

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Σχολή Θετικών & Εφαρμοσμένων Επιστημών**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διαχείριση &  
Προστασία Περιβάλλοντος**

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**



**Μελέτη Επικινδυνότητας Εκδήλωσης Πυρκαγιάς στο  
Νησιωτικό Σύμπλεγμα Κεφαλληνίας-Ιθάκης με τη Χρήση  
Γ.Σ.Π και Τηλεπισκοπικών Δεδομένων**

**Ελένη Παναγιωτίδου**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Δρ. Σταύρος Κολιός**

**Δεκέμβριος 2020**

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Σχολή Θετικών & Εφαρμοσμένων Επιστημών**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών *Διαχείριση & Προστασία Περιβάλλοντος***

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Μελέτη Επικινδυνότητας Εκδήλωσης Πυρκαγιάς στο  
Νησιωτικό Σύμπλεγμα Κεφαλληνίας-Ιθάκης με τη Χρήση  
Γ.Σ.Π και Τηλεπισκοπικών Δεδομένων**

**Ελένη Παναγιωτίδου**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Δρ. Σταύρος Κολιός**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στις 28 Δεκεμβρίου από τη Σχολή Θετικών & Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

**Δεκέμβριος 2020**



## Περίληψη

Στη διεθνή έρευνα έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι δημιουργίας ζωνών κινδύνου πυρκαγιάς στα δάση που συνδέουν τους περιβαλλοντικούς παράγοντες μιας περιοχής με τις δυνατότητες εμφάνισης δασικών πυρκαγιών, επιτρέποντας έτσι τη χαρτογράφηση του δυνητικού κινδύνου, σύμφωνα με την ευαισθησία των αναλυθέντων παραγόντων που σχετίζονται με την πυρκαγιά. Στο πλαίσιο αυτό, ο σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής διακρίνεται σε δύο επίπεδα. Σε πρακτικό επίπεδο εφαρμογής περιλαμβάνει τη χαρτογράφηση των ζωνών επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς εντός των ορίων της επιλεγείσας περιοχής μελέτης, όπως αυτή προσδιορίζεται από την ακτογραμμή των νήσων Κεφαλληνίας και Ιθάκης, με την αξιοποίηση των σύγχρονων και αξιόπιστων δορυφορικών δεδομένων Sentinel 2 και των σχετικών διαθέσιμων γεωχωρικών δεδομένων. Σε ποιοτικό επίπεδο, αφορά στην αξιολόγηση της θεματικής ακρίβειας των χαρτών και στην εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ακρίβεια της επιδιωκόμενης θεματικής χαρτογράφησης και κατ' επέκταση τον βαθμό αξιοπιστίας του εφαρμοζόμενου μοντέλου της πολυκριτηριακής ανάλυσης και της παραγόμενης γεωχωρικής πληροφορίας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των στατιστικών ανάλυσης των ζωνών επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης σε σχέση με τους φυσικούς παράγοντες, η «μέτρια» έως «υψηλή» επικινδυνότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς υφίσταται σε περιοχές με κυρίαρχη δομή βλάστησης τους αραιούς θάμνους και δέντρα, κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 10-30% και προσανατολισμό εδαφικών επιφανειών βόρειο έως ανατολικό ή βορειοδυτικό κυρίως. Σχετικά με τους ανθρωπογενείς παράγοντες, προκύπτει ότι οι ζώνες «μέτριας» έως «πολύ υψηλής» επικινδυνότητας εντοπίζονται σε απόσταση άνω των εξακοσίων μέτρων από τις οδικές αρτηρίες και άνω των τριών χιλιομέτρων από τους οικισμούς.

Από την αξιολόγηση του ενιαίου χάρτη επικινδυνότητας σε σχέση με το ιστορικό πυρκαγιών της περιοχής μελέτης, προέκυψε ότι οι πυρκαγιές που έχουν εκδηλωθεί στο παρελθόν εμπίπτουν σε ζώνες «μέτριας» επικινδυνότητας. Ο ενιαίος χάρτης δυνητικού κινδύνου πυρκαγιάς που παράχθηκε, αποτελεί αξιόπιστο υπόβαθρο πληροφορίας για την στρατηγική αντιμετώπισης των δασικών πυρκαγιών στο νησιωτικό σύμπλεγμα Κεφαλληνίας – Ιθάκης, υποδεικνύοντας περιοχές, τοποθεσίες και διαδρομές για τον σχεδιασμό ενεργειών ή εγκατάσταση κατάλληλων υποδομών έγκαιρης πρόβλεψης και καταστολής του φαινομένου.

**Λέξεις κλειδιά:** Χαρτογράφηση Ζωνών Επικινδυνότητας, Δασικές Πυρκαγιές, Πολυκριτηριακή ανάλυση, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Τηλεπισκόπηση, Sentinel 2, Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.

## Summary

In the international research, various methods have been used to create fire risk zones in forests that connect the environmental factors of an area with the possibilities of forest fires, thus allowing the mapping of the potential risk, according to the sensitivity of the analyzed factors related to. In this context, the purpose of the master's thesis is divided into two levels. At a practical level, it includes the mapping of fire hazard zones within the boundaries of the selected study area, as determined by the coastline of the islands of Kefallinia and Ithaca, utilizing modern and reliable Sentinel 2 satellite geospatial data and related geospatial information. At a qualitative level, it concerns the evaluation of the thematic accuracy of the maps and the assessment of the factors that affect the accuracy of the intended thematic mapping and consequently the degree of reliability of the applied model of multi-criteria analysis and the produced geospatial information.

According to zonal statistics results of the study area in relation to the natural factors, the "moderate" to "high" hazard of fire exists in areas with a predominant vegetation structure, sparse shrubs and trees, slopes ranging between 10-30% and aspect of land surfaces north to east or northwest mainly. Regarding anthropogenic factors, it appears that the zones of "moderate" to "very high" hazard are located at a distance of more than six hundred meters from the roads and more than three kilometers from the settlements.

From the evaluation of the unified hazard map in relation to the fire history of the study area, it emerged that the fires that have occurred in the past fall into "moderate" hazard zones. The unified map of potential fire risk produced, is a reliable information background for the strategy of forest fires in the Kefallinia - Ithaca islands, indicating areas, locations and routes for planning actions or installation of appropriate infrastructure, aiming at well-timed prediction and suppression of the phenomenon.

**Keywords:** Hazard Zone Mapping, Wildfires, Multicriteria Analysis, Geographic Information Systems, Remote Sensing, Sentinel 2, Supervised Classification

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, Δρ. Σταύρο Κολιό για την καθοδήγηση και την υποστήριξη κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας.

Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής υλοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών με τίτλο *«Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος»* και είναι αποτέλεσμα της παρακολούθησης όλων των Θεματικών Ενοτήτων του προγράμματος. Ως εκ τούτου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Μαρίνο Στυλιανού (ΔΠΠ50), τον Δρ. Ιωάννη Βογιατζάκη (ΔΠΠ61) και τον αποθανόντα καθηγητή Δρ. Γεώργιο Μηλιαρέση (ΔΠΠ51), αλλά και όλο το προσωπικό του ΑΠΚΥ για την υποστήριξη υλοποίησης του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου σε προσωπικό επίπεδο, καθόλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 .....	1
Εισαγωγή .....	1
1.1 Εισαγωγή .....	1
1.2 Καταγραφή Προβλήματος .....	2
1.3 Σημασία και Αναγκαιότητα Μελέτης .....	3
1.4 Σκοποί – Στόχοι – Αναμενόμενα Αποτελέσματα.....	4
1.5 Σημασία της Περιοχής Μελέτης.....	5
Κεφάλαιο 2 .....	21
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....	21
2.1 Εισαγωγή .....	21
2.1.1 Εννοιολογική Προσέγγιση Κινδύνου Και Επικινδυνότητας .....	21
2.1.2 Εκτίμηση Κινδύνου Δασικών Πυρκαγιών .....	22
2.1.3 Η Τηλεπισκόπηση .....	23
2.1.4 Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.....	24
2.2 Ιστορική Αναδρομή .....	25
2.2.1 Εφαρμογές Μοντέλων Στατιστικής .....	26
2.2.2 Εφαρμογές Μοντέλων Μηχανικής Μάθησης.....	32
2.2.3 Εφαρμογές Μοντέλων Πολυκριτηριακής Ανάλυσης.....	34
2.2.4 Εφαρμογές Συνδυαστικών Μοντέλων.....	36
2.3 Θεωρητικό Πλαίσιο .....	38
2.3.1 Η Δομή Των Δασών Και η Στρωμάτωση Της Καύσιμης Ύλης.....	38
2.3.3 Κατηγορίες Δασικών Πυρκαγιών .....	40
2.3.4 Παράγοντες Που Επηρεάζουν Τις Δασικές Πυρκαγιές.....	41
2.3.5 Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση .....	41
2.3.6 Το Δορυφορικό Σύστημα Sentinel 2 .....	42
2.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	43
2.4.1 Διεθνής Πραγματικότητα.....	44
2.4.2 Ελληνική Πραγματικότητα.....	46
2.7 Συμπεράσματα .....	47
Κεφάλαιο 3 .....	49
Μεθοδολογία .....	49
3.1 Εισαγωγή .....	49
3.1.1 Σκοπός-Στόχοι .....	49
3.1.2 Ερευνητικά Ερωτήματα .....	49

3.2 Εννοιολογικός Σχεδιασμός.....	50
3.2.1 Προσδιορισμός κριτηρίων – Αξιολόγηση .....	51
3.2.1.1 Γεωμορφολογικοί παράγοντες.....	51
3.2.1.2 Περιβαλλοντικοί παράγοντες.....	52
3.2.1.3 Ανθρωπογενείς παράγοντες .....	54
3.2.2 Επιλογή μεθόδου – Σχεδιασμός διαδικασίας.....	54
3.3 Δεδομένα Μελέτης- Συλλογή - Προεπεξεργασία .....	57
3.3.1 Δορυφορική Εικόνα Sentinel 2A .....	62
3.3.2 Δεδομένα Κάλυψης γης-Corine .....	68
3.3.3 Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους - DEM.....	70
3.3.4 Δασικός Χάρτης – Σχέδια Πόλης .....	72
3.3.5 Αναδασωτέες Εκτάσεις-Ακτογραμμή .....	75
3.3.6 Διοικητικά Όρια.....	77
3.3.7 Οδικό Δίκτυο .....	77
3.4 Λογικός Σχεδιασμός-Επεξεργασία .....	80
3.4.1 Θεματικό Επίπεδο Επικινδυνότητας Κλίσεων .....	83
3.4.2 Θεματικό Επίπεδο Επικινδυνότητας Προσανατολισμού.....	84
3.4.3 Θεματικό Επίπεδο Επικινδυνότητας Καύσιμης Ύλης-Δασικής Βλάστησης .....	86
3.4.4 Θεματικό Επίπεδο Προσβασιμότητας Οδικού Δικτύου .....	97
3.4.5 Θεματικό Επίπεδο Προσβασιμότητας Οικισμών .....	100
3.4.6 Θεματικό Επίπεδο Επικινδυνότητας Εκδήλωσης Πυρκαγιάς .....	103
Κεφάλαιο 4.....	105
Αποτελέσματα .....	105
4.1 Εισαγωγή .....	105
4.2 Κλίσεις .....	105
4.3 Προσανατολισμός .....	107
4.4 Καύσιμη Ύλη-Βλάστηση .....	109
4.5 Ζώνη Επιρροής Οδικού Δικτύου .....	112
4.6 Ζώνη Επιρροής Οικισμών .....	115
4.7 Επικινδυνότητα Εκδήλωσης Πυρκαγιάς Στην Περιοχή Μελέτης.....	117
4.8 Αξιολόγηση Της Μεθόδου .....	127
Κεφάλαιο 5.....	133
Συζήτηση-Συμπεράσματα-Εισηγήσεις .....	133
5.1 Εισαγωγή .....	133
5.2 Συμπεράσματα .....	133

5.3 Περιορισμοί της μελέτης .....	134
5.4 Συζήτηση-Εισηγήσεις.....	136
Παράρτημα Α.....	1
Κατάλογος .....	1
Α.1 Κατάλογος Εικόνων .....	1
Α.2 Κατάλογος Σχημάτων .....	2
Α.3 Κατάλογος Χαρτών .....	3
Α.4 Κατάλογος Πινάκων .....	4
Παράρτημα Β.....	5
Συμπληρωματικά Στοιχεία Μεθοδολογίας .....	5
Β.1 Ταξινόμηση Βλάστησης .....	5
Βιβλιογραφία.....	18



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Εισαγωγή

Η πυρκαγιά αποτελεί παράγοντα εξέλιξης του φυσικού κύκλου της βλάστησης που απαντάται σε περιοχές μεσογειακού κλίματος (Vogiatzakis, 1999), γεγονός που αποδεικνύεται ιστορικά σε όλες τις περιοχές παγκόσμια, όπου επικρατούν κλιματικές συνθήκες μεσογειακού τύπου (Αριανούτσου, 2001). Οι οικολογικές επιπτώσεις της πυρκαγιάς χαρακτηρίζονται με βάση το καθεστώς της, το οποίο συνίσταται από τη συνδυασμένη δράση του μεγέθους, της συχνότητας, της έντασης και της εποχής της (Lavorel et al., 1998). Ως εκ τούτου, ακόμα και για τα «πυράντοχα» είδη των μεσογειακών οικοσυστημάτων, ο ρόλος της πυρκαγιάς μπορεί να είναι διττός.

Η εκδήλωση δασικών πυρκαγιών στην Νότια Ευρώπη είναι επαναλαμβανόμενο γεγονός και αποτελεί σημαντική αιτία υποβάθμισης των οικοσυστημάτων και του εδάφους, αλλά και εκδήλωσης του φαινομένου της ερημοποίησης (Rodrigues et al., 2013). Η υψηλή συχνότητα πυρκαγιών οφείλεται σε συγκεκριμένες φυσικές συνθήκες ή ανθρωπογενείς παράγοντες που συνεπιδρούν (Pelizzari, Goncalves and Caetano, 2008). Στις περιοχές της Μεσογείου, η ιδιαίτερη κλιματολογική συνθήκη της εποχικής σύμπτωσης της ξηρότερης με την θερμότερη χρονική περίοδο του έτους, σε συνδυασμό με την επικράτηση της βλάστησης μεσογειακού τύπου, διαμορφώνουν τοπία ευαίσθητα στις πυρκαγιές (Roberts, Meadows and Dodson, 2001). Επιπλέον, η συνύπαρξη αστικών οικισμών, δικτύων υποδομής και βλάστησης σε ένα πολύπλοκο και στενά διασυνδεδεμένο χωρικά μωσαϊκό αυξάνει τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Η τρωτότητα των περιοχών της Μεσογείου, ενισχύεται από τις πρόσφατες αλλαγές στα δημογραφικά πρότυπα και τη χρήση γης, σε συνδυασμό με τον μειωμένο έλεγχο των παραδοσιακών πρακτικών που εφαρμόζουν την φωτιά ως εργαλείο διαχείρισης της γης (Badia, Serra and Modugno, 2011), όπως επίσης και από την κλιματική αλλαγή, επιδεινώνοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και την κοινωνία (Amatulli, Camia and San-Miguel-Ayanz, 2009).

Σε αυτό το πλαίσιο, η αξιολόγηση των επιπτώσεων από την εμφάνιση πυρκαγιών και η ανάπτυξη προσεγγίσεων για την πρόληψη πιθανών ζημιών είναι κρίσιμης σημασίας για τη διαχείριση των πυρκαγιών. Η αξιολόγηση ευπάθειας ή επικινδυνότητας παρέχει συγκεκριμένα εργαλεία για την ανάλυση των πιθανοτήτων απωλειών και έχει λάβει αυξανόμενη προσοχή σε διεθνές επίπεδο (Pearson and Pelling, 2015). Οι προσεγγίσεις στις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί με αντικείμενο την εκτίμηση της ευπάθειας επικεντρώνονται είτε στην οικολογική διάσταση των πυρκαγιών, είτε στις κοινωνικοοικονομικές πτυχές του θέματος. Ολιστικά πλαίσια έχουν επίσης δοκιμαστεί, προσπαθώντας να ενσωματώσουν το ευρύ φάσμα πιθανών επιπτώσεων και αλληλεπιδράσεων των πυρκαγιών. Αυτές οι μελέτες παρουσίασαν πολύτιμες εναλλακτικές λύσεις για την εφαρμογή συστηματικών προσεγγίσεων για την αξιολόγηση της επικινδυνότητας, ωστόσο ορισμένες προκλήσεις παραμένουν. Μια κύρια πρόκληση αφορά στην ανάγκη μεταφοράς της επιστημονικής γνώσης που προκύπτει από αυτές τις πολύπλοκες προσεγγίσεις σε τεχνικές και επιχειρησιακές διαδικασίες, οι οποίες είναι αναγκαίες στον τομέα της διαχείρισης των πυρκαγιών, σε επίπεδο πρακτικής εφαρμογής και αξιοποίησης από τους αρμόδιους φορείς (Oliveira et al., 2018).

## 1.2 Καταγραφή Προβλήματος

Η δασική πυρκαγιά είναι μια από τις κύριες απειλές για το περιβάλλον, με συνακόλουθες αρνητικές επιπτώσεις για την κοινωνία και την οικονομία, οι οποίες μερικές φορές διαρκούν περισσότερο από δέκα χρόνια μετά την εκδήλωση. Η εκδήλωση του φαινομένου αυτού, ακολουθεί αυξητική τάση και η αντιμετώπισή του απαιτεί ακριβή και αποτελεσματική στρατηγική ελέγχου. Το 2017, οι δασικές πυρκαγιές έκαψαν πάνω από 1,2 εκατομμύρια εκτάρια φυσικών εδαφών στην ΕΕ και σκότωσαν 127 άτομα, πυροσβέστες και πολίτες. Πάνω από το 25% της συνολικής καμένης έκτασης εντοπίστηκε εντός του δικτύου Natura 2000, αναστέλλοντας πολλές από τις προσπάθειες των χωρών της ΕΕ να προστατεύσουν και να διατηρήσουν την βιοποικιλότητα, τους φυσικούς οικοτόπους και το επίπεδο των οικοσυστημικών υπηρεσιών για τις μελλοντικές γενιές. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών για τις Πυρκαγιές των Δασών (*European Forest Fire Information System-EFFIS*), οι καταστροφές που προκλήθηκαν από αυτές τις πυρκαγιές ανέρχονται σε περίπου 10 δισεκατομμύρια ευρώ (Naderpour et al., 2019)

Η αύξηση του αριθμού των δασικών πυρκαγιών και των αποτεφρωμένων δασικών εκτάσεων στην Ελλάδα, από την δεκαετία του 1980 και μετά είναι χαρακτηριστική. Αναφέρεται ότι ειδικά την καταστροφική χρονιά του 2007, η καμένη δασική έκταση ανέρχεται σε 2.700.000 στρέμματα και είναι πενταπλάσια του μέσου όρου των τελευταίων σαράντα ετών. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία, οι καμένες εκτάσεις σε ποσοστό 75% αντιστοιχούν σε πυρκαγιές που ξεπερνούν τα 10.000 στρέμματα, οι οποίες εκπροσωπούν το 4% του συνόλου των πυρκαγιών, συνεπώς το πρόβλημα αφορά όχι μόνο στον αριθμό, αλλά στο μέγεθος των δασικών πυρκαγιών. Επισημαίνεται ότι τα περιστατικά φωτιάς της τελευταίας δεκαετίας και ιδιαιτέρως η τραγική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στο Μάτι του Ν. Αττικής το 2018, ενεργοποίησαν σειρά καταστροφών για την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια, για τα ιδιωτικά και δημόσια αγαθά και για κρίσιμες υποδομές (Goldammer *et al.*, 2019)

### **1.3 Σημασία και Αναγκαιότητα Μελέτης**

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, καθίσταται σαφής η ανάγκη της αλλαγής και εκσυγχρονισμού της στρατηγικής διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα. Η εξάλειψή τους δεν είναι εφικτή, εφόσον αποτελούν μέρος της εξελικτικής διαδικασίας των μεσογειακών οικοσυστημάτων, επομένως ο στόχος ενός σύγχρονου συστήματος διαχείρισης είναι η μείωση της επικινδυνότητας και των ενδεχόμενων καταστροφών που μπορεί να προκαλούν. Ένα από τα βαθύτερα αίτια του προβλήματος της διαχείρισης, μεταξύ άλλων, είναι και ο αποκλεισμός της αξιοποίησης της επιστημονικής γνώσης και των τεχνολογιών στην πράξη. Η δημιουργία ενός τυπικού και επιστημονικά τεκμηριωμένου εθνικού συστήματος εκτίμησης κινδύνου εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών, σε επίπεδο νομού, αποτελεί σημαντικό μέρος ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης και λήψης αποφάσεων (Goldammer *et al.*, 2019).

Διάφορα μέτρα πρόληψης ή έγκαιρης καταπολέμησης μπορεί να ληφθούν με την αξιοποίηση πληροφοριών που λαμβάνονται από χάρτες κινδύνου πυρκαγιάς, συμπεριλαμβανομένης της υψηλής επιτήρησης στις περιοχές που κινδυνεύουν, της περιορισμένης πρόσβασης σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, της κατάλληλης χωροθέτησης πόρων (συστήματα υδροληψίας, αντιπυρικές λωρίδες κ.λπ), της γενικότερης αναδιοργάνωσης των πρακτικών διαχείρισης (Eugenio *et al.*, 2016). Ειδικότερα,

αναφορικά με τα προκατασταλκτικά μέτρα διαχείρισης στην Ελλάδα, τα οποία στοχεύουν στην ετοιμότητα και των μετριασμό των συνεπειών, αναφέρεται ότι δεν υπάρχει συστηματικός σχεδιασμός σε επίπεδο περιοχής που περιλαμβάνει ανάλυση οπτικής κάλυψης και εκτίμηση επικινδυνότητας για τον καθορισμό των θέσεων παρατήρησης και της περιπολίας. Ο σχεδιασμός επιτήρησης πραγματοποιείται με εφαρμογή εμπειρικών εκτιμήσεων (Goldammer *et al.*, 2019).

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες μέθοδοι δημιουργίας ζωνών κινδύνου πυρκαγιάς στα δάση που συνδέουν τους περιβαλλοντικούς παράγοντες μιας περιοχής με τις δυνατότητες εμφάνισης δασικών πυρκαγιών, επιτρέποντας έτσι τη χαρτογράφηση δυνητικών κινδύνων σύμφωνα με την ευαισθησία των αναλυθέντων παραγόντων που σχετίζονται με την πυρκαγιά (Eugenio *et al.*, 2016).

Στο πλαίσιο αυτό, καθίσταται αναγκαία η δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας δασικής πυρκαγιάς σε επίπεδο Νομού, λαμβάνοντας υπόψη τους μεσο-μακροπρόθεσμους περιβαλλοντικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες που συνεπιδρούν στην εκδήλωση του φαινομένου.

## **1.4 Σκοποί – Στόχοι – Αναμενόμενα Αποτελέσματα**

Ο σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής διακρίνεται σε δύο επίπεδα. Σε πρακτικό επίπεδο εφαρμογής περιλαμβάνει τη χαρτογράφηση των ζωνών επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς εντός των ορίων της επιλεχθείσας περιοχής μελέτης, όπως αυτή προσδιορίζεται από την ακτογραμμή των νήσων Κεφαλληνίας και Ιθάκης, με την αξιοποίηση των σύγχρονων και αξιόπιστων δορυφορικών δεδομένων Sentinel 2 και της σχετικής διαθέσιμης γεωχωρικής πληροφορίας. Τα κριτήρια επιλεξιμότητας της περιοχής μελέτης ανάγονται στα ιδιαίτερα γεωμορφολογικά και βλαστητικά χαρακτηριστικά της, συγκριτικά με άλλα νησιά της χώρας, αλλά και στην υψηλή τουριστική επισκεψιμότητα που τη διακρίνει.

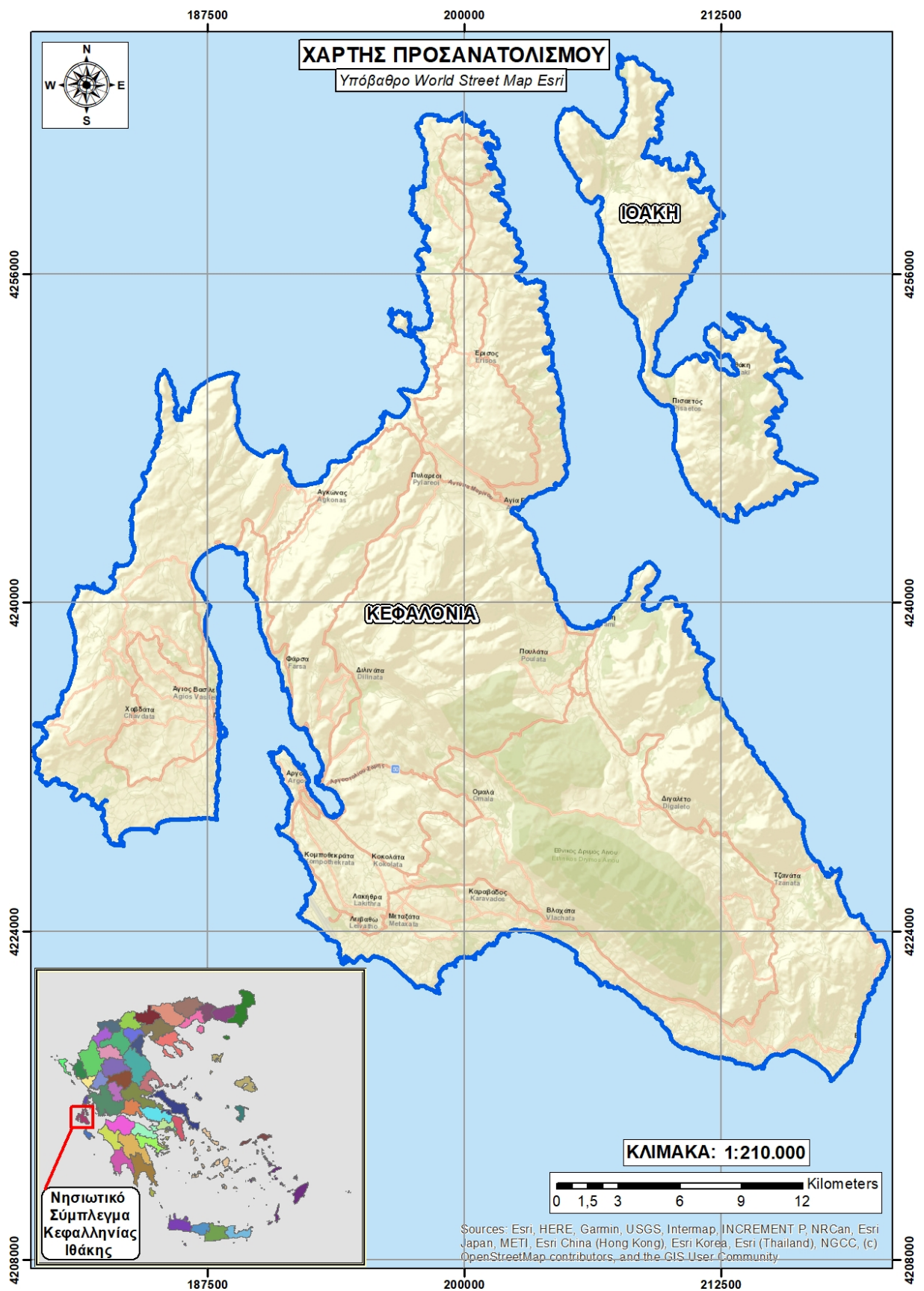
Σε ποιοτικό επίπεδο, αφορά στην αξιολόγηση της θεματικής ακρίβειας των χαρτών και στην εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ακρίβεια της επιδιωκόμενης θεματικής χαρτογράφησης και κατ' επέκταση τον βαθμό αξιοπιστίας του

εφαρμοζόμενου μοντέλου της πολυκριτηριακής ανάλυσης και της παραγόμενης γεωχωρικής πληροφορίας.

Η ερευνητική υπόθεση συνοψίζει τον στόχο της μεταπτυχιακής διατριβής και τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Αφορά αφενός στον προσδιορισμό των παραγόντων που συμβάλλουν στην εκδήλωση μιας δασικής πυρκαγιάς, αφετέρου στην ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της σχέσης των παραγόντων αυτών με την επικινδυνότητα του φαινομένου. Τα αποτελέσματα, μέσω της κατάλληλης χαρτογραφικής απεικόνισης, αναμένεται να υποδείξουν το «που» και να απαντήσουν στο ερώτημα «πόσο», αναφορικά με την έκταση και την διαβάθμιση της επικινδυνότητας του φαινομένου.

## 1.5 Σημασία της Περιοχής Μελέτης

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από τις χερσαίες εκτάσεις των Περιφερειακών Ενοτήτων Κεφαλληνίας και Ιθάκης, οι οποίες υπάγονται στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων και ανήκουν στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Επτανήσων (*Wikipedia*, 2019). Εντοπίζεται στα νοτιοδυτικά της Ελλάδας, συγκεκριμένα βόρεια της Ζακύνθου και νότια της Λευκάδας, ενώ εκτείνεται σε γεωγραφικό πλάτος ( $\varphi$ ) από  $38^{\circ}02'47''$  έως  $38^{\circ}29'73''$  βόρεια του επιπέδου του ισημερινού και γεωγραφικό μήκος ( $\lambda$ ) από  $20^{\circ}19'82''$  έως  $20^{\circ}51'52''$  ανατολικά του Greenwich (Χάρτης 1.5.1). Η πρόσβαση στην περιοχή μελέτης είναι αρκετά εύκολη λόγω των πολλαπλών ακτοπλοϊκών συνδέσεων με την ηπειρωτική χώρα μέσω αρκετών λιμανιών αλλά και του Κρατικού Αερολιμένα «Άννα Πολλάτου» που εντοπίζεται στο νησί της Κεφαλονιάς (*Wikipedia*, 2019).



Χάρτης 1.5.1: Χάρτης προσανατολισμού περιοχής μελέτης-Εντοπισμός θέσης

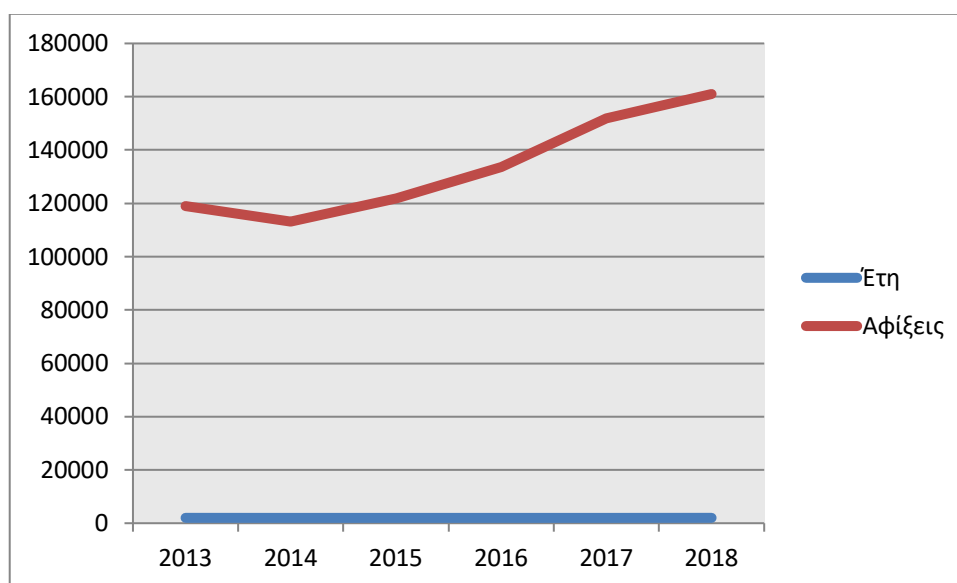
Η Κεφαλονιά είναι το μεγαλύτερο σε έκταση νησί των Επτανήσων και το τρίτο σε πληθυσμό μετά τη Ζάκυνθο και την Κέρκυρα, ενώ καταλαμβάνει έκταση περίπου 773 τ.χλμ. με πληθυσμό 35.801 κατοίκων σύμφωνα την απογραφή του 2001 (*Wikipedia*, 2019) και 36.404 κατοίκων σύμφωνα με την απογραφή του έτους 2011 της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ). Με αναφορά στα ίδια έτη απογραφής πληθυσμού αντιστοίχως, ο πληθυσμός της Ιθάκης ήταν 3.084 και 3.231 κάτοικοι (*ΕΛΣΤΑΤ*, 2019), ενώ η έκταση του νησιού ανέρχεται στα 117 τ.χλμ. περίπου (*Wikipedia*, 2019).

Η Κεφαλονιά και η Ιθάκη είναι ιδιαιτέρως δημοφιλείς τουριστικοί προορισμοί τους καλοκαιρινούς μήνες. Φημίζονται για τον συνδυασμό βουνού και θάλασσας, διαθέτουν πλούσια βιοποικιλότητα, εντυπωσιακή ακτογραμμή, ποικιλομορφία παραλιών, πολυσύχναστες, πλήρως οργανωμένες ή απομονωμένες και απαλλαγμένες από κάθε όχληση. Η υψηλή ποιότητα αναψυχής που παρέχουν τα στοιχεία της φύσης, σε συνδυασμό με τα μοναδικά σπήλαια και τους σπάνιους γεωλογικούς σχηματισμούς, τα κάστρα, τα μοναστήρια και τις εκκλησίες, τους αξιόλογους αρχαιολογικούς χώρους, τα γραφικά παραθαλάσσια χωριά και τους παραδοσιακούς οικισμούς, διατηρούν την τουριστική ταυτότητα της περιοχής μελέτης σε αξιόλογα επίπεδα (*Wikipedia*, 2019), όπως φαίνεται και από τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ που απεικονίζονται στον Πίνακα 1.5.1.

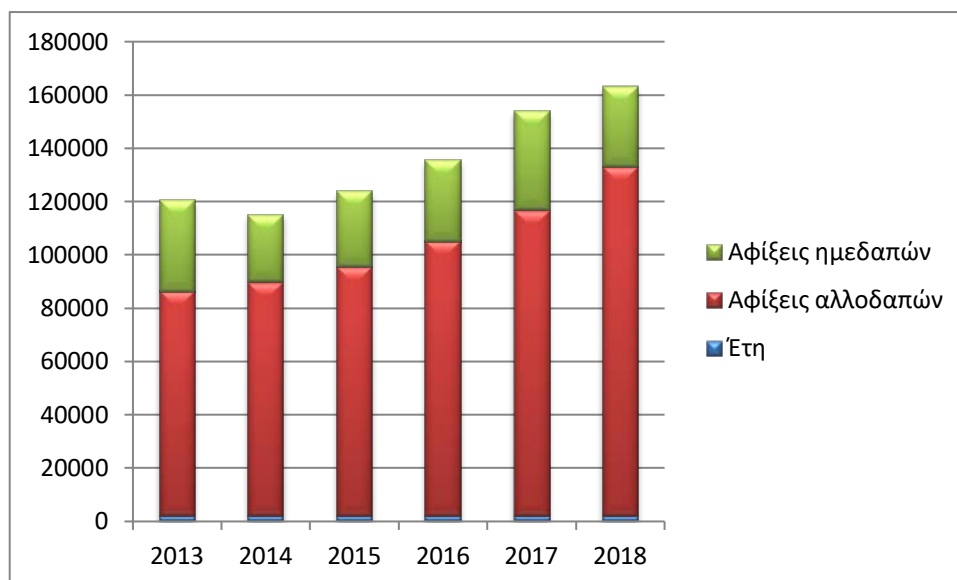
Πίνακας 1.5.1: Αφίξεις σε καταλύματα ξενοδοχειακού τύπου (πλην κάμπινγκ) στις Περιφερειακές Ενότητες Κεφαλληνίας και Ιθάκης σε σχέση με τον αριθμό αφίξεων της Περιφέρειας Ιονίων Νήσων μεταξύ των ετών 2013-2018 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

Περιφέρεια Ιονίων Νήσων			Περιφερειακές Ενότητες Κεφαλληνίας & Ιθάκης		
Αφίξεις ημεδαπών	Αφίξεις αλλοδαπών	Σύνολο Αφίξεων	Αφίξεις ημεδαπών	Αφίξεις αλλοδαπών	Σύνολο Αφίξεων
<b>ΕΤΟΣ 2013</b>					
200.295	946.778	1.147.073	34.308	84.214	119.040
<b>ΕΤΟΣ 2014</b>					
182.737	1.061.815	1.244.552	25.355	87.804	113.159
<b>ΕΤΟΣ 2015</b>					
184.550	1.190.929	1.375.479	28.626	93.351	121.977
<b>ΕΤΟΣ 2016</b>					
195.647	1.295.209	1.490.856	30.401	103.110	133.511
<b>ΕΤΟΣ 2017</b>					
203.680	1.514.126	1.717.806	37.133	114.850	151.938
<b>ΕΤΟΣ 2018</b>					
198.373	1.565.569	1.763.942	30.152	130.871	161.023

Από τα στοιχεία του Πίνακα 1.5.1 προκύπτει ότι η τουριστική κίνηση στο νησιωτικό σύμπλεγμα Κεφαλονιάς-Ιθάκης παρουσιάζει αυξητική τάση τα τελευταία χρόνια (Σχήμα 1.5.1), με ιδιαίτερη έμφαση στους αριθμούς αφίξεων από το εξωτερικό (Σχήμα 1.5.2).



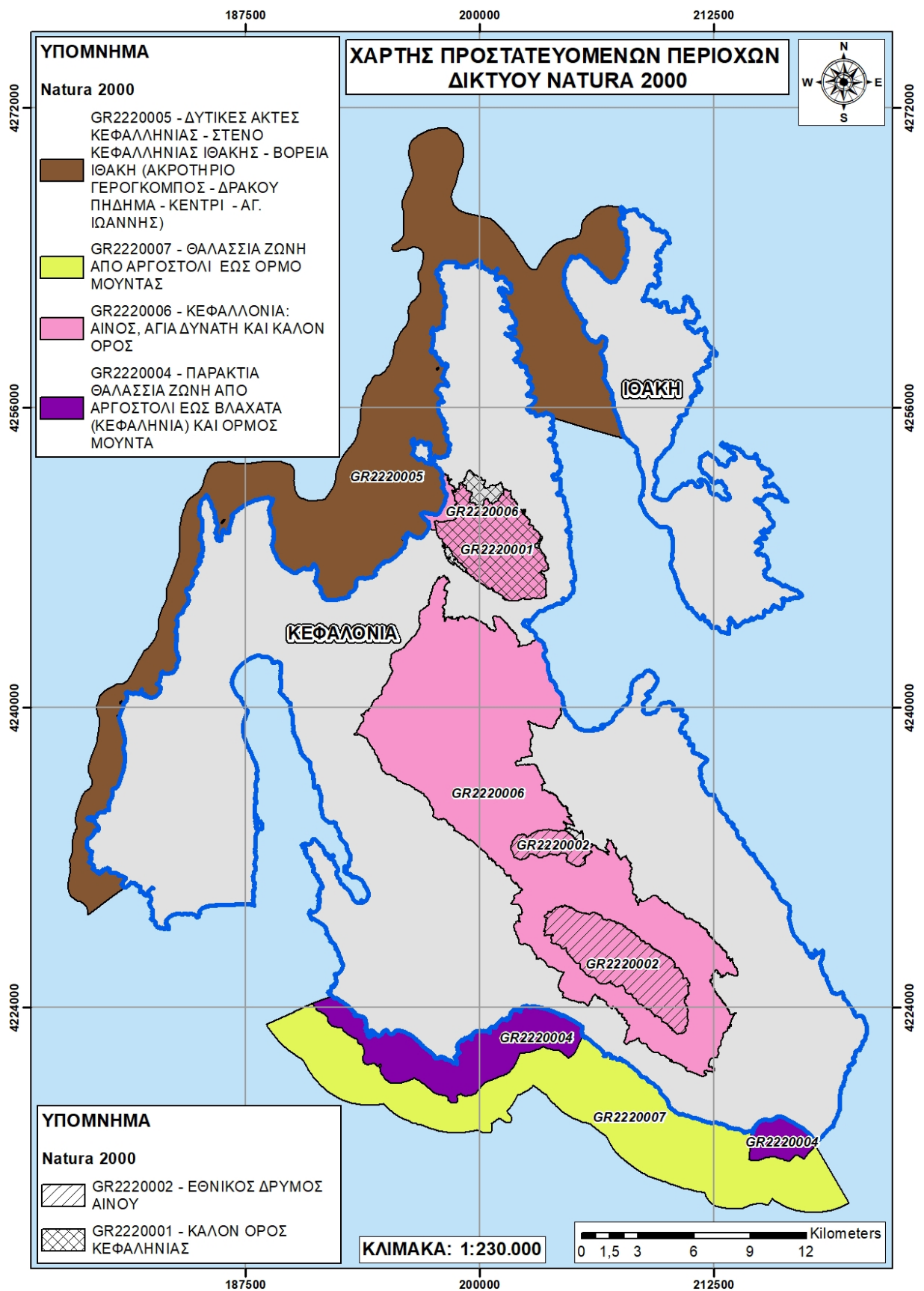
Σχήμα 1.5.1: Γράφημα τάσης τουριστικής κίνησης στο νησιωτικό σύμπλεγμα Κεφαλονιάς-Ιθάκης μεταξύ των ετών 2013-2018 (Ιδία επεξεργασία στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ).



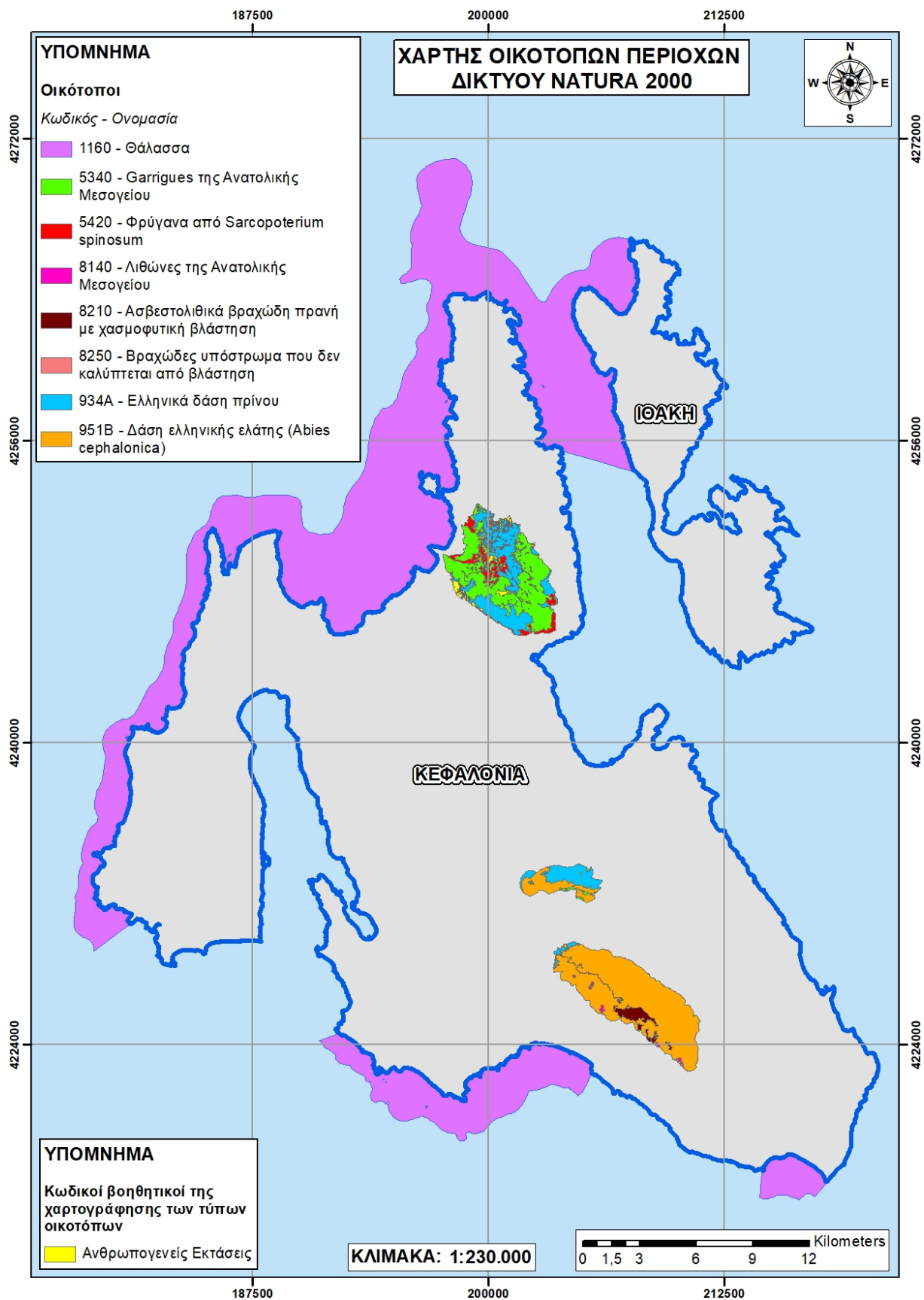
Σχήμα 1.5.2: Ραβδόγραμμα απεικόνισης του αριθμού των αφίξεων ημεδαπών και αλλοδαπών στο νησιωτικό σύμπλεγμα Κεφαλονιάς-Ιθάκης μεταξύ των ετών 2013-2018 (Ιδία επεξεργασία στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ).

Αναφορικά με την οικολογική αξία της περιοχής μελέτης, σύμφωνα με τα επικαιροποιημένα γεωχωρικά δεδομένα του εθνικού καταλόγου του Ευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Natura 2000 που διατίθενται στον ιστότοπο του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕν, 2019), εντός της περιοχής μελέτης εμπίπτουν δύο χερσαίες προστατευόμενες περιοχές, οι οποίες εν μέρει επικαλύπτονται γεωγραφικά. Η πρώτη αποτελεί Ζώνη Ειδικής Προστασίας (*Special Protection Area-SPA*) με κωδικό «GR2220006», ονομασία «Κεφαλονιά: Αίνος, Αγία Δυνατή και Καλόν Όρος» και συνολική έκταση 20715.15ha, ενώ η δεύτερη ταυτοποιείται ως Τόπος Κοινοτικής Σημασίας (*Site of Community Importance-SCI*) με κωδικό «GR2220001», ονομασία «Καλόν Όρος Κεφαλληνίας» και συνολική έκταση 2566.19ha. Επίσης, στο βόρειο και στον νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης εκτείνονται περιοχές Natura θαλάσσιας και παράκτιας ζώνης (Χάρτης 1.5.2).

Εντός των οριοθετημένων περιοχών προστασίας του Δικτύου Natura που περιλαμβάνονται στην περιοχή μελέτης, έχει θεσμοθετηθεί και ο Εθνικός Δρυμός Αίνου (GR2220002), ο οποίος συστήθηκε με το Β.Δ. 776/1962 και εκτιμάται ως ένατος, από άποψης έκτασης πυρήνα, στο σύνολο των δέκα Εθνικών Δρυμών της χώρας. Στον πυρήνα του Εθνικού Δρυμού, τη μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει το δάσος ελάτης (83%), που σχηματίζει τον τύπο οικοτόπου 951B «Δάση Ελληνικής Ελάτης (*Abies cephalonica*)», ενώ στην περιφερειακή ζώνη το μεγαλύτερο ποσοστό εκτάσεων καταλαμβάνει η μακκία βλάστηση (61%) (Χάρτης 1.5.3). Η ποικιλότητα των ειδών χλωρίδας της περιοχής είναι αξιόλογη, δεδομένου ότι έχουν καταγραφεί 322 είδη, εκ των οποίων 8 θεωρούνται σημαντικά, 4 ενδημικά του Αίνου ή της Κεφαλονιάς, και 1 περιλαμβάνεται στο Παρ. II της Οδηγίας 92/43. Ο κατάλογος των ειδών πανίδας της περιοχής περιλαμβάνει 12 είδη ερπετών, 17 είδη χειροπτέρων, 14 είδη μικρών θηλαστικών, 90 σημαντικά είδη ορνιθοπανίδας, 117 είδη εντομοπανίδας, ενώ αξιοσημείωτο στοιχείο της πανίδας της περιοχής είναι ο πληθυσμός των ημιάγριων αλόγων (Παλάσκας, 2015).



Χάρτης 1.5.2: Χάρτης προστατευόμενων περιοχών Κεφαλονιάς-Ιθάκης

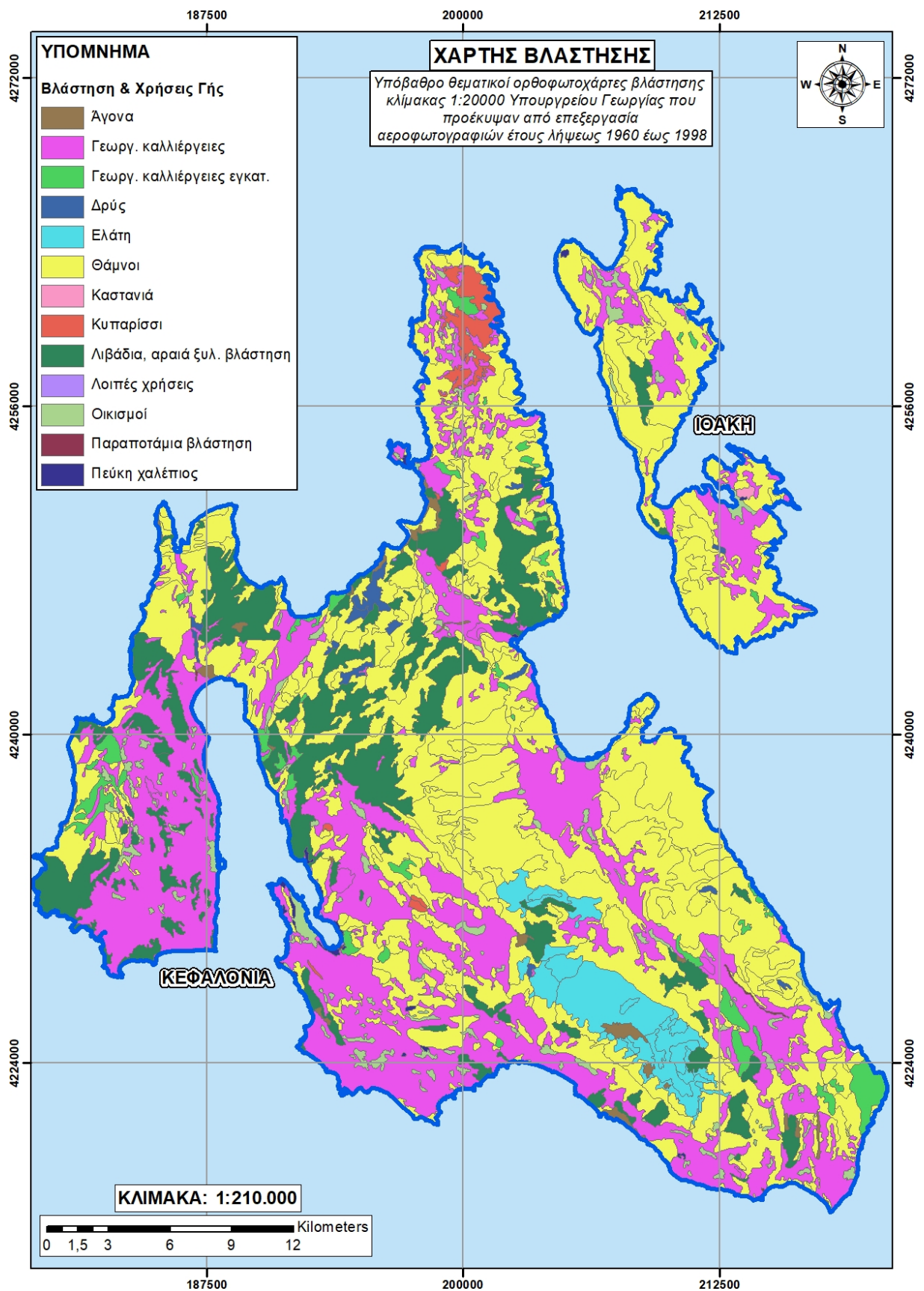


Χάρτης 1.5.3: Χάρτης οικότοπων των προστατευόμενων περιοχών Κεφαλονιάς-Ιθάκης

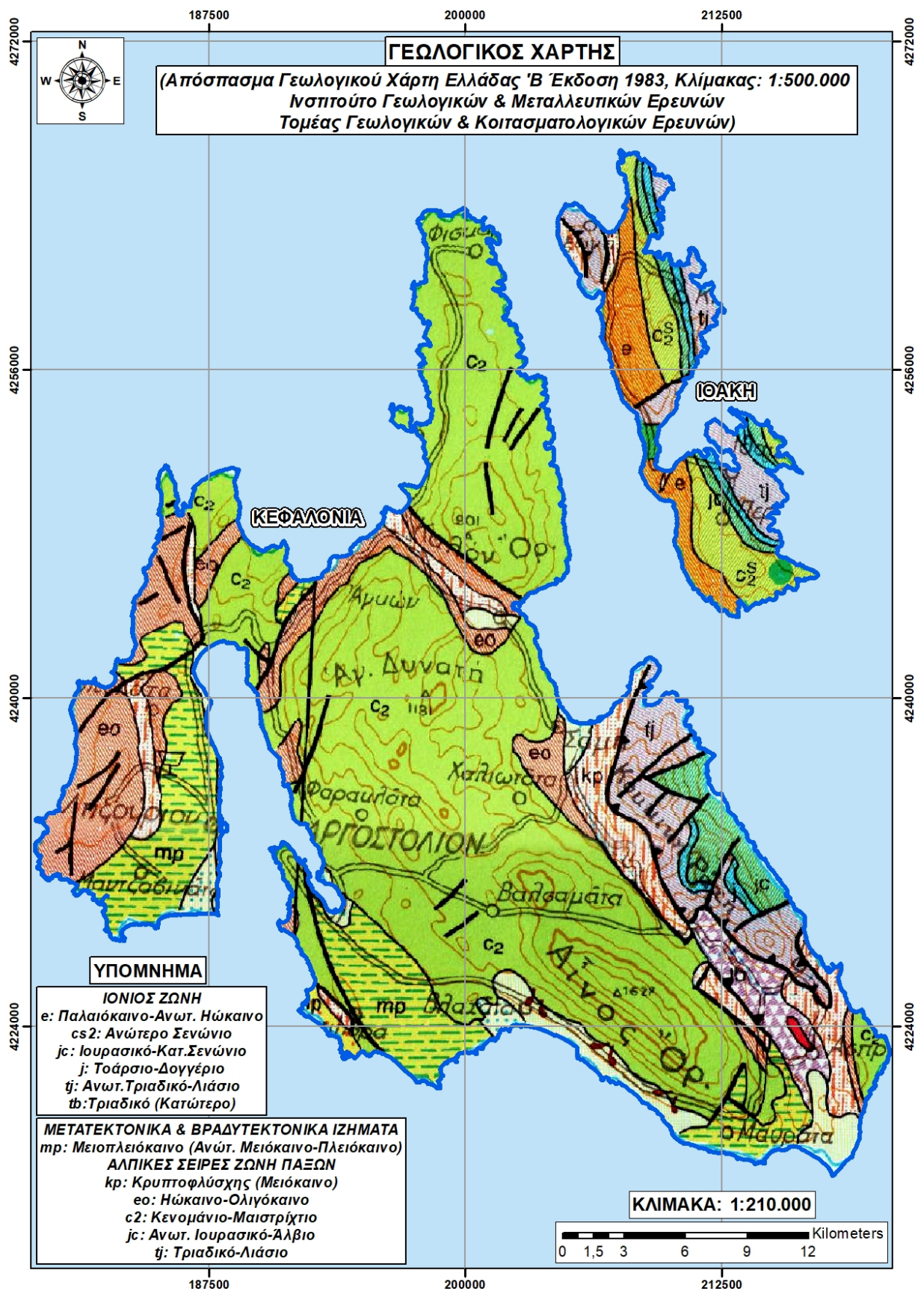
Αναλυτικότερα, η χωρική κατανομή των δασοπονικών ειδών, τύπου βλάστησης, των οικισμών και των γεωργικών εκτάσεων αποτυπώνεται στον Χάρτη 1.5.4. Η θαμνώδης βλάστηση είναι η κυρίαρχη μορφή, ενώ ακολουθούν οι φρυγανικές διαπλάσεις και οι λιβαδοπονικές μορφές κυρίως στο βόρειο και δυτικό τμήμα της Κεφαλονιάς.

Η γεωλογική δομή των νήσων Κεφαλληνίας και Ιθάκης αποτελείται από αλπικούς σχηματισμούς και νεώτερους πλειοτεταρτογενείς (μεταλπικούς) σχηματισμούς που επικάθονται ασύμφωνα στους πρώτους. Οι αλπικοί σχηματισμοί ανήκουν στην ενότητα Παξών, η οποία καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Κεφαλονιάς και είναι η σχετικά αυτόχθονη και την Ιόνια ενότητα, η οποία εκτείνεται στο νοτιοανατολικό τμήμα, αλλά και σε ολόκληρη την Ιθάκη (Χάρτης 1.5.5). Αποτελείται από ιουρασικούς, ηωκαινικούς ασβεστόλιθους και εβαπορίτες τριαδικής ηλικίας. Οι μεταλπικοί σχηματισμοί αποτελούνται κυρίως από ψαμμίτες, μάργες κροκαλοπαγές και ασβεστόλιθους πλειοκαινικής ηλικίας (Λεκκας, Δανάμος and Μαυρίκας, 2001). Η διαφοροποίηση του γεωλογικού υποβάθρου και η αποσάθρωση, σε τοπικό επίπεδο, δημιούργησαν ποικίλο εδαφικό προφίλ (Χάρτης 1.5.6).

