



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών
Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

**Διερεύνηση Μεταβολών Χρήσεων Γης σε περιοχή με
συχνά συμβάντα πυρκαγιάς, χρησιμοποιώντας
δορυφορικές εικόνες: Η περίπτωση του Πεντελικού
Όρους.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΗΣ
ΠΑΛΑΙΟΛΟΓΟΥ ΛΟΥΙΖΑ ΣΤΑΜΑΤΙΑ

XANIA, 2024



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών
Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΑΛΑΙΟΛΟΓΟΥ ΛΟΥΙΖΑ ΣΤΑΜΑΤΙΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Τσουχλαράκη Ανδρονίκη (ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ)

Αλεξάκης Δημήτρης

Βουλγαράκης Απόστολος

«Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.»

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στην επιβλέπουσα μου, κ. Ανδρονίκη Τσουχλαράκη, για την πολύτιμη καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις χρήσιμες συμβουλές της κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Η συμβολή της ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Δρ. Αλεξάκη και Δρ. Βουλγαράκη, για τον χρόνο και την προσοχή που αφιέρωσαν στη μελέτη της εργασίας μου, καθώς και για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνω στον υποψήφιο διδάκτορα, κ. Πολάκη Νίκο, για τη συνεχή υποστήριξη και τις πολύτιμες γνώσεις του, οι οποίες αποτέλεσαν σημαντική βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξή τους, καθώς και στους φίλους μου για την ηθική συμπαράσταση που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Ευρετήριο Πινάκων	1
Ευρετήριο Χαρτών	1
Ευρετήριο Διαγραμμάτων	1
Ευρετήριο Εικόνων	2
Περίληψη	3
Abstract.....	4
Κεφάλαιο 1: Δασικές Πυρκαγιές.....	5
1.1 Εισαγωγή.....	5
1.2 Βασικές προϋποθέσεις για την ύπαρξη φωτιάς.....	6
1.3 Παράγοντες διαμόρφωσης της συμπεριφοράς των πυρκαγιών	7
1.4 Βασικοί παράγοντες εξάπλωσης των πυρκαγιών	9
1.5 Χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών	13
Κεφάλαιο 2: Το Πεντελικό Όρος	14
2.1 Γεωγραφικά – Ιστορικά Στοιχεία.....	14
2.2 Γεωλογία – Μορφολογία	16
2.3 Κλίμα – Βιοκλίμα	18
2.4 Χρήσεις Γης.....	19
Κεφάλαιο 3: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S)	20
3.1 Η συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών	20
3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Γ.Σ.Π.....	20
3.3 Συστατικά μέρη ΓΣΠ.....	21
3.4 Χαρτογραφική απόδοση δεδομένων	24
3.5 Εισαγωγή και αποτύπωση δεδομένων	26
3.6 Στατιστική ανάλυση.....	27
3.7 Σφάλματα	28
3.8 Το λογισμικό ArcGIS Pro	29
3.9 Βασικοί τύποι αρχείων που υποστηρίζονται από το λογισμικό ArcGIS Pro.....	30
3.10 Συνεισφορά των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην Δασική Διαχείριση	32
Κεφάλαιο 4: Δορυφορική Τηλεπισκόπηση.....	33
4.1 Η συμβολή της δορυφορικής τηλεπισκόπησης.....	33

4.2 Ορισμός της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης	34
4.3 Βασικές αρχές	34
4.4 Ιστορική αναδρομή	36
Κεφάλαιο 5: Μεθοδολογία	38
5.1 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση	38
5.2 Ταξινόμηση Εικόνας	38
5.3 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση (Supervised Classification)	39
5.4 Επεξεργασία Δεδομένων	40
5.4.1 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων	40
5.4.2 Διαδικασία Συλλογής Πολύγωνων Εκπαίδευσης (Training Samples)	41
5.4.3 Υπολογισμός Στατιστικών Παραμέτρων (Calculation of Statistical Parameters)	43
5.4.4 Επιλογή Αλγορίθμου Ταξινόμησης	43
5.4.5 Εκτέλεση της ταξινόμησης	44
5.4.6 Αξιολόγηση της ταξινόμησης	45
5.5 Χάρτης Δριμύτητας	48
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα	50
6.1 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση	51
6.1.1 Αποτελέσματα χαρτών επιβλεπόμενης ταξινόμησης	55
6.1.2 Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης και διαγράμματα	63
Κεφάλαιο 6.2 Πίνακας Σύγκρισης	68
6.2.1 Πίνακας Σύγκρισης για την χρονολογία 1993	69
6.2.2 Πίνακας Σύγκρισης για την χρονολογία 2007	70
6.2.3 Πίνακας Σύγκρισης για την χρονολογία 2021	71
6.3 Αναγωγή των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης στα σφάλματα	72
6.4 Αξιολόγηση καμένης έκτασης με τον δείκτη Normalized Burn Ratio Index (NBR)	74
6.4.1 Χάρτης δριμύτητας του Πεντελικού Όρους το έτος 1993	84
6.4.2 Χάρτης δριμύτητας του Πεντελικού Όρους το έτος 2007	85
6.4.3 Χάρτης δριμύτητας του Πεντελικού Όρους το έτος 2021	86
6.5 Σύγκριση του δείκτη Normalized Burn Ratio Index(NBR) με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης	87
Κεφάλαιο 7 : Συμπεράσματα	89
Βιβλιογραφία	92
Ελληνική Βιβλιογραφία	92
Ξένη βιβλιογραφία	92
Πηγές Δεδομένων (τελευταία πρόσβαση 15/04)	93

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Strength of agreement of Kappa statistics.....	47
Πίνακας 2: Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τη χρονολογία 2007	63
Πίνακας 3: Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τη χρονολογία 1993	63
Πίνακας 4: Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τη χρονολογία 2021	64
Πίνακας 5: Matrix Table 1993	69
Πίνακας 6: Matrix Table 2007	70
Πίνακας 7: Matrix Table 2021	71
Πίνακας 8: Τελικά αποτελέσματα εκτάσεων χρήσεων γης	72
Πίνακας 9: Αριθμός εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν ως καμένη έκταση.....	88

Ευρετήριο Χαρτών

Χάρτης 1: Χάρτης περιοχής μελέτης μετά τη πυρκαγιά για τη χρονολογία 1993. Η δορυφορική εικόνα είναι από τον δορυφόρο Landsat 5 TM (29/08/1993)	52
Χάρτης 2: Χάρτης περιοχής μελέτης μετά τη πυρκαγιά για τη χρονολογία 2007. Η δορυφορική εικόνα είναι από τον δορυφόρο Landsat 5 TM (20/08/2007).	53
Χάρτης 3: Χάρτης περιοχής μελέτης μετά τη πυρκαγιά για τη χρονολογία 2021. Η δορυφορική εικόνα είναι από τον δορυφόρο Landsat 8 ETM+ (27/09/2021).	54
Χάρτης 4: Χάρτης χρήσεων γης για τη χρονολογία 1993	57
Χάρτης 5: Χάρτης χρήσεων γης για τη χρονολογία 2007	58
Χάρτης 6: Χάρτης χρήσεων γης για τη χρονολογία 2021	59
Χάρτης 7: Κατηγορίες χρήσεων γης του Πεντελικού Όρους για τη χρονολογία 1993.....	60
Χάρτης 8: Κατηγορίες χρήσεων γης του Πεντελικού Όρους για τη χρονολογία 2007.....	61
Χάρτης 9: Κατηγορίες χρήσεων γης του Πεντελικού Όρους για τη χρονολογία 2021.....	62
Χάρτης 10: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης πριν τη πυρκαγιά το έτος 1993	75
Χάρτης 11: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης μετά τη πυρκαγιά το έτος 1993	76
Χάρτης 12: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης πριν τη πυρκαγιά το έτος 2007	78
Χάρτης 13: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης μετά τη πυρκαγιά το έτος 2007	79
Χάρτης 14: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης πριν τη πυρκαγιά το έτος 2021	81
Χάρτης 15: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης μετά τη πυρκαγιά το έτος 2021	82
Χάρτης 16: Χάρτης δριμύτητας της πυρκαγιάς τη χρονολογία 1993.....	84
Χάρτης 17: Χάρτης δριμύτητας της πυρκαγιάς για τη χρονολογία 2007	85
Χάρτης 18: Χάρτης δριμύτητας για τη πυρκαγιά τη χρονολογία 2021	86

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Έκταση αστικού ιστού ανά χρονολογία.....	64
Διάγραμμα 2: Δασική έκταση ανά χρονολογία.....	65
Διάγραμμα 3: Αγροτική έκταση ανά χρονολογία.....	65
Διάγραμμα 4: Έκταση γυμνού εδάφους ανά χρονολογία.....	66
Διάγραμμα 5: Έκταση υδάτων ανά χρονολογία	66
Διάγραμμα 6: Έκταση πυρκαγιάς ανά χρονολογία	67
Διάγραμμα 7: Συνολική απεικόνιση των αλλαγών των χρήσεων γης	67
Διάγραμμα 8: Σύγκριση αποτελεσμάτων πριν και μετά την αναγωγή σφαλμάτων για το έτος 1993 ..	73
Διάγραμμα 9: Σύγκριση αποτελεσμάτων πριν και μετά την αναγωγή σφαλμάτων για το έτος 2007 ..	73
Διάγραμμα 10: Σύγκριση αποτελεσμάτων πριν και μετά την αναγωγή σφαλμάτων για το έτος 2021	73

Διάγραμμα 11: Σύγκριση των εκτάσεων που υπολογίστηκαν από την ταξινόμηση και από τον δείκτη RBR	88
---	----

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Το τρίγωνο της φωτιάς	6
Εικόνα 2: Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς	7
Εικόνα 3: Βασικοί τύποι συμπεριφοράς πυρκαγιάς	8
Εικόνα 4 : Οι φλόγες τείνουν να αποκολλώνται πιο εύκολα από μια επιφάνεια με χαμηλή κλίση, ενώ παραμένουν προσκολλημένες σε μια επιφάνεια με μεγάλη κλίση, Rothermel (1985)	10
Εικόνα 5: Επίδραση της αλλαγής του ανέμου (EuroFire)	13
Εικόνα 6: Απεικόνιση του Όρους Πεντέλης σε σχέση με τις υπόλοιπες Περιφερειακές Ενότητες Αττικής. Βαλτοπούλου Ελένη, 2012	15
Εικόνα 7: Τοπογραφικός χάρτης Πεντελικού Όρους	17
Εικόνα 8: Γεωλογικοί σχηματισμοί Πεντελικού Όρους. Βαλτοπούλου Ελένη, 2012	18
Εικόνα 9: Συστατικά μέρη των ΓΣΠ (Longley, P. A., 2010)	24
Εικόνα 10: Ιστοσελίδα παροχής δορυφορικών εικόνων	40
Εικόνα 11: Διαγραμματική απεικόνιση του αλγορίθμου Μέγιστης Πιθανότητας	44
Εικόνα 12: Απεικόνιση του περιβάλλοντος του ArcGIS Pro για την εντολή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης	45
Εικόνα 13: Τελικό αποτέλεσμα μιας εκ των τριών επιβλεπόμενης ταξινόμησης	45
Εικόνα 14: Φασματική ανάλυση της ανάκλασης καμένων περιοχών και υγιής βλάστησης	49
Εικόνα 15: Χρωματική ταξινόμηση του χάρτη δριμύτητας βάσει του United Stage Geological Survey (USGS)	50

Περίληψη

Οι πυρκαγιές αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του βιότοπού μας, καθώς επιφέρουν καταστροφικές συνέπειες επηρεάζοντας τόσο την βλάστηση όσο και την λειτουργία του οικοσυστήματος. Αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα, τα οποία παρέχουν την δυνατότητα παρακολούθησης, καταγραφής και αποτύπωσης της επαναλαμβανόμενης κάλυψης της γήινης επιφάνειας, η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο σε όλες τις φάσεις της διαχείρισης των πυρκαγιών. Πιο συγκεκριμένα, η Τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν αποδειχθεί πολύτιμα για την ακριβή ανίχνευση των καμένων εκτάσεων, την καταγραφή των επιπτώσεων μετά από μια πυρκαγιά και την διερεύνηση των αλλαγών στην χρήση- κάλυψη της γης.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των μεταβολών των χρήσεων γης σε περιοχή με συχνά συμβάντα πυρκαγιάς. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι το Πεντελικό Όρος στην Αττική. Η χρονική περίοδος της μελέτης θα αφορά το διάστημα 1993 έως σήμερα. Στο παρόν ερευνητικό έργο, θα εφαρμοστεί ανάλυση δορυφορικών εικόνων με αρχικό στόχο τον εντοπισμό των καμένων εκτάσεων και μετέπειτα των χρήσεων γης. Τέλος μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με πολύγωνα εκπαίδευσης, θα πραγματοποιηθεί καταγραφή των χρήσεων γης στις περιόδους που θα ανιχνευτούν πυρκαγιές και σύγκριση δεικτών για κάθε χρονολογία.

Abstract

Wildfires are an integral part of our habitat, causing destructive consequences that affect both vegetation and the functioning of ecosystems. Utilizing satellite data, which provides the ability to monitor, record, and capture the recurring coverage of the Earth's surface, Remote Sensing has become a widely used tool in all phases of wildfire management. More specifically, Remote Sensing, in combination with Geographic Information Systems, has proven valuable for the accurate detection of burned areas, the assessment of post-fire impacts, and the investigation of land use and land cover changes.

The purpose of this thesis is to investigate the changes in land use in an area with frequent wildfire incidents. More specifically, the selected study area is the Penteli Mountain in Attica. The study period will cover the time span from 1993 to the present day. In this research project, satellite image analysis will be applied, with the initial goal of identifying burned areas, followed by an analysis of land use. Finally, through the process of supervised classification using training polygons, land use will be recorded for the periods when wildfires are detected, and indices will be compared for each year.

Κεφάλαιο 1: Δασικές Πυρκαγιές

1.1 Εισαγωγή

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα από τα πιο σοβαρά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα δάση και το φυσικό περιβάλλον σήμερα. Πάνω από το 10% της έκτασης της χώρας καλύπτεται από άγονες εκτάσεις εξαιτίας διαδοχικών πυρκαγιών. Τα δάση λειτουργούν ως προστατευτικό μέσο ενάντια στις πλημμύρες, τη διάβρωση του εδάφους και την κλιματική αλλαγή, ενώ ταυτόχρονα είναι οι ζωτικοί πνεύμονες του πλανήτη [25].

Παρατηρείται αυξανόμενη ευαισθησία για τις επιπτώσεις από τις ανεξέλεγκτες πυρκαγιές στη βιοποικιλότητα, την ανθρώπινη υγεία και την οικονομία. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει μη επαρκής γνώση για την βασική λειτουργία της φωτιάς στις διαδικασίες του συστήματος της γης και ελλιπής κατανόηση της αλληλεπίδρασης της πυρκαγιάς με τις ανθρώπινες περιβαλλοντικές ανάγκες.

Το Όρος Πεντέλης βρίσκεται στην Αττική και αποτελεί ένα φυσικό και πολιτιστικό θησαυρό όσο και έναν σημαντικό οικολογικό χώρο. Ωστόσο, αυτό το τοπίο έχει υποστεί επανειλημμένα πυρκαγιές λόγω του ξηρού μεσογειακού του κλίματος και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Η συνεχής έκθεση του σε αυτούς τους καταστροφικούς παράγοντες έχει διαμορφώσει το τοπίο και τις χρήσεις γης, επηρεάζοντας άμεσα τόσο το περιβάλλον όσο και τον ίδιο τον άνθρωπο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφιερώνεται στην μελέτη του τρόπου με τον οποίο οι πυρκαγιές επηρεάζουν τις χρήσεις γης στο Πεντελικό Όρος, χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες ως κύρια πηγή δεδομένων. Σε αυτό το πλαίσιο, η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αναδεικνύονται ως ισχυρά εργαλεία.

Η έρευνα αυτή αποσκοπεί στην ανάδειξη των διαδικασιών των μεταβολών της γης καθώς και η αναλυτική καταγραφή των επιπτώσεων των φαινομένων αυτών στο περιβάλλον και την κοινότητα. Μέσω της κατανόησης των μοτίβων αυτών των μεταβολών, μπορούν να διαμορφωθούν πιο αποτελεσματικές πρακτικές διαχείρισης του

τοπίου καθώς και να ληφθούν προληπτικά μέτρα για τη μείωση των κινδύνων πυρκαγιών στο μέλλον. Η καινοτομία της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγκειται στην εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών ΓΣΠ και δορυφορικής τηλεπισκόπησης για τη συστηματική παρακολούθηση και αξιολόγηση των επιπτώσεων από τις συχνές πυρκαγιές στο Πεντελικό Όρος. Καθώς και στη ταυτόχρονη σύγκριση της μεθόδου της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τους αντίστοιχους δείκτες δριμύτητας.

1.2 Βασικές προϋποθέσεις για την ύπαρξη φωτιάς

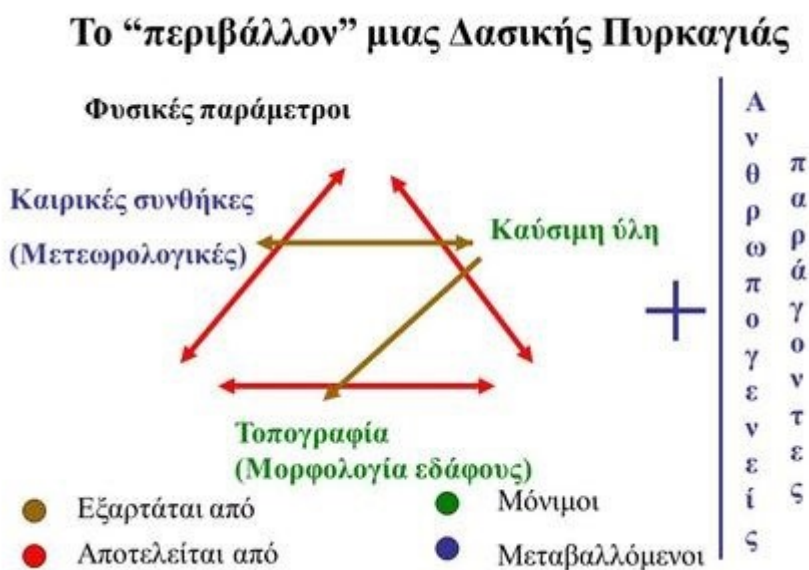
Ως πυρκαγιά ορίζεται μια μη ελεγχόμενη φλόγα που προκαλείται από καύσιμη ύλη και μπορεί να επιφέρει καταστροφικές επιπτώσεις. Η βασική προϋπόθεση για την εμφάνιση φωτιάς είναι η ταυτόχρονη παρουσία καύσιμης ύλης, πηγής θερμότητας και οξυγόνου. Αυτά τα τρία θεμελιώδη στοιχεία ονομάζονται επίσης το «τρίγωνο της φωτιάς». Το φαινόμενο αυτό συνοδεύεται παράλληλα από απελευθέρωση τεράστιων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα και θερμών αέριων μαζών στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 1: Το τρίγωνο της φωτιάς

1.3 Παράγοντες διαμόρφωσης της συμπεριφοράς των πυρκαγιών

Σύμφωνα με τον **Gill(1975)**, η φύση της πυρκαγιάς χαρακτηρίζεται από τέσσερα βασικά στοιχεία. Αρχικά αναφέρεται στην ένταση της πυρκαγιάς, η οποία σχετίζεται με τη μέγιστη θερμοκρασία που παρουσιάζεται καθώς και τη διάρκειά της, καθορίζοντας τον βαθμό επικινδυνότητάς της. Επίσης, αναφέρεται στην δυνατότητα αναγέννησης της βλάστησης από τους σπόρους που βρίσκονται στο έδαφος και τονίζει την σημασία της συχνότητας των πυρκαγιών για την ανάπτυξη της βλάστησης και την χρονική διάρκεια που απαιτείται για αυτή την διαδικασία. Τέλος, επισημαίνει τη σημασία της εποχής κατά την οποία εκδηλώνεται η πυρκαγιά, που είναι άμεσα συνδεδεμένη με την φάση ανάπτυξης της βλάστησης. Ωστόσο, σημαντική επίδραση στην πυρκαγιά έχουν και άλλοι παράγοντες όπως η συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου, ο χρόνος καύσης της περιοχής καθώς και το ιστορικό πυρκαγιάς στην ίδια γεωγραφική περιοχή.



Εικόνα 2: Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς

Λόγω της ποικιλίας των δυνάμεων που ασκούν επιρροή στη συμπεριφορά κάθε πυρκαγιάς, καμία δεν είναι πανομοιότυπη με την άλλη. Παρόλα αυτά, υπάρχει επαρκής γνώση σχετικά με τους παράγοντες που την επηρεάζουν καθώς και τις πιθανές επιπτώσεις τους σε αυτήν. Οι πυρκαγιές παρουσιάζουν μια εκτεταμένη ποικιλία συμπεριφορών. Από

ήρεμες φωτιές που σιγοκαίνε, μέχρι μεγάλες πυρκαγιές που εξαπλώνονται μεταξύ των κορυφών των δέντρων. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι συμπεριφοράς βάσει του στρώματος βλάστησης που αναπτύσσονται. Η υπόγεια (ground), η έρπουσα ή πυρκαγιά εδάφους (surface) και τέλος η επικόρυφη ή πυρκαγιά κόμης (crown fire).



Εικόνα 3: Βασικοί τύποι συμπεριφοράς πυρκαγιάς

Οι **υπόγειες πυρκαγιές** χαρακτηρίζονται από βραδεία καύση χωρίς παραγωγή καπνού, με αποτέλεσμα να μην γίνονται εύκολα αντιληπτές. Αυτού του είδους οι πυρκαγιές προκαλούνται σε τυρφώδη εδάφη, δηλαδή σε περιοχές με υψηλά ποσοστά οργανικής ύλης που δεν αποσυντίθεται εύκολα και συσσωρεύεται σε στρώσεις. Οι πυρκαγιές αυτές καταστρέφουν τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους, καθώς καίνε την οργανική ύλη που έχει αποσυντεθεί στην επιφάνεια του εδάφους ενώ παράλληλα καίγεται ο χούμος και τα πεσμένα φύλλα και κλαδιά.

Οι **έρπουσες πυρκαγιές** είναι οι πιο συνηθισμένες και συνήθως εκδηλώνονται με μεγάλη ταχύτητα εξάπλωσης. Πιο συγκεκριμένα, αυτού του είδους οι πυρκαγιές επιδρούν κυρίως στον χαμηλότερο ορίζοντα της βλάστησης και χαρακτηρίζονται από φλόγες με ύψος μικρότερο των δύο μέτρων και καίνε συνήθως δενδρύλλια, θάμνους, χορτολιβαδική βλάστηση και υπολείμματα από δέντρα. Από αυτό το είδος προέρχονται οι πυρκαγιές κόμης.

Τέλος, οι **πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες**, προκύπτουν από την καύση του υπόροφου που αποτελείται από θαμνώδης βλάστηση και μικρά δέντρα, ενώ στην συνέχεια

εξαπλώνεται στην κόμη των δέντρων. Αναφέρονται σε φωτιές που εκδηλώνονται και εξαπλώνονται στην κόμη των δέντρων σε πυκνά και ψηλά δάση. Θεωρούνται από τις πιο σοβαρές και επικίνδυνες πυρκαγιές εξαιτίας της μεγάλης έντασης και της ταχείας εξάπλωσής τους [1].

1.4 Βασικοί παράγοντες εξάπλωσης των πυρκαγιών

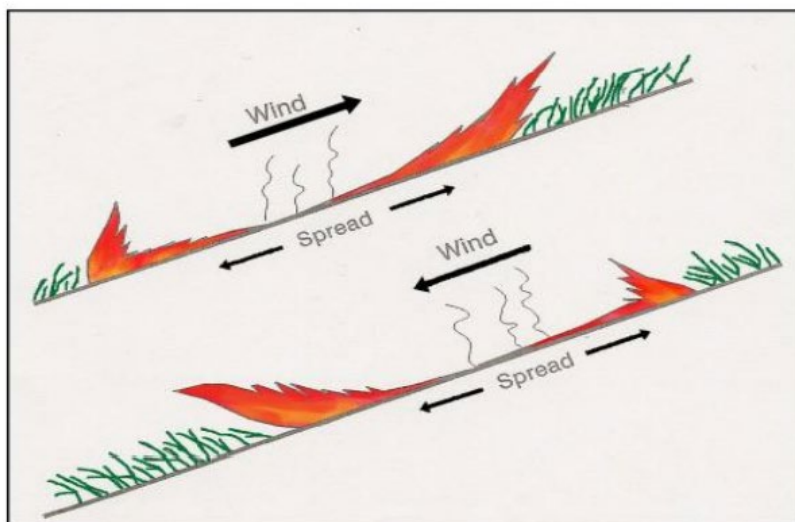
Η εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς αντιπροσωπεύει ένα σύνθετο φαινόμενο που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Σημαντικό ρόλο έχει η τοπογραφία της περιοχής, καθώς η μορφολογία του εδάφους και η συνολική διάταξη της έκτασης μπορούν να επηρεάσουν τον τρόπο με τον οποίο η φωτιά διαδίδεται. Επιπλέον, η παροχή καύσιμης ύλης στην περιοχή έχει κρίσιμη σημασία, καθώς οι εύφλεκτοι πόροι μπορούν να τροφοδοτήσουν τις φλόγες. Τέλος, οι μετεωρολογικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, η ένταση του αέρα και η υγρασία επηρεάζουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση εξάπλωσης της φωτιάς. Συνεπώς, η κατανόηση και η ανάλυση αυτών των παραγόντων αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την αντιμετώπιση και την αποτροπή των πυρκαγιών.

Τοπογραφία

Η τοπογραφία επηρεάζει σημαντικά την διαδικασία εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Η φυσική κίνηση των θερμών αερίων προς τα πάνω έχει ως αποτέλεσμα την ταχύτερη εξάπλωση της φωτιάς προς την κορυφή μιας πλαγιάς. Αυτό επιτυγχάνεται διότι ο θερμός αέρας ανασύρει και ξηραίνει τα υλικά καύσης, προκαλώντας την επιτάχυνση της φλόγας και την ταχεία εξάπλωση της προς τα ανώτερα της πλαγιάς.

Επιπλέον, έντονα γεωμορφικά χαρακτηριστικά όπως φαράγγια, απότομες πλαγιές, ράχες και ρεύματα ευνοούν τη διάδοση της. Ειδικότερα, σε περιπτώσεις φαραγγιών με πυκνή βλάστηση διοχετεύεται ο άνεμος σε ένα στενό μονοπάτι με μεγάλη ταχύτητα, με αποτέλεσμα η φωτιά να εξαπλωθεί γρήγορα και με μεγάλη ένταση με τον κίνδυνο της εκρηκτικής συμπεριφοράς.

Η γωνία κλίσης του εδάφους επηρεάζει την ικανότητα μιας πυρκαγιάς να μεταδίδει θερμότητα σε γειτονικά άκαυστα καύσιμα. Οι πυρκαγιές που εκδηλώνονται σε κλίση είναι περισσότερο αποτελεσματικές στην θέρμανση του περιβάλλοντος με την ακτινοβολία τους και του φαινομένου μεταφοράς θερμότητας και συμπεριφέρονται σαν να κινούνται με την φυσική ροή του ανέμου. Αντίστοιχα, οι πυρκαγιές που εξαπλώνονται κατά μήκος μιας κατηφόρας φαίνεται να εξαπλώνονται ταχύτερα σε χαμηλότερα υψόμετρα, ενθαρρύνοντας την γρήγορη εξάπλωσή της φωτιάς.



Εικόνα 4 : Οι φλόγες τείνουν να αποκολλώνται πιο εύκολα από μια επιφάνεια με χαμηλή κλίση, ενώ παραμένουν προσκολλημένες σε μια επιφάνεια με μεγάλη κλίση, Rothermel (1985)

Η έκθεση είναι η κατεύθυνση στην οποία είναι προσανατολισμένη μια πλαγιά και ασκεί σημαντική επίδραση στην συμπεριφορά της φωτιάς, διότι συμβάλλει στην αλλαγή της θερμοκρασίας και της υγρασίας της καύσιμης ύλης. Αναλυτικότερα, στις βόρειες πλαγιές, όπου η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία είναι περιορισμένη, η καύσιμη ύλη είναι υπόθερμη και με περισσότερη υγρασία σε σύγκριση με άλλες πλαγιές. Στις νότιες πλαγιές επικρατούν θερμότερες και πιο ξηρές συνθήκες, κυρίως κατά τις πιο κρίσιμες περιόδους της ημέρας. Επιπλέον, η κατεύθυνση μιας πλαγιάς επηρεάζει το θερμικό προφίλ της, καθώς οι ανατολικές πλαγιές θερμαίνονται πιο έντονα τις πρωινές ώρες, ενώ οι δυτικές λαμβάνουν ηλιακή ακτινοβολία μέχρι την δύση του ηλίου.

Παρ'όλα αυτά η γεωμορφολογία μπορεί να έχει θετικό αποτέλεσμα λόγω της ύπαρξης φυσικών εμποδίων. Οι βραχώδεις περιοχές, οι λίμνες, τα ποτάμια ή και οι μεγάλοι αυτοκινητόδρομοι αποτρέπουν την διάδοση της φωτιάς ενώ παράλληλα περιλαμβάνουν περιοχές που δεν έχουν καύσιμα υλικά.

Καύσιμη Ύλη

Η αρχή μιας δασικής πυρκαγιάς ξεκινά με την ανάφλεξη του καυσίμου. Η διαδικασία ανάφλεξης του καυσίμου επιτυγχάνεται όταν τα καύσιμα προθερμανθούν έως την θερμοκρασία των 300°C , πιο συγκεκριμένα η θερμοκρασία της περιεχόμενης υγρασίας των καυσίμων αυξάνεται, στην συνέχεια εξατμίζεται και τέλος τα καύσιμα προθερμαίνονται και πυρολύονται. Κατά την διαδικασία καύσης τους ελευθερώνονται εύφλεκτα αέρια που αντιδρούν με το διαθέσιμο οξυγόνο, καθώς η θερμοκρασία τους πλησιάζει τους 300°C - 350°C , εμφανίζεται η φλόγα.

Το δάσος αποτελεί καύσιμη ύλη, αφού όλα τα μέρη του (φυλλόστρωμα, βελόνες, κλαδιά, δένδρα, θάμνοι) είναι αναφλέξιμα υλικά. Κατά την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς, καύσιμο θεωρείται οτιδήποτε μπορεί να καεί, είτε είναι φυσικό είτε είναι τεχνητό.

Ωστόσο ο τρόπος ανάφλεξής τους και η επίδρασή τους ποικίλει ανάλογα με την υγρασία τους την ποσότητα τους και την διάταξη τους στην έκταση. Η διάταξη στον χώρο κατηγοριοποιεί την καύσιμη ύλη σε υποεδάφια, επιφανειακή και ανωρόφου.

Υποεδάφια δασικά καύσιμα αποτελούν όλα τα αναφλέξιμα υλικά που βρίσκονται στο έδαφος ή πάνω σε αυτό όπως ο χούμος, τα φύλλα, τα χόρτα, τα πεσμένα κλαδιά, οι μικροί θάμνοι και τα πρέμνα. Αυτού του είδους τα υλικά αποτελούν την αρχή μιας δασικής πυρκαγιάς που μπορεί να ξεκινήσει ως υπόγεια και να καταλήξει σε καταστροφικές συνέπειες, λόγω της επικίνδυνης συμπεριφοράς της.

Η επιφανειακή καύσιμη ύλη περιλαμβάνει τα ζωντανά και νεκρά δασικά καύσιμα που βρίσκονται σε απόσταση έως και 2 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους, για παράδειγμα χόρτα, νεαρά δέντρα, μορφές βιομάζας που βρίσκονται στην κόμη και πρέμνα (Αθανασίου, 2017). Η ανάφλεξη της οδηγεί σε αύξηση της έντασης και του ύψους της φλόγας και ως αποτέλεσμα την εξάπλωση της πυρκαγιάς σε μεγάλες αποστάσεις.

Τα δασικά καύσιμα ανωρόφου ή αλλιώς εναέρια βλάστηση είναι οι κόμες δέντρων και θάμνων που βρίσκονται σε ύψος μεγαλύτερο των 3 μέτρων και συμπεριλαμβάνονται στις πυρκαγιές κόμης σε περίπτωση υψηλής έντασης.

Ένας θεμελιώδης παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται η θερμική ένταση μιας φωτιάς είναι η ποσότητα της καύσιμης ύλης, η οποία μετράται σε τόνους ή κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο. Όσο περισσότερη καύσιμη ύλη υπάρχει τόσο περισσότερη ενέργεια εκλύεται. Αντίθετα, η ένταση του μετώπου μιας πυρκαγιάς δεν είναι ανάλογη με την ποσότητα του καυσίμου. Για παράδειγμα, μια πυρκαγιά που εξελίσσεται σε ένα πευκόδασος με πολύ στεγνά κλαδιά και πευκοβελόνες και ποσότητα καύσιμης ύλης 2 τόνων μπορεί να προκαλέσει πιο έντονη και γρήγορη εξάπλωση συγκριτικά με μια πυρκαγιά με πυκνά χόρτα και ποσότητα καύσιμης ύλης 4 τόνων. Αυτό οφείλεται στις διαφορετικές ιδιότητες του υλικού που φλέγεται καθώς και στις περιβαλλοντικές συνθήκες.

