προσομοίωσης:



Μια προσομοίωση συνήθως την ξεκινάει κανείς αμέσως μετά τη φόρτωση ενός project. Αυτό γίνεται μόνο μία φορά για κάθε προσομοίωση. Η φόρτωση ενός αρχείου Bookmark (.BMK) δεν απαιτεί και εκκίνηση. Με τη λήξη της προσομοίωσης ξεφορτώνονται όλα τα δεδομένα εισόδου και θα πρέπει να ξαναφορτωθούν στοιχεία, είτε από ένα αρχείο προγράμματος (. FPJ) είτε ένα αρχείο Bookmark (. BMK).

Πριν εκκινήσει κανείς την εφαρμογή του Farsite πρέπει να σιγουρευτεί ότι έχουν φορτωθεί τα αρχεία .LCP, .WTR, και .WND . Αυτό φαίνεται στη γραμμή κατάστασης στο κάτω μέρος του παραθύρου της εφαρμογής (Ψύμος Β., 2007).



Εικόνα 11: Παράθυρο της εφαρμογής

Η προσομοίωση ξεκινάει με την εντολή Simulate > Start / Restart. Η γραμμή κατάστασης θα γράψει SIMULATION. Σε περίπτωση εκκίνησης χωρίς τα απαραίτητα αρχεία εισόδου υπάρχει σχετική ειδοποίηση από το πρόγραμμα (Ψύμος Β., 2007).

### 3.4.2 BehavePlus

Το BehavePlus είναι μια εφαρμογή που χρησιμοποιεί την στατική προσομοίωση και στην εφαρμογή χρησιμοποιούνται κάποιοι ορισμοί όπως «Φύλλα εργασίας, μοντέλο, πρότυπο, μοντέλο καύσιμης ύλης, συνεχή μεταβλητή, διακριτή μεταβλητή, εργασία». Αυτοί οι ορισμοί που χρησιμοποιεί η εφαρμογή θα γίνει μια προσπάθεια επεξήγησης του τι σημαίνει η κάθε μία από αυτές (Ψίμος Β., 2007).

Worksheet - «Φύλλα εργασίας»: είναι η πρώτη και δεύτερη σελίδα που περιέχει τα πεδία εισαγωγής. Το περιεχόμενο ενός «φύλλου εργασίας»-worksheet εξαρτάται από τη συγκεκριμένη διαμόρφωση του BehavePlus συμπεριλαμβανομένων των επιλογών «προτύπων»-modules, επιλογών εισαγωγής, των ζητούμενων μεταβλητών αποτελεσμάτων, των χρησιμοποιούμενων μοντέλων του μίτρου και των επιλογών διαγραμμάτων/πινάκων/γραφικών παραστάσεων. Κατά συνέπεια υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πιθανών «φύλλων εργασίας». Μερικά παραδείγματα «φύλλων εργασίας» παρέχονται μαζί με την εφαρμογή του BehavePlus. Μπορεί κανείς να τα μεταβάλει ανάλογα με τις ανάγκες του και κατόπιν να τα αποθηκεύσει, ώστε να μπορεί να συνεχίσει την εργασία του από εκείνο το σημείο και μετά. Λειτουργικά, ένα «φύλλο εργασίας» είναι μια διαμόρφωση BehavePlus που δεν συνδέει τιμές εισαγωγής αλλά πεδία εισαγωγής ανάλογα με τις ανάγκες που εξυπηρετεί (Ψίμος Β., 2007).

Model – «μοντέλο»: είναι ένα σύνολο εξισώσεων που υπολογίζουν μια ή περισσότερες μεταβλητές εξόδου από μια ή περισσότερες μεταβλητές εισόδου. Ενώ το BehavePlus περιέχει πολλά «μοντέλα», περισσότερο εργάζεται κανείς με τις ενότητες, οι οποίες είναι συλλογές των μοντέλων (Ψίμος Β., 2007).

Module – «πρότυπο»: είναι μια συλλογή ενός ή περισσότερων μοντέλων που μπορούν να ενεργοποιηθούν/να απενεργοποιηθούν από το χρήστη κατά τη διάρκεια της διαμόρφωσης «φύλλων εργασίας». Η επιλογή του προτύπου IGNITE για παράδειγμα, περιλαμβάνει και το πρότυπο ανάφλεξης Firebrand και το πρότυπο ανάφλεξης «Lightning Strike» (Ψίμος Β., 2007).

Fuel Model - «μοντέλο καύσιμης ύλης»: είναι ένα σύνολο αριθμών που περιγράφουν την καύσιμη ύλη που χρησιμοποιείται από μια πυρκαγιά (Ψίμος Β., 2007).

Continuous Variable - «συνεχώς μεταβλητή»: είναι μια μεταβλητή εισόδου ή εξόδου που έχει μια συνεχώς σειρά των τιμών. Οι «συνεχώς μεταβλητές» έχουν μια ελάχιστη και μέγιστη τιμή. Παραδείγματα τέτοιων μεταβλητών μπορεί να είναι η περιεκτικότητα σε υγρασία της καύσιμης ύλης, η ταχύτητα αέρα κτλ (Ψίμος Β., 2007).

Discrete Variable - «διακριτή μεταβλητή»: έχει ένα πεπερασμένο σύνολο έγκυρων τιμών. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν το πρότυπο καυσίμων, επισημαίνοντας τη θέση πηγής, και τα εδάφη δέντρων (Ψίμος Β., 2007).

Workspace - «εργαστάρι»: είναι μια πλήρης ομάδα από φύλλα τα απαραίτητα αρχεία του BehavePlus αλλά και «φύλλα εργασίας», φύλλα «προς τρέξιμο», «μοντέλα κατσίμης ύλης» κτλ. Μία «εργαστάρι» του BehavePlus πάντα αντιστοιχεί σε μια προσομοίωση και κάθε προσομοίωση θα πρέπει να αντιστοιχείται σε μια «εργαστάρι» (Ψέμος Β., 2007).

### Γραμμή Εργαλείων και Μενού

Όλες οι ενέργειες στην εφαρμογή του BehavePlus είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν μέσα από το κεντρικό Μενού.



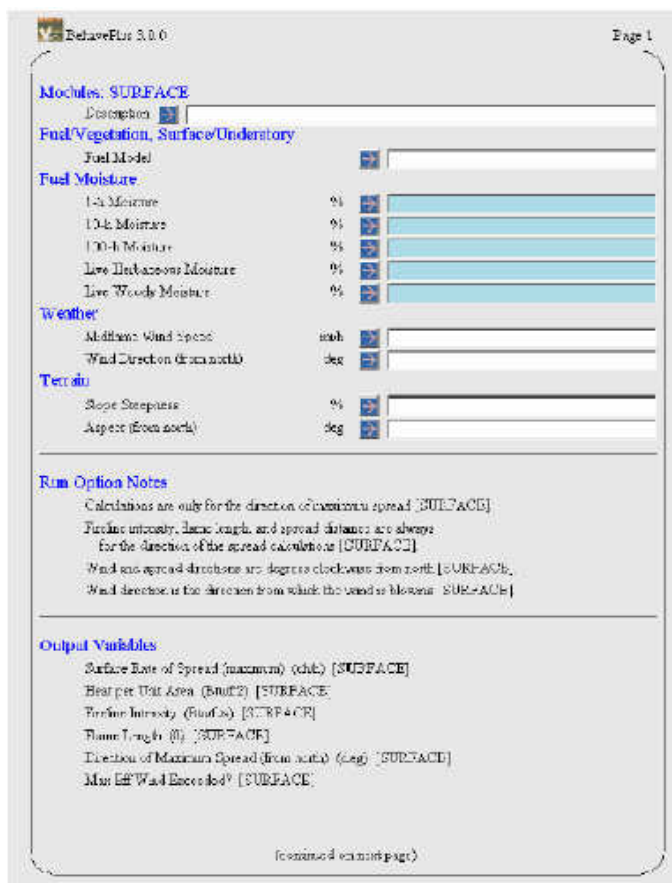
Εικόνα 12: Γραμμή Εργαλείων και Μενού

Οι πιο συχνές εργασίες έχουν συντομεύσεις στην Γραμμή Εργαλείων με την αντίστοιχη ύπαρξη ενός κουμπιού. Παρακάτω παρατίθεται εικόνα 13 όπου φαίνονται ποιες είναι οι πρώτες και οι αντιστοιχίες κουμπιών της Γραμμής Εργαλείων και εντολών Μενού (Ψέμος Β., 2007).

		<b>File &gt; New</b>
		<b>File &gt; Open Run</b>
		<b>File &gt; Print</b>
		<b>Configure &gt; Module selection</b>
		<b>File &gt; Calculate</b>
		<b>Pages &gt; then select page #</b>
		<b>Pages &gt; then select page #</b>
		<b>Pages &gt; then select page #</b>
		<b>Pages &gt; then select page #</b>
		<b>Help &gt; Program help</b>

Εικόνα 13: Γραμμή εργαλείων και εντολών μενού

Ένα παράδειγμα φύλλου εργασίας παρουσιάζεται εικόνα 14 και περιλαμβάνει τα εξής τμήματα:



Εικόνα 14: Φύλλο εργασίας

**Header – «κεφαλίδα»:** Η κεφαλίδα ενός «φύλλου εργασίας» παρουσιάζει τον αριθμό έκδοσης του BehavePlus, χρήσιμο για την αναζήτηση λύσεων πιθανών “bugs” που σχετίζονται με αυτό αλλά και ανανέωσης της έκδοσης στην πιο πρόσφατη. Η επιγραφή περιλαμβάνει επίσης την ημερομηνία και το χρόνο του τελευταίου «υπολογισμού». Επίσης δείχνει και τον αριθμό της σελίδας, ιδιαίτερα χρήσιμο μετά από εκτύπωση εργασίας πολλαπλών φύλλων για την εύκολη αντιπαραβολή των εκτυπώσεων και της οθόνης (Ψίμος Β., 2007).

**Tabs – «ετικέτες»:** Μια, ή περισσότερες ετικέτες μπορούν να ενεργοποιηθούν κατά μήκος του δεξιού περιθωρίου του φύλλου εργασίας με την εντολή Configure > Appearance > Worksheet (Ψίμος Β., 2007).

**Documentation – «Τεκμηρίωση»:** Αυτό το τμήμα του «φύλλου εργασίας» απεικονίζει όλα τα επιλεγμένα πρότυπα πχ SURFACE και περιέχει πλαίσιο κειμένου για την περιγραφή του μελλοντικού τρέξιμτος. Πρόσθετα πλαίσια τεκμηρίωσης ενεργοποιούνται προαιρετικά με την εντολή Configure > Appearance > Worksheet tab.



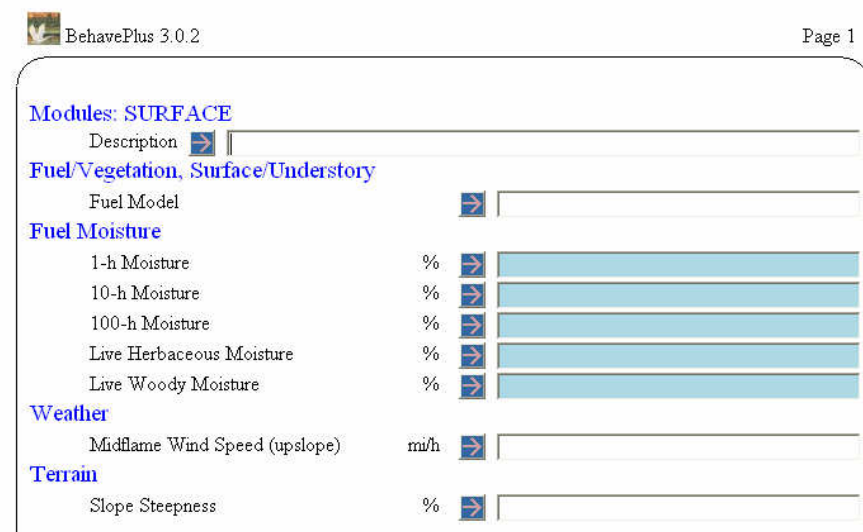
Με την ενεργοποίηση της επιλογής «Training documentation» εμφανίζονται οι παρακάτω επιλογές.



Με την ενεργοποίηση της επιλογής «Fire projection documentation» εμφανίζονται οι παρακάτω επιλογές.



**Input – «Εισαγωγή»:** Αυτή το τμήμα περιέχει τα απαραίτητα πλαίσια δεδομένων εισόδου και συνοδεύονται από μια σύντομη φράση και τις μονάδες μέτρησής τους.



Acceptable Fire Conditions - «Αποδεκτές συνθήκες πυρκαγιών»: Χρησιμοποιείται για να εισαχθεί το εύρος της αποδεκτής συμπεριφοράς πυρκαγιών. Η δυνατότητα επιλογής εμφανίζεται επιλέγοντας Configure > Module Selection και ενεργοποίηση της επιλογής «Table shading for acceptable fire conditions». Ο πίνακας που εμφανίζεται παρατίθεται παρακάτω (Ψίμος Β., 2007).

Acceptable Fire Conditions			
Surface Rate of Spread (maximum)	(ch/h)	<input type="text" value="0.0"/>	- <input type="text" value="0.0"/>
Flame Length	(ft)	<input type="text" value="0.0"/>	- <input type="text" value="0.0"/>

Run Option Notes – «Σημειώσεις επιλογής τρεξίματος»: Σε αυτό το τμήμα καταγράφονται μερικές από τις επιλογές του φύλλου εργασίας. Ο χρήστης δεν μπορεί να εξαφανίσει την εμφάνιση αυτού του τμήματος. Το module «πρότυπο» στο οποίο ανήκει η επιλογή εμφανίζεται σε παρενθέσεις (Ψίμος Β., 2007).

Run Option Notes	
Calculations are only for the direction of maximum spread [SURFACE].	
Fireline intensity, flame length, and spread distance are always for the direction of the spread calculations [SURFACE].	
Wind is blowing upslope [SURFACE].	

Output Variables – «Μεταβλητές εξόδου»: Αυτό το τμήμα απαριθμεί όλες τις επιλεγμένες μεταβλητές εξόδου και τις μονάδες μέτρησής τους. Μπορεί να ενεργοποιηθεί/ απενεργοποιηθεί με την επιλογή Configure > Appearance > Worksheet.

Output Variables	
Surface Rate of Spread (maximum) (ch/h)	[SURFACE]
Flame Length (ft)	[SURFACE]

Notes – «Σημειώσεις»: Εδώ γράφει κανείς ό,τι σημειώσεις θέλει να συσχετίσει με ένα «φύλλο εργασίας». Το μέγεθος αυτού του τμήματος του «φύλλου εργασίας» αλλά και η ενεργοποίηση/ απενεργοποίηση γίνεται με την επιλογή Configure > Appearance > Worksheet.

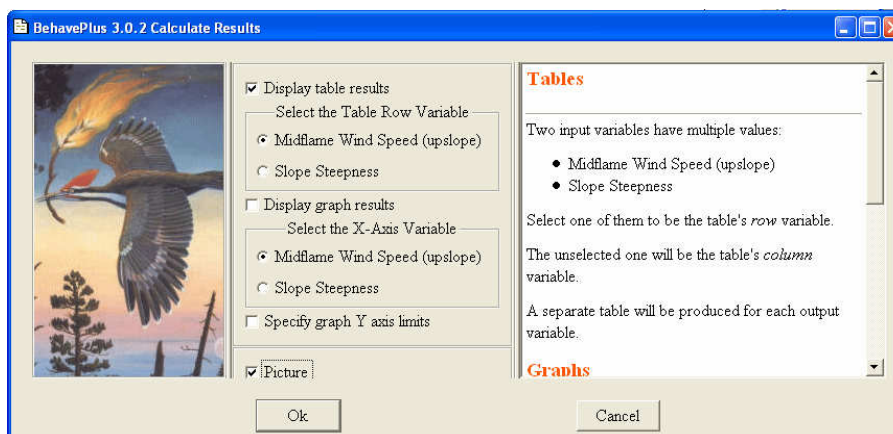
## Καθορισμός Δεδομένων Εισόδου

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να εισαχθούν δεδομένα εισόδου στο πρόγραμμα BehavePlus (Tutorial programme Behave Plus). Οι τιμές μπορούν να δακτυλογραφηθούν μέσα στα πλαίσια εισαγωγής, είτε να επιλεγθούν από έναν κατάλογο γύρω των τιμών εισαγωγής, είτε να επιλεγθεί μια σειρά των τιμών, ενώ για μερικές μεταβλητές, οι τιμές τους μπορούν να επιλεγθούν και από έναν κατάλογο κοινών χρησιμοποιούμενων επιλογών. Σε μερικές περιπτώσεις, κάποιες εισηγμένες μεταβλητές εξαρτώνται από τις τιμές που εισάγονται αλλού στο φύλλο εργασίας. Όταν μια μεταβλητή εισαγωγής δεν απαιτείται, το αντίστοιχο πλαίσιο κειμένου είναι σκιασμένο. Εάν εισαχθεί μια τιμή για σε ένα σκιασμένο παράθυρο κειμένου, δεν χρησιμοποιείται (Ψύμος Β., 2007).

Η μετακίνηση κατά την εισαγωγή δεδομένων από το ένα στο επόμενο πλαίσιο διαλόγου γίνεται με το κουμπό Tab ή Enter. Ο δρομέας μπορεί πάντα να κινηθεί προς οποιοδήποτε πλαίσιο κειμένου με το ποντίκι. Σε μια μεταβλητή εισαγωγής μπορούν να ανατεθούν περισσότερες από μια τιμές. Οι πολλαπλές αυτές τιμές, που δεν χρειάζονται να έχουν το ίδιο βήμα ή μία από την άλλη, χωρίζονται με ένα κενό ή κέμμα (Ψύμος Β., 2007).

## Καθορισμός Πινάκων Εξόδου

Η δημιουργία πινάκων εξόδου ενεργοποιείται με την επιλογή File >Calculate και το τσεκάρισμα της «Display Table Results»



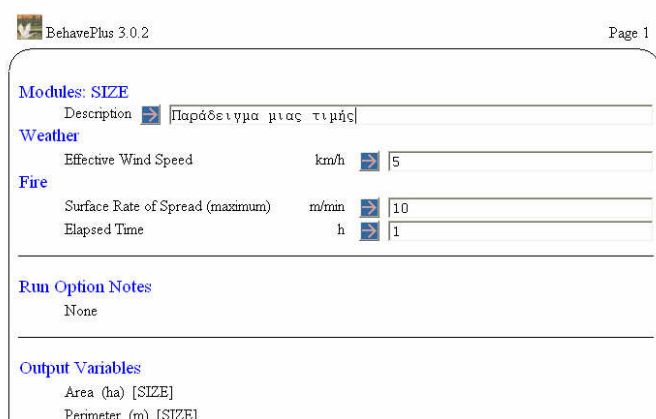
Εικόνα 15: Καθορισμός Πινάκων Εξόδου



### Υπολογισμοί για έσοδο μοναδικής τιμής

---

Όταν κάθε μεταβλητή έχει αποκλειστικό μόνο μια τιμή τότε δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν αποτελέσματα ούτε σε μορφή πίνακα ούτε σε μορφή γραφικής παράστασης. Για παράδειγμα:



### Υπολογισμοί για έσοδο πολλαπλών τιμών

---

Στην περίπτωση όπου μια τουλάχιστον μεταβλητή έχει παραπάνω από μια μόνο τιμή τότε μπορεί να δημιουργηθεί πίνακας αποτελεσμάτων. Για κάθε μεταβλητή με πολλαπλές τιμές παράγεται πίνακας αποτελεσμάτων. Και κάθε τέτοια μεταβλητή μπορεί να οριστεί ως μεταβλητή γραμμών (Ψώμος Β., 2007).

### Πίνακας αποτελεσμάτων με πολλαπλές σελίδες

---

Λόγω του ότι δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στον αριθμό των τιμών που μπορεί να ανατεθούν σε μια μεταβλητή, μπορεί να παρατηρηθεί το φαινόμενο να μην επαρκεί μια σελίδα για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων ενός πίνακα.

Τα πρώτα αποτελέσματα έχουν σχέση με την ταχύτητα διάδοσης της πυρκαγιάς. Στην συνέχεια φαίνεται η επικινδυνότητα αντιμετώπισης της φωτιάς μέσα από το ύψος της φωτιάς και καθορίζει τα μέσα πυρόσβεσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπισή της. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δηλ η κατεύθυνση, η περιφέρεια της φωτιάς, το μέγεθος αυτής μας δίνει μια καλή εικόνα για τον αριθμό των

πυροσβεστικῶν δυνάμεων που θα χρειαστοῦν για την αντιμετώπισή της (Ψῆμος Β., 2007).

BehavePlus 3.0.2 Page 2

Παράδειγμα πίνακα αποτελεσμάτων πολλαπλών σελίδων  
Area (ha)

Elapsed Time h	Surface Rate of Spread (maximum) m/min					
	0.0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0
0.5	0.0	0.4	1.7	3.9	6.9	10.7
1.0	0.0	1.7	6.9	15.5	27.5	42.9
1.5	0.0	3.9	15.5	34.8	61.8	96.6
2.0	0.0	6.9	27.5	61.8	109.9	171.7

Εικόνα 16: Πίνακας αποτελεσμάτων με πολλαπλές σελίδες

### **3.5 Χαρτογράφηση καύσιμης ύλης με χρήση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων Landsat**

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης είναι πολύ σημαντική για τον άνθρωπο μιας και παρέχει την δυνατότητα για παρατήρηση, χαρτογράφηση και παρακολούθηση του περιβάλλοντος και της γήινης επιφάνειας. Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί, η χαρτογράφηση στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης πραγματοποιείται με μεθόδους ταξινόμησης οι οποίες εξελίσσονται συνεχώς. Η πλέον σύγχρονη μέθοδος ταξινόμησης είναι αυτή της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας. Η Τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με την αντικειμενοστρεφή ανάλυση εικόνας αποτελούν δύο πολύ χρήσιμα εργαλεία για την παρακολούθηση των αλλαγών της επιφάνειας της γης, την καταγραφή και την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, με εφαρμογές σε πολλές κατηγορίες, όπως η γεωλογία των εδαφών, ο αστικός χώρος, οι φυσικές καταστροφές και διάφορα άλλα φαινόμενα τα οποία σχετίζονται με την γήινη επιφάνεια.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η προσπάθεια να τεκμηριωθεί η χρήση των τηλεπισκοπικών δορυφορικών δεδομένων από ποικίλους ερευνητές στο παρελθόν για την χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης.

Πληθώρα από αισθητήρες εντοπίζονται τόσο για εμπορικούς όσο και για ερευνητικούς σκοπούς με βασικό στόχο την μείωση του κόστους και του χρόνου καθώς και την βελτίωση των συνθηκών εργασίας. Αρκετοί είναι οι ερευνητές- συγγραφείς που έχουν διερευνήσει την χρήση της ψηφιακής τηλεπισκόπησης καθώς και την χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης με ανάλυση δορυφορικών δεδομένων σε τοπικό αλλά και περιφερειακό επίπεδο (Riano et al.2002).

Μια μεγάλη ποικιλία τηλεσκοπικών δεδομένων έχουν χρησιμοποιηθεί για δορυφορικές εικόνες υψηλής, μέσης και χαμηλής ανάλυσης ή συνδυασμό αυτών καθώς και αεροφωτογραφίες.

Τα χαρακτηριστικά του Landsat παρέχουν επαρκή κάλυψη για τις ανάγκες της χαρτογράφησης (Riano et al.,2002). Η χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης πραγματοποιείται συνήθως με εικόνες μέτριας ή και υψηλής ανάλυσης όπως Landsat MSS και Landsat TM (Kourtz, 1977, Burgan and Shasby, 1984, Dixon et al, 1984, Salas an Chuvieco, 1995, Vsconcelos et al, 1998, Shasby et al, 1981). Οι αισθητήρες Landsat MSS δεν προσφέρουν πληροφορίες σε σχέση με το ύψος της βλάστησης. Επιπλέον σε περιπτώσεις όπου η βλάστηση είναι πολύ πυκνή δεν πραγματοποιείται καταγραφή πληροφοριών σχετικών με το δασικό υπόροφο, κατά συνέπεια μη ύπαρξη δεδομένων σχετικά με τα επιφανειακά καύσιμα.

Οι δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης και διακριτικής ικανότητας αποτελούν σήμερα τα σημαντικότερα δεδομένα τηλεπισκόπησης, καθώς επιδέχονται

από το χρήστη κάθε είδους επεξεργασία, με τελικό σκοπό την εξαγωγή όσο το δυνατό ποιοτικής και ποσοτικής πληροφορίας σχετικά με τα χαρακτηριστικά του ανάγλυφου και της κάλυψης της γης. Χρήσιμο εργαλείο της γεωπληροφορικής για την απεικόνιση γεωγραφικών δεδομένων αποτελεί η τρισδιάστατη οπτικοποίηση. Η «γεωγραφική οπτικοποίηση», ή «γεω-οπτικοποίηση» (geovisualization), όπως συχνά αναφέρεται, συνδυάζει υψηλής ανάλυσης δορυφορικές εικόνες και συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών και επικεντρώνεται στην τρισδιάστατη προβολή των χωρικών δεδομένων, αυξάνοντας τον επιδιωκόμενο βαθμό ρεαλισμού. Η γεω-οπτικοποίηση μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλα τα στάδια της επίλυσης προβλημάτων στη γεωγραφική ανάλυση, όπως ανάπτυξη σεναρίων, ανάλυση, παρουσίαση αποτελεσμάτων και αξιολόγηση (Buckley et al., 2000). Συνεπώς, οι νέες τεχνολογίες της Γεω-Πληροφορικής μπορούν να συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη οργάνωση της προστασίας του περιβάλλοντος με τον έγκαιρο εντοπισμό και εκτίμηση των κινδύνων, τη συστηματική παρακολούθηση των βιοφυσικών και κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων και την υποστήριξη των αποφάσεων διαχείρισης.

Σύμφωνα με τον Koutz (1977) και την πρωτοποριακή του εργασία στην οποία εφάρμοσε σε εικόνες Landsat MSS τις βασικότερες τεχνικές ψηφιακής ταξινόμησης των δορυφορικών δεδομένων: (με αλγόριθμο της μέγιστης πιθανότητας), μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση και ανάλυση των κυρίων συνιστώσεων. Κατάφερε να ταξινομήσει 9 κλάσεις καυσίμων για την οπεριοχή μελέτης (ΒΔ της Ottawa, Quebec στον Καναδά) Ζρησιμοποίησε την χρονική ανάλυση των δορυφορικών εικόνων για να αξιοποιήσει την μεταβλητότητα των καυσίμων στον χρόνο. Οι τύποι καυσίμου αντιστοιχήθηκαν στην συνέχεια σε κατηγορίες βλάστησης χρησιμοποιώντας την μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας στα δορυφορικά δεδομένα. Ο Kourtz (1977) εισήγαγε τις βασικές τεχνικές ψηφιακής ταξινόμησης των τύπων καυσίμου σε δορυφορικά δομένα βασίστηκαν πολλοί ερευνητές στη συνέχεια για μελέτες ψηφιακής ανάλυσης και ταξινόμησης δορυφορικών δεδομένων.

Ο θεματικός χαρτογράφος Landsat TM χρησιμοποιήθηκε το 2001 από τους Darmawan, et al. με σκοπό την χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης στην Ινδονησία στο Ανατολικό Kalimantan. Ο σκοπός της έρευνας ήταν να δημιουργήσουν μοντέλο κινδύνου πυρκαγιάς, καθώς και ένα χάρτη καυσίμων. Από την ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων Landsat προέκυψε η καύσιμη ύλη σε συνδυασμό με δεδομένα καλύψεων-χρήσεων γης (δείκτης NDVI) εφαρμόζοντας επιβλεπόμενη μέθοδο ταξινόμησης.

Ο Riano et al. (2002) προσπάθησε να διαχωρίσει τους διαφορετικούς τύπους καύσιμης ύλης σε μεσογειακά οικοσυστήματα. Συνδύασε βοηθητικά δεδομένα με στόχο την ανάπτυξη μεθοδολογίας παραγωγής χαρτών της καύσιμης ύλης για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των πυρκαγιών. Με το σύστημα Prometheus πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση καύσιμης ύλης και χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον βοηθητικά δεδομένα όπως το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, δείκτες βλάστησης NDVI, NVII5, NVII7, χάρτες με τις

κλίσεις εδάφους, την φωτεινότητα σε συνδυασμό και με μετρήσεις πεδίου σχετικά με την περιγραφή των καυσίμων.

Οι Chuviesco et al. (2002) έκαναν προσπάθεια να προσδιορίσουν δείκτες οι οποίοι είναι δυνατόν να εκτιμήσουν την υγρασία ζωντανών καυσίμων. Οι δείκτες αυτοί προέκυψαν μετά από στατιστική ανάλυση των ανακλάσεων από το landsat TM δορυφόρο σε συνδυασμό με δείκτες NDVI, NDII, LWCI, υγρασία κ.ο.κ.

Ο πολυφασματικός Landsat TM χρησιμοποιήθηκε από τους Van Wagtendonk και Root (2003) με σκοπό την μελέτη και την εφαρμογή της χρήσης του δείκτη NDVI στην χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης στις ΗΠΑ. Οι τιμές του δείκτη NDVI προέκυψαν από δορυφορικά δεδομένα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Κατάφεραν να υλοποιήσουν αλγόριθμο μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης με σκοπό τον οριστούν 30 κλάσεις φασματικά και χρονικά του NDVI. Εν συνεχεία έγινε ο χαρακτηρισμός των κλάσεων και η αναγνώριση εκείνων με παρόμοια συμπεριφορά με σκοπό να συνδυαστούν σε μοντέλα καυσίμων του Yosemite National Park των ΗΠΑ.

Οι Flores- Garnica και Omi (2003) κατάφεραν να χαρτογραφήσουν την καύσιμη ύλη με την χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat TM. Αρχικά μέτρησαν το βάρος των νεκρών καυσίμων και τα ταξινόμησαν με βάση το σύστημα Anderson (1982) για την περιοχή μελέτης. Για κάθε ένα δείγμα υπολογίστηκαν οι αναλογίες βάρους για κάθε φορτίο καυσίμου δηλ Fuel Proportional Factor – FPF. Και τέλος μετέτρεψαν τα παραπάνω στοιχεία σε επίπεδα πληροφοριών σε μορφή καννάβου με την χρήση γεωστατικών μεθόδων. Τελικά με την χρήση των δορυφορικών εικόνων Landsat TM πέτυχαν τη χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης.

Το 2003 οι Wimberly et al. με στατιστικά μοντέλα επέλεξαν τις αντιπροσωπευτικές εκτάσεις εδάφους από ένα σύνολο περιοχών όπου πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες, με σκοπό να χαρακτηριστούν και οι περιοχές του τοπίου όπου δεν έγιναν δειγματοληψίες. Το είδος, το ύψος και η πυκνότητα της βλάστησης από τις επιλεγμένες περιοχές χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των υπόλοιπων περιοχών. Επιπλέον συνδυάστηκαν με μετρήσεις εικόνων Landsat, τοπογραφία, κλιματολογικές συνθήκες και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες της περιοχής μελέτης ώστε να δημιουργήσουν μοντέλα καυσίμου.

Στην συνέχεια ακολούθησαν άλλες μελέτες στις οποίες ενσωματώθηκαν και συν επεξεργάστηκαν με τα αρχικά δεδομένα όπως οι δείκτες βλάστησης κλπ με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας της χαρτογράφησης ( Van Wagtendonk, 1997).

Το 2003 οι Κουτσιάς και Καρτέρης με την χρήση δορυφορικών δεδομένων Landsat TM χαρτογράφησαν στην Χαλκιδική τους δασικούς τύπους με συγκεκριμένη πυρική συμπεριφορά. Για την πραγματοποίηση της χαρτογράφησης χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια του δορυφόρου, ο δείκτης βλάστησης NDVI, η Greenes συνιστώσα του μετασχηματισμού Tasseled Cap, συνιστώσες από την εφαρμογή της ανάλυσης σε κύριες

συνιστώσες και τέλος το ψηφιακό μοντέλο εδάφους για τον νομό. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και σημείωσαν πως με την διαχρονική χρήση δεδομένων μπορεί να αυξηθεί η ακρίβεια και η λεπτομέρεια της ταξινόμησης.

Οι Brandis και Jackson (2003) οι οποίοι μελέτησαν την δυνατότητα εκτίμησης των φορτίων καυσίμου με δεδομένα Landsat TM σε δασικές εκτάσεις του εθνικού πάρκου και θαμνολίβαδα στην Αυστραλία ανέπτυξαν δυο μεθοδολογίες. Και οι δυο μεθοδολογίες αφορούν την χρήση δεδομένων Landsat TM. Η πρώτη συνδυάζει τεχνικές ταξινόμησης για την εκτίμηση της βλάστησης και των τύπων της με βάση δεδομένων από ιστορικές πυρκαγιές. Η δεύτερη χρησιμοποιώντας τον ρυθμό ανακύκλωσης της βιομάζας στην κομοστέγη με σκοπό την εκτίμηση της ποσότητας της οργανικής ουσίας και συνεπώς της οργανικής ύλης στο έδαφος. Και για τις δυο μεθοδολογίες χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα πεδίου από την περιοχή μελέτης. Στην πρώτη μεθοδολογία οι τιμές πεδίου ήταν μικρότερες ενώ στην δεύτερη πιο κοντά στις κανονικές ποσότητες καυσίμων.

Στην Νότια Καλιφόρνια οι Yool et al. (1985) με την χρήση δορυφορικών δεδομένων Landsat MSS προσπάθησαν να περιγράψουν τα καύσιμα στις θαμνώδες εκτάσεις ενώ οι Hardwick et al. (1996) έκαναν αντιστοίχιση των μοντέλων καυσίμου του Anderson (1982) με του τύπους βλάστησης που προέκυψαν από την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων Landsat TM.

Οι Salas και Chuvieco (1994) κατάφεραν να ταξινομήσουν 11 μοντέλα του Anderson (1982) απευθείας σε δορυφορικές εικόνες του Landsat TM και προσδιόρισαν κατηγορίες βλάστησης για κάθε ένα μοντέλο καυσίμου με σκοπό τον υπολογισμό του κινδύνου έναρξης μιας πυρκαγιάς σε μεγάλη κλίμακα στην περιοχή της Ισπανίας.

Οι Cambell et al. (1995) ταξινόμησαν τα μοντέλα καυσίμου σε δορυφορικές εικόνες Landsat TM της περιοχής Camp Lejuene, North Carolina με σκοπό να γίνει εξομοίωση προδιαγραμμένης καύσης με το σύστημα Farsite.

Οι Lasaponara και Lanorte (2006) με την χρήση του πολυφασματικού δέκτη Landsat TM μελέτησαν την δυνατότητα χαρτογράφησης καυσίμων με δεδομένα ίδιας χρονολογικής περιόδου με το εθνικό πάρκο Pollino, της Ν. Ιταλίας. Σε συνδυασμό με μετρήσεις πεδίου οι οποίες πραγματοποιήθηκαν την ίδια χρονική περίοδο και αεροφωτογραφιών πραγματοποιήθηκε η αναγνώριση των καυσίμων στα δορυφορικά δεδομένα. Μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας ακολούθησε η εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Το ίδιο έγινε μετά την εφαρμογή του μοντέλου Mixture Tuned Filtering, το οποίο βασίζεται στην υπόθεση πως το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που καταγράφεται στον αισθητήρα είναι ένας γραμμικός συνδυασμός του φάσματος όλων των στοιχείων του εικονοστοιχείου. Από την σύγκριση προέκυψε πως η χαρτογράφηση των καυσίμων με την χρήση unmixin methods αποδίδει καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τον κλασικό αλγόριθμο ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας.

### 3.6 Μοντέλα Καύσιμης Ύλης

Η μοντελοποίηση της καύσιμης ύλης και η ανάλυση της χωρικής της κατανομής παρουσιάζουν ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον για την υποστήριξη αποφάσεων όσον αφορά την πρόληψη και την καταστολή των δασικών πυρκαγιών. Η γνώση των παραμέτρων συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς (ταχύτητα διάδοσης, μήκος φλόγας, θερμότητα ανά μονάδα επιφανείας, θερμική ένταση μετώπου, θερμική ένταση αντίδρασης) πριν από και κατά την πυρκαγιά συμβάλλει τόσο στην αντιμετώπιση των δυσκολιών ελέγχου της πυρκαγιάς (κατασκευή αντιπυρικών ζωνών, αποστολή ή όχι συνεργείων στο μέτωπο της φωτιάς, απαιτήσεις σε προσωπικό και εξοπλισμό, νέες εστίες, ασφάλεια) όσο και στην αντιμετώπιση των προκαλούμενων συνεπειών στα διάφορα οικοσυστήματα.

Τα μοντέλα καύσιμης ύλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση συμπεριφοράς πυρκαγιών είτε σε εφαρμογές που αφορούν προληπτικό σχεδιασμό είτε σε πραγματικές επιχειρήσεις καταστολής αυτών, λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία και τις μετεωρολογικές συνθήκες.

Ένα μοντέλο καύσιμης ύλης προέρχεται από την ταξινόμηση των ειδών βλάστησης σύμφωνα με τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους κατά την καύση και χρησιμοποιείται για να ταξινομηθεί η βλάστηση που είναι επιρρεπής στη φωτιά (Anderson, 1982).

«Μοντέλο Καύσιμης Ύλης» ορίζεται ως ένας προσομοιωμένος τύπος καύσιμης ύλης για τον οποίο έχουν καθοριστεί οι τιμές για όλες τις φυσικοχημικές μεταβλητές περιγραφής του που απαιτούνται για τη λύση του μαθηματικού μοντέλου διάδοσης της φωτιάς (Xanthopoulos and Manasi, 2002, Rothermel, 1972).

Η μοντελοποίηση της καύσιμης ύλης είναι μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία που απαιτεί λεπτομερή ταξινόμηση της καύσιμης ύλης και μέτρηση των διαφόρων φυσικοχημικών ιδιοτήτων που την χαρακτηρίζουν στο πεδίο, ποσοτική εκτίμηση και μεθοδικότητα προκειμένου να μελετηθεί σε βάθος (Keane et al., 2001).

Σταθμό έχουν αποτελέσει τα δεκατρία (13) μοντέλα καύσιμης ύλης (MKY) που αναπτύχθηκαν στην Αμερική για το Σύστημα Πρόβλεψης Συμπεριφοράς Πυρκαγιάς BEHAVE (Anderson, 1982, Burgan and Rothermel, 1984, Andrews, 1986), όπου η ταξινόμηση της βλάστησης βασίστηκε σε επιτόπια μέτρηση της καύσιμης ύλης. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν άλλα είκοσι (20) MKY, με επιπλέον παραμέτρους από τα αρχικά μοντέλα, για χρήση τους στο Εθνικό Σύστημα Εκτίμησης Κινδύνου Πυρκαγιών της Αμερικής (Burgan et al., 1988). Σε μια προσπάθεια να γίνει μια πιο περιεκτική περιγραφή του υποστρώματος της δασικής καύσιμης ύλης δημιουργήθηκε ένα σύστημα ταξινόμησης της βλάστησης στις Η.Π.Α. που περιείχε πάνω από 200 MKY

(Sandberg et al. 2001). Στις μέρες μας, το πιο ολοκληρωμένο σύνολο πρότυπων μοντέλων καύσιμης ύλης αποτελείται από σαράντα (40) (ΜΚΥ) Μοντέλα Κάυσιμης Ύλης, που αποτελούν εξέλιξη των αρχικών 13 Μοντέλα Κάυσιμης Ύλης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο διάδοσης δασικών πυρκαγιών του Rothermel (Scott & Burgan, 2005, Rothermel, 1972).

M.K.Y.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	
GR1, GR2, GR3, GR4, GR5, GR6, GR7, GR8, GR9	Nearly Pure Grass/Or Forb Type (Grass)	Ποολιβαδα
GS1, GS2, GS3, GS4	Mixture of grass and shrub up to 50 shrub coverage (Grass-Shrub)	Θαμνολίβαδα (τουλάχιστον 50% κάλυψη θάμνων)
SH1, SH2, SH3, SH4, SH5, SH6, SH7, SH8, SH9	Shrub cover at least 50 shrub coverage (Shrub)	Θαμνότοποι
TU1, TU2, TU3, TU4, TU5	Grass or shrubs mixed with litter from forest canopy (Timber-understory)	Σύμπυκνα δάση (ξηροτάπητας και υπόροφος)
TL1, TL2, TL3, TL4, TL5, TL6, TL7, TL8, TL9	Dead and down woody fuel (litter) beneath a forest canopy (Timber-Litter)	Κλειστά δάση (ξηροτάπητας)
SB1, SB2, SB3, SB4	Activity fuels (slash) or debris from wind damage (Slash – Blowdown)	Υπολείμματα υλοτομιών
NB1, NB2, NB3, NB8, NB9	Insufficient wildland fuel (Non-burnable)	Υλικά που δεν επιδέχονται καύση

Πίνακας 3: Τα πρότυπα Μοντέλα Κάυσιμης Ύλης που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο διάδοσης πυρκαγιών του Rothermel (Πηγή: Scott & Burgan, 2005, Rothermel, 1972).

Ορισμένα παραδείγματα δημιουργίας Τοπικών Μ.Κ.Υ. στη Μεσόγειο καταγράφονται στη βιβλιογραφία για Ελλάδα, Ισπανία, Πορτογαλία (Dimitrakopoulos et al., 2001, ADAI 2000, Hernando et. al., 1995). Συγκεκριμένα, για την περιοχή της Ελλάδας επιλέχθηκαν 181 σημεία δειγματοληψίας ανάλογα με την ποικιλομορφία και την έκταση των Μεσογειακών συμπλεγμάτων της καύσιμης ύλης στα επιμέρους γεωγραφικά διαμερίσματα της χώρας μας. Έγινε στατιστική ανάλυση των τιμών των ιδιοτήτων της καύσιμης ύλης, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της ανάλυσης κατά ομάδας (cluster analysis), για την ταξινόμηση των φωτοσειρών σε επτά αντιπροσωπευτικά μοντέλα καύσιμης ύλης. Βέβαια επιπρόσθετες δειγματοληψίες αναμένεται να επιτρέψουν την επαλήθευση, διαφοροποίηση ή επαύξηση αυτών των μοντέλων μελλοντικά.

Η ακριβής και πλήρης χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης έχει ουσιαστική σημασία για τη διαχείριση πυρκαγιών, ιδιαίτερα για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας μιας πυρκαγιάς και του κινδύνου εμφάνισής της στο χώρο καθώς και την προσομοίωση της εξάπλωσης και της έντασής της κατά μήκος του τοπίου (Keane et al., 2001). Η χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης μπορεί να λάβει χώρα σε διάφορες κλίμακες. Οι χονδροειδούς κλίμακας χάρτες καύσιμης ύλης (coarse scale fuel maps) σχετίζονται με



την εκτίμηση κινδύνου πυρκαγιάς σε παγκόσμιο, εθνικό και περιφερειακό επίπεδο προκειμένου να επιτευχθεί πιο αποτελεσματικός σχεδιασμός, καταμερισμός και κινητοποίηση των δυνάμεων καταστολής σε εβδομαδιαία, μηνιαία και ετήσια διαστήματα αξιολόγησης (Chuvieco and Martin 1994, Simard 1996, Burgan et al., 1998, Klaver et al., 1998, de Vasconcelos et al., 1998). Οι ψηφιακοί χάρτες καύσιμης ύλης περιφερειακής κλίμακας (mid-scale or regional-scale digital fuel maps) συμβάλλουν στην εκτίμηση της «υγείας» ενός οικοσυστήματος, στον εντοπισμό και την αξιολόγηση της καύσιμης ύλης αναφορικά με τη διαχείρισή της, και στην εκτίμηση κινδύνου πυρκαγιάς (Salas and Chuvieco 1994, Chuvieco et al., 1997). Οι χάρτες της καύσιμης ύλης σε κλίμακα τοπίου (fine scale or landscape level fuel maps) είναι σημαντικοί στην διαχείριση πυρκαγιάς σε τοπικό επίπεδο (Chuvieco and Congalton 1989, Maselli et al., 1996).



### **3.7 Αντικειμενοστρεφής ανάλυση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων**

Ένα κυρίαρχο ζήτημα της ψηφιακής τηλεπισκόπησης ήταν για πολλά χρόνια η δημιουργία ενός προγράμματος το οποίο προσφέρει την δυνατότητα «μίμησης» της ανθρώπινης σκέψης (Κολοπτάς Ε., 2013). Ο κοντινότερος προς την ανθρώπινη σκέψη τρόπος για να επιτευχθεί η ανάλυση μιας εικόνας και στη συνέχεια η ταξινόμηση της, δεν είναι η ανάλυση η οποία έχει ως στοιχειώδη μονάδα τα εικονοστοιχεία, εφαρμοζόταν για χρόνια, αλλά μια νέα μέθοδος, αυτή της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης (Object oriented image analysis). Ο ανθρώπινος εγκέφαλος μπορεί εύκολα να κατηγοριοποιήσει μια εικόνα σε περιοχές ενδιαφέροντος. Οι άνθρωποι με την βοήθεια της όρασης τους, για να παρατηρήσουν μια εικόνα κινούν μια σειρά από νοητικές διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές προσφέρουν στον παρατηρητή την ικανότητα να νοήσει μια εικόνα, να την επεξεργαστεί και τελικά να την ερμηνεύσει. Μέσα από την παρατήρηση της, ο ανθρώπινος εγκέφαλος την κατηγοριοποιεί σε ποικίλες περιοχές (Κολοπτάς Ε., 2013).

Πιο συγκεκριμένα, τμήματα των περιοχών αυτών καταγράφονται ανάλογα με το σχήμα, το χρώμα, το μέγεθος. Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας, αποτελεί μια μεθοδολογία η οποία εισήγαγε την διαδικασία της κατάτμησης της εικόνας σε αντικείμενα, μια διαδικασία η οποία αποτελούσε σκέψη πολλές δεκαετίες πριν (Ketting and Landgrebe, 1976). Ωστόσο, οι διάφοροι μέθοδοι οι οποίοι εφαρμόζονταν και οι οποίοι στηρίζονταν στην ανάλυση των εικονοστοιχείων οδήγησαν στην μη-χρήση της, μιας και για την εφαρμογή της απαιτούνταν ηλεκτρονικοί υπολογιστές με υψηλή υπολογιστική ισχύ, οι οποίοι να την καθιστούν εφαρμόσιμη με ακρίβεια και ταχύτητα. Με την πάροδο των χρόνων όμως, και με την εξέλιξη της τεχνολογίας άρχισαν να κατασκευάζονται ηλεκτρονικοί υπολογιστές, καθώς επίσης και να παράγονται λογισμικά τα οποία μπορούσαν να εφαρμόσουν πιο πολύπλοκα προγράμματα και να χρησιμοποιήσουν νέες εφαρμογές. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό με τις ατέλειες που παρουσιάζονταν κατά την εφαρμογή της μεθόδου της αναγνώρισης του πολυφασματικού προτύπου σε εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης, οδήγησε τους μελετητές στην αναζήτηση τρόπων και στην παραγωγή-δόμηση προγραμμάτων τα οποία θα μπορούσαν να εφαρμόσουν και να υλοποιήσουν την θεώρηση της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης. Το σκεπτικό πάνω στο οποίο στηρίζονταν η εφαρμογή της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, δηλαδή η «μίμηση» της ανθρώπινης σκέψης, σε συνδυασμό με την υπομονή και την πίστη των ερευνητών ότι η φιλοσοφία της μεθόδου αυτής μπορεί να οδηγήσει σε αξιόπιστα αποτελέσματα έφερε την ραγδαία εξάπλωση της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης μετά το 2000.

Οι βασικές μονάδες επεξεργασίας της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας είναι τα αντικείμενα της εικόνας οπότε η ταξινόμηση εκτελείται στα αντικείμενα της εικόνας. Μέσα από την αντικειμενοστρεφή προσέγγιση και ύστερα από μια σειρά διαδικασιών

ανάλυσης - ταξινόμησης οδηγούμαστε στην δημιουργία αντικειμένων του πραγματικού κόσμου (Κωτσόπουλος Κ., Αργιαλάς Δ., Κασσιός Κ., 2005). 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. Μέσα από την δημιουργία των αντικειμένων αυτών, τα οποία προκύπτουν από μια διαδικασία κατάτμησης στην οποία θα αναφερθούμε παρακάτω, 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 (Φώτη Ε., 2011).

Ο διαχωρισμός των διαφόρων κατηγοριών κάλυψης γης με βάση τα φασματικά κριτήρια γίνεται εύκολα λόγω της διαφορετικής ανακλαστικότητας των διαφορετικών υλικών των επιφανειών. Το εικονοστοιχείο μονοπώλησε το ενδιαφέρον των ερευνητών για πολλά χρόνια, μέχρι που τέθηκε το ερώτημα γιατί να εστιάζεται η προσοχή στη στατιστική ανάλυση των εικονοστοιχείων, και όχι στα χωρικά σύνολα που δημιουργούν (Blaschke and Strobl 2001).

Σύμφωνα με την Φώτη Ε., 2011: Ο όρος «αντικείμενο μιας εικόνας» αναφέρεται σε μια διακριτή περιοχή μιας ψηφιακής εικόνας που έχει εσωτερική συνοχή και διαφορετικότητα από τα γειτονικά αντικείμενα. Έτσι, η ερμηνεία αυτή εμπεριέχει κάποιους περιορισμούς/χαρακτηριστικά, τα οποία είναι 1) διακριτικότητα, 2) εσωτερική συνοχή και 3) αντίθεση με τα γειτνιάζοντα αντικείμενα.

#### 1) Διακριτικότητα

Σε ένα περιβάλλον raster, η διακριτικότητα επιβάλλει στη νέα εικόνα που δημιουργείται από την αυθεντική, κάθε νέο Pixel να έχει ένα κωδικό, τον χαρακτηριστικό κωδικό του αντικειμένου στο οποίο εντάσσεται. Επομένως, όλα τα pixels του αντικειμένου έχουν τον ίδιο κωδικό αριθμό, γεγονός που μειώνει σημαντικά τον όγκο των δεδομένων της καινούριας εικόνας κατά τη μετατροπή της σε διανυσματική μορφή. Αυτό αποτελεί και το σημαντικό πλεονέκτημα της Αντικειμενοστρεφούς Ανάλυσης Εικόνων, η ευκολία μετατροπής της εικόνας από raster σε vector (GIS) (Φώτη Ε., 2011).

Τα αντικείμενα δεν έχουν καμία πρακτική σημασία προτού ταξινομηθούν (Αργιαλάς, 1999).

#### 2) Εσωτερική συνοχή

Το κριτήριο αυτό επιβάλλει στα pixels της περιοχής της εικόνας που θεωρείται αντικείμενο να είναι ενωμένα μεταξύ τους. Αυτό δεν συνεπάγεται και ότι θα είναι ομοιογενή ( Low variance). Μια περιοχή που έχει τραχειά υφή ή κάποιο γεωμετρικό πρότυπο μπορεί να έχει διακυμάνσεις στην υφή και ταυτόχρονα να έχει την

απαιτούμενη συνοχή. Αυτά τα επαναλαμβανόμενα πρότυπα μπορούν να κωδικοποιηθούν ως μια διαρθρωτική υπογραφή μια ομάδα χαρακτηριστικών και σχέσεων που αναδεικνύουν χωρικά πρότυπα παρατηρούμενα σε συγκεκριμένες κλίμακες- και σε συνδιασμό με τη χρήση των φασματικών υπογραφών να ξεχωρίζουν μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών των αντικειμένων (Φώτη Ε., 2011).

### 3) Αντίθεση

Σε μια περιοχή που θα αποτελέσει αντικείμενο θα πρέπει να υπάρχει όχι μόνο ομοιομορφία στο εσωτερικό της, αλλά και αντίθεση με τις γειτονικές περιοχές ώστε να θεωρηθεί ξεχωριστή οντότητα. Η αντίθεση μπορεί να εκφράζεται με τρεις τρόπους: Διαφορετικότητα της περιοχής σε χρώμα, τόνο και υφή. Σε κάποιες περιπτώσεις, όταν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά μιας περιοχής δε διαφέρουν από τις περιβάλλουσες περιοχές, το στοιχείο που τις κάνει να ενταχθούν σε διαφορετικά αντικείμενα είναι η ύπαρξη κάποιας διαχωριστικής ακμής (π.χ. μια λωρίδα χώματος μεταξύ χωραφιών ίδιας καλλιέργειας)( Φώτη Ε., 2011).

Αν μια κατάτμηση ανταποκρίνεται καλά σε ένα διακριτό, μοναδικό πρότυπο τότε μπορεί αυτό να χαρακτηριστεί αντικείμενο. Παρόλα αυτά, κάθε παραχθέν αντικείμενο εξαρτάται από μια συγκεκριμένη διαδικασία που ακολουθείται και που έχει επιλεγεί από μια απόφαση του χειριστή του προγράμματος ή από μια αυτόματη διαδικασία του προγράμματος, η οποία, όμως, πάλι έχει προέλθει από μια ανθρώπινη απόφαση. Με άλλα λόγια, τα αντικείμενα που δημιουργούνται σε μια εικόνα προέρχονται από ανθρώπινη νόηση. Έτσι, είναι πολύ συγκεκριμένες οι παράμετροι και τα βήματα που ακολουθούνται για την παραγωγή τους. Έστω και μία παράμετρος να αλλάξει στο επίπεδο της κατάτμησης, το αποτέλεσμα και οι πληροφορίες που θα προκύψουν θα είναι πολύ διαφορετικές, παρόλο που τα δεδομένα (η αρχική εικόνα) θα είναι οι ίδιες. Συμπερασματικά, προκύπτει ότι η πληροφορία δεν αντλείται από τα αρχικά δεδομένα αλλά από τον τρόπο επεξεργασίας τους (Φώτη Ε., 2011).

Ο στόχος της προ- επεξεργασίας είναι να αυξήσει την ομοιογένεια των αντικειμένων (που στη συνέχεια θα εξαχθούν). Τα βήματα της προ- επεξεργασίας προσαρμόζονται ανάλογα με το σκοπό της εκάστοτε εργασίας. Μετά την κατάτμηση της εικόνας σε πρωταρχικά αντικείμενα, γίνεται η επιλογή κάποιων δειγμάτων, βάσει της φωτοερμηνείας ή βάσει περιοχών που επιλέγονται με προσεκτική ανάλυση του ιστογράμματος της εικόνας (Φώτη Ε., 2011).

Πολλές φορές, τα όρια μεταξύ των κατηγοριών δεν είναι σαφή και εξαρτώνται από τον ορισμό που δίνει ο χρήστης σε κάθε κατηγορία. Το γεω-αντικείμενο είναι μια οριοθετημένη γεωγραφική περιοχή που μπορεί για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή να αναγνωριστεί ως ένας γεωγραφικός όρος. Τα αντικείμενα είναι η καλύτερη αναπαράσταση των γεω-αντικειμένων (Φώτη Ε., 2011).. Η ανάλυση των εικόνων ουσιαστικά σημαίνει το κατακερμάτισμά τους μέχρι να απλοποιηθούν στα συστατικά τους στοιχεία. Και, εφόσον τα γεω-αντικείμενα δεν αποτελούν τα συστατικά μέρη των

δορυφορικών εικόνων, η ανάλυσή τους δε μπορεί να βασιστεί σε αυτά αλλά να ξεκινήσει από αυτά (Φώτη Ε., 2011).. Η κατάτμηση προηγείται της ανάλυσης στην Αντικειμενοστρεφή Ανάλυση των Εικόνων. Κάθε αντικείμενο περιλαμβάνει φασματικές πληροφορίες, πληροφορίες για το σχήμα του, για τους γείτονές του καθώς και για τα ανώτερα ή κατώτερα από αυτό αντικείμενα. Υπάρχει η πιθανότητα τα αντικείμενα να ταυτίζονται με την πραγματική γεωγραφική οντότητα που υπάρχει στο έδαφος. Π.χ. μια λίμνη να αντιπροσωπεύεται στην εικόνα από ένα αντικείμενο επιτυχώς, και άρα η κατάτμηση είναι πετυχημένη (Φώτη Ε., 2011, Definiens, 2001).

Η αξιολόγηση της ταξινόμησης των πρώτων αντικειμένων μιας κατάτμησης με τη βοήθεια επίγειας φωτοερμηνείας είναι δύσκολη, και αυτό γιατί οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται την κατάτμηση σε μεγαλύτερη κλίμακα από τη ζητούμενη, με αποτέλεσμα ένα μεγάλο ποσοστό πρώτων αντικειμένων να ενοποιούνται λανθασμένα. Η τάση για ενοποίηση των πρώτων αντικειμένων μιας κατάτμησης συμβαίνει ασυναίσθητα, παρόλο που θεωρείται μια διαδικασία από πάνω προς τα κάτω. Είναι γνωστό ότι οι παράγοντες της διαδικασίας από τα πάνω επίπεδα προς τα κάτω μπορούν ασυνείδητα να επηρεάσουν την οπτική κρίση. Για παράδειγμα, ο τρόπος που οι άνθρωποι αναγνωρίζουν γράμματα εξαρτάται από το αν αυτά σχηματίζουν γνωστές λέξεις και όχι σκόρπιες συλλαβές. Αυτή η ικανότητα στηρίζεται σε μια διαδρομή από το πάνω επίπεδο προς το κάτω, όπου οι λέξεις συνιστούν το πάνω επίπεδο, ενώ τα γράμματα το κάτω. Βάσει αυτής της ιδιότητας της ανθρώπινης αντίληψης, κάθε επίγειος έλεγχος των αντικειμένων μιας κατάτμησης είναι άχρηστος γιατί δίνει εσφαλμένα αποτελέσματα. Εξαιτίας, λοιπόν, της ανικανότητας των ανθρώπων να αποτυπώνουν επίγεια τις χρήσεις γης στη σωστή κλίμακα, η αξιολόγηση της κατάτμησης γίνεται με δυο τρόπους. Είτε με οπτικό έλεγχο, είτε με αυτοματοποιημένο έλεγχο με χρήση κάποιου μετρητικού μεγέθους. Τα αποτελέσματα αυτών των τρόπων είναι προσαρμοσμένα στην επιθυμητή κλίμακα όπου κάθε πρώτο αντικείμενο, π.χ. δέντρα και σκεπές κτιρίων, είναι διαχωρισμένο σωστά. Από αυτές τις εικόνες φαίνεται ότι τα όρια των πρώτων αντικειμένων που έχουν ταυτόχρονα οριοθετημένη ένταση και υφή είναι προσδιορισμένα με ακρίβεια (Blaschke, 2008).

Μια αντικειμενική προσέγγιση για την ανάλυση των εικόνων πρέπει να είναι τέτοια ώστε το αποτέλεσμα της επεξεργασίας να είναι μια εικόνα χωρικά διαχωρισμένη στις σωστές κατηγορίες, δηλαδή σε ένα επίπεδο ταξινόμησης. Πολύ σημαντικό είναι η προσέγγιση αυτή να είναι εφαρμόσιμη σε διαφορετικά γεωγραφικά δεδομένα, με διαφορετική χωρική και φασματική ανάλυση. Τα βήματα της κατάτμησης και της ταξινόμησης πρέπει να αποτελούν μια κυκλική διαδικασία, η οποία λέγεται μορφοποίηση τάξεων. Με αυτό τον τρόπο, ο σχεδιασμός των εργασιών από την κατάτμηση αντικειμένων μεγάλου επιπέδου στην ταξινόμηση «τοπικών» αντικειμένων χαμηλού επιπέδου (λεπτομέρειες εικόνας) είναι πιο ευέλικτος (Φώτη Ε., 2011).

#### 4. Στόχοι της παρούσας μελέτης

Οι στόχοι της παρούσας μελέτης περιελάμβαναν:

(α) δημιουργία χάρτη καύσιμης ύλης και χάρτη πυκνότητας της κόμης με την χρήση αντικειμενοστρεφούς ανάλυση εικόνας για την περιοχή μελέτης πριν την πυρκαγιά του 1994,

(β) προσομοίωση συμπεριφοράς πυρκαγιάς που εκδηλώθηκε στις 15/08/1994 στην περιοχή μελέτης με το πρόγραμμα Farsite,

(γ) δημιουργία χάρτη καύσιμης ύλης και χάρτη πυκνότητας της κόμης για την περιοχή μελέτης μετά την πυρκαγιά του 1994,

(δ) προσομοίωση συμπεριφοράς πυρκαγιάς μετά την πυρκαγιά με σκοπό την πρόβλεψη μιας μελλοντικής πυρκαγιάς στην ίδια περιοχή.

Αξίζει να σημειωθεί πως σε μια περιοχή αν έχουμε τρεις επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές σε περιοχή που ήδη έχει υποστεί καταστροφή συνεπάγεται πολύ μεγάλος κίνδυνος από ερημοποίηση της περιοχής.





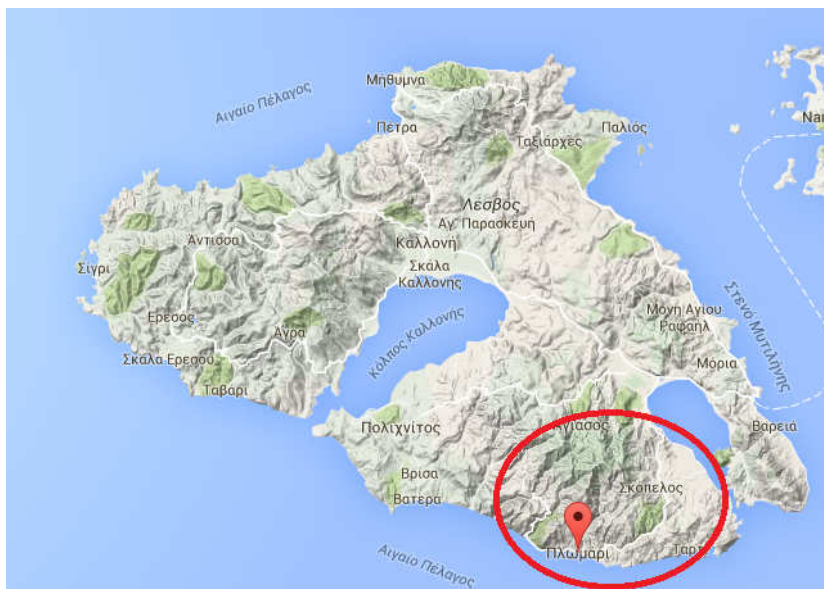
## 5. Μεθοδολογία

### 5.1 Περιοχή μελέτης

Στην παρούσα εργασία περιοχή μελέτης είναι η κοινότητα Πλωμαρίου, η οποία βρίσκεται στα νότια παράλια της Νήσου Λέσβου, η πυρκαγιά του Μεγαλοχωρίου που έλαβε χώρα την 15<sup>η</sup> Αυγούστου 1994 και συνεχίστηκε για 5 ημέρες ήταν η μεγαλύτερη σε όλο το νησί (Παλαιόλογου Π., 2011). Ο απολογισμός ήταν συνολικά περίπου 2.595 εκτάρια καμένης έκτασης, περιλαμβάνοντας μεγάλες περιοχές πευκοδάσους, φυλλοβόλων δασών, χορτολιβαδικών εκτάσεων καθώς και ελαιώνων.

Το Πλωμάρι θεωρείται παραδοσιακός οικισμός. Χτίστηκε στη σημερινή του θέση γύρω στο 1842, όταν εξέλιπε ο φόβος των πειρατών και διασχίζεται από τον χείμαρρο Σεδούντα. Στο κέντρο του οικισμού βρίσκεται ο ναός του Αγίου Νικολάου χτισμένος το 1847. Σήμα κατατεθέν του οικισμού ο πλάτανος της κεντρικής πλατείας, που όπως λέγεται φυτεύτηκε το 1813.

Το Πλωμάρι συνδέεται με την Μυτιλήνη μέσω της κύριας οδικής αρτηρίας Πλωμαρίου-Μυτιλήνης από την οποία απέχει περίπου 40 χλμ. Συνορεύει με την δημοτική ενότητα Γέρας στα ανατολικά με την οποία συνδέεται με την ίδια οδό. Βόρεια συναντάει την δημοτική ενότητα Αγιάσου με την οποία συνδέεται με την επαρχιακή οδό Πλωμαρίου-Αγιάσου.



Εικόνα 17: Νήσος Λέσβος (πηγή: Google maps)

Δυτικά συνορεύει με την δημοτική ενότητα Πολυχνίτου μέσω της επαρχιακής οδού Πλωμαρίου Πολυχνίτου, μέσω Βατερών. Στην Νότια πλευρά εκτείνεται το Αιγαίο Πέλαγος.



### 5.1.1 Ιστορική αναδρομή του Πλωμαρίου

Το Πλωμάρι είναι μια σχετικά νέα πόλη που όπως αναφέρθηκε και προηγούμενος κτίστηκε το 1842 , όταν σταμάτησαν οι πειρατικές επιδρομές και οι κάτοικοι κατέβηκαν στη θάλασσα από το Μεγαλοχώρι (11χλμ βόρεια). Με τα χρόνια το Μεγαλοχώρι υποβαθμίστηκε και το Πλωμάρι έγινε πρωτεύουσα της επαρχίας. Οι ποτοποιίες είναι χαρακτηριστικό του Πλωμαρίου με μεγάλη παράδοση στη παραγωγή ούζου. Το ούζο Πλωμαρίου είναι γνωστό για την ποιότητα και την μοναδικότητα του. Οι Πλωμαρίτες διακρίθηκαν ως ναυτικοί και έχουν αξιόλογη παράδοση στα γράμματα. Πλούσια είναι η προσφορά της Λέσχης «Βενιαμίν ο Λέσβιος». Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και το ορεινά χωριά που πλαισιώνουν το Πλωμάρι. Το Μεγαλοχώρι, το Παλιοχώρι, το Νεοχώρι, η Πλαγιά, η Κουρνέλα, οι Μηλιές. Από το Πλωμάρι ανεβαίνοντας την κοίτη του Σεδούντα βρίσκετε το παλιό ελαιόμυλο κτισμένο μέσα στη ρεματιά με την θέα των ελαιώνων και την τεχνική της κατασκευής των σετιών, που στηρίζουν τα δέντρα στις απόκρημνες βουνοπλαγιές και προστατεύουν το έδαφος από τη διάβρωση.

Ιστορικά πριν από τη μικρασιατική καταστροφή (1922) το Πλωμάρι ήταν μια ανθούσα και πολυάνθρωπη κωμόπολη με πολλά ελαιοτριβεία, σαπυνοποιεία, πυρηνεργοστάσιο και ουζοποιεία, όπου παρασκευαζόταν το ονομαστό ντόπιο ούζο. Το βιομηχανικό Πλωμάρι των αρχών του αιώνα διαθέτει: 12 σαπυνοποιεία 10 ελαιοτριβεία 1 υδραυλικό αλευροποιείο 2 πυρηνεργοστάσια 2 ατμοκίνητα ελαιοτριβεία κλπ. Υπήρχαν επίσης σημαντικές ποτοποιίες που εξειδικεύονταν στην παραγωγή ούζου. Την μαζική παραγωγή ελαιοσαπώνων υπαγόρευσε η μεγάλη ζήτηση που είχαν τα προϊόντα αυτά στις αγορές της Ανατολής.



## 5.1.2 Τα χωριά του Πλωμαρίου

Πηγή: Dimitris Malliaros, 2001-2008., Web site: <http://www.plomaricity.gr/>

### *Μεγαλοχώρι*

---

Χτίστηκε μετά την άλωση της πόλης. Το όνομά του φανερώνει ότι κάποτε ήταν το μεγαλύτερο χωριό της περιοχής. Λέγεται και παλιό Πλωμάρι αφού σχεδόν όλος ο πληθυσμός του κατέβηκε στο Πλωμάρι στα μέσα του 19ου αιώνα. Συχνή είναι και η χρήση του ονόματος «Καμένο Χωριό», αφού κάηκε 3 φορές, άλλοτε από πειρατές και άλλοτε (1843) από εμπρηστές. Δυστυχώς το όνομά του επιβεβαιώθηκε και στις αρχές της τελευταίας δεκαετίας με δύο αλληπάλληλες φωτιές. Η δεύτερη και μεγαλύτερη που έκαψε χιλιάδες στρέμματα, το χωριό σώθηκε από θαύμα, αν και μερικά σπίτια κάηκαν, ήταν από τις μεγαλύτερες που έχει γνωρίσει η χώρα μας. Το χωριό είναι το ψηλότερο της Λέσβου, σε υψόμετρο 645 μέτρα, πράγμα που δικαιολογεί τα «πολλά νερά», τις πολλές βρύσες (πηγές) που έχει. Τέλος στα νότια είναι τα σχολεία του χωριού. Το ένα λειτουργεί σήμερα ως σχολείο για τους λιγοστούς μαθητές. Το άλλο αναπαλαιώνεται για να λειτουργήσει ως κτίριο πολλαπλών χρήσεων (Malliaros D., 2008).

### *Μελίντα - Κρυφή Παναγιά*

---

Το όνομα της προέρχεται από τη λατινική λέξη Μιλίτσια που σημαίνει φρουρά. Στη δυτική πλευρά της παραλίας, στην άκρη της θάλασσας υψώνεται ένας βράχος «το μάρμαρο του Γουτζίλη», με ύψος περίπου 10 μέτρα. Στο επάνω μέρος του υπάρχει ένας επίπεδος χώρος απ' όπου μπορούσαν οι κάτοικοι να παρατηρούν για τυχόν κινδύνους. Στη δυτική πλευρά της Μελίντας αποκαλύφθηκαν λείψανα οικισμού και βρέθηκαν αρχαία νομίσματα, λυχνίες και αγγεία. Από την Μελίντα με βάρκα μπορεί κάποιος να πάει στην Παναγιά την Κρυφή, μια εκκλησία κρυμμένη κυριολεκτικά από κάθε ανθρώπινο μάτι, μέσα σε ένα κολπίσκο, δίπλα σε θερμές (ιαματικές πηγές). Το εκκλησάκι είναι χτισμένο μέσα σε βράχο (Malliaros D., 2008).

### *Πλαγιά - Τρίγονας*

---

Τα δύο χωριά απέχουν πολύ λίγο μεταξύ τους (περίπου 100 μέτρα) και βρίσκονται περίπου στο 6 χιλιόμετρο της επαρχιακής οδού Πλωμαρίου - Μυτιλήνης. Αν και η περιοχή κατοικήθηκε και στην αρχαιότητα, η Πλαγιά ξαναγνώρισε ζωή στα μέσα του 19ου αιώνα. Οι πρώτοι κάτοικοι ήρθαν από το Μεγαλοχώρι και χτίσανε το χωριό στις

πλαγιές τριών λόφων. Μια μεγάλη πυρκαγιά το έκαψε όλο. Μόνο ένα κτίριο έμεινε ανέπαφο: ο ναός της Αγίας Τριάδας. Η Πλαγιά είναι πυκνοδομημένη, όπως και όλα σχεδόν τα χωριά του Πλωμαρίου. Τη διασχίζουν δύο χείμαρροι που ενώνονται στο κέντρο του χωριού. Στα βόρεια βρίσκεται η εκκλησία της Υπαπαντής του Σωτήρος, ενώ δίπλα στην Αγία Τριάδα θα συναντήσετε το εκκλησάκι του Αγίου Γεωργίου του Παζιάνου που έζησε και αγίασε στην Πλαγιά, του οποίου η μνήμη γιορτάζεται στις 14 Φεβρουαρίου. Ο Τρίγονας από τα μεγαλύτερα χωριά της περιοχής χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα για την παραδοσιακή αρχιτεκτονική των παλαιότερων σπιτιών του και για την πολύ καλή ρυμοτομία του (Malliaros D., 2008).

### *Κουρνέλα*

---

Ένα μικρό χωριό ξεκινώντας από το Πλωμάρι ακολουθώντας τον επαρχιακό δρόμο προς Παλαιοχώρι. Διακόσια μέτρα πιο κάτω, αφήνοντας την ασφάλτο και τον πολιτισμό στρίβοντας αριστερά στο χωματόδρομο. Σε λίγα μέτρα κρυμμένη στην αγκαλιά ενός ορεινού όγκου μικρά πέτρινα κτίσματα, να ξεχωρίζουν μέσα στο απέραντο πράσινο της περιοχής. Στη Κουρνέλα ζούσαν πενήντα οικογένειες από τις οποίες ελάχιστες πια είχαν μείνει το 1980-1985. Σήμερα οι μόνιμοι κάτοικοι ένας ή δύο τον αριθμό, με την προσθήκη κάποιων φίλων, που περιστασιακά επισκέπτονται το χωριό, προσπαθούν να το κρατήσουν ζωντανό, λειτουργώντας καφενείο όπου ο επισκέπτης μπορεί να ξαποστάσει (Malliaros D., 2008).

### *Κάτω Χωριό*

---

Είναι ένα από τα παλαιότερα χωριά της περιοχής. Μέχρι τα μέσα του αιώνα είχε πολλούς κατοίκους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι υπήρχαν 9 καφενεία. Σήμερα όμως δεν υπάρχει κανένα - ενώ οι κάτοικοί του μετριοούνται πλέον στα δάκτυλα του ενός χεριού. Τα περισσότερα σπίτια έχουν καταρρεύσει. Τα λίγα που έχουν μείνει στέκονται σχεδόν χαμένα μέσα στις ελιές, τις πορτοκαλιές και τις λεμονιές (Malliaros D., 2008).

### *Ακράσι*

---

Βρίσκεται 17,5 χιλιόμετρα βορειοδυτικά του Πλωμαρίου. Πρωτοκατοικήθηκε στις αρχές του 19ου αιώνα, από την οικογένεια Σωτήρχου. Λέγεται ότι έχει πάρει το όνομά του από τη φράση 'κρα Σιών που σημαίνει απόλυτη σιωπή, χαρακτηριστικό της περιοχής όπου έχει χτιστεί. Είναι φημισμένο το κρασί που παρήγαγε το Ακράσι. Σήμερα σώζεται στους Αγίους Αποστόλους το μισό πέτρινο πατητήρι κρασιού. Στην περιοχή του Αγίου

Αντωνίου υπάρχουν αρχαία ευρήματα, ενώ άλλα από εδώ έχουν μεταφερθεί στο μουσείο της Μυτιλήνης. Χαρακτηριστικά είναι κάποια παλιά σπίτια - από τα λίγα παλιά που υπάρχουν στο χωριό - τα οποία στην σκεπή τους δεν έχουν κεραμίδια αλλά άσπρο χρώμα. Το σχολείο του χωριού έχει διαμορφωθεί και ως μουσείο με διάφορα λαογραφικά εκθέματα. Οι μόνιμοι κάτοικοι του είναι περίπου 250. Το καλοκαίρι όμως ο πληθυσμός διπλασιάζεται. Το Ακράσι είναι μία από τις ελάχιστες φωτεινές εξαιρέσεις ορεινών χωριών που αντί να σβήνουν αναπτύσσονται. Σ' αυτό το γεγονός ίσως να έχει συμβάλει και η πολύ καλή οδική σύνδεση με τη Μυτιλήνη απέχει μόνο 42 χιλιόμετρα, όσο δηλαδή και το Πλωμάρι εξυπηρετεί ως λαογραφικό μουσείο (Malliaros D., 2008).

### Νεοχώρι

---

17, 1 χιλιόμετρα μακριά από το Πλωμάρι, πολύ κοντά στο Ακράσι, βρίσκεται το Μπουρό. Κατοικήθηκε από κατοίκους του Μεγαλοχωρίου που για να αποφύγουν τη μανία των κουρσάρων χτίσανε το χωριό σε τοποθεσία που δε φαινόταν από τη θάλασσα. Η αρχική του ονομασία πάρθηκε από τα άλατα (μπουρό) που άφηναν τα νερά της περιοχής στις πέτρες. Νεοχώρι ονομάστηκε κατά τον 20ο αιώνα. Ο πλάτανος που υπάρχει στη μέση της πλατείας φυτεύτηκε κατά λάθος. Αρχικά είχε φυτευτεί μια καρυδιά και για υποστήλιό της τοποθετήθηκε ένα ξύλο από πλάτανο με αποτέλεσμα να ξεραθεί η καρυδιά και να ριζώσει ο πλάτανος (Malliaros D., 2008).

### Αμπελικό

---

Αρχικά το Αμπελικό ήταν χτισμένο στην τοποθεσία Ρουγκάδα, που όμως είχε το σύνθημα κατά το 19ο αιώνα μειονέκτημα να φαίνεται από τη θάλασσα. Μια επιδρομή των πειρατών κατά τη διάρκεια ενός γάμου (τα γλέντια για κάθε γάμο κρατούσαν μέρες και παρέλυαν τα πάντα στο χωριό) ανάγκασε τους κατοίκους να μεταφερθούν στη σημερινή τοποθεσία. Στο κέντρο του Αμπελικού υπάρχει ένας πύργος ύψους 26 μέτρων. Ο ίδιος υπάρχει και στη Βρίσα (το χωριό της Ομηρικής Βρισηίδας). Από τους πύργους αυτούς ειδοποιούνταν με δάδες για τον κίνδυνο των πειρατών και προλάβαιναν οι κοπέλες να φύγουν στα τσαμλίκια (δασώδεις εκτάσεις που χρησίμευαν ως καταφύγια). Σ' όλο το χωριό υπάρχουν πλακόστρωτα σοκάκια που οδηγούν (τα περισσότερα) στα νότια όπου υπάρχει το Μνημείο Ηρώων και η εκκλησία την οποία με περίσσια αγάπη και μεράκι έχει ανακαινίσει ο ιερέας (Malliaros D., 2008).

Το Παλαιοχώρι, όπως μαρτυράει και το όνομά του, είναι από τα πιο παλιά χωριά της περιοχής. Στην αρχή ήταν χτισμένο στη Μελίνα, οι πειρατές όμως έδιωξαν τους στη θέση Απεθαμένες και στη συνέχεια στη δύσβατη περιοχή Πριόνας. Ο Πριόνας είναι βορινός και άρα η διαβίωση εκεί είναι δύσκολη. Όταν λοιπόν εξαλείφθηκε ο κίνδυνος των πειρατών οι κάτοικοι μετακόμισαν στη σημερινή θέση του χωριού τη Μέρινα, το 1817, όπως μας πληροφορεί η «βρύση της Μέρινας». Τα σπίτια του χωριού είναι «κολλημένα» μεταξύ τους, χτισμένα σαν τείχη κάστρων για να είναι αποτελεσματικότερη η άμυνα απέναντι σε τυχόν κινδύνους. Η εκκλησία του χωριού χτίστηκε το 1864. Δυτικά του Παλαιοχωρίου υπάρχει η περιοχή Βίγλα (όπως και το Βιγλάρ, σημαίνει παρατηρητήριο) απ' όπου φαίνονται τα παράλια της Χίου, των Ψαρών και της Μικράς Ασίας (Malliaros D., 2008).



### 5.1.3 Ορεινός όγκος Πλωμαρίου

Σύμφωνα με τον Α. Παπαδημάτο η ορεινότητα μίας περιοχής, ο βαθμός δηλαδή στον οποίο η περιοχή είναι δυσπρόσιτη, δεν εξαρτάται, όμως, μόνο από το υψόμετρο, αλλά και από άλλα φυσικά χαρακτηριστικά όπως οι κλιματικές συνθήκες, η τοπογραφία και η μορφολογία του ευρύτερου χώρου, που έχουν ως αποτέλεσμα να καθιστούν δύσκολη την πρόσβαση προς και από αυτή. Ως συνέπεια η ορεινότητα συνεπάγεται σε μεγάλο βαθμό κοινωνική, οικονομική, πολιτική και πολιτισμική απομόνωση. Σαν ορεινές και μειονεκτικές περιοχές καθορίζονται περιοχές των οποίων οι ΟΤΑ έχουν πληθυσμό μέχρι 2.000 κατ, Σύμφωνα με την απογραφή του 1991 η περιοχή που χαρακτηρίζεται ως ορεινή και μειονεκτική είναι η περιοχή που βρίσκεται στα διοικητικά όρια των κοινοτήτων Μεγαλοχωρίου, Παλαιοχωρίου, Νεοχωρίου, Ακρασίου και Αμπελικού. Η έκταση, ο πληθυσμός και το μέσο σταθμικό υψόμετρο των 5 κοινοτήτων, είναι τα εξής:

Κοινότητα (ΟΤΑ)	Έκταση (σε στρεμματα)	Μ.Σ. Υψόμετρο (σε μέτρα)	Πληθυσμός 1961	Πληθυσμός 1971	Πληθυσμός 1991	Πληθυσμός 2011
Αμπελικό	21.381	380	524	355	291	326
Ακράσι	12.078	304	504	319	259	228
Μεγαλοχώρι	10.852	570	740	607	488	347
Νεοχώρι	8.002	300	438	342	261	169
Παλαιοχώρι	10.123	255	1054	923	651	338

Πίνακας 4: Πηγή ΕΛ.ΣΤΑΤ., δεδομένα που αφορούν τον πληθυσμό, έκταση, το μέσο σταθμικό υψόμετρο για τα έτη 1961-2011 της κοινότητας Πλωμαρίου, Λέσβου

Κοινό χαρακτηριστικό της περιοχής είναι το έντονο ανάγλυφο. Οι 5 οικισμοί είναι χτισμένοι στις παρυφές των οροσειρών που ξεκινούν από τον Ολυμπο, ενώ σχηματίζουν μεταξύ τους δύο απότομες ρεματιές που διαρρέονται από τους χειμάρρους Σελαντά και Πριόνα. Οι χειμάρροι αυτοί απολήγουν στους παραλιακούς οικισμούς Μελίνας και Δρότας, που είναι επίγεια των κοινοτήτων Μεγαλοχωρίου και Ακρασίου (όπου και ανήκουν διοικητικά).

Το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού ασχολείται με αγροτικές δραστηριότητες. Συγκεκριμένα και κυρίως κατά την περίοδο του χειμώνα ασχολείται με την ελαιοκαλλιέργεια και την ελαιοσυλλογή. Η κύρια ασχολία των βιοτεχνιών είναι η παραγωγή ούζου (ούζο Βαρβαγιάννη, Ούζο Αρβανίτη, Ούζο Πλωμαρίου κτλ.) , η επεξεργασία του λαδιού και των παραγώγων της ελιάς (συνεταιρισμοί και ιδιωτικά ελαιοτριβεία), ενώ έχουν εξαφανιστεί τα σαπωνοποιεία. Ο τριτογενής τομέας γνωρίζει σημαντική ανάπτυξη κατά κύριο λόγο το καλοκαίρι κατά το οποίο υπάρχει αξιόλογη τουριστική δραστηριότητα.

Η τουριστική δραστηριότητα παρατηρείται κυρίως στην παραλιακή ζώνη ( Άγιος Ισίδωρος, Πλωμάρι, Αγία Βαρβάρα, Μελίντα, Παραλία Δρότας, Ευαγγελίστρια κ.α.) που προσφέρει παραλίες και τουριστικές υπηρεσίες (ξενοδοχεία κτλ)( Σιδέρης Ε., 2014)

#### 5.1.4 Χλωρίδα - Πανίδα περιοχής

(πηγή: Σιδέρης Ε., 2014)

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από έντονη δενδρώδη βλάστηση με επικράτηση της ελιάς στα χαμηλότερα ύψη ενώ στα υψηλότερα επικρατούν η μαύρη (*Pinus nigra*) και η τραχεία πεύκη (*pinus brutia ten.*) η οποία σχηματίζει δύο περιορισμένης έκτασης δάση, ανάμικτο με το *pinus brutia*. Το ένα βρίσκεται στην κορυφή Ψηλοκούδουνο μεταξύ Αγιάσου και Πλωμαρίου και το δεύτερο στην κορυφή του όρους Προφήτης Ηλίας κοντά στο χωριό Πτερούντα. Στην περιοχή εντοπίζετε επιπλέον η καστανιά, η καρυδιά και η κερασιά. Στο μεγαλύτερο μέρος της η περιοχή καλύπτεται από ελαιώνες. Υπάρχουν φυσικά περιοχές που καλύπτονται μόνο με ποώδη βλάστηση ή ελιές. Σε περιοχές που βρίσκονται κοντά στην θάλασσα η βλάστηση μοιάζει με την προηγούμενη αλλά μειώνεται η πυκνότητα της και επικρατούν άλλα είδη θάμνων και ελιών (αγριελιά). Ωστόσο, σε περιοχές κοντά στα ποτάμια και γενικότερα σε μεγάλες μάζες νερού η βλάστηση διαφοροποιείται αρκετά πιο έντονα. Εκεί επικρατούν πιο υδρόφιλα φυτά που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια και αναπτύσσονται σε στενές λωρίδες παράλληλα με τα ποτάμια. Σε περιοχές που συνήθως βρίσκονται σε υψόμετρο πάνω από 400 μ. αναπτύσσεται ένα διαφορετικό δάσος πιο κοντά στην κλασική έννοια το οποίο αποτελείται κυρίως από κωνοφόρα και πόες άλλου τύπου από του ελαιώνα. Ανάμεσα στις κύριες ζώνες αυτές υπάρχουν μεταβατικές περιοχές με συνδυασμό χλωρίδας ενώ παράλληλα στην κάθε ζώνη είναι πιθανή η ύπαρξη μικρών περιοχών με χλωρίδα που επικρατεί σε άλλη ζώνη. Στην συνέχεια απαριθμούνται σύμφωνα με τον Σιδερή Ευάγγελο Π. (2014) τα κύρια φυτά που εντοπίζονται σε κάθε ζώνη :

α) ελαιώνας: λαδανιά (*cistus*), ελιά (Ελαία, *Olea*),

β) παραποτάμια ζώνη: Δάφνη η ευγενής (*Laurus nobilis*), Κισσός η έλιξ (*Hedera helix*), λεύκα ή λεύκη (γένος *Populus*), Λυγαριά (*Vitex agnus-castus*, Άγνος η κοινή, Άγνος ο αγνός), Μυρτιά (*Myrtus*), πικροδάφνη ή ροδοδάφνη (*Nerium oleander*, Νήριον το ολέανδρον), Πλάτανος, *Datisca cannabina*

γ) δασική έκταση: καστανιά, Κουμαριά (*Arbutus Unedo*), Μαύρη πεύκη (*Pinus nigra*), τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*), λαδανιά (*cistus*)

δ) φυτά που εμφανίζονται σε όλες τις ζώνες: σκορπίδι (*CETER- ACH o.cinarum D.C.*, Κατέραχον το φαρμακευτικό), *Col- chicum* (Κολχικό), *Euphorbia antiquorum* (φλώμος), *Iagoecia cuminoidea*, *Lamium amplexicaule*, *Ononis pusilla*, Γκορτσιά (*Pyrus spinosa*, Απιδιά, Αγριοαχλαδιά), θυμάρι ή θύμιο (Θύμος ο κοινός, *ymus vulgaris*), Λαθούρι (*Lathyrus clymenum*), μαργαρίτα, χαμομήλι, πουρνάρι ή πρίνος (Δρυς η κοκκοφόρος, *Quercus coccifera L.*), ρίγανη (Ορίγανον το κοινό, *Origanum vulgare*), σπάρτο (*Spartium junceum*, Σπάρτιον το βουρλοειδές), τερέβινθος ή τσικουδιά ή κοκκορεβυθιά ή τραμιθιά ή και τριμιθιά (*Pistacia terebinthus*).

Σε γενικές γραμμές η χλωρίδα του νησιού είναι πλούσια αλλά και επιρρεπείς στην φωτιά, συμπεριλαμβανομένων των εύφλεκτων δασών και των λιβαδιών όπως *Quercus spp.*, *maquis*, and *phryganic vegetation* (Π.Παλαιολόγου, Κ.Καλαμποκίδης & Φ.Κυριακίδης, 2013).

Η προστασία της Λεσβιακής φύσης, είναι σήμερα επιτακτικότερη από κάθε άλλη φορά ενάντια στους κινδύνους που απειλούν την πλούσια χλωρίδα της, όπως είναι η διάνομιξη δρόμων, η δόμηση, η κακώς εννοούμενη τουριστική ανάπτυξη, η αποξήρανση και οικοπεδοποίηση υγροτόπων, η μετατροπή των κορυφών σε “δάση” κεραιών και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) κάθε είδους, οι πυρκαγιές και η υπερβολική βόσκηση ορισμένων περιοχών. Ο τουρκοτσοπανάκος (*Sitta Krueperi*) είναι ένα από τα πιο σπάνια είδη, το οποίο, από όλη την Ευρώπη, επέλεξε να ζήσει μόνο στους πευκώνας, στην περιοχή του Ολύμπου, της Αχλαδεράς και του Ακρασίου (Σιδέρης Ε., 2014).

### **5.1.5 Birdwatching**

(πηγή:Σιδέρης Ε., 2014)

Σημαντικές περιοχές για παρατήρηση πουλιών είναι η περιοχή του Ολύμπου, η Καλλονή, ο Κόλπος της Γέρας, το Πρινοβούνι, η περιοχή Ακρασίου, η περιοχή γύρω από τα Βατερά, περιοχή Λεπέτυμνου, η Αγιάσος, το Σίγρι, η Ερεσσός, η Πέτρα, η Σκάλα Πολυχνίτου, η Άγρα, η Ποταμιά κ.ά.

### **5.1.6 Δίκτυο Natura 2000**

(πηγή:Σιδέρης Ε., 2014)

Έχουμε επισημάνει και επισημαίνουμε ότι το Πλωμάρι και η ευρύτερη περιοχή του, διακρίνεται για το ασυνήθιστο φυσικό περιβάλλον με τον αρμονικό συνδυασμό του ορεινού και του παράκτιου περιβάλλοντος (ακτές, τις γεωλογικές –γεωμορφολογικές ιδιαιτερότητες με τα μοναδικά πρασινοπετρώματα, ιαματικά λουτρά, παλιά λατομεία “τάλκη”, απολιθωμένα δένδρα, σπήλαια, κ.ά, με το έντονο ανάγλυφο και πυκνό υδρογραφικό δίκτυο. Το μεγάλο πλούτο της βιοποικιλότητας (χλωρίδα, πανίδα και βιοκατοικίες) με αποτέλεσμα τη πρόταση ένταξης του ορεινού συγκροτήματος στο δίκτυο Natura 2000. Από το 1978, έχει οριστεί με διάταγμα η δημιουργία μονίμου καταφυγίου θηραμάτων στην περιοχή Λογαρά του Πλωμαρίου και απαγορεύτηκε το κυνήγι. Το ίδιο ισχύει και για την περιοχή βορειότερα από την περιοχή του Λογαρά, ανάμεσα στο Μεγαλοχώρι και το Λωβοχώρι όπου υπάρχει καταφύγιο θηραμάτων. Επίσης, βορειότερα του Μεγαλοχωρίου, στα όρια με την δημοτική ενότητα Αγιάσου

αλλά επίσης βορειοανατολικά και βορειοδυτικά, όπου εντοπίζονται δασικές κυρίως περιοχές, υπάρχει ένα μέρος μιας εκτεταμένης περιοχής natura 2000 του όρους Ολύμπου μια περιοχή που αποτελεί και σημαντική περιοχή για τα πουλιά της Ελλάδας από την Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρία (Σιδέρης Ε., 2014).

Τα κύρια είδη που παρατηρούνται σύμφωνα με τον Σιδερή Ευάγγελο Π., (2014) ανήκουν στις εξής κατηγορίες:

- α) οικόσιτα, όπως πρόβατα, κατσίκες, άλογα, γάιδαροι, μουλάρια, σκύλοι, γάτες
- β) ερπετά, όπως η πράσινη βαλκανική σαύρα (*Lacerta trilineata*), η οθωμανική οχιά (*Vipera Xanthina*)
- γ) έντομα, όπως το *Hyles euphorbiae*
- δ) αμφίβια, όπως η νεροχελώνα (*Mauremys caspica*), τα βατράχια
- ε) θηλαστικά, όπως ο Ασιατικός σκίουρος (*Sciurus Anomalus*), τα διάφορα είδη λαγών, ποντικών
- στ) πτηνά, όπως ο Τουρκοτσοπανάκος (*Sitta krupperi*), ο Καλόγερος (*Parus Major*), ο Τσαλαπετεινός (*Upupa epops*), η νησιώτικη ορεινή πέρδικα (*Alectoris Chunar*) και πιο κοινά πτηνά όπως οι τσίχλες.
- ζ) ψάρια, που πέρα από την μεγάλη ποικιλία των θαλασσιών υπάρχουν και περιορισμένα είδη του γλυκού νερού που μπορούν να βρεθούν κάποιες φορές στα ποτάμια.

### **5.1.7 Κλίμα της περιοχής**

(πηγή: Σιδέρης Ε., 2014)

Από κλιματολογική άποψη η Λέσβος έχει ήπιο, μεσογειακό κλίμα, με πολλή μεγάλη ηλιοφάνεια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι βροχοπτώσεις με καταγραφόμενο μέγιστο ύψος το Δεκέμβριο και ελάχιστο τον Ιούλιο συμβάλλουν θετικά στην γονιμότητα του εδάφους. Ο χειμώνας είναι ήπιος, με σπάνιο το φαινόμενο των χιονοπτώσεων με εξαίρεση τα ορεινά ενώ άνεμοι υπάρχουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με έξαρση κατά την περίοδο Ιούλιο - Αύγουστο, η λεγόμενη περίοδος των "Αιγαιοπελαγίτικων μελτεμιών" (Σιδέρης Ε., 2014).

### **5.1.8 Υδρογραφικό δίκτυο**

(πηγή: Σιδέρης Ε., 2014)

Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Οι μεγαλύτεροι χείμαρροι είναι:

Ο Πριώνας, δυτικά του ομώνυμου όρους, που ξεκινάει από τον ορεινό όγκο του Ολύμπου και καταλήγει σε στενό δέλτα στην Παραλία Δρότα.

Ο Σελαντάς που επίσης ξεκινάει από τον Όλυμπο και καταλήγει στην Μελίττα και βρίσκεται δυτικά της Αγκαθερής.

Ο Σεδούντας που είναι ίσως ο μεγαλύτερος ξεκινάει ανατολικά του Ολύμπου για να καταλήξει στο Πλωμάρι.

Η Λαγκάδα που ξεκινάει ανατολικά από το όρος Στρόβιλο για να καταλήξει ανάμεσα στον Άγιο Ισίδωρο και την Αγία Βαρβάρα. Σημαντικός παραπόταμος της Λαγκάδας που ξεκινάει από τον Στρόβιλο και την συναντάει στο χωριό Πλαγιά είναι ο Αροδάφνης.

### **5.1.9 Γεωλογία**

(πηγή: Σιδέρης Ε., 2014)

Τα πετρώματα που επικρατούν είναι κυρίως σχιστολιθικά με χαρακτηριστικότερο τον πρασινωπό σχιστόλιθο (γερανιά πέτρα, Νεοπαλαιοζωικοί σχιστόλιθοι και μεταψαμμίτες), καθώς και οι τριαδικοί μεταβασίτες και μετακλαστικοί σχηματισμοί. Επίσης, υπάρχουν και σε μικρότερο ποσοστό ασβεστολιθικά πετρώματα που συνήθως φαίνονται χαρακτηριστικά ως εξάρματα της γης (που οι ντόπιοι αποκαλούν μάρμαρα, π.χ. τ' Γουτζιλ του Μάρμαρου, εγκλείσματα κρυσταλλικών ανθρακικών πετρωμάτων) και έχουν γαλάζιο ή άσπρο χρώμα κυρίως. Τέλος, στο δυτικό κομμάτι της περιοχής παρατηρούνται και ηφαιστιογενή πετρώματα με σκούρο χρώμα (περιδοτίτες, σερπεντινίτες, οφειόλιθοι).

### **5.1.10 Η φωτιά του Μεγαλοχωρίου Λέσβου του 1994**

**Οικοσυστήματα - Πριν την πυρκαγιά**

(Το παρόν εδάφιο είναι βασισμένο στην μελέτη «Ανάλυση μεταπτυρικής φυσικής αναγέννησης μεσογειακού δάσους στο νησιωτικό ορεινό περιβάλλον της Λέσβου», Παλαιολόγος Παλαιολόγου Κώστας Καλαμποκίδης, Δημήτρης Γουναρίδης)

Το οικοσύστημα της περιοχής πριν την πυρκαγιά με βάση την μελέτη του κου Παλαιολόγου, κ.α, 2011 αποτελείτο από «περιοχές αείφυλλων-σκληρόφυλλων, τραχείας και μαύρης πεύκης, μικτού δάσους (κωνοφόρων-δρυός), καστανιών, πλατύφυλλων κοντά σε ρέματα, άγονα (ασβεστολιθικές κορυφές βουνών) και χορτολιβαδικές εκτάσεις (πλησίον κτηνοτροφικών μονάδων).

Το υψόμετρο κυμαίνεται από 350 έως και 830 m, ενώ το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από σχιστόλιθους, φυλλίτες, περιδοτίτες, μάρμαρα και ασβεστόλιθους.

Τα εδάφη της περιοχής είναι εύφορα, βαθειά και γόνιμα. Το οικοσύστημα πριν την πυρκαγιά αποτελείτο από περιοχές αείφυλλων-σκληρόφυλλων, τραχείας και μαύρης πεύκης, μικτού δάσους (κωνοφόρων-δρυός), καστανιών, πλατύφυλλων κοντά σε ρέματα, άγωνα (ασβεστολιθικές κορυφές βουνών) και χορτολιβαδικές εκτάσεις (πλησίον κτηνοτροφικών μονάδων). Εντός της καμένης έκτασης το οδικό δίκτυο δεν είναι πυκνό και την διασχίζουν δυο κεντρικοί χωματόδρομοι.

Στα δυτικά υπάρχει ένας ασβεστολιθικός όγκος (Κουρνέλι) στον οποίο φύεται αραιή βλάστηση, ενώ έχει μεγάλες κλίσεις και είναι απροσπέλαστος στο μεγαλύτερο τμήμα του.

Στην περιοχή Μέσουνα υπάρχουν ελαιώνες σε μίξη με δάσος κωνοφόρων, ενώ συχνή είναι και η παρουσία καλλιεργειών οπωροκηπευτικών.

Στα ΒΑ υπάρχει δάσος καστανιών το οποίο επηρεάστηκε από την πυρκαγιά αλλά δεν καταστράφηκε, ενώ σε αρκετές θέσεις υπάρχει αναγέννηση και επέκταση του. Ο κεντρικός χωματόδρομος είναι ακριβώς στο κέντρο της καμένης έκτασης, σε περιοχές μεγάλης κλίσης και υψομέτρου και ενώνει το Μεγαλοχώρι με το Ραντάρ και την Αγιάσο. Κατά μήκος του, φύονται κυρίως συστάδες Τραχείας πεύκης, ενώ είναι η περιοχή όπου υπάρχουν και οι περισσότερες κτηνοτροφικές μονάδες.

Νοτίως του Μεγαλοχωρίου υπάρχουν εκτεταμένοι ελαιώνες και καλλιέργειες οπωροκηπευτικών, σε μίξη με κωνοφόρα δέντρα και πολλά σπίτια και αγροικίες, χαρακτηριστικό τοπίο μίξης βλάστησης – οικιστικών περιοχών (Wildland-Urban Interface).

Βορείως του χωριού βρίσκονται οι θέσεις βλάστησης και αναγέννησης της Μαύρης πεύκης, από την οποία έχουν επιβιώσει περίπου 50 ώριμα άτομα.

Τέλος, στα δυτικά υπάρχει μια εκτεταμένη περιοχή η οποία προ της πυρκαγιάς χαρακτηριζόταν ως γενικώς αγροτική, εντός της οποίας υπάρχουν αρκετές θέσεις όπου αναγεννιέται η Τραχεία πεύκη, η οποία όμως δεν κυριαρχεί πλήρως όπως συμβαίνει στα κεντρικά και στα ανατολικά» (Παλαιολόγου κ.α, 2011).

## **5.2 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν**

- ✓ Χάρτες καλύψεων γης του WWF-HELLAS, κλίμακας 1:75000
- ✓ Χάρτες καλύψεων γης Π. Παλαιολόγου Κλίμακας 1:50000.
- ✓ Στατιστικά δεδομένα πυρκαγιών στην Ελλάδα από το Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος.
- ✓ Shapefiles (ψηφιοποιημένη πυρκαγιά 1994 από Π. Παλαιολόγου).

- ✓ Δορυφορικές εικόνες Landsat 5 TM TM (pixel size 30m) για τα έτη 1994 και 2011, από την ESA και την USGS αντίστοιχα.
- ✓ Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ASTER GDEM) για την περιοχή μελέτης. Το προϊόν αυτό είναι συμπαραγωγή της NASA και του υπουργείου βιομηχανίας της Ιαπωνίας και διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο.
- ✓ Μετεωρολογικά δεδομένα από την Ε.Μ.Υ.
- ✓ Δειγματοληψίες πεδίου από τον Π. Παλαιολόγου.

### **5.3 Προεπεξεργασία δεδομένων**

- ✓ Αρχικά κατεβάσαμε ατμοσφαιρικά διορθωμένες δορυφορικές εικόνες landsat5 TM από τη USGS για το έτος 1994 και 2011. Λόγω της μη διαθεσιμότητας εικόνων πριν την πυρκαγιά του 1994 στη USGS διερευνήσαμε άλλες πηγές δεδομένων και τελικά κατεβάσαμε εικόνες landsat5 TM, Landsat 8 πριν και μετά την πυρκαγιά αντίστοιχα από το αρχείο της ESA. Όλες οι εικόνες στην συνέχεια περιορίστηκαν (clip) στην περιοχή μελέτης.
- ✓ Ακολούθησε γεωαναφορά σε όλα τα διανυσματικά δεδομένα στο ίδιο σύστημα αναφοράς των εικόνων, WGS84/UTM35. Λόγω του ότι όλες οι εικόνες ήταν σε αυτό το σύστημα και ήταν πιο εύκολο να μετατραπούν τα διανυσματικά δεδομένα σε αυτό το σύστημα αναφοράς που είχαν οι εικόνες.
- ✓ Τέλος, από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) δημιουργήθηκαν οι χάρτες προσανατολισμού και κλίσεων με την χρήση του λογισμικού QGIS.

### **5.4 Δημιουργία χάρτη καύσιμης ύλης για τα έτη 1994 και 2011**

Ένα από τα βασικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για το μοντέλο προσομοίωσης της πυρκαγιάς του 1994 είναι η δημιουργία του χάρτη καύσιμης ύλης. Στον παρόν κεφάλαιο θα γίνει η περιγραφή της διαδικασίας για την δημιουργία του χάρτη καύσιμης ύλης. Η καύσιμη ύλη έχει άμεση σχέση με την κάλυψη γης. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε ο χάρτης βλάστησης όπου στην συνέχεια αντιστοιχήθηκε με τα MKY Μοντέλα Καύσιμης Ύλης. Έτσι προέκυψε το πρώτο από τα πέντε βασικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την προσομοίωση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς.

Η διαδικασία της δημιουργίας του χάρτη καλύψεων/ χρήσεων γής πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνων. Το λογισμικό eCognition



αποτελεί ένα πακέτο λογισμικού που λειτουργεί σύμφωνα με την φιλοσοφία της αντικειμενοστρεφής ανάλυσης για την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων. Το χαρακτηριστικό στοιχείο που του επιτρέπει να διαφοροποιείται σε σχέση με άλλα προγράμματα είναι ότι η πληροφορία που αξιοποιείται δεν βρίσκεται στο επίπεδο των μεμονωμένων εικονοστοιχείων αλλά στο επίπεδο νοηματικών αντικειμένων/τμημάτων της εικόνας και τις αλληλοσυσχετίσεις τους.

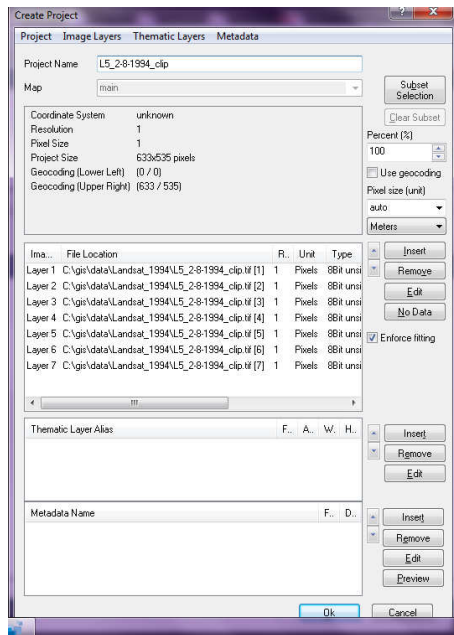
Πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι η διαδικασία ιεράρχησης, κατάτμησης και ταξινόμησης δύναται να αποθηκευτεί και να εφαρμοστεί σε μια νέα δορυφορική εικόνα παράγοντας τον τελικό χάρτη για την νέα περιοχή ενδιαφέροντος. Η φιλοσοφία του προγράμματος επιτρέπει μέσα από την διαδικασία συλλογής δειγμάτων, εκτέλεση ταξινόμησης και αξιολόγησης του αποτελέσματος με την δυνατότητα εκπαίδευσης του προγράμματος και την συνεχή βελτίωση του αποτελέσματος της ταξινόμησης μέχρι το επιθυμητό σημείο.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία της μεθοδολογίας για την δημιουργία του χάρτη καλύψεων/ χρήσεων γης, και στο περιβάλλον εργασίας του Ecognition.

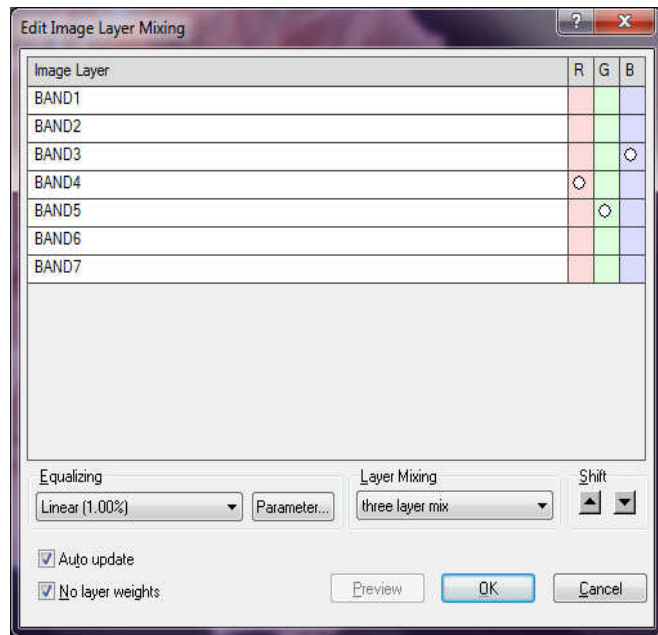
### *Εισαγωγή δεδομένων*

---

Αρχικά δημιουργείται ένα νέο project (Εικόνα 20) στο περιβάλλον εργασίας του eCognition στο οποίο εισάγεται το σύνολο των δεδομένων μας, στην συγκεκριμένη περίπτωση εισάγεται η δορυφορική εικόνα του 1994 πριν την πυρκαγιά και στην συνέχεια για το έτος 2011. Τα κανάλια (Εικόνα 19) στα οποία εργαστήκαμε ήταν τα ακόλουθα με RGB:453



Εικόνα 19: Εισαγωγή δεδομένων για το project



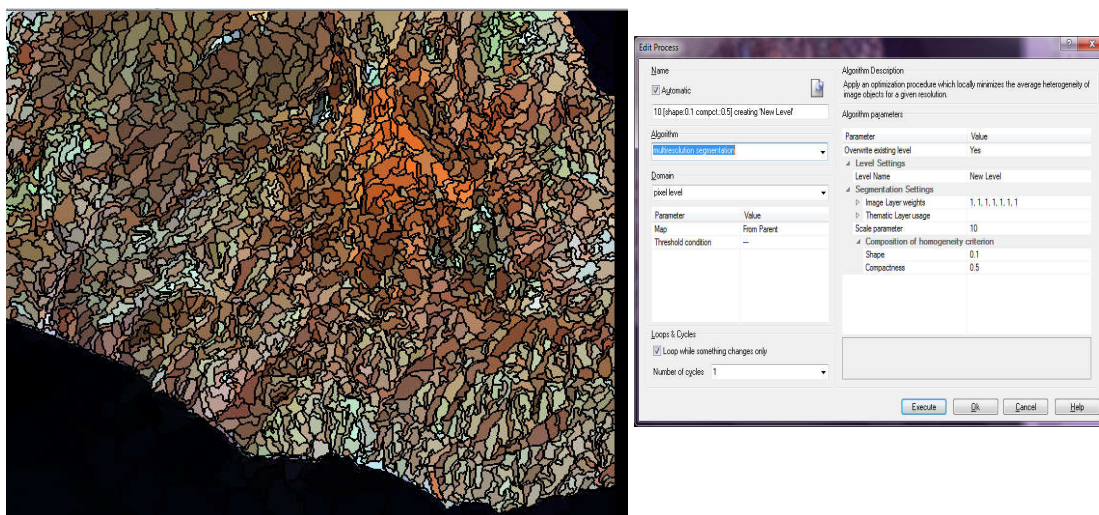
Εικόνα 18: Το σύνολο των απαιτούμενων layer με RGB: 453

Η ανάλυση της εικόνας landsat5 TM για το έτος 1994 και 2011 πριν και μετά την πυρκαγιά αντίστοιχα περιέλαβε ένα επίπεδο κατάτμησης και τρία επίπεδα ταξινόμησης (Classification).

## Διαδικασία κατάτμησης της εικόνας

Στην αρχική εικόνα, εφαρμόζονται διαδικασίες κατάτμησης, με τις οποίες η εικόνα μετατρέπεται σε ένα σύνολο πρωτογενών αντικειμένων (Αργιαλάς κ.α, 2007). Η κατάτμηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία μια δορυφορική εικόνα διαμερισματοποιείται σε περιοχές, ενώ παράλληλα αποτελεί το πρώτο στάδιο της αντικειμεμοστρεφούς ανάλυσης των εικόνων. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δημιουργεί μικρές ομοιογενείς ομάδες εικονοστοιχείων ξεκινώντας από μεμονωμένα εικονοστοιχεία της εικόνας που στην συνέχεια ενώνονται σχηματίζοντας μεγαλύτερες ομοιογενείς περιοχές (Μιχελεκάκης, 2008). Οι διαδικασίες κατάτμησης είναι διαδικασίες χαμηλού ή μέσου επιπέδου που δεν χρησιμοποιούν γνώση (Αργιαλάς κ.α, 2007). Στο λογισμικό eCognition η διαδικασία της κατάτμησης δύναται να ειπωθεί πως δεν αποτελεί μαύρο κουτί μιας και ο εκάστοτε χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει αρκετές παραμέτρους ώστε να πετύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα κατάτμησης. Στην παρούσα μελέτη, η κατάτμηση της εικόνας, έπειτα από πολλές δοκιμές και επαναλήψεις καταλήξαμε σε scale 10, Color 0.9, shape 0.1, compactness 0.5 για το έτος 1994 (Εικόνα21) και scale 50, Color 0.9, Shape, 0.1, Smoothness 0.5, Compactness 0.5 για το 2011. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι εικόνες 1994 και 2011 αντίστοιχα με κατάτμηση στο περιβάλλον εργασίας του eCognition.

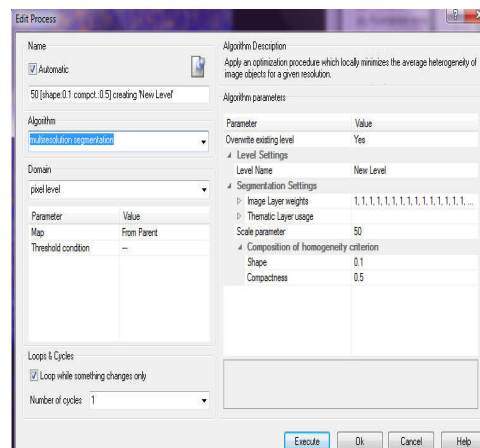
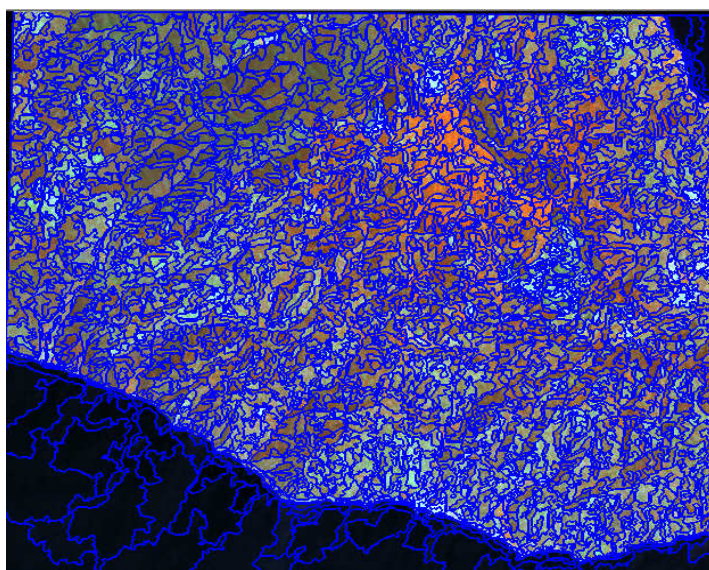
### Έτος 1994



Εικόνα 20: Κατάτμηση εικόνας περιοχής μελέτης με scale 10, shape 0.1, compactness 0.5

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	10	0.9	0.1	0.5	0.5

Πίνακας 5: Στοιχεία παραμέτρων κατάτμησης επιπέδου 1.



Εικόνα 21: Κατάτμηση εικόνας περιοχής μελέτης με scale 50, shape 0.1, compactness 0.5

Επίπεδο	Scale parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1	50	0.9	0.1	0.5	0.5

Πίνακας 6: Στοιχεία παραμέτρων κατάτμησης επιπέδου 1.

**Η παράμετρος κλίμακας (Scale parameter):** αυτή η παράμετρος καθορίζει το μέγεθος των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν. Στην πραγματικότητα καθορίζει την μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη τιμή δηλώνεται η παράμετρος τόσο μεγαλύτερα αντικείμενα προκύπτουν. Στην περίπτωση μας το σχήμα των αντικειμένων δηλώθηκε με 10 και 50 για τα 1994 και 2011 αντίστοιχα.

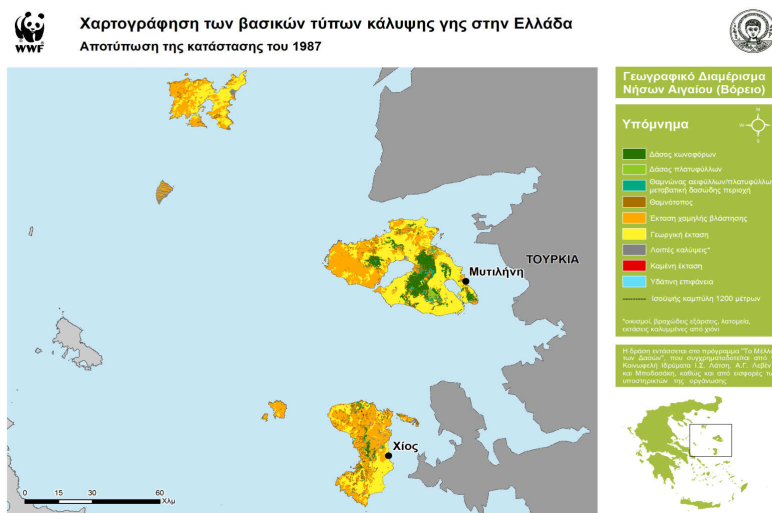
**Η παράμετρος χρώμα/σχήμα (Color/Shape):** με αυτή την παράμετρο μπορεί να ρυθμιστεί κατά πόσο θα επηρεάζεται η ομοιογένεια του χρώματος έναντι αυτή του σχήματος. Όσο μεγαλύτερη τιμή δηλώνεται στον δείκτη του σχήματος, τόσο λιγότερο επηρεάζεται η παραγωγή αντικειμένων και η φασματική ομοιογένεια. Στην προκειμένη περίπτωση τα παραγόμενα αντικείμενα με 0.9 θα επηρεάζεται από το χρώμα και 0.1 από το σχήμα και για τα δύο έτη 1994 και 2011.

**Η παράμετρος ομαλότητα/ συμπαγές του αντικειμένου (Smoothness/Compactness):** με αυτή την παράμετρο ο χρήστης είναι στην θέση να καθορίσει εάν τα αντικείμενα πρόκειται να δημιουργηθούν συμπαγή. Στην περίπτωση μας δηλώθηκε 0.5 που σημαίνει πως είναι 0.5 συμπαγή και 0.5 ομαλό και για τα δύο έτη 1994 και 2011.

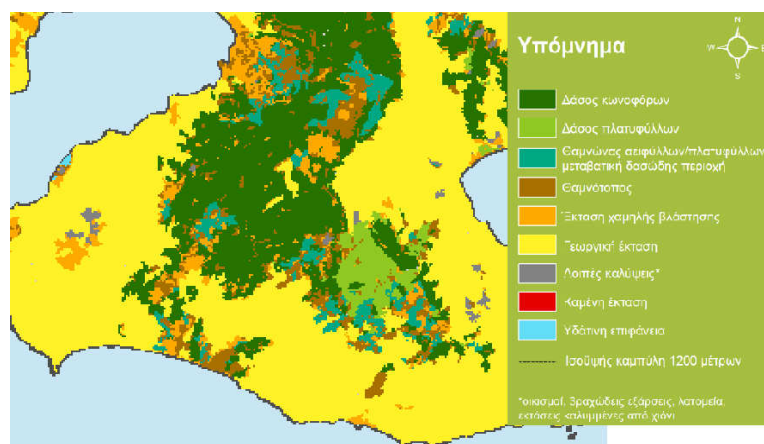
### 5.4.1 Ταξινόμηση 1<sup>ου</sup> επιπέδου - χάρτης χρήσεων/κάλυψης γής πριν και μετά την Πυρκαγιά του 1994

Η ανάγκη να οριστεί η κάλυψη γής στην περιοχή μελέτης προέκυψε από την απαίτηση να διευκρινιστούν και να ομαδοποιηθούν τα χαρακτηριστικά της καθώς έτσι θα μπορέσει στην συνέχεια να εντοπιστεί και η καύσιμη ύλη της περιοχής.

Για την δημιουργία του χάρτη κάλυψης γής βασιστήκαμε στην φωτοερμηνεία των δορυφορικών εικόνων που παρουσιάζονται στην συνέχεια (Εικόνες 23,24,25,26), αλλά και στους χάρτες κάλυψης γής του WWF-HELLAS για το έτος 1987 και 2007 όπου είχε πραγματοποιηθεί μελέτη, με σκοπό την χαρτογράφηση κάλυψης γής για όλη την Ελλάδα.



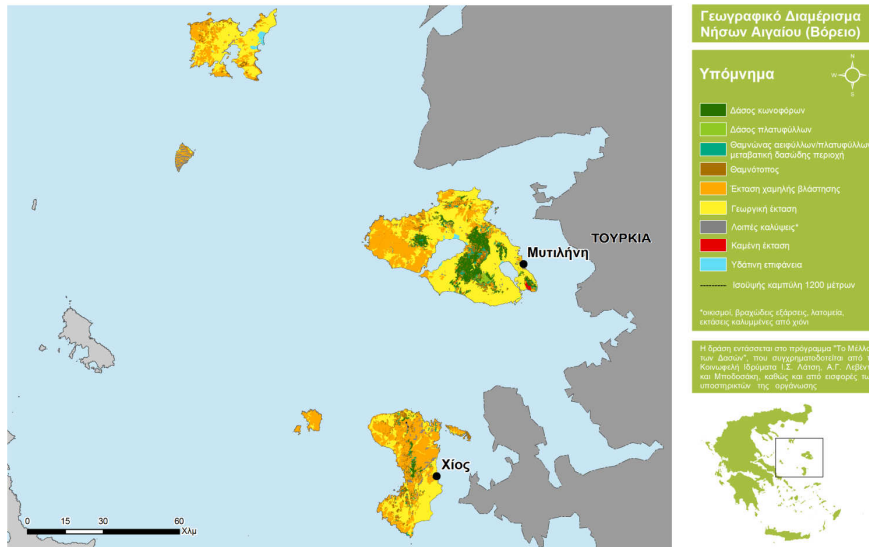
Εικόνα 22: Χαρτογράφηση των βασικών τύπων κάλυψης γής, 1987, WWF-HELLAS



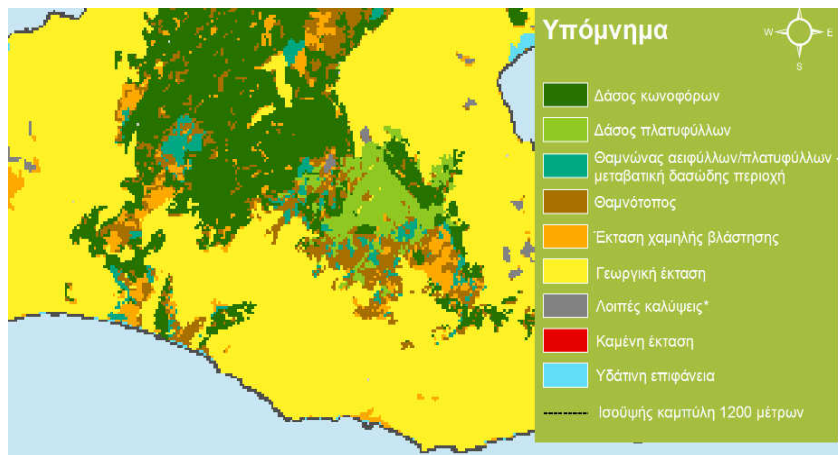
Εικόνα 23: Zoom στην περιοχή μελέτης από τον χάρτη: «Χαρτογράφηση των βασικών τύπων κάλυψης γής», 1987, WWF-HELLAS



**Χαρτογράφηση των βασικών τύπων κάλυψης γης στην Ελλάδα**  
Αποτύπωση της κατάστασης του 2007

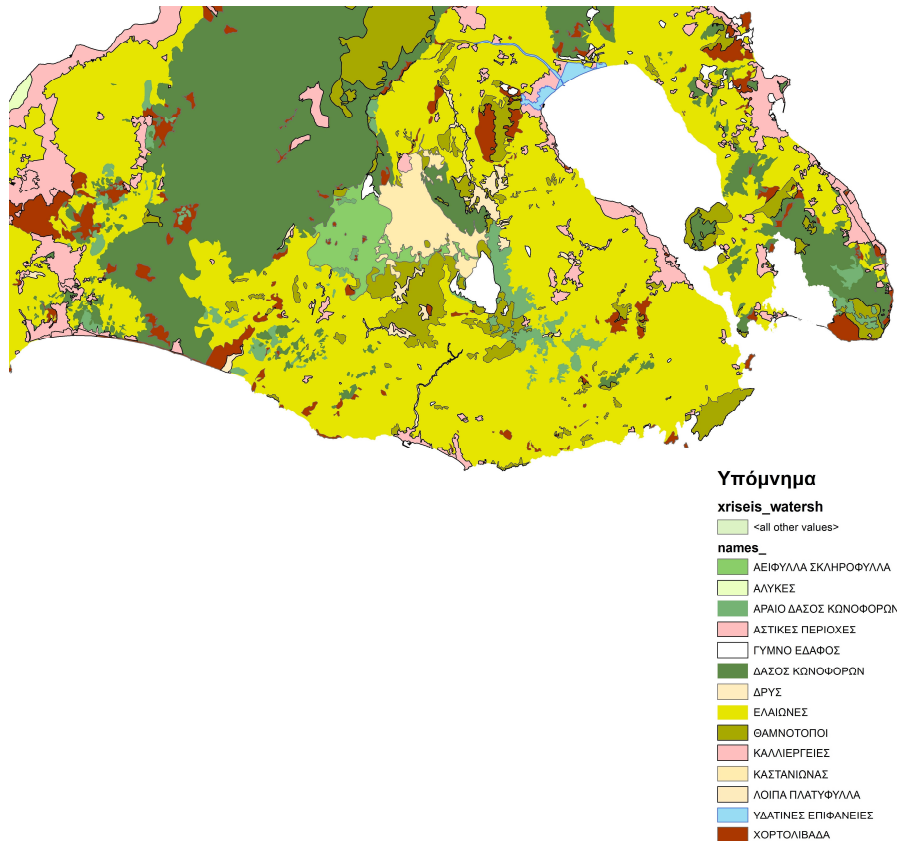


**Εικόνα 24: Χαρτογράφηση των βασικών τύπων κάλυψης γης, 2007, WWF-HELLAS**



**Εικόνα 25: Zoom στην περιοχή μελέτης από τον χάρτη: «Χαρτογράφηση των βασικών τύπων κάλυψης γης», 2007, WWF-HELLAS**

Επιπροσθέτως για την εκπαίδευση του αλγορίθμου λήφθηκαν σοβαρά υπόψη και οι δειγματοληψίες από την επιτόπια έρευνα του κ. Π. Παλαιολόγου αλλά και τον χάρτη βλάστησης ο οποίος παραχωρήθηκε από τον ίδιο έπειτα από προσωπική επικοινωνία μαζί του. Στην συνέχεια παρουσιάζεται χάρτης καλύψεων/ χρήσεων γής σύμφωνα με τον κ. Π. Παλαιολόγο (Εικόνα 27).



Εικόνα 26: Χάρτης καλύψεων/χρησεων γης σύμφωνα με τον κο. Παλαιολόγου,2011.

Η διαδικασία της ταξινόμησης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο τμήμα της εργασίας καθώς μετά την εκτέλεση της, αποτυπώνεται στην πράξη κατά πόσο έχουμε καταφέρει να επιτύχουμε τους στόχους που έχουν τεθεί.

Το λογισμικό eCognition παρέχει δύο βασικούς μεθόδους ταξινόμησης. Την μέθοδο του Εγγύτερου Γείτονα (Nearest Neighbour) και τις Συναρτήσεις Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Membership Functions). Στην παρούσα μελέτη εφαρμόστηκαν και οι δύο τρόποι.

Η ταξινόμηση του Εγγύτερου Γείτονα περιγράφει τις, υπό καθορισμό κατηγορίες μέσω δειγμάτων, που ορίζονται από τον χρήστη για κάθε μια κατηγορία, η λεγόμενη «εκπαίδευση» του αλγορίθμου όπου θα αναζητήσει τα εικονοστοιχεία εκείνα που παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά με εκείνα όπου επιλέχθηκαν σαν δείγματα εκπαίδευσης. Λαμβάνοντας υπόψη λοιπόν τους χάρτες του WWF-HELLAS (Εικόνα 23,24) και με φωτοερμηνεία των δορυφορικών εικόνων για το έτος 1994, επιλέχθηκαν οι περιοχές εκπαίδευσης (Εικόνα 28). Αντίστοιχα για το έτος 2011 με βάση τους χάρτες του WWF-HELLAS (Εικόνα 25,26), φωτοερμηνεία, τον χάρτη του Κου. Π. Παλαιολόγου (Εικόνα 27) και τις δειγματοληψίες του, δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες περιοχές εκπαίδευσης για την περιοχή μελέτης μας (Εικόνα 29).

Για τις κατηγορίες βλάστησης βασιστήκαμε στην μελέτη της Κας. Όλγας Ρούσσου όπου είχε πραγματοποιήσει χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης για την περιοχή της Λέσβου,

με βάση της οποίας είχαν οριστεί οι εξής κατηγορίες βλάστησης (Ρούσσου Ο., 2009) (Πίνακας 7):

Κατηγορία	Περιγραφή
<b>Αδιαπέρατες Επιφάνειες - NB1</b>	Αστική περιοχή, Γυμνό έδαφος
<b>Ελαιώνες - TU1</b>	Ελαιόδεντρα
<b>Θάμνοι - SH2</b>	Χαμηλή σκληρόφυλλη βλάστηση
<b>Καλλιέργειες - NB3</b>	Καλλιεργήσιμες εκτάσεις
<b>Κωνοφόρα αραιά - TU4</b>	Δάση κωνοφόρων σε αραιή σύσταση
<b>Κωνοφόρα πυκνά - TU5</b>	Δάση κωνοφόρων σε πυκνή σύσταση
<b>Νερό - NB8</b>	Υγρές επιφάνειες
<b>Πλατύφυλλα - TL2</b>	Καστανιώνας, λοιπά Πλατύφυλλα
<b>Χορτολίβαδα - GR2</b>	Χορτολιβαδικές εκτάσεις

Πίνακας 7: Σύνολο κατηγοριών ταξινόμησης επιπέδου καλύψεων γής (Ρούσσου Ο., 2009) .

Η ταξινόμηση υλοποιήθηκε με την μέθοδο του Εγγύτερου Γείτονα.

Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί τον καθορισμό αντιπροσωπευτικών δειγμάτων για κάθε κατηγορία από τον χειριστή τα οποία καταγράφονται από το λογισμικό και παρουσιάζονται υπό μορφή μέσης τιμής για το σύνολο των layers στο ιστόγραμμα των δειγμάτων. Αυτό επιτρέπει αφενός την περιγραφή του φασματικού εύρους κάθε κατηγορίας σύμφωνα με τα δείγματα, αφετέρου σε μακροσκοπικό επίπεδο να αντιληφθεί ο χρήστης την ποιότητα των επιλεγμένων δειγμάτων και κατά πόσο αυτά συγχέονται μεταξύ τους.



Στην συνέχεια παρουσιάζονται στο περιβάλλον του eCognition οι χάρτες με τα δείγματα εκπαίδευσης που επιλέχθηκαν για τα έτη 1994 και 2011 αντίστοιχα:

### Έτος 1994

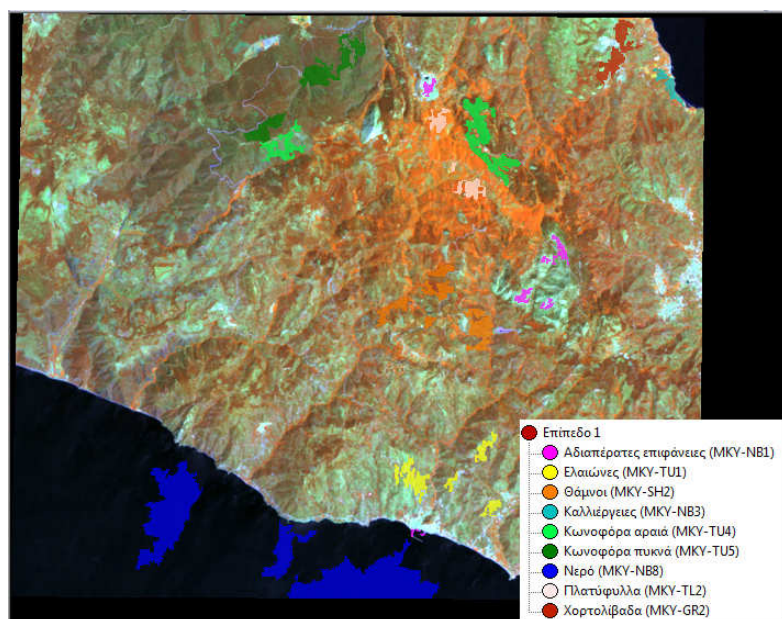
---



Εικόνα 27: Δείγματα εκπαίδευσης για την περιοχή ενδιαφέροντος το έτος 1994

### Έτος 2011

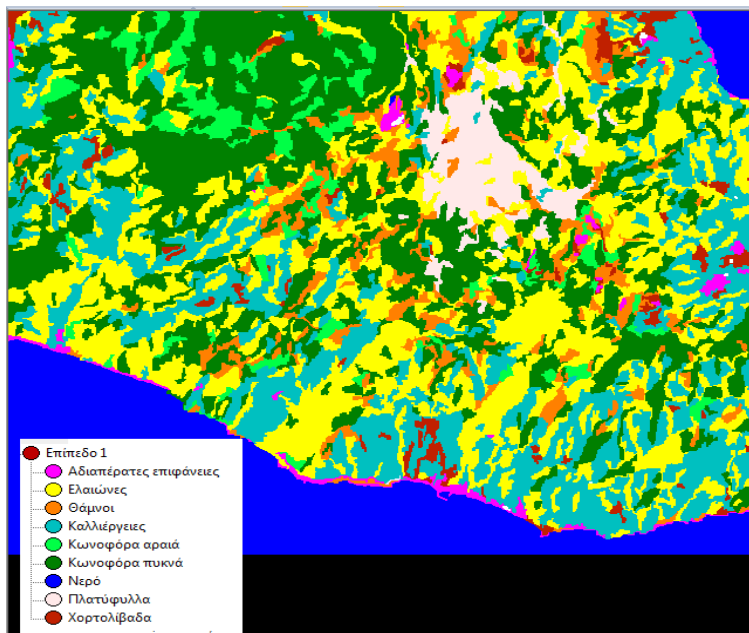
---



Εικόνα 28: Δείγματα εκπαίδευσης για την περιοχή ενδιαφέροντος το έτος 2011

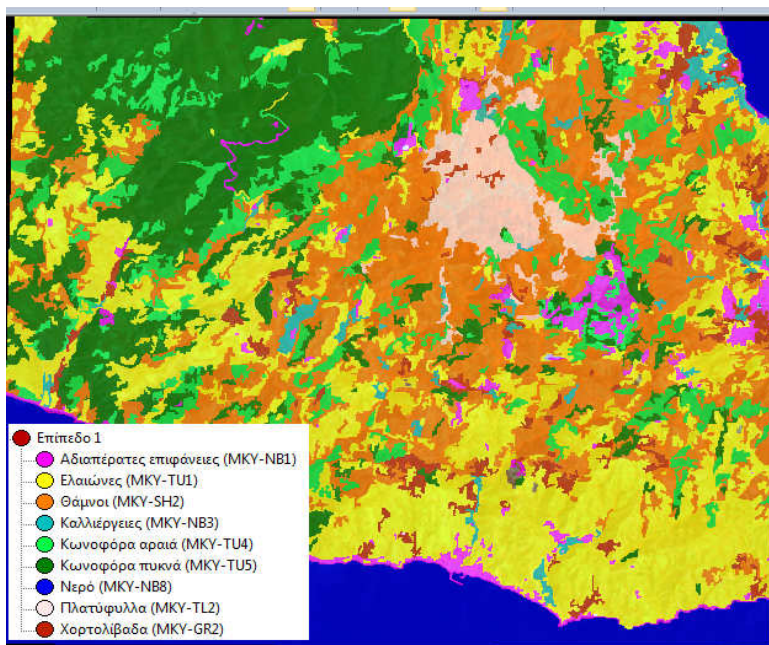
Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του 1<sup>ου</sup> Επιπέδου παρουσιάζονται στην συνέχεια για τα δύο έτη.

### Έτος 1994



Εικόνα 29: Ταξινόμηση 1<sup>ου</sup> επιπέδου σε χρήσεις/κάλυψεις γης πριν την πυρκαγιά του 1994

### Έτος 2011



Εικόνα 30: Ταξινόμηση 1<sup>ου</sup> επιπέδου σε χρήσεις/κάλυψεις γης πριν την πυρκαγιά του 2011

Ακολουθεί μια διαδικασία αξιολόγησης της ακρίβειας της ταξινόμησης. Για την αξιολόγηση της ταξινόμησης και κατά πόσο είναι ακριβής γίνεται από τον χρήστη και από το πρόγραμμα eCognition. Ο έλεγχος της ακρίβειας από το πρόγραμμα ονομάζεται “Error Matrix based on Samples”. Αυτός ο έλεγχος γίνεται μέσω διαφορετικών δειγμάτων των οποίων επιλέγονται με σκοπό να επιβεβαιώσουν τα πρώτα δείγματα που είχαν επιλεγθεί κατά την εκπαίδευση. Εφόσον επιλεγθούν τα δείγματα για κάθε μια κατηγορία στην συνέχεια επιλέγουμε το “Error Matrix based on Samples”. Εμφανίζονται οι πίνακες στην συνέχεια για το έτος 1994 (Πίνακας 8) και για το 2011 (Πίνακας 9):

### Έτος 1994

User Class \ Sa...	νερό	αστινή_περιοχή	πίσταύφυλλα	κονοφόρα_πικνο	καλλιέργειες	χορτοθίβαδα	θάμνους	ειλιώνες	κονοφόρα_αραια	Sum
<b>Confusion Matrix</b>										
νερό	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
αστινή_περιοχή	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4
πίσταύφυλλα	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5
κονοφόρα_πικνο	0	0	0	5	0	0	0	0	1	6
καλλιέργειες	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
χορτοθίβαδα	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
θάμνους	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
ειλιώνες	0	0	0	0	0	0	1	3	0	4
κονοφόρα_αραια	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	3	4	5	5	2	3	2	3	2	
<b>Accuracy</b>										
Producer	1	1	1	1	1	1	0.5	1	0.5	
User	1	1	1	0.8333333	1	1	1	0.75	1	
Hellden	1	1	1	0.909	1	1	0.6666667	0.8571429	0.6666667	
Shoot	1	1	1	0.8333333	1	1	0.5	0.75	0.5	
KIA Per Class	1	1	1	1	1	1	0.4821429	1	0.4821429	
<b>Totals</b>										
Overall Accuracy	0.931									
KIA	0.9207650									

Πίνακας 8 : Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 1994

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 8 η ταξινόμηση μας είναι αρκετά καλή καθώς εμφανίζεται με ακρίβεια 93%. Αυτό σημαίνει πως τα δείγματα ελέγχου που επιλέχθηκαν έχουν επιβεβαιώσει τα δείγματα εκπαίδευσης. Επομένως η ταξινόμηση μας γίνεται δεκτή με ποσοστό ακρίβειας 93%.

User Class \ Sa...	Νερό (MKY-NB8)	Αδιαπέρατες ε...	Πλατύφυλλα (M...	Κωνοφόρα πυκν...	Καλλιέργειες (...)	Χορτολίβαδα (...)	Θάμνοι (MKY-S...	Ελαιώνες (MKY...	Κωνοφόρα αραι...	Sum
<b>Confusion Matrix</b>										
Νερό (MKY-NB8)	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Αδιαπέρατες επι...	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Πλατύφυλλα (MK...	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
Κωνοφόρα πυκνά...	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
Καλλιέργειες (MK...	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Χορτολίβαδα (MK...	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Θάμνοι (MKY-SH2)	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
Ελαιώνες (MKY-T...	0	0	0	0	0	1	0	3	0	4
Κωνοφόρα αραιά...	0	0	0	0	1	2	0	0	2	5
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	2	3	3	2	2	2	4	3	2	
<b>Accuracy</b>										
Producer	1	1	1	1	0.5	0	0.5	1	1	
User	1	1	1	1	1	0	1	0.75	0.4	
Hidden	1	1	1	1	0.666667	0	0.666667	0.8571429	0.5714286	
Shot	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.75	0.4	
KIA Per Class	1	1	1	1	0.4772727	-0.04545454545	0.4523810	1	1	
<b>Totals</b>										
Overall Accuracy	0.7826087									
KIA	0.7547974									

Πίνακας 9: Έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης για το έτος 2011

Στον Πίνακα 9 παρατηρήθηκε ακρίβεια 78% και με βάση τις προηγούμενες ταξινομήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Η παρούσα ταξινόμηση έδειξε το μεγαλύτερο ποσοστό ακρίβειας, έτσι με βάση τα δεδομένα μας κρίθηκε ικανοποιητική, και έγινε δεκτή.

Τέλος, οι εφόσον αξιολογήθηκαν οι ταξινομήσεις και για τα δυο έτη και κρίθηκαν ικανοποιητικές, το επόμενο βήμα είναι να κάνουμε αντιστοίχιση των κατηγοριών βλάστησης σε Μοντέλα Καύσιμης ύλης, όπου είναι και ο στόχος μας. Με αυτό το τελευταίο βήμα θα έχουμε πλέον ένα από τα πιο βασικά στοιχεία για να τρέξουμε την εφαρμογή Προσομοίωσης, τον Χάρτη Καύσιμης ύλης για το έτος 1994 και για το έτος 2011.

Με βάση λοιπόν την Καρ Ρούσσου Ο., 2009 και την μελέτη στην περιοχή της Μυτιλήνης οι κατηγορίες βλάστησης της περιοχής μελέτης μας αντιστοιχούν στα παρακάτω Μοντέλα Καύσιμης Ύλης:

Μοντέλο SH2 – Θάμνοι

Μοντέλο GR2 – Χορτολίβαδα

Μοντέλο TU1 – Ελαιώνες

Μοντέλο TU4 – Αραιό δάσος κωνοφόρων

Μοντέλο TU5 – Πυκνό δάσος Κωνοφόρων

Μοντέλο NB1 – Αδιαπέρατες επιφάνειες

Μοντέλο NB3 – Καλλιέργειες

Μοντέλο NB8 – Νερό

Μοντέλο TL2 – Πλατύφυλλα

Πίνακας 10: Αντιστοίχιση Μοντέλων Καύσιμης ύλης με Κατηγορίες Βλάστησης (Ρούσσου Ο., 2009)

## **5.5 Δημιουργία χάρτη πυκνότητας της κόμης για τα έτη 1994 και 2011**

Βασικό στοιχείο για την προσομοίωση της πυρκαγιάς, μετά τον χάρτη καύσιμης ύλης, είναι η πυκνότητα της κόμης των δέντρων. Για να δημιουργήσουμε τον χάρτη πυκνότητας της κόμης των δέντρων θα πρέπει αρχικά να δημιουργήσουμε τρεις διαφορετικούς χάρτες πυκνότητας της κόμης για κάθε μια από τις τρεις κατηγορίες των δέντρων (πλατύφυλλα, αραιά κωνοφόρα, πυκνά κωνοφόρα). Για τον σκοπό αυτό θα δημιουργήσουμε ένα δεύτερο επίπεδο ταξινόμησης στο περιβάλλον του eCognition όπου θα εφαρμόσουμε την μέθοδο ασαφούς λογικής. Το δεύτερο επίπεδο δημιουργήθηκε με σκοπό, την παραγωγή ενός χάρτη πυκνότητας της κόμης των δέντρων για κάθε μια από τις τρεις κατηγορίες. Έγινε λοιπόν η παραδοχή πως η πυκνότητα της κόμης των δέντρων έχει γραμμική σχέση με τον δείκτη βλάστησης NDVI.

Η βλάστηση έχει μια μοναδική φασματική υπογραφή η οποία καθιστά ικανό τον άμεσο διαχωρισμό της από άλλους τύπους εδαφοκάλυψης σε μια εικόνα στο ορατό ή στο εγγύς υπέρυθρο. Οι φωτοχρωστικές ουσίες του φύλλου των φυτών (κυρίως η χλωροφύλλη) απορροφούν κυρίως στο ορατό φάσμα για τη φωτοσύνθεση. Η υγιής πράσινη βλάστηση απορροφά ισχυρά στο ορατό φάσμα και ιδιαίτερα στην ερυθρή ακτινοβολία (0.63-0.69μm), ενώ ταυτόχρονα ανακλά ισχυρά στο κοντινό υπέρυθρο μέρος του φάσματος (0.76-0.90μm). Κατά συνέπεια, στο ερυθρό η φασματική υπογραφή της βλάστησης παρουσιάζει ελάχιστο, ενώ στο εγγύς υπέρυθρο παρουσιάζει τοπικό μέγιστο.

Η αντίθεση (διαφορά) μεταξύ της ανάκλασης στο ερυθρό και στο κοντινό υπέρυθρο είναι μια ευαίσθητη μέτρηση της ποσότητας της βλάστησης. Έτσι, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα από το ερυθρό (RED) και το κοντινό υπέρυθρο (NIR) μπορούν να συνδυαστούν και να αποτελέσουν τους λεγόμενους δείκτες βλάστησης – vegetation indices. Οι δείκτες βλάστησης είναι πολύ καλοί φασματικοί μετασχηματισμοί δύο ή περισσότερων καναλιών μιας δορυφορικής εικόνας, συνήθως του ερυθρού και του κοντινού υπέρυθρου, και έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώνουν το σήμα της βλάστησης ώστε να επιτρέπουν αξιόπιστες χωρικές και χρονικές συγκρίσεις της επίγειας φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και των δομικών μεταβολών της κόμης.

Ο περισσότερο χρησιμοποιημένος δείκτης βλάστησης είναι ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) που ορίζεται ως εξής (Rouse et al., 1974):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

όπου, NIR: η ανακλαστικότητα στο κοντινό υπέρυθρο και

RED: η ανακλαστικότητα στο ερυθρό κανάλι.

Έγινε λοιπόν η παραδοχή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πως η πυκνότητα της κόμης έχει γραμμική σχέση με τον δείκτη βλάστησης NDVI. Έτσι η διαδικασία που ακολούθησε είχε ως εξής:

Δημιουργήσαμε ένα δεύτερο επίπεδο ακριβώς το ίδιο segmentation (κατάτμηση) με το πρώτο επίπεδο για να βγουν τα ίδια ακριβώς αντικείμενα.

Στο επίπεδο αυτό δημιουργήσαμε τρεις διαφορετικούς χάρτες πυκνότητα κόμης για τις κατηγορίες: Κωνοφόρα αραιά, Κωνοφόρα πυκνά και πλατύφυλλα.

Για την δημιουργία των τριών χαρτών, όπου θα δείχνουν την πυκνότητα της κόμης για κάθε μια κατηγορία, αρχικά εντοπίστηκε η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του NDVI.

Στην συνέχεια, δημιουργήθηκαν 6 μεταβλητές που αφορούν το σύνολο της σκηνής με βάση την ελάχιστη και μέγιστη τιμή της κάθε κατηγορίας.

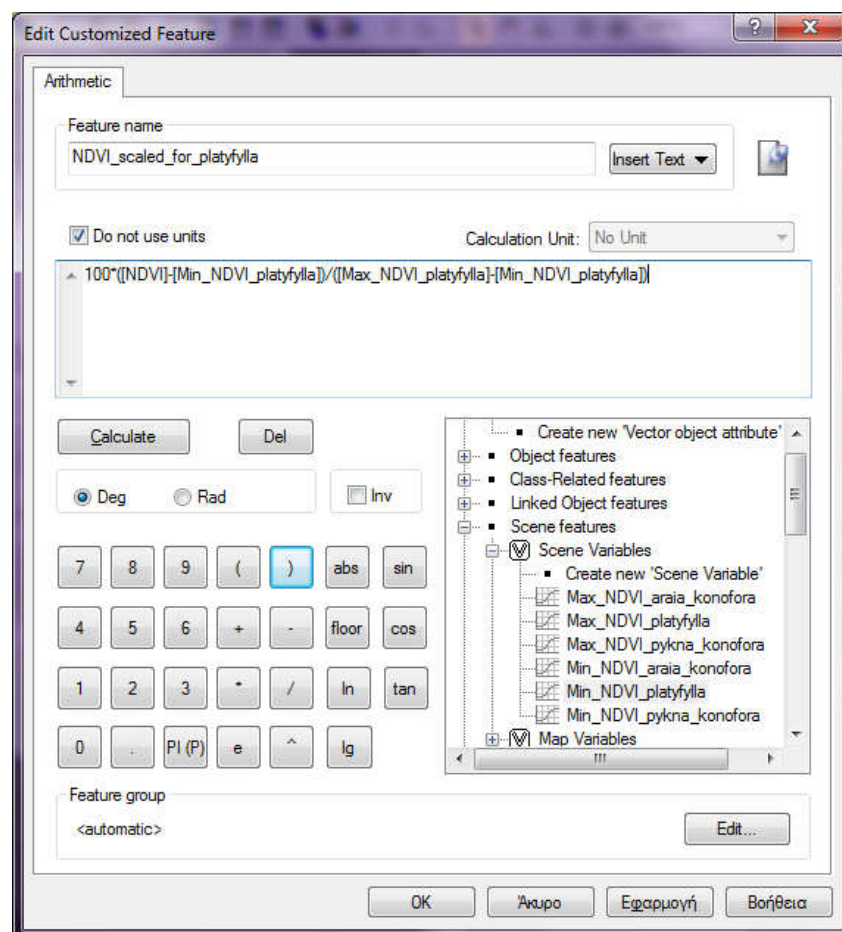
Αυτοί οι μεταβλητές δημιουργήθηκαν με βάση τον κανόνα του δείκτη NDVI για κάθε μια κατηγορία (κανονικοποιημένους στο διάστημα 0-100), όπως παρουσιάζεται στην συνέχεια:

- Min\_NDVI\_araia\_konofora
- Max\_NDVI\_araia\_konofora
- Min\_NDVI\_pykna\_konofora
- Max\_NDVI\_pykna\_konofora
- Min\_NDVI\_platyfylla
- Max\_NDVI\_platyfylla

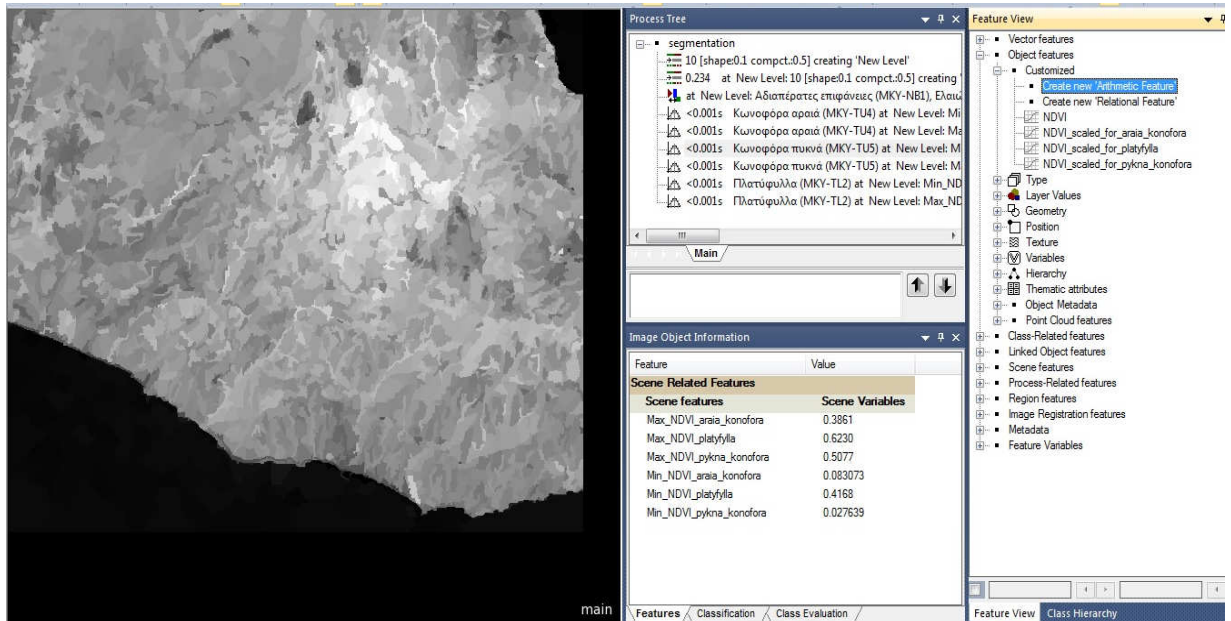
Η εξίσωση του NDVI γενικά, δίνει τιμές που κυμαίνονται -1 έως +1. Ενδεικτικές αρνητικές τιμές είναι τα σύννεφα, το χιόνι, το νερό και άλλες περιοχές δίχως βλάστηση, ενώ οι θετικές τιμές υποδηλώνουν βλάστηση ή ανακλαστικές επιφάνειες

Όσο υψηλότερη είναι η τιμή NDVI, τόσο πιο πράσινο ή φωτοσυνθετικά ενεργά, είναι η φυτική κάλυψη.

Στην συνέχεια φαίνεται ο τρόπος που δημιουργούμε τους κανονικοποιημενους δείκτες NDVI κανονικοποιημένους στο διάστημα από 0-100.

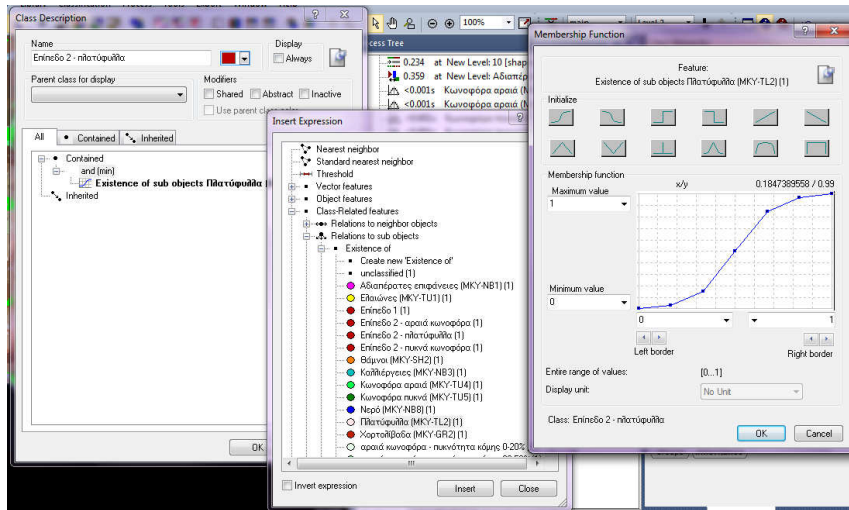


Εικόνα 31: Δημιουργία των κανονικοποιημενων δεικτών NDVI σε διάστημα 0-100



Εικόνα 32: NDVI από 0-100 σε συγκεκριμένες κατηγορίες

Για κάθε μια «μητρική» κατηγορία εφαρμόζεται ο Κανόνας που περιορίζει την ταξινόμηση σε συγκεκριμένη κατηγορία βλάστησης. Ο λόγος που εφαρμόζεται στην μητρική κατηγορία είναι έτσι ώστε να την κληρονομήσουν και οι υποκατηγορίες.

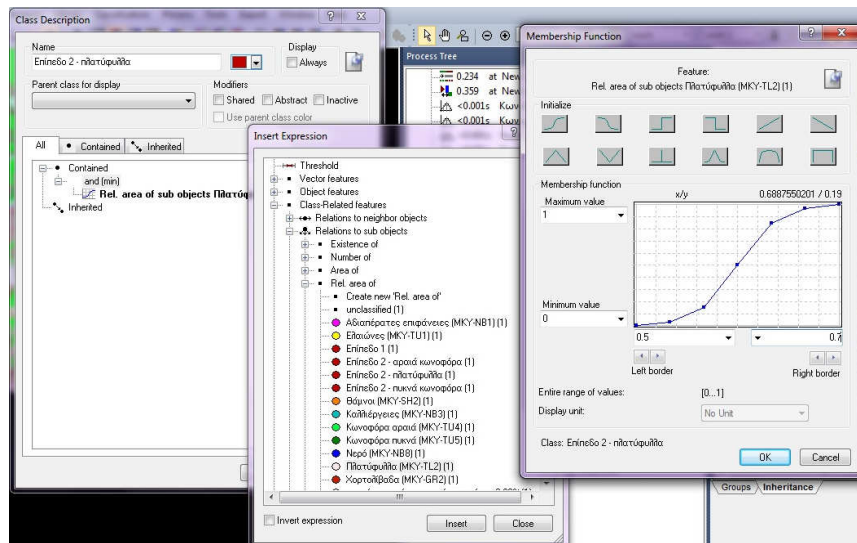


Εικόνα 33: Κανόνας που περιορίζει την ταξινόμηση σε συγκεκριμένη κατηγορία βλάστησης

Με την εφαρμογή του κανόνα που φαίνεται στην Εικόνα 33 παρατηρήσαμε πως μπερδεύτηκαν κάποιες κατηγορίες. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκε ένας άλλος κανόνας (Εικόνα 34) όπου λέει πως όπου είναι μεγαλύτερη από 60% κάλυψη, η συγκεκριμένη κατηγορία βλάστησης θα επιλέγεται. Στην ουσία προσθέσαμε τον περιορισμό του

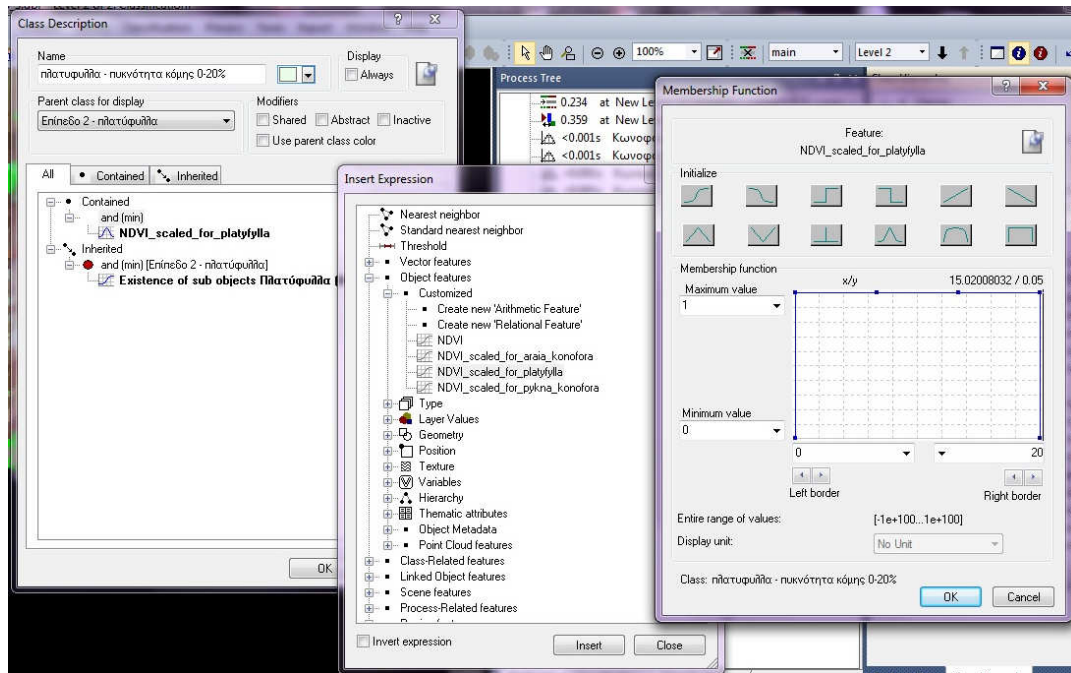


ποσοτού κάλυψης να είναι μεγαλύτερη από 60% για να επιλεγθεί, έτσι ώστε να αποκλειστούν οι άλλες κατηγορίες.



Εικόνα 34: Κανόνας που περιορίζει την ταξινόμηση σε συγκεκριμένη κατηγορία βλάστησης με ποσοστό κάλυψης μεγαλύτερο από 60%

Στον χάρτη πυκνότητας κόμης για να δημιουργήσουμε κλιμάκωση της πυκνότητας σε 4 κατηγορίες εφαρμόσαμε τον παρακάτω κανόνα. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 35 για τον συγκεκριμένο κανόνα επιλέγουμε την αυστηρή εφαρμογή του με τιμές από 0 έως 20, επαναλαμβάνουμε την διαδικασία και για τα διαστήματα 20-50, 50-80, 80-100.



Εικόνα 35: Εφαρμογή Κανόνα κατηγορίας πυκνότητα κόμης

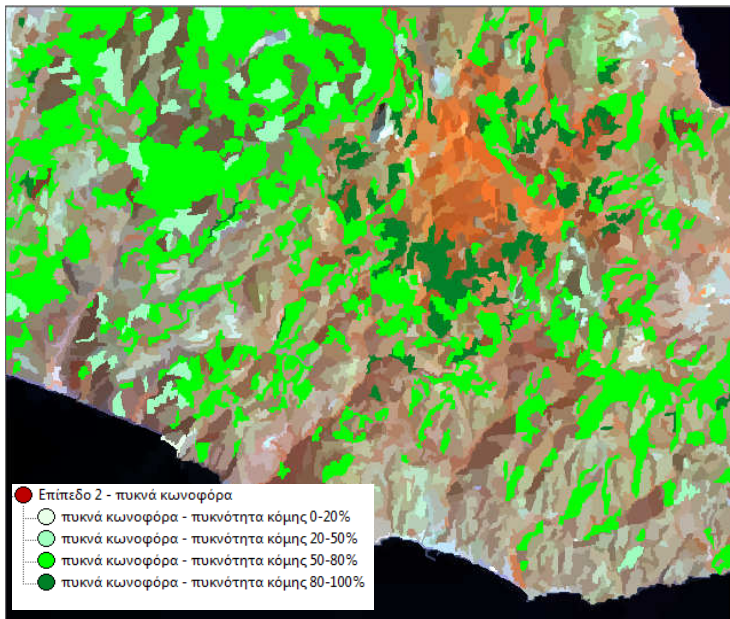
### 5.5.1 Ταξινόμηση 2<sup>ου</sup> επιπέδου με χρήση του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα 2<sup>ου</sup> επιπέδου, χάρτες πυκνότητας κόμης, με βάση τις τρεις κατηγορίες των δέντρων για τα έτη 1994, 2011

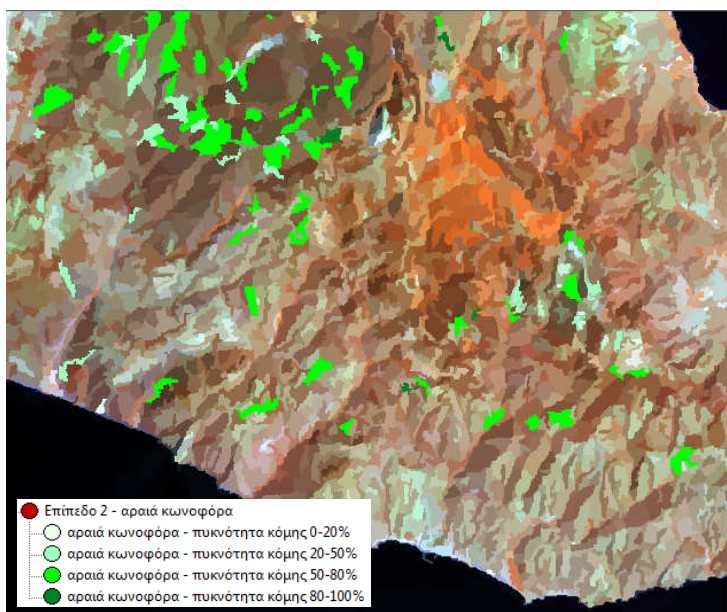
#### Έτος 1994

---

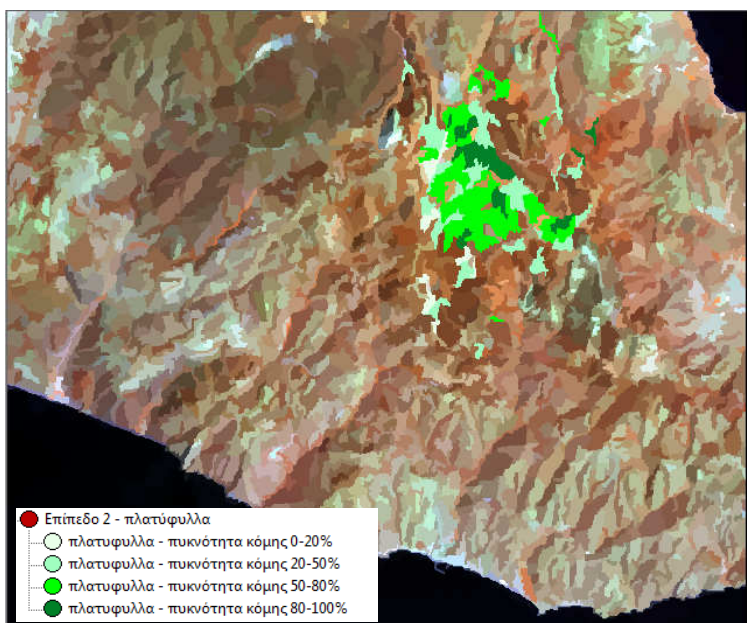
##### ✓ Κωνοφόρα πυκνά



##### ✓ Κωνοφόρα αραιά



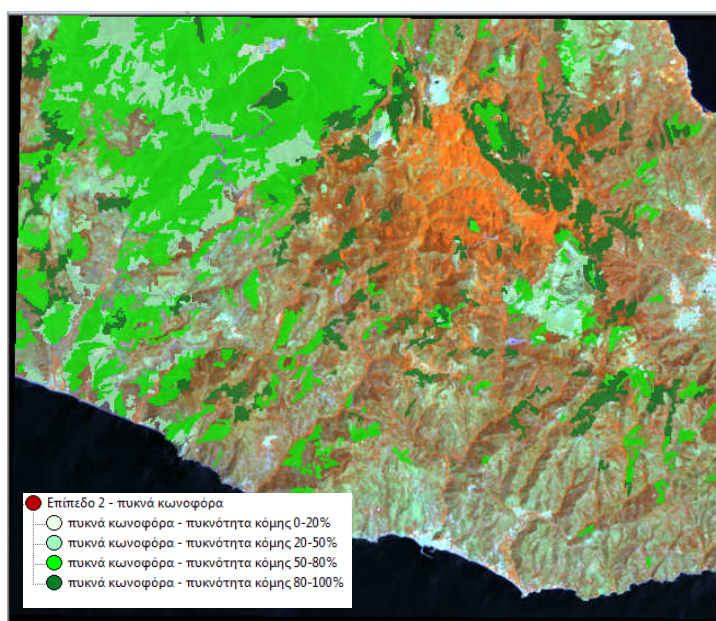
✓ Πλατύφυλλα



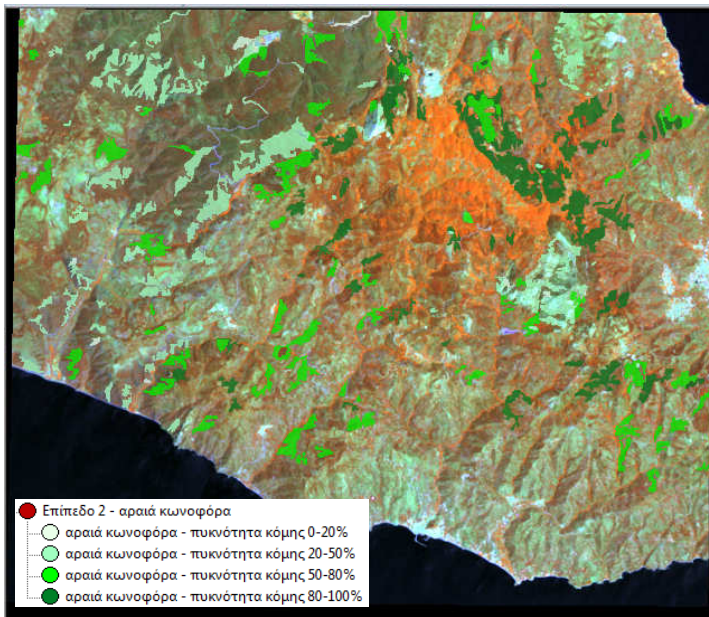
*Έτος 2011*

---

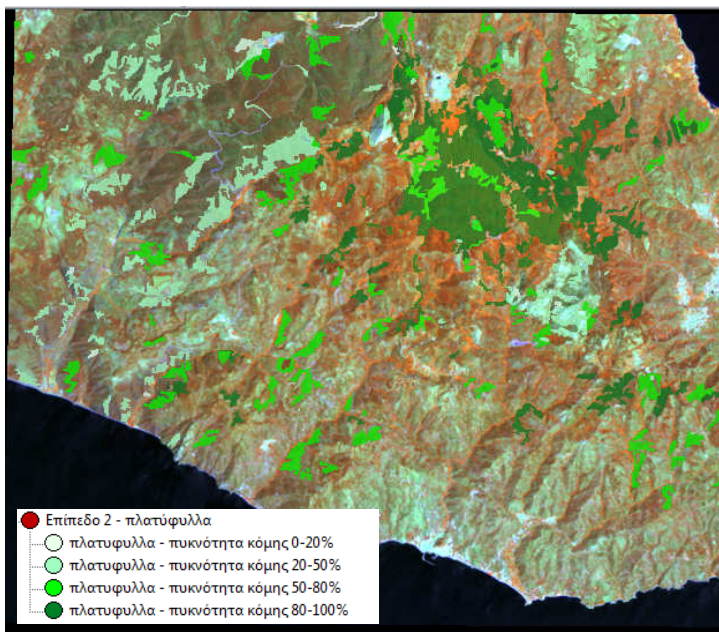
✓ Κωνοφόρα πυκνά



✓ Κωνοφόρα αραιά



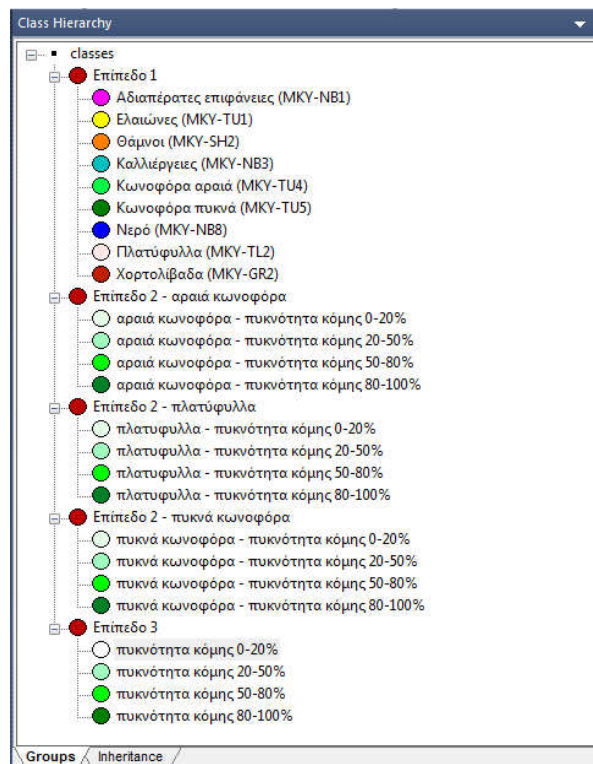
✓ Πλατύφυλλα





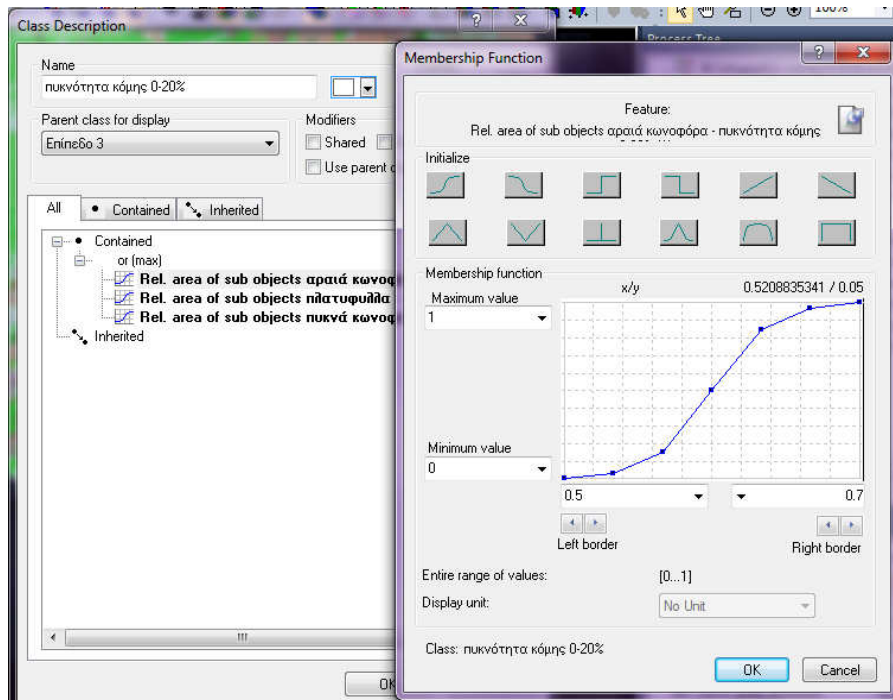
### 5.5.2 Ταξινόμηση 3<sup>ου</sup> επιπέδου

Σκοπός της ταξινόμησης 3<sup>ου</sup> επιπέδου ήταν να ενοποιήσει τους τρεις χάρτες σε έναν. Ο τελικός χάρτης μετά την ενοποίηση των τριών κατηγοριών θα μας παρουσιάζει την τελική πυκνότητα της κόμης για την περιοχή μελέτης, που είναι και στόχος μας. Ο τελικός χάρτη πυκνότητας κόμης περιλαμβάνει τα πλατύφυλλα, κωνοφόρα πυκνά, κωνοφόρα αραιά. Οπότε σε μια ανασκόπηση όλων των επιπέδων ταξινόμησης στο περιβάλλον του eCognition φαίνεται στην Εικόνα 36.



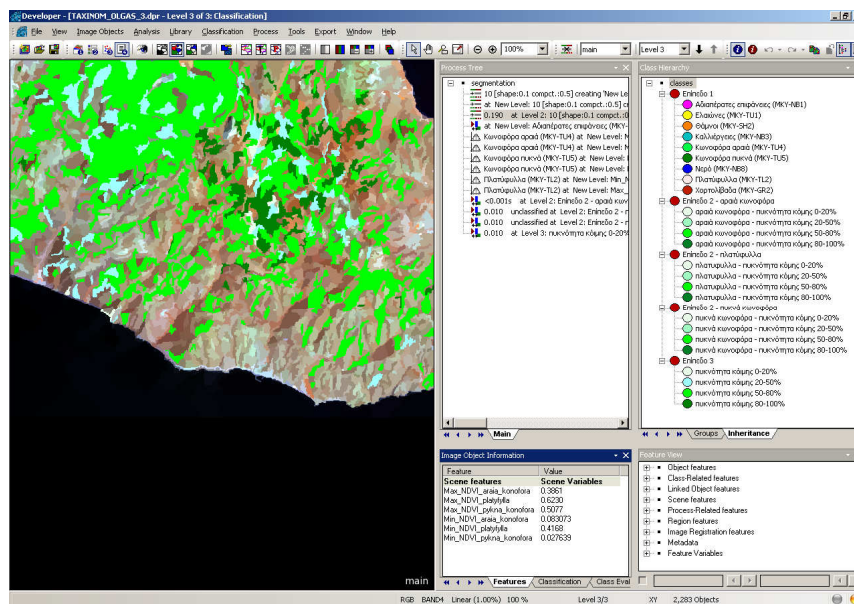
Εικόνα 36: Ιεράρχηση των επιπέδων των ταξινομήσεων (1<sup>ου</sup>, 2<sup>ου</sup>, 3<sup>ου</sup> επιπέδου)

Για την δημιουργία του 3<sup>ου</sup> επίπεδου εφαρμόστηκε ο κανόνας (Εικόνα 37) που περιορίζει την ταξινόμηση, ώστε η κατηγορία που επιλέγεται να είναι από 60% και άνω.



Εικόνα 37: Εφαρμογή κανόνων στο επίπεδο 3

Μετά την εφαρμογή του κανόνα έχουμε την ενοποίηση των τριών χαρτών σε έναν, ο οποίος απεικονίζει την πυκνότητα της κόμης της περιοχής. Ολόκληρη η διαδικασία στο περιβάλλον εργασίας του eCognition φαίνεται στην Εικόνα 38.



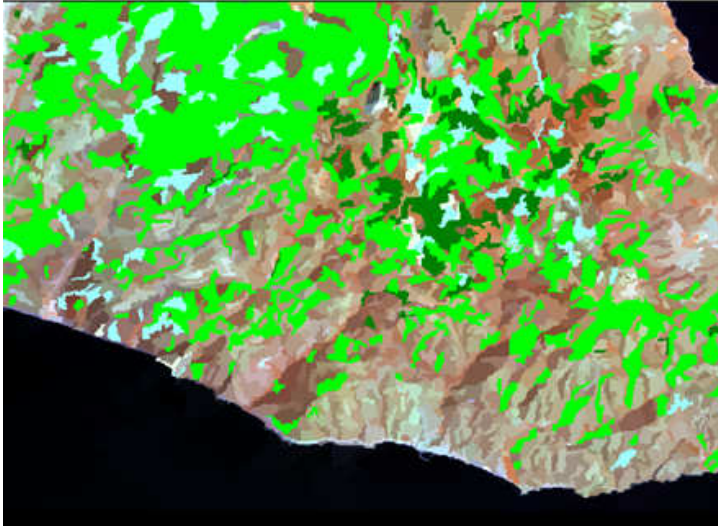
Εικόνα 38: Περιβάλλον εργασίας eCognition με όλα τα επίπεδα ταξινόμησης.



Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του 3<sup>ου</sup> επιπέδου για τα έτη 1994 και 2011 αντίστοιχα:

#### *Έτος 1994*

---



Εικόνα 39: Τελικός χάρτης πυκνότητας της κόμης για το έτος 1994

#### *Έτος 2011*

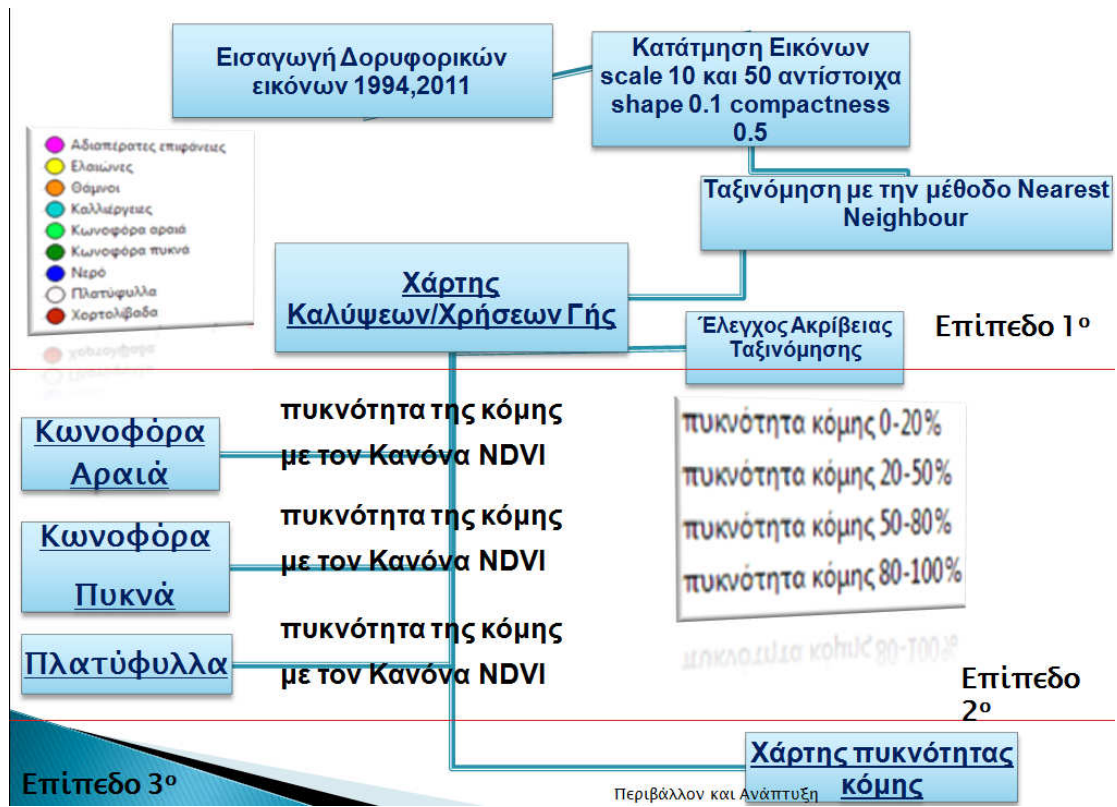
---



Εικόνα 40: Τελικός χάρτης πυκνότητας της κόμης για το έτος 2011



## 5.6 Διάγραμμα ροής



Εικόνα 41: Διάγραμμα Ροής που απεικονίζει την μεθοδολογία



## 6. Προσομοίωση Πυρκαγιάς με το πρόγραμμα Farsite για το έτος 1994

Το πρόγραμμα Farsite χρησιμοποιεί πραγματικά δεδομένα για να προβλέψει τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς σε ένα σημείο στο χώρο και το χρόνο. Τα δεδομένα που απαιτούνται για την προσομοίωση της πυρκαγιάς της 15<sup>ης</sup> Αυγούστου 1994 αφορούν τις μετεωρολογικές συνθήκες, την καύσιμη ύλη και την τοπογραφία. Σύμφωνα με την μελέτη του Κου Π.Παλαιολόγου (2011), στην περιοχή επικρατούσαν οι παρακάτω συνθήκες:

*«Η πυρκαγιά του Μεγαλοχωρίου που έλαβε χώρα την 15<sup>η</sup> Αυγούστου 1994 (ξημερώματα Δευτέρας, 02:30 π.μ.), ξεκινώντας κοντά σε κτηνοτροφικές θέσεις στην περιοχή Σκοτεινό και συνεχίστηκε για 5 ημέρες.Υπό την επίδραση πολύ ισχυρών ανέμων αλλά και λόγω εμφάνισης νέων εστιών σε όλο το μήκος της διαδρομής από το χωριό Μεγαλοχώρι μέχρι την περιοχή Σκοτεινό (ραντάρ Πολεμικής Αεροπορίας – Π.Α.), η πυρκαγιά σύντομα πήρε μεγάλες διαστάσεις. Από το πρώτο βράδυ, η φωτιά κινήθηκε νότια και κινδύνευε σοβαρά το χωριό Μεγαλοχώρι στο οποίο κάηκαν και αρκετά σπίτια. Η φωτιά εντός των οικιών προέκυψε κυρίως από δέντρα τα οποία ήταν ψηλότερα από τις οικίες και έριξαν κλαδιά και εύφλεκτο υλικό πάνω στις στέγες τους, με αποτέλεσμα η φωτιά να εισχωρήσει εντός τους.*



Εικόνα 42: Φωτογραφία από το Μεγαλοχώρι στην καμένη περιοχή, (Πηγή:Π.Παλαιολόγου, 2011)

Το βόρειο μέτωπο κατευθύνθηκε βόρεια απειλώντας τις εγκαταστάσεις της Π.Α. Ως αποτέλεσμα, από τις πρώτες ώρες του μετώπου υπήρχε ο κίνδυνος να χαθούν ζωές αλλά και οικίες και στρατιωτικές εγκαταστάσεις. Στην συνέχεια η φωτιά κινήθηκε σε ένα μέτωπο δυτικά, φτάνοντας ως τις περιοχές του χωριού Νεοχώρι, και σε ένα άλλο μέτωπο ανατολικά και νοτιοανατολικά προς το Κουρνέλι, την Μέσουνα και τον Καριώνα. Για την κατάσβεση της πυρκαγιάς ενεπλάκησαν άμεσα τα δυο αεροσκάφη

PZL-Mielec M-18 Dromader σε συνδυασμό με όλες τις δυνάμεις της τοπικής πυροσβεστικής υπηρεσίας, ενώ ενισχύσεις σε αεροσκάφη, πεζοπόρα τμήματα και οχήματα κατέφθασαν την επόμενη μέρα από την Αθήνα. Οι άνεμοι την 15/8 και την 16/8 έπνεαν Β-BΒΔ μέσης εντάσεως 5 ΒF, ενώ την 17/8 αυξήθηκε η μέση ένταση τους στα 6 ΒF πνέοντας κυρίως από τα Β και ΒΒΑ, ενώ την 18/8 μειώθηκαν στα 5 ΒF και την 19/8 είχαν κοπάσει πλήρως. Ο απολογισμός ήταν συνολικά περίπου 2.595 ha καμένης έκτασης, περιλαμβάνοντας μεγάλες περιοχές πευκοδάσους, φυλλοβόλων δασών, χορτολιβαδικών εκτάσεων καθώς και ελαιώνων. Υπήρχε η εμφάνιση εκτεταμένων περιοχών με πλατύφυλλη παρόχθια βλάστηση, κυρίως κοντά σε ρέματα και πηγές. Σημαντική ήταν και η παρουσία του σπάρτου (*Spartium junceum*) το οποίο έχει πλέον καλύψει πάρα πολλές βουνοπλαγιές».

### Περιεχόμενη υγρασία

Απαραίτητα στοιχεία για την προσομοίωση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς είναι η περιεχόμενη υγρασία της ζωντανής και της νεκρής καύσιμης ύλης (χρονικής υστέρησης (TL) 1 ώρας, 10 ωρών, 100 ωρών).

Για τις συγκεκριμένες μέρες της πυρκαγιάς του Μεγαλοχωρίου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την μελέτη της Όλγα Ν. Ρούσου, σύμφωνα με την οποία οι συγκεκριμένες παράμετροι της καύσιμης ύλης είχαν ως εξής :

- ✓ Περιεχόμενη υγρασία νεκρής καύσιμης ύλης

1-hr (TL) χρονικής υστέρησης : 4%

10-hr (TL) χρονικής υστέρησης: 5%

100-hr (TL) χρονικής υστέρησης: 10%

- ✓ Περιεχόμενη υγρασία Ζωντανής καύσιμης ύλης

χορτολιβαδικής: 70%

ξυλώδους: 70%

### Καθορισμός των παραμέτρων του μοντέλου

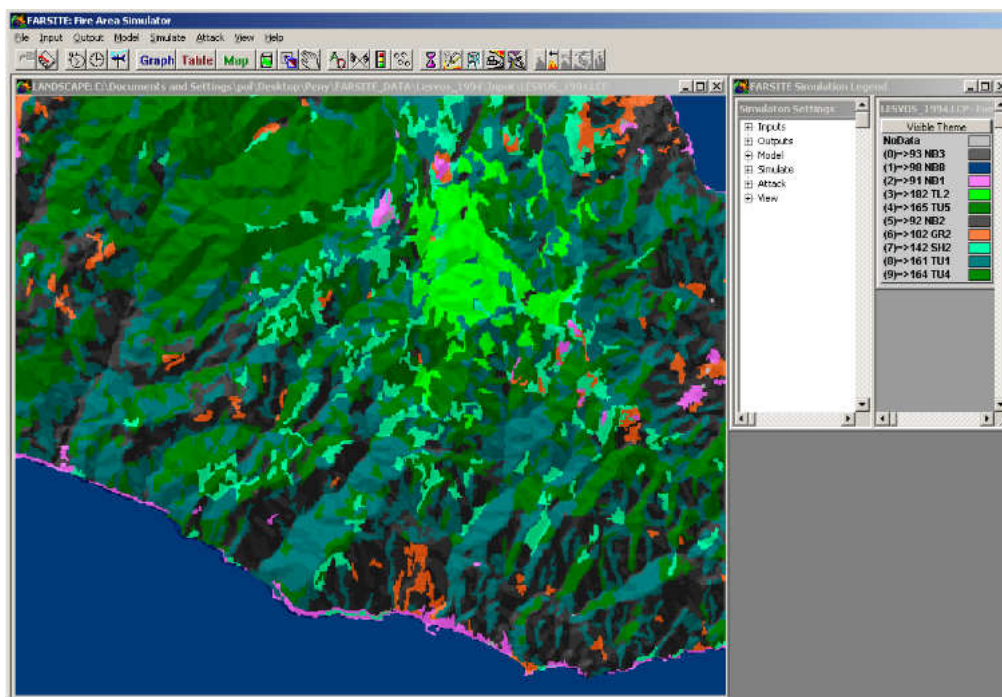
Επόμενο βήμα αποτελεί ο καθορισμός των παραμέτρων του μοντέλου που ρυθμίζουν τη χωρική και χρονική ανάλυση της προσομοίωσης (χρονικό βήμα, οπτικό βήμα, ανάλυση περιμέτρου και απόστασης εξάπλωσης). Χρονικό βήμα (timestep) είναι η μέγιστο χρονικό διάστημα που οι συνθήκες σε ένα ορισμένο σημείο θεωρούνται ως σταθερές έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η προβολή του μετώπου πυρκαγιάς. Στην περίπτωση της πυρκαγιάς που μελετάμε, ορίστηκε ως χρονικό βήμα τα 90min, οπτικό

βήμα οι 2hr, ανάλυση της περιμέτρου τα 90m και ανάλυση απόστασης εξάπλωσης τα 90m.

## 7. Προσομοίωση Πυρκαγιάς με το πρόγραμμα Farsite για το έτος 2011

Για να τρέξουμε το μοντέλο για το έτος 2011 στην περιοχή μελέτης, έγινε η παραδοχή πως επικρατούν ακριβώς οι ίδιες μετεωρολογικές συνθήκες. Το μοντέλο έτρεξε για το έτος 2011 με στόχο την πρόληψη πιθανής μελλοντικά πυρκαγιάς στην περιοχή.

Υποθέσαμε πως τα σημεία ανάφλεξης ήταν τα ίδια, δηλ οι 2 περιοχές κατά μήκος της διαδρομής από το χωριό Μεγαλοχώρι μέχρι την περιοχή Σκοτεινό.



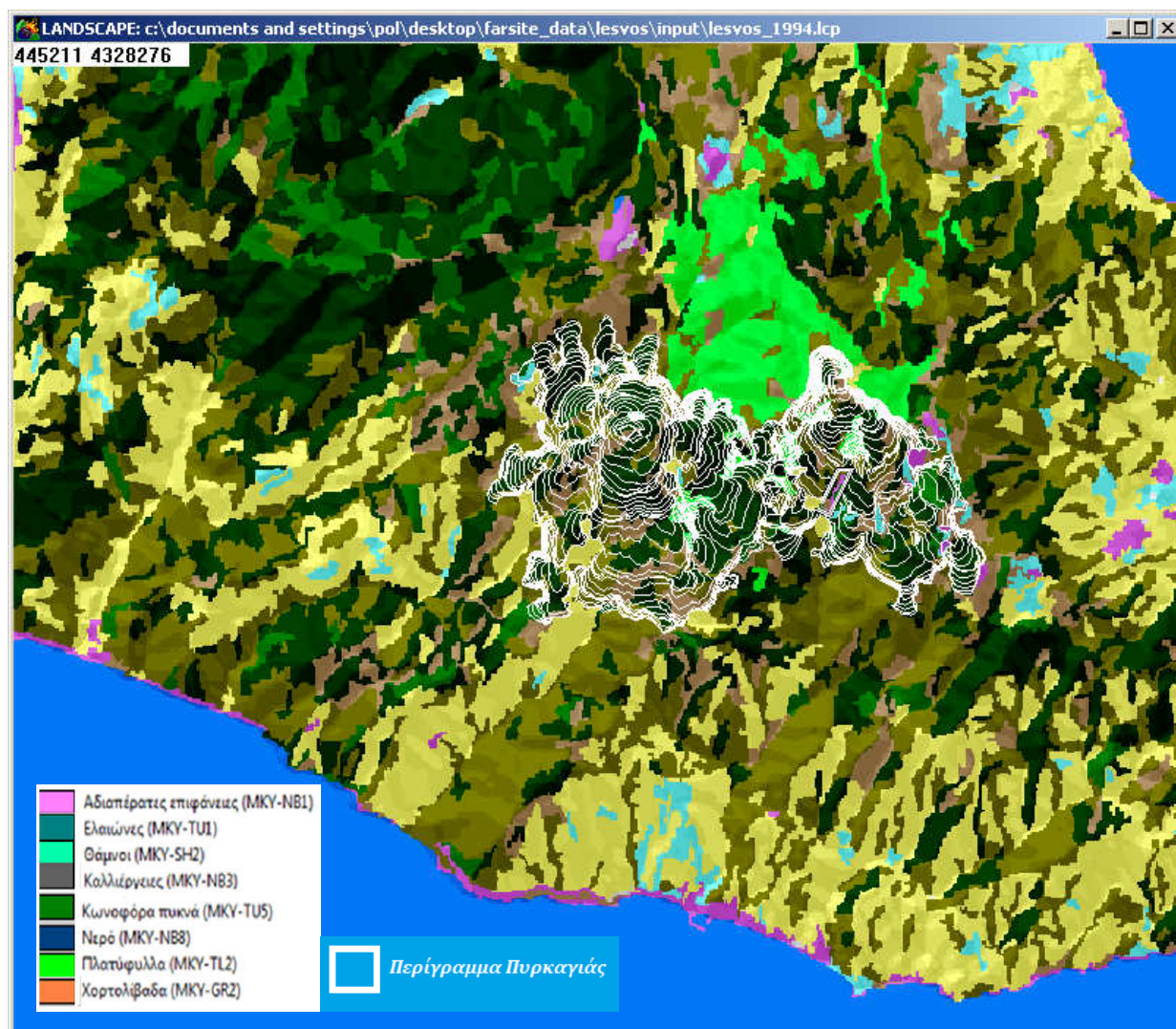
Εικόνα 43: Περιβάλλον εργασίας Farsite για το έτος 2011





## 8. Αποτελέσματα - Συζήτηση

Έτος 1994



Εικόνα 44: Αρχείο εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης πυρκαγιάς με τα δυο σημεία ανάφλεξης κατά μήκος της διαδρομής από το χωριό Μεγαλοχώρι μέχρι την περιοχή Σκοτεινό, 1994

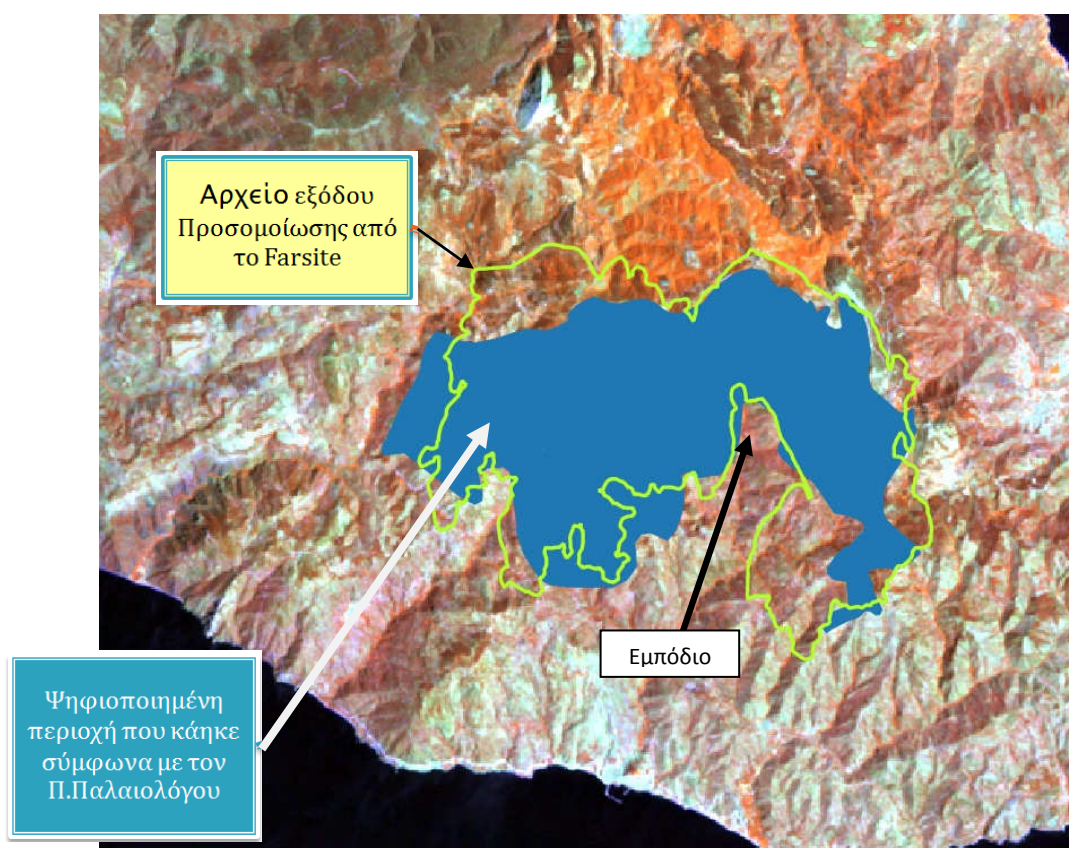
Με τη χρήση του προγράμματος Farsite ολοκληρώθηκε η προσομοίωση της χωρικής εξάπλωσης της πυρκαγιάς που εκδηλώθηκε στην περιοχή του Μεγαλοχωρίου στις 15 Αυγούστου 1994.

Σημαντικό βήμα αποτελεί το γεγονός ότι μπόρεσαν τα απαραίτητα χωρικά δεδομένα να εισέλθουν στην απαιτούμενη από το πρόγραμμα μορφή και να γίνει η προσομοίωση.

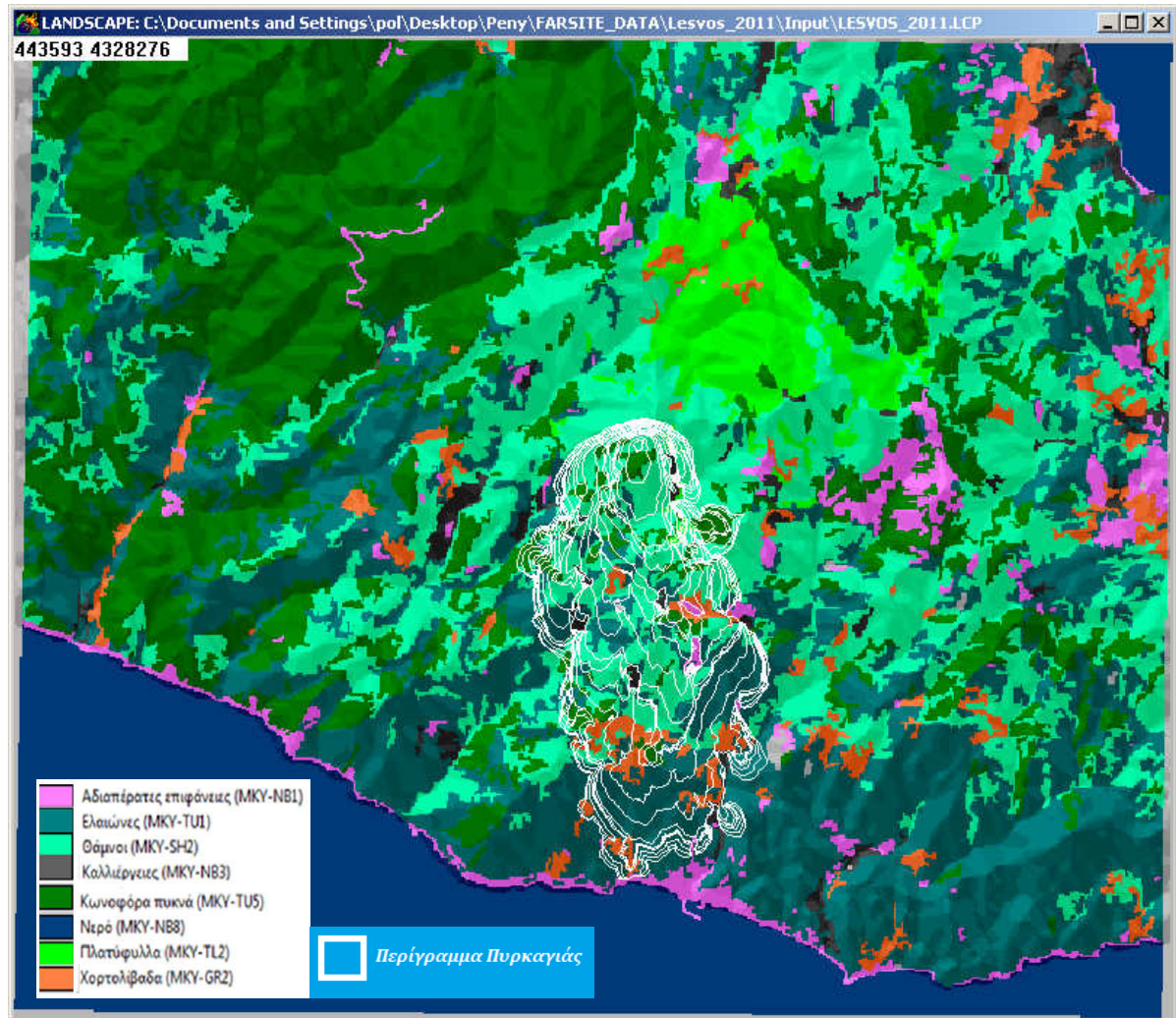
Αξίζει να σημειωθεί πως με χωρική ανάλυση μικρότερη από 30x30m, τα εισερχόμενα δεδομένα θα είναι πιο λεπτομερή και θα πλησιάζουν περισσότερο προς την πραγματικότητα. Ιδιαίτερη βαρύτητα θα πρέπει να δοθεί μελλοντικά στην συλλογή δεδομένων πεδίου.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τα πραγματικά όρια εξάπλωσης της πυρκαγιάς, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει πλήρη ταύτιση.

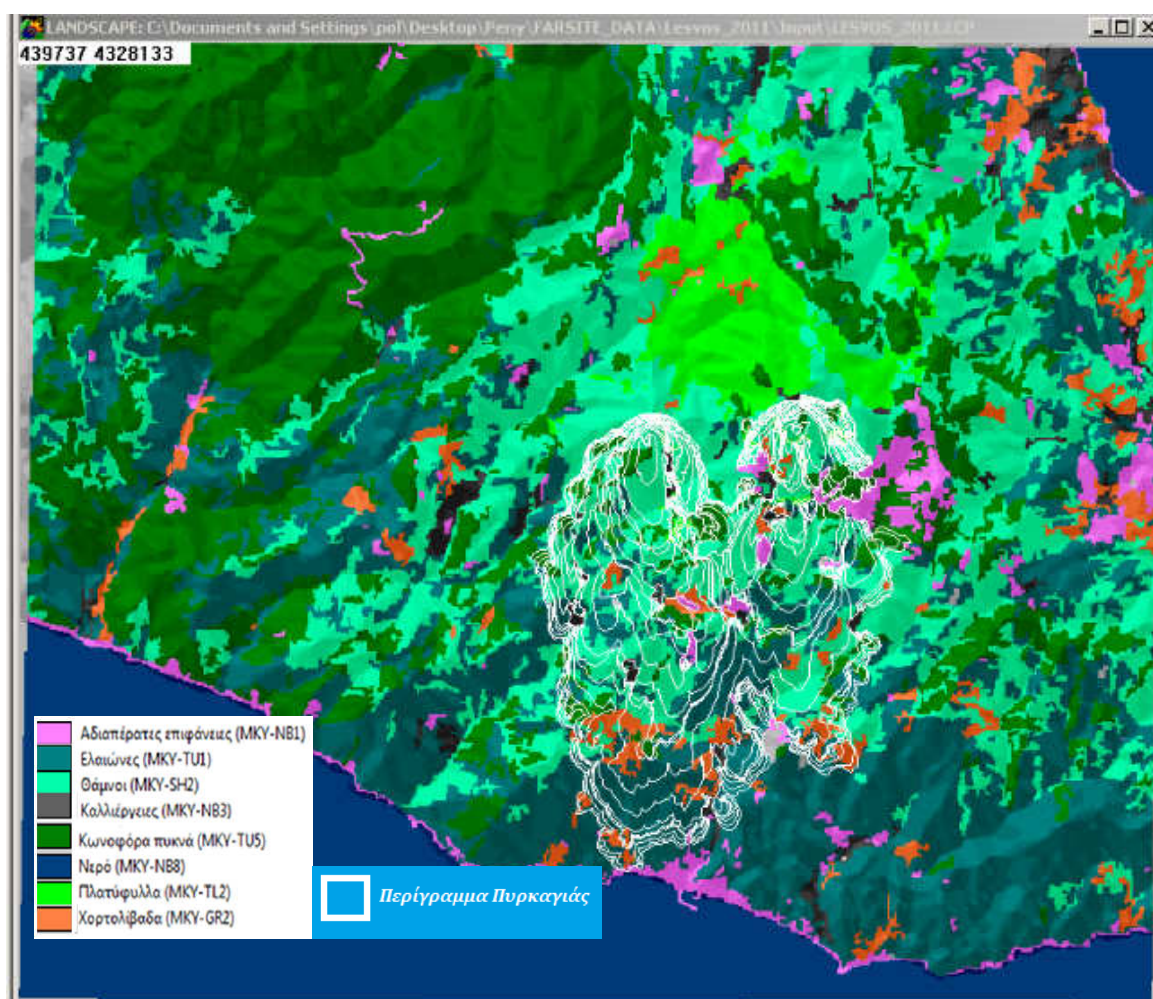
Το αποτέλεσμα αυτό προέκυψε, καθώς κατά την προσομοίωση δεν λήφθηκαν υπόψη ορισμένα χωρικά ψηφιακά δεδομένα. Με βάση την χαρακτηριστική καμπύλη που έχει το σχήμα της πραγματικής πυρκαγιάς, έγινε εισαγωγή εμποδίου προσεγγιστικά σε εκείνο το σημείο, θεωρώντας πως πρόκειται για την επέμβαση των πυροσβεστικών δυνάμεων.



Εικόνα 45: Σύγκριση αρχείου εξόδου προσομοίωσης από το Farsite με ψηφιοποιημένη περιοχή που κήκε σύμφωνα με τον Π.Παλαιολόγου



Εικόνα 46: Αρχείο εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης πυρκαγιάς με το ένα σημείο ανάφλεξης στην περιοχή Μεγαλοχώρι (παλιό λατομείο), 2011



Εικόνα 47: Αρχείο εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης πυρκαγιάς με τα δύο σημεία ανάφλεξης μήκος της διαδρομής από το χωριό Μεγαλοχώρι μέχρι την περιοχή Σκοτεινό, 2011

## 9. Συμπεράσματα – Προοπτικές

### *Συμπεράσματα*

---

- ✓ Η χρήση της τηλεπισκόπησης και των δορυφορικών εικόνων αδιαμφισβήτητα συμβάλουν σε σημαντικές ενέργειες πρόληψης, ενημέρωσης και καταστολής των δασικών πυρκαγιών.
- ✓ Η επεξεργασία δορυφορικών εικόνων σε συνδυασμό με επιτόπια έρευνα και δειγματοληψία στην περιοχή μελέτης αυξάνει την ποιότητα της χαρτογράφησης της καύσιμης ύλης με αποτελέσματα μεγάλης ακριβείας.
- ✓ Με την αντικειμενοστρεφή ανάλυση επιτεύχθηκε ο στόχος δημιουργίας χάρτη καύσιμης ύλης.
- ✓ Το λογισμικό Farsite είναι εργαλείο προσομοίωσης δασικών πυρκαγιών το οποίο μπορεί να συμβάλει τόσο στην πρόληψη όσο και στην πιο αποτελεσματική κατάσβεση της πυρκαγιάς.

### *Προοπτικές*

---

- ✓ Θα ήταν σκόπιμο να πραγματοποιηθούν δοκιμές για τη χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης με εικόνες του νέου δορυφόρου Sentinel 2 της ευρωπαϊκής διαστημικής υπηρεσίας (ESA) αλλά και του Landsat 8, με τις οποίες πιθανότατα θα επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια λόγω της καλύτερης χωρικής αλλά και φασματικής ανάλυσης τους από τον Landsat TM.
- ✓ Το Farsite θα πρέπει να μελετηθεί σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια, ίσως σε μια άλλη διπλωματική, και να αξιοποιηθεί κατάλληλα από τις αρμόδιες υπηρεσίες.



## Βιβλιογραφία

### *Ελληνική βιβλιογραφία*

---

Αργιαλάς Δ., 1999: «Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση», Διδακτικές Σημειώσεις ΣΑΤΜ, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1999.

Αργιαλάς Δ. και Τζώτσος Α, 2007: «Αντικειμενοστρεφής Ανάλυση Εικόνας στην Τηλεπισκόπηση. Θεωρία και Εφαρμογές», ΤΕΕ: Τηλεπισκόπηση Εξελίξεις και Εφαρμογές.

Αργιαλάς Δ. και Τζωτσος Α., 2002: « Η συμβολή του eCognition στην χαρτογράφηση γεομορφολοικών σχηματισμών από ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΕΜΠ Αθήνα, 28 Φεβρουαρίου και 1 Μαρτίου., CD-ROM πρακτικών συνεδρίου, σελ. 15.

Βεσκούκης Β. κ.α, 2010: «ΕΓΚΑΙΡΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ», Ε.Μ.Π, Πυρκαγιές, Έγκαιρη ειδοποίηση, Σχεδιασμός, Επιθεώρηση.

Δερζέκος Π. και Αργιαλάς Δ., 2002: «Διερεύνηση της χρήσης Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης Δεδομένων IKONOS για την μελέτη του Αστικού Πρασίνου., Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΕΜΠ Αθήνα, 28 Φεβρουαρίου και 1 Μαρτίου., CD-ROM πρακτικών συνεδρίου, σελ. 15.

Καλαμποκίδης Κ., Ρούσσου Ο., κ.α, 2004: «Χωρική Μοντελοποίηση Καύσιμης Ύλης και Συμπεριφοράς Πυρκαγιάς τοπίου». Πρακτικά Συνεδρίου, Τομος 1, Μυτιλήνη 2004

Καρτάλης Κ. και Φείδας Χ. 2006: «Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης», Εκδόσεις Γκιούρδας, Αθήνα

Κολοπτάς Ε.,2013: «Η αντικειμενοστρεφή ανάλυση τηλεπισκοπικών εικόνων στην μελέτη θεμάτων του περιβάλλοντος».

Κούτσιας Ν, Καρτέρης Μ και Καλαμποκίδης, 2001: «Χωρική πολυμεταβλητή εκτίμηση μακροπρόθεσμης δασικής πυρο-επικινδυνότητας σε εθνική γεωγραφική κλίμακα», Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Τόμος ΜΑ/1998.

Κωτσόπουλος Κ., Αργιαλάς Δ., Κασσιός Κ., 2005: «ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΠΙΟΥ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ».

Λάσπα Β., 2010: «Κόστος παραγωγής και εμπορίας αγροτικών προϊόντων θερμοκηπίου Τρικάλων».

Μιχαηλίδου Ε., 2001: «Χρήση Τηλεπισκοπικών μεθόδων και ανάπτυξη βάσης γνώσης για εφαρμογή στη Γεωργία. Μελέτη περίπτωσης πεδιάδας της Μεσσαράς».

Μιχελάκης Δ., Viergener K., Stuart N., 2008: «Χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας IKONOS και αντικειμενοστρεφών μεθόδων για την αυτοματοποίηση ταξινόμησης δασών χαμηλής πυκνότητας».

Μερτίκας Σ., 1999: «Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

Ξανθόπουλος Γ., και Μανασή Μ., 2001: «Μεθοδολογία δημιουργίας μοντέλων καύσιμης ύλης για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών». Πρακτικά 9ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, "Προστασία φυσικού περιβάλλοντος και αποκατάσταση διαταραγμένων περιοχών", 17-20 Οκτωβρίου 2000, Κοζάνη. Ελληνική Δασολογική Εταιρία, Θεσσαλονίκη. Σελ. 541-549.

Παλαιολόγου Π., κ.α, 2011: «Ανάλυση μεταπυρικής φυσικής αναγέννησης μεσογειακού δάσους στο νησιωτικό ορεινό περιβάλλον της Λέσβου»

Παπαδημάτος Α., : "Βιώσιμη" και Αξιοβίωτη Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη στις ορεινές περιοχές της Ελλάδας και του κόσμου».

Παπαγεωργίου Μ., 2007: «Χαρτογράφηση Χρήσης και κάλυψης γης αγροτικής περιοχής της Πάφου με μεθόδους και τεχνικές αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης τηλεπισκοπικών δεδομένων Quickbird».

Ρούσσου Ν., 2009: «Χαρτογράφηση και Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση Καύσιμης Ύλης για Διαχείριση Πυρκαγιών με Χρήση Δορυφορικών Εικόνων Υψηλής Ανάλυσης και Εργαλείων Γεωπληροφορικής».

Σιδέρης Ε., 2014: «Ανάδειξη δικτύου εγκαταλελειμμένων οικισμών στο Πλωμάρι Λέσβου», Αρχιτεκτονικού Σχεδιασμού, Συνθέσεων τεχνολογικής Αιχμής

Τσαγκαρης Κ. κ.α, 2011: «Δασικές Πυρκαγιές Ελλάδος 1983-2008», WWF-HELLAS

Τσιπλακίδης Ι., 2013: «Δημιουργία χάρτη εκτίμησης κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς για την ευτερη περιοχή του ΝΣ». Ε.Μ.Π, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Διπλωματική εργασία

Φώτη Ε., 2011: «ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΧΡΗΣΕΩΝ / ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ ΣΕ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΤΗΣΕΩΝ», Ε.Μ.Π, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Διπλωματική εργασία



Ψῆμος Β., 2007: «Γεωγραφικῶν Πληροφορικῶν Συστῆματα:Εφαρμογῶν στη Μελέτη των Πυρκαγιῶν» ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ, ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, Διπλωματική εργασία

WWF Ελλάς, 2003: «Το δάσος είναι υπόθεση ὅλων μας – ἡ σιωπὴ μας εἶναι συνενοχὴ». Θέση του WWF Ελλάς για τὰ δάση καὶ τὶς δασικὲς ἐκτάσεις.

### *Ξενόγλωσση βιβλιογραφία*

---

Agee J.K., 1993: «Fire Ecology of Pacific Northwest forests», Island Press. Washington, D.C.

Andrews, P.L., Chase C.H., 1989: «BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system», BURN subsystem, part 2. Gen. Tech. Rep. INT-260. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 93 p.

Andrews P.L., 1986: «BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modelling system». Burn subsystem, Part1 U.S.D.A. Forest Service, General Technical Report INT-260.

Andrews P.L., Bevins C.D, and. Seli. R.C, 2003: «Behave Plus fire modeling system user's Guide», version 2.0., USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-106WWW.

Burgan R. E., and. Rothermel R. C, 1984: «BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system», Intermountain Research Station, Gen. Tech. Rep. INT- 167. Ogden, Utah. 126 p.

Chou Y.H., 1992: «Management of wildfires with a geographical information system». International Journal of Geographical Information Systems: 123-140

Chuvieco, E., and Salas J., 1996: «Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS». International Journal of Geographical Information Systems: 333-345.

Definiens, 2000 καὶ 2001: eCognition User Guide, Munchen

Finney, M.A., 2004: «FARSITE: Fire Area Simulator—model development and evaluation». Res. Pap. RMRS-RP-4 (revised). USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.

Johnson, Paul S., Godman, Richard M., 1983: «Precommercial thinning oak, basswood, and red maple sprout clumps». In: Stier, Jeffrey C., eds. Silviculture of established stands in north central forests Proceedings. Bethesda, MD: Society of American Foresters: SAF Publ. pages: 124-129.

Kazanis D. and Arianoutsou M., 1996: «Vegetation composition in a post-fire successional gradient of Pinus halepensis forests in Athens, Greece». *Int. J. Wildland Fire*, 6(2):89-91.

Kozlowski T.T. and C.E Ahlgren, 1974: «Fire and Ecosystems». Academic Press, New York, USA

Lamson, N. I., 1988: «Precommercial thinning and pruning of Appalachian stump sprouts – 10 years results». *Southern-Journal-of-Applied-Forestry.*: 23-27 12 ref.

Naveh Z., 1974: «Effects of fire in the Mediterranean region. Fire and ecosystems». In: T.T. Kozlowski and C.E. Ahlgren, (eds). Academic Press, N.Y., pp. 401-434.

Pyne S.J., Andrews P.L, and. Laven R.D, 1996: «Introduction to Wildland Fire», second edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Rothermel R.C., 1972: «A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels». USDA Forest Service, General Technical Report INT-115.

Rothermel R.C., 1991: «Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains». USDA Forest Service Research Paper INT- 438.

Roussou O., Papakonstantinou A., Kalabokidis K., Soulakellis N., 2008: « 3D Geo-visualization of Mediterranean shrubs in different spatial scales». International Conference: Studying, Modeling and Sense Making Of Planet Earth. 1-6 June, Department of Geography, University of the Aegean, Mytilene, Lesvos, Greece

Sarris A., Maniadakis M., Lazaridou O., Kalogrias V., Bariotakis M., Pirintsos S., 2007: «Studying Land Use Patterns in Crete Island, Greece, Through a Time Sequence of Landsat Images and Mapping Vegetation Patterns».

Stroempl, G., 1983: «Thinning clumps of northern hardwood stump sprouts to produce high quality timber». In: *Forest Res. Inf. Paper*. Maple, Ontario: Canadian Ministry of Natural Resources

Thanos C., 1999: «Fire effects on forest vegetation, the case of Mediterranean pine forests in Greece». In: G. Eftichidis, P. Balabanis and A. Ghazi. *Wildfire Management*.