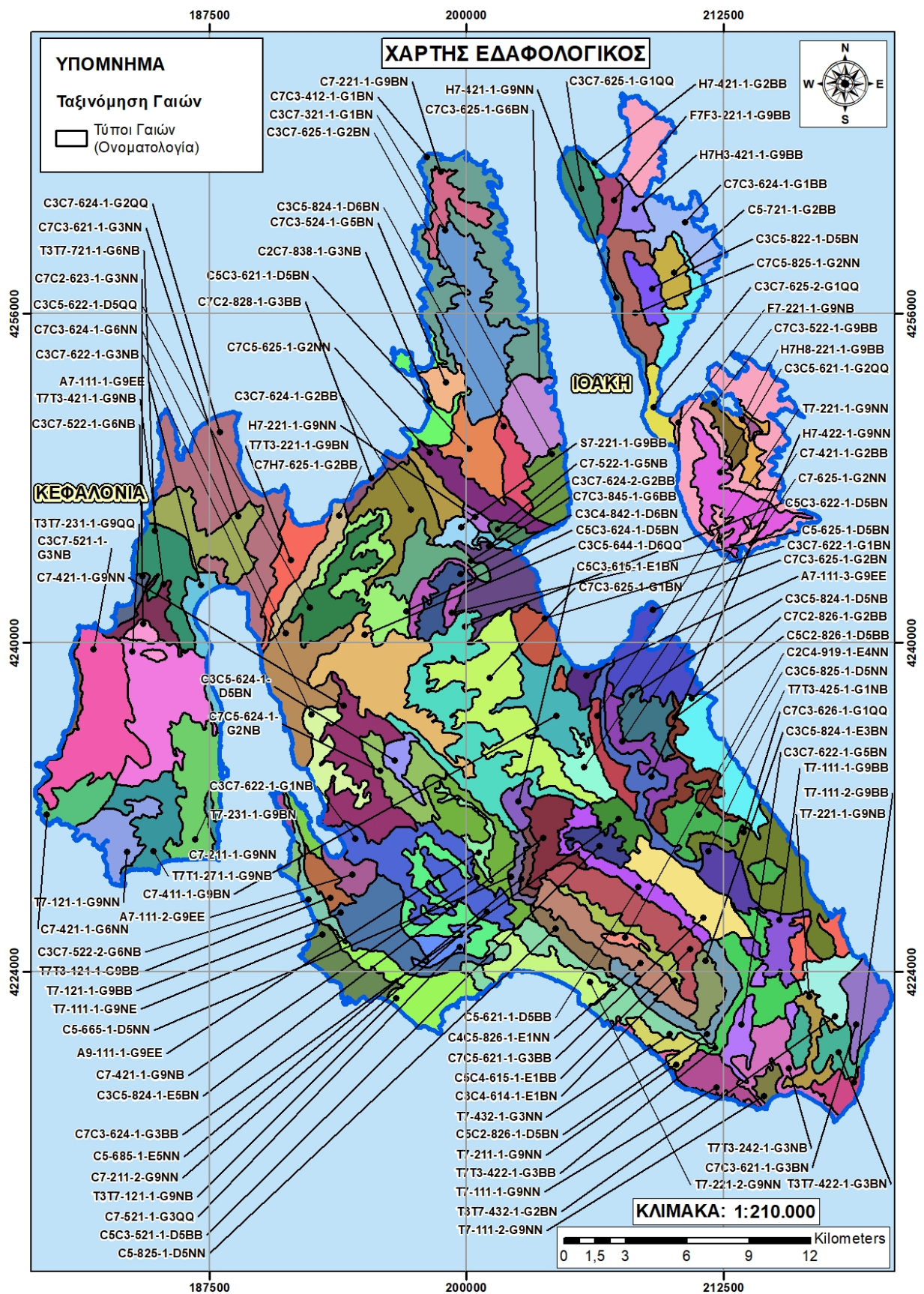
Σχετικά με το βιοκλίμα το οποίο αφορά στην σύνθεση των κλιματικών παραγόντων που διαμορφώνουν τους ορόφους βλάστησης, σύμφωνα με την προσέγγιση των βιοκλιματικών ορόφων (EMBEGER), το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης παρουσιάζει χειμώνα θερμό ( $m > 7^{\circ}\text{C}$ ), από άποψη έντασης ψύχους (Χάρτης 1.5.7), ενώ ο χαρακτήρας του βιοκλίματος είναι κυρίως έντονος, μεσο-μεσομεσογειακός, με μεγάλη ξηρή περίοδο ( $75 < X < 100$ ) (Χάρτης 1.5.8).



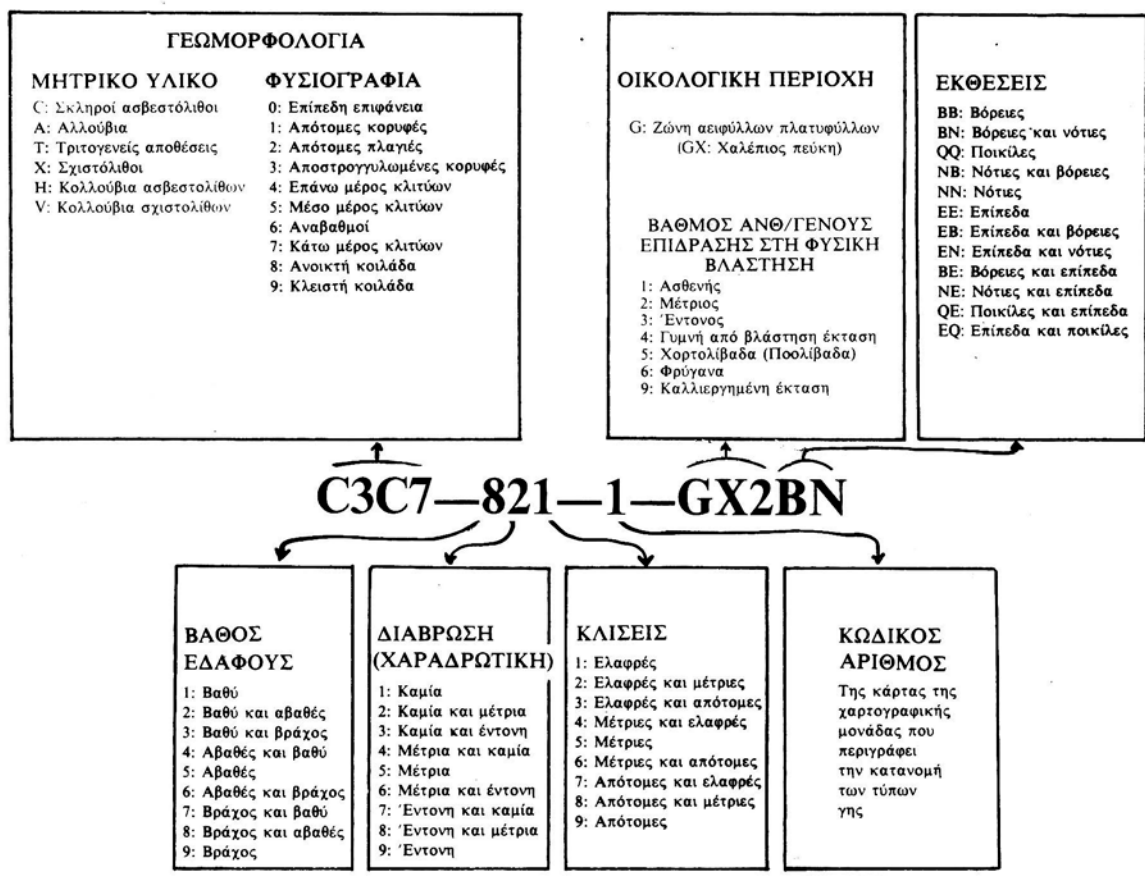
Χάρτης 1.5.4: Χάρτης βλάστησης Κεφαλονιάς-Ιθάκης



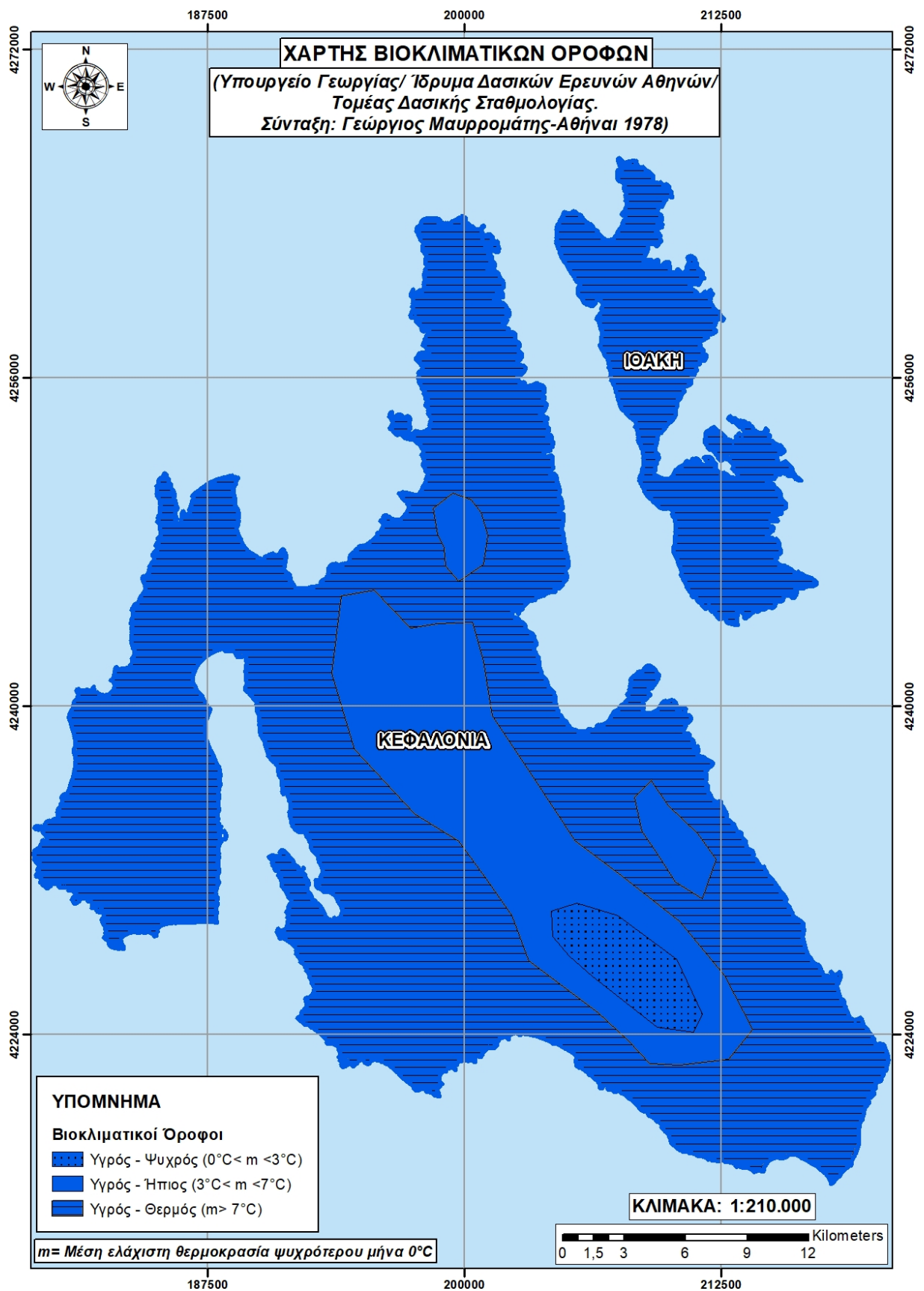
Χάρτης 1.5.5: Γεωλογικός χάρτης Κεφαλονιάς-Ιθάκης



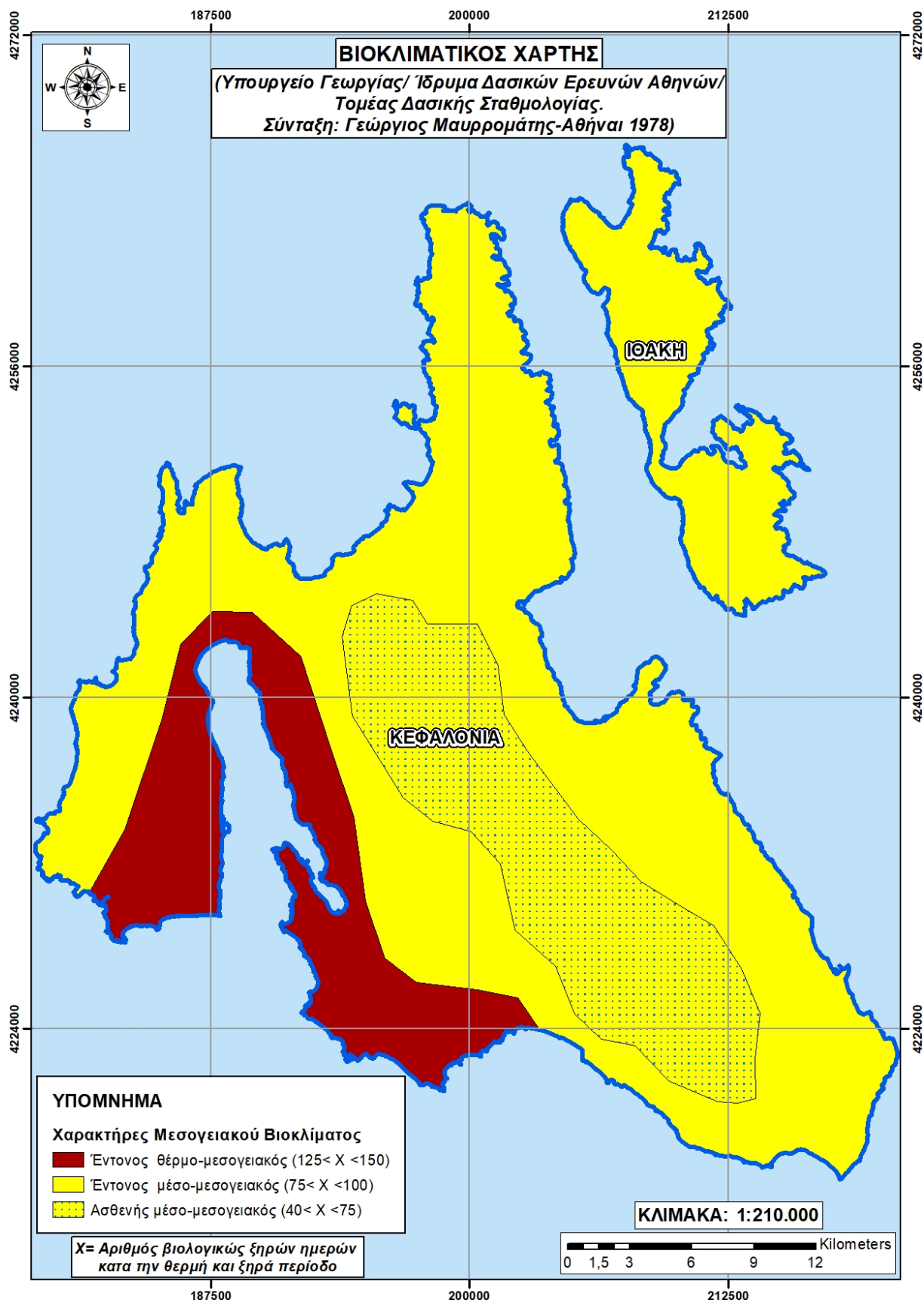
Χάρτης 1.5.6: Εδαφολογικός χάρτης Κεφαλονιάς-Ιθάκης



Εικόνα 1.5.1: Υπόμνημα εδαφολογικού χάρτη



Χάρτης 1.5.7: Χάρτης βιοκλιματικών ορόφων Κεφαλονιάς-Ιθάκης



Χάρτης 1.5.8: Βιοκλιματικός χάρτης Κεφαλονιάς-Ιθάκης

Ως εκ τούτου, η περιοχή μελέτης εκτιμάται ως ιδιαίτερα σημαντική λόγω των αξιοσημείωτων κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της, γεγονός που αποτελεί το πρώτο κριτήριο επιλογής της για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής. Το δεύτερο κριτήριο αφορά στον υψηλό βαθμό επικινδυνότητας εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς που πλήττει την περιοχή και αποτελεί φαινόμενο φυσικής καταστροφής με ολέθριες συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία, τα οικοσυστήματα και την οικονομία.

Ειδικότερα, σύμφωνα με τα πρόσφατα στατιστικά στοιχεία της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας για το έτος 2019, στο νησί της Κεφαλονιάς εκδηλώθηκαν 129 δασικές πυρκαγιές, οι οποίες έκαψαν συνολικά 521 στρέμματα δασικών εκτάσεων, 26,6 στρέμματα χορτολιβαδικών εκτάσεων και 218 στρέμματα γεωργικής γης. Επισημαίνεται ότι ο μεγαλύτερος αριθμός πυρκαγιών, ο οποίος ανέρχεται στα 30 περιστατικά, σημειώθηκαν τον μήνα Μάρτιο, χρόνος εκτός αντιπυρικής περιόδου, ενώ η μεγαλύτερη έκταση κάηκε τον μήνα Σεπτέμβριο (Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας, 2019) (Πίνακας 1.5.2)

Πίνακας 1.5.2: Ποσοτικά στοιχεία δασικών πυρκαγιών έτους 2019 για την Κεφαλονιά (Πηγή: Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας)

ΜΗΝΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ	ΔΑΣΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ (στρ.)
Ιαν	3	2	0	0	0
Φεβ	17	13.3	1.3	1.5	0.08
Μαρ	30	96.8	20.9	6	2.7
Απρ	15	0.1	1.5	1	1.1
Μαϊ	4	0.1	0.5	0	0.2
Ιουν	6	0.1	0.5	0	0.1
Ιουλ	13	39.9	0.6	76.5	0
Αυγ	11	18.3	0.7	9.2	0
Σεπ	13	350.4	0.4	123.7	0.4
Οκτ	15	0.2	0.2	0.1	5.02
<b>Σύνολο</b>	<b>127</b>	<b>521.02</b>	<b>26.6</b>	<b>218</b>	<b>10.5</b>

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω ποσοτικά στοιχεία και τα ιδιαίτερα φυσιογνωμικά χαρακτηριστικά που αποτελούν παράγοντες υψηλής επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς όπως το έντονο ανάγλυφο, τα επικλινή εδάφη και η παρουσία πυκνής δασικής βλάστησης ποικίλης δομής, αποτελούμενη από φυτοκοινότητες μακκίας βλάστησης, garrigues της Ανατολικής Μεσογείου και κωνοφόρα είδη όπως η Κεφαλληνιακή Ελάτη

(Παλάσκας, 2015), η Χαλέπιοις Πεύκη και τα Κυπαρίσσια, ενισχύουν την καταλληλότητα της επιλεγθείσας περιοχής μελέτης για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

# Κεφάλαιο 2

## Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1 Εισαγωγή

#### 2.1.1 Εννοιολογική Προσέγγιση Κινδύνου Και Επικινδυνότητας

Ο κίνδυνος (*risk*) και η επικινδυνότητα (*hazard*) είναι δύο έννοιες που συνήθως συγχέονται. Στις μελέτες καταστροφών, ο κίνδυνος σηματοδοτεί την έναρξη μιας βλάβης και αποτελεί την αναγκαία προϋπόθεση που διαμορφώνει το είδος της επερχόμενης καταστροφής. Δύο συνθήκες καθορίζουν την ύπαρξη ενός κινδύνου: ένα στοιχείο που παράγει τον κίνδυνο και η πιθανότητα εκδήλωσης βλάβης, η οποία σχετίζεται με τον βαθμό τρωτότητας ή έκθεσης στον κίνδυνο. Οι έννοιες αυτές συνδέονται με την ακόλουθη σχέση (Bonati, 2019):

Κίνδυνος = Επικινδυνότητα \* Τρωτότητα/Ευπάθεια ( $Risk = Hazard * Vulnerability$ )

Η επικινδυνότητα αντιπροσωπεύει τα φαινόμενα που θέτουν τον άνθρωπο σε ευπαθή κατάσταση (Kelman *et al.*, 2016). Μια ακόμα διαφοροποίηση μεταξύ των δύο όρων έγκειται στην ερευνητική προσέγγιση. Η προσέγγιση του κινδύνου (*risk*) εστιάζει κυρίως στην καταστροφή, ενώ η προσέγγιση της επικινδυνότητας (*hazard*) επικεντρώνεται στην φύση των διαδικασιών που δύναται να επιφέρουν καταστροφές, στην δυναμική τους και στις προσαρμοστικές ενέργειες των ανθρώπων (Bonati, 2019). Η καταστροφή δεν είναι το αποτέλεσμα κάθε κινδύνου, εφόσον σύμφωνα με την σχέση που προαναφέρθηκε, εξαρτάται από την συνθήκη τρωτότητας και ευαισθησίας. Ο καταστροφικός κίνδυνος προκύπτει μόνο όταν υφίσταται τρωτότητα ως προς τον κίνδυνο που ενδεχομένως προκύπτει από ένα φυσικό φαινόμενο.

Η τρωτότητα (*vulnerability*) αφορά αφενός στην ανυπαρξία μεθόδων, μέσων και ικανοτήτων προστασίας από τις επιδράσεις ενός φυσικού φαινομένου, αφετέρου στην αδυναμία έγκαιρης αντιμετώπισης των συνεπειών από την εκδήλωση του φαινομένου.

Η έννοια του κινδύνου (*risk*), περιλαμβάνει την πιθανότητα να επέλθουν βλαβερές συνέπειες ή απώλειες (π.χ. περιβαλλοντική καταστροφή, θάνατοι, προβλήματα κοινωνικοοικονομικά) από την αλληλεπίδραση φυσικών φαινομένων ή κινδύνων που προέρχονται από την ανθρώπινη δράση και την ύπαρξη τρωτών συνθηκών (FIG Working Group 8.4, 2006).

### 2.1.2 Εκτίμηση Κινδύνου Δασικών Πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μία κατηγορία φυσικού κινδύνου σε παγκόσμια κλίμακα και εγγενώς ένα χωρικό φαινόμενο που η εκτίμηση του περιλαμβάνει την αξιολόγηση του βαθμού και της γεωγραφικής κατανομής του (EMMI and HORTON, 1995). Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής διατριβής, η εκτίμηση κινδύνου εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς προσεγγίζεται από τον βαθμό επικινδυνότητας (*fire danger*), ο οποίος προσδιορίζεται από τον κίνδυνο έναρξης (*fire risk*) και από τον κίνδυνο διάδοσης (*fire hazard*) κατά την έννοια της φυσικής διαδικασίας και της δυναμικής του φαινομένου.

Η μοντελοποίηση του βαθμού επικινδυνότητας μέσω της χαρτογράφησης υλοποιείται σε διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες ανάλυσης, ανάλογα με τον σκοπό της διαχείρισης κινδύνου. Η χωρική κλίμακα ανάλυσης διακρίνεται σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο, ενώ η χρονική συνίσταται από το βραχυπρόθεσμο και το μακροπρόθεσμο επίπεδο. Οι ευρύτερες χωρικές κλίμακες ανάλυσης του βαθμού επικινδυνότητας βοηθούν τους λήπτες αποφάσεων στον προσδιορισμό κατευθύνσεων και διαχειριστικών σχεδίων, ενώ οι τοπικές κλίμακες ανάλυσης δίνουν την δυνατότητα υιοθέτησης στοχευμένων ενεργειών πρόληψης και καταστολής πυρκαγιών. Η βραχυπρόθεσμη εκτίμηση κινδύνου εκδήλωσης μιας δασικής πυρκαγιάς συμβάλλει στον άμεσο σχεδιασμό δράσεων πρόληψης και κατάλληλων επεμβάσεων, ενώ η μακροπρόθεσμη στην κατάρτιση γενικών διαχειριστικών πλάνων πρόληψης και καταστολής (Castro and Chuvieco, 1998). Η περιοδική ή ημερήσια εκτίμηση κινδύνου προκύπτει από μετεωρολογικά δεδομένα που παρέχουν οι σταθμοί ή τα δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης που ερευνούν την μεταβλητότητα των καιρικών συνθηκών (Leblon *et al.*, 2016). Η μακροπρόθεσμη εκτίμηση είναι αποτέλεσμα ανάλυσης των επιφανειακών, σταθερών παραγόντων όπως είναι η δομή και η σύνθεση της βλάστησης,

η τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής, η βιοκλιματική δομή, οι ανθρώπινες δραστηριότητες κ.α. και παρέχει αξιόπιστα συμπεράσματα αναφορικά με την χωρική κατανομή του βαθμού επικινδυνότητας (CHUVIECO and SALAS, 1996) (Kalabokidis *et al.*, 2007).

### 2.1.3 Η Τηλεπισκόπηση

Το επιστημονικό πεδίο της τηλεπισκόπησης (*remote sensing*) αφορά στη διαδικασία συλλογής και ανάλυσης δεδομένων με σκοπό τη λήψη πληροφορίας σε σχέση με ένα αντικείμενο ή φαινόμενο, χωρίς το χρησιμοποιούμενο όργανο να έρθει σε άμεση επαφή με το αντικείμενο (Toth and Józskón, 2016; Μηλιαρέσης, 2003). Η τηλεπισκόπηση ερευνά μέσω της παρατήρησης φυσικά φαινόμενα όπως τον καιρό, την κλιματική αλλαγή, την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, τη βλάστηση, τη γεωλογία των εδαφών, τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στο περιβάλλον, τη ρύπανση, το αστικό περιβάλλον, την γεωργία, τις φυσικές καταστροφές (πυρκαγιές, πλημμύρες, κατολισθήσεις, σεισμούς κ.α.). Τα τηλεσκοπικά δεδομένα συλλέγονται με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών), οι οποίοι ανιχνεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα (δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες) (Μηλιαρέσης, 2003).

Στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών η τηλεπισκόπηση μπορεί να εφαρμοστεί σε τρία στάδια: α) στην πρόβλεψη επικινδυνότητας, πρόληψη και προστασία, πριν από την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς, β) στην ανίχνευση και παρακολούθηση κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, γ) στην εκτίμηση των συνεπειών και στην χαρτογράφηση μετά από την πυρκαγιά (García and Caselles, 1991; Castillo *et al.*, 2020; Afonso *et al.*, 2020). Συγκεκριμένα, αναφορικά με το πρώτο στάδιο που αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής διατριβής, οι εφαρμογές της τηλεπισκόπησης που αφορούν στην αναγνώριση των στοιχείων της βλάστησης, στην υγρασία του εδάφους, στην χαρτογράφηση καλύψεων γης, παρέχουν ένα πλήρες και σημαντικό υπόβαθρο πληροφορίας για την επισήμανση των περιοχών όπου το φαινόμενο δύναται να εμφανιστεί.

Σχετικά με τα δορυφορικά δεδομένα και την πρόβλεψη του κινδύνου μιας δασικής πυρκαγιάς, μετεωρολογικά δεδομένα όπως η ένταση των ανέμων, η μέτρηση της

υγρασίας και η ηλιοφάνεια, με τη χρήση ειδικών μοντέλων μπορούν να αξιοποιηθούν για τη δημιουργία ημερησίων χαρτών επικινδυνότητας (Chandra, 2019). Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή των δορυφορικών δεδομένων Landsat και των πρόσφατων Sentinel, στην διάκριση των ειδών, της δομής και σύνθεσης της βλάστησης και στην χαρτογράφηση των καλύψεων γης, αξιολόγηση ευαισθησίας καμένων εκτάσεων και στην μοντελοποίηση παραμέτρων επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών, καθώς κοινό τους χαρακτηριστικό είναι η αυξημένη φασματική διακριτική ικανότητα (Pandey and Ghosh, 2018; Colson, Petropoulos and Ferentinos, 2018).

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ευρέως για την αξιοποίηση των δορυφορικών δεδομένων και τη δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας, είναι οι επιβλεπόμενες και μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις για την αναγνώριση και διάκριση των φασματικών κατηγοριών καλύψεων γης, η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας με στόχο την αναγνώριση και οριοθέτηση ειδών βλάστησης και η φωτοερμηνεία για την παραγωγή χαρτογραφικού υποβάθρου (οδικό δίκτυο, δασικοί δρόμοι κ.α.), ειδικά στις περιπτώσεις συντονισμού και διαχείρισης των επίγειων μέσων καταστολής (Yathish *et al.*, 2019).

#### 2.1.4 Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Σύμφωνα με τον Burrough (1983), το επιστημονικό πεδίο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π) έγκειται σε *«ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάληψη ανά πάσα στιγμή, μετασχηματισμό και απεικόνιση χωρικών στοιχείων του πραγματικού κόσμου»*. Ωστόσο, σημαντικός παράγοντας για την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα του συστήματος είναι το ανθρωπινό δυναμικό και τα εξειδικευμένα λογισμικά και σύμφωνα με αυτή την θεώρηση διατυπώθηκαν διάφοροι ορισμοί, όπως μεταξύ άλλων: *«Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι μια οργανωμένη συλλογή υπολογιστικών μηχανημάτων (hardware), λογισμικών συστημάτων (software), χωρικών δεδομένων και ανθρώπινου δυναμικού, με σκοπό τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση, κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά το γεωγραφικό περιβάλλον»* (Κουτσόπουλος, 2002)

Η ανάπτυξη προτύπων διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των Γ.Σ.Π, βρίσκεται σε αντιστοιχία με τα τρία στάδια εφαρμογής που προαναφέρθηκαν για την συμβολή της τηλεπισκόπησης στην διαχείριση του

φαινομένου. Συγκεκριμένα, αναφορικά με το πρώτο στάδιο της πρόληψης, με την εφαρμογή τεχνικών χωρικής ανάλυσης είναι δυνατός ο εντοπισμός των επικίνδυνων περιοχών με την δημιουργία χάρτη επικινδυνότητας και κατ' επέκταση την εντατικοποίηση των μέτρων προφύλαξης στις περιοχές αυτές ή την χωροθέτηση κατάλληλων έργων πυροπροστασίας (σταθμοί πυρανίχνευσης, αντιτυρικές λωρίδες).

Συνεπώς, τα Γ.Σ.Π ως ένα σύγχρονο εργαλείο χωρικής επεξεργασίας και μοντελοποίησης περιβαλλοντικών δεδομένων, εμπλέκεται αποτελεσματικά στη γεωγραφική ανάλυση κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιών αλλά και στην εκτίμηση του κινδύνου αυτών (Gigonić *et al.*, 2018). Χωροχρονική κατανομή δεδομένων κάλυψης δασών και δασικών εκτάσεων, μετεωρολογικών δεδομένων, τοπογραφίας και άλλων περιβαλλοντικών ή ανθρωπογενών παραγόντων, μπορούν κατάλληλα να συνδυασθούν και επεξεργασθούν στο πλαίσιο μιας χωρικής βάσης δεδομένων. Με την εφαρμογή κατάλληλων μεθοδολογιών, επιτυγχάνεται ο συνδυασμός και η μοντελοποίηση όλων των απαραίτητων μεταβλητών, εκφράζοντας τις γεωγραφικές μονάδες κάθε μεταβλητής, είτε με τη μορφή κανάβου (*raster data*), είτε με τη μορφή διανυσμάτων (*vector data*) (Κούτσιας and Καρτέρης, 1999)

## 2.2 Ιστορική Αναδρομή

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν σοβαρή απειλή, σε παγκόσμια κλίμακα, για τα δάση, το περιβάλλον, τις κοινωνίες, την οικονομία και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις προκαλούν *Natural disaster triggering Technological disaster* καταστροφές. Η αξιοποίηση των χωρικών παραμέτρων σε περιβάλλον Γ.Σ.Π, συνθέτει ένα ιδιαιτέρως δημοφιλές επιστημονικό πλαίσιο μοντελοποίησης των δασικών πυρκαγιών, όχι μόνο σε επίπεδο πρόβλεψης εκδήλωσης του φαινομένου, αλλά και για την εκτίμηση του κινδύνου των *Natural Technological disasters* που προκαλούνται από την καταστροφή των δασών. Κατόπιν συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης των γεωχωρικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα για την εκτίμηση της επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών, αναφέρεται ότι αυτές διακρίνονται σε τέσσερις γενικές κατηγορίες: α) στατιστικά μοντέλα, β) μοντέλα μηχανικής μάθησης, γ) μοντέλα πολυκριτηριακής ανάλυσης, δ) συνδυαστικά μοντέλα (Naderpour *et al.*, 2019). Τα δορυφορικά δεδομένα χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά (Carrão, Freire and Caetano, 2002), ενώ μέθοδοι

τηλεπισκόπησης (*remote sensing- RS*) αξιοποιούνται κυρίως στην ανίχνευση της πυρκαγιάς (Kaufman *et al.*, 1990; Cuomo, Lasaponara and Tramutoli, 2001; Wooster, Zhukov and Oertel, 2003; Sifakis *et al.*, 2011).

### 2.2.1 Εφαρμογές Μοντέλων Στατιστικής

Όσον αφορά στις εφαρμογές στατιστικής και εξόρυξης χρήσιμων πληροφοριών από μεγάλες ποσότητες δεδομένων (*data-mining*), στην έρευνα που διεξήχθη από τους Rollins και συνεργάτες (2004), αναπτύχθηκε μια υβριδική προσέγγιση για την παραγωγή προγνωστικών χαρτών δασικών πυρκαγιών στη βορειοδυτική Μοντάνα των ΗΠΑ χρησιμοποιώντας ευρείας κλίμακας χερσαίες δειγματοληψίες, προσομοίωση οικοσυστήματος και μοντελοποίηση βιοφυσικής κλίσης. Παρασκευάστηκαν διαφορετικοί χάρτες χρησιμοποιώντας γραμμικά μοντέλα, λογιστική παλινδρόμηση (*logistic regression- LR*) και δέντρα αποφάσεων (*decision trees- DTs*). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέθοδος που χρησιμοποιείται σε διαφορετικά σενάρια κλίματος μπορεί να ενημερωθεί με βάση τις πιθανές μελλοντικές συνθήκες και η ακρίβεια αυτών των χαρτών κυμαίνεται από 51% έως 80% (Rollins, Keane and Parsons, 2004).

Οι Pradhan και Awang (2007) διερεύνησαν δασικές περιοχές ευαίσθητες σε πυρκαγιές στην περιοχή Σέλανγκορ της Μαλαισίας, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του λόγου πιθανοφάνειας σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. Για την υλοποίηση της μεθόδου, χρησιμοποιήθηκαν χρονοσειρές δεδομένων δορυφορικού αισθητήρα AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) από το 2000 έως το 2005. Οι χάρτες βλάστησης και ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI) προήλθαν από την αξιοποίηση των δορυφορικών δεδομένων Landsat 7 ETM. Άλλοι παράγοντες όπως η κλίση, η έκθεση και το υψόμετρο υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας έναν τοπογραφικό χάρτη. Οι περιοχές που επλήγησαν από δασικές πυρκαγιές ταξινομήθηκαν με τη χρήση των παραγόντων αυτών. Η ακρίβεια του μοντέλου αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας προηγούμενα χωρικά δεδομένα πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης ότι το μοντέλο συχνότητας (*frequency ratio- FR*) του φαινομένου, είχε πολύ υψηλή ακρίβεια πρόβλεψης για χαρτογράφηση ευαισθησίας περιοχών σε δασικές πυρκαγιές (Pradhan and Awang, 2007).

Οι Lozano και συνεργάτες (2008) διαμόρφωσαν τη σχέση μεταξύ της πιθανότητας εμφάνισης πυρκαγιάς και διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων σε διαφορετικές

κλίμακες, χρησιμοποιώντας μοντέλα παλινδρόμησης που βασίζονται σε δορυφορικές εικόνες και ανέπτυξαν ένα μοντέλο για να ερευνηθούν την πιθανότητα εμφάνισης πυρκαγιάς με βάση τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, την προσβασιμότητα, τον τύπο βλάστησης, και το ιστορικό πυρκαγιών στη Μεσόγειο. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος τυχαίας δειγματοληψίας και οι παράγοντες χωρίστηκαν σε μεταβλητές και σταθερές παραμέτρους. Τα αποτελέσματα που βασίζονται σε μοντέλα δενδρικής παλινδρόμησης δείχνουν ότι η εμφάνιση πυρκαγιάς λαμβάνοντας υπόψη τους περιβαλλοντικούς παράγοντες είναι πολύ διαφορετική σε ανόμοιες χωρικές κλίμακες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι περιοχές υψηλής επικινδυνότητας βρίσκονται στις ζώνες έναρξης και σε απότομες πλαγιές. Επιπλέον, οι επικίνδυνες περιοχές σχετίζονται με το ιστορικό εκδήλωσης πυρκαγιών (Lozano *et al.*, 2008).

Οι Martínez και συνεργάτες (2009), διερεύνησαν τους ανθρώπινους παράγοντες που σχετίζονται με τον κίνδυνο πυρκαγιάς στα δάση της Ισπανίας και ανέλυσαν την χωρική κατανομή της φωτιάς στη χώρα τα τελευταία 13 χρόνια. Για τον σκοπό αυτό, καταγράφηκαν 108 ανθρωπογενείς εκδηλώσεις πυρκαγιάς και εισήχθησαν σε ένα Γ.Σ.Π για τη μοντελοποίηση διαφόρων παραγόντων που σχετίζονται με την εμφάνιση της πυρκαγιάς. Μετά την αρχική ανάλυση, επιλέχθηκαν 29 μεταβλητές για να κατασκευαστεί ένα μοντέλο πρόβλεψης του κινδύνου ανάφλεξης από ανθρωπογενή αίτια, χρησιμοποιώντας λογιστική παλινδρόμηση και αναπτύχθηκε ένας δείκτης κινδύνου ανάφλεξης. Δεκατρείς επεξηγηματικές μεταβλητές εντοπίστηκαν από το μοντέλο, οι οποίες σχετίζονται με τον κατακερματισμό των γεωργικών περιοχών, τη γεωργική εγκατάλειψη και τις διαδικασίες ανάπτυξης. Αυτές οι μεταβλητές περιλαμβάνουν την πυκνότητα των δρόμων, την πυκνότητα των σιδηροδρομικών γραμμών, τον αγροτικό πληθυσμό, την πυκνότητα των γεωργικών μηχανημάτων, την πυκνότητα των αγροτεμαχίων, την πυκνότητα των ζώων, την πυκνότητα των δασών και την πυκνότητα της διεπαφής μεταξύ υποδομών κινδύνου (απορρίψεις αποβλήτων, ορυχεία, λατομεία κ.λπ.) και δασικές περιοχές. Λόγω της αύξησης του πληθυσμού, σημειώθηκε αύξηση των ιδιοκτητών αγροτικών εκμεταλλεύσεων μεταξύ 1989 και 1999. Η συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής του μοντέλου πρόβλεψης και των δεδομένων ιστορικού πυρκαγιάς ήταν 85,3%. Επομένως, το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς από ανθρωπογενή δράση για την ενίσχυση της χωρικής λήψης αποφάσεων σε σχέδια πρόληψης και προστασίας από πυρκαγιές (Martínez, Vega-Garcia and Chuvieco, 2009).

Οι Perera και Cui (2010) μοντελοποίησαν και προέβλεψαν τα χαρακτηριστικά πυρκαγιάς στο Οντάριο του Καναδά και χαρτογράφησαν την πιθανότητα πυρκαγιάς με βάση την κλίση, την κατεύθυνση, τη βλάστηση, την υγρασία του εδάφους και άλλους παράγοντες, του οποίους διαχώρισαν σε πέντε κατηγορίες. Χρησιμοποίησαν ένα δυναμικό προσομοιωτή για να εξετάσουν το μακροπρόθεσμο καθεστώς πυρκαγιάς σε σχέση με τις δασικές πολιτικές που εστιάζουν στην κατανομή του μεγέθους της συγκομιδής. Η συμπεριφορά των πυρκαγιών σε τέσσερις μεγάλες οικολογικές περιοχές διαμορφώθηκε για μια περίοδο 200 ετών υπό τρία σενάρια πυρκαγιάς (π.χ ζεστό, κανονικό και κρύο), με επαναλήψεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλή συσχέτιση μεταξύ του μοντέλου προσομοίωσης πυρκαγιάς και του ιστορικού εκδήλωσης πυρκαγιών. Επιπλέον, η πρόβλεψη μελλοντικών δασικών πυρκαγιών μπορεί να βοηθήσει τους διαχειριστές δασών να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά μελλοντικά περιστατικά πυρκαγιάς (Perera and Cui, 2010).

Σε άλλη μελέτη, οι Keane και συνεργάτες (2010), παρουσίασαν ένα σχέδιο διαχείρισης κρίσεων πυρκαγιάς στα δάση με τη χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π στην περιοχή του Καναδά στα βόρεια της Μοντάνα. Αυτή η μελέτη παρουσιάζει μια μέθοδο για τη χαρτογράφηση του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς και της επικινδυνότητας της πυρκαγιάς χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο που ονομάζεται FIREHARM (*FIRE Hazard and Risk Model*), το οποίο υπολογίζει τους παράγοντες που διαμορφώνουν την συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο παλινδρόμησης. Συνεπώς, ένας χάρτης των παραγόντων που συμβάλλουν στον κίνδυνο έναρξης πυρκαγιάς ετοιμάστηκε με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων και η περιοχή χωρίστηκε σε διάφορες λειτουργικές μονάδες για τη βιώσιμη διαχείριση σε περίπτωση δασικής πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο συνδυασμός χαρτών ζωνών κινδύνου πυρκαγιάς με τις λειτουργικές μονάδες διαχείρισης, είναι μια χρήσιμη στρατηγική για τη διαχείριση της πυρκαγιάς, και οι τεχνικές τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές από αυτή την άποψη (Keane *et al.*, 2010).

Σε μία διαφορετική προσέγγιση, οι Cunieco και συνεργάτες (2010), παρουσίασαν ένα πλαίσιο για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς και την παροχή δεικτών κινδύνου πυρκαγιάς χρησιμοποιώντας τεχνικές Γ.Σ.Π και τηλεπισκόπησης. Σε αυτήν τη μελέτη, αναπτύχθηκαν μέθοδοι για τη δημιουργία των μεταβλητών εισόδου και του συνδυασμού τους για χαρτογράφηση κινδύνου πυρκαγιάς σε διάφορες περιοχές της Ισπανίας. Μετά το σχεδιασμό του εννοιολογικού μοντέλου για την αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιάς,

μεταβλητές συνθηκών που περιλαμβάνουν ανθρώπινους παράγοντες, αστραπές, χάρτες καύσιμης ύλης, τύπου βλάστησης, υγρασίας ζωντανών και νεκρών καυσίμων, χάρτες εδαφολογικοί, ΨΥΜΕ, χρήσεις γης, περιοχές αναψυχής, προστατευόμενες περιοχές, μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα πυκνότητας πληθυσμού, εκτιμήθηκαν για να εκτιμηθεί το βέλτιστο όριο, λαμβάνοντας υπόψη τις χωρικές πληροφορίες. Αυτό το σύστημα δοκιμάστηκε στην πράξη από τον τελικό χρήστη το 2007. Σε αυτήν την έρευνα, παρουσιάστηκε η επικύρωση του δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς συγκρίνοντας τα στοιχεία κινδύνου πυρκαγιάς και εκδήλωσης πυρκαγιάς σε διαφορετικές περιοχές (Chuvieco *et al.*, 2010).

Οι Zumbunnen και συνεργάτες (2011), εξέτασαν τον αντίκτυπο των κλιματικών και των ανθρώπινων παραγόντων στις δασικές πυρκαγιές σε δύο ευαίσθητες περιοχές στην Ελβετία για περίοδο 100 ετών, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο συσχέτισης που βασίζεται στα Γ.Σ.Π. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κλίμα και η ύπαρξη δρόμων και ζώων έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση πυρκαγιάς σε δύο περιοχές. Επιπλέον, υπήρχε μια μη γραμμική σχέση μεταξύ πυρκαγιάς και ανθρώπινων παραγόντων. Σε θερμότερα κλίματα, η πιθανότητα εμφάνισης πυρκαγιάς είναι πολύ μεγαλύτερη ανεξάρτητα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Zumbunnen *et al.*, 2011).

Οι Jurdao και συνεργάτες (2012) μοντελοποίησαν την πιθανότητα εμφάνισης δασικής πυρκαγιάς από δορυφόρους εκτιμώντας την ποσότητα υγρασίας στην περιοχή της Μεσογείου. Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να αξιολογήσει τις διάφορες μεθόδους εκτίμησης της ποσότητας της ατμοσφαιρικής υγρασίας του δάσους σε σχέση με την πιθανότητα ανάφλεξης σε εθνικό επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη το κλίμα και τους τύπους βλάστησης. Τα δεδομένα σχετικά με την περιεχόμενη υγρασία ζωντανών καυσίμων που εξήχθησαν από τον αισθητήρα AVHRR και τον ανιχνευτή πυρκαγιάς MODIS αξιοποιήθηκαν για την ανίχνευση συμβάντων πυρκαγιάς στα δάση. Πραγματοποιήθηκαν μη παραμετρικές στατιστικές δοκιμές, δενδρική ταξινόμηση και ένα μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης για την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης πυρκαγιάς με βάση την ποσότητα υγρασίας του ζωντανού καυσίμου. Τέλος, επιλέχθηκε η μέθοδος της λογιστικής παλινδρόμησης για τον υπολογισμό της πιθανότητας πυρκαγιάς λόγω του μεγάλου αριθμού προγνωστικών μεταβλητών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ποσότητα της υγρασίας του δάσους μία εβδομάδα πριν από την εμφάνιση πυρκαγιάς ήταν η πιο σημαντική μεταβλητή στη στατιστική ανάλυση και η πιο σημαντική μεταβλητή για την

πρόβλεψη πιθανής εμφάνισης πυρκαγιάς στην περιοχή της Μεσογείου (Jurdao, Chuvieco and Arevalillo, 2012).

Οι Román και συνεργάτες (2013), παρουσίασαν μια μέθοδο για την εκτίμηση της κοινωνικοοικονομικής ευπάθειας των ισπανικών δασών στη φωτιά χρησιμοποιώντας τεχνικές Γ.Σ.Π.. Η ευπάθεια προσδιορίστηκε με την εκτίμηση των πιθανών απωλειών που μπορεί να προκαλέσει η φωτιά κατά τη διάρκεια του χρόνου που απαιτείται για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος πριν από την εκδήλωση της πυρκαγιάς. Όσον αφορά τα κοινωνικοοικονομικά ζητήματα που προκύπτουν, αξιολογήθηκαν τρεις κατηγορίες επιπτώσεων, οι επιπτώσεις στους ανθρώπους, οι επιπτώσεις σε ιδιοκτησίες όπως η καταστροφή δομών και ο αντίκτυπος της απώλειας των οικοσυστημικών υπηρεσιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο μέσος όρος των ωφελειών που προκύπτουν από αποτελεσματικά μέτρα πρόληψης πυρκαγιάς σε σχέση με τον αντίκτυπο στην ιδιοκτησία, την ανθρώπινη ζωή και τα οικοσυστήματα είναι 376.585, 9.17 και 22.29 ευρώ ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (Román, Azqueta and Rodríguez, 2013).

Ο Gerdzheva (2014) υλοποίησε μια συγκριτική ανάλυση διαφορετικών μοντέλων εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιάς στην περιοχή της Σμόλια της Βουλγαρίας. Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να προσδιορίσει ένα κατάλληλο μοντέλο εκτίμησης κινδύνου για την συγκεκριμένη περιοχή. Οι συνεισφέροντες παράγοντες αναταξινομήθηκαν και σταθμίστηκαν ανάλογα με τη συμβολή τους στη δασική πυρκαγιά, στην συνέχεια υπολογίστηκαν με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης σε σχέση με συμβάντα απογραφής πυρκαγιάς. Συμπερασματικά, επιλέχθηκαν τρεις ζώνες κινδύνου πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα κάθε μοντέλου συγκρίθηκαν με το ιστορικό προηγούμενων πυρκαγιών (Gerdzheva, 2014).

Οι Chuvieco και συνεργάτες (2014), αξιολόγησαν τον κίνδυνο πυρκαγιάς στα ισπανικά δάση χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ανάλυσης συσχετισμού (*correlation analysis*). Η έρευνα συνθέτει το εννοιολογικό πλαίσιο του μοντέλου και στη συνέχεια περιγράφει τις μεταβλητές εισόδου και την προσέγγιση συγχώνευσης αυτών των μεταβλητών για τη δημιουργία δεικτών συνθετικού κινδύνου. Τέλος, συζητείται η επικύρωση του μοντέλου. Οι παράγοντες κινδύνου πυρκαγιάς, οι οποίοι περιελάμβαναν ανθρώπινες μεταβλητές, καταιγίδες, νεκρά φύλλα, τύπο βλάστησης, αξιολογήθηκαν ανάλογα. Οι δείκτες συχνότητας και διάδοσης επικυρώθηκαν χρησιμοποιώντας το πιο πρόσφατο διαθέσιμο απόθεμα πληροφορίας πυρκαγιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές σχέσεις μεταξύ της εμφάνισης πυρκαγιάς και της ποσότητας υγρασίας του ξύλου (Chuvieco *et al.*, 2014).

Οι Eskandari και Chuvieco (2015), επίσης αξιολόγησαν τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς στη βλάστηση των δασών και των βοσκοτόπων του Ιράν. Η εκτίμηση της δασικής πυρκαγιάς σε αυτή τη μελέτη χωρίστηκε σε δύο μέρη, τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς και την πιθανότητα εξάπλωσης πυρκαγιάς, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης (LR) και την εφαρμογή Flam-map (*Fire, Fuel, and Smoke Science Programme*) αντίστοιχα. Για την αξιολόγηση των μοντέλων, ο ανιχνευτής πυρκαγιάς MODIS χρησιμοποιήθηκε για μια περίοδο 12 ετών (2002-2013) με πληροφορίες σχετικά με παρελθοντικά γεγονότα πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης πέτυχε ακρίβεια 72,7% στην πρόβλεψη της πιθανότητας εμφάνισης πυρκαγιάς στις δασικές εκτάσεις του Ιράν (Eskandari and Chuvieco, 2015).

Ο You και συνεργάτες (2017), δημιούργησαν ένα εννοιολογικό πλαίσιο για τη χαρτογράφηση κινδύνου πυρκαγιάς, συνεισφέροντας πληροφορία στη Βάση Δεδομένων Αποθέματος Δασικών Πόρων (*Forest Resource Inventory Database- FRID*) για τοποθεσίες όπου υπάρχει έλλειψη ερευνητικών δεδομένων σχετικά με τις πυρκαγιές. Επίσης, ποσοτικοποίησαν τον πιθανό κίνδυνο δασικής πυρκαγιάς και χαρτογράφησαν τις ζώνες κινδύνου, εξετάζοντας τη χωροχρονική διακύμανση του κινδύνου δασικής πυρκαγιάς. Η περιοχή μελέτης προσδιορίστηκε στα βορειοδυτικά της επαρχίας Fujian της Κίνας. Χρησιμοποίησαν μια τεχνική χωρικής στατιστικής που ονομάζεται διερευνητική ανάλυση χωρικών δεδομένων (*Exploratory Spatial Data Analysis- ESDA*) και ανάλυση ημι-διακύμανσης. Αναλύθηκαν διάφοροι τύποι δασών, συμπεριλαμβανομένων των λογχοειδών δασών, των πλατύφυλλων, των μπαμπού, των θάμνων και των χόρτων, των οικονομικών δασών, των δασών είδους *P. massoniana* και των φυτειών τσαγιού για τη δημιουργία ενός χάρτη κινδύνου πυρκαγιάς. Τα δεδομένα εισαγωγής που χρησιμοποιήθηκαν στη μέθοδο τους είναι ΨΥΜΕ, απογραφή δασικών πόρων, χάρτης κάλυψης/χρήσης γης, μετεωρολογικά δεδομένα καθώς και τοπογραφικά χαρακτηριστικά, στοιχεία ανθρώπινων δραστηριοτήτων, κλιματικοί και δασικοί παράγοντες. Με τα στοιχεία αυτά, δημιούργησαν έναν χάρτη δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς και έναν χάρτη ζωνών κινδύνου πυρκαγιάς από το 1997 έως το 2009 (You *et al.*, 2017).

Οι Jaafari και συνεργάτες (2017) μοντελοποίησαν την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς στο δάσος Zagros στο νοτιοδυτικό Ιράν. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος στάθμισης στοιχείων WoE (*Weight of Evidence*) και το μοντέλο πιθανοτήτων Bayesian, για τη διερεύνηση της χωρικής σχέσης μεταξύ των παλαιών περιστατικών πυρκαγιάς στα

Zagros. Αξιοποιήθηκαν δεδομένα έρευνας πεδίου περιστατικών πυρκαγιάς, σχετικά με τοπογραφία, κλίμα και ανθρώπινης δραστηριότητας. Το κυρίαρχο είδος του δάσους είναι η περσική βελανιδιά. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την πολύ καλή προγνωστική ικανότητα του μοντέλου που είχε τιμές AUC (*Area Under the ROC Curve*) 84,2 και 80,4% για επιτυχία και ποσοστά πρόβλεψης, αντίστοιχα. Το κύριο πλεονέκτημα του μοντέλου WoE στην ανάλυση πιθανότητας πυρκαγιάς είναι η ικανότητά του να ενσωματώνει πολλές πηγές πληροφοριών. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης μπορεί να είναι χρήσιμα για τον σχεδιασμό της χρήσης γης, τη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση των πυρκαγιών και την κατανομή των πόρων πριν από την έναρξη της αντιπυρικής περιόδου (Jaafari, Gholami and Zenner, 2017).

Οι Hong και συνεργάτες (2017) πραγματοποίησαν σύγκριση της απόδοσης τεσσάρων μεθόδων, του λόγου συχνότητας (*Frequency Ratio- FR*), στάθμισης στοιχείων (*Weight of Evidence - WoE*) και γραμμικής (*Linear*) και τετραγωνικής (*Quadratic*) διακριτικής ανάλυσης (*Discriminant Analysis- LDA- QDA*) με το μοντέλο ευαισθησίας των δασικών πυρκαγιών στην περιοχή Yihuang στην Κίνα. Χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες MODIS, δεδομένα έρευνας πεδίου και τοπογραφικούς χάρτες σε κλίμακα 1: 50.000 με ανάλυση 25 μέτρων. Για την σύγκριση, επιλέχθηκαν οι ακόλουθες δεκατρείς παράμετροι συνθήκης εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών: βαθμός κλίσης, προσανατολισμός κλίσης, υψόμετρο, δείκτης τοπογραφικής υγρασίας (TWI), καμπυλότητα κάθετα στην διεύθυνση της μέγιστης κλίσης (*Plan Curvator*), χρήσεις γης, NDVI, ετήσιες βροχοπτώσεις, απόσταση από δρόμους, απόσταση από ποτάμια, επίδραση ανέμου, ετήσια θερμοκρασία και υφή εδάφους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέθοδος WoE είχε την καλύτερη απόδοση (AUC = 82,2%), ακολούθησε η μέθοδος λόγου συχνότητας (FR) (AUC = 80,9%), ενώ λιγότερη επιτυχία είχαν οι μέθοδοι γραμμικής και τετραγωνικής διακριτικής ανάλυσης με ποσοστά QDA (AUC = 78,3%) και LDA (AUC = 78%), αντίστοιχα. Οι παραγόμενοι χάρτες ευαισθησίας στην πυρκαγιά μπορούν να βοηθήσουν τους διαχειριστές φυσικών κινδύνων να προσδιορίσουν περιοχές υψηλής πιθανότητας πυρκαγιάς. Αυτά τα μοντέλα θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε άλλες περιοχές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της δασικής πυρκαγιάς, αλλάζοντας τους παράγοντες και τα βάρη (Hong and Sun, 2017).

## 2.2.2 Εφαρμογές Μοντέλων Μηχανικής Μάθησης

Αναφορικά με τις μεθόδους μηχανικής μάθησης (*Machine Learning*), η έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Vadrevu και συνεργάτες (2010), εξέτασε τον κίνδυνο δασικών πυρκαγιών στο Άντρα Πραντές της Ινδίας με την εφαρμογή μιας μεθόδου πολυμεταβλητής ανάλυσης με τη χρήση της μεθόδου της Λογικής της Ασάφειας (*Fuzzy Inference System- FIS*), αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα, κοινωνικοοικονομικά, κλιματολογικά, βλάστησης και τοπογραφικά. Όλα τα δεδομένα οργανώθηκαν σε περιφερειακό επίπεδο σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το βάρος των κοινωνικοοικονομικών, κλιματικών, βλαστητικών και τοπογραφικών παραγόντων ήταν 0,322, 0,223, 0.255 και 0,204, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα του χάρτη κινδύνου πυρκαγιάς με τα pixel της φωτιάς από τις δορυφορικές εικόνες παρουσίασαν αλληλεπικάλυψη. Ως εκ τούτου, λόγω της συνοχής των επικίνδυνων περιοχών πυρκαγιάς έως και 64,4%, η αξιοπιστία του μοντέλου επιβεβαιώθηκε. Ο χάρτης επικινδυνότητας καταρτίστηκε για να προσδιορίσει τις κρίσιμες περιοχές για τις οποίες ο κίνδυνος πυρκαγιάς ήταν σχετικά υψηλός. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι η ικανότητα λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων με τη χρήση των δυνατοτήτων Γ.Σ.Π είναι επιτυχής και μπορεί να λειτουργήσει ως πολύτιμο εργαλείο στην πρόβλεψη πού και πότε θα συμβεί φωτιά (Vadrevu, Eaturu and Badarinath, 2010).

Οι Sakr και συνεργάτες (2010) μελέτησαν μεθόδους πρόβλεψης δασικών πυρκαγιών με βάση την τεχνητή νοημοσύνη. Ανέπτυξαν δύο αλγόριθμους πρόβλεψης κινδύνου δασικής πυρκαγιάς με την μέθοδο SVM (*Support-Vector Machine*) στο πλαίσιο τεχνητού νευρωνικού δικτύου (*Artificial Neural Network- ANN*) για την πρόβλεψη του κινδύνου δασικής πυρκαγιάς, λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα παλαιότερων κλιματολογικών συνθηκών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με περιορισμένο αριθμό παραμέτρων, τα SVM και ANN έχουν υψηλή ακρίβεια για να προβλέψουν πιθανές περιοχές που απειλούνται από πυρκαγιά (Sakr *et al.*, 2010).

Οι Sitanggang και συνεργάτες (2013) παρουσίασαν ένα μοντέλο πρόβλεψης για την ανίχνευση σημείων πυρκαγιάς χρησιμοποιώντας την μέθοδο Data-mining και τους αλγόριθμους υλοποίησης δέντρων αποφάσεων DT-C 4.5 και DT-ID-3 στην περιοχή των ινδονησιακών δασών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν περιελάμβαναν 10 λειτουργικά επίπεδα (φυσικά, κλιματικά και κοινωνικοοικονομικά) και έναν χάρτη απογραφής πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο αλγόριθμος DT-C-4.5 δεν ήταν καλύτερος συγκριτικά με τον DT-ID3, με ακρίβεια 65,24%. Επιπλέον, το μοντέλο

λογιστικής παλινδρόμησης πέτυχε μεγαλύτερη ακρίβεια από τον αλγόριθμο δέντρου αποφάσεων DT-C-4.5, με ακρίβεια 63,68% (Sitanggang *et al.*, 2013).

Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα που αφορά στις μεθόδους νευρωνικών δικτύων και λογικής της ασάφειας, μελετήθηκε η πιθανότητα πρόβλεψης πυρκαγιάς λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες των δικτύων Bayesian και της λογικής της ασάφειας, εφόσον υποστηρίζεται ότι μπορεί να χειριστεί τις αβεβαιότητες και να ενημερώσει τις πιθανότητες ως απόκριση στη διαθεσιμότητα νέων δεδομένων. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τα δεδομένα εισόδου από ένα Γ.Σ.Π για μια συγκεκριμένη περιοχή μικρής κλίμακας, με στόχο την εκτίμηση της πιθανότητας πυρκαγιάς και είναι σε θέση να ενημερώσει την πιθανότητα λόγω τυχόν προγραμματισμένων ή μη προγραμματισμένων αλλαγών στην περιοχή. Ως εκ τούτου, η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να τροφοδοτήσει μελλοντικές καταστάσεις λήψης αποφάσεων με βάση μακροοικονομικούς και άλλους μικρο-κινδύνους σε περιοχές με ευαισθησία στο φαινόμενο της πυρκαγιάς. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας της μεθόδου και η απόδοσή της διερευνάται μέσω περιπτωσιολογικής μελέτης (*case study*) στη Νέα Νότια Ουαλία της Αυστραλίας (Naderpour, Rizeei and Ramezani, 2020).

### 2.2.3 Εφαρμογές Μοντέλων Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

Οι Chuvieco και Congalton (1989) εκπόνησαν έναν χάρτη κινδύνου πυρκαγιάς για τις περιοχές των ισπανικών ακτών της Μεσογείου χρησιμοποιώντας την επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα Landsat TM και άλλα βοηθητικά δεδομένα σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν περιελάμβαναν τύπο βλάστησης, ποσότητα καύσιμης ύλης, κλίση, έκθεση και υψόμετρο, εγγύτητα με δρόμους, κατοικημένες περιοχές και κάμπινγκ. Τα θεματικά επίπεδα ενοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (*Analytical Hierarchy Process- AHP*). Οι περιοχές που είναι ευαίσθητες σε δασικές πυρκαγιές συγκρίθηκαν με τις δασικές εκτάσεις που είχαν καεί παλαιότερα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 22% των εικονοστοιχείων που φέρουν πληροφορία καμένης έκτασης εμπίπτουν σε περιοχές υψηλού κινδύνου που κάηκαν τα τελευταία χρόνια, ενώ μόνο το 3,47% των δασικών περιοχών χαμηλού κινδύνου είχαν καεί σε προηγούμενα συμβάντα (Chuvieco and Congalton, 1989).

Η Almeida (1994) παρήγαγε έναν χάρτη επικινδυνότητας περιοχών για τις δασικές εκτάσεις της Πορτογαλίας, βάσει παραγόντων που αφορούν στα δασικά είδη, κλίση, γεωγραφική θέση, απόσταση από δρόμους και ποταμούς μόνιμης ροής. Οι μεταβλητές κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με την μεταβλητή κινδύνου πυρκαγιάς σε Γ.Σ.Π. Πέντε κατηγορίες κινδύνου δημιουργήθηκαν, ενώ οι περιοχές επικινδυνότητας ήταν εκείνες που είχαν κλίση μεγαλύτερη από 40%, έκθεση που κυμαίνεται από 135 έως 225° (δυτικά), εντοπίζονται σε θέσεις πάνω από 30 μέτρα από ποτάμια και καλύπτονται από δέντρα και θάμνους (Almeida, 1994).

Οι Akriinar και Usul δημιούργησαν έναν χάρτη ευαισθησίας στις δασικές πυρκαγιές για την Τουρκία χρησιμοποιώντας τεχνικές τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π και εξέτασαν την επάρκεια των αντιπυρικών πύργων στην περιοχή. Το εννοιολογικό πλαίσιο ανάλυσης των δασικών πυρκαγιών στηρίχθηκε σε τεχνικές υποστήριξης λήψης αποφάσεων και αναπτύχθηκε ένας χάρτης κινδύνου πυρκαγιάς. Στη συνέχεια, ο χάρτης των ζωνών κινδύνου συγχωνεύτηκε με την ορατότητα των πύργων παρατήρησης για τον προσδιορισμό των περιοχών υψηλού κινδύνου, όπου οι υπάρχοντες πύργοι έχουν οπτική κάλυψη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περισσότερες περιοχές υψηλού κινδύνου είναι προσβάσιμες από υφιστάμενους πύργους. Ωστόσο, για τις περιοχές μέτριας ορατότητας παρατήρησης στο βόρειο τμήμα της περιοχής, απαιτείται ένας επιπλέον πύργος παρατήρησης. Επιπλέον, οι τεχνικές Γ.Σ.Π είναι πολύ αποτελεσματικές όσον αφορά τη διαχείριση πληροφοριών και την πρόβλεψη δασικών πυρκαγιών (Akriinar and Usul, 2003).

Οι Jaiswal και συνεργάτες (2002), χρησιμοποίησαν δορυφορικά δεδομένα IRIS –LISS και χωρικά δεδομένα Γ.Σ.Π, για τον εντοπισμό περιοχών που είναι ευαίσθητες σε δασικές πυρκαγιές στην Ινδία. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις πυρκαγιές συγχωνεύτηκαν με βάση το βάρος και το βαθμό σπουδαιότητάς τους. Ο τύπος κάλυψης γης, η κλίση και η απόσταση από κατοικημένες περιοχές και δρόμους ήταν οι πιο σημαντικές παράμετροι που συμβάλλουν σε αυτό το μοντέλο. Οι ζώνες κινδύνου πυρκαγιάς κατηγοριοποιήθηκαν ως πολύ χαμηλές, χαμηλές, μέτριες, υψηλές και πολύ υψηλές. Σε αυτήν την κατηγοριοποίηση, το 55,75% της περιοχής εμπίπτει σε ζώνες «πολύ υψηλού» κινδύνου, το 27,26% της περιοχής εμπίπτει σε «μέτρια» ζώνη κινδύνου πυρκαγιάς και το 16,99% της περιοχής πέφτει σε ζώνες από «χαμηλή» ως «πολύ χαμηλή» επικινδυνότητα (Jaiswal *et al.*, 2002). Οι Erten και συνεργάτες (2004) διερεύνησαν επίσης επικίνδυνες παραμέτρους δασικών πυρκαγιών με βάση το μοντέλο Dong χρησιμοποιώντας

δορυφορικά δεδομένα και GIS στο πλαίσιο της χερσονήσου της Καλλίπολης στην Τουρκία. Σε αυτήν τη μελέτη, οι εικόνες TM ταξινομήθηκαν πριν και μετά το συμβάν δασικής πυρκαγιάς. Άλλες μορφολογικές πληροφορίες εξήχθησαν από τοπογραφικό χάρτη 1: 25.000 χρησιμοποιώντας πλαίσιο εργασίας Γ.Σ.Π. Στη συνέχεια, οι πληροφορίες ταξινομήθηκαν με βάση το βάρος και τη σημασία τους σε σχέση με την χωρική κατανομή πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς σε περιοχές με ξηρή βλάστηση, υψηλή κλίση, κατεύθυνση νότιας κλίσης και κοντά σε δρόμους ή κατοικημένες περιοχές (Erten, Kurgun and Musaoglu, 2004).

Ο Sowmya και ο Somashekar (2010) δημιούργησαν έναν χάρτη περιοχών κινδύνου πυρκαγιάς για την Περιοχή Προστασίας Άγριας Ζωής Bhadra στην Ινδία, με κατάλληλη στάθμιση παραγόντων χρησιμοποιώντας τη διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας (AHP). Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν περιελάμβαναν βλάστηση, κλίση, απόσταση από το δρόμο και απόσταση από κατοικημένες περιοχές. Η χρονοσειρά δορυφορικών δεδομένων από το 1989 έως το 2006 αναλύθηκε για την χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλή ακρίβεια σε σύγκριση με έναν προηγούμενο χάρτη απογραφής πυρκαγιάς. Το αποτέλεσμα της μελέτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντικές πολιτικές πρόληψης πυρκαγιάς (Sowmya and Somashekar, 2010).

Οι Ghobadi και συνεργάτες (2012) χαρτογράφησαν τις περιοχές που κινδυνεύουν από δασική πυρκαγιά χρησιμοποιώντας Γ.Σ.Π στην επαρχία Γκολέσταν του Ιράν. Εξετάστηκαν οι παράγοντες που συνέβαλαν στον κίνδυνο πυρκαγιάς, όπως τοπογραφία, κλίση, προσανατολισμός πλαγιάς, μετεωρολογικά δεδομένα και κάλυψη βλάστησης. Οι περιοχές κινδύνου πυρκαγιάς καθορίστηκαν με την ανάθεση ειδικών βαρών σε κάθε κατηγορία όλων των στρωμάτων με βάση την ευαισθησία στη φωτιά. Τέλος, παρουσιάστηκε ο κίνδυνος πυρκαγιάς από πολύ χαμηλό σε πολύ υψηλό επίπεδο. Η αύξηση των εφαρμοζόμενων δεικτών και η αλλαγή τους σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες μελετήθηκαν σε διαφορετικές περιοχές (Ghobadi, Gholizadeh and Dashliburun, 2012).

#### 2.2.4 Εφαρμογές Συνδυαστικών Μοντέλων

Οι Vakalis και συνεργάτες (2004) παρουσίασαν ένα λειτουργικό σύστημα βασισμένο σε Γ.Σ.Π για τη διαχείριση κινδύνων πυρκαγιάς χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό συστήματος ασαφών συμπερασμάτων (FIS) και νευρωνικού δικτύου (NN) βάσει των διαθέσιμων δεδομένων από ιστορικές πυρκαγιές. Ο σκοπός της ανάπτυξης αυτού του μοντέλου ήταν να το χρησιμοποιηθεί ως σύστημα υποστήριξης αποφάσεων προκειμένου να διατεθούν οι πόροι πυροπροστασίας στη βέλτιστη θέση. Σε αυτήν την έρευνα, σύμφωνα με τη γνώμη των εμπειρογνομόνων, επιλέχθηκαν διάφορες μεταβλητές εισόδου, όπως η ευφλεκτότητα της βλάστησης, η πυκνότητα της βλάστησης, η κλίση της περιοχής, η θερμοκρασία του αέρα και η ταχύτητα του ανέμου (Vakalis *et al.*, 2004).

Οι Dong και συνεργάτες (2005) ανέπτυξαν μια υβριδική προσέγγιση με τη χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π για τη χαρτογράφηση περιοχών κινδύνου πυρκαγιάς στη δασική περιοχή Baihe της Κίνας. Οι τοπογραφικές παράμετροι (δηλ. κλίση, έκθεση και υψόμετρο) ελήφθησαν από ένα ΨΥΜΕ, ενώ οι χάρτες βιομάζας και χρήσης γης εξήχθησαν από την δορυφορική εικόνα Landsat ETM. Επιπλέον, περιοχές που κινδυνεύουν από πυρκαγιά εντοπίστηκαν από τις σταθμισμένες κατηγορίες όλων των θεματικών επιπέδων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μοντέλο πέτυχε υψηλή ακρίβεια όσον αφορά την ανάλυση κινδύνου πυρκαγιάς στα δάση, ιδιαίτερα σε περιοχές υψηλού κινδύνου πυρκαγιάς (Dong *et al.*, 2005).

Οι Pourghasemi, Beheshtirad και συνεργάτες (2016) αξιολόγησαν την ευαισθησία των δασικών πυρκαγιών χρησιμοποιώντας την αναλυτική διαδικασία ιεραρχίας (M-AHP) και μοντέλα ασαφούς λογικής Mamdani (MFL) στην επαρχία Golestan, Ιράν. Επτά παράμετροι που συμβάλλουν, δηλαδή, υψόμετρο, έκθεση, κλίση, θερμοκρασία, άνεμος, χρήση γης και NDVI, εισήχθησαν σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα ποσοστά ακρίβειας για M-AHP και MFL είναι 77,7% και 88,2%, αντίστοιχα. Οι χάρτες ευαισθησίας στη φωτιά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό πόρων πυροπροστασίας, τις δράσεις καταστολής και τα προγράμματα έγκαιρης προειδοποίησης (Pourghasemi, Beheshtirad and Pradhan, 2016).

Οι Eskandari και Miesel (2017) μοντελοποίησαν τον κίνδυνο δασικής πυρκαγιάς στην πόλη Neka του Ιράν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο λογικής της ασάφειας AHP με τη μορφή ανάλυσης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων. Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν περιελάμβαναν τέσσερα κύρια κριτήρια και 17 υπο-κριτήρια. Τα κύρια κριτήρια ήταν τοπογραφικά, βιολογικά, κλιματικά και ανθρωπογενή. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο τους, καταρχάς, ετοιμάστηκε ο χάρτης των κύριων κριτηρίων (από τη στάθμιση των

επιμέρους υπο-κριτηρίων κάθε κριτηρίου) και στη συνέχεια δημιουργήθηκε ο τελικός χάρτης του κινδύνου δασικής πυρκαγιάς της περιοχής με την ενσωμάτωση του βάρους των χαρτών από τα τέσσερα κύρια κριτήρια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περιοχές πυρκαγιάς υψηλού κινδύνου ήταν σύμφωνες με τους χάρτες κινδύνου που εκπονήθηκαν από τις περιοχές που είχαν καεί στο παρελθόν, γεγονός που τεκμηριώνει την αξιοπιστία και εγκυρότητα του μοντέλου (Eskandari and Miesel, 2017).

## 2.3 Θεωρητικό Πλαίσιο

### 2.3.1 Η Δομή Των Δασών Και η Στρωμάτωση Της Καύσιμης Ύλης

Η επίδραση της δομής του δάσους στην συμπεριφορά και σφοδρότητα των δασικών πυρκαγιών είναι ιδιαίτερα σημαντική. Ειδικότερα, τα χαρακτηριστικά της κατακόρυφης δομής του δάσους, αποτελούν τα κύρια στοιχεία διάκρισης των τύπων καύσιμης ύλης (USFS, 2003).

Η δομή του δάσους δεν θεωρείται ενιαία και ομοιόμορφη σε ολόκληρη την επιφάνεια του. Διαρθρώνεται σε μικρότερες ή μεγαλύτερες επιφάνειες ανάλογα με την οικολογική τους ιδιομορφία, ενώ από άποψης διαχείρισης αφορά στην κατά χώρο οργάνωση και διαίρεση της δασοκάλυψης.

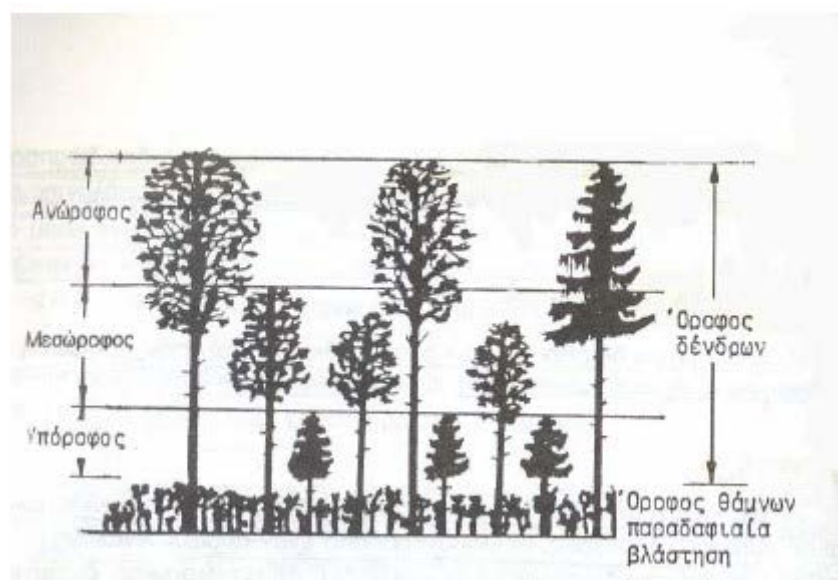
Η οριζόντια διάρθρωση του δάσους σχετίζεται με την σύνθεση των δασοπονικών ειδών ή την ηλικία τους, την έκταση, τον οικολογικό χαρακτήρα, αλλά και την χωρική συσχέτιση μεταξύ των ατόμων της επιφάνειας ή των γειτονικών επιφανειών. Σύμφωνα με τον Ντάφη (1992), οι επιφάνειες διακρίνονται σε συστάδες, λόχμες, ομάδες, συνδεδριές και διάσπαρτα δέντρα.

Συγκεκριμένα, η συστάδα αποτελεί μία επιμέρους δασική επιφάνεια, η οποία διαφοροποιείται από την περιβάλλουσα δασική έκταση, σε ότι αφορά τη δομή, σύνθεση, την ηλικία των δέντρων, τις συνθήκες αύξησης ή οποιοδήποτε άλλο οικολογικό γνώρισμα. Έχει επαρκή έκταση ώστε να αποτελεί αντικείμενο δασοκομικού χειρισμού και διακρίνεται σε μικρή (0,3-1,0 ha) και μεγάλη (>1,0 ha).

Η λόχμη, επίσης εμφανίζει διαφορετικό οικολογικό χαρακτήρα σε σχέση με την περιβάλλουσα βλάστηση, ωστόσο δεν αποτελεί αντικείμενο μακροχρόνιου δασοκομικού χειρισμού λόγω της μικρότερης επιφάνειάς της, η οποία αντιστοιχεί σε κυκλική επιφάνεια με διάμετρο 1-2 ύψη δέντρων.

Η ομάδα, αποτελεί διακεκριμένη μονάδα όπως η συστάδα και η λόχμη, όμως λόγω της ακόμα μικρότερης επιφάνειας δεν διατηρεί ξεχωριστό οικολογικό χαρακτήρα. Η συνδενδρία περιλαμβάνει λίγα γειτονικά δέντρα, τα οποία διαφοροποιούνται σε ηλικία ή σύνθεση από την συστάδα που την περιβάλλει. Τέλος, τα διάσπαρτα δέντρα αφορούν σε μεμονωμένα δέντρα που διαφοροποιούνται μέσα σε μια συστάδα.

Η κατακόρυφη διάρθρωση της δομής του δάσους συνίσταται από την ορόφωση και τη συγκόμωση των συστάδων (Ντάφης, 1992). Οι όροφοι συνθέτουν το προφίλ μιας συστάδας και με βάση αυτό οι συστάδες διακρίνονται σε μονώροφες, διώροφες, τριώροφες και πολυώροφες, ανάλογα με το ύψος των δέντρων. Για πρακτικούς λόγους συνήθως διακρίνονται έξι όροφοι στην κάθετη διάρθρωση. Οι τρεις όροφοι των δέντρων, ήτοι ανώροφος, μεσώροφος και υπόροφος, ένας όροφος θάμνων, ένας ποών και γράστων και τέλος, ο όροφος των βρυών. Οι δύο τελευταίοι όροφοι ορίζουν την παραδαφιαία βλάστηση (Εικόνα 2.3.1.1).



Εικόνα 2.3.1.1: Κατακόρυφη διάρθρωση-ορόφωση συστάδας (Πηγή: Ντάφης, 1992)

Η συγκόμωση αφορά στον τρόπο με τον οποίο παρατίθενται οι κόμες των δέντρων και στον βαθμό σκίασης του εδάφους, ενώ πρακτικά χρησιμοποιείται για την απόδοση της πυκνότητας της βλάστησης σε μια επιφάνεια.

Σε μελέτη που εκπονήθηκε με σκοπό την διαβάθμιση κινδύνου πυρκαγιάς στην Πορτογαλία, χρησιμοποιήθηκε μια τυπολογία δασικής καύσιμης ύλης που αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Δασικής Έρευνας της Πορτογαλίας, η οποία συνδυάζει τον τύπο κάλυψης βλάστησης με βάση το κυρίαρχο είδος και τη δομή του δάσους που ορίζεται ως συνδυασμός της γενικής πυκνότητας (κλειστού ή ανοικτού τύπου) και ύψους (χαμηλός ή ψηλός). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το εύρος κινδύνου πυρκαγιάς είναι παρόμοιο μεταξύ και εντός των τύπων κάλυψης βλάστησης ενώ η δομή του δάσους, είναι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας ευπάθειας της περιοχής. Αυτό υποδηλώνει έναν δυνητικά εξέχοντα ρόλο στη διαχείριση των δασικών καυσίμων για τον περιορισμό των πυρκαγιών (Fernandes, 2009).

### 2.3.3 Κατηγορίες Δασικών Πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές, ανάλογα με τον τρόπο και την θέση εξάπλωσης στην επιφάνεια του εδάφους, διακρίνονται σε πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες, επιφάνειας ή έρπουσες και κόμης ή επικόρυφες (Καϊλίδης, 1990).

Το χαρακτηριστικό των υπόγειων πυρκαγιών είναι η βραδεία καύση, ενώ είναι δυνατό να μην υπάρχει καπνός με αποτέλεσμα να μην γίνονται εύκολα αντιληπτές. Εκδηλώνονται κυρίως στις βόρειες χώρες και η καύσιμη ύλη είναι η οργανική ύλη κάτω από την επιφάνεια του φυλλοστρώματος. Στις πυρκαγιές επιφανείας καίγεται η ξηρή οργανική ύλη (ξηροτάπητας) και η χαμηλή βλάστηση έως 2m. Το χαρακτηριστικό τους είναι η μεγάλη ταχύτητα διάδοσης, ενώ ο καπνός έχει μικρό σχετικά ύψος και συνήθως εξελίσσονται σε πυρκαγιές κόμης. Οι πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες πλήττουν την καύσιμη ύλη που βρίσκεται σε ύψος άνω των 2m από την επιφάνεια του εδάφους και η ταχύτητα διάδοσής τους είναι πολύ υψηλή με μεγάλο ύψος θερμικής στήλης πάνω από τις φλόγες, καταστρέφοντας μεγάλες επιφάνειες δασών, συνεπώς θεωρούνται και οι πιο καταστροφικές.

Οι προαναφερόμενοι τύποι δασικής πυρκαγιάς μπορεί να συνυπάρχουν ανάλογα με τις συνθήκες. Για παράδειγμα, οι πυρκαγιές κόμης στην Ελλάδα, συνήθως πλήττουν τα πευκοδάση της παραθαλάσσιας ζώνης, όπου αρχικά καίγεται ο υπόροφος που συντίθεται από θάμνους κάτω από τα δέντρα και η φωτιά μεταδίδεται στις κόμης (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε, 2007).

### 2.3.4 Παράγοντες Που Επηρεάζουν Τις Δασικές Πυρκαγιές

Σύμφωνα με την υπάρχουσα έρευνα, οι χωρικοί παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση μιας δασικής πυρκαγιάς είναι το κλίμα και ο καιρός (π.χ. ταχύτητα ανέμου, κατεύθυνση ανέμου, βροχόπτωση, υγρασία, θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία και εποχιακές διακυμάνσεις), οι μορφολογικοί παράγοντες όπως η κλίση, ο προσανατολισμός των επιφανειών, καμπυλότητα, τοπογραφικοί δείκτες, το υψόμετρο, η απόσταση από ποτάμια, η απόσταση από ιδιοκτησίες και ανθρωπογενείς δραστηριότητες, απόσταση από οδικό δίκτυο, η υγρασία και υφή εδάφους, τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης, οι τύποι κάλυψης γης και η πυκνότητα των δασών (Ager, Vaillant and Finney, 2011; Khakzad, Dadashzadeh and Reniers, 2018; Khakzad, 2018; Sevinc, Kucuk and Goltas, 2020)

### 2.3.5 Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων (*Multicriteria Decision Analysis-MCDA*), εφεξής Πολυκριτηριακή Ανάλυση (ΠΚΑ), στοχεύει στη διαμόρφωση τυποποιημένων διαδικασιών, οι οποίες δύναται να αξιοποιηθούν από τους λήπτες αποφάσεων στην επίλυση προβλημάτων ή ερωτημάτων, μέσω της εκτίμησης των παραγόντων που σχετίζονται με το υπό εξέταση θέμα. Η σημασία της τυποποιημένης διαδικασίας έγκειται στην πολυπλοκότητα του ζητήματος προς επίλυση. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι για το ίδιο ζήτημα, ενδέχεται να λαμβάνονται άλλες αποφάσεις από διαφορετικές κοινωνικές ομάδες ή ανθρώπους (Figueira, Greco and Ehrgott, 2005; Malczewski, 2010).

Δύο σχολές μεθόδων ΠΚΑ παρουσιάστηκαν μετά τον Β παγκόσμιο πόλεμο, η αμερικάνικη και η ευρωπαϊκή. Οι αρχές της πρώτης σχολής προέρχονται από την επιχειρησιακή έρευνα, σύμφωνα με την οποία τα κριτήρια συνδυάζονται, με συγκεκριμένους συντελεστές βαρύτητας που αποδίδονται από τους λήπτες αποφάσεων. Αντίθετα, στις μεθόδους της ευρωπαϊκής σχολής θεωρείται ότι οι λήπτες αποφάσεων δεν διαθέτουν την ικανότητα καθορισμού της βαρύτητας των κριτηρίων, συνεπώς παρέχονται τεχνικές στάθμισης των κριτηρίων. Στην πράξη, δεν υπάρχει διαχωρισμός και πολλές φορές

χρησιμοποιούνται συνδυαστικά ανάλογα με τον τύπο του προβλήματος (Murray, 2002; Malczewski, 2006).

Τα ισχυρά πλεονεκτήματα των μεθόδων ΠΚΑ είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσης και επεξεργασίας ποιοτικών και ποσοτικών κριτηρίων, αλλά και η δυνατότητα συνεργασίας διαφορετικών ληπτών αποφάσεων, ενώ αποδίδει πολύ καλά αποτελέσματα στις περιπτώσεις αλληλοσυγκρουόμενων κριτηρίων. Οι μέθοδοι της Χωρικής ΠΚΑ, ως επιστημονικό πεδίο, προέρχονται από τη συγχώνευση δύο μεγάλων τάσεων που υπάρχουν στην επιστήμη της γεωγραφίας: της γεωγραφικής πληροφορίας και της χωρικής ανάλυσης (Chakhar and Mousseau, 2008).

### 2.3.6 Το Δορυφορικό Σύστημα Sentinel 2

Τα δορυφορικά συστήματα Sentinel 1 και 2 αποτελούν πρόσφατες εφαρμογές του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Γεωεπισκόπησης Copernicus. Τα νέα αυτά συστήματα τηλεπισκόπησης, επιτρέπουν την απόκτηση ελεύθερων δεδομένων σε υψηλότερες φασματικές και χωρικές αναλύσεις σε σύγκριση με τις προηγούμενες διαθέσιμες πληροφορίες ανοιχτής πρόσβασης (Brown, Petropoulos and Ferentinos, 2018).

Σε περιορισμένο χρονικό διάστημα, από το έτος πλήρους λειτουργίας των δορυφόρων Sentinel 2A και του πιο πρόσφατου Sentinel 2B, οι οποίοι τέθηκαν σε τροχιά το 2015 και το 2017 αντίστοιχα, εξοπλισμένοι με πολυφασματικούς αισθητήρες (MultiSpectral Instrument-MSI) υψηλής φασματικής ανάλυσης, αρκετές έρευνες υλοποιήθηκαν με σκοπό την αξιολόγηση των εφαρμογών Sentinel 2, στην ταξινόμηση κάλυψης γης, χαρτογράφηση καλλιεργειών, εκτίμηση βιοφυσικών παραμέτρων, δασικές πυρκαγιές, υδάτινους πόρους, χαρτογράφηση αστικών περιοχών (Sola *et al.*, 2018)(Zhang *et al.*, 2018). Ειδικότερα, για την ανίχνευση και παρακολούθηση των δασικών πυρκαγιών εκτιμάται ότι αποτελούν τα βέλτιστα εργαλεία, ακόμα και σε δύσκολες καιρικές ή ατμοσφαιρικές συνθήκες (σύννεφα ή καπνός) (Poursanidis and Chrysoulakis, 2017).

Ανάλογα με το επίπεδο επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων των αισθητήρων, τα προϊόντα Sentinel 2 διακρίνονται σε (European Commission, 2015):

- Επίπεδο 0
- Επίπεδο 1 A

- Επίπεδο 1 B
- Επίπεδο 1 C
- Επίπεδο 2 A

Στο αρχικό επίπεδο επεξεργασίας (Επίπεδο 0) το προϊόν του αισθητήρα MSI αποσυμπιέζεται σε προϊόν Επιπέδου 1 A και ουσιαστικά αποτελούν την αρχική πληροφορία που καταγράφεται χωρίς κάποια περαιτέρω επεξεργασία. Ακολουθεί η εφαρμογή των απαραίτητων ραδιομετρικών διορθώσεων για την παραγωγή του προϊόντος Επιπέδου 1 B. Το προϊόν 1 B υφίσταται γεωαναφορά σε προβολικό σύστημα UTM/WGS84 και ορθοαναγωγή, με τη χρήση Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου Εδάφους (ΨΥΜΕ) PlanetDEM 90. Το αποτέλεσμα της αλληλουχίας είναι το προϊόν Επιπέδου 1 C (Gascon *et al.*, 2017).

Ειδικά στο πεδίο της χαρτογράφησης ειδών δασικής βλάστησης, πληροφορία ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση της επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών τα δορυφορικά δεδομένα Sentinel παρέχουν νέες δυνατότητες διάκρισης λόγω της χωρικής, φασματικής και χρονικής τους διακριτικής ικανότητας (Grabska *et al.*, 2019). Όσον αφορά τις φασματικές πληροφορίες, ο αισθητήρας Sentinel-2 MSI παρέχει 13 φασματικές ζώνες, και ειδικά η ζώνη της κόκκινης ακμής (red edge) και βραχέως υπέρυθρου (SWIR) είναι πολλά υποσχόμενες όσον αφορά την ανίχνευση διαφορών στις ιδιότητες της βλάστησης (Grabska, Frantz and Ostapowicz, 2020).

## 2.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στην πράξη, η πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς αποτελεί ένα σύστημα καταγραφής και απεικόνισης των συνεπειών των υφιστάμενων δεδομένων ή αναμενόμενων συνθηκών που προκύπτουν από επιλεγμένους παράγοντες πρόκλησης πυρκαγιάς, με τη χρήση ενός ή περισσότερων ποιοτικών ή αριθμητικών δεικτών, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν την ευπάθεια και τις ανάγκες μιας περιοχής για προστασία (Fernandes, 2009). Η πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς μιας περιοχής, από την θεωρία στην πράξη, παρέχει στους διαχειριστές ένα εργαλείο για τον έλεγχο των γενικότερων συνθηκών μιας μεγάλης περιοχής που επηρεάζουν την έναρξη μιας πυρκαγιάς (Thompson *et al.*, 2000). Το εργαλείο αυτό με τον συνυπολογισμό και άλλων παραγόντων, όπως η καλή γνώση της

περιοχής από τον αρμόδιο διαχειριστή, συμβάλλει στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της πυρκαγιάς (Wybo, Guarniéri and Richard, 1995).

Βασικός στόχος των συστημάτων προσδιορισμού κινδύνου πυρκαγιάς είναι η δυνατότητα παρουσίασης της πρόβλεψης κινδύνου με τη μορφή θεματικού χάρτη, όπως αυτός εκτιμάται στα γεωγραφικά διαμερίσματα σε επίπεδο χώρας, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες των περιοχών (Núñez-Regueira, Prouirín-Castiñeiras and Rodríguez-Añón, 2000), ενώ η εκτίμηση επικινδυνότητας πυρκαγιάς είναι απαραίτητη για την επιχειρησιακή κατανομή πόρων διαχείρισης μιας επερχόμενης πυρκαγιάς (Farahmand et al., 2020).

#### 2.4.1 Διεθνής Πραγματικότητα

Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα, σχετικά με το θέμα της πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιών στις Η.Π.Α, αναφέρεται ότι οι παραδοσιακές μελέτες επικεντρώνονται σε μετεωρολογικές προβλέψεις και δείκτες κινδύνου πυρκαγιάς (π.χ. National Fire Danger Rating System-NFDRS) για την πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς. Ωστόσο, οι μετεωρολογικές προβλέψεις, χάνουν ακρίβεια πέραν των 10 ημερών, ως εκ τούτου, δεν υπάρχει ποσοτικοποιήσιμη μέθοδος για την πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς πέραν των 10 ημερών. Παρόλο που σε ορισμένες πρόσφατες μελέτες, έχουν αναπτυχθεί στατιστικά μοντέλα, με συσχετισμό υδρολογικών παραμέτρων και παραμέτρων καμένων εκτάσεων ή εκτάσεων όπου η εμφάνιση πυρκαγιάς είναι πολύ πιθανή, καμία μελέτη δεν έχει χρησιμοποιήσει αυτές τις παραμέτρους για να αναπτύξει ένα μηνιαίο χωρικά κατανεμημένο μοντέλο πρόβλεψης στις Ηνωμένες Πολιτείες. Λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα αυτά, υλοποιήθηκε ένα Σύστημα Πρόβλεψης Κινδύνου Πυρκαγιάς από Παρατηρήσεις Γης (*Fire Danger from Earth Observations-FDEO*), το οποίο χρησιμοποιεί δορυφορικά δεδομένα που καλύπτουν την έκταση 48 πολιτειών, ανάμεσα στον Καναδά και το Μεξικό (CONUS), για την πρόβλεψη κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς σε χρονική κλίμακα δύο μηνών, επαρκής χρόνος παράδοσης της πληροφορίας για προγραμματιστικούς σκοπούς (Farahmand et al., 2020).

Ειδικά για τις Η.Π.Α, το Εθνικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνων Πυρκαγιάς (NFDRS) προσφέρει ένα συνεπές πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων για την αντιμετώπιση των

πυρκαγιών των γεωγραφικών διαμερισμάτων από την ίδρυσή του, το 1972 ως σήμερα. Το Σύστημα ενημερώθηκε για πρώτη φορά το 1978 και στη συνέχεια το 1988. Το 2013, ερευνητές της Υπηρεσίας Δασών της USDA (*United States Department of Agriculture*) πρότειναν ενημερώσεις και τον Σεπτέμβριο του 2014, η Εκτελεστική Επιτροπή της NWCG (*National Firefire Coordinating Group*), με την έγκριση της αναθεώρησης του Εθνικού Συστήματος Αξιολόγησης Κινδύνων Πυρκαγιάς των ΗΠΑ, ενσωμάτωσε τρεις σημαντικές αλλαγές (*National Wildfire Coordinating Group, 2020*):

- Τον δείκτη Growing Season Index (GSI) για τον υπολογισμό της υγρασίας καυσίμων με βιολογική δραστηριότητα (ζώσα φυτική βιομάζα).
- Το μοντέλο Nelson για τον υπολογισμό της υγρασίας των λεπτών καυσίμων χωρίς βιολογική δραστηριότητα
- Την μείωση του αριθμού των μοντέλων καύσιμης ύλης στο NFDRS

Παράλληλα, σε άλλη πρόσφατη έρευνα ειδικά για την αλπική ζώνη της Ευρώπης, παρουσιάστηκε ένα Ολοκληρωμένο Σύστημα αξιολόγησης Κινδύνου δασικής Πυρκαγιάς (*Integrated forest Fire Danger assessment System-IFDS*) το οποίο περιλαμβάνει: α) ημερήσια δεδομένα δείκτη καιρού πυρκαγιάς, β) έναν χάρτη επικινδυνότητας ανάφλεξης για όλη τη χώρα, με βάση την κατανομή ανθρώπινων δραστηριοτήτων, γ) έναν χάρτη κινδύνου πυρκαγιάς, δ) χάρτη τύπων καύσιμης ύλης υψηλής ανάλυσης και στ) εκτίμηση κινδύνου πυρκαγιάς με βάση την τοπογραφία. Η εφαρμογή του συστήματος υλοποιήθηκε σε διαδικτυακή πλατφόρμα Web-GIS. Μια πρώτη επικύρωση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των δεδομένων δασικών πυρκαγιών των ετών 2018-2019, ενώ είναι υπό συζήτηση η εφαρμογή του IFDS σε άλλες χώρες της αλπικής ζώνης της Ευρώπης (Müller, Vilà-Vilardell and Vacik, 2020).

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών (*European Forest Fire Information System- EFFIS*) για τις Πυρκαγιές των Δασών υποστηρίζει τις υπηρεσίες που είναι αρμόδιες για την προστασία των δασών από τις πυρκαγιές στις χώρες της ΕΕ και παρέχει στις υπηρεσίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενημερωμένες και αξιόπιστες πληροφορίες για τις δασικές πυρκαγιές στην Ευρώπη. Από το 1998, το EFFIS υποστηρίζεται από ένα δίκτυο ειδικών επιστημόνων των Ευρωπαϊκών χωρών, ενώ πλέον η επιστημονική ομάδα περιλαμβάνει ειδικούς από 40 χώρες συνολικά της Ευρώπης, της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής. Από το 2015, το EFFIS αποτελεί ένα από τα εργαλεία των Υπηρεσιών Διαχείρισης Έκτακτης Ανάγκης του προγράμματος Copernicus. Περιλαμβάνει διάφορες εφαρμογές σχετικές με τις δασικές

πυρκαγιές, μεταξύ άλλων, την εφαρμογή πρόγνωσης της υφιστάμενης κατάστασης στην Ευρώπη και στην περιοχή της Μεσογείου, η οποία δίνει επικαιροποιημένη πληροφορία χαρτών επικινδυνότητας βάσει μετεωρολογικών συνθηκών, πρόγνωση κινδύνου έξι ημερών και ημερήσιους χάρτες σημείων υψηλού κινδύνου και περιμέτρων φωτιάς (*European Forest Fire Information System, 2020*).

#### 2.4.2 Ελληνική Πραγματικότητα

Στην Ελλάδα, στα πλαίσια υποστήριξης της Διοίκησης και ενημέρωσης των πολιτών, η Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας εκδίδει ημερησίως τον χάρτη πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς για τις περιοχές της χώρας, στον οποίο απεικονίζονται πέντε επίπεδα επικινδυνότητας. Το ελάχιστο γεωγραφικό διαμέρισμα στον θεματικό χάρτη είναι τα διοικητικά όρια των Δασαρχείων. Στην κατάρτιση του χάρτη λαμβάνονται υπόψη οι ημερήσιες προβλέψεις της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ), οι μετρήσεις προηγούμενης βροχόπτωσης, υφιστάμενης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας από τους μετεωρολογικούς σταθμούς, καθώς και τα δεδομένα των μετεωρολογικών ραντάρ. Πρόσθετες πληροφορίες καιρικών συνθηκών λαμβάνονται από τα συστήματα πρόγνωσης καιρού της Ομάδας Ατμοσφαιρικών Μοντέλων και Πρόγνωσης Καιρού, του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Παράγοντες που συνεκτιμώνται αφορούν στην κατάσταση της βλάστησης, όπως η ποσότητα βιομάζας και χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης, με τη χρήση του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI).

Σύμφωνα με την Έκθεση της Ανεξάρτητης Επιτροπής, η οποία συστάθηκε το 2018 (ΦΕΚ 3937/Β/2018) για την διερεύνηση των προοπτικών διαχείρισης των μελλοντικών πυρκαγιών στην Ελλάδα, «οι επικίνδυνες περιοχές για την εκδήλωση πυρκαγιών στα δάση αναφέρονται στο Π.Δ 575/1980 και αποτυπώθηκαν με χωρική ανάλυση σε επίπεδο Δασαρχείου. Είναι πλέον αναγκαία, η αναθεώρηση της χωρικής αυτής αποτύπωσης του στατικού κινδύνου πυρκαγιών με κριτήρια επικινδυνότητας και όχι απλώς κινδύνου, λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία των τελευταίων δεκαετιών. Επίσης, σχετικά με την ημερήσια χαρτογραφική απεικόνιση του κινδύνου της ΓΓΠΠ, αναφέρεται ότι: «οι φορείς που είναι αποδέκτες και χρησιμοποιούν τον ημερήσιο χάρτη κινδύνου πυρκαγιάς της ΓΓΠΠ κρίνουν την πληροφόρηση την οποία παρέχει ως γενικώς επαρκή για τις επιχειρησιακές τους ανάγκες. Παράλληλα όμως εκδηλώνουν την επιθυμία για βελτίωση

της χωρικής ανάλυσης των εκτιμήσεων (από το επίπεδο του Δασαρχείου που χρησιμοποιεί ο χάρτης σήμερα) και το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη χάρτη μεσοπρόθεσμης εκτίμησης του κινδύνου πυρκαγιών σε εθνικό επίπεδο. Η δυνατότητα αυτή θα επιτρέψει την ορθολογική κατανομή των πόρων σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο σύμφωνα με την διακύμανση του επιπέδου επικινδυνότητας» (Goldammer *et al.*, 2019).

Επίσης, ειδικά για τις ζώνες διεπαφής οικιστικών περιοχών με τις δασικές εκτάσεις, έχει υλοποιηθεί έρευνα αξιολόγησης επικινδυνότητας με στόχο την αναγνώριση του ιδιαίτερα αυξημένου κινδύνου στις περιοχές αυτές από τους φορείς διαχείρισης και την Πολιτεία (Mitsopoulos *et al.*, 2020).

## 2.7 Συμπεράσματα

Παρουσιάζοντας συνοπτικά τα κύρια συμπεράσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αναφορικά με το θέμα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής και των βασικών συνιστωσών της μεθοδολογικής προσέγγισης, αναφέρονται τα εξής:

Σύμφωνα με την υπάρχουσα έρευνα, στις μελέτες μοντελοποίησης δυνητικού κινδύνου δασικών πυρκαγιών δεν χρησιμοποιείται ενιαίο σύστημα τυποποίησης της καύσιμης ύλης. Για την τυποποίηση της καύσιμης ύλης, που εν προκειμένω είναι η δασική βλάστηση, λαμβάνεται υπόψη η δομή και το δασοπονικό είδος, ξεχωριστά ή συνδυαστικά, καθώς αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν το είδος μιας δασικής πυρκαγιάς, αλλά και της συμπεριφορά της σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες (τοπογραφικούς, μετεωρολογικούς κ.λ.π).

Σχετικά με τις μεθόδους μοντελοποίησης της επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών, μέσα από την εκτενή παρουσίαση των τεχνικών που έχουν εφαρμοστεί μέχρι σήμερα, προκύπτει ότι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου, εξυπηρετεί την λήψη αποφάσεων σύμφωνα με τις ιδιαίτερες συνθήκες και την φυσιογνωμία των δασικών εκτάσεων της περιοχής. Τα αποτελέσματα της ανασκόπησης δείχνουν ότι οι προσεγγίσεις στατιστικής εφαρμόζονται συχνότερα, ενώ οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις συνδυασμού των τεχνικών είναι πιο ακριβείς (Naderpour *et al.*, 2019).

Δεδομένου ότι τα δορυφορικά δεδομένα Sentinel 2 είναι σχετικά πρόσφατα και η διάθεσή τους είναι δωρεάν, με αξιόλογα χαρακτηριστικά χωρικής, φασματικής και χρονικής διακριτικής ικανότητας, η εξέταση των δυνατοτήτων αξιοποίησης τους βρίσκεται σε έρευνα. Ειδικά στο πεδίο της διάκρισης των ειδών, τύπων και των βιοφυσικών χαρακτηριστικών της βλάστησης, η έρευνα των δυνατοτήτων των φασματικών καναλιών Sentinel 2 συνεχίζεται (Frampton *et al.*, 2013; Daryaei *et al.*, 2020).

Στα πλαίσια της ελληνικής πραγματικότητας και των επιχειρησιακών αναγκών, σύμφωνα με την Έκθεση της Ανεξάρτητης Επιτροπής, διαπιστώθηκε η ανάγκη βελτίωσης της χωρικής ανάλυσης των εκτιμήσεων, συνεπώς η δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας τοπικής κλίμακας με την αξιοποίηση λεπτομερειακών δεδομένων και συμπεριλαμβανομένων των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των περιοχών, καθίσταται αναγκαία.

# Κεφάλαιο 3

## Μεθοδολογία

### 3.1 Εισαγωγή

#### 3.1.1 Σκοπός-Στόχοι

Η παρούσα μεθοδολογία, ως προς τον αντικειμενικό της σκοπό, αποτελεί εφαρμοσμένη έρευνα για την δημιουργία ενός αξιόπιστου μοντέλου εκτίμησης του κινδύνου εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς με την αξιοποίηση των επιστημονικών στοιχείων και διαδικασιών που μέχρι στιγμής έχουν προκύψει από την βασική έρευνα στο συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην επιλογή και επωφελή χρησιμοποίηση όλων των σύγχρονων, λεπτομερειακών και έγκυρων διαθέσιμων χωρικών δεδομένων (π.χ. δορυφορική εικόνα Sentinel 2, Δασικός Χάρτης κ.α).

Σύμφωνα με τα αναμενόμενα αποτελέσματα, η παρούσα μεθοδολογία στοχεύει να δώσει απαντήσεις σε ερωτήματα όπως «που», «πως», «σε τι έκταση» και «σε τι βαθμό», η επιλεχθείσα περιοχή μελέτης πλήττεται από τον κίνδυνο εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς, με τρόπο σαφή, έγκυρο, επιστημονικό και σύμφωνο με τις αρχές της επιχειρησιακής έρευνας που διέπουν την ΠΚΑ, με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό την απλότητα στη σύλληψη και στην εκτέλεση της σε χωρικό πλαίσιο εφαρμογής.

#### 3.1.2 Ερευνητικά Ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα που πραγματεύεται η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική διατριβή είναι:

- Ποιοι είναι οι παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση μιας δασικής πυρκαγιάς
- Πως οι παράγοντες αλληλεπιδρούν με την εκδήλωση του φαινομένου και σε τι βαθμό επικινδυνότητας

- Ποια είναι τα γεωγραφικά κριτήρια που ερμηνεύουν ποσοτικά και ποιοτικά την σχέση των παραγόντων με το φαινόμενο και τον βαθμό επικινδυνότητας του
- Ποια είναι η χωρική κατανομή του βαθμού επικινδυνότητας εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς στην περιοχή μελέτης
- Πως η μεθοδολογία βοηθά του λήπτες αποφάσεων των αρμόδιων Φορέων στην επίλυση του προβλήματος

## 3.2 Εννοιολογικός Σχεδιασμός

Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας αφορά στον εννοιολογικό σχεδιασμό, ο πυρήνας του οποίου συνίσταται στον προσδιορισμό των παραγόντων που επιδρούν στην έναρξη μιας δασικής πυρκαγιάς, στον καθορισμό των αναγκαίων γεωγραφικών κριτηρίων για τον προσδιορισμό των ζωνών δυνητικού κινδύνου εκδήλωσης του φαινομένου και στον καθορισμό της μεθόδου επίλυσης του προβλήματος που αφορά στην διαβάθμιση της επικινδυνότητας εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς στα νησιά Κεφαλονιά και Ιθάκη. Ο εννοιολογικός σχεδιασμός ακολουθεί τα στάδια υλοποίησης ενός μοντέλου ΠΚΑ σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Kiker *et al.*, 2005). Διευκρινίζεται ότι το περιεχόμενο των σταδίων της μεθοδολογικής προσέγγισης είναι προσαρμοσμένο στην μέθοδο ΠΚΑ πολλαπλών περιγραφών (*Multi Attribute Decision Analysis-MADA*), εφόσον ο στόχος συνοψίζεται στην παραγωγή ενός χάρτη επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς και η ανάλυση βασίζεται στην αξιολόγηση κριτηρίων που ανταποκρίνονται σε μετρήσιμες περιγραφές σε ένα χωρικό πλαίσιο (Σχήμα 3.2.1).



Σχήμα 3.2.1: Στάδια εφαρμογής μοντέλου ΠΚΑ (Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων)

### 3.2.1 Προσδιορισμός κριτηρίων – Αξιολόγηση

Ο προσδιορισμός των κριτηρίων αφορά στην θεωρητική προσέγγιση της μεθοδολογίας. Οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση και διάδοση μιας δασικής πυρκαγιάς κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: γεωμορφολογικοί, περιβαλλοντικοί, ανθρωπογενείς. Οι παράμετροι που αναλύονται για κάθε κατηγορία διαμορφώνουν τα αναγκαία γεωγραφικά κριτήρια, τα οποία κατόπιν αξιολόγησης και κατάλληλης παραμετροποίησης θα αποτελούν τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο της ΠΚΑ.

#### 3.2.1.1 Γεωμορφολογικοί παράγοντες

*Κλίσεις:* Η τοπογραφική διαμόρφωση επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Αφενός η διάδοση της πυρκαγιάς είναι ταχύτερη σε επικλινή εδάφη, αφετέρου η πιθανότητα ανάφλεξης είναι μεγαλύτερη, λόγω της έντονης επιφανειακής απορροής που επιφέρει χαμηλά επίπεδα υγρασίας εδάφους, ενώ οι φλόγες βρίσκονται εγγύτερα στην βλάστηση. Η φωτιά προχωρεί με ταχύτητα πολύ μεγαλύτερη στα ανάντη μιας πλαγιάς παρά προς την κατωφέρεια (Παπαμίχος, 1996). Επίσης, τα επικλινή εδάφη

καθιστούν ιδιαιτέρως δυσχερή τον έγκαιρο έλεγχο και την ανάσχεση μιας πυρκαγιάς λόγω της δύσκολης πρόσβασης των επίγειων μέσω κατάσβεσης.

*Προσανατολισμός:* Σημαντικό παράγοντας για την εξέλιξη μιας δασικής πυρκαγιάς, λόγω της αναπόφευκτης επίδρασης στην υγρασία του εδάφους και της φερόμενης βλάστησης σύμφωνα με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στο Βόρειο ημισφαίριο, όπου εκτείνεται η περιοχή μελέτης, ο νότιος προσανατολισμός θεωρείται περισσότερο επικίνδυνος για τις πυρκαγιές, επειδή απορροφά μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα το έδαφος να έχει λιγότερη υγρασία (Παπαμίχος, 1996). Σε ότι αφορά τις ανατολικές και δυτικές εκθέσεις, αν και δέχονται το ίδιο άθροισμα ακτινοβολίας, οι πρώτες θερμαίνονται λιγότερο, καθώς τις πρωινές ώρες, μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας καταναλίσκεται για την εξάτμιση της πρωινής δρόσου και τη θέρμανση του εδάφους που ψύχθηκε κατά τη διάρκεια της νύχτας. Στις δυτικές πλαγιές, οι οποίες εκτίθενται στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία τις μεσημβρινές ώρες, το έδαφος έχει ήδη θερμανθεί, με αποτέλεσμα να θερμαίνεται περισσότερο σε σχέση με τις ανατολικές πλαγιές (Ντάφης, 1996).

*Υψόμετρο:* Το μεγαλύτερο ποσοστό εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών παρουσιάζεται σε περιοχές χαμηλού έως μέσου υψομέτρου (<600m). Η περιεχόμενη υγρασία εδάφους αλλά και της βλάστησης αυξάνεται με το υψόμετρο, ενώ αλληλεπιδρά με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, τη θερμοκρασία και την σχετική υγρασία του αέρα (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2020).

### 3.2.1.2 Περιβαλλοντικοί παράγοντες

*Δασική βλάστηση-καύσιμη ύλη:* Η φερόμενη δασική βλάστηση αποτελεί καύσιμη ύλη, καθώς όλα τα στοιχεία της (χόρτα, πόες, μικροί και μεγάλοι θάμνοι, δένδρα) αποτελούν εν δυνάμει αναφλέξιμα υλικά. Ο τρόπος που τα υλικά αυτά καίγονται και συνδράμουν στη συμπεριφορά της φωτιάς ποικίλει ανάλογα με τη διάταξή τους στο χώρο, την ποσότητά τους, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, τη θερμοκρασία τους και την περιεχόμενη υγρασία (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2020).

Η διάταξη στο χώρο, που αποτελεί κριτήριο της δομής της βλάστησης σε μια περιοχή, κατατάσσει την καύσιμη ύλη σε υποεδάφια, επιεδάφια και εναέρια. Η υποεδάφια

καύσιμη ύλη περιλαμβάνει τα αναφλέξιμα υλικά που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια, όπως ο βαθύς χούμος, οι ρίζες και οι αποσυντιθέμενοι κορμοί και κλάδοι. Ο τύπος αυτός καύσιμης ύλης, όταν διαθέτει χαμηλά επίπεδα περιεχόμενης υγρασίας, καίγεται με αργούς ρυθμούς λόγω της έλλειψης του απαραίτητου οξυγόνου. Επομένως, η συνεισφορά του στην εξάπλωση της πυρκαγιάς είναι ανεπαίσθητη. Όμως μπορεί να διατηρήσει τη φωτιά για ώρες ή ημέρες μετά την κατάσβεση της φλόγας, αποτελώντας πηγή αναζωπυρώσεων (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2020).

Η επιεδάφια καύσιμη ύλη συνίσταται από τα αναφλέξιμα υλικά που εντοπίζονται στο έδαφος ή ακριβώς επάνω από αυτό. Ο τύπος αυτός καύσιμης ύλης περιλαμβάνει:

- τον χούμο, δηλαδή τη νεκρή καύσιμη ύλη (βελόνες, φύλλα, μικρούς κλάδους κ.α) που έχει αποσυντεθεί σε βαθμό που είναι μη αναγνωρίσιμη η προέλευσή της,
- τον ξηροφυλλοτάπητα, ήτοι νεκρά κατακείμενα χόρτα, φύλλα, μικρά κλαδιά κ.α, υλικά που δεν έχουν προχωρήσει σε αποσύνθεση,
- τα χόρτα,
- τους χαμηλούς θάμνους ή φρύγανα,
- τα νεαρά δενδρύλλια,
- τους κατακείμενους κορμούς και κλάδους επί του εδάφους, προερχόμενους από φυσική αποκλάδωση, χιονοθλασία ή ανεμορριψία, υλοτομίες κ.α, και
- τα πρέμνα, δηλαδή τη βάση του δένδρου ύψους μερικών δεκάδων εκατοστών από το έδαφος που, εφόσον υλοτομηθεί και παραμένει στο δάσος (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2020).

Η αρχική ανάφλεξη των δασικών πυρκαγιών προκαλείται στην επιεδάφια καύσιμη ύλη. Επειδή υπάρχει επαρκές οξυγόνο, οι πυρκαγιές που εκδηλώνονται μπορεί να έχουν επικίνδυνη συμπεριφορά, κυρίως ως προς την ταχύτητα εξάπλωσης (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2020).

Η εναέρια καύσιμη ύλη περιλαμβάνει τα ζωντανά και νεκρά υλικά που βρίσκονται στην κόμη, ψηλά από το έδαφος, όπως τα κλαδιά, τα φύλλα ή τις βελόνες των δένδρων, νεκρά ιστάμενα δένδρα, υψηλούς θάμνους καθώς και άλλες μορφές βιομάζας που απαντώνται στην κόμη (αναρριχώμενα φυτά, βρύα κ.α). Η ανάφλεξη του τύπου αυτού καύσιμης ύλης αυξάνει ιδιαίτερος το μήκος της φλόγας και την ένταση της πυρκαγιάς. Επιπρόσθετα, ως υπόστρωμα καύσιμης ύλης διαθέτει τις προϋποθέσεις για τη μετάδοση της πυρκαγιάς με καύτρες σε μεγάλες αποστάσεις (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2020).

Η ποσότητα της καύσιμης ύλης, μετρήσιμη σε τόνους ανά στρέμμα ή σε κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο, είναι ένας από τους κύριους παράγοντες από τους οποίους

εξαρτάται η θερμική ένταση της πυρκαγιάς. Γενικότερα, όσο μεγαλύτερη η ποσότητα καύσιμης ύλης, τόσο περισσότερη είναι η διαθέσιμη ενέργεια προς έκλυση και η πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2020).

Ως εκ τούτου, εκτός από την δομή της βλάστησης, κατά την έννοια των τύπων καύσιμης ύλης που αναλύθηκαν, ιδιαίτερα σημαντική για την επικινδυνότητα του φαινομένου είναι και η πυκνότητα της βλάστησης (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2020).

*Καιρικές συνθήκες:* αποτελεί την πιο μεταβλητή παράμετρο που επηρεάζει το φαινόμενο της εκδήλωσης και εξάπλωσης της δασικής πυρκαγιάς. Η σχετική υγρασία αέρα, η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια και τα κατακρημνίσματα επιδρούν σημαντικά στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς, λόγω της επίδρασής τους στην περιεχόμενη υγρασία και στη θερμοκρασία της καύσιμης ύλης. Η ταχύτητα του ανέμου, αποτελεί τον πιο κρίσιμο παράγοντα για τη διάδοση και συμπεριφορά της φωτιάς (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2020).

### 3.2.1.3 Ανθρωπογενείς παράγοντες

*Οδικό δίκτυο:* μεγάλο ποσοστό περιστατικών εκκίνησης δασικών πυρκαγιών εντοπίζεται σε περιοχές πλησίον οδικού δικτύου. Ωστόσο, η σχέση του οδικού δικτύου με την επικινδυνότητα του φαινομένου είναι αμφίδρομη, καθώς παράλληλα λόγω της προσβασιμότητας που παρέχει μπορεί να συνδράμει στον έλεγχο και την κατάσβεση της πυρκαγιάς.

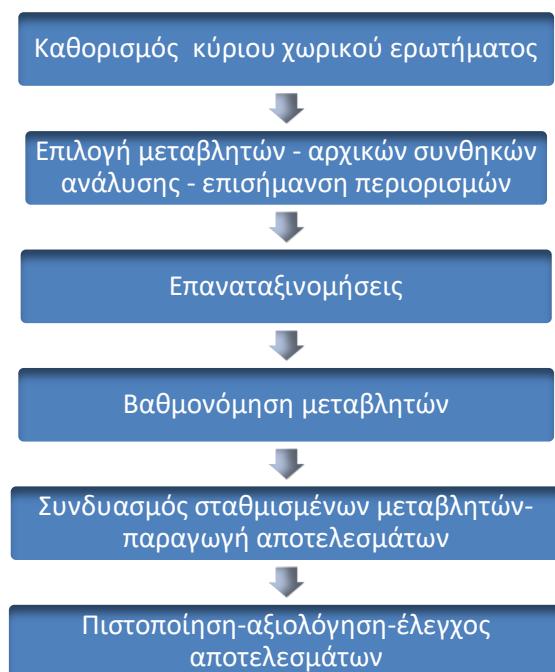
*Οικισμοί-αστικός ιστός:* ομοίως με το οδικό δίκτυο, η ανθρωπογενής δραστηριότητα είναι αυξημένη εντός της οικιστικής ζώνης. Πυρκαγιές δύναται να προκληθούν στα σημεία διεπαφής των οικισμών με την παρακείμενη βλάστηση, ωστόσο η παρουσία του ανθρώπου σε πολλές περιπτώσεις συμβάλλει στον έγκαιρο έλεγχο της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς.

### 3.2.2 Επιλογή μεθόδου – Σχεδιασμός διαδικασίας

Λαμβάνοντας υπόψη την γεωγραφική διάσταση των κριτηρίων και την χωρική ανάλυση και επεξεργασία που απαιτείται για την διάκριση των τμημάτων του χώρου της περιοχής

μελέτης σύμφωνα με την διαβάθμιση της επικινδυνότητας εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς, επιλέγεται η Χωρική Πολυκριτηριακή Ανάλυση (ΧΠΚΑ) ως μέθοδος εφαρμογής. Συμπληρωματικά, στην επιλογή της μεθόδου συνυπολογίστηκαν και άλλοι πρακτικοί παράγοντες όπως η δυνατότητα συλλογής των δεδομένων, το διαθέσιμο λογισμικό, η εμπειρία και το επιστημονικό υπόβαθρο του μελετητή.

Αναφορικά με τα διαθέσιμα εργαλεία και λογισμικά Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΠΣ) για την εφαρμογή των τεχνικών ΧΠΚΑ, επιλέγεται η πλήρης σύνδεση (*Full coupling*) των δυνατοτήτων επεξεργασίας χωρικών δεδομένων με τις τεχνικές ΧΠΚΑ, που παρέχει το λογισμικό ArcGIS Desktop (*Advanced*) του Ερευνητικού Ινστιτούτου Περιβαλλοντικών Συστημάτων (*ESRI- Environmental Systems Research Institute*). Συγκεκριμένα, η μέθοδος της Σταθμισμένης ΧΠΚΑ μέσω του εργαλείου «*Weighted Overlay*» της εργαλειοθήκης «*Spatial Analyst*». Μετά την επιλογή της μεθόδου τα βήματα της αναλυτικής διαδικασίας διαμορφώνονται κατάλληλα (Σχήμα 3.2.2.1)



Σχήμα 3.2.2.1: Βήματα διαδικασίας της σταθμισμένης χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης

Καθοριστικής σημασίας στάδιο για την εφαρμογή της μεθόδου και σύμφωνα με τον στόχο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία των δεδομένων. Τα μετεωρολογικά δεδομένα χρησιμοποιούνται στις μελέτες πρόβλεψης

ημερησίου κινδύνου δασικών πυρκαγιών, το οποίο δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, ως εκ τούτου ο παράγοντας των καιρικών συνθηκών της περιοχής δεν συνυπολογίζεται στην μεθοδολογία. Συνεπώς, λόγω του άμεσου συσχετισμού του κριτηρίου αυτού με το κριτήριο «υψόμετρο», αφαιρείται και αυτό από την διαδικασία.

Μετά την προσδιορισμό των κριτηρίων, την αξιολόγησή τους και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επιλογή της μεθόδου, οριστικοποιούνται οι μεταβλητές ανάλυσης σε σχέση με τα κριτήρια επικινδυνότητας του εννοιολογικού σχεδιασμού (Πίνακας 3.2.2.1).

Πίνακας 3.2.2.1: Μεταβλητές, κριτήρια παραμετροποίησης και σχετικά δεδομένα

Μεταβλητή	Κριτήριο επικινδυνότητας	Δεδομένα/Μορφή-δομή
Κλίσεις	Αύξηση κλίσεων των επιφανειών σηματοδοτεί αύξηση επικινδυνότητας του φαινομένου	Προϊόν επεξεργασίας ΨΥΜΕ (ΧΔΙ 30m)/raster
Προσανατολισμός	Ο νότιος και ο δυτικός προσανατολισμός επιφανειών σηματοδοτεί αύξηση της επικινδυνότητας του φαινομένου	Προϊόν επεξεργασίας ΨΥΜΕ (ΧΔΙ 30m)/raster
Καύσιμη ύλη (δασική βλάστηση)	Η επιεδάφια καύσιμη ύλη σηματοδοτεί αυξημένο κίνδυνο έναρξης και εξάπλωσης πυρκαγιάς. Η δενδρώδης βλάστηση (εναέρια καύσιμη ύλη) σηματοδοτεί αυξημένο κίνδυνο έναρξης και σφοδρής εξάπλωσης πυρκαγιάς	Προϊόν επεξεργασίας δορυφορικής εικόνας Sentinel2A (ΧΔΙ 10m), με εφαρμογή επιβλεπόμενης ταξινόμησης /raster
Οδικό δίκτυο	Όσο αυξάνεται η απόσταση από το οδικό δίκτυο, ο κίνδυνος εξάπλωσης της πυρκαγιάς αυξάνεται, λόγω της έλλειψης προσβασιμότητας από οχήματα και ανθρώπινο δυναμικό	Προϊόν ψηφιοποίησης υποβάθρου World Imagery basemaps ESRI ΧΔΙ 15m, έτη λήψης 2017-18/γραμμικό-vector

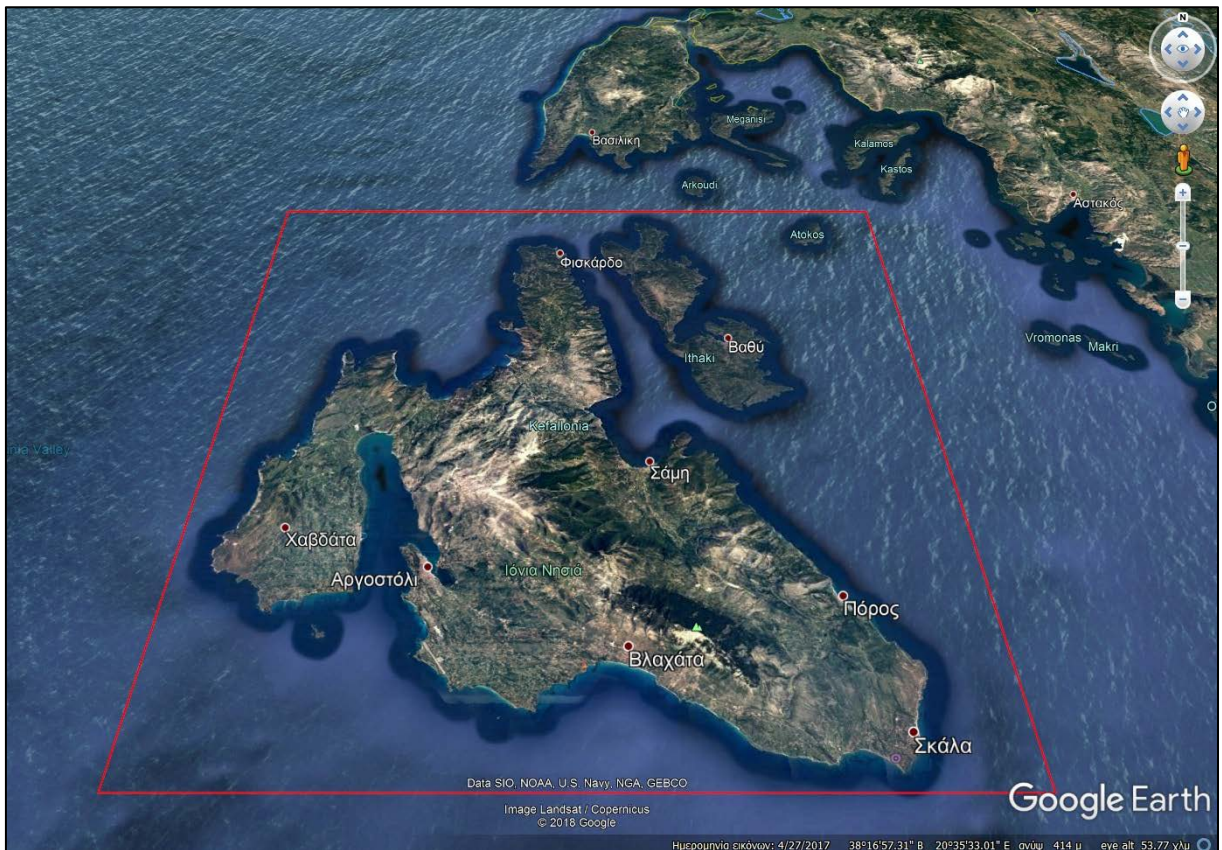
Μεταβλητή	Κριτήριο επικινδυνότητας	Δεδομένα/Μορφή-δομή
Οικισμοί-αστική ζώνη	Όσο αυξάνεται η απόσταση από τους οικισμούς, ο κίνδυνος εξάπλωσης της πυρκαγιάς αυξάνεται	Προϊόν επεξεργασίας δασικού χάρτη (2019)/πολυγωνικό-vector

### 3.3 Δεδομένα Μελέτης- Συλλογή - Προεπεξεργασία

Τα χωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση των σκοπών της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής συνίστανται από γεωγραφική και περιγραφική πληροφορία, διανυσματικής δομής (*vector*) σε τυποποίηση ESRI Shapefiles (\*.shp) και πλεγματικής δομής (*raster*) σε τυποποίηση GeoTIFF (\*.tif). Προέρχονται είτε από δευτερογενείς πηγές πληροφόρησης διαδικτυακών τόπων που παρέχουν ελεύθερη πρόσβαση, επαναχρησιμοποίηση και αναδιανομή συνόλων γεωχωρικών δεδομένων, πιστοποιημένων για την ακρίβεια και την ορθότητά τους, είτε από επίσημους Φορείς παροχής γεωγραφικών δεδομένων κατόπιν αιτήματος χορήγησης, είτε αποτελούν δευτερογενή δεδομένα που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

Η προεπεξεργασία των γεωχωρικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των δυνατοτήτων του λογισμικού ArcGIS Desktop (*Advanced*) και του λογισμικού QGIS, το οποίο διέπεται από την Γενική Άδεια Δημόσιας Χρήσης (*GNU-General Public License*) και αποτελεί επίσημο πρόγραμμα του Γεωχωρικού Ιδρύματος Ανοιχτού Κώδικα (*OSGeo-Open Source Geospatial Foundation*).

Προς διευκόλυνση της προεπεξεργασίας και διαχείρισης του συνόλου των γεωχωρικών δεδομένων, τα οποία παρουσιάζονται στις παρακάτω υποενότητες, δημιουργήθηκε ένα πολυγωνικό διανυσματικό αρχείο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως πεδίο ορισμού (*domain*) της περιοχής μελέτης στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87) και απεικονίζεται με κόκκινο περίγραμμα (Εικόνα 3.3.1).



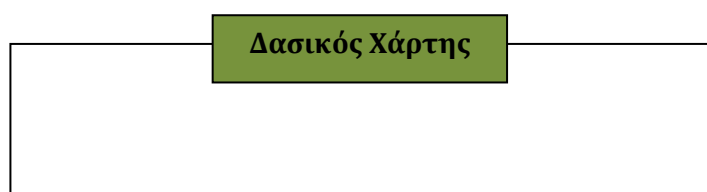
Εικόνα 3.3.1: Πεδίο ορισμού των νήσων Κεφαλληνίας-Ιθάκης σε υπόβαθρο GoogleEarth.

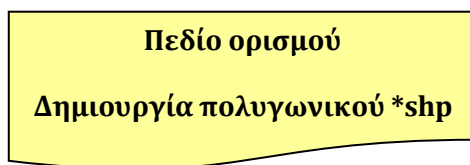
Στο Σχήμα 3.3.1 αποτυπώνεται συνοπτικά η διαδικασία της προεπεξεργασίας των συλλεχθέντων χωρικών δεδομένων. Ξεκινώντας από το πολυγωνικό διανυσματικό αρχείο του Δασικού Χάρτη εξήχθησαν σημαντικά χωρικά δεδομένα, όπως η ακτογραμμή των νήσων Κεφαλληνίας και Ιθάκης και των Καλλικρατικών Δήμων, με εφαρμογή της γεωγραφικής πράξης της συγχώνευσης (dissolve). Επίσης, τα γεωγραφικά όρια των κηρυγμένων εκτάσεων ως αναδασωτέων λόγω πυρκαγιάς, των σχεδίων πόλης αλλά και των δασικών και χορτολιβαδικών εκτάσεων που καλύπτουν την περιοχή μελέτης, προέκυψαν από την εφαρμογή των κατάλληλων χωρικών ερωτημάτων (select by attributes).

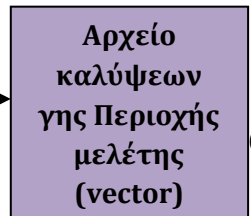
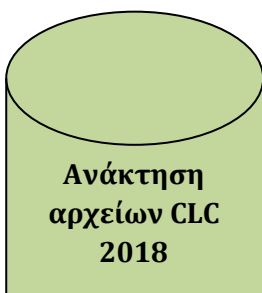
Ακολούθησε η δημιουργία του πολυγωνικού αρχείου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως πεδίο ορισμού της περιοχής μελέτης για την ανάκτηση πλεγματικών δεδομένων όπως η δορυφορική εικόνα Sentinel 2A και το Ψηφιακό Ύψομετρικό Μοντέλο Εδάφους (ΨΥΜΕ). Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε ατμοσφαιρική διόρθωση στα φασματικά κανάλια της εικόνας και περικοπή όλων των πλεγματικών δεδομένων (ΨΥΜΕ, κανάλια δορυφορικής)

στα όρια του διανυσματικού αρχείου της ακτογραμμής. Από το ΨΥΜΕ, προέκυψαν κατόπιν επεξεργασίας, σημαντικές γεωμορφολογικές παράμετροι όπως οι ισοϋψείς, οι κλίσεις και οι εκθέσεις. Τέλος, ανακτήθηκαν τα πλεγματικά και διανυσματικά δεδομένα κάλυψης γης Corine Land Cover (CLC), ενώ ακολούθησε περικοπή αυτών στα όρια της ακτογραμμής. Το οδικό δίκτυο δημιουργήθηκε στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας διατριβής, με ψηφιοποίηση σε υπόβαθρο World Imagery Basemaps ESRI. Για την ορθή αξιοποίηση του γραμμικού διανυσματικού αρχείου των δρόμων, υλοποιήθηκε τοπολογικός έλεγχος και διόρθωση τυχόν σφαλμάτων.

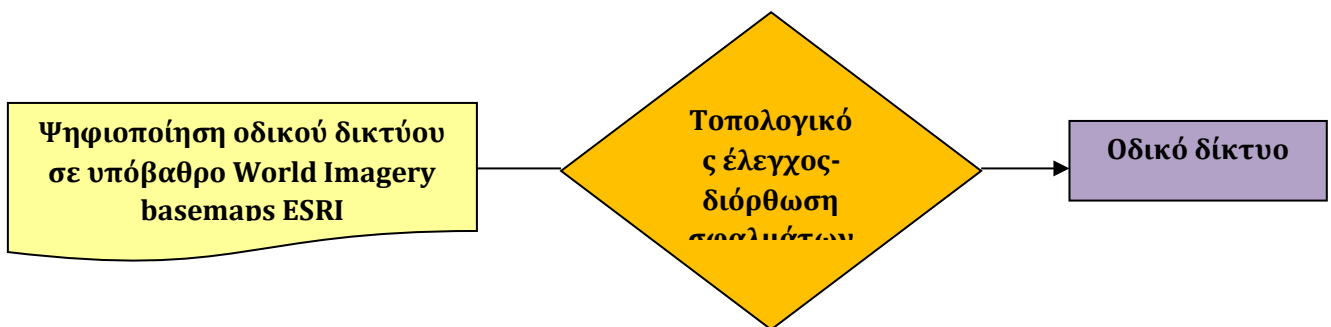
Οι ενέργειες προεπεξεργασίας περιγράφονται αναλυτικά στα αντίστοιχα κεφάλαια παρακάτω.







61



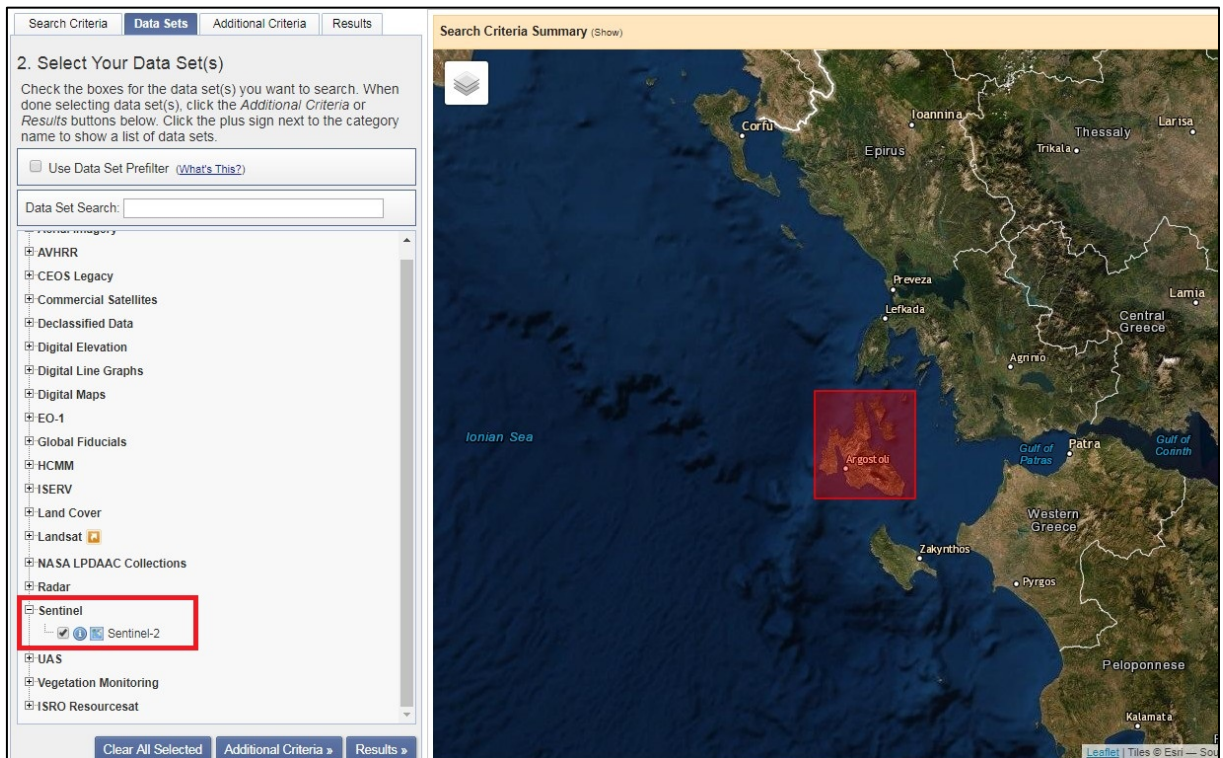
Σχήμα 3.3.1: Διάγραμμα ροής προεπεξεργασίας και παραγωγής χωρικών δεδομένων της μελέτης

### 3.3.1 Δορυφορική Εικόνα Sentinel 2A

Η ανάκτηση της δορυφορικής εικόνας Sentinel 2A πραγματοποιήθηκε μέσω της μηχανής αναζήτησης Earth Explorer του ιστότοπου ελεύθερης πρόσβασης γεωδεδομένων (USGS, 2019) που διαχειρίζεται ο Φορέας Γεωλογικής Έρευνας (USGS-United States Geological Survey) και υπάγεται στο Υπουργείο Εσωτερικών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Τα προϊόντα του δορυφορικού συστήματος Sentinel 2 συλλέγονται, επεξεργάζονται και παράγονται από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA-European Space Agency) και αναδιανέμονται από τον Φορέα Γεωλογικής Έρευνας (USGS) υπό τους όρους της πολιτικής δεδομένων και των τεχνικών προδιαγραφών του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Γεωεπισκόπησης Copernicus.

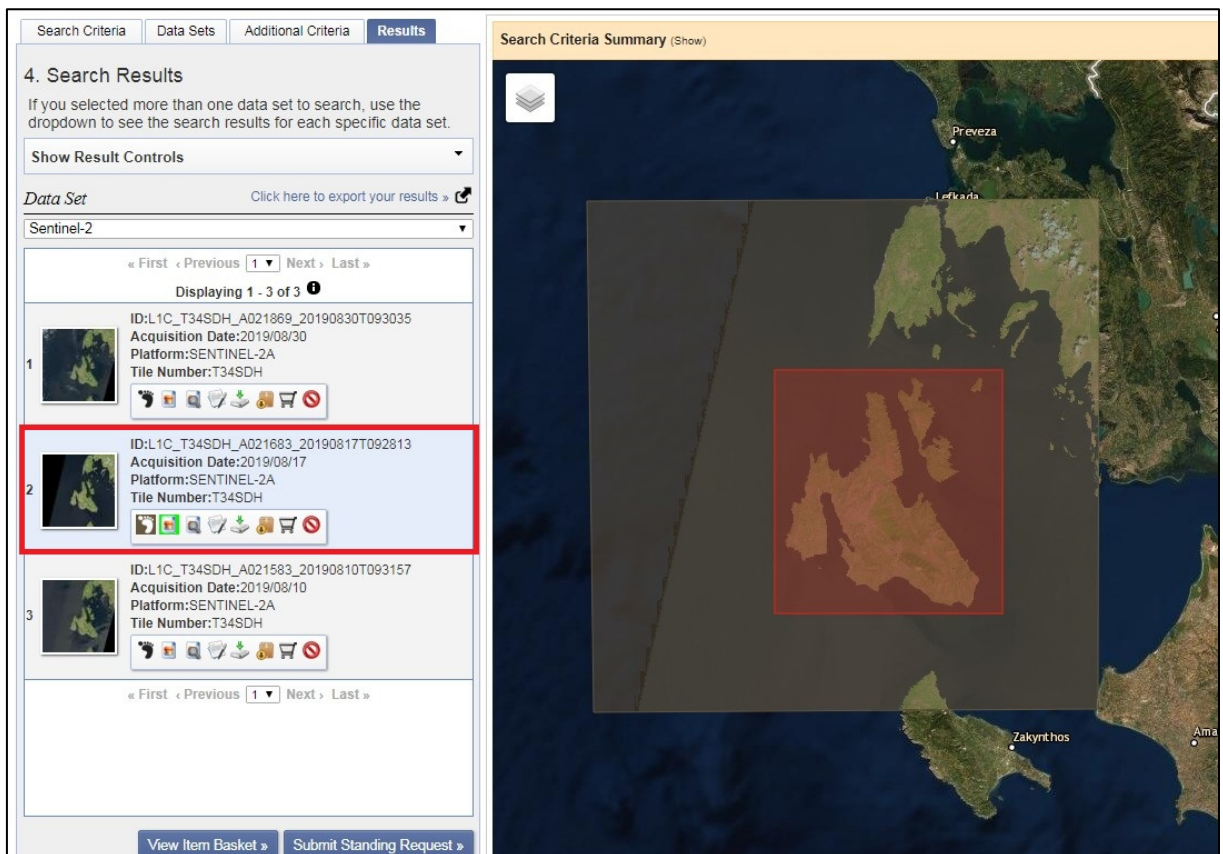
Η διαδικασία ανάκτησης, αρχικά, περιλαμβάνει τον εντοπισμό της περιοχής ενδιαφέροντος στο παράθυρο γεωγραφικής εξερεύνησης του προαναφερόμενου διαδικτυακού τόπου, με την εισαγωγή του πεδίου ορισμού (*domain*) της περιοχής

μελέτης σε τυποποίηση αρχείου Google Earth (\*.kml) και την εισαγωγή των κριτηρίων που αφορούν στο χρονικό εύρος αναζήτησης, το οποίο για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής ορίστηκε ως ο μήνας Αύγουστος του 2019. Στην συνέχεια επιλέχθηκε το σύνολο των τηλεσκοπικών δεδομένων (*data set*) του συστήματος Sentinel 2A (Εικόνα 3.3.1.1), ενώ στα πρόσθετα κριτήρια καθορίστηκε το ποσοστό νεφοκάλυψης (<10%) και η κατηγορία προϊόντων του δορυφόρου 2A.



Εικόνα 3.3.1.1: Εντοπισμός περιοχής ενδιαφέροντος και επιλογή συνόλου δεδομένων στην πλατφόρμα Earth Explorer USGS

Η επιλογή της δορυφορικής εικόνας πραγματοποιήθηκε κατόπιν εξέτασης των αποτελεσμάτων αναζήτησης μέσω της δυνατότητας προεπισκόπησης της γεωγραφικής κάλυψης (*footprint*) και του θεματικού περιεχομένου (*quick view*) των δορυφορικών εικόνων που παρέχει το περιβάλλον της μηχανής αναζήτησης Earth Explorer (Εικόνα 3.3.1.2)



Εικόνα 3.3.1.2: Επιλογή και απεικόνιση της γεωγραφικής κάλυψης της επιλεχθείσας δορυφορικής εικόνας Sentinel 2A έκτασης 100\*100Km, σε σχέση με το πεδίο ορισμού της περιοχής μελέτης.

Σχετικά με τα βασικά στοιχεία των μεταδεδομένων της επιλεχθείσας δορυφορικής εικόνας Sentinel 2A, αναφέρονται τα εξής:

- ο κωδικός ταυτοποίησης (*Entity ID*): L1C\_T34SDH\_A021683\_20190817T092813
- η ημερομηνία καταγραφής και ανάκτησης των δεδομένων (*Acquisition date*): 17 Αυγούστου 2019
- το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (*Datum*): WGS84
- το αζιμούθιο ηλίου (*Sun Azimuth*), μέσος όρος γωνίας: 142
- το ύψος ηλίου (*Sun Zenith*), μέσος όρος γωνίας: 29

Συμπληρωματικά, επισημαίνεται ότι το επίπεδο επεξεργασίας (*processing level*) 1C της δορυφορικής εικόνας, το οποίο προσδιορίζεται από το πρώτο συνθετικό του κωδικού ταυτοποίησης, υποδεικνύει ότι η εικόνα λαμβάνεται προς χρήση γεωμετρικά και ραδιομετρικά διορθωμένα, σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές διάθεσης των προϊόντων Sentinel 2A (ESA, 2015).

Τα μεταδεδομένα που αφορούν στην ραδιομετρική (ΡΔΙ) και χωρική διακριτική ικανότητα (ΧΔΙ) αναφορικά με το σύνολο των πλεγματικών δεδομένων που συνοδεύουν την δορυφορική εικόνα Sentinel 2A (Εικόνα 3.3.1.3) παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.1.1.

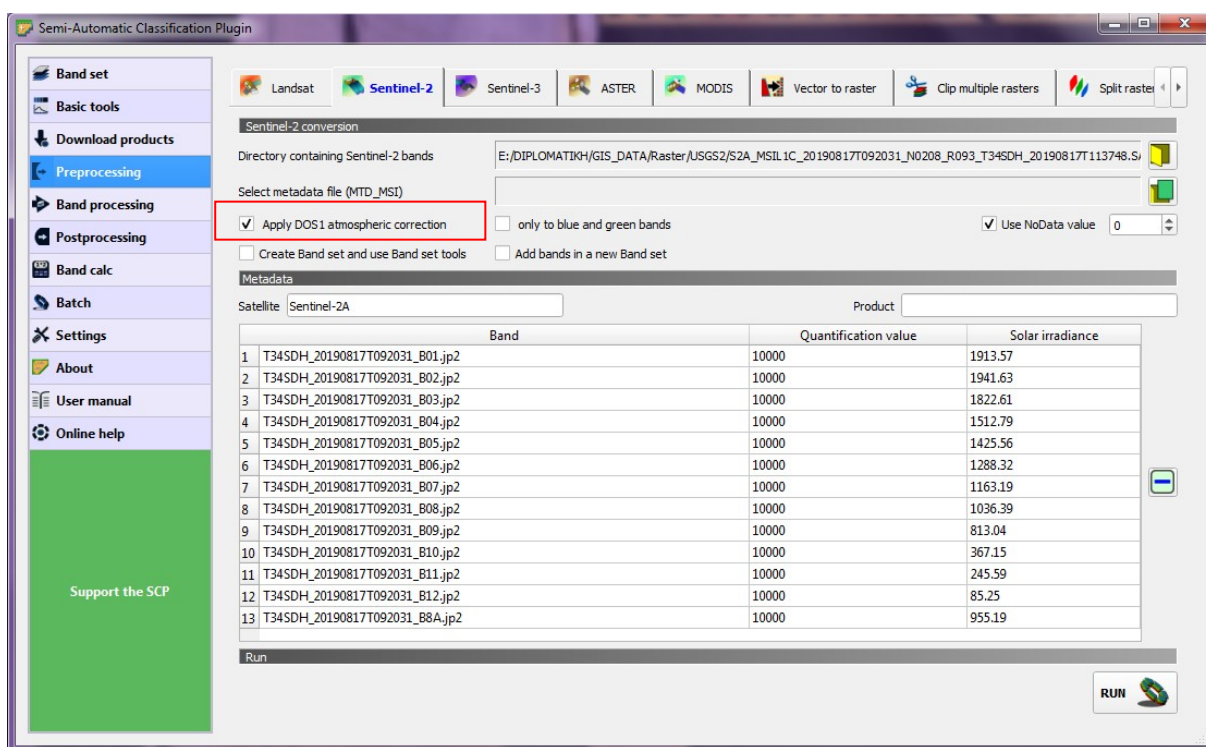
Πίνακας 3.3.1.1: Ραδιομετρική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα Sentinel 2 (USGS, 2019)

Αριθμός Καναλιού	Κεντρικό Μήκος Κύματος (nm)	Φασματικό εύρος (nm)	ΧΔΙ (m)
1	443	20	60
2	490	65	10
3	560	35	10
4	665	30	10
5	705	15	20
6	740	15	20
7	783	20	20
8	842	115	10
8a	865	20	20
9	945	20	60
10	1375	30	60
11	1610	90	20
12	2190	180	20
True Colour Image (TCI)	RGB	-	10



### Εικόνα 3.3.1.3: Έγχρωμο σύνθετο (*True Color Image*) Sentinel 2A της περιοχής μελέτης

Για την ορθή χρήση και αξιοποίηση των τιμών των εικονοστοιχείων των φασματικών καναλιών της δορυφορικής εικόνας πραγματοποιήθηκε ατμοσφαιρική διόρθωση των προϊόντων με την εφαρμογή της τεχνικής αφαίρεσης των σκοτεινών αντικειμένων (*Dark Object Subtraction-DOS*). Λόγω των ατμοσφαιρικών επιδράσεων και του φαινομένου της σκέδασης, οι τιμές των εικονοστοιχείων είναι διαφορετικές από αυτές που θα ήταν χωρίς τις επιδράσεις της ατμόσφαιρας στην διάδοση της ακτινοβολίας μέχρι τα δορυφορικά όργανα καταγραφής. Η τεχνική αυτή στοχεύει στην μείωση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας στην καταγραφόμενη ακτινοβολία και στην επαναφορά των φυσικών τιμών, ώστε η τιμή του κάθε εικονοστοιχείου να απεικονίζει την τιμή της ανάκλασης από την επιφάνεια της γης (εύρος ανάκλασης 0-1). Η τεχνική πραγματοποιήθηκε με την χρήση της εργαλειοθήκης «*Preprocessing*» της πρόσθετης εφαρμογής επεξεργασίας και ταξινόμησης τηλεπισκοπικών δεδομένων *Semi-Automatic Classification Plugin* του λογισμικού QGIS, με την επιλογή «*Apply DOS1 atmospheric correction*» (Εικόνα 3.3.1.4)



Εικόνα 3.3.1.4: Εφαρμογή τεχνικής DOS1 στο περιβάλλον *Semi-Automatic Classification Plugin* QGIS

Παρακάτω απεικονίζεται το φασματικό κανάλι B08 της δορυφορικής εικόνας πριν και μετά της εφαρμογή της τεχνικής DOS1, με εύρος τιμών εικονοστοιχείου πριν 0-9004 και μετά 0,0093-1 (Εικόνα 3.3.1.5)



Εικόνα 3.3.1.5: Κανάλι B08 πριν και μετά την εφαρμογή της τεχνικής DOS1

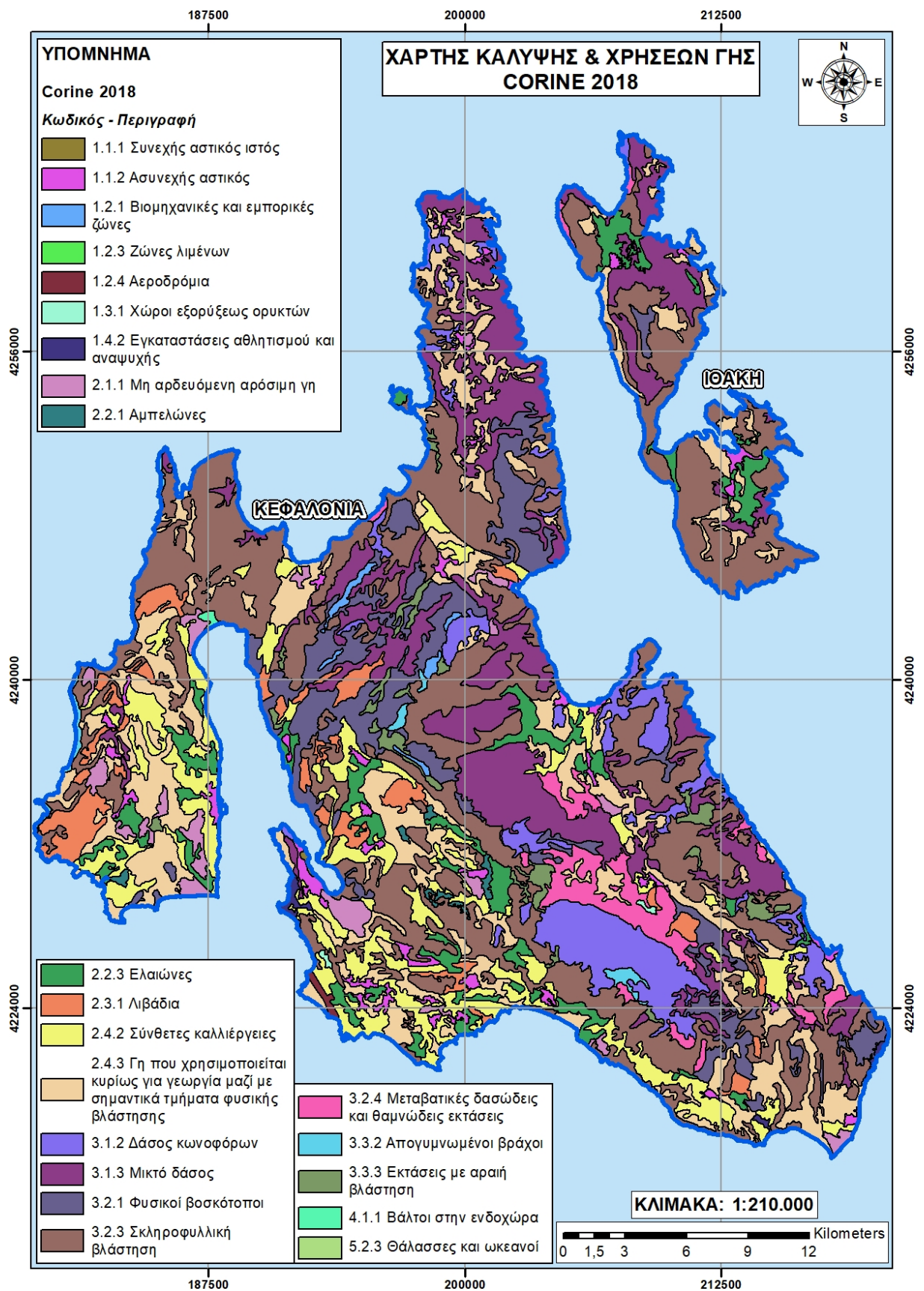
Για την ομοιογενή διαχείριση του συνόλου των γεωχωρικών δεδομένων στα πλαίσια της επερχόμενης επεξεργασίας για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής, πραγματοποιήθηκε περικοπή (*clip*) των πλεγματικών δεδομένων της δορυφορικής εικόνας, στα όρια της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιώντας ως μάσκα περικοπής το σχετικό διανυσματικό αρχείο που δημιουργήθηκε.

### 3.3.2 Δεδομένα Κάλυψης γης-Corine

Τα χωρικά δεδομένα εδαφοκάλυψης ανακτήθηκαν από τον διαδικτυακό τόπο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Γεωεπισκόπησης Copernicus, αναφέρονται στο έτος 2018 και αποτελούν τα πρόσφατα παραδοτέα του έργου Corine Land Cover. Είναι ψηφιδωτής δομής (*raster*) σε τυποποίηση GeoTIFF (\*.tif), με χωρική ανάλυση 10 μέτρων (Copernicus Programme, 2019) και γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς EPSG 3857. Η αντίστοιχη πληροφορία ανακτήθηκε και σε μορφότυπο διανυσματικών δεδομένων (*vector*) (Χάρτης 3.3.2.1).

Το θεματικό περιεχόμενο του έργου Corine Land Cover (CLC) είναι αποτέλεσμα επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 πρωτίστως και Landsat 8, όπου υπήρχε κενό κάλυψης επιφάνειας γης και αναφέρεται σε σαράντα τέσσερις κατηγορίες κάλυψης γης. Το χρονικό εύρος του έργου αναφέρεται στα έτη 2017 μέχρι 2018, ενώ η ελάχιστη χαρτογραφική μονάδα είναι 25 ha/100m.

Για λόγους ομοιογένειας και ομαλή διαχείρισης του συνόλου των χρησιμοποιούμενων γεωχωρικών δεδομένων, πραγματοποιήθηκε περικοπή του πλεγματού αρχείου καλύψεων γης Corine στα όρια του πολυγωνικού αρχείου της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιώντας ως μάσκα περικοπής το σχετικό διανυσματικό αρχείο.

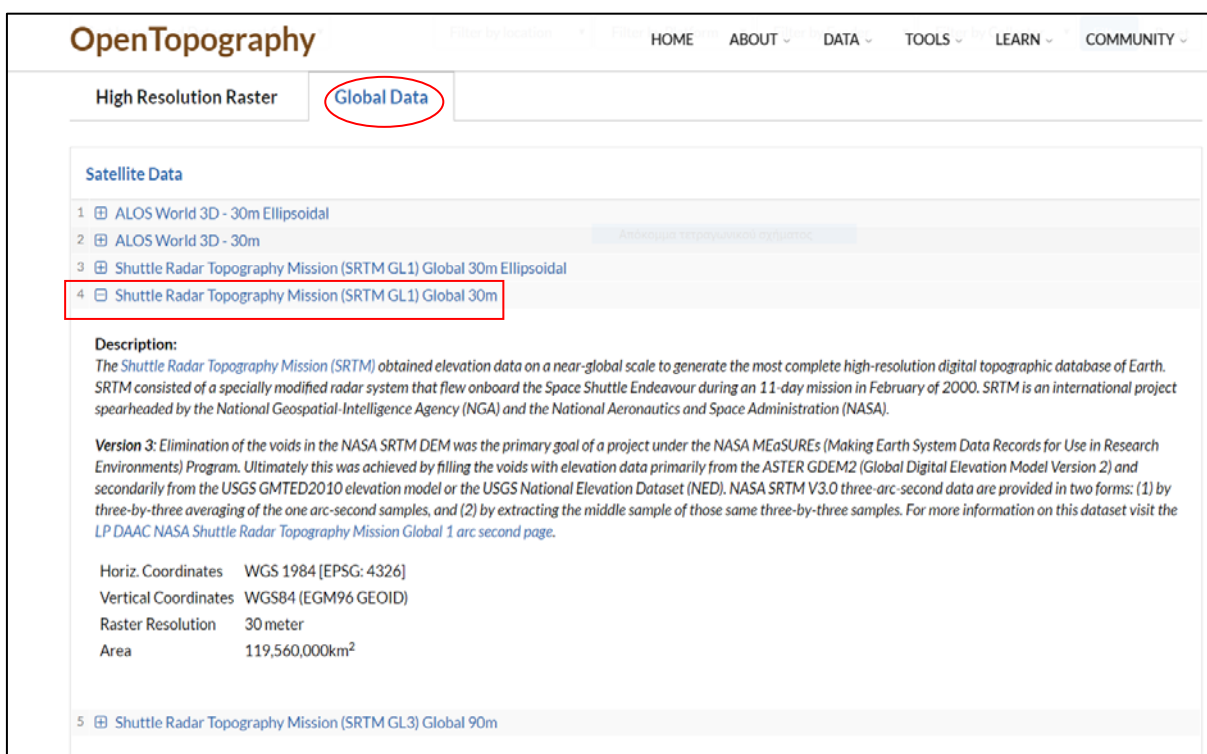


Χάρτης 3.3.2.1: Χάρτης κάλυψης/χρήσης γης CLC

### 3.3.3 Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους - DEM

Η ανάκτηση του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου Εδάφους (ΨΥΜΕ) πραγματοποιήθηκε από τον ιστότοπο ελεύθερης πρόσβασης τοπογραφικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης, που υποστηρίζεται από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών (*National Science Foundation-NCA*) των Ηνωμένων Πολιτειών (Open Topography, 2019). Τα υψομετρικά δεδομένα προέρχονται από ενεργητικό δορυφορικό σύστημα παρακολούθησης στα πλαίσια της αποστολής «Διαδρομή Ραδιοεντοπισμού Τοπογραφίας» (*Shuttle Radar Topography Mission-SRTM*), υπό την αιγίδα του Εθνικού Οργανισμού Γεωχωρικής Πληροφορίας (*National Geospatial-Intelligence Agency-NGA*) και της Εθνικής Διακυβέρνησης Αεροναυτικής και Διαστήματος (*National Aeronautics and Space Administration-NASA*) των Ηνωμένων Πολιτειών. Τα παραγόμενα ΨΥΜΕ προέρχονται από επεξεργασία εικόνων Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος (*Synthetic Aperture Radar-SAR*) με την τεχνική της συμβολομετρίας συνθετικού ανοίγματος (*Interferometry -InSAR*)

Μέσω της αρχικής σελίδας (*home*) του ιστότοπου των Ανοικτών Τοπογραφικών Δεδομένων (*Open Topography*) και της διαδρομής *Data/Data Catalog/Global Data*, επιλέχθηκαν τα προϊόντα ΨΥΜΕ SRTM GL1, με ΧΔΙ 30m, σε Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS 1984 (Εικόνα 3.3.3.1) και ψηφιακή ανάλυση εικόνας 16bits.



**OpenTopography** HOME ABOUT DATA TOOLS LEARN COMMUNITY

High Resolution Raster **Global Data**

**Satellite Data**

- ALOS World 3D - 30m Ellipsoidal
- ALOS World 3D - 30m
- Shuttle Radar Topography Mission (SRTM GL1) Global 30m Ellipsoidal
- Shuttle Radar Topography Mission (SRTM GL1) Global 30m**
- Shuttle Radar Topography Mission (SRTM GL3) Global 90m

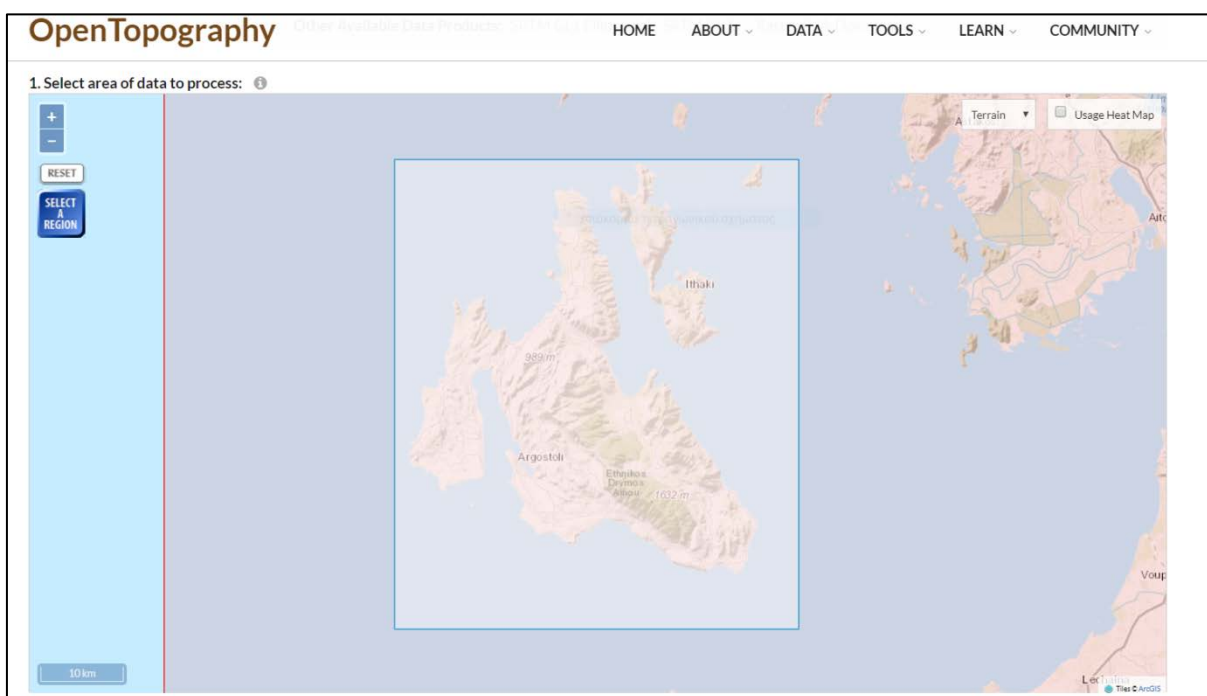
**Description:**  
The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) obtained elevation data on a near-global scale to generate the most complete high-resolution digital topographic database of Earth. SRTM consisted of a specially modified radar system that flew onboard the Space Shuttle Endeavour during an 11-day mission in February of 2000. SRTM is an international project spearheaded by the National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) and the National Aeronautics and Space Administration (NASA).

**Version 3:** Elimination of the voids in the NASA SRTM DEM was the primary goal of a project under the NASA MEaSUREs (Making Earth System Data Records for Use in Research Environments) Program. Ultimately this was achieved by filling the voids with elevation data primarily from the ASTER GDEM2 (Global Digital Elevation Model Version 2) and secondarily from the USGS GMTED2010 elevation model or the USGS National Elevation Dataset (NED). NASA SRTM V3.0 three-arc-second data are provided in two forms: (1) by three-by-three averaging of the one arc-second samples, and (2) by extracting the middle sample of those same three-by-three samples. For more information on this dataset visit the LP DAAC NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second page.

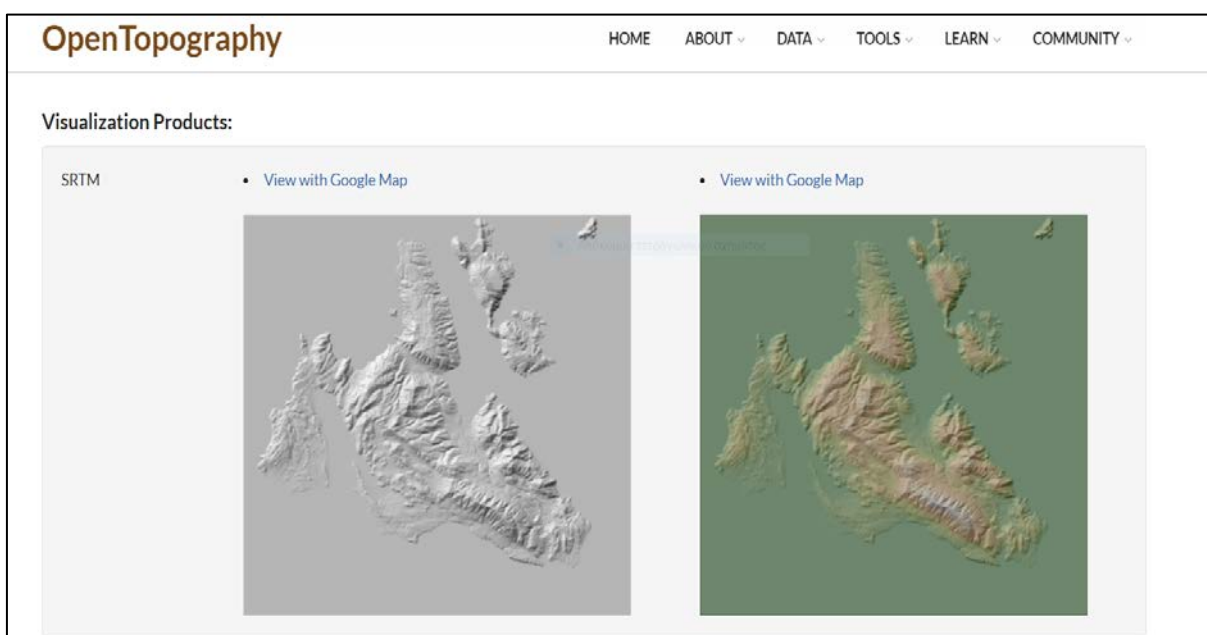
Horiz. Coordinates WGS 1984 [EPSG: 4326]  
Vertical Coordinates WGS84 (EGM96 GEOID)  
Raster Resolution 30 meter  
Area 119,560,000km<sup>2</sup>

Εικόνα 3.3.3.1: Επιλογή του συνόλου δεδομένων ΨΥΜΕ (Open Topography, 2019)

Εν συνεχεία, στο παράθυρο γεωγραφικής αναζήτησης που ακολουθεί, ορίστηκε η περιοχή ενδιαφέροντος (Εικόνα 3.3.3.2) και ακολούθως, η τυποποίηση των ανακτηθέντων δεδομένων (\*.Geotiff) και ο τρόπος οπτικοποίησής τους, υπό την μορφή σκιασμένου αναγλύφου (*hillshade*), για την αξιολόγηση του παραγόμενου ΨΥΜΕ πριν την ανάκτησή του (Εικόνα 3.3.3.3).



Εικόνα 3.3.3.2: Καθορισμός γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής ενδιαφέροντος για την ανάκτηση των υψομετρικών δεδομένων (Open Topography, 2019)



Εικόνα 3.3.3.3: Οπτικοποίηση ΨΥΜΕ σε εικόνα σκιασμένου αναγλύφου (*hillshade image*) (Open Topography, 2019)

Στα πλαίσια της προεπεξεργασίας των χωρικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε περικοπή του ΨΥΜΕ χρησιμοποιώντας ως μάσκα το διανυσματικό αρχείο της ακτογραμμής των νήσων Κεφαλληνίας και Ιθάκης. Το ΨΥΜΕ αξιοποιήθηκε για την παραγωγή λοιπών χρήσιμων χωρικών δεδομένων όπως ισοϋψείς, κλίσεις και προσανατολισμών εδάφους.

### 3.3.4 Δασικός Χάρτης – Σχέδια Πόλης

Τα γεωχωρικά δεδομένα του Δασικού Χάρτη (Χάρτης 3.3.4.1) των νήσων Κεφαλληνίας και Ιθάκης αποτελούν παραδοτέο της μελέτης με τίτλο «Κατάρτιση Και Επικαιροποίηση Δασικών Χαρτών Περιφερειακών Ενοτήτων Ζακύνθου, Ιθάκης, Κέρκυρας, Κεφαλληνίας και Λευκάδας» στα πλαίσια του έργου «Ανάθεση Μελετών Κατάρτισης Δασικού Χάρτη στο υπόλοιπο της Χώρας (FOREST MAP 7)» του Ελληνικού Κτηματολογίου.

Το θεματικό περιεχόμενο του Δασικού Χάρτη αφορά στον προσδιορισμό των δασικών και χορτολιβαδικών εκτάσεων, ως αποτέλεσμα την χωροχρονικής σύνθεσης των οριογραμμών εδαφοκάλυψης, όπως προκύπτουν από την στερεοσκοπική φωτοερμηνεία των αεροφωτογραφιών του ιστορικού έτους 1945 ή 1960 και των ορθοεικόνων πρόσφατης λήψης LS025, οι οποίες αναφέρονται στο έτος 2015. Εκτός από την φωτοερμηνευτική απόδοση της δασικής ή μη μορφής εδαφοκάλυψης, στο θεματικό περιεχόμενο λαμβάνονται υπόψη και άλλες παράμετροι όπως η σχετική νομοθεσία, διοικητικές πράξεις και τα σχέδια πόλης. Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (*datum*) του Δασικού Χάρτη είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (EGSA 87), με ελλειψοειδές αναφοράς GRS 80 (Τεχνικές Προδιαγραφές Κατάρτισης Δασικών Χαρτών - ΦΕΚ 2373/Β/12.7.2017).

Λόγω της υψηλής χωρικής ανάλυσης του χρησιμοποιούμενου υποβάθρου για την κατάρτιση του Δασικού Χάρτη, η οποία ανέρχεται στα 0,25 μέτρα στο έδαφος, αλλά και των διενεργούμενων ποιοτικών ελέγχων του προϊόντος, οι οποίοι μεταξύ άλλων, περιλαμβάνουν και την επαλήθευση του θεματικού περιεχομένου και της ακρίβειας οριοθέτησης των μορφών εδαφοκάλυψης του χάρτη επί του εδάφους, τα διανυσματικά

δεδομένα του Δασικού Χάρτη αποδίδουν λεπτομερειακά το χωρικό πρότυπο της δασικής βλάστησης της περιοχής μελέτης.

Η προεπεξεργασία του πολυγωνικού διανυσματικού αρχείου του Δασικού Χάρτη περιλαμβάνει την εξαγωγή σημαντικών χωρικών δεδομένων, όπως η ακτογραμμή των νήσων Κεφαλληνίας και Ιθάκης, των γεωγραφικών ορίων των κηρυγμένων εκτάσεων ως αναδασωτέων λόγω πυρκαγιάς, των σχεδίων πόλης και των Καλλικρατικών Δήμων αλλά και των δασικών και μη δασικών εκτάσεων που καλύπτουν την περιοχή μελέτης.

Η επιλογή των πολυγώνων του Δασικού Χάρτη που αναπαριστούν την γεωμετρική και θεματική πληροφορία της υφιστάμενης δασικής βλάστησης στην περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή χωρικού ερωτήματος (*select by attributes*) στην χωρική βάση δεδομένων, σύμφωνα με το οποίο εξήχθησαν τα πολύγωνα που έστω σε ένα από τα βασικά πεδία χαρακτηρισμού τους (KATHGORDX, KATHGORAL1, KATHGORAL2) φέρουν πληροφορία δάσους ή εν γένει δασικής ή χορτολιβαδικής μορφής εδαφοκάλυψης, ήτοι:

«ΔΔ»: δάση και δασικές εκτάσεις στις α/φ παλαιότερης λήψης - δάση και δασικές εκτάσεις στις α/φ πρόσφατης λήψης & στις αυτοψίες

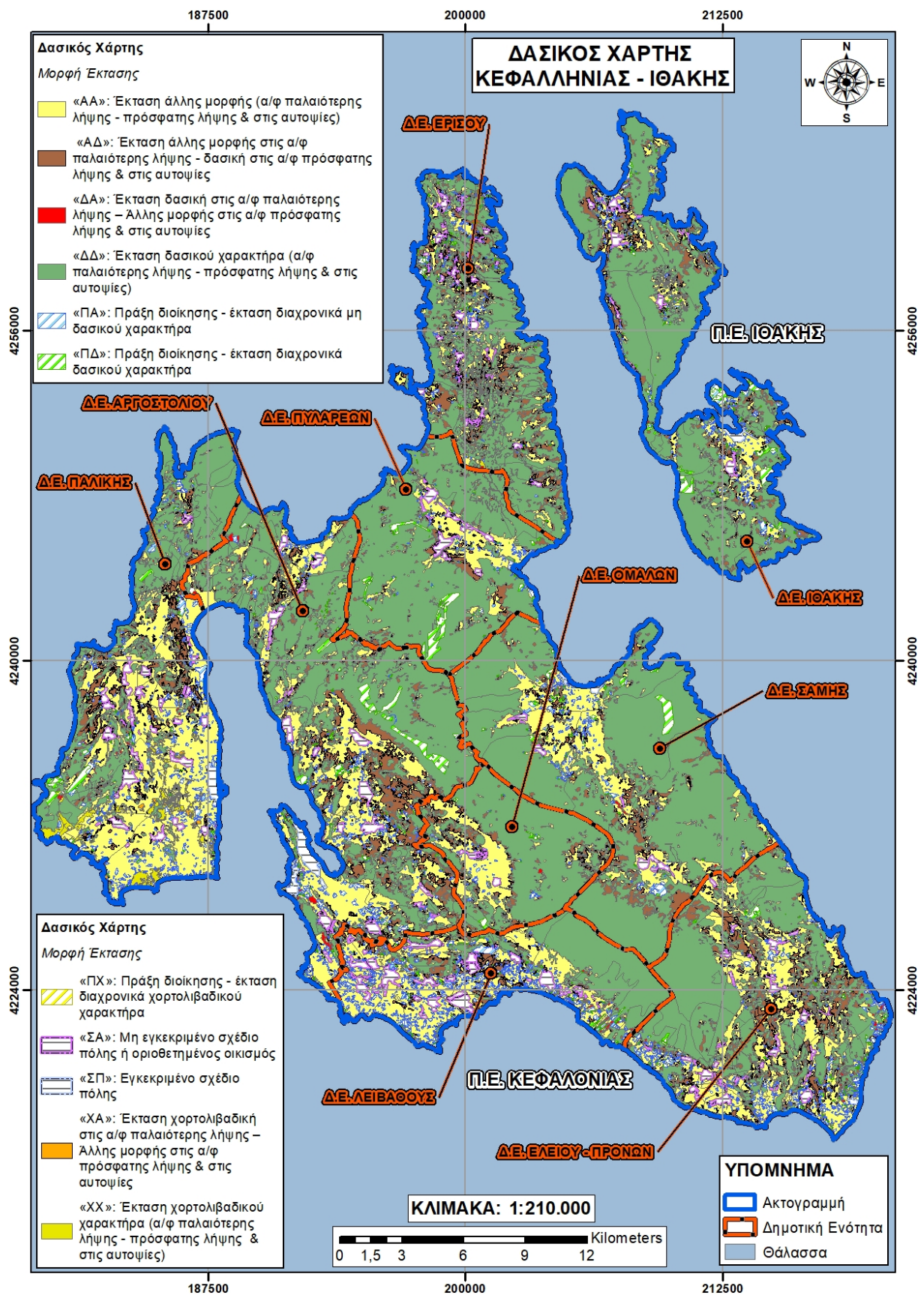
«ΑΔ»: άλλης μορφής / κάλυψης εκτάσεις στις α/φ παλαιότερης λήψης - δάση και δασικές εκτάσεις στις α/φ πρόσφατης λήψης & στις αυτοψίες

«ΧΧ»: χορτολιβαδικές εκτάσεις στις α/φ παλαιότερης λήψης - χορτολιβαδικές εκτάσεις στις α/φ πρόσφατης λήψης & στις αυτοψίες

«ΠΔ»: πράξη διοίκησης κατά την οποία οριοθετείται έκταση διαχρονικά δασικού χαρακτήρα

«ΠΧ»: πράξη διοίκησης κατά την οποία οριοθετείται έκταση διαχρονικά χορτολιβαδικού χαρακτήρα

Το θεματικό επίπεδο των σχεδίων πόλης προέκυψε από την επιλογή (*select by attributes*) των πολυγώνων του Δασικού Χάρτη, τα οποία στο πεδίο KATHGORDX ενσωματώνουν την πληροφορία «ΣΠ» ή «ΣΑ» και αφορούν σε εγκεκριμένα ή μη σχέδια πόλης ή οικισμούς από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας.

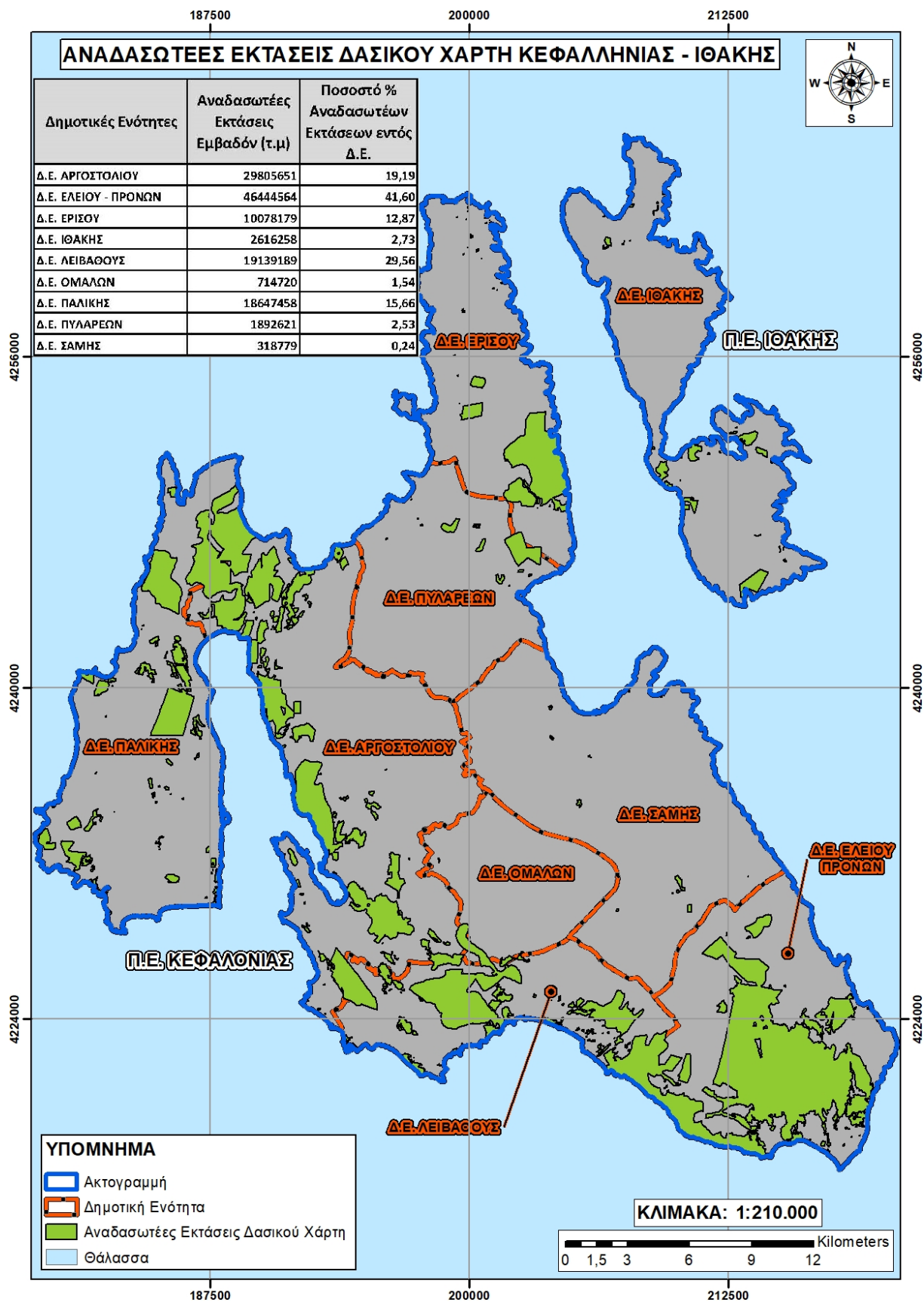


Χάρτης 3.3.4.1: Δασικός Χάρτης Περιφερειακών Ενοτήτων Κεφαλληνίας-Ιθάκης

### 3.3.5 Αναδασωτές Εκτάσεις-Ακτογραμμή

Η γεωχωρική πληροφορία που σχετίζεται με τις αναδασωτές εκτάσεις (Χάρτης 3.3.5.1), αφορά σε εκτάσεις της περιοχής μελέτης που κηρύχθηκαν ως αναδασωτές λόγω πυρκαγιάς με πράξη της διοίκησης, σύμφωνα με το νομικό πλαίσιο που διέπει την προστασία των δασών κατά τα Άρθρα 14 και 41 του Ν.998/79 και το Άρθρο 24 του Συντάγματος. Τα πολύγωνα των αναδασωτέων εκτάσεων προέκυψαν από τα αποτελέσματα εφαρμογής χωρικού ερωτήματος (*select by attributes*) στο διανυσματικό αρχείο \*.shp του Δασικού Χάρτη, σύμφωνα με το οποίο επιλέχθηκαν τα πολύγωνα που στο πεδίο KATHGORAL2 ή KATHGORAL3, ενσωματώνουν τον χαρακτηρισμό «ΑΝ», ήτοι «οι εκτάσεις της παραγράφου 4 του άρθρου 3 του ν. 998/1979, οι οποίες είναι κηρυγμένες αναδασωτές ή δασωτές» και στο πεδίο ΑΙΤΙΑ φέρουν την πληροφορία «πυρκαγιά», ενώ για την χαρτογραφική απεικόνισή τους πραγματοποιήθηκε συγχώνευση (*dissolve*) των πολυγώνων.

Το θεματικό επίπεδο της ακτογραμμής (Χάρτης 3.3.5.1) είναι προϊόν συγχώνευσης (*dissolve*) του πολυγωνικού διανυσματικού αρχείου του Δασικού Χάρτη και αποτελεί χορηγούμενο στοιχείο της μελέτης κατάρτισης δασικών χαρτών από το Ελληνικό Κτηματολόγιο. Παράχθηκε στο πλαίσιο του έργου «Παραγωγή Ψηφιακών Ορθοφωτοχαρτών και Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (DTM) για χάραξη αιγιαλού», το οποίο υλοποιήθηκε την περίοδο 2007-2009. Ωστόσο, για λόγους ορθής χρήσης του χορηγούμενου στοιχείου, όπου κρίθηκε αναγκαίο για την υλοποίηση της μελέτης του Δασικού Χάρτη, επικαιροποιήθηκε σύμφωνα με το υπόβαθρο και την ΧΔΙ των ορθοεικόνων LS025, η οποία ανέρχεται στα 0,25 μέτρα.



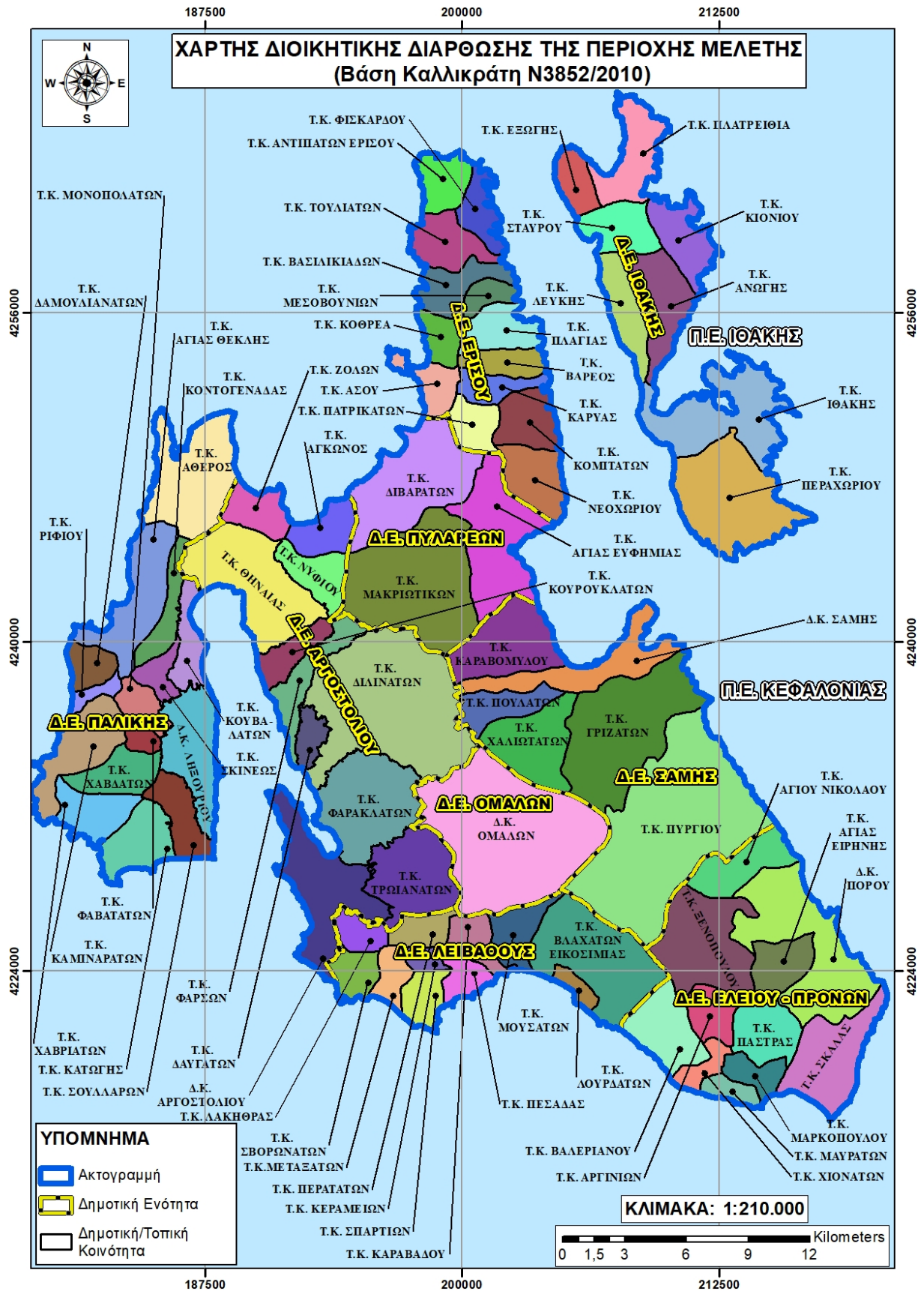
Χάρτης 3.3.5.1: Αναδασωτέες εκτάσεις και Ακτογραμμή Κεφαλονιάς-Ιθάκης

### 3.3.6 Διοικητικά Όρια

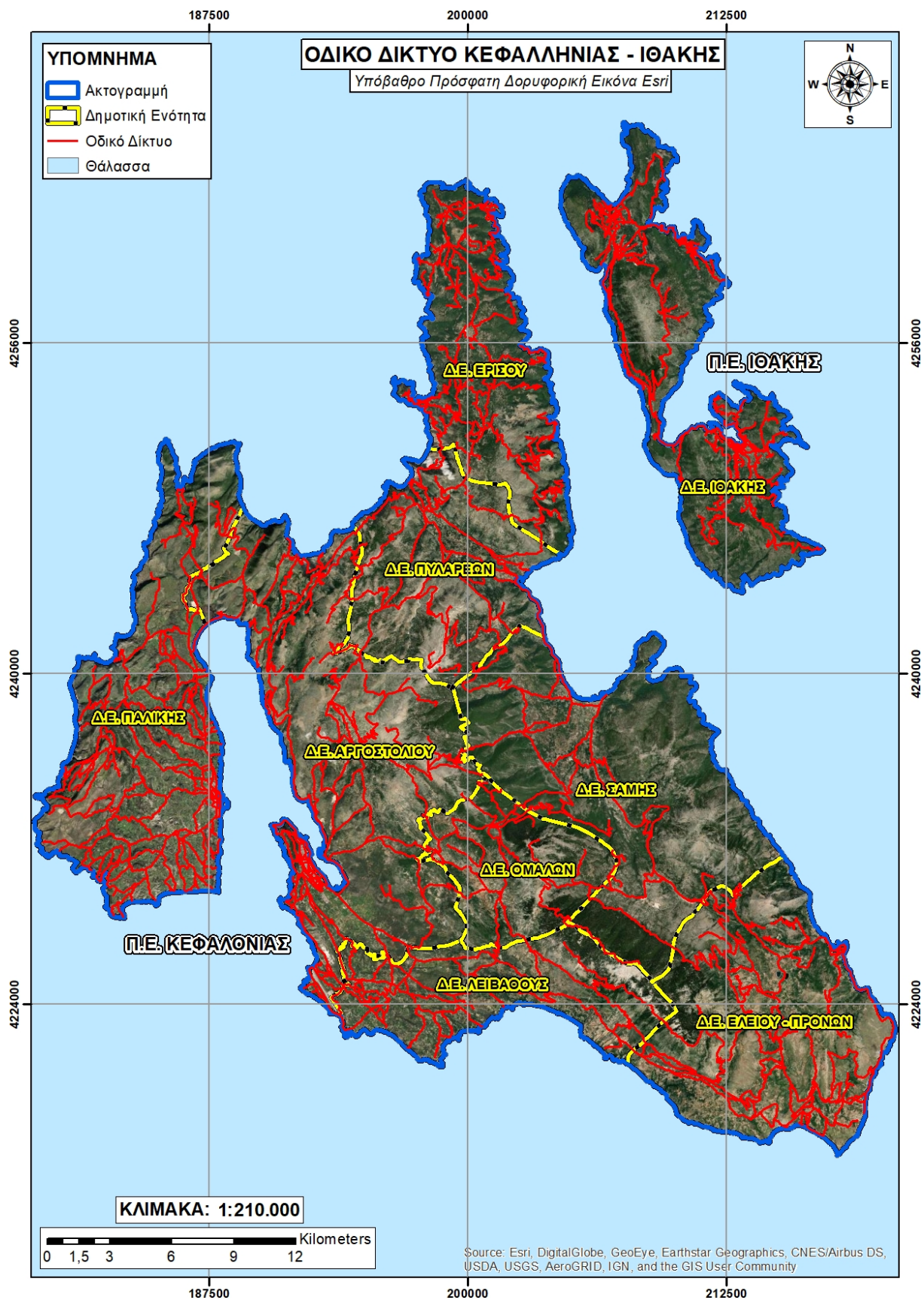
Το θεματικό επίπεδο των διοικητικών ορίων (Χάρτης 3.3.6.1) προέκυψε από την εκτέλεση της γεωγραφικής πράξης της συγχώνευσης (*dissolve*) του πολυγωνικού διανυσματικού αρχείου του Δασικού Χάρτη και αναπαριστά τα γεωγραφικά όρια των Καλλικρατικών Δήμων, όπως αυτά διαμορφώθηκαν στα πλαίσια των μελετών κτηματογράφησης ή όπου δεν έχει υλοποιηθεί μελέτη κτηματογράφησης, ταυτίζονται με τα όρια της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ).

### 3.3.7 Οδικό Δίκτυο

Το γραμμικό διανυσματικό αρχείο του οδικού δικτύου (Χάρτης 3.3.7.1) της περιοχής μελέτης δημιουργήθηκε στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας διατριβής κατόπιν μονοσκοπικής φωτοερμηνείας και ψηφιοποίησης σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. σε προβολικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87. Ως χαρτογραφικό υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε η διαδικτυακή υπηρεσία World Imagery basemaps ESRI, η οποία παρέχει μωσαϊκό δορυφορικών εικόνων, με ΧΔΙ 15m και έτη λήψης 2017-18 για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Η ψηφιοποίηση πραγματοποιήθηκε με ελάχιστο μήκος ευθύγραμμου τμήματος οριογραμμής, ενδεικτικά, τα 0,5m.



Χάρτης 3.3.6.1: Χάρτης διοικητικής διάρθρωσης Κεφαλονιάς-Ιθάκης



Χάρτης 3.3.7.1: Χάρτης οδικού δικτύου Κεφαλονιάς-Ιθάκης

### 3.4 Λογικός Σχεδιασμός-Επεξεργασία

Η κύρια επεξεργασία των γεωχωρικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον ΓΠΣ, με τη χρήση των δυνατοτήτων των λογισμικού ArcGIS Desktop (*Advanced*) και QGIS. Για την επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας Sentinel 2A χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία της πρόσθετης εφαρμογής Semi Automatic Classification plug-in στο περιβάλλον του QGIS. Στόχος της επεξεργασίας των συλλεχθέντων χωρικών δεδομένων είναι η δημιουργία των θεματικών επιπέδων επικινδυνότητας που αποτελούν τα δεδομένα εισόδου (*input data*) για την εφαρμογή του μοντέλου Σταθμισμένης ΧΠΚΑ, σύμφωνα με τον εννοιολογικό σχεδιασμό της μεθοδολογίας.

Οι θεματικοί χάρτες επικινδυνότητας προκύπτουν από την ανάλυση της κάθε μεταβλητής και την παραμετροποίηση της αναφορικά με την επικινδυνότητα έναρξης, ταχύτητας εξάπλωσης αλλά και συμπεριφοράς δασικών πυρκαγιών, βάσει των γεωγραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης. Η παραμετροποίηση των μεταβλητών αφορά στην βαθμονόμηση της ποιοτικής και ποσοτικής κλίμακας επικινδυνότητας ανά πέντε κλάσεις, καθώς η ομογενοποίηση των μεταβλητών-θεματικών επιπέδων επικινδυνότητας είναι αναγκαία για την επιτυχή εφαρμογή της τεχνικής της Σταθμισμένης ΧΠΚΑ με τη λειτουργία του εργαλείου «*Weighted Overlay*».

Στο πλαίσιο της ομογενοποίησης των χωρικών δεδομένων εισόδου, εκτός της επαναταξινόμησης σε ενιαία τακτική κλίμακα, εντάσσονται και δευτερογενείς επεξεργασίες όπως η χωρική ταύτιση (γεωαναφορά), η ψηφιδωτή δομή, το κοινό βάθος εικονοστοιχείου (*pixel depth*), το ενιαίο εύρος έκτασης (*extent*) των δεδομένων και η διαχείριση των περιοχών χωρίς πληροφορία (*no data*), στις περιπτώσεις που η φύση της μεταβλητής δεν καλύπτει γεωγραφικά όλη την περιοχή (π.χ. οδικό δίκτυο).

Για την διασφάλιση της χωρικής ταύτισης και του ενιαίου εύρους έκτασης (*extent*) των δεδομένων, όλες οι απαραίτητες επεξεργασίες για την παραγωγή των θεματικών επιπέδων επικινδυνότητας έλαβαν χώρα σε γεωβάση (*file geodatabase*), με προκαθορισμένο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς το ΕΓΣΑ87 (*Greek grid*) σε περιβάλλον του λογισμικού ArcGIS.

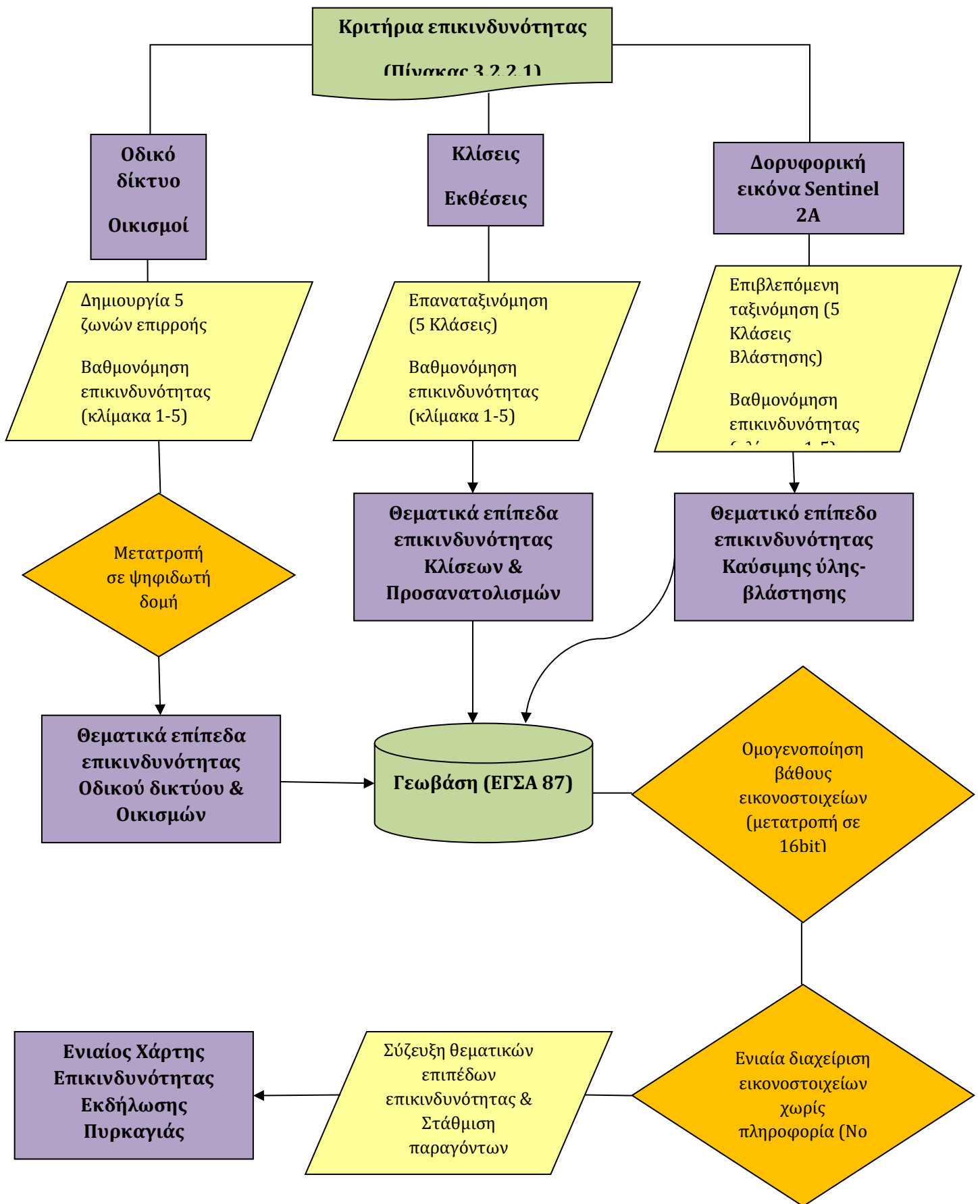
Στο Σχήμα 3.4.1 παρουσιάζεται η ροή του λογικού σχεδιασμού, σύμφωνα με την οποία, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια επικινδυνότητας για κάθε μεταβλητή, ανάλογα με την

φύση της και τα χωρικά δεδομένα που την αναπαριστούν, δημιουργήθηκαν τα θεματικά επίπεδα επικινδυνότητας ως εξής:

Για το οδικό δίκτυο και τους οικισμούς, ανθρωπογενείς παράγοντες που αναπαρίστανται από διανυσματικά δεδομένα, δημιουργήθηκαν πέντε ζώνες επιρροής, οι οποίες αντιστοιχήθηκαν στην κλίμακα επικινδυνότητας 1-5. Με την μετατροπή τους σε πλεγματική δομή, προέκυψαν τα αντίστοιχα θεματικά επίπεδα προσβασιμότητας. Στα πλεγματικά αρχεία των κλίσεων και των εκθέσεων, εφαρμόστηκε επαναταξινόμηση των κλάσεων, σύμφωνα με την επιθυμητή κλίμακα επικινδυνότητας 1 έως 5. Αντίστοιχα, από την δορυφορική εικόνα Sentinel 2A, μέσω της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, η βλάστηση κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε κλάσεις που αντιστοιχεί σε επικινδυνότητα 1 έως 5.

Όλα τα θεματικά επίπεδα επικινδυνότητας, πλεγματικής δομής, εισήχθησαν σε μία γεωβάση, με προδιαγραφές προβολικού συστήματος ΕΓΣΑ 87. Ακολούθησε η μετατροπή του βάθους εικονοστοιχείων σε 16bits και η ενιαία διαχείριση των περιοχών χωρίς πληροφορία (No data), η οποία αφορά στα θεματικά επίπεδα του οδικού δικτύου, των οικισμών και της βλάστησης, εφόσον η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε μόνο εντός των δασικών και χορτολιβαδικών εκτάσεων. Στην συνέχεια, με την σύζευξη όλων των θεματικών επιπέδων, στα οποία προηγουμένως έχει αποδοθεί το ειδικό βάρος συμμετοχής, όπως απαιτείται κατά την εφαρμογή της μεθόδου της Σταθμισμένης ΧΠΚΑ, προκύπτει το τελικό προϊόν, που είναι ο ενιαίος χάρτης επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης.

Οι ενέργειες που υποστηρίζουν την ροή του λογικού σχεδιασμού περιγράφονται λεπτομερώς στα σχετικά κεφάλαια παρακάτω.



Σχήμα 3.4.1: Διάγραμμα ροής λογικού σχεδιασμού

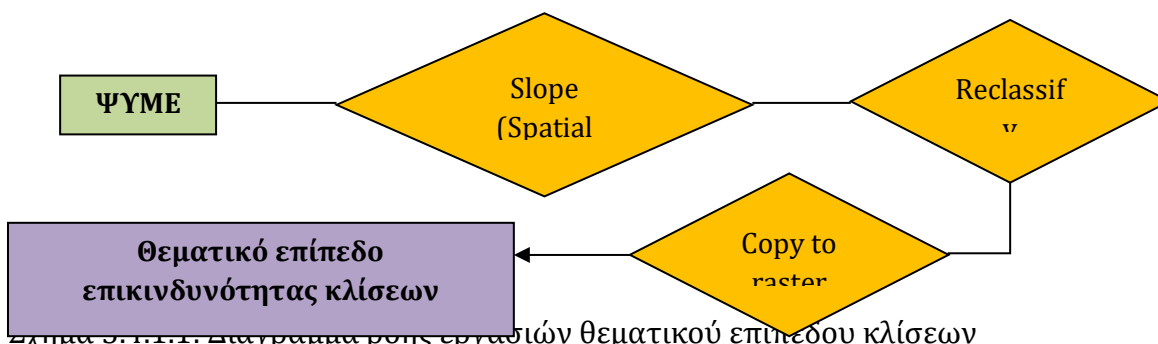
### 3.4.1 Θεματικό Επίπεδο Επικινδυνότητας Κλίσεων

Σύμφωνα με το κριτήριο «η αύξηση κλίσεων των επιφανειών σηματοδοτεί αύξηση επικινδυνότητας του φαινομένου» του Πίνακα 3.2.2.1, οι κλίσεις του εδάφους κατηγοριοποιούνται σε πέντε κλάσεις ανά επίπεδο κλίσεων (Πίνακας 3.4.1.1)

Πίνακας 3.4.1.1: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας κλίσεων

Κλάσεις κλίσεων	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας
0-5	Πολύ χαμηλή	1
5-10	Χαμηλή	2
10-20	Μέτρια	3
20-30	Υψηλή	4
>30	Πολύ υψηλή	5

Το θεματικό επίπεδο των κλίσεων της περιοχής μελέτης προέκυψε από το ΨΥΜΕ (Σχήμα 3.4.1.1), κατόπιν εφαρμογής της δευτερογενούς επεξεργασίας «Slope» της εργαλειοθήκης Spatial Analyst του λογισμικού ArcGIS. Για την δημιουργία του αντίστοιχου θεματικού επιπέδου επικινδυνότητας, πραγματοποιήθηκε επαναταξινόμηση των κλίσεων με τη χρήση του εργαλείου «Reclassify» της προαναφερόμενης εργαλειοθήκης και μετατροπή του βάθους ψηφίδας (pixel depth) από 32bit σε 16bit με την εκτέλεση του εργαλείου «Copy to raster» της εργαλειοθήκης Data Management.



Σχήμα 3.4.1.1: Διαγράμμα ροής εργασιών θεματικού επιπέδου κλίσεων

### 3.4.2 Θεματικό Επίπεδο Επικινδυνότητας Προσανατολισμού

Σύμφωνα με το κριτήριο «ο νότιος και ο δυτικός προσανατολισμός επιφανειών σηματοδοτεί αύξηση της επικινδυνότητας του φαινομένου» (Παπαμίχος, 1996; Ντάφης, 1996) του Πίνακα 3.2.2.1, επιχειρήθηκε η κατηγοριοποίηση των εκθέσεων του εδάφους σε πέντε κλάσεις, λαμβάνοντας υπόψη όλο το φάσμα των προσανατολισμών.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση των βασικών προσανατολισμών του εδάφους σε πέντε κλάσεις (Πίνακας 3.4.2.1).

Πίνακας 3.4.2.1: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας βασικών προσανατολισμών εδάφους

Κλάσεις βασικών προσανατολισμών εδάφους	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας
Οριζόντιος (Επίπεδο)	Πολύ χαμηλή	1
Βόρειος	Χαμηλή	2
Ανατολικός	Μέτρια	3
Δυτικός	Υψηλή	4
Νότιος	Πολύ υψηλή	5

Στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη την βαθμονόμηση των βασικών προσανατολισμών, κατηγοριοποιήθηκαν οι μεικτοί προσανατολισμοί σε τέσσερις κλάσεις, εφόσον ο οριζόντιος προσανατολισμός δεν ανήκει σε αυτήν την ομάδα (Πίνακας 3.4.2.2)

Πίνακας 3.4.2.2: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας μεικτών προσανατολισμών εδάφους

Κλάσεις μεικτών προσανατολισμών εδάφους	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας
Βορειοανατολικός	Χαμηλή/μέτρια	2,5
Βορειοδυτικός	Μέτρια	3

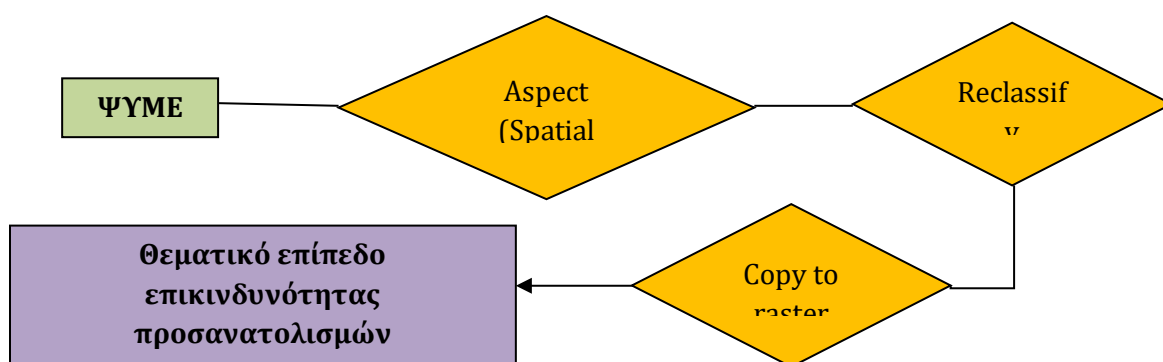
Κλάσεις μεικτών προσανατολισμών εδάφους	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας
Νοτιοανατολικός	Υψηλή	4
Νοτιοδυτικός	Υψηλή/πολύ υψηλή	4,5

Η ποσοτική κλίμακα του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 3.4.2.2) προκύπτει από τον μέσο όρο των τιμών της ποσοτικής κλίμακας των αντίστοιχων βασικών κλάσεων (Πίνακας 3.4.2.1), ενώ η ποιοτική κλίμακα είναι συνδυαστική. Η διατήρηση 5 κλάσεων προσανατολισμού του εδάφους σε συμφωνία με τις κλάσεις των κλίσεων και με ομοιόμορφη κατανομή των κατηγοριών, είναι αναγκαία για την διασφάλιση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, εφόσον η επίδραση της έκθεσης συνδέεται στενά με εκείνη της κλίσης (Ντάφης, 1996). Δεδομένου ότι οι ανατολικές πλαγιές θερμαίνονται κατά τις προμεσημβρινές ώρες και οι βόρειες δέχονται την λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία, οι βορειοανατολικές εκθέσεις δύναται να ενσωματωθούν στον «χαμηλό» βαθμό επικινδυνότητας. Εφόσον οι δυτικές πλαγιές δέχονται ηλιακή ακτινοβολία μέχρι την δύση του ηλίου, οι νοτιοδυτικές εκθέσεις πλήττονται από ξηροθερμικές συνθήκες, όμοια με τις νότιες. Με το σκεπτικό αυτό, έγινε η σύζευξη των κλάσεων και διαμορφώθηκε η τελική κατηγοριοποίηση των προσανατολισμών του εδάφους (Πίνακας 3.4.2.3)

Πίνακας 3.4.2.3: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας προσανατολισμών του εδάφους

Κλάσεις προσανατολισμών εδάφους	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας
Οριζόντιος (Επίπεδο)	Πολύ χαμηλή	1
Βόρειος-Βορειοανατολικός	Χαμηλή	2
Ανατολικός-Βορειοδυτικός	Μέτρια	3
Δυτικός -Νοτιοανατολικός	Υψηλή	4
Νότιος-Νοτιοδυτικός	Πολύ υψηλή	5

Το θεματικό επίπεδο των εκθέσεων της περιοχής μελέτης προέκυψε από το ΨΥΜΕ, κατόπιν εφαρμογής της δευτερογενούς επεξεργασίας «Aspect» της εργαλειοθήκης Spatial Analyst του λογισμικού ArcGIS. Για την δημιουργία του αντίστοιχου θεματικού επιπέδου επικινδυνότητας, πραγματοποιήθηκε επαναταξινόμηση των προσανατολισμών του εδάφους, σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 3.4.2.3, με τη χρήση του εργαλείου «Reclassify» της προαναφερόμενης εργαλειοθήκης και μετατροπή του βάθους ψηφίδας (*pixel depth*) από 32bit σε 16bit με την εκτέλεση του εργαλείου «Copy to raster» της εργαλειοθήκης Data Management.



Σχήμα 3.4.2.1: Διάγραμμα ροής εργασιών θεματικού επιπέδου προσανατολισμών

### 3.4.3 Θεματικό Επίπεδο Επικινδυνότητας Καύσιμης Ύλης-Δασικής Βλάστησης

Ο θεματικός χάρτης επικινδυνότητας της καύσιμης ύλης προέκυψε από την εφαρμογή της διαδικασίας επιβλεπόμενης ταξινόμησης (*Supervised Classification*) της δορυφορικής εικόνας Sentinel 2A, σύμφωνα με την οποία κατηγοριοποιήθηκε η δασική βλάστηση της περιοχής μελέτης με βάση τα κριτήρια του εννοιολογικού σχεδιασμού, τα οποία αφορούν

στον τύπο καυσίμου και στη δομή της βλάστησης σε οριζόντιο και κάθετο επίπεδο αναφοράς: «*Η επιεδάφια καύσιμη ύλη σηματοδοτεί αυξημένο κίνδυνο έναρξης και εξάπλωσης πυρκαγιάς. Η δενδρώδης καύσιμη ύλη σηματοδοτεί αυξημένο κίνδυνο έναρξης και σφοδρής εξάπλωσης πυρκαγιάς*» (Σχήμα 3.4.3.1).

Σχήμα 3.4.3.1: Διάγραμμα ροής διαδικασίας επιβλεπόμενης ταξινόμησης βλάστησης

Ειδικότερα, οι κλάσεις και η επικινδυνότητα προσδιορίστηκαν με την ανάλυση δύο θεμελιωδών συνιστωσών της δασικής βλάστησης που σχετίζονται άμεσα με το φαινόμενο της πυρκαγιάς, σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση και τις δυνατότητες επεξεργασίας μιας δορυφορικής εικόνας Sentinel 2A. Ο τύπος καυσίμου δίνει τον χαρακτήρα μιας δασικής πυρκαγιάς (έρπουσα, επικόρυφη) και διαμορφώνει τον βαθμό επικινδυνότητας. Η ανάλυση του τύπου καυσίμου σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της βλάστησης μιας περιοχής δύναται να προσδιοριστεί από την δομή της, αναφορικά με το οριζόντιο και κάθετο επίπεδο του χώρου. Το οριζόντιο επίπεδο αναφέρεται στην πυκνότητα και το κάθετο επίπεδο στην μορφολογία-ύψος της

βλάστησης (πόες-φρύγανα-θάμνοι-δέντρα). Συμπερασματικά, η πυκνότητα της βλάστησης, ως καύσιμη ύλη, και η πιθανότητα μετεξέλιξης των πυρκαγιών από επιφάνειας σε κόμης βάσει των δομικών χαρακτηριστικών της βλάστησης, προσδιορίζει τον βαθμό επικινδυνότητας ανάλογα με τις διαστάσεις που μπορεί να λάβει η φωτιά (Πίνακας 3.4.3.1).

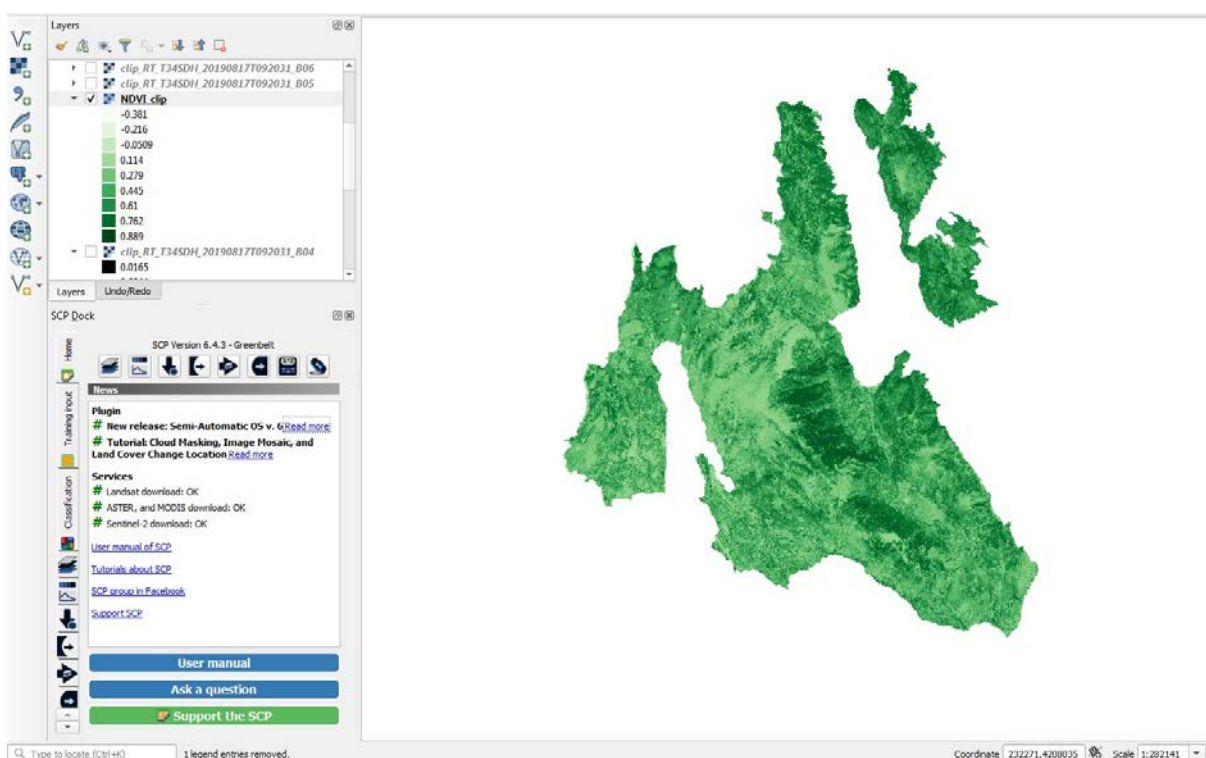
Πίνακας 3.4.3.1: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας βλάστησης-τυποποίηση καύσιμης ύλης

Μακροκλάση	Κλάσεις	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας
Επιφανειακά καύσιμα ( <i>low fuels</i> )	Πόες, χαμηλά φρύγανα, γυμνά εδάφη ( <i>Open grassland/low vegetation layer</i> )	Πολύ χαμηλή	1
	Πυκνοί θάμνοι ( <i>Closed shrub layer</i> )	Χαμηλή	2
Κλιμακωτά καύσιμα ( <i>tiered fuels</i> )	Αραιοί θάμνοι/δέντρα ( <i>Open shrub/tree layer</i> )	Μέτρια	3
	Πυκνοί θάμνοι/δέντρα ( <i>Closed shrub/tree layer</i> )	Υψηλή	4
	Πυκνά δέντρα ( <i>Closed tree canopy layer</i> )	Πολύ υψηλή	5

Εκτός από την κατάλληλη βαθμονόμηση επικινδυνότητας της καύσιμης ύλης-βλάστησης, άλλος παράγοντας σημαντικός για την δημιουργία του θεματικού επιπέδου είναι η δυνατότητες επεξεργασίας του όγκου των δεδομένων από το διαθέσιμο υπολογιστικό σύστημα. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη την διαθέσιμη υπολογιστική μνήμη (RAM) και τις δυνατότητες επεξεργασίας του Semi Automatic Classification plug-in σε περιβάλλον

λογισμικού QGIS, ακολουθήθηκε μια σειρά ενεργειών με σκοπό την μείωση του όγκου των δεδομένων.

Αρχικά, με τη χρήση του εργαλείου «*clip multiple rasters*» του Semi Automatic Classification plug-in, πραγματοποιήθηκε περικοπή των φασματικών καναλιών της δορυφορικής εικόνας στα όρια του πολυγωνικού διανυσματικού αρχείου της ακτογραμμής. Στην συνέχεια, καθορίστηκε η επιλέξιμη ομάδα των καναλιών (*band set*) για την ταξινόμηση της δασικής βλάστησης, ενώ για την ενίσχυση των αποτελεσμάτων της φασματικής επεξεργασίας κρίθηκε σκόπιμη η συμμετοχή του λόγου καναλιών B4 και B8, μέσω της υλοποίησης του δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (*NDVI Normalized Difference Vegetation Index*) (Εικόνα 3.4.3.1).



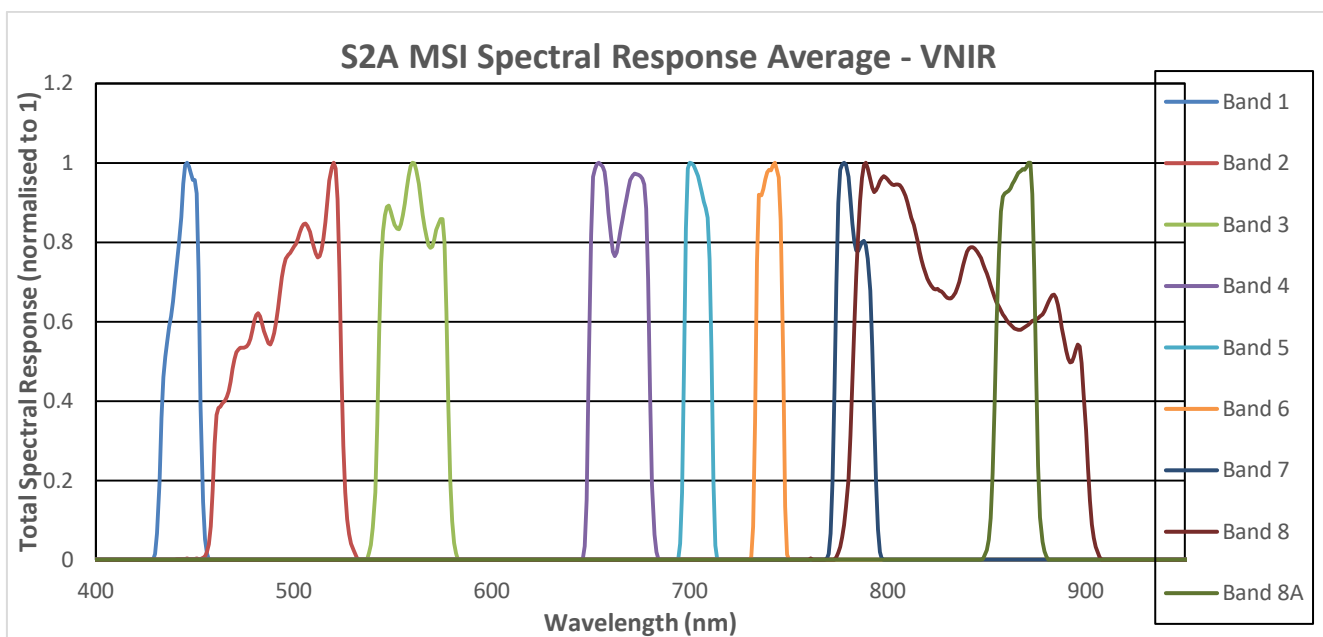
Εικόνα 3.4.3.1: Απεικόνιση NDVI με εύρος τιμών εικονοστοιχείων από -0,381 έως 0.889

Κριτήρια επιλεξιμότητας των φασματικών καναλιών ήταν ο σκοπός χρήσης τους, η φασματική απόκριση (Σχήμα 3.4.3.1, Σχήμα 3.4.3.2) και η ΧΔΙ τους (Πίνακας 3.4.3.2).

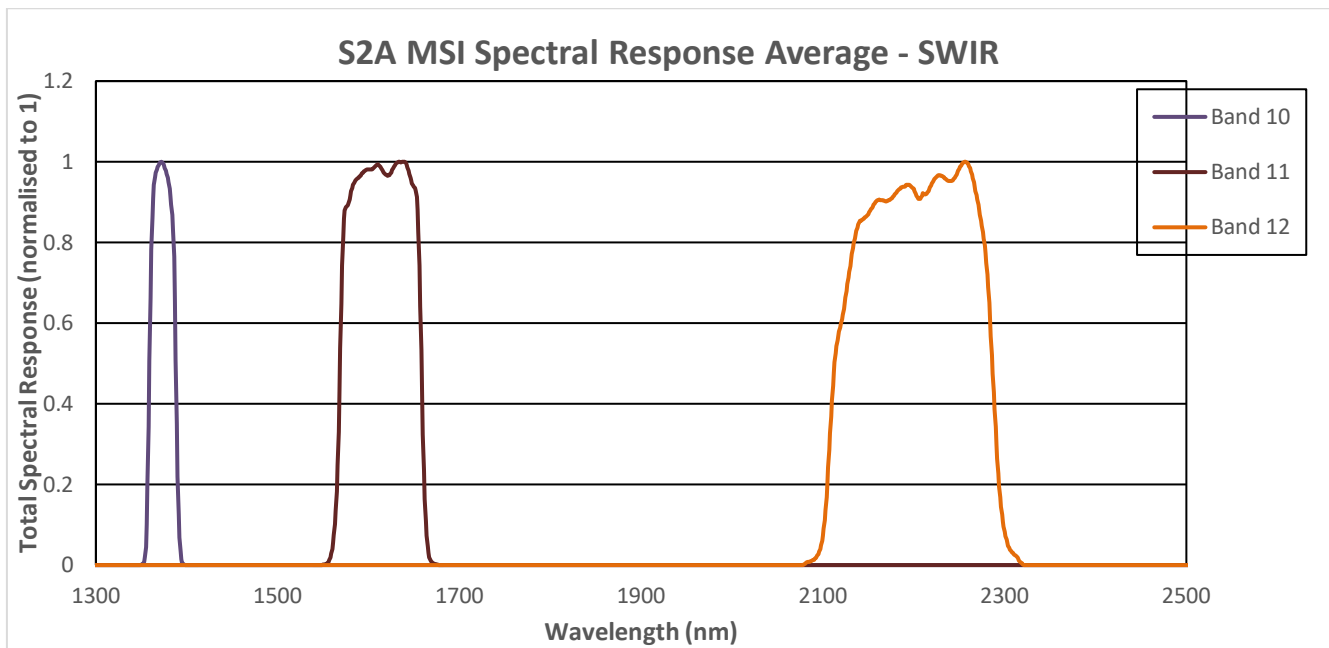
Πίνακας 3.4.3.2: Επιλογή της ομάδας φασματικών καναλιών για την ταξινόμηση της βλάστησης

Φασματικό κανάλι	Κεντρικό Μήκος Κύματος (nm)	Φασματικό εύρος (nm)	ΧΔΙ (m)	Σκοπός χρήσης	Επιλεξιμότητα
B1	443	20	60	Ατμοσφαιρική διόρθωση	Όχι
B2	490	65	10	Ευαισθησία στον προσδιορισμό ποιότητας (γήρας) της βλάστησης/ παρουσία εδάφους	Ναι
B3	560	35	10	Ευαισθησία στα επίπεδα χλωροφύλλης	Ναι
B4	665	30	10	Απόδοση μέγιστης απορρόφησης χλωροφύλλης	Ναι (μέσω της χρήσης NDVI)
B5	705	15	20	Ενοποίηση των ατμοσφαιρικών διορθώσεων	Ναι
B6	740	15	20	Ατμοσφαιρική διόρθωση/ανάκτηση φορτίου αερολύματος	Ναι
B7	783	20	20	Πυκνότητα βλάστησης	Ναι
B8	842	115	10	Πυκνότητα βλάστησης	Ναι (μέσω της χρήσης NDVI)
B8a	865	20	20	Ευαισθησία συνολικού επιπέδου χλωροφύλλης, βιομάζας, πυκνότητας/απορρόφηση υδρατμών/ ανάκτηση φορτίου αερολύματος	Ναι
B9	945	20	60	Απορρόφηση υδρατμών/ Ατμοσφαιρική διόρθωση	Όχι
B10	1375	30	60	Ατμοσφαιρική διόρθωση	Όχι
B11	1610	90	20	Παρουσία δάσους (υψηλής βλάστησης) πάνω από βιομάζα εδάφους	Ναι
B12	2190	180	20	Αξιολόγηση συνθηκών μεσογειακής βλάστησης/	Ναι
Λόγος NDVI	-	-	10	Ζωτικότητα βλάστησης και σχετική βιομάζα	Ναι

Σημειώνεται ότι τα κανάλια με ΧΔΙ που ανέρχεται στα 60m, δεν εντάσσονται στην φασματική ομάδα προς ταξινόμηση. Κατά την διαδικασία μετατροπής των τιμών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων σε τιμές ανάκλασης με την τεχνική DOS1, κάθε εικονοστοιχείο με ΧΔΙ 20m, διαχωρίστηκε σε 4 εικονοστοιχεία με ΧΔΙ 10m, διατηρώντας την αρχική του τιμή. Συνεπώς, οι υπολογισμοί των τιμών των εικονοστοιχείων της επιλεγμένης φασματικής ομάδας καναλιών με την διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, δεν επιφέρει αλλαγές στις αρχικές τους τιμές.

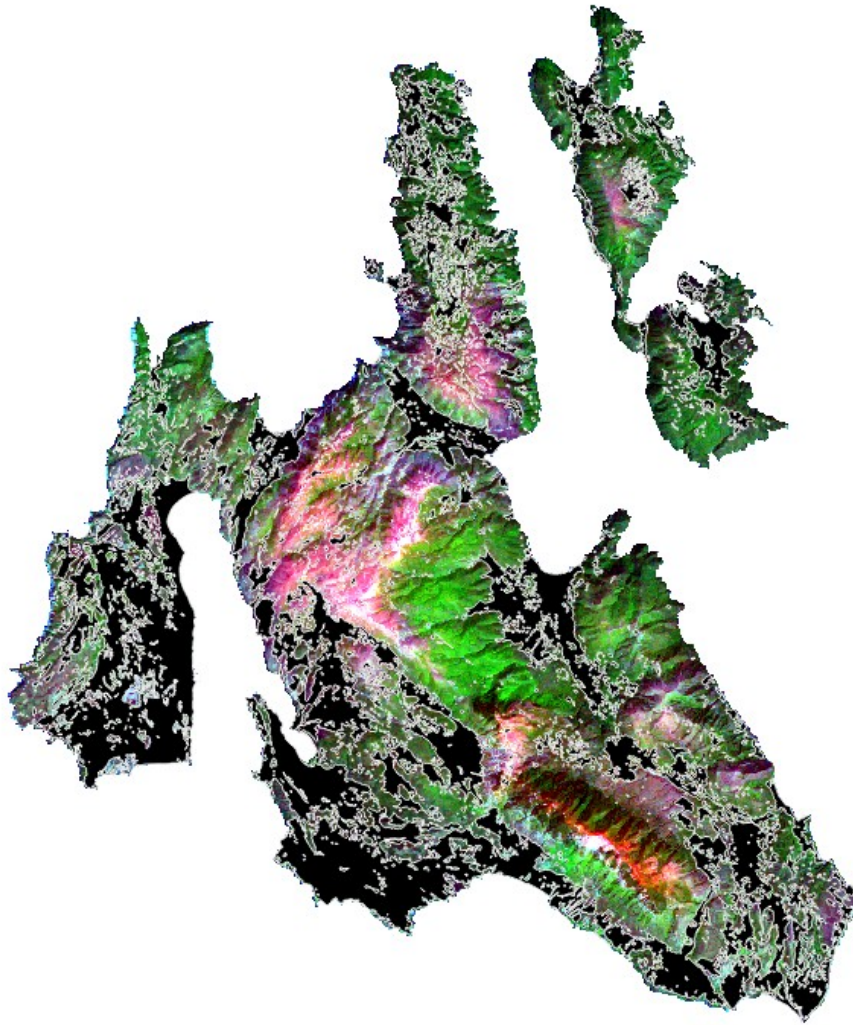


Σχήμα 3.4.3.1: Φασματική απόκριση των καναλιών Sentinel 2A στην φασματική ζώνη του ορατού και κοντινού υπέρυθρου (ESA, 2018)



Σχήμα 3.4.3.2: Φασματική απόκριση των καναλιών Sentinel 2A στην φασματική ζώνη του μέσου υπέρυθρου (ESA, 2018)

Επίσης, δεδομένου ότι η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης αφορά αποκλειστικά την δασική βλάστηση της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκε ως μάσκα εφαρμογής το διανυσματικό αρχείο του δασικού χάρτη, το οποίο στο στάδιο της προεπεξεργασίας των δεδομένων διαμορφώθηκε κατάλληλα ώστε να περιλαμβάνει μόνο τις δασικές και χορτολιβαδικές εκτάσεις της περιοχής μελέτης (Εικόνα 3.4.3.2)

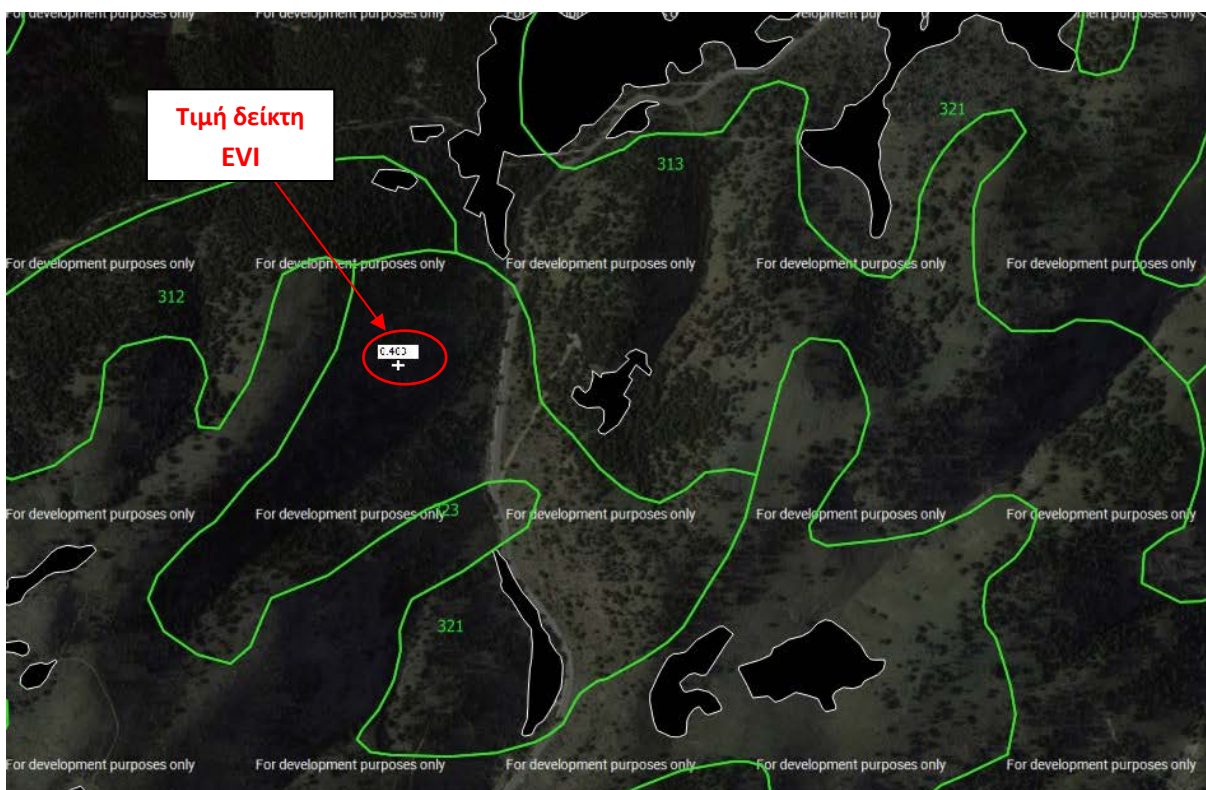


Εικόνα 3.4.3.2: Εφαρμογή διανυσματικού αρχείου «μάσκας», όπου οι μαύρες περιοχές τίθενται εκτός ταξινόμησης, ως μη δασικές εκτάσεις.

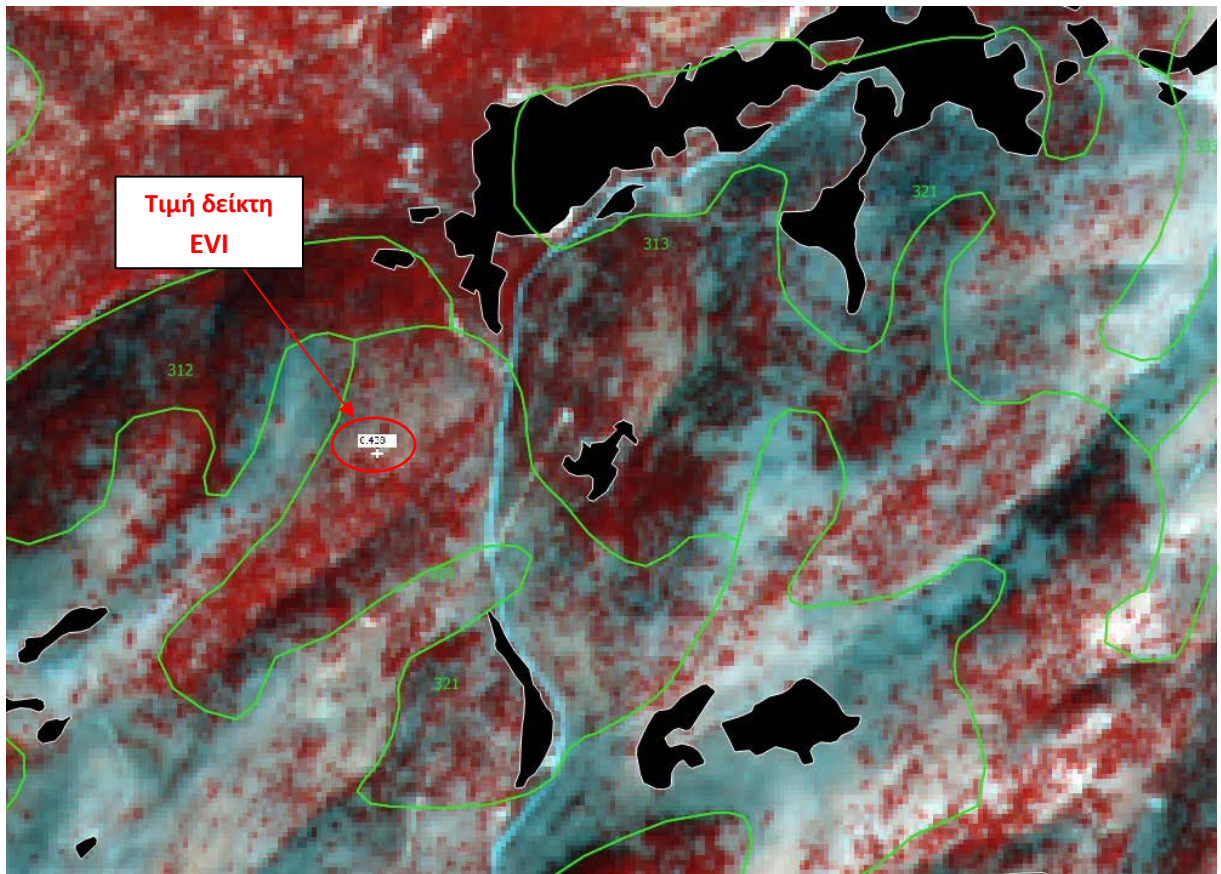
Ακολούθησε η δημιουργία των δειγματοληπτικών περιοχών (*training areas*) με στόχο τον προσδιορισμό της φασματικής ταυτότητας των κλάσεων-θεματικών ομάδων της βλάστησης, με την χρήση του εργαλείου «*ROI creation*». Η αντιπροσωπευτικότητα των δειγματοληπτικών περιοχών αξιολογήθηκε κατόπιν φωτοερμηνευτικής έρευνας της περιοχής μελέτης σε υπόβαθρο Google Earth, ενώ χρησιμοποιήθηκε συμβουλευτικά το διανυσματικό αρχείο κάλυψης γης Corine (Εικόνα 3.4.3.3), το έγχρωμο σύνθετο 8-4-3 για την αναγνώριση της πυκνότητας της βλάστησης, οι τιμές του Ενισχυμένου Δείκτη Βλάστησης (*EVI, Enhanced Vegetation Index*) (Εικόνα 3.4.3.4), ο οποίος εμφανίζει ευαισθησία σε περιοχές με υψηλό ποσοστό βιομάζας (Li *et al.*, 2010) και τα πολύγωνα των δασικών και χορτολιβαδικών εκτάσεων του Δασικού Χάρτη. Επισημαίνεται ότι τα

διανυσματικά δεδομένα του Δασικού Χάρτη αποδίδουν λεπτομερειακά το χωρικό πρότυπο της δασικής και χορτολιβαδικής βλάστησης της περιοχής μελέτης, εφόσον για την κατάρτισή του χρησιμοποιήθηκε υπόβαθρο υψηλής χωρικής ανάλυσης, η οποία ανέρχεται στα 0,25 μέτρα, ενώ πραγματοποιήθηκε επαλήθευση του θεματικού περιεχομένου και της ακρίβειας οριοθέτησης των μορφών εδαφοκάλυψης επί του εδάφους.

Η αξιολόγηση της αντιπροσωπευτικότητας των δειγματοληπτικών περιοχών σε σχέση με τις κλάσεις, πραγματοποιήθηκε με την χρήση των δυνατοτήτων του QGIS (απεικόνιση υποβάθρων Google Earth, Bing κ.λ.π) και του Semi Automatic Classification plug-in, το οποίο παρέχει τα κατάλληλα εργαλεία για την δημιουργία και απεικόνιση έγχρωμων σύνθετων και τιμών δεικτών.

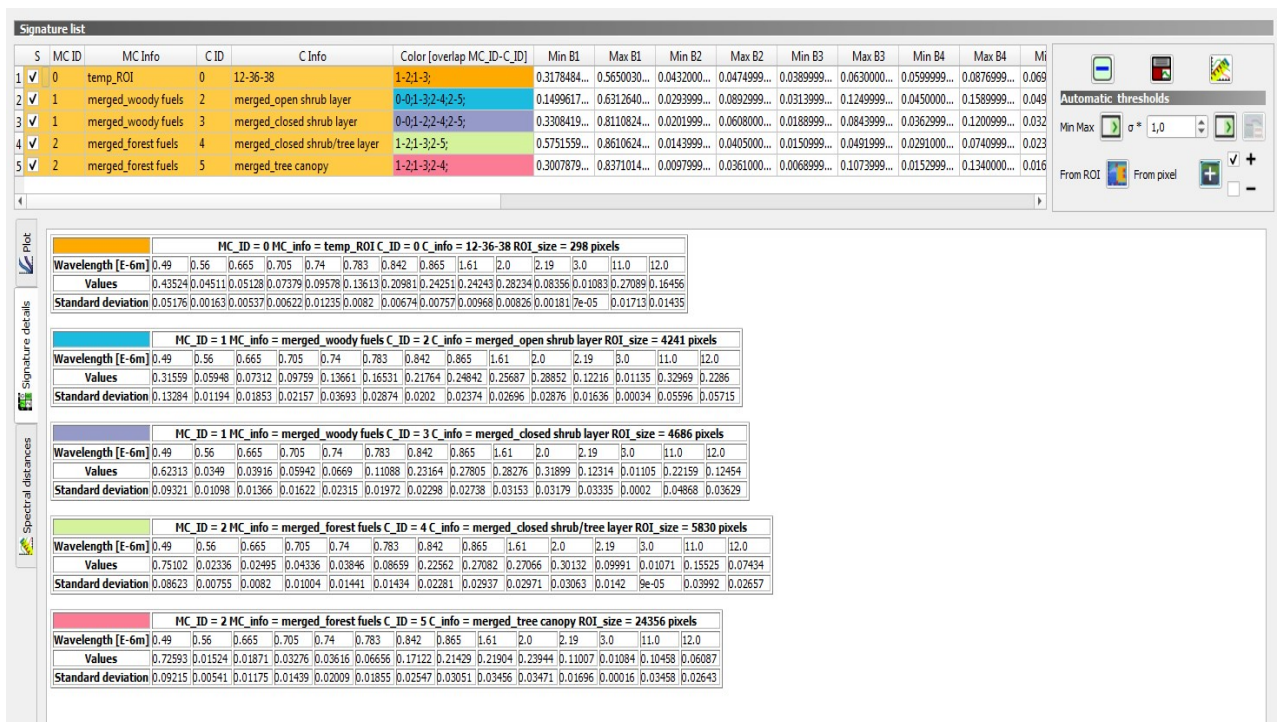


Εικόνα 3.4.3.3: Έρευνα περιοχής μελέτης σε υπόβαθρο Google Earth με την συμβουλευτική χρήση του δείκτη EVI και των πολυγώνων κάλυψης γης CLC.



Εικόνα 3.4.3.4: Έρευνα περιοχής μελέτης σε υπόβαθρο έγχρωμου σύνθετου 8-4-3 με την συμβουλευτική χρήση του δείκτη EVI και των πολυγώνων κάλυψης γης CLC.

Το αρχείο των δειγματοληπτικών περιοχών αποθηκεύτηκε σε μορφότυπο \*.shp και ακολούθησε ο έλεγχος και η αξιολόγηση της φασματικής ταυτότητας των κλάσεων, με την χρήση των εργαλείων «*Signature Details*», «*Spectral Distances*» και «*Spectral Signature plot*». Ειδικότερα, ο έλεγχος διαχωρισμού της φασματικής ταυτότητας των κλάσεων, όπως αυτές αποδόθηκαν με την λήψη δειγματοληπτικών περιοχών, πραγματοποιήθηκε μέσω του εργαλείου «*Signature Details*» όπου εκτιμήθηκε η τυπική απόκλιση μεταξύ τους (Εικόνα 3.4.3.5)



Εικόνα 3.4.3.5: Έλεγχος τυπικής απόκλισης τιμών και διαχωρισμού των δειματοληπτικών περιοχών

Η εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την παραγωγή του θεματικού επιπέδου επικινδυνότητας της βλάστησης, πραγματοποιήθηκε με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας (*Maximum Likelihood*), ενώ η διαδικασία επιλογής του αλγόριθμου περιγράφεται αναλυτικά στο Παράρτημα Β1.

### 3.4.4 Θεματικό Επίπεδο Προσβασιμότητας Οδικού Δικτύου

Σύμφωνα με το κριτήριο «όσο αυξάνεται η απόσταση από το οδικό δίκτυο, ο κίνδυνος εξάπλωσης της πυρκαγιάς αυξάνεται» του Πίνακα 3.2.2.1, δημιουργήθηκαν οι ζώνες επιρροής βάσει της απόστασης από το οδικό δίκτυο ανά 300m και η επικινδυνότητα κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε κλάσεις (Πίνακας 3.4.4.1).

Πίνακας 3.4.4.1: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας οδικού δικτύου-ζώνες επιρροής

Ζώνη επιρροής οδικού δικτύου(m)	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας
300	Πολύ χαμηλή	1
600	Χαμηλή	2
900	Μέτρια	3
1200	Υψηλή	4
1500	Πολύ υψηλή	5

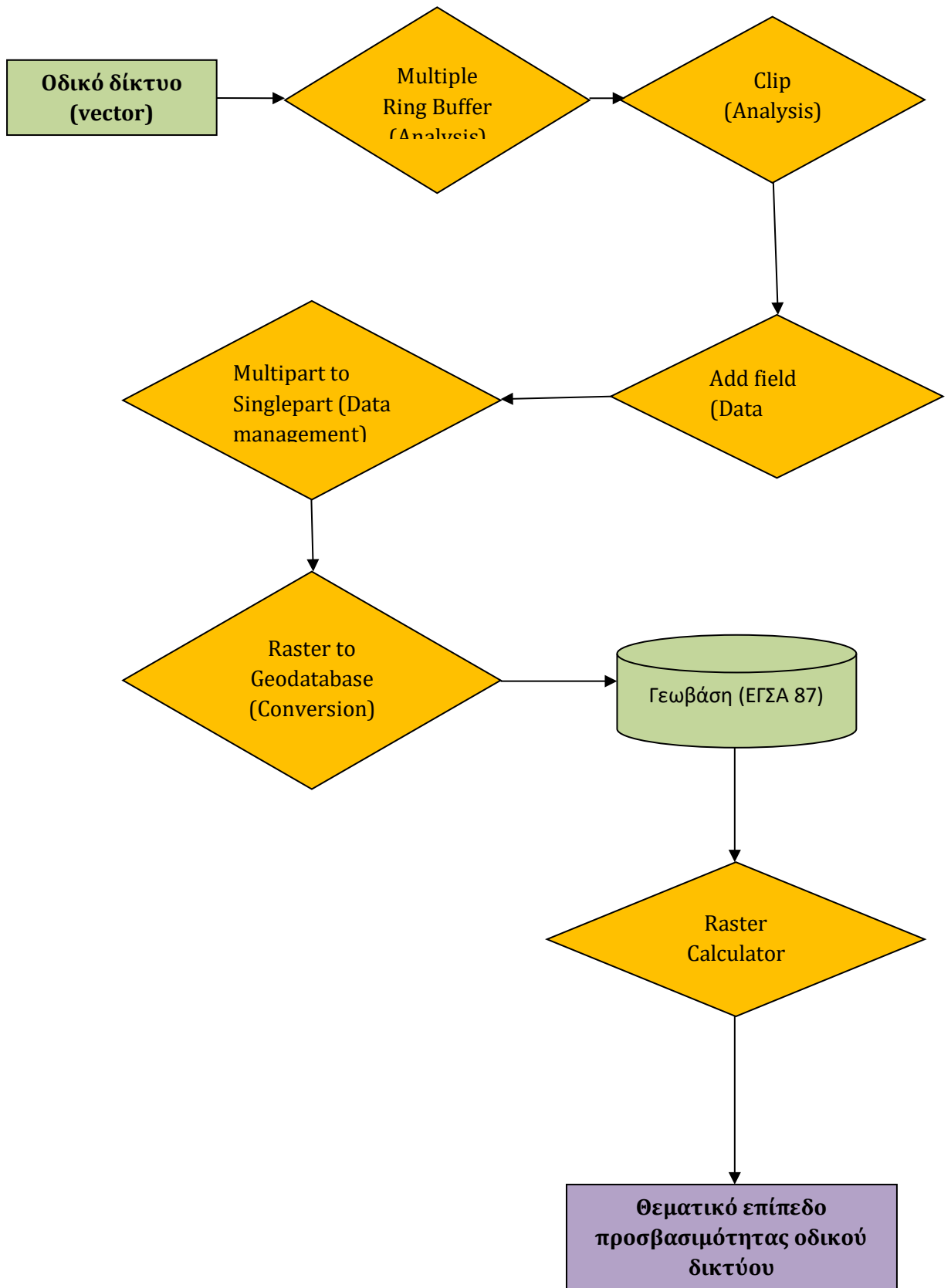
Για την παραγωγή του θεματικού επιπέδου προσβασιμότητας οδικού δικτύου, αρχικά δημιουργήθηκαν πέντε ζώνες επιρροής στο γραμμικό αρχείο διανυσματικής δομής του οδικού δικτύου, με την χρήση του εργαλείου «*Multiple Ring Buffer*» της εργαλειοθήκης Analysis του λογισμικού ArcGIS. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε περικοπή (*clip*) στα όρια της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης, με τη χρήση του σχετικού εργαλείου της ίδιας εργαλειοθήκης. Με την εφαρμογή του εργαλείου «*Add Field*» της εργαλειοθήκης Data Management προστέθηκε πεδίο με όνομα «*weight*» στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών του αρχείου, με σκοπό την αντιστοίχιση ποσοτικής κλίμακας επικινδυνότητας του Πίνακα 3.4.4.1 στις ζώνες επιρροής του οδικού δικτύου. Ακολούθως, εφαρμόστηκε η διαδικασία «*Multipart to Singlepart*» της εργαλειοθήκης Data Management με σκοπό να παραχθούν αυτόνομα πολύγωνα σύμφωνα με την πληροφορία του βαθμού επικινδυνότητας που εισήχθη.

Το επόμενο βήμα επεξεργασίας, ήταν η μετατροπή του αρχείου διανυσματικής δομής των ζωνών επιρροής οδικού δικτύου σε πλεγματική, με την χρήση του εργαλείου «*Feature to*

*Raster*» της εργαλειοθήκης Conversion, βάσει του πεδίου weight, στο οποίο καταχωρήθηκε η κλίμακα βαθμονόμησης της επικινδυνότητας (1-5). Το παραγόμενο μέγεθος εικονοστοιχείου (*output cell size*), υπολογίστηκε αυτόματα στα 160m. Ο βασικός υπολογισμός (*default*) του εργαλείου θεωρείται ο βέλτιστος επειδή συνυπολογίζεται το εύρος των δεδομένων (*input extent*) και το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του αρχείου (*spatial reference*). Σε περίπτωση μείωσης του μεγέθους του εικονοστοιχείου, αυξάνεται ο όγκος του αρχείου χωρίς να βελτιώνεται η λεπτομέρεια.

Για την ενιαία διαχείριση και ομογενοποίηση των γεωδεδομένων των θεματικών επιπέδων επικινδυνότητας, όπως προαναφέρθηκε, το παραγόμενο αρχείο διανυσματικής δομής, εισήχθηκε στην γεωβάση που δημιουργήθηκε για τον σκοπό αυτό, με την χρήση του εργαλείου «*Raster to Geodatabase*» της εργαλειοθήκης Conversion. Το βάθος εικονοστοιχείου του παραγόμενου αρχείου είναι 16bit, σε συμφωνία με τα αρχεία των κλίσεων και των προσανατολισμών της περιοχής μελέτης.

Επειδή το οδικό δίκτυο δεν καλύπτει γεωγραφικά πλήρως την περιοχή μελέτης, στο παραγόμενο αρχείο πλεγματικής δομής υπάρχουν εικονοστοιχεία χωρίς τιμή (*no data*). Η απόδοση της τιμής 0 σε αυτά τα εικονοστοιχεία πραγματοποιήθηκε με την χρήση του εργαλείου «*Raster Calculator*» της εργαλειοθήκης Spatial Analyst. Τέλος, με στόχο την μείωση του όγκου των δεδομένων, επιλέχθηκαν τα εικονοστοιχεία που εμπίπτουν εντός της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης, με την χρήση του εργαλείου «*Extract by Mask Tool*» της εργαλειοθήκης Spatial Analyst (Σχήμα 3.4.4.1).



Σχήμα 3.4.4.1: Διάγραμμα ροής εργασιών θεματικού επιπέδου επικινδυνότητας οδικού δικτύου

### 3.4.5 Θεματικό Επίπεδο Προσβασιμότητας Οικισμών

Σύμφωνα με το κριτήριο «όσο αυξάνεται η απόσταση από τους οικισμούς, ο κίνδυνος εξάπλωσης της πυρκαγιάς αυξάνεται» του Πίνακα 3.2.2.1, δημιουργήθηκαν οι ζώνες επιρροής βάσει της απόστασης από τα όρια των οικισμών ανά 1000m και κατηγοριοποιήθηκε η επικινδυνότητα σε πέντε κλάσεις (Πίνακας 3.4.5.1).

Πίνακας 3.4.5.1: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας οικισμών-ζώνες επιρροής

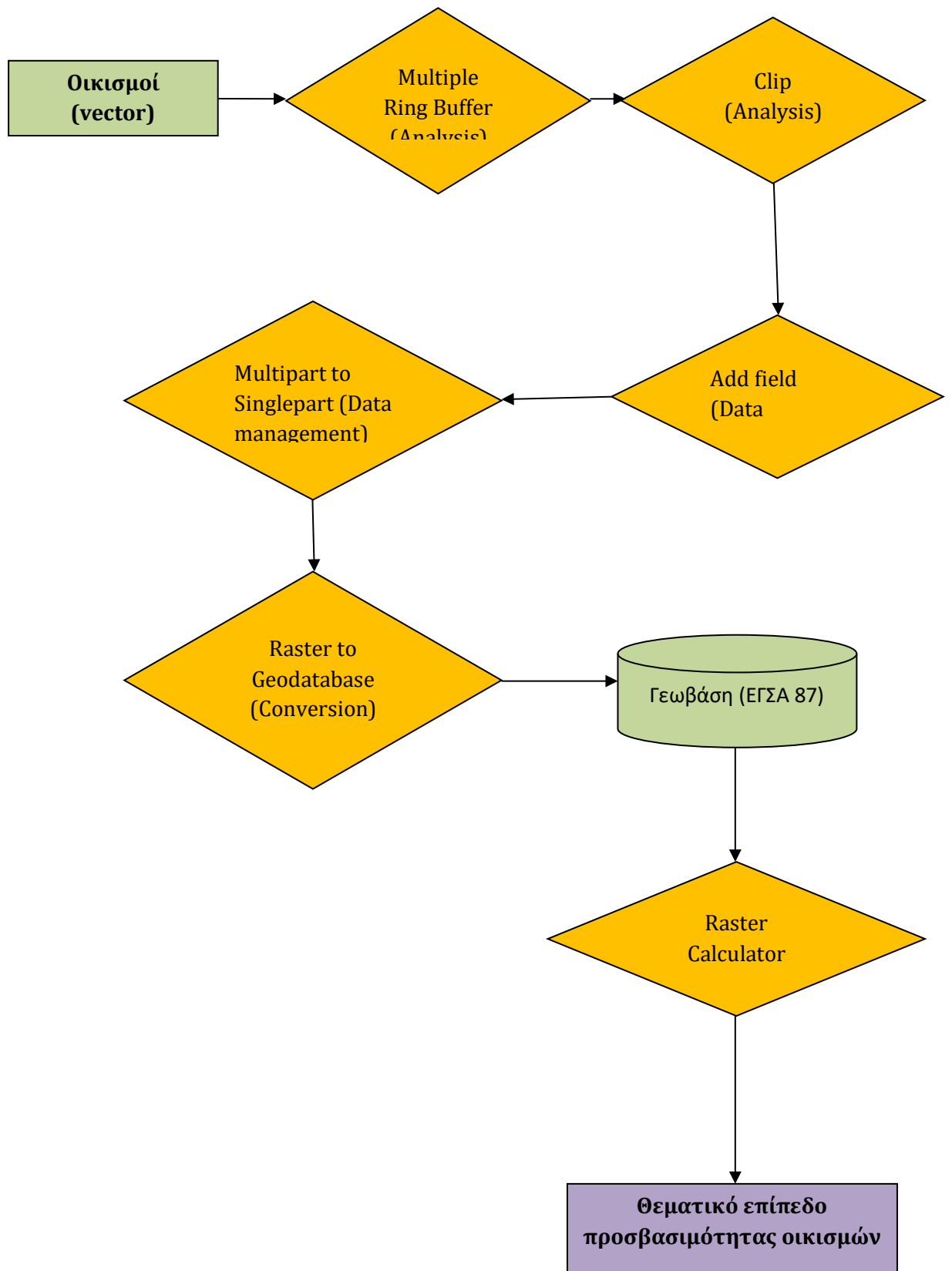
Ζώνη επιρροής οικισμών (m)	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας
1000	Πολύ χαμηλή	1
2000	Χαμηλή	2
3000	Μέτρια	3
4000	Υψηλή	4
5000	Πολύ υψηλή	5

Για την παραγωγή του θεματικού επιπέδου προσβασιμότητας των οικισμών, αρχικά δημιουργήθηκαν πέντε ζώνες επιρροής στο πολυγωνικό αρχείο διανυσματικής δομής των οικισμών, με την χρήση του εργαλείου «Multiple Ring Buffer» της εργαλειοθήκης Analysis του λογισμικού ArcGIS. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε περικοπή (*clip*) στα όρια της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης, με τη χρήση του σχετικού εργαλείου της ίδιας εργαλειοθήκης. Με την εφαρμογή του εργαλείου «Add Field» της εργαλειοθήκης Data Management προστέθηκε πεδίο με όνομα «weight» στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών του αρχείου, με σκοπό την αντιστοίχιση ποσοτικής κλίμακας επικινδυνότητας του Πίνακα 3.4.5.1 στις ζώνες επιρροής των οικισμών. Ακολούθως, εφαρμόστηκε η διαδικασία «Multipart to Singlepart» της εργαλειοθήκης Data Management ώστε να παραχθούν αυτόνομα πολύγωνα σύμφωνα με την πληροφορία του βαθμού επικινδυνότητας που εισήχθη.

Το επόμενο βήμα επεξεργασίας, ήταν η μετατροπή του αρχείου διανυσματικής δομής των ζωνών επιρροής των οικισμών σε πλεγματική, με την χρήση του εργαλείου «*Feature to Raster*» της εργαλειοθήκης Conversion, βάσει του πεδίου *weight*, στο οποίο καταχωρήθηκε η κλίμακα βαθμονόμησης της επικινδυνότητας (1-5). Το παραγόμενο μέγεθος εικονοστοιχείου (*output cell size*), υπολογίστηκε αυτόματα στα 160m. Ο βασικός υπολογισμός (*default*) του εργαλείου θεωρείται ο βέλτιστος επειδή συνυπολογίζεται το εύρος των δεδομένων (*input extent*) και το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του αρχείου (*spatial reference*). Σε περίπτωση μείωσης του μεγέθους του εικονοστοιχείου, αυξάνεται ο όγκος του αρχείου χωρίς να βελτιώνεται η λεπτομέρεια.

Για την ενιαία διαχείριση και ομογενοποίηση των γεωδεδομένων των θεματικών επιπέδων επικινδυνότητας, όπως προαναφέρθηκε, το παραγόμενο αρχείο διανυσματικής δομής, εισήχθη στην γεωβάση που δημιουργήθηκε για τον σκοπό αυτό, με την χρήση του εργαλείου «*Raster to Geodatabase*» της εργαλειοθήκης Conversion. Το βάθος εικονοστοιχείου του παραγόμενου αρχείου είναι 16bit, σε συμφωνία με τα αρχεία των κλίσεων και των προσανατολισμών της περιοχής μελέτης.

Εφόσον οι οικισμοί δεν καλύπτουν γεωγραφικά πλήρως της περιοχή μελέτης, στο παραγόμενο αρχείο πλεγματικής δομής υπάρχουν εικονοστοιχεία χωρίς τιμή (*no data*). Η απόδοση της τιμής 0 σε αυτά τα εικονοστοιχεία πραγματοποιήθηκε με την χρήση του εργαλείου «*Raster Calculator*» της εργαλειοθήκης Spatial Analyst. Τέλος, για την μείωση του όγκου των δεδομένων, επιλέχθηκαν τα εικονοστοιχεία που εμπίπτουν εντός της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης, με την χρήση του εργαλείου «*Extract by Mask Tool*» της εργαλειοθήκης Spatial Analyst.



Σχήμα 3.4.5.1: Διάγραμμα ροής εργασιών θεματικού επιπέδου επικινδυνότητας οικισμών

### 3.4.6 Θεματικό Επίπεδο Επικινδυνότητας Εκδήλωσης Πυρκαγιάς

Το τελικό προϊόν της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας, προέκυψε από την αλληλεπίθεση όλων των θεματικών επιπέδων και των σταθμισμένων μεταβλητών επικινδυνότητας που αναπαριστούν, μέσω της αναλυτικής διαδικασίας που περιλαμβάνεται στο εργαλείο «*weighed overlay*» της εργαλειοθήκης Spatial Analyst.

Προϋπόθεση της αναλυτικής διαδικασίας είναι ο καθορισμός του ποσοστού επιρροής του εκάστοτε θεματικού επιπέδου και κατ' επέκταση του κάθε παράγοντα που συμβάλλει στην επικινδυνότητα του φαινομένου της πυρκαγιάς. Το ποσοστό επιρροής προσδιορίστηκε λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες των φυσικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, την χωρική κατανομή τους, την σχετική βιβλιογραφία και το επιστημονικό υπόβαθρο του μελετητή (Πίνακας 3.4.6.1).

Πίνακας 3.4.6.1: Στάθμιση θεματικών επιπέδων επικινδυνότητας-μεταβλητών

Θεματικό επίπεδο	Βάρος
Καύσιμης ύλης - βλάστησης	40%
Κλίσεων	20%
Προσανατολισμών	20%
Οδικού δικτύου	10%
Οικισμών	10%

Για την ορθή λειτουργία του εργαλείου «*weighed overlay*», με την κατάλληλη επεξεργασία όλων των θεματικών επιπέδων εισροής, ικανοποιήθηκαν οι εξής προϋποθέσεις:

- Χωρική ταύτιση (ενιαία γεωαναφορά)
- Ενιαία δομή (*raster*)
- Κοινό βάθος εικονοστοιχείου (*pixel depth*)
- Ενιαίο εύρος έκτασης (*extent*) των δεδομένων
- Διαχείριση των περιοχών χωρίς πληροφορία (*no data*), στις περιπτώσεις που η φύση της μεταβλητής δεν καλύπτει γεωγραφικά όλη την περιοχή (π.χ. οδικό δίκτυο)

Ακολούθως, ορίστηκε η κλίμακα επικινδυνότητας από 0 έως 5 με βήμα 1. Η κλίμακα ορίστηκε από το 0 και όχι από το 1, επειδή εντοπίζονται δεδομένα No data τα οποία

αντιστοιχήθηκαν προηγουμένως στην τιμή 0 και αναφέρονται στα θεματικά επίπεδα επικινδυνότητας του οδικού δικτύου, των οικισμών και της βλάστησης. Εκτάσεις που δεν ανήκουν σε καμιά κατηγορία επικινδυνότητας, λαμβάνουν μηδενικό βάρος στην αναλυτική διαδικασία. Το παραγόμενο προϊόν συνθέτει τον ενιαίο χάρτη επικινδυνότητας εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς στην περιοχή μελέτης και έχει προκύψει από τον συνδυασμό των παραγόντων, με βάση το ποσοστό επιρροής τους στην επικινδυνότητα εκδήλωσης του φαινομένου, όπως ορίστηκε.

# Κεφάλαιο 4

## Αποτελέσματα

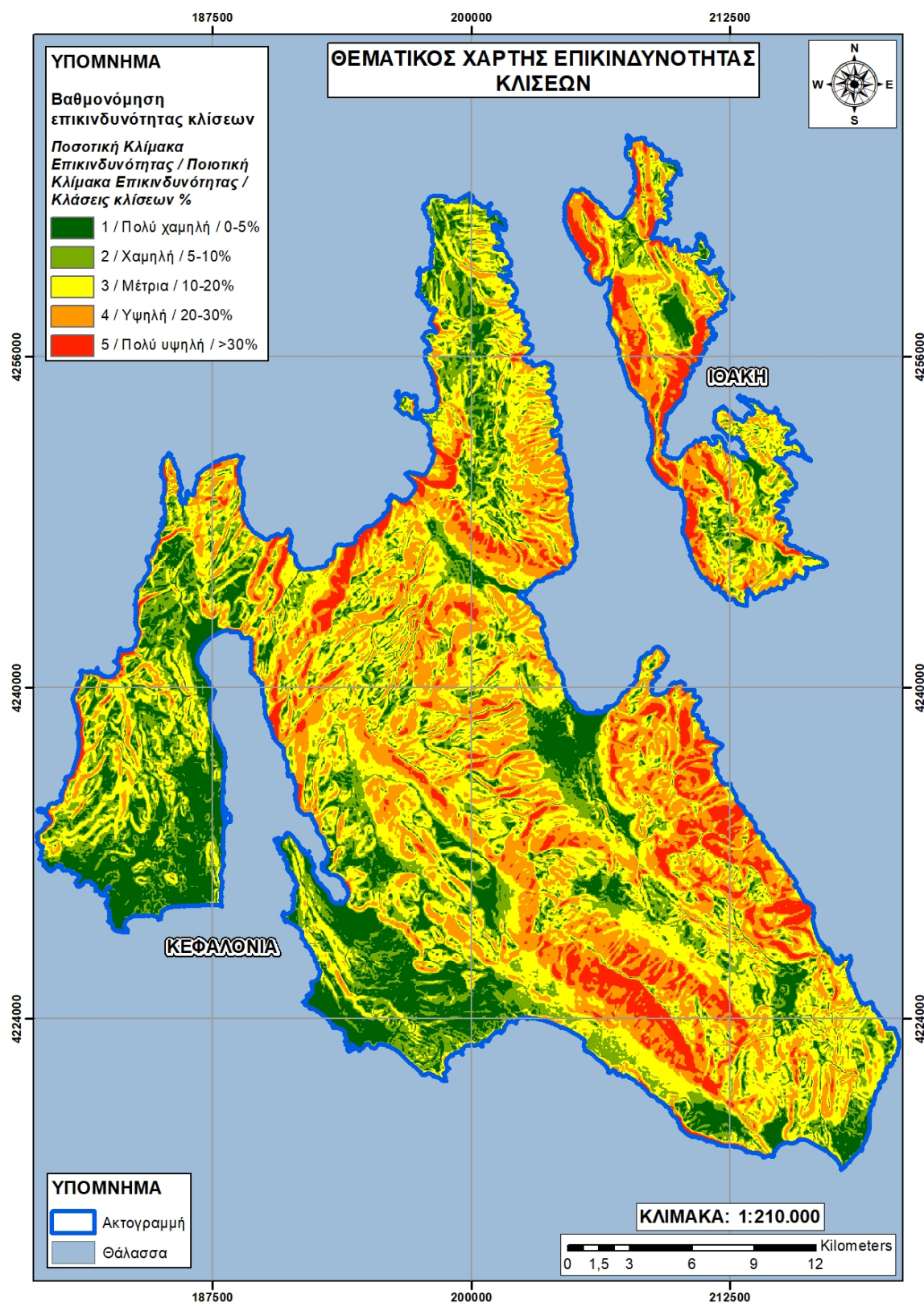
### 4.1 Εισαγωγή

Η χαρτογραφική απεικόνιση των παραγόντων επιφανείας που συμβάλλουν στην έναρξη, εξάπλωση και συμπεριφορά μιας δασικής πυρκαγιάς και της συνισταμένης τους σε έναν ενιαίο χάρτη, είναι το πρώτο μέρος των αποτελεσμάτων της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας, σύμφωνα με την οποία αναδεικνύεται η χωρική κατανομή της ποιοτικής κλίμακας επικινδυνότητας που έχει καθορισθεί. Το δεύτερο μέρος αφορά στην ποσοτική και στατιστική ανάλυσή των θεματικών χαρτών και η παρουσίαση τους ακολουθεί την δομή της μεθοδολογίας.

Σχετικά με την χωρική κατανομή και τα χαρακτηριστικά των γεωγραφικών δεδομένων που περιγράφουν την φυσιογνωμία της περιοχής μελέτης, αναφέρεται ότι το ανάγλυφο της περιοχής παρουσιάζεται ήπιο στα δυτικά και νοτιοδυτικά της έκτασης, στα κεντρικά και βόρεια μέτριο ως έντονο με λοφώδεις εξάρσεις και κοιλάδες τμηματικά, ενώ κεντρικά, ανατολικά και νότια αναπτύσσονται έντονες μορφολογικές δομές, οι οποίες περιλαμβάνουν χαραδρώσεις και απότομες κλιτύες. Ο προσανατολισμός των οροσειρών της Κεφαλονιάς, που αποτελεί και το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης, ως επί το πλείστον είναι ΒΔ-ΝΑ. Όσο αφορά στα γραμμικά χωρικά στοιχεία, η διάταξη του οδικού δικτύου ακολουθεί την οικιστική ανάπτυξη της περιοχής και παρουσιάζεται περισσότερο πυκνό στο δυτικό και νότιο τμήμα της Κεφαλονιάς, ενώ στην Ιθάκη στο βόρειο και νοτιοανατολικό μέρος της. Η γεωγραφική κατανομή των οικιστικών συγκεντρώσεων συσχετίζεται χωρικά με το οδικό δίκτυο και σε μεγάλο βαθμό με τις ήπιες έως κατά θέσεις μέτριες κλίσεις και τα χαμηλά ως μέσα υψόμετρα.

### 4.2 Κλίσεις

Η χαρτογραφική απεικόνιση των κλίσεων, ως αποτέλεσμα της μεθοδολογίας, αναδεικνύει την χωρική κατανομή της ποιοτικής κλίμακας επικινδυνότητας που καθορίστηκε για τον παράγοντα αυτό (Χάρτης 4.2.1).



Χάρτης 4.2.1: Θεματικός χάρτης επικινδυνότητας κλίσεων

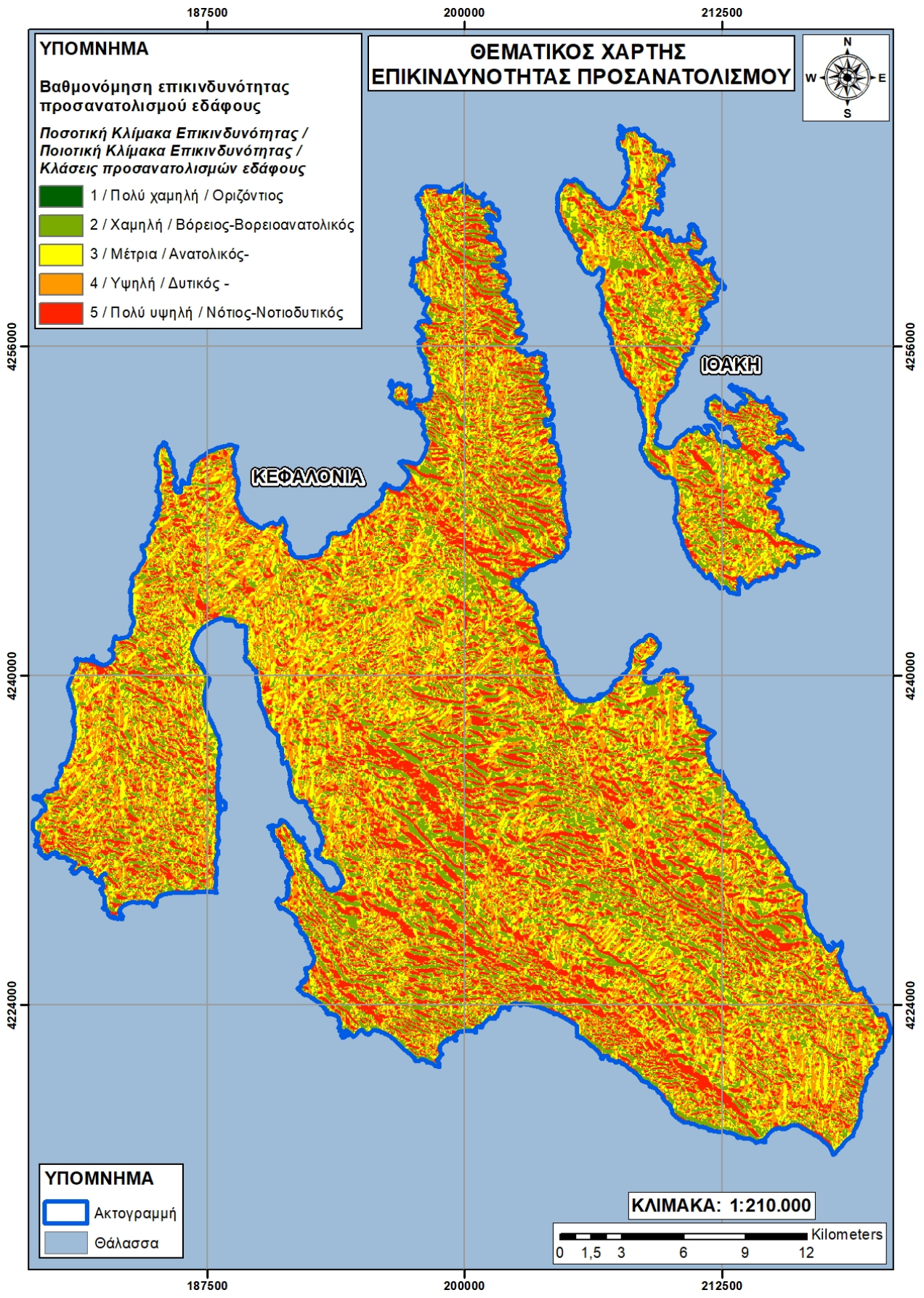
Σύμφωνα με την ποσοτική ανάλυση των στοιχείων του χάρτη, η ζώνη «υψηλής» ως «πολύ υψηλής» επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς, καταλαμβάνει αθροιστικά ποσοστό 32%, ενώ η ζώνη μέτριας επικινδυνότητας ανέρχεται σε ποσοστό 33,5% επί της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης (Πίνακας 4.2.1). Οι ζώνες αυτές γειτνιάζουν και κατανέμονται κυρίως στο κεντρικό και νοτιοανατολικό τμήμα της Κεφαλονιάς, ενώ στην Ιθάκη εμφανίζονται κυρίως στα δυτικά του νησιού.

Πίνακας 4.2.1: Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο κλίσεων

Επίπεδο κλίσεων (%)	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) έκτασης
0-5	Πολύ χαμηλή	1	14.018,89	15,9
5-10	Χαμηλή	2	16.095,77	18,3
10-20	Μέτρια	3	29.357,15	33,5
20-30	Υψηλή	4	20.985,15	23,9
>30	Πολύ υψηλή	5	7.161,19	8,4

### 4.3 Προσανατολισμός

Η χαρτογραφική απεικόνιση του προσανατολισμού των εδαφικών επιφανειών, ως αποτέλεσμα της μεθοδολογίας, παρουσιάζει το χωρικό πρότυπο της ποιοτικής κλίμακας επικινδυνότητας που καθορίστηκε για τον παράγοντα αυτό (Χάρτης 4.3.1).



#### Χάρτης 4.3.1: Θεματικός χάρτης επικινδυνότητας εκθέσεων

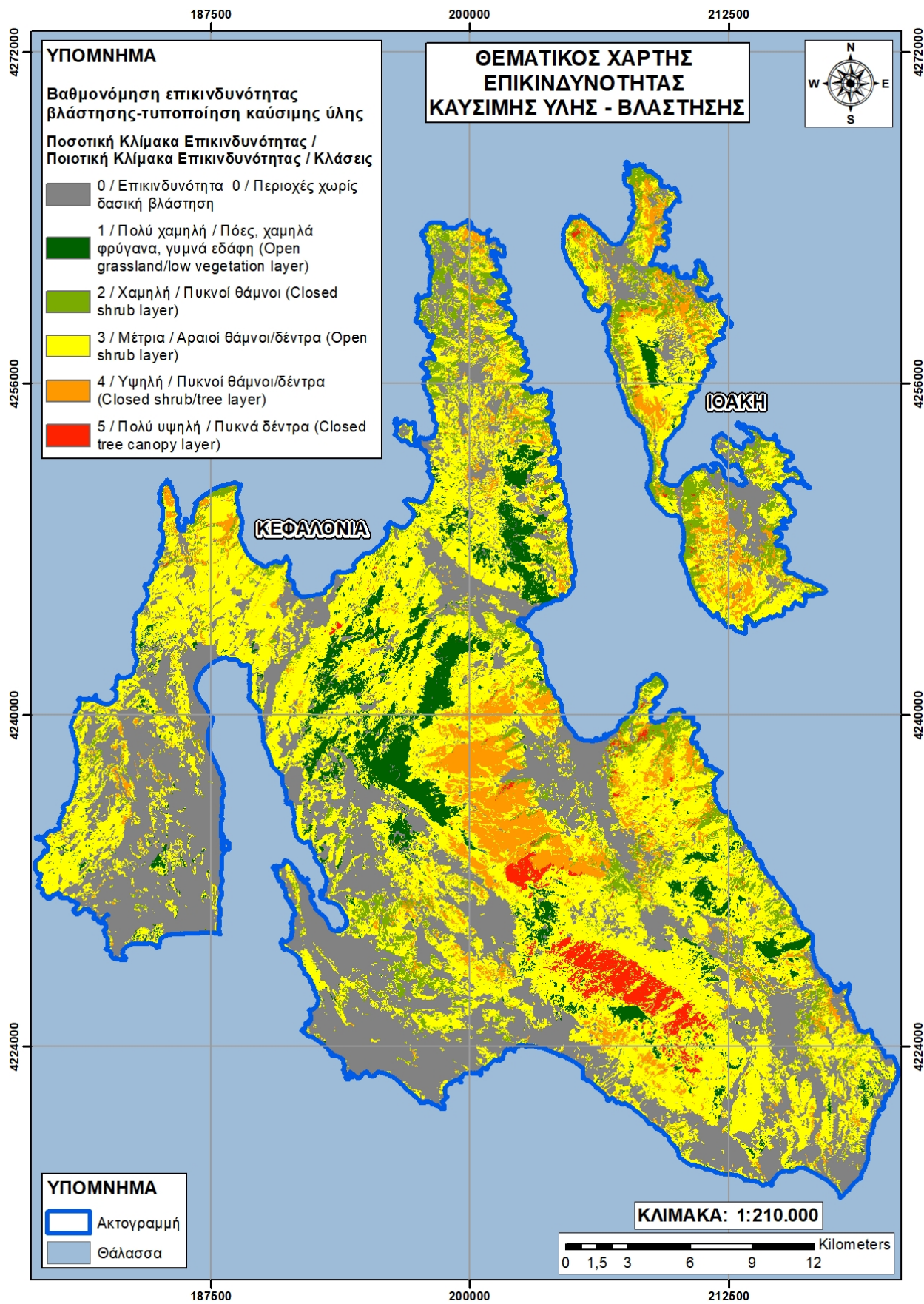
Η διαβάθμιση των ζωνών επικινδυνότητας στο θεματικό επίπεδο των προσανατολισμών του εδάφους, παρουσιάζει ομοιόμορφη κατανομή στο σύνολο της περιοχής μελέτης. Τα ποσοστά των εκτάσεων που φέρουν επικινδυνότητα από «χαμηλή» ως «πολύ υψηλή» είναι περίπου ίδια, ενώ οι εκτάσεις «μέτριας» και «υψηλής» επικινδυνότητας παρουσιάζονται ελαφρώς επικρατέστερες (Πίνακας 4.3.1).

Πίνακας 4.3.1: Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο προσανατολισμού εδάφους

Προσανατολισμοί επιπέδων εδάφους	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) έκτασης
Οριζόντιος	Πολύ χαμηλή	1	0,36	0,0
Βόρειος-Βορειοανατολικός	Χαμηλή	2	21.169,63	24,1
Ανατολικός-Βορειοδυτικός	Μέτρια	3	22.499,33	25,6
Δυτικός - Νοτιοανατολικός	Υψηλή	4	22.422,96	25,5
Νότιος-Νοτιοδυτικός	Πολύ υψηλή	5	21.519,20	24,8

## 4.4 Καύσιμη Ύλη-Βλάστηση

Η χαρτογραφική απεικόνιση της βλάστησης, ως αποτέλεσμα της μεθοδολογίας, αναδεικνύει την χωρική κατανομή της ποιοτικής κλίμακας επικινδυνότητας που καθορίστηκε για τον παράγοντα αυτό (Χάρτης 4.4.1).



Χάρτης 4.4.1: Θεματικός χάρτης επικινδυνότητας καύσιμης ύλης-βλάστησης

Η ζώνη «υψηλής» ως «πολύ υψηλής» επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς, όπως παρουσιάζεται στο θεματικό επίπεδο της βλάστησης, καταλαμβάνει αθροιστικά ποσοστό 9,5%, επί της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης. Στην Κεφαλονιά συγκεντρώνεται στο κεντρικό και νότιο μέρος του νησιού και κατά θέσεις νοτιοανατολικά και βορειοανατολικά. Στην Ιθάκη εμφανίζεται στο νότιο αλλά και βόρειο τμήμα της, ενώ παρουσιάζεται σποραδικά πλησίον της ακτογραμμής. Η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης ανήκει στην ζώνη μέτριας επικινδυνότητας, με ποσοστό 43,6% (Πίνακας 4.2.1), η οποία περιλαμβάνει θάμνους και δέντρα με σχετικά αραιή συγκρόμωση και εντάσσεται στον κλιμακωτό τύπο καύσιμης ύλης.

Πίνακας 4.4.1: Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο βλάστησης

Θεματικές ομάδες βλάστησης	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) έκτασης
Πόες, χαμηλά φρύγανα, γυμνά εδάφη ( <i>Open grassland/low vegetation layer</i> )	Πολύ χαμηλή	1	5.952,92	6,7
Πυκνοί θάμνοι ( <i>Closed shrub layer</i> )	Χαμηλή	2	6.786,64	7,7
Αραιοί θάμνοι/δέντρα ( <i>Open shrub/tree layer</i> )	Μέτρια	3	38.224,21	43,6
Πυκνοί θάμνοι/δέντρα ( <i>Closed shrub/tree layer</i> )	Υψηλή	4	6.888,09	7,8

Θεματικές ομάδες βλάστησης	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) έκτασης
Πυκνά δέντρα ( <i>Closed tree canopy layer</i> )	Πολύ υψηλή	5	1.551,13	1,7

## 4.5 Ζώνη Επιρροής Οδικού Δικτύου

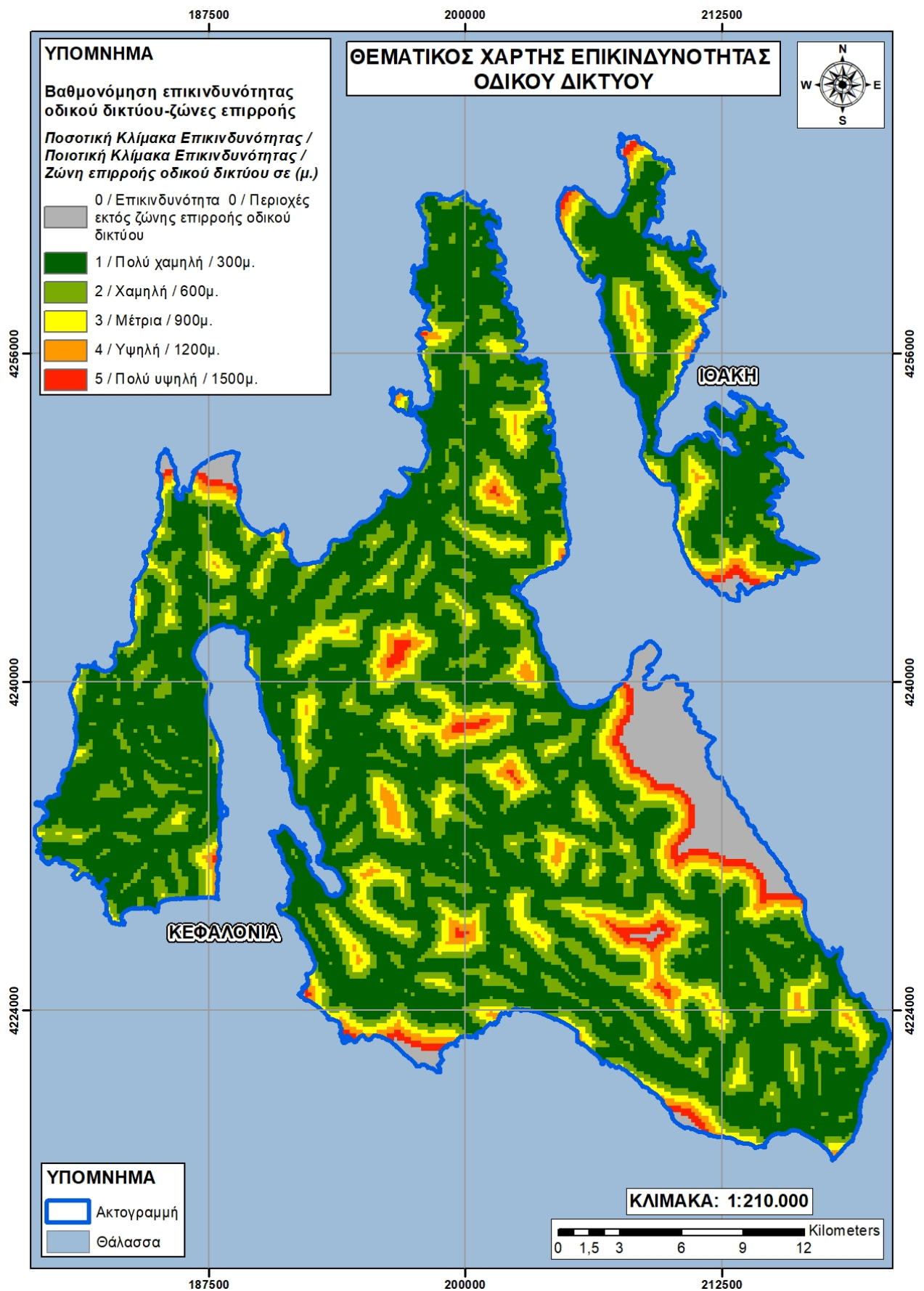
Η χαρτογραφική απεικόνιση των ζωνών επιρροής του οδικού δικτύου, ως αποτέλεσμα της μεθοδολογίας, αποτυπώνει την χωρική κατανομή της ποιοτικής κλίμακας επικινδυνότητας που καθορίστηκε για τον παράγοντα αυτό (Χάρτης 4.5.1).

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ζώνης επιρροής του οδικού δικτύου εντάσσεται στην «πολύ χαμηλή» ως «χαμηλή» κλίμακα επικινδυνότητας, εφόσον παρουσιάζεται περισσότερο πυκνό σε περιοχές όπου η κάλυψη γης των παρακείμενων εκτάσεων είναι αγροτική ή αστική (Πίνακας 4.5.1).

Πίνακας 4.5.1: Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο ζώνης επιρροής οδικού δικτύου

Ζώνη επιρροής οδικού δικτύου(m)	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) έκτασης
300	Πολύ χαμηλή	1	49.369,07	56,3
600	Χαμηλή	2	20.772,72	23,7
900	Μέτρια	3	8.841,63	10,0
1200	Υψηλή	4	3.336,44	3,8
1500	Πολύ υψηλή	5	1.522,95	1,7





Χάρτης 4.5.1: Θεματικός χάρτης προσβασιμότητας οδικού δικτύου

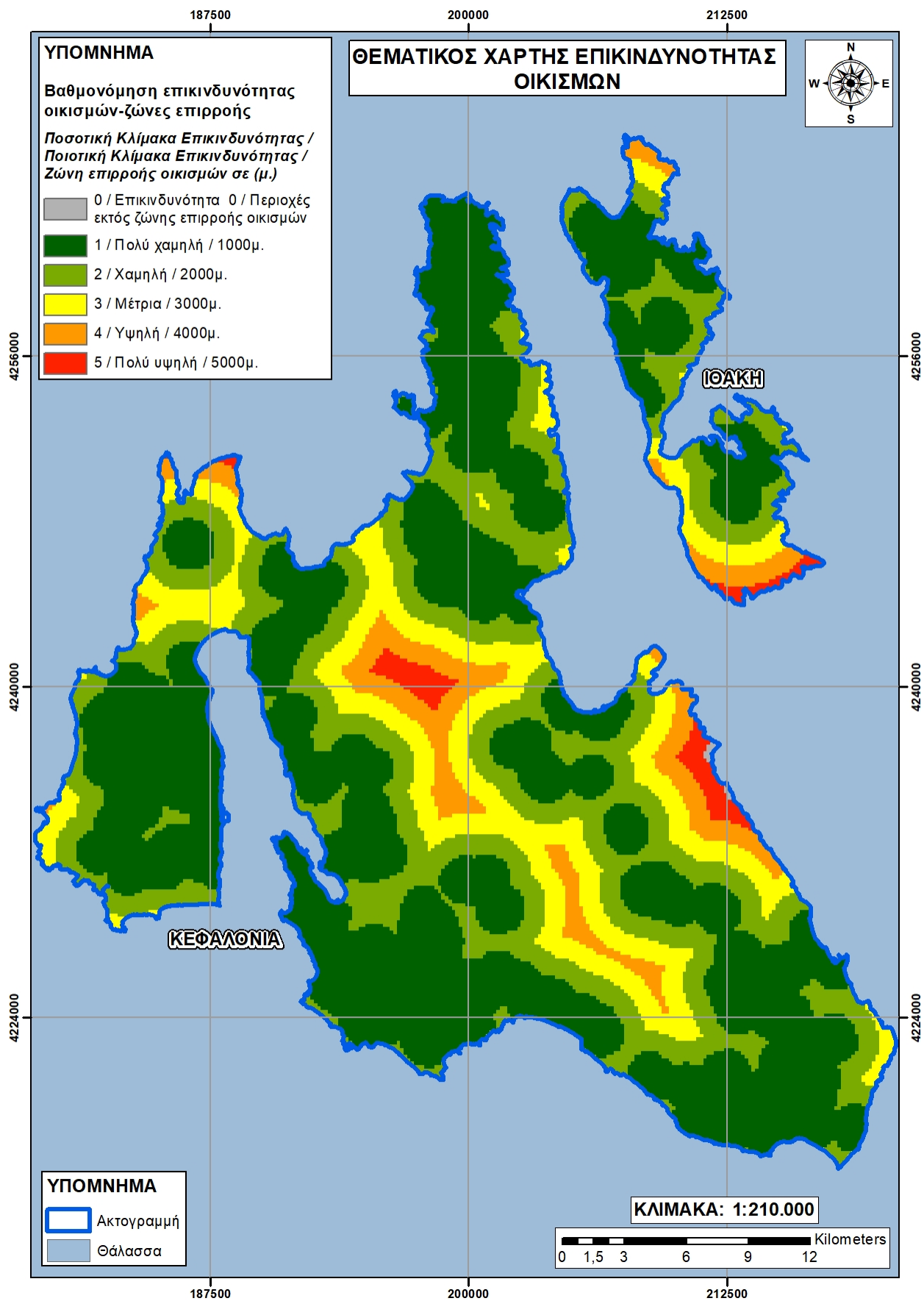
## 4.6 Ζώνη Επιρροής Οικισμών

Η χαρτογραφική απεικόνιση των ζωνών επιρροής των οικισμών, ως αποτέλεσμα της μεθοδολογίας, αποτυπώνει την χωρική κατανομή της ποιοτικής κλίμακας επικινδυνότητας που καθορίστηκε για τον παράγοντα αυτό (Χάρτης 4.6.1).

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ζώνης επιρροής των οικισμών εντάσσεται στην «πολύ χαμηλή» ως «χαμηλή» κλίμακα επικινδυνότητας, εφόσον οι οικισμοί εκτείνονται σχετικά μακριά από την δασική βλάστηση της περιοχής μελέτης και σε περιοχές κυρίως ήπιων κλίσεων (Πίνακας 4.6.1).

Πίνακας 4.6.1: Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο ζώνης επιρροής οικισμών

Ζώνη επιρροής οικισμών (m)	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) έκτασης
1000	Πολύ χαμηλή	1	44.929,98	51,2
2000	Χαμηλή	2	23.308,88	26,6
3000	Μέτρια	3	12.448,45	14,2
4000	Υψηλή	4	5.417,20	6,1
5000	Πολύ υψηλή	5	1.446,63	1,6



Χάρτης 4.6.1: Θεματικός χάρτης προσβασιμότητας οικισμών

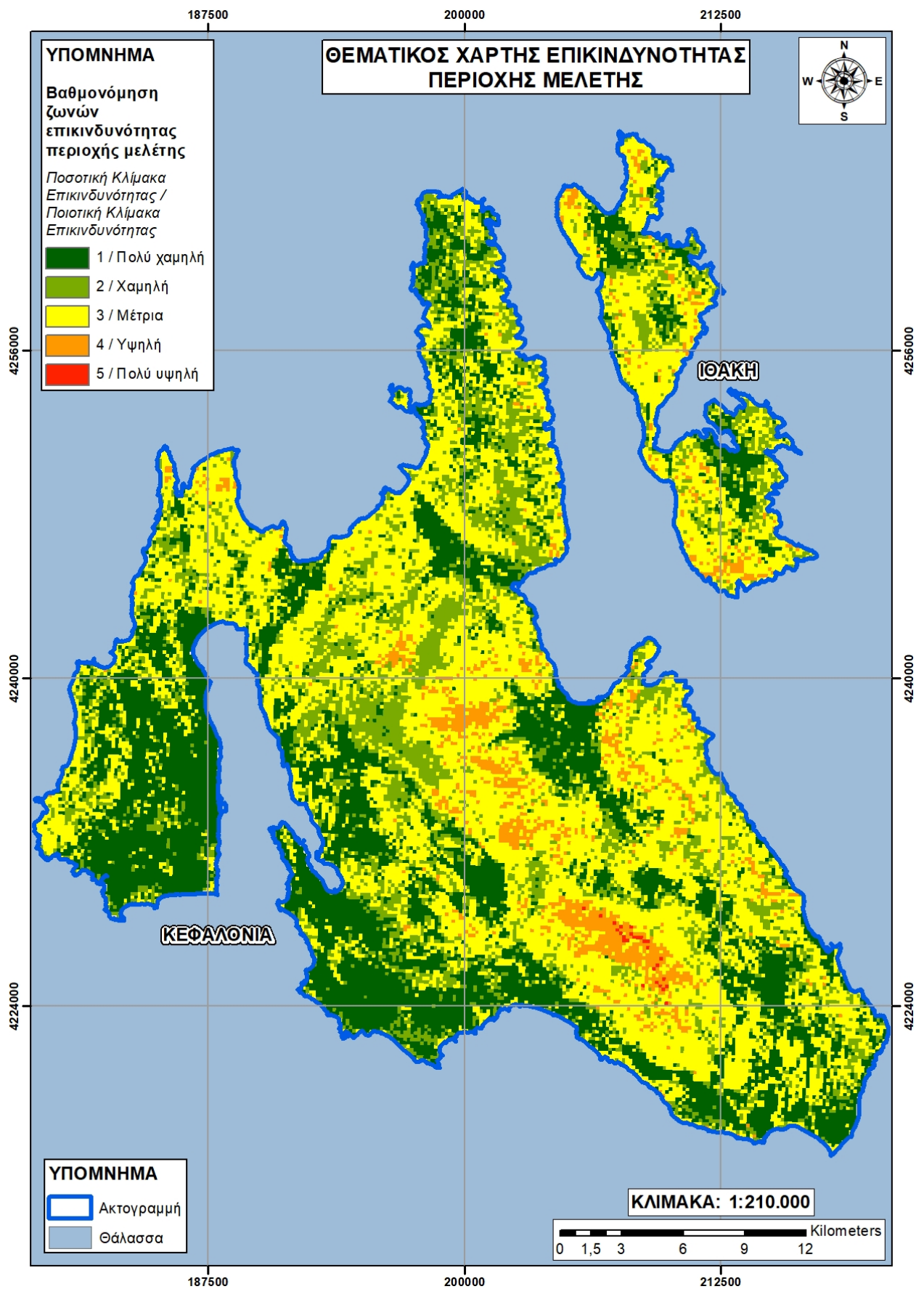
## 4.7 Επικινδυνότητα Εκδήλωσης Πυρκαγιάς Στην Περιοχή Μελέτης

Το αποτέλεσμα της σύζευξης των θεματικών χαρτών επικινδυνότητας, οι οποίοι αναπαριστούν τους παράγοντες που συμβάλλουν στον κίνδυνο έναρξης και διάδοσης μιας πυρκαγιάς και την παραμετροποίηση τους σε ενιαία τακτική κλίμακα 5 κλάσεων, είναι ο τελικό χάρτης επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης (Χάρτης 4.7.1)

Στο ενιαίο θεματικό επίπεδο επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης, το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης ανήκει στην ζώνη του «μέτριου» βαθμού επικινδυνότητας εκδήλωσης του φαινομένου της πυρκαγιάς (47,3%). Η ζώνη αυτή παρουσιάζει χωρική συνέχεια κατά μήκος του κεντρικού και νοτιανατολικού τμήματος της Κεφαλονιάς, ενώ στην Ιθάκη συγκεντρώνεται στο νοτιοδυτικό και βόρειο τμήμα (Πίνακας 4.7.1).

Πίνακας 4.7.1: Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο περιοχής μελέτης

Ποσοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Ποιοτική κλίμακα επικινδυνότητας	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) έκτασης
1	Πολύ χαμηλή	17.412,23	19,9
2	Χαμηλή	22.341,19	25,5
3	Μέτρια	41.442,32	47,3
4	Υψηλή	6.173,84	7,0
5	Πολύ υψηλή	68,85	0,07



Χάρτης 4.7.1: Τελικός χάρτης επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης

Η στατιστική ανάλυση (*zonal statistics*) που πραγματοποιήθηκε αφορά τον τελικό χάρτη επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης, και έγινε ανά:

- Δημοτική ενότητα
- Κλάση κλίσης
- Κλάση προσανατολισμού
- Θεματική ομάδα βλάστησης
- Ζώνη επιρροής οδικού δικτύου
- Ζώνη επιρροής οικισμών

Η στατιστική ανάλυση της επικινδυνότητας σύμφωνα με την διοικητική διαίρεση της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται παρακάτω (Πίνακας 4.7.2):

Πίνακας 4.7.2: Στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας ανά Δημοτική Ενότητα

Διοικητική Διαίρεση Περιοχής Μελέτης		Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης								
Περιφερειακή Ενότητα	Δημοτική Ενότητα	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή (Max)	Εύρος (Range)	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών	Επικρατέστερη τιμή (Majority)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος (Median)
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	4	3	1,825	0,918899	438	1	4	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	4	3	2,082218	0,910387	1089	3	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	4	3	2,391167	0,922032	758	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	4	3	2,23348	0,916384	507	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	4	3	2,638849	0,728012	1834	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	3	2	1,963134	0,802373	426	2	3	2
Π.Ε. ΙΘΑΚΗΣ	Δ.Ε. ΙΘΑΚΗΣ	1	4	3	2,507317	0,778488	1028	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	3	2	2,550505	0,735104	505	3	1	3

Διοικητική Διάρθρωση Περιφέρειας		Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης								
Περιφερειακή Ενότητα	Δημοτική Ενότητα	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή (Max)	Εύρος (Range)	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών	Επικρατέστερη τιμή (Μαζική)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος (Median)
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	3	2	1,389956	0,715983	941	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	3	2	2,454054	0,76356	454	3	1	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	4	3	2,328982	0,953964	892	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	4	3	2,425287	0,767623	422	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	4	3	2,14741	0,836293	539	3	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	5	4	2,554863	0,905846	2049	3	5	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΣΑΜΗΣ	1	4	3	2,543726	0,901514	2676	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,907285	0,901441	288	1	2	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	3	2	1,776	0,919687	222	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	4	3	2,363223	0,814887	3637	3	4	2
Π.Ε. ΙΩΑΚΗΣ	Δ.Ε. ΙΩΑΚΗΣ	1	4	3	2,870056	0,795508	508	3	1	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	4	3	2,513761	0,836273	548	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	4	3	2,412516	0,803693	1889	3	4	3
Π.Ε. ΙΩΑΚΗΣ	Δ.Ε. ΙΩΑΚΗΣ	1	4	3	2,259003	0,862071	1631	3	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	4	3	2,272311	0,861847	993	3	4	3

Διοικητική Διάρθρωση Περιφέρειας Μελέτης		Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης								
Περιφερειακή Ενότητα	Δημοτική Ενότητα	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή (Max)	Εύρος (Range)	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών	Επικρατέστερη τιμή (Μαζική)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος (Median)
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	3	2	1,747312	0,833195	325	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΣΑΜΗΣ	1	4	3	2,819578	0,850697	1469	3	2	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	4	3	2,051429	0,780246	359	2	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,28254	0,6012	404	1	3	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	3	2	1,447368	0,732601	110	1	3	1
Π.Ε. ΙΘΑΚΗΣ	Δ.Ε. ΙΘΑΚΗΣ	1	4	3	2,519608	0,856315	771	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	3	2	2,197452	0,847924	345	3	2	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	4	3	2,354478	0,726175	631	3	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,955	0,918137	391	1	2	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,330049	0,697945	270	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	4	3	2,295082	0,816716	420	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	3	2	1,302817	0,638985	185	1	3	1
Π.Ε. ΙΘΑΚΗΣ	Δ.Ε. ΙΘΑΚΗΣ	1	4	3	2,75265	0,663766	779	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,158996	0,483875	554	1	3	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	3	2	1,519481	0,783107	117	1	2	1

Διοικητική Διάρθρωση Περιφέρειας		Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης								
Περιφερειακή Ενότητα	Δημοτική Ενότητα	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή (Max)	Εύρος (Range)	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών	Επικρατέστερη τιμή (Μαζική)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος (Median)
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	3	2	1,638158	0,870189	249	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	4	3	1,734694	0,931873	170	1	4	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	4	3	2,118182	0,860569	233	3	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	3	2	1,25	0,53619	175	1	3	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,427632	0,766073	217	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	3	2	1,788546	0,914519	406	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	4	3	2,453376	0,750292	763	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	4	3	2,307377	0,804564	563	3	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	5	4	2,697575	0,885681	1891	3	5	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΟΜΑΛΩΝ	1	4	3	2,556022	0,927579	4266	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	3	2	2,23511	0,932464	713	3	2	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	3	2	2,295082	0,789499	420	3	1	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	3	2	1,790123	0,812192	290	1	3	2
Π.Ε. ΙΘΑΚΗΣ	Δ.Ε. ΙΘΑΚΗΣ	1	4	3	2,66988	0,856968	2216	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	3	2	1,385135	0,712093	205	1	2	1

Διοικητική Διάρθρωση Περιφέρειας Μελέτης		Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης								
Περιφερειακή Ενότητα	Δημοτική Ενότητα	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή (Max)	Εύρος (Range)	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών	Επικρατέστερη τιμή (Μαζική)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος (Median)
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	4	3	2,33 0739	0,8481 78	599	3	4	3
Π.Ε. ΙΩΑΚΗΣ	Δ.Ε. ΙΩΑΚΗΣ	1	4	3	2,44 6281	0,8964 31	888	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	4	3	2,15 1025	0,9059 65	1994	3	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΣΑΜΗΣ	1	4	3	2,42 3729	1,0688 72	572	3	2	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΥΛΑΡΕΩΝ	1	4	3	2,43 7992	0,7769 12	6507	3	4	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΣΑΜΗΣ	1	5	4	2,81 9895	0,8530 95	5386	3	5	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	2,09 4595	0,8725 38	155	3	2	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΣΑΜΗΣ	1	4	3	2,31 4103	1,0365 41	1083	3	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	3	2	1,14 0351	0,4232 4	195	1	3	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	3	2	1,83 859	0,8962 48	991	1	2	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,44 186	0,7461 22	186	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,27 9528	0,5721 68	325	1	3	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΛΕΙΒΑΘΟΥΣ	1	3	2	1,38 9831	0,5923 32	246	1	3	1
Π.Ε. ΙΩΑΚΗΣ	Δ.Ε. ΙΩΑΚΗΣ	1	4	3	2,21 978	0,8447 49	606	3	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	3	2	1,83 7456	0,7852 95	520	1	3	2

Διοικητική Διάρθρωση Περιοχής Μελέτης		Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης								
Περιφερειακή Ενότητα	Δημοτική Ενότητα	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή (Max)	Εύρος (Range)	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών	Επικρατέστερη τιμή (Μαζικότητα)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος (Median)
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	4	3	2,089744	0,873503	1141	3	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,25	0,618017	90	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	4	3	1,977369	0,908578	1398	1	4	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	1	3	2	2,276224	0,813304	651	3	1	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΡΙΣΟΥ	1	3	2	2,085	0,785987	417	2	1	2
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,590038	0,823817	415	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΠΑΛΙΚΗΣ	1	3	2	1,465704	0,780919	406	1	2	1
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΣΑΜΗΣ	1	4	3	2,551064	1,06818	1199	3	2	3
Π.Ε. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	Δ.Ε. ΕΛΕΙΟΥ - ΠΡΟΝΩΝ	1	3	2	1,589744	0,818105	186	1	2	1

Η στατιστική ανάλυση της επικινδυνότητας σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των κλίσεων της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται παρακάτω (Πίνακας 4.7.3):

Πίνακας 4.7.3: Στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας ανά κλάση κλίσης

Κλάσεις Κλίσεων	Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης										
	Αριθμός Pixel (Count)	Έκταση (τιμ) (Area)	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή	Εύρος (Range)	Μέσος όρος (Mean)	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών (Sum)	Επικρατέστερη τιμή (Majority)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος (Median)
1	192728	173455200	1	5	4	1,783451	0,868034	343721	1	5	2
2	246737	222063300	1	5	4	2,669908	1,021342	658765	3	5	3
3	456741	411066900	1	5	4	3,326526	1,016389	1519361	3	1	3
4	68070	61263000	1	5	4	3,981299	0,82203	271007	4	1	4
5	800	720000	3	5	2	4,41375	0,608326	3531	5	3	4

Η στατιστική ανάλυση της επικινδυνότητας σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των βλάστησης της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται παρακάτω (Πίνακας 4.7.4):

Πίνακας 4.7.4: Στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας ανά θεματική ομάδα βλάστησης

Κλάσεις Βλάστησης	Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης										
	Αριθμός Pixel (Count)	Έκταση (τιμ) (Area)	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή	Εύρος (Range)	Μέσος όρος (Mean)	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών (Sum)	Επικρατέστερη τιμή (Majority)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος (Median)
1	1730364	173036400	0	5	5	0,506892	1,120473	877108	0	5	0
2	2212072	221207200	0	5	5	1,396514	1,38686	3089189	0	5	1
3	4104388	410438800	0	5	5	2,595441	1,12245	10652696	3	5	3
4	612604	61260400	0	5	5	3,445234	1,027863	2110564	3	0	3
5	6863	686300	1	5	4	4,152994	1,012191	28502	5	1	5

Η στατιστική ανάλυση της επικινδυνότητας σύμφωνα με την εγγύτητα του οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται παρακάτω (Πίνακας 4.7.5):

Πίνακας 4.7.5: Στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας βάσει ζωνών επιρροής οδικού δικτύου

Ζώνη Επιρροής Οδικού Δικτύου	Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης										
	Αριθμός Pixel (Count)	Έκταση (τιμ)(Area)	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή (Max)	Εύρος (Range)	Μέσος όρος (Mean)	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών (Sum)	Επικρατέστερη τιμή (Majority)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος (Median)
1	17671	4908 8518 9,5	1	4	3	1,99 349 2	0,91 207 8	352 27	1	4	2
2	7381	2050 3783 5,1	1	4	3	2,42 487 5	0,88 121 1	178 98	3	4	3
3	3084	8567 0868, 91	1	5	4	2,74 708 2	0,79 572 5	847 2	3	5	3
4	1140	3166 8220, 02	1	5	4	2,97 894 7	0,84 681 8	339 6	3	5	3
5	538	1494 5177, 52	1	5	4	3,21 933 1	0,86 238 9	173 2	3	5	3

Η στατιστική ανάλυση της επικινδυνότητας σύμφωνα με τις ζώνες επιρροής των οικισμών της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται παρακάτω (Πίνακας 4.7.6):

Πίνακας 4.7.6: Στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας βάσει ζωνών επιρροής οικισμών

Ζώνη Επιρροής Οικισμών	Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης										
	Αριθμός Pixel (Count)	Έκταση (τιμ)(Area)	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή (Max)	Εύρος (Range)	Μέσος όρος (Mean)	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών (Sum)	Επικρατέστερη τιμή (Majority)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος (Median)
1	16040	445577 411,6	1	4	3	1,8731 92	0,911 278	300 46	1	4	2
2	8280	230011 282,3	1	4	3	2,4957 73	0,812 036	206 65	3	4	3
3	4412	122561 567,3	1	5	4	2,8100 63	0,739 513	123 98	3	5	3

4	1925	534748 45,22	1	5	4	2,9771 43	0,684 141	573 1	3	5	3
5	508	141118 03,31	1	4	3	2,8602 36	0,629 143	145 3	3	1	3

## 4.8 Αξιολόγηση Της Μεθόδου

Η αξιολόγηση του αποτελέσματος της μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε με την διερεύνηση του τελικού χάρτη επικινδυνότητας, ως προϊόν σταθμισμένης σύζευξης όλων των θεματικών επιπέδων επικινδυνότητας και των παραμέτρων που συμβάλλουν στην εκδήλωση και εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς, σε σχέση με το ιστορικό πυρκαγιών στην περιοχή μελέτης. Για την γεωγραφική αναπαράσταση του ιστορικού των δασικών πυρκαγιών (1985-2015), χρησιμοποιήθηκαν τα πολύγωνα των αναδασωτέων εκτάσεων του Δασικού Χάρτη, ο οποίος αποτελεί αξιόπιστη πηγή ανάκτησης της σχετικής πληροφορίας (Χάρτης 4.8.1).

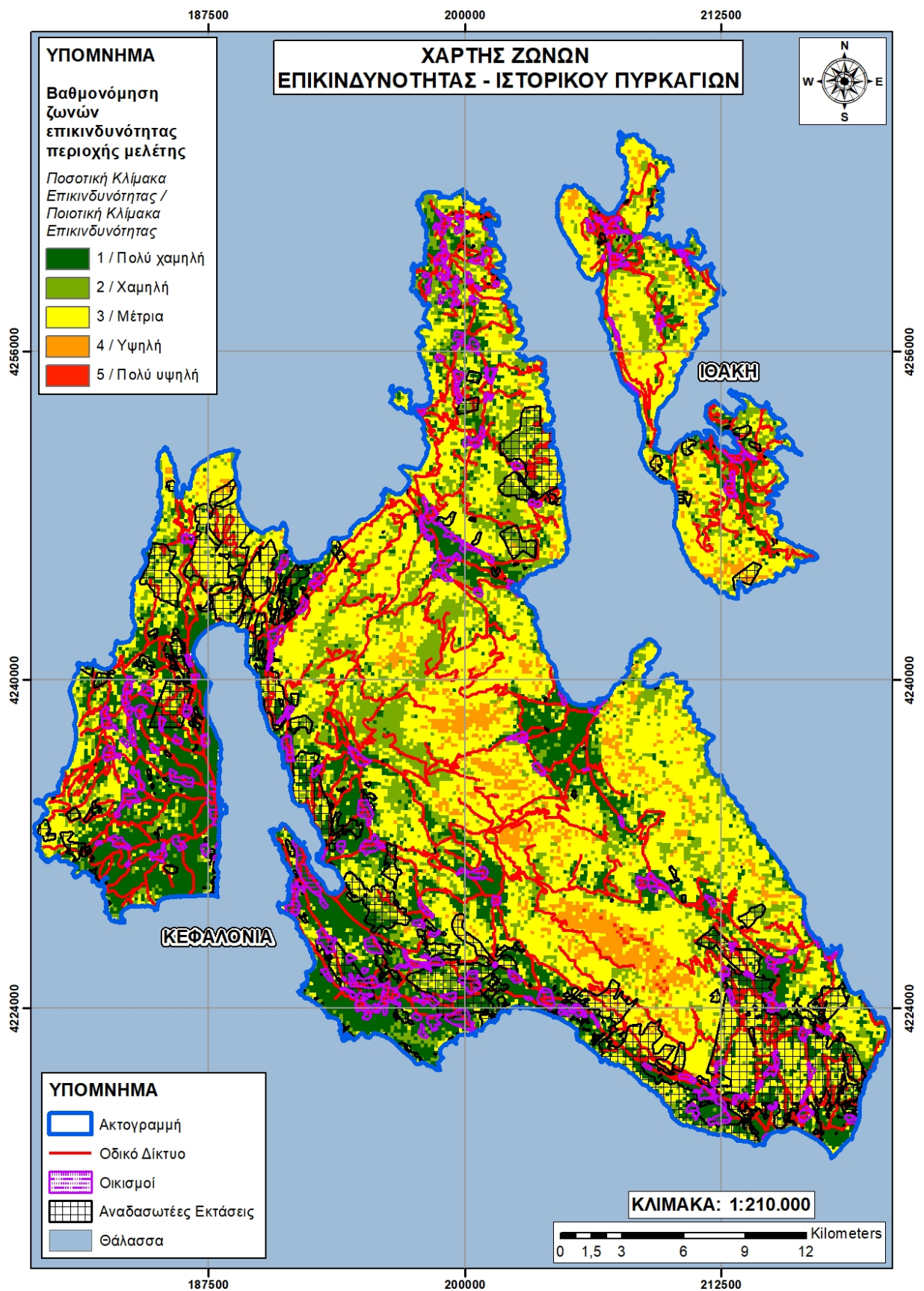
Ο χάρτης της γεωγραφικής αξιολόγησης της μεθόδου, περιλαμβάνει τα πολύγωνα των οικισμών, την γραμμική διάταξη του οδικού δικτύου, τα πολύγωνα των αναδασωτέων εκτάσεων και το υπόβαθρο του χωρικού προτύπου της ποιοτικής κλίμακας επικινδυνότητας της περιοχής. Από την μελέτη της χωρικής συσχέτισης των ανθρωπογενών παραγόντων, του ιστορικού πυρκαγιών και των ζωνών επικινδυνότητας, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας, προκύπτει ότι οι περισσότερες πυρκαγιές που έχουν εκδηλωθεί στο παρελθόν, εντοπίζονται πλησίον οικισμών, στη ζώνη επιρροής 3km περίπου και σε παρακείμενες με το οδικό δίκτυο εκτάσεις, σε απόσταση 1Km περίπου. Αναφορικά με την μέγεθος των καμένων εκτάσεων όμως, αναφέρεται ότι οι περισσότερες είναι πολύ μικρότερες από 10.000 στρέμματα, το οποίο σύμφωνα με την Έκθεση της Ανεξάρτητης Επιτροπής που συστάθηκε με πρωθυπουργική απόφαση το 2018, για την ανάλυση υποκείμενων αιτιών και τη διερεύνηση των προοπτικών διαχείρισης δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα (Goldammer *et al.*, 2019), εκτιμάται ως όριο εκτίμησης του μεγέθους των πυρκαγιών.

Το πολυγωνικό αρχείο των αναδασωτέων εκτάσεων που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει 351 πολύγωνα συνολικής έκτασης 12.965 εκταρίων. Η απεικόνιση της στατιστικής ανάλυσης του τελικού χάρτη επικινδυνότητας (*zonal statistics*) σε σχέση με το σύνολο των αναδασωτέων εκτάσεων φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 4.8.1):

Πίνακας 4.8.1: Αξιολόγηση θεματικού χάρτη επικινδυνότητας περιοχής μελέτης

Αριθμός πολυγώνων Αναδασωτέων	Στατιστικά Θεματικού Επιπέδου Επικινδυνότητας Περιοχής Μελέτης										
	Αριθμός Pixel (Count)	Έκταση (ha) (Area)	Ελάχιστη τιμή (Min)	Μέγιστη τιμή (Max)	Εύρος (Range)	Μέσος όρος (Mean)	Τυπική απόκλιση (Std)	Άθροισμα τιμών (Sum)	Επικρατέστερη τιμή (Majority)	Μειονότητα (Minority)	Αριθμητικός μέσος
351	464 8	12.9 65	1	4	3	2,2207 4	0,88973 9	103 22	3	4	3

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.8.1, εφόσον η επικρατέστερη τιμή ζώνης επικινδυνότητας που εμφανίζεται στα πολύγωνα των αναδασωτέων εκτάσεων είναι το 3, συμπεραίνεται ότι οι πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν στο παρελθόν, εμπίπτουν κυρίως στην ζώνη «μέτριας» επικινδυνότητας του τελικού χάρτη επικινδυνότητας.



Χάρτης 4.8.1: Χωρική συσχέτιση ζωνών επικινδυνότητας εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς και ιστορικού δασικών πυρκαγιών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας και αναφορικά με τους παράγοντες επικινδυνότητας που συνεπιδρούν στην πιθανότητα εμφάνισης δασικής πυρκαγιάς στην περιοχή μελέτης, το μεγαλύτερο ποσοστό των εδαφικών κλίσεων (33,5%), με εύρος κλάσης 10-20% αντιστοιχεί σε «μέτρια» επικινδυνότητα, ενώ εκτιμάται ότι και το ποσοστό που αντιστοιχεί στην «υψηλή» επικινδυνότητα (23,9%) είναι σημαντικό. Αξιοσημείωτη είναι η κατανομή των ποσοστών επικινδυνότητας του προσανατολισμού των εδαφικών επιφανειών καθώς αυτά παρουσιάζονται σχεδόν ισότιμα από την «χαμηλή» κλίμακα επικινδυνότητας έως την «πολύ υψηλή». Σχετικά με το θεματικό επίπεδο επικινδυνότητας της βλάστησης-καύσιμης ύλης, το οποίο έλαβε και το μεγαλύτερο βάρος στην ανάλυση, το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχής μελέτης (43,6%) ανήκει στην θεματική ομάδα βλάστησης «αραιοί θάμνοι/δέντρα» και στον τύπο καύσιμης ύλης «κλιμακωτά καύσιμα», η οποία εντάσσεται στην «μέτρια» επικινδυνότητα. Εφόσον η στρωμάτωση της καύσιμης ύλης είναι κλιμακωτή, ο τύπος πυρκαγιάς που μπορεί να προκληθεί αφενός είναι η «επιφανειακή πυρκαγιά», αφετέρου ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες την ημέρα εκδήλωσης του φαινομένου, δύναται να προκληθεί πυρπόλυση προς ανώτερο στρώμα βλάστησης και να μετατραπεί σε πυρκαγιά «κόμης», με υψηλό βαθμό επικινδυνότητας.

Σχετικά με την εκτίμηση κινδύνου με βάση την εγγύτητα από το οδικό δίκτυο, η ζώνη επιρροής των 300 μέτρων του οδικού δικτύου, «πολύ χαμηλής» επικινδυνότητας, με ποσοστό 56,3% εμφανίζεται επικρατέστερη στην περιοχή μελέτης, ενώ ακολουθεί η ζώνη των 600 μέτρων, «χαμηλής» επικινδυνότητας με ποσοστό 26,6%, συνεπώς το οδικό δίκτυο εκτιμάται σχετικά πυκνό. Το εύρος της ζώνης επιρροής από 900 έως 1500 μέτρα, με επικινδυνότητα από «μέτρια» έως «πολύ υψηλή», καταλαμβάνει ποσοστό 16% περίπου. Αντίστοιχη εικόνα παρουσιάζει το θεματικό επίπεδο επικινδυνότητας των οικισμών, με το ποσοστό 51,2% που αντιστοιχεί στην ζώνη επιρροής των 1000 μέτρων, «πολύ χαμηλής» επικινδυνότητας, να κυριαρχεί στην συνολική έκταση της περιοχής μελέτης.

Σχετικά με το σκεπτικό της στάθμισης των μεταβλητών που εφαρμόστηκε για την σύζευξη των θεματικών επιπέδων επικινδυνότητας, εφόσον η καύσιμη ύλη αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την εκδήλωση μιας δασικής πυρκαγιάς, η βλάστηση σταθμίστηκε με ποσοστό 40%, λαμβάνοντας υπόψη ότι η δομή της βλάστησης είναι κλιμακωτή σε μεγάλο ποσοστό έκτασης, περιλαμβάνοντας δέντρα και θάμνους. Αντιστοίχως, για τις κλίσεις και τον προσανατολισμό, παράγοντες που σχετίζονται με την

γεωμορφολογία η οποία διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του φαινομένου και καλύπτει γεωγραφικά όλη την περιοχή μελέτης, υιοθετήθηκαν τα ποσοστά επιρροής 20%. Αναφορικά με τους ανθρωπογενείς παράγοντες, εφαρμόστηκε ποσοστό επιρροής 10%. Η έκταση και η πυκνότητα του οδικού δικτύου και των οικισμών είναι σχετικά μικρή, ενώ η συμβολή τους στο φαινόμενο είναι αμφίδρομη, δεδομένου ότι αποτελούν παράγοντες πρόκλησης αλλά και έγκαιρης καταστολής. Επίσης από την μελέτη του χωρικού προτύπου των παραγόντων και των γεωγραφικών δεδομένων, παρατηρήθηκε ότι οι οικισμοί εκτείνονται σε επιφάνειες χαμηλών κλίσεων, ενώ οι περισσότεροι περιβάλλονται από αγροτικές εκτάσεις. Αντίστοιχα, η πυκνότητα του οδικού δικτύου, παρουσιάζεται υψηλότερη πλησίον των οικισμών.

Οι περιοχές που κινδυνεύουν από πυρκαγιά εντοπίστηκαν από τις σταθμισμένες κατηγορίες όλων των ανωτέρω θεματικών επιπέδων. Οι ζώνες επικινδυνότητας πυρκαγιάς κατανέμονται ως εξής: το 19,9% της περιοχής εμπίπτει σε ζώνες «πολύ χαμηλού» κινδύνου, το 25,5% της περιοχής εμπίπτει σε «χαμηλή» ζώνη κινδύνου πυρκαγιάς, το 47,3% σε ζώνη «μέτριου» κινδύνου, ενώ και το 7,07% της περιοχής αντιστοιχεί σε ζώνες από «υψηλή» ως «πολύ υψηλή» επικινδυνότητα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των στατιστικών ανάλυσης των ζωνών επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης σε σχέση με τους φυσικούς παράγοντες, η «μέτρια» έως «υψηλή» επικινδυνότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς υφίσταται σε περιοχές με κυρίαρχη δομή βλάστησης τους αραιούς θάμνους και δέντρα, κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 10-30% και προσανατολισμό εδαφικών επιφανειών βόρειο έως ανατολικό ή βορειοδυτικό κυρίως, χωρίς να αποκλείονται και οι λοιποί προσανατολισμοί. Σχετικά με τους ανθρωπογενείς παράγοντες, προκύπτει ότι οι ζώνες «μέτριας» έως «πολύ υψηλής» επικινδυνότητας εντοπίζονται σε απόσταση άνω των εξακοσίων μέτρων από τις οδικές αρτηρίες και άνω των τριών χιλιομέτρων από τους οικισμούς.

Αναφορικά με την διοικητική διαίρεση της περιοχής μελέτης και την επικινδυνότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς, από την στατιστική ανάλυση συμπεραίνεται ότι οι Δημοτικές Ενότητες (Δ.Ε) που εμπίπτουν στις σε ζώνες «μέτριας» επικινδυνότητας είναι: Αργοστολίου, Σάμης, Πυλαρέων, Ομαλών και Παλικής, ενώ σε ζώνη «υψηλής» επικινδυνότητας εντοπίζονται οι Δ.Ε Ελείου-Πρόνων και Λειβαθούς της Περιφερειακής Ενότητας Κεφαλληνίας (Π.Ε). Για την Π.Ε Ιθάκης, η «μέτρια» επικινδυνότητα παρουσιάζεται στις Τοπικές Κοινότητες Ανωγής, Εξωγής, Κιονίων, Λεύκης, Περαχωρίου,

Πλατρεϊθιάς, ενώ ζώνη υψηλής επικινδυνότητας με αξιόλογη χωρική συνέχεια δεν εμφανίζεται.

# Κεφάλαιο 5

## Συζήτηση-Συμπεράσματα- Εισηγήσεις

### 5.1 Εισαγωγή

Συνοψίζοντας τα βασικά σημεία του αντικειμένου της παρούσας διπλωματικής διατριβής, αναφέρεται ότι τα τελευταία χρόνια, τα δασικά οικοσυστήματα της λεκάνης της Μεσογείου υπέστησαν αξιοσημείωτες πυρκαγιές, με την Ελλάδα να βρίσκεται στο επίκεντρο του προβλήματος. Για την αντιμετώπιση αυτής της ανησυχητικής κατάστασης, η πρόληψη και η καταπολέμηση των πυρκαγιών εκτιμάται ως ο πιο αποτελεσματικός τρόπος. Η αποτύπωση της χωρικής κατανομής του κινδύνου πυρκαγιάς των δασών και της οριοθέτησης των ευάλωτων περιοχών, αποτελεί σημαντικό εργαλείο σχεδιασμού πρόληψης, καταπολέμησης και διαχείρισης του φαινομένου. Η αξιολόγηση του κινδύνου εκδήλωσης μιας δασικής πυρκαγιάς, μπορεί να γίνει με βάση διάφορους παράγοντες τόσο ποιοτικής όσο και ποσοτικής φύσης, όπως η πυκνότητα και δομή δασικής βλάστησης, τοπογραφικούς (κλίση, έκθεση) και ανθρωπογενείς παράγοντες. Η εξέλιξη των γεωχωρικών τεχνικών όπως τα Γ.Σ.Π και η Τηλεπισκόπηση έχει βελτιώσει αποτελεσματικά την επίλυση αυτού του τύπου προβλήματος (Youcef *et al.*, 2020). Στο πλαίσιο αυτό, η μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής και τα αποτελέσματά της, υποστηρίζουν την συμβολή των ΓΣΠ και της Τηλεπισκόπησης, με παράλληλη αξιοποίηση των πιο πρόσφατων γεωγραφικών δεδομένων, για την παροχή μιας πολύ χρήσιμης λύσης για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων.

### 5.2 Συμπεράσματα

Από την αξιολόγηση του ενιαίου χάρτη επικινδυνότητας σε σχέση με το ιστορικό πυρκαγιών της περιοχής μελέτης, προέκυψε ότι οι πυρκαγιές που έχουν εκδηλωθεί στο παρελθόν εμπίπτουν σε ζώνες «μέτριας» επικινδυνότητας. Λαμβάνοντας υπόψη συνδυαστικά ότι ο τύπος καυσίμου που κυριαρχεί στην ζώνη «μέτριας» επικινδυνότητας είναι τα «κλιμακωτά» καύσιμα, τα οποία ως υπόστρωμα καύσιμης ύλης, ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, παράγουν πυρκαγιές «έρπουσες» ή «κόμης», συμπεραίνεται ότι ο βαθμός αξιοπιστίας του εφαρμοζόμενου μοντέλου σταθμισμένης ΧΠΚΑ είναι υψηλός, καθώς σε περίπτωση που οι καιρικές συνθήκες είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές για την έναρξη και γρήγορη διάδοση πυρκαγιάς, τότε η ζώνη μέτριας επικινδυνότητας μετατρέπεται σε ζώνη υψηλής επικινδυνότητας.

Επιπρόσθετα, από την χωρική κατανομή των αναδασωτέων, διαπιστώνεται ότι οι πυρκαγιές που έχουν εκδηλωθεί στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται πλησίον των οικιστικών συγκεντρώσεων, γεγονός που υποδεικνύει τον αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς στις ζώνες διεπαφής των οικιστικών περιοχών με τις δασικές εκτάσεις. Ωστόσο, οι εκτάσεις των καμένων περιοχών αξιολογούνται ως μικρές με βάση τα ποσοτικά τους στοιχεία, λαμβάνοντας υπόψη το ποσοτικό όριο των 10.000 στρεμμάτων ως κριτήριο (Goldammer *et al.*, 2019). Ως εκ τούτου, στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, η ζώνη επιρροής οικισμών, πράγματι έχει διττό ρόλο, όπως εκτιμήθηκε στην στάθμιση των ανθρωπογενών παραγόντων, καθώς αφενός εκδηλώνονται πυρκαγιές πλησίον των οικισμών, αφετέρου υπάρχει έγκαιρη καταστολή και έλεγχος των συνεπειών.

### **5.3 Περιορισμοί της μελέτης**

Τα προβλήματα και περιορισμοί που αντιμετωπίστηκαν μέσω της μεθοδολογικής προσέγγισης στην παρούσα διπλωματική διατριβή, αναφορικά με το αντικείμενο της του δυνητικού κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς με την χρήση ΓΣΠ και Τηλεπισκόπησης, αφορούν στην συλλογή των κατάλληλων γεωγραφικών δεδομένων, στην ταξινόμηση της καύσιμης ύλης, στην παραμετροποίηση της επικινδυνότητας των ζωνών επιρροής των ανθρωπογενών παραγόντων (οδικό δίκτυο, οικισμοί) και στην στάθμιση των παραγόντων για την παραγωγή του τελικού χάρτη επικινδυνότητας.

Όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, στις μελέτες μοντελοποίησης δυνητικού κινδύνου δασικών πυρκαγιών δεν χρησιμοποιείται ενιαίο σύστημα τυποποίησης της καύσιμης ύλης. Η κατηγοριοποίηση της βλάστησης αποτελεί πρωταρχικό δεδομένο για την κατάλληλη επιλογή της μεθόδου ταξινόμησης και αναγκαίο υπόβαθρο για την εκτίμηση επικινδυνότητας. Λόγω της διαφορετικής φυσιολογίας της βλάστησης σε επίπεδο βιογεωγραφικής ενότητας, είναι λογικό να υπάρχουν διαφοροποιήσεις. Αναφέρεται ότι μέχρι σήμερα δεν υπάρχει επίσημος χάρτης δασικής καύσιμης ύλης σε εθνικό επίπεδο, ενώ σε παρόμοιες μελέτες συνήθως χρησιμοποιούνται άλλες θεματικές χαρτογραφήσεις όπως ο Ευρωπαϊκός χάρτης κάλυψης/γης (CLC) (Goldammer *et al.*, 2019), ο οποίος ειδικά σε επίπεδο Νομού δεν παρέχει δεδομένα κατάλληλης χωρικής ανάλυσης για την εκτίμηση του δυνητικού κινδύνου πυρκαγιάς.

Επίσης, σύμφωνα με έρευνες μεγάλο ποσοστό περιστατικών εκκίνησης δασικών πυρκαγιών εντοπίζεται σε περιοχές πλησίον του οδικού δικτύου ή οικισμών. Ωστόσο, η σχέση του οδικού δικτύου με την επικινδυνότητα του φαινομένου είναι αμφίδρομη, καθώς παράλληλα λόγω της προσβασιμότητας που παρέχει μπορεί να συνδράμει στον έλεγχο και την κατάσβεση της πυρκαγιάς. Ομοίως, για τους οικισμούς, η αναγγελία και η πληροφόρηση από πολίτη, σε πολλές περιπτώσεις συμβάλλει στον έγκαιρο έλεγχο της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς.

Τέλος, στα πλαίσια εφαρμογής της Σταθμισμένης ΧΠΚΑ, πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τον βαθμό αξιοπιστίας του μοντέλου, είναι το σκεπτικό της απόδοσης «βάρους» στα θεματικά επίπεδα επικινδυνότητας. Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, υπάρχουν δύο βασικές κατευθύνσεις: η πρώτη, προέρχεται από την επιχειρησιακή έρευνα σύμφωνα με την οποία τα κριτήρια συνδυάζονται, με συγκεκριμένους συντελεστές βαρύτητας που αποδίδονται είτε από έναν ειδικό, είτε από τους λήπτες αποφάσεων. Η δεύτερη, παρέχει εξειδικευμένες τεχνικές στάθμισης κριτηρίων με την εφαρμογή μεθόδων και αλγορίθμων.

Τα προαναφερόμενα ζητήματα, συνθέτουν το πλαίσιο καίριων προβληματισμών και αποφάσεων που χρειάστηκε να ληφθούν στα στάδια του εννοιολογικού και λογικού σχεδιασμού, ενώ στην επόμενη ενότητα παρουσιάζεται η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την επίλυσή τους.

## 5.4 Συζήτηση-Εισηγήσεις

Σχετικά με τους προαναφερόμενους περιορισμούς της μελέτης, επισημαίνεται ότι για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας σε επίπεδο Νομού, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην επιλογή και επωφελή χρησιμοποίηση όλων των σύγχρονων, λεπτομερειακών και έγκυρων διαθέσιμων χωρικών δεδομένων όπως η δορυφορική εικόνα Sentinel 2, ο Δασικός Χάρτης, η ψηφιοποίηση οδικού δικτύου, η ανάκτηση ΨΥΜΕ-SRTM (Rodríguez, Morris and Belz, 2006), ενώ τα αποτελέσματα έδωσαν απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα όπως «που», «πως», «σε τι έκταση» και «σε τι βαθμό», η επιλεχθείσα περιοχή μελέτης πλήττεται από τον κίνδυνο εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς, με τρόπο σαφή, έγκυρο, επιστημονικό και σύμφωνο με τις αρχές της επιχειρησιακής έρευνας που διέπουν την ΠΚΑ, με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό την απλότητα στη σύλληψη και στην εκτέλεση της σε χωρικό πλαίσιο εφαρμογής.

Ειδικότερα, για την ταξινόμηση της βλάστησης ως καύσιμη ύλη η τυπολογία που χρησιμοποιήθηκε ορίστηκε από τον συνδυασμό της γενικής πυκνότητας (κλειστού ή ανοικτού τύπου) και ύψους (χαμηλή ή ψηλή/πόες-θάμνοι-δέντρα). Η τυπολογία που ακολουθήθηκε είναι σύμφωνη με τα αποτελέσματα έρευνας στην Πορτογαλία που έδειξαν ότι το εύρος κινδύνου πυρκαγιάς είναι παρόμοιο μεταξύ και εντός των τύπων κάλυψης βλάστησης ενώ η δομή του δάσους, είναι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας ευπάθειας της περιοχής. Αυτό υποδηλώνει έναν δυνητικά εξέχοντα ρόλο της δομής της βλάστησης στη διαχείριση των δασικών καυσίμων για τον περιορισμό των πυρκαγιών (Fernandes, 2009). Επίσης, η βαθμονόμηση επικινδυνότητας των ζωνών επιρροής του οδικού δικτύου και των οικισμών, αποδόθηκε κατόπιν έρευνας του υφιστάμενου χωρικού προτύπου μεταξύ των περιβαλλοντικών, γεωμορφολογικών, ανθρωπογενών παραγόντων, ενώ η αξιολόγηση της μεθόδου με βάση το ιστορικό πυρκαγιών, κατέδειξε ότι το σκεπτικό ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Όσον αφορά στην απόδοση «βάρους» στα θεματικά επίπεδα παραγόντων, επιλέχθηκε η ευέλικτη κατεύθυνση, σύμφωνα με την οποία το ποσοστό επιρροής στην επικινδυνότητα του φαινομένου προκύπτει από την μελέτη της γεωγραφικής διάστασης και του χωρικού προτύπου των παραγόντων για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, καθώς η χωρική κλίμακα ανάλυσης είναι τοπική. Η βλάστηση αποτελεί τον πρωταρχικό παράγοντα για την εκδήλωση μιας δασικής πυρκαγιάς και παράλληλα, η συγκεκριμένη περιοχή

παρουσιάζει ποικιλία ως προς την δομή της, η οποία ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, μπορεί να επηρεάσει τον βαθμό επικινδυνότητας του φαινομένου, αποδίδοντας πυρκαγιές «έρπουσες» ή «κόμης», με «μέτρια» ή «υψηλή» επικινδυνότητα αντίστοιχα (Parente and Pereira, 2016). Σε μία άλλη περιοχή με διαφορετική φυσιογνωμία, ενδεχομένως, κατά την κρίση του ειδικού, κυρίαρχος παράγοντας επικινδυνότητας μπορεί να είναι η γεωμορφολογία ή οι ανθρωπογενείς παράγοντες. Συνεπώς, η επιλογή του τρόπου στάθμισης των παραγόντων, ειδικά για την μέθοδο της ΧΠΚΑ, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την γεωγραφική κλίμακα ανάλυσης της μελέτης, ενώ το σκεπτικό που ακολουθήθηκε αναφέρεται στην χωρική συσχέτιση των παραγόντων και στην έκτασή τους (Verde and Zêzere, 2010; Parente and Pereira, 2016).

Συγκριτικά με τα αποτελέσματα άλλων παρόμοιων μελετών, ειδικά για την εκδήλωση μεγάλου αριθμού πυρκαγιών σε κοντινή ή μέση απόσταση από τους οικισμούς ή το οδικό δίκτυο και το συμπέρασμα του ρυθμιστικού ρόλου της ανθρωπογενούς δραστηριότητας στην έκταση των πυρκαγιών (Wang and Anderson, 2010; Gralewicz, Nelson and Wulder, 2012), η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή βρίσκεται σε συμφωνία.

Ο ενιαίος χάρτης δυνητικού κινδύνου πυρκαγιάς που παράχθηκε, αποτελεί αξιόπιστο υπόβαθρο πληροφορίας για την στρατηγική αντιμετώπισης των δασικών πυρκαγιών στο νησιωτικό σύμπλεγμα Κεφαλληνίας – Ιθάκης, υποδεικνύοντας θέσεις, τοποθεσίες, Δημοτικές Ενότητες και διαδρομές για τον εντοπισμό των περιπολιών παρακολούθησης κατά την αντιπυρική περίοδο, εγκατάσταση συστημάτων τηλεανίχνευσης, ζωνών διαχείρισης καύσιμης ύλης και λοιπών ενεργειών ή εγκατάσταση κατάλληλων υποδομών έγκαιρης πρόβλεψης και καταστολής του φαινομένου. Επίσης, αποτελεί υπόβαθρο υψηλής ακρίβειας δεδομένων, για την παραγωγή λεπτομερών ημερησίων ή βραχυπρόθεσμων προβλέψεων κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς, σε συνδυασμό με την επεξεργασία μεταβλητών παραγόντων που συμβάλλουν στην έναρξη όπως ο άνεμος, η υγρασία εδάφους, η σχετική υγρασία κ.α.

Η διαδικασία της σταθμισμένης ΧΠΚΑ που εφαρμόστηκε στην παρούσα διπλωματική διατριβή, με βάση τους σταθερούς φυσιογνωμικούς παράγοντες της επιλεχθείσας περιοχής μελέτης, είναι σύμφωνη με τις αρχές της επιχειρησιακής έρευνας που διέπουν το αντικείμενο της ΠΚΑ, με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό την απλότητα στη σύλληψη και στην εκτέλεση της σε χωρικό πλαίσιο εφαρμογής. Ως εκ τούτου, η διαδικασία δύναται να τυποποιηθεί και να εφαρμοστεί και σε άλλους Νομούς της χώρας, λαμβάνοντας υπόψη

ότι η στάθμιση των παραγόντων-θεματικών επιπέδων μπορεί να προσαρμοστεί στην φυσιολογία και τις ιδιαιτερότητες κάθε Νομού.

# Παράρτημα Α

## Κατάλογος

### Α.1 Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα	Περιγραφή κειμένου
<a href="#">Εικόνα 1.5.1</a>	Υπόμνημα εδαφολογικού χάρτη
<a href="#">Εικόνα 2.3.1.1</a>	Κατακόρυφη διάρθρωση-ορόφωση συστάδας
<a href="#">Εικόνα 3.3.1</a>	Πεδίο ορισμού των νήσων Κεφαλληνίας-Ιθάκης σε υπόβαθρο GoogleEarth.
<a href="#">Εικόνα 3.3.1.1</a>	Εντοπισμός περιοχής ενδιαφέροντος και επιλογή συνόλου δεδομένων στην πλατφόρμα Earth Explorer USGS
<a href="#">Εικόνα 3.3.1.2</a>	Επιλογή και απεικόνιση της γεωγραφικής κάλυψης της επιλεχθείσας δορυφορικής εικόνας Sentinel 2A έκτασης 100*100Km, σε σχέση με το πεδίο ορισμού της περιοχής μελέτης.
<a href="#">Εικόνα 3.3.1.3</a>	Έγχρωμο σύνθετο ( <i>True Color Image</i> ) Sentinel 2A της περιοχής μελέτης
<a href="#">Εικόνα 3.3.1.4</a>	Εφαρμογή τεχνικής DOS1 στο περιβάλλον Semi-Automatic Classification Plugin QGIS
<a href="#">Εικόνα 3.3.1.5</a>	Κανάλι B08 πριν και μετά την εφαρμογή της τεχνικής DOS1
<a href="#">Εικόνα 3.3.3.1</a>	Επιλογή του συνόλου δεδομένων ΨΥΜΕ
<a href="#">Εικόνα 3.3.3.2</a>	Καθορισμός γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής ενδιαφέροντος για την ανάκτηση των υψομετρικών δεδομένων.
<a href="#">Εικόνα 3.3.3.3</a>	Οπτικοποίηση ΨΥΜΕ σε εικόνα σκιασμένου αναγλύφου
<a href="#">Εικόνα 3.4.3.1</a>	Απεικόνιση NDVI με εύρος τιμών εικονοστοιχείων από -0,381 έως 0.889
<a href="#">Εικόνα 3.4.3.2</a>	Εφαρμογή διανυσματικού αρχείου «μάσκας», όπου οι μαύρες περιοχές τίθενται εκτός ταξινόμησης, ως μη δασικές εκτάσεις
<a href="#">Εικόνα 3.4.3.3</a>	Έρευνα περιοχής μελέτης σε υπόβαθρο Google Earth με την συμβουλευτική χρήση του δείκτη EVI και των πολυγώνων κάλυψης γης CLC
<a href="#">Εικόνα 3.4.3.4</a>	Έρευνα περιοχής μελέτης σε υπόβαθρο έγχρωμου σύνθετου 8-4-3 με την συμβουλευτική χρήση του δείκτη EVI και των πολυγώνων κάλυψης γης CLC

## A.2 Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα	Περιγραφή κειμένου
<a href="#">Σχήμα 1.5.1</a>	Γράφημα τάσης τουριστικής κίνησης στο νησιωτικό σύμπλεγμα Κεφαλονιάς-Ιθάκης μεταξύ των ετών 2013-2018 (Ιδία επεξεργασία στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ).
<a href="#">Σχήμα 1.5.2</a>	Ραβδόγραμμα απεικόνισης του αριθμού των αφίξεων ημεδαπών και αλλοδαπών στο νησιωτικό σύμπλεγμα Κεφαλονιάς-Ιθάκης μεταξύ των ετών 2013-2018 (Ιδία επεξεργασία στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ)
<a href="#">Σχήμα 3.2.1</a>	Στάδια εφαρμογής μοντέλου ΠΚΑ
<a href="#">Σχήμα 3.2.2.1</a>	Βήματα διαδικασίας της σταθμισμένης χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης
<a href="#">Σχήμα 3.3.1</a>	Διάγραμμα ροής προεπεξεργασίας και παραγωγής χωρικών δεδομένων της μελέτης
<a href="#">Σχήμα 3.4.1</a>	Διάγραμμα ροής λογικού σχεδιασμού
<a href="#">Σχήμα 3.4.1.1</a>	Διάγραμμα ροής εργασιών θεματικού επιπέδου κλίσεων
<a href="#">Σχήμα 3.4.3.1</a>	Διάγραμμα ροής εργασιών θεματικού επιπέδου προσανατολισμών
<a href="#">Σχήμα 3.4.4.1</a>	Διάγραμμα ροής εργασιών θεματικού επιπέδου επικινδυνότητας οδικού δικτύου
<a href="#">Σχήμα 3.4.5.1</a>	Διάγραμμα ροής εργασιών θεματικού επιπέδου επικινδυνότητας οικισμών
<a href="#">Σχήμα 3.4.3.1</a>	Φασματική απόκριση των καναλιών Sentinel 2A στην φασματική ζώνη του ορατού και κοντινού υπέρυθρου (ESA, 2018)
<a href="#">Σχήμα 3.4.3.2</a>	Φασματική απόκριση των καναλιών Sentinel 2A στην φασματική ζώνη του μέσου υπέρυθρου (ESA, 2018)

## A.3 Κατάλογος Χαρτών

<b>Χάρτης</b>	<b>Περιγραφή κειμένου</b>
<a href="#">Χάρτης 1.5.1</a>	Χάρτης προσανατολισμού περιοχής μελέτης-Εντοπισμός θέσης
<a href="#">Χάρτης 1.5.2</a>	Χάρτης προστατευόμενων περιοχών Κεφαλονιάς-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 1.5.3</a>	Χάρτης οικοτόπων των προστατευόμενων περιοχών Κεφαλονιάς-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 1.5.4</a>	Χάρτης βλάστησης Κεφαλονιάς-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 1.5.5</a>	Γεωλογικός χάρτης Κεφαλονιάς-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 1.5.6</a>	Εδαφολογικός χάρτης Κεφαλονιάς-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 1.5.7</a>	Χάρτης βιοκλιματικών ορόφων Κεφαλονιάς-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 1.5.8</a>	Βιοκλιματικός χάρτης Κεφαλονιάς-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 3.3.2.1</a>	Χάρτης κάλυψης/χρήσης γης CLC
<a href="#">Χάρτης 3.3.4.1</a>	Δασικός Χάρτης Περιφερειακών Ενοτήτων Κεφαλληνίας-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 3.3.5.1</a>	Αναδασωτέες εκτάσεις και Ακτογραμμή Κεφαλονιάς-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 3.3.6.1</a>	Χάρτης διοικητικής διάρθρωσης Κεφαλονιάς-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 3.3.7.1</a>	Χάρτης οδικού δικτύου Κεφαλονιάς-Ιθάκης
<a href="#">Χάρτης 4.2.1</a>	Θεματικός χάρτης επικινδυνότητας κλίσεων
<a href="#">Χάρτης 4.3.1</a>	Θεματικός χάρτης επικινδυνότητας εκθέσεων
<a href="#">Χάρτης 4.4.1</a>	Θεματικός χάρτης επικινδυνότητας καύσιμης ύλης-βλάστησης
<a href="#">Χάρτης 4.5.1</a>	Θεματικός χάρτης προσβασιμότητας οδικού δικτύου
<a href="#">Χάρτης 4.6.1</a>	Θεματικός χάρτης προσβασιμότητας οικισμών
<a href="#">Χάρτης 4.7.1</a>	Τελικός χάρτης επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης
<a href="#">Χάρτης 4.8.1</a>	Χωρική συσχέτιση ζωνών επικινδυνότητας εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς και ιστορικού δασικών πυρκαγιών

## A.4 Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας	Περιγραφή κειμένου
<a href="#">Πίνακας 1.5.1</a>	Αφίξεις σε καταλύματα ξενοδοχειακού τύπου (πλην κάμπινγκ) στις Περιφερειακές Ενότητες Κεφαλληνίας και Ιθάκης σε σχέση με τον αριθμό αφίξεων της Περιφέρειας Ιονίων Νήσων μεταξύ των ετών 2013-2018
<a href="#">Πίνακας 1.5.2</a>	Ποσοτικά στοιχεία δασικών πυρκαγιών έτους 2019 για την Κεφαλονιά
<a href="#">Πίνακας 3.2.2.1</a>	Μεταβλητές και κριτήρια παραμετροποίησης 3.2.2 Επιλογή μεθόδου
<a href="#">Πίνακας 3.3.1.1</a>	Ραδιομετρική και Χωρική Διακριτική Ικανότητα Sentinel 2 3.3.1 Δορυφορική
<a href="#">Πίνακας 3.4.1.1</a>	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας κλίσεων 3.4.1 Θ.Χ Επικινδυνότητας
<a href="#">Πίνακας 3.4.2.1</a>	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας βασικών προσανατολισμών εδάφους
<a href="#">Πίνακας 3.4.2.2</a>	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας μεικτών προσανατολισμών εδάφους
<a href="#">Πίνακας 3.4.2.3</a>	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας προσανατολισμών του εδάφους
<a href="#">Πίνακας 3.4.3.1</a>	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας βλάστησης-τυποποίηση καύσιμης ύλης
<a href="#">Πίνακας 3.4.3.2</a>	Επιλογή της ομάδας φασματικών καναλιών για την ταξινόμηση της βλάστησης
<a href="#">Πίνακας 3.4.4.1</a>	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας οδικού δικτύου-ζώνες επιρροής
<a href="#">Πίνακας 3.4.5.1</a>	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας οικισμών-ζώνες επιρροής
<a href="#">Πίνακας 3.4.6.1</a>	Στάθμιση θεματικών επιπέδων επικινδυνότητας-μεταβλητών
<a href="#">Πίνακας 4.2.1</a>	Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο κλίσεων
<a href="#">Πίνακας 4.3.1</a>	Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο προσανατολισμού εδάφους
<a href="#">Πίνακας 4.4.1</a>	Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο βλάστησης
<a href="#">Πίνακας 4.5.1</a>	Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο ζώνης επιρροής οδικού δικτύου
<a href="#">Πίνακας 4.6.1</a>	Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο ζώνης επιρροής οικισμών
<a href="#">Πίνακας 4.7.1</a>	Ποσοτική ανάλυση κλίμακας επικινδυνότητας σε επίπεδο περιοχής μελέτης
<a href="#">Πίνακας 4.7.2</a>	Στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας ανά Δημοτική Ενότητα
<a href="#">Πίνακας 4.7.3</a>	Στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας ανά κλάση κλίσης
<a href="#">Πίνακας 4.7.4</a>	Στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας ανά θεματική ομάδα βλάστησης
<a href="#">Πίνακας 4.7.5</a>	Στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας βάσει ζωνών επιρροής οδικού δικτύου
<a href="#">Πίνακας 4.7.6</a>	Στατιστική ανάλυση επικινδυνότητας βάσει ζωνών επιρροής οικισμών
<a href="#">Πίνακας 4.8.1</a>	Αξιολόγηση θεματικού χάρτη επικινδυνότητας περιοχής μελέτης

# Παράρτημα Β

## Συμπληρωματικά Στοιχεία

### Μεθοδολογίας

#### Β.1 Ταξινόμηση Βλάστησης

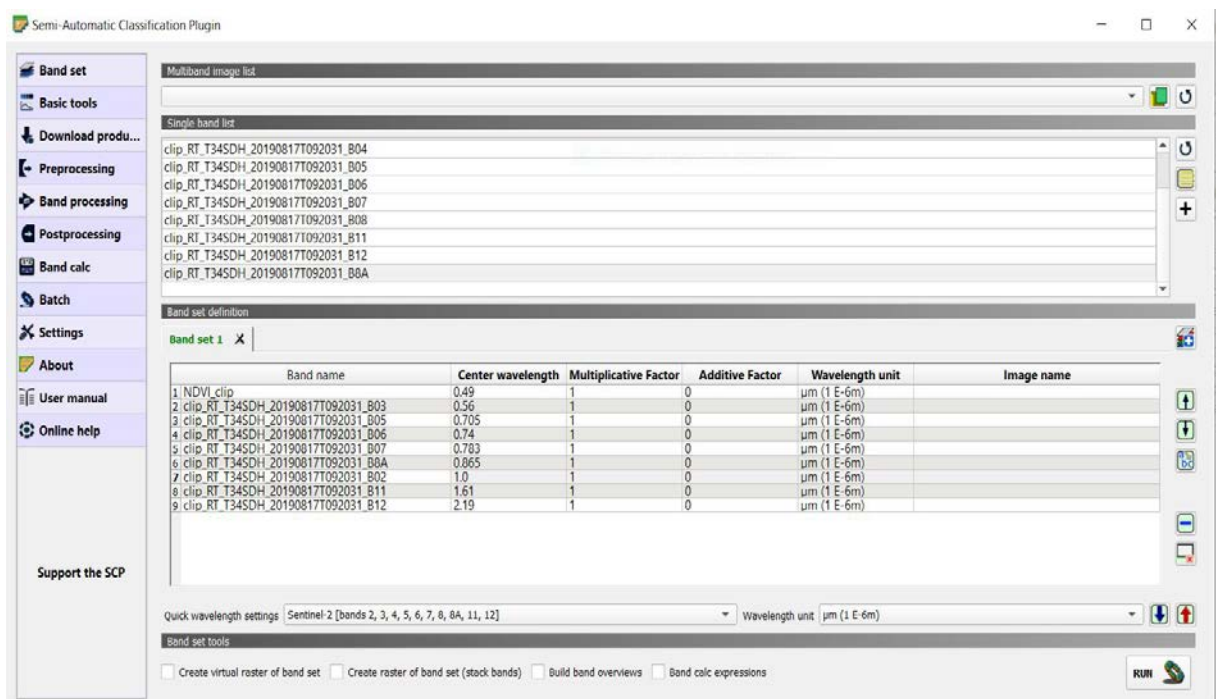
Επισημαίνεται ότι για την λήψη καθαρών φασματικών υπογραφών των θεματικών ομάδων-κλάσεων της βλάστησης, κατά την διαδικασία επιλογής και οριοθέτησης των δειγματοληπτικών περιοχών (*training areas*), η θεματική ομάδα «γυμνά εδάφη» διαχωρίστηκε από την πρώτη κλάση του Πίνακα 3.4.3.1. Ως εκ τούτου, οι κλάσεις προς φασματική ταξινόμηση ήταν έξι (Πίνακας Β1.1)

Πίνακας Β1.1: Κλάσεις προς φασματική ταξινόμηση

Μακροκλάση (Macroclass)	Κλάση (Class)	Class code
Επιφανειακά καύσιμα ( <i>low fuels</i> ) 1	Πόες, χαμηλά φρύγανα ( <i>Open grassland/low vegetation layer</i> )	1
	Γυμνά εδάφη ( <i>bare land</i> )	2
	Πυκνοί θάμνοι ( <i>Closed shrub layer</i> )	3
Κλιμακωτά καύσιμα ( <i>tiered fuels</i> ) 2	Αραιοί θάμνοι/δέντρα ( <i>Open shrub layer</i> )	4
	Πυκνοί θάμνοι/δέντρα ( <i>Closed shrub/tree layer</i> )	5

Μακροκλάση (Macroclass)	Κλάση (Class)	Class code
	Πυκνά δέντρα ( <i>Closed tree canopy layer</i> )	6

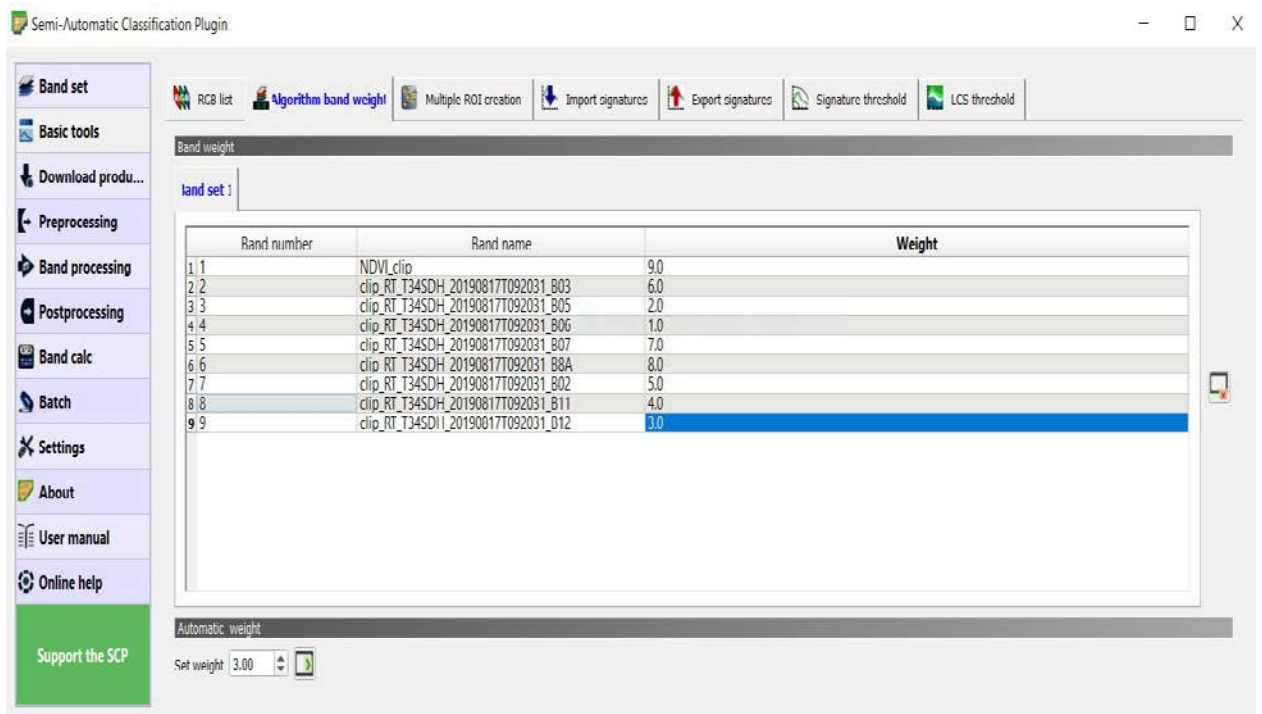
Σύμφωνα με τα κριτήρια επιλεξιμότητας των φασματικών καναλιών, στην ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν 8 κανάλια και ο δείκτης NDVI (Εικόνα B1.1)



Εικόνα B1.1: Ομάδα φασματικών καναλιών (*band set*)

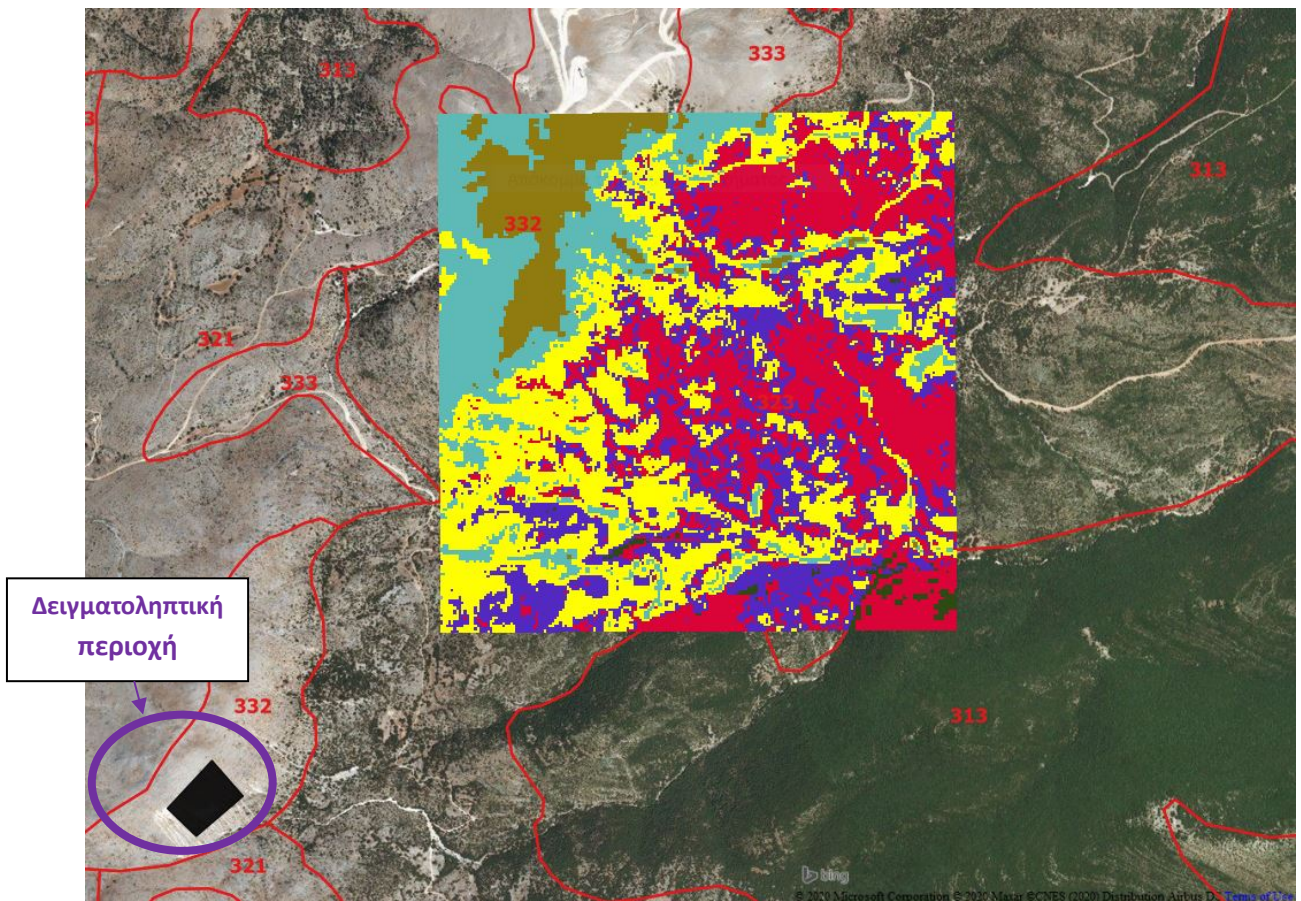
Εφόσον δημιουργήθηκαν η ομάδα των φασματικών καναλιών (*band set*) και οι δειγματοληπτικές περιοχές, αξιολογήθηκαν οι δυνατότητες του Semi Automatic Classification plugin του λογισμικού QGIS ως προς το αποτέλεσμα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης της περιοχής μελέτης, με την χρήση συγκεκριμένων αλγορίθμων και εργαλείων. Οι ομοειδείς δειγματοληπτικές περιοχές ενοποιήθηκαν (*merge*) και υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών ανακλαστικότητας για κάθε κλάση.

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις αλγόριθμοι, αξιοποιώντας το εργαλείο της βαθμονόμησης της λειτουργίας τους που αφορά στην προσθήκη «βάρους» στα φασματικά κανάλια ή χωρίς την προσθήκη αυτή. Η απόδοση «βάρους» στα φασματικά κανάλια, πραγματοποιήθηκε με την κρίση του μελετητή λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια επιλογής τους (Εικόνα B1.2)



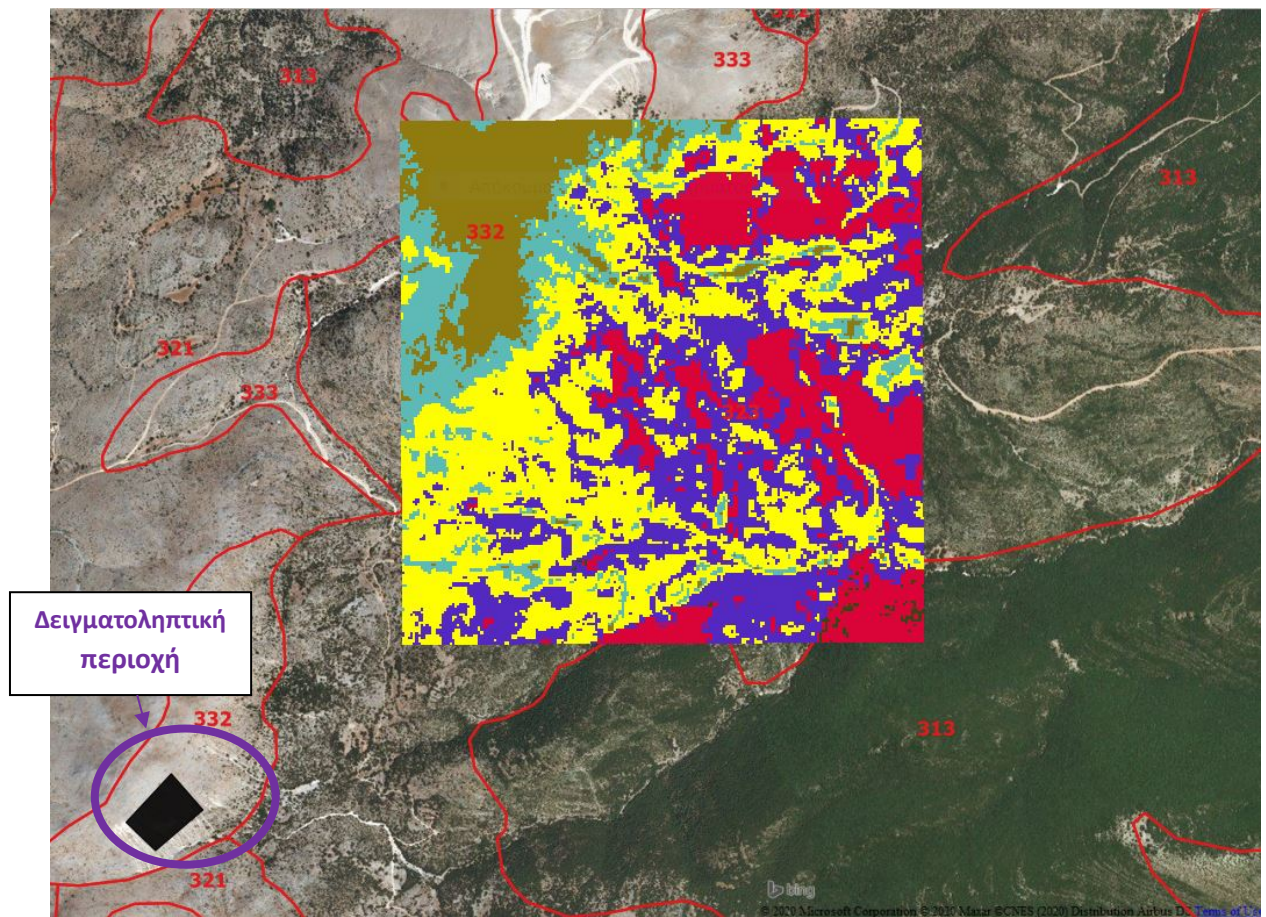
Εικόνα B1.2: Προσθήκη «βάρους» στην ομάδα φασματικών καναλιών

Αρχικά, υλοποιήθηκε δοκιμή ταξινόμησης με την χρήση του αλγόριθμου Minimum Distance. Μία εκδοχή χωρίς «βάρη» (Εικόνα B1.3) και μία εκδοχή με «βάρη» (Εικόνα B1.4).

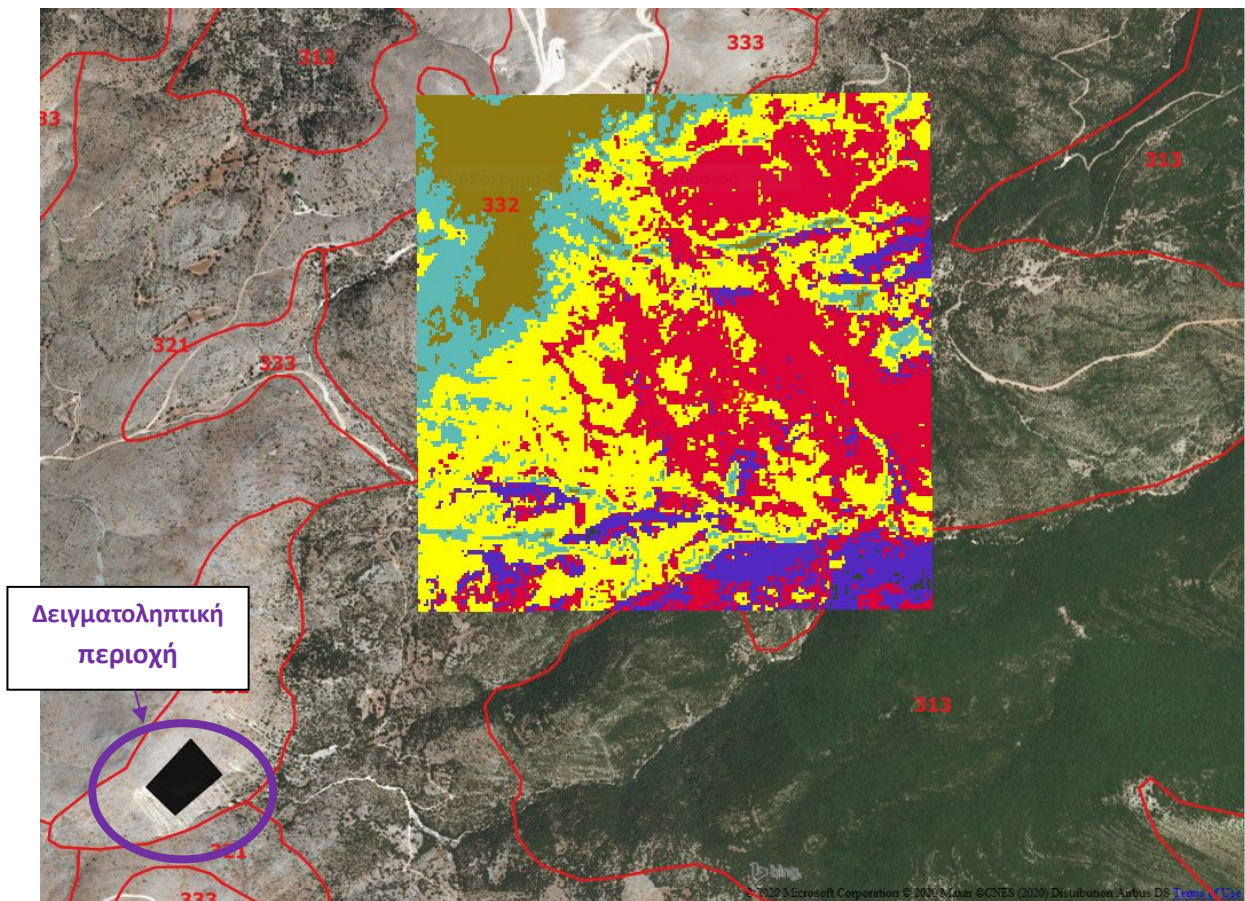


Εικόνα Β1.3: Απόσπασμα δοκιμής επιβλεπόμενης ταξινόμησης Minimum Distance, χωρίς «βάρη»



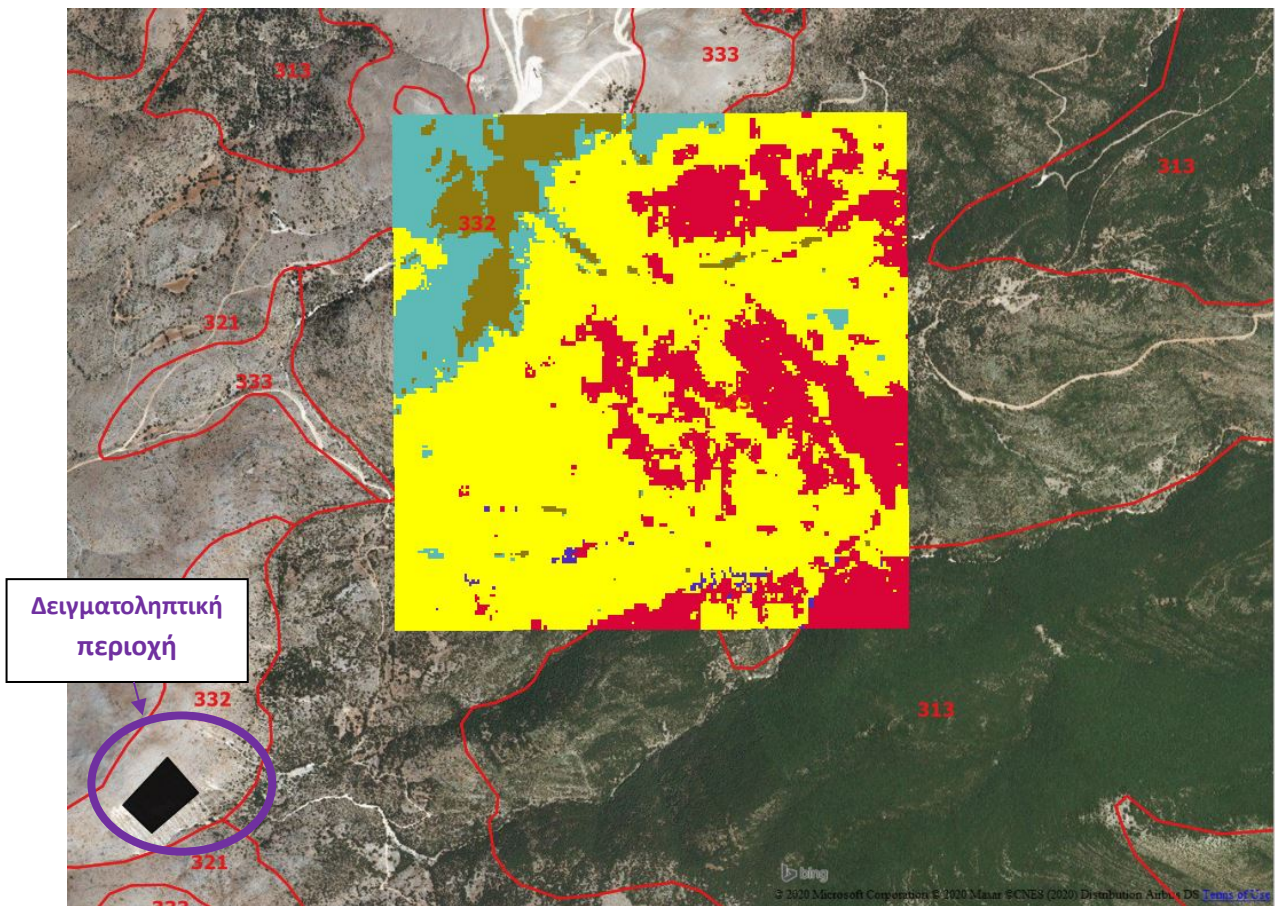


Εικόνα Β1.5: Απόσπασμα δοκιμής επιβλεπόμενης ταξινόμησης Spectral Angle, χωρίς «βάρη»

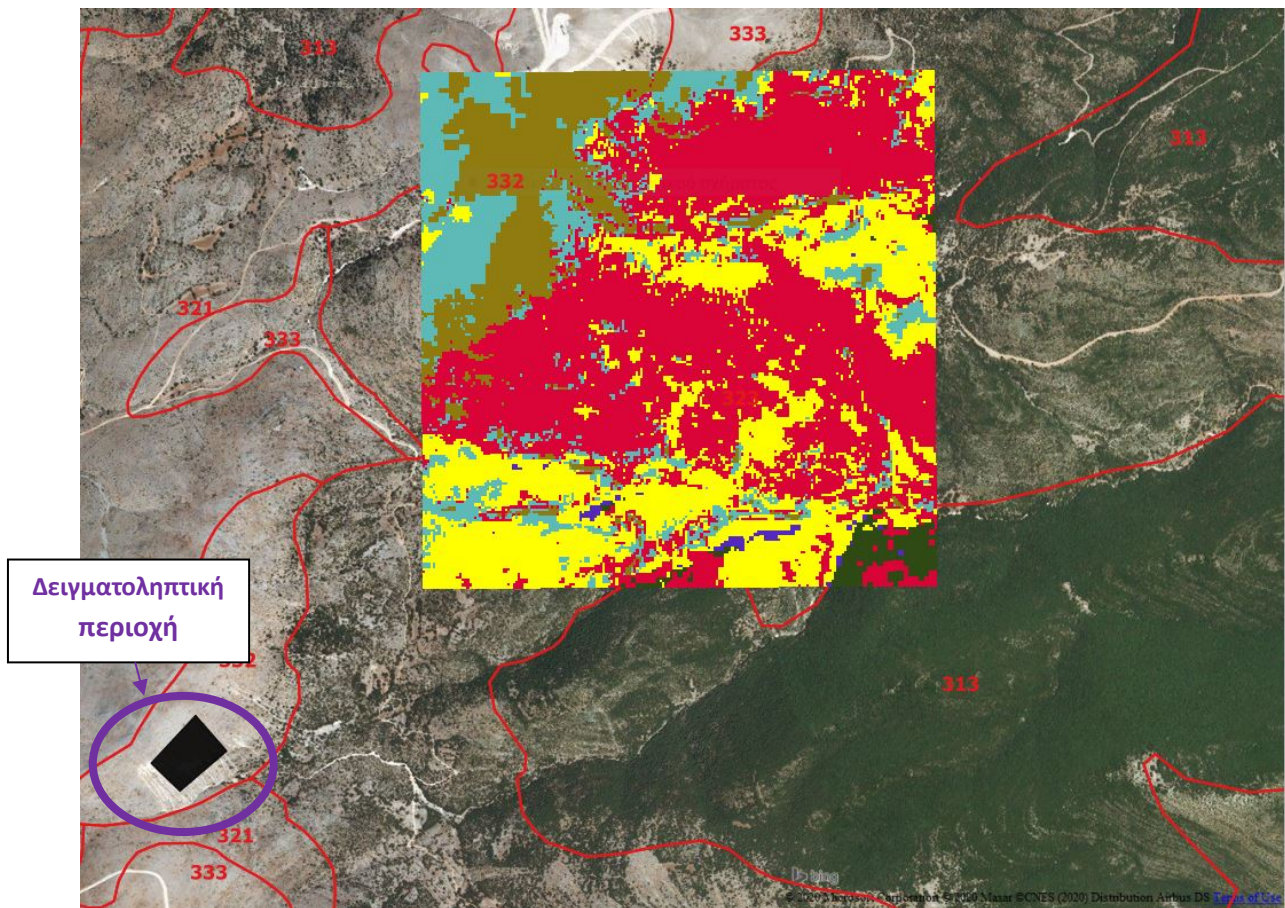


Εικόνα Β1.6: Απόσπασμα δοκιμής επιβλεπόμενης ταξινόμησης Spectral Angle, με «βάρη»

Η τελευταία δοκιμή επιβλεπόμενης ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε με την χρήση του αλγόριθμου Maximum Likelihood. Μία εκδοχή χωρίς «βάρη» (Εικόνα Β1.6) και μία εκδοχή με «βάρη» (Εικόνα Β1.7).



Εικόνα Β1.6: Απόσπασμα δοκιμής επιβλεπόμενης ταξινόμησης Maximum Likelihood, χωρίς «βάρη»



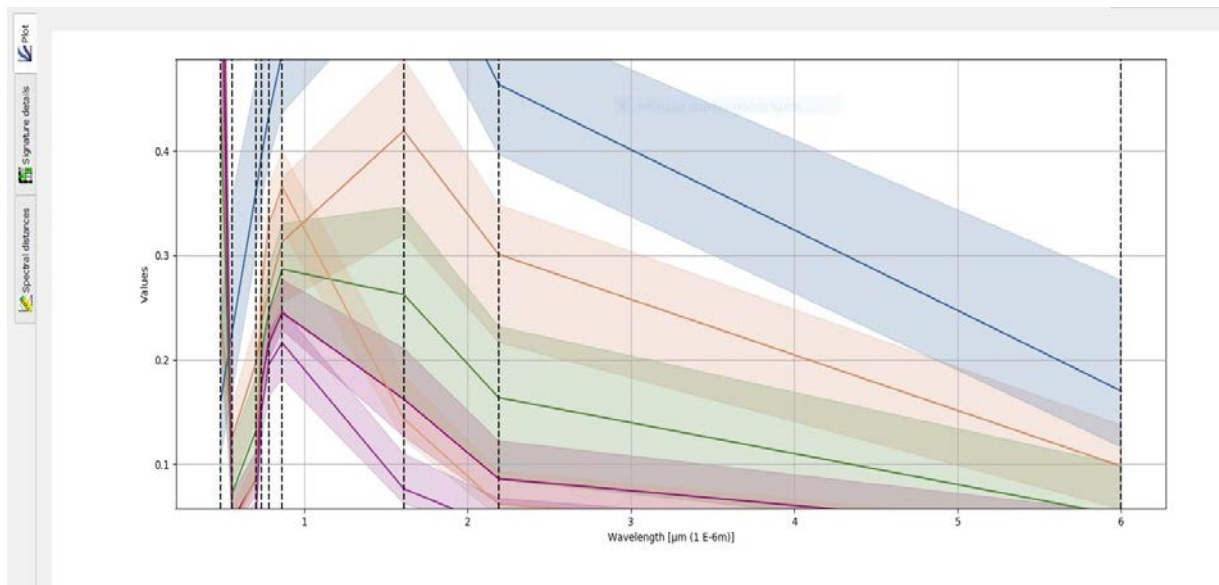
Εικόνα Β1.7: Απόσπασμα δοκιμής επιβλεπόμενης ταξινόμησης Maximum Likelihood, με «βάρη»

Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές των παραπάνω αλγορίθμων αξιολογήθηκαν με βάση την φωτοερμηνευτική αντιπροσωπευτικότητα των κλάσεων επί υποβάθρου Bing Aerial και την σύγκριση των πληροφοριών που προέκυψαν από την χρήση των εργαλείων «*Signature Details*», «*Spectral Distances*» και «*Spectral Signature plot*».

Σχετικά με την απόδοση «βάρους» ή μη στα φασματικά κανάλια κατά την χρήση εκάστου αλγορίθμου, βάσει των συγκριτικών αποτελεσμάτων για κάθε αλγόριθμο, εκτιμήθηκε ότι η διαφορά είναι ελάχιστη.

Από την σύγκριση των πληροφοριών που παρέχουν τα εργαλεία «*Signature Details*», «*Spectral Distances*» και «*Spectral Signature plot*», κρίθηκε ότι τα αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης της βλάστησης με την χρήση του αλγόριθμου Maximum Likelihood, χωρίς προσθήκη «βάρους» φασματικών καναλιών στην λειτουργία του, ήταν συγκριτικά καλύτερα.

Σύμφωνα με την απεικόνιση της φασματικής ταυτότητας κάθε κλάσης (*Spectral Signature plot*) , διακρίνονται σχετικά καλές οι αποστάσεις μεταξύ τους, με ελάχιστη επικάλυψη εύρους φασματικής καμπύλης (Εικόνα B1.8).



Εικόνα B1.8: Σύνοψη απεικόνισης εύρους φασματικής καμπύλης των έξι κλάσεων (*Spectral Signature plot*), με την εφαρμογή του αλγόριθμου Maximum Likelihood

Η ποσοτική εκτίμηση της φασματικής απόστασης (*Spectral Distance*) και του διαχωρισμού των φασματικών υπογραφών των κλάσεων ταξινόμησης, ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα σφάλματος ταξινόμησης, αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό κριτήριο στην επιλογή του αλγόριθμου (Εικόνα B1.9)

	<b>MC_ID = 1 MC_info = Low fuels C_ID = 2 C_info = Bare land layer</b>
	<b>MC_ID = 1 MC_info = Low fuels C_ID = 3 C_info = Closed shrub layer</b>
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	50.623183023581575
Euclidean distance	0.933030605594078
Bray-Curtis similarity [%]	48.34103070676977

	<b>MC_ID = 1 MC_info = Low fuels C_ID = 2 C_info = Bare land layer</b>
	<b>MC_ID = 2 MC_info = Tiered fuels C_ID = 4 C_info = Open shrub/tree layer</b>
Jeffries-Matusita distance	1.999999999960227
Spectral angle	32.6695786496352
Euclidean distance	0.7202226590400219
Bray-Curtis similarity [%]	60.746730472117974

	<b>MC_ID = 1 MC_info = Low fuels C_ID = 2 C_info = Bare land layer</b>
	<b>MC_ID = 2 MC_info = Tiered fuels C_ID = 5 C_info = Closed shrub/tree layer</b>
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	53.56090543706224
Euclidean distance	1.0166970531901167
Bray-Curtis similarity [%]	53.83057432450892

	<b>MC_ID = 1 MC_info = Low fuels C_ID = 2 C_info = Bare land layer</b>
	<b>MC_ID = 2 MC_info = Tiered fuels C_ID = 6 C_info = Closed tree canopy layer</b>
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	62.97960278495276
Euclidean distance	1.1203737012759223
Bray-Curtis similarity [%]	37.82582232272033

	<b>MC_ID = 1 MC_info = Low fuels C_ID = 3 C_info = Closed shrub layer</b>
	<b>MC_ID = 2 MC_info = Tiered fuels C_ID = 4 C_info = Open shrub/tree layer</b>
Jeffries-Matusita distance	1.9780346047287736
Spectral angle	18.073863789821576
Euclidean distance	0.23428266003117396
Bray-Curtis similarity [%]	84.49261235295896

Εικόνα B1.9: Απόσπασμα ποσοτικής αξιολόγησης ικανότητας διαχωρισμού των φασματικών υπογραφών των κλάσεων για κάθε αλγόριθμο ταξινόμησης (*Spectral Distance*)

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του Semi Automatic Classification plugin, ο αλγόριθμος Jeffries-Matusita Distance, ο οποίος υπολογίζει τον βαθμό διαχωρισμού ενός ζεύγους κλάσεων, προτείνεται για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων ταξινόμησης του αλγόριθμου Maximum Likelihood. Όταν η τιμή του αλγορίθμου Jeffries-Matusita Distance πλησιάζει στο 2, οι φασματικές υπογραφές είναι εντελώς διαφορετικές, ενώ όταν τείνει στο 0 είναι πανομοιότυπες. Στο απόσπασμα της Εικόνας B1.9, η τιμή είναι πολύ κοντά στο 2, γεγονός που αποδεικνύει ότι η χρήση του αλγόριθμου Maximum Likelihood, σχεδόν αποκλείει την πιθανότητα σφάλματος ταξινόμησης.

Επίσης, οι χαμηλές τιμές της τυπικής απόκλισης των φασματικών υπογραφών των κλάσεων ταξινόμησης με τον αλγόριθμο Maximum Likelihood, ενισχύουν την επιλογή του για την υλοποίηση της ταξινόμησης (Εικόνα Β1.10)

Plot									
Signature details									
Spectral distances									
<b>MC_ID = 1 MC_info = Low fuels C_ID = 1 C_info = Open grassland/low vegetation layer ROI_size = 1610 pixels</b>									
Wavelength [E-6m]	0.49	0.56	0.705	0.74	0.783	0.865	1.61	2.19	6.0
Values	0.24118	0.12566	0.19699	0.23604	0.26453	0.31292	0.41929	0.30101	0.09834
Standard deviation	0.02664	0.01116	0.01661	0.02083	0.02353	0.02604	0.02981	0.02025	0.00949
<b>MC_ID = 1 MC_info = Low fuels C_ID = 2 C_info = Bare land layer ROI_size = 415 pixels</b>									
Wavelength [E-6m]	0.49	0.56	0.705	0.74	0.783	0.865	1.61	2.19	6.0
Values	0.16151	0.22762	0.36046	0.39635	0.43358	0.49356	0.64519	0.46364	0.17028
Standard deviation	0.01535	0.02514	0.02895	0.02883	0.02897	0.02855	0.02692	0.02366	0.02034
<b>MC_ID = 1 MC_info = Low fuels C_ID = 3 C_info = Closed shrub layer ROI_size = 233 pixels</b>									
Wavelength [E-6m]	0.49	0.56	0.705	0.74	0.783	0.865	1.61	2.19	6.0
Values	0.62154	0.04621	0.08614	0.17926	0.21545	0.24541	0.16242	0.08626	0.03247
Standard deviation	0.05348	0.0065	0.0087	0.00749	0.00895	0.01057	0.01894	0.01346	0.0054
<b>MC_ID = 2 MC_info = Tiered fuels C_ID = 4 C_info = Open shrub/tree layer ROI_size = 1788 pixels</b>									
Wavelength [E-6m]	0.49	0.56	0.705	0.74	0.783	0.865	1.61	2.19	6.0
Values	0.4421	0.07258	0.13213	0.20843	0.24575	0.28681	0.26255	0.16387	0.0511
Standard deviation	0.0891	0.0169	0.02191	0.01448	0.01447	0.01691	0.03967	0.03087	0.01408
<b>MC_ID = 2 MC_info = Tiered fuels C_ID = 5 C_info = Closed shrub/tree layer ROI_size = 954 pixels</b>									
Wavelength [E-6m]	0.49	0.56	0.705	0.74	0.783	0.865	1.61	2.19	6.0
Values	0.82914	0.04078	0.08786	0.27024	0.32927	0.3658	0.14387	0.06178	0.01929
Standard deviation	0.02907	0.00335	0.00515	0.01082	0.01504	0.01585	0.00974	0.00711	0.0025
<b>MC_ID = 2 MC_info = Tiered fuels C_ID = 6 C_info = Closed tree canopy layer ROI_size = 857 pixels</b>									
Wavelength [E-6m]	0.49	0.56	0.705	0.74	0.783	0.865	1.61	2.19	6.0
Values	0.79135	0.02296	0.05103	0.15258	0.19514	0.21637	0.07664	0.03965	0.0129
Standard deviation	0.0346	0.00255	0.00349	0.00788	0.01083	0.01143	0.00746	0.00553	0.0018

Εικόνα Β1.10: Τυπική απόκλιση φασματικών υπογραφών των κλάσεων ταξινόμησης με την χρήση του αλγόριθμου Maximum Likelihood (*Signature Details*)

Μετά την υλοποίηση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης της βλάστησης με τον αλγόριθμο Maximum Likelihood, πραγματοποιήθηκε επαναταξινόμηση (*Reclassify*) σε περιβάλλον λογισμικού ArcGIS, με στόχο την δημιουργία 5 κλάσεων ταξινόμησης της βλάστησης, όπως απαιτείται σύμφωνα με τον εννοιολογικό και λογικό σχεδιασμό της μεθοδολογίας. Συγκεκριμένα, η θεματική ομάδα «γυμνά εδάφη» ενοποιήθηκε με την πρώτη κλάση «Πόες, χαμηλά φρύγανα».



# Βιβλιογραφία

- Afonso, R. *et al.* (2020) 'Assessment of interventions in fuel management zones using remote sensing', *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(9). doi: 10.3390/ijgi9090533.
- Ager, A., Vaillant, N. and Finney, M. (2011) 'Integrating Fire Behavior Models and Geospatial Analysis for Wildland Fire Risk Assessment and Fuel Management Planning', *Journal of Combustion*, 2011(Forest Fire Research: The Latest Advances Tools for Understanding and Managing Wildland Fire), p. 20. doi: 10.1155/2011/572452.
- Akpınar, E. and Usul, N. (2003) *GIS in forest fires*. Available at: <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc05/abstracts/a1052.html>.
- Almeida, R. (1994) 'Forest fire risk areas and definition of the prevention priority planning actions using GIS', in *European conference on geographical information systems-EGIS*, p. 11. Available at: Google Scholar.
- Amatulli, G., Camia, A. and San-Miguel-Ayanz, J. (2009) 'Projecting future burnt area in the EU-Mediterranean countries under IPCC SRES A2/B2 climate change scenarios', In *Proceedings of the VII International EARSeL Workshop - Advances on Remote Sensing and GIS Applications in Forest Fire Management, No. JRC55149*, pp. 33–38.
- Badia, A., Serra, P. and Modugno, S. (2011) 'Identifying dynamics of fire ignition probabilities in two representative Mediterranean wildland-urban interface areas', *Applied Geography*, 31(3), pp. 930–940. doi: 10.1016/j.apgeog.2011.01.016.
- Bonati, S. (2019) 'Natural Hazards BT - Encyclopedia of Security and Emergency Management', in Shapiro, L. R. and Maras, M.-H. (eds). Cham: Springer International Publishing, pp. 1–4. doi: 10.1007/978-3-319-69891-5\_107-1.
- Brown, A. R., Petropoulos, G. P. and Ferentinos, K. P. (2018) 'Appraisal of the Sentinel-1 & 2 use in a large-scale wildfire assessment: A case study from Portugal's fires of 2017',

- Applied Geography*, 100, pp. 78–89. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.10.004>.
- Carrão, H., Freire, S. and Caetano, M. R. (2002) 'Fire risk mapping using satellite imagery and ancillary data: Towards operationality', in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, pp. 154–165. doi: 10.1117/12.462431.
- Castillo, E. B. *et al.* (2020) 'Monitoring wildfires in the northeastern peruvian amazon using landsat-8 and sentinel-2 imagery in the GEE platform', *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10). doi: 10.3390/ijgi9100564.
- Castro, R. and Chuvieco, E. (1998) 'Modeling forest fire danger from geographic information systems', *Geocarto International*. Taylor & Francis, 13(1), pp. 15–23. doi: 10.1080/10106049809354624.
- Chakhar, S. and Mousseau, V. (2008) 'Multicriteria Spatial Decision Support Systems BT - Encyclopedia of GIS', in Shekhar, S. and Xiong, H. (eds). Boston, MA: Springer US, pp. 753–758. doi: 10.1007/978-0-387-35973-1\_840.
- Chandra, S. (2019) 'Application of remote sensing and gis technology in forest fire risk modeling and management of forest fires: A case study in the garhwal himalayan region', in *Geo-information for Disaster Management*, pp. 1239–1254. doi: 10.1007/3-540-27468-5\_86.
- Chuvieco, E. *et al.* (2010) 'Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies', *Ecological Modelling*, 221(1), pp. 46–58. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2008.11.017.
- Chuvieco, E. *et al.* (2014) 'Integrating geospatial information into fire risk assessment', *International Journal of Wildland Fire*, 23(5), pp. 606–619. doi: 10.1071/WF12052.
- Chuvieco, E. and Congalton, R. G. (1989) 'Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping', *Remote Sensing of Environment*, 29(2), pp. 147–159. doi: 10.1016/0034-4257(89)90023-0.
- CHUVIECO, E. and SALAS, J. (1996) 'Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS', *International Journal of Geographical Information Systems*. Taylor & Francis, 10(3), pp. 333–345. doi: 10.1080/02693799608902082.
- Colson, D., Petropoulos, G. P. and Ferentinos, K. P. (2018) 'Exploring the Potential of

Sentinels-1 & 2 of the Copernicus Mission in Support of Rapid and Cost-effective Wildfire Assessment', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, pp. 262–276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.011>.

Copernicus Programme (2019) *CLC 2018*. Available at: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download> (Accessed: 3 November 2019).

Cuomo, V., Lasaponara, R. and Tramutoli, V. (2001) 'Evaluation of a new satellite-based method for forest fire detection', *International Journal of Remote Sensing*, 22(9), pp. 1799–1826. doi: 10.1080/01431160120827.

Daryaei, A. *et al.* (2020) 'Fine-scale detection of vegetation in semi-arid mountainous areas with focus on riparian landscapes using Sentinel-2 and UAV data', *Computers and Electronics in Agriculture*, 177. doi: 10.1016/j.compag.2020.105686.

Dong, X. *et al.* (2005) 'Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China', *Journal of Forestry Research*, 16(3), pp. 169–174. doi: 10.1007/BF02856809.

EMMI, P. C. and HORTON, C. A. (1995) 'A Monte Carlo simulation of error propagation in a GIS-based assessment of seismic risk', *International Journal of Geographical Information Systems*. Taylor & Francis, 9(4), pp. 447–461. doi: 10.1080/02693799508902049.

Erten, E., Kurgun, V. and Musaoglu, N. (2004) 'Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS: A case study', *XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, pp. 222–230.

ESA (2015) *SENTINEL-2 User Handbook*.

ESA (2018) *Sentinel-2 Spectral Response Functions*. Available at: [https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/document-library/-/asset\\_publisher/Wk0TKajiISaR/content/sentinel-2a-spectral-responses](https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/document-library/-/asset_publisher/Wk0TKajiISaR/content/sentinel-2a-spectral-responses).

Eskandari, S. and Chuvieco, E. (2015) 'Fire danger assessment in Iran based on geospatial information', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42, pp. 57–64. doi: 10.1016/j.jag.2015.05.006.

Eskandari, S. and Miesel, J. R. (2017) 'Comparison of the fuzzy AHP method, the spatial

correlation method, and the Dong model to predict the fire high-risk areas in Hyrcanian forests of Iran', *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), pp. 933–949. doi: 10.1080/19475705.2017.1289249.

Eugenio, F. C. *et al.* (2016) 'Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil', *Journal of Environmental Management*, 173, pp. 65–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.021>.

European Commission (2015) *Copernicus Europe's eyes on Earth*. doi: 10.2873/93104.

*European Forest Fire Information System* (2020). Available at: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/> (Accessed: 25 September 2020).

Farahmand, A. *et al.* (2020) 'Introducing spatially distributed fire danger from earth observations (FDEO) using satellite-based data in the contiguous United States', *Remote Sensing*, 12(8). doi: 10.3390/RS12081252.

Fernandes, P. M. (2009) 'Combining forest structure data and fuel modelling to classify fire hazard in Portugal', *Annals of Forest Science*, 66(4), p. 415. doi: 10.1051/forest/2009013.

FIG Working Group 8.4 (2006) 'The Contribution of the Surveying Profession to Disaster Risk Management'. Copenhagen, Denmark: International Federation of Surveyors (FIG), p. 41. doi: 87-90907-58-2.

Figueira, J., Greco, S. and Ehr Gott, M. (2005) *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. New York: Springer-Verlag.

Frampton, W. J. *et al.* (2013) 'Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82, pp. 83–92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.04.007>.

García, M. J. L. and Caselles, V. (1991) 'Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data', *Geocarto International*. Taylor & Francis, 6(1), pp. 31–37. doi: 10.1080/10106049109354290.

Gascon, F. *et al.* (2017) 'Copernicus Sentinel-2A Calibration and Products Validation Status', *Remote Sensing*, 9(6)(First Experiences with European Sentinel-2 Multi-Spectral Imager (MSI)), p. 584. doi: <https://doi.org/10.3390/rs9060584>.

- Gerdzheva, A. A. (2014) 'A comparative analysis of different wildfire risk assessment models (a case study for smolyan district, Bulgaria)', *European Journal of Geography*, 5(3), pp. 22–36. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84917726584&partnerID=40&md5=c990efc1b5815172060602f886511660>.
- Ghobadi, G., Gholizadeh, B. and Dashliburun, O. (2012) *Forest fire risk zone mapping from geographic information system in northern forests of Iran (Case study, Golestan province)*. Available at: Google Scholar.
- Gigović, L. *et al.* (2018) 'GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina', *Tehnicki Vjesnik*, 25(3), pp. 891–897. doi: 10.17559/TV-20151230211722.
- Goldammer, J. *et al.* (2019) *Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου στην Ελλάδα*. Αθήνα.
- Grabska, E. *et al.* (2019) 'Forest stand species mapping using the sentinel-2 time series', *Remote Sensing*, 11(10). doi: 10.3390/rs11101197.
- Grabska, E., Frantz, D. and Ostapowicz, K. (2020) 'Evaluation of machine learning algorithms for forest stand species mapping using Sentinel-2 imagery and environmental data in the Polish Carpathians', *Remote Sensing of Environment*, 251, p. 112103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112103>.
- Gralewicz, N. J., Nelson, T. A. and Wulder, M. A. (2012) 'Factors influencing national scale wildfire susceptibility in Canada', *Forest Ecology and Management*, 265, pp. 20–29. doi: 10.1016/j.foreco.2011.10.031.
- Hong, H. and Sun, Z. (2017) 'Applying SDN for Data Extraction and Mining: An Enhanced Architecture', *National Academy Science Letters*, 40(3), pp. 167–169. doi: 10.1007/s40009-017-0548-3.
- Jaafari, A., Gholami, D. M. and Zenner, E. K. (2017) 'A Bayesian modeling of wildfire probability in the Zagros Mountains, Iran', *Ecological Informatics*, 39, pp. 32–44. doi: 10.1016/j.ecoinf.2017.03.003.
- Jaiswal, R. K. *et al.* (2002) 'Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS', *ITC Journal*, 2002(4), pp. 1–10. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

0036705249&partnerID=40&md5=06f010a8b00403848729a0913d205900.

Jurdao, S., Chuvieco, E. and Arevalillo, J. M. (2012) 'Modelling Fire Ignition Probability from Satellite Estimates of Live Fuel Moisture Content', *Fire Ecology*, 8(1), pp. 77–97. doi: 10.4996/fireecology.0801077.

Kalabokidis, K. D. *et al.* (2007) 'Multivariate analysis of landscape wildfire dynamics in a Mediterranean ecosystem of Greece', *Area*. John Wiley & Sons, Ltd, 39(3), pp. 392–402. doi: 10.1111/j.1475-4762.2007.00756.x.

Kaufman, Y. . *et al.* (1990) 'Remote Sensing of Biomass Burning in the Tropics', in *Fire in the Tropical Biota. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. vol 84. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 371–399. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4_16).

Keane, R. E. *et al.* (2010) 'A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management', *Ecological Modelling*, 221(1), pp. 2–18. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2008.10.022.

Kelman, I. *et al.* (2016) 'Learning from the history of disaster vulnerability and resilience research and practice for climate change', *Natural Hazards*, 82(1), pp. 129–143. doi: 10.1007/s11069-016-2294-0.

Khakzad, N. (2018) 'Impact of wildfires on Canada's oil sands facilities', *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(11), pp. 3153–3166. doi: 10.5194/nhess-18-3153-2018.

Khakzad, N., Dadashzadeh, M. and Reniers, G. (2018) 'Quantitative assessment of wildfire risk in oil facilities', *Journal of Environmental Management*, 223, pp. 433–443. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.06.062.

Kiker, G. A. *et al.* (2005) 'Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making', *Integrated Environmental Assessment and Management*. John Wiley & Sons, Ltd, 1(2), pp. 95–108. doi: 10.1897/IEAM\_2004a-015.1.

Lavorel, S. *et al.* (1998) 'Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects', *Global Ecology & Biogeography Letters*, 7(3), pp. 157–166. doi: 10.1046/j.1466-822X.1998.00277.x.

Leblon, B. *et al.* (2016) '3 - Remote Sensing of Wildfires', in Baghdadi, N. and Zribi, M. B. T.-L. S. R. S. (eds). Elsevier, pp. 55–95. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-105->

5.50003-7.

Li, Z. *et al.* (2010) 'An assessment of correlation on MODIS-NDVI and EVI with natural vegetation coverage in Northern Hebei Province, China', *Procedia Environmental Sciences*, 2, pp. 964–969. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.108>.

Lozano, F. J. *et al.* (2008) 'A multi-scale approach for modeling fire occurrence probability using satellite data and classification trees: A case study in a mountainous Mediterranean region', *Remote Sensing of Environment*, 112(3), pp. 708–719. doi: [10.1016/j.rse.2007.06.006](https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.06.006).

Malczewski, J. (2006) 'GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature', *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), pp. 703–726. doi: [10.1080/13658810600661508](https://doi.org/10.1080/13658810600661508).

Malczewski, J. (2010) 'Multiple criteria decision analysis and geographic information systems', *International Series in Operations Research and Management Science*, pp. 369–395. doi: [10.1007/978-1-4419-5904-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5904-1_13).

Martínez, J., Vega-García, C. and Chuvieco, E. (2009) 'Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain', *Journal of Environmental Management*, 90(2), pp. 1241–1252. doi: [10.1016/j.jenvman.2008.07.005](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.005).

Mitsopoulos, I. *et al.* (2020) 'Vulnerability of peri-urban and residential areas to landscape fires in Greece: Evidence by wildland-urban interface data', *Data in Brief*, 31, p. 106025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106025>.

Müller, M. M., Vilà-Vilardell, L. and Vacik, H. (2020) 'Towards an integrated forest fire danger assessment system for the European Alps', *Ecological Informatics*, 60. doi: [10.1016/j.ecoinf.2020.101151](https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101151).

Murray, A. T. (2002) 'GIS and Multicriteria Decision Analysis, by Jacek Malczewski, 1999', *Geographical Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd, 34(1), pp. 91–92. doi: [10.1111/j.1538-4632.2002.tb01077.x](https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2002.tb01077.x).

Naderpour, M. *et al.* (2019) 'Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies', *Reliability Engineering & System Safety*, 191, p. 106558. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106558>.

Naderpour, M., Rizeei, H. M. and Ramezani, F. (2020) 'Wildfire Prediction: Handling Uncertainties Using Integrated Bayesian Networks and Fuzzy Logic', in *2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, pp. 1–7. doi: 10.1109/FUZZ48607.2020.9177700.

National Wildfire Coordinating Group (2020). Available at: <https://www.nwccg.gov/committees/fire-danger-subcommittee/nfdrs> (Accessed: 4 October 2020).

Núñez-Regueira, L., Proupín-Castiñeiras, J. and Rodríguez-Añón, J. A. (2000) 'Design of risk index maps as a tool to prevent forest fires in the hill-side zone of Galicia (NW Spain)', *Bioresource Technology*, 73(2), pp. 123–131. doi: 10.1016/S0960-8524(99)00174-1.

Oliveira, S. *et al.* (2018) 'Mapping wildfire vulnerability in Mediterranean Europe. Testing a stepwise approach for operational purposes', *Journal of Environmental Management*, 206, pp. 158–169. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.003>.

Open Topography (2019) *No Title*. Available at: <https://opentopography.org/> (Accessed: 1 December 2019).

Pandey, K. and Ghosh, S. K. (2018) 'Modeling of parameters for forest fire risk zone mapping', in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, pp. 299–304. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-299-2018.

Parente, J. and Pereira, M. G. (2016) 'Structural fire risk: The case of Portugal', *Science of The Total Environment*, 573, pp. 883–893. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.164>.

Pearson, L. and Pelling, M. (2015) *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. London. doi: 10.1142/S2345737615710013.

Pelizzari, A., Goncalves, R. A. and Caetano, M. (2008) 'Information extraction for forest fires management', *Studies in Computational Intelligence*, pp. 295–312. doi: 10.1007/978-3-540-79353-3\_12.

Perera, A. H. and Cui, W. (2010) 'Emulating natural disturbances as a forest management goal: Lessons from fire regime simulations', *Forest Ecology and Management*, 259(7), pp.

1328–1337. doi: 10.1016/j.foreco.2009.03.018.

Pourghasemi, H. R., Beheshtirad, M. and Pradhan, B. (2016) 'A comparative assessment of prediction capabilities of modified analytical hierarchy process (M-AHP) and Mamdani fuzzy logic models using Netcad-GIS for forest fire susceptibility mapping', *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(2), pp. 861–885. doi: 10.1080/19475705.2014.984247.

Poursanidis, D. and Chrysoulakis, N. (2017) 'Remote Sensing, natural hazards and the contribution of ESA Sentinels missions', *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 6, pp. 25–38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.02.001>.

Pradhan, B. and Awang, M. A. Bin (2007) 'Application of remote sensing and gis for forest fire susceptibility mapping using likelihood ratio model', in *Proceedings of the Map Malaysia*. Malaysia: Geospatial World. Available at: Google Scholar.

Roberts, N., Meadows, M. E. and Dodson, J. R. (2001) 'The history of mediterranean-type environments: Climate, culture and landscape', *Holocene*, 11(6), pp. 631–634. doi: 10.1191/09596830195663.

Rodrigues, M. *et al.* (2013) 'An insight into spatial-temporal trends of fire ignitions and burned area in the European Mediterranean countries', *J. Earth Sci. Eng.*, 3, pp. 497–505.

Rodríguez, E., Morris, C. S. and Belz, J. E. (2006) 'A global assessment of the SRTM performance', *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(3), pp. 249–260. doi: 10.14358/PERS.72.3.249.

Rollins, M. G., Keane, R. E. and Parsons, R. A. (2004) 'Mapping fuels and fire regimes using remote sensing, ecosystem simulation, and gradient modeling', *Ecological Applications*, 14(1), pp. 75–95. doi: 10.1890/02-5145.

Román, M. V., Azqueta, D. and Rodríguez, M. (2013) 'Methodological approach to assess the socio-economic vulnerability to wildfires in Spain', *Forest Ecology and Management*, 294, pp. 158–165. doi: 10.1016/j.foreco.2012.07.001.

Sakr, G. E. *et al.* (2010) 'Artificial intelligence for forest fire prediction', in *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM*, pp. 1311–1316. doi: 10.1109/AIM.2010.5695809.

Sevinc, V., Kucuk, O. and Goltas, M. (2020) 'A Bayesian network model for prediction and analysis of possible forest fire causes', *Forest Ecology and Management*, 457, p. 117723. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117723>.

Sifakis, N. I. *et al.* (2011) 'Wildfire detection and tracking over Greece using MSG-SEVIRI satellite data', *Remote Sensing*, 3(3), pp. 524–538. doi: 10.3390/rs3030524.

Sitanggang, I. S. *et al.* (2013) 'Predictive models for hotspots occurrence using decision tree algorithms and logistic regression', *Journal of Applied Sciences*, 13(2), pp. 252–261. doi: 10.3923/jas.2013.252.261.

Sola, I. *et al.* (2018) 'Assessment of atmospheric correction methods for Sentinel-2 images in Mediterranean landscapes', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, pp. 63–76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.020>.

Sowmya, S. V and Somashekar, R. K. (2010) 'Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India', *Journal of Environmental Biology*, 31(6), pp. 969–974. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79851503893&partnerID=40&md5=56392c365cb86c00133c76a3d646c9ec>.

Thompson, W. A. *et al.* (2000) 'Using forest fire hazard modelling in multiple use forest management planning', *Forest Ecology and Management*, 134(1), pp. 163–176. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00255-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00255-8).

Toth, C. and Jóźków, G. (2016) 'Remote sensing platforms and sensors: A survey', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, pp. 22–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.004>.

USFS (2003) *Influence of Forest Structure on Wildland Fire Behavior and Effects*. Available at: [https://www.fs.fed.us/projects/hfi/docs/forest\\_structure\\_wildfire.pdf](https://www.fs.fed.us/projects/hfi/docs/forest_structure_wildfire.pdf).

USGS (2019) *Earth Explorer*. Available at: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Accessed: 25 October 2019).

Vadrevu, K. P., Eaturu, A. and Badarinath, K. V. S. (2010) 'Fire risk evaluation using multicriteria analysis-a case study', *Environmental Monitoring and Assessment*, 166(1–4), pp. 223–239. doi: 10.1007/s10661-009-0997-3.

- Vakalis, D. *et al.* (2004) 'A GIS based operational system for wildland fire crisis management I. Mathematical modelling and simulation', *Applied Mathematical Modelling*, 28(4), pp. 389–410. doi: 10.1016/j.apm.2003.10.005.
- Verde, J. C. and Zêzere, J. L. (2010) 'Assessment and validation of wildfire susceptibility and hazard in Portugal', *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(3), pp. 485–497. doi: 10.5194/nhess-10-485-2010.
- Vogiatzakis, I. (1999) *An appraisal of the Mediterranean flora and vegetation and its conservation needs*. No 131.
- Wang, Y. and Anderson, K. R. (2010) 'An evaluation of spatial and temporal patterns of lightning- and human-caused forest fires in Alberta, Canada, 1980-2007', *International Journal of Wildland Fire*, 19(8), pp. 1059–1072. doi: 10.1071/WF09085.
- Wikipedia (2019). Available at:  
[https://el.wikipedia.org/wiki/Διοικητική\\_διαίρεση\\_Περιφέρειας\\_Ιονίων\\_Νήσων](https://el.wikipedia.org/wiki/Διοικητική_διαίρεση_Περιφέρειας_Ιονίων_Νήσων)  
(Accessed: 15 November 2019).
- Wooster, M. J., Zhukov, B. and Oertel, D. (2003) 'Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: Derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products', *Remote Sensing of Environment*, 86(1), pp. 83–107. doi: 10.1016/S0034-4257(03)00070-1.
- Wybo, J. L., Guarniéri, F. and Richard, B. (1995) 'Forest fire danger assessment methods and decision support', *Safety Science*, 20(1), pp. 61–70. doi:  
[https://doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)00067-D](https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00067-D).
- Yathish, H. *et al.* (2019) 'A Comparative Analysis of Forest Fire Risk Zone Mapping Methods with Expert Knowledge', *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(12), pp. 2047–2060. doi: 10.1007/s12524-019-01047-w.
- You, W. *et al.* (2017) 'Geographical information system-based forest fire risk assessment integrating national forest inventory data and analysis of its spatiotemporal variability', *Ecological Indicators*, 77, pp. 176–184. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.01.042.
- Youcef, F. *et al.* (2020) 'Assessment of forest fire risk and forestry species degradation using gis and remote sensing in western of Algeria', *Plant Archives*, 20, pp. 1793–1800. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85090447369&partnerID=40&md5=110733b3d6016b48f4eb16ed3528218f.

Zhang, H. K. *et al.* (2018) 'Characterization of Sentinel-2A and Landsat-8 top of atmosphere, surface, and nadir BRDF adjusted reflectance and NDVI differences', *Remote Sensing of Environment*, 215, pp. 482–494. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.031>.

Zumbrunnen, T. *et al.* (2011) 'Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of Switzerland', *Forest Ecology and Management*, 261(12), pp. 2188–2199. doi: 10.1016/j.foreco.2010.10.009.

Αριανούτσου, Μ. (2001) 'Δείκτες μεταπυρικής φυσικής αναγέννησης στα Μεσογειακά Οικοσυστήματα', in Ξανθόπουλος, Γ. and Αριανούτσου, Μ. (eds) *Αποκατάσταση καμένων εκτάσεων*. Αθήνα: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, p. 16. Available at:

[http://www.fria.gr/ApokatastasiKamenwnEktasewn\\_PraktikaSYnedriou/Arianoutsou\\_DeiktesMetapirikisFysikisAnnagenisis.pdf](http://www.fria.gr/ApokatastasiKamenwnEktasewn_PraktikaSYnedriou/Arianoutsou_DeiktesMetapirikisFysikisAnnagenisis.pdf).

ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (2020) *Παράγοντες που επηρεάζουν την Εξάπλωση της Πυρκαγιάς*. Available at: <http://www.fria.gr/mmfría/index.php?id=100&catid=43&lan=GR&tl=CATEGORYID> (Accessed: 24 October 2020).

ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε (2007) *Η συμπεριφορά των Δασικών Πυρκαγιών*. