

# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ-ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕ  
ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΧΩΡΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΜΠΑΧΛΑΒΑ

Επιβλέπων : Δημήτριος Αργιαλάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, 2011



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Τομέα Τοπογραφίας, όπου και εκπονήθηκε μέσα στο πλαίσιο των προβλεπόμενων εκπαιδευτικών διαδικασιών που αφορούν στους τελειόφοιτους σπουδαστές της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Αθηνών.

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η πρόγνωση επικινδυνότητας πυρκαγιών για την Ελλάδα, μέσω χάρτη επικινδυνότητας που κατασκευάστηκε με χρήση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης τηλεπισκοπικών και χαρτογραφικών δεδομένων. Το θέμα εξετάστηκε από διαφορετικές σκοπιές με μελέτη διάφορων μοντέλων πρόγνωσης μέχρι να καταλήξουμε σε αυτό που θεωρήσαμε καταλληλότερο για την εν' λόγω εφαρμογή και αφού το διατυπώσαμε προσπαθήσαμε να το υλοποιήσουμε.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής.

Ευχαριστώ τον Κύριο Αργιαλά Δημήτρη, Καθηγητή Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό, για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για τη συστηματική καθοδήγηση που μου παρείχε και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε μέσω των παραδόσεων του μαθήματος της Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης.

Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Πολ Κολοκούση, που χωρίς τη βοήθεια του πάνω σε τεχνικά θέματα και όχι μόνο, η εκπόνηση αυτής της μελέτης δεν θα ήταν εφικτή.

Σημαντική ήταν η βοήθεια των ιθυνόντων του συστήματος Ποσειδών Αναστάσιου Παπαδόπουλου και Δημήτριου Γεωργόπουλου, οι οποίοι αφού μετέτρεψαν και μας παρείχαν τις προβλέψεις των καιρικών μεταβλητών σε μορφή αξιοποιήσιμη από το μοντέλο εν συνεχεία φρόντισαν και για την ενημέρωση μας πάνω σε αυτές, θα ήθελα λοιπόν να τους ευχαριστήσω θερμά για αυτό.

Τέλος, ευχαριστώ την Κατερίνα Φραγκεδάκη για την πολύτιμη βοήθεια της.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	15
3.1 ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ.....	15
3.1.1 ΟΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΩΣ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ.....	15
3.1.2 ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ.....	16
3.1.3 ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.....	17
3.1.4 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.....	18
3.2 ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	20
3.2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	20
3.2.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΦΩΤΙΕΣ.....	20
3.3 MODIS.....	21
3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	21
3.3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ MODIS.....	22
3.3.3 ΠΡΟΙΟΝΤΑ MODIS.....	24
3.3.3.1 ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ-CALIBRATION .....	24
3.3.3.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ-ATMOSPHERE.....	24
3.3.3.1 ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΓΗΣ-LAND.....	25
3.3.3.2 ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΚΡΥΟΣΦΑΙΡΑΣ-CRYOSPHERE.....	25
3.3.3.3 ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΩΚΕΑΝΩΝ-OCEAN.....	25
3.3.4 ΕΡΓΑΛΕΙΑ Modis Reprojection tool(MRT) ΚΑΙ MRT Swath.....	26
3.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΙΣ ΦΩΤΙΕΣ.....	26
3.4.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	26
3.4.1.1 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ.....	27
3.4.1.2 ΑΝΕΜΟΣ.....	27
3.4.1.3 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	27
3.4.1.4 ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ.....	28
3.4.2 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	28
3.4.2.1 ΥΨΟΜΕΤΡΟ.....	29
3.4.2.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ.....	29
3.4.2.3 ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	29
3.4.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ .....	29
3.4.4 Η ΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ).....	29
3.4.5 Η ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΒΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....	30
3.4.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ .....	30
3.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ eCognition.....	30
3.6 CORINE LAND COVER.....	33
3.6.1 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ CORINE LAND COVER.....	36
3.7 ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (NDVI).....	37
3.7.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	37
3.7.2 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI ΩΣ ΠΡΟΙΟΝ MODIS.....	37
3.8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΣΕΙΔΩΝ.....	38
3.8.1 ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	39
3.8.2 ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	40
3.8.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ .....	40
3.8.4 ΠΡΟΙΟΝ - ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΑΙΡΟΥ .....	41
3.9 ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΑΣΙΚΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.....	44
3.9.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	44

3.9.2 ΜΟΝΤΕΛΟ 1° – FIRE POTENTIAL INDEX (FPI).....	44
3.9.2.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	45
3.9.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ .....	45
3.9.2.2.1 ΥΓΡΑΣΙΑ ΝΕΚΡΗΣ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΞΑΛΕΙΨΗΣ .....	45
3.9.2.2.2 ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΖΩΝΤΑΝΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ .....	46
3.9.3 ΜΟΝΤΕΛΟ 2° -FIRE WEATHER INDEX (FWI).....	47
3.9.4 ΜΟΝΤΕΛΟ 3°- FIRE RISK INDEX.....	50
3.9.4.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΩΝ .....	50
3.9.4.1.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	50
3.9.4.1.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ.....	50
3.9.4.1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....	51
3.9.4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ.....	51
3.9.4.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (TDI).....	51
3.9.4.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (WDI).....	51
3.9.4.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (FDI).....	52
3.9.4.2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (FRI).....	52
3.9.5 ΜΟΝΤΕΛΟ 4° -WILDFIRE RISK INDEX.....	52
3.9.5.1 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ FHI .....	53
3.9.5.1.1 ΤΥΠΟΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ.....	53
3.9.5.1.2 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	54
3.9.5.1.3 ΕΓΓΥΤΗΤΑ ΣΕ ΔΡΟΜΟΥΣ.....	54
3.9.5.1.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΕΙΚΤΗ FHI.....	54
3.9.5.2 Mc Arthur FDI.....	56
3.9.5.2.1 ΑΝΕΜΟΣ.....	57
3.9.5.2.2 ΥΓΡΑΣΙΑ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ.....	57
3.9.5.2.3 FDI.....	58
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	59
4.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	59
4.2 ΕΠΙΛΕΧΘΕΝ ΜΟΝΤΕΛΟ .....	61
4.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	61
4.3.1 MODIS ΕΙΚΟΝΕΣ .....	61
4.3.2 ΕΙΔΗ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ .....	62
4.3.3 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	63
4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	64
4.4.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ FHI.....	64
4.4.1.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	64
4.4.1.1.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	64
4.4.1.1.2 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	66
4.4.1.1.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ -NDVI.....	70
4.4.1.1.4 ΕΓΓΥΤΗΤΑ ΣΕ ΔΡΟΜΟΥΣ.....	74
4.4.1.1.5 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΕΙΔΩΝ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ .....	77
4.4.1.2 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ FHI ΣΤΟ eCognition.....	78
4.4.1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ.....	78
4.4.1.2.2 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	79
4.4.1.2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΡΩΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΧΑΡΤΗΣ ΕΓΓΥΤΗΤΑΣ ΔΡΟΜΩΝ).....	80
4.4.1.2.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΧΑΡΤΗΣ ΚΛΙΣΕΩΝ).....	82
4.4.1.2.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΡΙΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΩΝ) .....	85
4.4.1.2.6 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΕΤΑΡΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΧΑΡΤΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ).....	88

4.4.1.2.7 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΕΜΠΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΧΑΡΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΕΙΔΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ).....	91
4.4.1.2.8 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΚΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΤΕΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ "FHI" ).....	96
4.4.1.2.9 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ.....	101
4.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ FDI.....	108
4.4.2.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	108
4.4.2.2 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ FDI ΣΤΟ eCognition.....	109
4.4.2.2.1 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΒΔΟΜΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ.....	109
4.4.2.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΒΔΟΜΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ.....	109
4.4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ.....	113
4.4.3.1 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ FHI-FDI.....	113
4.4.3.2 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ ΟΓΔΟΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ.....	114
5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	117
5.1 ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ FHI.....	117
5.1.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΤΗ.....	117
5.1.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ.....	119
5.1.2.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ ΤΟΥ 2007.....	120
5.1.2.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ ΤΟΥ 2008.....	123
5.1.2.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ ΤΟΥ 2009.....	125
5.1.3 ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΙΚΤΗ FHI.....	127
5.2 ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ FDI.....	127
5.2.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΤΗ.....	127
5.2.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ.....	129
5.2.3 ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΙΚΤΗ FDI.....	131
5.3 ΤΕΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ.....	131
5.3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΤΗ.....	131
5.3.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ.....	133
5.3.3 ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ.....	133
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	135
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	135
6.2 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	136
7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	137
7.1 ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ-ΒΙΒΛΙΑ.....	137
7.2 ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.....	138

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Οι δασικές πυρκαγιές ως καταστροφικό φαινόμενο.....	15
Εικόνα 2: Εναέρια κατάσβεση πυρκαγιάς.....	17
Εικόνα 3: Επίγεια κατάσβεση πυρκαγιάς.....	17
Εικόνα 4: Χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς της Πολιτικής Προστασίας.....	19
Εικόνα 5: Δορυφορική εικόνα φωτιάς στην Αυστραλία.....	21
Εικόνα 6: Η επίδραση της θερμοκρασίας στη φωτιά.....	28
Εικόνα 7: Τα στάδια της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης στο eCognition.....	32
Εικόνα 8: Οι κατηγορίες του Corine 2000 για την Πελοπόννησο.....	34
Εικόνα 9: Το προϊόν του Modis MOD13A2 - ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI.....	38
Εικόνα 10: Χάρτης πρόγνωσης ανέμου του συστήματος Ποσειδών για τις 28/1/2010.....	42

Εικόνα 11: Χάρτης πρόγνωσης θερμοκρασίας συστήματος Ποσειδών για τις 28/1/2010.....	43
Εικόνα 12: Χάρτης επικινδυνότητας Ευρώπης του συστήματος EFFIS.....	48
Εικόνα 13: Φωτιές στην Ελλάδα .....	59
Εικόνα 14: Πυρκαγιά λόγω οικιστικής δραστηριότητας σε δασική περιοχή.....	60
Εικόνα 15: Ο χάρτης του Corine 2000 με τις χρήσεις γης των κατηγοριών 2 και 3 του πρώτου επιπέδου.....	62
Εικόνα 16: Χάρτης DEM με τα υψόμετρα της επιφάνειας της Ελλάδος.....	63
Εικόνα 17: Η γεωμετρική διόρθωση στο MRT Swath.....	65
Εικόνα 18: Αρχείο παραμέτρων διόρθωσης της απεικόνισης Modis (09/05/2010).....	66
Εικόνα 19: Άνοιγμα του αρχείου DEM των υψομέτρων από το Er Mapper.....	66
Εικόνα 20: Το DEM των υψομέτρων.....	67
Εικόνα 21: Εφαρμογή φίλτρου "slope" στο Er Mapper.....	68
Εικόνα 22: Η κλίση μετά την εφαρμογή του φίλτρου.....	68
Εικόνα 23: Εφαρμογή φίλτρου "aspect" στο Er Mapper.....	69
Εικόνα 24: Ο προσανατολισμός μετά την εφαρμογή του φίλτρου.....	69
Εικόνα 25: Κατασκευή NDVI στο e Cognition.....	71
Εικόνα 26: Ο δείκτης NDVI της Ελλάδος στις 9/05/2010 (129/2010).....	71
Εικόνα 27: Ο δείκτης NDVI της Ελλάδος στις 27/05/2010 (147/2010).....	72
Εικόνα 28: Ο δείκτης NDVI ενός μέρους της Εύβοιας στις 9/05/2010 (129/2010).....	72
Εικόνα 29: Ο δείκτης NDVI ενός μέρους της Εύβοιας στις 27/05/2010 (147/2010).....	72
Εικόνα 30: Ο μέγιστος NDVI του μέρους της Εύβοιας για τις 9/05/2010 και 27/05/2010 .....	73
Εικόνα 31: Ο μέγιστος NDVI της Ελλάδος των ημερών 9/05/2010 και 27/05/2010.....	73
Εικόνα 32: Ιστόγραμμα απεικόνισης NDVI στο eCognition.....	74
Εικόνα 33: Ο χάρτης των δρόμων της Ελλάδας στο Arc Map.....	75
Εικόνα 34: Εφαρμογή εργαλείου ευκλείδειας απόστασης στον χάρτη των δρόμων.....	76
Εικόνα 35: Χάρτης εγγύτητας δρόμων από το Arc Map.....	76
Εικόνα 36: Δημιουργία νέου Project στο eCognition με εισαγωγή δεδομένων.....	78
Εικόνα 37: Η κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης των 6 επιπέδων.....	79
Εικόνα 38: Εγγύτα σε δρόμους (0-50μ).....	80
Εικόνα 39: "εντός εγγύτητας"- Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής Z .....	81
Εικόνα 40: "εκτός εγγύτητας"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής S .....	81
Εικόνα 41: "Εγγύτητα"-Συνάρτηση συμμετοχής μορφής Π.....	81
Εικόνα 42: Χάρτης εγγύτητας δρόμων της Ελλάδος σε δύο κατηγορίες με βάση την επίδραση τους σε καύση.....	82
Εικόνα 43: Κλίσεις Ελληνικού εδάφους από 10-40%.....	83
Εικόνα 44: "μέση κλίση"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής.....	84
Εικόνα 45: "χαμηλή κλίση"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής Z .....	84
Εικόνα 46: "υψηλή κλίση"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής S .....	84
Εικόνα 47: Χάρτης κλίσεων της Ελλάδος σε τρεις κατηγορίες με βάση την επίδραση τους στην καύση.....	85
Εικόνα 48: Νοτιοανατολικοί προσανατολισμοί της Ελλάδος (90-180).....	86
Εικόνα 49: Ασαφής τελεστής OR.....	87
Εικόνα 50: "Βόρειος προσανατολισμός"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής (2) .....	87
Εικόνα 51: "Βόρειος προσανατολισμός"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής (1) .....	87
Εικόνα 52: "Νοτιοανατολικός προσανατολισμός"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής .....	87
Εικόνα 53: "Νοτιοδυτικός προσανατολισμός"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής .....	87



Εικόνα 54: Χάρτης προσανατολισμών της Ελλάδος σε 3 κατηγορίες με βάση την επίδραση τους στη καύση.....	88
Εικόνα 55: Τα υψόμετρα της Ελλάδος από 0 έως 400μ. ....	89
Εικόνα 56: "χαμηλό υψόμετρο"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής Z.....	90
Εικόνα 57: "υψηλό υψόμετρο"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής S.....	90
Εικόνα 58: Χάρτης υψομέτρων Ελλάδος σε δύο κατηγορίες με βάση την επίδραση τους στην καύση.....	90
Εικόνα 59: Περιοχές με πυκνή βλάστηση στην Ελλάδα βάσει NDVI (για τιμές δείκτη μεγαλύτερες από 160).....	91
Εικόνα 60: "μέση πυκνότητα"-Ασαφής συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής.....	92
Εικόνα 61: "χαμηλή πυκνότητα"-Ασαφής συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής.....	92
Εικόνα 62: "καθόλου βλάστηση"-Ασαφής συνάρτηση μορφής S.....	92
Εικόνα 63: "υψηλή πυκνότητα"-Ασαφής συνάρτηση μορφής S.....	92
Εικόνα 64: Χάρτης πυκνότητας βλάστησης της Ελλάδος σε τρεις κατηγορίες με βάση τις τιμές του NDVI .....	93
Εικόνα 65: Οι εκτάσεις "μικτού δάσους" με βάση το Corine.....	94
Εικόνα 66: Περιγραφή συμπληρωματικής κατηγορίας "άλλα".....	95
Εικόνα 67: Ιεραρχία κατηγοριών πέμπτου επιπέδου.....	95
Εικόνα 68: "αραιοί θάμνοι"-Συνάρτηση συμμετοχής.....	95
Εικόνα 69: Χάρτης ειδών βλάστησης με βάση την πυκνότητα τους για τον Ελλαδικό χώρο.....	96
Εικόνα 70: Ο δείκτης FHI-CUSTOMIZED FEATURE.....	98
Εικόνα 71: "νερό"-Συνάρτηση συμμετοχής .....	98
Εικόνα 72: Περιγραφή συμπληρωματικής κατηγορίας "ξηρά".....	98
Εικόνα 73: Οι 8 συναρτήσεις συμμετοχής συνδεδεμένες με ασαφή τελεστη οι-"FHI".....	99
Εικόνα 74: Περιγραφή συμπληρωματικής κατηγορίας-"no FHI".....	99
Εικόνα 75: Συνάρτηση συμμετοχής-"Medium FHI".....	100
Εικόνα 76: Συνάρτηση συμμετοχής- "Low FHI".....	100
Εικόνα 77: Συνάρτηση συμμετοχής-"High FHI".....	100
Εικόνα 78: Ιεραρχία κατηγοριών έκτου επιπέδου.....	100
Εικόνα 79: Χάρτης της Ελλάδος με βάση τον δείκτη FHI σε τρεις κατηγορίες τιμών του.....	101
Εικόνα 80: Δείκτης FDI -"Customized feature".....	110
Εικόνα 81: "fdi"-Συνάρτηση συμμετοχής.....	111
Εικόνα 82: "no fdi"-Συνάρτηση συμμετοχής.....	111
Εικόνα 83: "low fdi"-Συνάρτηση συμμετοχής.....	112
Εικόνα 84: "medium fdi"-Συνάρτηση συμμετοχής.....	112
Εικόνα 85: "high fdi"-Συνάρτηση συμμετοχής.....	112
Εικόνα 86: Χάρτης πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς βάσει του FDI για τις 2/08/2010.....	113
Εικόνα 87: Χάρτης πρόβλεψης επικινδυνότητας του τελικού μοντέλου για τις 2/08/2010.....	115
Εικόνα 88: Τελικός χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιών του Ελλαδικού χώρου με βάση τον δείκτη FHI για το 2010.....	118
Εικόνα 89: Χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιών της Ελλάδος βάσει του FHI για το 2007.....	122
Εικόνα 90: Χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιών της Ελλάδος βάσει του FHI για το 2008.....	124
Εικόνα 91: Χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιών της Ελλάδος βάσει του FHI για το 2009.....	126
Εικόνα 92: Χάρτης πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς βάσει του FDI για τις 2/08/2010.....	128
Εικόνα 93: Χάρτης πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς FDI στις 2/08/2010.....	129
Εικόνα 94: Χάρτης πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς FDI στις 4/08/2010.....	130
Εικόνα 95: Τελικός χάρτης πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς του μοντέλου για τις 2/8/2010.....	132

## Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά δορυφορικού συστήματος Modis.....	22
Πίνακας 2: Κανάλια δορυφορικού συστήματος Modis.....	23
Πίνακας 3: Οι κατηγορίες του Corine Land Cover.....	36
Πίνακας 4: Διάγραμμα κατασκευής FWI.....	49
Πίνακας 5: Διάγραμμα διαφορετικών προσεγγίσεων του FHI.....	53
Πίνακας 6: Βαθμονόμηση μεταβλητών του FHI.....	56
Πίνακας 7: Τα είδη των καύσιμων υλών και η αντίδραση τους στην καύση .....	77
Πίνακας 8: Ορισμός κατηγοριών-υποκατηγοριών επίπεδων 1 και 2 της ταξινόμησης.....	102
Πίνακας 9: Ορισμός κατηγοριών-υποκατηγοριών επίπεδων 3 και 4 της ταξινόμησης.....	103
Πίνακας 10: Ορισμός κατηγοριών-υποκατηγοριών επιπέδου 5 της ταξινόμησης.....	104
Πίνακας 11: Ορισμός κατηγοριών-υποκατηγοριών επιπέδου 6 της ταξινόμησης.....	105
Πίνακας 12: Συνδυασμοί κατηγοριών επικινδυνότητας των δεικτών FHI και FDI.....	115
Πίνακας 13: Υπόμνημα χάρτη επικινδυνότητας -FHI.....	118
Πίνακας 14: Οι σημαντικότερες πυρκαγιές του 2007 .....	121
Πίνακας 15: Οι σημαντικότερες πυρκαγιές του 2008.....	123
Πίνακας 16: Οι σημαντικότερες πυρκαγιές του 2009.....	125
Πίνακας 17: Υπόμνημα χάρτη πρόβλεψης κινδύνου FDI.....	128
Πίνακας 18: Υπόμνημα τελικού χάρτη επικινδυνότητας του μοντέλου.....	132

# 1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην διπλωματική αυτή εργασία έγινε προσπάθεια διατύπωσης και εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου μοντέλου πρόγνωσης του κινδύνου των δασικών πυρκαγιών, για ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο, με την σύμπραξη τόσο τηλεπισκοπικών όσο και χαρτογραφικών δεδομένων. Σκοπός ήταν να δημιουργηθεί, μέσω αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας, ένας θεματικός χάρτης κινδύνου πυρκαγιάς που θα ανανεώνεται καθημερινά, κατά τους θερινούς μήνες και θα βοηθά στην πρόληψη της φυσικής αυτής καταστροφής.

Από την έρευνα που έγινε στο πλαίσιο της εργασίας αυτής για τα μοντέλα πρόγνωσης δασικών πυρκαγιών συμπεραίνουμε ότι το θέμα της πρόγνωσης του κινδύνου πυρκαγιάς είναι αρκετά πολύπλοκο και μπορεί να εξεταστεί από διαφορετικές σκοπιές. Για τον λόγο αυτό και τα μοντέλα πρόγνωσης του κινδύνου αυτού, που έχουν διατυπωθεί από διάφορους επιστήμονες και στα οποία έγινε αναφορά στην βιβλιογραφική ανασκόπηση, παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, τόσο όσο αφορά τα δεδομένα που χρησιμοποιούν αλλά και όσο αφορά την κλίμακα της περιοχής που βρίσκουν εφαρμογή.

Στην συνέχεια από τα μοντέλα, που διατυπώθηκαν, το ένα επιλέχθηκε για την εφαρμογή αυτή με περιοχή μελέτης ολόκληρη την Ελλάδα. Οι λόγοι που επιλέχθηκε ήταν η πλήρη γνώση των μεταβλητών των δεικτών του και η διαπιστωμένη εγκυρότητα των δεικτών αυτών, από προγενέστερες εφαρμογές σε περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά με την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Το μοντέλο αποτελεί ουσιαστικά τον συνδυασμό δύο δεικτών, του δείκτη επικινδυνότητας FHI (Fire Hazard Index) που δηλώνει το πώς θα αντιδράσει η περιοχή σε πιθανή καύση και του FDI (Fire Danger Index) που αντιπροσωπεύει την πιθανότητα εκδήλωσης της. Οι μακροπρόθεσμες μεταβλητές που συμμετέχουν στον υπολογισμό του πρώτου είναι οι τοπογραφικές μεταβλητές (υψόμετρο, προσανατολισμός και κλίση), τα είδη των καύσιμων υλών με την πυκνότητα βλάστησης τους και η εγγύτητα στου δρόμους. Ενώ οι βραχυπρόθεσμες μεταβλητές του δεύτερου είναι τα καιρικά δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας.

Το στάδιο της εφαρμογής του μοντέλου περιελάμβανε την υλοποίηση των δεικτών σε περιβάλλον προγράμματος αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (eCognition) σε πρώτη φάση και τον συνδυασμό τους στην συνέχεια.

Τα δεδομένα που εισάγαμε για την υλοποίηση του FHI ήταν τηλεπισκοπικά και χαρτογραφικά. Στα τηλεπισκοπικά περιλαμβάνονται απεικονίσεις του Μαΐου, από το δορυφορικό σύστημα Modis, αφού πρώτα διορθώθηκαν γεωμετρικά, με στόχο τον υπολογισμό της μέγιστης τιμής του κανονικοποιημένου δείκτη πυκνότητας βλάστησης NDVI σε ορίζοντα έτους. Στα χαρτογραφικά περιλαμβάνονται οι χρήσεις γης του Corine Land Cover 2000 που παρουσιάζουν ικανότητα στην καύση, το DEM αρχείο με την απεικόνιση του υψομέτρου της επιφάνειας της χώρας, μέσω του οποίου και με χρήση κατάλληλων φίλτρων στο Er Mapper υπολογίστηκαν και οι άλλες δύο τοπογραφικές μεταβλητές του προσανατολισμού και της κλίσης καθώς και θεματικός χάρτης των δρόμων από τον οποίο με χρήση του Arc Map υπολογίσαμε την μεταβλητή της εγγύτητας. Εισάγοντας λοιπόν τα παραπάνω δεδομένα και δημιουργώντας τα κατάλληλα επίπεδα κατάτμησης παίρνουμε σαν τελικό προϊόν, της ταξινόμησης των τιμών του δείκτη, ένα θεματικό χάρτη επικινδυνότητας πυρκαγιάς.

Τα δεδομένα που εισάγαμε για την υλοποίηση του δείκτη FDI ήταν οι προβλέψεις των μεταβλητών της ταχύτητας του ανέμου, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας από το σύστημα Ποσειδών. Τα δεδομένα αυτά αφού τα λάβαμε σε μορφή υπολογιστικών φύλλων τα μετατρέψαμε μέσω του Er Mapper σε απεικονίσεις των τιμών των μεταβλητών. Σε ένα νέο επίπεδο κατάτμησης

του eCognition αφού εισάγαμε τα νέα αυτά κανάλια υπολογίσαμε τον δείκτη και ταξινομήσαμε τα αντικείμενα βάσει των τιμών αυτού.

Τέλος ολοκληρώσαμε την εφαρμογή του μοντέλου σε ένα τελικό επίπεδο κατάτμησης με συνδυασμό των δύο δεικτών που κατασκευάσαμε στα προηγούμενα επίπεδα. Τελικό αποτέλεσμα ήταν ο χάρτης πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς για όλη την Ελλάδα, βάσει του διατυπωμένου μοντέλου.

Μετά την ολοκλήρωση της εφαρμογής ακολούθησε η αξιολόγηση τόσο του τελικού μοντέλου όσο και των επιμέρους δεικτών του. Η αξιολόγηση έγινε μέσω σύμπτωσης των χαρτών επικινδυνότητας των δεικτών αλλά και του τελικού χάρτη πρόγνωσης με γνωστά περιστατικά πυρκαγιών. Τα αποτελέσματα που εμφάνισε ήταν σχετικά καλά αλλά, λόγω έλλειψης δεδομένων, η έκταση της δεν ήταν ικανή για να κρίνουμε επαρκώς την καταλληλότητα του μοντέλου στην πρόγνωση κινδύνου πυρκαγιών της Ελλάδος.

Η διπλωματική αυτή δίνει τέλος προοπτικές για πλήρη αξιολόγηση της καταλληλότητας του μοντέλου στην Ελλάδα. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει αφού ανακτήσουμε ικανό αριθμό καιρικών προβλέψεων να κατασκευάσουμε αντίστοιχους χάρτες πρόγνωσης κινδύνου και να αξιολογήσουμε ένα μεγαλύτερο σύνολο περιστατικών πυρκαγιάς.

## **ABSTRACT**

In this thesis there has been an effort to formulate and apply an integrated model that can forecast the danger of manifestation and the hazard of fire extension for the entire Hellenic region. That can be accomplished with the collaboration of remote sensing and cartographic data, in order to create -through an object-oriented image analysis approach-a thematic map of fire danger, that will be renewed daily within the summer months and will help to prevent this natural disaster.

From the research that has been done -in the frame work of this thesis- on the models that can predict forest fires, we come to the conclusion that the subject of fire danger forecast is complicated enough and can be examined from different angles. That is why the models that predict this danger, which have been formulated by various scientists and have been reported in the bibliographic review, show important differences amongst them, regarding the data being used as well as the scale of the area, where they are being applied.

Then, one of the models, that were formulated, was chosen for this application, within whole of Greece being the study area. The reasons it was chosen were the full knowledge of the variables of its indexes and the ascertained validity of those indexes, from previous applications in regions with similar characteristics with the specific study area. The model is actually the combination of two indexes, the Fire Hazard Index (FHI) that states how the area will react to a possible burn and the Fire Danger Index (FDI), that represents the possibility of its manifestation. The long terms variables, that participate in the calculation of the first index are the topographic variables (elevation, aspect and slope), the kinds of flammable materials with their germination density and the proximity to roads. The short terms variables of the second index are the weather data of the wind speed, the temperature and the relative humidity.

The stage of the model application included the materialization of the indexes in a program of object-oriented image analysis (eCognition) at first and their combination afterwards.

The data we introduced for application of FHI were remote sensing and cartographic. In the remote sensing data we included images, of the month May, from the satellite system Modis, after they were corrected geometrical in order to calculate the highest values of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in one year. In the cartographic data we included the land uses of the Corine Land Cover 2000, which are flammable, the DEM data with the surface elevation of the country, through which-and with the use of suitable filters in Er Mapper- we calculated the other two topographic variables and finally the theme map of the roads, from whom -with use of the Arc Map- we calculated the proximity variable. With those data being introduced and with the suitable division segmentation levels being created, we get a theme map of fire hazard, as a final product of ordering the values of the index.

The data we introduced for the implementation of the FDI index were the forecasts of the wind speed, the temperature and the relative humidity variables from the Poseidon system. After we received those data in an excel format , we turned them into representations of the variable's values, through the ErMapper. On a new level of eCognition segmentation, after introducing those new channels, we calculated the index and classified the objects, based on his value.

Finally, we concluded the model application on a final segmentation level with the combination of the two indexes we built on the previous levels. As a final result we got a fire danger forecast map for the whole Greece, based upon the formulated model.

After the application integration we evaluated the final model as well as its' component indexes. The evaluation was realized through the coincidence of the index's hazard map and the final forecast map with known fire incidents. The results showed were relatively good but, due to lack of data, the evaluation was not enough to sufficiently judge the model fitness in forecasting Greece's fire danger.

Conclusively, this study gives potentials for full evaluation of the model's fitness in Greece. For that to happen, we have to construct fire danger forecast maps, after regaining a sufficient number of weather forecasts maps and evaluate a bigger total of fire incidents.



## 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η πρόγνωση επικινδυνότητας πυρκαγιάς μέσω κατάλληλων θεματικών χαρτών. Οι χάρτες αυτοί επικινδυνότητας δεν είναι κάτι νέο, εδώ και πολλά χρόνια παγκοσμίως κατασκευάζονται αυτοί οι χάρτες στα πλαίσια της ανάγκης του ανθρώπου να προβλέψει, ώστε να αντιμετωπίσει, την φυσική αυτή καταστροφή. Οι χάρτες αυτοί βασίζονται σε μια πλειάδα διαφορετικών επιστημονικών μοντέλων, οι οποίες προσεγγίζουν το φαινόμενο της πυρκαγιάς αξιολογώντας διαφορετικά το είδος και την σημασία των παραγόντων που επηρεάζουν την πυρκαγιά.

Κρίνεται σκόπιμο να πούμε ότι δεν είναι εφικτή μια αυθαίρετη σύγκριση δύο διαφορετικών μοντέλων καθώς το καθένα πιθανόν δημιουργήθηκε για διαφορετικό σκοπό και με βάση τα δεδομένα που κάθε φορά ήταν διαθέσιμα. Έτσι η σύγκριση μπορεί να γίνει μόνο προς την καταλληλότητα που παρουσιάζει το μοντέλο για μια συγκεκριμένη εφαρμογή (συγκεκριμένη περιοχή μελέτης και συγκεκριμένα διαθέσιμα δεδομένα) και όχι προς την γενική αξιοπιστία του.

Ένας βασικός παράγοντας που συντέλεσε στην ανάπτυξη των συστημάτων πρόβλεψης ήταν η αλματώδη άνθηση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Με πολλούς δορυφόρους πια σε τροχιά γύρω από τη γη είναι διαθέσιμα καθημερινά τηλεπισκοπικά δεδομένα διαφορετικών διακριτικών αναλύσεων για ολόκληρη την επιφάνεια της γης. Παράλληλα παρουσιάστηκαν νεότερα και πιο ευέλικτα προγράμματα για την διαχείριση των δεδομένων αυτών.

Η χώρα μας ως μεσογειακή χώρα παρουσιάζει κάθε χρόνο πολλές, τόσο σε αριθμό όσο και έκταση πυρκαγιές, με δραματικά σε πολλές περιπτώσεις αποτελέσματα που μετατρέπουν, ένα κατά τα άλλα σύνθηες φυσικό φαινόμενο, σε εθνική συμφωρά με ανθρώπινα θύματα και τεράστιες περιβαλλοντικές καταστροφές. Το γεγονός αυτό κάνει απαραίτητη την ανάπτυξη τετοιών συστημάτων πρόβλεψης. Ο φορέας που έχει αναλάβει την ενημέρωση των πολιτών και την έκδοση χαρτών επικινδυνότητας είναι η Πολιτική Προστασία. Η Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας στα πλαίσια των προσπαθειών για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών, κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου, εκδίδει ημερήσιο δελτίο πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιών, υπό μορφή θεματικού χάρτη στον οποίο απεικονίζονται 5 επίπεδα κινδύνου πυρκαγιάς, όπως αυτά εκτιμώνται στα διάφορα γεωγραφικά διαμερίσματα της χώρας μας. Το μέτρο αυτό οδηγεί στην άμεση λήψη πρόσθετων μέτρων πρόληψης και ετοιμότητας από τους φορείς που εμπλέκονται στην αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών, καθώς και στην αποφυγή άσκοπων επιφυλακών.

Επομένως σαν τελικό στόχο η εργασία είχε την δημιουργία ενός αντίστοιχου χάρτη πρόληψης με αυτόν της πολιτικής προστασίας με βάση όμως ένα διαφορετικό μοντέλο επικινδυνότητας. Έτσι ένα μεγάλο μέρος αυτής ήταν η έρευνα γύρω από τα διαθέσιμα μοντέλα, η αξιολόγηση τους και η επιλογή του κατά την γνώμη μας καταλληλότερου για την εφαρμογή αυτή.

Τα εργαλεία για να πετύχουμε τον σκοπό αυτό ήταν οι απεικονίσεις των δορυφόρων TERRA και AQUA του συστήματος MODIS της NASA, το λογισμικό αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού eCognition, οι κατηγορίες (χρήσεις) γης του συστήματος CORINE LAND COVER, τοπογραφικά δεδομένα DEM της επιφάνειας της Ελληνικής επικράτειας, αρχείο με ψηφιοποιημένο τον οδικό δίκτυο της χώρας και τέλος προβλέψεις καιρικών μεταβλητών από το σύστημα Ποσειδών. Τα σημαντικότερα όμως εργαλεία ήταν τα ίδια τα διατυπωμένα μοντέλα επιστημονικών ομάδων που έχουν ήδη εφαρμοστεί, για όλα αυτά γίνεται εκτενής αναφορά στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.





## 3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 3.1 ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

#### 3.1.1 ΟΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΩΣ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μέρος της οικολογίας των δασικών οικοσυστημάτων της χώρας μας και είναι φαινόμενο σύνθετο που ακολουθεί τους νόμους της φύσης. Η πλήρης εξάλειψη των δασικών πυρκαγιών, είναι αδύνατη και αποτελεί ουτοπία έστω και αν υπήρχε ο πιο τέλειος αντιπυρικός σχεδιασμός.

Οι δασικές πυρκαγιές, με τη δημιουργία τοπίων καταστροφής επηρεάζουν αρνητικά την ανθρώπινη ψυχολογία και έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες, γιατί συμβάλουν στη σταδιακή ερημοποίηση των πληγέντων περιοχών.

Έχει διαπιστωθεί ότι οι δασικές πυρκαγιές μπορεί να συμβάλουν θετικά στη φυσική ανανέωση και αύξηση της βιοποικιλότητας των δασικών οικοσυστημάτων και αρνητικά, προκαλώντας την πλήρη υποβάθμιση τους, όταν οι πυρκαγιές είναι επαναλαμβανόμενες σε μικρά σχετικά χρονικά διαστήματα στον αυτό τόπο.

Ο κύκλος υποβάθμισης των δασών ξεκινά με τις πρώτες πυρκαγιές που αρχικά οδηγούν στη μετατροπή τους σε θαμνότοπους και συνεχιζόμενος ανεξέλεγκτα, οδηγεί σύντομα στην τέλεια υποβάθμιση της παραγωγικής ικανότητας του τόπου, με τελική κατάληξη την ερημοποίηση.

Όσον αφορά στην Ελλάδα οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μία από τις σημαντικότερες φυσικές καταστροφές σε ένα κατεξοχήν πυριγενές φυσικό περιβάλλον από άποψη κλίματος και βλάστησης και αν και αποτελεί αναπόσπαστη διαταραχή στα μεσογειακά οικοσυστήματα επηρεάζει σημαντικά τις επιμέρους λειτουργίες και πολλαπλές χρήσεις του δάσους και ασκεί καθοριστικές επιδράσεις στο φυσικό κύκλο διαδοχής της βλάστησης, καθώς και στη λειτουργία και δομή των φυσικών οικοσυστημάτων .



*Εικόνα 1: Οι δασικές πυρκαγιές ως καταστροφικό φαινόμενο*

Είναι εύλογη λοιπόν η ανησυχία που υπάρχει και η σημασία που δίνεται στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών, με δεδομένο μάλιστα ότι περισσότερο από το 10% της έκτασης της χώρας μας καλύπτεται σήμερα από άγονες και βραχώδεις εκτάσεις, γεγονός οφειλόμενο κατά μεγάλο μέρος στην επανάληψη του κύκλου των πυρκαγιών.

### **3.1.2 ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ**

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα φυσικό φαινόμενο που εντάσσεται στην κατηγορία των φυσικών καταστροφών.

Η διαχείριση κάθε φυσικής καταστροφής έχει σαν βασικό στοιχείο τον προκαταστατικό σχεδιασμό και τη λήψη προληπτικών μέτρων, έτσι ώστε όταν συμβεί το φαινόμενο να μπορεί να εκτονωθεί μέσα από τα μέτρα και τις υποδομές του προκαταστατικού σχεδιασμού και η συμπεριφορά του να μην ξεπεράσει τα όρια του μηχανισμού καταστολής.

Η πρόληψη των δασικών πυρκαγιών αποτελεί τον ιδεώδη στόχο της αντιπυρικής προστασίας του δασικού και γενικότερα φυσικού περιβάλλοντος. Ο στόχος αυτός επιδιώκεται μέσα από την άρση των αιτίων που άμεσα ή έμμεσα προκαλούν τις δασικές πυρκαγιές.

Είναι γνωστό ότι οι δασικές πυρκαγιές μπορεί να προκληθούν από φυσικά αιτία (π.χ. κεραυνοί) ή από ανθρώπινες δραστηριότητες (κάψιμο σκουπιδιών, υπολείμματα καλλιεργειών, κλπ.). Στην Ελλάδα, ο κίνδυνος εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς από ανθρώπινες δραστηριότητες έχει διαπιστωθεί ότι είναι μεγάλος.

Αναλύοντας στατιστικά τις αιτίες πρόκλησης δασικών πυρκαγιών στη χώρα μας διαπιστώνουμε ότι το 35% των πυρκαγιών οφείλεται σε αμέλεια (κακός υπολογισμός στις καύσεις για καθαρισμούς, βραχυκυκλώματα γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος, ανεξέλεγκτοι χώροι καύσης απορριμμάτων, παραλείψεις ή λάθη εκδρομών κλπ). Ένα μικρότερο ποσοστό περιπτώσεων περίπου 20% οφείλεται σε κακόβουλες ενέργειες και το υπόλοιπο 45% που καταγράφεται σε άγνωστα αιτία κατανέμεται αναλόγως ανάμεσα στην αμέλεια και την πρόθεση. Συνεπώς, εφόσον το μεγαλύτερο ποσοστό των πυρκαγιών οφείλεται σε αμέλεια, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην ενημέρωση και κινητοποίηση των πολιτών για τον κίνδυνο πρόκλησης πυρκαγιάς από αμέλεια.

Η ανθρώπινη παρέμβαση πάνω στις δασικές πυρκαγιές μπορεί να διαχωριστεί σε τρία βασικά στάδια. Σε πρώτη φάση πριν την εκδήλωση φωτιάς προσπαθούμε να δημιουργήσουμε μοντέλα πρόβλεψης ώστε να ενισχύσουμε τις πυροσβεστικές δυνάμεις σε περιοχές που παρουσιάζουν μεγάλη επικινδυνότητα. Σε δεύτερη φάση κατά την διάρκεια της προσπαθούμε να δημιουργήσουμε σχέδια δράσης για την καταστολή μιας πυρκαγιάς που έχει ξεσπάσει. Ενώ σε τελική φάση μετά την εκδήλωση της και αναφέρεται στις προσπάθειες για προστασία (κήρυξη της ως αναδασωτέα) και αποκατάσταση (δενδροφύτευση) της καμένης περιοχής. Η συγκεκριμένη εργασία αναφέρεται στο πρώτο στάδιο αυτό της πρόβλεψης και συνδέεται άμεσα με τον όρο του κινδύνου που θα αναπτυχθεί στην συνέχεια.



Εικόνα 2: Εναέρια κατάσβεση πυρκαγιάς



Εικόνα 3: Επίγεια κατάσβεση πυρκαγιάς

### 3.1.3 ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Ο όρος «κίνδυνος πυρκαγιάς» είναι αρκετά σύνθετος και χρησιμοποιείται για να εκφράσει μια εκτίμηση σχετικά με:

- Την ευκολία ανάφλεξης.
- Το ρυθμό εξάπλωσης.
- Τη δυσκολία έλεγχου.
- Τις επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς.

Η πιθανότητα για έναρξη μιας πυρκαγιάς ως αποτέλεσμα της παρουσίας και δράσης των γεννεσιουργών αυτής αιτίων ορίζεται ως επικινδυνότητα.

Η επικινδυνότητα μεταβάλεται σε κάθε περιοχή κατά τη διάρκεια του έτους εξαρτώμενη από την ύπαρξη φυσικών ή ανθρωπογενών αιτίων σε συνδιασμό με την ευφλεκτικότητα της καύσιμης δασικής ύλης. Η ευφλεκτικότητα αυτή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της καύσιμης δασικής ύλης και τις καιρικές συνθήκες που επιδρούν σε αυτή.

Η γνώση της επικινδυνότητας είναι ένα από τα βασικά στοιχεία που απαιτούνται για την εκτίμηση του συνολικού κινδύνου πυρκαγιάς σε μία περιοχή.

Η αποφασιστικότερη παράμετρος για τον έγκαιρο έλεγχο μιας πυρκαγιάς και την εν συνεχεία κατάσβεση της είναι ο χρόνος, ο οποίος παρέρχεται από την στιγμή της έναρξης μιας πυρκαγιάς μέχρι τη στιγμή της επέμβασης των πυροσβεστικών δυνάμεων.

Η εγκατάσταση παρατηρητηρίων (πυροφυλάκεια) μέσα στο δάσος με σκοπό την άμεση αναγγελία της πυρκαγιάς θα μπορούσε να δώσει λύση στο πρόβλημα, πλην όμως δεν αποτελεί ολοκληρωμένη λύση, δεδομένου ότι η αναγγελία γίνεται μετά την εκδήλωση της. Οι δυνάμεις καταστολής έχουν το βασικό πλεονέκτημα μόνο όταν γνωρίζουν σε ποια περιοχή υπάρχει η μεγαλύτερη πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς, ώστε να μετακινηθούν εκ των προτέρων προς αυτήν, με σκοπό να επέμβουν άμεσα.

Ειδικότερα για την Ελλάδα, εάν λάβουμε υπόψη ότι ο συνολικός χώρος που λαμβάνουν χώρα οι πυρκαγιές καλύπτει το 80 % της συνολικής έκτασής της, τότε η παρουσία ενός συστήματος πρόβλεψης – εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιάς κρίνεται επιβεβλημένη.

Για να θεωρηθεί συνεπώς ο αντιπυρικός σχεδιασμός στη χώρα μας ολοκληρωμένος, πρέπει να περιλαμβάνει και ένα σύστημα που να εκτιμά αντικειμενικά τον κίνδυνο και αναλύει το σύνολο των παραγόντων που επηρεάζουν και καθορίζουν χρονικά την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς σε μια περιοχή, με σκοπό την άμεση επέμβαση. Η πρόβλεψη αυτή κατά την διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου αποτελεί στρατηγικό εργαλείο προληπτικού σχεδιασμού και οργάνωσης του αντιπυρικού αγώνα που έχει σαν σκοπό:

- Τη συγκριτική αντιμετώπιση των δασικών οικοσυστημάτων μιας χώρας, σε δεδομένη χρονική στιγμή, ανάλογα με τον κίνδυνο πυρκαγιάς που διατρέχουν.
- Την υποστήριξη της διοίκησης στη λήψη αποφάσεων.
- Την ενημέρωση των πολιτών για τον κίνδυνο με σκοπό την αποφυγή πρόκλησης πυρκαγιάς από αμέλεια.

Η εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς σε καμία περίπτωση δεν προβλέπει την συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς που εξελίσσεται σε πραγματικό χρόνο.

### **3.1.4 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ**

Οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία κατατάσσονται σε κλιματολογικές, μορφολογίας εδάφους, χαρακτηριστικών βλαστήσεως και σε κινδύνους που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες (αμέλεια, εμπρησμοί κλπ) και φυσικά αίτια (κεραυνοί).

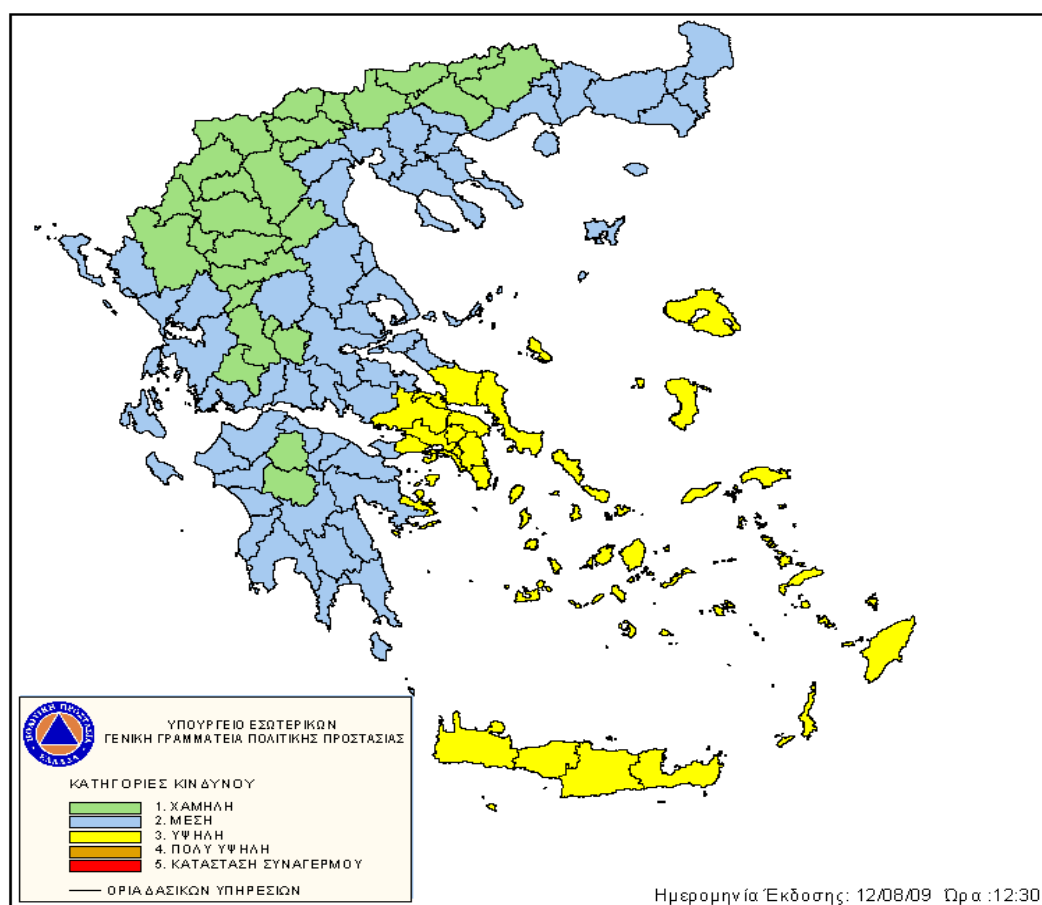
Λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου των πυρκαγιών και της συμμετοχής πολλών παραγόντων σε αυτό που ορίζουμε σαν κίνδυνο πυρκαγιάς, μεθοδολογικά έχει υιοθετηθεί η ανάπτυξη συστήματος δεικτών και όχι ενός μόνο δείκτη, με επικρατούσα προσέγγιση την ακολουθούμενη από τα Αμερικανικά συστήματα εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιάς (Ηνωμένων Πολιτειών - NFDRS και Καναδά - NFFDRS) προσαρμοσμένη στις ιδιαιτερότητες της κάθε χώρας.

Βασική επιδίωξη των συστημάτων προσδιορισμού κινδύνου πυρκαγιάς είναι η δυνατότητα παρουσίασης των προβλέψεων με τη μορφή θεματικού χάρτη που απεικονίζει τον κίνδυνο, όπως αυτός εκτιμάται στα διάφορα γεωγραφικά διαμερίσματα μίας χώρας.

Η παρουσίαση των στοιχείων σε μορφή χάρτη, έχει σαν σκοπό τη συγκριτική αντιμετώπιση των διαφόρων περιοχών που απεικονίζονται.

Ο χάρτης κινδύνου πυρκαγιάς συντάσσεται συνήθως σε ψηφιακή μορφή και μπορεί να αναβαθμίζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (καθημερινά).

#### ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΠΟΥ ΙΣΧΥΕΙ ΓΙΑ Πέμπτη 13/08/09



Εικόνα 4: Χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς της Πολιτικής Προστασίας

Για τη σύνταξη των χαρτών αυτών λαμβάνονται κυρίως υπόψη οι προβλέψεις των σχετικών με τις πυρκαγιές καιρικών φαινομένων για το επόμενο 24ωρο, η κατάσταση της βλάστησης καθώς και κάθε άλλη διαθέσιμη πληροφορία που συμβάλει στον προσδιορισμό της επικινδυνότητας μιας περιοχής σε δεδομένη χρονική στιγμή. Η ακρίβεια του χάρτη εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια των μετεωρολογικών προβλέψεων.

Επισημαίνεται ότι η κατάσταση της βλάστησης, ως στοιχείο, συμβάλει στη συνολικότερη εκτίμηση όσον αφορά τον κίνδυνο πυρκαγιάς και χαρακτηρίζεται από μη συνεχή μεταβολή, αντίθετα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που μεταβάλλονται συνεχώς σε ημερήσια βάση. (Ιστοσελίδα Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας : <http://www.gscp.gr>)

## **3.2 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ**

### **3.2.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Η παρατήρηση της γης από το διάστημα αποτελεί, τα τελευταία χρόνια, σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του περιβάλλοντος, την κατανόηση του παγκόσμιου κλίματος, καθώς και το σχεδιασμό και την υποστήριξη αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή (**Φείδας Χ. και Καρτάλης Κ, 2006**).

Ο όρος τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση (remote sensing) χρησιμοποιείται για την περιγραφή της διαδικασίας λήψης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μία περιοχή ή φαινόμενο, με τη χρήση ανιχνευτικών συσκευών που δεν βρίσκονται σε επαφή με το αντικείμενο παρατήρησης. Οι φωτογραφίες από αέρος, οι δορυφορικές εικόνες και οι εικόνες από ραντάρ είναι διάφορες μορφές καταγραφής δεδομένων από απόσταση, με πιο χαρακτηριστικά και διαδεδομένα αυτά που προέρχονται από ανιχνευτές οι οποίοι φέρονται από δορυφόρους (δορυφορική τηλεπισκόπηση).

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση, για την μελέτη της γης, άρχισε τη δεκαετία του 1960, όταν οι τεχνικές δυνατότητες των δορυφόρων συνέκλιναν με τη ραγδαία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων. Η ραγδαία ανάπτυξη της δορυφορικής τηλεπισκόπησης τις δυο τελευταίες δεκαετίες σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους εκτόξευσης των δορυφορικών συστημάτων, διαχείρισης και επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων, οδήγησε με ταχύ ρυθμό στην πλήρη επικράτηση της έναντι των άλλων μορφών τηλεπισκόπησης (π.χ. αεροφωτογραφίες).

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση μπορεί να συνεισφέρει σε πλήθος εφαρμογών όπως στη γεωλογία, στη σεισμολογία, στη δασολογία, στη γεωργία, στην υδρολογία, στην τοπογραφία, στη μετεωρολογία, στη μελέτη της ατμόσφαιρας και του κλίματος, στην ωκεανογραφία, κ.ά. Έτσι τα περισσότερα από τα παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα μπορούν να μελετώνται και να παρακολουθούνται από δορυφόρους.

Αρκετές από τις προηγούμενες εφαρμογές αποτελούν φαινόμενα μεγάλης κλίμακας για τη μελέτη των οποίων η χρήση δορυφορικών συστημάτων αποτελεί πρόσφορη μέθοδο καθώς έχουν δυνατότητες που δεν διαθέτει καμία άλλη τεχνολογία, ιδίως σε ότι αφορά στην κάλυψη ολόκληρου του πλανήτη, στη χρήση διάφορων περιοχών του φάσματος και στη συχνή μέτρηση παραμέτρων σε περιοχές που συχνά είναι απρόσιτες για άλλα μέσα. Παράλληλα η δορυφορική τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για τη μελέτη φαινομένων περιορισμένης χωρικής κλίμακας, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα τις αλλαγές στο αστικό περιβάλλον.

### **3.2.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΦΩΤΙΕΣ**

Ένας ακόμα τομέας που η χρήση δορυφορικών εικόνων βρίσκει μεγάλη αποδοχή είναι αυτός της καταπολέμησης των πυρκαγιών. Η χρήση τους κρίνεται σκόπιμη στα δύο βασικά στάδια που αναφέραμε παραπάνω.

Σε πρώτη φάση κατά το στάδιο της πρόβλεψης χρησιμοποιούνται ως πρωταρχικά δεδομένα για την σύνταξη των χαρτών επικινδυνότητας φωτιάς. Ενώ παράλληλα ορισμένοι δορυφόροι μας δίνουν σε μορφή δορυφορικών απεικονίσεων προϊόντα όπως υγρασία βλάστησης και αέρα, πυκνότητα βλάστησης ακόμα και καιρικές μεταβλητές που είναι απαραίτητες στην δημιουργία των μοντέλων πρόβλεψης. Βέβαια ο δορυφόρος που θα χρησιμοποιηθεί για λήψη, η κλίμακα των απεικονίσεων, τα κανάλια που θα συμμετέχουν αλλά και η πιθανή χρήση των προϊόντων που

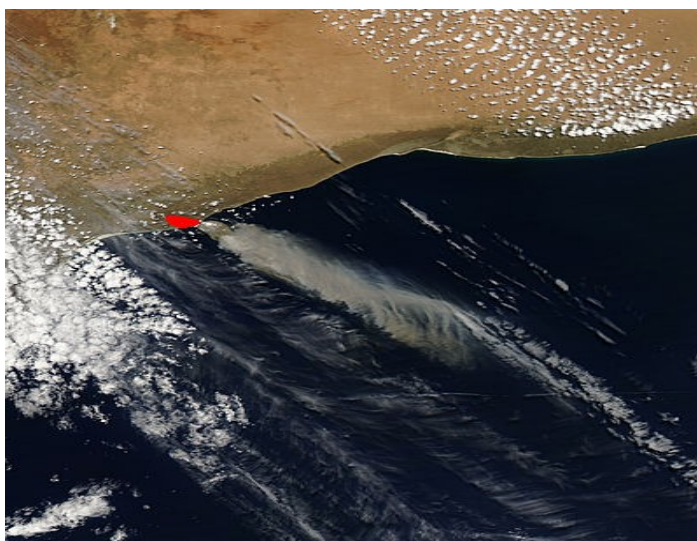


προαναφέραμε όλα αυτά εξαρτώνται από την μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την εξαγωγή του δείκτη επικινδυνότητας (Καρτέρης Μ. κ.ά., 2007).

Σε δεύτερη τώρα φάση (στο μετά της φωτιάς) η χρήση έγκειται σε δυο στάδια. Πρώτον η καταγραφή των περιοχών που επλήγησαν από τις δασικές πυρκαγιές, αναφορικά με την ακριβή θέση των σημείων έναρξης και της χαρτογράφησης και υπολογισμού της καμένης έκτασης. Δεύτερον η εκτίμηση των οικονομικών απωλειών, ο προσδιορισμός των οικολογικών διαταραχών, η χαρτογράφηση των αλλαγών χρήσεων/κάλυψης γης και τέλος η εκτίμηση μακροπρόθεσμων απωλειών.

Γενικά, τα δορυφορικά δεδομένα χρησιμεύουν ως μια γρήγορη και αξιόπιστη διαχειριστική πηγή συλλογής γενικών στατιστικών που αφορούν τις καμένες επιφάνειες. Ωστόσο το ποια δορυφορικά δεδομένα είναι τα πλέον κατάλληλα, εξαρτάται από την απαιτούμενη συχνότητα ή χρονικό διάστημα συλλογής δεδομένων, καθώς και από την κλίμακα του επιπέδου παρακολούθησης.

Τα δεδομένα με χαμηλή διακριτική ικανότητα (εικόνες NOAA) παρέχουν ένα συγκεκριμένο βαθμό γενικότητας, η οποία περιορίζει την χρησιμότητα αυτών, ειδικά στις περιπτώσεις πυρκαγιών μικρού μεγέθους ή όταν απαιτήσει μεγάλη ακρίβεια χαρτογράφησης. Αντίθετα, αν απαιτήται ο εντοπισμός, παρακολούθηση και λεπτομερής εκτίμηση και χαρτογράφηση των καμένων επιφανειών καθώς και άλλων στατιστικών σε μηνιαία βάση ή στο τέλος της αντιπυρικής περιόδου, τότε οι διαθέσιμοι υψηλής διακριτικής ικανότητας δορυφόροι (LANDSAT, SPOT) παρέχουν ικανοποιητική διαχρονική κάλυψη και χωρική λεπτομέρεια.



Εικόνα 5: Δορυφορική εικόνα φωτιάς στην Αυστραλία

### 3.3 MODIS

#### 3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην παρούσα εργασία οι δορυφορικές εικόνες και τα προϊόντα που θα χρησιμοποιηθούν, για την εφαρμογή του μοντέλου επικινδυνότητας πυρκαγιών και την εξαγωγή του κατάλληλου δείκτη, ανήκουν στους δορυφόρους Terra (EOS AM) και Aqua (EOS PM) του συστήματος MODIS, για τον λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να αναφέρουμε μερικές γενικές πληροφορίες για το σύστημα αυτό.

Ο MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) αποτελεί ένα βασικό σύστημα, που περιλαμβάνει τους δορυφόρους Terra (EOS AM) και Aqua (EOS PM). Η τροχιά του δορυφόρου Terra γύρω από τη γη έχει προγραμματιστεί έτσι ώστε να διέρχεται από Βορρά προς Νότο κατά πλάτος του Ισημερινού και κατά την διάρκεια του πρωινού, ενώ ο Aqua περνά από Νότο στον Βορρά πάνω από τον Ισημερινό κατά την διάρκεια του απογεύματος. Οι δύο αυτοί δορυφόροι παρατηρούν όλη την επιφάνεια της γης κάθε 1 έως 2 ημέρες, αποκτώντας δεδομένα σε 36 φασματικά κανάλια (ομάδες μηκών κύματος). Τα δεδομένα αυτά βελτιώνουν την κατανόηση μας για τις διαδικασίες που συμβαίνουν στη γη, στους ωκεανούς και στη κατώτερη ατμόσφαιρα. Το σύστημα MODIS παίζει ζωτικό ρόλο στην ανάπτυξη ενός επικυρωμένου, παγκόσμιου, διαδραστικού συστήματος γήινων μοντέλων που θα είναι σε θέση να προβλέψει με ακρίβεια παγκόσμιες αλλαγές αρκετές για να βοηθήσουν τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος μας (**Ιστοσελίδα Modis : <http://modis.gsfc.nasa.gov/>**).

Το σύστημα MODIS παρέχει υψηλή ραδιομετρική ευαισθησία (12 bit) σε 36 φασματικά κανάλια που εκτείνονται σε μήκος κύματος από 0,4 μm έως 14,4 μm. Διαθέτει δύο κανάλια με ονομαστική ανάλυση στα 250 μ., πέντε κανάλια στα 500 μ., και τα υπόλοιπα 29 κανάλια σε ανάλυση 1 km.

Το πρώτο μέσο πτήσης του MODIS, το ProtoFlight Model ή PFM, εντάχθηκε στο διαστημόπλοιο Terra (EOS AM-1), η λειτουργία του Terra ξεκίνησε στις 18 Δεκεμβρίου του 1999 ενώ το δεύτερο μέσο πτήσης του MODIS, το Flight Model 1 ή FM1, είναι ενταγμένο στο διαστημόπλοιο Aqua (EOS PM-1), η λειτουργία του ξεκίνησε με επιτυχία στις 4 Μαΐου του 2002. Τα δύο αυτά μέσα πτήσης του MODIS παρέχουν μια μοναδική ματιά στην επίγεια, ατμοσφαιρική και ωκεανολογική φαινομενολογία για μια ευρεία και ποικίλη κοινότητα χρηστών σε όλο τον κόσμο.

### 3.3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ MODIS

<b>Orbit:</b>	705 km, 10:30 a.m. descending node (Terra) or 1:30 p.m. ascending node (Aqua), sun-synchronous, near-polar, circular
<b>Scan Rate:</b>	20.3 rpm, cross track
<b>Swath</b>	2330 km (cross track) by 10 km (along track at nadir)
<b>Dimensions:</b>	
<b>Telescope:</b>	17.78 cm diam. off-axis, afocal (collimated), with intermediate field stop
<b>Size:</b>	1.0 x 1.6 x 1.0 m
<b>Weight:</b>	228.7 kg
<b>Power:</b>	162.5 W (single orbit average)
<b>Data Rate:</b>	10.6 Mbps (peak daytime); 6.1 Mbps (orbital average)
<b>Quantization:</b>	12 bits
<b>Spatial</b>	250 m (bands 1-2)
<b>Resolution:</b>	500 m (bands 3-7) 1000 m (bands 8-36)
<b>Design Life:</b>	6 years

*Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά δορυφορικού συστήματος Modis*



Primary Use	Band	Bandwidth <sup>1</sup>	Spectral Radiance <sup>2</sup>	Required SNR
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 - 670	21.8	128
	2	841 - 876	24.7	201
Land/Cloud/Aerosols Properties	3	459 - 479	35.3	243
	4	545 - 565	29.0	228
	5	1230 - 1250	5.4	74
	6	1628 - 1652	7.3	275
	7	2105 - 2155	1.0	110
Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	8	405 - 420	44.9	880
	9	438 - 448	41.9	838
	10	483 - 493	32.1	802
	11	526 - 536	27.9	754
	12	546 - 556	21.0	750
	13	662 - 672	9.5	910
	14	673 - 683	8.7	1087
	15	743 - 753	10.2	586
	16	862 - 877	6.2	516
Atmospheric Water Vapor	17	890 - 920	10.0	167
	18	931 - 941	3.6	57
	19	915 - 965	15.0	250
Atmospheric Temperature	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)	0.25
	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)	0.25
Cirrus Clouds Water Vapor	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)	0.25
	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)	0.25
Cloud Properties	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)	0.05
Ozone	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)	0.25
Surface/Cloud Temperature	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)	0.05
	32	11.770 - 12.270	8.94(300K)	0.05
Cloud Top Altitude	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)	0.25
	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)	0.35
<sup>1</sup> Bands 1 to 19 are in nm; Bands 20 to 36 are in $\mu\text{m}$ <sup>2</sup> Spectral Radiance values are ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}\cdot\text{sr}$ ) <sup>3</sup> SNR = Signal-to-noise ratio <sup>4</sup> NE( $\Delta$ )T = Noise-equivalent temperature difference  <b>Note:</b> Performance goal is 30-40% better than required				

Πίνακας 2: Κανάλια δορυφορικού συστήματος Modis

Οι πίνακες 1 και 2, με τα χαρακτηριστικά και τα κανάλια του δορυφορικού συστήματος Modis, έχουν αναρτηθεί στην ίδια την ιστοσελίδα του (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

### 3.3.3 ΠΡΟΙΟΝΤΑ MODIS

Υπάρχουν πολλά τυποποιημένα προϊόντα του δορυφορικού συστήματος MODIS, που χρησιμοποιούνται από επιστήμονες σε μελέτες που αφορούν τις παγκόσμιες αλλαγές. Αυτά τα προϊόντα χρησιμοποιούνται από επιστήμονες που ανήκουν σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της ωκεανογραφίας, της βιολογίας και της ατμοσφαιρικής επιστήμης. Έχουν δημιουργηθεί κάποιες βασικές κατηγορίες που περιλαμβάνουν τα 44 αυτά προϊόντα, με βάση το αντικείμενο στο οποίο βρίσκουν χρησιμότητα. Οι πληροφορίες σχετικά με τις κατηγορίες των προϊόντων αλλά και τα ίδια τα προϊόντα που ακολουθούν έχουν συλλεχθεί από την ιστοσελίδα (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

#### 3.3.3.1 ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ-CALIBRATION

Για την παραγωγή, αυτής της κατηγορίας των υψηλής ποιότητας προϊόντων βαθμονόμησης, υπεύθυνη είναι η ομάδα MCST (MODIS Characterization Support Team). Αυτά τα προϊόντα είναι πρόδρομος για κάθε προϊόν γεωφυσικών επιστημών. Η MCST εργάζεται για την Science Team Leader και είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη και διατήρηση του προϊόντος αναφοράς (αλγόριθμος L1B), την εκτέλεση των πτήσεων και την υποστήριξη του Instrument Systems Manager.

Το λογισμικό L1B μετατρέπει τα ανεπεξέργαστα δεδομένα σε βαθμονομημένα σε φυσικές μονάδες προϊόντα. Η ομάδα MCST ανέπτυξε τον L1B αλγόριθμο και όλες τις παραμέτρους, που είναι αναγκαίες για την εκτέλεση του κώδικα και διασφαλίζει την ποιότητα και συντελεί στον έλεγχο βελτίωσης του προϊόντος.

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα εξής προϊόντα :

- 1. MOD 01 - Level-1A Radiance Counts**
- 2. MOD 02 - Level-1B Calibrated Geo location Data Set**
- 3. MOD 03 - Geolocation Data Set**

#### 3.3.3.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ-ATMOSPHERE

Υπάρχουν έξι (επιπέδου-2) προϊόντα Ατμόσφαιρας, που συλλέγονται από τις δύο πλατφόρμες: την πλατφόρμα Terra και την πλατφόρμα Aqua. Σε κάθε προϊόν έχει ανατεθεί ένα 8-χαρακτήρων Earth Science Data Type (ESDT) όνομα, που αναφέρονται παρακάτω και το οποίο χρησιμοποιείται για την καταγραφή και αρχειοθέτηση των συνολικών δεδομένων. Τα επιπέδου-2 MODIS Atmosphere προϊόντα είναι :

- 1. MOD04\_L2 (Terra) and MYD04\_L2 (Aqua)-Aerosol Product**
- 2. MOD05\_L2 (Terra) and MYD05\_L2 (Aqua)-Water vapor Product**
- 3. MOD06\_L2 (Terra) and MYD06\_L2 (Aqua)-Cloud Product**
- 4. MOD07\_L2 (Terra) and MYD07\_L2 (Aqua)-Atmosphere Profile Product**
- 5. MOD35\_L2 (Terra) and MYD35\_L2 (Aqua)-Cloud Mask Product**
- 6. MODATML2 (Terra) and MYDATML2 (Aqua) Joint Atmosphere Product**

### **3.3.3.1 ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΓΗΣ-LAND**

Η παρακολούθηση της κάλυψης και των χρήσεων της γης είναι ένα σημαντικό στοιχείο της NASA Earth Science Enterprise. Το σύστημα MODIS παρέχει ένα μέσο για την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης, τον τύπο που καλύπτει την γη, την έκταση που καλύπτει το χιόνι, τη θερμοκρασία της επιφάνειας και την εμφάνιση πυρκαγιάς. Οι υψηλής ποιότητας, συνεπείς και καλά βαθμονομημένες δορυφορικές μετρήσεις είναι αναγκαίες, εάν θέλουμε να ανιχνεύσουμε και να παρακολουθήσουμε τις αλλαγές και τις τάσεις σε αυτές τις μεταβλητές. Τα προϊόντα είναι :

- 1. MOD 09 - Surface Reflectance, Atmospheric Correction Algorithm Products**
- 2. MOD 11 - Land Surface Temperature and Emissivity**
- 3. MOD 12 - Land Cover/Land Cover Change**
- 4. MOD 13 - Gridded Vegetation Indexes (NDVI & EVI)**
- 5. MOD 14 - Thermal Anomalies - Fires and Biomass Burning**
- 6. MOD 15 - Leaf Area Index (LAI) and Fractional Photosynthetically Active Radiation**
- 7. MOD 16 - Evapotranspiration**
- 8. MOD 17 - Vegetation Production, Net Primary Productivity (NPP)**
- 9. MOD 43 - Surface Reflectance BRDF/Albedo Parameter**
- 10. MOD 44 - Vegetation Cover Conversion**

### **3.3.3.2 ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΚΡΥΟΣΦΑΙΡΑΣ-CRYOSPHERE**

Η National Snow and Ice Data Center (NSIDC) αποκτά και διανέμει προϊόντα επιπέδου 2 και 3 για κάλυψη χιονιού και πάγου της θάλασσας, από τον Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) αισθητήρα που βρίσκεται στο σύστημα παρατήρησης της NASA (EOS) στους Aqua και Terra δορυφόρους. Τα προϊόντα είναι :

- 1. MOD 10 - Snow Cover**
- 2. MOD 29 - Sea Ice Cover**

### **3.3.3.3 ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΩΚΕΑΝΩΝ-OCEAN**

Τα προϊόντα, Ocean Color και Sea Surface Temperature (SST) του MODIS-Aqua (Επιπέδου-2 και Επιπέδου -3), υποβάλλονται σε επεξεργασία και διανέμονται από την Ocean Biology Processing Group (OBPG). Αυτά είναι :

- 1. MOD 18 - Normalized Water-leaving Radiance**
- 2. MOD 19 - Pigment Concentration**
- 3. MOD 20 - Chlorophyll Fluorescence**
- 4. MOD 21 - Chlorophyll\_a Pigment Concentration**
- 5. MOD 22 - Photosynthetically Available Radiation (PAR)**
- 6. MOD 23 - Suspended-Solids Concentration**
- 7. MOD 24 - Organic Matter Concentration**
- 8. MOD 25 - Coccolith Concentration**
- 9. MOD 26 - Ocean Water Attenuation Coefficient**

- 10. MOD 27 - Ocean Primary Productivity**
- 11. MOD 28 - Sea Surface Temperature**
- 12. MOD 36 - Total Absorption Coefficient**
- 13. MOD 37 - Ocean Aerosol Properties**
- 14. MOD 39 - Clean Water Epsilon**

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι τα προϊόντα αυτά, που διατίθενται δεν εκδίδονται όλα με ίδια περίοδο, κάποια για παράδειγμα παρουσιάζουν περίοδο 8 ημερών ενώ άλλα 16 ημερών, ενώ ακόμα και η διακριτική τους ικανότητα ποικίλει.

### **3.3.4 ΕΡΓΑΛΕΙΑ Modis Reprojection tool(MRT) ΚΑΙ MRT Swath**

Το εργαλείο Modis Reprojection tool (MRT) αναπτύχθηκε ως μια συνεργατική προσπάθεια μεταξύ των Land Processes DAAC, του USGS Center for Earth Resources Observation and Science (EROS) και του South Dakota School of Mines & Technology με σκοπό να υποστηρίξει προϊόντα της του συστήματος Modis. Τα προϊόντα αυτά είναι πλεγματικά HDF-EOS προϊόντα (Level-2G, Level-3, and Level-4 land data products) σε ημιτονοειδή προβολή. Το πρόβλημα του εργαλείου αυτού είναι ότι δεν υποστηρίζει χαμηλότερου επιπέδου λωρίδας HDF-EOS προϊόντα (Level-1 and Level-2 data products) για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε το εργαλείο MRT Swath.

Το νέο αυτό εργαλείο έχει την δυνατότητα να μετατρέπει τα MODIS level-2 προϊόντα της από HDF-EOS μορφής λωρίδας σε μια ενιαία πλεγματικά εικόνα που είναι γεωαναφερμένη με βάση την προβολή και παρόμοιες παραμέτρους που καθορίζονται από τον χρήστη. Το MRT Swath μπορεί να εκτελεστεί είτε από τη γραμμή εντολών είτε το MRTSwath Graphical User Interface (GUI) .Το (GUI) είναι βέβαια πιο εύκολος και φιλικός προς τον χρήστη τρόπος για να τρέξει το εργαλείο αλλά προσφέρει λιγότερες δυνατότητες .Το MRT Swath σχεδιάστηκε ειδικά για να φιλοξενεί προϊόντα προβολής LP DAAC MODIS swath, επομένως η επιτυχία του σε άλλους τύπους δεδομένων, όπως level-1B radiance data και κύρια ατμοσφαιρικά προϊόντα είναι τυχαία και δεν εγγυάται. Όλες οι προβολές απαιτούν και την συνεισφορά των αντίστοιχων Modis (level-1) αρχείων γεωαναφοράς.

## **3.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΙΣ ΦΩΤΙΕΣ**

### **3.4.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Οι μετεωρολογικές συνθήκες αποτελούν ένα από τους μεγαλύτερους και σπουδαιότερους παράγοντες για την έναρξη, την ένταση και την ταχύτητα εξάπλωσης της φωτιάς. Σπουδαίος μετεωρολογικός παράγοντας είναι ο άνεμος ο οποίος κατευθύνει ή αλλάζει τη διεύθυνση της πυρκαγιάς και ο οποίος δεν είναι στατικός αλλά δυναμικός γιατί μπορεί να μεταβάλλεται συνεχώς. Καθορίζει την ένταση της φωτιάς και αποτελεί την αιτία για απότομες αλλαγές, δίνες, στροβιλισμούς. Άλλος ένας μετεωρολογικός παράγοντας είναι η θερμοκρασία, η οποία επηρεάζει την σχετική υγρασία, την ατμοσφαιρική αστάθεια, τα κατακρημνίσματα (βροχές, χαλάζι κλπ) και τους ανέμους. Ο σημαντικότερος όμως από όλους αυτούς τους παράγοντες όσο αναφορά στην έναρξη και διάδοση των δασικών πυρκαγιών, είναι η περιεκτικότητα σε υγρασία της καύσιμης ύλης.

### **3.4.1.1 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ**

Οι υψηλές ποσότητες βροχόπτωσης βοηθούν σημαντικά στην ύγρανση της δασικής βλάστησης, αυξάνοντας έτσι την αντίσταση της στην έναρξη πυρκαγιάς. Τα μικρά ύψη βροχής και η μικρή διάρκεια αυτής δεν βοηθούν στην αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας της βλάστησης, διότι σε αυτές τις περιπτώσεις επέρχεται γρήγορα η ξήρανση της βλάστησης. Η περιεχόμενη υγρασία της βλάστησης εξαρτάται λοιπόν από την ποσότητα και την διάρκεια της βροχόπτωσης σε μια περιοχή. Πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από την ποσότητα και την διάρκεια της βροχόπτωσης, μεγάλη σημασία έχει η εποχή των βροχοπτώσεων, αλλά και οι καιρικές συνθήκες που ακολουθούν την βροχόπτωση. Στην Ελλάδα, τα καλοκαίρια συνήθως συνοδεύονται από ξηρασία και από υψηλές τιμές θερμοκρασίας, γεγονός που ευνοεί πολύ την έναρξη μίας πυρκαγιάς.

### **3.4.1.2 ΑΝΕΜΟΣ**

Το πώς επιδρά ο άνεμος στις δασικές πυρκαγιές εξαρτάται από δύο παράγοντες και αυτοί είναι, η ταχύτητα του και η κατεύθυνση του. Η ταχύτητα του ανέμου είναι ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας για την έναρξη μιας δασικής πυρκαγιάς. Αυτό γιατί κατά την ανάφλεξη, η διάδοση της πυρκαγιάς είναι στενά συνδεδεμένη στη δύναμη του ανέμου που υπάρχει στην επιφάνεια του εδάφους. Κατά την έναρξη μιας πυρκαγιάς, ο άνεμος είναι αυτός που δίνει το απαραίτητο οξυγόνο για την διατήρηση και εξάπλωση της πυρκαγιάς σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες κλίσεις του εδάφους στην περιοχή έναρξης. Ο μηχανισμός διάδοσης της πυρκαγιάς είναι παρόμοιος με το πώς επιδρά η κλίση του εδάφους στην εξάπλωση μιας πυρκαγιάς. Έτσι, με δεδομένο ότι η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει την παροχή του οξυγόνου, οι φλόγες μετακινούνται γρηγορότερα προς τις γειτονικές περιοχές, καθιστώντας αυτές θερμότερες και ξηρότερες. Ταυτόχρονα, η βιομάζα (καύτρες) που καίγεται μεταφέρεται με τον άνεμο δημιουργώντας ένα πρόσθετο πρόβλημα, καθώς μετατοπίζει την πυρκαγιά σε νέα σημεία, δημιουργώντας έτσι νέα μέτωπα και πυρκαγιές <<σημείων>>.

Η κατεύθυνση του ανέμου είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας γιατί καθορίζει την περιεκτικότητα της υγρασίας του αέρα, αλλά και την κατεύθυνση διάδοσης της πυρκαγιάς. Οι ξηροί άνεμοι είναι πιο επικίνδυνοι σε ότι αφορά την έναρξη και την διάδοση μιας πυρκαγιάς. Η ταχύτητα του ανέμου πολλαπλασιάζει την ταχύτητα διάδοσης της πυρκαγιάς.

Οι πυρκαγιές μεγάλης έκτασης παρουσιάζουν μεγάλη ταχύτητα διάδοσης. Προέρχονται συνήθως από πυρκαγιές κόμης ή μικτές και είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν με συγκεκριμένους κανόνες και συστήματα. Το ανάγλυφο μιας περιοχής είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες κατά την έναρξη και την διάδοση μιας πυρκαγιάς. Σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και γενικά περιοχές όπου οι τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων είναι ευμετάβλητες, τότε οι τιμές που λαμβάνονται από τους κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς δεν ανταποκρίνονται συνήθως στις πραγματικές μετεωρολογικές συνθήκες έναρξης της πυρκαγιάς.

### **3.4.1.3 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ**

Οι υψηλές θερμοκρασίες και ιδιαίτερα αυτές που διαρκούν πολύ σε συνδυασμό με τις ξηρές περιόδους του έτους, δημιουργούν συνθήκες πολύ επικίνδυνες για την έναρξη και την διάδοση των δασικών πυρκαγιών. Οι θερμοί και ξηροί άνεμοι ευνοούν την έναρξη και διάδοση των δασικών πυρκαγιών. Στην Ελλάδα, η έναρξη των περισσότερων δασικών πυρκαγιών εμφανίζεται κατά την διάρκεια των ωρών του μεσημεριού, όταν επικρατούν οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες και οι μικρότερες τιμές σχετικής υγρασίας. Επίσης οι περισσότερες δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα

εμφανίζονται κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και την αρχή του φθινοπώρου, εποχές που χαρακτηρίζονται από τις θερμές και ξηρές περιόδους.



Εικόνα 6: Η επίδραση της θερμοκρασίας στη φωτιά

#### 3.4.1.4 ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Η σχετική υγρασία του αέρα είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας επηρεασμού της συχνότητας εμφάνισης των δασικών πυρκαγιών. Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν η σχετική υγρασία του αέρα είναι μικρότερη από την υγρασία της υπάρχουσας καύσιμης ύλης, τότε ο ατμοσφαιρικός αέρας λειτουργεί ως συλλέκτης υγρασίας (απορροφητικό χαρτί) που απορροφά ατμούς από όλες τις υγρές επιφάνειες. Έχει παρατηρηθεί δε ότι λεπτό υλικό αποτελούμενο από ξηρές βελόνες και φύλλα στο έδαφος, ξερά χόρτα, κλαδάκια κλπ. ,αντιδρούν στην αλλαγή της υγρασίας της ατμόσφαιρας σε χρονικό διάστημα μικρότερο της μισής ώρας.

Μεταξύ των άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων, η σχετική υγρασία καθορίζει την ένταση της αφυδάτωσης του νεκρού οργανικού υλικού και επομένως την θερμοκρασία ανάφλεξης. Στην Ελλάδα παρατηρήθηκε ότι όταν η σχετική υγρασία είναι μεταξύ 31% και 60%, συμβαίνουν το 67% των περιστατικών πυρκαγιών και καίνε αντίστοιχα το 66,4% της καμένης ετήσιας επιφάνειας. Επίσης αρκετές δασικές πυρκαγιές (το 17,8 %) συμβαίνουν με σχετική υγρασία 61-70% που καίνε μόνο το 13% της ετήσιας επιφάνειας. Το γεγονός όμως ότι παρουσιάζεται αυτό το ποσοστό πυρκαγιών με τόσο υψηλή υγρασία, πρέπει να αποδοθεί στο ότι το 86% αυτών των πυρκαγιών συμβαίνουν με ανέμους.

Ολοκληρώνοντας βλέπουμε ότι οι καιρικές συνθήκες είναι κρίσιμες για τις δασικές πυρκαγιές. Οι περίοδοι ξηρασίας που συνδέονται συνήθως από ξηρούς και θερμούς ανέμους που φυσούν από το ξηρό ηπειρωτικό εσωτερικό της χώρας για μια αρκετά μεγάλη σχετικά περίοδο, λειτουργούν αθροιστικά στην επίδραση της θέρμανσης και της ξήρανσης της βλάστησης.

#### 3.4.2 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η τοπογραφία επίσης διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην έναρξη των δασικών πυρκαγιών αυτή περιλαμβάνει :

### **3.4.2.1 ΥΨΟΜΕΤΡΟ**

Το υψόμετρο παίζει σημαντικό ρόλο για την περίοδο που η βλάστηση μένει πράσινη και αυτό λόγω των διαφορών της θερμοκρασίας και υγρασίας που παρατηρούνται στα διάφορα υψόμετρα. Κατά την διάρκεια των μεσογειακών καλοκαιριών, πράσινη βλάστηση περιορίζεται στα μεγαλύτερα υψόμετρα. Η πράσινη βλάστηση περιέχει όμως ικανοποιητική υγρασία και επομένως αποτρέπει την έναρξη πυρκαγιάς ή καθυστερεί την διάδοση της.

### **3.4.2.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ**

Εκτός από το υψόμετρο ο προσανατολισμός είναι ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας για τον κίνδυνο πυρκαγιών. Όταν λέμε προσανατολισμός, εννοούμε τη θέση της πλαγιάς ως προς τον ορίζοντα. Αυτός ο παράγοντας επιδρά στην περιεκτικότητα της υγρασίας. Έτσι οι νότιοι προσανατολισμοί είναι ξηρότεροι από τους βόρειους. Η δασική ύλη ξηραίνεται γρηγορότερα στους νότιες, νοτιοδυτικές και δυτικές πλαγιές, παρά στις πλαγιές των άλλων προσανατολισμών.

### **3.4.2.3 ΚΛΙΣΗ ΕΛΑΦΟΥΣ**

Εκτός του υψόμετρου και της έκθεσης, η κλίση της περιοχής επιδρά στην ταχύτητα εξάπλωσης της δασικής πυρκαγιάς. Όταν λέμε κλίση εννοούμε τη γωνία που σχηματίζει η περιοχή-πλαγιά ως προς την οριζόντια θέση. Έτσι η ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς είναι μεγαλύτερη προς τα ανάντη, μικρότερη προς τα κατόντη και ακόμα λιγότερη σε επίπεδα εδάφη. Επομένως όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση σε μια περιοχή τόσο αυξάνεται η ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί η υπερκείμενη καιγόμενη ύλη βρίσκεται πιο κοντά στις φλόγες και δέχεται μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολούμενης θερμότητας. Επιπλέον οφείλουμε να αναφέρουμε ότι σε εδάφη με μεγάλη κλίση το νερό απορρέει γρηγορότερα από ότι σε αντίστοιχα εδάφη με ηπιότερη κλίση, με αποτέλεσμα την ελάττωση της υγρασίας.

### **3.4.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ**

Η μορφολογία της περιοχής παίζει σπουδαίο ρόλο στην έναρξη και την εξέλιξη της πυρκαγιάς. Αυτό σχετίζεται τόσο με την σύσταση του εδάφους όσο και με την ευκολία πρόσβασης στο τόπο της πυρκαγιάς. Έτσι η φωτιά είναι διαφορετική σε ένα κάμπο όπου η πρόσβαση είναι ευκολότερη και τα χωράφια συνήθως είναι καθαρισμένα κατά την θερινή περίοδο και διαφορετική σε ένα φαράγγι ή σε μια κορυφή ενός βουνού όπου η πρόσβαση μπορεί να είναι δύσκολη έως αδύνατη. Σύμφωνα με την Ε.Σ.Υ.Ε. και την δασική υπηρεσία, η μορφολογία του εδάφους χωρίζεται σε τρεις ζώνες, στην πεδινή, στην ημιορεινή και στην ορεινή.

### **3.4.4 Η ΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ (ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ)**

Είναι γνωστό ότι κάτω από την κόμη των δένδρων η θερμοκρασία είναι μικρότερη, η υγρασία υψηλότερη και η ταχύτητα του ανέμου μικρότερη. Αυτοί οι παράγοντες είτε μόνοι τους, είτε σε συνδυασμό μεταξύ τους, επιδρούν στην έναρξη και την εξάπλωση πυρκαγιών. Η κάλυψη ή μη του εδάφους με χλοοτάπητα κάτω από την κόμη των δασών διχάζει πολλούς επιστήμονες. Στην Ελλάδα όπου έχουμε ξηρό κλίμα και τα δάση δεν είναι κανονικά, δεν πρέπει να υπάρχει βλάστηση στο έδαφος. Αυτό αφορά κυρίως στα δάση που βρίσκονται σε χαμηλά και μέτρια υψόμετρα δηλαδή δάση χαλεπού και τραχειάς Πεύκης όπου τα χόρτα ξηραίνονται την άνοιξη και το καλοκαίρι και αποτελούν μεγάλο κίνδυνο έναρξης πυρκαγιάς.

### **3.4.5 Η ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΒΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Η προσπελασιμότητα στα δάση μπορεί να αποτελέσει παράγοντα εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών. Η προσπελασιμότητα έχει σχέση με την ύπαρξη οδικού δικτύου στο δασικό χώρο. Η αρχική ιδέα ήταν ότι με την δημιουργία δασικού οδικού δικτύου, εκτός των άλλων, θα ενισχυόταν η πρόληψη και καταστολή των δασικών πυρκαγιών. Παρόλα αυτά, αποδείχθηκε ότι η διάνοιξη δασικών δρόμων δεν ωφέλησε και πολύ το θέμα των δασικών πυρκαγιών, διότι ναι μεν δόθηκε η δυνατότητα να παρακολουθούνται μεγαλύτερες δασικές περιοχές με ταχύτερο ρυθμό και όταν εκδηλώνεται ακόμη δασική πυρκαγιά, να προσεγγίζεται πολύ γρηγορότερα το σημείο έναρξης της, αλλά παράλληλα σημειώθηκε αυξημένη διακίνηση του ανθρώπου μέσα στα δάση που μπορεί να βάλει άθελα ή ηθελημένα φωτιά (εμπρηστές, αναρχικοί, εκδρομείς). Επίσης διαπιστώθηκε και αύξηση της τιμής της δασικής γης. Έτσι, μάλλον αυξήθηκε ο αριθμός των δασικών, παρά την προσδοκία ότι η ύπαρξη δασικού οδικού δικτύου, θα έφερνε μείωση αυτών. Όσο αναφορά την προσβασιμότητα της περιοχής αυτή έχει σχέση με το πόσο κοντά βρίσκονται στα δάση και οι δασικές εκτάσεις σε αστικές ή ημιαστικές περιοχές ή και άλλες περιοχές που πραγματοποιούνται οικονομικές δραστηριότητες. Έτσι δάση που βρίσκονται κοντά σε τέτοιες περιοχές παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς.

### **3.4.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ**

Έκτος από τις μετεωρολογικές και τοπογραφικές συνθήκες, άλλοι παράγοντες που επιδρούν στις δασικές πυρκαγιές είναι το είδος της βλάστησης καθώς και η πυκνότητα (ποσότητα) της καύσιμης ύλης (βλάστηση και νεκρό οργανικό υλικό) και η υγρασία της καύσιμης ύλης (νεκρή ή ζωντανή βλάστηση).

Η ποσότητα της καύσιμης ύλης (βιομάζα) σε μια περιοχή εξαρτάται από την χρήση του εδάφους (δασικές ή καλλιεργημένες περιοχές), το είδος της βλάστησης και τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτή. Η περιεκτικότητα σε υγρασία εξαρτάται και από την ποσότητα της καύσιμης ύλης αλλά και από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα λεπτό στρώμα από νεκρό υλικό (δηλαδή βελόνες) ανταποκρίνεται γρήγορα στις αλλαγές υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Όταν έχουμε παχύ στρώμα νεκρής ύλης στο έδαφος, τότε η διατήρηση της υγρασίας υφίσταται για αρκετό χρονικό διάστημα, ακόμα και ημέρες μετά από επεισόδιο βροχής, ειδικά αν επικρατούν ομαλές καιρικές συνθήκες και το σημείο κορεσμού είναι χαμηλό.

Για όλες τις παραπάνω πληροφορίες σχετικά με τους παράγοντες που επιδρούν στις πυρκαγιές χρήσιμη ήταν η εργασία «Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα για την περίοδο 1991-2004 : μηνύματα από την εξέλιξη του φαινομένου» (Καούκης Κ, 2009).

## **3.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ eCognition**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία για την εφαρμογή του κατάλληλου μοντέλου και την τελική εξαγωγή του χάρτη επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκε η δοκιμαστική έκδοση του λογισμικού eCognition της γερμανικής εταιρείας DEFINIENS, η οποία δραστηριοποιείται στο χώρο της ανάλυσης εικόνας και τη βιολογία. Το λογισμικό αυτό αν και εμφανίστηκε πρόσφατα στην αγορά αποτελεί ένα εξαιρετικό εργαλείο στον τομέα της ανάλυσης εικόνας και βρίσκει ήδη πολλές εφαρμογές σε διάφορα επιστημονικά πεδία. Χρήσιμες πληροφορίες για το λογισμικό αυτό πήραμε



από την διπλωματική εργασία «Σύγκριση παραδοσιακών και αντικειμενοστραφών τεχνικών τηλεπισκόπησης, κάλυψης-χρήσης γης από τηλεπισκοπικά δεδομένα QUICKBIRD στην επαρχία της Πάφου» (Αγαθαγγέλου Μ, 2008).

Το λογισμικό eCognition έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ξεπερνάει τους πολλαπλούς περιορισμούς και τις αδυναμίες των παραδοσιακών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή χαρακτηριστικών από τηλεπισκοπικές εικόνες πολύ μεγάλης διακριτικής ικανότητας. Παρά τις πολύχρονες έρευνες που βασίζονται σε μεθόδους ανάλυσης εικόνας με βάση τα μεμονωμένα εικονοστοιχεία, τέτοια συστήματα συχνά δεν είναι ικανά να αναγνωρίσουν χαρακτηριστικά τα οποία είναι προφανή με μια απλή ανθρώπινη παρατήρηση. Αυτό συμβαίνει διότι η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιεί τη φασματική πληροφορία που αναπαρίσταται από τις ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων σε ένα ή περισσότερα φασματικά κανάλια και προσπαθεί να ταξινομήσει το κάθε εικονοστοιχείο βασισμένη μόνο στα φασματικά του χαρακτηριστικά. Αντίθετα, η προσέγγιση του λογισμικού eCognition βασίζεται σε μια απλή σκέψη. Σημαντική σημασιολογική πληροφορία που είναι απαραίτητη για να ερμηνευτεί μια εικόνα δεν μπορεί να αναπαρασταθεί σε μεμονωμένα εικονοστοιχεία, αλλά από νοηματικά αντικείμενα της εικόνας και τις αλληλοσυσχετίσεις τους.

Στο λογισμικό eCognition η ανάλυση εικόνας βασίζεται σε γειτονικές, ομογενείς περιοχές της εικόνας οι οποίες δημιουργούνται από μια αρχική κατάτμηση της εικόνας. Συνδέοντας όλες αυτές τις περιοχές το περιεχόμενο της εικόνας αναπαρίσταται από ένα δίκτυο αντικειμένων. Αυτά τα αντικείμενα δρουν ως δομικοί λίθοι για την επακόλουθη ανάλυση εικόνας και την ταξινόμηση. Σε σύγκριση με τα εικονοστοιχεία, τα αντικείμενα αυτά εμπεριέχουν πολύ πιο χρήσιμη πληροφορία. Για το λόγο αυτό μπορούν να χαρακτηριστούν από πολύ περισσότερες ιδιότητες απ' ό,τι απλά φασματικές ή παράγωγες φασματικών, όπως είναι το σχήμα τους, η υφή τους και οι γειτνιάσεις τους.

Προϋπόθεση είναι ο αρχικός προσδιορισμός των αντικειμένων με χρήση μεθόδων κατάτμησης (segmentation). Οι μέθοδοι κατάτμησης, οι οποίες στηρίζονται κυρίως σε φασματικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά, αποκαλούνται προσεγγίσεις χαμηλού επιπέδου κατάτμησης και έχουν ως αποτέλεσμα πρωτογενή αντικείμενα τα οποία τις περισσότερες φορές δεν αντιστοιχούν σε πραγματικά αντικείμενα-θεματικές κατηγορίες. Ας σημειωθεί ότι το πρόγραμμα eCognition παρέχει τη δυνατότητα κατάτμησης της απεικόνισης σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης (multiresolution segmentation)

Οι μέθοδοι κατάτμησης, οι οποίες στηρίζονται στην ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων με βάση χαρακτηριστικά φασματικά, γεωμετρικά, υφής καθώς και χαρακτηριστικά προτύπου, θέσης αντικειμένου στο χώρο και συσχέτισης του με άλλα αντικείμενα και γειτονικές κατηγορίες, έχουν ως αποτέλεσμα ενδιάμεσα αντικείμενα τα οποία τις περισσότερες φορές αντιστοιχούν σε πραγματικά αντικείμενα-θεματικές κατηγορίες.

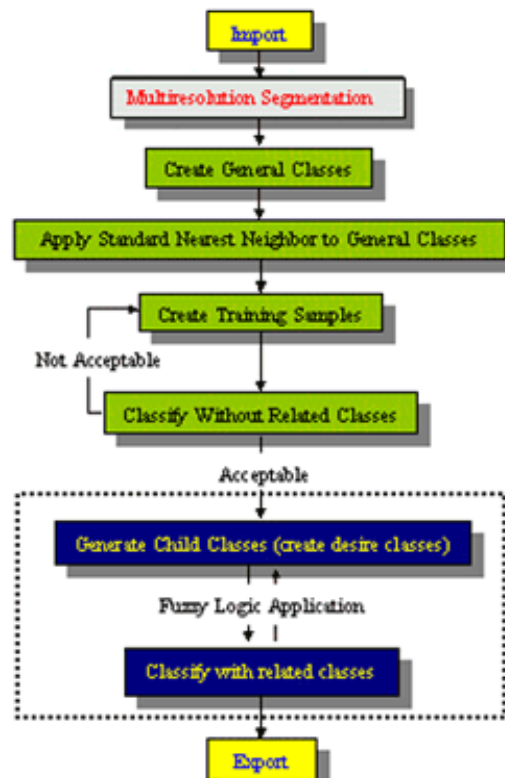
Η γενική ιδέα της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας (Object-Oriented Image Analysis) είναι ότι στην ανάλυση εικόνας η σημαντική πληροφορία για την προσέγγιση της φωτοερμηνείας δεν βρίσκεται στο επίπεδο των εικονοστοιχείων αλλά στο επίπεδο σημασιολογικών αντικειμένων της εικόνας και στις μεταξύ τους σχέσεις. Με βάση αυτή την ιδέα, το λογισμικό eCognition δεν ταξινομεί τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας, αλλά τα πρωτογενή αντικείμενα που παράγονται κατά την κατάτμησης της.

Για την κατάτμηση των εικόνων χρησιμοποιείται ένας νέος αλγόριθμος που έχει τη δυνατότητα να παράγει ομοιογενή αντικείμενα σε διαφορετικές κλίμακες (Multiresolution Segmentation). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη αλλάζοντας ορισμένες παραμέτρους να

παρεμβαίνει στο μέγεθος των πρωτογενών αντικειμένων. Αυτό συνεπάγεται την ταυτόχρονη αναπαράσταση των πληροφοριών της εικόνας για διαφορετικές κλίμακες.

Μετά την παραγωγή των αρχικών πρωτογενών αντικειμένων, το eCognition προσφέρει ένα σύνολο εργαλείων για την αξιοποίηση των διαφόρων χαρακτηριστικών αυτών των αντικειμένων (όπως είναι η φωτεινότητα, οι μέσες τιμές διαφόρων καναλιών, η υφή, το σχήμα, η γειτνίαση με άλλα αντικείμενα κ.α.).

Οι παράμετροι που καθορίζονται για την κατάτμηση των εικόνων είναι το βάρος με το οποίο θα συμμετέχει κάθε κανάλι, τα βάρη που θα δοθούν στα κριτήρια κατάτμησης (φασματικό και σχήματος) και η παράμετρος κλίμακας.



Εικόνα 7: Τα στάδια της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης στο eCognition

Συνοπτικά, μετά την αρχική, βασισμένη στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του κάθε τεμαχίου-αρχικού αντικειμένου, επεξεργασία των πληροφοριών της εικόνας, ακολουθεί η ταξινόμηση. Από τις πληροφορίες που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης, επεξεργάζεται και ταξινομούνται εκ νέου τα αντικείμενα. Όταν οι επαναληπτικοί βρόγχοι ταξινόμησης-επεξεργασίας δεν εξάγουν πληροφορίες ικανές να μεταβάλλουν τις ιδιότητες ή τις σχέσεις των αντικειμένων-τεμαχίων, ολοκληρώνεται η αντικειμενοστραφής ανάλυση και προκύπτει ο χωροταξικός και θεματικός χάρτης της εικόνας. Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι ότι για πρώτη φορά παρουσιάστηκε μια μεθοδολογία που συνδυάζει αλγορίθμους ανάλυσης εικόνας χαμηλού, μεσαίου και υψηλού επιπέδου σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο περιβάλλον λογισμικού (Αργιάλας Δ. και Τζώτσος Α, 2007)

### 3.6 CORINE LAND COVER

Στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας και για την εφαρμογή του μοντέλου επικινδυνότητας πυρκαγιάς κρίθηκε απαραίτητη η χρήση ενός χάρτη ειδών βλάστησης, για τον σκοπό αυτό και απαιτήθηκε η ύπαρξη ενός χάρτη εδαφικής κάλυψης του Ελληνικού χώρου στην κατεύθυνση αυτή χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα CORINE LAND COVER. Πληροφορίες όσο αναφορά την λειτουργία και τα χαρακτηριστικά του προγράμματος ανακτήσαμε από την δημοσίευση «Διαχρονική ανάλυση χρήσεων γης με βάση τα δεδομένα του ευρωπαϊκού προγράμματος CORINE εξετάζοντας τον πίνακα αλλαγών» (Σταθάκης Δ. κ.ά., 2008).

Στα πλαίσια του προγράμματος CORINE (CO-ordination of Information on the Environment) που εποπτεύεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, κατασκευάστηκαν δεδομένα κάλυψης εδάφους για το σύνολο του Ελληνικού χώρου και για τις χρονολογίες 1990 και 2000. Έτσι είναι εφικτός ένας συνολικός απολογισμός για τις αλλαγές καλύψεων γης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας αυτής και με βάση τα συγκεκριμένα δεδομένα.

Προσφάτως έγινε διαθέσιμη η δεύτερη έκδοση της βάσης δεδομένων που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης CORINE. Το CORINE συντονίζεται από το Κοινό Κέντρο Ερευνών (Joint Research Centre, JRC) της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως και από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (European Environmental Agency). Η νέα έκδοση καλύπτει 29 κράτη, τα 25 μέλη της Ε.Ε. συν Βουλγαρία, Κροατία, Λιχτενστάιν και Ρουμανία. Εκτιμάται δε ότι σύντομα θα καλύπτει 37 κράτη. Το CORINE είναι μια βάση καλύψεων γης ενιαία για τα συμμετέχοντα κράτη. Η προηγούμενη, και πρώτη, έκδοση του CORINE είναι του 1990 και οι δύο εκδόσεις διατίθενται δωρεάν για μη εμπορικούς σκοπούς.

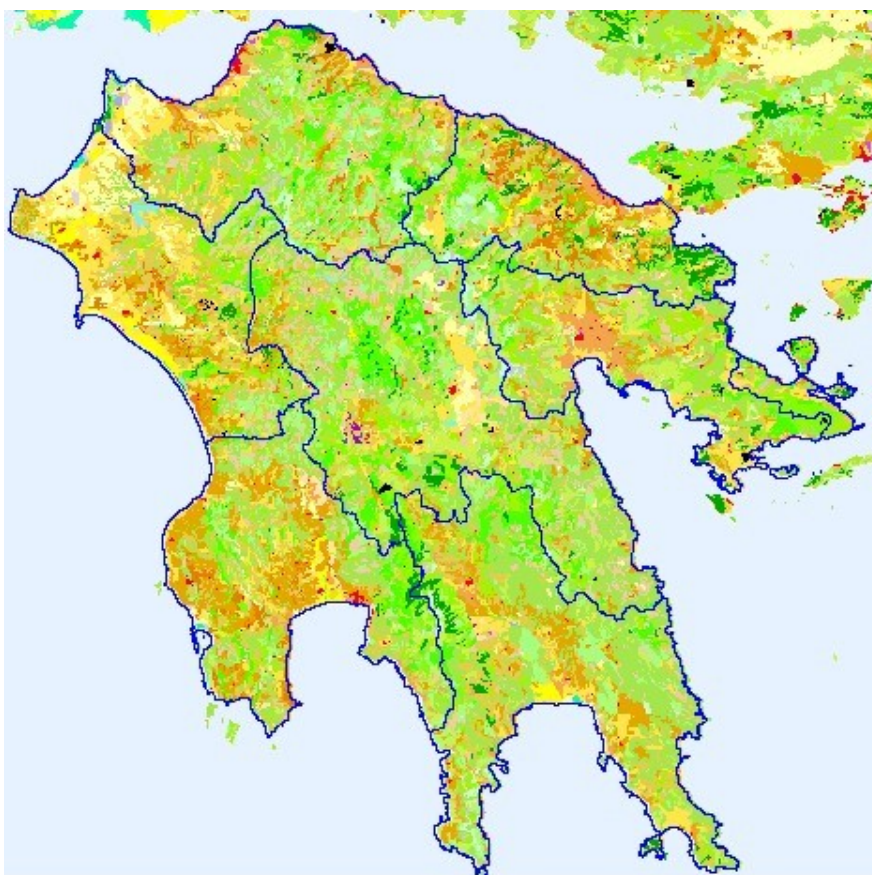
Η ύπαρξη δύο χρονολογιών καθιστά εφικτή τη διαχρονική ανάλυση καλύψεων γης. Για πρώτη φορά υπάρχει συστηματική βάση δεδομένων που καλύπτει δυο χρονικές στιγμές, που απέχουν δέκα χρόνια. Αυτό επιτρέπει τη διερεύνηση του τί προκάλεσε την αλλαγή όσο και την αποτίμηση εθνικών και κοινοτικών πολιτικών κατά τη συγκεκριμένη δεκαετία. Οι πιο συνηθισμένες χρήσεις του CORINE είναι για τη διαχείριση γης, για την προστασία της φύσης και για τη διαχείριση υδάτινων πόρων.

Το CORINE βασίζεται σε οπτική φωτοερμηνεία εικόνων του δορυφόρου LANDSAT 7 ETM+ από εθνικές ομάδες εργασίας. Για την έκδοση του 2000 περίπου τα δυο τρίτα των δορυφορικών εικόνων για την Ελλάδα ελήφθησαν το καλοκαίρι του 2000 ενώ το υπόλοιπο εν τρίτο κατά τον επόμενο χρόνο. Για την έκδοση του 1990 οι εικόνες ελήφθησαν κατά τη μεγαλύτερη περίοδο 1987 – 1991. Συνολικά απαιτούνται 26 εικόνες για να καλύψουν τον Ελληνικό χώρο ανά χρονολογία. Σημειώνουμε εδώ ότι ο συγκεκριμένος δορυφόρος παρέχει εικόνες σε επτά κανάλια (ορατό φάσμα: μπλέ, πράσινο και κόκκινο, υπέρυθρο φάσμα: εγγύς και δύο κανάλια στο μεσαίο, και θερμικό) με χωρική ανάλυση 30 μέτρων εκτός από το θερμικό που έχει 60 μέτρα. Επίσης ένα παγχρωματικό (ασπρόμαυρο) με διπλάσια χωρική ευκρίνεια (15 μέτρα).

Η έκδοση του 1990 δημιουργήθηκε με κλασικές μεθόδους φωτοερμηνείας. Δηλαδή επιθέτοντας διαφάνειες πάνω σε τυπωμένες ψευδό-χρωμες (πράσινο-κόκκινο-εγγύς υπέρυθρο) ορθοφωτογραφίες σε κλίμακα 1/100.000. Στη συνέχεια οι κατηγορίες εντοπίζονται οπτικά από τον άνθρωπο φωτο-ερμηνευτή και τα όρια τους σχεδιάζονται με το χέρι. Οι αποφάσεις λαμβάνονται σε μεγάλο βαθμό βάσει συμπληρωματικών δεδομένων που διευρύνουν τη χωρική και χρονική ανάλυση. Κατόπιν τα όρια των πολυγώνων ψηφιοποιούνται και εντάσσονται στη βάση δεδομένων. Το κάθε βήμα της διαδικασίας, επειδή δεν είναι ψηφιακή, εισαγάγει σφάλματα (λόγω εκτύπωσης, ψηφιοποίησης κλπ). Η νέα έκδοση του CORINE βασίζεται εξίσου σε οπτική φωτοερμηνεία, τα

πολύγωνα όμως ψηφιοποιούνται απευθείας στην οθόνη ελαχιστοποιώντας τα σχετικά σφάλματα. Η νέα έκδοση δημιουργήθηκε με βάση την έκδοση του 1990 απεικονίζοντας μόνο τις αλλαγές πάνω από 0,25 τετραγωνικά χιλιόμετρα και με πλάτος πάνω από 100 μέτρα. Ως γνωστόν, τα μεγέθη αυτά καταλαμβάνουν 5 επί 5 χιλιοστά και 1 χιλιοστό αντίστοιχα στην κλίμακα 1/100.000. Πριν όμως εντοπιστούν οι αλλαγές, η έκδοση του 1990 διορθώθηκε όπου ήταν δυνατόν. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι διορθώσεις απαιτήσαν πιο πολύ προσπάθεια από την ίδια την ανίχνευση των αλλαγών .

Η γεωμετρική ακρίβεια, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των δεδομένων του CORINE, είναι κατάλληλη για κλίμακα 1/100.00 με 100 μέτρα χαρτογραφική ακρίβεια. Η Ελλάδα ήταν η μοναδική χώρα που δεν χρησιμοποίησε τοπογραφικούς χάρτες για την ορθο-αναφορά των δορυφορικών εικόνων. Αντ' αυτού χρησιμοποίησε ορθο-φωτογραφίες με ένα μέτρο ανάλυσης. Επειδή όμως η γεωγραφική κάλυψη τους είναι περιορισμένη, χρησιμοποιήθηκαν και διανυσματικά υπόβαθρα με γραμμικά στοιχεία (ακτογραμμή, ποτάμια, δρόμοι κλπ). Το ένα τέταρτο περίπου των εικόνων γεω-αναφέρθηκε αποκλειστικά με τα διανυσματικά δεδομένα λόγω έλλειψης ορθο-φωτοχαρτών. Για τη διόρθωση των σφαλμάτων παράλλαξης λόγω πλάγιας λήψης των εικόνων χρησιμοποιήθηκε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΔ) με 90 μέτρα ανάλυσης, 25 μέτρα οριζόντια και 15 μέτρα κατακόρυφη ακρίβεια. Για την Ελλάδα η αποτίμηση ακρίβειας έδωσε λίγο περισσότερο από 14 μέτρα κατά μέσο όρο, κατά X και κατά Y. Το εν τρίτο περίπου των εικόνων έχουν πάνω από 22,5 μέτρα μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS), σαφώς εστιασμένο στα ανατολικά και βόρεια της χώρας. Τα επιμέρους δεδομένα κατασκευάστηκαν σε εθνικά συστήματα γεωγραφικής αναφοράς (ΕΓΣΑ87 για την Ελλάδα). Το τελικό ευρωπαϊκό μωσαϊκό όμως είναι σε Ελλειψοειδές Σύστημα Γεωγραφικής Αναφοράς (ETRS89) που είναι και το πρότυπο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για δεδομένα με πανευρωπαϊκή κάλυψη.



Εικόνα 8: Οι κατηγορίες του Corine 2000 για την Πελοπόννησο

Το σύστημα κωδικοποίησης είναι ιεραρχικό, αποτελείται από τρία επίπεδα και είναι κοινό μεταξύ των δύο χρονολογιών. Το πρώτο επίπεδο έχει πέντε κατηγορίες, **τεχνίτες επιφάνειες, γεωργικές περιοχές, δάσος και σχεδόν φυσικές περιοχές, υδροβιότοποι και υδάτινοι όγκοι**. Το δεύτερο επίπεδο έχει 15 κλάσεις και το τρίτο 44. Η θεματική ακρίβεια του CORINE είναι καλύτερη ή ίση με 85% παρόλο που για ορισμένα κράτη στην έκδοση του 1990 υπάρχουν επιφυλάξεις ως προς την τήρηση τις προδιαγραφής αυτής. Περιοχές που έχουν εμβαδόν λιγότερο από 0,250 τετραγωνικά χιλιόμετρα γενικεύονται με προσάρτηση σε όμορα πολύγωνα βάσει προαποφασισμένης σειράς προτεραιότητας που καθορίζει σε πια κάλυψη θα ενταχθεί το πολύγωνο. Σε περίπτωση μη ομογενούς επιφάνειας η ταξινόμηση δε βασίζεται πάντα στο πια κάλυψη λαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό. Σε ορισμένες περιπτώσεις υπερισχύει η κύρια κάλυψη, από πλευράς επίπτωσης τον χώρο. Κάθε κατηγορία προσδιορίζεται με ένα σχετικά σαφή κανόνα ταξινόμησης. Ο κανόνας του *συνεχόμενου αστικού ιστού* είναι για παράδειγμα “το μεγαλύτερο ποσοστό της γης καλύπτεται από κατασκευές και από το μεταφορικό δίκτυο. Κτίρια, δρόμοι και τεχνητές επιφάνειες καλύπτουν πάνω από 80% του συνόλου. Μη γραμμικές περιοχές με βλάστηση ή γυμνό έδαφος υπάρχουν μόνο κατ’ εξαίρεση”.

### 3.6.1 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ CORINE LAND COVER

Πρώτο επίπεδο	Δεύτερο επίπεδο	Τρίτο επίπεδο
1. ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	1.1 ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	1.1.1. Συνεχής αστικός ιστός 1.1.2. Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ-ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα 1.2.3 Ζώνες λιμένων 1.2.4 Αεροδρόμια
	1.3 ΟΡΥΧΕΙΑ, ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΟΙ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ	1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών 1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΜΗ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	2.1 ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	2.1.1 Μη αρδευόμενη αρώσιμη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη 2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 ΛΙΒΑΔΙΑ	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες 2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
3. ΔΑΣΗ ΚΑΙ ΗΜΙ-ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	3.1 ΔΑΣΗ	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΘΑΜΝΩΔΟΥΣ Η/ΚΑΙ ΠΟΩΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΧΩΡΟΙ ΜΕ ΛΙΓΗ Η ΚΑΘΟΛΟΥ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, Αμμουδιές 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις 3.3.5 Παγετώνες και αέριο χιόνι
4. ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ	4.1 ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ ΕΝΔΟΧΩΡΑΣ	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα 4.1.2 Τυρφώνες
	4.2 ΠΑΡΑΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ	4.2.1 Παραθαλάσσιοι Βάλτοι 4.2.2 Αλυκές 4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
5. ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	5.1 ΧΕΡΣΑΙΑ ΥΔΑΤΑ	5.1.1 Υδατορρέυματα 5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
	5.2 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΥΔΑΤΑ	5.2.1 Παράκτιες Λιμνοθάλασσες 5.2.2 Εκβολές ποταμών 5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

Πίνακας 3: Οι κατηγορίες του Corine Land Cover

## 3.7 ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (NDVI)

### 3.7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ένα ακόμα στοιχείο, στο οποίο κρίθηκε σκόπιμο να αναφερθούμε στο κεφάλαιο αυτής της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, είναι ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI), ο οποίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πυκνότητας βλάστησης η οποία, σε συνδυασμό με τον χάρτη ειδών βλάστησης, μας δίνει τον χάρτη καυσίμων υλών που απαιτείται από το μοντέλο επικινδυνότητας.

Ο Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) είναι ένας απλός αριθμητικός δείκτης, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των μετρήσεων τηλεπισκόπησης, οι οποίες προέρχονται συνήθως όχι όμως κατ' ανάγκη από δορυφόρους, για να εκτιμήσει κατά πόσο η περιοχή που παρατηρείται περιέχει ζωντανή πράσινη βλάστηση ή όχι.

Ο δείκτης αυτός εκφράζεται από την σχέση :

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

όπου NIR και RED είναι οι ψηφιακές τιμές του εικονοστοιχείου στο κανάλι του εγγύς υπέρυθρου και του κόκκινου αντίστοιχα.

Το NDVI στηρίζεται στην ιδιότητα των υγιών φυτών να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία, στην φασματική περιοχή που ανήκει η φωτοσυνθετική ενεργός ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation- PAR), την οποία χρησιμοποιούν ως ενέργεια.

Από τον σχεδιασμό του ο λόγος NDVI μπορεί να πάρει τιμές από -1 έως 1 και από τον ορισμό του συμπαίρνεται ότι η πυκνή βλάστηση θα παίρνει θετικές τιμές (περίπου 0.3 έως 0.8) ενώ τα σύννεφα και το χιόνι θα χαρακτηρίζονται από αρνητικές τιμές δείκτη. Αντίστοιχα τα υπόλοιπα στοιχεία που παρατηρούνται στην γη θα παίρνουν ενδιάμεσες τιμές. Για παράδειγμα το ελεύθερο νερό, το οποίο έχει χαμηλή ανακλαστικότητα και στα δύο κανάλια θα παίρνει τιμές κοντά στο (0) ή ελαφρώς αρνητικές, ενώ τα εδάφη που εκφράζουν γενικά μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο παρά στο κόκκινο παίρνουν τιμές μικρές θετικές ( περίπου 0.1 με 0.2).

### 3.7.2 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI ΩΣ ΠΡΟΙΟΝ MODIS

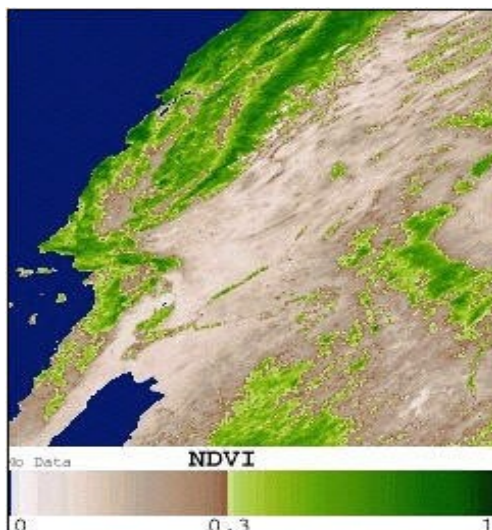
Οι παγκόσμιοι δείκτες βλάστησης του MODIS έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν συνεκτική χωρική και χρονική σύγκριση των συνθηκών βλάστησης. Τα κανάλια του μπλέ, κόκκινου και εγγύς υπέρυθρου, με κέντρα τα 469-νανόμετρα, 645-νανόμετρα, και 858-νανόμετρα αντίστοιχα, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των δεικτών βλάστησης του συστήματος Modis.

Ο δείκτης MODIS Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) συμπληρώνει τα Advanced NOAA Very High Resolution Radiometer (AVHRR) NDVI προϊόντα και προσφέρεται για τις εφαρμογές συνεχούς χρονολογικής σειράς. Το σύστημα MODIS περιλαμβάνει επίσης ένα ενισχυμένο δείκτη Vegetation Index (EVI) που διατηρεί την ευαισθησία σε συνθήκες πυκνής βλάστησης. Τα MODIS NDVI και EVI προϊόντα υπολογίζονται από ατμοσφαιρικές διορθωμένες επίγειες αντανάκλασεις που έχουν μάσκα για το νερό, τα σύννεφα και τις σκιές των σύννεφων.



Τα στοιχεία του προϊόντος MOD13A1 παράγονται κάθε 16 ημέρες, σε 500-μέτρων χωρική ανάλυση, ως πλεγματοποιημένα επιπέδου-3 προϊόντα στην ημιτονοειδή προβολή. Βέβαια υπάρχουν και άλλα προϊόντα όπως τα MOD13A2 (παράγεται κάθε 16 μέρες με ανάλυση 1km) MOD13A3 (παράγεται κάθε μήνα με ανάλυση 1 km) που μας δίνουν τους ίδιους δείκτες βλάστησης. Οι δείκτες βλάστησης αυτοί χρησιμοποιούνται για την παγκόσμια παρακολούθηση των συνθηκών βλάστησης και σε προϊόντα που φέρουν την κάλυψη της γης και τις αλλαγές στην κάλυψη της γης. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εισροή για τη μοντελοποίηση παγκόσμιων βιογεωχημικών και υδρολογικών διεργασιών σε παγκόσμια και περιφερειακή κλίμακα. Τα δεδομένα αυτά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για χαρακτηρισμό χερσαίας επιφάνειας βάση βιοφυσικών ιδιοτήτων και διεργασιών, συμπεριλαμβανομένης της πρωτογενούς παραγωγής και της μετατροπής της κάλυψη γης (**Ιστοσελίδα Συστήματος Modis: <http://modis.gsfc.nasa.gov>**).

Τα προϊόντα-Δείκτες Βλάστησης της έκδοσης-5 MODIS/Terra έχουν επικυρωθεί σε δεύτερο στάδιο, πράγμα που σημαίνει ότι η ακρίβεια έχει εκτιμηθεί κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης σε σύνολο θέσεων και χρονικών περιόδων σειράς με διάφορα επίγεια μέσα. Τα προϊόντα είναι έτοιμα για χρήση σε επιστημονικές δημοσιεύσεις.



Εικόνα 9: Το προϊόν του Modis MOD13A2 - ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI

### 3.8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΣΕΙΔΩΝ

Το σύστημα Ποσειδών είναι ένα σύστημα παρακολούθησης, πρόγνωσης και πληροφόρησης για την κατάσταση των Ελληνικών θαλασσών το οποίο λειτουργεί κάτω από την αιγίδα του ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ (Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών) και σκοπό έχει την έγκαιρη και αξιόπιστη πληροφόρηση για την κατάσταση του υγρού στοιχείου που είναι ζωτικής σημασίας ειδικά για μία χώρα σαν την Ελλάδα .

Το σύστημα Ποσειδών περιλαμβάνει την εγκατάσταση ενός δικτύου πλωτών ωκεανογραφικών μετρητικών σταθμών (buoys) και τη δημιουργία ενός ειδικού επιχειρησιακού κέντρου για την πρόγνωση και επεξεργασία των δεδομένων και αποτελεί μια πρωτοποριακή υποδομή για τα Ευρωπαϊκά δεδομένα. Το δίκτυο πλωτών μετρητικών σταθμών καταγράφει τις φυσικές, βιολογικές και χημικές παραμέτρους των Ελληνικών θαλασσών. Στη συνέχεια τα δεδομένα μεταδίδονται στο Επιχειρησιακό Κέντρο όπου τροφοδοτούν μοντέλα πρόγνωσης τελευταίας γενιάς.



### 3.8.1 ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

1. Δίκτυο πλωτών σταθμών μέτρησης
2. Τηλεπικοινωνιακά συστήματα μεταφοράς δεδομένων
3. Επιχειρησιακό κέντρο με αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης

Πλωτοί σταθμοί μέτρησης :

Οι σταθμοί μέτρησης που απαντώνται στο σύστημα είναι οι ακόλουθοι : **WAVESCAN buoy**, **SEAWATCH buoy**, **SEAWATCH Deep Sea Module** και είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες που μετρούν :

- Ατμοσφαιρική πίεση
- Θερμοκρασία ανέμου
- Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου
- Σημαντικό ύψος, κατεύθυνση και περίοδος κύματος
- Επιφανειακή θερμοκρασία και αλατότητα
- Ταχύτητα και κατεύθυνση επιφανειακών ρευμάτων

Σε δύο σταθμούς πραγματοποιούνται επιπλέον βαθιές παρατηρήσεις για φυσικές και βιοχημικές παραμέτρους:

- Αλατότητα και θερμοκρασία 20-1000m
- Χλωροφύλλη-α και εξασθένιση φωτός 20-100m
- Διαλυμένο οξυγόνο 20-100m
- Ταχύτητα και κατεύθυνση ρευμάτων 20-50 m
- Ραδιενέργεια
- Πυκνότητα ροής ακτινοβολίας

Τηλεπικοινωνιακά συστήματα μεταφοράς δεδομένων :

Τα συστήματα μεταφοράς δεδομένων που χρησιμοποιούνται από το Ποσειδών είναι :

1. Δορυφορικό INMARSAT-C
2. GPRS
3. Iridium

Επιχειρησιακό Κέντρο του ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ, το οποίο περιλαμβάνει :

Εξοπλισμό με :

- a) Υψηλής απόδοσης υπέρ-υπολογιστικό σύστημα που παρέχει επαρκή υπολογιστική ισχύ για την ολοκλήρωση των μοντέλων πρόγνωσης.
- b) Σύστημα αποθήκευσης δεδομένων συνολικής χωρητικότητας 45 TB.
- c) 10 σταθμοί εργασίας διπλού πυρήνα με λειτουργικό σύστημα Linux για την ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων.

Λογισμικό με:

- a) Υπηρεσία Poseidon Live Access Server (LAS) της οποίας δίνεται η δυνατότητα πρόσβασης στα αποτελέσματα των αριθμητικών μοντέλων καθώς και στα δεδομένα, τα οποία συλλέγονται από το δίκτυο σταθμών του Ποσειδώνα.
- b) Βάση δεδομένων για την αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων πεδίου.
- c) Λογισμικό για στατική επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων.
- d) Λογισμικό για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της στατικής ανάλυσης καθώς και των προγνώσεων των μοντέλων.
- e) Σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για την παρακολούθηση της λειτουργίας του Ποσειδώνα σε πραγματικό χρόνο.

Τα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης :

- a) Ατμοσφαιρικών συνθηκών
- b) Κατεύθυνσης και ύψους κυματισμού στην ανοιχτή θάλασσα
- c) 3- διάστατης γενικής κυκλοφορίας
- d) Δυναμικής και χαρακτηριστικών των οικολογικών συστημάτων
- e) Διασποράς και γήρανσης πετρελαίου

### **3.8.2 ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Με βάση τα προϊόντα που παίρνουμε από το σύστημα έχουμε και τα κατάλληλα προγνωστικά μοντέλα που μας τα παρέχουν και τα οποία είναι τα εξής :

- Σύστημα πρόγνωσης καιρού
- Πρόγνωση κυκλοφορίας-Μεσόγειος Θάλασσα
- Πρόγνωση κυκλοφορίας-Αιγαίο Πέλαγος
- Πρόγνωση κυματισμού-Το προγνωστικό σύστημα βασισμένο στο μοντέλο WAM
- Πρόγνωση κυματισμού-Το προγνωστικό σύστημα βασισμένο στο μοντέλο WAVEWATCH
- Πρόγνωση Οικοσυστήματος
- Πρόγνωση διασποράς και Γήρανσης πετρελαίου

### **3.8.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ**

Επειδή στην εν λόγω εφαρμογή το μόνο προϊόν που μας ενδιαφέρει είναι ο χάρτης πρόγνωσης καιρού που θα μας δώσει τις τιμές για τις καιρικές μεταβλητές που συμμετέχουν στον δείκτη επικινδυνότητας θα γίνει παρουσίαση μόνο του συστήματος πρόγνωσης καιρού.

Η ανάπτυξη και εφαρμογή του συστήματος πρόγνωσης καιρού του Ποσειδών γίνεται με την σύμπραξη του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. και της Ομάδα Ατμοσφαιρικών Μοντέλων και Πρόγνωσης Καιρού του Πανεπιστημίου Αθηνών, ενώ υπεύθυνος είναι ο φυσικός μετεωρολόγος Αναστάσιος Παπαδόπουλος.

Το σύστημα πρόγνωσης καιρού ΠΟΣΕΙΔΩΝ αναπτύχθηκε την περίοδο 1997-2000 στα πλαίσια του προγράμματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ-Ι. Ο πρωταρχικός στόχος ήταν ο σχεδιασμός ενός αξιόπιστου και υπολογιστικά αποτελεσματικού συστήματος για τη δημιουργία υψηλής ακρίβειας δεδομένων, ιδιαίτερα χρήσιμων για την πρόγνωση των τοπικών ατμοσφαιρικών συνθηκών καθώς και για την τροφοδοσία των προγνωστικών κυματικών και υδροδυναμικών μοντέλων καθώς και του

προγνωστικού μοντέλου οικοσυστήματος του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ με αναλυτικά πεδία επιφανειακών ροών ορμής, υγρασίας, θερμότητας, ακτινοβολίας (μικρού και μεγάλου μήκους κύματος) και βροχόπτωσης. Το σύστημα πρόγνωσης καιρού με τη δυνατότητα της λειτουργίας των επάλληλων πλεγμάτων είναι επιχειρησιακό από τον Οκτώβριο 1999 παρέχοντας τριήμερες (72 ώρες) προγνώσεις καιρού για δύο διαφορετικές περιοχές με διαφορετική ευκρίνεια ( $1/10^\circ \times 1/10^\circ$  - (10χλμ) και  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$  - (25 χλμ) ). Το αραιό πλέγμα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, της Μεσογείου και της Βόρειας Αφρικής, ενώ το πυκνό πλέγμα καλύπτει την Ανατολική Μεσόγειο. Η κεντρική συνιστώσα του συστήματος είναι το σύστημα SKIRON/Eta, το οποίο είναι μια τροποποιημένη έκδοση του ατμοσφαιρικού μοντέλου Eta/NCEP και είναι συζευγμένο με ένα μοντέλο πρόγνωσης του κύκλου της εδαφικής σκόνης στην ατμόσφαιρα .

Στη διάρκεια της επιχειρησιακής λειτουργίας του συστήματος πραγματοποιήθηκαν διάφορες βελτιώσεις/τροποποιήσεις. Όμως, στα πλαίσια του προγράμματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ-II (2005-2008) και σε συνεργασία με την Ομάδα Ατμοσφαιρικών Μοντέλων και Πρόγνωσης Καιρού του Πανεπιστημίου Αθηνών επιτεύχθηκε η σημαντικότερη αναβάθμιση του συστήματος, στην οποία συμπεριλαμβάνονται: (α) η εγκατάσταση της τελευταίας μη υδροστατικής έκδοσης του ατμοσφαιρικού μοντέλου SKIRON/Eta , (β) η ανάπτυξη μοντέρνων σχημάτων παραμετροποίησης των κύριων φάσεων του κύκλου ζωής της εδαφικής σκόνης για την εκτίμηση των διεργασιών παραγωγής, διάχυσης, μεταφοράς και εναπόθεσης λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή διαφορετικών μεγεθών σωματιδίων σκόνης, (γ) εφαρμογή ενός τρισδιάστατου πακέτου αφομοίωσης δεδομένων, του Local Analysis Prediction System (LAPS), για την δημιουργία πεδίων ανάλυσης υψηλής ευκρίνειας. Το σύστημα LAPS χρησιμοποιεί τα GFS/NCEP πεδία ανάλυσης παγκόσμιας κάλυψης με ευκρίνεια  $1/2^\circ \times 1/2^\circ$  (~ 55 χλμ) προκειμένου να δημιουργήσει τρισδιάστατα πεδία πρώτης εκτίμησης, στη συνέχεια ενσωματώνει όλες τις διαθέσιμες επιφανειακές και ανώτερης ατμόσφαιρας παρατηρήσεις πραγματικού χρόνου, και τελικά παράγει πεδία ανάλυσης υψηλής ευκρίνειας (περίπου 15 χλμ) που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των αρχικών συνθηκών του ατμοσφαιρικού μοντέλου. Για τις πλευρικές συνθήκες χρησιμοποιούνται τα προγνωστικά πεδία GFS/NCEP που είναι διαθέσιμα ανά 3 ώρες και σε ανάλυση  $1/2^\circ \times 1/2^\circ$  .

Το σύστημα πρόγνωσης καιρού ΠΟΣΕΙΔΩΝ-II λειτουργεί επιχειρησιακά από το Δεκέμβριο 2007 και εφαρμόζεται με οριζόντια ανάλυση  $1/20^\circ \times 1/20^\circ$  (~5 km) σε μια εκτεταμένη περιοχή που καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Μεσόγειου, της Μαύρης Θάλασσας και μεγάλο μέρος της Βόρειας Αφρικής και της Ασίας. Στο κατακόρυφο χρησιμοποιούνται 50 επίπεδα που επεκτείνονται μέχρι το ύψος των 25 mb (~25 km). Επίσης χρησιμοποιούνται από το NCEP δεδομένα ανάλυσης υψηλής ευκρίνειας ( $1/2^\circ \times 1/2^\circ$ ) για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, του πάχους χιονιού και της κάλυψης από πάγο. Η διάρκεια προσομοίωσης έχει επεκταθεί σε 120 ώρες (5 ημέρες).

### 3.8.4 ΠΡΟΙΟΝ - ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΑΙΡΟΥ

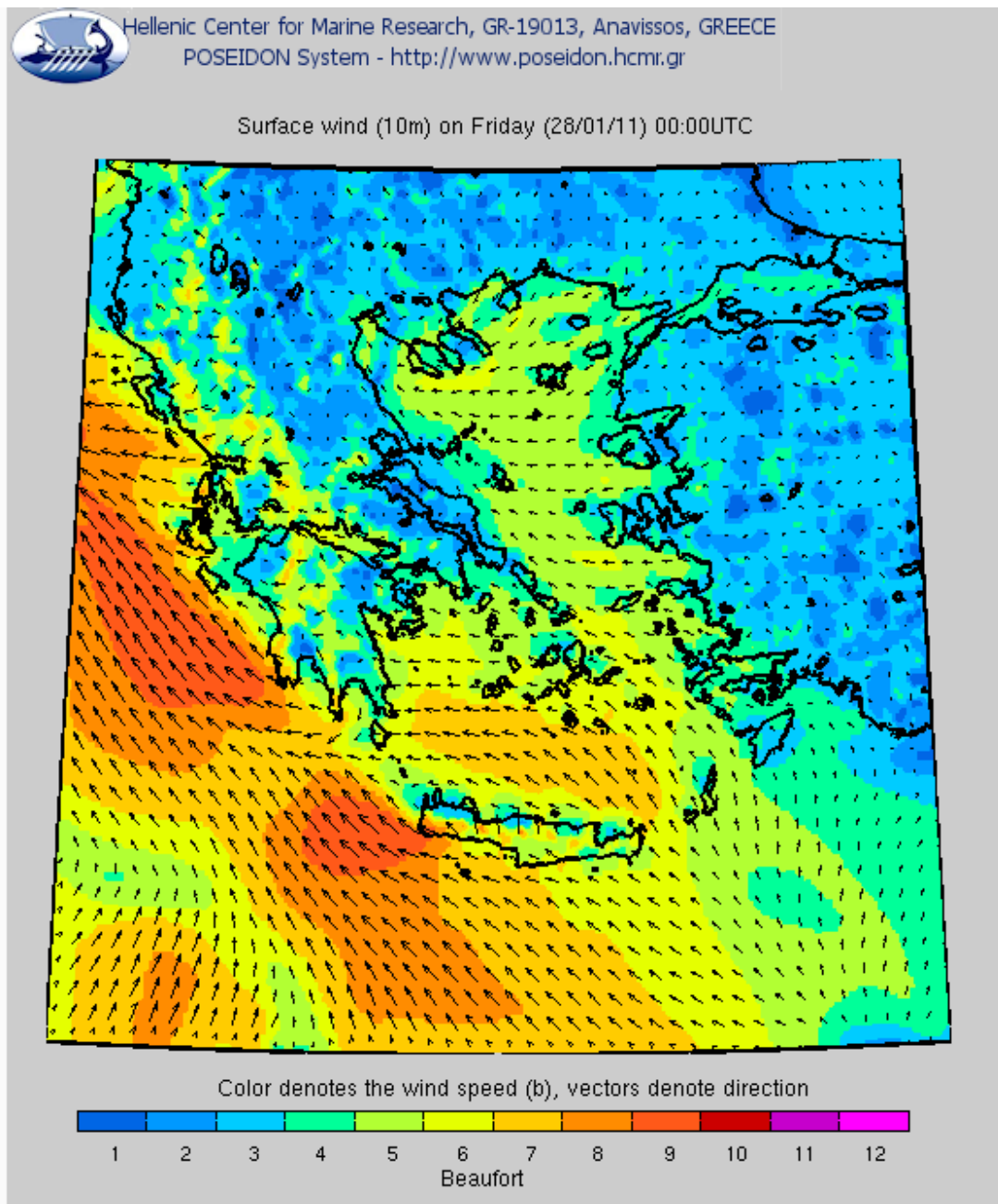
Το προϊόν του συστήματος Ποσειδών που μας ενδιαφέρει για την εφαρμογή μας είναι η πρόγνωση καιρού. Στη ιστοσελίδα του συστήματος παρέχονται χάρτες καιρού για Ελλάδα, Ευρώπη και Μαύρη θάλασσα, οι χάρτες που παρέχονται για κάθε περιοχή είναι 6 και αντιστοιχούν στις διαφορετικές παραμέτρους του καιρού που μας δίνει το σύστημα, οι οποίες είναι :

- Άνεμος επιφάνειας (10 μέτρων)
- Βροχόπτωση (χιλιοστά ανά 3ωρο)
- Χιονόπτωση (χιλιοστά ανά 3ωρο)

- Νεφοκάλυψη
- Θερμοκρασία Αέρα (2 μέτρα)
- Ατμοσφαιρική πίεση

Οι προγνώσεις που έχουμε δίνονται για χρονικό διάστημα 5 ημερών και παίρνουμε 8 προγνώσεις για κάθε μέρα μια ανά 3ωρο, ξεκινώντας από τις 12 τα μεσάνυχτα για κάθε μέρα (00:00).

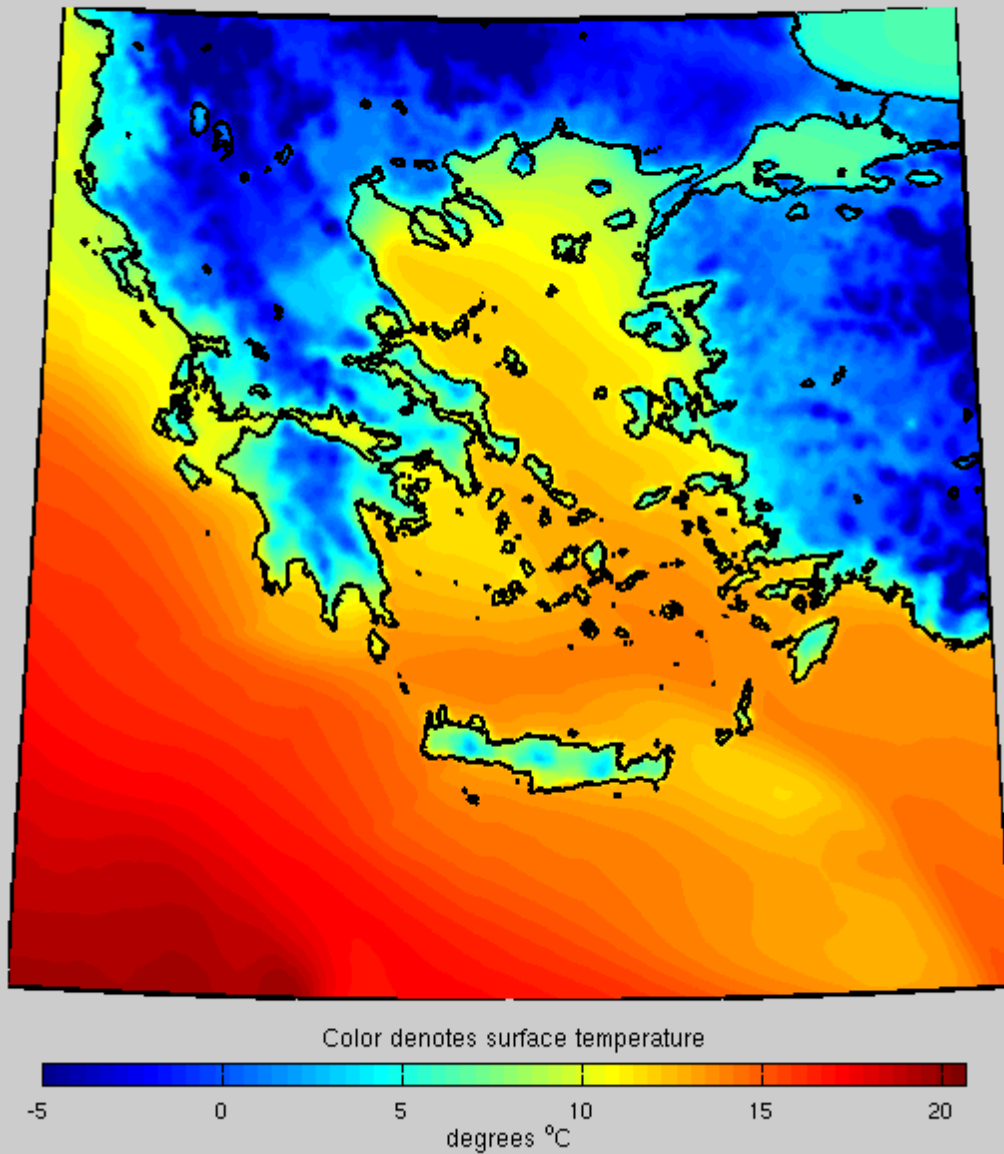
Η περιοχή μελέτης μας στην εν λόγω εφαρμογή είναι ο Ελλαδικός χώρος και οι καιρικές μεταβλητές που συμμετέχουν στο δείκτη επικινδυνότητας είναι ο άνεμος επιφάνειας σε ύψος 10 μέτρων, η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία. Οι χάρτες 10 και 11 προσφέρουν πρόγνωση του ανέμου, σε μοφόρ και της θερμοκρασίας, σε βαθμούς Κελσίου, για την Παρασκευή 28/1/2011.



Εικόνα 10: Χάρτης πρόγνωσης ανέμου του συστήματος Ποσειδών για τις 28/1/2010



Surface temperature (2m) on Friday (28/01/11) 00:00UTC



Εικόνα 11: Χάρτης πρόγνωσης θερμοκρασίας συστήματος Ποσειδών για τις 28/1/2010

Οι πληροφορίες σχετικά με το σύστημα Ποσειδών προέρχονται από την ίδια του την ιστοσελίδα (<http://poseidon.hcmr.gr>).

## 3.9 ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΑΣΙΚΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

### 3.9.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως αναφέραμε και παραπάνω σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η δημιουργία ενός χάρτη πρόβλεψης δασικών πυρκαγιών για τον Ελλαδικό χώρο. Για τον σκοπό αυτό έχουν διατυπωθεί σε διάφορα επιστημονικά συγγράμματα ένα πλήθος μοντέλων επικινδυνότητας πυρκαγιάς, κάθε ένα από τα οποία ουσιαστικά συνοψίζεται σε έναν αντίστοιχο δείκτη επικινδυνότητας, η διασπορά των τιμών αυτού πάνω στον γεωγραφικό χάρτη μας δίνει τον ζητούμενο χάρτη πρόβλεψης.

Τα μοντέλα επικινδυνότητας, δεν είναι κάτι νέο για την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα, υπάρχουν χώρες που έχουν αντιληφθεί εδώ και χρόνια την αξία τους, και έχουν αναθέσει σε κατάλληλους φορείς την οργάνωση και εφαρμογή τους για την παραγωγή χαρτών πρόβλεψης τους οποίους πολλές φορές διανέμουν στο κοινό ή σε άλλους οργανισμούς για την αποφυγή περιστατικών πυρκαγιάς. Στην χώρα μας ο οργανισμός πολιτικής προστασίας, ο οποίος και έχει αναλάβει την ενημέρωση των πολιτών και την οργάνωση των ενεργειών για την προστασία τους από τις φυσικές καταστροφές, δίνει μέσω της ιστοσελίδας του χάρτη επικινδυνότητας για όλους τους νομούς της χώρας βασιζόμενη στο ευρωπαϊκό μοντέλο EFFIS.

Πρέπει να αναφέρουμε ότι οι δείκτες αυτοί των μοντέλων επικινδυνότητας σχηματίζονται με βάση τους παράγοντες που κάθε μοντέλο θεωρεί ότι επιδρούν στην πρόκληση κινδύνου πυρκαγιάς, στους παράγοντες αυτούς περιλαμβάνονται τα είδη βλάστησης με βάση την ικανότητα τους σε καύση, η πυκνότητα της βλάστησης, η υγρασία της βλάστησης, η τοπογραφία, οι καιρικές συνθήκες, ο ανθρώπινος παράγοντας αλλά και άλλοι. Βέβαια κάθε μοντέλο δεν χρησιμοποιεί απαραίτητα όλες τις μεταβλητές ενώ δίνονται και άλλα βάρη σε αυτές ανάλογα με το μοντέλο. Οι δείκτες που βασίζονται σε μεταβλητές που αλλάζουν βραχυπρόθεσμα όπως οι καιρικές συνθήκες χαρακτηρίζονται ως δυναμικοί δείκτες, ενώ αυτοί που βασίζονται σε παράγοντες που παραμένουν για μεγάλα σχετικά διαστήματα αμετάβλητοι, όπως τα είδη βλάστησης ή η τοπογραφία, χαρακτηρίζονται ως στατικοί, βέβαια στην πλειονότητα τους τα μοντέλα χρησιμοποιούν σύνθετους δείκτες που συνδυάζουν τα δύο είδη μεταβλητών.

Τέλος αναφέρουμε πως δεν υπάρχει κάποια μοντέλο που επικρατεί έναντι των άλλων, κάθε μοντέλο βρίσκει εφαρμογή με βάση τον σκοπό που αναπτύσσεται, τις μεταβλητές που μας έχουν διατεθεί και την περιοχή στην οποία θέλουμε να το εφαρμόσουμε. Παρακάτω διατυπώνονται ορισμένα γνωστά μοντέλα επικινδυνότητας με αναφορά στις παραμέτρους τους και στην μεθοδολογία που ακολουθείται για να προκύψει ο δείκτης που τα χαρακτηρίζει.

### 3.9.2 ΜΟΝΤΕΛΟ 1<sup>ο</sup> – FIRE POTENTIAL INDEX (FPI)

Ο Fire Potential Index (FPI), που εφαρμόστηκε από τον **A. Sebastián (2001)** σε ευρωπαϊκή κλίμακα και είχε σχεδιαστεί αρχικά από τον **R.E. Burgan (1998)**, είναι ουσιαστικά ένας δυναμικός δείκτης Δασικών Πυρκαγιών, που βασίζεται στα χαρακτηριστικά των καύσιμων υλών και την ποσότητα υγρασίας. Ο FPI χρησιμοποιεί την υγρασία εξάλειψης από τον χάρτη με τα είδη καύσιμης ύλης, την δέκα ωρών (timelag) υγρασία νεκρού καυσίμου από τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία και σχετική υγρασία) και το ποσοστό πράσινης βλάστησης από τον δείκτη Greenness Vegetation Index.

Ο Fire Potential Index (FPI) (R. E. Burgan et al., 1998) συνδυάζει μετεωρολογικά δεδομένα, δεδομένα τηλεπισκόπησης των δορυφόρων (remote sensing data) και παρατηρήσεις της επιφάνειας. Ο δείκτης αυτός αρχικά έδειξε υψηλή συσχέτιση με την εμφάνιση πυρκαγιάς σε Καλιφόρνια και Νεβάδα και στην συνέχεια δοκιμάστηκε και στην Ευρώπη δίνοντας καλά αποτελέσματα στην περιοχή της Μεσογείου (A. Sebastian-Lopez et al., 2001).

### 3.9.2.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο μοντέλο αυτό πρόβλεψης δασικών πυρκαγιών ο δείκτης FPI μπορεί να οριστεί ως ένα μέτρο σε κλίμακα από 0 έως 100, για την πιθανότητα φωτιάς των καυσίμων υλών που διατίθενται για καύση.

Οι είσοδοι-μεταβλητές του μοντέλου είναι η υγρασία εξάλειψης, η δέκα ωρών (timelag) υγρασία νεκρού καυσίμου και το ποσοστό περιεχόμενης βλάστησης. Το παράγωγο-αποτέλεσμα του μοντέλου είναι ένας δυναμικός δείκτης δασικών πυρκαγιών σε κλίμακα μιας χώρας και με χωρική ανάλυση 500 μέτρων. Ο δείκτης ενημερώνεται κάθε οκτώ ημέρες.

### 3.9.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ

Για τον προσδιορισμό του δείκτη FPI χρησιμοποιήθηκε η δημοσίευση «Forest Fire Potential Index for Navarra Autonomic Community (Spain)» (M. Huesca Martínez et al., 2007).

Ο FPI εκτιμά την ευαισθησία της βλάστηση σε ανάφλεξη, ωστόσο δεν λαμβάνει υπόψη την πιθανότητα μιας πηγής ανάφλεξης. Ο FPI ορίζεται στην εξίσωση 1 :

$$FPI = 100 \times (1 - FMC10HR_{FRAC}) \times (1 - VC), \quad [Eq.1]$$

όπου  $FMC10HR_{FRAC}$  [%] είναι η αναλογία μεταξύ των δέκα ωρών (timelag) υγρασίας νεκρού καυσίμου ( $FMC10HR$ ) [%] και του ποσοστού της υγρασίας εξάλειψης ( $H. EXT$ ) [%]. Ενώ  $VC$  [%] είναι η επί της εκατό περιεκτικότητα σε βλάστηση, η οποία και εξαρτάται από το μέγιστο ποσοστό της ζωντανής βλάστησης ( $VC_{MAX}$ ) [%] και τη relative greenness ( $RG$ ) [%].

#### 3.9.2.2.1 ΥΓΡΑΣΙΑ ΝΕΚΡΗΣ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΞΑΛΕΙΨΗΣ

Η νεκρή καύσιμη ύλη χρειάζεται δέκα ώρες για να χάσει το 63% της διαφοράς στην υγρασία μεταξύ της αρχικής της περιεκτικότητας και της υγρασίας ισορροπίας με την ατμόσφαιρα, θεωρώντας σταθερή τη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική υγρασία. Η καύσιμη αυτή ύλη αντιστοιχεί σε μικρά κλαδιά διαμέτρου μεταξύ 0,6 και 2,5 εκατοστών. Η υγρασία της νεκρής καυσίμης ύλης εξαρτάται από την ατμοσφαιρική υγρασία. Η υγρασία της νεκρής καυσίμης ύλης σταθερά τείνει να φθάσει την τιμή της ατμοσφαιρικής υγρασίας ισορροπίας, η οποία αλλάζει συνεχώς. Έτσι, η υγρασία της νεκρής καυσίμης ύλης υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση :

$$FMC10HR = 1.28 \times EMC \quad [Eq.2]$$

Όπου  $EMC$  [%] είναι το ποσοστό της υγρασίας ισορροπίας. Η υγρασία ισορροπίας είναι μοναδική για κάθε συνδυασμό θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ακόλουθοι. (Eqs. 3, 4 and 5).

$$EMC = 2.22749 + 0.160107 \times H - 0.014784 \times T \quad \text{if } 10\% \leq H \leq 50\% \quad [\text{Eq.3}]$$

$$EMC = 21.0606 + 0.005565 \times H^2 - 0.00035 \times H \times T - 0.483199 \times H$$

$$\text{if } H \geq 50\% \quad [\text{Eq.4}]$$

$$EMC = 0.03229 + 0.281073 \times H - 0.000578 \times H \times T \quad \text{if } H \leq 10\% \quad [\text{Eq.5}]$$

Όπου  $H$  [%] και  $T$  [°C] είναι η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα αντίστοιχα. Η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία ( $T$ ) και ελάχιστη σχετική υγρασία ( $H$ ) δίνονται από μετεωρολογικούς σταθμούς κατανεμημένους στην περιοχή μελέτης ενώ πραγματοποιείται χωρική παρεμβολή της μέγιστης θερμοκρασίας και της ελάχιστης σχετικής υγρασίας. Η παλινδρόμηση Kriging, χρησιμοποιώντας το υψόμετρο ως βοηθητική μεταβλητή, εφαρμόστηκε στη θερμοκρασία και η γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιήθηκε για την ελάχιστη υγρασία σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος, χρησιμοποιώντας τη θερμοκρασία και το υψόμετρο ως ανεξάρτητες μεταβλητές.

Η υγρασία της νεκρής καυσίμης ύλης περιορίζεται από την υγρασία εξάλειψης. Η υγρασία εξάλειψης, ορίζεται ως την υγρασία της νεκρής καυσίμης ύλης κατά την οποία μια πυρκαγιά δεν θα εξαπλωθεί και είναι μια σταθερή τιμή για κάθε τύπο καυσίμου. Αυτή η μεταβλητή προέρχεται από το χάρτη καύσιμης ύλης που προβλέπεται από το υπουργείο Περιβάλλοντος.

### 3.9.2.2 ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΖΩΝΤΑΝΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Η Relative greenness (Eqs. 6 και 7) ( $RG_{NDVI}$  και  $RG_{NDWI}$ ) υπολογίζεται και από τους δύο δείκτες, τον δείκτη NDVI (Normalized Differenced Vegetation Index) και τον δείκτη NDWI (Normalized Βλάστησης Water Index). Η  $RG$  χρησιμοποιείται ως μεταβλητή για τον υπολογισμό του ποσοστού της περιεκτικότητας σε βλάστηση που είναι ζωντανή και να υποδείξει την υγρασία :

$$RG_{NDVI} = \left( \frac{NDVI - NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}} \right) \times 100 \quad [\text{Eq.6}]$$

$$RG_{NDWI} = \left( \frac{NDWI - NDWI_{MIN}}{NDWI_{MAX} - NDWI_{MIN}} \right) \times 100 \quad [\text{Eq.7}]$$

$$VC = VC_{MAX} \times RG \quad [\text{Eq.8}]$$

Όπου οι  $NDVI_{MAX}$  ( $NDWI_{MAX}$ ) και  $NDVI_{MIN}$  ( $NDWI_{MIN}$ ) αντιπροσωπεύουν την μέγιστη και ελάχιστη χρονικά τιμή του NDVI (NDWI) για ένα εικονοστοιχείο κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης αντίστοιχα.

Το ποσοστό περιεκτικότητας της ζωντανής βλάστησης (Eqs. 8) υπολογίζεται ως το γινόμενο του μέγιστου ποσοστού της ζωντανής βλάστησης σε κάθε pixel κατά την περίοδο μελέτης ( $VC_{MAX}$ ) και της relative της greenness.



Όπου VC είναι η επί της εκατό περιεκτικότητα σε βλάστηση και VC<sub>MAX</sub> και RG είναι τα μέγιστα ποσοστά της ζωντανής βλάστησης και της relative greenness αντίστοιχα.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μέγιστου ποσοστού της ζωντανής βλάστησης είναι ένας από τους ακόλουθους (Eqs. 9 και 10), ανάλογα με ποιο δείκτη βλάστησης θα χρησιμοποιήσουμε :

$$VC_{MAX} = 0.25 + 0.50 \times \left( \frac{NDVI_{MAX}}{NDVI_{ABSOLUTE-MAX}} \right), \quad [\text{Eq.9}]$$

$$VC_{MAX} = 0.25 + 0.50 \times \left( \frac{NDWI_{MAX}}{NDWI_{ABSOLUTE-MAX}} \right), \quad [\text{Eq.10}]$$

όπου VC<sub>MAX</sub> είναι σταθερό για κάθε pixel, με βάση το μέγιστο NDVI<sub>MAX</sub> ή NDWI<sub>MAX</sub> σε μια δεδομένη τοποθεσία κατά τη περίοδο μελέτης και τα συνολικά μέγιστα NDVI<sub>ABSOLUTE-MAX</sub> ή NDWI<sub>ABSOLUTE-MAX</sub> σε οποιαδήποτε θέση στην περιοχή μελέτης κατά την ίδια περίοδο.

### 3.9.3 ΜΟΝΤΕΛΟ 2° -FIRE WEATHER INDEX (FWI)

Ο καναδικός δείκτης Fire Weather Index (FWI), είναι ένα από τα υποσυστήματα που αποτελούν το Canadian Forest Fire Danger Rating System και οι 5 συνιστώσες του εκφράζουν τις συνδυασμένες επιδράσεις της θερμοκρασίας, του αέρα, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας ανέμου και της ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης. Για την περιγραφή των συνιστώσεων αυτών και του τρόπου που συνδυάζονται χρησιμοποιήσαμε την δημοσίευση «Using the Canadian Fire Weather Index (FWI) in the Natural Park of Montesinho, NE Portugal: calibration and application to fire management» (M. Rainha and P.M. Fernandes, 2002) και πληροφορίες από την ιστοσελίδα (<http://www.meteoalarm.rs>).

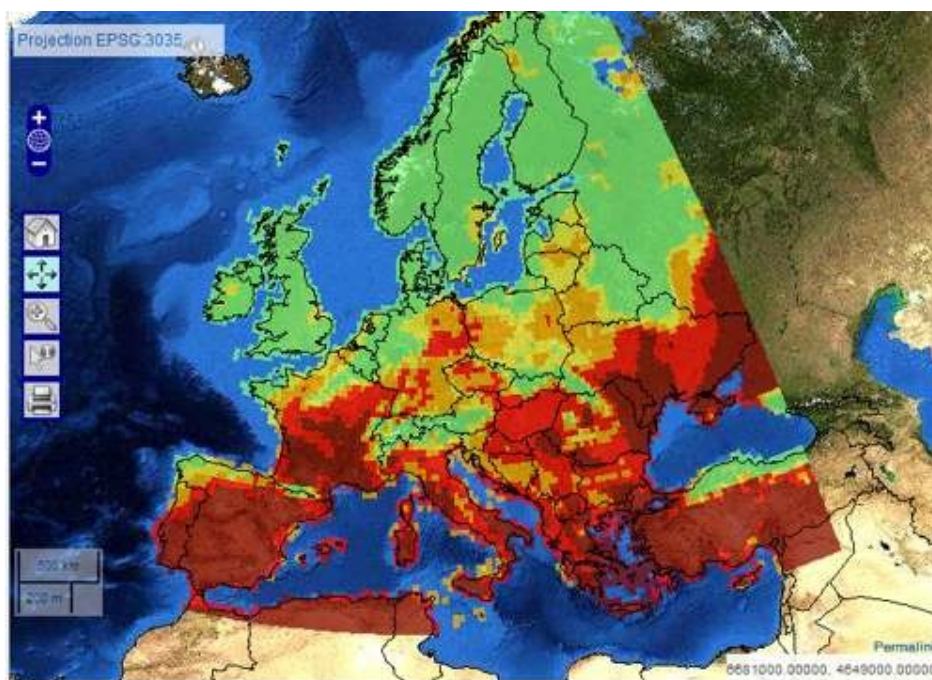
Ο Fine Fuel Moisture Code (FFMC), ο Duff Moisture Code (DMC) και ο Drought Code (DC) είναι δείκτες περιεκτικότητας υγρασίας για τρία είδη καύσιμης ύλης, του στρώματος της επιφάνειας, του στρώματος της αποσύνθεσης και το στρώματος (humus) μαυροχώματος αντίστοιχα. Οι δείκτες, Initial Spread Index (ISI), ο Buildup Index (BUI) και ο Fire Weather Index (FWI), απεικονίζουν την πιθανότητα ξεσπάσματος φωτιάς και υποδεικνύουν τον ρυθμό εξάπλωσης της, την κατανάλωση καύσιμης ύλης και την ένταση της πυρκαγιάς.

Ο ISI εκφράζει τις συνδυασμένες επιπτώσεις του ανέμου και του FFMC, ο BUI είναι συνέπεια του DMC και του DC, ενώ ο FWI τέλος συνδυάζει τον ISI και τον BUI.

Τα περιστατικά πυρκαγιάς και οι καμένες εκτάσεις συσχετίζονται καλά με τον δείκτη FWI στον Καναδά. Όμως μετά από ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην Μεσογειακή Ευρώπη συνιστάτε και εδώ η χρήση του δείκτη αυτού μετά από βαθμονόμηση ή προσαρμογή, ο FWI έχει πια εγκριθεί και από χώρες όπως η Νέα Ζηλανδία και Πορτογαλία. Εκτός από άλλους λόγους η βαθμονόμηση είναι αναγκαία, λόγω της παραγωγής του FWI από ένα σταθερό είδος καύσιμης ύλης στρώματος πεύκου και ως εκ τούτου δεν αντικατοπτρίζει άλλα είδη καυσίμων υλών.

Μετά από μια δοκιμαστική φάση 5 ετών, κατά την οποία διαφορετικές μέθοδοι επικινδυνότητας πυρκαγιάς εφαρμόστηκαν παράλληλα, το 2007 το δίκτυο EFFIS ενέκρινε τελικά τον Fire Weather Index (FWI), που αναπτύχθηκε στον Καναδά, ως μια μέθοδο για να αξιολογεί το επίπεδο επικινδυνότητας πυρκαγιάς με ένα εναρμονισμένο τρόπο σε ολόκληρη την Ευρώπη. Οι αλγόριθμοι FWI έχουν αλλάξει για να ταιριάζουν καλύτερα με τις ελαφρώς αξιοσημείωτες διαφορές στο μήκος ημέρας στην ΕΕ, όταν κινούμαστε από την Μεσόγειο προς τις αρκτικές χώρες.

Ο κίνδυνος πυρκαγιάς χαρτογραφείται σε 5 κατηγορίες (πολύ χαμηλή, χαμηλή, μεσαία, υψηλή και πολύ υψηλή) με χωρική διακριτική ικανότητα περίπου 45 χλμ. (MF data) και 36 χλμ. (DWD data). Οι κατηγορίες κινδύνου πυρκαγιάς είναι οι ίδιες για όλες τις χώρες και οι χάρτες δείχνουν μια εικόνα της χωρικής κατανομής του επιπέδου κινδύνου πυρκαγιάς στο σύνολο της ΕΕ.



Εικόνα 12: Χάρτης επικινδυνότητας Ευρώπης του συστήματος *EFFIS*

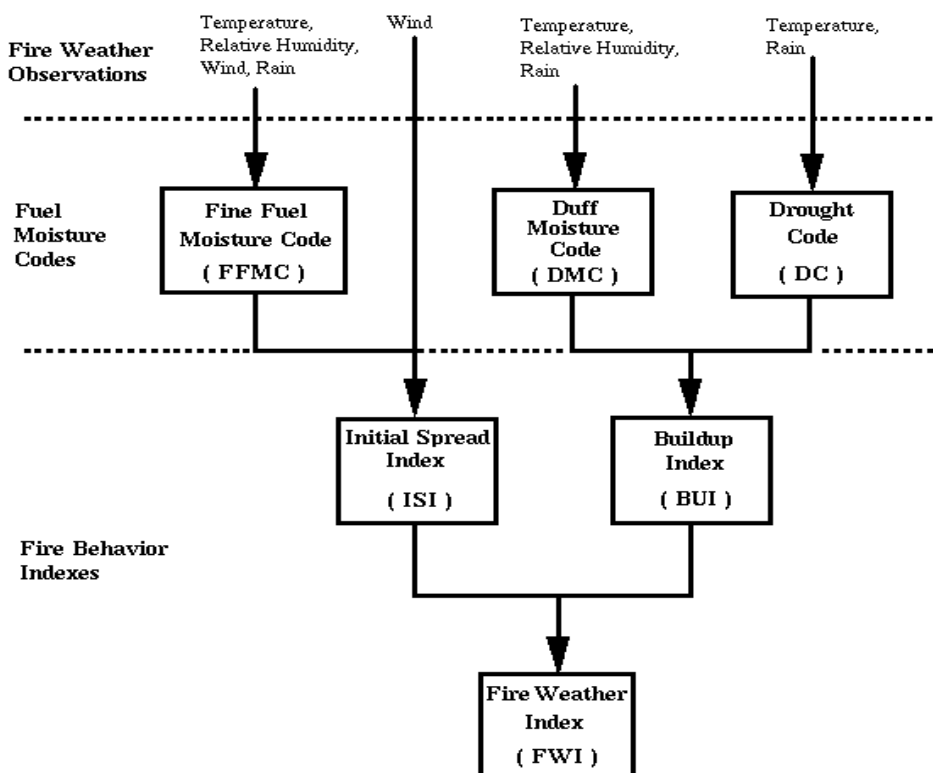
Ο FWI αντιπροσωπεύει ενδεχόμενο προσανατολισμό του κινδύνου για την εμφάνιση των δασικών πυρκαγιών. Ανώτερη τιμή του δείκτη αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στα είδη καύσιμης ύλης των δασών και έτσι στην μεγαλύτερη πιθανότητα εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών.

Ο FWI αποτελείται από πέντε συνιστώσες. Οι τρεις πρώτοι δείκτες υποδύονται τη μέση υγρασία των τριών κατηγοριών των καυσίμων υλών των δασών και οι υπόλοιποι δύο δείχνουν το ρυθμό διάδοσης της φωτιάς και τη ποσότητα των διαθέσιμων δασικών καυσίμων υλών. Τα συστατικά του FWI είναι:

1. Ο Fine Fuel Moisture Code (FFMC), χρησιμεύει ως δείκτης για την αριθμητική αξιολόγηση της περιεκτικότητας σε υγρασία της φυτικής κάλυψης και άλλων εύφλεκτων καυσίμων δασικών υλών. Ο δείκτης αυτός δείχνει τη σχετική ανάφλεξη και την δυνατότητα καύσης των διαθέσιμων δασικών καυσίμων υλών.
2. Ο Index of the medium fuel moisture (Duff Moisture Code –DMC), χρησιμεύει για την αριθμητική εκτίμηση του μέσου όρου της υγρασίας των μη αρκούντως συμπαγών οργανικών εδαφοκαλύψεων του μέτριου βάθους και των ξυλώδων κομματιών μεσαίου μεγέθους.

3. Ο Index of the moisture of large fuel (Drought Code- DC), χρησιμεύει για την αριθμητική εκτίμηση του μέσου όρου του ποσοστού της υγρασίας στα βαθιά, συμπαγή οργανικά στρώματα στον πάτο του δάσους. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται επίσης για τη μακροπρόθεσμη αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιάς για τις μεγάλες περιοχές.
4. Ο δείκτης (Initial Spread Index-ISI) αντιπροσωπεύει τη συνδυασμένη επιρροή της ταχύτητας του ανέμου και του Fine Fuel Moisture Code-FFMC. Στη βάση αυτού η αριθμητική αξιολόγηση γίνεται από τη διασπορά του κινδύνου πυρκαγιάς, αμέσως μετά την ανάφλεξη του.
5. Ο δείκτης Index of total fuel (Buildup Index-BUI) είναι ο συνδυασμός του δείκτη medium fuel moisture (Duff Moisture Code –DMC) και του δείκτη Index of the moisture of large fuel (Drought Code- DC). Είναι ο αριθμητικός δείκτης της συνολικής ποσότητας των καυσίμων υλών που διατίθενται στη φωτιά που έχει ξεσπάσει. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται για τον τρέχον προσανατολισμό σε επιχειρήσεις με σκοπό την πρόληψη πυρκαγιών και την πυρόσβεση.

Ο δείκτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς (Fire Weather Index-FWI) είναι ο συνδυασμός των προηγούμενων δύο δεικτών του Initial Spread Index-ISI και του δείκτη Buildup Index-BUI. Αυτός είναι ένας αριθμητικός δείκτης πιθανής έντασης πυρκαγιάς, σε σταθερό είδος καύσιμης ύλης και υποδηλώνει το βαθμό της παραγόμενης ενέργειας, ανά μονάδα μήκους μετώπου φωτιάς. Η υπολογισμένη τιμή δείχνει για την συγκεκριμένη περιοχή τον βαθμό της εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών στο χρονικό διάστημα περίπου του μεσημεριού και καθιστά δυνατή χρονική και χωρική συγκρισιμότητα του εν λόγω δείκτη.



Πίνακας 4: Διάγραμμα κατασκευής FWI

### 3.9.4 ΜΟΝΤΕΛΟ 3°- FIRE RISK INDEX

Ο δείκτης επικινδυνότητας Fire Risk Index (FRI) βασίζεται σε τρεις επιμέρους δείκτες - (1)Topographic danger index (TDI), (2)Weather Danger Index (WDI) και (3)Fuel Danger Index (FDI). Ο TDI υπολογίστηκε με βάση τρεις παραμέτρους την κλίση, τον προσανατολισμό και το υψόμετρο, τα οποία δίνονται από DEM χάρτες. Ο WDI υπολογίζεται από το λόγο της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα με την μέση μέγιστη σχετική υγρασία του αέρα. Ενώ κατά την ανάπτυξη του Fuel Danger Index (FDI) στην έρευνα έχει εγκριθεί η χρήση των ψηφιακών προϊόντων κατάταξης, τα οποία δίνουν ένα πολύ ακριβή χάρτη τύπου καύσιμης ύλης της περιοχής μελέτης, σε συνδυασμό με χρήση του TDI που έχει ήδη υπολογιστεί. Η περιγραφή του συγκεκριμένου μοντέλου γίνεται βάσει της εργασίας «An application of remote sensing and geographic information system for fire risk mapping» (N. A. Patah et al., 2002).

#### 3.9.4.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΩΝ

##### 3.9.4.1.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Αξιόπιστοι χάρτες των σχετικών μεταβλητών του καιρού, θερμοκρασίας, ανέμου (ταχύτητα και κατεύθυνση) και της σχετικής υγρασίας, μπορούν να παραχθούν από ένα πυκνό δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών. Βέβαια είναι πιθανόν να μην υπάρχουν στοιχεία για ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου. Δυστυχώς οι παράμετροι αυτοί του ανέμου μεταβάλλονται με το χρόνο και είναι πολύ δύσκολη η εκτίμηση των μέσων τιμών τους.

Τα δεδομένα RH που καταγράφονται εκπροσωπούν μόνο τη μέση σχετική υγρασία της ημέρας και αυτή η παράμετρος είναι άνευ σημασίας για τον υπολογισμό του Weather Danger Index. Αυτό που χρειάζεται είναι η μέση μέγιστη σχετική υγρασία και αυτή υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση από το λογισμικό BEHAVE (έκδοση 4.1), που δημιουργήθηκε από το Fire Behaviour Research Work Unit of Intermountain Fires Science Laboratory το έτος 1989.

$$RH_{\max} = \text{Dry Bulb Temperature } (^{\circ}\text{C}) - \text{Moisture Temperature } (^{\circ}\text{C}) * E \dots \dots (1)$$

Όπου :

- (i) RH είναι η μέση μέγιστη σχετική υγρασία.
- (ii) Dry bulb temperature είναι η μέση μέγιστη θερμοκρασία του αέρα στις 2:00 μ.μ.
- (iii) Moisture temperature είναι η μέση μέγιστη θερμοκρασία του αέρα στις 8:00 π.μ.
- (iv) E είναι το υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού στο μετρητή.

##### 3.9.4.1.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Ο χάρτης Forest Canopy Density (FCD) εφαρμόστηκε στις δορυφορικές εικόνες, για την καλύτερη διάκριση των δάσικων τύπων καύσιμης ύλης από άλλους τύπους καυσίμων υλών βλάστησης, ώστε να εκτιμηθεί το ποσοστό της canopy density. Ο υπολογισμός του βασίζεται σε τέσσερις δείκτες Advanced Vegetative Index (AVI), Bare Soil Index(SBI), Shadow Index (SI) και Temperature Index (TI).

Αυτός ο χάρτης καυσίμων υλών είναι ο ολοκληρωμένος FCD χάρτης, μέσω της διασταυρώμενης μεθόδου επικάλυψης των ΣΓΠ. Ουσιαστικά αυτός, ο ολοκληρωμένος χάρτης, είναι ένα προϊόν του ποσοστού της canopy density, του είδους καύσιμης ύλης και του γυμνού εδάφους.

### 3.9.4.1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Ο χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς είναι χρήσιμος διότι επιτρέπει την παρακολούθηση των περιστατικών πυρκαγιών σε περιοχές υψηλού κινδύνου, ιδίως κατά τη διάρκεια συνθηκών ξηρασίας. Αυτός ο χάρτης δημιουργήθηκε με τη χρήση ενός κατάλληλου Fire Risk Index (FRI) μοντέλου το οποίο έλαβε υπόψη τους δείκτες Topography Danger Index, τον Weather Danger Index και τον Fuel Hazard Index.

### 3.9.4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ

Η δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας πυρκαγιάς απαιτεί υπολογισμό των τριών χαρτών, με βάση τους δείκτες που αναφέραμε παραπάνω. Αυτοί οι δείκτες υπολογίζονται ως εξής :

#### 3.9.4.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (TDI)

Το υψόμετρο επηρεάζει την σύνθεση της βλάστησης, την υγρασία των καύσιμων υλών και την υγρασία του αέρα. Η κλίση είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για τον καθορισμό συμπεριφοράς της φωτιάς και ο προσανατολισμός συνδέεται σαφώς με την υγρασία του αέρα. Για τους λόγους αυτούς, όλες αυτές οι παράμετροι είναι σημαντικές για τον υπολογισμό του (TDI).

Ο TDI ποσοτικοποιεί την επίδραση της τοπογραφίας για την εκδήλωση πυρκαγιών. Αυτός υπολογίζεται από την εξίσωση (3) (**R. Castro and E. Chuveico, 1998**) :

$$TDI = 17.4 * \text{Elevation(m)} + 7.2 * \text{Slope(\%)} + 4.8 * \text{Aspect} \dots \dots \dots (3)$$

#### 3.9.4.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (WDI)

Ο WDI σχετίζεται με μικρής διάρκειας πιθανότητες ανάφλεξης πυρκαγιών και οφείλεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της ατμόσφαιρας, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν αλλαγές στην υγρασία της βλάστησης. Οι καιρικές συνθήκες είναι άρα σημαντικές. Κατά την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς και των πιθανών ζημιών της, οι παράγοντες θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου και σχετική υγρασία επηρεάζουν την υγρασία των καύσιμων υλών, την δυνατότητα ανάφλεξης, το μήκος της φλόγας και ταχύτητα διάδοσης της (**R. Castro and E. Chuveico, 1998**). Ωστόσο, λόγω περιορισμένων στοιχείων για καιρικές συνθήκες και των χρονικών περιορισμών, χρησιμοποιούνται μόνο η ατμοσφαιρική θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία για την εκτίμηση του WDI.

Η μέση μέγιστη θερμοκρασία και η μέση μέγιστη σχετική υγρασία χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί ο WDI, χρησιμοποιώντας ένα απλό μοντέλο (**R. Castro and E. Chuveico, 1998**), όπως φαίνεται στην εξίσωση 4 :

$$WDI = (T_{\text{Max}} / RH_{\text{Max}}) * 100 \dots \dots \dots (4)$$

όπου

- (i) T<sub>max</sub> είναι η μέση μέγιστη θερμοκρασία
- (ii) RH<sub>Max</sub> είναι η μέση μέγιστη σχετική υγρασία

Οι τιμές των T<sub>max</sub> και RH<sub>Max</sub> κλιμακώνονται σε τιμές από 0 έως 100 .

Με την εξίσωση αυτή υπολογίζουμε την τιμή του δείκτη WDI, στηριζόμενοι σε μια pixel προς pixel βάση των συστημάτων GIS. Στην συνέχεια, οι τιμές του δείκτη που προκύπτουν ομαδοποιούνται σε πέντε κλάσεις : πρώτη ομάδα (άκυρος) τιμές 1 έως 40, δεύτερη ομάδα (χαμηλός) με τιμές 41 έως 49, τρίτη ομάδα (μέσος) με τιμές δείκτη 50 έως 57, τέταρτη ομάδα (υψηλός) με τιμές 58 έως 65 και πέμπτη ομάδα (πολύ υψηλός) με τιμές 66 και πάνω.

### 3.9.4.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (FDI)

Ο δείκτης Fuel Danger Index (FDI) θεωρεί την πιθανότητα έναρξης μιας πυρκαγιάς με βάση την εύφλεκτη φύση και το καθεστώς σφρίγγους, του κάθε ξεχωριστού τύπου καυσίμου. Κατά τον προσδιορισμό της κατάλληλης τιμής δείκτη καυσίμου, τοπογραφικές πληροφορίες όπως είναι η κλίση και ο προσανατολισμός επηρεάζουν την πιθανότητα έναρξης φωτιάς για τον συγκεκριμένο τύπο καυσίμου. Ο υπολογισμός αυτός θα γίνει με την επίθεση του επιπέδου της καύσιμης ύλης στο επίπεδο του TDI μέσω των ΣΓΠ. Επιπρόσθετα, ενδιαφέρον δίνεται στο είδος της βλάστησης και την πυκνότητα της βλάστησης. Ορισμένα είδη είναι περισσότερο εύφλεκτα από άλλα και ως εκ τούτου αυτό θα αύξανε τον κίνδυνο πυρκαγιάς, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα της βλάστησης τόσο περισσότερα καύσιμη ύλη είναι εκεί για να καεί, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο κίνδυνος πυρκαγιάς.

### 3.9.4.2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (FRI)

Ο υπολογισμός του Forest Risk Index (FRI) βασίζεται σε δύο συνιστώσες. Η πρώτη είναι πιο στατικού χαρακτήρα και ορίζεται από τον τύπο καύσιμης ύλης και την μορφολογία του εδάφους που καθορίζουν την συμπεριφοράς της προκύπτουσας φωτιάς. Η άλλη είναι πιο δυναμική και καθορίζεται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που περιλαμβάνουν τον άνεμο, την θερμοκρασία και την βροχόπτωση που καθορίζουν την πιθανότητα ανάφλεξης. Κατά συνέπεια, ο FRI υπολογίζεται με την πρόσθεση του WDI και του FDI όπως εμφανίζεται στην εξίσωση 5 :

$$\text{FRI} = \text{WDI} + \text{FDI} \dots\dots\dots(5)$$

## 3.9.5 ΜΟΝΤΕΛΟ 4<sup>ο</sup> -WILDFIRE RISK INDEX

Το μοντέλο αυτό πρόγνωσης μας δίνει την επικινδυνότητα πυρκαγιάς βάση ενός σύνθετου δείκτη που προκύπτει ως άθροισμα δύο δεικτών του **FHI** (fire hazard index) και του **Mc. Arthur FDI** (Fire danger index). Ο πρώτος προκύπτει βάση τηλεπισκόπικών και χαρτογραφικών δεδομένων και με την χρήση προγραμμάτων GIS και επηρεάζεται από παράγοντες όπως τα είδη καύσιμης ύλης, η τοπογραφία του εδάφους και ο ανθρώπινος παράγοντας, μακροπρόθεσμες δηλαδή μεταβλητές που δεν αλλάζουν σε μικρά χρονικά διαστήματα. Ο δείκτης αυτός αντιπροσωπεύει την πιθανή αντίδραση μιας περιοχής μετά την εκδήλωση πυρκαγιάς και την συμπεριφορά της στην καύση, ο όρος που χρησιμοποιείται από τα επιστημονικά άρθρα είναι **FIRE HAZARD** και ορίζεται ως “a measure of that part of the fire danger contributed by the fuels available for burning” και διαφοροποιείται από τον **FIRE RISK** που ορίζεται ως “the chance of fire starting ,as affected by the nature and incidence of causative adjectives”. Ο πρώτος μας δίνει δηλαδή ένα χάρτη που ταξινομεί τις περιοχές με βάση πως θα συμπεριφερθούν στην φωτιά και όχι τον ίδιο τον κίνδυνο εκδήλωσης της, ενώ ο δεύτερος δείκτης που προκύπτει από μετεωρολογικά δεδομένα όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και ο άνεμος, δυναμικές δηλαδή μεταβλητές που αλλάζουν συνεχώς και αντιπροσωπεύει την πιθανότητα εκδήλωσης της.

### 3.9.5.1 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ FHI

Ο δείκτης αυτός όπως προαναφέραμε προκύπτει από δεδομένα τηλεπισκόπησης (remote sensing) και χαρτογραφικά, στα οποία με χρήση προγραμμάτων GIS και με μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης κάνουμε υπέρθεση ορισμένων μεταβλητών και έτσι προκύπτει ο ζητούμενος FIRE HAZARD χάρτης. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι πάνω στο μοντέλο αυτό έχουν γίνει πολλές προσεγγίσεις από διάφορους επιστήμονες με βασικές διαφοροποιήσεις όσο αναφορά ποιές είναι οι κατάλληλες μεταβλητές και ποια βάρη πρέπει να δοθούν σε αυτές, οι προσεγγίσεις αυτές απευθύνονται σε μελέτες διαφορετικών περιοχών και με χρήση διαφορετικών δεδομένων. Ο πίνακας 5 (J. D.A. Millington, 2005), περιέχει μερικά από τα μοντέλα που έχουν εφαρμοστεί και οι παράμετροι που το καθένα χρησιμοποιεί.

Table 1. Data used in previous GIS wildfire risk studies. All studies of this nature in the Mediterranean have included human activity because of the high number of human-caused fires in this region.

	Chuvienco and Congalton (1989)	Salas and Chuvienco (1994)	Chuvienco and Salas (1996)	Castro and Chuvienco (1998)
Data Resolution (m)	50	50	30	50
Vegetation (Fuel)	yes	yes	yes	yes
Elevation	yes	yes	no	no
Aspect	yes	yes	yes	yes
Slope Angle	yes	no	yes	yes
Temperature	no	no	yes	yes
Air Humidity	no	no	yes	no
Human Activity	yes	yes	yes	yes

Πίνακας 5: Διάγραμμα διαφορετικών προσεγγίσεων του FHI

Μεγάλο πλήθος εφαρμογών στην περιοχή της μεσογείου έχουν χρησιμοποιήσει τα παραπάνω μοντέλα με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Το μοντέλο που θα αναλυθεί είναι των **E. Chuvienco και R.G. Congalton (1989)**, με αφορμή μια σχετική εφαρμογή των δύο επιστημόνων για την Ισπανία (χώρα της μεσογείου με παρόμοια βλάστηση και κλίμα με αυτό της χώρας μας), που παρουσίασε καλά αποτελέσματα.

Οι βασικές μεταβλητές του μοντέλου, οι σημαντικότεροι δηλαδή παράγοντες που επηρεάζουν τις δασικές πυρκαγιές στο μεσογειακό περιβάλλον σύμφωνα με το μοντέλο αυτό είναι ο τύπος βλάστησης και η πυκνότητα του, τα τοπογραφικά δεδομένα και η εγγύτητα σε δρόμους.

#### 3.9.5.1.1 ΤΥΠΟΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς είναι το είδος και τα χαρακτηριστικά της βλάστησης. Ουσιαστικά δηλαδή χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικά δεδομένα, εικόνες δορυφόρων, ταξινομούμε τα είδη βλάστησης πάνω σε αυτές με βάση την ικανότητα τους σε καύση, αυτή επηρεάζεται κυρίως από τα ποσά καυσίμων υλών που περιέχουν αλλά και από



παράγοντες όπως η υγρασία της βλάστησης, η πυκνότητα και το ύψος της. Όσο αναφορά την ταξινόμηση των ειδών με βάση την ικανότητα αυτή προς καύση, μελέτες δασολόγων έχουν δώσει καλά αποτελέσματα, αυτή που θα χρησιμοποιήσουμε είναι του Prometheus project (1999), ένα νέο σύστημα κατάταξης του τύπου των καυσίμων υλών που αναπτύχθηκε ειδικά για την καλύτερη ανάδειξη των χαρακτηριστικών του καυσίμου των Μεσογειακών οικοσυστημάτων (<http://kentauros.rtd.algo.com.gr/promet/>). Αυτή η ταξινόμηση βασίζεται κυρίως στο ύψος και την πυκνότητα των καυσίμων υλών, τα οποία επηρεάζουν άμεσα την ένταση και τον πολλαπλασιασμό των καταστροφικών πυρκαγιών. Αναλυτική παρουσίαση του παραπάνω συστήματος έγινε σε δημοσίευση «Fuel type characterization based on coarse resolution MODIS satellite data» (A. Lanorte and R. Lasaponara, 2007).

### **3.9.5.1.2 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Στην ουσία αναφερόμαστε σε τρεις διαφορετικούς παράγοντες, που σχετίζονται με την τοπογραφία και τους παίρνουμε από DEM χάρτες. Η τοπογραφία είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που περιλαμβάνονται σε κάθε σύστημα πρόβλεψης επικινδυνότητας πυρκαγιάς. Οι επιπτώσεις των elevation (υψόμετρο), aspect (προσανατολισμός) και slope (κλίση) στη συμπεριφορά φωτιάς έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Μεταξύ αυτών, η κλίση (slope) θεωρείται ο πιο κρίσιμος παράγοντας, απότομες πλαγιές (μεγάλες κλίσεις) αυξάνουν την ταχύτητα διάδοσης, λόγω της πιο αποτελεσματικής προθέρμανσης και ανάφλεξης με επαφή. Η κλίση έχει επίσης σημαντική επίδραση στην καταστολή της φωτιάς, διότι προκαλεί κόπωση στο πυροσβεστικό πλήρωμα, δυσκολεύει την μετάβαση τροχαίων δυνάμεων και μειώνει την ασφάλεια. Έχει αποδεχθεί ότι η βλάστηση, σε ομαλές και μεγάλες πλαγιές, τείνει να καεί περισσότερο από ότι σε πλαγιές που περιέχουν υδατορεύματα ή βράχια, που διακόπτουν την κίνηση προς τα εμπρός της φωτιάς. Ο προσανατολισμός (aspect) είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενος από το ποσοστό ξήρανσης των καυσίμων υλών και την ταχύτητα εξάπλωση της φωτιάς.

### **3.9.5.1.3 ΕΓΓΥΘΗΤΑ ΣΕ ΔΡΟΜΟΥΣ**

Οι θέσεις των δρόμων και των μονοπατιών είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας για την χαρτογράφηση κίνδυνου πυρκαγιάς. Δύο είναι οι σημαντικές επιρροές του οδικού δικτύου στην εκδήλωση. Πρώτον, μπορούν να χρησιμεύσουν ως αντιπυρικές ζώνες που χρησιμεύουν σαν διαλείμματα της πορείας για την καταστολή της πυρκαγιάς, βάση αυτής της έννοιας, είναι ένας παράγοντας μείωσης του κινδύνου πυρκαγιάς. Δεύτερον, είναι πιθανές διαδρομές για πεζοπορία ή περιοχές κάμπινγκ, στο πλαίσιο αυτό, παρατηρείται αύξηση των δασικών πυρκαγιών, λόγω της πιο έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας.

### **3.9.5.1.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΕΙΚΤΗ FHI**

Όπως αναφέραμε παραπάνω στο στάδιο αυτό με την βοήθεια των GIS εφαρμογών κάνουμε υπέρθεση των τιμών των παραπάνω μεταβλητών στα δεδομένα μας και δημιουργούμε τον fire hazard χάρτη. Κάθε GIS εργαλείο στην πραγματικότητα είναι μόνο ένα εργαλείο για την αποθήκευση, ανάλυση και απεικόνιση των χωρικών δεδομένων. Είναι πολύ χρήσιμο να διατηρήσει μια συνεκτική και κοινή δομή για τα δεδομένα, αλλά δεν την παρέχει κανένα χαρτογραφικό μοντέλο από μόνο του. Με άλλα λόγια, η χρήση του GIS προϋποθέτει την παρουσία της προηγούμενης θεωρίας που επιτρέπει να συνδυάσουμε τις μεταβλητές με ένα ουσιαστικό και αποτελεσματικό τρόπο.

Οι περισσότερες από τις μελέτες για τη χαρτογράφηση του κινδύνου πυρκαγιάς δεν έχουν ασχοληθεί με την μοντελοποίηση κίνδυνου πυρκαγιάς. Τυπικά, αυτές οι κατηγορίες καυσίμων υλών



που προέρχονται από δορυφορικές εικόνες και τοπογραφικά δεδομένα εισάγονται σε ένα πρότυπο σύστημα αξιολόγησης κινδύνου πυρκαγιάς.

Στη μελέτη μας, σκοπός είναι να ενσωματώσουμε τα διάφορα layer χωρικών δεδομένων σε ένα ενιαίο δείκτη επικινδυνότητα πυρκαγιάς, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση αργότερα. Τα πέντε layer των πληροφοριών που είναι διαθέσιμες είναι η βλάστηση, η κλίση, ο προσανατολισμός, το υψόμετρο και η απόσταση από δρόμους. Η ολοκλήρωση αυτών των μεταβλητών εκδόθηκε σε ιεραρχικό σύστημα. Με άλλα λόγια, θεωρούμε ότι ορισμένα layer έχουν μεγαλύτερη επιρροή στην επικινδυνότητα πυρκαγιάς από άλλα. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο μοντέλο και για τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης μας, αυτά κατατάσσονται με την ακόλουθη σειρά: είδος βλάστησης, κλίση, προσανατολισμός, απόσταση από δρόμους και υψόμετρο.

Η προσέγγιση που υιοθετήθηκε για την ανάπτυξη του χάρτη fire hazard ακολουθεί τα εξής στάδια. Πρώτον, κάθε layer σταθμίζεται σύμφωνα με το αντίκτυπο του στην αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς, τα βάρη επιλέγονται ώστε να υπάρχει κλίμακα στον τελικό χάρτη μεταξύ 0 και 255. Αν και είναι αυθαίρετο το σύστημα επιλογής των βαρών αυτά τείνουν να λαμβάνουν υπόψη την σχετική σημασία του κάθε (layer) ως παράγοντα για την αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς. Δεύτερον, κάθε δεδομένο layer στη συνέχεια χωρίστηκε σε διάφορα επίπεδα που τους έχουν ανατεθεί συντελεστές 0, 1, 2 με βάση την κατάταξη τους σε υψηλής, μεσαίας και χαμηλής επιρροής του FHI. Σε κάποια layer τα δεδομένα διαιρούνται μόνο σε δύο επίπεδα, 0 και 1 τους έχει ανατεθεί υψηλή και χαμηλή επικινδυνότητα, αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, όσο χαμηλότερος είναι ο δείκτης FHI, τόσο υψηλότερος είναι ο κίνδυνος δασικής φωτιάς στην περιοχή αυτή.

Συνοπτικά, η τελική εξίσωση που μας δίνει τον FHI :

$$FHI = 1 + 100v + 30s + 10a + 5r + 2e$$

όπου τα  $v$ ,  $s$ ,  $a$ ,  $r$ , και  $e$  είναι οι συντελεστές που αναφέρονται στο είδος βλάστησης, την κλίση, τον προσανατολισμό, τους δρόμους και το υψόμετρο. Ο δείκτης επικινδυνότητας με τιμή μηδέν είναι αποκλειστικά για το νερό και αστικές εκτάσεις που απουσιάζουν από το μοντέλο. Για το λόγο αυτό το 1 είναι η σταθερή που προστίθεται στην εξίσωση για να αποφευχθούν εικονοστοιχεία με μηδενικές τιμές. Τιμές υψηλότερες από 255 μετατρέπονται σε 255 για τη διατήρηση της εικόνας εξόδου σε ένα μέγεθος 8-bit. Αυτή η απόφαση δεν συνεπάγεται σημαντική απώλεια δεδομένων, δεδομένου ότι αντιστοιχεί σε περιοχές με χαμηλό κίνδυνο δασικών πυρκαγιών. Οι ομάδες σε κάθε ένα από τα επίπεδα δεδομένων έχουν συσταθεί σύμφωνα με μια επισκόπηση της βιβλιογραφίας και με βάση την εμπειρία στον τομέα και προέρχονται από την περιοχή μελέτης.

Ο πίνακας 6 δίνει μια πλήρη βαθμονόμηση των μεταβλητών ως προς την ικανότητα τους σε καύση και με βάση την εφαρμογή στην Ισπανία, ουσιαστικά βάσει αυτού βαθμονομήθηκαν οι κατηγορίες των μεταβλητών με τους συντελεστές 0,1 και 2 και ανάλογα με τον αν οι εν' λόγω κατηγορίες αντιδρούν λίγο, μέτρια ή πολύ στην καύση.

**Table 1. Fire Hazard Modeling Method**

<i>Original Classes</i>	<i>Fire Hazard Groups</i>	<i>Coefficient</i>
<b>1.1. Vegetation Layer (Weight 100)</b>		
Dense pine tree	high	0
Medium pine tree	high	0
Sparse pine tree + shrub	medium	1
Dense shrub	medium	1
Medium shrub	medium	1
Sparse shrub	low	2
Almond trees	low	2
Vineyards	low	2
Orange trees	low	2
<b>2.1. Slope Layer (Weight 30)</b>		
0–4%	low	2
5–8%	low	2
9–12%	low	2
13–16%	medium	1
17–20%	medium	1
21–36%	medium	1
27–40%	medium	1
41–44%	high	0
> 44%	high	0
<b>2.3. Aspect Layer (Weight 10)</b>		
Southeast	high	0
Southwest	medium	1
North	low	2
<b>2.4. Proximity to Roads Layer (Weight 5)</b>		
Inside buffered area ( < 150 m from any trail or < 50 m from any road)	high	0
Outside buffered area	low	1
<b>2.5. Elevation Layer (Weight 2)</b>		
0–3 m	low	1
3–6 m	low	1
398–400 m	high	0
401–404 m	high	0
405–407 m	high	0

Πίνακας 6: Βαθμονόμηση μεταβλητών του FHI

### 3.9.5.2 Mc Arthur FDI

Επειδή ο δείκτης WDI που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο μοντέλο δεν περιείχε τον παράγοντα του ανέμου, που αποτελεί μια πολύ σημαντική μεταβλητή όσο αναφορά την πρόγνωση πυρκαγιάς, στραφήκαμε σε έναν άλλο δείκτη που βασίζεται σε καιρικές μεταβλητές και χρησιμοποιείται ακόμα και ως αυτοτελές μοντέλο πρόγνωσης. Ο δείκτης αυτός που χρησιμοποιήθηκε στην Αυστραλία και περιέχεται σε ένα γενικότερο μοντέλο που παρουσίασε ο Mc Arthur έχει έρθει πολλές φορές σε σύγκριση, από διάφορους μελετητές, με τον καναδικό FWI που παρουσιάσαμε παραπάνω. Η εργασία «A Simple Method for Determining Fire Danger» (J.J. Sharples et al., 2007) μας βοήθησε στην περιγραφή του δείκτη.

Οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται στον δείκτη αυτό είναι δυναμικές μεταβλητές, που αλλάζουν συνεχώς και αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς, αναφέρονται σε καιρικές συνθήκες και είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η υγρασία χώματος, η ταχύτητα ανέμου και οι βροχοπτώσεις. Η βασική παραδοχή στην οποία βασίζεται ο δείκτης είναι ότι, ο κίνδυνος πυρκαγιάς αυξάνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα ανέμου και μειώνεται όσο αυξάνεται η υγρασία που περιέχεται στην καύσιμη ύλη και έτσι έχουμε στο περίπου :

$$FDI \approx \frac{U_f}{FMC}$$

όπου  $U_f$  η ταχύτητα του ανέμου και  $FMC$  η περιεχόμενη στην καύσιμη ύλη υγρασία.

### 3.9.5.2.1 ΑΝΕΜΟΣ

Μια πυρκαγιά επηρεάζεται άμεσα από τον άνεμο στο μέτωπο της φωτιάς. Συνήθως, το πιο έντονο σε επιρροή μέρος του ανέμου είναι σε ύψος περίπου 2μ. Ο άνεμος τον οποίο εμείς έχουμε είναι ο μετεωρολογικός που μας δίνεται από τις κατάλληλες υπηρεσίες μέσω μετρήσεων σε μετεωρολογικούς σταθμούς και αντιπροσωπεύει τον άνεμο σε ύψος 10 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Η ταχύτητα του ανέμου στο μέτωπο της φωτιάς που μας ενδιαφέρει μπορεί να υπολογιστεί από τον μετεωρολογικό άνεμο με την βοήθεια ενός παράγοντα μείωσης ( $\gamma$ ) ο οποίος παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1.

$$U_f = \gamma U_{10}$$

όπου  $U_f$  συμβολίζουμε την ταχύτητα του ανέμου στο μέτωπο της φωτιάς και  $U_{10}$  την ταχύτητα του μετεωρολογικού ανέμου, όλες οι μετρήσεις των ανέμων γίνονται σε χιλιόμετρα ανά ώρα (Km/h). Ο παράγοντας  $\gamma$  είναι ένας όρος που εκφράζει την μείωση της ταχύτητας του ανέμου λόγω της βλάστησης. Τυπικά για ένα δάσος είναι περίπου 0,3 δηλαδή το 70% της ταχύτητας του ανέμου χάνεται από τις φυλλωσιές και δεν επηρεάζει την φωτιά.

### 3.9.5.2.2 ΥΓΡΑΣΙΑ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ

Το ποσοστό της περιεχόμενης στην καύσιμη ύλη υγρασίας επηρεάζεται από τρεις πηγές υγρασίας, τον αέρα, το χώμα και την βροχή.

Η επιρροή του αέρα στην υγρασία της καύσιμης ύλης μπορεί να εκφραστεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$FMC_a = 10 - \frac{(T - H)}{4}$$

όπου  $T$  είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου ( $^{\circ}C$ ) και  $H$  η σχετική υγρασία σε ποσοστό επί τις εκατό (%). Με βάση την εξίσωση αυτή η υγρασία της καύσιμης ύλης λόγω αέρα μειώνεται στα θερμότερα και ξηρότερα κλίματα, η εξίσωση αποτελεί μια προσέγγιση με βάση τα αποτελέσματα παλινδρόμησης όπου οι συντελεστές παλινδρόμησης έχουν στρογγυλοποιηθεί για ευκολία.

Οι επιρροές των υγρασιών χώματος και βροχοπτώσεων, σχετικά με την μακροπρόθεσμη υγρασία, αντιμετωπίζονται από τον παράγοντα ξηρασίας ( $DF$ ) και αποξήρανσης ( $\Gamma$ ), για τις δασικές και χορτολιβαδικές εκτάσεις, αντιστοίχως. Αυτές οι υγρασίες αλλάζουν σε πολύ πιο αργούς ρυθμούς από το ποσοστό υγρασίας του αέρα. Επειδή όμως στην συγκεκριμένη εφαρμογή έχουμε

δημιουργήσει ήδη δείκτη που αναφέρεται στις μακροπρόθεσμες μεταβλητές, που επηρεάζουν την φωτιά και ο δείκτης FDI είναι ένας δείκτης βραχυπρόθεσμων μεταβλητών καιρού δεν θα κάνουμε εκτενέστερη αναφορά στις υγρασίες χώματος και βροχοπτώσεων.

### 3.9.5.2.3 FDI

Ο δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς είναι ένας συνδυασμός αιολικής ενέργειας, βραχυπρόθεσμης ξηρότητας και της περιεκτικότητας σε υγρασία των καυσίμων του αέρα:

$$FDI = \frac{\alpha U_f}{D_{LT} FMC_a}$$

στην εξίσωση αυτή περιέχεται ένας παράγοντας βαθμονόμησης  $\alpha$  ο οποίος παίρνει την τιμή 20 για να έχει καλή συμφωνία με τα μοντέλα Mc Arthur, επειδή ο παράγοντας DIt αναφέρεται στις υγρασίες χώματος και βροχοπτώσεων που δεν μας ενδιαφέρουν του δίνουμε την τιμή 1. Αντικαθιστώντας στην εξίσωση αυτή τις μεταβλητές  $U_f$  και  $FMC_a$  με τις αντίστοιχες σχέσεις τους προκύπτει:

$$FDI = \frac{\gamma * U_{10}}{10 - \frac{(T - H)}{4}}$$

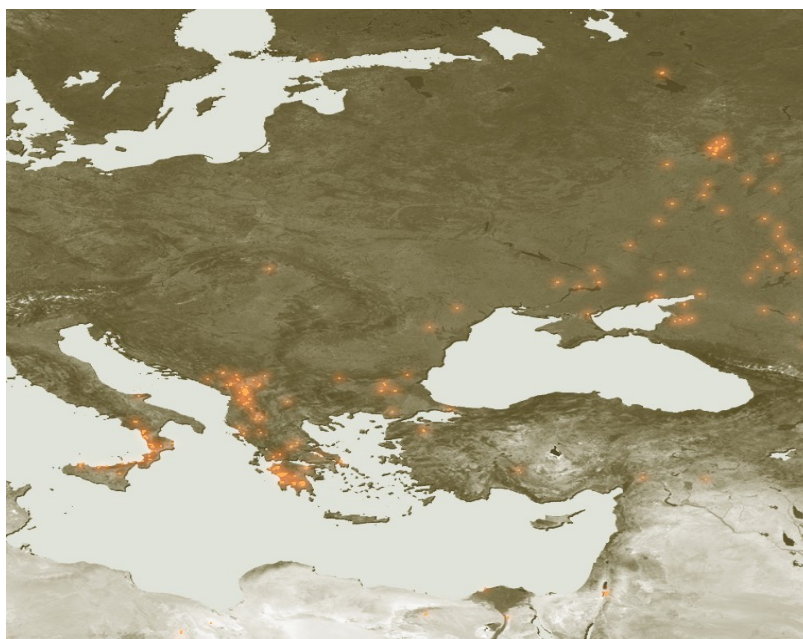
## 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης μας στην οποία και θα αναπτύξουμε τον δείκτη επικινδυνότητας πυρκαγιών στα πλαίσια της πρόληψης από το καταστροφικό αυτό φαινόμενο είναι ολόκληρος ο Ελλαδικός χώρος. Πληροφορίες γι' αυτή παίρνουμε από την εργασία «Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα για την περίοδο 1991-2004 : μηνύματα από την εξέλιξη του φαινομένου» (Καούκης Κ, 2009).

Η Ελλάδα βρίσκεται στο νοτιοανατολικό μέρος της Ευρώπης και μεταξύ του 34° και 42° παραλλήλου και ταυτόχρονα στα παράλια της μεσογείου θαλάσσης που της δίνει ένα χαρακτηριστικό κλίμα το λεγόμενο και μεσογειακό. Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται επίσης από έντονο ανάγλυφο όντας χώρα ορεινή με πολλά νησιά.

Στην μεσογειακή ζώνη στην οποία ανήκει και η χώρα μας το φαινόμενο των πυρκαγιών δεν είναι νέο, πάντοτε ξεσπούσαν φωτιές και σίγουρα αυτό θα συνεχιστεί. Μάλιστα τα μεσογειακά οικοσυστήματα όπως το δικό μας είναι προσαρμοσμένα στις πυρκαγιές και μπορούν να αναγεννηθούν εύκολα μετά από αυτές. Οι πυρκαγιές στην λεκάνη της μεσογείου εκδηλώνονται σε περιόδους μεγάλων ξηρασιών. Οι χώρες που βρίσκονται στο βόρειο μέρος της μεσογειακής λεκάνης, όπως η Ελλάδα, συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο αριθμό δασικών πυρκαγιών αλλά και το μεγαλύτερο βαθμό καμένων εκτάσεων. Τα τελευταία χρόνια όμως παρατηρείται μια σημαντική αλλαγή η οποία αφορά την αύξηση συχνότητας εμφάνισης τους καθώς και το μέγεθος τους (μεγάλες πυρκαγιές-πολλές καμένες εκτάσεις), με αποτέλεσμα οι καταστροφές να λαμβάνουν διαστάσεις εθνικής συμφοράς.



Εικόνα 13: Φωτιές στην Ελλάδα

Οι καταστροφές αυτές πέρα των ορατών επιπτώσεων (καμένο δάσος και υποβάθμιση του τοπίου), φέρουν και έμμεσες επιπτώσεις όπως είναι η υποβάθμιση του εδάφους, η αύξηση των φαινομένων πλημμύρας καθώς και η υποβάθμιση της ποιότητας και ποσότητας των υπογείων νερών. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε ότι η χώρα μας το 2007 επλήγη από τις μεγαλύτερες σε έκταση και μέγεθος πυρκαγιές της ιστορίας της οι οποίες είχαν σοβαρότατες επιπτώσεις.

Οι λόγοι που η Ελλάδα παρουσιάζει ανέκαθεν αυτόν τον μεγάλο αριθμό πυρκαγιών είναι οι καιρικές-κλιματικές και βλαστητικές συνθήκες που επικρατούν, οι καταγραφές των επεισοδίων αυτών ξεκίνα πριν την δεκαετία του 70 όμως το πρόβλημα αρχίζει να παίρνει σοβαρές διαστάσεις μετά το 1974, αφού από τότε παρατηρείται αύξηση τόσο του αριθμού των πυρκαγιών όσο και των εκτάσεων που καίγονται. Οι κοινωνικοοικονομικοί αλλαγές που συντελέστηκαν τις τελευταίες δύο δεκαετίες επηρέασαν τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς, δεδομένου και της αύξησης του εύφλεκτου χαρακτήρα των οικοσυστημάτων. Ως κυριότερες αιτίες μπορούμε να αναφέρουμε τη μείωση των αγροτικών πληθυσμών, την αύξηση των πληθυσμών των πόλεων, την αλλαγή των προτεραιοτήτων στην πολιτική της δασοπονίας (από την έμφαση στην παραγωγή των προϊόντων του δάσους οδηγηθήκαμε σήμερα στη συντήρηση της φύσης και των τοπίων της αλλά και στην διατήρηση των οικοσυστημάτων για αναψυχή), την αστική επέκταση στις δασικές περιοχές και την σταθερά αυξανόμενη τουριστική δραστηριότητα σε ζώνες δασικών περιοχών. Ένας ακόμα παράγοντας που συναντάται στην Ελλάδα μεμονωμένα είναι το φαινόμενο της κλοπής καταπάτησης δημόσιας περιουσίας.



*Εικόνα 14:* Πυρκαγιά λόγω οικιστικής δραστηριότητας σε δασική περιοχή

Κάποια χρήσιμα στοιχεία όσο αναφορά τις πυρκαγιές στην Ελλάδα είναι ότι στην χώρα μας παρουσιάζεται αυξανόμενος αριθμός πυρκαγιών με άγνωστες αιτίες έναρξης, παρατηρήθηκε ο σημαντικός ρόλος του ανέμου στο μέγεθος των καμένων εκτάσεων ενώ το μόλις 4% των φωτιών που ξεσπούν ευθύνονται για το 78% των καμένων εκτάσεων πράγμα που δείχνει την αδυναμία κατάσβεσης κάποιων πυρκαγιών. Τέλος ένα πολύ ενδιαφέρον στοιχείο που προέκυψε από την έρευνα είναι ότι υπάρχουν ενδείξεις ότι σε ορισμένες περιοχές όπου υπήρχε πίεση για οικιστική, τουριστική και γεωργική εξάπλωση, το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών οξύνθηκε και η αντιμετώπιση τους ήταν πολύ δύσκολη, όπως έδειχναν τα στοιχεία.

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι ένας λόγος για τον οποίο δίνουμε ιδιαίτερη σημασία στις πυρκαγιές, τόσο στην χώρα μας όσο και παγκοσμίως, είναι ότι η ζημία δεν περιορίζεται στο δάσος αλλά έχει άμεσες συνέπειες στην ανθρώπινη κοινωνία με οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές επιπτώσεις, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν και θύματα. Ιδιαίτερα μεγάλες καταστροφικές πυρκαγιές εντοπίζονται στην ζώνη μίξης δασών-οικισμών με τραυματικές συνέπειες για τους εκεί πληθυσμούς.

## 4.2 ΕΠΙΛΕΧΘΕΝ ΜΟΝΤΕΛΟ

Εφόσον στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης (Κεφάλαιο 2) έγινε παρουσίαση των τεσσάρων μοντέλων επικινδυνότητας πυρκαγιάς, τώρα πρέπει να αναφερθούμε στο επιλεγθέν μοντέλο και τους λόγους που απορήφθηκαν τα υπόλοιπα.

Καταρχάς στο πρώτο μοντέλο λείπουν από τον υπολογισμό του δείκτη παράγοντες όπως η τοπογραφία και η ανθρώπινη παρέμβαση που κρίνονται σημαντικοί ενώ για την εκτίμηση του δείκτη απαιτούνται μεταβλητές όπως η υγρασία των 10 ωρών νεκρής βλάστησης και η υγρασία εξάλειψης που διαφοροποιούνται από είδος σε είδος και είναι δύσκολος ο υπολογισμός τους, για τους λόγους αυτούς απορρίφθηκε. Το δεύτερο τώρα μοντέλο είναι ένα μοντέλο που βασίζεται καθαρά σε κλιματικές μεταβλητές με αποτέλεσμα να απορίπτει άλλους σοβαρούς παράγοντες που επηρεάζουν την φωτιά, ένας ακόμα λόγος που δεν εφαρμόστηκε είναι ότι ήδη διατίθενται χάρτες επικινδυνότητας με βάση αυτό το μοντέλο για όλη την ευρώπη από την EFFIS καθημερινά (Εικόνα 12) και δεν είχε νόημα να γίνει η ίδια εφαρμογή. Όσο αναφορά το 3 μοντέλο ουσιαστικά αποτελεί παραλλαγή του 4 μοντέλου που έγινε από επιστήμονες με σκοπό να προσαρμόσουν το τελευταίο στις περιοχές της Ασίας και κυρίως την Ινδία, αποτελεί επομένως έναν συνδυαστικό δείκτη που περιλαμβάνει τόσο μακροπρόθεσμες όσο και βραχυπρόθεσμες μεταβλητές για τον οποίο όμως δεν ήταν αρκετές οι πληροφορίες μας για το πως θα συνδυαστούν οι παράγοντες της τοπογραφίας με τα είδη καύσιμης ύλης.

Το μοντέλο 4 στο οποίο και καταλήξαμε αποτελείται από έναν συνδυασμό δύο δεικτών του **FHI** (Fire Hazard Index) που υπολογίζεται από μακροπρόθεσμες μεταβλητές και του **FDI** (Fire Danger Index) που υπολογίζεται μέσω βραχυπρόθεσμων μεταβλητών, ενώ πλήρης είναι οι γνώσεις μας για τον τρόπο που θα συνδυαστούν οι μεταβλητές τους για την παραγωγή των δύο χαρτών επικινδυνότητας. Ο σημαντικότερος λόγος που μας οδήγησε στην επιλογή του είναι το πλήθος των εφαρμογών που έχει χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο μοντέλο σε περιοχές της μεσογείου και κυρίως στην Ισπανία σε περιοχές δηλαδή με παρόμοια βλάστηση, τοπογραφία και κλίμα με αυτό της χώρας μας και τα ικανοποιητικά αποτελέσματα που αυτό εμφάνισε.

## 4.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

### 4.3.1 MODIS ΕΙΚΟΝΕΣ

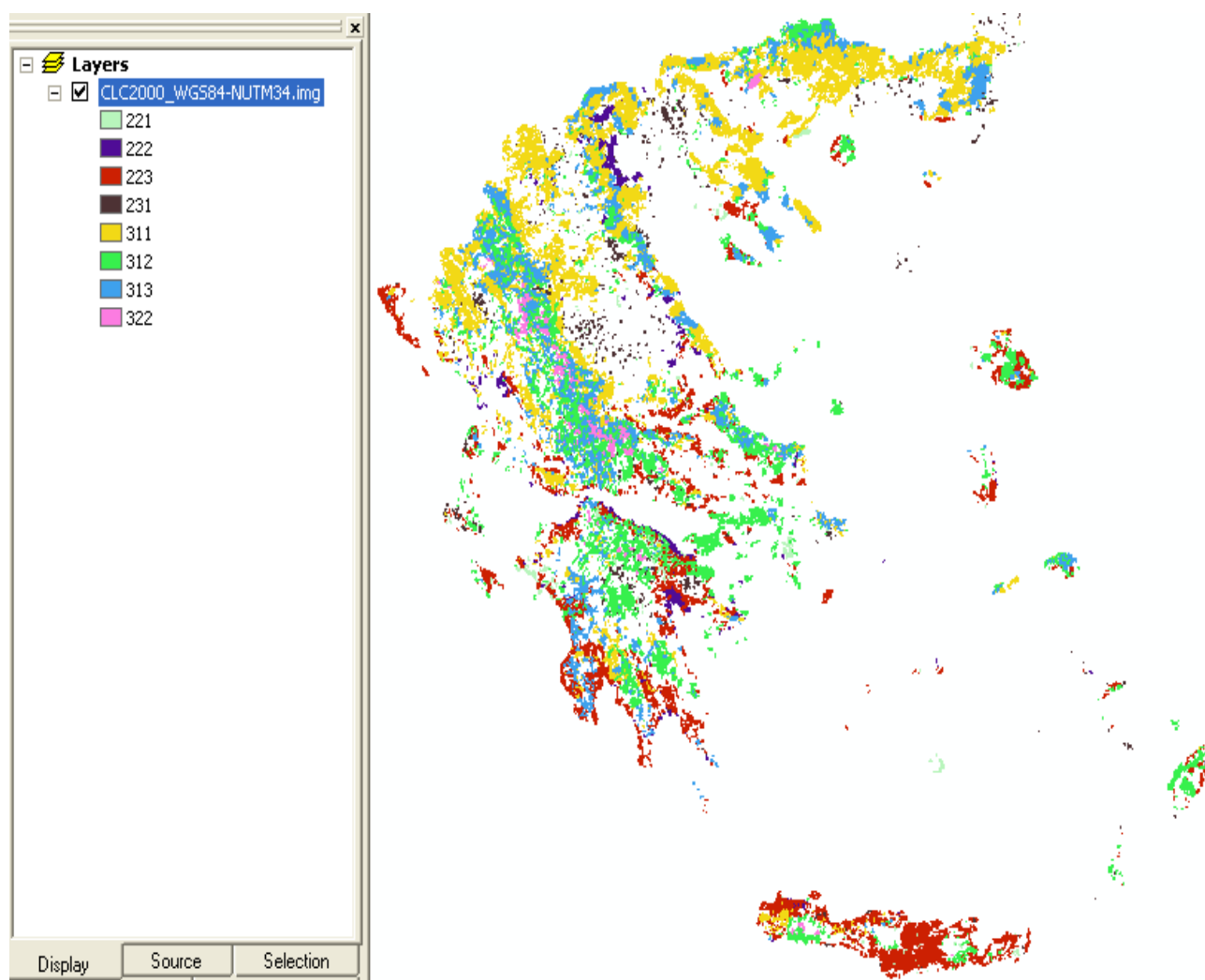
Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα τα οποία και θα χρησιμοποιηθούν για τον δείκτη FHI είναι απεικονίσεις του συστήματος Modis.

Αρχικά από την ιστοσελίδα (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>) και ένα μεγάλο σύνολο απεικονίσεων που διατίθενται μέσω αυτής επιλέχθηκαν δύο απεικονίσεις του Μαΐου που περιλαμβάνουν τον Ελλαδικό χώρο και με την προϋπόθεσή να μην υπάρχει μεγάλη κάλυψη από σύννεφα. Κατάλληλες κρίθηκαν οι εικόνες του Terra στις 9 Μαΐου του 2010 (2010/129) και στις 27 Μαΐου του ίδιου έτους (2010/147), ο λόγος που οι απεικονίσεις είναι του Μαΐου θα αναλυθεί στο εδάφιο 4.3.3. Από τον ισότοπο αυτό κατεβάσαμε ουσιαστικά 4 αρχεία, τα MOD02QKM.A2010129.0915.005.2010130181848&MOD02QKM.A2010147.0900.005.2010147192215 που είναι οι απεικονίσεις του Terra με διακριτική ικανότητα 250 m (προϊόντα επιπέδου 2 του Modis) για τις δύο αυτές ημέρες στις 9:15 και 9:00 αντίστοιχα και άλλα δύο αρχεία, MOD03.A2010129.0915.005.2010130154652 και MOD03.A2010129.0915.005.2010130154652, για την γεωαναφορά τους (προϊόντα επιπέδου 3 του Modis). Τα αρχεία αυτά είναι σε μορφή “HDF”.



### 4.3.2 ΕΙΔΗ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ

Καταρχάς απαραίτητο εργαλείο για την εφαρμογή του μοντέλου ήταν το Corine 2000 το οποίο όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο μας δίνει τις χρήσεις γης για την Ελληνική επικράτεια. Στην συγκεκριμένη τώρα εφαρμογή συμμετέχουν μόνο οι χρήσεις γης που παρουσιάζουν αντίδραση στην καύση επομένως οι κατηγορίες του επιπέδου 1 του CORINE LAND COVER : 1.ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ , 4. ΥΓΡΕΣ ΖΩΝΕΣ , 5.ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ανήκουν σε μια και μόνο κατηγορία των μη εύφλεκτων υλών για τις οποίες δεν θα εφαρμοστεί το μοντέλο. Οπότε τα είδη με τα οποία θα ασχοληθούμε είναι αυτά που ανήκουν στις χρήσεις γης 2.ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ και 3.ΔΑΣΗ ΚΑΙ ΗΜΙ-ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ του πρώτου επιπέδου του Corine 2000 .



Εικόνα 15:Ο χάρτης του Corine 2000 με τις χρήσεις γης των κατηγοριών 2 και 3 του πρώτου επιπέδου



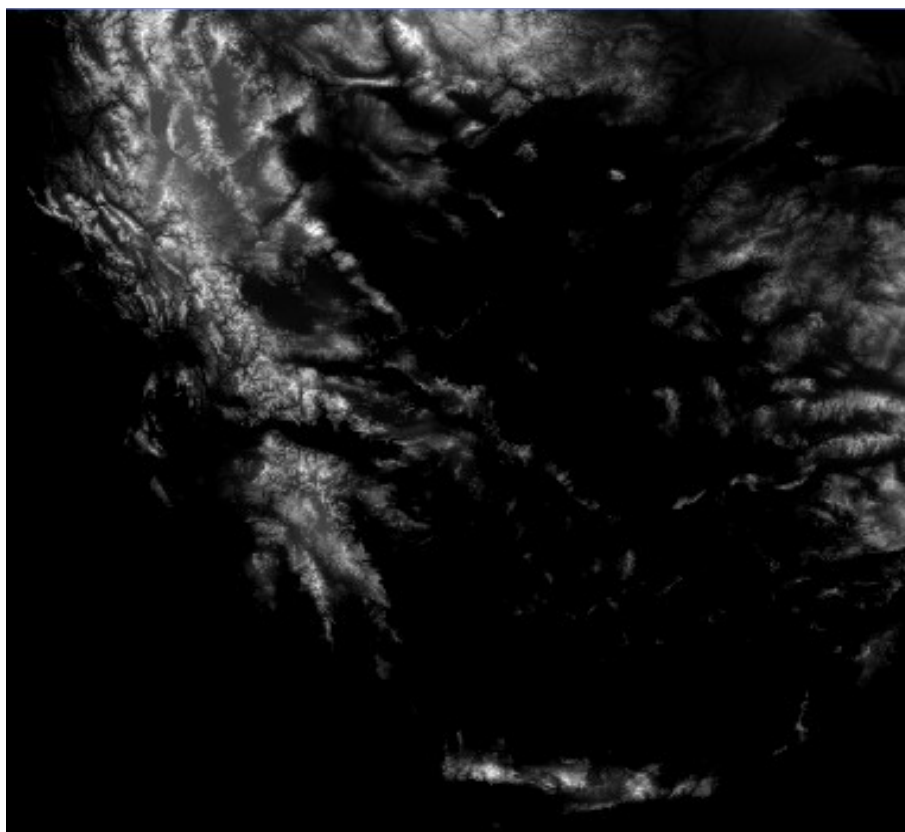
### 4.3.3 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Όπως αναφέρθηκε και στο εδάφιο **3.9.5.1** της βιβλιογραφικής ανασκόπησης για τον υπολογισμό του δείκτη FHI οι τρεις τοπογραφικές μεταβλητές υψόμετρο, προσανατολισμός και κλίση επηρεάζουν η κάθε μια με διαφορετικό βάρος τον δείκτη. Αυτή που χρησιμοποιούμε ως δεδομένο είναι το υψόμετρο που παίρνουμε μέσω χαρτών DEM και οι άλλες δύο μεταβλητές υπολογίζονται βάση αυτού.

Οι χάρτες DEM που αποτελούν τα δεδομένα μας έχουν υψηλή διακριτική ικανότητα, της τάξης των 25 μέτρων και δημιουργήθηκαν στα πλαίσια ενός διεθνούς προγράμματος του SRTM που τρέχει μέσω της National Geospatial -Intelligence Agency (NGA) και της Εθνικής Υπηρεσίας Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA).

Η αποστολή Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) συγκεντρώνει υψομετρικά δεδομένα σε μια σχετική παγκόσμια κλίμακα για να δημιουργήσει την πιο πλήρη, υψηλής ευκρίνειας, ψηφιακή τοπογραφική βάση δεδομένων της γης. Η SRTM αποτελείται από ένα ειδικά τροποποιημένο σύστημα ραντάρ που πέταξε πάνω στο διαστημικό λεωφορείο Endeavour κατά τη διάρκεια μιας 11ήμερης αποστολής που ξεκίνησε τον Φεβρουάριο του 2000.

Το ραντάρ SRTM περιείχε δύο τύπους πάνελ κεραίων, C-band και X-band. Οι παγκόσμιοι τοπογραφικοί χάρτες της Γης που ονομάζονται Digital Elevation Models (DEMs) είναι κατασκευασμένες από δεδομένα κεραίων C-band.



Εικόνα 16: Χάρτης DEM με τα υψόμετρα της επιφάνειας της Ελλάδος

## 4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Αφού έγινε και η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου επικινδυνότητας το επόμενο βήμα ήταν η πλήρη περιγραφή του τρόπου με τον οποίο αυτό θα εφαρμοστεί στην περιοχή μας με αναφορά στα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν τα οποία είναι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, τα είδη βλάστησης, πυκνότητα βλάστησης, τοπογραφικά δεδομένα καθώς και τα καιρικά δεδομένα.

Η εφαρμογή του μοντέλου θα γίνει σε 3 στάδια σε πρώτη φάση προκύπτει ο δείκτης **FHI** (fire hazard index) που βασίζεται σε μακροπρόθεσμες μεταβλητές, ο οποίος αντιπροσωπεύει την αντίδραση της περιοχής σε καύση. Σε δεύτερο στάδιο κάνουμε υπολογισμό του **FDI** (fire danger index) τον δείκτη των βραχυπρόθεσμων μεταβλητών του καιρού, που αντιπροσωπεύει την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς. Σε τελικό στάδιο συνδυάζουμε τους δύο αυτούς δείκτες.

### 4.4.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ FHI

#### 4.4.1.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

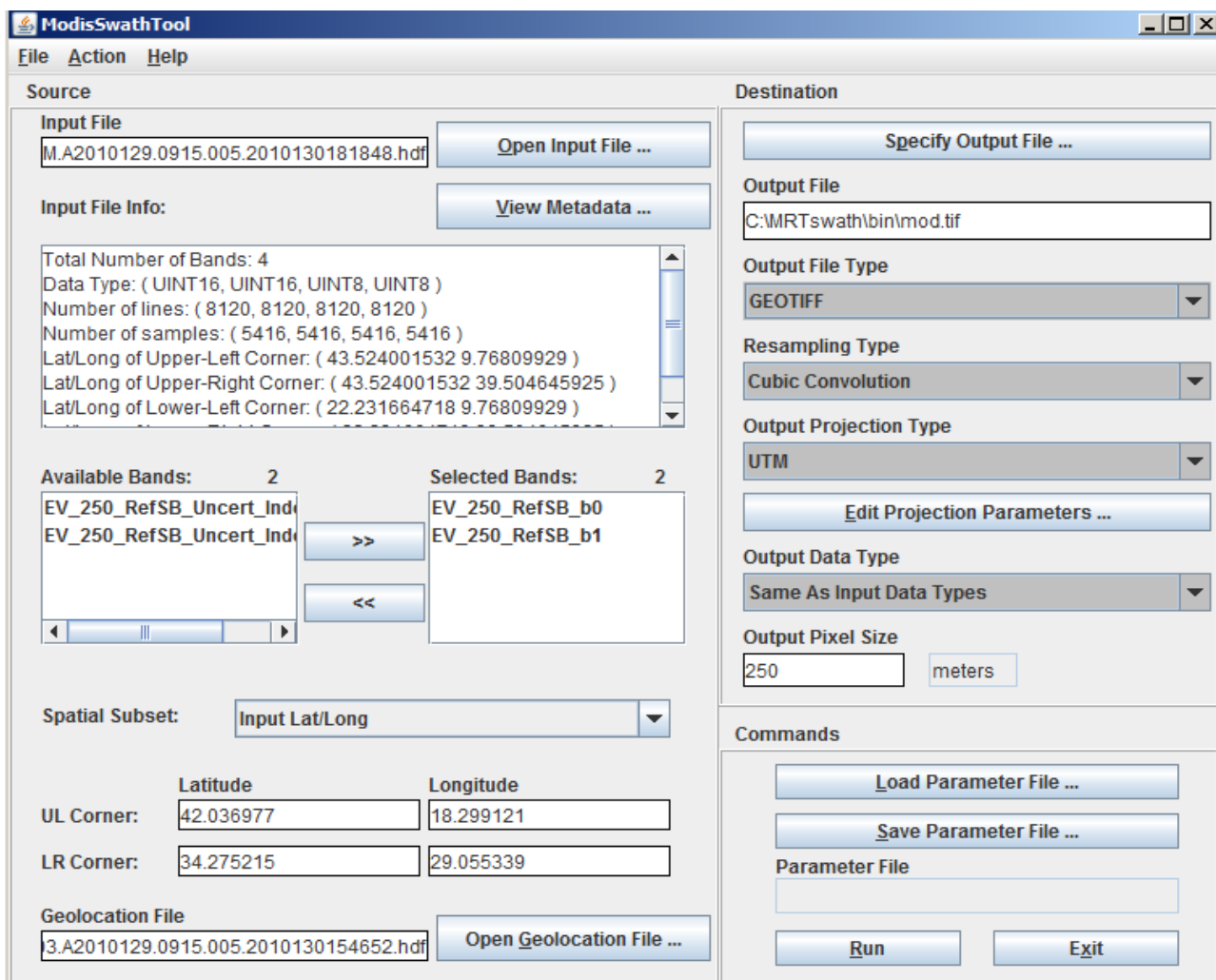
##### 4.4.1.1.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ

Οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, του συστήματος Modis, που αποτελούν βασικά δεδομένα μας δεν είναι γεωμετρικά διορθωμένες με αποτέλεσμα να απαιτήται η γεωαναφορά τους, για τον σκοπό αυτό και χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MRT swath. Στο περιβάλλον του προγράμματος αυτού, αφού εισάγουμε την απεικόνιση και το αρχείο με την γεωαναφορά της, επιλέγουμε τα κανάλια που θα γίνει η γεωμετρική διόρθωση. Στην συνέχεια, καθορίζουμε τα όρια της εικόνας που θα γίνει η διόρθωση μέσω δύο σημείων του πάνω αριστερά και του κάτω δεξιά. Ένας τρόπος για τον εντοπισμό των συντεταγμένων των δύο αυτών σημείων είναι το πρόγραμμα Google Earth, όπου αφού εντοπίσουμε οπτικά τα σημεία έχουμε αυτόματα της συντεταγμένες που μας ζητά το MRT Swath. Τέλος αφού καθορίσουμε κάποιες παραμέτρους, που σχετίζονται με την γεωμετρία των εικόνων, με βάση την εκάστοτε εφαρμογή και περιοχή, παίρνουμε σε ξεχωριστά αρχεία τα κανάλια που επιλέξαμε γεωμετρικά διορθωμένα.

Στην εν λόγω εφαρμογή θα υλοποιήσουμε δύο γεωμετρικές διορθώσεις μια για κάθε απεικόνιση. Στην πρώτη διόρθωση για την απεικόνιση της Ελλάδος στις 9 Μαΐου του 2010, αρχικά καθορίσαμε το εισαγόμενο αρχείο (input file) στο πρόγραμμα αυτό, το οποίο είναι η απεικόνιση MOD02QKM.A2010129.0915.005.2010130181848 με ανάλυση 250 μ. και τα κανάλια που θα επιλέξουμε είναι τα EV\_RefSB\_b0 (ερυθρό) και EV\_RefSB\_b1(εγγύς υπέρυθρο). Στην συνέχεια, αφού μέσω του λογισμικού Google Earth εντοπίσαμε τα δύο σημεία με συντεταγμένες (U.L. : 42,036977 / 18,299121 και D.R. : 34,275215 / 29,055339) που περιλαμβάνουν τον Ελλαδικό χώρο εισάγαμε τις συντεταγμένες αυτές ως όρια (πάνω αριστερά και κάτω δεξιά) για τις διορθωμένες απεικονίσεις που θα εξάγουμε.

Παράλληλα εισάγουμε το αντίστοιχο αρχείο γεωαναφοράς (geolocation file), MOD03.A2010129.0915.005.2010130154652 και επιλέγουμε το σημείο του δίσκου που θα αποθηκευτούν τα νέα αρχεία και την μορφή τους, η οποία θα είναι “TIF” για μετέπειτα συμβατότητα με το eCognition. Σε επόμενη φάση καθορίσαμε το τύπο προσομοίωσης (resampling type) που είναι η κυβική συνέλιξη (Cubing Convolution) και τον τύπο της προβολής εξόδου (output projection type) που είναι η προβολή UTM στη ζώνη 34 (για την Ελλάδα) και στο ελλειψοειδές αναφοράς WGS 84. Τέλος το μέγεθος εικονοστοιχείου στις απεικονίσεις που εξάγονται (output pixel size) είναι κοινό με αυτό της απεικόνισης που εισάγαμε, δηλαδή στα 250μ.

Όμοια είναι και η γεωμετρική διόρθωση της απεικόνισης στις 27 Μαΐου . Οι παραπάνω διεργασίες στο περιβάλλον του MRT Swath φαίνονται στην εικόνα 17.



Εικόνα 17: Η γεωμετρική διόρθωση στο MRT Swath

Μετά το τρέξιμο του MRT swath στην εφαρμογή αυτή προκύπτουν ουσιαστικά 2 αρχεία TIF για κάθε ημερομηνία, κάθε ένα από τα οποία αντιπροσωπεύει μια απεικόνιση του διορθωμένου καναλιού, τα mod02.a2010129.250\_EV\_250\_RefSB\_b0 & mod02.a2010129.250\_EV\_250\_RefSB\_b1 για τις 9/05 και mod.a2010147.250\_EV\_250\_RefSB\_b0 & mod.a2010147.250\_EV\_250\_RefSB\_b1 για τις 27/05 καθώς και ένα αρχείο παραμέτρων (parameter file) που αναφέρει τις παραμέτρους με βάση τις οποίες έγινε η διόρθωση, τα parameter2010129 και parameter2010147 (αρχεία PRM μορφής).

```

parameter2010129.prm - WordPad
Αρχείο Επεξεργασία Προβολή Εισαγωγή Μορφή Βοήθεια

INPUT_FILENAME = C:\Users\ANTONIO\Downloads
\MOD02QKM.A2010129.0915.005.2010130181848.hdf

GEOLOCATION_FILENAME = C:\Users\ANTONIO\Downloads
\MOD03.A2010129.0915.005.2010130154652.hdf

INPUT_SDS_NAME = EV_250_RefSB, 1, 1

OUTPUT_SPATIAL_SUBSET_TYPE = LAT_LONG
OUTPUT_SPACE_UPPER_LEFT_CORNER (LONG LAT) = 18.299121 42.036977
OUTPUT_SPACE_LOWER_RIGHT_CORNER (LONG LAT) = 29.055339 34.275215

OUTPUT_FILENAME = C:\Users\ANTONIO\Desktop\mod02.a2010129.250
OUTPUT_FILE_FORMAT = GEOTIFF_FMT

KERNEL_TYPE (CC/BI/NN) = CC

OUTPUT_PROJECTION_NUMBER = UTM

OUTPUT_PROJECTION_PARAMETER = 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

OUTPUT_PROJECTION_SPHERE = 8

OUTPUT_PROJECTION_ZONE = 34

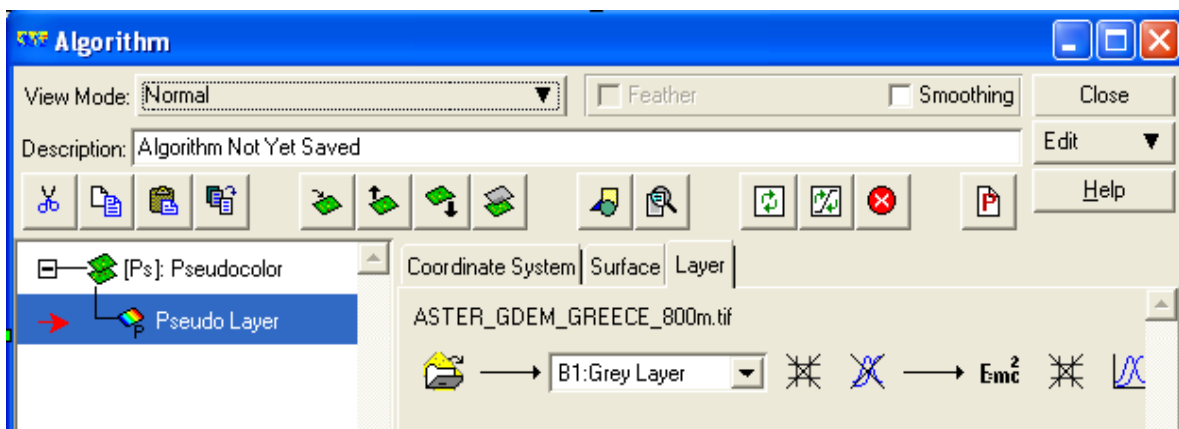
OUTPUT_PIXEL_SIZE = 250

```

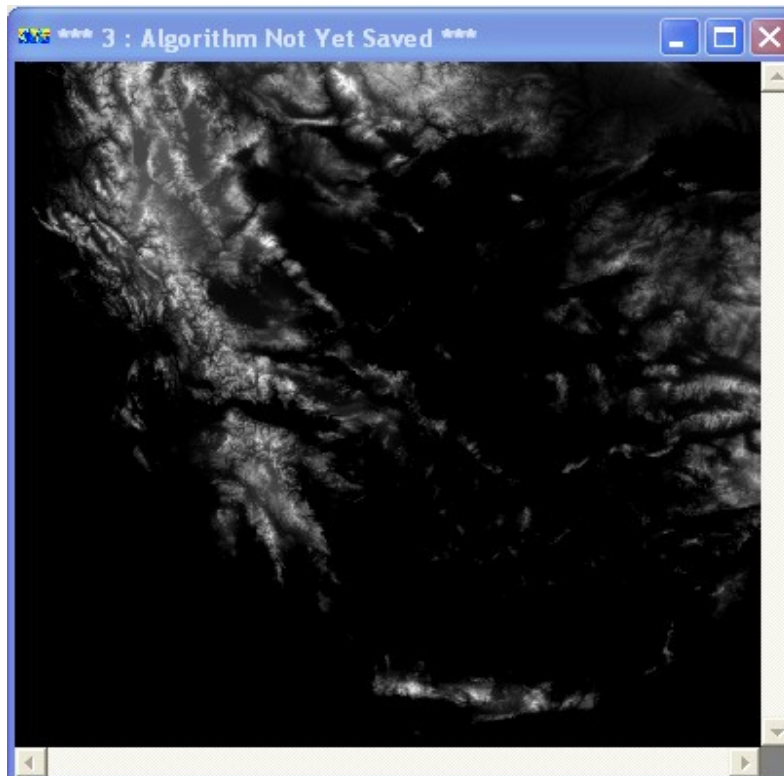
Εικόνα 18: Αρχείο παραμέτρων διόρθωσης της απεικόνισης Modis (09/05/2010)

#### 4.4.1.1.2 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι τοπογραφικά δεδομένα DEM που χρησιμοποιούμε αποτελούν ουσιαστικά χάρτες με διακριτική ικανότητα 25 μ. στους οποίους και απεικονίζεται το υψόμετρο της επιφάνειας της γης. Στο περιβάλλον εργασίας του Er Mapper φορτώνουμε το DEM, τον χάρτη των υψομέτρων του Ελλαδικού χώρου. Στην συνέχεια φέρνουμε την απεικόνιση αυτή στο στο σύστημα αναφοράς των γεωμετρικά διορθωμένων καναλιών του Modis, δηλαδή σε σύστημα WGS 84 και σε UTM ζώνη 34 που αναφέρεται στην Ελλάδα, έτσι ώστε να συμπέσουν τα τοπογραφικά δεδομένα με αυτά όταν φορτωθούν από το eCognition.



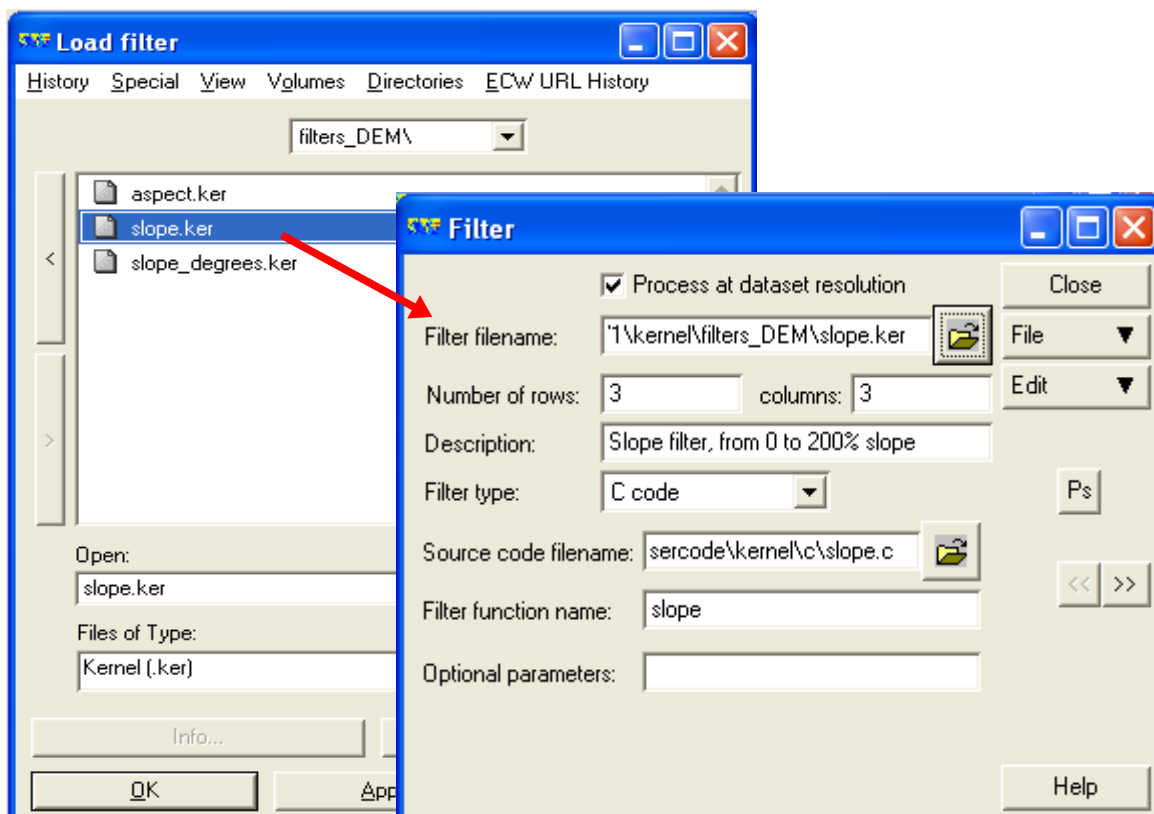
Εικόνα 19: Άνοιγμα του αρχείου DEM των υψομέτρων από το Er Mapper



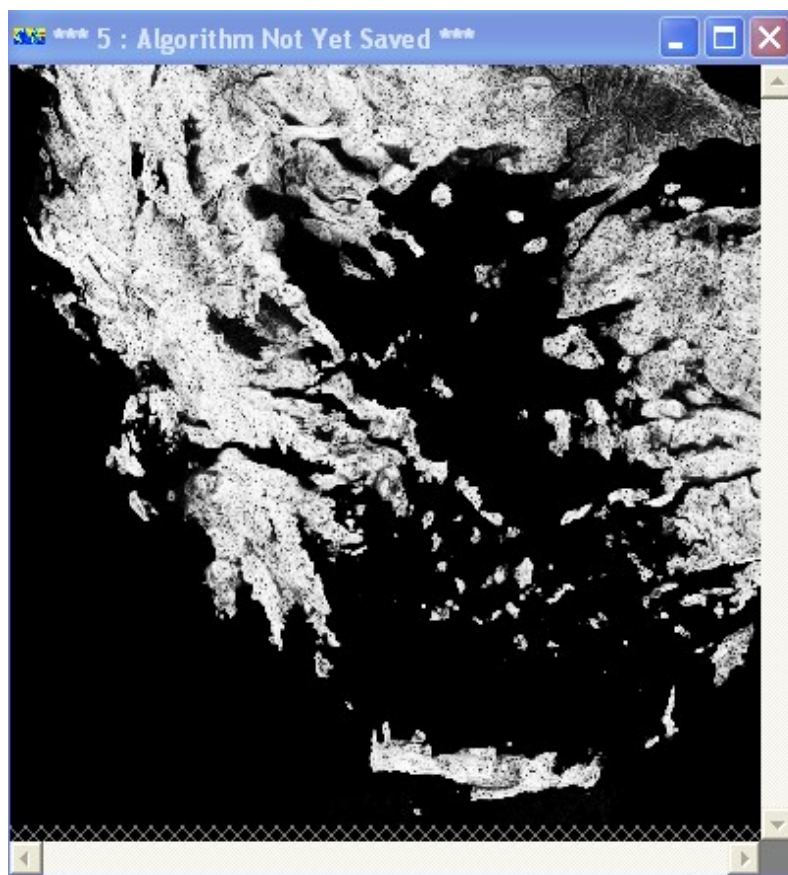
Εικόνα 20: Το DEM των υψομέτρων

Στο μοντέλο επικινδυνότητας που εφαρμόσαμε εκτός από το υψόμετρο συμμετέχουν και οι τοπογραφικές μεταβλητές κλίσης και προσανατολισμού, ο υπολογισμός αυτών θα γίνει στο Er Mapper με την εφαρμογή κατάλληλων φίλτρων πάνω στον χάρτη των υψομέτρων. Με τον όρο φίλτρο εννοούμε μια "τοπική" πράξη κατά την οποία οι τιμές των εικονοστοιχείων της αρχικής εικόνας τροποποιούνται στην ενισχυμένη εικόνα με βάση τις τιμές του γκρι των γειτονικών τους εικονοστοιχείων (Αργιαλάς Δ, 1999).

Σε πρώτο βήμα για τον υπολογισμό της κλίσης, από τα διατιθέμενα φίλτρα και ειδικότερα την ομάδα των DEM φίλτρων (filters\_DEM) επιλέγουμε το φίλτρο με ονομασία "slope", το οποίο δίνει τιμές από 0 έως 200%, ένα φίλτρο κώδικα C (C code) μεγέθους 3\*3 και το εφαρμόζουμε στην απεικόνιση του υψομέτρου. Πρέπει να αναφέρουμε ότι υπήρχε και δυνατότητα με άλλο φίλτρο "slope\_degrees" να υπολογιστεί η κλίση σε μοίρες, στο μοντέλο όμως επικινδυνότητας η κλίση είναι υπολογισμένη και βαθμονομημένη σε τιμές επί τις εκατό.



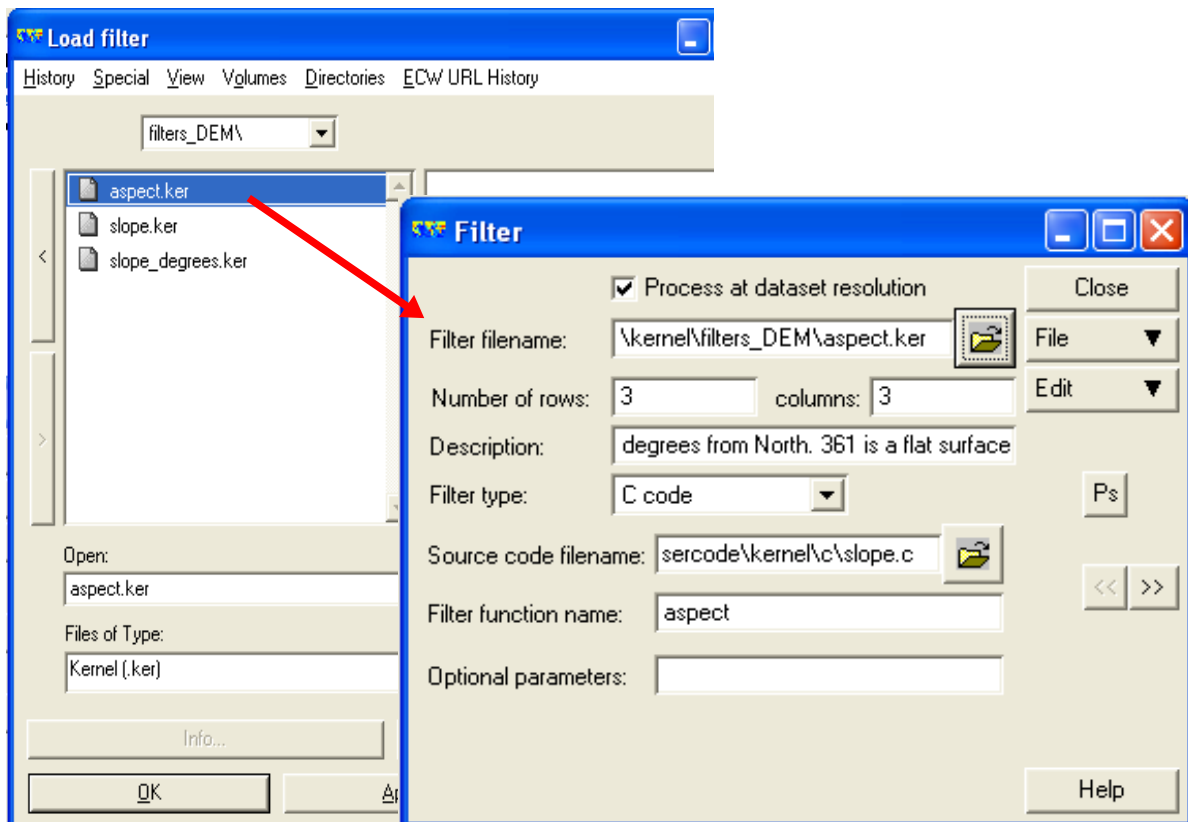
Εικόνα 21: Εφαρμογή φίλτρου "slope" στο Er Mapper



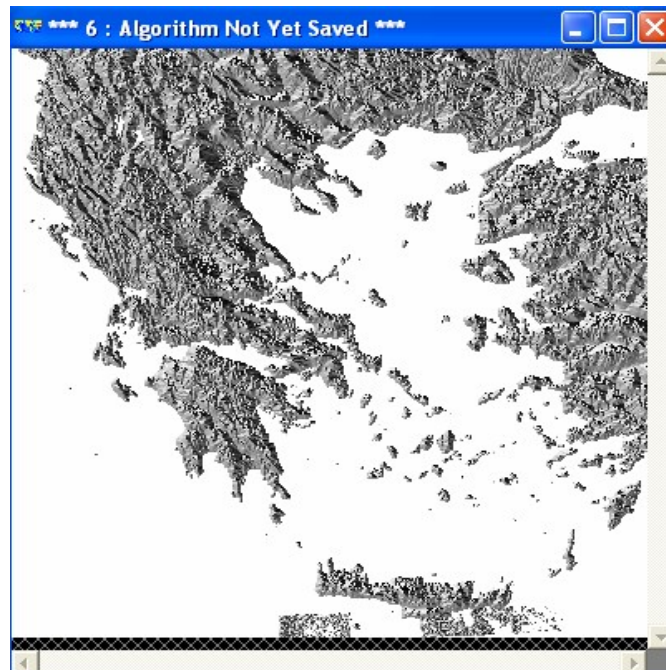
Εικόνα 22: Η κλίση μετά την εφαρμογή του φίλτρου



Σε επόμενη φάση έχουμε τον υπολογισμό του προσανατολισμού, στην κατεύθυνση αυτή από τα διατιθέμενα φίλτρα της ομάδας των DEM φίλτρων χρησιμοποιούμε το "aspect". Το φίλτρο αυτό είναι και αυτό κώδικα C (3\*3) με τις τιμές να δίνονται σε μοίρες από 0, στο βορρά, έως 361 (την τιμή αυτή την παίρνουν επίπεδες επιφάνειες χωρίς προσανατολισμό) και το εφαρμόζουμε στο DEM των υψομέτρων.



Εικόνα 23: Εφαρμογή φίλτρου "aspect" στο Er Mapper



Εικόνα 24: Ο προσανατολισμός μετά την εφαρμογή του φίλτρου

Στο τέλος εξάγουμε από το Er Mapper τρεις απεικονίσεις σε μορφή TIF με διακριτικές ικανότητες 800μ, για μείωση του όγκου των δεδομένων τόσο γιατί η εφαρμογή δεν απαιτεί τόσο λεπτομερή δεδομένα αλλά και για να είναι συμβατές με την δοκιμαστική έκδοση (demo) του eCognition. Μια για καθένα από τα τοπογραφικά δεδομένα μας, αυτές είναι οι ASTER\_GDEM\_GREECE\_800m (υψόμετρο), ASTER\_GDEM\_GREECE\_800m\_ASPECT (προσανατολισμός) και ASTER\_GDEM\_GREECE\_800m\_SLOPE (κλίση) οι οποίες θα αποτελέσουν ξεχωριστά κανάλια στο "project" του eCognition για την εφαρμογή του δείκτη.

#### 4.4.1.1.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ -NDVI

Ένα από τα σημαντικότερα δεδομένα στην κατασκευή του δείκτη FHI είναι η πυκνότητα βλάστησης καθώς η βαθμονόμηση της ικανότητας σε καύση της βλάστησης δεν σχετίζεται μόνο με τα είδη της αλλά και με την πυκνότητάς τους. Για τον σκοπό αυτό και δημιουργούμε τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI.

Στο περιβάλλον εργασίας του Er Mapper εισάγουμε τα 4 κανάλια που προέκυψαν από τις γεωμετρικές διορθώσεις των δύο απεικονίσεων, mod02.a2010129.250\_EV\_250\_RefSB\_b0 & mod02.a2010129.250\_EV\_250\_RefSB\_b1 για τις 9/05 και mod.a2010147.250\_EV\_250\_RefSB\_b0 & mod.a2010147.250\_EV\_250\_RefSB\_b1 για τις 27/05, τα οποία απαντώνται στο ερυθρό και το εγγύς υπέρυθρο αντίστοιχα.

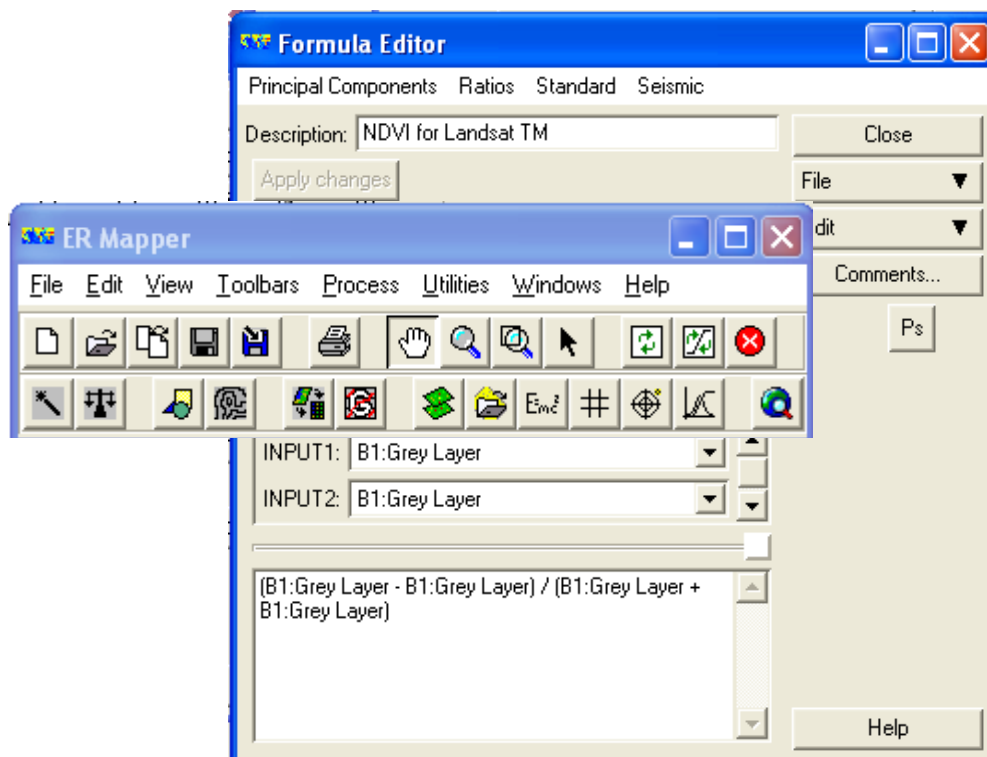
Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, εδάφιο **3.7.1**, γνωρίζουμε ότι ο δείκτης αυτός προκύπτει με την ακόλουθη πράξη:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

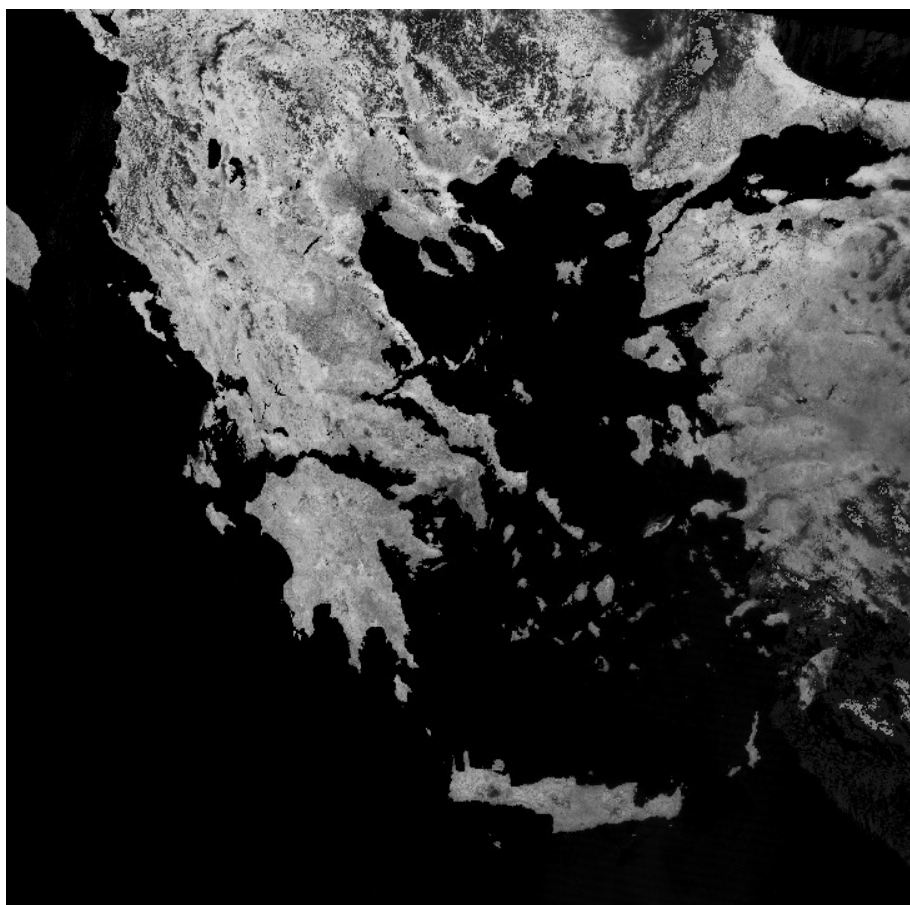
Όπου τα NIR και RED είναι τα BAND 1 και BAND 0 (250μ) αντίστοιχα, στο σύστημα Modis.

Επομένως στο Er Mapper αφού εισάγουμε τα δύο ξεχωριστά κανάλια b0 και b1 για κάθε ημερομηνία, τα ενώνουμε σε ένα ενιαίο Er Mapper Virtual dataset (ers) και μέσω της εντολής για επεξεργασία τύπων (Formula Editor) επιλέγουμε την εφαρμογή του Landsat TM NDVI και στις εισόδους (input) 1 και 2 του τύπου τοποθετούμε τα κανάλια Band 0 και Band 1 της νέας ενιαίας εικόνας που δημιουργήσαμε, το αποτέλεσμα της εφαρμογής είναι ο NDVI.

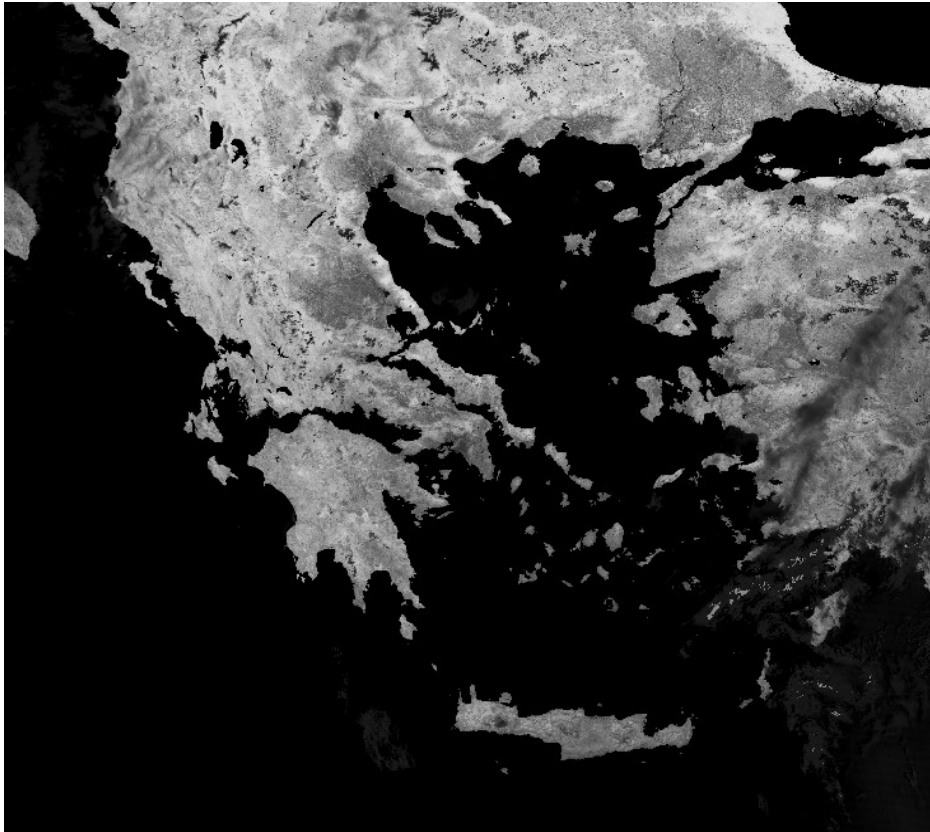




Εικόνα 25: Κατασκευή NDVI στο e Cognition

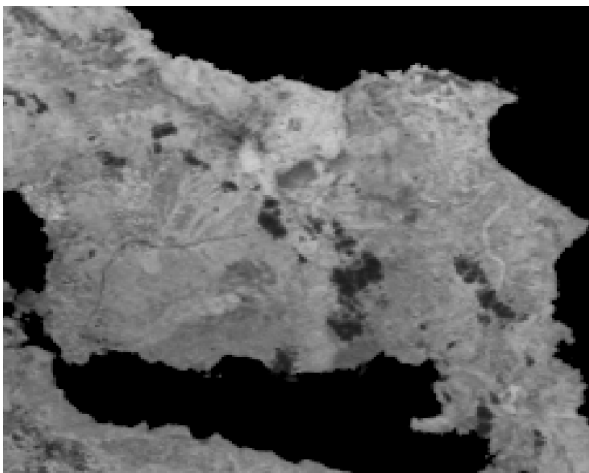


Εικόνα 26: Ο δείκτης NDVI της Ελλάδος στις 9/05/2010 (129/2010)

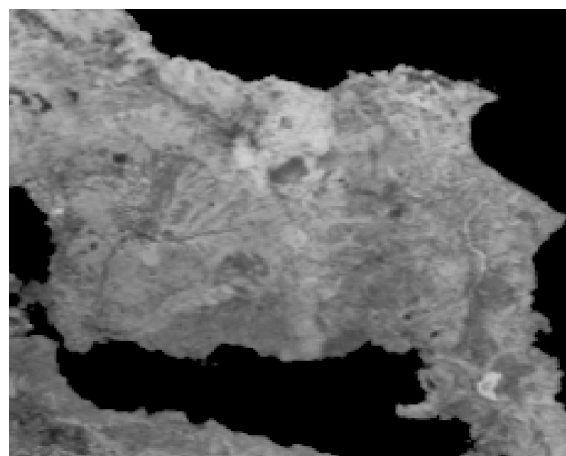


*Εικόνα 27: Ο δείκτης NDVI της Ελλάδος στις 27/05/2010 (147/2010)*

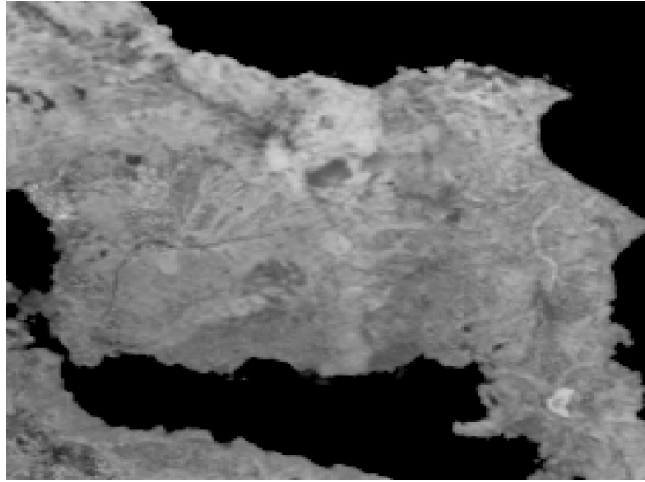
Παρατηρούμε ότι στις δύο απεικονίσεις του δείκτη NDVI έχουν δοθεί εσφαλμένα χαμηλές τιμές στις περιοχές των εικόνων που καλύπτονται από σύννεφα, αρχικά το πρόβλημα αυτό προσπαθήσαμε να το αντιμετωπίσουμε διαλέγοντας κατάλληλες εικόνες χωρίς σύννεφα όμως για τον Μάιο δεν βρέθηκαν εικόνες που να ικανοποιούν πλήρως αυτό το κριτήριο. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήσαμε μέσω του *Er Mapper* μια απεικόνιση με τις υψηλότερες τιμές του NDVI από τις δύο εικόνες, έτσι καταφέραμε όπου υπήρχε πολύ χαμηλή τιμή λόγω σύννεφων να παίρνει τιμή από την άλλη εικόνα. Τα μόνα προβλήματα που παραμένουν, παρουσιάζονται σε περιοχές που υπάρχουν σύννεφα και στις δύο εικόνες και παίρνει εσφαλμένα χαμηλές τιμές αλλά αυτές είναι ελάχιστες.



*Εικόνα 28: Ο δείκτης NDVI ενός μέρους της Εύβοιας στις 9/05/2010 (129/2010)*

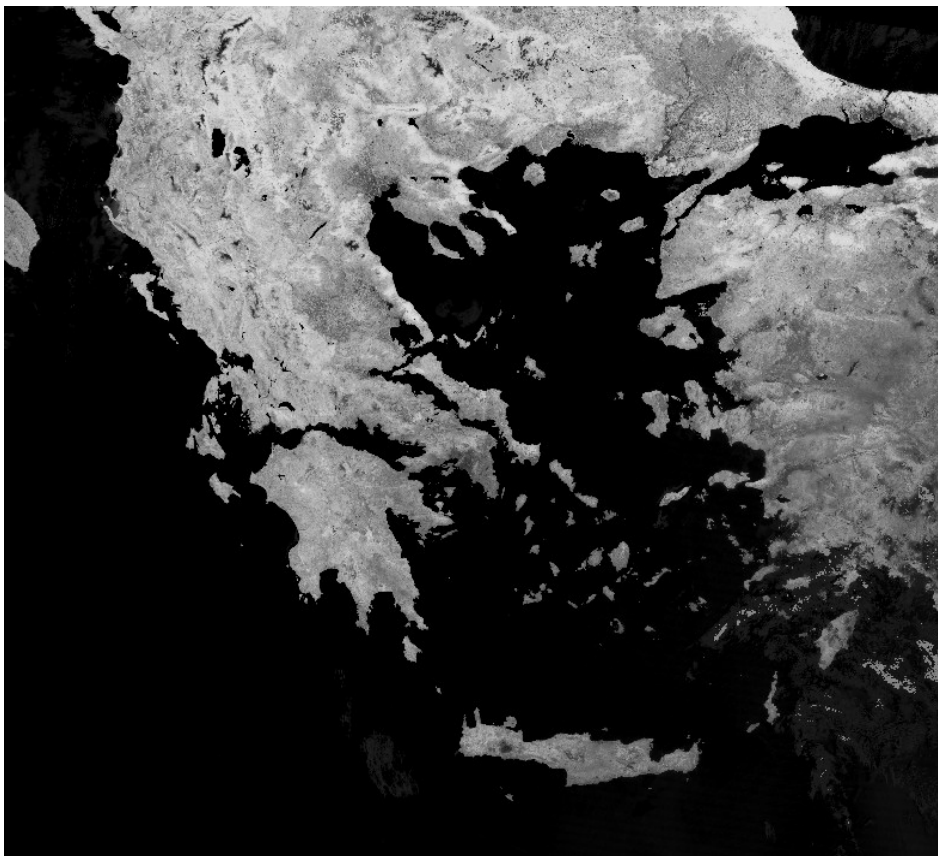


*Εικόνα 29: Ο δείκτης NDVI ενός μέρους της Εύβοιας στις 27/05/2010 (147/2010)*



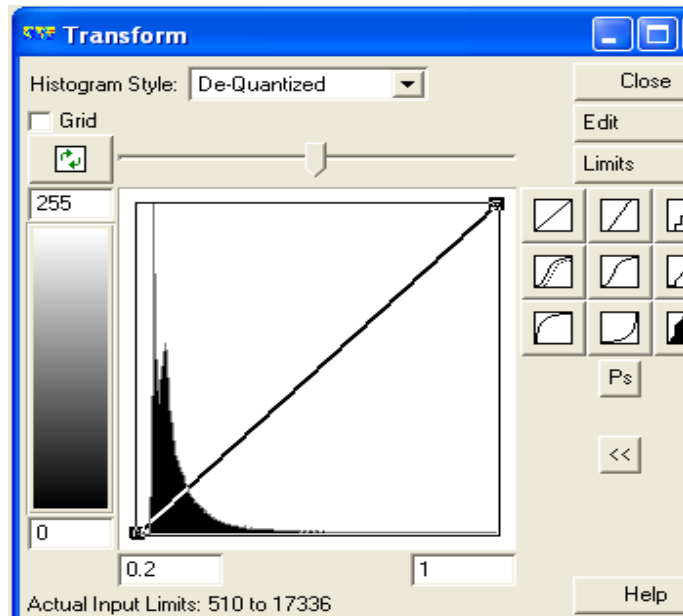
*Εικόνα 30:* Ο μέγιστος NDVI του μέρους της Εύβοιας για τις 9/05/2010 και 27/05/2010

Στην εικόνα 29 του δείκτη NDVI ενός μέρους της Εύβοιας για την Κυριακή 9 Μαΐου παρατηρούμε περιοχές με πολύ χαμηλές τιμές δείκτη (μαύρες) σχεδόν ίδιες με τις τιμές που παίρνει στο νερό και αυτές είναι περιοχές που καλύπτονται από σύννεφα, ενώ στην εικόνα 28 για την Πέμπτη 27 Μαΐου αυτές οι περιοχές παίρνουν αρκετά υψηλότερες τιμές καθώς δεν υπάρχει συννεφοκάλυψη. Με την δημιουργία επομένως της εικόνας 30 του μέγιστου NDVI των δύο εικόνων αυτές οι εσφαλμένα χαμηλές τιμές απορρίπτονται.



*Εικόνα 31:* Ο μέγιστος NDVI της Ελλάδος των ημερών 9/05/2010 και 27/05/2010

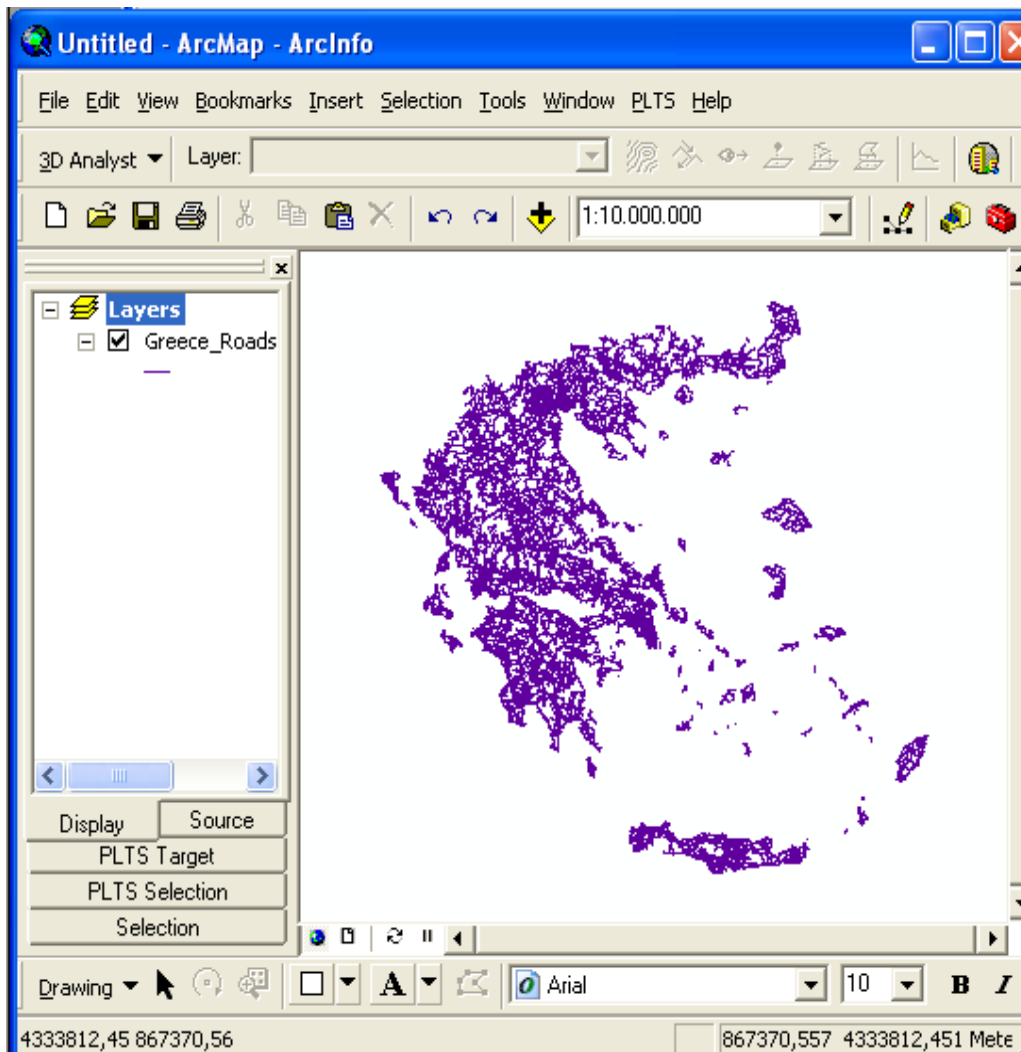
Τέλος στο Er Mapper εξάγουμε την απεικόνιση του μέγιστου NDVI των δύο ημερών σε μορφή “TIF” με ανάλυση 800 μέτρων, ώστε να μειωθεί ο όγκος της για να είναι συμβατή με την δοκιμαστική έκδοση (demo) του eCognition που θα γίνει η εφαρμογή. Σημαντικό βέβαια είναι να αναφέρουμε ότι ενώ κατά τον υπολογισμό του εξ’ ορισμού (βάσει εξίσωσης) οι τιμές του NDVI είναι μεταξύ -1 και 1 γίνεται αναγωγή του διαστήματος τιμών [0.2, 1], οι τιμές κάτω από το 0,2 δεν αντιπροσώπευαν βλάστηση, σε διάστημα [0, 255] στην νέα εικόνα που εξάγουμε, αυτό έγινε μέσω του ιστογράμματος της απεικόνισης για καλύτερη διαχείριση των τιμών του.



Εικόνα 32: Ιστόγραμμα απεικόνισης NDVI στο eCognition

#### 4.4.1.1.4 ΕΓΓΥΤΗΤΑ ΣΕ ΔΡΟΜΟΥΣ

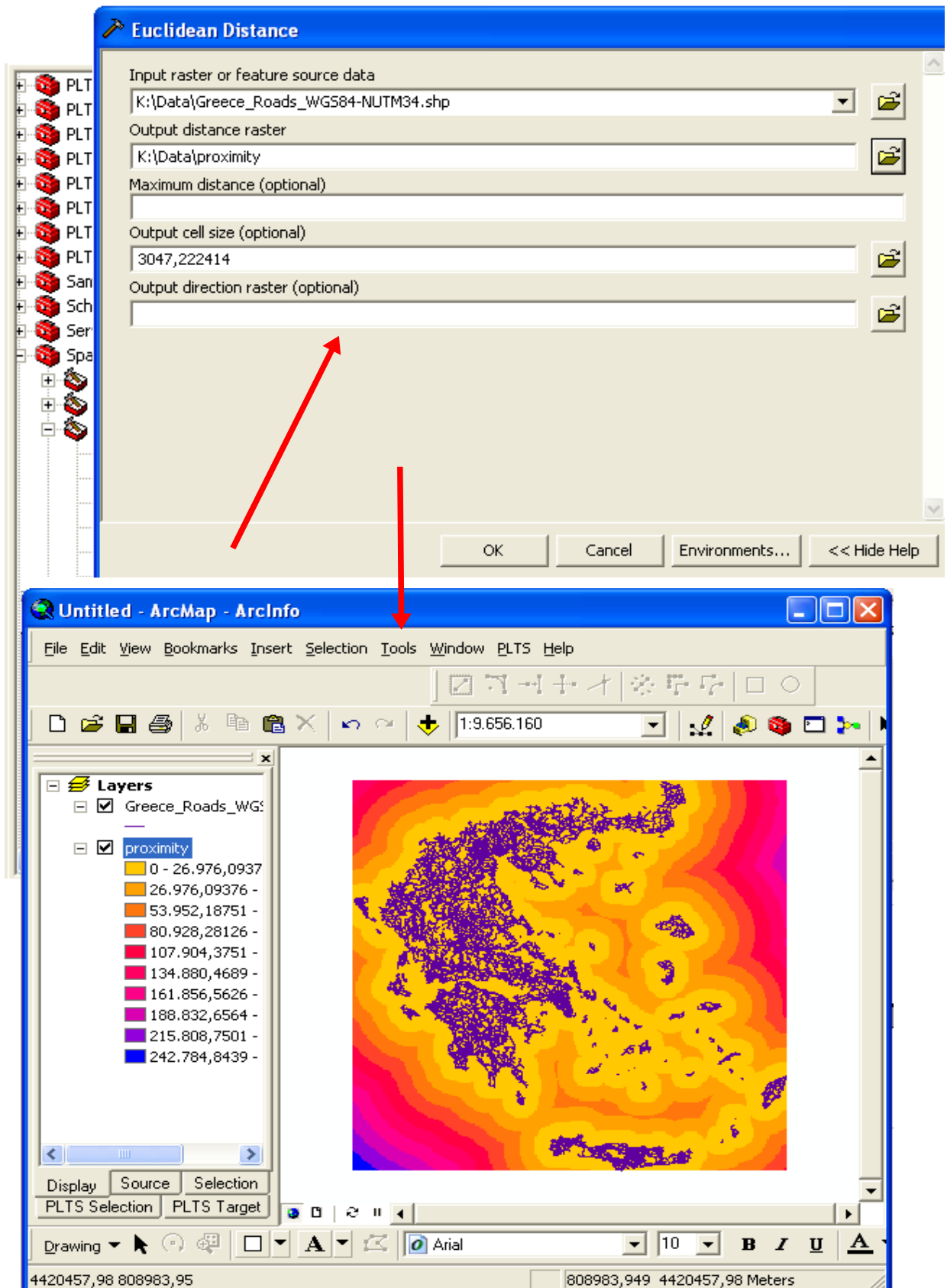
Μια ακόμα μεταβλητή που συμμετέχει στον δείκτη FHI είναι η εγγύτητα σε δρόμους, καθώς οι δρόμοι σαν ανθρώπινη δραστηριότητα αυξάνουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς, για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε αρχείο δεδομένων με ψηφιοποιημένο το Ελληνικό οδικό δίκτυο. Στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος Arc Map του λογισμικού Arc Gis φορτώσαμε το χάρτη με τους δρόμους.



Εικόνα 33: Ο χάρτης των δρόμων της Ελλάδας στο Arc Map

Στην συνέχεια από τα εργαλεία του προγράμματος και ειδικότερα από την ομάδα των εργαλείων χωρικής ανάλυσης "Spatial analysis tool" επιλέγουμε αυτό του υπολογισμού της Ευκλείδειας απόστασης "Euclidean Distance". Στο νέο παράθυρο εργασίας που δημιουργείται ζητάτε να ορίσουμε τόσο τα δεδομένα για τα οποία θα υπολογιστεί η ευκλείδεια απόσταση όσο και το νέο αρχείο που θα δημιουργηθεί, αφού ορίσαμε λοιπόν ως δεδομένα εισόδου τον χάρτη των δρόμων εφαρμόσαμε το εργαλείο και πήραμε ως προϊόν τον χάρτη εγγύτητας στους δρόμους. Στον χάρτη αυτό ουσιαστικά υπολογίστηκε για κάθε εικονοστοιχείο του η Ευκλείδεια απόσταση από τον κοντινότερο σε αυτό δρόμο.

Αυτό που τελικά παρήχθη από την εν λόγω επεξεργασία στο Arc Map ήταν η απεικόνιση "proximity\_to\_roads\_800m" μορφής "TIF", με διακριτική ικανότητα 800μ. και γεωαναφορά στο σύστημα των εικόνων.



Εικόνα 35: Χάρτης εγγύτητας δρόμων από το Arc Map

#### 4.4.1.1.5 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΕΙΔΩΝ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ

Για να παράγουμε τον χάρτη καυσίμων υλών έκτος από τα είδη αυτά καθ' αυτά που παρουσιάζουν μια διαχρονική συμπεριφορά στην φωτιά σημασία έχει και η πυκνότητα τους. Για τον σκοπό αυτό και υπολογίσαμε τον κανονικοποιημένο δείκτη πυκνότητας βλάστησης NDVI, με βάση τις τιμές αυτού λοιπόν ταξινομούμε την βλάστηση σε 3 κατηγορίες αραιή, μέτριας πυκνότητας και πυκνή, ο ορισμός των κατηγοριών γίνεται στην εφαρμογή του δείκτη. Επομένως για κάθε κατηγορία του Corine δημιουργούνται 3 νέες υποκατηγορίες, για παράδειγμα αντί της κατηγορία “κωνοφόρα δάση” με αριθμό 3.1.2 στην ονοματολογία του Corine έχουμε τις υποκατηγορίες “αραιά κωνοφόρα δάση”, “μέσης πυκνότητας κωνοφόρα δάση” και “πυκνά κωνοφόρα δάση”.

Ο τρόπος τώρα που θα συνδυαστούν οι δύο αυτοί παράγοντες με σκοπό να παράγουμε τον χάρτη καυσίμων υλών και η βαθμονόμηση του κάθε είδους ώστε να συμμετέχει με μια τιμή στον δείκτη FHI προκύπτει βάση της περιγραφής του ίδιου του μοντέλου στη βιβλιογραφική ανασκόπηση και ειδικότερα με τη βοήθεια του πίνακα 6, με την βαθμονόμηση δηλαδή της ικανότητας σε καύση των ειδών από αντίστοιχη εφαρμογή του μοντέλου για την Ισπανία. Παράλληλα στην κατεύθυνση αυτή χρησιμοποιήθηκε μια ταξινόμηση των ειδών βλάστησης της Μεσογείου με βάση την αντίδραση τους στην καύση, από το Prometheus Project .

ΓΕΝΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ CORINE	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΤΙΜΗ
ΠΥΚΝΑ ΚΩΝΟΦΟΡΑ Ή ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ Ή ΜΕΙΚΤΑ ΔΑΣΗ	ΥΨΗΛΗ	0
ΜΕΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΚΩΝΟΦΟΡΑ	ΥΨΗΛΗ	0
ΜΕΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ ΔΑΣΗ Ή ΜΕΙΚΤΑ ΔΑΣΗ	ΜΕΣΗ	1
ΑΡΑΙΑ ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΔΑΣΗ ΜΕ ΘΑΜΝΟΥΣ	ΜΕΣΗ	1
ΑΡΑΙΑ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ ΔΑΣΗ Ή ΜΕΙΚΤΑ ΔΑΣΗ	ΧΑΜΗΛΗ	2
ΠΥΚΝΟΙ ΘΑΜΝΟΙ	ΜΕΣΗ	1
ΜΕΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΘΑΜΝΟΙ	ΜΕΣΗ	1
ΑΡΑΙΟΙ ΘΑΜΝΟΙ	ΧΑΜΗΛΗ	2
ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	ΧΑΜΗΛΗ	2
ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ ΔΕΝΤΡΑ ΚΑΙ ΣΑΡΚΩΔΗ ΦΡΟΥΤΑ	ΧΑΜΗΛΗ	2
ΛΙΒΑΔΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	2
ΠΥΚΝΟΙ ΕΛΑΙΩΝΕΣ	ΥΨΗΛΗ	0
ΑΡΑΙΟΙ Ή ΜΕΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΕΛΑΙΩΝΕΣ	ΜΕΣΗ	1

Πίνακας 7: Τα είδη των καυσίμων υλών και η αντίδραση τους στην καύση

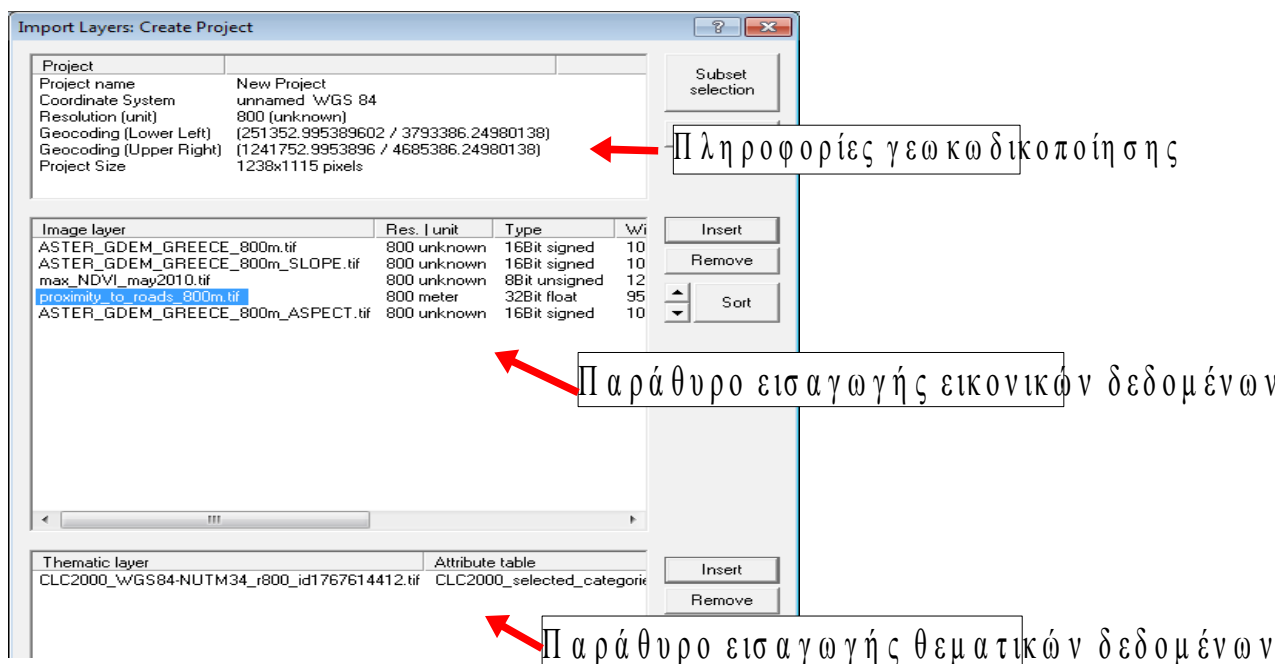


#### 4.4.1.2 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΦΗΙ ΣΤΟ eCognition

Καταρχάς το eCognition αποτελεί ένα πρόγραμμα αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας το οποίο, κατά την ταξινόμηση, παρέχει το μηχανισμό λήψης αποφάσεων (inference machine) για να προσπελάσει κάθε αντικείμενο της εικόνας και με βάση τους κανόνες που έχουν συνταχθεί να αποφασίσει σε πια κατηγορία να ταξινομήσει το αντικείμενο (Αργιαλας Δ. και Τζώτσος Α, 2007). Οι λόγοι τώρα που επιλέχθηκε για την εφαρμογή του δείκτη επικινδυνότητας έναντι άλλων GIS προγραμμάτων είναι οι τρεις. Ένας λόγος είναι ότι ο χάρτης που δημιουργούμε μπορεί κάθε φορά να ανανεώνεται πολύ απλά εισάγοντας μια νέα απεικόνιση-“image layer” του νέου δείκτη πυκνότητας βλάστησης (NDVI), καθώς η πυκνότητα της βλάστησης είναι η μόνη σχετικά ευμετάβλητη μεταβλητή. Παράλληλα η εφαρμογή αυτή παρουσιάζει σημαντικά καλύτερη ταχύτητα, με πολύ γρηγορότερη εξαγωγή ταξινόμησης, έναντι ενός Vector-Gis πακέτου. Τέλος με την κατάλληλη κατάτμηση-“segmentation”, την διαδικασία δηλαδή συνένωσης αντικειμένων ανά δύο από κάτω προς τα πάνω (bottom-up pairwise object fusion) που πραγματοποιείται ξεκινώντας από τα εικονοστοιχεία σαν αρχικές προσεγγίσεις των αντικειμένων (Αργιαλας Δ. και Τζώτσος Α, 2007) και τα αντικείμενα που δημιουργεί, αποφεύγουμε τον θόρυβο από μεμονωμένα pixel που θα παρουσιαζόταν σε άλλα πακέτα Vector δεδομένων.

##### 4.4.1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Σε πρώτη φάση δημιουργούμε ένα νέο project στο περιβάλλον εργασίας του eCognition στο οποίο και εισάγουμε τα layer των δεδομένων μας, που προέκυψαν μετά την προεπεξεργασία. Βάσει της εντολής “insert image layer” εισάγουμε τα layer του υψομέτρου (ASTER\_GDEM\_GREECE\_800m), του προσανατολισμού (ASTER\_GDEM\_GREECE\_800m\_ASPEC), της κλίσης (ASTER\_GDEM\_GREECE\_800m\_SLOPE), του κανονικοποιημένου δείκτη πυκνότητας βλάστησης ( max\_NDVI\_may2010) και τέλος της εγγύτητας στους δρόμους (proximity\_to\_roads\_800m). Ενώ οι κατηγορίες του CORINE 2000 θα εισαχθούν στο εν λόγω project ως “thematic layer” με ονομασία (CLC2000\_WGS84-NUTM34\_r800\_id1767614412). Στην εισαγωγή θεματικού layer ζητάτε από το πρόγραμμα το αρχείο με τις πληροφορίες των κατηγοριών του θεματικού χάρτη του Corine, το οποίο είναι το CLC2000\_WGS84-NUTM34 (σε μορφή υπολογιστικού φύλλου).



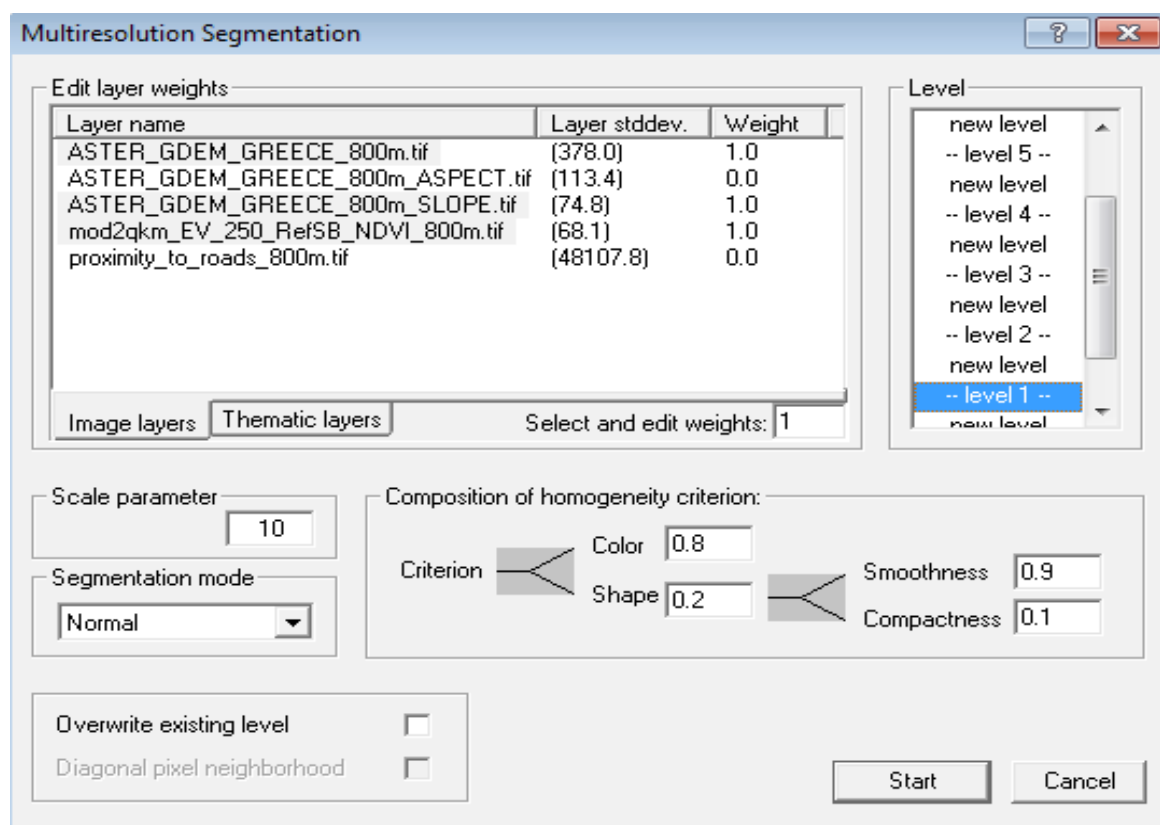
Εικόνα 36: Δημιουργία νέου Project στο eCognition με εισαγωγή δεδομένων



#### 4.4.1.2.2 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ

Στόχος της κατάτμησης είναι να προκύψουν πρωτογενή αντικείμενα τα οποία να μπορούν εν δυνάμει να δώσουν σημασιολογικά αντικείμενα με την διαδικασία της ταξινόμησης (Αργιαλας Δ. και Τζώτσος Α, 2007). Οι παράμετροι που καθορίζονται στην κατάτμηση των εικόνων είναι το βάρος με το οποίο θα συμμετέχει κάθε κανάλι, τα βάρη που θα δοθούν στα κριτήρια κατάτμησης (φασματικό και σχήματος) και η παράμετρος κλίμακας.

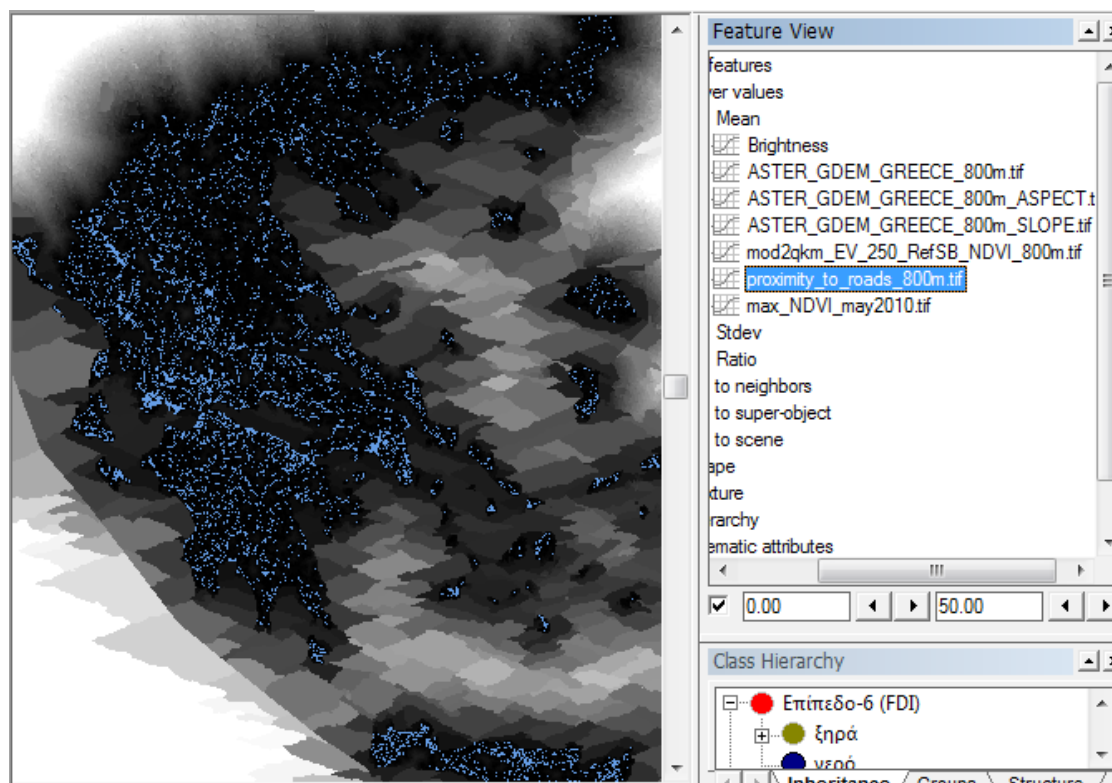
Στην συγκεκριμένη εφαρμογή είχαμε μεν 6 διαφορετικά επίπεδα ταξινόμησης, ώστε να υπάρχει ταυτόχρονα πρόσβαση στις διαφορετικές ταξινομήσεις, επειδή όμως δεν κληρονομούνται κατηγορίες από επίπεδο σε επίπεδο και δεν υπάρχει συγγένεια των κατηγοριών τους κρίθηκε σκόπιμο να εφαρμόσουμε την ίδια κατάτμηση και στα έξι επίπεδα. Στην συγκεκριμένη κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης (multiresolution segmentation), τα βάρη των καναλιών διαμορφώθηκαν ως εξής: βάρος ένα για τα layer υψομέτρου, κλίσης, δείκτη NDVI και του θεματικού και βάρος 0 για layer προσανατολισμού και εγγύτητας. Για τον προσδιορισμό των βαρών των κριτηρίων κατάτμησης (φασματικό και σχήματος), μετά από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: φασματικό κριτήριο 0.8 και κριτήριο σχήματος 0.2. Το τελευταίο, μοιράστηκε με βάρη (0.9) και (0.1) τις δύο συνιστώσες του που αφορούν στο συμπαγές του σχήματος και το λείο της οριογραμμής. Για την παράμετρο κλίμακας επιλέχθηκε μία σχετικά μικρή τιμή (10), ώστε τα τμήματα που προκύπτουν να είναι σχετικά μικρού μεγέθους.



Εικόνα 37: Η κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης των 6 επιπέδων

#### 4.4.1.2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΡΩΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΧΑΡΤΗΣ ΕΓΓΥΤΗΤΑΣ ΔΡΟΜΩΝ)

Στο πρώτο επίπεδο κατάτμησης θα γίνει η ταξινόμηση με βάση την εγγύτητα στους δρόμους, το layer των δρόμων που εμείς εισάγαμε ύστερα από προεπεξεργασία περιείχε σε κάθε pixel της εικόνας την Ευκλείδεια απόσταση του από τον κοντινότερο δρόμο. Μετά βέβαια από τη κατάτμηση που εφαρμόσαμε στο επίπεδο αυτό υπολογίστηκε η απόσταση αυτή για κάθε πολύγωνο που δημιουργήθηκε.

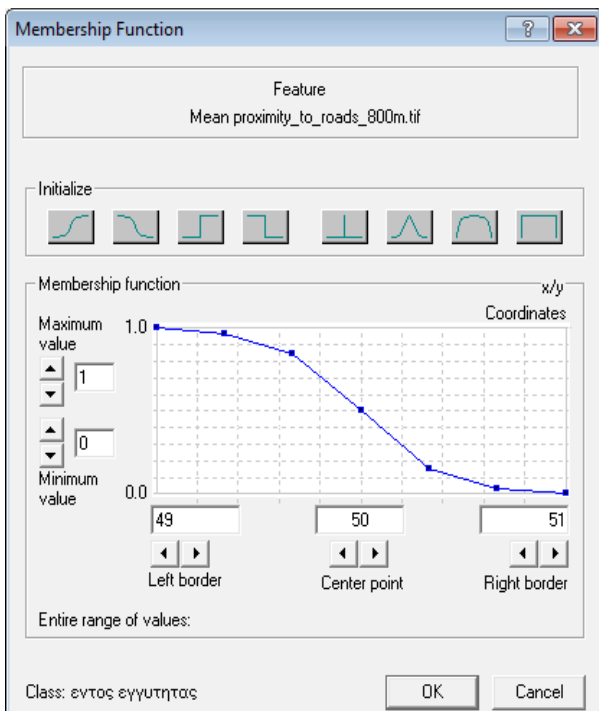


Εικόνα 38: Εγγύτα σε δρόμους (0-50μ)

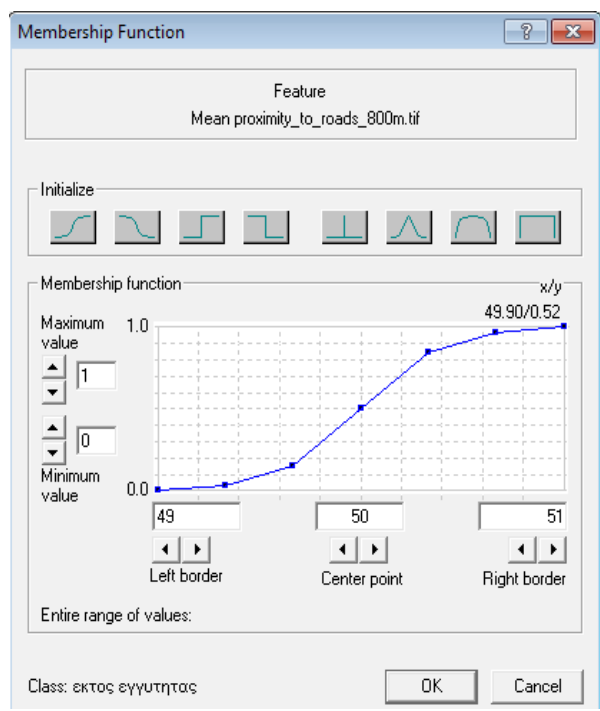
Από την απεικόνιση των τιμών του καναλιού “proximity\_to\_roads\_800m” και με βάση την βαθμονόμηση των μεταβλητών του δείκτη (πίνακας 6), προέκυψε ο διαχωρισμός των κατηγοριών :

- "εντός εγγύτητας". Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής “membership function” μορφής Z με διάστημα τιμών 49 έως 51 (έτσι ταξινομούμε τα πολύγωνα που απέχουν έως 50 μ. από δρόμο που παρουσιάζουν υψηλή ικανότητα σε καύση)
- "εκτός εγγύτητας". Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής μορφής S με διάστημα τιμών 49 έως 51 (έτσι ταξινομούμε σε αυτή τα πολύγωνα που απέχουν παραπάνω από 50μ. που παρουσιάζουν χαμηλότερη ικανότητα σε καύση)

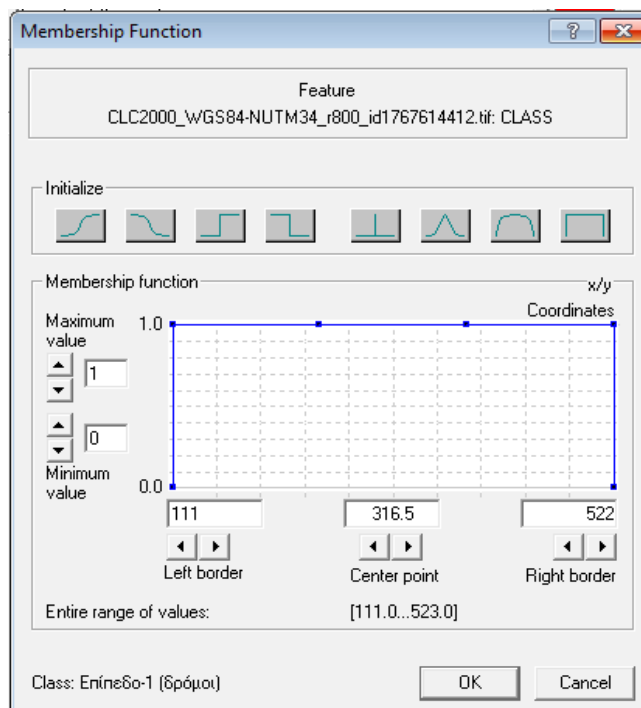
Οι κατηγορίες αυτές ομαδοποιήθηκαν σε μια κατηγορία "Εγγύτητα" που αφορά το επίπεδο που εφαρμόζονται και ορίζεται από συνάρτηση συμμετοχής μορφής Π με όρια από 111 έως 522 για το θεματικό επίπεδο του Corine, περιλαμβάνει δηλαδή ουσιαστικά όλες τις χρήσεις του.



Εικόνα 39: "εντός εγγυτητας"- Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής Z

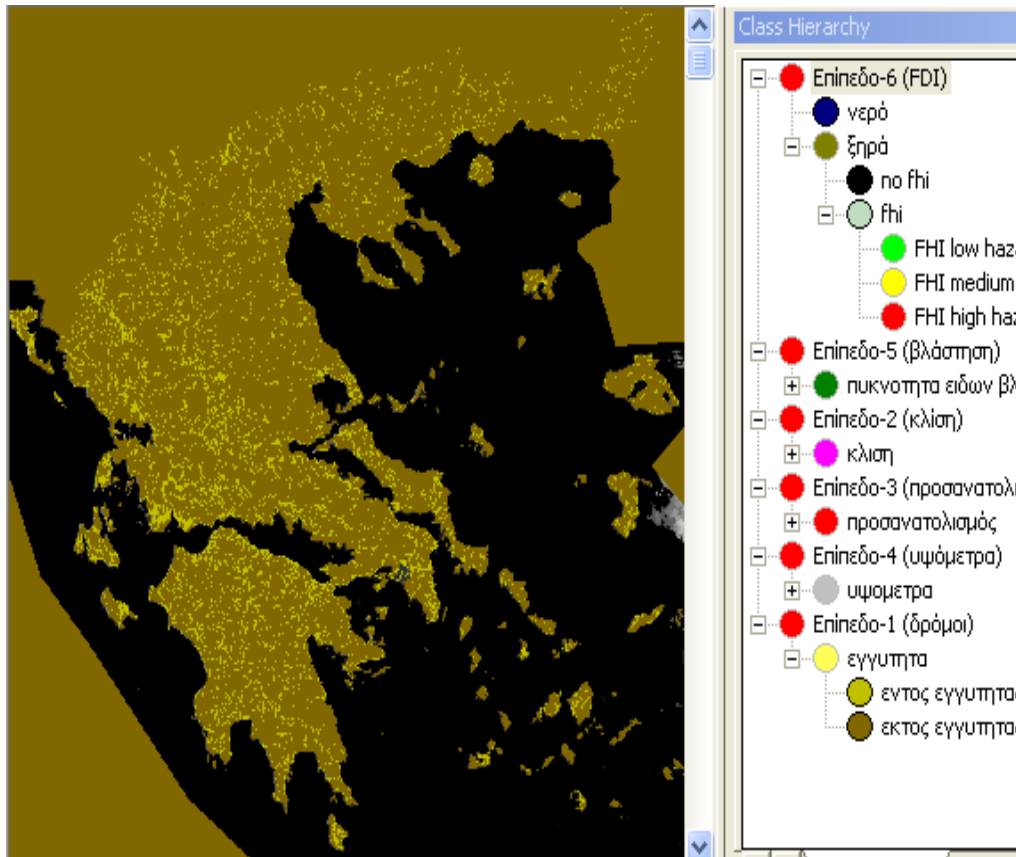


Εικόνα 40: "εκτός εγγυτητας"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής S



Εικόνα 41: "Εγγυτητα"-Συνάρτηση συμμετοχής μορφής Π

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο πρώτο αυτό επίπεδο με βάση τις κατηγορίες αυτές είναι ουσιαστικά ένας χάρτης εγγύτητας δρόμων που ταξινομεί την Ελλάδα σε δύο κατηγορίες.

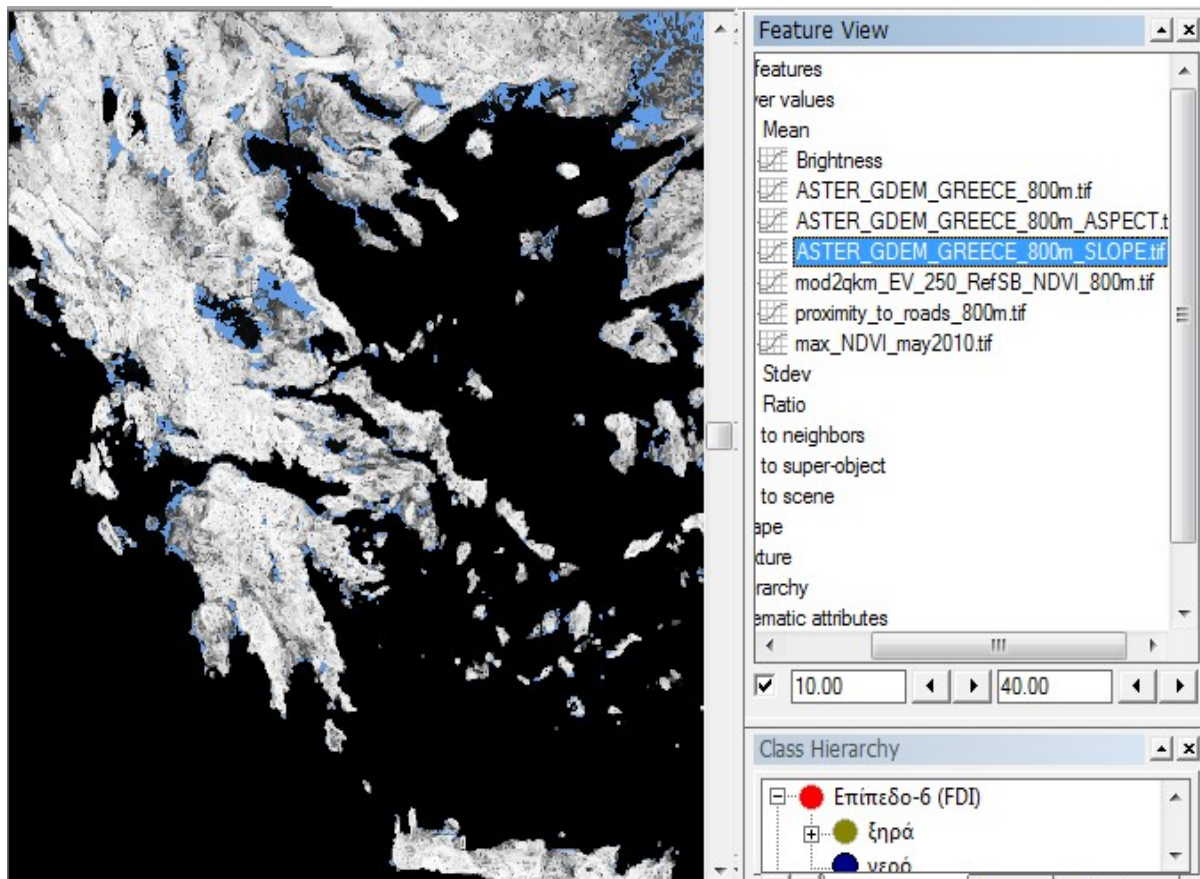


Εικόνα 42:Χάρτης εγγύτητας δρόμων της Ελλάδος σε δύο κατηγορίες με βάση την επίδραση τους σε καύση

#### 4.4.1.2.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΧΑΡΤΗΣ ΚΛΙΣΕΩΝ)

Στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης η ταξινόμηση γίνεται βάση του καναλιού των κλίσεων το οποίο αναφέρεται σε ποσοστά επί % και παίρνει τιμές από 0 έως 200, όπου το 0 αναφέρεται σε τελείως οριζόντιο έδαφος ενώ 200 σε τελείως κάθετη πλαγία (τέτοια κλίση δεν συναντάμε στην φύση). Στη συγκεκριμένη απεικόνιση η μεγαλύτερη κλίση είναι 194% .

Στην εικόνα 43 με μπλε χρώμα σημειώνονται οι κλίσεις από 10 έως 40%, μέσω της επιλογής “Feature View” για την μέση τιμή “Mean Value” του καναλιού "ASTER\_GDEM\_GREECE\_800M\_SLOPE", των κλίσεων.

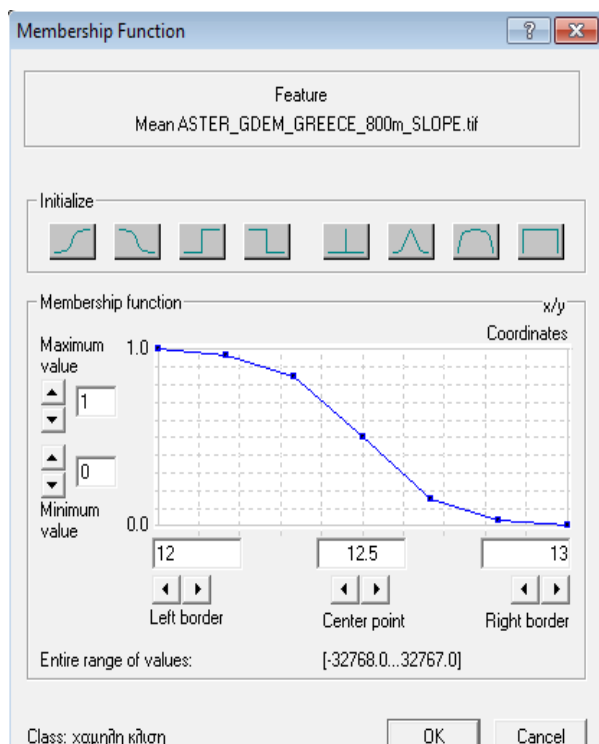


Εικόνα 43: Κλίσεις Ελληνικού εδάφους από 10-40%

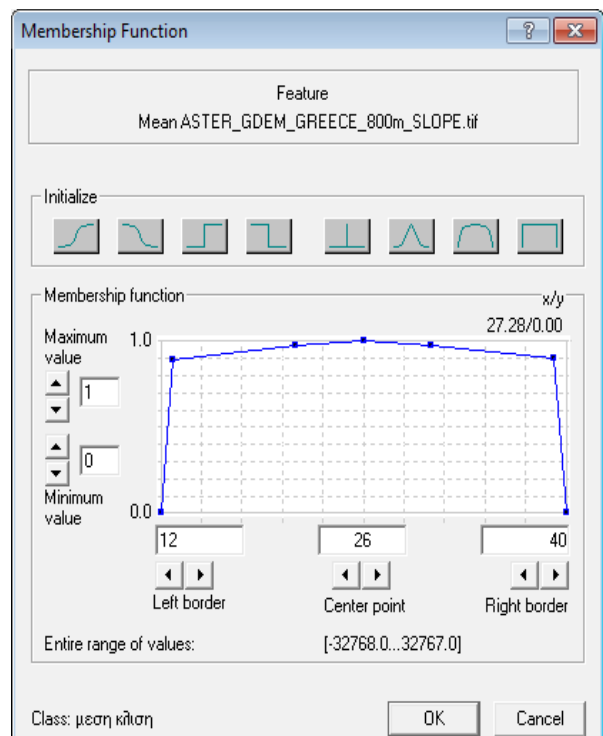
Από την απεικόνιση των τιμών του καναλιού των κλίσεων και με βάση την βαθμονόμηση των μεταβλητών ως προς την ικανότητα τους σε καύση (Πίνακας 6), προέκυψε ο διαχωρισμός των κατηγοριών :

- "Χαμηλή κλίση".Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής μορφής Z, με διάστημα τιμών 12 έως 13 (έτσι ταξινομούμε τις κλίσεις από 0-12%, που παρουσιάζουν χαμηλή ικανότητα σε καύση).
- "Μέση κλίση".Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής τραπέζοειδούς μορφής, με διάστημα τιμών 12 έως 40 (έτσι ταξινομούμε τις κλίσεις από 13-40%, που παρουσιάζουν μέτρια ικανότητα σε καύση).
- "Υψηλή κλίση".Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης μορφής S, με διάστημα τιμών 39 έως 40 (έτσι ταξινομούμε όλες τις κλίσεις μεγαλύτερες από 40%, που παρουσιάζουν υψηλή ικανότητα σε καύση).

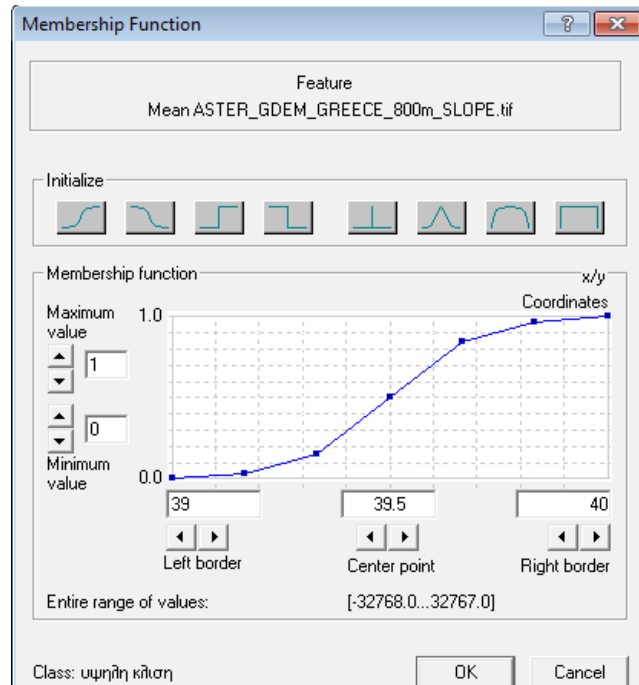
Οι κατηγορίες αυτές ομαδοποιήθηκαν σε μια κατηγορία "Κλίση" που αφορά το επίπεδο που εφαρμόζονται και ορίζεται από συνάρτηση συμμετοχής μορφής Π με όρια από 111 έως 522 για το θεματικό επίπεδο του Corine, περιλαμβάνει δηλαδή ουσιαστικά όλες τις χρήσεις του.



Εικόνα 45: "χαμηλή κλίση"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής Z



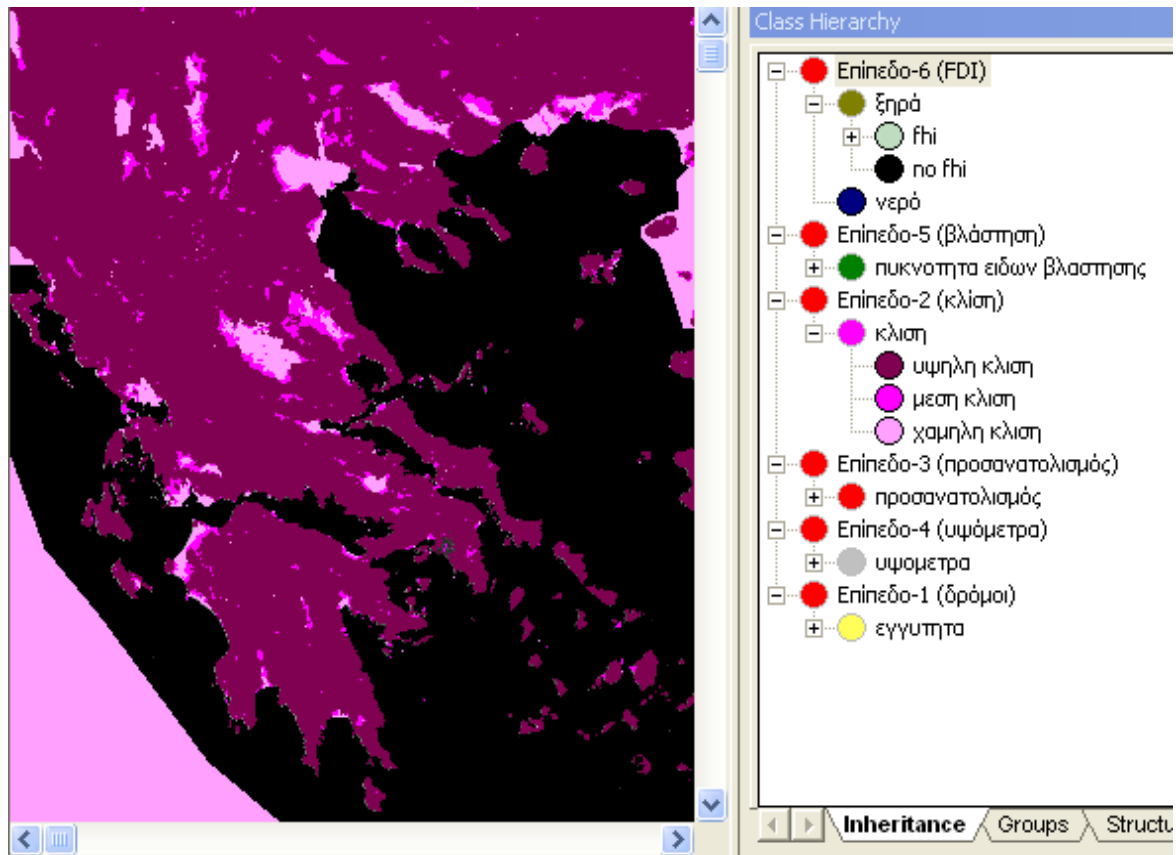
Εικόνα 44: "μέση κλίση"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής



Εικόνα 46: "υψηλή κλίση"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής S



Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο δεύτερο αυτό επίπεδο κατάτμησης είναι ένας χάρτης με τρία επίπεδα κλίσεων ανάλογα με τον τρόπο που αντιδρούν οι κατηγορίες κλίσεων στη φωτιά.

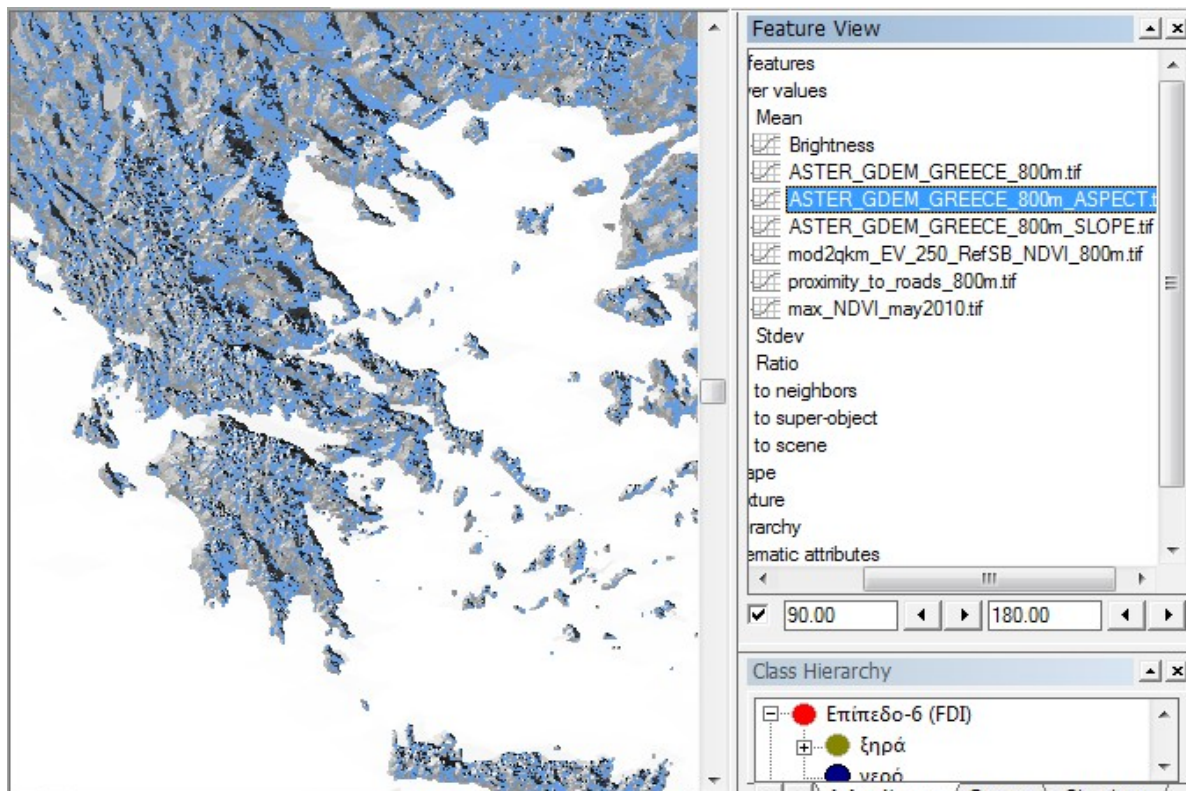


Εικόνα 47: Χάρτης κλίσεων της Ελλάδος σε τρεις κατηγορίες με βάση την επίδραση τους στην καύση

#### 4.4.1.2.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΡΙΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΩΝ)

Στο τρίτο επίπεδο κατάτμησης, η ταξινόμηση γίνεται με βάση τις τιμές του επιπέδου των προσανατολισμών, ο προσανατολισμός είναι σε μοίρες και οι πιθανές τιμές του είναι από 0 έως 361°.

Στην εικόνα 48 με μπλε χρώμα σημειώνονται οι νοτιοανατολικοί προσανατολισμοί, με τιμές από 90° έως 180°, μέσω της επιλογής “Feature View” για την μέση τιμή “Mean Value” του καναλιού “ASTER\_GDEM\_GREECE\_800M\_ASPECT”, των προσανατολισμών.



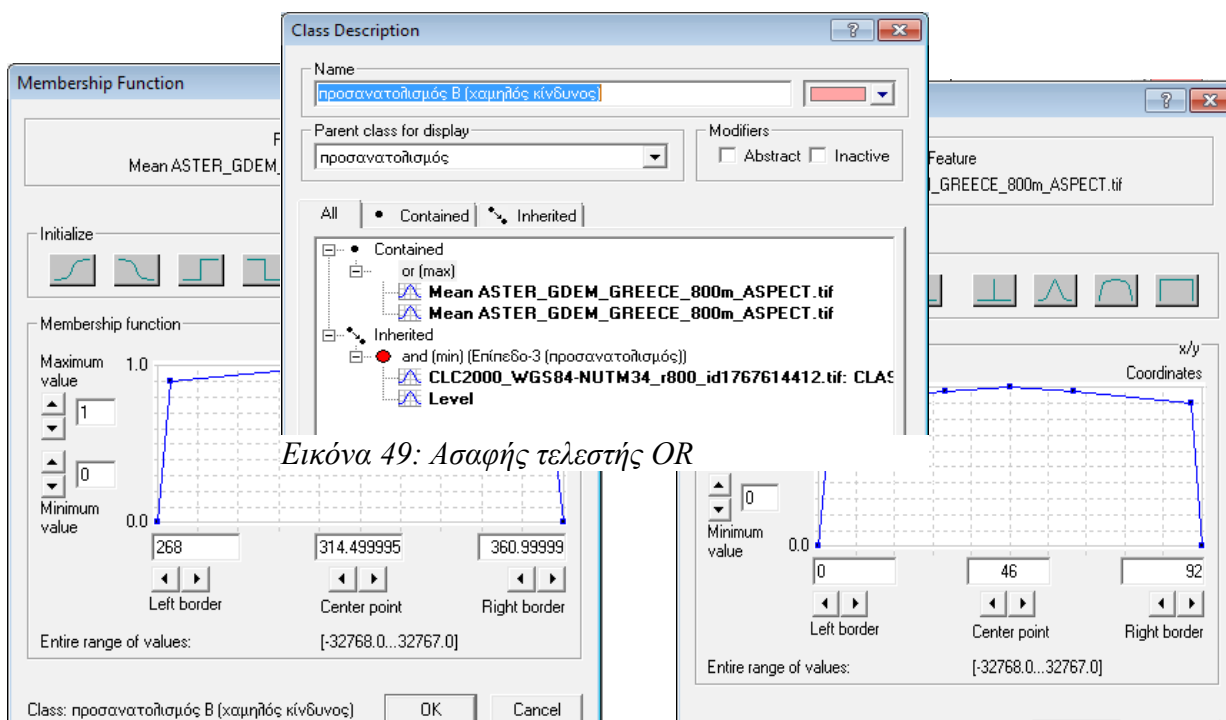
Εικόνα 48: Νοτιοανατολικοί προσανατολισμοί της Ελλάδος (90-180)

Από την απεικόνιση των τιμών του καναλιού των προσανατολισμών και με βάση την βαθμονόμηση της μεταβλητής του προσανατολισμού ως προς την ικανότητα τους σε καύση (Πίνακας 6), προέκυψε ο διαχωρισμός των κατηγοριών :

- "Βόρειοι προσανατολισμοί".Ορίζεται από δύο ασαφείς συναρτήσεις συμμετοχής, μιας τραπεζοειδούς μορφής με όρια 268 έως 361 και μιας δεύτερης τραπεζοειδούς μορφής με όρια 0 έως 92, οι οποίες συνδέονται με ασαφή τελεστή OR (έτσι ταξινομούμε σε αυτή τους βόρειους προσανατολισμούς που βρίσκονται μεταξύ 270°-360° και 0-90° και παρουσιάζουν χαμηλή επικινδυνότητα καύσης).
- "Νοτιοδυτικοί προσανατολισμοί".Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής με όρια 178 έως 272 (έτσι ταξινομούμε σε αυτή τους νοτιοδυτικούς προσανατολισμούς που βρίσκονται μεταξύ 180°-270° και παρουσιάζουν μέτρια ικανότητα σε καύση).
- "Νοτιοανατολικοί προσανατολισμοί".Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής με όρια 88 έως 182 (έτσι ταξινομούμε σε αυτή τους νοτιοανατολικούς προσανατολισμούς που βρίσκονται μεταξύ 90°-280° και παρουσιάζουν χαμηλή ικανότητα σε καύση).

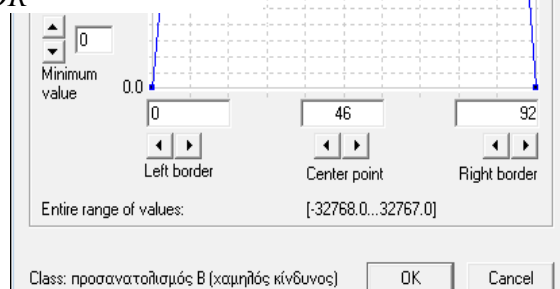
Οι κατηγορίες αυτές ομαδοποιούνται σε μια κατηγορία "Προσανατολισμός" που αφορά το επίπεδο που εφαρμόζονται και ορίζεται από συνάρτηση συμμετοχής Π με όρια από 111 έως 522 για το θεματικό επίπεδο του Corine, περιλαμβάνει δηλαδή ουσιαστικά όλες τις χρήσεις του.



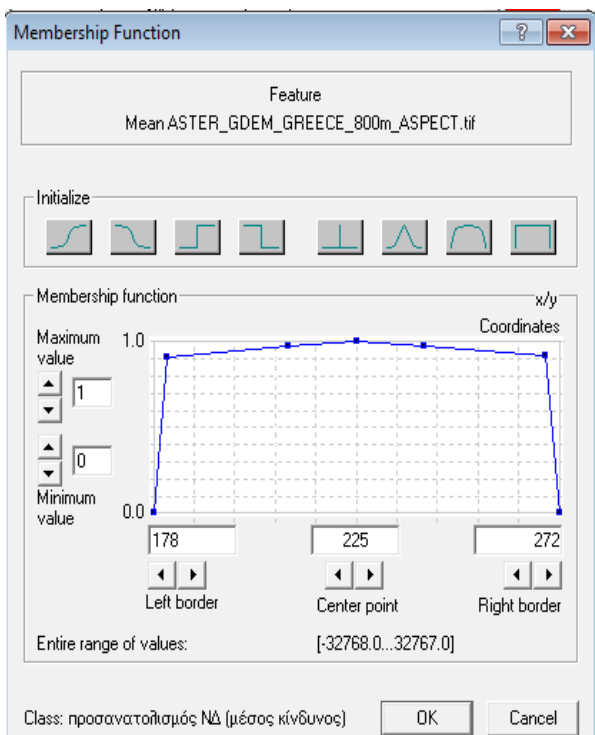


Εικόνα 49: Ασαφής τελεστής OR

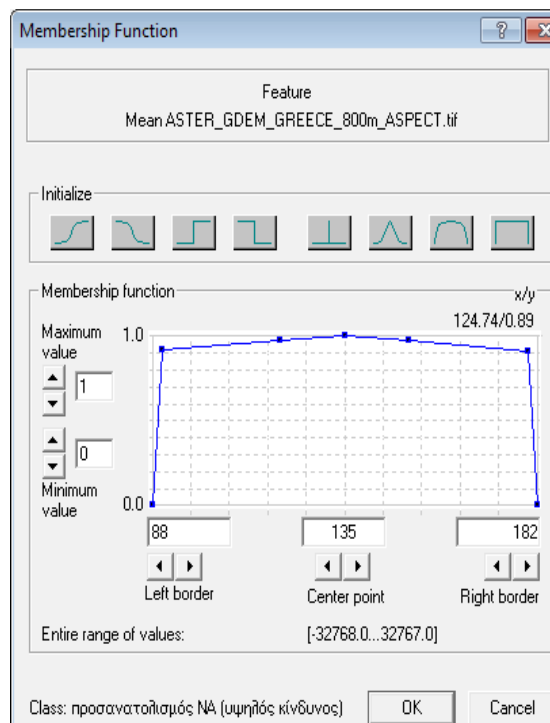
Εικόνα 51: "Βόρειος προσανατολισμός"- Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής (1)



Εικόνα 50: "Βόρειος προσανατολισμός"- Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής (2)

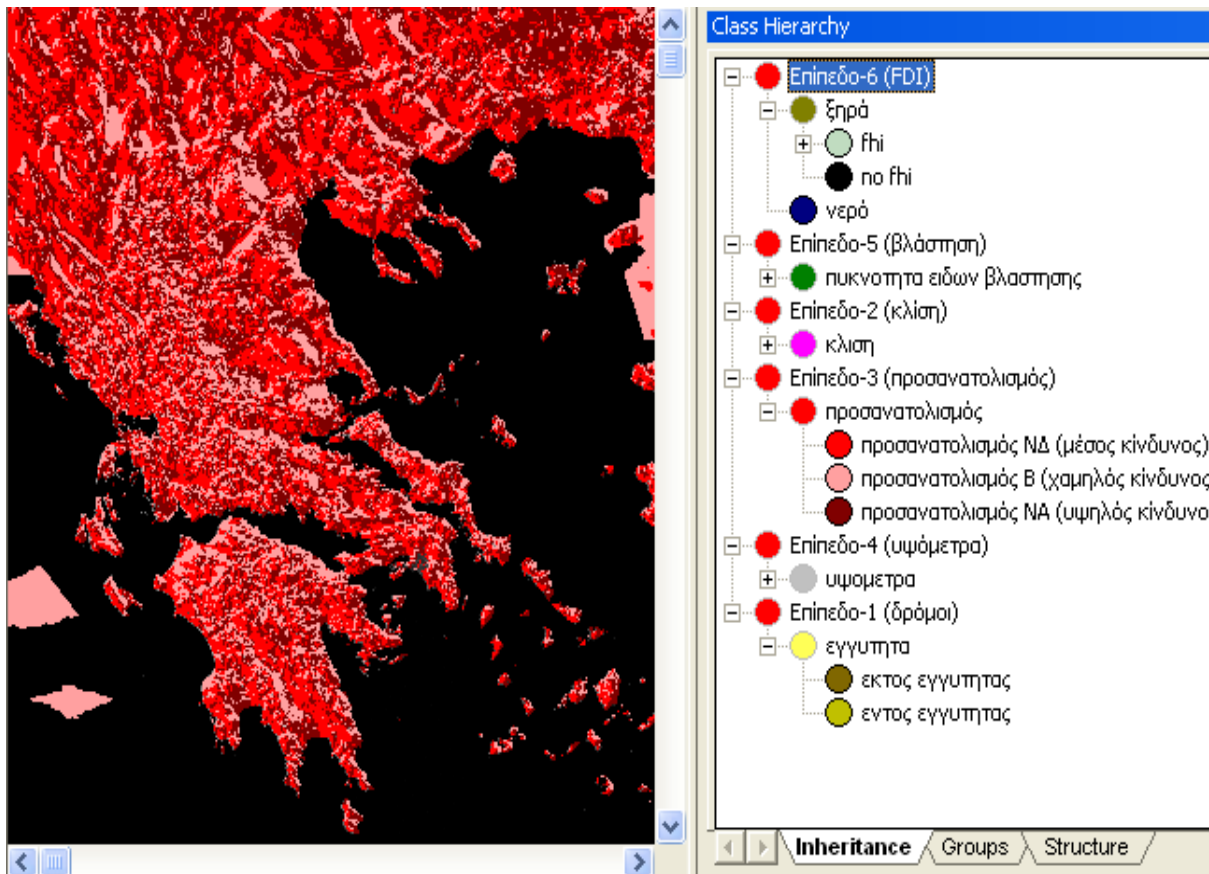


Εικόνα 53: "Νοτιοδυτικός προσανατολισμός"- Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής



Εικόνα 52: "Νοτιοανατολικός προσανατολισμός"- Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής

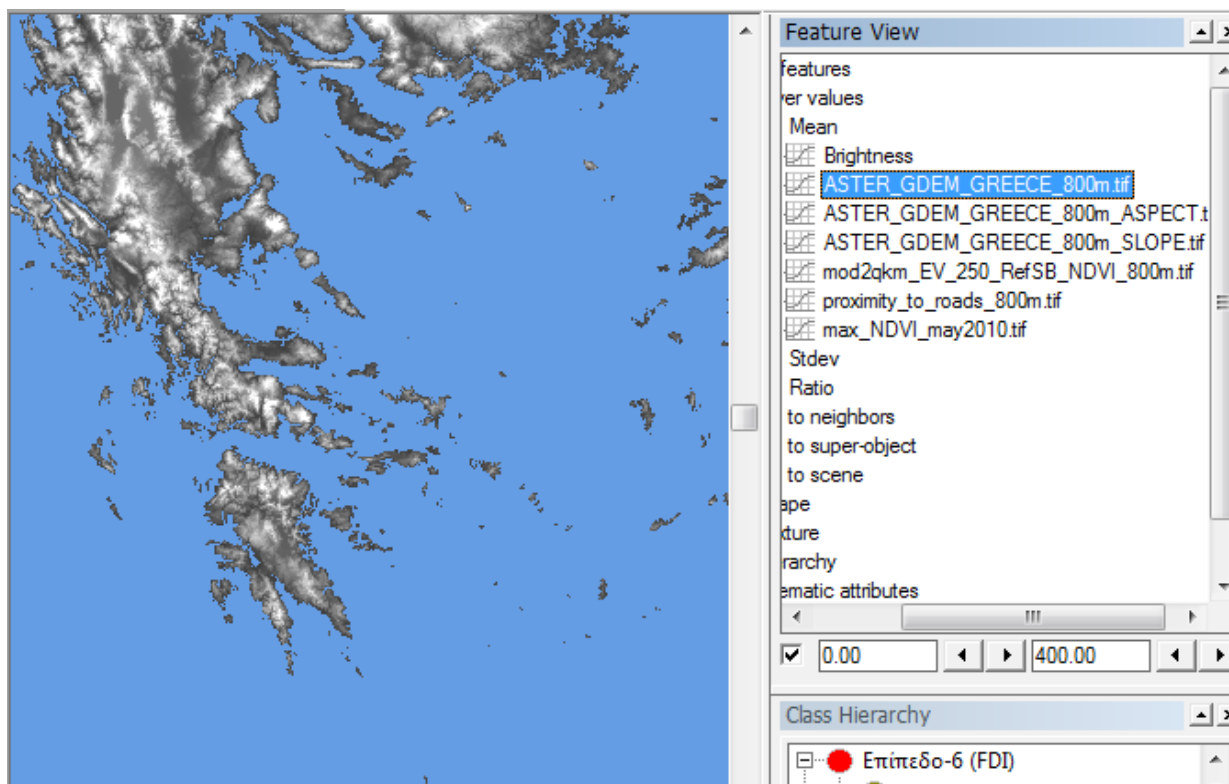
Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο τρίτο αυτό επίπεδο κατάτμησης είναι ένας χάρτης της Ελλάδος ταξινομημένος σε τρεις κατηγορίες προσανατολισμών ανάλογα με τον τρόπο που επιδρά κάθε μια στην καύση.



Εικόνα 54: Χάρτης προσανατολισμών της Ελλάδος σε 3 κατηγορίες με βάση την επίδραση τους στη καύση

#### 4.4.1.2.6 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΕΤΑΡΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΧΑΡΤΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ)

Στο τέταρτο επίπεδο κατάτμησης, η ταξινόμηση γίνεται με βάση τις τιμές που καναλιού των υψομέτρων. Στην εικόνα 55 έχουμε ένα παράδειγμα παρουσίασης της μεταβλητής του υψομέτρου όπου με μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι περιοχές της Ελλάδος με υψόμετρα από 0 έως 400, μέσω της επιλογής “Feature View” για την μέση τιμή “Mean Value” του καναλιού "ASTER\_GDEM\_GREECE\_800M", των υψομέτρων (προφανώς στις περιοχές με μπλε χρώμα εμφανίζεται και η θάλασσα). Το υψόμετρο των 400 θεωρείται κρίσιμο για την επικινδυνότητα σε πυρκαγιές όπως προκύπτει από την περιγραφή του μοντέλου επικινδυνότητας στη βιβλιογραφική ανασκόπηση καθώς τα μεγαλύτερα αυτού υψόμετρα θεωρείται πως αυξάνουν την πιθανότητα καύσης.



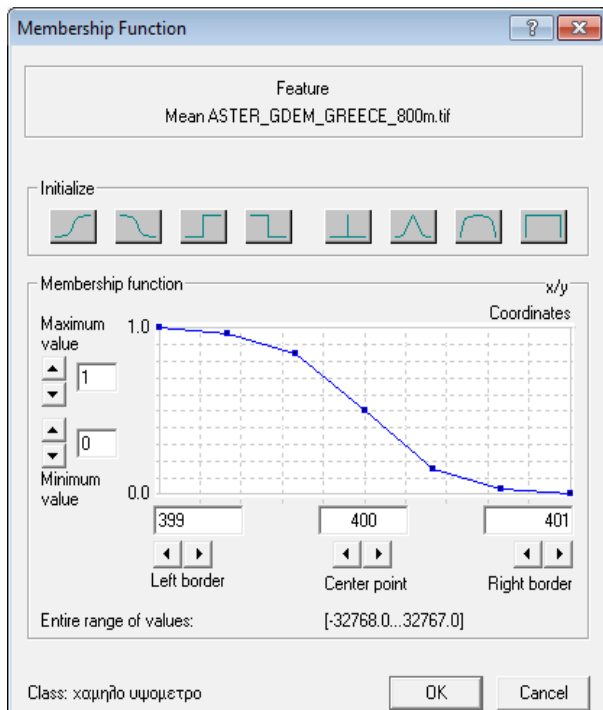
Εικόνα 55: Τα υψόμετρα της Ελλάδος από 0 έως 400μ.

Από την απεικόνιση των τιμών του καναλιού των προσανατολισμών και με βάση την βαθμονόμηση της μεταβλητής του υψομέτρου ως προς την ικανότητα της σε καύση (Πίνακας 6), προέκυψε ο διαχωρισμός των κατηγοριών :

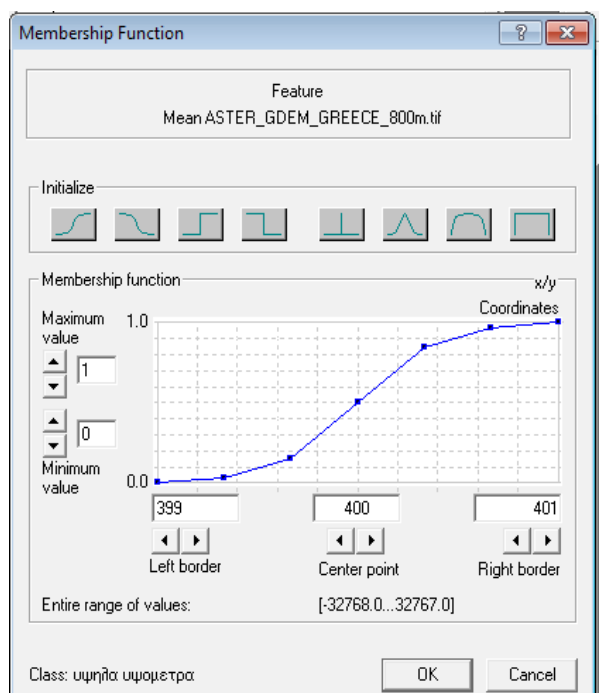
- "Χαμηλά υψόμετρα".Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής μορφής Z, με διάστημα τιμών 399 έως 401 (σε αυτή ταξινομούνται τα υψόμετρα από 0-400 που παρουσιάζουν χαμηλή ικανότητα σε καύση σύμφωνα με την διατύπωση του μοντέλου).
- "Υψηλά υψόμετρα".Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής μορφής S, με διάστημα τιμών 399 έως 401 (σε αυτή ταξινομούνται τα υψόμετρα πάνω από 400μ. που παρουσιάζουν υψηλή ικανότητα σε καύση σύμφωνα με την διατύπωση του μοντέλου).

Οι κατηγορίες αυτές ομαδοποιούνται σε μια κατηγορία "Υψόμετρα" που αφορά το επίπεδο που εφαρμόζονται και ορίζεται από συνάρτηση συμμετοχής μορφής Π με όρια από 111 έως 522 για το θεματικό επίπεδο του Corine, περιλαμβάνει δηλαδή ουσιαστικά όλες τις χρήσεις του.

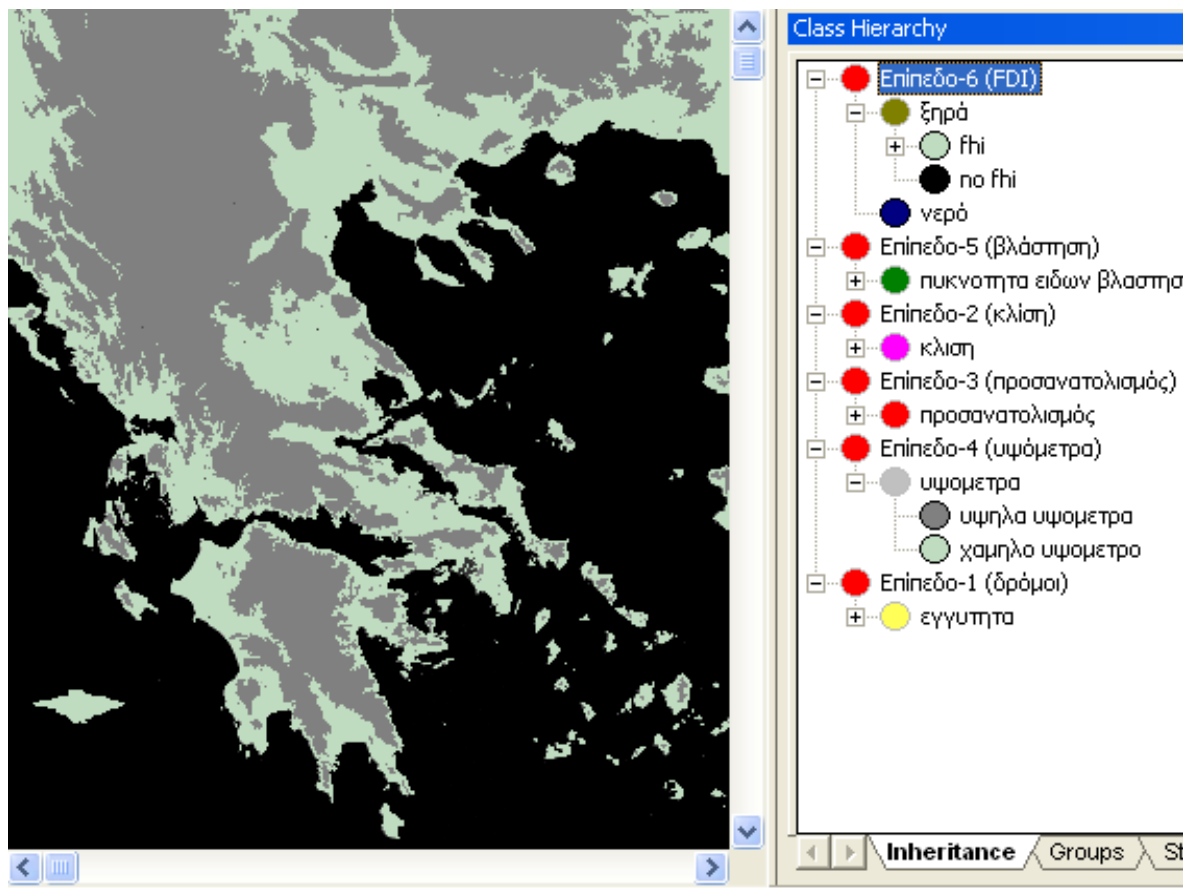
Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο τέταρτο αυτό επίπεδο κατάτμησης είναι ένας χάρτης της Ελλάδος ταξινομημένος σε δύο κατηγορίες υψομέτρων ανάλογα με τον τρόπο που επιδρά κάθε μια στην καύση.



Εικόνα 56: "χαμηλό υψόμετρο"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής Z



Εικόνα 57: "υψηλό υψόμετρο"-Ασαφής συνάρτηση συμμετοχής μορφής S

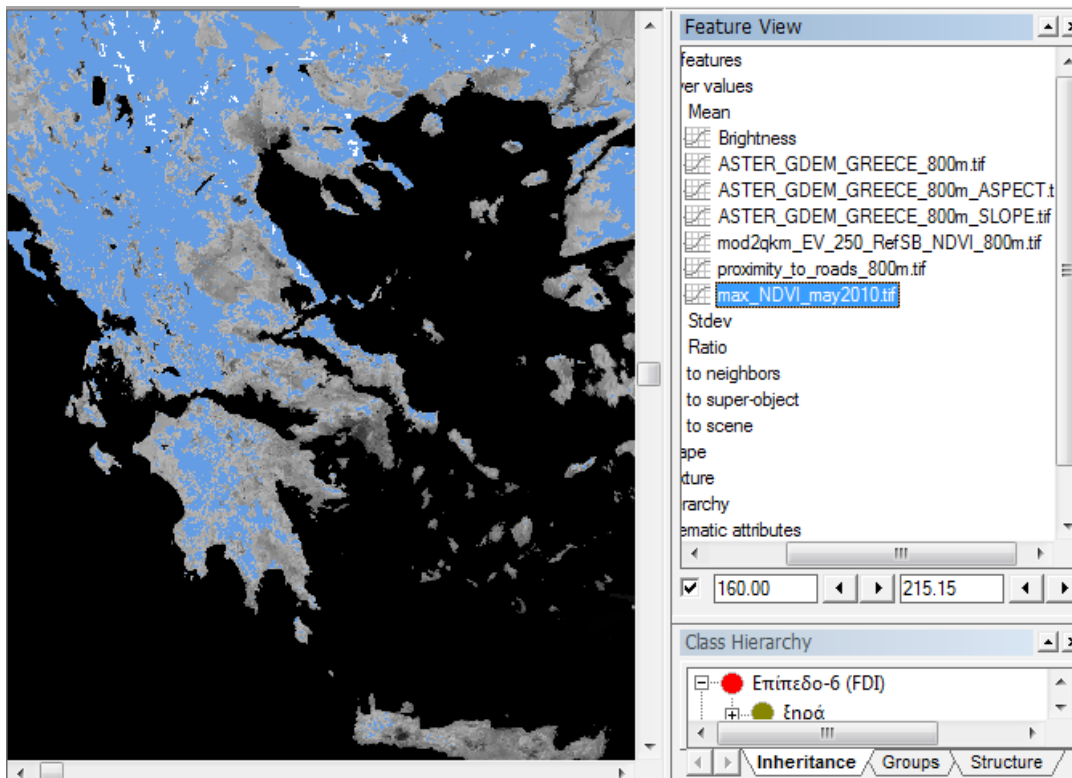


Εικόνα 58: Χάρτης υψομέτρων Ελλάδος σε δύο κατηγορίες με βάση την επίδραση τους στην καύση

#### 4.4.1.2.7 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΕΜΠΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΧΑΡΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΕΙΔΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ)

Στο πέμπτο επίπεδο κατάτμησης η ταξινόμηση θα γίνει με βάση την πυκνότητα της βλάστησης, όπως αυτή υπολογίστηκε από τις τιμές του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης στο κανάλι με τον μέγιστο NDVI του Μαΐου (max\_NDVI\_may2010), αλλά και βάσει των ειδών βλάστησης όπως τις παίρνουμε από το θεματικό επίπεδο με τις χρήσεις γης του Corine Land Cover.

Στην εικόνα 59, με μπλε χρώμα σημειώνονται οι περιοχές με πυκνή βλάστηση για τις οποίες ο NDVI παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 160, μέσω της επιλογής "Feature View" για την μέση τιμή "Mean Value" του επιπέδου "max\_NDVI\_may2010", του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης.

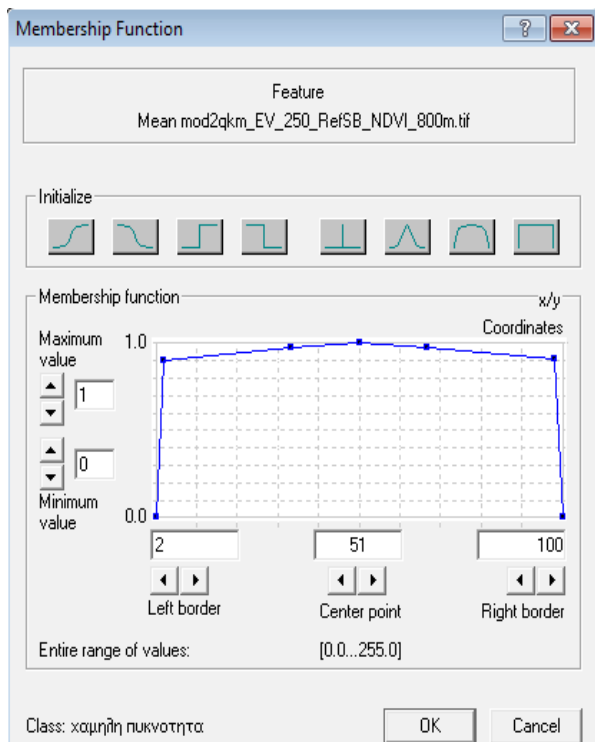


Εικόνα 59: Περιοχές με πυκνή βλάστηση στην Ελλάδα βάσει NDVI (για τιμές δείκτη μεγαλύτερες από 160)

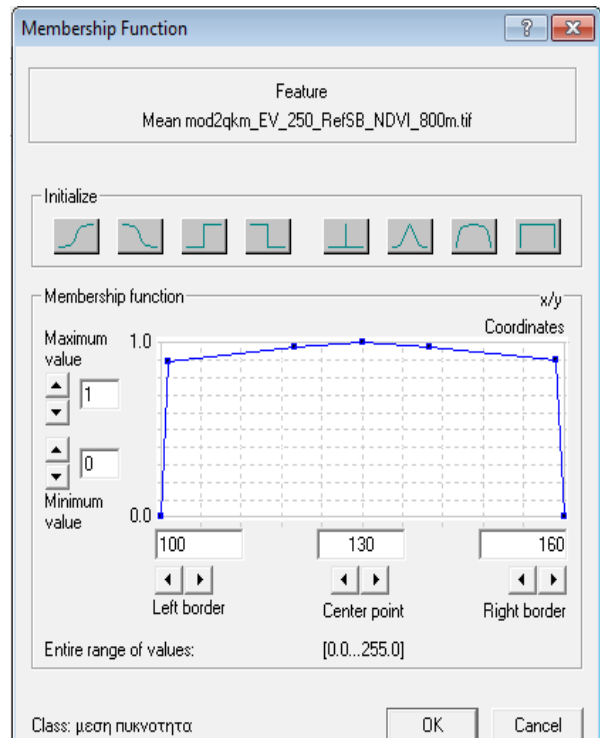
Από την απεικόνιση των τιμών του καναλιού του NDVI και με βάση φωτοερμηνεία σε αυτή, καθώς εμπειρικά γνωρίζουμε ορισμένες εκτάσεις της Ελλάδος που καλύπτονται από πυκνή ή αραιή βλάστηση, προέκυψε ο διαχωρισμός των κατηγοριών :

- "χαμηλή πυκνότητα". Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης τραπεζοειδούς μορφής, με διάστημα τιμών 2 έως 100.
- "μέση πυκνότητα". Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης τραπεζοειδούς μορφής, με διάστημα τιμών 100 έως 160.
- "υψηλή πυκνότητα". Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης μορφής S, με διάστημα τιμών 159 έως 161.
- "καθόλου βλάστηση". Ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης μορφής Z, με διάστημα τιμών 1 έως 3.

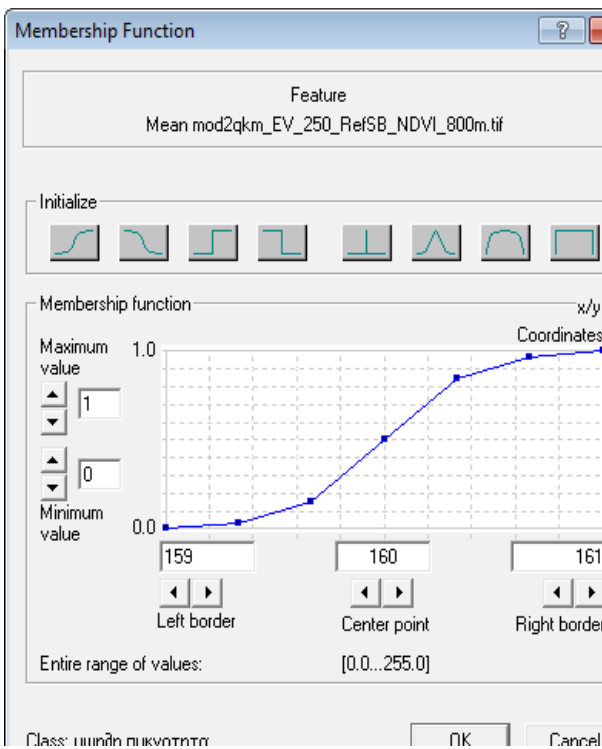
Οι κατηγορίες αυτές ομαδοποιούνται σε μια κατηγορία "πυκνότητα ειδών βλάστησης" που αφορά το επίπεδο που εφαρμόζονται .



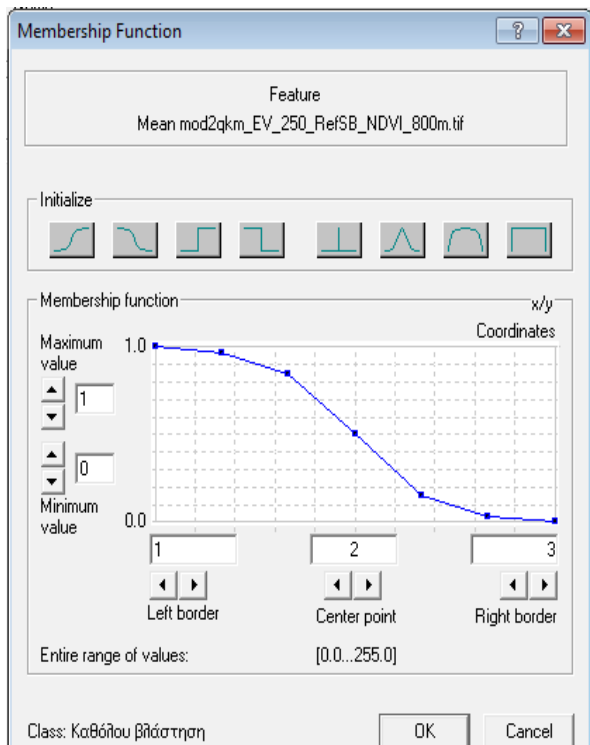
Εικόνα 61: "χαμηλή πυκνότητα"-Ασαφής συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής



Εικόνα 60: "μέση πυκνότητα"-Ασαφής συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής



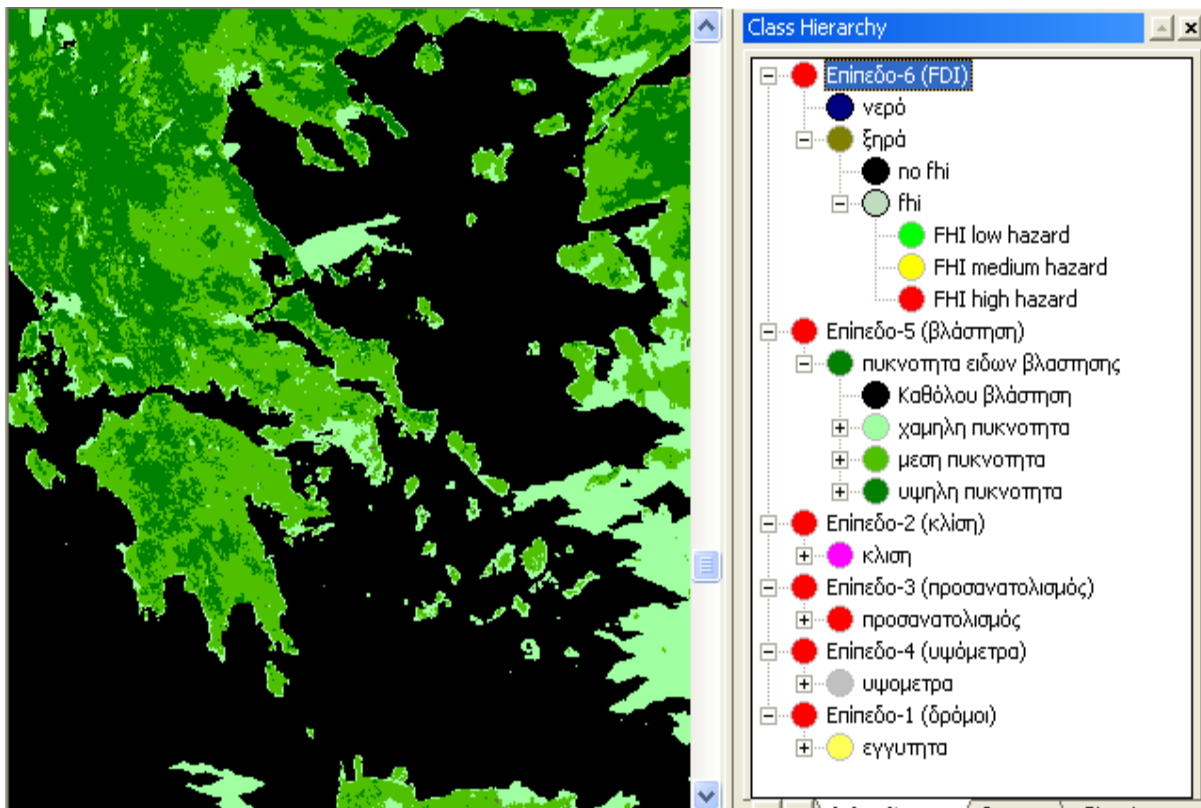
Εικόνα 63: "υψηλή πυκνότητα"-Ασαφής συνάρτηση μορφής S



Εικόνα 62: "καθόλου βλάστηση"-Ασαφής συνάρτηση μορφής S



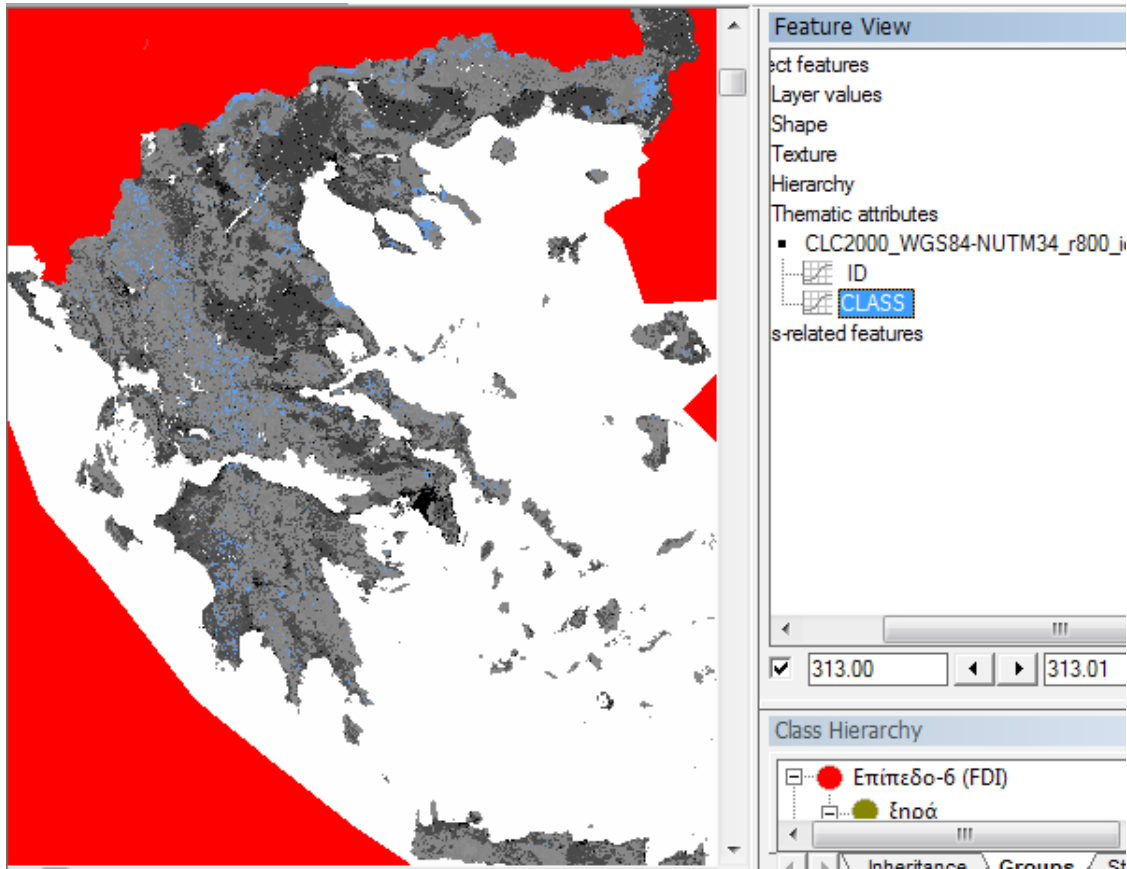
Η ταξινόμηση με βάση τις κατηγορίες αυτές τιμών του NDVI δίνει ένα χάρτη της Ελλάδος με βάση την πυκνότητα της βλάστησης.



Εικόνα 64: Χάρτης πυκνότητας βλάστησης της Ελλάδος σε τρεις κατηγορίες με βάση τις τιμές του NDVI

Το δεύτερο βήμα της ταξινόμησης του πέμπτου αυτού επιπέδου πραγματοποιήθηκε με την χρήση των κατηγοριών του Corine Land Cover τις οποίες γνωρίζουμε από το θεματικό επίπεδο.

Στην εικόνα 65 με μπλε χρώμα σημειώνονται οι περιοχές οι οποίες παίρνουν τιμή 313 στο θεματικό επίπεδο, αυτές ανήκουν στην υποκατηγορία με αριθμό 3.1.3 του Corine και όνομα “Μικτό δάσος”, η προβολή έγινε μέσω της επιλογής “Feature View” για την πληροφορία “class” του θεματικού επιπέδου (Thematic Attribute) "CLC2000\_WGS84-NUTM\_r800". Με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται οι περιοχές που δεν ανήκουν στο Corine.

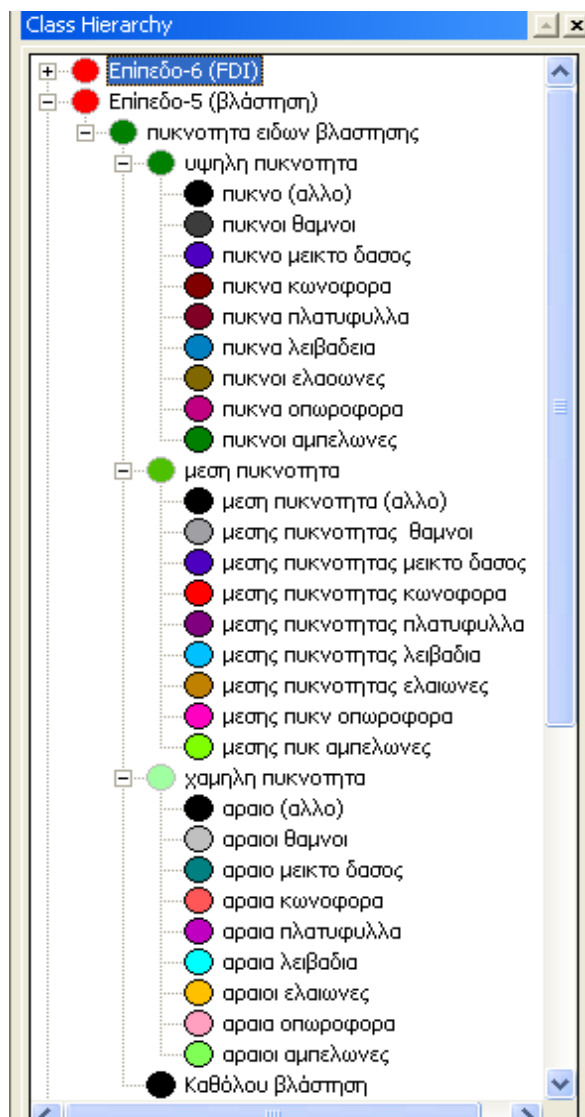


Εικόνα 65: Οι εκτάσεις "μικτού δάσους" με βάση το Corine

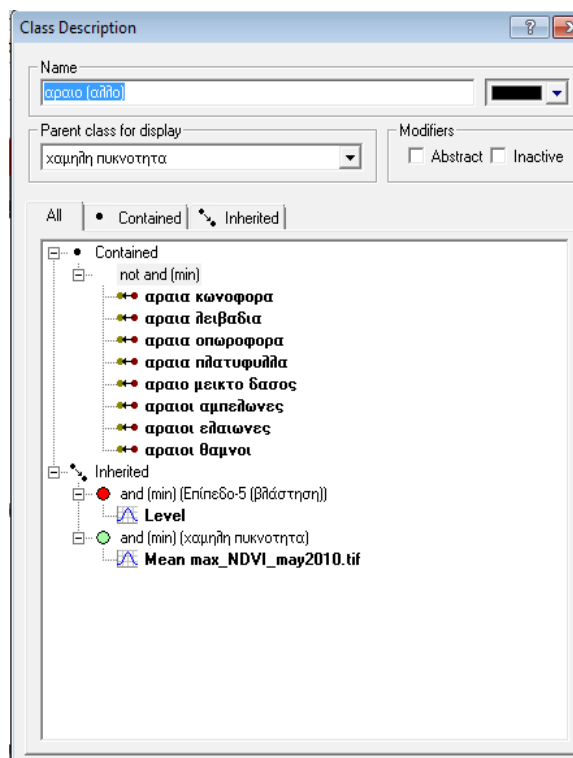
Οι γενικές κατηγορίες "χαμηλή πυκνότητα", "μέση πυκνότητα" και "υψηλή πυκνότητα" διαχωρίστηκαν σε υποκατηγορίες με βάση τις κατηγορίες του θεματικού επιπέδου. Για κάθε μία από τις 3 κύριες κατηγορίες ορίστηκαν 9 υποκατηγορίες, 8 με τις χρήσεις που παίρνουν μέρος στο μοντέλο πρόβλεψης και μια "άλλο" με όλες τις άλλες χρήσεις που δεν συμμετέχουν.

Για παράδειγμα, στην κεντρική κατηγορία "χαμηλή βλάστηση" ορίζουμε την υποκατηγορία "αραιοί θάμνοι", η οποία ορίζεται από συνάρτηση συμμετοχής στο θεματικό επίπεδο για την μοναδική τιμή 322 που παρουσιάζει η κατηγορία "Θάμνοι" του Corine ενώ κληρονομεί και τα χαρακτηριστικά της κεντρικής κατηγορίας "χαμηλή βλάστηση". Όμοια ορίζονται και οι άλλες 7 υποκατηγορίες, που συμμετέχουν στο μοντέλο, βάση αντίστοιχης συνάρτησης συμμετοχής για τις δικές τους τιμές στο θεματικό επίπεδο, η κατηγορία "άλλα" ορίζεται συμπληρωματικά ως προς τις 8 άλλες υποκατηγορίες. Η διαδικασία ορισμού των υποκατηγοριών στις άλλες δύο κεντρικές κατηγορίες είναι τελείως όμοια.

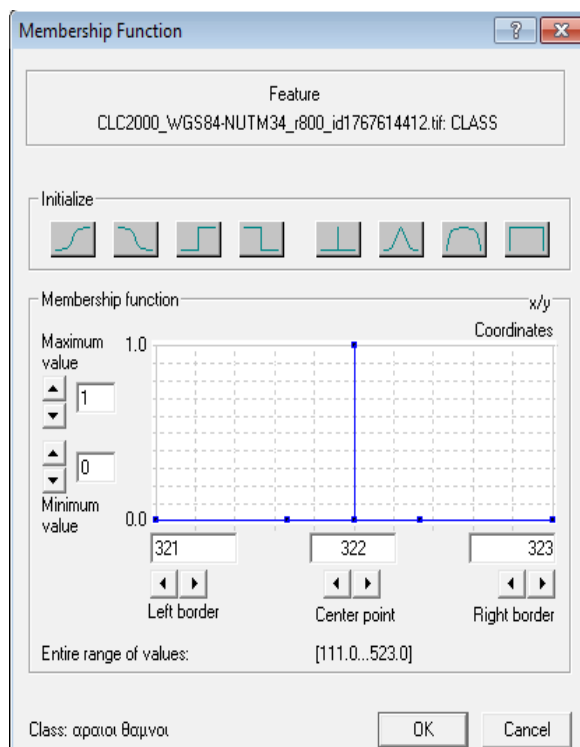




Εικόνα 67: Ιεραρχία κατηγοριών πέμπτου επιπέδου

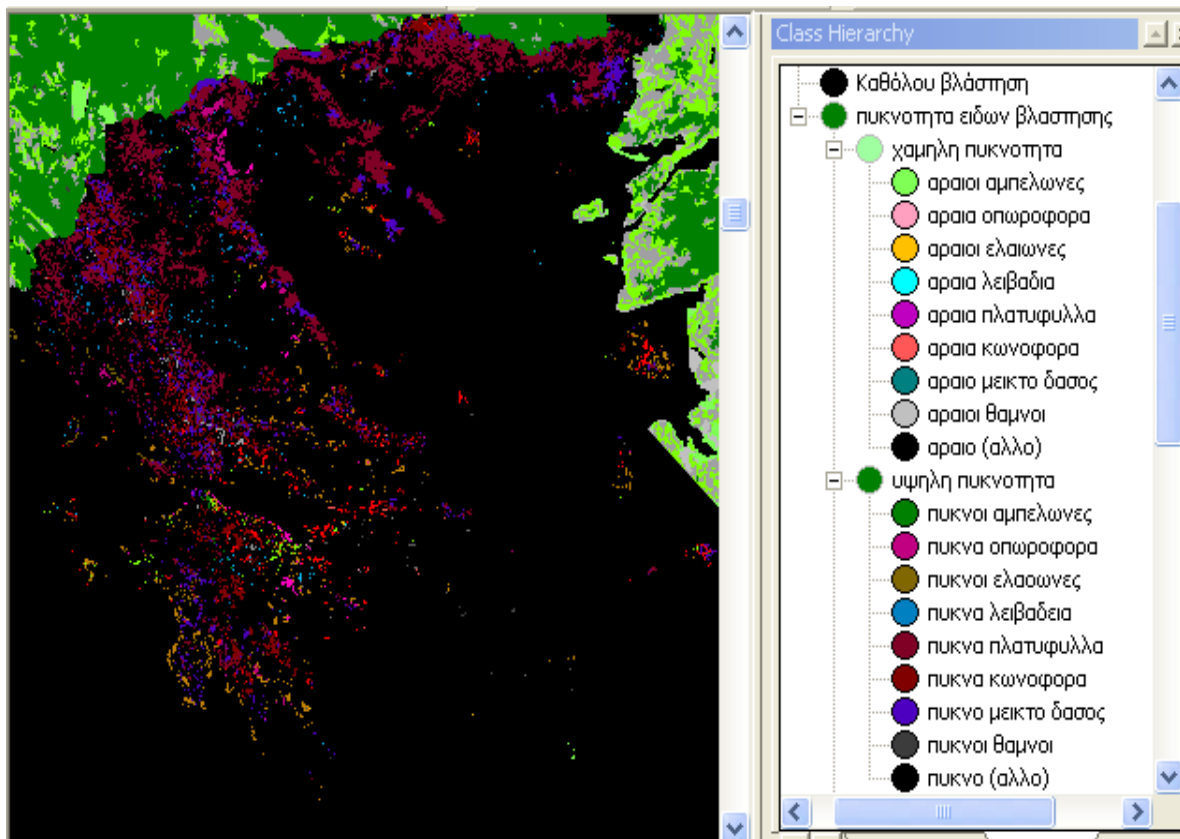


Εικόνα 66: Περιγραφή συμπληρωματικής κατηγορίας "άλλα"



Εικόνα 68: "αραιοί θάμνοι"-Συνάρτηση συμμετοχής

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο πέμπτο αυτό επίπεδο κατάτμησης μετά τον ορισμό και των υποκατηγοριών των τριών βασικών κατηγοριών είναι ένας χάρτης που ταξινομεί την Ελλάδα με βάση την πυκνότητα βλάστησης των χρήσεων γης που συμμετέχουν στο μοντέλο μας.



Εικόνα 69: Χάρτης ειδών βλάστησης με βάση την πυκνότητα τους για τον Ελλαδικό χώρο

#### 4.4.1.2.8 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΚΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΤΕΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ "FHI")

Στο έκτο και τελευταίο αυτό επίπεδο κατάτμησης σκοπός είναι η παραγωγή του τελικού χάρτη επικινδυνότητας, βάσει του δείκτη FHI και με την χρήση των χαρτών-ταξινομήσεων που παρήχθησαν στα άλλα επίπεδα.

Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος θα πρέπει πρώτα να γίνει ο ορισμός του δείκτη, ώστε να προκύψει μετά ο χάρτης ως ταξινόμηση των πολυγώνων, βάσει της τιμής που παρουσιάζει ο εν λόγω δείκτης σε κάθε πολύγωνο.

Ο δείκτης FHI ορίζεται στο περιβάλλον εργασίας του eCognition, βάσει της εντολής "customized features", για να γίνει όμως ο ορισμός θα πρέπει να παρουσιάσουμε τον κανόνα που μας έδωσε την τιμή του FHI στο επιλεγθέν μοντέλο στα πρότυπα του eCognition.

Βάση της μελέτης που έγινε και παρουσιάστηκε στο εδάφιο 3.9.5.1, η τιμή δίνεται από την εξίσωση :

$$FHI = 1 + 100v + 30s + 10a + 5r + 2e$$

όπου τα  $v, s, a, r$  και  $\varepsilon$  είναι οι συντελεστές που αναφέρονται στο είδος βλάστηση, την κλίση, τον προσανατολισμό, τους δρόμους και το υψόμετρο .

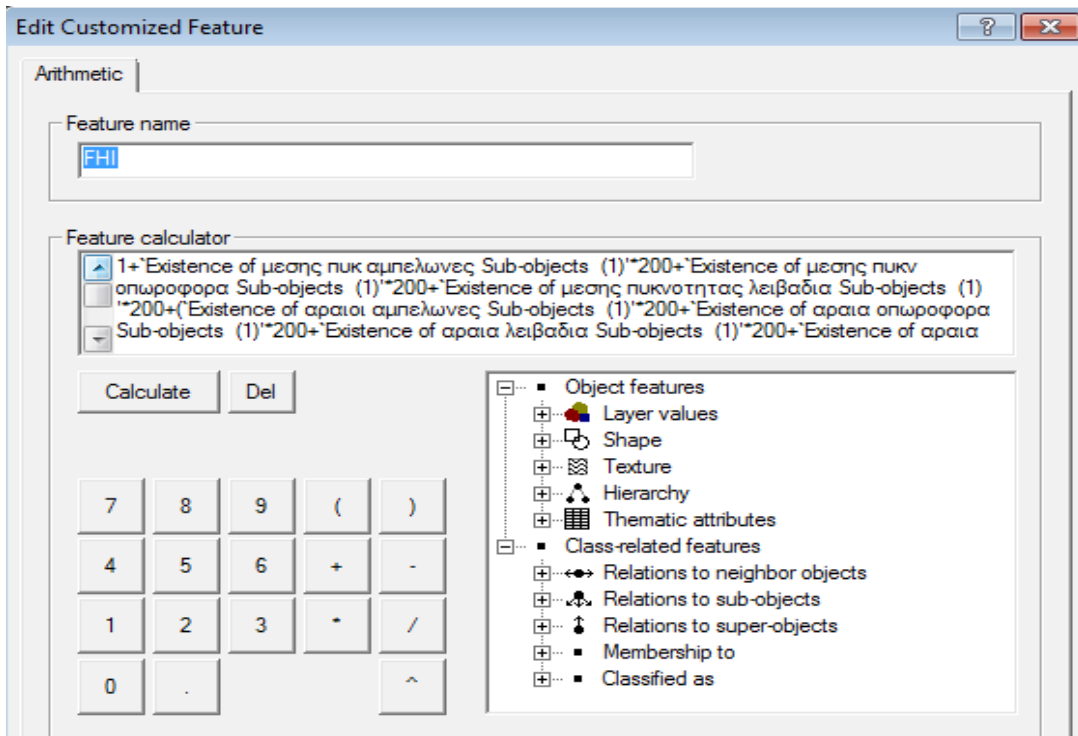
Σε πρότυπα eCognition τώρα το “feature calculator” του συγκεκριμένου “customized features” είναι το εξής :

$$FHI=1+(\text{Existence of αραιοί αμπελώνες Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence of μέσης πυκνότητας αμπελώνες Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence of πυκνοί αμπελώνες Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence αραιά σποροφόρα Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence μέσης πυκνότητας σποροφόρα Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence πυκνά σποροφόρα Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence of αραιά λιβάδια Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence of πυκνά λιβάδια Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence of μέσης πυκνότητας λιβάδια Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence of αραιά πλατύφυλλα Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence of αραιοί θάμνοι Sub-objects (1)} \cdot 200 + \text{Existence of αραιά κωνοφόρα Sub-objects (1)} \cdot 100 + \text{Existence of αραιό μεικτό δάσος Sub-objects (1)} \cdot 100 + \text{Existence of μέσης πυκνότητας μεικτό δάσος Sub-objects (1)} \cdot 100 + \text{Existence of μέσης πυκνότητας θάμνοι Sub-objects (1)} \cdot 100 + \text{Existence of πυκνοί θάμνοι Sub-objects (1)} \cdot 100 + \text{Existence of μέσης πυκνότητας πλατύφυλλα Sub-objects (1)} \cdot 100 + \text{Existence of αραιοί ελαιώνες Sub-objects (1)} \cdot 100) + (\text{Existence of χαμηλή κλίση Sub-objects (4)} \cdot 60 + \text{Existence of μέση κλίση Sub-objects (4)} \cdot 30) + (\text{Existence of προσανατολισμός Β (χαμηλός κίνδυνος) Sub-objects (3)} \cdot 20 + \text{Existence of προσανατολισμός ΝΔ (μέσος κίνδυνος) Sub-objects (3)} \cdot 10) + (\text{Existence of εκτός εγγύτητας Sub-objects (5)} \cdot 5) + (\text{Existence of χαμηλό υψόμετρο Sub-objects (2)} \cdot 2).$$

Το ‘Existence of Sub-objects ()’, που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στην πράξη του δείκτη, είναι μια μεταβλητή, που ανήκει στη κατηγορία “σχέσεις υπό-αντικειμένων” (relation to sub-objects) της γενικότερης κατηγορίας “χαρακτηριστικά συ-σχετιζόμενων τάξεων” (class-related features), Αυτή υπολογίζει αν απαντάτε ή όχι μια κατηγορία, προηγούμενου επιπέδου κατάτμησης, σε αντικείμενα μεταγενέστερου επιπέδου.

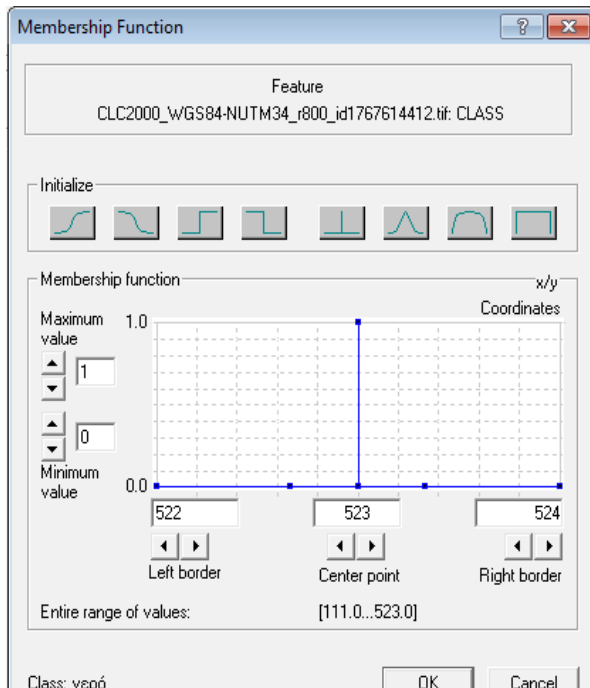
Άρα για κάθε πολύγωνο, η μεταβλητή “‘Existence of αραιοί αμπελώνες Sub-objects (1)’” μπορεί να πάρει τιμές 0 και 1, ανάλογα αν η κατηγορία “αραιοί αμπελώνες” απαντάτε η όχι στο εν λόγω πολύγωνο, παρόμοια και για τις άλλες μεταβλητές. Προφανώς αν ένα πολύγωνο έχει ταξινομηθεί ως “αραιά πλατύφυλλα” δεν μπορεί να ανήκει και στην κατηγορία “μέσης πυκνότητας θάμνοι” καθώς είναι κατηγορίες ίδιου επιπέδου κατάτμησης, ενώ μπορεί να ανήκει στην κατηγορία “χαμηλή κλίση” που είναι κατηγορία από άλλο επίπεδο. Επομένως εκεί που στο μοντέλο η “χαμηλή κλίση” θα συμμετείχε με τιμή 2 και βάρος 30, εδώ η μεταβλητή ‘Existence of χαμηλή κλίση Sub-objects (4)’ όταν απαντάτε θα παίρνει τιμή 1 και θα πολλαπλασιάζεται επί 60, άρα οι δύο παραπάνω εξισώσεις του FHI είναι ταυτόσημες.

Από τον ορισμό του δείκτη και ειδικότερα την βαθμονόμηση των μεταβλητών ως προς την ικανότητα τους σε καύση (Πίνακας 6) γνωρίζουμε ότι τα “πυκνά κωνοφόρα” που είναι εύφλεκτα συμμετέχουν στο δείκτη με μηδενική τιμή ομοίως 0 είναι η τιμή που συμμετέχουν οι περιοχές “εντός εγγύτητας” που παρουσιάζουν μεγάλη ικανότητα στην καύση. Επομένως ορισμένες μεταβλητές όπως “‘Existence of πυκνά κωνοφόρα Sub-objects (1)’” ή “‘Existence of εκτός εγγύτητας Sub-objects (5)’” απουσιάζουν από τον υπολογισμό γιατί θα έπαιρναν βάρος μηδενικό (\*0). Τέλος ο αριθμός δίπλα στην εντολή Sub-objects υποδηλώνει το επίπεδο κατάτμησης που ανήκει η εν’ λόγω κατηγορία.

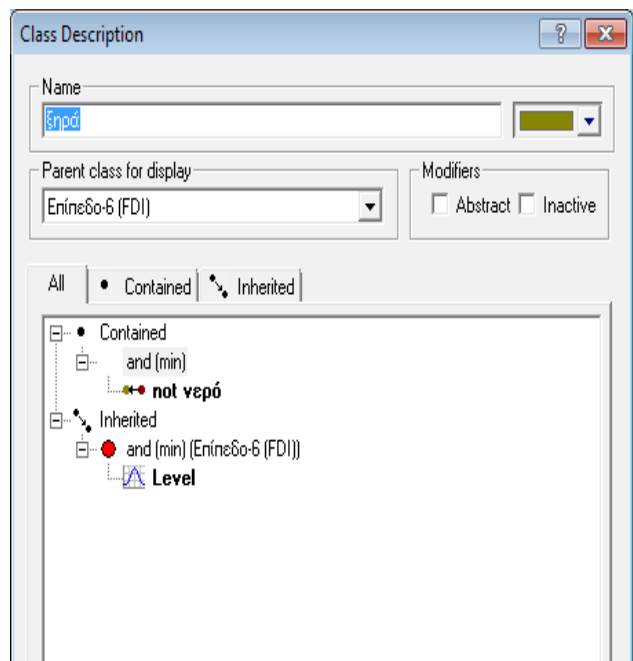


Εικόνα 70: Ο δείκτης FHI-CUSTOMIZED FEATURE

Αφού έγινε λοιπόν η παρουσίαση του υπολογισμού του δείκτη, σειρά είχε η ταξινόμηση της περιοχής μελέτης βάσει αυτού του δείκτη. Καταρχάς οι δύο βασικές κατηγορίες που δημιουργήθηκαν είναι οι "νερό" και "ξηρά", όπου η πρώτη ορίζεται με συνάρτηση συμμετοχής στο θεματικό επίπεδο για τιμή 523, εφόσον η 5.2.3 χρήση γης του Corine είναι η "Θάλασσες και Ωκεανοί", ενώ η δεύτερη ορίζεται ως συμπληρωματική της πρώτης.

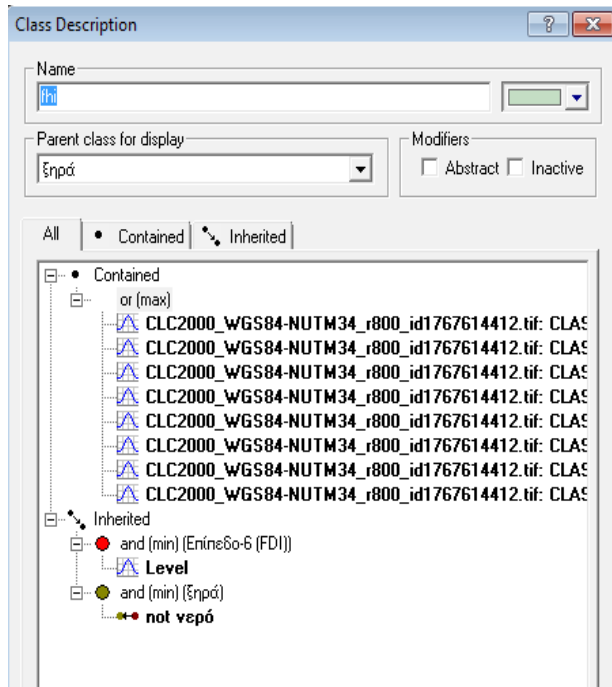


Εικόνα 71: "νερό"-Συνάρτηση συμμετοχής

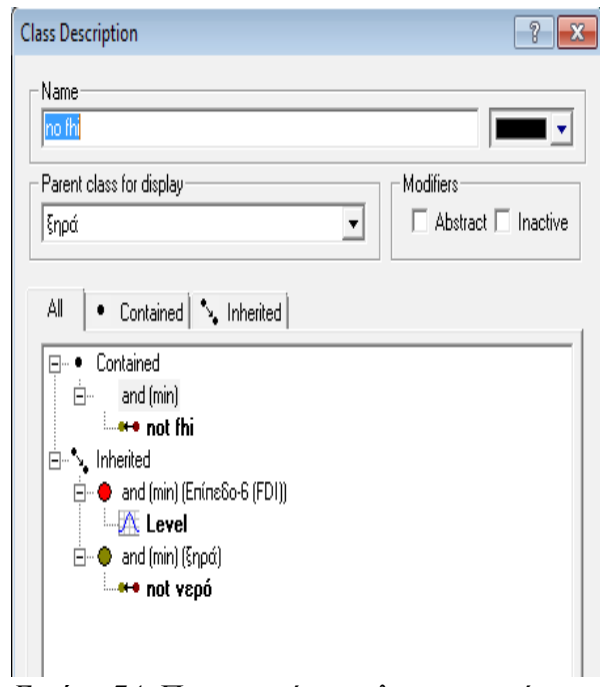


Εικόνα 72: Περιγραφή συμπληρωματικής κατηγορίας "ξηρά"

Στο δεύτερο βήμα της ταξινόμησης του έκτου αυτού επιπέδου και αφού ορίσαμε τις δύο βασικές κατηγορίες, δημιουργούμε στην κατηγορία "ξηρά" δύο υποκατηγορίες με ονόματα "FHI" και "no FHI". Η "FHI" εκτός του ότι κληρονομεί τα χαρακτηριστικά της βασικής κατηγορίας "ξηρά" ορίζεται με την βοήθεια 8 συναρτήσεων συμμετοχής τού θεματικού επιπέδου για τις μοναδικές τιμές των 8 κατηγοριών που μας ενδιαφέρουν. Οι συναρτήσεις συνδέονται μεταξύ τους με τον ασαφή τελεστή "or". Η "no FHI" ορίζεται ως συμπληρωματική της πρώτης.



Εικόνα 73: Οι 8 συναρτήσεις συμμετοχής συνδεδεμένες με ασαφή τελεστή or-"FHI"



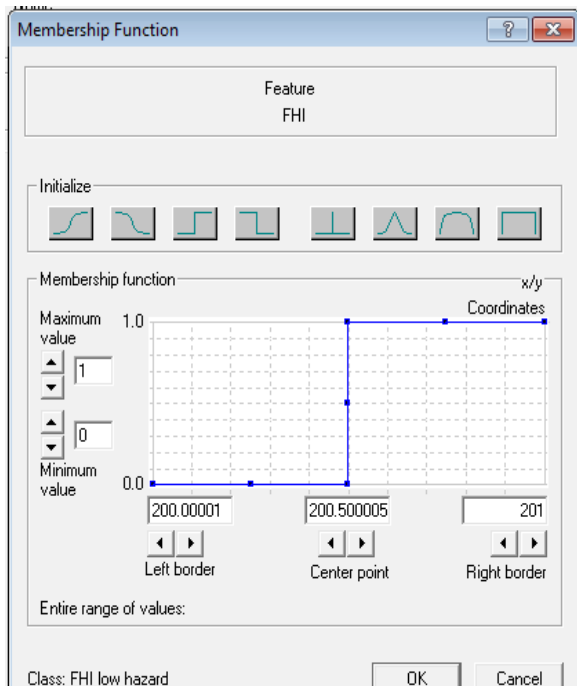
Εικόνα 74: Περιγραφή συμπληρωματικής κατηγορίας-"no FHI"

Στην συνέχεια αφού ορίστηκαν και οι κατηγορίες "FHI" και "no FHI" γίνεται ένα επιπλέον στάδιο κατηγοριοποίησης μέσα στην κατηγορία "FHI" και με βάση τις τιμές του δείκτη FHI που ορίσαμε σε πρώτο στάδιο με το κατάλληλο "customized feature". Από τις τιμές αυτές του δείκτη προέκυψαν οι κατηγορίες :

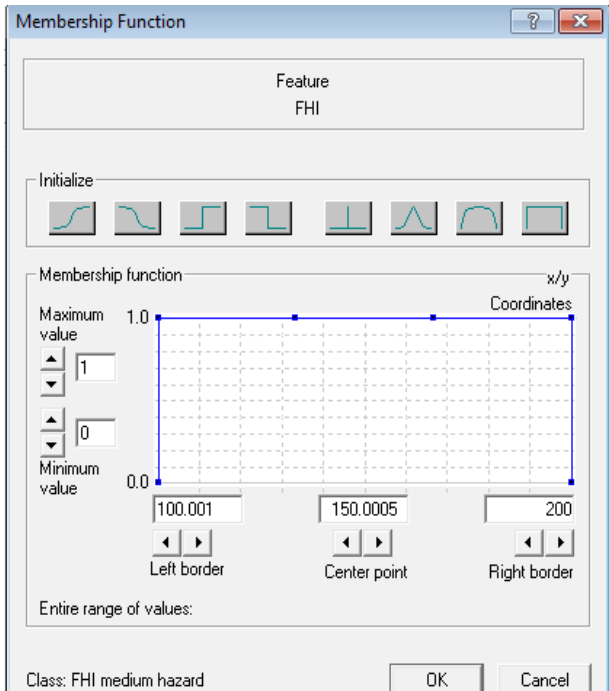
- "low FHI", ορίζεται με την βοήθεια διακριτής συνάρτησης συμμετοχής, με αυστηρό διάστημα τιμών από 200.001 έως 201 (στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται οι περιοχές με τιμές δείκτη πάνω από 200, οι οποίες σύμφωνα με το μοντέλο παρουσιάζουν χαμηλή επικινδυνότητα).
- "medium FHI", ορίζεται με την βοήθεια συνάρτησης συμμετοχής μορφής Π, με διάστημα τιμών από 100.001 έως 200 (στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται οι περιοχές με τιμές δείκτη μεταξύ 100 και 200, οι οποίες σύμφωνα με το μοντέλο παρουσιάζουν μέση επικινδυνότητα).
- "high FHI", ορίζεται με την βοήθεια διακριτής συνάρτησης συμμετοχής, με αυστηρό διάστημα τιμών από 99 έως 101 (στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται οι περιοχές με τιμές δείκτη κάτω από 100, οι οποίες σύμφωνα με το μοντέλο παρουσιάζουν υψηλή επικινδυνότητα).

Προσοχή πρέπει να δοθεί στο ότι οι κατηγορίες "low FHI", "medium FHI" και "high FHI" δεν αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα χαμηλές, μέσες και υψηλές τιμές δείκτη FHI αλλά το αντίθετο και αυτό γιατί από τον ορισμό του αυτός ο δείκτης, όσο μικρότερη είναι η τιμή που παίρνει τόσο

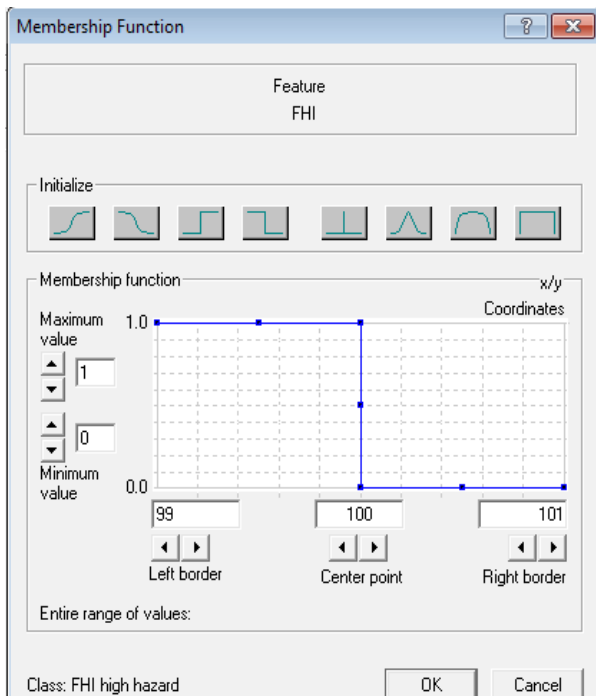
μεγαλύτερη επικινδυνότητα εκφράζει. Ενώ επειδή τον ορισμό των κατηγοριών των κάναμε σύμφωνα με προηγούμενη εφαρμογή και όπως αυτή περιγράφηκε στην βιβλιογραφική ανασκόπηση δεν θα δώσουμε ασαφή όρια αλλά αυστηρά.



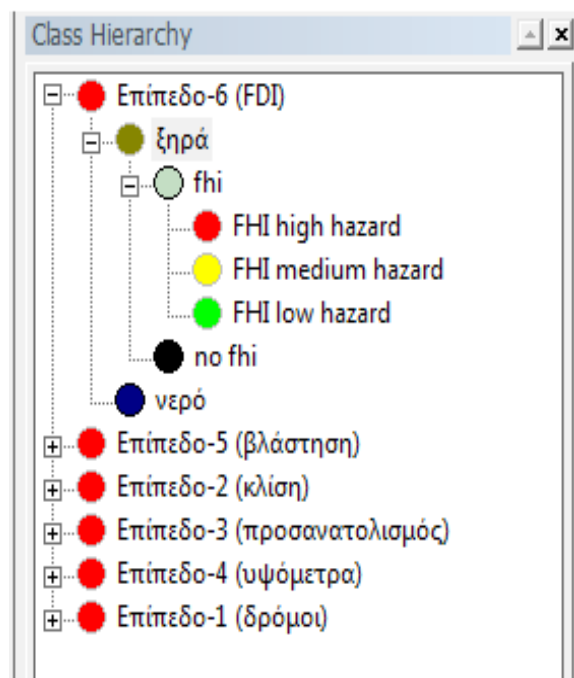
Εικόνα 76: Συνάρτηση συμμετοχής- "Low FHI"



Εικόνα 75: Συνάρτηση συμμετοχής- "Medium FHI"

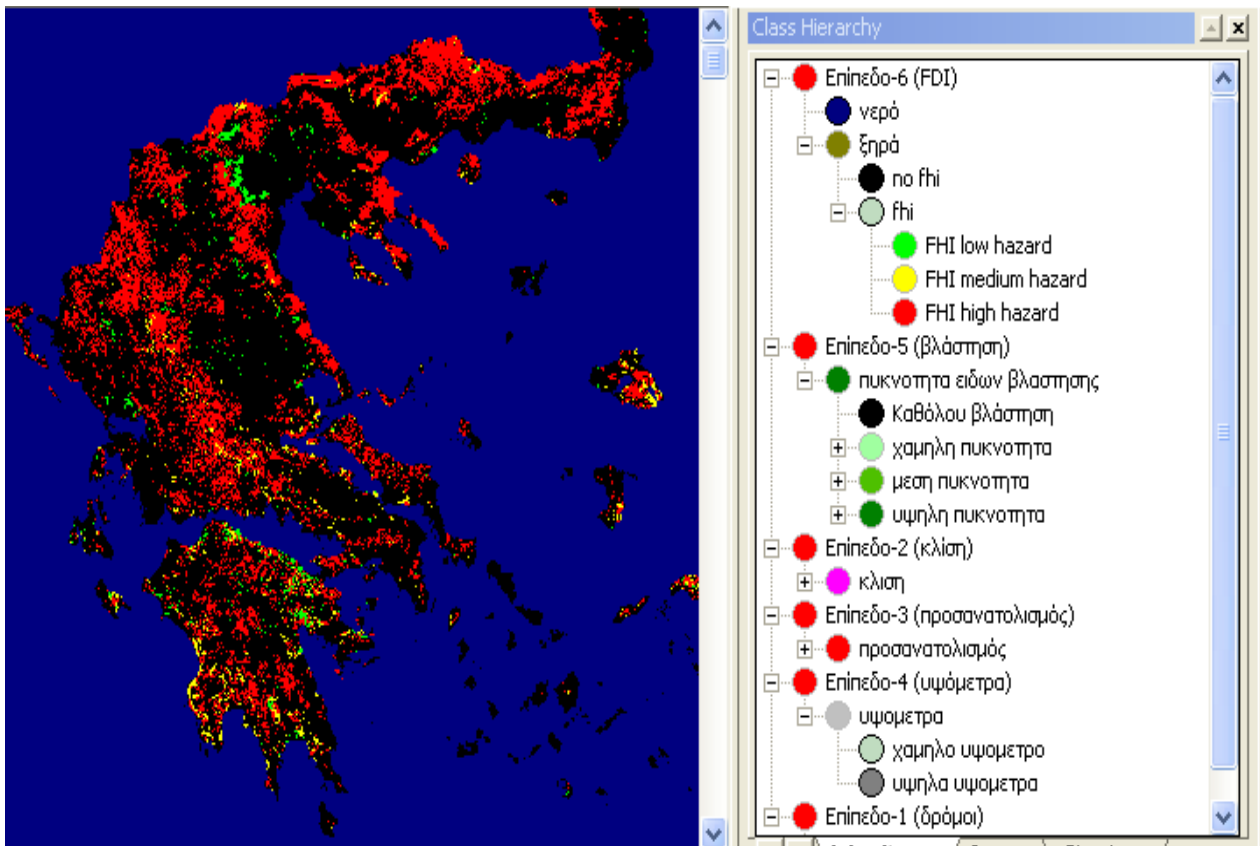


Εικόνα 77: Συνάρτηση συμμετοχής- "High FHI"



Εικόνα 78: Ιεραρχία κατηγοριών έκτου επιπέδου


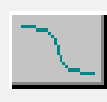
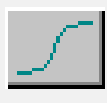


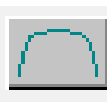
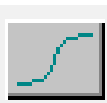
Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο έκτο και τελικό επίπεδο είναι ένας χάρτης που ταξινομεί την Ελλάδα βάση των τιμών του δείκτη FHI στις τρεις τελικές κατηγορίες, που αποτελούν ουσιαστικά τρία επίπεδα επικινδυνότητας πυρκαγιάς.



Εικόνα 79: Χάρτης της Ελλάδος με βάση τον δείκτη FHI σε τρεις κατηγορίες τιμών του









#### 4.4.1.2.9 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Αφού υλοποιήθηκε και ο δείκτης επικινδυνότητας μέσω της τελικής ταξινόμησης στο έκτο αυτό επίπεδο, θεωρήσαμε χρήσιμο να παρουσιάσουμε ορισμένα διαγράμματα για να διευκολύνουμε την κατανόηση της ιεραρχίας των κατηγοριών των επιπέδων της ταξινόμησης, του ορισμού των κατηγοριών αλλά και γενικότερα των βημάτων που εφαρμόσαμε στα διάφορα επίπεδα ταξινόμησης.




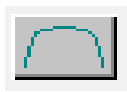
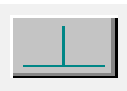



ΕΠΙΠ ΕΔΟ	ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΠΟΚΑΤΗΓ ΟΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ Σ	ΑΡΙΣΤ ΕΡΟ ΟΡΙΟ	ΔΕΞΙ ΟΡΙΟ
1°	"εγγύτητα"		Θεματικό επίπεδο corine 2000 (CLC2000_WGS84- NUTM_r800)		111	522
		"εντός εγγύτητας"	Εγγύτητα σε δρόμους (proximity_to roads_800m)		49	51
		"εκτός εγγύτητας"	Εγγύτητα σε δρόμους (proximity_to roads_800m)		49	51
2°	"κλίση"		Θεματικό επίπεδο corine 2000 (CLC2000_WGS84- NUTM_r800)		111	522
		"χαμηλή κλίση"	Κλίση (ASTER_GDEM_ GREECE_800M_SLO PE)		12	13
		"μέση κλίση"	Κλίση (ASTER_GDEM_ GREECE_800M_SLO PE)		12	40
		"υψηλή κλίση"	Κλίση (ASTER_GDEM_ GREECE_800M_SLO PE)		39	40

Πίνακας 8: Ορισμός κατηγοριών-υποκατηγοριών επίπεδων 1 και 2 της ταξινόμησης








ΕΠΙΠ ΕΔΟ	ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟ ΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ Σ	ΑΡΙΣΤ ΕΡΟ ΟΡΙΟ	ΔΕΞΙ ΟΡΙΟ
3°	"προσανατολι σμός"		Θεματικό επίπεδο corine 2000 (CLC2000_WGS84- NUTM_r800)		111	522
		"Βόρειοι προσανατολι σμοί"	Προσανατολισμός  ASTER_GDEM_ GREECE_800M_ ASPECT	or  	268  0	361  92
		"Νοτιοδυτικοί προσανατολι σμοί"	Προσανατολισμός  ASTER_GDEM_ GREECE_800M_ ASPECT		178	272
		"Νοτιοανατολι κοί προσανατολι σμοί"	Προσανατολισμός  ASTER_GDEM_ GREECE_800M_ ASPECT		88	182
4°	"υψόμετρα"		Θεματικό επίπεδο corine 2000 (CLC2000_WGS84- NUTM_r800)		111	522
		"χαμηλά υψόμετρα"	Υψόμετρο  ASTER_GDEM_ GREECE_800M		399	401
		"υψηλά υψόμετρα"	Υψόμετρο  ASTER_GDEM_ GREECE_800M		399	401

Πίνακας 9: Ορισμός κατηγοριών-υποκατηγοριών επιπέδων 3 και 4 της ταξινόμησης

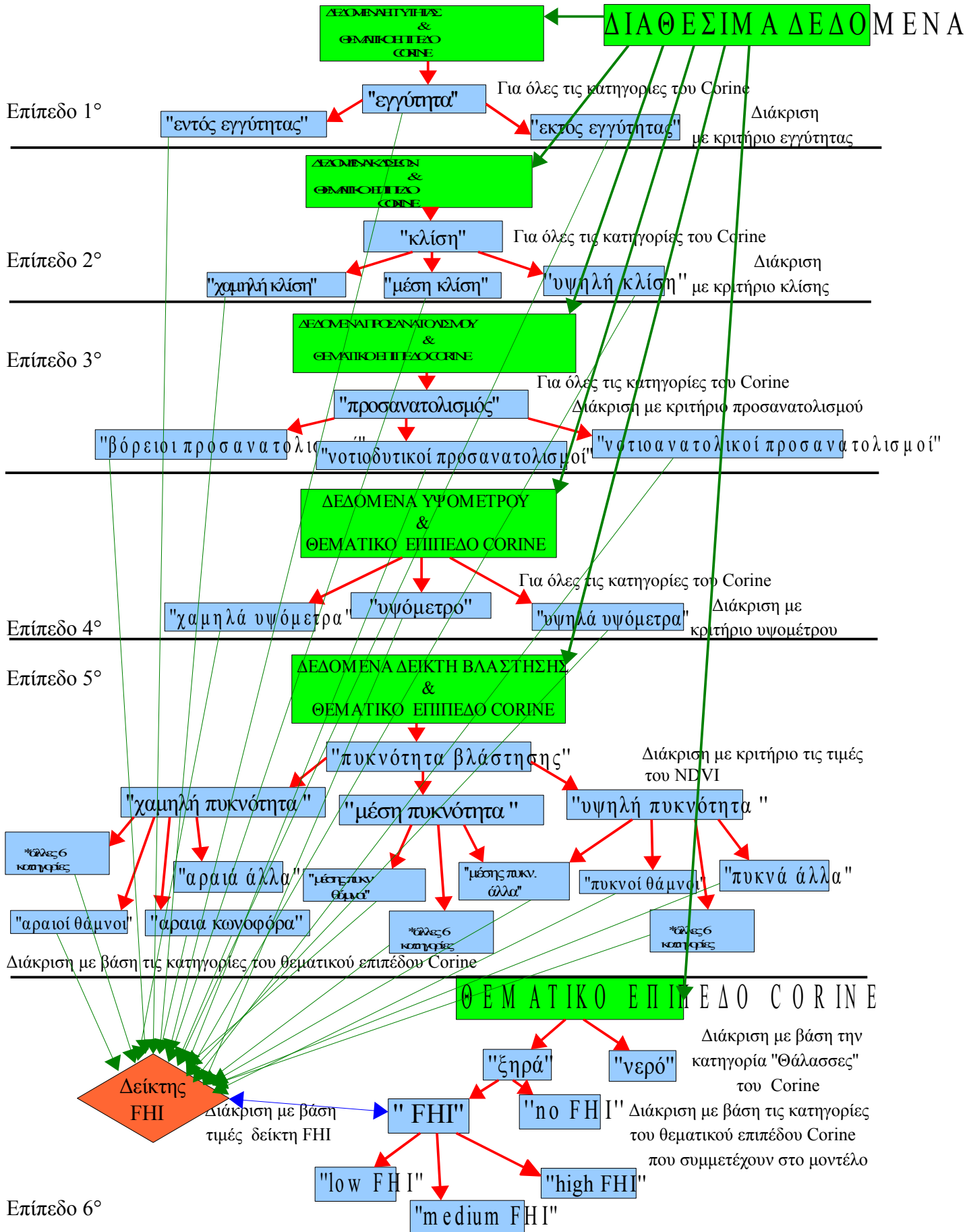
ΕΠΙΠ ΕΔΟ	ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΠΟΚΑΤΗ ΓΟΡΙΑ 1	ΥΠΟΚΑΤ ΗΓΟΡΙΑ 2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙ ΚΟ	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ	ΑΡΙΣΤ ΕΡΟ ΟΡΙΟ	ΔΕΞΙ ΟΡΙΟ
5°	"πυκνότητα ειδών βλάστησης"			Επίπεδο Level		4	6
		"χαμηλή πυκνότητα"		NDVI		2	100
			"αραιοί θάμνοι"	Θεματικό επίπεδο corine 2000		321	323
				*όμοια ορίζονται και οι	άλλες 7		
			"αραιό άλλο"	Ορίζεται συμπληρωματικά στις άλλες 8			
		"μέση πυκνότητα"		NDVI		100	160
			"μέσης πυκνότητας θάμνοι"	Θεματικό επίπεδο corine 2000 (CLC2000_WGS 84-NUTM_r800)		321	323
				*όμοια ορίζονται	και οι άλλες 8		
		"υψηλή πυκνότητα"		NDVI		159	161
			"υψηλής πυκνότητας θάμνοι"	Θεματικό επίπεδο corine 2000 (CLC2000_WGS 84-NUTM_r800)		321	323
				*όμοια ορίζονται	και οι άλλες 8		
		"καθόλου βλάστηση"		NDVI		1	3

Πίνακας 10: Ορισμός κατηγοριών-υποκατηγοριών επιπέδου 5 της ταξινόμησης

ΕΠΙΠ ΕΔΟ	ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΠΟΚΑΤΗ ΓΟΡΙΑ 1	ΥΠΟΚΑΤΗ ΓΟΡΙΑ 2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙ ΚΟ	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧ ΗΣ	ΑΡΙΣΤ ΕΡΟ ΟΡΙΟ	ΔΕΞΙ ΟΡΙΟ
6°	"νερό"			Θεματικό επίπεδο corine 2000  (CLC2000_WGS 84-NUTM_r800)		522	524
	"ξηρά"			Ορίζεται συμπληρωματικά στο "νερό"			
		"FHI"		Θεματικό επίπεδο corine 2000  (CLC2000_WGS 84-NUTM_r800)	8 Συναρτήσεις  	220 221 222 230 310 311 312 321	222 223 224 232 312 313 314 323
			"low FHI"	FHI		200	200.02
			"medium FHI"	FHI		100	200
			"high FHI"	FHI		99.999	100
		"no FHI"		Ορίζεται συμπληρωματικά στο "FHI"			

Πίνακας 11: Ορισμός κατηγοριών-υποκατηγοριών επιπέδου 6 της ταξινόμησης

# ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ



# ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΤΑΞΕΩΝ



## 4.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ FDI

Ο δείκτης αυτός κινδύνου FDI (Fire Danger Index), ο οποίος βασίζεται σε βραχυπρόθεσμες καιρικές μεταβλητές και υποδηλώνει την ίδια την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιών, διατυπώθηκε στην βιβλιογραφική ανασκόπηση βάσει αντίστοιχης εργασίας (J.J. Sharples et al., 2007). Η εργασία αυτή που σκοπό είχε να συγκρίνει τα αποτελέσματα του σε σχέση με τα μοντέλα Mc Arthur, στα οποία βασίστηκε και τα οποία χρησιμοποιούνται αρκετά χρόνια στην Αυστραλία, έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα.

### 4.4.2.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που χρειαζόμαστε για τον δείκτη αυτό είναι αποκλειστικά καιρικά και είναι η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και η σχετική υγρασία. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι τα δεδομένα αυτά, σε αντίθεση με τα δεδομένα του δείκτη FHI, δεν τα θέλουμε από ένα ιστορικό αρχείο αλλά πρέπει να είναι ουσιαστικά μελλοντικές προβλέψεις, που ανανεώνονται συνεχώς.

Πηγή των καιρικών αυτών δεδομένων είναι το σύστημα Ποσειδών, το οποίο λειτουργεί κάτω από την αιγίδα του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., και μας εφοδιάζει με προβλέψεις ανά 3 ώρες. Πληροφορίες για την λειτουργία και τα μέρη του συστήματος έχουν δοθεί στην βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Το προϊόν, πρόγνωση καιρού, του συστήματος που είναι αυτό που ουσιαστικά αφορά τον δείκτη, παρέχει προβλέψεις για τον τρόπο εξέλιξης των καιρικών αυτών δεδομένων για χρονικό διάστημα 5 ημερών και με διάστημα ανανέωσης 3 ωρών. Η μορφή που παρέχονται από την ιστοσελίδα του συστήματος οι προγνώσεις αυτές στον χρήστη είναι ο θεματικός χάρτης, για κάθε καιρική μεταβλητή προσφέρεται ένας θεματικός χάρτης που απεικονίζει την Ελλάδα σε κατηγορίες με βάση την ένταση της.

Στην εν' λόγω εφαρμογή του δείκτη, τα δεδομένα αυτά που παρέχονται μέσω της ιστοσελίδας δεν είναι αρκετά καθώς δεν γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή την τιμή της κάθε μεταβλητής σε κάθε μεμονωμένο εικονοστοιχείο που θα ήταν το ζητούμενο. Απλά έχουμε ένα θεματικό χάρτη που απεικονίζει τα δεδομένα χωρίς να έχουμε πρόσβαση σε αυτά. Για τον παραπάνω λόγο ακολούθησε επικοινωνία με τους ιθύνοντες του συστήματος για να μας παρέχουν τα δεδομένα σε μορφή αξιοποιήσιμη από τον δείκτη.

Τα δεδομένα που τελικά λάβαμε ήταν οι τιμές των τριών καιρικών μεταβλητών σε ένα πλήθος συγκεκριμένων σημείων για το πρώτο δεκαπενθήμερο του Αυγούστου και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Σεπτεμβρίου του 2010 σε μορφή λογιστικών φύλλων. Ειδικότερα στους πίνακες των Excel αυτών αρχείων μας δόθηκαν για συγκεκριμένες συντεταγμένες (φ,λ) οι προβλέψεις των μεταβλητών της θερμοκρασίας, της ταχύτητας ανέμου και της σχετικής υγρασίας για το μεσημέρι της επόμενης ημέρας.

Στην συνέχεια από το πλήθος αυτό των αρχείων επιλέξαμε αυτά που αναφέρονταν σε προβλέψεις για τις 1, 2, 3, 4 Αυγούστου και τις 12, 13, 14 και 15 Σεπτεμβρίου του 2010. Για να είναι τα δεδομένα αυτά αξιοποιήσιμα από το μοντέλο θα έπρεπε να μετατραπούν σε θεματικού χάρτες, στους οποίους και θα γνωρίζουμε την τιμή της κάθε μεταβλητής σε κάθε σημείο του και αυτό έγινε με την κατάλληλη προεπεξεργασία.

Στο περιβάλλον εργασίας τους Er Mapper αφού εισάγαμε τα ASCII αυτά δεδομένα και γνωρίζοντας ουσιαστικά την πρόβλεψη της τιμής της κάθε μεταβλητής για συγκεκριμένο σημείο με γνωστές συντεταγμένες (φ, λ) δημιουργήσαμε μια απεικόνιση της πρόβλεψης της έντασης της κάθε μεταβλητής για κάθε συγκεκριμένη μέρα. Με την παραπάνω διαδικασία δημιουργήθηκε, στο Er Mapper, μια σύνθετη εικόνα με 24 κανάλια καθώς έχουμε τρία κανάλια, με τις προβλέψεις των τριών αυτών μεταβλητών, για κάθε μία από τις 8 ημέρες.

Τέλος αφού γεωαναφέραμε την σύνθετη αυτή εικόνα στο σύστημα αναφοράς των δεδομένων του δείκτη FHI, το WGS 84 και σε ζώνη 34 που βρίσκεται η Ελλάδα την εξάγαμε σε μορφή TIF με ανάλυση 800 μέτρων.

#### **4.4.2.2 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ FDI ΣΤΟ eCognition**

Η υλοποίηση του δείκτη FDI και η κατασκευή του θεματικού χάρτη κινδύνου, βάσει των τιμών του δείκτη αυτού, θα γίνει στο περιβάλλον του eCognition και πιο συγκεκριμένα στο Project που δημιουργήθηκε για την κατασκευή του FHI.

##### **4.4.2.2.1 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΒΔΟΜΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ**

Αρχικά εισάγουμε στο εν' λόγω Project τα τρία νέα κανάλια της σύνθετης εικόνας που δημιουργήσαμε στο Er Mapper και τα οποία αναφέρονται στις προβλέψεις των τιμών της θερμοκρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και της σχετικής υγρασίας για το μεσημέρι της 2 Αυγούστου 2010.

Στην συνέχεια δημιουργούμε ένα νέο επίπεδο κατάτμησης στο οποίο και εφαρμόσαμε κατάτμηση με ακριβώς τα ίδια κριτήρια με αυτά των άλλων έξι επιπέδων. Χρησιμοποιώντας δηλαδή ίδια βάρη σε κανάλια, σε φασματικό και κριτήριο σχήματος και ίδια παράμετρο κλίμακας πήραμε τα ίδια αρχικά αντικείμενα με αυτά των άλλων επιπέδων.

##### **4.4.2.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΒΔΟΜΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ**

Στο έβδομο αυτό επίπεδο κατάτμησης σκοπός είναι η ταξινόμηση της Ελλάδος βάσει των τιμών του δείκτη FDI για τον σκοπό αυτό και θα πρέπει σε πρώτη φάση να κατασκευάσουμε τον δείκτη αυτό.

Ο δείκτης FDI ορίζεται στο περιβάλλον εργασίας του eCognition βάσει της εντολής “customized features”, για να γίνει όμως ο ορισμός θα πρέπει να παρουσιάσουμε τον κανόνα που μας έδωσε την τιμή του FDI στο επιλεχθέν μοντέλο στα πρότυπα του eCognition.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση ο δείκτης αυτός επικινδυνότητας πυρκαγιών εκφράζεται από την σχέση:

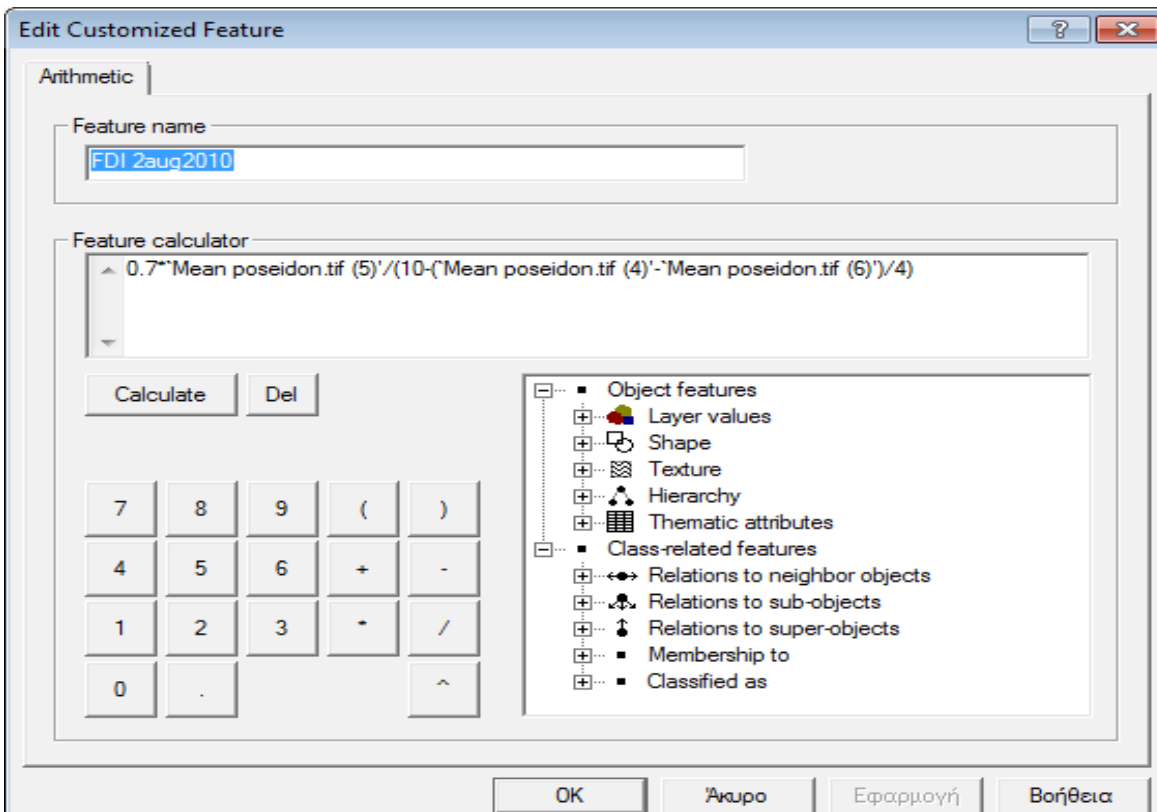
$$FDI = \frac{U_f}{10 - \frac{(T - H)}{4}}$$

Όπου τα T και H αναφέρονται στις τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας και το  $U_f$  στην ταχύτητα ανέμου στο μέτωπο πυρκαγιάς. Η τελευταία προκύπτει από την ταχύτητα του μετεωρολογικού ανέμου  $U_{10}$  πολλαπλασιασμένη με κάποιο παράγοντα μείωσης ταχύτητας λόγω βλάστησης,  $\gamma$ .

Σε πρότυπα eCognition τώρα το “feature calculator” του συγκεκριμένου “customized feature” είναι το εξής :

$$FDI=0.7*\text{Mean poseidon.tif}(5)/(10-(\text{Mean poseidon.tif}(4)-\text{Mean poseidon.tif}(6))/4)$$

Όπου οι παράγοντες 'Mean poseidon.tif(5)', 'Mean poseidon.tif(4)' και 'Mean poseidon.tif(6)' αναφέρονται ουσιαστικά στις μέσες τιμές των καναλιών της ταχύτητας ανέμου, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας αντίστοιχα. Επειδή ο δείκτης αναφέρεται ουσιαστικά σε πρόγνωση δασικών πυρκαγιών αντικαταστήσαμε τον παράγοντα μείωσης ταχύτητας  $\gamma$  με 0.7 όπως ισχύει στα δάση.

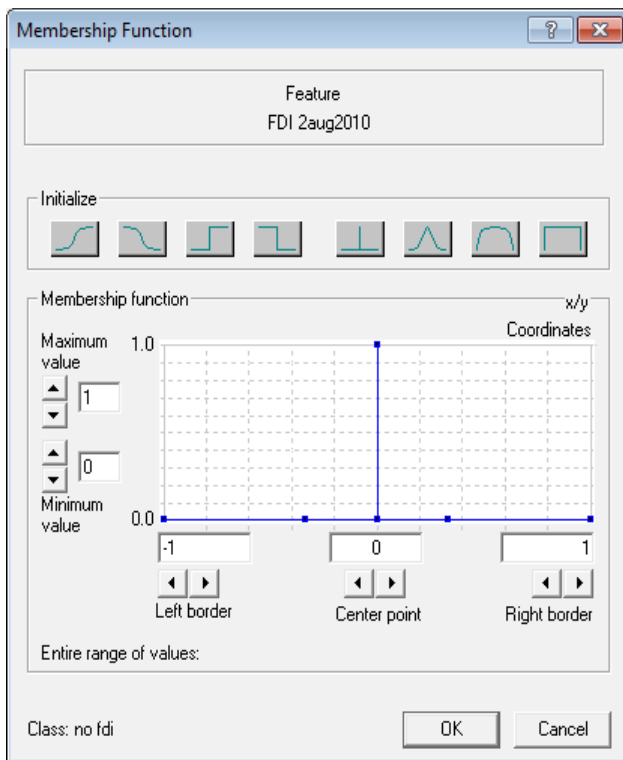


Εικόνα 80: Δείκτης FDI -"Customized feature"

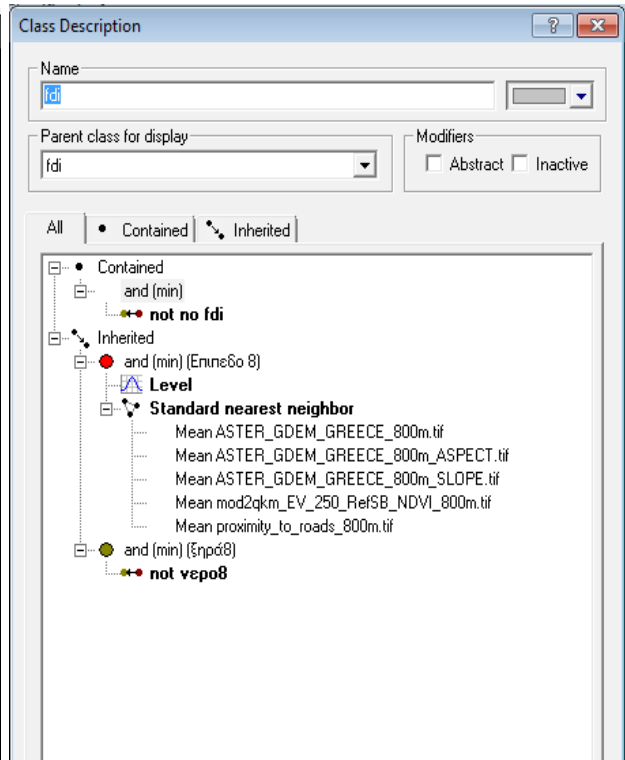
Αφού έγινε λοιπόν η παρουσίαση του υπολογισμού του δείκτη, σειρά είχε η ταξινόμηση της περιοχής μελέτης βάσει αυτού του δείκτη. Καταρχάς οι δύο βασικές κατηγορίες που δημιουργήθηκαν είναι οι "νερό" και "ξηρά", όπου η πρώτη ορίζεται με συνάρτηση συμμετοχής στο θεματικό επίπεδο για τιμή 523, εφόσον η 5.2.3 χρήση γης του Corine είναι η “Θάλασσες και Ωκεανοί”, ενώ η δεύτερη ορίζεται ως συμπληρωματική της πρώτης.

Στο δεύτερο βήμα της ταξινόμησης του έβδομου αυτού επιπέδου και αφού ορίσαμε τις δύο βασικές κατηγορίες, δημιουργούμε στην κατηγορία "ξηρά" δύο υποκατηγορίες με ονόματα "fdi" και "no fdi". Η "no fdi" εκτός του ότι κληρονομεί τα χαρακτηριστικά της βασικής κατηγορίας "ξηρά" ορίζεται με αυστηρή συνάρτηση συμμετοχής για μηδενικές τιμές δείκτη fdi. Στην ουσία ταξινομούμε σε αυτή περιοχή για τις οποίες δεν είχαμε από το Ποσειδών καιρικές προβλέψεις και ο δείκτης πήρε μηδενικές τιμές. Η "fdi" ορίζεται συμπληρωματικά στην "no fdi".





Εικόνα 82: "no fdi"-Συνάτηση συμμετοχής

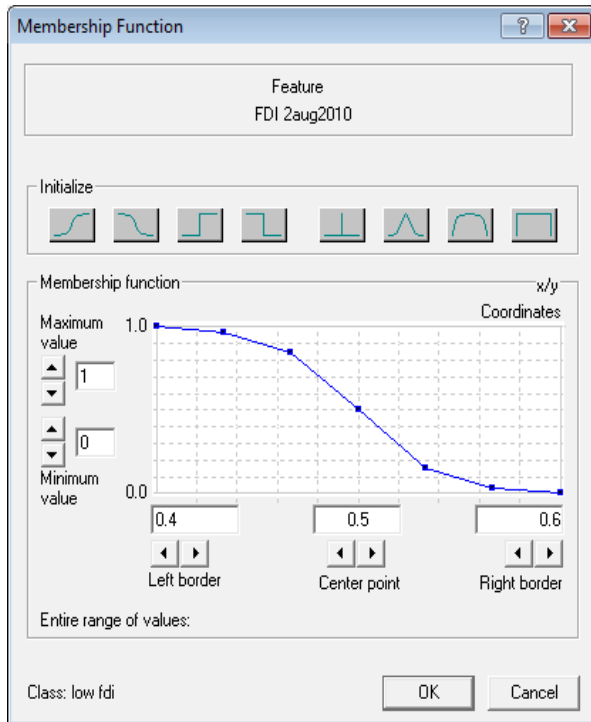


Εικόνα 81: "fdi"-Συνάρτηση συμμετοχής

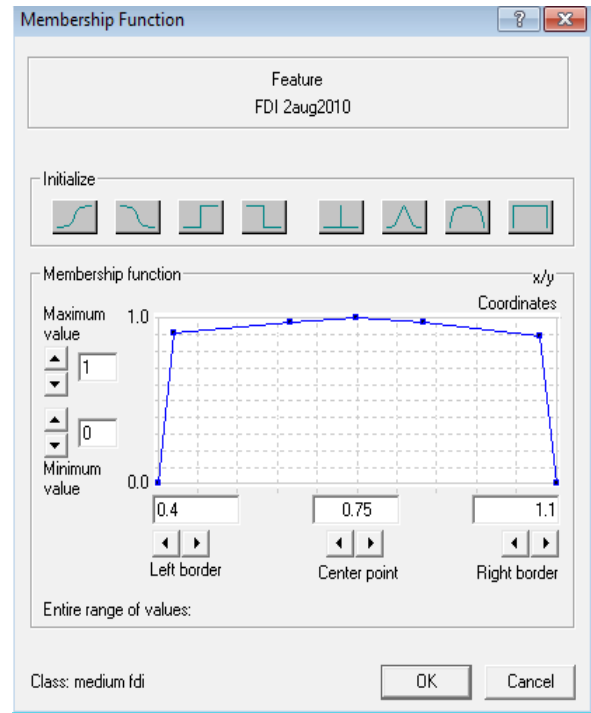
Στην συνέχεια αφού ορίστηκαν και οι κατηγορίες "fdi" και "no fdi" γίνεται ένα επιπλέον στάδιο κατηγοριοποίησης μέσα στην κατηγορία "fdi" και με βάση τις τιμές του δείκτη fdi που ορίσαμε σε πρώτο στάδιο με το κατάλληλο "customized feature". Από τις τιμές αυτές του δείκτη προέκυψαν οι κατηγορίες :

- "low fdi", ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής μορφής Z, με διάστημα τιμών από 0.4 έως 0.6 (στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται οι περιοχές με τιμές δείκτη κάτω από 0.5, οι οποίες σύμφωνα με το μοντέλο παρουσιάζουν χαμηλό κίνδυνο).
- "medium fdi", ορίζεται με την βοήθεια συνάρτησης συμμετοχής μορφής Π, με διάστημα τιμών από 0.4 έως 0.11 (στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται οι περιοχές με τιμές δείκτη μεταξύ 0.5 και 0.1, οι οποίες σύμφωνα με το μοντέλο παρουσιάζουν μέσο κίνδυνο).
- "high fdi", ορίζεται με την βοήθεια ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής μορφής S, με διάστημα τιμών από 0.9 έως 1.1 (στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται οι περιοχές με τιμές δείκτη πάνω από 1, οι οποίες σύμφωνα με το μοντέλο παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο).

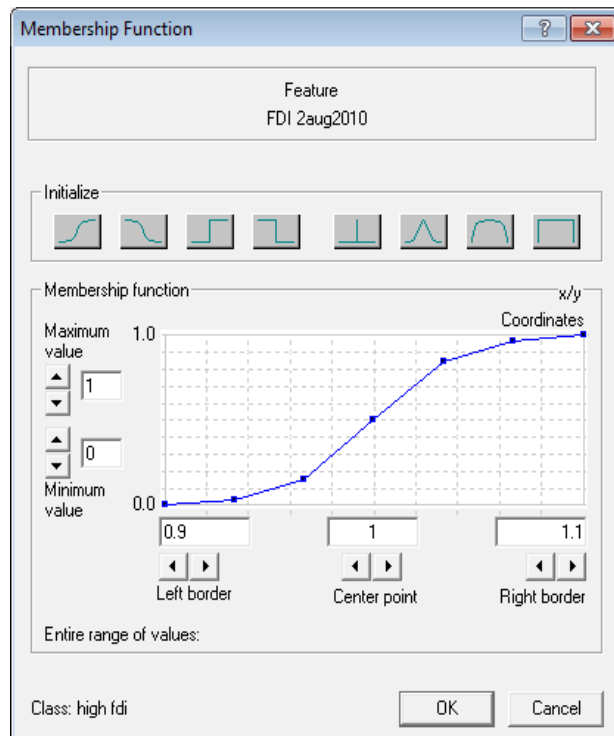
Αποτέλεσμα της τελικής αυτής ταξινόμησης στο έβδομο επίπεδο κατάτμησης είναι ένας θεματικός χάρτης κινδύνου πυρκαγιάς βάσει του FDI σε τρεις κατηγορίες κινδύνου. Οι περιοχές του χάρτη που εμφανίζονται με μαύρο χρώμα είναι στην ουσία περιοχές που δεν έγινε ο υπολογισμός του δείκτη καθώς δεν είχαμε καιρικές προβλέψεις.



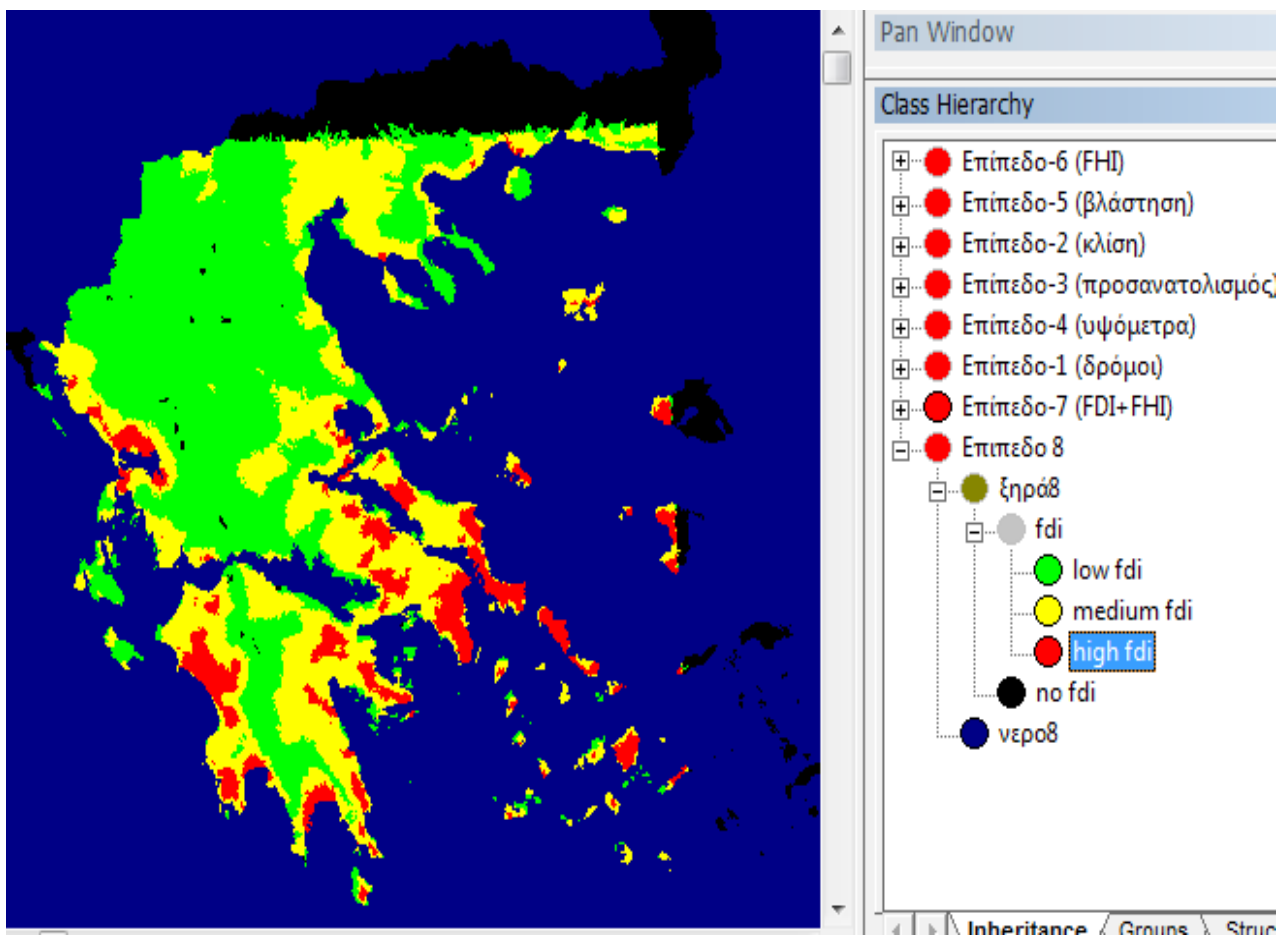
Εικόνα 83: "low fdi"-Συνάρτηση συμμετοχής



Εικόνα 84: "medium fdi"-Συνάρτηση συμμετοχής



Εικόνα 85: "high fdi"-Συνάρτηση συμμετοχής



Εικόνα 86: Χάρτης πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς βάσει του FDI για τις 2/08/2010

#### 4.4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

##### 4.4.3.1 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ FHI-FDI

Η υλοποίηση της εφαρμογής του μοντέλου και ο τελικός χάρτης κινδύνου πυρκαγιάς, που είναι και το ζητούμενο στην εργασία αυτή, προέρχεται από τον συνδυασμό των δύο αυτών ξεχωριστών δεικτών. Ο συνδυασμός αυτός προσφέρει ουσιαστικά ένα ολοκληρωμένο χάρτη κινδύνου ο οποίος λαμβάνει υπόψιν του και μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες μεταβλητές, εκεί μάλιστα έγκειται και η υπεροχή του έναντι σε άλλα μοντέλα που έχουν διατυπωθεί.

Η βασικότερη διαφορά των δύο αυτών δεικτών είναι ο χαρακτήρας των δεδομένων τους και η περίοδος με την οποία αυτά αλλάζουν, αυτό αποτυπώνεται ουσιαστικά και στην περίοδο που έχουμε αξιοσημείωτες αλλαγές στους χάρτες των δυο αυτών δεικτών. Έτσι ενώ ο χάρτης τιμών του δείκτη FDI αλλάζει συνεχώς σημαντικά ακόμα και μέσα στην διάρκεια μιας μέρας, όπως άλλωστε και οι καιρικές μεταβλητές που συμμετέχουν σε αυτόν. Ο χάρτης τιμών του FHI δεν παρουσιάζει σημαντικές αλλαγές ακόμα και στην διάρκεια ενός έτους καθώς οι μεταβλητές του παραμένουν απαράλλακτες για μεγάλα διαστήματα, η μόνη σχετικά ευμετάβλητη παράμετρος είναι η πυκνότητα βλάστησης.

Στο συγκεκριμένο σημείο πρέπει να αναφέρουμε κάτι πολύ σημαντικό, ότι ο υπολογισμός του δείκτη επικινδυνότητας FHI με βάση τον τρόπο που αυτός ορίστηκε παρουσιάζει σωστά αποτελέσματα μόνο βάσει της πυκνότητας βλάστησης του Μαΐου. Αυτό συμβαίνει γιατί την εποχή εκείνη ο NDVI (που δίνει την πυκνότητα βλάστησης) παίρνει τις μέγιστες τιμές του καθώς είναι άνοιξη και η βλάστηση είναι ανθισμένη και η ικανότητα του NDVI είναι να εντοπίζει αυτή ακριβώς την ζωντανή πράσινη βλάστηση. Με τον ερχομό του καλοκαιριού και την περίοδο ξήρανση, οι τιμές του πέφτουν με αποτέλεσμα να θεωρεί το μοντέλο πως η πυκνότητα βλάστησης μειώνεται κάτι που δεν ισχύει καθώς βλάστηση υπάρχει και μάλιστα είναι νεκρή, που την καθιστά πιο επιρρεπή στην καύση. Επομένως είναι λανθασμένο να χρησιμοποιούμε τον NDVI από δορυφορική εικόνα καλοκαιριού με αποτέλεσμα για τον υπολογισμό να χρησιμοποιούμε, για όλη την διάρκεια του χρόνου, τις μέγιστες τιμές του Μαΐου.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω και για να μπορεί το μοντέλο να προσφέρει σαν αποτέλεσμα έναν χάρτη ο οποίος θα ανανεώνεται καθημερινά και θα παρέχει έγκυρη πρόβλεψη. Ο τελικός χάρτης θα προέρχεται από συνδυασμό ενός δείκτη FHI, ο οποίος θα υπολογίζεται και θα ανανεώνεται μια φορά τον χρόνο και βάσει της μέγιστης πυκνότητας βλάστησης του Μαΐου και ενός δείκτη FDI ο οποίος θα μπορεί να υπολογίζεται και να ανανεώνεται ανά 3 ώρες και για 5 μέρες μετά την στιγμή που γίνεται ο πρώτος υπολογισμός.

#### **4.4.3.2 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ ΟΓΔΟΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ**

Η υλοποίηση ουσιαστικά του μοντέλου επικινδυνότητας θα γίνει με τον συνδυασμό των δύο δεικτών στο Project του eCognition που κατασκευάστηκαν οι δύο αυτοί δείκτες. Ο τελικός χάρτης που θα κατασκευαστεί θα αναφέρεται στην ολοκληρωμένη πρόγνωση κινδύνου πυρκαγιάς για τις 2 Αυγούστου του 2010 με βάση τις προβλέψεις των καιρικών μεταβλητών από την προηγούμενη μέρα και την μέγιστη πυκνότητα βλάστησης του Μαΐου του 2010.

Αρχικά δημιουργούμε ένα ακόμα επίπεδο κατάτμησης, το όγδοο κατά σειρά, χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραμέτρους κατάτμησης με τα άλλα 7 επίπεδα.

Σε πρώτη φάση ορίζουμε στο όγδοο αυτό επίπεδο της ταξινόμησης τις δύο βασικές κατηγορίες "νερό" και "ξηρά", ο ορισμός τους είναι όμοιος με αυτό των αντίστοιχων κατηγοριών στα άλλα επίπεδα. Στην συνέχεια αφού ορίστηκαν και οι κατηγορίες "νερό" και "ξηρά" γίνεται ένα επιπλέον στάδιο κατηγοριοποίησης μέσα στην κατηγορία "ξηρά" με βάση τους συνδυασμούς των κατηγοριών "low FHI", "medium FHI", "high FHI", "low fdi", "medium fdi" και "high fdi" των επιπέδων 6 και 7. Έτσι προέκυψαν οι κατηγορίες :

- "FDI+FHI low", ορίζεται για τους συνδυασμούς "low fdi" και "medium FHI" ή "low fdi" και "low FHI" ή "medium fdi" και "low FHI". Οι συνδυασμοί ορίζονται με μεταβλητές "Existence of sub-object" που συνδέονται με ασαφή τελεστή "and", ενώ μεταξύ τους συνδέονται με ασαφή τελεστή "or" (για τους συνδυασμούς αυτούς των κατηγοριών επικινδυνότητας των δεικτών το μοντέλο δίνει πρόβλεψη χαμηλής επικινδυνότητας).
- "FDI+FHI medium", ορίζεται για τους συνδυασμούς "medium fdi" και "medium FHI" ή "high fdi" και "low FHI" ή "medium fdi" και "high FHI" ή "low fdi" και "high FHI". Οι συνδυασμοί ορίζονται με μεταβλητές "Existence of sub-object" που συνδέονται με ασαφή τελεστή "and", ενώ μεταξύ τους συνδέονται με ασαφή τελεστή "or" (για τους συνδυασμούς αυτούς των κατηγοριών επικινδυνότητας των δεικτών το μοντέλο δίνει πρόβλεψη μέσης επικινδυνότητας).

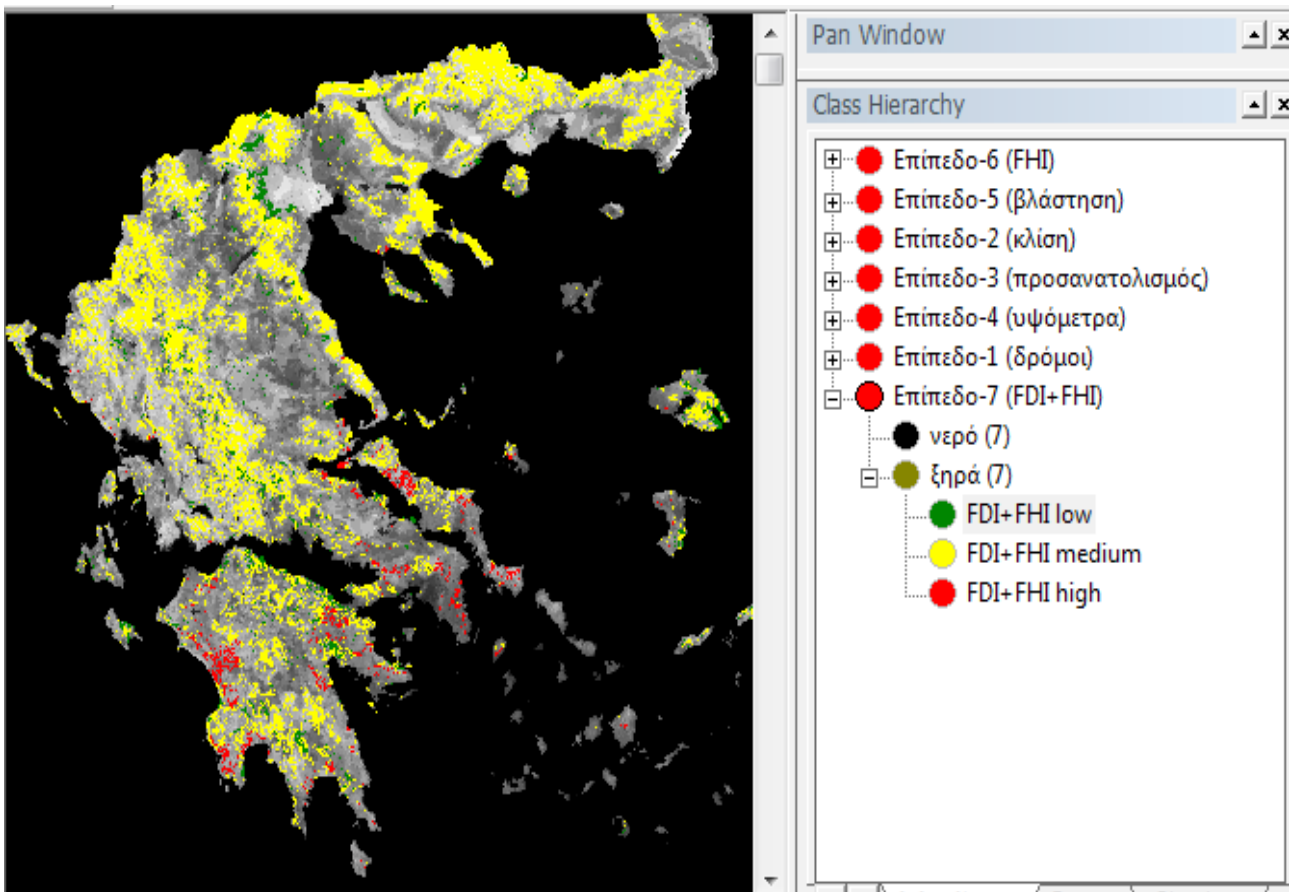
- "FDI+FHI high", ορίζεται ως συμπληρωματική στις άλλες δύο και περιλαμβάνει ουσιαστικά όλους τους υπόλοιπους πιθανούς συνδυασμούς (για τους συνδυασμούς αυτούς των κατηγοριών επικινδυνότητας των δεικτών το μοντέλο δίνει πρόβλεψη υψηλής επικινδυνότητας).

Στον πίνακα 12 φαίνεται πως συνδυάζονται οι κατηγορίες επικινδυνότητας των δεικτών FHI και FDI για την παραγωγή των κατηγοριών κινδύνου του τελικού μοντέλου.

	"Low FHI"	"Medium FHI"	"High FHI"
"Low FDI"	Low	Low	Medium
"Medium FDI"	Low	Medium	Medium
"High FDI"	Medium	High	High

Πίνακας 12: Συνδυασμοί κατηγοριών επικινδυνότητας των δεικτών FHI και FDI

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο όγδοο αυτό επίπεδο είναι ο τελικός χάρτης πρόβλεψης επικινδυνότητας πυρκαγιών του μοντέλου από συνδυασμό των επί μέρους δεικτών επικινδυνότητας.



Εικόνα 87: Χάρτης πρόβλεψης επικινδυνότητας του τελικού μοντέλου για τις 2/08/2010



## 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής αυτής που έγινε ήταν ο ολοκληρωμένος χάρτης πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς με βάση τους δύο αυτούς δείκτες, μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων μεταβλητών.

Στο κεφάλαιο αυτό επομένως των αποτελεσμάτων θα παρουσιάσουμε και θα αξιολογήσουμε τόσο τους χάρτες επικινδυνότητας των δύο δεικτών όσο και τον τελικό χάρτη.

### 5.1 ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ FHI

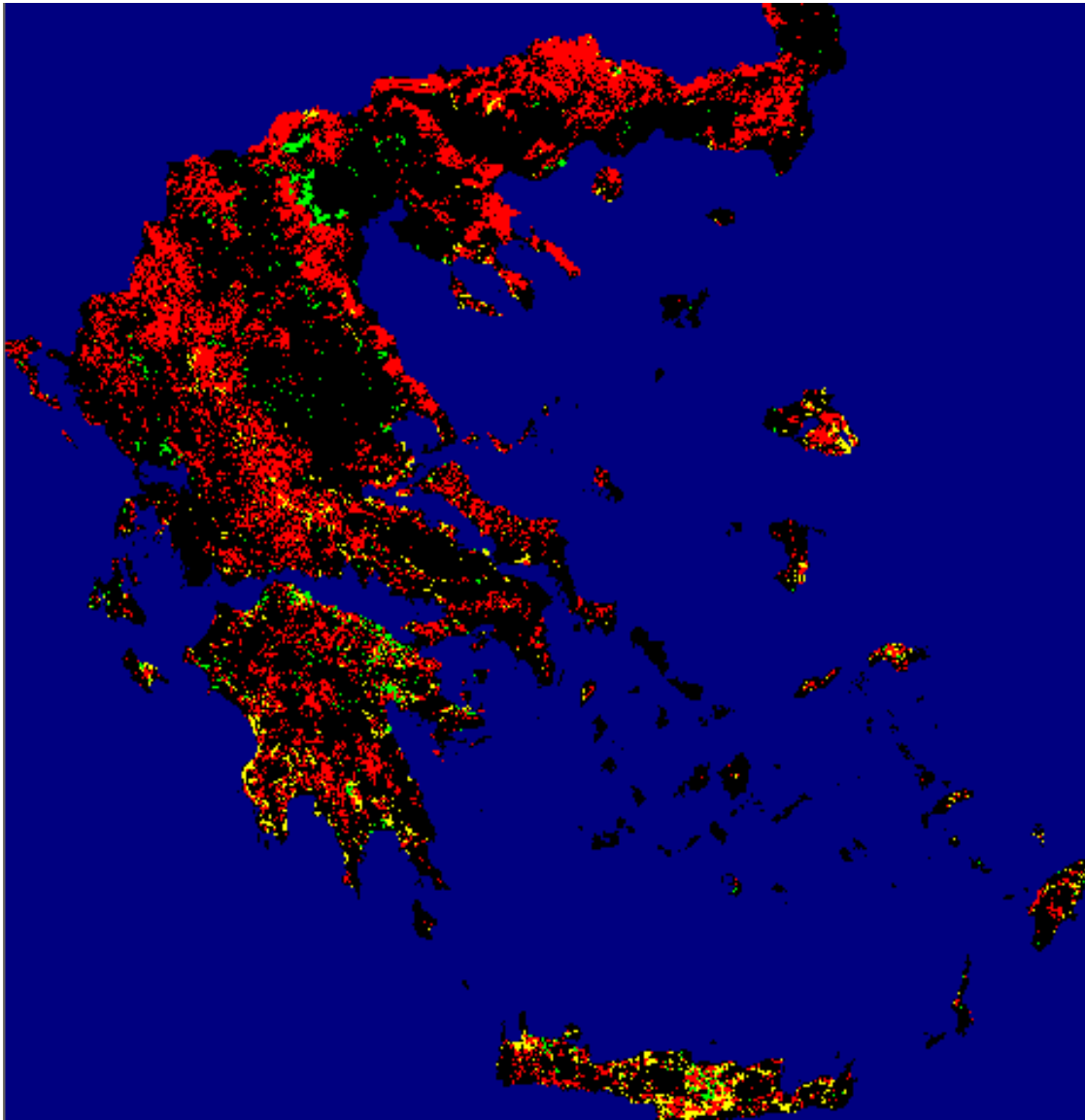
#### 5.1.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΤΗ

Ο χάρτης επικινδυνότητας με βάση τον δείκτη FHI, μας δίνει μια ταξινόμηση της Ελληνικής επικράτειας σε τρία επίπεδα κινδύνου χαμηλό, μέσο και υψηλό. Οι τρεις αυτές κατηγορίες ουσιαστικά εκφράζουν πως θα αντιδράσουν οι περιοχές που έχουν ταξινομηθεί σε αυτές μετά την εκδήλωση φωτιάς, αν δηλαδή αντιδρούν θετικά ή αρνητικά στην καύση. Ο όρος που χρησιμοποιείται από τους επιστήμονες για να εκφράσει αυτό ακριβώς το κίνδυνο είναι “fire hazard”.






Επειδή οι μεταβλητές οι οποίες συμμετέχουν στον FHI είναι μακροπρόθεσμες μεταβλητές, αλλάζουν δηλαδή με αργούς ρυθμούς μέσα στο χρόνο, ο χάρτης ο οποίος παράγεται από τον δείκτη αυτό μας δίνει πρακτικά μια γενικότερη εικόνα για το πώς αντιδρά η κάθε περιοχή στην καύση.

Στον χάρτη αυτό με μαύρο χρώμα ταξινομούνται οι περιοχές οι οποίες θεωρητικά δεν παρουσιάζουν κίνδυνο για καύση. Αυτές ορίστηκαν από τις χρήσεις γης του Corine 2000 οι οποίες και δεν συμμετέχουν στο δείκτη επικινδυνότητας καθώς δεν αναφέρονται στο σύστημα κατάταξης, του τύπου των καυσίμων υλών, Prometheus project (1999) που χρησιμοποιούμε. Βέβαια αυτό δεν σημαίνει πως δεν υπάρχει περίπτωση εκδήλωσης φωτιάς σε αυτές, υπάρχουν συμβάντα πυρκαγιών ακόμα και σε αστικές περιοχές, απλά οι ίδιες δεν ευνοούν την επέκταση της φωτιάς.

Τα άλλα τρία χρώματα που απαντώνται στον χάρτη πράσινο, κίτρινο και κόκκινο υποδηλώνουν περιοχές με χαμηλή, μέση και υψηλή ικανότητα για καύση αντίστοιχα. Σε περίπτωση που για παράδειγμα έχουμε εκδήλωση φωτιάς σε μια περιοχή στην οποία οι γύρω περιοχές (πολύγωνα) είναι ταξινομημένες στο κόκκινο (υψηλός κίνδυνος) και αν το επιτρέψουν οι καιρικές συνθήκες (δεν έχουμε βροχόπτωση ή υψηλή υγρασία), η φωτιά θα εξαπλωθεί γρήγορα σε όλες τις γειτονικές περιοχές. Αντίθετα αν εκδηλωθεί ανάμεσα σε περιοχές με χαμηλό κίνδυνο (πράσινο χρώμα) κάτι αντίστοιχο δεν θα συμβεί τουλάχιστον πολύ γρήγορα, εκτός βέβαια και αν έχουμε καιρικές συνθήκες (δυνατοί άνεμοι, υψηλές θερμοκρασίες) που ευνοούν πολύ την καύση.



Εικόνα 88: Τελικός χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιών του Ελλαδικού χώρου με βάση τον δείκτη FHI για το 2010

	Θάλασσα και περιοχές εκτός Ελληνικού Corine
	Κατηγορίες Corine που δεν συμμετέχουν στο δείκτη
	Χαμηλός κίνδυνος
	Μέσος κίνδυνος
	Υψηλός κίνδυνος

Πίνακας 13: Υπόμνημα χάρτη επικινδυνότητας -FHI



Η πρώτη και πιο εμφανής παρατήρηση που μπορούμε να κάνουμε, αντικρίζοντας τον χάρτη που προέκυψε, είναι ότι το σύνολο των περιοχών που ανήκουν στην τρίτη – υψηλή κατηγορία κινδύνου με βάση τον δείκτη FHI, είναι σημαντικά μεγαλύτερο από τα σύνολα των άλλων δυο κατηγοριών. Η εικόνα αυτή του χάρτη δικαιολογείται εν μέρη από την ίδια την φύση της χώρας μας καθώς όπως αναφέραμε παραπάνω η Ελλάδα, όπως και οι άλλες χώρες κυρίως της Βόρειας Μεσογείου, παρουσίαζαν ανέκαθεν έντονη τάση σε πυρκαγιές και μεγάλο αριθμό τέτοιων περιστατικών. Αυτό ακριβώς είναι που αποδεικνύει ο συγκεκριμένος χάρτης. Το έντονο ανάγλυφο (τοπογραφία) αλλά και τα είδη βλάστησης, με την ιδιαίτερη ικανότητα σε καύση, που απαντώνται στην Ελλάδα και είναι οι κύριες μεταβλητές του δείκτη FHI, ταξινομούν ένα μεγάλο πλήθος της επιφάνειας της σε περιοχές που εμφανίζουν μια μακροχρόνια υψηλή τάση για καύση.

Παράλληλα, με μια δεύτερη ματιά στον χάρτη, και με βάση την εμπειρία και την γνώση της περιοχής μελέτης παρατηρούμε ορισμένα σφάλματα. Όπως ότι υπάρχουν πολλές περιοχές που έχουν ταξινομηθεί έως υψηλού κινδύνου παρότι δεν έχει ιστορικά παρουσιαστεί κάποιο έντονο περιστατικό φωτιάς και άλλες που έχουν ταξινομηθεί ως χαμηλού κινδύνου και στις οποίες γνωρίζουμε πως έχουν ξεσπάσει μεγάλες πυρκαγιές με καταστροφικά αποτελέσματα. Τέτοιες ασυμφωνίες οφείλονται σε αίτια και παράγοντες που δεν μπορούν να προβλεφθούν από τον συγκεκριμένο δείκτη.

Για παράδειγμα, η περιοχή της Μαγνησίας και ειδικότερα το όρος του Πηλίου έχει ταξινομηθεί ως περιοχή υψηλού κινδύνου παρόλα αυτά λόγω του τοπικού κλίματος στην περιοχή (υψηλή υγρασία) δεν έχουμε ιστορικό σοβαρών πυρκαγιών. Στο παραπάνω παράδειγμα οι αίτιες, που επηρεάζουν την μη επέκταση πυρκαγιάς, δεν μπορούν να προβλεφθούν από τον δείκτη FHI.

Τέλος, η γενική εικόνα που επικρατεί, παρά τα μεμονωμένα σφάλματα, είναι πως έχει ταξινομηθεί αδικαιολόγητα μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης στην τρίτη κατηγορία της υψηλής επικινδυνότητας και ακόμα και η φύση της χώρας που αναφέραμε παραπάνω δεν δικαιολογεί τέτοιο ποσοστό. Το σφάλμα αυτό ίσως να έγκειται και στον ίδιο τον ορισμό του μοντέλου και ειδικότερα στην βαθμονόμηση των παραμέτρων του. Η βαθμονόμηση προήλθε αυτούσια από αντίστοιχη εφαρμογή στη Ισπανία και πιθανόν εμπλέκονται σφάλματα σε αυτό. Θεωρήσαμε για παράδειγμα ότι κλίση πάνω από 40% συνδέεται με υψηλή επικινδυνότητα μπορεί όμως η τιμή αυτή να μην ήταν η κατάλληλη για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Ένα ακόμα γεγονός που ενδέχεται να επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα, λόγω του βάρους της πυκνότητας ειδών βλάστησης στο δείκτη, είναι ο διαχωρισμός των περιοχών σε χαμηλής, μέσης και υψηλής πυκνότητας βλάστησης μέσω του NDVI. Όπως είχαμε αναφέρει ο διαχωρισμός είχε γίνει αυθαίρετα με βάση την γνώση μας και την εμπειρία μας από κάποιες συγκεκριμένες περιοχές, αυτός λοιπόν ο αυθαίρετος ορισμός κρύβει πιθανό σφάλμα.

### **5.1.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ**

Στο στάδιο αυτό της αξιολόγησης του χάρτη επικινδυνότητας του δείκτη FHI χρήσιμο φάνηκε να συγκρίνουμε χάρτες επικινδυνότητας προηγούμενων ετών με συμβάντα πυρκαγιών αντίστοιχων ημερομηνιών και να ελέγξουμε κατά πόσον οι καμένες περιοχές είχαν ταξινομηθεί ως υψηλής επικινδυνότητας από τον δείκτη.

Στην κατεύθυνση αυτή, αρχικά κατασκευάσαμε χάρτες επικινδυνότητας για προηγούμενα έτη (έναν για κάθε χρόνο) στηριζόμενοι στην μέγιστη πυκνότητα βλάστησης από τηλεπισκοπικά δεδομένα Μαΐου. Στο σημείο αυτό μάλιστα παρατηρήθηκε και το πλεονέκτημα της εφαρμογής του δείκτη στο περιβάλλον εργασίας του e Cognition, καθώς πολύ απλά εισάγοντας σαν νέα εικονικά επίπεδα τους κανονικοποιημένους δείκτες βλάστησης των προηγούμενων Μαΐων και ξανά κάνοντας

κατατιμήσεις επιπέδων με τα νέα αυτά κανάλια, πήραμε μέσα σε λίγα λεπτά τις νέες ταξινομήσεις του δείκτη για τα αντίστοιχα έτη. Οι υπόλοιπες μεταβλητές όπως η τοπογραφία, τα είδη βλάστησης και η εγγύτητα σε δρόμους θεωρούμε πως παραμένουν अपαράλλακτες σε ορίζοντα μερικών ετών.

Στην συνέχεια σειρά είχε η ενημέρωση προς τα περιστατικά των πυρκαγιών που ξέσπασαν στην Ελλάδα κατά τα προηγούμενα χρόνια, για τον σκοπό αυτό από την ιστοσελίδα της Πυροσβεστικής υπηρεσίας (<http://www.fireservice.gr/pyr/site/home.csp>) κατεβάσαμε αρχείο με το ιστορικό των περιστατικών αγροτοδασικών πυρκαγιών της Ελλάδος για τα έτη από το 2000 και μετά. Το αρχείο αυτό περιλαμβάνει πλήρες ιστορικό με όλα τα συμβάντα πυρκαγιών, η περιγραφή του συμβάντος περιέχει ακριβή αναφορά σε θέση, ημερομηνία και ώρα εκδήλωσης και καμμένη έκταση σε στρέμματα για όλες τις κατηγορίες εκτάσεων που κάηκαν.

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι η ερμηνεία του δείκτη δεν συνδέεται τόσο με τον αριθμό των περιστατικών πυρκαγιών σε μία περιοχή, καθώς ο δείκτης δεν φανερώνει την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιών, αλλά συνδέεται με το μέγεθος της καμένης έκτασης καθώς φανερώνει τον τρόπο που θα αντιδράσει η περιοχή στην καύση.

Ο τρόπος λοιπόν να αξιολογήσουμε τον δείκτη αυτό επικινδυνότητας είναι εντοπίζοντας τα κύρια περιστατικά πυρκαγιών για τα διάφορα έτη πάνω στον χάρτη και να εξετάσουμε τη σύμπτωση ή μη με τις περιοχές που έχουν ταξινομηθεί ως υψηλής επικινδυνότητας από τον δείκτη. Αυτή η αξιολόγηση έγινε σε ένα φάσμα μερικών ετών για να είναι πιο ολοκληρωμένη.

### **5.1.2.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ ΤΟΥ 2007**

Το έτος 2007 ήταν ένα από καταστροφικότερα, όσο αναφορά τις συνέπειες του φυσικού αυτού φαινομένου, για την Ελλάδα. Κατά την θερινή περίοδο και ειδικότερα τον μήνα Αύγουστο, χιλιάδες στρέμματα δασικών και όχι μόνο εκτάσεων παραδόθηκαν στις φλόγες από ένα μεγάλο αριθμό πυρκαγιών που ξέσπασαν μέσα σε λίγα εικοσιτετράωρα ανά την Ελλάδα. Ειδικότερα στην Πελοπόννησο σε ορισμένες περιοχές όπως στους νομούς Πύργου και Ηλείας οι φλόγες έφθασαν σε κατοικημένες περιοχές με αποτέλεσμα να καταστραφούν ολόκληροι οικισμοί αλλά και το τραγικότερο να θρηνούμε ανθρώπινες ζωές. Η κατάσταση μάλιστα ξέφυγε πέρα από κάθε έλεγχο με τους αρμόδιους φορείς να μην μπορούν να αντιδράσουν και πυροσβεστικά σώματα άλλων χωρών να καταφθάνουν για υποστήριξη.

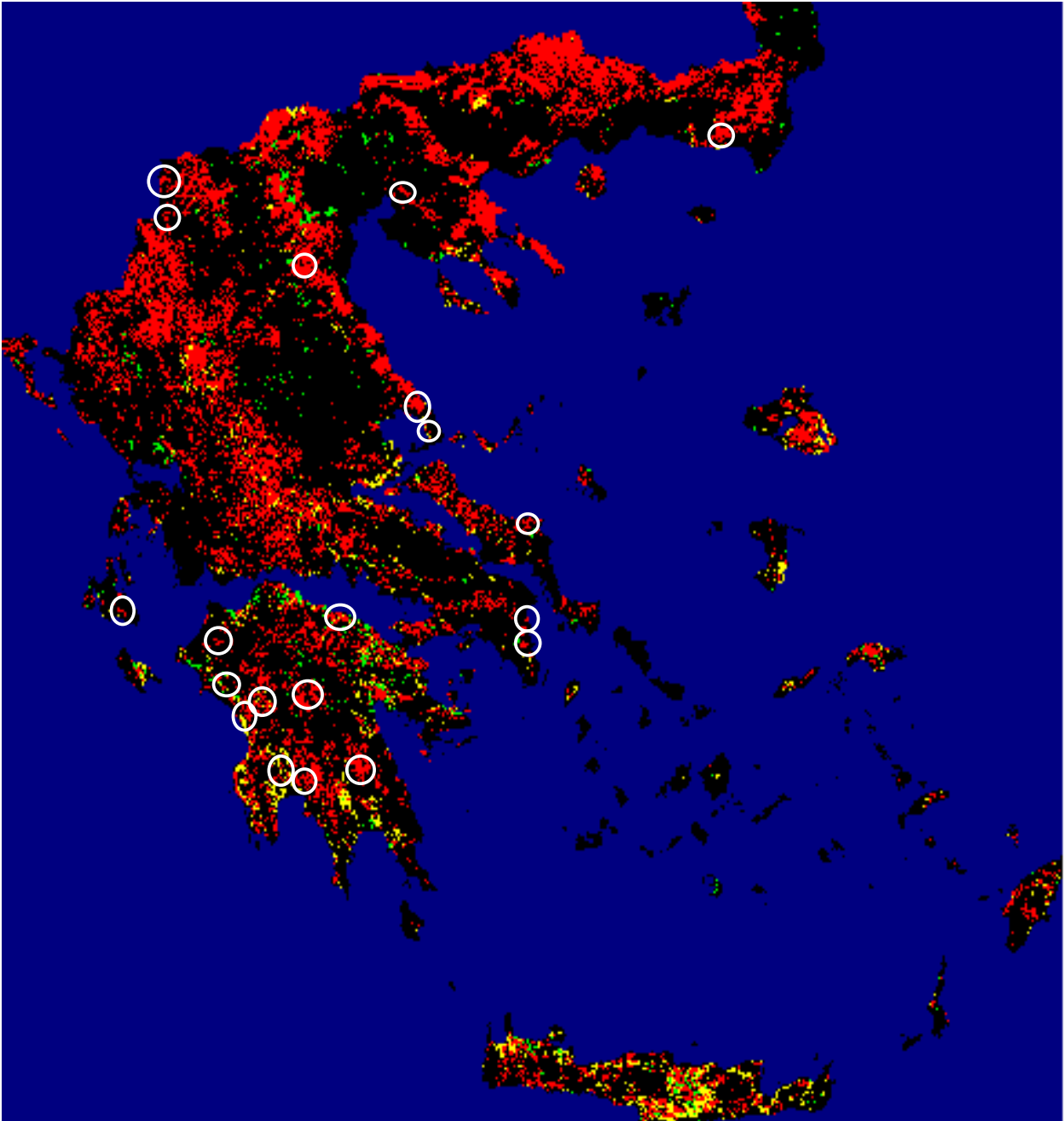
Στην συγκεκριμένη αξιολόγηση του δείκτη προσπαθήσαμε να ελέγξουμε την σύμπτωση των μεγάλων αυτών καμένων εκτάσεων με την κατηγορία υψηλής επικινδυνότητας του δείκτη.

Αρχικά κατασκευάσαμε τον χάρτη επικινδυνότητας βάσει του δείκτη αυτού FHI στηριζόμενοι στην μέγιστη πυκνότητας βλάστησης του Μαΐου του 2007. Ειδικότερα με χρήση τηλεπισκοπικής απεικόνισης Modis του δορυφόρου Terra για τις 15/05/07 κατασκευάσαμε τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI για το 2007 στο περιβάλλον του Er Mapper όπως έγινε και στο κεφάλαιο της εφαρμογής για το 2010. Στην συνέχεια εισάγαμε την απεικόνιση του δείκτη ως νέο επίπεδο στο project του eCognition που είχαμε δημιουργήσει στην εφαρμογή και αφού επαναλάβαμε τις κατατιμήσεις των επιπέδων και υπολογίσαμε την πυκνότητα της βλάστησης βάσει του νέου αυτού καναλιού, ταξινομήσαμε την Ελλάδα βάσει του δείκτη επικινδυνότητας σε τελικό επίπεδο.

Αφού λοιπόν κατασκευάσαμε τον χάρτη επικινδυνότητας σειρά είχε ο εντοπισμός των κυριότερων πυρκαγιών και ειδικότερα των καμένων εκτάσεων τους πάνω στον χάρτη. Από το αρχείο της Πυροσβεστικής με το ιστορικό των συμβάντων πυρκαγιών για το 2007 και την πλήρη περιγραφή τους, εντοπίσαμε αυτές με τις περισσότερες καμένες εκτάσεις.

Περιοχή	Ημερομηνία	Καμένη έκταση(στρέμματα)
Αγ. Παντελεήμονας Αττικής	16/08/07	6300
Μαρκόπουλο Αττικής	25/08/07	10000
Συκορράχη Αλεξανδρούπολης	29/07/07	9000
Λαγκαδάς Θεσσαλονίκης	25/07/07	12000
Σέρβια Κοζάνης	24/07/07	13500
Κρυσταλλοπηγή Φλώρινας	25/07/07	13000
Νεστόριο Καστοριάς	05/08/07	16000
Δέλτα Αργαλαστής Βόλου	27/06/07	20000
Καλαμάκιον Βόλου	27/06/07	12000
Καμάρι Κουνινών Αιγίου Αχαΐας	24/07/07	150000
Κλεινδία Πύργου	25/08/07	300000
Ανδρίτσена Κρεστένων Ηλείας	24/08/07	220000
Παλαιοχώρι Ζαχάρω Ηλείας	24/08/07	400000
Αγραπιδοχώρι Ηλείας	24/08/07	120000
Βαλτέτσι Αρκαδίας	14/09/07	100000
Μελιγαλάς Μεσσηνίας	25/08/07	50000
Λαδά Καλαμάτας	23/08/07	110000
Καλλιθέα Λακωνίας	23/08/07	220000
Κόνιστρα Αλιβερίου Εύβοιας	25/08/07	175000
Ξενόπουλο-Σκάλα Κεφαλονιάς	24/07/07	25000

Πίνακας 14: Οι σημαντικότερες πυρκαγιές του 2007



Εικόνα 89: Χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιών της Ελλάδος βάσει του FHI για το 2007

Στον χάρτη επικινδυνότητας αυτό του 2007 με βάση τον δείκτη FHI, έχουμε σημειώσει τις σημαντικότερες πυρκαγιές με κυκλικά σχήματα. Με μια πρώτη ματιά το μεγαλύτερο μέρος των καμένων εκτάσεων έχει ταξινομηθεί στην κατηγορία της υψηλής επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα για τα 9 από τα 12 πολύ σημαντικά περιστατικά (με καμένες εκτάσεις πάνω από 25000 στρέμματα) οι πυρκαγιές έχουν εκτυλιχθεί σχεδόν αποκλειστικά σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας δηλαδή έχουμε μια ακρίβεια της τάξης του 75%.

Παρόλα αυτά υπάρχουν περιστατικά όπως αυτός της Αρχαίας Ολυμπίας όπου μέρος των καμένων εκτάσεων έχει ταξινομηθεί και στις άλλες δύο κατηγορίες επικινδυνότητας. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι σημαντικοί παράγοντες, όπως οι καιρικές συνθήκες που επιδρούν στην

εκδήλωση αλλά και την διάδοση της πυρκαγιάς και μπορούν να ευνοήσουν πυρκαγιά ακόμα και σε περιοχή που δεν παρουσιάζει σημαντική ικανότητα στην καύση, δεν συμμετέχουν στον εν' λόγω δείκτη. Ενώ μικρότερες φωτιές που βρίσκονται εντός μεγάλων εκτάσεων υψηλής επικινδυνότητας δεν οφείλονται αποκλειστικά σε λάθος ταξινόμηση του δείκτη αλλά σε πιθανή έγκαιρη επέμβαση των πυροσβεστικών δυνάμεων.

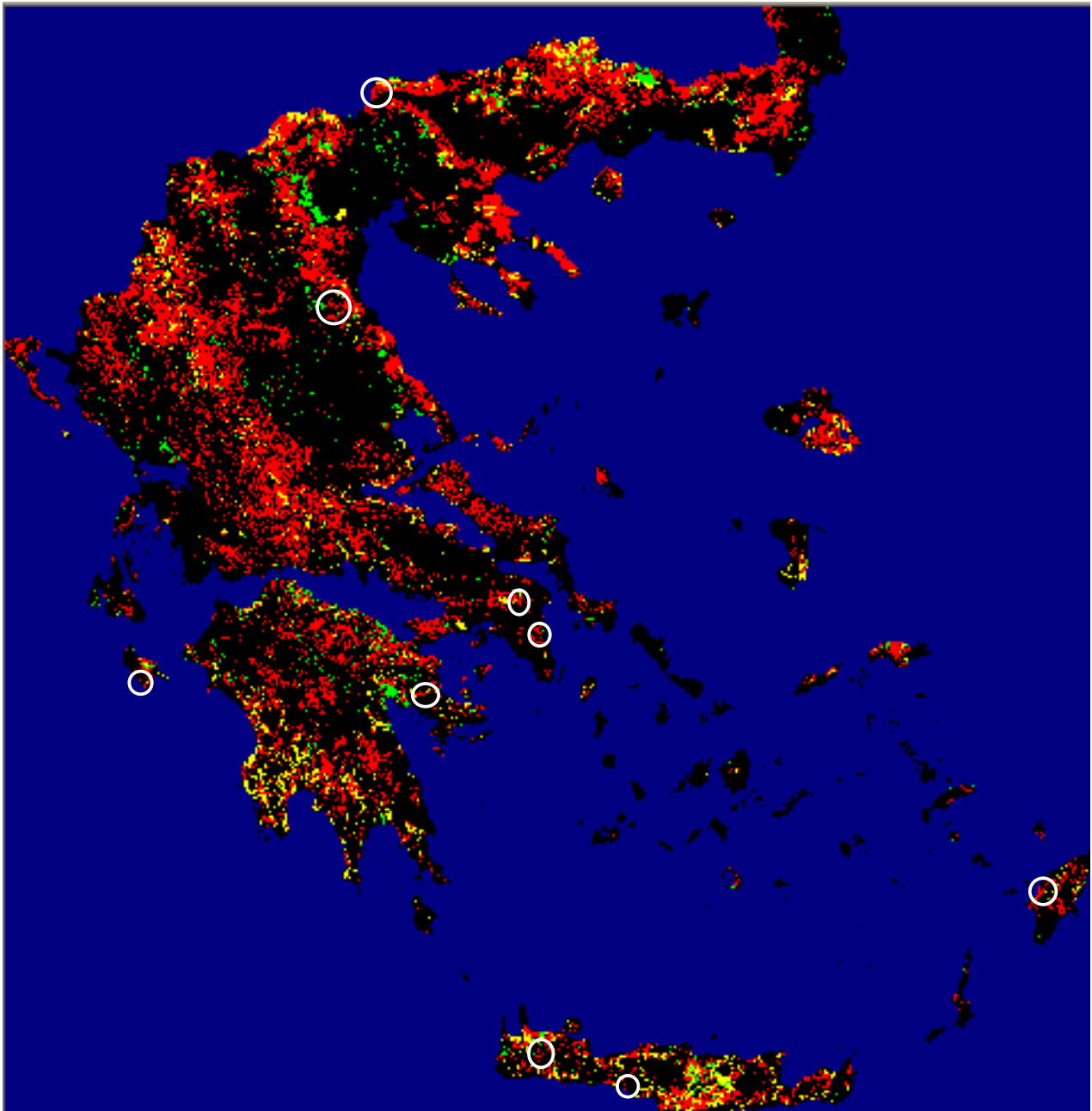
### 5.1.2.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ ΤΟΥ 2008

Στο εδάφιο αυτό επαναλάβαμε την διαδικασία κατασκευής χάρτη για το 2008 με χρήση της πυκνότητας βλάστησης, για το Μάιο του 2008, από δείκτη NDVI που υπολογίστηκε από τηλεπισκοπική απεικόνιση του δορυφόρου Terra για την 1 Μαΐου. Η μεθοδολογία ήταν απόλυτα όμοια με αυτή του εδαφίου 5.1.2.1 και αποτέλεσμα της ο ζητούμενος χάρτης επικινδυνότητας του δείκτη FHI για το 2008.

Στην συνέχεια εντοπίσαμε στο αρχείο της Πυροσβεστικής για τις αγροτοδοασικές πυρκαγιές του 2008 τα σημαντικότερα συμβάντα. Αυτό που παρατηρείται είναι η τεράστια διαφορά τόσο του αριθμού όσο και του μεγέθους των πυρκαγιών σε σχέση με το προηγούμενο έτος, εδώ οι σημαντικότερες πυρκαγιές είναι της τάξης των μερικών χιλιάδων καμένων στρεμμάτων ενώ το 2007 είχαμε καμένες εκτάσεις εκατοντάδων χιλιάδων στρεμμάτων. Το καλοκαίρι του 2008 ήταν πολύ πιο ήπιο όσο αναφορά το φαινόμενο αυτό σε σχέση με την αντίστοιχη θερινή περίοδο του 2007.

Περιοχή	Ημερομηνία	Καμένη έκταση (στρέμματα)
Βαρυμπόμπη Κρυνονέρι Αττικής	23/07/08	1500
Μαρκόπουλο Αττικής	09/11/08	1500
Μουριές Κιλκίς	07/09/08	7000
Τιάρας Ελλασώνας	09/08/08	2200
Κόκκινο Λυγουρίου Αρολίδας	14/08/08	22000
Δ.Αταβύρου Αγ.Ισίδωρος Ρόδου Δωδεκανήσων	22/07/08	110000
Ορθούνι Μουσούρων Χανίων	20/04/08	10000
Δρυμισκός Ρεθύμνου	21/08/09	5000
Κυλιόμενο Αγάλα Ζακύνθου	01/08/08	5000

Πίνακας 15: Οι σημαντικότερες πυρκαγιές του 2008



Εικόνα 90: Χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιών της Ελλάδος βάσει του FHI για το 2008

Κάνοντας τώρα αξιολόγηση του δείκτη μέσω σύμπτωσης των καμένων εκτάσεων με την κατηγορία υψηλής επικινδυνότητας, παρατηρούμε ότι και σε αυτό το έτος το μεγαλύτερο μέρος των καμένων εκτάσεων των σημαντικών συμβάντων του καλοκαιριού έχει ταξινομηθεί στην υψηλή κατηγορία επικινδυνότητας του χάρτη. Η εγκυρότητα όμως του δείκτη δεν μπορεί να εκτιμηθεί από περιστατικά πυρκαγιών σαν αυτά. Ο λόγος είναι ότι το μέγεθος των καμένων εκτάσεων είναι τέτοιο που ουσιαστικά αναφερόμαστε ως επί το πλείστον σε μικρά περιστατικά πυρκαγιών, με εξαίρεση την πυρκαγιά στην Αργολίδα, τα οποία δεν συνδέονται άμεσα με τον δείκτη FHI αλλά με καιρικές συνθήκες που ευνόησαν την εκδήλωσή τους. Ο λόγος βέβαια που παρότι υπήρξαν εκδηλώσεις πυρκαγιών μέσα σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας δεν είχαμε μεγάλες καμένες εκτάσεις μπορεί να μην οφείλεται σε εν γένει αδυναμία του δείκτη αλλά να οφείλεται σε έγκαιρες επεμβάσεις και καταστολή τους.

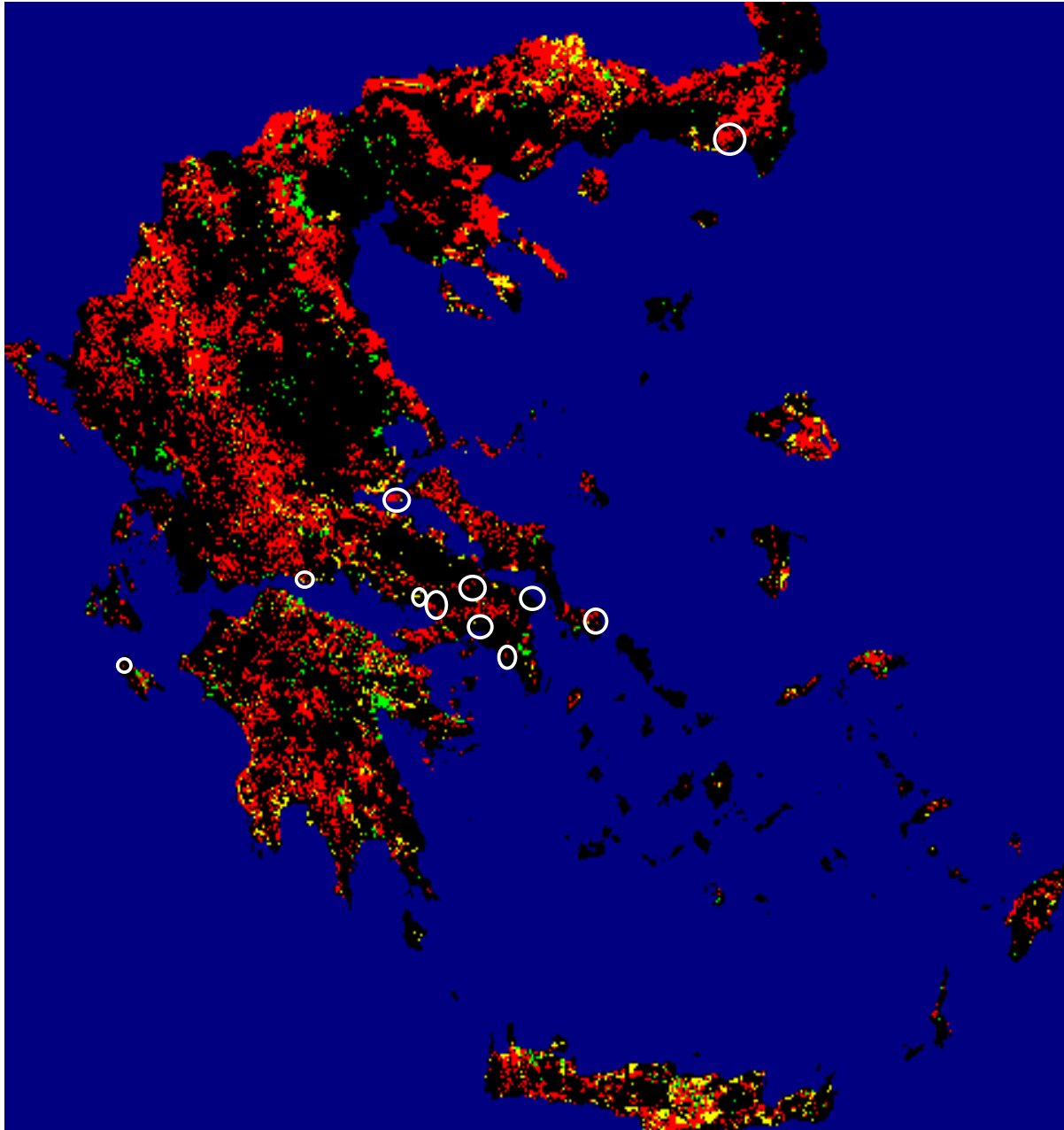
### 5.1.2.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ ΤΟΥ 2009

Με σκοπό την αξιολόγηση του δείκτη για το 2009 επαναλάβαμε την διαδικασία κατασκευής χάρτη για το έτος αυτό με χρήση της πυκνότητας βλάστησης, για το Μάιο του 2009, από δείκτη NDVI που υπολογίστηκε από τηλεπισκοπική απεικόνιση του δορυφόρου Terra για τις 13/05/2009 . Η μεθοδολογία ήταν απόλυτα όμοια με την κατασκευή των χαρτών επικινδυνότητας των προηγούμενων ετών.

Παράλληλα εντοπίζουμε και για το 2009 τα σημαντικότερα περιστατικά πυρκαγιών και στην συνέχεια τα προβάλλουμε στο χάρτη που κατασκευάστηκε. Όπως και για το προηγούμενο έτος τα περιστατικά, με εξαίρεση αυτό του Καπανδριτίου, δεν είναι τόσο σοβαρά σε αριθμό και έκταση σε σχέση με του 2007. Ενώ παρατηρούμε ότι συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένους νομούς και ειδικότερα σε Αττική, Βοιωτία και Εύβοια.

Περιοχή	Ημερομηνία	Καμένη έκταση (στρέμματα)
Τέρμα Κων/νου Αθανάτου Δ.Γλυφάδας	15/06/2009	7000
Λ. Καμαρίου Αττική	20/08/2009	11000
Σέσι Γραμματικό	21/08/2009	160000
Αλεξανδρούπολη Έβρου	06/09/2009	20000
Άγιοι Πάντες Αμφισσάς	12/06/2009	3500
Λιβαδώστρα-Π.Γερμενό Βοιωτίας	22/08/2009	32500
Θίσβη Βοιωτίας	17/08/2009	8500
Ριτσώνα Χαλκίδας Έυβοιας	13/06/2009	3000
Πηδουλέικα Κάριστος Ευβοίας	22/08/09	46000
Λιχάδα Ιστιαίας Ευβοίας	13/10/09	4000
Αναφωνήτριας Ζακύνθου	20/08/09	8500

Πίνακας 16: Οι σημαντικότερες πυρκαγιές του 2009



Εικόνα 91: Χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιών της Ελλάδος βάσει του FHI για το 2009

Όπως και για την προηγούμενη χρονιά παρότι το μεγαλύτερο μέρος των πυρκαγιών εντοπίζεται εντός της κατηγορίας υψηλής επικινδυνότητας το μέγεθος των περισσότερων πυρκαγιών είναι αρκετά μικρό για να κρίνουμε την εγκυρότητα του δείκτη. Σημαντικό πρόβλημα εμφανίζεται στην μεγαλύτερη πυρκαγιά του έτους στο Σέσι Γραμματικού οπού δεν έχουμε υπολογισμό του δείκτη. Το πρόβλημα αυτό, που εμφανίζεται και σε μερικές ακόμα πυρκαγιές, οφείλεται στο ότι οι περιοχές αυτές δεν ανήκαν στις εύφλεκτες, σύμφωνα με το μοντέλο, κατηγορίες του Corine για τις οποίες και υπολογίζεται ο δείκτης. Πιθανόν επομένως να κάηκαν αρδευόμενες γεωργικές καλλιέργειες για τις οποίες και δεν υπολογίζεται ο δείκτης, η ακόμα και ημιστικές περιοχές σε κάποιες περιπτώσεις.



### **5.1.3 ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΙΚΤΗ FHI**

Στο εδάφιο αυτό γίνεται η τελική αξιολόγηση του δείκτη, ως προς την ικανότητα του σε πρόβλεψη επέκτασης πυρκαγιών στην Ελλάδα, με βάση τις αξιολογήσεις των χαρτών επικινδυνότητας που δημιουργήσαμε για τα έτη 2007, 2008 και 2009.

Καταρχάς σαν μια γενική διαπίστωση μπορούμε να αναφέρουμε ότι ο δείκτης είναι έγκυρος και παρουσιάζει συμφωνία με τις πυρκαγιές στην Ελλάδα καθώς στους χάρτες επικινδυνότητας, που κατασκευάστηκαν βάσει αυτού, το μεγαλύτερο μέρος των καμένων εκτάσεων έχει ταξινομηθεί στην κατηγορία υψηλής επικινδυνότητας. Στο σημείο βέβαια αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι βαρύνουσα σημασία στην αξιολόγηση αυτή έχει ο χάρτης του 2007 καθώς ο συγκεκριμένος δείκτης έχει νόημα στον εντοπισμό μεγάλων πυρκαγιών όπου οι ίδιες οι περιοχές ευνόησαν την εξάπλωση, όπως του 2007 και όχι σε μικρά περιστατικά που κατά βάσει οφείλονται στις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την εκδήλωσή τους, όπως τα συμβάντα των ετών 2007 και 2009. Μάλιστα για το έτος αυτό και όσο αναφορά την σύμπτωση των μεγάλων περιστατικών πυρκαγιών με εκτάσεις υψηλής επικινδυνότητας παρουσιάζεται μια ακρίβεια της τάξης του 75%.

Μια τελευταία παρατήρηση όσο αναφορά τους χάρτες επικινδυνότητας των τριών αυτών ετών είναι ότι ενώ στην ουσία τα ποσοστά των κατηγοριών επικινδυνότητας είναι παραπλήσια, με τη κατηγορία υψηλής επικινδυνότητας να καταλαμβάνει και στους τρεις την μεγαλύτερη έκταση οι καμένες εκτάσεις του 2007 είναι σημαντικά μεγαλύτερες έναντι των άλλων δύο ετών. Το παραπάνω φαινόμενο βέβαια δικαιολογείται από το γεγονός ότι ο χάρτης αυτός ουσιαστικά εκφράζει την αντίδραση των περιοχών και όχι την πιθανότητα εκδήλωσης. Με αποτέλεσμα να συμπεραίνουμε πως ενώ και στα τρία χρόνια υπήρχαν οι συνθήκες αφού ξεσπάσουν φωτιές να εξαπλωθούν αυτό συνέβη μόνο το 2007 καθώς πιθανόν μόνο τότε υπήρχαν οι κατάλληλες συνθήκες (καιρικές) για εκδήλωση. Πιθανόν είναι στις φωτιές που ξεσπασαν να ήταν έγκαιρη η επέμβαση πυροσβεστικής με αποτέλεσμα να μην πάρουν μεγάλη έκταση, μάλιστα για το έτος αυτό συγκεκριμένα υπήρξε διαπιστωμένα και ο ανθρώπινος παράγοντας (εμπρησμοί) που ενέτεινε το φαινόμενο.

## **5.2 ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ FDI**

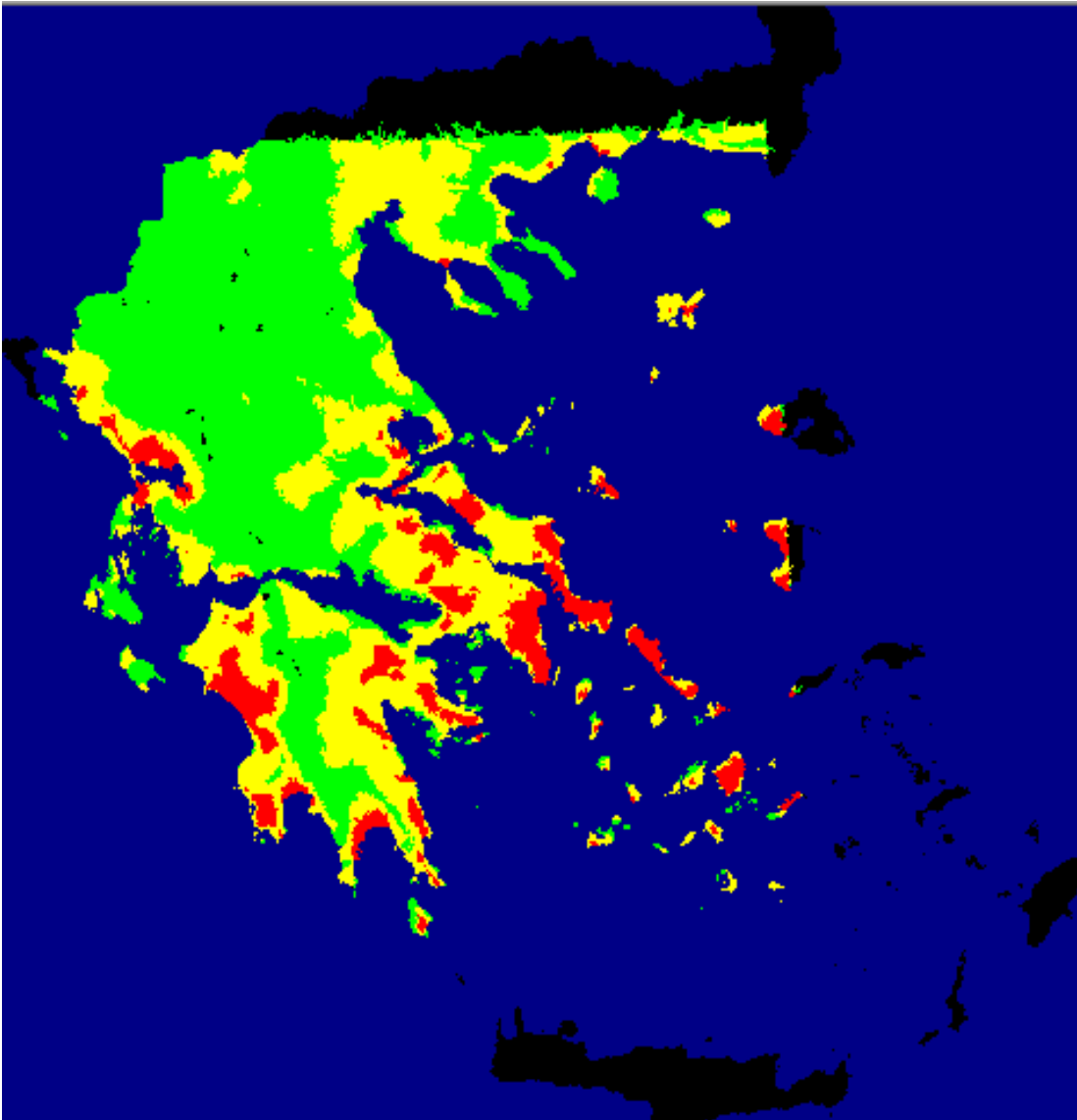
### **5.2.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΤΗ**

Ο χάρτης επικινδυνότητας με βάση τον δείκτη FDI, μας δίνει μια ταξινόμηση της Ελληνικής επικράτειας σε τρία επίπεδα κινδύνου χαμηλό, μέσο και υψηλό. Οι τρεις αυτές κατηγορίες ουσιαστικά εκφράζουν την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιών, αν δηλαδή αυτή η πιθανότητα είναι μικρή, μεσαία ή μεγάλη. Ο όρος που χρησιμοποιείται από τους επιστήμονες για να εκφράσει αυτό ακριβώς το κίνδυνο εκδήλωσης είναι “fire danger”.






Επειδή οι μεταβλητές οι οποίες συμμετέχουν στον FDI είναι βραχυπρόθεσμες καιρικές μεταβλητές, αλλάζουν δηλαδή συνεχώς ακόμα και κατά την διάρκεια της μέρας, ο χάρτης θα πρέπει να ανανεώνεται καθημερινά.

Στον χάρτη αυτό με μαύρο χρώμα ταξινομούνται οι περιοχές για τις οποίες δεν έχουμε προβλέψεις των καιρικών φαινομένων. Ουσιαστικά τα αρχεία με τις προβλέψεις των καιρικών μεταβλητών που δόθηκαν από τους ιθύνοντες του Ποσειδών δεν κάλυπταν ολόκληρη την Ελλάδα με αποτέλεσμα να μην γίνει ο υπολογισμός για όλη την επικράτεια.

Τα άλλα τρία χρώματα που απαντώνται στον χάρτη με πράσινο, κίτρινο και κόκκινο, υποδηλώνουν περιοχές με χαμηλή, μέση και υψηλή πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιών.



Εικόνα 92: Χάρτης πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς βάσει του FDI για τις 2/08/2010

	Θάλασσα
	Περιοχές που δεν υπολογίζεται ο δείκτης
	Χαμηλός κίνδυνος
	Μέσος κίνδυνος
	Υψηλός κίνδυνος

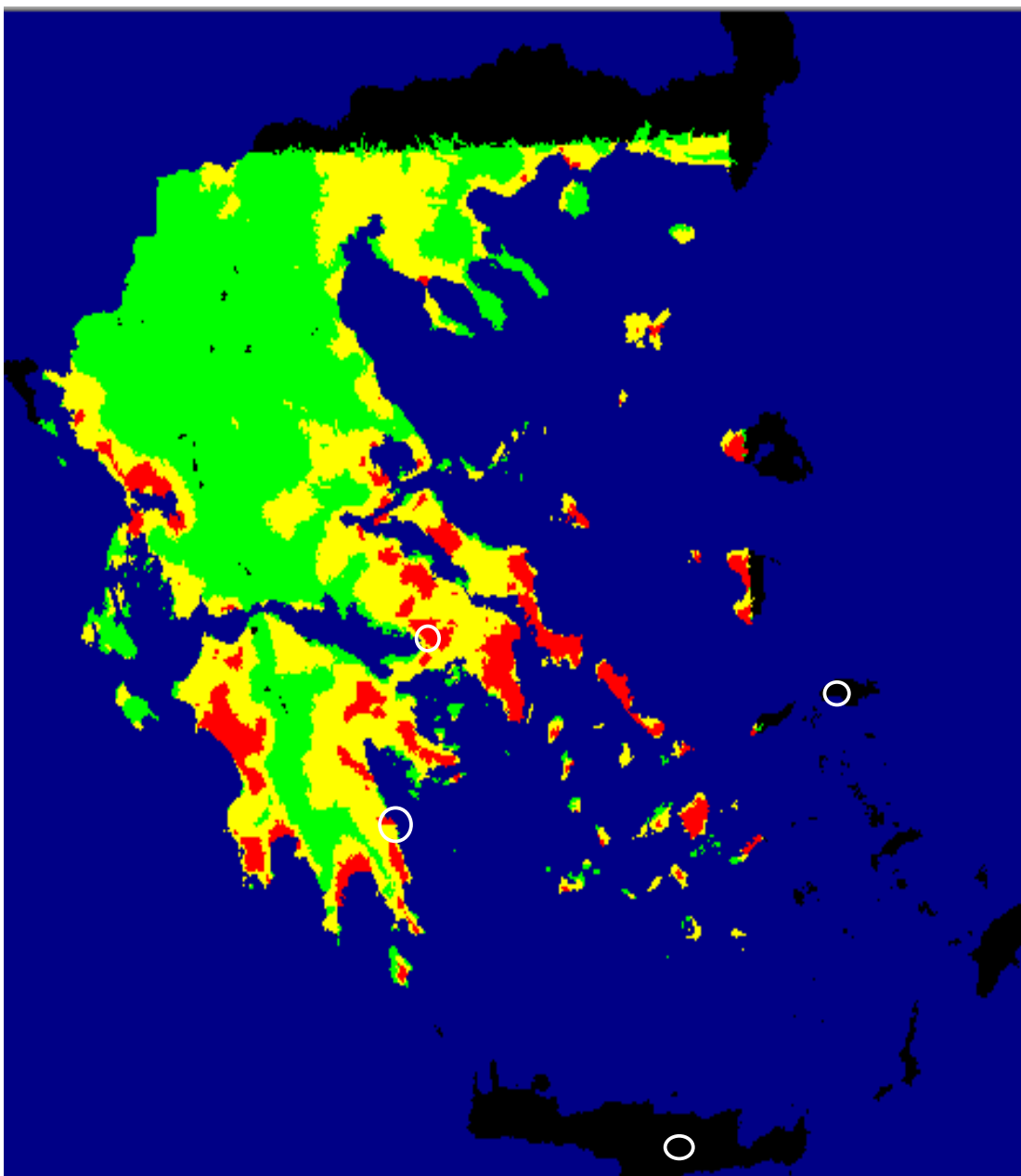
Πίνακας 17: Υπόμνημα χάρτη πρόβλεψης κινδύνου FDI

## 5.2.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ

Στο στάδιο αυτό της αξιολόγησης του χάρτη επικινδυνότητας του δείκτη FDI χρήσιμο φάνηκε να συγκρίνουμε χάρτες πρόβλεψης κινδύνου για ορισμένες μέρες του καλοκαιριού του 2010, για τις οποίες και έχουμε καιρικές προβλέψεις, με συμβάντα πυρκαγιών αντίστοιχων ημερομηνιών.

Στην κατεύθυνση αυτή, αρχικά κατασκευάσαμε τους χάρτες πρόβλεψης κινδύνου για τις ημέρες αυτές με τα γνωστά συμβάντα πυρκαγιών. Στην αξιολόγηση του συγκεκριμένου δείκτη μας ενδιαφέρουν όλα τα περιστατικά καθώς ο δείκτης αυτός δεν σχετίζεται με το μέγεθος τους.

Για τις 2 Αυγούστου του 2010 γνωρίζουμε πώς είχαμε εκδήλωση 4 πυρκαγιών σε Λεωνίδιο Αρκαδίας, Πόρτο Γερμενό, Μαραθόκαμπο Σάμου και Αρκαλοχώρι Ηρακλείου. Για να αξιολογήσουμε λοιπόν την ικανότητα του δείκτη στην πρόβλεψη πιθανότητας εκδήλωσης θα ελέγξουμε την σύμπτωση των περιοχών αυτών με περιοχές υψηλού κινδύνου του χάρτη.

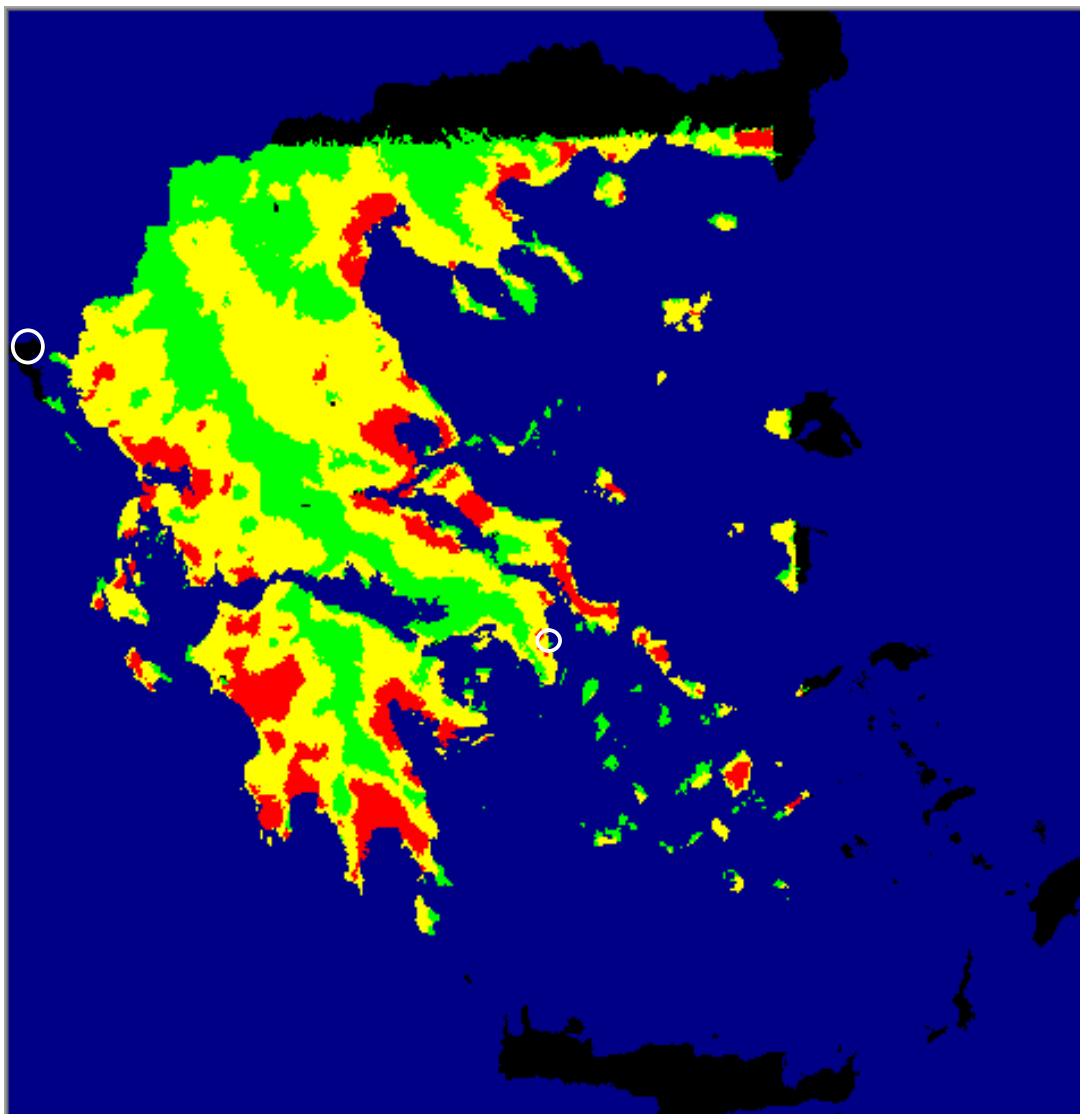


Εικόνα 93: Χάρτης πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς FDI στις 2/08/2010

Αφού λοιπόν προβάλαμε τα 4 αυτά περιστατικά πυρκαγιάς στον χάρτη πρόβλεψης κινδύνου παρατηρήσαμε πως τα δύο από αυτά, σε Σάμο και Ηράκλειο, συνέπεσαν με περιοχές για τις οποίες δεν έγινε υπολογισμός του δείκτη λόγω έλλειψης καιρικών προβλέψεων. Επομένως θα αρκεστούμε στα άλλα δύο περιστατικά τα οποία συνέπεσαν με περιοχές υψηλού κινδύνου, δίνοντας καλά αποτελέσματα.

Στην συνέχεια κατασκευάσαμε αντίστοιχο χάρτη πρόβλεψης κινδύνου για τις 4 Αυγούστου 2010. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν απλή. Στο Project του eCognition υπολογίσαμε εκ νέου τον δείκτη FDI βάσει των μέσων τιμών των καναλιών της θερμοκρασίας, της ταχύτητας ανέμου και της σχετικής υγρασίας για τις 4 Αυγούστου. Στην συνέχεια η ταξινόμηση έδωσε σαν αποτέλεσμα τον χάρτη πρόβλεψης με βάση τιμές του δείκτη για την νέα αυτή ημερομηνία.

Οι πυρκαγιές που γνωρίζουμε πως εκδηλώθηκαν στις 4 Αυγούστου ήταν σε Κέρκυρα και Κερατέα Αττικής. Όπου στην πρώτη δεν είχαμε υπολογισμό από τον δείκτη, λόγω έλλειψης δεδομένων και την δεύτερη να ταξινομείται εντός περιοχής υψηλού κινδύνου.



Εικόνα 94: Χάρτης πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς FDI στις 4/08/2010

### **5.2.3 ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΙΚΤΗ FDI**

Στο εδάφιο αυτό γίνεται η τελική αξιολόγηση του δείκτη FDI, όσο αφορά την συμφωνία του με τα συμβάντα πυρκαγιών στην Ελλάδα, με βάση τις αξιολογήσεις των χαρτών πρόβλεψης κινδύνου που δημιουργήσαμε για τις 2 και 4 Αυγούστου του 2010.

Καταρχάς μπορούμε να αναφέρουμε ότι στους δύο αυτούς χάρτες τα λιγιστά περιστατικά πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν τις 2 ημέρες ταξινομήθηκαν σε περιοχές με προβλεπόμενο υψηλό κίνδυνο. Το γεγονός αυτό ενισχύει την εγκυρότητα του δείκτη. Παρόλα αυτά, υπήρξαν συμβάντα πυρκαγιών των δύο αυτών ημερών για τα οποία δεν μπόρεσε να εκτιμηθεί ο κίνδυνος λόγω έλλειψης καιρικών προβλέψεων. Αποτέλεσμα αυτού να μην μπορούμε να αξιολογήσουμε την επιτυχία του δείκτη στην πρόβλεψη αυτών των πυρκαγιών. Παράλληλα εκτός των ελλείψεων που είχαν οι καιρικές προβλέψεις στις 2 αυτές ημέρες, ελλιπής ήταν και ο όγκος των ημερών που μας διατέθηκαν δεδομένα. Με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να κατασκευάσουμε και να αξιολογήσουμε χάρτες για το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Αυγούστου κατά το οποίο εκδηλώθηκαν περισσότερα περιστατικά.

Γενικότερα μπορούμε να αναφέρουμε πως παρότι, ο δείκτης φαίνεται να εμφανίζει υψηλή συσχέτιση με την εκδήλωση πυρκαγιών στον Ελλαδικό χώρο, τα περιορισμένα καιρικά δεδομένα δεν επιτρέπουν να αξιολογήσουμε επαρκώς την αξιοπιστία και την καταλληλότητα χρήσης του στην Ελλάδα

## **5.3 ΤΕΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ**

### **5.3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΤΗ**

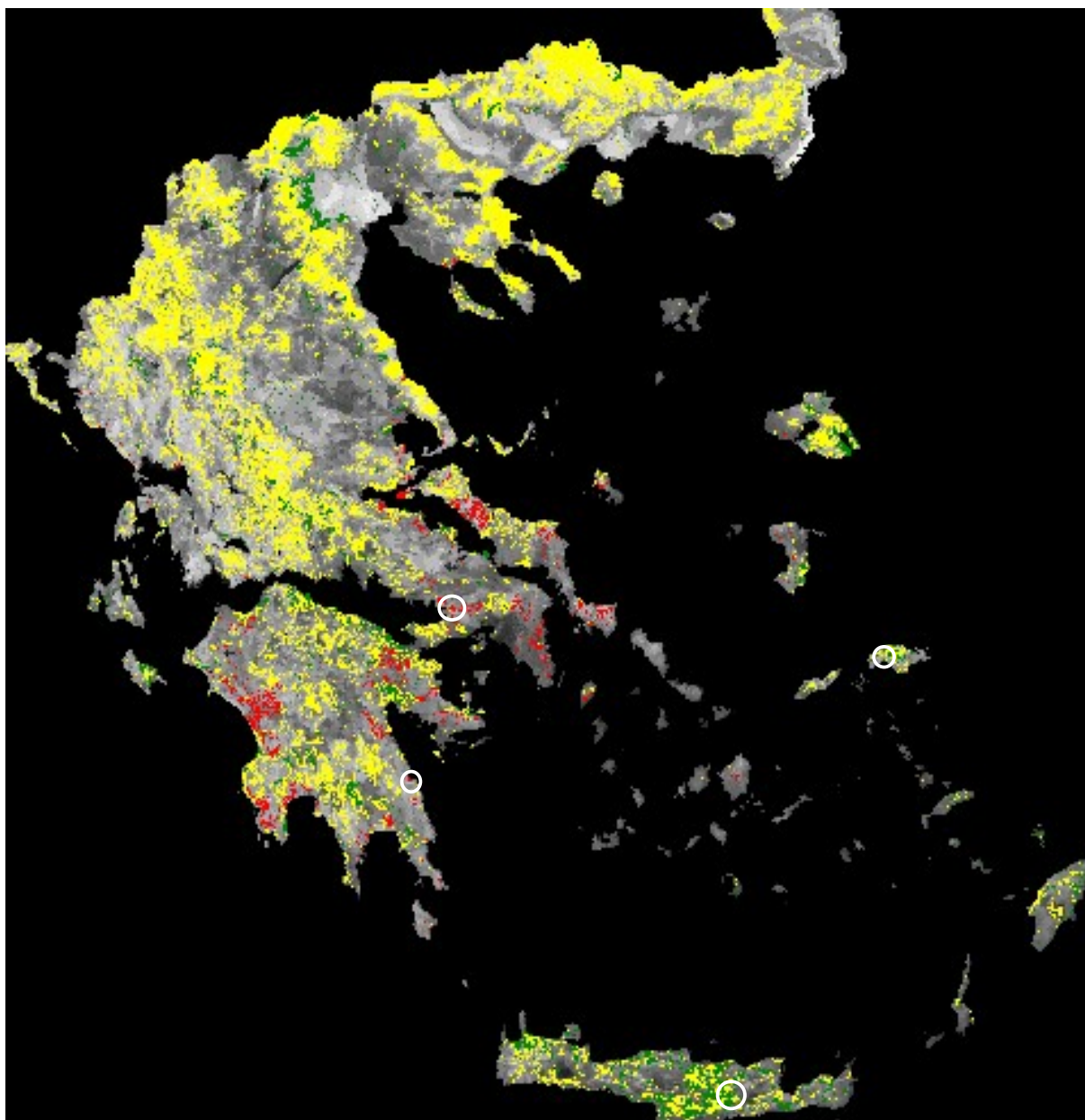
Το τελικό αποτέλεσμα της εφαρμογής του μοντέλου πρόγνωσης είναι ο θεματικός χάρτης πρόγνωσης επικινδυνότητας πυρκαγιών για όλη την Ελλάδα βάσει του συνδυασμού των δύο δεικτών.

Ο τελικός αυτός χάρτης πρόγνωσης αντιπροσωπεύει τον κίνδυνο πυρκαγιάς όπως αυτός εκφράζεται από την συνδυαστική δράση του κινδύνου εκδήλωση (fire danger) και της επικινδυνότητα επέκτασης (fire hazard). Οι τρεις κατηγορίες κινδύνου που απαντώνται στον χάρτη αυτό εκφράζουν τον τρόπο που ο συνδυασμός των δύο δεικτών, FHI και FDI, εκτιμά τον κίνδυνο πυρκαγιάς.






Στον χάρτη αυτό με γκρι χρώμα εμφανίζονται οι περιοχές όπου δεν έγινε ο υπολογισμός του μοντέλου. Οι περιοχές αυτές ανήκουν ουσιαστικά στις κατηγορίες χρήσης γης του CORINE που δεν παρουσιάζουν σύμφωνα με το μοντέλο εύφλεκτη δραστηριότητα για αυτό και δεν είχε νόημα η πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς σε αυτές.

Τα άλλα τρία χρώματα που απαντώνται στο χάρτη πράσινο, κίτρινο και κόκκινο, υποδηλώνουν περιοχές που προβλέπεται από το μοντέλο χαμηλός, μέσος και υψηλός κίνδυνος πυρκαγιάς.

Στον τελικό αυτό χάρτη παρουσιάζονται εσφαλμένα αποτελέσματα σε περιοχές όπως η Κρήτη, η Κέρκυρα, τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου και σε μερικούς νομούς της βόρειας Ελλάδας. Ο λόγος είναι πως στις περιοχές αυτές δεν είχαμε καιρικές προβλέψεις με αποτέλεσμα να μην υπολογίζεται ο δείκτης FDI και επομένως να μην ορίζονται ορθά οι κατηγορίες κινδύνου από τον συνδυασμό των κατηγοριών των δεικτών.



Εικόνα 95: Τελικός χάρτης πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς του μοντέλου για τις 2/8/2010

	Θάλασσα
	Περιοχές που δεν υπολογίζεται ο κίνδυνος
	Χαμηλός κίνδυνος
	Μέσος κίνδυνος
	Υψηλός κίνδυνος

Πίνακας 18: Υπόμνημα τελικού χάρτη επικινδυνότητας του μοντέλου

### **5.3.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΑΡΤΗ**

Στο στάδιο αυτό της αξιολόγησης του χάρτη πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς, του ολοκληρωμένου μοντέλου, χρήσιμο φάνηκε να συγκρίνουμε τον χάρτη αυτό πρόβλεψης κινδύνου που κατασκευάσαμε για τις 2 Αυγούστου του 2010 με τα περιστατικά πυρκαγιών της μέρας αυτής.

Τα περιστατικά πυρκαγιών στις 2 Αυγούστου του 2010 ήταν σε Λεωνίδιο Αρκαδίας, Πόρτο Γερμενό, Μαραθόκαμπο Σάμου και Αρκαλοχώρι Ηρακλείου. Τα συμβάντα αυτά εντοπίστηκαν και προβλήθηκαν στον χάρτη της εικόνας 95.

Από την σύμπτωση των περιστατικών αυτών πυρκαγιάς στον χάρτη πρόβλεψης κινδύνου παρατηρούμε ότι οι φωτιές σε Λεωνίδιο και Πόρτο Γερμενό έχουν συμπεσει με κατηγορία υψηλού κινδύνου. Ενώ οι πυρκαγιές σε Σάμο και Ηράκλειο έχουν πέσει σε περιοχές χαμηλού ή μέσου κινδύνου.

Τα περιστατικά σε Σάμο και Ηράκλειο δεν έχουν θέση στην αξιολόγηση του μοντέλου καθώς γνωρίζουμε πώς στις περιοχές αυτές τα αποτελέσματα είναι εσφαλμένα λόγω έλλειψης καιρικών προβλέψεων.

### **5.3.3 ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ**

Στο εδάφιο αυτό γίνεται η τελική αξιολόγηση του ολοκληρωμένου μοντέλου πρόγνωσης που παρουσιάσαμε και εφαρμόσαμε, όσο αφορά την εγκυρότητα του και την καταλληλότητα χρήσης του στην Ελλάδα. Το μοναδικό εργαλείο στην κατεύθυνση αυτή ήταν η αξιολόγηση του χάρτη πρόβλεψης κινδύνου για τις 2 Αυγούστου του 2010.

Καταρχάς με βάση το εργαλείο αυτό και την σύμπτωση των λιγοστών περιστατικών πυρκαγιάς με την κατηγορία υψηλής επικινδυνότητας, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το μοντέλο εμφανίζει σχετικά καλά αποτελέσματα στον τομέα της πρόβλεψης του κινδύνου. Όπως όμως και στην περίπτωση της αξιολόγησης του μεμονωμένου δείκτη FDI έτσι και εδώ τα δεδομένα που έχουμε στην διάθεση μας για να αξιολογήσουμε την ικανότητα του μοντέλου να προβλέπει τον κίνδυνο δεν είναι αρκετά. Πιο συγκεκριμένα η έλλειψη καιρικών προβλέψεων για το δεύτερο δεκαπενθήμερο, όπου είχαμε μεγαλύτερο πλήθος περιστατικών, δεν επέτρεψε την κατασκευή αντίστοιχων χαρτών. Με αποτέλεσμα να μην μπορέσουμε να κάνουμε μια πληρέστερη αξιολόγηση σε ένα ικανό πλήθος περιστατικών.

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως η πλήρη αξιολόγηση της καταλληλότητας του μοντέλου προϋποθέτει αξιολόγηση σε ένα πλήθος χαρτών πρόβλεψης και για ένα ικανό πλήθος περιστατικών. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει να ανακτηθούν προβλέψεις καιρικών μεταβλητών από αρχεία με πλήρη δεδομένα για ένα μεγαλύτερο εύρος ημερομηνιών.





## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

### 6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην πτυχιακή αυτή εργασία προσπαθήσαμε να διατυπώσουμε και να εφαρμόσουμε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο πρόγνωσης δασικών πυρκαγιών για την Ελλάδα, το οποίο θα παρείχε ικανοποιητικά αποτελέσματα στην πρόληψη από την φυσική αυτή καταστροφή που εδώ και δεκαετίες πλήττει την χώρα, ειδικότερα τους καλοκαιρινούς μήνες.

Αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής ήταν ο τελικός χάρτης πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς της Ελλάδος βάσει του επιλεγμένου μοντέλου. Ο κίνδυνος πυρκαγιάς που υπολογίζεται από το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει τόσο την πιθανότητα εκδήλωσης όσο και την επικινδυνότητα επέκτασης. Η εφαρμογή του μοντέλου περιελάμβανε υλοποίηση των δύο δεικτών του FHI και FDI σε πρώτη φάση και συνδυασμό τους στην συνέχεια.

Αφού λοιπόν έγινε η εφαρμογή του μοντέλου σειρά είχε η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του για να ελέγξουμε την καταλληλότητα χρήσης του στην περιοχή μελέτης της εφαρμογής. Στην κατεύθυνση αυτή αξιολογήσαμε τόσο τον τελικό χάρτη πρόγνωσης κινδύνου όσο και τους επιμέρους χάρτες επικινδυνότητας των δεικτών.

Ο δείκτης FHI αφού εφαρμόστηκε πλήρως, με προϊόν ετήσιο χάρτη επικινδυνότητας εξάπλωσης πυρκαγιών της Ελλάδος, αξιολογήθηκε επαρκώς με σύγκριση των αποτελεσμάτων του με σημαντικά περιστατικά πυρκαγιών σε ένα βάθος 3 ετών. Συμπεράναμε λοιπόν ότι ο εν' λόγω δείκτης παρέχει ορθή πρόβλεψη της επικινδυνότητας πυρκαγιάς σε μια περιοχή της Ελλάδος, δίνει δηλαδή την δυνατότητα στον αναγνώστη του χάρτη αυτού επικινδυνότητας να αξιολογεί το πώς θα αντιδράσει κάθε περιοχή μετά την εκδήλωση φωτιάς. Η ταξινόμηση βέβαια αδικαιολόγητα μεγάλου μέρους των εκτάσεων σε υψηλής επικινδυνότητας, η οποία πιθανά οφείλεται σε εν γένει αδυναμία του δείκτη λόγω λανθασμένης βαθμονόμησης μεταβλητών, έρχεται σε σύγκρουση με το πρώτο συμπέρασμα.

Στην συνέχεια ακολουθεί εφαρμογή και αξιολόγηση του δείκτη FDI. Στα πλαίσια της διαδικασίας αυτής αξιολογήσαμε χάρτες πρόγνωσης της πιθανότητας ανάφλεξης για ένα μικρό αριθμό ημερών του Αυγούστου του 2010 και για ένα μικρό αριθμό περιστατικών που συνέβησαν τις μέρες αυτές. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αυτής ήταν καλά αλλά δεν ήταν αρκετά για πλήρη αξιολόγηση. Το πρόβλημα της ελλιπούς αξιολόγησης έγκειται στην έλλειψη ικανού αριθμού καιρικών προβλέψεων.

Τέλος αξιολογήσαμε τον τελικό χάρτη πρόγνωσης κινδύνου του μοντέλου για τις 2 Αυγούστου του 2010 εντοπίζοντας σε αυτόν τα περιστατικά πυρκαγιών για την μέρα αυτή. Αποτέλεσμα της αξιολόγησης ήταν πως το μοντέλο αυτό προβλέπει μεν καλά τον κίνδυνο πυρκαγιάς αλλά τα περιστατικά δεν είναι ικανά για ασφαλή συμπεράσματα.

Το τελικό συμπέρασμα της πτυχιακής αυτής εργασίας ήταν πως καταφέραμε λοιπόν να διατυπώσουμε και να εφαρμόσουμε το ολοκληρωμένο μοντέλο πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς. Ενώ η εφαρμογή του μοντέλου αυτού παρέχει χάρτη πρόβλεψης κινδύνου της Ελλάδας, ο οποίος μπορεί να ανανεώνεται καθημερινά με ανανέωση των προβλέψεων των καιρικών μεταβλητών. Το μοντέλο αυτό φαίνεται μεν να παρουσιάζει σχετικά υψηλή συσχέτιση με τις πυρκαγιές στην Ελλάδα αλλά τα δεδομένα με βάση τα οποία αξιολογήθηκε δεν ήταν αρκετά για να ισχυριστούμε ότι ενδείκνυται η χρήση του για την πρόληψη πυρκαγιών στην Ελλάδα.

## 6.2 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Με το πέρας της η πτυχιακή αυτή εργασία προσφέρει τη δυνατότητα για πληρέστερη αξιολόγηση του μοντέλου επικινδυνότητας ώστε να μπορούμε, στο μέλλον, να ισχυριστούμε με βεβαιότητα ότι το μοντέλο είναι κατάλληλο για πρόγνωση κινδύνου πυρκαγιάς στον Ελλαδικό χώρο. Στα πλαίσια της αξιολόγησης αυτής θα πρέπει να ανακτήσουμε πληρέστερες καιρικές προβλέψεις από το σύστημα Ποσειδών για ένα μεγαλύτερο σύνολο ημερών. Στην συνέχεια κατασκευάζοντας νέους χάρτες πρόγνωσης κινδύνου για τις ημέρες αυτές θα γίνει σύμπτωση με γνωστά περιστατικά και θα ελεγχθούν τα αποτελέσματα.

Παράλληλα το μοντέλο αυτό επιδέχεται διορθώσεις έτσι ώστε να παρουσιάσει καλύτερα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, όπως αναφέραμε και στο στάδιο της υλοποίησης, καλύτερη βαθμονόμηση των μεταβλητών του FHI θα μας απαλλάξει από σφάλματα που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εφαρμογή.

Τέλος εφόσον διαπιστωθεί η εγκυρότητα και η καταλληλότητα χρήσης του μοντέλου για την πρόγνωση κινδύνου πυρκαγιάς στην Ελλάδα, μπορεί να αναπτυχθεί μια προσπάθεια συνεχής και άμεσης ανάκτησης καιρικών προβλέψεων από το Ποσειδών. Αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής θα είναι η ανανέωση των δεδομένων του μοντέλου ανά 3 ώρες και η παράγωγή και ανανέωση ενός αξιόπιστου χάρτη πρόγνωσης κινδύνου δασικών πυρκαγιών με την ίδια περίοδο.

## 7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 7.1 ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ-ΒΙΒΛΙΑ

- Αγαθάγγελου Μ, (2008).** «Σύγκριση παραδοσιακών και αντικειμενοστραφών τεχνικών τηλεπισκόπησης, κάλυψης-χρήσης γης από τηλεπισκοπικά δεδομένα QUICKBIRD στην επαρχία της Πάφου», Τομέας Τοπογραφίας-Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Αργιαλός Δ, (1999).** «Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση, Θεμελιώδεις έννοιες τηλεπισκόπησης και Βασικά στοιχεία φωτογραφικών συστημάτων», Τομέας τοπογραφίας-Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Αργιαλός Δ. και Τζώτσος Α, (2007).** «Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνας στην Τηλεπισκόπηση. Θεωρία και Εφαρμογές», Τομέας τοπογραφίας-Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- R. E. Burgan, R.W. Klaver and J.M. Klaver, (1998).** «Fuel Models and Fire Potential form Satellite and Surface Observations», International journal of wildland fire.
- R. Castro and E. Chuveico, (1998).** «Modeling Forest Fire Danger from Geographic Information Systems», Geocarto International.
- E. Chuvieco and R.G. Congalton, (1989).** «Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping», Elsevier Science Publishing Co. Inc. .
- Καούκης Κ, (2009).** «Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα για την περίοδο 1991-2004 : μηνύματα από την εξέλιξη του φαινομένου», Τμήμα Γεωγραφίας Χαροκόπειου Πανεπιστημίου.
- Καρτέρης Μ, Μαλλίνης Γ. και Κούτσιας Ν, (2007).** «Εφαρμογές δορυφορικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής ευκρίνειας στη χαρτογράφηση και παρακολούθηση καμένων εκτάσεων», Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- A. Lanorte and R. Lasaponara, (2007).** «Fuel type characterization based on coarse resolution MODIS satellite data», Italian National Council of Research (CNR), Institute of Methodologies of Environmental Analysis.
- M. Huesca Martínez, A. Palacios-Orueta, F. Montes, A. Sebastián and P. Escribano, (2007).** «Forest Fire Potential Index for Navarra Autonomic Community (Spain)», International Wildland Fire Conference, Seville, Spain.
- J. D.A. Millington, (2005).** «Wildfire risk mapping: considering environmental change in space and time», Journal of Mediterranean Ecology, Firma Effe Publisher, Italy.

- N. A. Patah, S. Mansor and M. R. Mispan, (2002).** «An application of remote sensing and geographic information system for fire risk mapping», Malaysian Centre for Remote Sensing (MACRES), Universiti Putra Malaysia (UPM), Malaysia Agriculture Research Development Institute (MARDI).
- M. Rainha and P.M. Fernandes, (2002).** «Using the Canadian Fire Weather Index (FWI) in the Natural Park of Montesinho, NE Portugal: calibration and application to firemanagement», Forest Fire Research & Wildland Fire Safety -Viegas, Millpress.
- A. Sebastian-Lopez, J. San Miguel-Ayanz and R.E. Burgan, (2001).** «Integration of satellite sensor data, fuel type maps and meteorological observations for evaluation of forest fire potential risk at the pan-European scale», International Journal of Remote Sensing.
- J.J. Sharples, R.H.D. Mc Rae and R.O. Weber, (2007).** «A Simple Method for Determining Fire Danger», School of Physical, Environmental and Mathematical Sciences, University of New South Wales at the Australian Defence Force Academy, Canberra, Australia.
- Σταθάκης Δ, Περάκης Κ. και Φαρασλής Ι, (2008).** «Διαχρονική ανάλυση χρήσεων γης με βάση τα δεδομένα του ευρωπαϊκού προγράμματος CORINE εξετάζοντας τον πίνακα αλλαγών», Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Φείδας Χ. και Καρτάλης Κ, (2006).** «Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης», Β.Γκιούδας Εκδοτική, Αθήνα.

## 7.2 ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας: <http://www.gscp.gr>

Δορυφορικό Σύστημα Modis: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

Σύστημα Ποσειδών: <http://poseidon.hcmr.gr/>

Σύστημα Meteoalarm: <http://www.meteoalarm.rs>

Συλλογή εικόνων Modis: <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>

Πυροσβεστικό σώμα Ελλάδος: <http://www.fireservice.gr/pyr/site/home.csp>