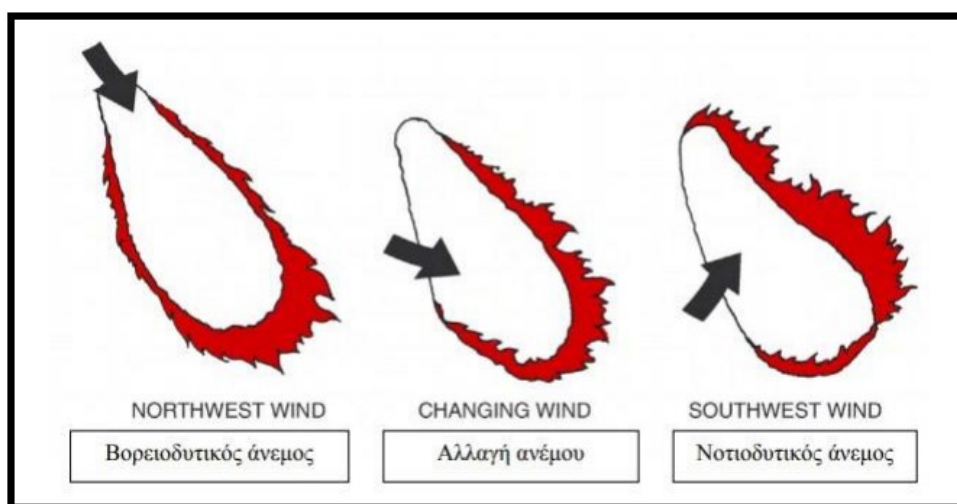
Η καύσιμη ύλη κατηγοριοποιείται επίσης ανάλογα με το μέγεθος της, το οποίο επηρεάζει το πόσο γρήγορα η ύλη είναι διαθέσιμη για καύση. Σημαντικό ρόλο έχει το ποσοστό υγρασίας. Τα λεπτά καύσιμα υλικά όπως είναι οι πευκοβελόνες, τα φύλλα, τα κλαδιά και γενικότερα οτιδήποτε με διάμετρο μικρότερη από 6mm χάνουν γρήγορα την υγρασία τους με αποτέλεσμα να ξηραίνονται ευκολότερα και να είναι ευάλωτα στην ανάφλεξη. Αντιθέτως, τα καύσιμα μεγάλης διαμέτρου όπως οι κορμοί των δέντρων και τα χοντρά κλαδιά χάνουν με πιο αργούς ρυθμούς την υγρασία τους και κατά συνέπεια απαιτούν περισσότερο χρόνο για να θερμανθούν και εν συνεχεία να επέλθει η ανάφλεξή τους [9].

Μετεωρολογικές Συνθήκες

Η επίδραση των καιρικών συνθηκών στην συμπεριφορά των πυρκαγιών αποτελεί σημαντικό αντικείμενο μελέτης. Η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα, τα κατακρημνίσματα (χιόνι, χαλάζι, βροχή) , η ευστάθεια της ατμόσφαιρας καθώς και οι υδροαποθέσεις επηρεάζουν την εμφάνιση και εξάπλωση των πυρκαγιών.

Η θερμοκρασία ασκεί επίδραση στην πυρκαγιά διότι ξηραίνει την φυτοκάλυψη με αποτέλεσμα να αυξάνει την ευφλεκτότητα των καυσίμων και παράλληλα την διαδικασία ανάφλεξής τους. Επίσης, οι υψηλές θερμοκρασίες συνεισφέρουν στην αύξηση της πυκνότητας του αέρα και συνεπώς στην ένταση του.

Ο άνεμος είναι ο σημαντικότερος παράγοντας καθώς επηρεάζει τον ρυθμό εξάπλωσης μέσω της τροφοδοσίας οξυγόνου στην καύση αυξάνοντας έτσι την ένταση της φωτιάς. Παράλληλα, εκτός του ότι ο άνεμος κατευθύνει την πορεία της πυρκαγιάς, η δυναμική του αέρα προθερμαίνει τα υλικά κάνοντας τα πιο εύφλεκτα. Η μεταφορά καύτρας ή στάχτης μέσω του αέρα είναι κρίσιμης σημασίας καθώς δημιουργούνται νέες εστίες κάτι που μπορεί να επηρεάσει την διεύθυνση του ανέμου.



Εικόνα 5: Επίδραση της αλλαγής του ανέμου (EuroFire)

Η σχετική υγρασία του αέρα, η ηλιοφάνεια και τα κατακρημνίσματα έχουν κρίσιμο ρόλο στην εξέλιξη των πυρκαγιών, αφού η υψηλή υγρασία μειώνει την εύφλεκτη διάθεση των καύσιμων υλικών. Επιπλέον, σε περιόδους σταθερής βροχόπτωσης με μεγάλη χρονική διάρκεια, αυξάνεται το ποσοστό υγρασίας της καύσιμης ύλης και καθίσταται δύσκολη η ανάφλεξή της. Αντίθετα, στην περίπτωση μεγάλης έντασης βροχής αλλά για σύντομο χρονικό διάστημα τα καύσιμα δεν απορροφούν αρκετή υγρασία και δεν αναστέλλεται η ευφλεκτότητα τους.

1.5 Χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών

Η συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς χαρακτηρίζεται από πολλά στάδια και παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξή της, όπως τον τρόπο ανάφλεξης των καυσίμων, την δημιουργία και διάδοση της φλόγας, την τοπογραφική κατάσταση της περιοχής κ.ά. Είναι

αναγκαίο για να περιγραφεί αυτή η συμπεριφορά να αναφερθούν τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά μιας πυρκαγιάς. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στον τρόπο διάδοσης της πυρκαγιάς και τους παράγοντες που την κατευθύνουν. Όσον αφορά τα ποσοτικά χαρακτηριστικά σε αυτά περιλαμβάνονται ο ρυθμός εξάπλωσης, το μήκος της έκτασης που έχει καεί, την ένταση της πυρκαγιάς και το μήκος και ύψος της φλόγας.

Κεφάλαιο 2: Το Πεντελικό Όρος

Η περιοχή μελέτης, το Πεντελικό Όρος, επιλέχθηκε λόγω της γεωγραφικής του δομής και της συχνής εμφάνισης πυρκαγιών κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Η περιοχή αυτή με την πλούσια βλάστηση και τη φυσική ομορφιά της έχει έρθει αντιμέτωπη με μια σειρά επανειλημμένων πυρκαγιών τις τελευταίες δεκαετίες. Παρακάτω θα εξεταστεί αναλυτικότερα η παρουσία αυτού του φαινομένου στο Πεντελικό Όρος και οι επιπτώσεις του στο οικοσύστημα και την κοινότητα της περιοχής.

2.1 Γεωγραφικά – Ιστορικά Στοιχεία

Το Πεντελικό Όρος βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου Αττικής και εκτείνεται κυρίως στο τμήμα του Δήμου Διονύσου, καλύπτοντας σχεδόν ολόκληρο το Δήμο Πεντέλης. Επίσης, περιλαμβάνει ένα μικρό κομμάτι νοτιοανατολικά του Δήμου Ωροπού, καθώς και μεγάλο μέρος νοτιοδυτικά του Δήμου Μαραθώνα. Προς το νότο, εκτείνεται στο βόρειο τμήμα των Δήμων Παλλήνης και Ραφήνας – Πικερμίου, ενώ καταλαμβάνει σημαντική έκταση του ανατολικού τμήματος του Δήμου Κηφισιάς.

Βάσει της νέας διοικητικής οργάνωσης που καθορίζεται από το Πρόγραμμα Καλλικράτης (Ν.3852/2010, ΦΕΚ 87/Α/7-6-2010), η Περιφέρεια Αττικής διαιρείται σε οκτώ Περιφερειακές Ενότητες. Συνεπώς, το Όρος Πεντέλης διοικητικά ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Βορείου Τομέα Αθηνών όπου περιλαμβάνονται οι Δήμοι Κηφισιάς, Πεντέλης και Βριλησίων και στην Περιφερειακή Ενότητα Ανατολικής Αττικής που αποτελείται από τους Δήμους Ωροπού, Μαραθώνα, Διονύσου, Παλλήνης και Ραφήνας – Πικερμίου.



Εικόνα 6: Απεικόνιση του Όρους Πεντέλης σε σχέση με τις υπόλοιπες Περιφερειακές Ενότητες Αττικής.
Βαλτοπούλου Ελένη, 2012

Η ιστορία της Πεντέλης ξεκινά από την αρχαιότητα, όταν οι αρχαίοι Έλληνες τίμησαν το βουνό με θεότητες όπως οι Νύμφες και οι Χάριτες. Πιο συγκεκριμένα, κατά την αρχαιότητα το Πεντελικό Όρος είχε την ονομασία Βριλησσός, προερχόμενη από τον λαό Βρίλ που κατοικούσε στις πλαγιές του.

Η ίδρυση του αρχαίου Δήμου Πεντέλης τον 6^ο αιώνα π.Χ στα σημερινά όρια της κεντρικής πλατείας της Αγίας Τριάδας ενίσχυσε την οικιστική δραστηριότητα στις πλαγιές του Πεντελικού Όρους. Αυτό συνέβη διότι οι Αθηναίοι εκμεταλλεύτηκαν την εξόρυξη μαρμάρου από το βουνό, χρησιμοποιώντας το καθαρό και λευκό πεντελικό μάρμαρο για την κατασκευή σημαντικών μνημείων όπως το Ερέχθειο, το Θησείο, ο Παρθενώνας και η Ακαδημία Αθηνών. Εντός των ορίων του Πεντελικού Όρους εντοπίζεται και η Λίμνη του Μαραθώνα, η οποία κατασκευάστηκε το 1930 με σκοπό την υδροδότηση της Αθήνας, ενώ σε κοντινή απόσταση από την Λίμνη εντοπίζεται ο τύμβος του Μαραθώνα, το μέρος που δόθηκε η ιστορική μάχη το 490π.Χ.

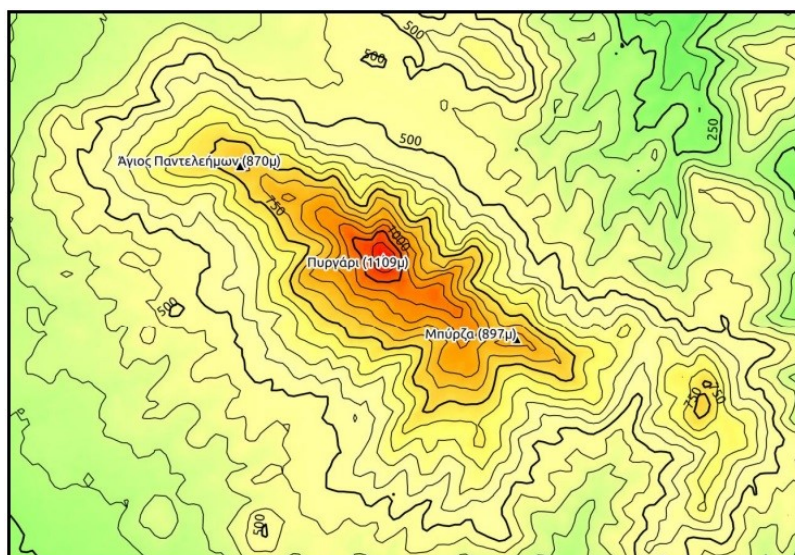
Μετά το πέρας της ρωμαϊκής περιόδου, η εκρηκτική εξάπλωση του χριστιανισμού σηματοδότησε την έναρξη της βυζαντινής περιόδου για την Πεντέλη. Οι πρώτοι μοναχοί

ίδρυσαν ερημητήρια στο Πεντελικό Όρος από την προ-βυζαντινή περίοδο. Σήμερα, ο παλαιότερος σωζόμενος βυζαντινός ναός στην Πεντέλη βρίσκεται στην νοτιοδυτική πλευρά του βουνού, σε υψόμετρο 720μ., και είναι η «Σπηλιά του Νταβέλη». Άλλοι σημαντική ναοί εκείνης της περιόδου, που διασώζονται στο Πεντελικό Όρος, είναι ο ναός του Αγίου Νικολάου και οι Άγιοι Ασώματοι.

Με την ίδρυση του ανεξάρτητου ελληνικού κράτους το 1830, η Πεντέλη γνωρίζει ια νέα φάση στην ιστορία της, καθώς η Δούκισσα της Πλακεντίας, Σοφία Ντε Μαρμπουά, εγκαθίσταται μόνιμα στην Πεντέλη. Σε συνεργασία με τον Αρχιτέκτονα Σταμάτη Κλεάνθη και τον μηχανικό Αλέξανδρο Γεωργαντά, αγοράζει κτήματα στην περιοχή της Πεντέλης με σκοπό να ιδρύσει το νέο Δουκάτο της. Την ίδια χρονική περίοδο, πολλοί κάτοικοι από τα Μεσόγεια Αττικής μεταναστεύουν στην Πεντέλη με κίνητρο την εύκολη πρόσβαση στις βιομηχανίες επεξεργασίας ρετσινιού και την εύρεση εργασίας [12] [2].

2.2 Γεωλογία – Μορφολογία

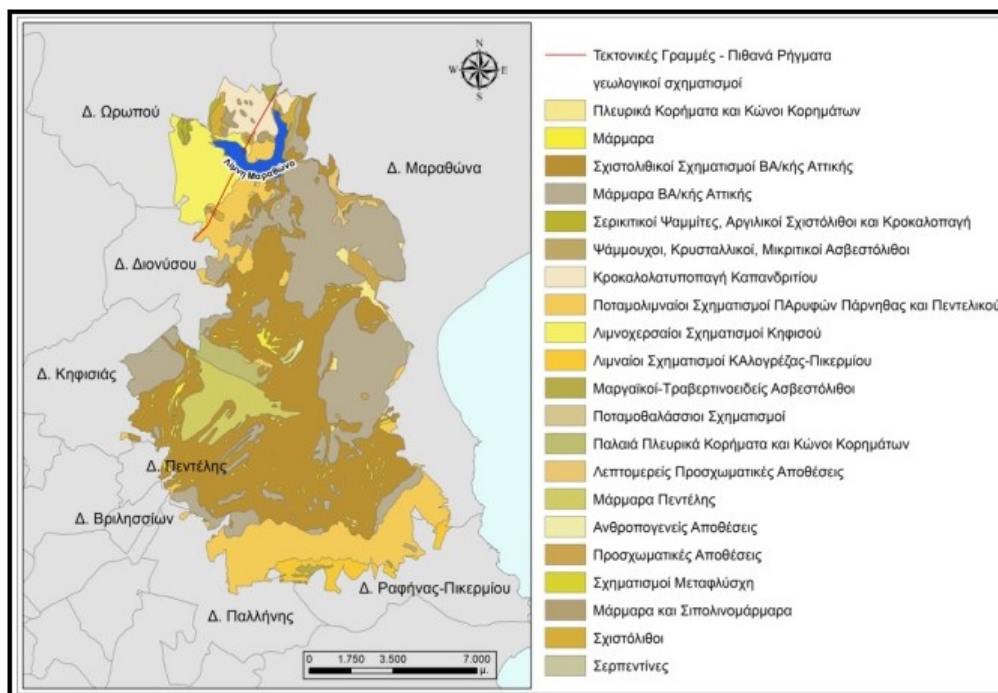
Το Πεντελικό Όρος ανήκει στους δεύτερους υψηλότερους ορεινούς όγκους της Αττικής, με υψόμετρο 1106 m και συνολική έκταση 28,878 km^2 . Η γεωμορφολογία της περιοχής διαμορφώνεται από τις κορυφές Πυργάρι (1108 m), Μπρύζα (897 m) και Άγιος Παντελεήμων (870 m). Οι κορυφές αυτές προσδιορίζουν την ΒΔ-ΝΑ κατεύθυνση ανάπτυξης του Πεντελικού Όρους [5]. Αναλυτικότερα, το ορεινό τοπίο της νοτιοδυτικής πλευράς χαρακτηρίζεται από κορυφές με αποστρογγυλεμένο σχήμα, ενώ παρουσιάζει μέτριες κλίσεις, όπως και η βορειοδυτική πλευρά. Αυτό το σχήμα των κορυφών διαμορφώνεται ανάλογα με τη θέση και τον τύπο των γεωλογικών σχηματισμών, με τις πιο απότομες κλίσεις να εντοπίζονται στη βορειοανατολική πλευρά των τριών υψηλότερων κορυφών.



Εικόνα 7: Τοπογραφικός χάρτης Πεντελικού Όρους

Η ορυκτολογική σύσταση του Όρους Πεντέλης περιλαμβάνει κυρίως ασβεστίτη (98%) και ένα μικρό ποσοστό χαλαζία (0,5%). Το Όρος εντάσσεται γεωτεκτονικά στην Αττικοκυκλαδική Ζώνη. Δομικά η περιοχή έρευνας, αποτελείται από μεσοζωικής ηλικίας κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, μάρμαρα και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους. Η στρωματογραφική διάταξη του Πεντελικού Όρους αναπτύσσεται σε τρεις κύριες γεωλογικές ζώνες. Αυτές περιλαμβάνουν το κατώτερο μάρμαρο, που λειτουργεί ως υπόστρωμα, τον πυρήνα της γεωμορφικής εξέλιξης, τους μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους της Καισαριανής, οι οποίοι αναπτύσσονται πάνω από το κατώτερο μάρμαρο και τέλος το ανώτερο μάρμαρο, που κυριαρχεί στις υψηλότερες γεωμορφικές ζώνες και διαμορφώνει τα υψηλότερα τμήματα των προλόφων του Όρους. Η παραπάνω περιγραφή, σύμφωνα με το έργο των Κίλια, Βουδούρη, Κατερινοπούλου και Καβούρη (2004), επισημαίνει την στρωματογραφική ποικιλομορφία και πολυπλοκότητα της περιοχής.

Επίσης, έχει διαμορφωθεί ένας πλούσιος υδροφόρος ορίζοντας, εξαιτίας της διάταξης των πετρωμάτων της Πεντέλης καθώς είναι υδροπερατά και υδατοστεγή. Ωστόσο, η υπερβολική χρήση αυτού του υδάτινου πλούτου, λόγω της έντονης αστικοποίησης των γύρω περιοχών, έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση της στάθμης των υδάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την εξαφάνιση των πλούσιων υδάτινων πηγών και την εξάντληση πολλών μικρότερων [2].



Εικόνα 8: Γεωλογικοί σχηματισμοί Πεντελικού Όρους, Βαλτοπούλου Ελένη, 2012

2.3 Κλίμα – Βιοκλίμα

Η γεωγραφική θέση και το υψόμετρο αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη διαμόρφωση του κλίματος σε μια περιοχή. Ειδικότερα στα ορεινά τοπία, η αύξηση του υψομέτρου οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας και της υγρασίας, ανεξαρτήτως εάν οι βροχοπτώσεις αυξάνονται. Η Πεντέλη με το υψόμετρο της να φτάνει στα 1.106 m και την πλούσια βλάστησή της, παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα ξηρό κλίμα, με μέσο ετήσιο ύψος βροχής 500mm. Ενδεικτική είναι και η περίοδος των χιονοπτώσεων την χειμερινή περίοδο, καθώς διαρκούν περίπου 10 ημέρες το χρόνο στα υψηλά σημεία του ορεινού όγκου. Το κλίμα της περιοχής μελέτης παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία στη βιοκλιματική του διαφοροποίηση, ξεκινώντας από το ασθενές θερμο-μεσογειακό βιοκλίμα που επικρατεί έως το υψόμετρο των 500-550 m, το οποίο χαρακτηρίζεται από 100 έως 125 ημέρες ξηρασίας τον χρόνο. Από αυτό το υψόμετρο και πάνω παρατηρείται έντονο μεσογειακό κλίμα με χαμηλότερο αριθμό ξηρών ημερών τον χρόνο (75-100 ημέρες). Ωστόσο, εξαιτίας της επίδρασης της θάλασσας, το βορειοανατολικό τμήμα του Πεντελικού Όρους χαρακτηρίζεται ως δροσερότερο και πιο υγρό από το νοτιοδυτικό τμήμα.

2.4 Χρήσεις Γης

Το Πεντελικό Όρος καλύπτεται κυρίως από δάση κωνοφόρων, σκληροφυλλική βλάστηση, δασώδεις και θαμνώδεις περιοχές και έχει κηρυχτεί ως «τοπίο ιδιαίτερου φυσικού κάλλους»

Οι θεσμοθετημένες χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης καθορίζονται από το Σύνταγμα, την δασική νομοθεσία, τον Νόμο 669/77, την αρχαιολογική νομοθεσία καθώς και από το Προεδρικό Διάταγμα 755/88. Αναλυτικότερα, το Π.Δ καθορίζει τα όρια του Πεντελικού Όρους και τις ζώνες προστασίας Α, Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ και Ζ στις οποίες οι χρήσεις, οι όροι και οι περιορισμοί δόμησης διαφοροποιούνται. Η ζώνη Α ορίζεται ως περιοχή αναψυχής, αθλητισμού και γεωργικής χρήσης. Η ζώνη Β είναι αποκλειστικά για γεωργική χρήση, η ζώνη Γ καθορίζεται για κατοικία και γεωργική χρήση, ενώ η ζώνη Δ θεωρείται και αυτή περιοχή αναψυχής. Στην συνέχεια, η ζώνη Ε έχει λάβει τον ρόλο της περιοχής για λατομική χρήση, η ζώνη ΣΤ ορίζεται για περιβαλλοντική εκπαίδευση και αναψυχή και τέλος η ζώνη Ζ καθορίζεται ως ζώνη αναψυχής, πολιτιστικών εκδηλώσεων και αθλητισμού.

Το άρθρο 24 του Συντάγματος περιλαμβάνει ειδική πρόβλεψη για την προστασία των δασικών εκτάσεων, επιβάλλοντας υποχρεωτικές αναδασώσεις σε καμένες ή εκχερσωμένες εκτάσεις, αποκλείοντας τη διάθεσή τους για οποιονδήποτε άλλο σκοπό. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Νόμο 669/77 απαγορεύεται η λατόμηση στο νότιο τμήμα του Πεντελικού Όρους, ενώ βάσει των Νόμων 1650/86, 998/79 και 2742/99 προβλέπεται Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων με σκοπό την αποκατάσταση των ανενεργών (αργούντων) λατομείων. Η υποχρέωση σύνταξης Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων τέθηκε με το Σύνταγμα του 1975, ωστόσο η πλήρης εφαρμογή της καθυστέρησε λόγω της ψήφισης του Νόμου 998/79 κάποια χρόνια μετά την εγκατάλειψη των λατομείων.

Κεφάλαιο 3: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S)

3.1 Η συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) είναι ολοκληρωμένα συστήματα (hardware, software, δεδομένα, άνθρωπος) που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, αποθήκευση, διαχείριση, ανάλυση και απεικόνιση πληροφοριών σχετικών με ζητήματα γεωγραφικής φύσης (Τσουχλαράκη,2000). Έχουν παγκόσμια αναγνώριση ως το πιο κατάλληλο και αποτελεσματικό εργαλείο για την επίλυση χωρικών προβλημάτων, με εκατοντάδες εφαρμογές που συνεχώς επεκτείνονται. Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών ενσωματώνονται σε κάθε επιστήμη που ασχολείται με τον χώρο, την περιγραφή και την ανάλυση του, συμβάλλοντας στην αποδοτικότερη αποθήκευση, επεξεργασία και ενημέρωση των δεδομένων.

3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Γ.Σ.Π

Πλεονεκτήματα

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) χρησιμοποιούνται για ποικίλες και διαφορετικές εφαρμογές, καλύπτοντας πολλές ανάγκες των χρηστών. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των ΓΣΠ είναι η αποδοτική αποθήκευση δεδομένων, επιτρέποντας την αφομοίωση μεγάλου όγκου πληροφοριών και την αποφυγή ασυμφωνιών που μπορεί να προκύψουν λόγω πολλαπλών καταχωρίσεων. Η αποθήκευση των πληροφοριών σε ψηφιακή βάση δεδομένων συμβάλλει στην διατήρηση της αρχικής τους ακρίβειας, προσφέροντας παράλληλα ευκολία στην επεξεργασία, την ενημέρωση, και την μετατροπή τους.

Η χρήση των ΓΣΠ εξυπηρετεί την παραγωγή ιδιαίτερων χαρτών για συγκεκριμένες εφαρμογές και παρέχει δυνατότητες μέσω της σύνδεσης των χωρικών και των περιγραφικών δεδομένων. Επίσης, τα ψηφιακά δεδομένα των ΓΣΠ εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ασφάλεια και προστασία των πληροφοριών από καταστροφές, ενώ παράλληλα καθίσταται δυνατή η άμεση τηλεμετάδοση τους.

Με την ευρεία τους χρησιμότητα, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν ένα ζωτικής σημασίας εργαλείο για την επίλυση χωρικών προβλημάτων και στην υποστήριξη λήψης αποφάσεων σε ποικίλους τομείς. Ενδεικτικά, κάποιες από τις εφαρμογές περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό περιοχών με βάση τα χαρακτηριστικά των χρήσεων γης και της γεωλογίας, η ανεύρεση μιας βέλτιστης διαδρομής, η χωροθέτηση εγκαταστάσεων έως και οι κοινωνικοοικονομικές μελέτες. Εξαιτίας της ικανότητας τους να συνδέουν και να αναλύουν δεδομένα, καθίστανται απαραίτητο εργαλείο σε οποιαδήποτε επιστήμη σχετίζεται με τον χώρο και την περιγραφή του.

Μειονεκτήματα

Ακόμη και στη σύγχρονη εποχή της ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών παραμένουν ένα ακριβό εργαλείο στην αγορά, την εγκατάσταση και την συντήρησή τους. Αυτό το υψηλό κόστος αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για πολλές ερευνητικές εταιρίες και οργανώσεις που επιθυμούν να τα ενσωματώσουν στις διαδικασίες τους. Επιπλέον, η μετάβαση από αναλογικά σε ψηφιακά συστήματα μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις λόγω του ότι είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, ενώ παράλληλα απαιτείται εκπαίδευση του προσωπικού με σκοπό να μάθουν το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος.

Τέλος, παρατηρείται μια έλλειψη τυποποίησης και προδιαγραφών και ως συνέπεια δημιουργούνται προβλήματα συμβατότητας και ενσωμάτωσης δεδομένων από διαφορετικές πηγές, όπως επίσης εμφανίζονται δυσκολίες στην ανταλλαγή και τη συνεργασία μεταξύ διαφόρων οργανισμών, διότι χρησιμοποιούν διαφορετικά συστήματα και τύπους δεδομένων που ίσως να μην υποστηρίζονται.

3.3 Συστατικά μέρη ΓΣΠ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) είναι πολύπλοκα συστήματα τα οποία συνίστανται από διάφορα βασικά συστατικά. Αυτά περιλαμβάνουν το διαδίκτυο, το υλικό, το λογισμικό, τα δεδομένα, τις λειτουργίες και τέλος τους χρήστες.

Διαδίκτυο

Το διαδίκτυο αποτελεί τον θεμέλιο λίθο για την σύνδεση και την απομακρυσμένη πρόσβαση στα δεδομένα. Επιπλέον, παρέχει την βάση για την κοινή χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας την πληροφορία διαθέσιμη παγκοσμίως. Με αυτόν τον τρόπο οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε γεωγραφικά δεδομένα από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου, με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η συνεργασία και η ανταλλαγή πληροφοριών.

Συσκευές αλληλεπίδρασης

Η υλικοτεχνική υποδομή που χρησιμοποιείται στα ΓΣΠ αφορά τις συσκευές αλληλεπίδρασης με το σύστημα. Οι επιτραπέζιοι ή φορητοί υπολογιστές είναι ουσιαστικοί για την εκτέλεση των εφαρμογών, καθώς εξασφαλίζουν την δυνατότητα διαχείρισης μεγάλων και σύνθετων γεωγραφικών δεδομένων. Βάσει των Καϊμάρη και Καρανικόλα (2014), «οι σύγχρονοι υπολογιστές είναι εξοπλισμένοι με την απαραίτητη ισχύ για την επεξεργασία και την απεικόνιση πολύπλοκων γεωχωρικών πληροφοριών».

Λογισμικό

Εξίσου σημαντικό στα ΓΣΠ είναι το λογισμικό, καθώς αποτελεί το μέσο για την εισαγωγή, αποθήκευση, διαχείριση, επεξεργασία και ανάλυση των γεωγραφικών πληροφοριών. Τα σύγχρονα ΓΣΠ προσφέρουν προηγμένες δυνατότητες που διευκολύνουν την αποδοτική διαχείριση, οργάνωση και λειτουργία των πληροφοριών, κάνοντας εφικτή την παραγωγή χαρτών και την εκτέλεση χωρικών αναλύσεων.

Δεδομένα

Τα δεδομένα είναι η καρδιά των ΓΣΠ και αφορούν τις πληροφορίες που μπορούν να αναλυθούν και να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων σε γεωγραφικό επίπεδο. Τα δεδομένα είναι χαρτογραφικά, δημογραφικά, περιβαλλοντικά ή κοινωνικοοικονομικά. Ωστόσο, η ακρίβεια και η ποιότητα τους είναι κρίσιμης σημασίας για την εφαρμογή των ΓΣΠ, αφού καθορίζουν την αξιοπιστία των αναλύσεων και των παραγόμενων χαρτών.

Τα ψηφιακά χωρικά μοντέλα ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, τα διανυσματικά μοντέλα και τα μωσαϊκά ή πινακοποιημένα μοντέλα.

❖ Διανυσματικά Μοντέλα (Vector Models):

Στα διανυσματικά μοντέλα, η θεμελιώδης μονάδα αναπαράστασης στο γεωγραφικό χώρο είναι η γραμμή, η οποία περιγράφεται ως μια ακολουθία σημείων με συγκεκριμένες συντεταγμένες (x,y). Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την αναπαράσταση χαρακτηριστικών του χώρου, όπως τα όρια μιας περιοχής, ισοϋψείς καμπύλες, δρόμους, ποτάμια. Επίσης, μεμονωμένα σημεία μπορούν να χαρακτηριστούν ως γραμμές μηδενικού μήκους, δηλαδή σημεία με συγκεκριμένες συντεταγμένες. Τέλος, οι επιφάνειες εκφράζονται μέσω συνόλων διαδοχικών γραμμών που σχηματίζουν κλειστά σχήματα και καθορίζουν τα όρια των περιοχών αυτών.

❖ Μωσαϊκά ή Πινακοποιημένα Μοντέλα (Raster Models):

Τα μωσαϊκά μοντέλα αναπαριστούν τον γεωγραφικό χώρο ως ένα πλέγμα (grid) από ίσης διάστασης κελιά (pixels). Κάθε κελί απεικονίζει μια περιοχή του χώρου και περιέχει μια τιμή που αντιπροσωπεύει κάποια ιδιότητα της περιοχής αυτής. Ο συγκεκριμένος τύπος μοντέλου είναι κατάλληλος για την διαχείριση και ανάλυση δεδομένων που ποικίλουν στον χώρο. Οι ιδιότητες αυτών των μοντέλων επιτρέπουν την ταχεία επεξεργασία μεγάλων όγκων δεδομένων που είναι χρήσιμα σε εφαρμογές όπως η ανάλυση εικόνων από δορυφόρους και οι περιβαλλοντικές μελέτες.

Λειτουργίες

Οι λειτουργίες των ΓΣΠ καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και δυνατοτήτων όπως η απεικόνιση δεδομένων, η δημιουργία χαρτών και η χωρική ανάλυση. Αυτές οι λειτουργίες επιτρέπουν την ανάλυση και ενσωμάτωση πολλαπλών στρωμάτων γεωγραφικών πληροφοριών, με σκοπό την διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων σε πολυδιάστατα προβλήματα.

Χρήστες

Οι χρήστες είναι οι τελικοί αποδέκτες, αφού μέσω της αλληλεπίδρασής του με τα ΓΣΠ μπορούν να αναλύσουν δεδομένα, να λάβουν αποφάσεις και να επιλύσουν χωρικά προβλήματα [3] [4].



Εικόνα 9: Συστατικά μέρη των ΓΣΠ (Longley, P. A., 2010)

3.4 Χαρτογραφική απόδοση δεδομένων

Η παρουσίαση των πληροφοριών που προκύπτουν από την ανάλυση δεδομένων είναι κρίσιμη για την επιτυχία μιας μελέτης. Στην περίπτωση της χωρικής ανάλυσης, αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία λόγω του χαρτογραφικού χαρακτήρα των αποτελεσμάτων. Ένας χάρτης δεν είναι απλά μια γραφική αναπαράσταση της γεωγραφίας ενός συγκεκριμένου

τμήματος της επιφάνειας της γης σε διάφορες μορφές και διαστάσεις. Επίσης, προσφέρει μια σαφή επισκόπηση του χώρου με ελεγχόμενη ακρίβεια και πληρότητα, καθιστώντας τον ένα ουσιαστικό εργαλείο επικοινωνίας.

Οι χάρτες λειτουργούν ως ένα βασικό μέσο για την οπτική απόδοση των αποτελεσμάτων, προσφέροντας στους χρήστες την δυνατότητα να κατανοήσουν και να αξιολογήσουν τις γεωγραφικές σχέσεις και τα χωρικά πρότυπα με άμεσο και κατανοητό τρόπο. Μια αποτελεσματική χαρτογράφηση επιτρέπει την μετατροπή σύνθετων χωρικών δεδομένων σε οπτικές απεικονίσεις που μπορούν να διευκολύνουν τη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων.

Συνεπώς, η ακρίβεια και η πληρότητα στην παρουσίαση των χαρτών είναι ζωτικής σημασίας. Ένας καλά σχεδιασμένος χάρτης αντικατοπτρίζει πιστά την πραγματικότητα αλλά παράλληλα καθιστά εφικτή την αναγνώριση και ανάλυση γεωγραφικών προτύπων και τάσεων [3] [4].

Ωστόσο, πριν από την δημιουργία ενός χάρτη, είναι ουσιώδες να τεθούν και να απαντηθούν κάποια βασικά ερωτήματα όσον αφορά την αποτελεσματικότητα και την χρησιμότητα του χάρτη. Σκοπός αυτών των ερωτημάτων είναι η αποφυγή κατασκευής ενός ανούσιου ή αναποτελεσματικού χάρτη. Τα κύρια ερωτήματα είναι τα εξής:

❖ Ποιος ο σκοπός κατασκευής του χάρτη;

Κάθε χάρτης αναπαριστά δύο βασικά στοιχεία γεωγραφικής πραγματικότητας, την τοποθεσία και τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με αυτή την τοποθεσία. Μέσω αυτών των δύο στοιχείων ο χρήστης μπορεί να αντλήσει ποικιλία ποιοτικών, ποσοτικών και τοπολογικών πληροφοριών. Αναλόγως τον σκοπό του ο χάρτης μπορεί να είναι απλοποιημένος ή πολύπλοκος, αλλά θα πρέπει πάντα να παρουσιάζει την πληροφορία που θέλει με ακρίβεια και σαφήνεια.

❖ Σε ποιους απευθύνεται ο χάρτης;

Είναι βασικό να ληφθούν υπόψη οι υποψήφιοι χρήστες καθώς και οι δυνατότητές τους. Η ικανότητα των χρηστών να κατανοήσουν και να ερμηνεύσουν τον χάρτη εξαρτάται από το επίπεδο γνώσης τους καθώς και από την προηγούμενη εμπειρία τους στη χρήση χαρτών. Είναι πολύ σημαντικό ο κατασκευαστής του χάρτη να έχει κατανοήσει το προφίλ του

συνόλου ώστε να είναι χρήσιμος και κατανοητός.

❖ Ποια θα είναι τα στοιχεία παρουσίασης του χάρτη;

Η Τρίτη παράμετρος αφορά τα στοιχεία που θα περιλαμβάνονται στην παρουσίαση του χάρτη και χωρίζονται σε γραφικά, χαρτογραφικά και εποπτικά. Τα γραφικά στοιχεία συνθέτουν την οπτική δομή του χάρτη, δηλαδή τα σημεία, οι επιφάνειες και οι γραμμές. Στα χαρτογραφικά περιλαμβάνονται η κλίμακα του χάρτη, η προβολή και τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των δεδομένων. Αυτά τα στοιχεία θέτουν τις δυνατότητες και τους περιορισμούς του χάρτη. Τέλος, τα εποπτικά στοιχεία προσδίδουν σαφήνεια και χρηστικότητα στον χάρτη. Αυτά είναι ο τίτλος, το υπόμνημα, ο δείκτης κλίμακας και ο δείκτης προσανατολισμού. Αφορούν την ολική εικόνα του χάρτη και χαρακτηρίζουν την ποιότητα του και το πόσο καλός ή μέτριος μπορεί να είναι.

Η σωστή διαχείριση αυτών των τριών ερωτημάτων είναι θεμελιώδης για την παραγωγή ενός χάρτη που όχι μόνο πληροί τις τεχνικές απαιτήσεις αλλά παράλληλα εξυπηρετεί τον επιδιωκόμενο σκοπό του και είναι λειτουργικός και κατανοητός [17] [19] [21] [24].

3.5 Εισαγωγή και αποτύπωση δεδομένων

Η εισαγωγή διανυσματικών δεδομένων στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι μια διαδικασία που απαιτεί σχολαστική εργασία καθιστώντας την δύσκολη να αυτοματοποιηθεί. Στα διανυσματικά δεδομένα απαιτείται ακριβής καταγραφή κάθε σημείου, σε αντίθεση με τα μωσαϊκά δεδομένα τα οποία μπορούν να εισαχθούν απλά με σάρωση.

Οι χάρτες που παράγονται μέσω των ΓΣΠ, αποτελούν το βασικό μέσο απεικόνισης των πληροφοριών που έχουν αναλυθεί και παρέχουν ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση χωρικών δεδομένων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των χαρτών αξιολογούνται με βάση την ακρίβεια, την αξιοπιστία, την ποιότητα και τα πιθανά σφάλματα που περιέχουν. Η ακρίβεια της απεικόνισης σε έναν ψηφιακό χάρτη εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία έχουν προσδιοριστεί και μετρηθεί τα πρωτογενή δεδομένα από τα οποία δημιουργήθηκε. Επιπλέον, τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για την

αποτύπωση των πληροφοριών σε έναν χάρτη ποικίλουν και μπορούν να διαφοροποιηθούν με βάση το χρώμα, το μέγεθος, το σχήμα, τον προσανατολισμό τους, κ.λ.π.

Με αυτόν τον τρόπο τα ΓΣΠ, παρέχουν την αναγκαία υποδομή για την λεπτομερή καταγραφή και ανάλυση των γεωγραφικών δεδομένων, ενώ οι χάρτες που παράγονται αποτελούν απαραίτητα εργαλεία για την αποτελεσματική απεικόνιση και αξιολόγηση αυτών των δεδομένων.

3.6 Στατιστική ανάλυση

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι εξοπλισμένα με ισχυρά εργαλεία για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων, τόσο μέσω της παραδοσιακής στατιστικής ανάλυσης όσο και μέσω της χωρικής στατιστικής ανάλυσης.

Οι βασικές λειτουργίες στατιστικής ανάλυσης που υποστηρίζονται από τα ΓΣΠ είναι:

- ❖ **Προσδιορισμός συχνότητας εμφάνισης:** Μπορούν να μετρούν πόσο συχνά εμφανίζονται συγκεκριμένα δεδομένα σε έναν χάρτη ή μια εικόνα, εξυπηρετώντας την καταγραφή και κατανόηση των πιο κοινών στοιχείων.
- ❖ **Δημιουργία Ιστογραμμάτων:** Επιτρέπουν την δημιουργία γραφικών παραστάσεων που απεικονίζουν την κατανομή των δεδομένων.
- ❖ **Προσδιορισμός Βασικών Στατιστικών Δεικτών:** Υπολογίζουν κύριους στατιστικούς δείκτες όπως η τυπική απόκλιση και ο μέσος όρος, καθώς επίσης παρέχουν την δυνατότητα εύρεσης μέγιστης και ελάχιστης τιμής.
- ❖ **Προσδιορισμός Ανάλυσης Συσχέτισης:** Διευκολύνουν την ανάλυση των σχέσεων μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών αξιοποιώντας συντελεστές συσχέτισης και τεχνικές παλινδρόμησης. Παράλληλα υποστηρίζουν τη διεξαγωγή διαφόρων στατιστικών ελέγχων.

Οι λειτουργίες χωρικής στατιστικής ανάλυσης που παρέχουν τα ΓΣΠ είναι οι εξής:

- ❖ **Προσδιορισμός Χωρικού Μέσου Όρου:** Μπορούν να υπολογίσουν τον χωρικό μέσο όρο των δεδομένων, είτε με απλό τρόπο είτε με σταθμισμένο,

βοηθώντας στην κατανόηση της γεωγραφικής κατανομής των δεδομένων.

- ❖ **Ανάλυση Προτύπων:** Αξιολογεί δείκτες όπως είναι η ποικιλομορφία και η εναλλαγή, παρέχοντας πληροφορίες για τα μοτίβα που εμφανίζονται στα δεδομένα.
- ❖ **Ανάλυση Τάσεων:** Μέσω αυτής της ανάλυσης εξετάζει εάν ένα φαινόμενο εξελίσσεται με συγκεκριμένη κατεύθυνση στον χάρτη.
- ❖ **Χωρική Δειγματοληψία:** Παρέχει την δυνατότητα επιλογής αντιπροσωπευτικών δειγμάτων σε συγκεκριμένες περιοχές ή χρονικές περιόδους [13].

3.7 Σφάλματα

Κατά τη διαδικασία συγκέντρωσης και επεξεργασίας δεδομένων στα ΓΣΠ, ενδέχεται να προκύψουν διάφορα σφάλματα που μπορούν να επηρεάσουν τα τελικά αποτελέσματα αν δεν διορθωθούν. Αυτά τα σφάλματα περιλαμβάνουν:

- ❖ **Συστηματικά σφάλματα (systemic errors):** Οφείλονται σε διαφορά μεταξύ των μετρήσεων και των πραγματικών τιμών και μπορούν να διορθωθούν εάν εντοπιστεί η αιτία.
- ❖ **Τυχαία σφάλματα (random errors):** Προέρχονται από την διαδικασία της μέτρησης, συνήθως είναι δύσκολο να αποφευχθούν, ωστόσο μπορούν να ελαχιστοποιηθούν μέσω πολλών μετρήσεων και στατιστικής ανάλυσης.
- ❖ **Χονδροειδή σφάλματα (gross errors):** Αιτία αυτών των σφαλμάτων είναι η απροσεξία κατά την καταγραφή ή η παράληψη στοιχείων και συνήθως απορρίπτονται και δεν διορθώνονται.
- ❖ **Σφάλματα στη συλλογή πρωτογενών χαρτογραφικών δεδομένων:** Αποτελούν σφάλματα από τα όργανα καταγραφής, την ακρίβεια, την κλίμακα, την ηλικία των δεδομένων καθώς και τυχόν ανεπαρκείς παρατηρήσεις.
- ❖ **Σφάλματα λόγω μεταβολής των αρχικών δεδομένων:** Συμβαίνουν όταν τα καταγεγραμμένα δεδομένα αλλάζουν στην πραγματικότητα.
- ❖ **Σφάλματα στην αποθήκευση των δεδομένων:** Συμβαίνει λόγω εσφαλμένης χρήσης της βάσης δεδομένων ή στην ασυμφωνία στα

γεωγραφικά συστήματα συντεταγμένων.

- ❖ **Σφάλματα στην ψηφιοποίηση και εισαγωγή περιγραφικών δεδομένων:** Οφείλονται στην εσφαλμένη θέση σχέσεων γραμμών και πολυγώνων.
- ❖ **Σφάλματα κατά την επεξεργασία των δεδομένων:** Αυτά περιλαμβάνουν σφάλματα κατά την μετατροπή δεδομένων από μωσαϊκά σε διανυσματικά , γενίκευση και αφαίρεση στοιχείων και λανθασμένη χωρική ανάλυση.
- ❖ **Σφάλματα από ανθρώπινα λάθη:** Τα συγκεκριμένα επηρεάζουν οποιοδήποτε στάδιο της διαδικασίας και θα πρέπει να διορθωθούν όπου είναι δυνατόν.

3.8 Το λογισμικό ArcGIS Pro

Το ArcGIS Pro είναι ένα σύγχρονο λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, που αναπτύχθηκε από την Esri και χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση και τη διαχείριση γεωχωρικών δεδομένων. Η πλατφόρμα παρέχει εργαλεία για την καταγραφή, ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων, διευκολύνοντας την κατανόηση και την επίλυση χωρικών προβλημάτων.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του προγράμματος είναι η δυνατότητα να διαχειρίζεται και να συνδυάζει διαφορετικά επίπεδα γεωχωρικών πληροφοριών, όπως δεδομένα, δορυφορικές εικόνες και χάρτες σε μια ενιαία προβολή. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπει στους χρήστες να έχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα των χωρικών δεδομένων που έχουν και να πραγματοποιούν σύνθετες αναλύσεις με ευκολία.

Μια από τις ισχυρότερες πτυχές του λογισμικού είναι η πληθώρα αλγορίθμων ανάλυσης που υποστηρίζει, από απλές χωρικές λειτουργίες έως προηγμένες τεχνικές όπως είναι η γεωστατική ανάλυση και η ανάλυση χωρικής συνάφειας. Επίσης, η ικανότητα συνδυασμού δεδομένων από διάφορες πηγές, επιτρέπει την δημιουργία ολοκληρωμένων και πολυδιάστατων αναλύσεων που μπορούν να φανερώσουν χωρικά μοτίβα και σχέσεις.

Οι εφαρμογές οπτικοποίησης του ArcGIS Pro είναι επίσης αξιοσημείωτες. Το λογισμικό παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατων χαρτών και

μοντέλων, παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα με έναν τρόπο πιο κατανοητό και διαισθητικό.

Αξίζει να αναφερθεί πως το συγκεκριμένο λογισμικό χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα τομέων. Στον τομέα της χαρτογραφίας, το λογισμικό δίνει στον χρήστη την ευκαιρία να δημιουργήσει ακριβής και λεπτομερές χάρτες, οι οποίοι μπορούν να ενσωματώσουν δεδομένα από πολλές πηγές. Στην διαχείριση φυσικών πόρων, βοηθά στην ανάλυση των χρήσεων γης και την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ενώ στην αστική ανάπτυξη, διευκολύνει τον σχεδιασμό και την ανάλυση της υποδομής των πόλεων.

Η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα του λογισμικού ArcGIS Pro το καθιστούν ένα απαραίτητο εργαλείο για επαγγελματίες από διάφορους τομείς, που επιδιώκουν να αξιοποιήσουν τα δεδομένα με σκοπό να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να συνεισφέρουν στην λύση σύνθετων προβλημάτων.

3.9 Βασικοί τύποι αρχείων που υποστηρίζονται από το λογισμικό ArcGIS Pro

Το ArcGIS Pro υποστηρίζει μια ποικιλία αρχείων, που καθένας από αυτούς εξυπηρετεί συγκεκριμένες ανάγκες και εφαρμογές στην ανάλυση και διαχείριση γεωχωρικών δεδομένων. Παρακάτω αναφέρονται οι βασικοί τύποι αρχείων που είναι συμβατά με το λογισμικό και οι χρήσεις τους:

- ❖ **Shapefile:** Τα αρχεία αυτά αποτελούν διανυσματικά δεδομένα και τις αντίστοιχες περιγραφικές πληροφορίες τους. Τα συγκεκριμένα αρχεία χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανταλλαγή χωρικών δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων λογισμικού. Αποτελούνται από πολλαπλά αρχεία που περιλαμβάνουν τα γεωμετρικά δεδομένα (.shp), το ευρετήριο γεωμετρίας (.shx) και τις περιγραφικές πληροφορίες (.dbf) και είναι ιδανικά για την αποθήκευση σημείων, γραμμών και πολυγώνων.
- ❖ **Raster Files:** Τα raster αρχεία περιλαμβάνουν δορυφορικές εικόνες και άλλους τύπους ψηφιδωτών δεδομένων που είναι χρήσιμα για την ανάλυση και απεικόνιση χωρικών μοτίβων σε μεγάλες κλίμακες. Πιο συγκεκριμένα, αποθηκεύουν δεδομένα σε μορφή ψηφίδων και χρησιμοποιούνται κυρίως

για την περιγραφή γεωμετρικών φαινομένων.

- ❖ **Layer Files:** Τα layer αρχεία επιτρέπουν την αποθήκευση και την επανεφαρμογή των ρυθμίσεων απεικόνισης, διευκολύνοντας την κοινή χρήση και την αναπαραγωγή χαρτών.
- ❖ **Coverage:** Τα coverage είναι αρχεία διανυσματικού τύπου και περιλαμβάνουν τοπολογικές πληροφορίες που συνδέονται με τα γεωγραφικά δεδομένα, καθώς περιέχουν πληροφορίες γεωαναφοράς που επιτρέπουν την ακριβή τοποθέτηση των δεδομένων στον χάρτη. Είναι χρήσιμα για την αποθήκευση πολύπλοκων χωρικών σχέσεων και χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεγαλύτερες γεωγραφικές βάσεις δεδομένων.
- ❖ **CAD (Computer- Aided Design):** Προέρχονται από σχεδιαστικά προγράμματα και αφορούν γεωμετρικά στοιχεία όπως σημεία, γραμμές και πολύγωνα. Τα αρχεία αυτά χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά σχεδιαστικών δεδομένων και συνήθως δεν περιέχουν περιγραφικές πληροφορίες.
- ❖ **DBF (dBase File):** Τα DBF είναι αρχεία πινάκων που περιέχουν περιγραφικές πληροφορίες και μπορούν να συσχετιστούν με τα γεωχωρικά αρχεία. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπουν την σύνδεση περιγραφικών δεδομένων με γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Τέλος, χρησιμοποιούνται συχνά ως συμπληρωματικά αρχεία για Shapefiles.
- ❖ **Images:** Αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιούνται συχνά στο ArcGIS, ειδικά μετά την εφαρμογή γεωμετρικών διορθώσεων που επιτρέπουν την ευθυγράμμιση τους με τις γεωγραφικές συντεταγμένες. Αυτά τα αρχεία είναι σημαντικά για την ανάλυση και την απεικόνιση δεδομένων.
- ❖ **TIN (Triangulated Irregular Network):** Τα αρχεία αυτά δημιουργούνται από το ArcGIS με σκοπό να περιγράψουν την τρίτη διάσταση των δεδομένων. Είναι πολύ σημαντικά για την αποθήκευση και την ανάλυση υψομετρικών δεδομένων καθώς και για την κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων επιφάνειας.
- ❖ **Dat Files:** Τα DAT είναι αρχεία κειμένου που χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή χωρικών δεδομένων στο ArcGIS. Είναι χρήσιμα για την μεταφορά δεδομένων που δεν υποστηρίζονται από άλλα μορφότυπα.

Κάθε τύπος αρχείου που υποστηρίζει το ArcGIS καλύπτει διαφορετικές ανάγκες στην αποθήκευση, την επεξεργασία και την απεικόνιση γεωχωρικών δεδομένων, καθιστώντας το ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο για επαγγελματίες που ασχολούνται με τον τομέα της γεωχωρικής ανάλυσης [13] .

3.10 Συνεισφορά των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην Δασική Διαχείριση

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν ισχυρά εργαλεία που χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητα διεπιστημονικής εφαρμογής. Ένας από τους σημαντικούς τομείς που βρίσκουν εφαρμογή είναι η δασική διαχείριση, λόγω της ικανότητάς τους να ενσωματώνουν και να αναλύουν γεωχωρικά δεδομένα από ποικίλες πηγές. Αυτή η εφαρμογή δίνει την δυνατότητα στους δασάρχες να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τους φυσικούς πόρους.

Οι δυνατότητες των ΓΣΠ εκτείνονται από τη λήψη βραχυπρόθεσμων αποφάσεων μέχρι την υποστήριξη μακροπρόθεσμων στρατηγικών για την παρακολούθηση και την προστασία των δασών. Για παράδειγμα, μέσω των ΓΣΠ μπορούν να αξιολογηθούν άμεσα οι συνθήκες που επικρατούν σε μια δασική έκταση και να σχεδιαστούν κατάλληλες δράσεις. Επίσης διευκολύνεται η παρακολούθηση των αλλαγών στις δασικές εκτάσεις με την πάροδο του χρόνου, διασφαλίζοντας τη βιωσιμότητα και την προστασία αυτών των περιοχών [15] .

Ένας από τους πιο σημαντικούς τομείς εφαρμογής των ΓΣΠ στη δασική διαχείριση είναι η διαχείριση πυρκαγιών. Οι πυρκαγιές αποτελούν μια από τις πιο σοβαρές απειλές στα δασικά οικοσυστήματα και η χρήση των ΓΣΠ μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην πρόληψη, τον έλεγχο και την αποκατάσταση [16]. Η πυκνότητα της βλάστησης, ο τύπος των δέντρων, οι κλιματολογικές συνθήκες και η τοπογραφία είναι δεδομένα που μπορούν να προβλέψουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς και να σχεδιάσουν μέτρα πρόληψης μέσω της ανάλυσής τους με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

Τέλος, τα ΓΣΠ παρέχουν προηγμένες δυνατότητες μοντελοποίησης για την

πρόβλεψη της κίνησης και της έντασης των πυρκαγιών. Πιο συγκεκριμένα, οι διαχειριστές μπορούν να προβλέψουν πως θα εξαπλωθεί μια πυρκαγιά και να προετοιμάσουν στρατηγικές αντιμετώπισης, χρησιμοποιώντας δεδομένα για την κλίση του εδάφους, το υψόμετρο, τη ταχύτητα και τη κατεύθυνση του ανέμου καθώς και την υγρασία του εδάφους και των φυτών [15][16][22][25][27].

Κεφάλαιο 4: Δορυφορική Τηλεπισκόπηση

4.1 Η συμβολή της δορυφορικής τηλεπισκόπησης

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελεί μια προηγμένη τεχνική που επιτρέπει τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων για τη Γη από μακριά, αξιοποιώντας αισθητήρες τοποθετημένους σε δορυφόρους. Αυτοί οι αισθητήρες καταγράφουν δεδομένα σε διάφορες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, αποκαλύπτοντας πολύτιμες πληροφορίες για τα φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά της επιφάνειας της Γης.

Η τηλεπισκόπηση διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών, παρέχοντας δυνατότητες ανίχνευσης, παρακολούθησης και ανάλυσης των πυρκαγιών σε πραγματικό χρόνο. Μέσω των τεχνικών της φασματικής ανάλυσης και της θερμικής απεικόνισης, οι επιστήμονες μπορούν να εντοπίζουν ενεργά μέτωπα, να εκτιμούν την καμένη έκταση καθώς και να προβλέπουν τη δυναμική εξάπλωσης των πυρκαγιών. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα για άμεσες παρεμβάσεις με σκοπό τον έλεγχο της φωτιάς και την προστασία του οικοσυστήματος [3] .

Επιπλέον, η συγκεκριμένη τεχνολογία διευκολύνει την πρόληψη πυρκαγιών μέσω της χαρτογράφησης περιοχών υψηλού κινδύνου και της ανάλυσης παραγόντων όπως οι κλιματικές συνθήκες, η υγρασία του εδάφους και η βιομάζα. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών στη διαχείριση καταστροφών ενισχύει την ικανότητα των αρχών να αναπτύσσουν αποδοτικές στρατηγικές αντιμετώπισης και αποκατάστασης του περιβάλλοντος μετά από πυρκαγιές [3][6][8] [10].

4.2 Ορισμός της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης

Η τηλεπισκόπηση ορίζεται με τη γενική και ευρεία της έννοια ως η, χωρίς την φυσική επαφή, απόκτηση δεδομένων και πληροφοριών για επιφάνειες και αντικείμενα της γης. Ο ακριβής ορισμός της είναι δύσκολο να δοθεί. Για παράδειγμα, ο Slater (1975) όρισε τα όργανα της τηλεπισκόπησης ως «κάθε οπτικό σύστημα το οποίο σαρώνει επιφάνειες αντικειμένων ή εικόνων ηλεκτρομηχανικά ή ηλεκτρονικά σε περισσότερα από ένα μήκη κύματος». Αργότερα, οι Lintz και Simonett (1976) όρισαν ότι «η τηλεπισκόπηση είναι η χωρίς επαφή απόκτηση φυσικών δεδομένων των αντικειμένων». Επίσης, οι Baret και Curtis (1977) δήλωσαν ότι «η τηλεπισκόπηση είναι η παρατήρηση ενός στόχου με κάποια συσκευή από απόσταση». Υπάρχουν πολλοί και σύνθετοι τρόποι απόδοσης του όρου, ο Short (1982) έδωσε έναν πιο ολοκληρωμένο ορισμό, σύμφωνα με αυτόν η τηλεπισκόπηση ορίζεται ως «η απόκτηση δεδομένων και παράγωγων πληροφοριών για αντικείμενα ή υλικά (στόχοι), τα οποία βρίσκονται στην Γήινη επιφάνεια ή στην ατμόσφαιρα, με την χρησιμοποίηση αισθητήρων ανίχνευσης τοποθετημένων σε πλατφόρμες που βρίσκονται σε κάποια απόσταση από το στόχο για να καταγράφουν μετρήσεις (συνήθως πολυφασματικές) των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των αντικειμένων στόχων και της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας»

4.3 Βασικές αρχές

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση, βασίζεται στη συλλογή δεδομένων από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι βασική συνιστώσα στον τρόπο σχηματισμού των εικόνων, εξαιτίας των ιδιοτήτων της. Ο Colwell (1975) ορίζει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (HMA) ως « η ενέργεια η οποία μεταδίδεται μέσω της ύλης με τη μορφή αλληλεπιδρόμενων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, κάθετα μεταξύ τους».

Πιο συγκεκριμένα, οι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης μεταξύ των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και των αντικειμένων παρέχουν πληροφορίες για τα ίδια τα αντικείμενα. Οι δορυφόροι ανιχνεύουν την ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από την επιφάνεια της Γης, η καταγραφόμενη, από τον ανιχνευτή του δορυφόρου ακτινοβολία, είναι το αποτέλεσμα αυτών των μηχανισμών αλληλεπίδρασης. Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται σε διάφορα μήκη κύματος καλύπτοντας το ορατό φως, την υπέρυθρη και τη μικροκυμματική περιοχή του φάσματος.

Η ΗΜΑ μεταφέρεται μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται από τρεις βασικές ιδιότητες: ιδιότητες, την ταχύτητα (c), το μήκος κύματος (λ) και τη συχνότητα (ν). Όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα κινούνται με την ταχύτητα του φωτός, που στο κενό είναι 300000 Km/sec. Το μήκος κύματος, ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών μεγίστων της έντασης του κύματος, και μετριέται σε μονάδες μήκους. Τέλος η συχνότητα, αναφέρεται στον αριθμό των μεγίστων του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που περνούν από συγκεκριμένο σημείο στην μονάδα του χρόνου.

Το μήκος κύματος, ορίζει το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και διακρίνει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε επιμέρους τμήματα. Σύμφωνα με τον Colwell (1975) «ως ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ορίζεται η διατεταγμένη παράταξη γνωστών ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών, εκτεινόμενη από τη μικρότερη κοσμική ακτινοβολία, περνώντας από τις ακτίνες γάμμα, την υπεριώδες, ορατή και υπέρυθη ακτινοβολία και φθάνοντας στα μικροκύματα και άλλα ραδιοκύματα» Τα πιο σημαντικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για την τηλεπισκόπηση είναι το ορατό και υπέρυθρο. Οι ανιχνευτές των δορυφόρων είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν και να καταγράφουν την αντανακλώμενη ενέργεια σε συγκεκριμένα τμήματα του φάσματος.

Τα παθητικά δορυφορικά συστήματα καταγράφουν την ακτινοβολία, τη οποίας πηγή είναι ο ήλιος, έτσι η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια θα πρέπει να διασχίσει την ατμόσφαιρα δύο φορές προτού φτάσει στον αισθητήρα του δορυφόρου. Ωστόσο, η ύπαρξη της ατμόσφαιρας διαφοροποιεί την τελική εικόνα, εξαιτίας πολύπλοκων μηχανισμών αλληλεπίδρασης που συμβαίνουν μεταξύ της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

Αυτοί οι μηχανισμοί εξηγούνται βάσει των διαδικασιών της «σκέδασης» και της «απορρόφησης». Στη σκέδαση, η ΗΜΑ εκτρέπεται ή διαθλάται από τα ατμοσφαιρικά σωματίδια. Στην απορρόφηση, η ακτινοβολία απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμότητα. Παρ' όλα, τα δορυφορικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί ώστε να αποφεύγουν τις περιοχές του φάσματος όπου το φαινόμενο της απορρόφησης μεγιστοποιείται. Ως αποτέλεσμα, η σκέδαση είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός δημιουργίας ραδιομετρικών αποκλίσεων επί των δορυφορικών δεδομένων. Η σκέδαση διακρίνεται σε «επιλεκτική» και

«μη- επιλεκτική» ανάλογα με το εάν επηρεάζονται συγκεκριμένα τμήματα του φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, η «επιλεκτική» σκέδαση περιλαμβάνει τη σκέδαση Rayleigh και τη σκέδαση Mie. Η πρώτη συμβαίνει όταν το μήκος κύματος είναι πολύ μεγαλύτερο από το μέγεθος των σωματιδίων που προκαλούν την σκέδαση. Ενώ η σκέδαση Mie παρατηρείται όταν τα μεγέθη των σωματιδίων και του μήκος κύματος είναι παρόμοια. Η επίδραση της σκέδασης στα δορυφορικά δεδομένα είναι η αύξηση της θολότητας και ως συνέπεια η μείωση της αντίθεσης, η οποία σχετίζεται άμεσα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας [16][20][22][23].

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ΗΜΑ) υφίσταται μεταβολές στις ιδιότητες της, όπως η ένταση, η διεύθυνση, το μήκος κύματος, κ.ά. όταν έρχεται σε αλληλεπίδραση με τα αντικείμενα. Πέντε από τους πιο κοινούς μηχανισμούς αλληλεπίδρασης είναι:

- ❖ Μετάδοση, η ακτινοβολία διέρχεται μέσα από το αντικείμενο χωρίς να αλληλεπιδρά με αυτό
- ❖ Απορρόφηση, που αναφέρεται στην ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της ύλης ή την υποστήριξη βιολογικών διεργασιών, όπως βλάστηση
- ❖ Εκπομπή, όπου αντικείμενο συνήθως εκπέμπει ακτινοβολία, συνήθως σε μεγαλύτερα μήκη κύματος, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και την θερμοκρασία του
- ❖ Σκέδαση, η οποία προκαλείται από ανάγλυφες ή τραχείς επιφάνειες, ανάλογα με το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας
- ❖ Αντανάκλαση, η οποία εκφράσει το ποσό της ΗΜΑ που επιστρέφει από το αντικείμενο υπό γωνία ίση και αντίθετη με την γωνία προσπτώσεως

4.4 Ιστορική αναδρομή

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση έχει εξελιχθεί σημαντικά μέχρι να φτάσει στο σημερινό της επίπεδο. Αποτελεί ένα πολυδιάστατο επιστημονικό πεδίο που συνδυάζει διάφορες επιστήμες, όπως μαθηματικά, φυσική, πληροφορική, κ.ά. Από τον 19^ο αιώνα, με την ανακάλυψη της φωτογραφίας, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος. Παρά το γεγονός ότι είναι δύσκολο να καθοριστεί με ακρίβεια το χρονικό σημείο έναρξης της τηλεπισκόπησης και τα στάδια εξέλιξής της,

μπορούμε να διακρίνουμε πέντε κύριες φάσεις ανάπτυξης της.

Πριν από το 1925, η περίοδος χαρακτηρίζεται από πειραματισμούς στη χρήση φωτογραφιών από αερόστατα και αεροπλάνα για τοπογραφική χαρτογράφηση. Από την αρχή, οι φωτογραφίες αυτές απέδειξαν την χρησιμότητα της αεροφωτογραφίας, ιδιαίτερα στον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, όπου χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση στρατηγικών θέσεων.

Από το 1925 έως και το 1945, οι αεροφωτογραφίες χρησιμοποιούνταν ευρέως, κυρίως για τοπογραφικές χαρτογραφήσεις, αξιοποιώντας στερεοσκοπικές αεροφωτογραφίες. Ο Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος συνέβαλε σημαντικά στην πρόοδο αυτής της τεχνολογίας και τις εφαρμογές της.

Μέχρι το 1955, είχε δοθεί έμφαση στην ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών φωτοερμηνείας, ενώ οι εφαρμογές ήταν περιορισμένες. Από το 1955 έως και το 1960, οι αεροφωτογραφίες έγιναν πιο δημοφιλείς και χρησιμοποιούνταν σε τομείς όπως η γεωλογία, η γεωπονία, το περιβάλλον, η δασολογία, κ.ά.

Από το 1960 έως σήμερα, παρατηρείται αξιοσημείωτη πρόοδος στην ανάπτυξη δορυφόρων και ανιχνευτών. Το 1960 εκτοξεύτηκε ο πρώτος μετεωρολογικό δορυφόρος, εγκαινιάζοντας μια νέα εποχή έντονης δραστηριότητας και έρευνας στο πεδίο της τηλεπισκόπησης. Παράλληλα, μερικά δορυφορικά συστήματα καταγραφής, αρχικά σχεδιασμένα στρατιωτικούς σκοπούς, άρχισαν να εφαρμόζονται σε πολιτικό επίπεδο, ενώ παράλληλα αναπτύσσονταν πιο εξελιγμένα συστήματα για στρατιωτικές εφαρμογές. Η καταγραφή της Γήινης επιφάνειας από το ορατό φάσμα επεκτάθηκε και στο υπέρυθρο και στα μικροκύματα, ανοίγοντας έτσι νέους ορίζοντες για την χρήση της τηλεπισκόπησης. Τα νέα δορυφορικά συστήματα με υψηλότερη χωρική, φασματική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της πληροφορικής και του αυτοματισμού στην επεξεργασία εικόνων, έδωσαν νέα ώθηση στον τομέα αυτόν. Σημαντικό ορόσημο υπήρξε το 1972, όταν η NASA εκτόξευσε το πρώτο ERST – 1 (Earth Resources Technology Satellite – 1), σηματοδοτώντας την έναρξη μιας νέας εποχής στη συλλογή δορυφορικών δεδομένων για τη Γη [7].

Κεφάλαιο 5: Μεθοδολογία

5.1 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση είναι μια σύγχρονη τεχνολογία που επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων για τη Γη μέσω δορυφορικών αισθητήρων, οι οποίοι καταγράφουν πληροφορίες σε διάφορες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτή η τεχνική έχει καθοριστικό ρόλο στη διαχείριση των φασικών πυρκαγιών, καθώς επιτρέπει την ανίχνευση, παρακολούθηση και ανάλυση των πυρκαγιών σε πραγματικό χρόνο. Με τη φασματική ανάλυση και τη θερμική απεικόνιση, είναι εφικτός ο εντοπισμός ενεργών εστιών, η εκτίμηση της καμένης έκτασης, καθώς και η πρόβλεψη της εξέλιξης της φωτιάς, διευκολύνοντας έτσι τις άμεσες επεμβάσεις για την προστασία του περιβάλλοντος.

Επιπλέον, η τηλεπισκόπηση συμβάλλει σημαντικά στην πρόληψη πυρκαγιών, χαρτογραφώντας περιοχές υψηλού κινδύνου και αναλύοντας παράγοντες όπως οι κλιματικές συνθήκες και το ποσοστό υγρασίας του εδάφους. Ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία αυτή ενισχύει τη δυνατότητα των αρχών να σχεδιάσουν αποτελεσματικές στρατηγικές για την αντιμετώπιση και αποκατάσταση των πυρόπληκτων περιοχών [3][8][6][10].

5.2 Ταξινόμηση Εικόνας

Η μεθοδολογία της ταξινόμησης των εικόνων είναι ένα σύνολο διαδικασιών που κατηγοριοποιούν τα αντικείμενα του εδάφους της γης σε διάφορες κατηγορίες. Αυτές οι κατηγορίες διαφοροποιούνται μεταξύ τους με βάση τη φασματική υπογραφή των αντικειμένων που αντιπροσωπεύουν.

Η φασματική υπογραφή ενός αντικειμένου αναφέρεται στα μοναδικά χαρακτηριστικά του όταν απορροφά ή ανακλά φως σε διάφορες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Για παράδειγμα, διαφορετικοί τύποι επιφανειών όπως το έδαφος, το νερό, η βλάστηση, κλπ θα ανακλούν και θα απορροφούν το φως με μοναδικό τρόπο, δίνοντας έτσι μοναδικές φασματικές υπογραφές. Αυτό μπορεί να συμβεί ακόμη και αν το συγκεκριμένο αντικείμενο έχει αποκτήσει παρόμοια φασματική εμφάνιση λόγω

διάφορων παραγόντων και έτσι να κατηγοριοποιηθεί λανθασμένα. [Καϊμάρης,2014, Παρχαρίδης, 2015]

Οι κύριες μέθοδοι ταξινόμησης εικόνων είναι η Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση (Supervised Classification) και η Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση (Unsupervised Classification). Αναφορικά υπάρχουν και οι μέθοδοι ταξινόμησης με δένδρογραμμα κανόνων και η αντικειμενοστραφής.

Η Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση (Supervised Classification) βασίζεται σε μια προκαθορισμένη γνώση των κατηγοριών που υπάρχουν στην εικόνα. Είναι μια διαδικασία όπου ο αναλυτής παρέχει δείγματα (πολύγωνα εκπαίδευσης) για κάθε κατηγορία που θέλει να αναγνωρίσει στην εικόνα. Αυτά τα δείγματα χρησιμοποιούνται με σκοπό να «εκπαιδεύσουν» το σύστημα να αναγνωρίζει και να κατηγοριοποιεί τα υπόλοιπα σημεία της εικόνας που έχουν παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά.

Η Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση (Unsupervised Classification) εξυπηρετεί όταν δεν υπάρχει προηγούμενη γνώση των κατηγοριών στην εικόνα. Πιο αναλυτικά, αναφέρεται σε μια διαδικασία όπου το σύστημα ομαδοποιεί τα εικονοστοιχεία με βάση τις ομοιότητές των φασματικών υπογραφών τους. Στόχος είναι ο εντοπισμός φυσικών ομάδων ή συστάδων μέσα στα δεδομένα [3][4][14][23].

5.3 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση (Supervised Classification)

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση αποτελεί έναν θεμελιώδη πυλώνα στην ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων, επιτρέποντας την ακριβή κατηγοριοποίηση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων ή άλλων γεωγραφικών δεδομένων. Η μέθοδος αυτή έχει τις ρίζες της στη στατιστική ανάλυση και χρησιμοποιείται ευρέως από τη δεκαετία του 1970.

Στη συγκεκριμένη διαδικασία, ο χρήστης έχει ενεργό ρόλο καθώς καθοδηγεί την ταξινόμηση μέσω του καθορισμού συγκεκριμένων περιοχών ή δειγμάτων για κάθε κατηγορία που επιθυμεί να αναγνωρίσει. Αυτά τα δείγματα ή πολύγωνα εκπαίδευσης χρησιμοποιούνται για να «εκπαιδευτεί» ο αλγόριθμος, παρέχοντας στον χρήστη τη δυνατότητα να ορίσει τον αριθμό και το είδος των κατηγοριών που θα εφαρμόσει στην εικόνα. Τα εικονοστοιχεία που δεν ταιριάζουν σε καμία από τις προκαθορισμένες κατηγορίες, ταξινομούνται αυτόματα στο τέλος της διαδικασίας [3, 5,10,16].

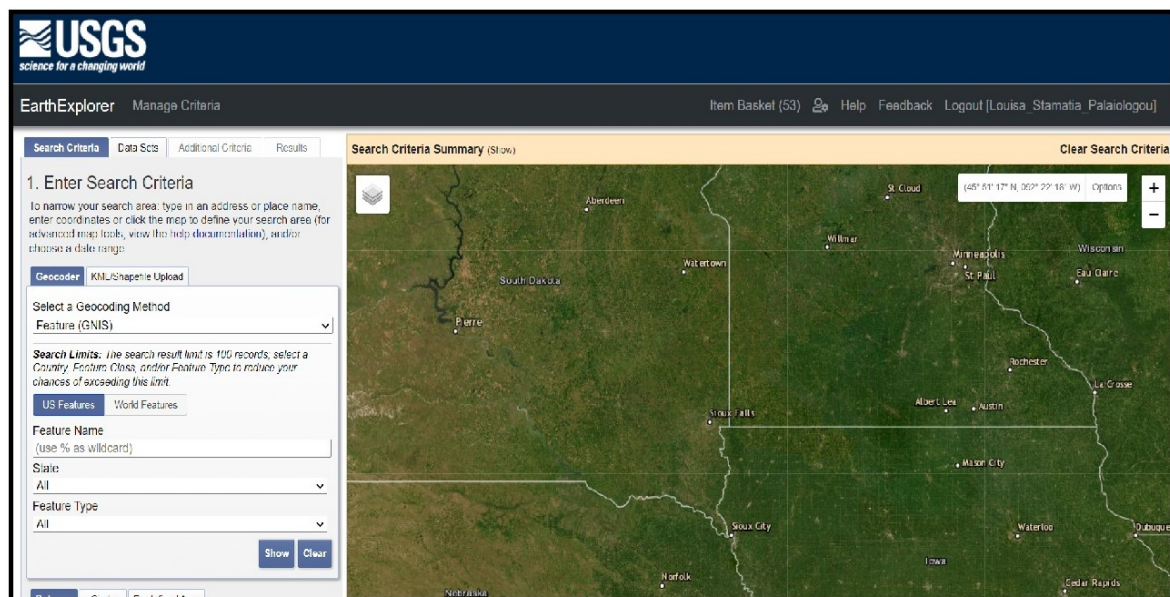
5.4 Επεξεργασία Δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων αποτέλεσε την κύρια δραστηριότητα της διαδικασίας, λόγω της ποικιλίας των τύπων δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Ακόμη και για τα δεδομένα που είχαν ομοιότητες μεταξύ τους, εφαρμόστηκαν επιπρόσθετες διαδικασίες με σκοπό να βελτιωθεί η ακρίβεια της εξαγόμενης μετρητικής πληροφορίας. Στα επόμενα κεφάλαια περιγράφονται λεπτομερώς οι συγκεκριμένες διαδικασίες επεξεργασίας.

5.4.1 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων

Η αρχική φάση περιλαμβάνει τη συλλογή και προετοιμασία των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για την έναρξη των διαδικασιών αποτελούνται από δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες και άλλα διανυσματικά αρχεία.

Όσον αφορά τις δορυφορικές εικόνες, συλλέχθηκαν δεδομένα των δορυφόρων Landsat 5 TM+ και Landsat 8 ETM+ από το αρχείο της United States Geological Survey (USGS) με λιγότερο από 70% νέφωση για την χρονική περίοδο της κάθε πυρκαγιάς. Η λήψη τους έγινε μέσω της ιστοσελίδας (<https://earthexplorer.usgs.gov>) που απεικονίζεται παρακάτω. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως πριν την έναρξη επεξεργασίας των εικόνων προηγήθηκε η γεωμετρική διόρθωσή τους με βάση το σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87.



Εικόνα 10: Ιστοσελίδα παροχής δορυφορικών εικόνων

Και στις τρεις χρονολογίες επιλέχθηκαν 2 δορυφορικές εικόνες, καθώς λόγω της τροχιάς και του εύρους καταγραφής του αισθητήρα δεν ήταν εφικτή η κάλυψη όλης της περιοχής μελέτης από μια εικόνα. Οι δύο αυτές εικόνες συνενώθηκαν σε μια μέσω του εργαλείου Merge Images. Το εργαλείο αυτό αποτελεί μια βασική λειτουργία στο λογισμικό του ArcGIS Pro καθώς δίνει την δυνατότητα συνένωσης πολλαπλών φασματικών ζωνών σε ένα ενιαίο πολυφασματικό αρχείο. Συνεπώς, η λειτουργία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην επεξεργασία δορυφορικών εικόνων ή δεδομένων τηλεπισκόπησης, τα οποία κατά κύριο λόγο αποτελούνται από ξεχωριστές φασματικές ζώνες που καταγράφουν διαφορετικές πτυχές του φωτός.

Επίσης, το εργαλείο Composite Bands χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ψευδοχρωματικών σύνθετων εικόνων, με σκοπό την διευκόλυνση της οπτικοποίησης και ερμηνείας των δεδομένων. Συγκεκριμένα, είναι ένα βασικό εργαλείο για την παρακολούθηση των πυρκαγιών, όπου διαφορετικές φασματικές ζώνες συνδυάζονται για να απεικονίσουν τις πληγείσες περιοχές με λεπτομέρεια. Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν, δημιουργήθηκαν οι κατάλληλες ψευδοχρωματικές συνθήκες σε κάθε μια από τις εικόνες επεξεργασίας, με στόχο την λεπτομερή απεικόνιση των περιοχών που κάηκαν αλλά και την διευκόλυνση ανίχνευσης των χρήσεων Γης, ώστε να ληφθούν τα πολύγωνα εκπαίδευσης για την διαδικασία της ταξινόμησης. Ιδιαίτερη βάση δόθηκε κυρίως στους διαύλους του ορατού φάσματος (Red, Green, Blue) και του εγγύς υπέρυθρου (NIR).

5.4.2 Διαδικασία Συλλογής Πολύγωνων Εκπαίδευσης (Training Samples)

Το επόμενο βήμα μετά την συλλογή των δεδομένων είναι η διαδικασία συλλογής πολύγωνων εκπαίδευσης με σκοπό να γίνει η επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Η ταξινόμηση έγινε στις εξής οκτώ (8) κλάσεις:

- Ύδατα
- Αστική Έκταση
- Δασική Έκταση
- Γυμνό Έδαφος
- Καλλιέργειες
- Δρόμος
- Εγκαταστάσεις Εξόρυξης (Λατομεία Πεντέλης)
- Έκταση Πυρκαγιάς

Ο διαχωρισμός των κλάσεων επιτυγχάνεται μέσω της επιλογής γνωστών περιοχών και της αναγνώρισής τους σε φασματικές τάξεις. Το εργαλείο «Training Samples Manager» επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει και να διαχειριστεί τα πολύγωνα εκπαίδευσης, έτσι ο χρήστης μπορεί να ορίσει πολλές περιοχές για κάθε κατηγορία μέχρι να εξασφαλίσει ότι τα δείγματα είναι αντιπροσωπευτικά. Επίσης, είναι σημαντικό τα δείγματα κάθε κατηγορίας να προέρχονται από διάφορα σημεία της εικόνας, ώστε να καλύπτουν πλήρως την ποικιλία των φασματικών χαρακτηριστικών της κατηγορίας. Για την εκπαίδευση του αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκαν περίπου 10-15 δείγματα εδαφικής κάλυψης με κοινά φασματικά χαρακτηριστικά, για κάθε κλάση. Με αυτόν τον αριθμό δειγμάτων εξασφαλίστηκε η αποτελεσματική εκπαίδευση του αλγορίθμου.

Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι ένα από τα πιο βασικά βήματα στην ταξινόμηση της εικόνας, καθώς τα δείγματα πρέπει να είναι συνεπή στις φασματικές τους ιδιότητες, ώστε να μην δημιουργούν σύγχυση κατά την εκπαίδευση του αλγορίθμου. Είναι πολύ σημαντικό τα πολύγωνα που θα επιλέξει ο χρήστης να είναι ακριβή και να εκπροσωπούν σωστά την κατηγορία στην οποία αποδίδονται όπως επίσης και να είναι ομοιόμορφα κατανομημένα, ώστε να καλύπτουν όλες τις περιοχές της κατηγορίας που πρόκειται να αναγνωριστούν στην εικόνα. Η ποιότητα και η αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων εκπαίδευσης είναι ζωτικής σημασίας, διότι επηρεάζουν άμεσα την ακρίβεια και την αξιοπιστία της ταξινόμησης [11].

Η σωστή επιλογή πολυγώνων είναι μια από τις πιο καθοριστικές παραμέτρους για την επιτυχία της ταξινόμησης καθώς και μια από τις διαδικασίες όπου αντιμετώπισα την περισσότερη δυσκολία. Η χωρική ανάλυση και η διακριτική ικανότητα των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, με χρονολογίες 1993 και 2007, ήταν περιορισμένη, γεγονός που οδήγησε σε σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών χρήσεων γης. Ιδιαίτερη πρόκληση αποτέλεσε η ανίχνευση της αστικής κάλυψης. Παρά την αρχική προσπάθεια διαχωρισμού της σε συνεχόμενη και ασυνεχή αστική κάλυψη, ο περιορισμός αυτός με ανάγκασε να συγχωνεύσω τις δύο κατηγορίες σε μία ενιαία, ώστε να αποτυπωθεί με ακρίβεια και αντιπροσωπευτικότητα στον τελικό χάρτη.

Η διαδικασία επιλογής πολυγώνων εκπαίδευσης αποδείχθηκε ιδιαίτερα απαιτητική, καθώς για τα δεδομένα του 1993 η διαδικασία επαναλήφθηκε τουλάχιστον δέκα φορές, προκειμένου να επιτευχθούν τα επιθυμητά, αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα.

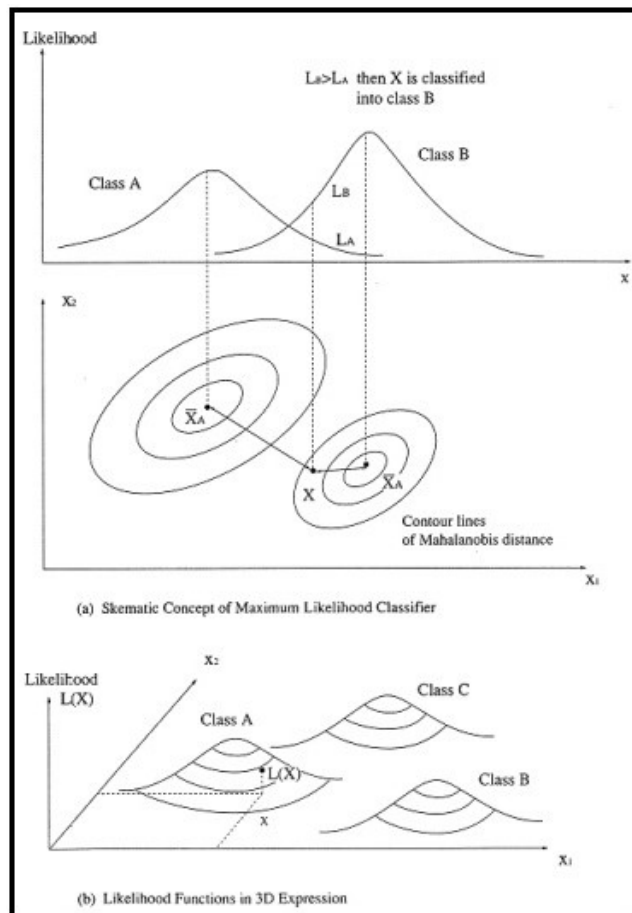
5.4.3 Υπολογισμός Στατιστικών Παραμέτρων (Calculation of Statistical Parameters)

Μετά τη συλλογή των δειγμάτων εκπαίδευσης, το λογισμικό προχωρά στον υπολογισμό των στατιστικών παραμέτρων για κάθε κατηγορία. Ουσιαστικά αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν την μέση τιμή και την διακύμανση για κάθε ζώνη (band) της εικόνας και είναι χρήσιμες για τον καθορισμό των φασματικών χαρακτηριστικών κάθε κατηγορίας. Κάθε κατηγορία έχει διαφορετικές μέσες τιμές και τιμές διακύμανσης, διευκολύνοντας έτσι τον διαχωρισμό των κλάσεων.

5.4.4 Επιλογή Αλγορίθμου Ταξινόμησης

Το λογισμικό ArcGIS Pro προσφέρει ποικιλία αλγορίθμων για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Για την συγκεκριμένη μελέτη, επιλέχθηκε η Μέθοδος της Μέγιστης Πιθανότητας (Maximum Likelihood). Η μέθοδος αυτή έχει ευρεία χρήση στην χωρική ανάλυση για την κατηγοριοποίηση δορυφορικών εικόνων και βασίζεται σε στατιστικά μοντέλα και συγκεκριμένα στην υπόθεση ότι τα δεδομένα για κάθε κατηγορία ακολουθούν πολυδιάστατη κανονική κατανομή. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η Μέθοδος Ελάχιστης Απόστασης (Minimum Distance) και η Μέθοδος Παραλληλεπίπεδου (Parallelepiped) [20,23] .

Η Μέθοδος Μέγιστης Πιθανότητας χρησιμοποιεί τον μέσο όρο και τον λόγο μεταβλητότητας και συνμεταβλητότητας των φασματικών ταυτοτήτων με σκοπό να εκτιμήσει την πιθανότητα ενός εικονοστοιχείου να ανήκει σε κάποια κλάση. Δηλαδή, ταξινομεί τα εικονοστοιχεία στην κατηγορία με την υψηλότερη πιθανότητα να ανήκουν.

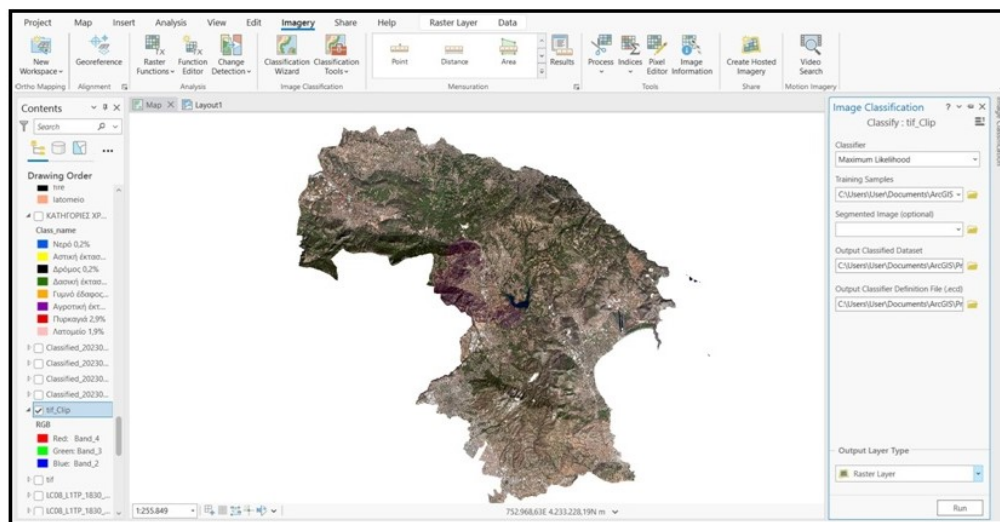


Εικόνα 11: Διαγραμματική απεικόνιση του αλγορίθμου Μέγιστης Πιθανότητας

5.4.5 Εκτέλεση της ταξινόμησης

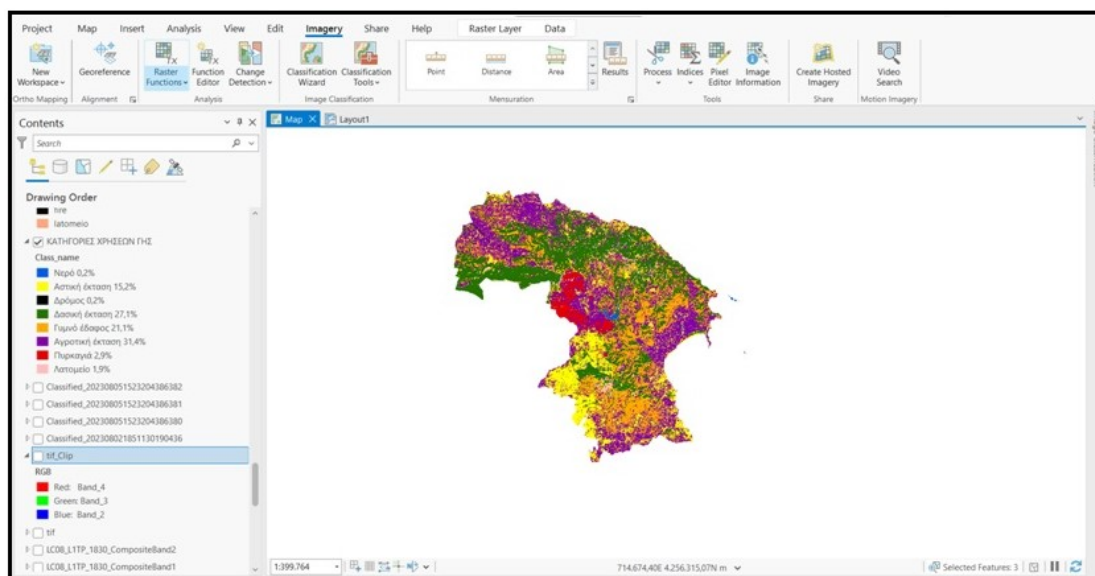
Μετά την δημιουργία και τον ορισμό των δειγμάτων εκπαίδευσης, ακολουθεί η εκτέλεση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω της εκπαίδευσης του ταξινομητή και της εφαρμογής του στα δεδομένα.

Από την γραμμή εργασιών Imagery, επιλέγεται στα Classification Tools το εργαλείο Classify, στο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται, επιλέγεται η εικόνα που πρόκειται να ταξινομηθεί καθώς και το layer με τα πολύγωνα εκπαίδευσης. Στην συνέχεια, επιλέγεται ο αλγόριθμος της Μέγιστης Πιθανότητας (Maximum Likelihood) καθώς και η τοποθεσία και το όνομα του αρχείου εξόδου. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με την εκτέλεση της εντολής.



Εικόνα 12: Απεικόνιση του περιβάλλοντος του ArcGIS Pro για την εντολή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένας χάρτης όπου οι περιοχές έχουν κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα με τις κλάσεις εκπαίδευσης και τον επιλεγμένο αλγόριθμο ταξινόμησης.



Εικόνα 13: Τελικό αποτέλεσμα μιας εκ των τριών επιβλεπόμενης ταξινόμησης

5.4.6 Αξιολόγηση της ταξινόμησης

Ένας εναλλακτικός τρόπος αξιολόγησης της ακρίβειας της ταξινόμησης, όπως προαναφέρθηκε, είναι ο πίνακας σύγχυσης ή πίνακας σφαλμάτων ταξινόμησης. Οι πίνακες σφαλμάτων συγκρίνουν τη σχέση μεταξύ των γνωστών επίγειων δεδομένων αναφοράς, αληθών δεδομένων, και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων μιας επιβλεπόμενης ή και μη-

επιβλεπόμενης ταξινόμησης, κατηγορία προς κατηγορία. Τέτοιοι πίνακες είναι τετραγωνικοί, με αριθμό γραμμών και στηλών ίσο με τον αριθμό των κατηγοριών, για τις οποίες επιδιώκεται η εκτίμηση της ακρίβειας.

Συγκεκριμένα, ο πίνακας σύγχυσης προκύπτει από τον καθορισμό ενός αντιπροσωπευτικού υποσυνόλου εικονοστοιχείων ή πολυγώνων, συχνά αναφερόμενων ως περιοχές ελέγχου, οι οποίες διαφέρουν από τις περιοχές εκπαίδευσης και είναι σημαντικά πιο εκτεταμένες. Στον πίνακα σφαλμάτων πρέπει να συμπεριληφθούν τουλάχιστον 10 δείγματα από κάθε κατηγορία βλάστησης ή χρήσης γης. Επιπλέον, μπορεί να ληφθεί υπόψη η σχετική σημασία κάθε κατηγορίας για την εφαρμογή, προσαρμόζοντας τον αριθμό των δειγμάτων ανά κατηγορία ανάλογα με τη σημασία τους.

Ο πίνακας αυτός δείχνει πώς το κάθε εικονοστοιχείο (pixel) ταξινομήθηκε τελικά σε σχέση με κάθε κατηγορία. Από αυτόν μπορούν να διακριθούν δυο ειδών σφάλματα, αυτό της παράλειψης και εκείνο της συμπερίληψης. Και τα δυο σφάλματα μας δείχνουν λάθη στην κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων. Τα σφάλματα αυτά συνήθως δημιουργούνται λόγω πιθανής επικάλυψης των τιμών των εικονοστοιχείων της κάθε κατηγορίας.

Ένας πίνακας σύγχυσης δίνει την δυνατότητα πραγματοποίησης ποσοτικής αξιολόγησης των δεδομένων αναφοράς (GroundTruth) με βάση τον υπολογισμό των μετρήσεων της ακρίβειας παραγωγού (Producer's Accuracy - PA), της ακρίβειας χρήστη (User's Accuracy - UA) και της συνολικής ακρίβειας (Overall Accuracy).

Η «**Ακρίβεια του Χρήστη**» (User's Accuracy - UA), δείχνει τα λανθασμένα θετικά, όπου τα εικονοστοιχεία (pixel) κατατάσσονται εκ των υστέρων ως μια γνωστή κατηγορία, αντί να καταταγούν ως κάτι άλλο. Ένα παράδειγμα θα ήταν όπου η κατηγορία της εικόνας κατατάσσει ένα pixel ως «γυμνό έδαφος», αλλά η αναφορά τον κατατάσσει ως «δασική έκταση». Η κατηγορία «γυμνό έδαφος» έχει επιπλέον pixel που δεν θα έπρεπε να έχει σύμφωνα με τα αναφερόμενα δεδομένα. Η «Ακρίβεια του Χρήστη» ονομάζεται επίσης σφάλματα επιβολής ή σφάλματα τύπου 1. Τα δεδομένα για τον υπολογισμό αυτού του ποσοστού λάθους αναγνωρίζονται από τις γραμμές του πίνακα. Η συνολική στήλη δείχνει τον αριθμό των σημείων που έπρεπε να έχουν ταυτοποιηθεί ως μια δεδομένη κατηγορία, σύμφωνα με τα δεδομένα αναφοράς.

Η «Ακρίβεια του Παραγωγού» (Producer's Accuracy - PA), αντιστοιχεί σε λανθασμένα αρνητικά, όπου τα pixel μιας γνωστής κατηγορίας κατατάσσονται ως κάτι διαφορετικό από αυτή την κατηγορία. Ένα παράδειγμα θα ήταν όπου η κατηγορία της εικόνας κατατάσσει ένα pixel ως «δασική έκταση», αλλά πραγματικά θα έπρεπε να είναι «γυμνό έδαφος». Σε αυτήν την περίπτωση, η κατηγορία «γυμνό έδαφος» λείπει από pixel σύμφωνα με τα δεδομένα αναφοράς. Η «Ακρίβεια του Παραγωγού» ονομάζεται επίσης σφάλματα παράλειψης ή σφάλματα τύπου 2. Τα δεδομένα για τον υπολογισμό αυτού του ποσοστού λάθους αναγνωρίζονται στις στήλες του πίνακα. Η συνολική σειρά δείχνει τον αριθμό των σημείων που ταυτοποιήθηκαν ως μια συγκεκριμένη κατηγορία.

Η «Συνολική Ακρίβεια» (Overall Accuracy) είναι ένα στατιστικό μέτρο που μετράει το συνολικό ποσοστό σωστών προβλέψεων σε ένα πρόβλημα ταξινόμησης. Υπολογίζεται ως τον λόγο του αριθμού των σωστών προβλέψεων προς τον συνολικό αριθμό των δειγμάτων.

Η τυπική μορφή υπολογισμού της συνολικής ακρίβειας είναι η εξής:

$$\text{Συνολική Ακρίβεια (Overall Accuracy)} = \frac{\text{Σωστές προβλέψεις}}{\text{Συνολικός αριθμός δειγμάτων}} * 100\%$$

Τέλος, ο Δείκτης Kappa (KIA) αναπτύσσεται μέσω μιας στατιστικής δοκιμής για την αξιολόγηση της ακρίβειας μιας ταξινόμησης. Ο συγκεκριμένος δείκτης, ουσιαστικά εκτιμά πόσο επιτυχημένη είναι η ταξινόμηση σε σχέση με μια απλή τυχαία ανάθεση τιμών. Η τιμή του δείκτη μπορεί να κυμαίνεται από -1 έως 1. Ένα μηδενικό αποτέλεσμα υποδηλώνει ότι η ταξινόμηση δεν είναι καλύτερη από μια τυχαία ταξινόμηση [8,16,18] .

Πίνακας 1: Strength of agreement of Kappa statistics

S.No	Kappa statistics	Strength of agreement
1	<0.00	Poor
2	0.00 - 0.20	Slight
3	0.21 - 0.40	Fair
4	0.41 - 0.60	Moderate
5	0.61 - 0.80	Substantial
6	0.81 - 1.00	Almost perfect

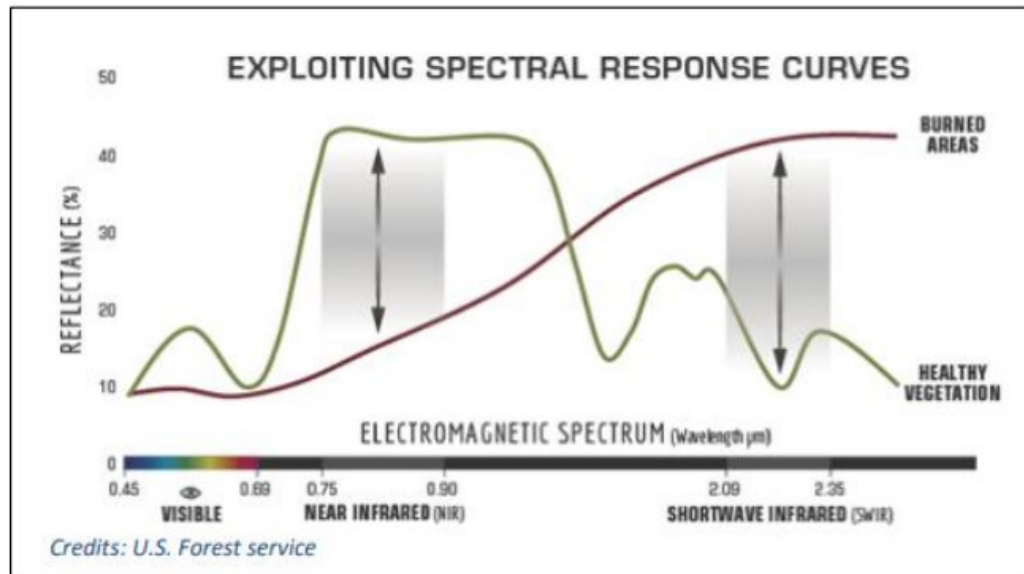
5.5 Χάρτης Δριμύτητας

Η συνεχής εμφάνιση ξηρασίας και πυρκαγιών είναι φαινόμενα διαταραχής που επηρεάζουν τη λειτουργία των οικοσυστημάτων και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή διάβρωση του εδάφους, αλλαγές των χρήσεων γης καθώς και στον κύκλο του άνθρακα. Τα δεδομένα που αφορούν τη δριμύτητα των πυρκαγιών συμβάλλουν σημαντικά στη παρακολούθηση των πυρκαγιών και των επιπτώσεών τους στο έδαφος, ενώ παράλληλα μπορούν να συγκριθούν με τους χάρτες αναγέννησης βλάστησης. Πιο συγκεκριμένα, οι χάρτες δριμύτητας καταγράφουν την έκταση των καμένων περιοχών και βοηθούν στην αναγνώριση περιοχών που πιθανόν να έχουν υποστεί διάβρωση εδάφους.

Η δριμύτητα μιας πυρκαγιάς αναφέρεται στο βαθμό επίδρασής της στο φυσικό περιβάλλον, δίνοντας έμφαση στις αλλαγές που επιφέρει στη βλάστηση της περιοχής. Οι μεταβολές του βαθμού επίδρασης της πυρκαγιάς και της συχνότητας της, οδηγούν στη δημιουργία ενός ψηφιδωτού που αποτυπώνει τη δριμύτητα στο χώρο. Αυτή η πληροφορία είναι εξαιρετικά σημαντική για τη κατανόηση των επιπτώσεων μιας φωτιάς στην αναγέννηση της βλάστησης.

Η κατανομή της δριμύτητας μιας πυρκαγιάς είναι κρίσιμη για την εκτίμηση των οικολογικών επιπτώσεων και για την παρακολούθηση της ικανότητας των φυτικών ειδών να αναγεννηθούν. Για τη δημιουργία των χαρτών δριμύτητας, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα κανάλια από δορυφορικά δεδομένα, όπως το κόκκινο (Red) , το εγγύς υπέρυθρο (Near Infrared - NIR) και το μέσο υπέρυθρο (Shortwave Infrared - SWIR). Ως βέλτιστη μέθοδος επιλέγεται ο Κανονικοποιημένος Λόγος Καύσης (Normalized Burned Ratio - NBR), διότι επιτρέπει την καλύτερη διαφοροποίηση των καμένων εκτάσεων και προσφέρει πιο ακριβείς πληροφορίες για καταγραφή.

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$



Εικόνα 14: Φασματική ανάλυση της ανάκλασης καμένων περιοχών και υγιής βλάστησης [28]

Ο υπολογισμός του NBR στο πρόγραμμα του ArcGIS Pro γίνεται με το εργαλείο Raster Calculator και την εισαγωγή του παραπάνω τύπου.

Η υγιής βλάστηση εμφανίζει πολύ υψηλές τιμές ανάκλασης στο υπέρυθρο φάσμα και πολύ χαμηλές τιμές ανάκλασης στο μέσο υπέρυθρο. Αντιθέτως, οι καμένες εκτάσεις παρουσιάζουν χαμηλές τιμές ανάκλασης στο εγγύς υπέρυθρο και υψηλές τιμές στο μέσο υπέρυθρο. Αυτή η αντίστροφη συμπεριφορά των τιμών της ανάκλασης διευκολύνει τη διάκριση μεταξύ δύο τύπων περιοχών. Συνεπώς, στον τελικό χάρτη οι περιοχές με υψηλές τιμές υποδηλώνουν υγιή βλάστηση, ενώ αυτές με χαμηλές τιμές αντιστοιχούν στις καμένες εκτάσεις.

Είναι απαραίτητο να υπολογιστεί ο δείκτης πριν την εκδήλωση της πυρκαγιάς και μετά, προκειμένου να υπάρξει μια σύγκριση των αλλαγών. Για τον λόγο αυτό επιλέγεται μια δορυφορική εικόνα πριν από το συμβάν της πυρκαγιάς, όπου υπολογίζεται ο δείκτης Pre-fire NBR και μία δορυφορική εικόνα μετά την πυρκαγιά για τον υπολογισμό του δείκτη Post-fire NBR [6,8,10,20,28,29].

Για να αναγνωριστούν οι καμένες εκτάσεις και να διαφοροποιηθούν από άλλες χρήσεις γης χρησιμοποιείτε η διαφορά εικόνων πριν και μετά την πυρκαγιά dNBR.

$$dNBR = NBR_{pre-fire} - NBR_{post-fire}$$

Ωστόσο η διαφορά dNBR είναι μια απόλυτη διαφορά που ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα σε περιοχές με αραιή βλάστηση ή χαμηλή ανακλαστικότητα πριν την πυρκαγιά, όπου η απόλυτη τιμή της διαφοράς θα είναι πολύ μικρή. Εξαιτίας αυτού θα χρησιμοποιηθεί ένας επιπλέον δείκτης, ο Σχετικός Δείκτης Δριμύτητας Πυρκαγιάς (Relative Burn Ratio - RBR), για να επιτευχθεί ακριβέστερη ταξινόμηση της δριμύτητας της φωτιάς.

Αυτός ο δείκτης θεωρείται πιο αξιόπιστος, καθώς προσαρμόζει τον υπολογισμό της δριμύτητας ανάλογα με την αρχική κατάσταση της βλάστησης, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι αποκλίσεις που μπορεί να παρουσιαστούν λόγω αραιής βλάστησης.

$$RBR = \left(\frac{dNBR}{(NBR_{pre-fire} + 1.001)} \right)$$

Η προσθήκη του 1.001 στον παρονομαστή εξασφαλίζει πως δεν θα είναι ποτέ μηδενικός ο δείκτης. Η United Stage Geological Survey (USGS) έχει προτείνει την χρωματική ταξινόμηση για την δριμύτητα της φωτιάς όπως απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα [6,10,18,28,29] .

Επίπεδο Δριμύτητας	Χρωματική Κλίμακα	RBR εύρος
Υψηλή βελτιωμένη αναγέννηση		-0.500 έως -0.251
Χαμηλή βελτιωμένη αναγέννηση		-0.250 έως -0.101
Μη καμένες εκτάσεις		-0.100 έως +0.099
Χαμηλή δριμύτητα		+0.100 έως +0.269
Χαμηλή – μέση δριμύτητα		+0.270 έως +0.439
Υψηλή – μέση δριμύτητα		+0.439 έως +0.659
Υψηλή δριμύτητα		+0.660 έως +1.300

Εικόνα 15: Χρωματική ταξινόμηση του χάρτη δριμύτητας βάσει του United Stage Geological Survey (USGS)

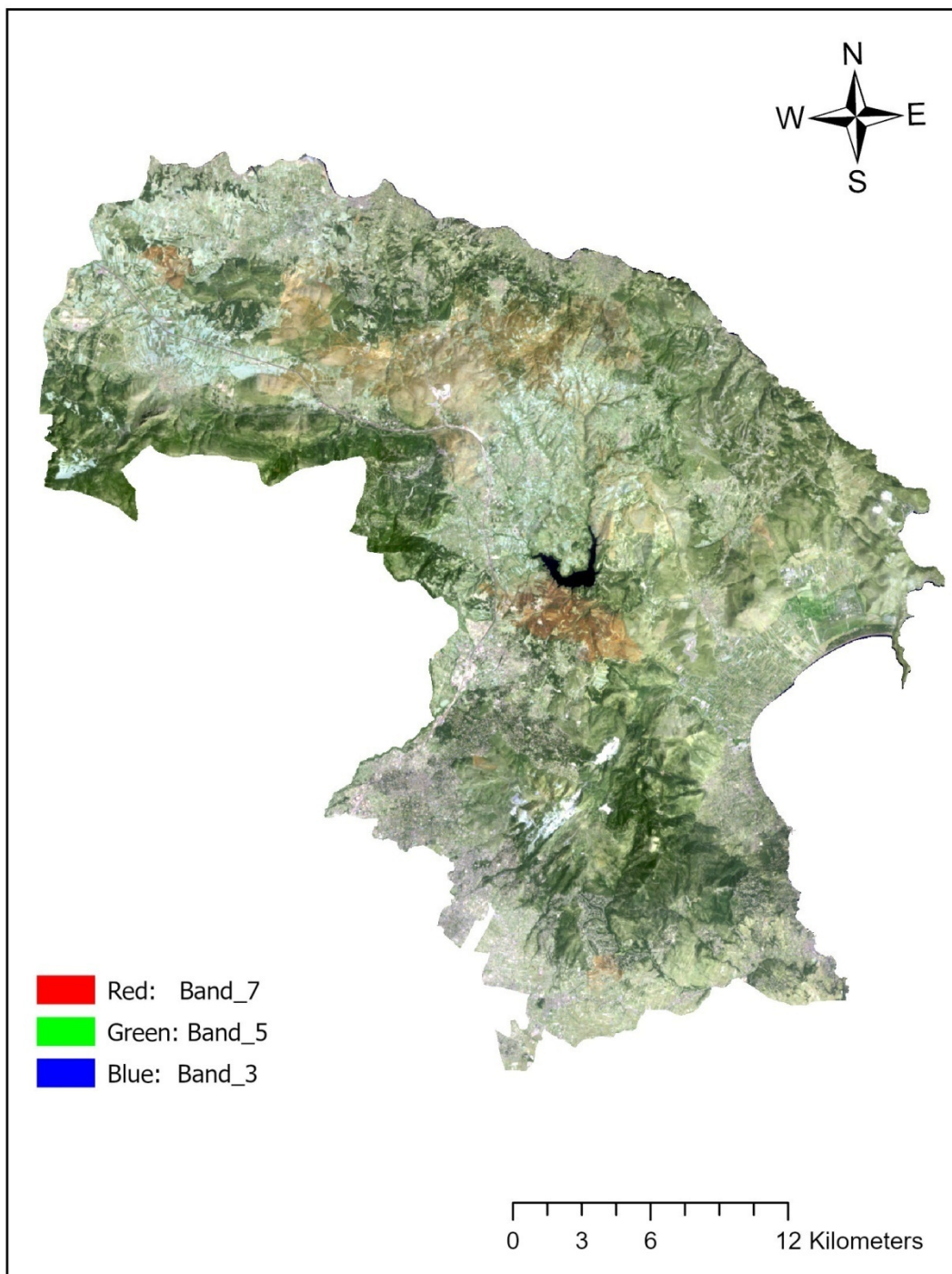
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα

6.1 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Για την δημιουργία των έγχρωμων σύνθετων (Bands RGB) από τις δορυφορικές εικόνες, αρχικά έγινε εισαγωγή των δεδομένων μου στο περιβάλλον του προγράμματος, με σκοπό να ανιχνευτούν οι χρήσεις γης. Οι δορυφορικές εικόνες που επιλέχθηκαν για επεξεργασία, λήφθηκαν από τους δορυφόρους Landsat 5 TM+ για τις χρονολογίες 1993 και 2007 και Landsat 8 ETM+ για την χρονολογία 2021 και απεικονίζονται στους Χάρτες 1,2 και 3 σε true color composite bands, με σκοπό ένα φυσικό έγχρωμο αποτέλεσμα, που είναι μια καλή αναπαράσταση των πραγματικών χρωμάτων της Γης.

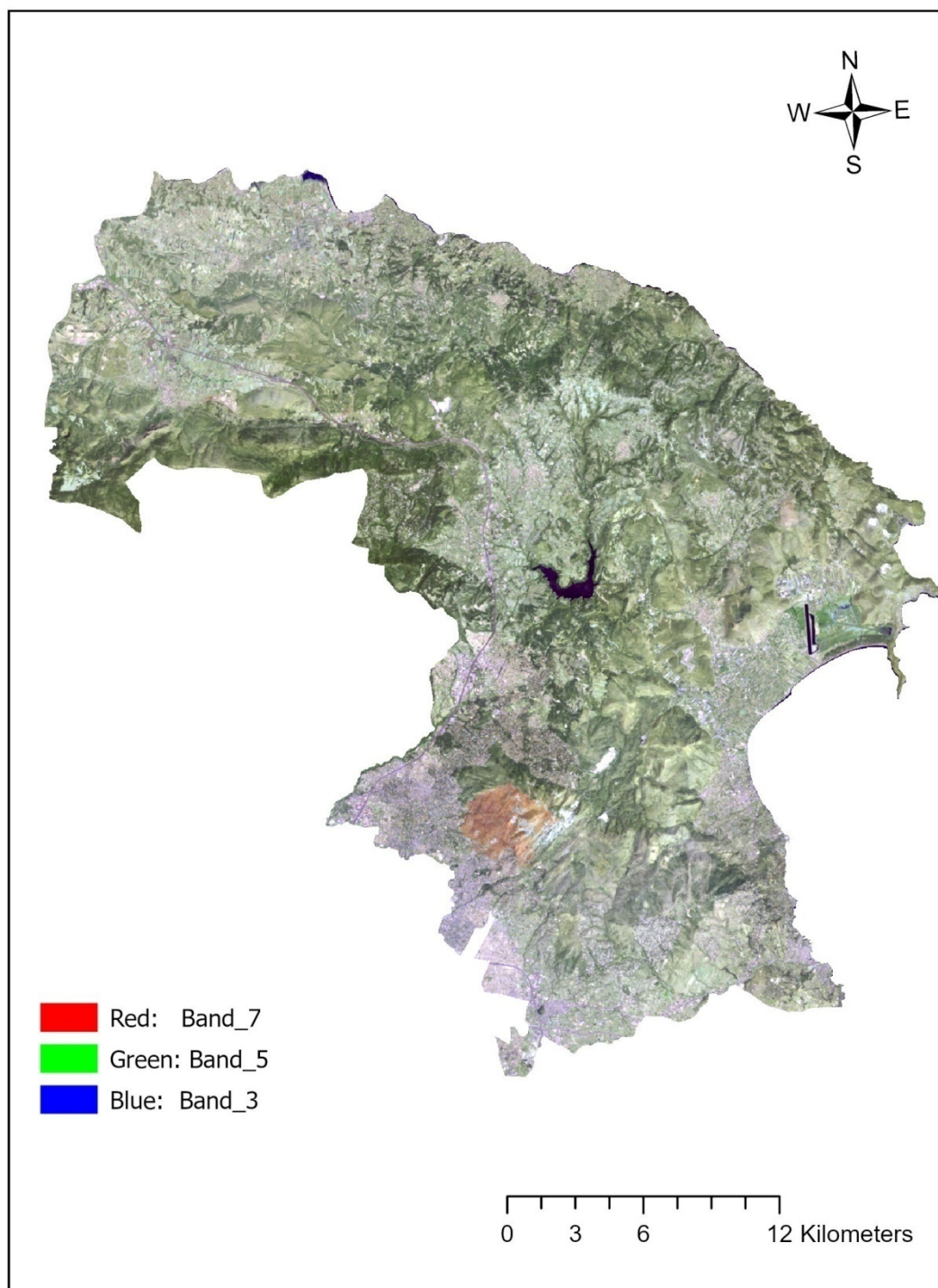
Στη συνέχεια, επιλέχθηκε το ψευδοέγχρωμο σύνθετο που απεικονίζει με τον καλύτερο τρόπο τις περιοχές που έχουν προσβληθεί από πυρκαγιές, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη γης. Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης των εικόνων, έλαβε χώρα η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με πολύγωνα εκπαίδευσης, με σκοπό την ανίχνευση των χρήσεων γης μετά από κάθε πυρκαγιά. Έτσι, υπολογίστηκαν δείγματα από κάθε χρήση Γης σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (km^2) για κάθε χρονολογία.

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 1993



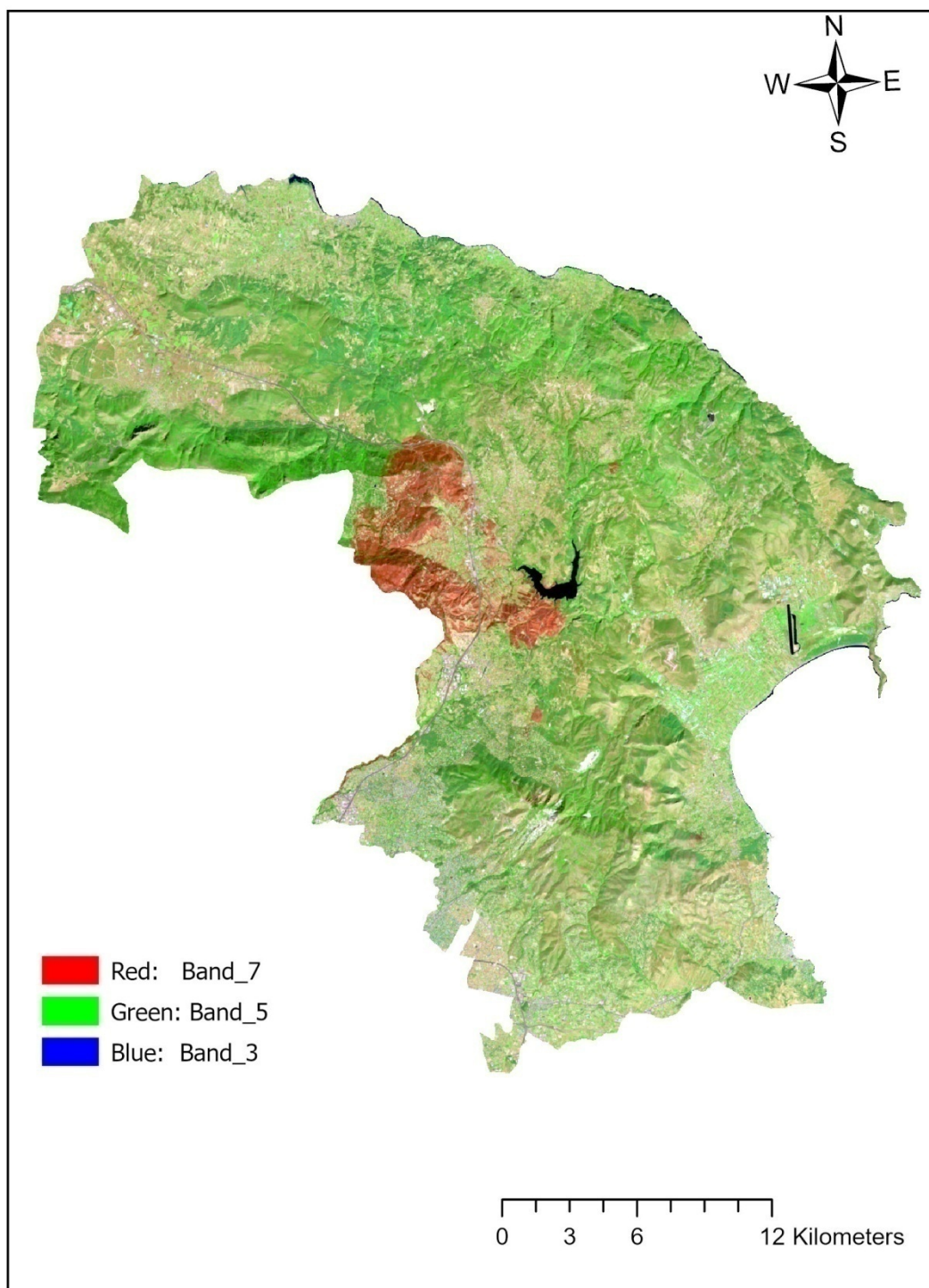
Χάρτης 1: Χάρτης περιοχής μελέτης μετά τη πυρκαγιά για τη χρονολογία 1993. Η δορυφορική εικόνα είναι από τον δορυφόρο Landsat 5 TM (29/08/1993) .

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2007



Χάρτης 2: Χάρτης περιοχής μελέτης μετά τη πυρκαγιά για τη χρονολογία 2007. Η δορυφορική εικόνα είναι από τον δορυφόρο Landsat 5 TM (20/08/2007).

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2021



Χάρτης 3: Χάρτης περιοχής μελέτης μετά τη πυρκαγιά για τη χρονολογία 2021. Η δορυφορική εικόνα είναι από τον δορυφόρο Landsat 8 ETM+ (27/09/2021).

6.1.1 Αποτελέσματα χαρτών επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι μια δύσκολη διαδικασία που απαιτεί πολύ προσοχή στην υλοποίησή της. Πιο αναλυτικά, πρέπει να δοθεί έντονη προσοχή στην επιλογή των δορυφορικών εικόνων. Λόγω της παλαιότητας κάποιων δορυφόρων, η χωρική ανάλυση δεν είναι καλή και δεν παρέχεται επαρκής διακριτική ικανότητα. Αυτό μπορεί να επηρεάσει τα τελικά αποτελέσματα. Εκτός από την επιλογή των κατάλληλων δορυφορικών εικόνων, υπάρχουν και άλλες προκλήσεις που μπορεί να αντιμετωπίσει κάποιος κατά τη διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Η ακρίβεια της ταξινόμησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των δειγμάτων που επιλέγονται για εκπαίδευση. Αν τα δείγματα δεν καλύπτουν επαρκώς όλους τους τύπους χρήσεων γης ή βλάστησης, η ταξινόμηση μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα. Η σωστή επιλογή αντιπροσωπευτικών περιοχών είναι κρίσιμη, καθώς η ανεπαρκής κάλυψη των κλάσεων μπορεί να μειώσει την ακρίβεια της ανάλυσης.

Επιπλέον σε περιπτώσεις όπου διαφορετικοί τύποι χρήσεων γης ή βλάστησης παρουσιάζουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές, μπορεί να προκύψουν λανθασμένες ταξινομήσεις. Για παράδειγμα, η βλάστηση που δεν έχει καεί αλλά βρίσκεται σε υποβάθμιση μπορεί να συγχέεται με καμένες περιοχές. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια στην ανίχνευση των καμένων εκτάσεων ή των διαφορετικών τύπων βλάστησης.

Οι δορυφορικές εικόνες επίσης ενδέχεται να επηρεαστούν από ατμοσφαιρικές παραμορφώσεις, όπως σύννεφα, καπνός ή υγρασία, τα οποία μπορούν να μειώσουν την ποιότητα των δεδομένων. Σε περιοχές που έχουν πληγεί από πυρκαγιά, η παρουσία καπνού ή στάχτης στις εικόνες μπορεί να εμποδίσει την ακριβή ανάλυση των καμένων εκτάσεων.

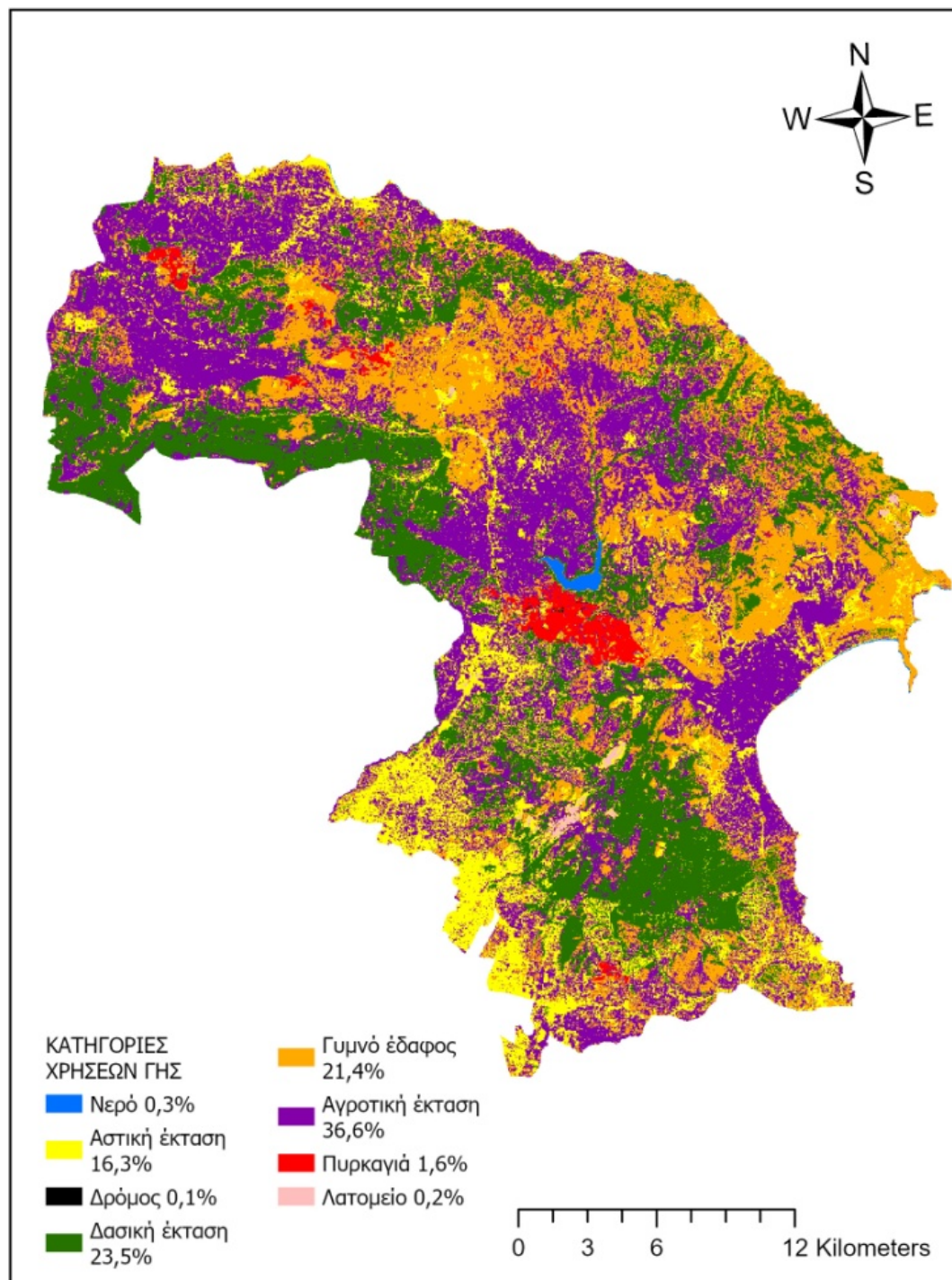
Άλλος ένας λόγος είναι η περιορισμένη διαθεσιμότητα πολυφασματικών δεδομένων. Αν οι δορυφορικές εικόνες δεν περιέχουν αρκετά φασματικά κανάλια (bands), η διάκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων κάλυψης γης μπορεί να είναι δύσκολη. Οι εικόνες με περισσότερα φασματικά κανάλια προσφέρουν καλύτερες δυνατότητες ταξινόμησης, καθώς δίνουν περισσότερες πληροφορίες για τα υλικά στην επιφάνεια.

Τέλος, η επιβεβαίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης μέσω επιτόπιων δεδομένων (ground truth) είναι επίσης σημαντική, αλλά συχνά δύσκολη λόγω χρονολογίας των δεδομένων. Η έλλειψη τέτοιων δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε αβεβαιότητα όσον αφορά την ακρίβεια των τελικών χαρτών και την καταλληλότητα των ταξινομήσεων για επιστημονική ανάλυση ή διαχείριση της γης.

Οι χάρτες ταξινόμησης παρουσιάζονται στον **Χάρτης 4** , **Χάρτης 5**, **Χάρτης 6** . Επίσης, δημιουργήθηκαν επιπλέον χάρτες, όπου είναι εμφανής μόνο η αστική και η καμένη έκταση για κάθε χρονολογία και παρουσιάζονται στο **Χάρτης 7** , **Χάρτης 8** και **Χάρτης 9**.

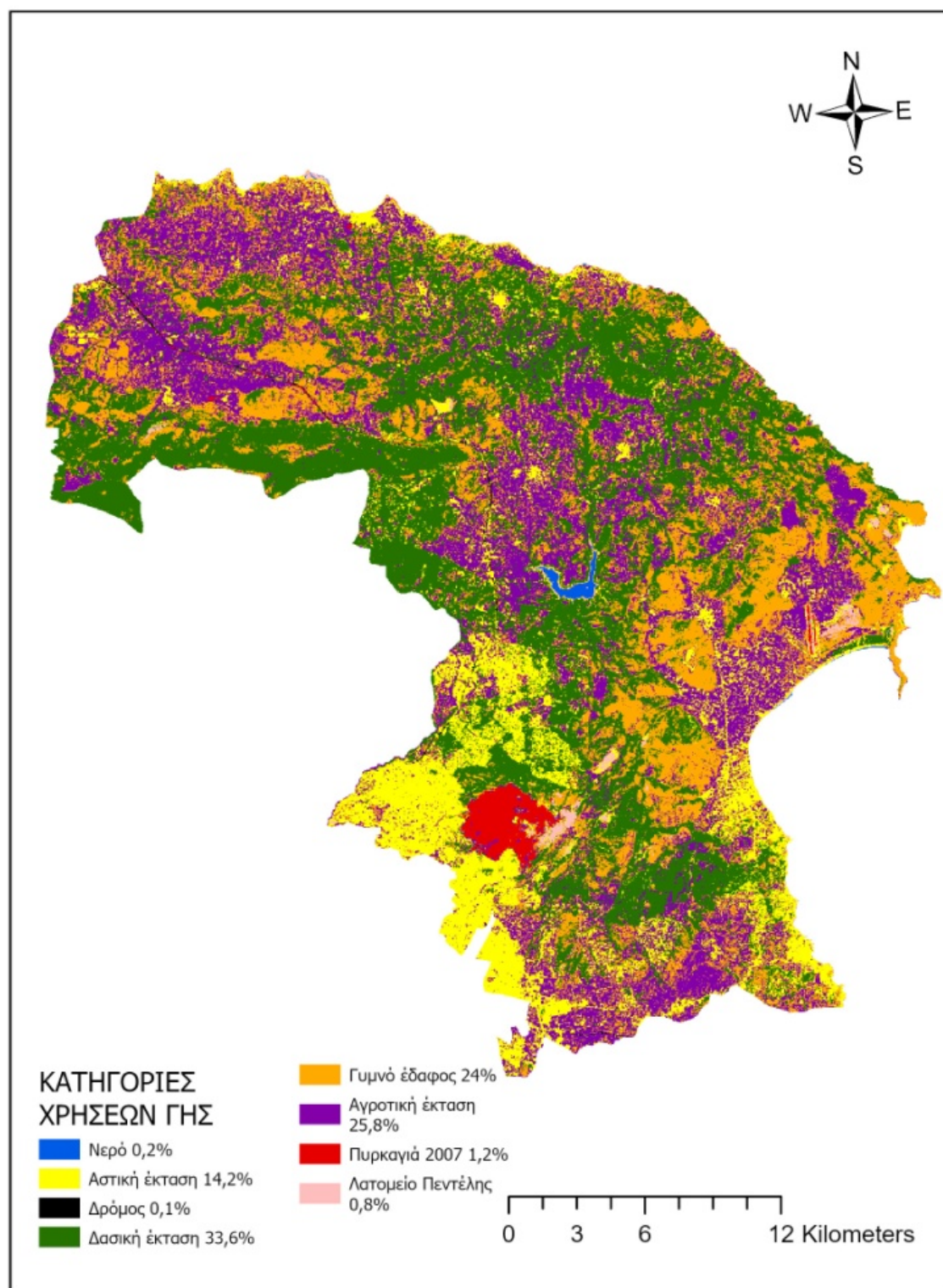
Αναλυτικότερα στους **Χάρτες 4, 5 και 6** , το μπλε χρώμα απεικονίζει τα ύδατα, το κίτρινο απεικονίζει την αστική έκταση, το μαύρο αντιστοιχεί στην επιφάνεια της Γης που καλύπτεται από δρόμο, με πράσινο χρώμα παρουσιάζονται οι δασικές εκτάσεις, το πορτοκαλί χρώμα μας δείχνει το γυμνό έδαφος, με μωβ χρώμα απεικονίζονται οι αγροτικές εκτάσεις (καλλιέργειες, θερμοκήπια), με ροζ χρώμα απεικονίζονται οι εγκαταστάσεις εξορύξεων (λατομεία) και τέλος με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η έκταση της επιφάνειας της Γης που επλήγη από την φωτιά.

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 1993



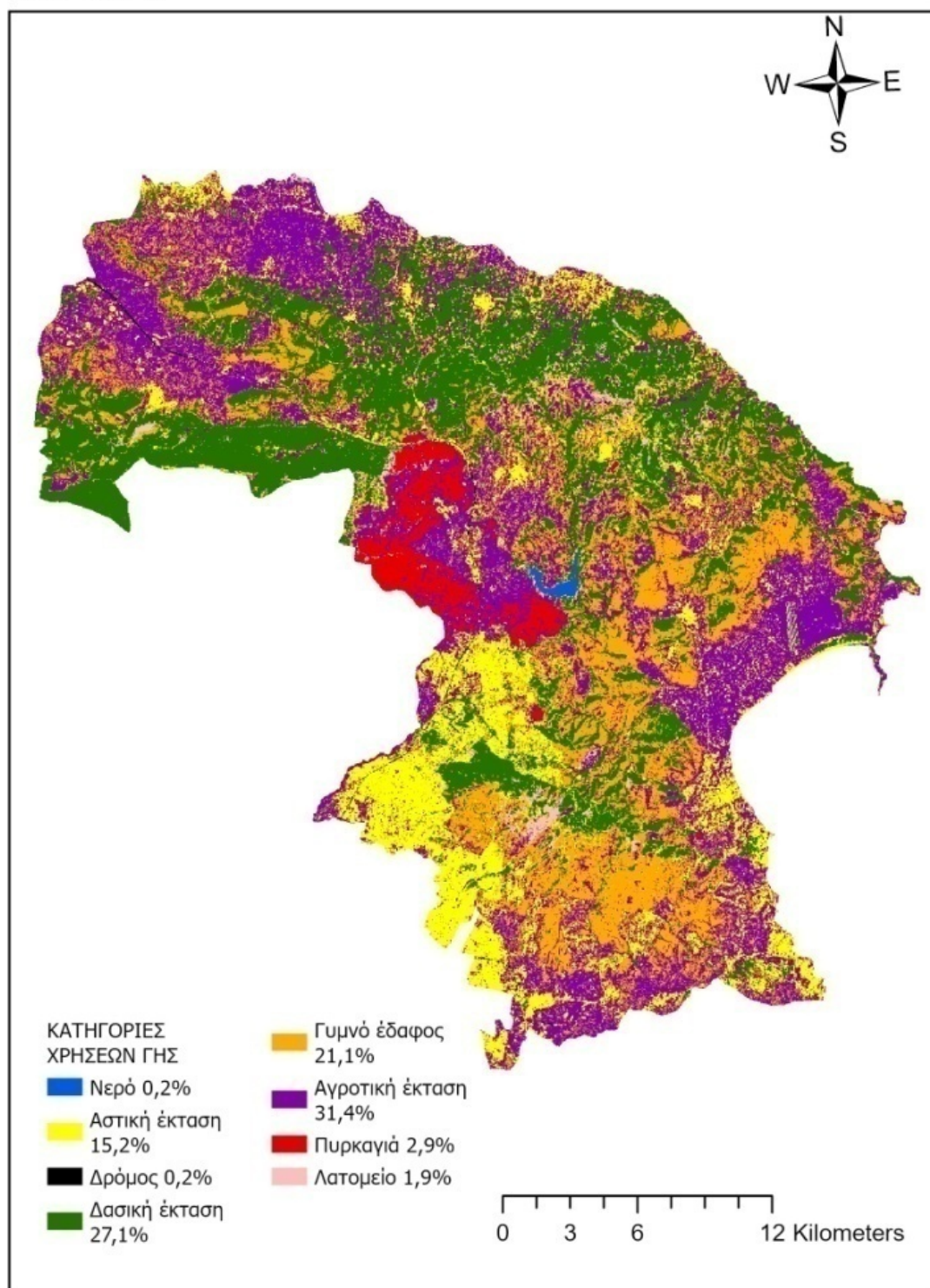
Χάρτης 4: Χάρτης χρήσεων γης για τη χρονολογία 1993

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2007



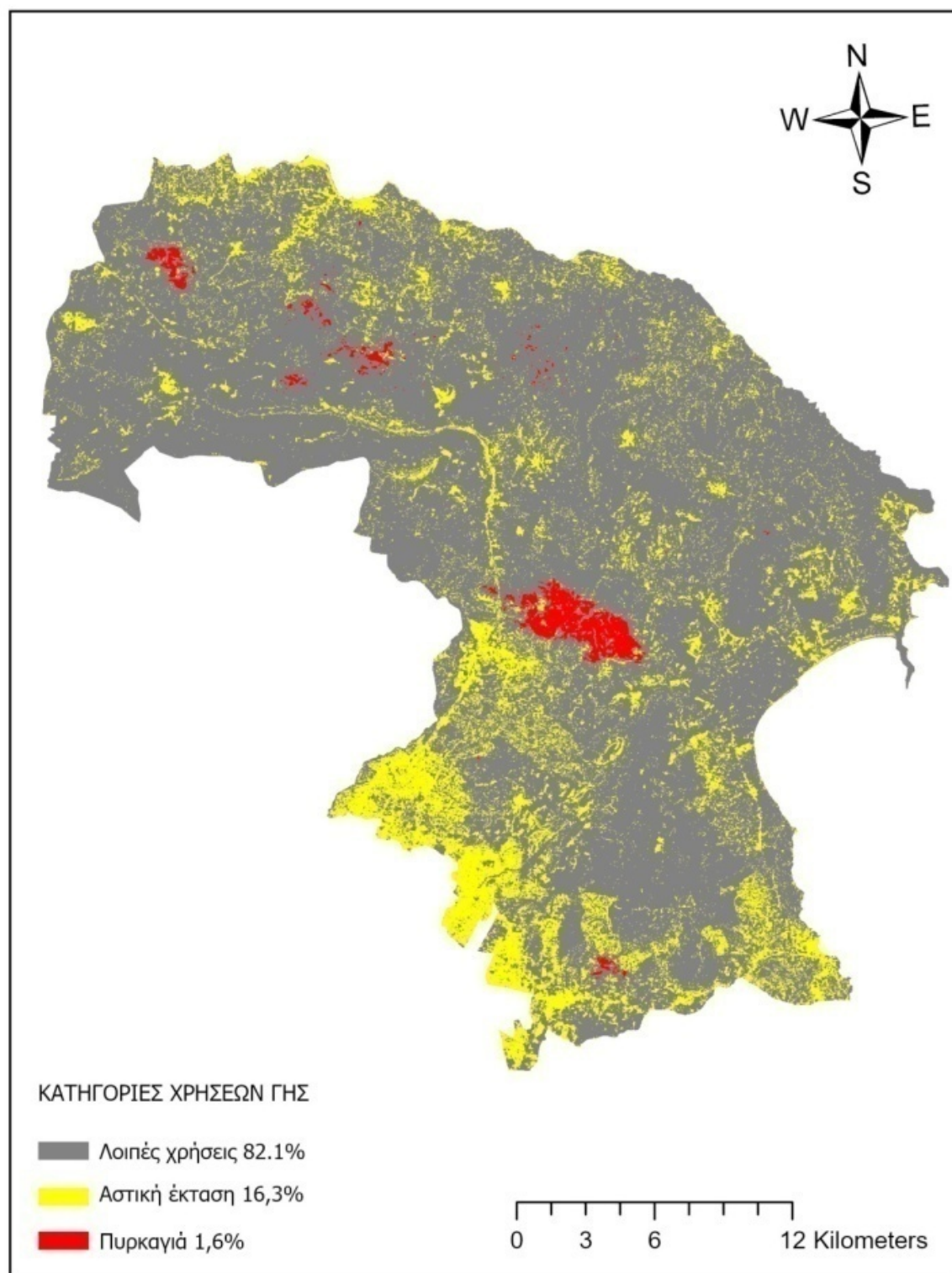
Χάρτης 5: Χάρτης χρήσεων γης για τη χρονολογία 2007

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2021



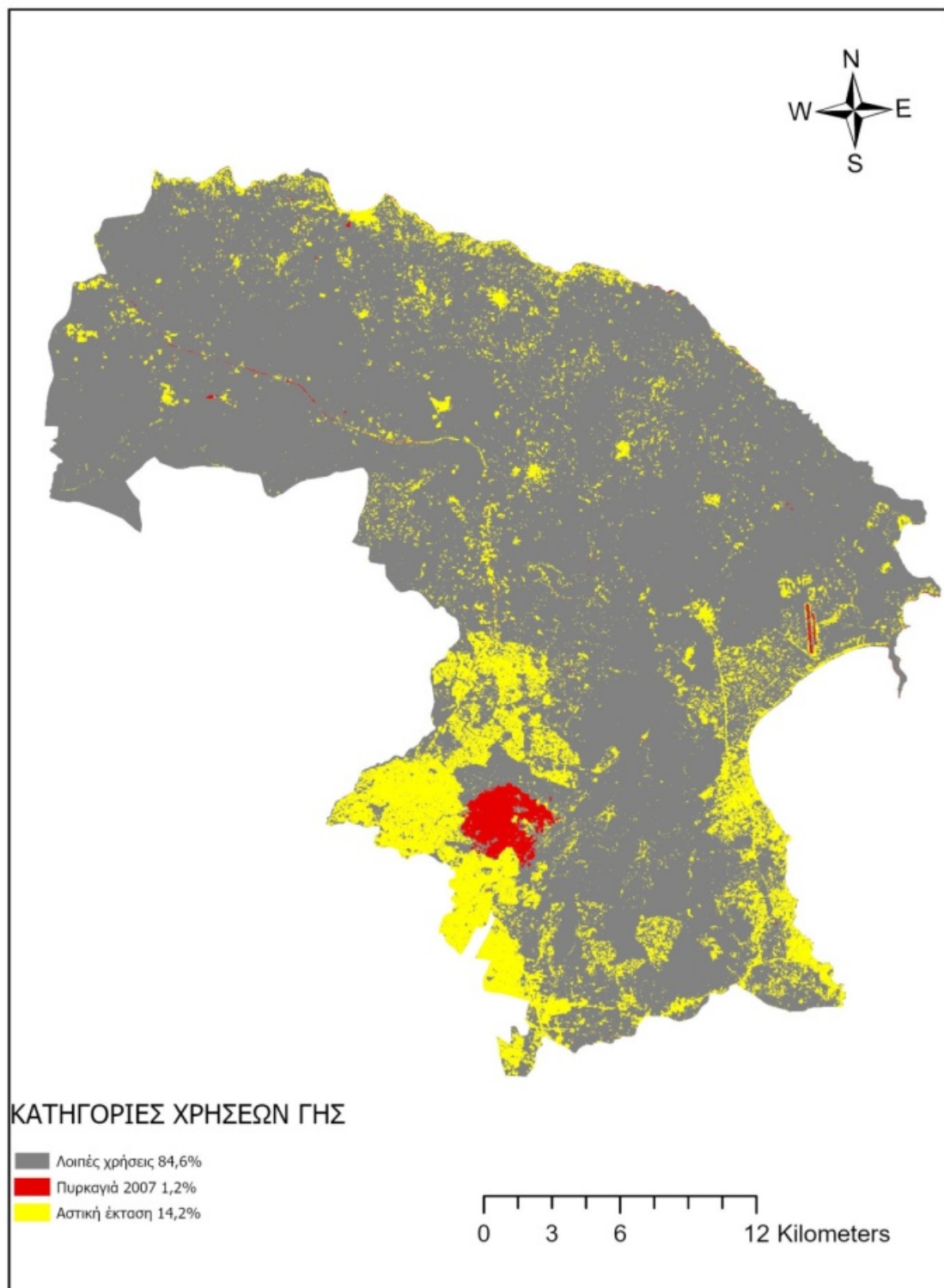
Χάρτης 6: Χάρτης χρήσεων γης για τη χρονολογία 2021

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 1993



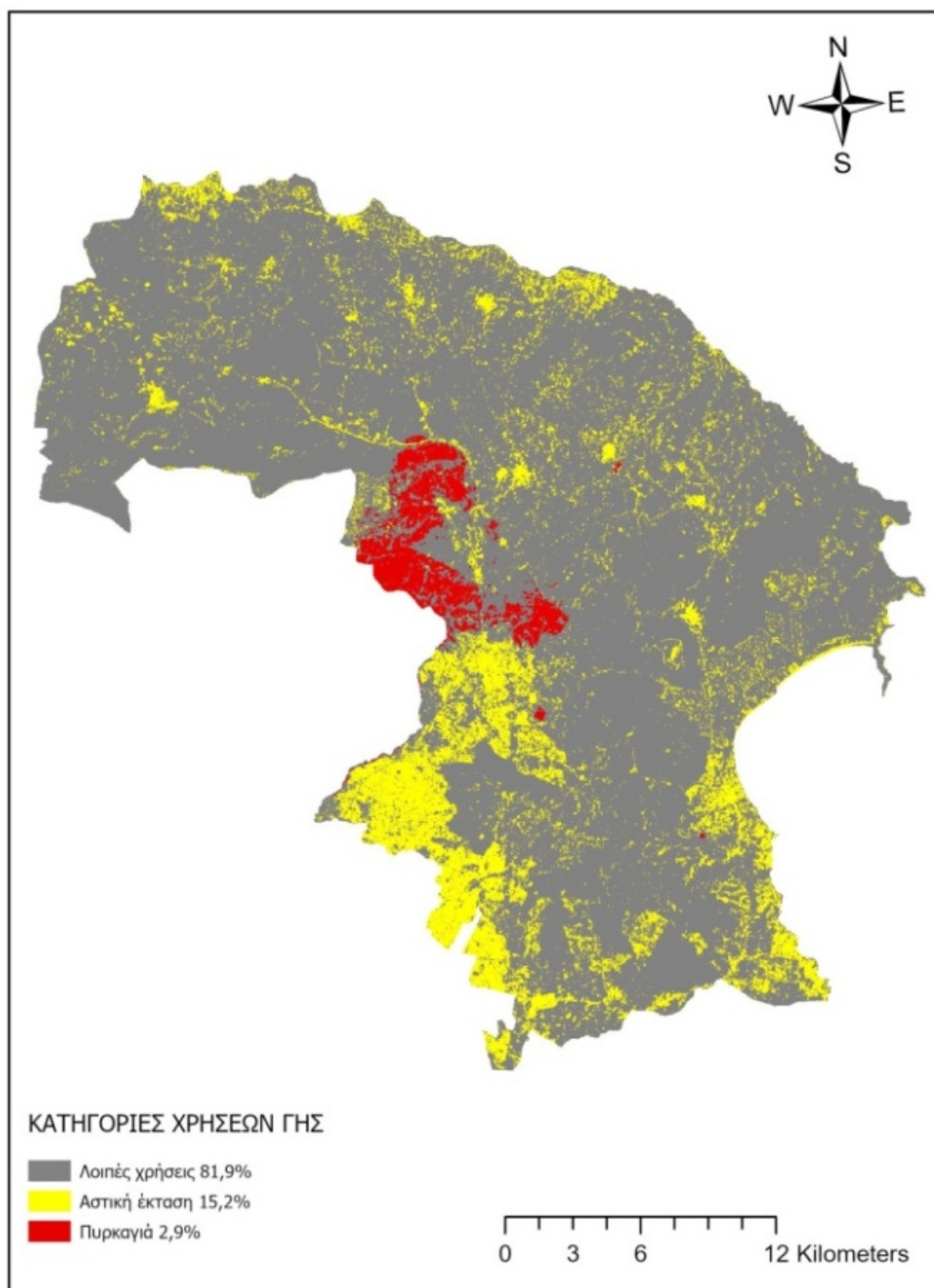
Χάρτης 7: Κατηγορίες χρήσεων γης του Πεντελικού Όρους για τη χρονολογία 1993

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2007



Χάρτης 8: Κατηγορίες χρήσεων γης του Πεντελικού Όρους για τη χρονολογία 2007

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2021



Χάρτης 9: Κατηγορίες χρήσεων γης του Πεντελικού Όρους για τη χρονολογία 2021

6.1.2 Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης και διαγράμματα

Πίνακας 3: Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τη χρονολογία 1993

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	Πυρκαγιά 1993	
	Έκταση σε Km ²	Ποσοστά
Αστική έκταση	126,12	16,3
Δασική έκταση	181,64	23,5
Αγροτική έκταση	283,40	36,6
Γυμνό έδαφος	165,89	21,4
Υδατα	2,50	0,3
Δρόμος	0,67	0,1
Εγκαταστάσεις εξόρυξης	1,92	0,2
Έκταση Πυρκαγιάς	12,37	1,6

Πίνακας 2: Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τη χρονολογία 2007

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	Πυρκαγιά 2007	
	Έκταση σε Km ²	Ποσοστά
Αστική έκταση	109,84	14,2
Δασική έκταση	259,95	33,6
Αγροτική έκταση	199,64	25,8
Γυμνό έδαφος	185,81	24,0
Υδατα	1,73	0,2
Δρόμος	0,92	0,1
Εγκαταστάσεις εξόρυξης	6,06	0,8
Έκταση Πυρκαγιάς	9,50	1,2

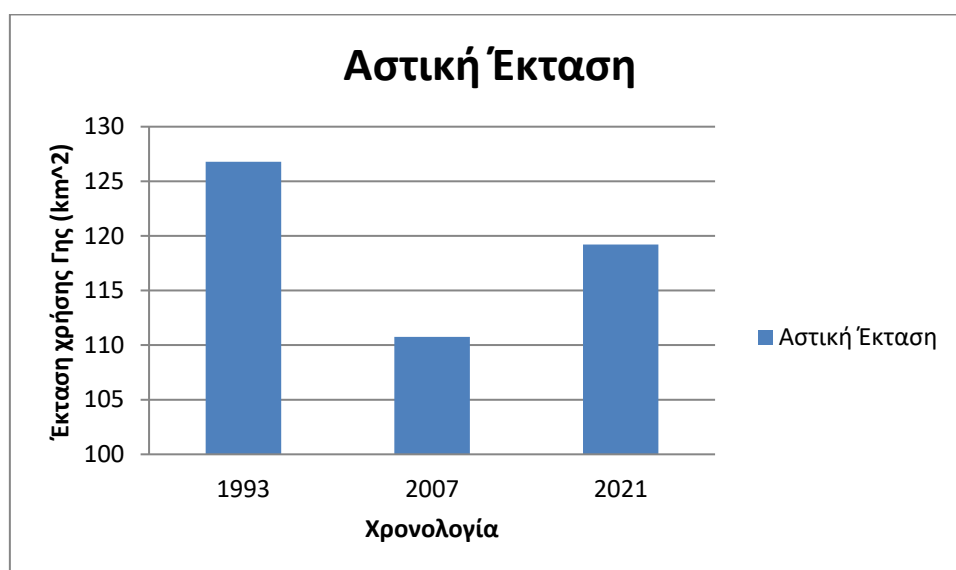
Πίνακας 4: Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τη χρονολογία 2021

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	Πυρκαγιά 2021	
	Έκταση σε Km ²	Ποσοστά
Αστική έκταση	117,90	15,2
Δασική έκταση	209,84	27,1
Αγροτική έκταση	243,15	31,4
Γυμνό έδαφος	163,22	21,1
Υδατα	1,35	0,2
Δρόμος	1,31	0,2
Εγκαταστάσεις εξόρυξης	14,57	1,9
Έκταση Πυρκαγιάς	22,05	2,9

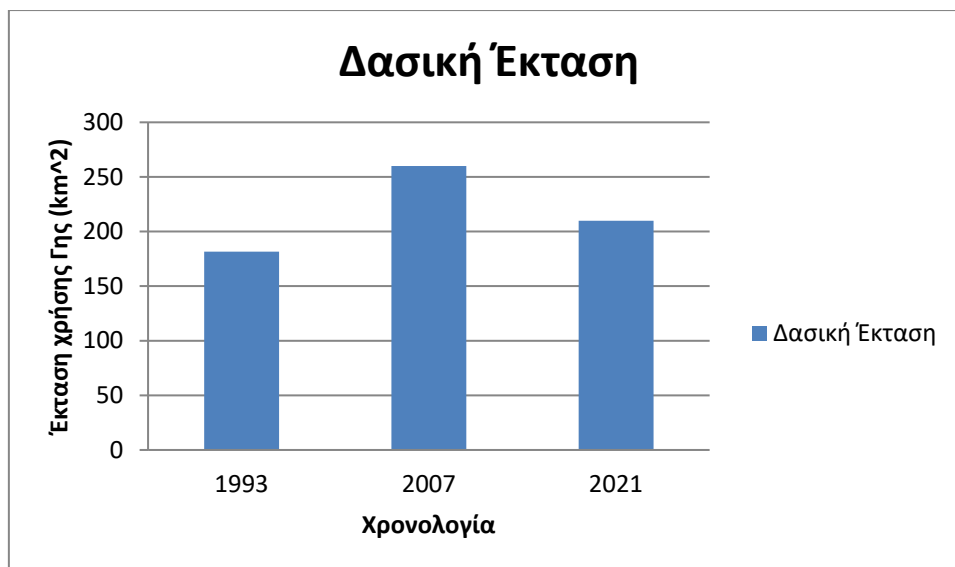
Όπως παρατηρείτε, η έκταση της πυρκαγιάς στο Πεντελικό Όρος το έτος 1993 αντιστοιχεί σε 12,37 km² (1,6 %), στο έτος 2007 σε 9,5 km² (1,2 %) και τέλος στο έτος 2021 η καμένη έκταση υπολογίστηκε 22,05 km² (2,9 %). Ωστόσο, στα αποτελέσματα κάθε ταξινόμησης πρέπει να ληφθούν υπόψη τα σφάλματα σύμφωνα με τον Πίνακα Σύγκυσης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα για την σύγκριση των διαφόρων χρήσεων Γης ανά χρονολογία. Επιπλέον, οι χρήσεις «Δρόμος» και «Εγκαταστάσεις εξόρυξης» έχουν ομαδοποιηθεί στις κατηγορίες «Αστική έκταση» και «Γυμνό έδαφος» αντίστοιχα.

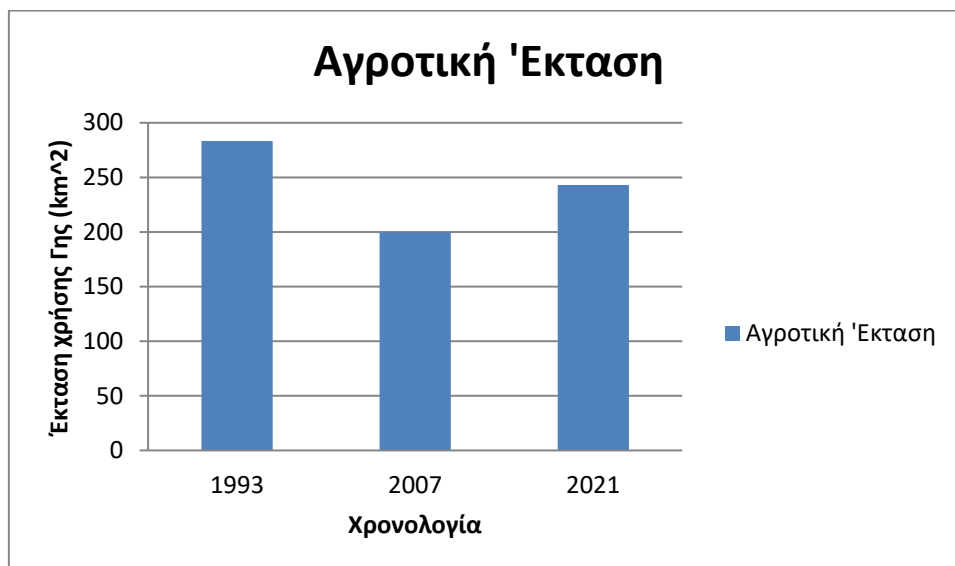
Διάγραμμα 1: Έκταση αστικού ιστού ανά χρονολογία



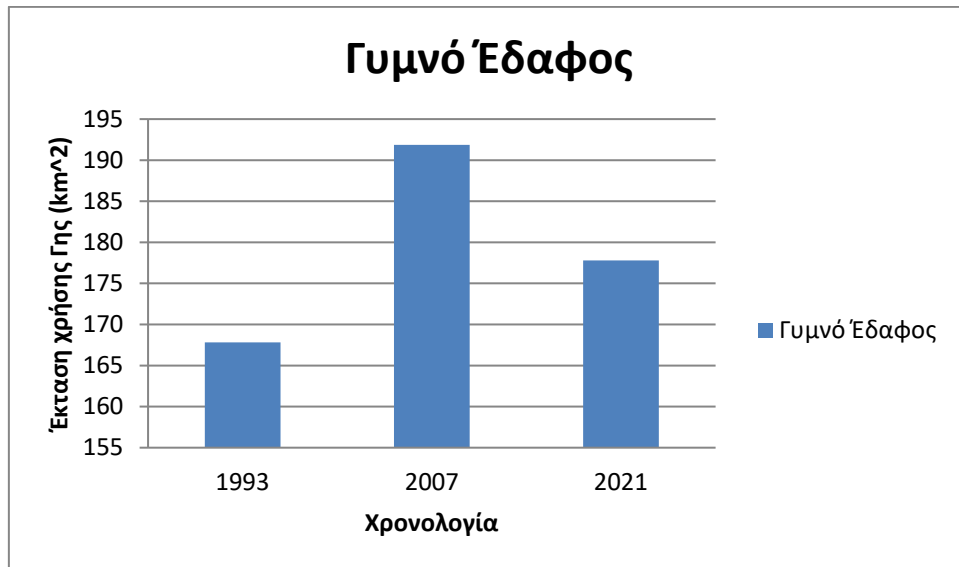
Διάγραμμα 2: Δασική έκταση ανά χρονολογία



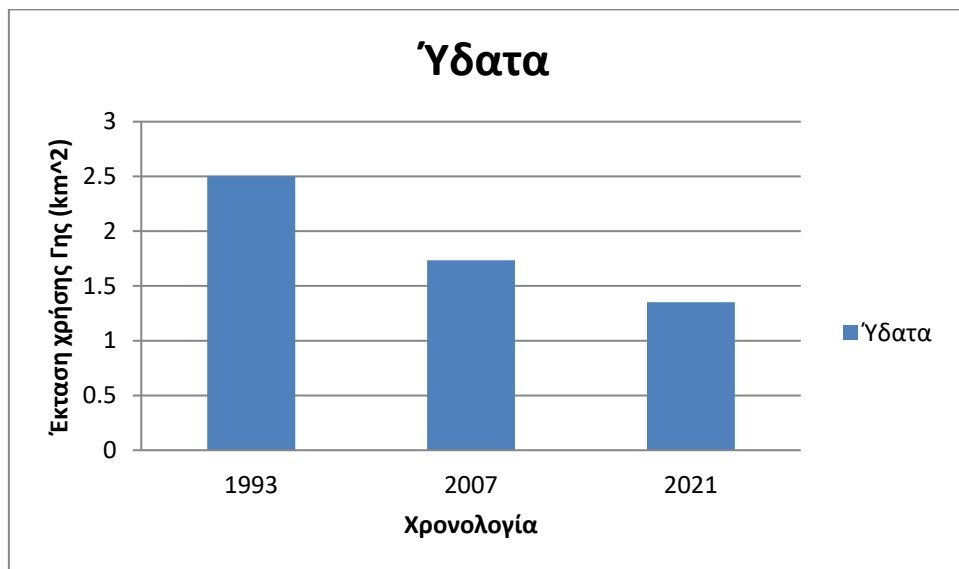
Διάγραμμα 3: Αγροτική έκταση ανά χρονολογία



Διάγραμμα 4: Έκταση γυμνού εδάφους ανά χρονολογία



Διάγραμμα 5: Έκταση υδάτων ανά χρονολογία

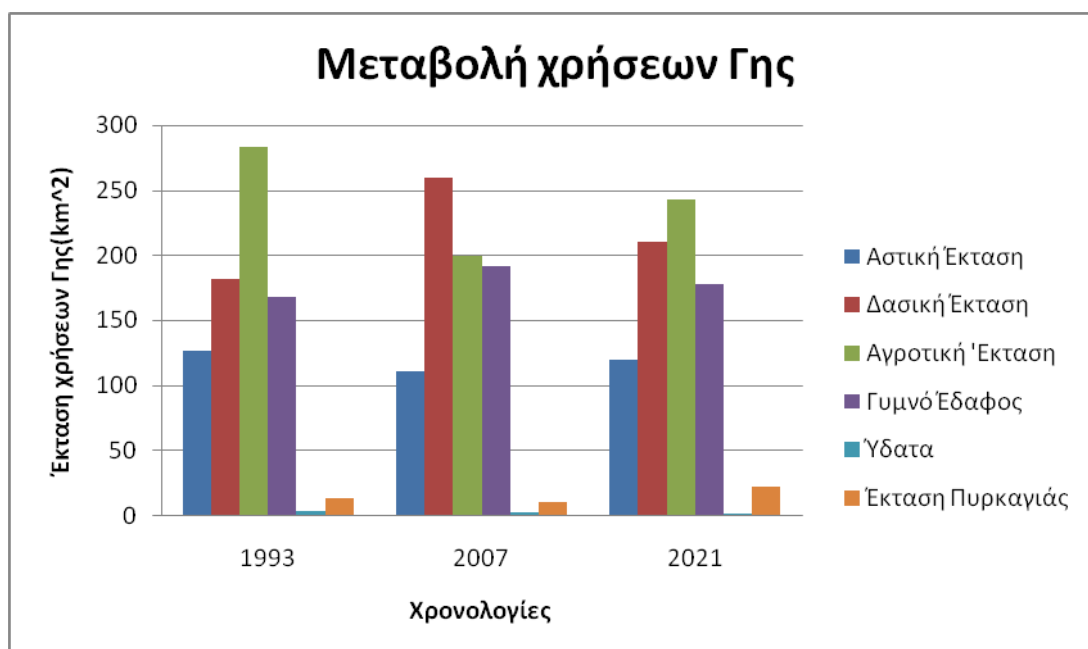


Διάγραμμα 6: Έκταση πυρκαγιάς ανά χρονολογία



Συμπερασματικά, φτιάχτηκε ένα ολοκληρωμένο διάγραμμα για την σωστή παρατήρηση της μεταβολής των καλύψεων Γης ανά τα χρόνια.

Διάγραμμα 7: Συνολική απεικόνιση των αλλαγών των χρήσεων γης



Από το Διάγραμμα 7 , είναι εμφανής η μείωση της αγροτικής έκτασης ανάμεσα στις χρονολογίες του 1993 και του 2007, το οποίο οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως η αστικοποίηση, οι κλιματολογικές αλλαγές καθώς και σε οικονομικούς παράγοντες. Ωστόσο, παράλληλα με την μείωση των αγροτικών εκτάσεων ανάμεσα στις δύο χρονολογίες, παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση των δασικών εκτάσεων. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε αλλαγές στην οικονομία, όπως η μετάβαση από την αγροτική στην βιομηχανική οικονομία, με αποτέλεσμα την εγκατάλειψη γεωργικών περιοχών και την αύξηση της δασικής κάλυψης. Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές ενέργειες αναδάσωσης για την αποκατάσταση και την προστασία του οικοσυστήματος, όπως δενδροφυτεύσεις με σκοπό την επαναφορά των φυσικών δασικών εκτάσεων.

Κατά το έτος 2021, παρατηρείται αύξηση της αγροτικής έκτασης, ενώ παράλληλα μείωση της δασικής έκτασης. Αυτή η δυναμική δημιουργεί μια ισορροπία στο οικοσύστημα που αξίζει προσοχής. Η αύξηση της έκτασης των γεωργικών περιοχών μπορεί να αναδειχθεί ως θετική προς την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τη διατήρηση της φύσης, παρόλα αυτά, απαιτείται επακριβής εκτίμηση των ισορροπιών, με σκοπό την αποφυγή των επιπτώσεων στη γεωργία και την τοπική οικονομία. Συνεπώς, η εφαρμογή πολιτικών και πρακτικών που να εξασφαλίζουν της ισορροπία μεταξύ της ανάπτυξης της γεωργίας και της διατήρησης του φυσικού περιβάλλοντος είναι μείζονος σημασίας για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης.

Κεφάλαιο 6.2 Πίνακας Σύγχυσης

Ο Πίνακας Σύγχυσης αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο αξιολόγησης της απόδοσης των ταξινομημένων μοντέλων, επιτρέποντας την ποσοτική ανάλυση της ακρίβειας των προβλέψεων. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμος τόσο για την επιβλεπόμενη όσο και για την μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση, καθώς αποτυπώνει την απόδοση σε κάθε κατηγορία. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των Πινάκων Σύγχυσης για κάθε ταξινόμηση καθώς και ο αντίστοιχος σχολιασμός τους.

6.2.1 Πίνακας Σύγκρισης για την χρονολογία 1993

Πίνακας 5: Matrix Table 1993

Πίνακας Σύγκρισης για το έτος 1993											
ClassValue	Υδατα	Αστική έκταση	Δρόμος	Δασική έκταση	Γυμνό έδαφος	Καλλιέργιες	Έκταση πυρκαγιάς	Εγκαταστάσεις εξόρυξης	Total	U_Accuracy	Kappa
Υδατα	49	0	0	1	0	0	0	0	50	0,98	0
Αστική Έκταση	0	22	2	8	14	4	0	0	50	0,44	0
Δρόμος	0	4	14	10	15	1	6	0	50	0,28	0
Δασική Έκταση	0	0	0	44	6	0	0	0	50	0,88	0
Γυμνό Έδαφος	0	1	0	12	33	3	1	0	50	0,66	0
Καλλιέργιες	0	9	2	5	9	25	0	0	50	0,5	0
Έκταση Πυρκαγιάς	0	0	0	4	2	0	44	0	50	0,88	0
Εγκαταστάσεις εξόρυξης	0	5	1	2	25	4	0	13	50	0,26	0
Total	49	41	19	86	104	37	51	13	400	0	0
P_Accuracy	1	0,54	0,74	0,51	0,32	0,68	0,86	1	0	0,61	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55
Overall Accuracy	61%										

Η συγκεκριμένη ταξινόμηση παρουσιάζει μια μέτρια συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy) της τάξης του 61% καθώς και ο δείκτης Kappa είναι ίσος με 0,55. Αυτοί οι δείκτες υποδεικνύουν ότι η ταξινόμηση είναι σε ένα μέτριο επίπεδο αποτελεσματική. Η δορυφορική εικόνα για την συγκεκριμένη ταξινόμηση είναι από τον δορυφόρο Landsat 5 TM+, ο οποίος λανσαρίστηκε το 1984 και έστειλε το τελευταίο δεδομένο τον Ιούνιο του 2013. Ενώ αυτός ο δορυφόρος παρείχε πολύτιμα δεδομένα για την παρακολούθηση της Γης, η ηλικία του και οι περιορισμοί του είναι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της ταξινόμησης. Πιο συγκεκριμένα, δεν έχει την ικανότητα να παρέχει εικόνες με υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα σε σχέση με πιο πρόσφατους δορυφόρους. Η περιορισμένη ανάλυση της εικόνας έκανε πιο δύσκολη την ανίχνευση λεπτομερειών σε μικρές περιοχές και εν προκειμένω δημιούργησε δυσκολία στην επίτευξη μιας ικανοποιητικής και με μεγάλη ακρίβεια ταξινόμησης. Επιπλέον, η πρόκληση που δημιουργείται από την ποιότητα της εικόνας ενδέχεται να έχει επηρεάσει και τον δείκτη Kappa, ο οποίος μετρά τη συμφωνία μεταξύ των ταξινομημένων δεδομένων και των πραγματικών δεδομένων. Συνοψίζοντας, η μέτρια συνολική ακρίβεια και ο μέτριος δείκτης Kappa αποτυπώνουν τις προκλήσεις που σχετίζονται με την περιορισμένη χωρική ανάλυση της εικόνας.

6.2.2 Πίνακας Σύγχυσης για την χρονολογία 2007

Πίνακας 6: Matrix Table 2007

Πίνακας Σύγχυσης για το έτος 2007											
ClassValue	Υδατα	Αστική έκταση	Δρόμος	Δασική έκταση	Γυμνό έδαφος	Καλλιέργειες	Έκταση πυρκαγιάς	Εγκαταστάσεις εξόρυξης	Total	U_Accuracy	Kappa
Υδατα	50	0	0	0	0	0	0	0	50	1	0
Αστική Έκταση	0	34	7	3	4	2	0	0	50	0,68	0
Δρόμος	0	1	40	0	8	1	0	0	50	0,8	0
Δασική Έκταση	0	0	1	33	14	2	0	0	50	0,66	0
Γυμνό Έδαφος	0	3	1	5	38	3	0	0	50	0,76	0
Καλλιέργειες	0	5	1	7	16	21	0	0	50	0,42	0
Έκταση Πυρκαγιάς	5	0	0	1	2	0	42	0	50	0,84	0
Εγκαταστάσεις εξόρυξης	5	2	5	7	23	5	0	3	50	0,06	0
Total	60	45	55	56	105	34	42	3	400	0	0
P_Accuracy	0,83	0,76	0,73	0,59	0,36	0,62	1	1	0	0,6525	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,60
Overall Accuracy	65.25%										

Στην ταξινόμηση του 2007, το ποσοστό της συνολικής ακρίβειας (Overall Accuracy) ανέρχεται στο 65.25%, πράγμα που σημαίνει ότι το 65.25% των προβλέψεων που έγιναν ήταν σωστές σε σχέση με το συνολικό αριθμό των παραδειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Αυτό είναι ένα μέτρο που είναι εν γένει ικανοποιητικό, αλλά μπορεί να υποδεικνύει κάποια ανισορροπία στην απόδοση μεταξύ των κατηγοριών. Ο δείκτης Kappa ίσος με 0.60 υποδεικνύει έναν μέτριο προς καλό βαθμό συμφωνίας μεταξύ των ταξινομημένων δεδομένων και των πραγματικών. Γενικά, η απόδοση σύμφωνα με τα δεδομένα είναι ικανοποιητική, αλλά είναι σημαντικό να εξετάζεται και ο πίνακας σύγχυσης για να γίνει σωστή κατανόηση για την ακρίβεια της ταξινόμησης σε κάθε κατηγορία.

6.2.3 Πίνακας Σύγκρισης για την χρονολογία 2021

Πίνακας 7: Matrix Table 2021

Πίνακας Σύγκρισης για το έτος 2021											
ClassValue	Υδατα	Αστική έκταση	Δρόμος	Δασική έκταση	Γυμνό έδαφος	Καλλιέργειες	Έκταση πυρκαγιάς	Εγκαταστάσεις εξόρυξης	Total	U_Accuracy	Kappa
Υδατα	50	0	0	0	0	0	0	0	50	1	0
Αστική Έκταση	2	35	1	3	6	2	0	1	50	0,7	0
Δρόμος	0	4	39	0	5	2	0	0	50	0,78	0
Δασική Έκταση	0	0	0	47	2	1	0	0	50	0,94	0
Γυμνό Έδαφος	0	0	0	11	35	4	0	0	50	0,7	0
Καλλιέργειες	1	3	0	5	8	30	2	1	50	0,6	0
Έκταση Πυρκαγιάς	0	0	0	0	0	0	50	0	50	1	0
Εγκαταστάσεις εξόρυξης	2	3	1	12	14	8	1	9	50	0,18	0
Total	55	45	41	78	70	47	53	11	400	0	0
P_Accuracy	0,91	0,78	0,95	0,60	0,5	0,64	0,94	0,82	0	0,74	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7
Overall Accuracy	73.75%										

Η συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy) στην ταξινόμηση του 2021 ίση με 73.75% υποδηλώνει ένα υψηλό επίπεδο ακρίβειας στις προβλέψεις του μοντέλου. Η ταξινόμηση των δεδομένων από την δορυφορική εικόνα φαίνεται να είναι αποτελεσματική σε γενικές γραμμές. Παράλληλα, αυτή η ακρίβεια δείχνει ότι το μοντέλο έχει καταφέρει να διαχειριστεί τις πληροφορίες με αποτελεσματικό τρόπο, παρέχοντας αξιόπιστα αποτελέσματα. Το Kappa Index ίσο με 0.7 υποδηλώνει ότι το μοντέλο έχει σημαντικά υψηλότερη συμφωνία από αυτή που θα περιμέναμε από το τυχαίες προβλέψεις ταξινόμησης, κάτι που είναι ένα ισχυρό σημάδι για την επιτυχία του μοντέλου. Παρατηρώντας αναλυτικά τα αποτελέσματα, μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό πως το μοντέλο έχει καλή απόδοση στην επιβεβλημένη ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας Landsat 8 ETM+. Η συνολική ακρίβεια και ο δείκτης Kappa υποδεικνύουν ότι το μοντέλο είναι ικανό να αναγνωρίζει και να ταξινομεί αποτελεσματικά τα διάφορα χαρακτηριστικά στην εικόνα, αποδίδοντας πιστά τις πραγματικές κατηγορίες των δεδομένων.

6.3 Αναγωγή των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης στα σφάλματα

Ο Πίνακας Σύγχυσης στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσης μοντέλων ταξινόμησης ή επεξεργασίας εικόνας. Με αυτόν τον τρόπο μας βοηθάει να δούμε αν το μοντέλο μας κάνει σωστές προβλέψεις και συνεπώς να μάθουμε την ακρίβεια της ταξινόμησης. Από τα αποτελέσματα του Πίνακα για κάθε χρονολογία προκύπτει 61% ακρίβεια για την ταξινόμηση της πυρκαγιάς το έτος 1993, 65,25% και 73,75% για την πυρκαγιά του 2007 και 2021 αντίστοιχα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα των εκτάσεων κάθε χρήσης Γης μετά την αναγωγή τους στα σφάλματα.

Πίνακας 8: Τελικά αποτελέσματα εκτάσεων χρήσεων γης

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	Έκταση (km^2)		
	Πυρκαγιά 1993	Πυρκαγιά 2007	Πυρκαγιά 2021
Αστική έκταση	175,3	148	148,85
Δασική έκταση	252,48	350,29	264,92
Αγροτική έκταση	393,93	269,01	306,97
Γυμνό έδαφος	230,59	250,37	206,07
Ύδατα	3,48	2,34	1,71
Δρόμος	0,94	1,24	1,66
Εγκαταστάσεις εξόρυξης	2,67	8,17	18,4
Έκταση Πυρκαγιάς	17,2	12,8	27,83

Όπως παρατηρείται, υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στις εκτάσεις των χρήσεων γης. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς οι δύο δορυφορικές εικόνες από τις τρεις που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τον δορυφόρο Landsat 5 TM+, ο οποίος δεν παρέχει υψηλή ακρίβεια στα αποτελέσματά μας. Τέλος, παρουσιάζονται τρία διαγράμματα για τις τρεις χρονολογίες, με σκοπό να διευκολυνθεί η κατανόηση της διαφοράς μεταξύ των αποτελεσμάτων πριν και μετά την αναγωγή των σφαλμάτων.

Διάγραμμα 8: Σύγκριση αποτελεσμάτων πριν και μετά την αναγωγή σφαλμάτων για το έτος 1993



Διάγραμμα 9: Σύγκριση αποτελεσμάτων πριν και μετά την αναγωγή σφαλμάτων για το έτος 2007



Διάγραμμα 10: Σύγκριση αποτελεσμάτων πριν και μετά την αναγωγή σφαλμάτων για το έτος 2021



Σκοπός είναι η παρουσίαση των σωστών αποτελεσμάτων και έπειτα η σύγκριση τους με τον Κανονικοποιημένο Λόγο Καύσης (NBR).

6.4 Αξιολόγηση καμένης έκτασης με τον δείκτη Normalized Burn Ratio Index (NBR)

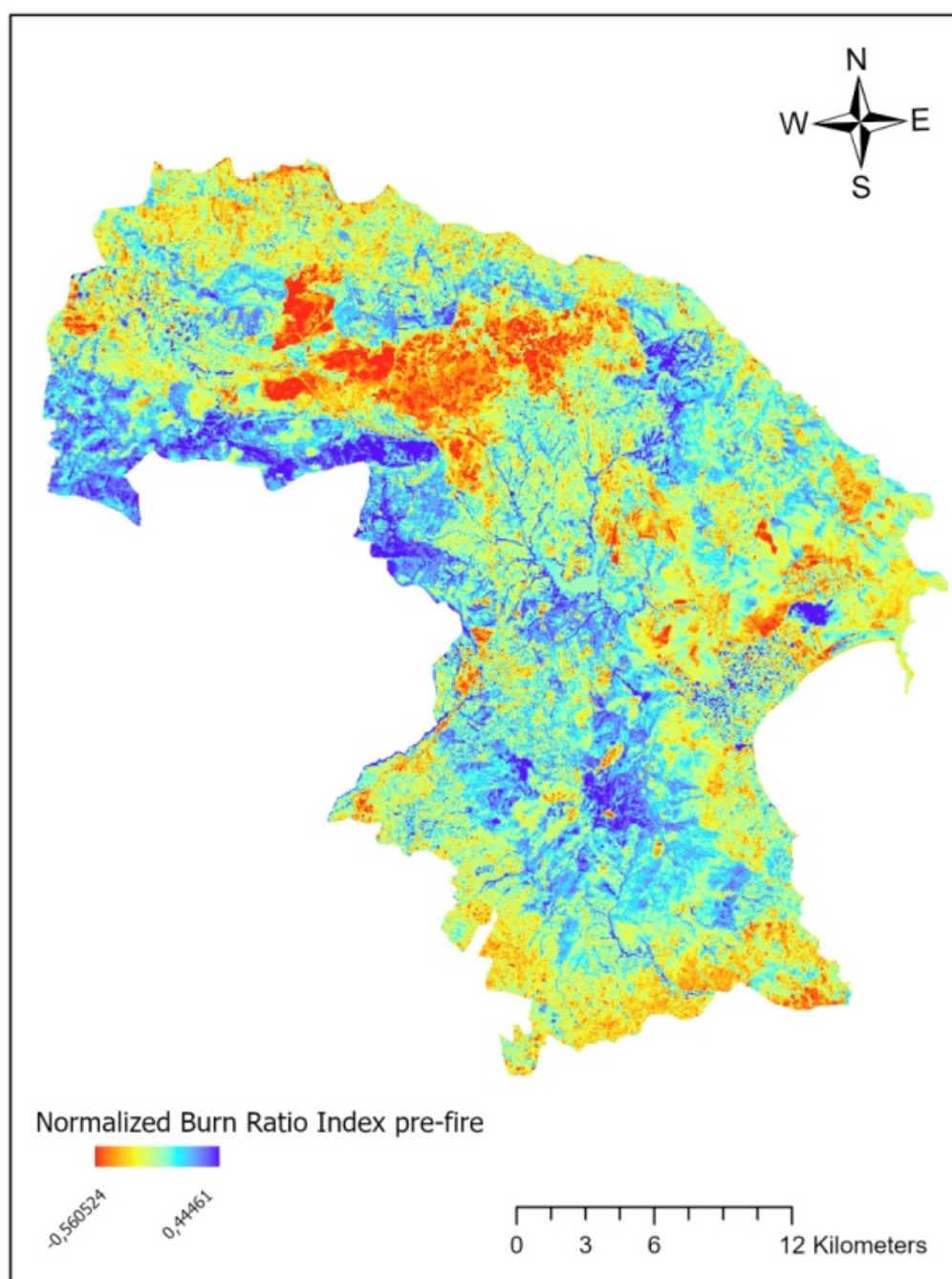
Ο Κανονικοποιημένος Λόγος Καύσης (NBR) είναι ένας χρήσιμος δείκτης στον τομέα της επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της φύτευσης και της πυρκαγιάς. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης Normalized Burn Ratio Index (NBR) συνδέεται συχνά με τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των ζωνών πυρκαγιάς. Οι τιμές NBR παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση της χλωρίδας και την παρουσία καμένων εκτάσεων. Το NBR χρησιμοποιείται συνήθως στην επίγεια απεικόνιση για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό πυρκαγιών, την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον και τον προσδιορισμό της ανάκτησης των πληγείσων περιοχών.

Παρακάτω απεικονίζονται οι δείκτες NBR πριν την πυρκαγιά και μετά την πυρκαγιά για κάθε χρονολογία αντίστοιχα. Η περιοχή που έχει πληγεί από την φωτιά είναι ευδιάκριτη σε κάθε περίπτωση. Ωστόσο, πέρα από το μέγεθος της πυρκαγιάς, η ένταση της είναι εξίσου σημαντική. Αξιολογώντας την δριμύτητα της, μπορούμε να εξάγουμε πολλά συμπεράσματα για την εξέλιξη της.

Πυρκαγιά 1993

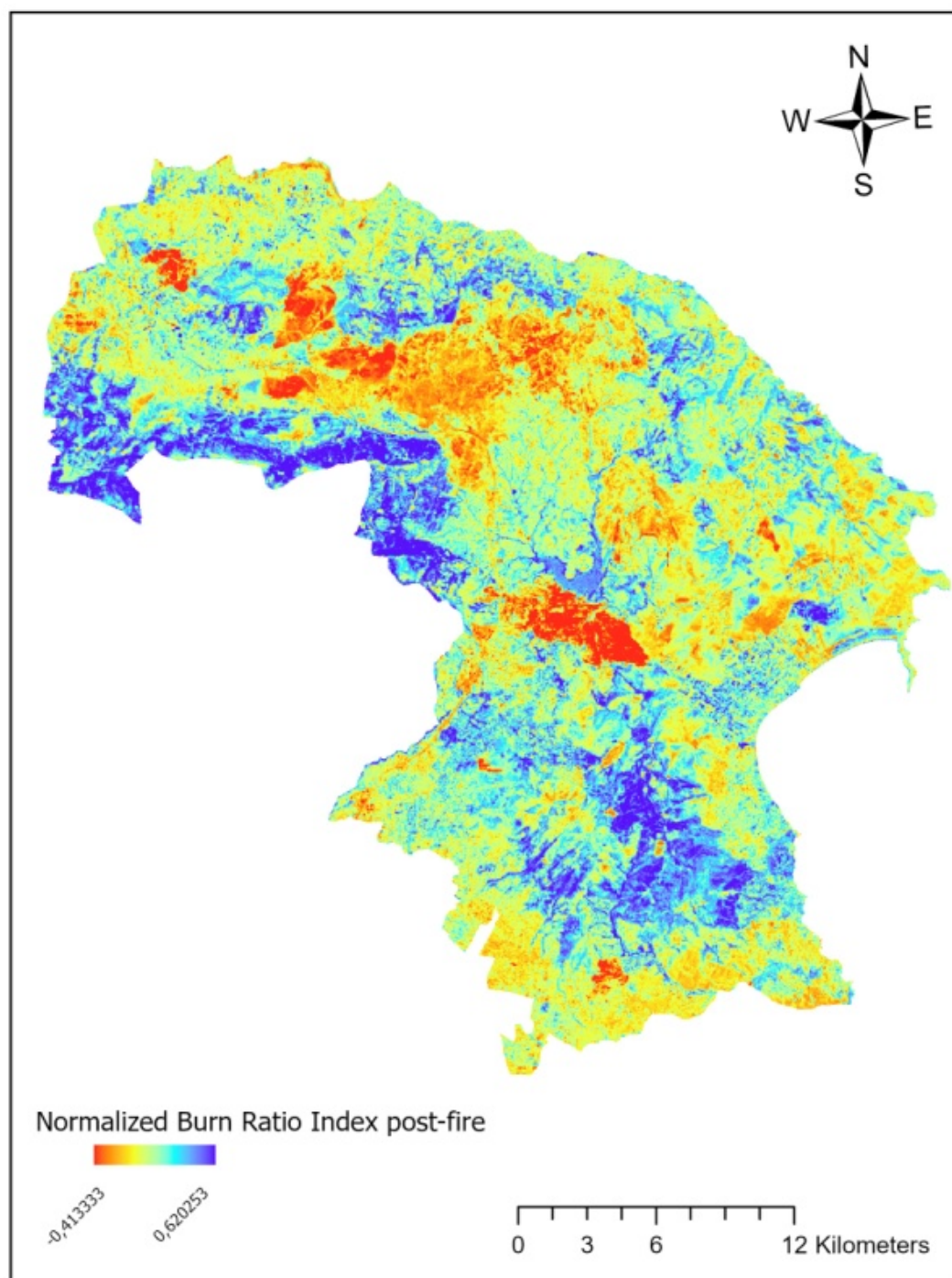
Όσον αφορά την χρονολογία 1993, πριν την πυρκαγιά τα κυρίαρχα χρώματα στο χάρτη (Χάρτης 10) είναι μπλε και πράσινο, τα οποία αντιστοιχούν σε θετικές τιμές του δείκτη και υποδηλώνει περιοχές με υγιή και πυκνή βλάστηση, ενώ οι κίτρινες αποχρώσεις αναφέρονται σε περιοχές με αραιότερη βλάστηση ή καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Στο χάρτη μετά την πυρκαγιά (Χάρτης 11), παρατηρείτε σημαντική αλλαγή στο μοτίβο των χρωμάτων. Οι αποχρώσεις του κόκκινου και του πορτοκαλί κυριαρχούν στο κεντρικό και βόρειο τμήμα, υποδηλώνοντας καταστροφή της βλάστησης και αλλαγή στη δομή του εδάφους. Ο δείκτης στο χάρτη μετά την πυρκαγιά έχει αρκετές αρνητικές τιμές που απεικονίζουν την έντονη καταστροφή.

**ΧΑΡΤΗΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ
ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 1993**



Χάρτης 10: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης πριν τη πυρκαγιά το έτος 1993

**ΧΑΡΤΗΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ
ΟΡΟΥΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 1993**

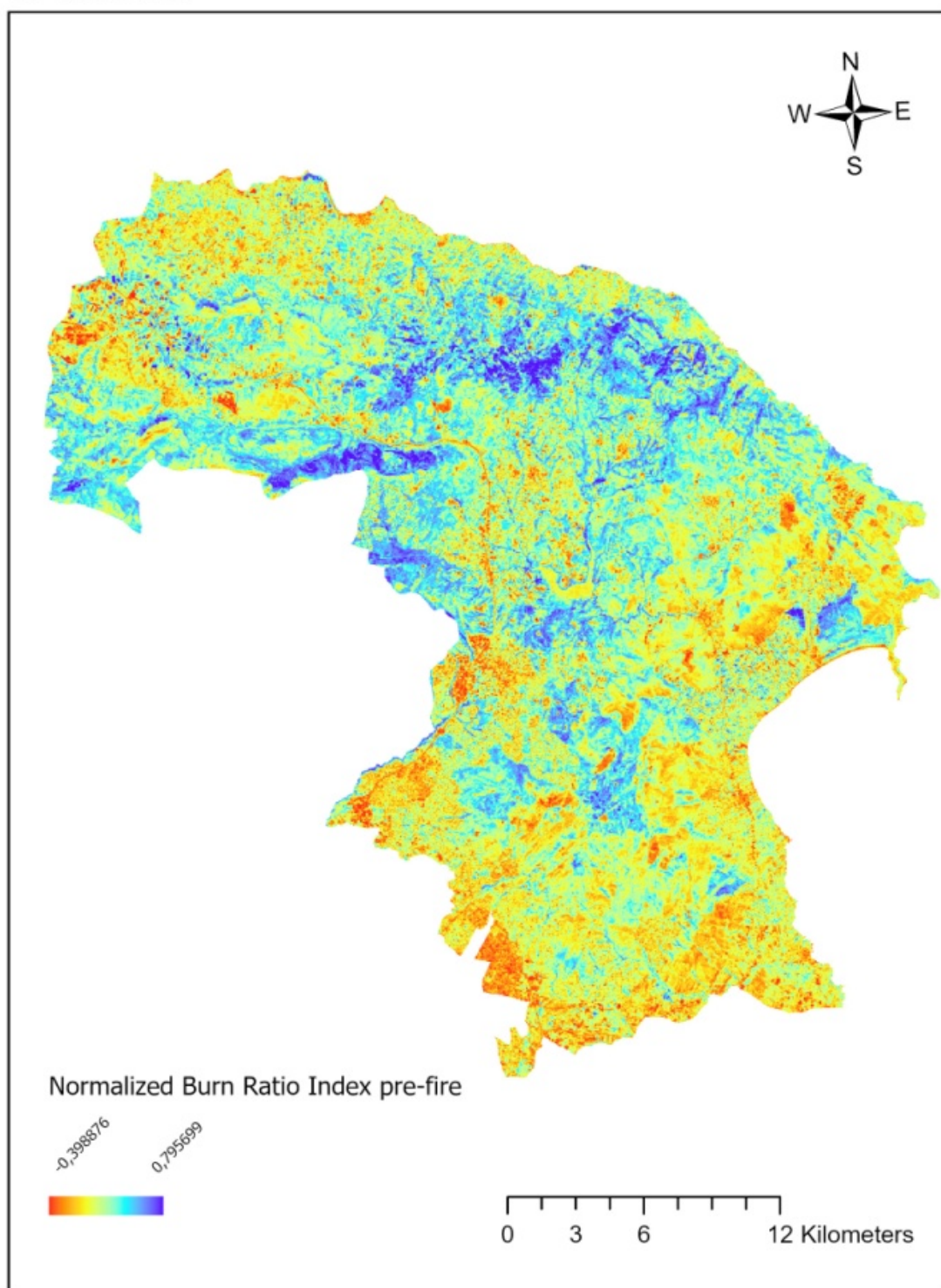


Χάρτης 11: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης μετά τη πυρκαγιά το έτος 1993

Πυρκαγιά 2007

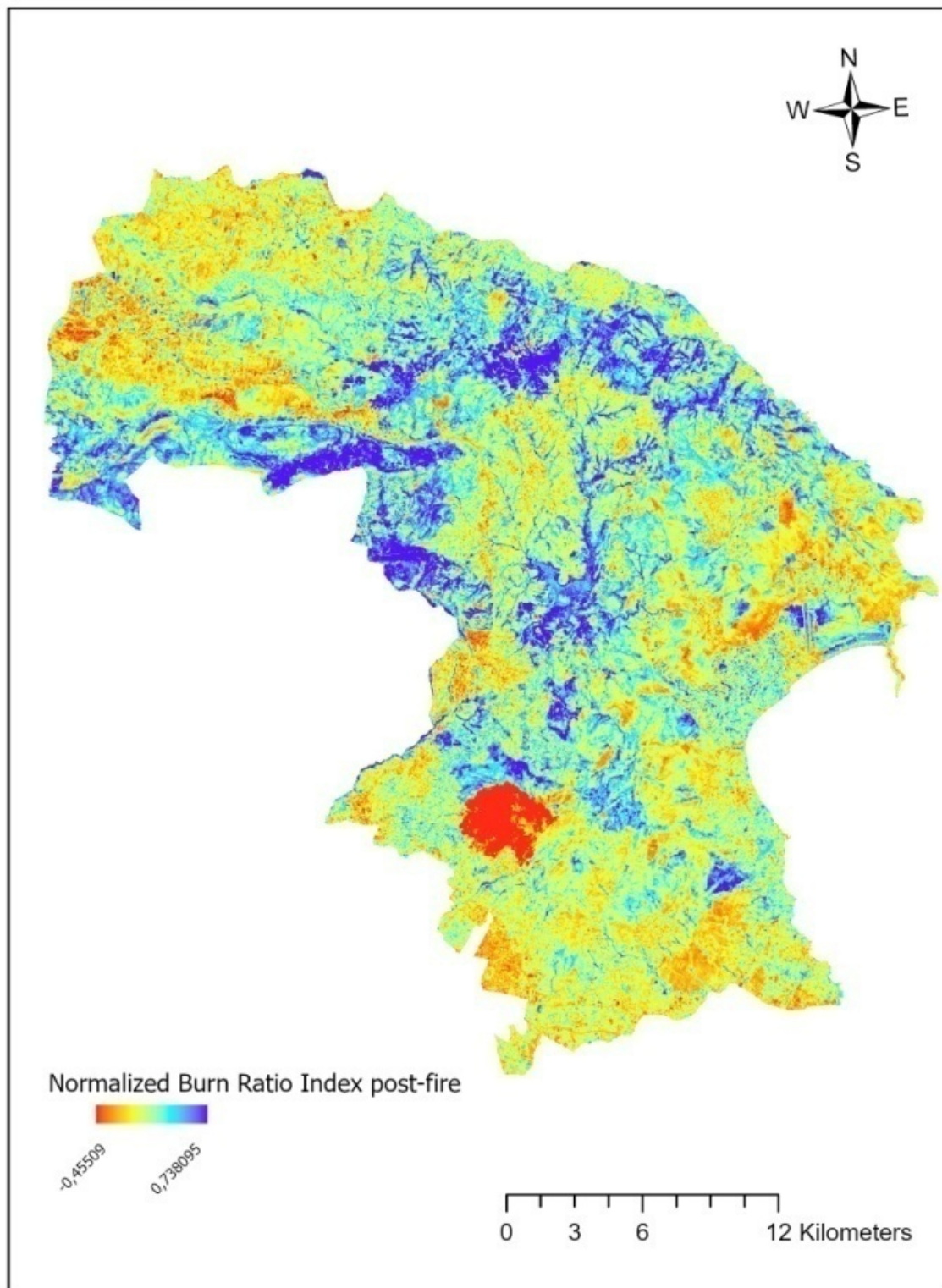
Το 2007 μια νέα περιοχή που δεν είχε πληγεί από πυρκαγιές την τελευταία δεκαετία, υπέστη εκτεταμένη καταστροφή. Αυτή η περιοχή που εκτείνεται από τους πρόποδες του ορεινού όγκου της Πεντέλης έως την κορυφή του, συμπεριλαμβάνει και τα Μελίσσια. Παρατηρώντας τους δύο χάρτες (Χάρτης 12 & Χάρτης 13) το μεγαλύτερο μέρος της πληγείσας περιοχής παρουσιάζει χαμηλή ένταση καταστροφής, ωστόσο ορισμένα τμήματα φτάνουν σε υψηλά επίπεδα δριμύτητας. Σύμφωνα με τον χάρτη πριν την πυρκαγιά, είναι εμφανές πως η βλάστηση ήταν σε στάδιο ανάπτυξης και οι περιοχές με υψηλότερες τιμές βλάστησης εμφάνισαν εντονότερη καταστροφή. Το πιο σημαντικό είναι πως λόγω κλίσης του εδάφους, η περιοχή αντιμετωπίζει κίνδυνο από βροχοπτώσεις που θα προκαλέσουν μετακίνηση εδαφών.

**ΧΑΡΤΗΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ
ΤΟ ΕΤΟΣ 2007**



Χάρτης 12: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης πριν τη πυρκαγιά το έτος 2007

**ΧΑΡΤΗΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ
ΤΟ ΕΤΟΣ 2007**

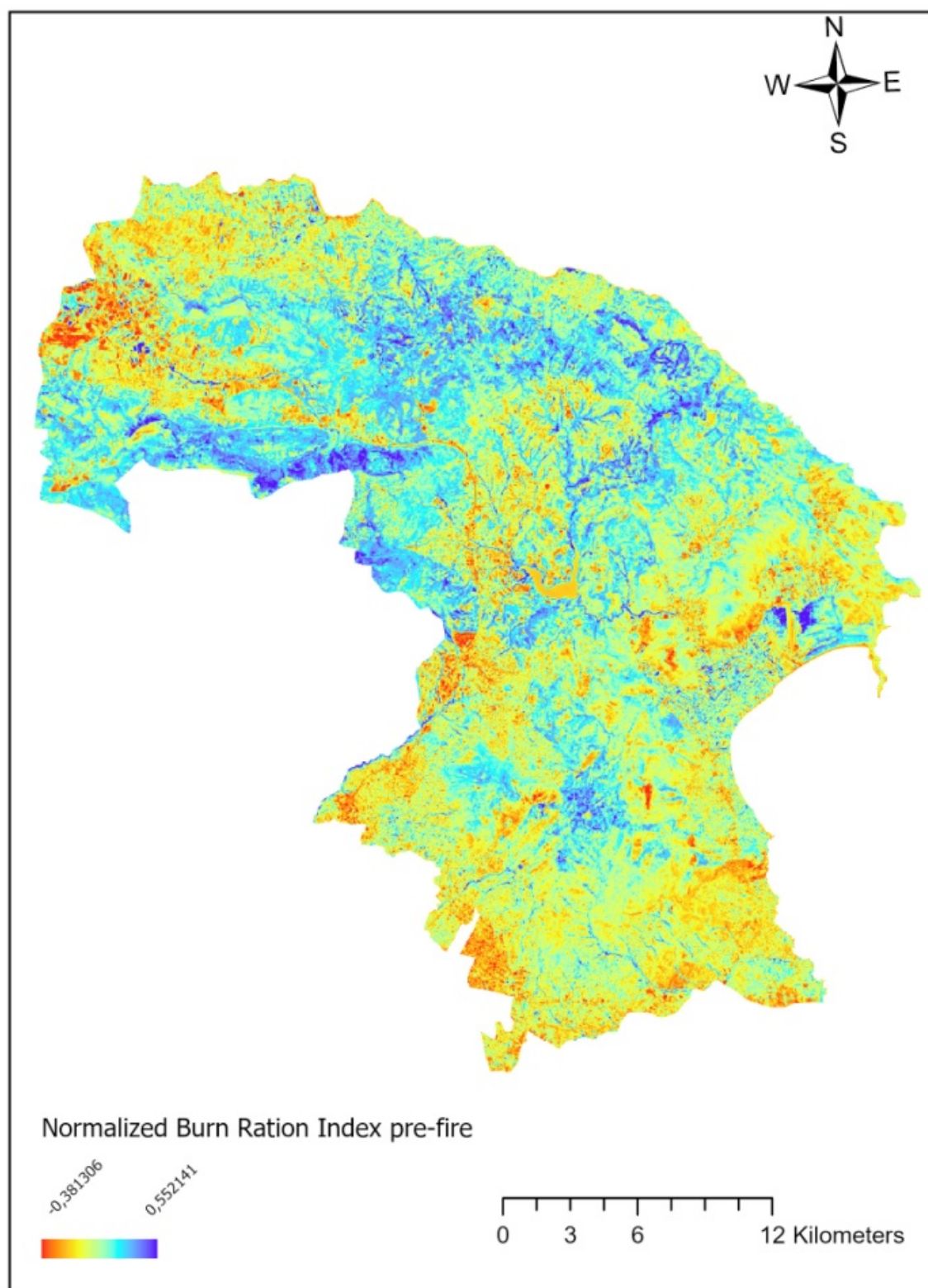


Χάρτης 13: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης μετά τη πυρκαγιά το έτος 2007

Πυρκαγιά 2021

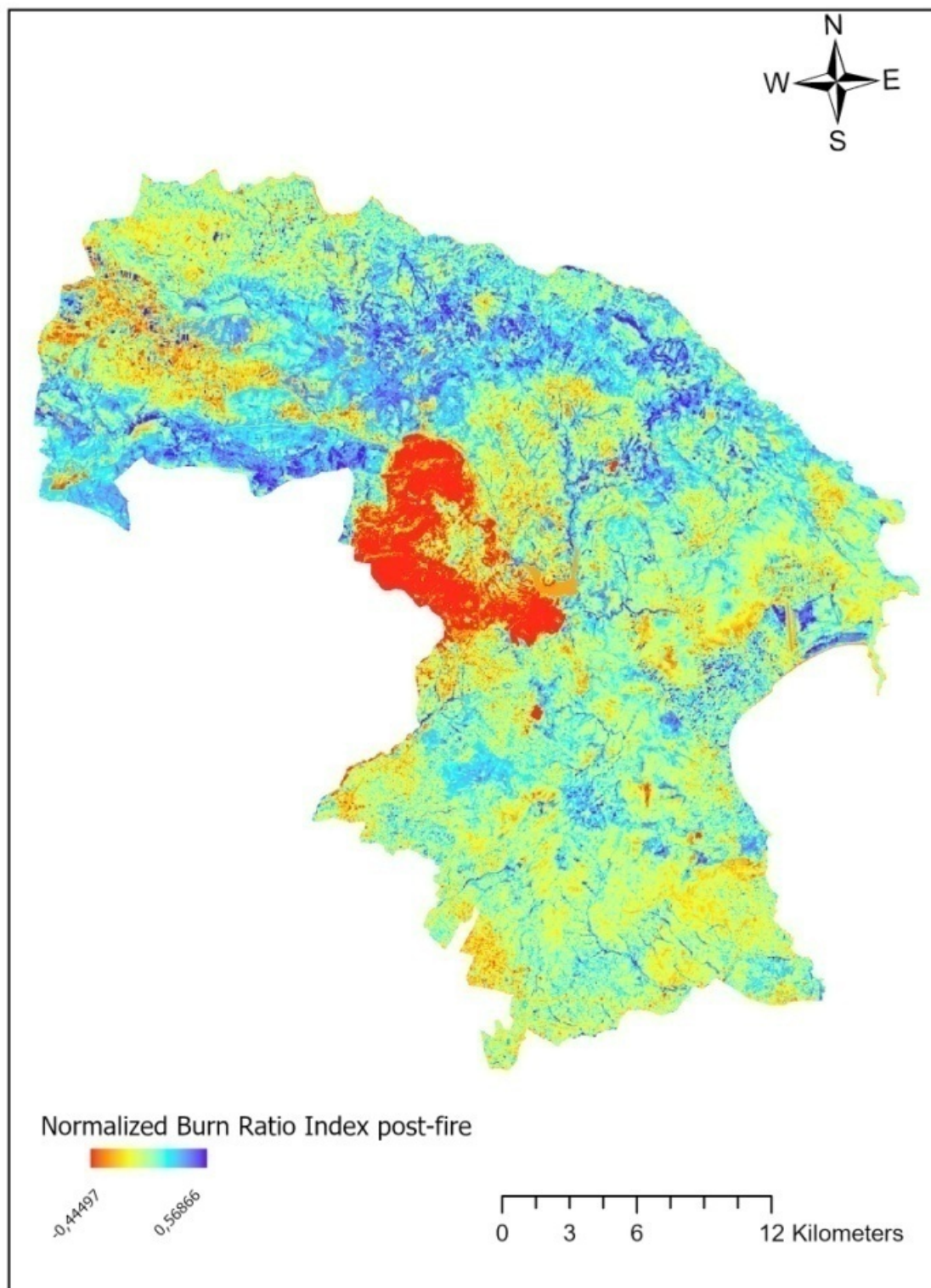
Η φωτιά του 2021, όπως και οι προηγούμενες άφησε πίσω της σημαντική καταστροφή σε περιοχές με χαμηλή βλάστηση που είχαν διαφύγει από παλαιότερες πυρκαγιές. Όπως παρατηρείται από τους χάρτες (Χάρτης 14& 15) είναι η μεγαλύτερη σε έκταση πυρκαγιά από τις τρεις που μελετούνται και επηρέασε περιοχές με ποικιλία βλάστησης. Πιο συγκεκριμένα, περιοχές που βρίσκονταν σε στάδιο αναγέννησης ή πυκνής ανάπτυξης υπέστησαν μεγαλύτερη καταστροφή. Οι κλίσεις του εδάφους επιδείνωσαν την κατάσταση και η απώλεια βλάστησης έκανε τις περιοχές ιδιαίτερα ευάλωτες σε μεταγενέστερα φαινόμενα.

**ΧΑΡΤΗΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ
ΤΟ ΕΤΟΣ 2021**



Χάρτης 14: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης πριν τη πυρκαγιά το έτος 2021

**ΧΑΡΤΗΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ
ΤΟ ΕΤΟΣ 2021**



Χάρτης 15: Χάρτης Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης μετά τη πυρκαγιά το έτος 2021

Ο δείκτης δριμύτητας πυρκαγιάς είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για την ανάλυση και αξιολόγηση των συνεπειών που προκαλούν οι δασικές πυρκαγιές στο φυσικό περιβάλλον. Οι επιπτώσεις αυτές συνήθως εξετάζονται μέσω διαφόρων δεικτών, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τους τις αλλαγές στη βλάστηση και την επιφάνεια του εδάφους. Ένας από τους πιο διαδεδομένους δείκτες είναι ο Normalized Burn Ratio (NBR), που υπολογίζει τη διαφορά μεταξύ της αρχικής κατάστασης της βλάστησης και της μεταγενέστερης, αποτυπώνοντας τις αλλαγές που επέφερε η φωτιά. Παρ' όλα αυτά, ο NBR έχει ορισμένους περιορισμούς, καθώς δεν λαμβάνει πάντα υπόψη τις αρχικές συνθήκες της περιοχής, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα ή λάθος συμπεράσματα.

Για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί, έχει δημιουργηθεί ο Relative Burn Ratio (RBR). Ο συγκεκριμένος δείκτης κανονικοποιεί τα δεδομένα που υπολογίζονται από τον NBR, λαμβάνοντας υπόψη την αρχική κατάσταση της περιοχής. Αυτή η διαδικασία κανονικοποίησης επιτρέπει μια πιο ακριβή και αντιπροσωπευτική εκτίμηση της δριμύτητας της πυρκαγιάς. Πιο αναλυτικά, ο RBR προσαρμόζεται στις τοπικές συνθήκες της βλάστησης και του εδάφους, μειώνοντας τις στρεβλώσεις που μπορεί να προκύψουν από τις διαφορές στο οικοσύστημα πριν από την καταστροφή.

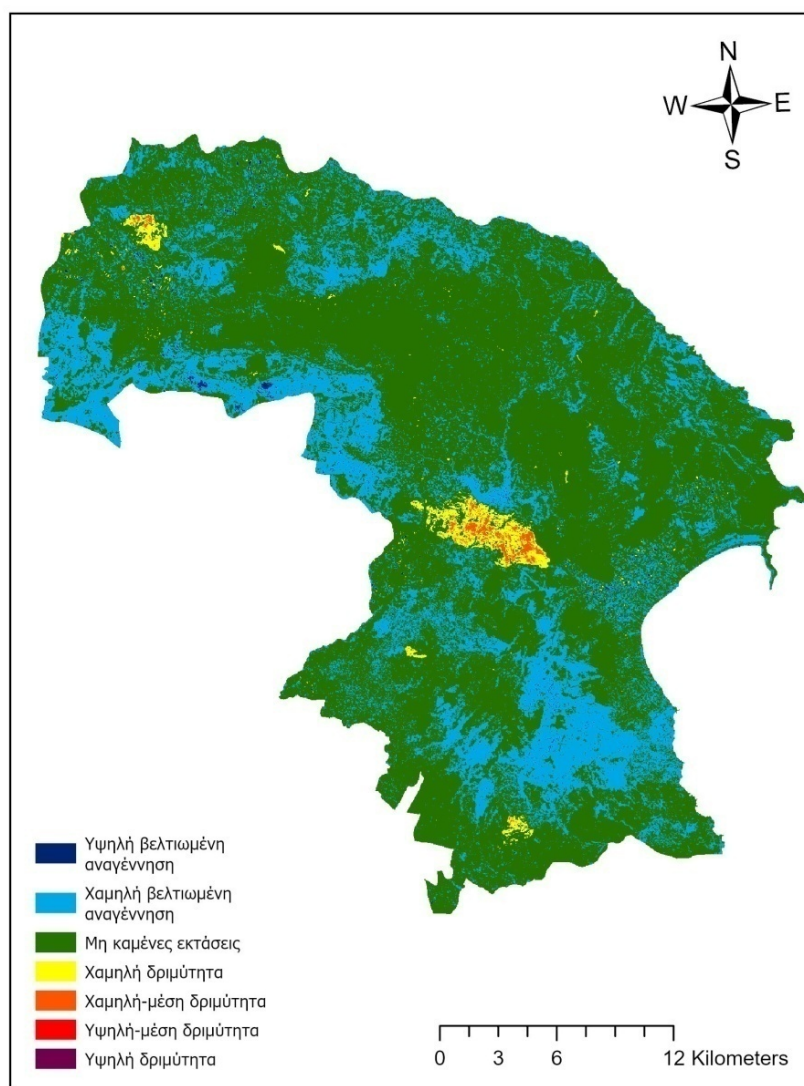
Συνεπώς, ενώ ο NBR είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την αρχική εκτίμηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς, ο RBR όμως προσφέρει μια πιο λεπτομερή και ακριβή εικόνα της δριμύτητας, ενσωματώνοντας κρίσιμους παράγοντες που αφορούν τις αρχικές συνθήκες της περιοχής. Συμπερασματικά, ο τελικός χάρτης που προκύπτει από τη χρήση του δείκτη RBR θεωρείται σαφώς πιο αξιόπιστος και ακριβής συγκριτικά με εκείνον που βασίζεται μόνο στον δείκτη NBR.

Παρακάτω παρατίθενται οι τελικοί χάρτες δριμύτητας για κάθε χρονολογία, υπολογισμένοι με τον δείκτη RBR.

6.4.1 Χάρτης δριμύτητας του Πεντελικού Όρους το έτος 1993

Παρακάτω αποτυπώνεται ο χάρτης δριμύτητας για την πυρκαγιά του 1993, η οποία παρουσίασε χαμηλή ένταση, με φλόγες μέτριας έντασης και σε μερικά σημεία ακόμη χαμηλότερης. Στο κεντρικό κομμάτι της εκτεταμένης περιοχής που επλήγη, παρατηρείται φωτιά με μέτρια ένταση, ενώ στα περιφερειακά τμήματα εμφανίζεται φωτιά χαμηλής έντασης. Η ύπαρξη μικρών ανεπηρέαστων περιοχών εντός του καμένου τοπίου αναδεικνύει το γεγονός ότι η έλλειψη καυσίμου σε αυτές τις περιοχές αποτρέπει την εξάπλωση της πυρκαγιάς.

**ΧΑΡΤΗΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ
ΤΟ ΕΤΟΣ 1993**

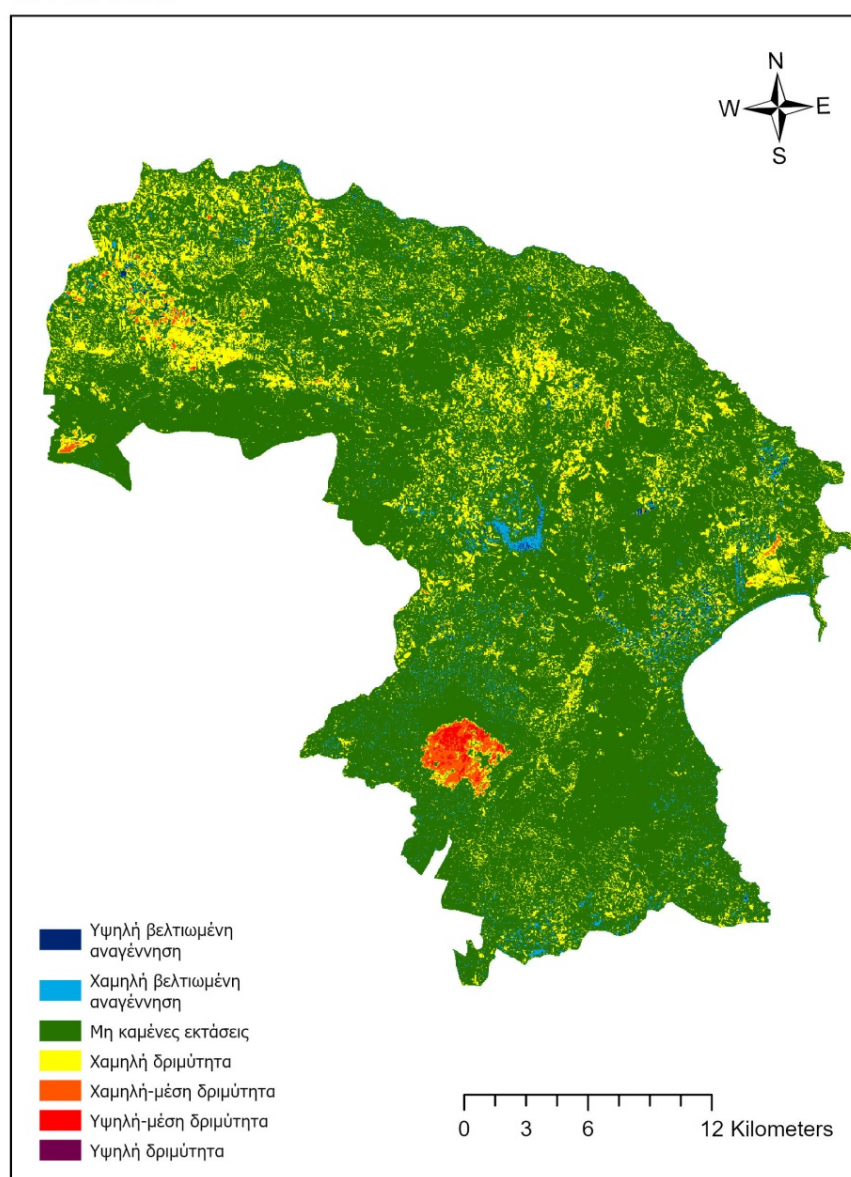


Χάρτης 16: Χάρτης δριμύτητας της πυρκαγιάς τη χρονολογία 1993

6.4.2 Χάρτης δριμύτητας του Πεντελικού Όρους το έτος 2007

Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται ένα μέρος της περιοχής μελέτης που δεν είχε πληγεί από πυρκαγιές κατά τη δεκαετία που προηγήθηκε του 2007, αλλά καταγράφει πλέον σοβαρές φθορές. Η περιοχή εκτείνεται από τους πρόποδες του ορεινού όγκου της Πεντέλης, δηλαδή την περιοχή των Μελισσίων. Η πλειονότητα της περιοχής βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα δριμύτητας, αλλά παρουσιάζονται παράλληλα και υψηλά επίπεδα, αναδεικνύοντας τη σοβαρότητα της κατάστασης.

**ΧΑΡΤΗΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ
ΤΟ ΕΤΟΣ 2007**

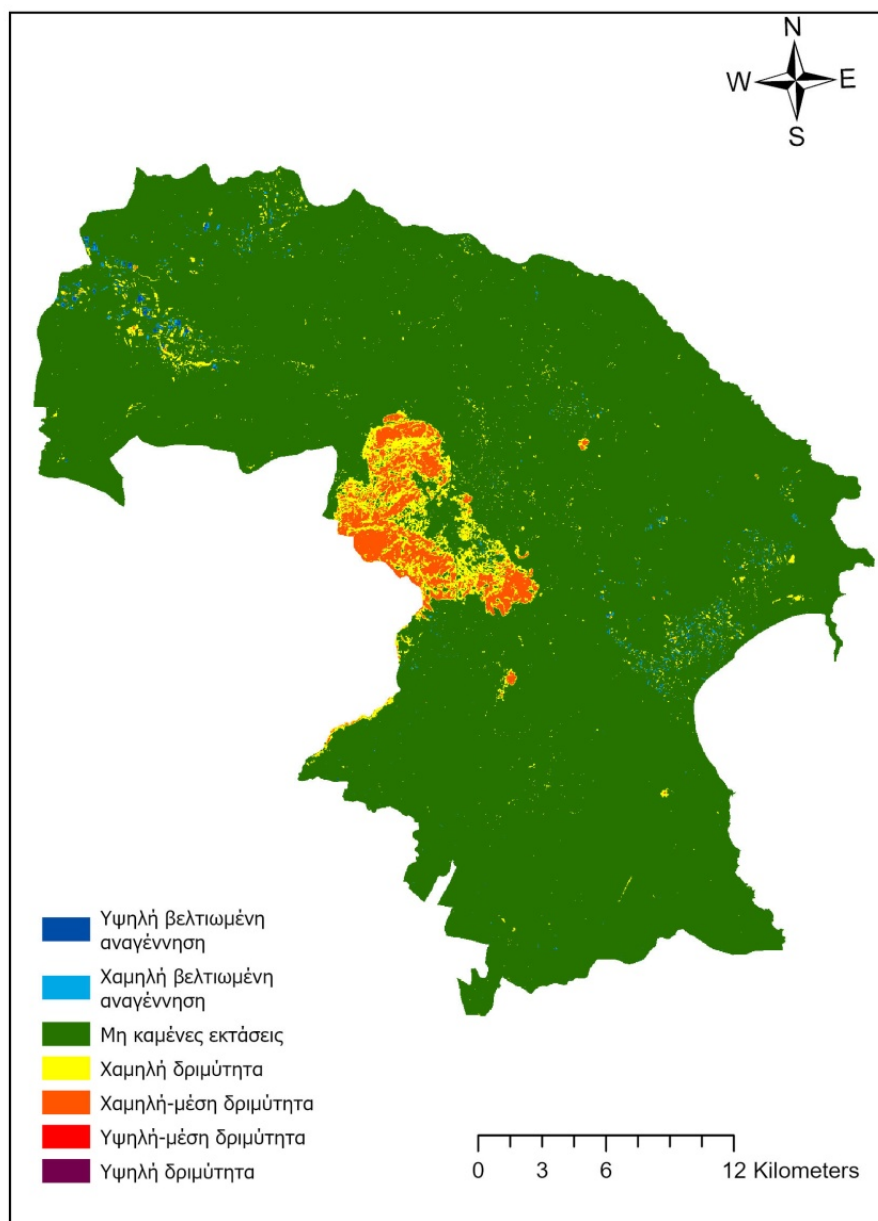


Χάρτης 17: Χάρτης δριμύτητας της πυρκαγιάς για τη χρονολογία 2007

6.4.3 Χάρτης δριμύτητας του Πεντελικού Όρους το έτος 2021

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο χάρτης δριμύτητας για την πυρκαγιά το έτος 2021. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν κυρίως χαμηλή έως μέση δριμύτητα. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μέτρια ένταση φωτιάς στο κεντρικό τμήμα της εκτεταμένης περιοχής που έχει πληγή, ενώ στα περιφερειακά τμήματα παρατηρείται φωτιά χαμηλής έντασης.

**ΧΑΡΤΗΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΟΡΟΥΣ
ΤΟ ΕΤΟΣ 2021**



Χάρτης 18: Χάρτης δριμύτητας για τη πυρκαγιά τη χρονολογία 2021

6.5 Σύγκριση του δείκτη Revitalized Burn Ratio Index(RBR) με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι αποτελεσματική όταν υπάρχουν επαρκή και αντιπροσωπευτικά δεδομένα εκπαίδευσης, αλλά ενδέχεται να αντιμετωπίσει προβλήματα σε περιπτώσεις που δεν έχουν καλυφτεί κατάλληλα από τα δεδομένα εκπαίδευσης.

Ο δείκτης RBR, από την άλλη πλευρά, είναι μια βελτιωμένη εκδοχή του NBR που βοηθά στην αποφυγή υψηλών ή χαμηλών τιμών σε περιοχές με μικρές μεταβολές ή ήπιες πυρκαγιές. Υπολογίζεται από τον διαφοροποιημένο Λόγο Καύσης (dNBR) ο οποίος δείχνει τη διαφορά του NBR πριν και μετά την πυρκαγιά.

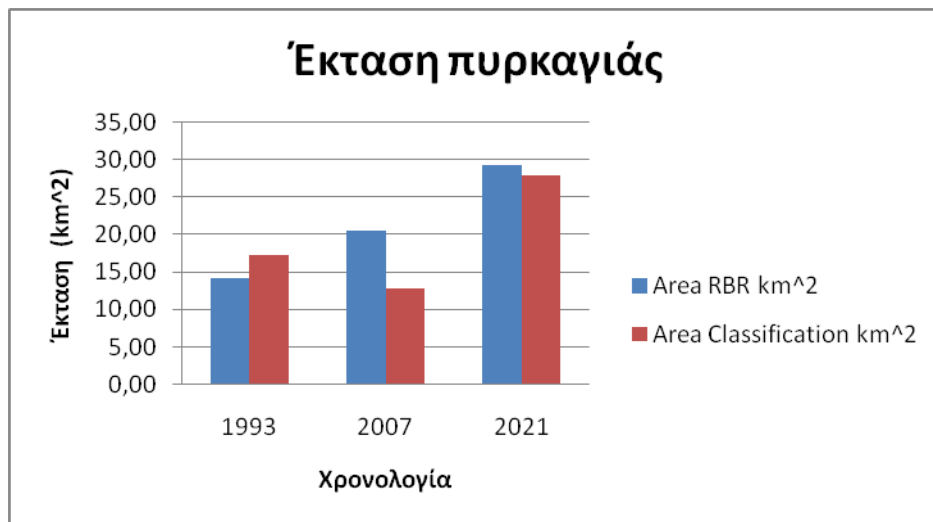
Για τον δείκτη RBR (Normalized Burn Ratio), πραγματοποιήθηκε απομόνωση των εικονοστοιχείων που αναφέρονται στην έκταση που έχει προσβληθεί από τη φωτιά, επιτρέποντας έτσι τον υπολογισμό της έκτασης αποκλειστικά για αυτή την κατηγορία. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη δυνατότητα σύγκρισης της έκτασης της φωτιάς που υπολογίστηκε μέσω της ταξινόμησης με αυτήν που προέκυψε από τον δείκτη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, επιλέχθηκαν ως σωστά τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με πολύγωνα εκπαίδευσης, τα οποία έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 5.3 αναλυτικότερα. Στο Διάγραμμα 11 απεικονίζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης των δυο διαφορετικών τρόπων υπολογισμού της έκτασης της φωτιάς. Με μπλε χρώμα παρουσιάζεται η έκταση που υπολογίστηκε μέσω του Κανονικοποιημένου Λόγου Καύσης -Normalized Burn Ratio, ενώ με κόκκινο επιδεικνύεται η έκταση της πυρκαγιάς μέσω της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με πολύγωνα εκπαίδευσης.

Πίνακας 9: Αριθμός εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν ως καμένη έκταση

ΦΩΤΙΑ	Pixel
1993	15696
2007	22853
2021	36841

Διάγραμμα 11: Σύγκριση των εκτάσεων που υπολογίστηκαν από την ταξινόμηση και από τον δείκτη RBR



Σύμφωνα με το Διάγραμμα 11 , μεγάλη απόκλιση υπολογισμών υπάρχει στην χρονολογία 2007. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός πως η επιβλεπόμενη ταξινόμηση για αυτή την χρονολογία είχε σφάλματα όσον αφορά την απόδοση μεταξύ των κατηγοριών.

Αν εξετάσουμε πιο προσεκτικά το διάγραμμα, παρατηρούμε ότι οι τιμές για τις άλλες δύο πυρκαγιές είναι ιδιαίτερα κοντά μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει μικρή απόκλιση των αποτελεσμάτων για την φωτιά του 2021 με τις δύο μεθόδους. Αυτό είναι λογικό, καθώς υπάρχει καλύτερη χωρική ανάλυση της δορυφορικής εικόνας σε σχέση με αυτές του 1993 και του 2007.

Ωστόσο, πέραν της ευαισθησίας του δείκτη στην κάλυψη δασικών περιοχών, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη διαφορά των αποτελεσμάτων του από αυτά της ταξινόμησης. Οι δορυφορικές εικόνες που

χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι περιοριστικές ως προς την ανάλυση της επιφάνειας της γης με τον δείκτη RBR, ενώ η επιβλεπόμενη ταξινόμηση μπορεί να επιτρέψει μεγαλύτερη ακρίβεια στον καθορισμό των περιοχών επηρεασμένων από την πυρκαγιά.

Κεφάλαιο 7 : Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη εστίασε στη περιοχή του Πεντελικού Όρους, μια περιοχή που πλήττεται συχνά από πυρκαγιές, με στόχο την ανάλυση των αλλαγών που έχουν σημειωθεί στις χρήσεις γης ανά τα χρόνια. Η χρήση δορυφορικών δεδομένων, σε συνδυασμό με δείκτες όπως ο Κανονικοποιημένος Λόγος Καύσης (NBR), επέτρεψε την ακριβής παρακολούθηση των αλλαγών καθώς και την αναγνώριση των περιοχών που επλήγησαν περισσότερο. Μέσα από την ολοκληρωμένη ανάλυση, η παρούσα διπλωματική παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την κατανόηση της περιβαλλοντικής επίδρασης των πυρκαγιών και την ανάγκη υλοποίησης στρατηγικών διαχείρισης των πυρόπληκτων περιοχών.

Οι δείκτες, όπως ο NBR και ο RBR, είναι συχνά πιο αξιόπιστοι σε σύγκριση με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση διότι στηρίζονται σε μαθηματικούς τύπους που εφαρμόζονται αντικειμενικά στα δορυφορικά δεδομένα. Αυτή η αντικειμενικότητα προκύπτει από το γεγονός ότι η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται χωρίς την υποκειμενική ανθρώπινη παρέμβαση, όπως στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπου ο αναλυτής επιλέγει τα πολύγωνα εκπαίδευσης. Αυτή η επιλογή μπορεί να εισάγει σφάλματα ή μεροληψία, ανάλογα με την ποιότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των περιοχών που επιλέγονται για εκπαίδευση.

Επιπλέον, οι δείκτες προσφέρουν μια ενιαία και τυποποιημένη διαδικασία ανάλυσης, που σημαίνει ότι τα αποτελέσματα είναι πιο συγκρίσιμα σε διαφορετικές περιοχές και χρονικές περιόδους. Το πρόγραμμα εφαρμόζει τους μαθηματικούς τύπους με συνέπεια, διασφαλίζοντας ότι τα αποτελέσματα είναι σταθερά και αναπαραγόμενα, χωρίς την ανάγκη επιτόπιων παρατηρήσεων για την εκπαίδευση των δεδομένων. Αντίθετα, στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, η έλλειψη επιτόπιων

παρατηρήσεων μπορεί να οδηγήσει σε ανακρίβειες κατά την αντιστοίχιση των κατηγοριών στον Πίνακα Σύγχυσης. Συνεπώς, εάν κάποιος φορέας επιθυμεί την εκτέλεση της ιδέας αυτής της διπλωματικής εργασίας για κάποια περιοχή που έχει πληγεί επαναλαμβανόμενα από πυρκαγιές, προτείνεται πιο επιστάμενη επιτόπια παρατήρηση, ώστε να επέλθουν σωστά και αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα.

Ένα ακόμα ζήτημα είναι η δυσκολία διαχείρισης της πολυπλοκότητας στις ταξινομήσεις. Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, σε περιοχές όπου υπάρχουν φασματικές ομοιότητες μεταξύ των κατηγοριών (π.χ. διαφορετικοί τύποι βλάστησης ή γης που μοιάζουν πολύ σε φασματικά χαρακτηριστικά), μπορεί να υπάρξει σύγχυση και οι κατηγορίες να μην είναι τόσο ξεκάθαρες. Οι δείκτες, αντίθετα, είναι σχεδιασμένοι να στοχεύουν συγκεκριμένα φαινόμενα (όπως η απώλεια βλάστησης ή οι καμένες εκτάσεις), κάτι που τους καθιστά πιο αξιόπιστους για αυτές τις εξειδικευμένες αναλύσεις.

Τέλος, οι δείκτες απαιτούν λιγότερη ανθρώπινη παρέμβαση και είναι πιο εύκολο να εφαρμοστούν σε μεγάλες περιοχές ή σύνθετα τοπία, ενώ η επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι πιο πολύπλοκη και χρονοβόρα, ειδικά όταν οι περιοχές μελέτης είναι εκτεταμένες. Αυτό καθιστά τους δείκτες την προτιμώμενη επιλογή όταν αναζητάμε γρήγορα και αντικειμενικά αποτελέσματα [28,29] .

Η χρήση των ΓΣΠ αποδείχθηκε απαραίτητη για τη χαρτογράφηση και την οπτικοποίηση των χωρικών δεδομένων, επιτρέποντας την ακριβέστερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Με την δυνατότητα τους να συλλέγουν, να αναλύουν και να παρουσιάζουν δεδομένα με ακρίβεια, προσφέρουν κρίσιμες πληροφορίες για τη διαχείριση των πυρόπληκτων περιοχών, την πρόληψη μελλοντικών καταστροφών καθώς και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

Η διερεύνηση των αλλαγών των χρήσεων γης μετά από συμβάντα πυρκαγιάς αποτελεί θεμελιώδη διαδικασία για ποικίλους λόγους. Αρχικά, διευκολύνει την εκτίμηση της καταστροφής που υπέστη το φυσικό περιβάλλον και οι ανθρωπογενείς περιοχές. Οι πυρκαγιές μπορούν να καταστρέψουν δάση, καλλιεργήσιμες εκτάσεις, αστικές εκτάσεις, ενώ παράλληλα επηρεάζουν την ποιότητα του εδάφους και της βλάστησης.

Η ανάλυση των αλλαγών κάλυψης βοηθά στο εντοπισμό των περιοχών που χρειάζονται διαδικασίες αποκατάστασης και αναδάσωσης. Έτσι παρέχεται μια πληροφορία ζωτικής σημασίας για τον σχεδιασμό έργων που θα συμβάλλουν στην επαναφορά της βιοποικιλότητας και την προστασία των εδαφών από τη διάβρωση.

Επιπλέον, η κατανόηση των αλλαγών των χρήσεων γης, επιτρέπει την καλύτερη διαχείριση της γης, καθώς οι αλλαγές αυτές δημιουργούν νέες προκλήσεις, όπως η αστικοποίηση καμένων εκτάσεων ή η υποβάθμιση του οικοσυστήματος. Με αυτόν τον τρόπο οι τοπικές αρχές μπορούν να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα για την προστασία των φυσικών πόρων και την ανάπτυξη βιώσιμων πολιτικών χρήσης της γης.

Το πιο σημαντικό από όλα είναι φυσικά το γεγονός πως το εργαλείο αυτό συμβάλει στη πρόληψη μελλοντικών πυρκαγιών. Με τον εντοπισμό των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε φωτιές, μπορούν να δημιουργηθούν στρατηγικές πρόληψης, όπως η δημιουργία αντιπυρικών ζωνών, η ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης της βλάστησης και η ανάπτυξη νέων καλύτερων υποδομών αντιπυρικής προστασίας.

Τέλος, δεν θα πρέπει να παραβλέπονται οι κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις που επιφέρει κάθε πυρκαγιά. Οι κοινότητες και η τοπική οικονομία επηρεάζονται από τέτοια φαινόμενα, ιδιαίτερα σε γεωργικές ή τουριστικές περιοχές. Με αυτόν τον τρόπο η κάθε κοινότητα θα μπορέσει να θέσει μακροπρόθεσμες πολιτικές με σκοπό την ενίσχυση της οικονομίας.

Καθώς συνεχίζουμε να αντιμετωπίζουμε νέες προκλήσεις στον τομέα της ετοιμότητας για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, η εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών και η τήρηση αυστηρών μεθόδων παραμένουν κρίσιμες. Αυτές οι πρακτικές εξασφαλίζουν ότι οι κοινότητες μας είναι επαρκώς προετοιμασμένες και εξοπλισμένες για να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τα απρόβλεπτα φυσικά φαινόμενα και τις κρίσεις. Η προσαρμογή σε αυτές τις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες όχι μόνο ενισχύει την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων αλλά βελτιώνει την ικανότητα μας να ανακάμπτουμε γρήγορα και με επιτυχία από τέτοιου είδους καταστροφές.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αθανασίου & Ξανθόπουλος, 2014, *Η μετάδοση δασικών πυρκαγιών με καύτρες στην Ελλάδα*.
2. Ευθυμίου, 2004, *Διαχρονική Εξέλιξη της Κατάστασης Περιβάλλοντος (Γεωλογία - Γεωμορφές) και των Χρήσεων Γης, σε Αργούντα Λατομεία του Πεντελικού Όρους (Αττική)*.
3. Καϊμάρης, 2014, *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Τηλεπισκόπηση: Εφαρμογές στις Φυσικές Επιστήμες*, Εκδόσεις Ζήτη.
4. Καϊμάρης & Καρανικόλας, 2014, *Τεχνολογίες Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών*. Εκδόσεις Τζιόλα.
5. Κάβουρας, κ.ά., 2016, *Εφαρμογές Γεωπληροφορικής*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
6. Κοντζιάς, 2020, *Αξιοποίηση της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στη Διαχείριση και Πρόληψη των Δασικών Πυρκαγιών*. Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
7. Κούτσιας, 2001, *Η δορυφορική τηλεπισκόπηση και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών στη φασματική αξιολόγηση και χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων στα μεσογειακά οικοσυστήματα*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
8. Μακρίδης, 2019, *Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και GIS στη Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών*. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
9. Παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών από την Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε. (www.firesecurity.gr/xdaspyrkagion.html)
10. Παρχαρίδης, 2015, *Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και Χαρτογράφηση Περιβαλλοντικών Μεταβολών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
11. Συριανίδης & Παντελιός, 2018, *Τηλεπισκόπηση και ΣΓΠ στην αξιολόγηση δασικών δεδομένων; Η περίπτωση της πιλοτικής αξιολόγησης των δασικών δεδομένων των χερσονήσων Κασσάνδρας και Σιθωνίας*, Νομού Χαλκιδικής, Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
12. Τσαγκάρη, κ.ά, 2011, *Δασικές Πυρκαγιές Ελλάδας 1983-2008*, Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων.
13. Τσουχλαράκη, Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος ΓΣΠ.

Ξένη βιβλιογραφία

14. Acharya & Ray, 2005, *Image Processing: Principles and Applications*, John Wiley & Sons.
15. Baral, 2004, *Short-term and Long-term Strategies in Forest Management using GIS*, Annals of Forest Science, 61(7), 663-673.

16. Chuvieco & Congalton, 1989, *Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Ecosystem Management*, International Journal of Remote Sensing, 10(4), 661-669.
17. Dent, Torguson & Hodler, 2008, *Cartography: Thematic Map Design*, McGraw-Hill.
18. Jensen, 2007, *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, Pearson.
19. Kraak & Ormeling, 2010, *Cartography: Visualization of Geospatial Data*, Prentice Hall.
20. Lillesand, Kiefer & Chipman, 2015, *Remote Sensing and Image Interpretation*, Wiley.
21. MacEachren, A. M., 2004, *How Maps Work: Representation, Visualization, and Design*. Guilford Press.
22. McKendry, I. G., & Eastman, J. R., 1991, *Fire Risk Assessment Using Geographic Information Systems*. Remote Sensing of Environment, vol.36(3), 111-123.
23. Richards, J. A., & Jia, X., 2006, *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Springer.
24. Robinson, A. H., et al., 1995, *Elements of Cartography*. John Wiley & Sons.
25. Sh, T., 2015, *Forest Management with Geographic Information Systems*. Journal of Environmental Management, vol.45 (3), 245-258.
26. Slocum, T. A., et al., 2009, *Thematic Cartography and Geovisualization*. Pearson Education.
27. Wulder, M. A., et al., 2005, *Forest Monitoring and GIS: Integrating Spatial Information and Analysis for Long-term Forest Management*. Forest Ecology and Management, vol.214(1-3), 233-252.
28. Wang, Y., Li, W., Yan, H., & Wu, Z., 2019, Monitoring for Circumstance of Wildfire Occurrence in Kalimantan by Using Satellite Remote Sensing Data Based on GIS, Journal of Environmental Management, 243, 81-82.
29. Falaras, T., Tselka, I., Papadopoulos, I., Nikolidaki, M., Karavias, A., Bafi, D., Petani, A., Krassakis, P., & Parcharidis, I., 2021, Operational Mapping and Post-Disaster Hazard Assessment by the Development of a Multiparametric Web App Using Geospatial Technologies and Data: Attica Region 2021 Wildfires (Greece), Journal of Geospatial Technologies, 15(2), 6-7.

Πηγές Δεδομένων (τελευταία πρόσβαση 15/04)

- <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- <http://geodata.gov.gr/>
- <https://el.wikipedia.org/>
- <https://dasarxeio.com/>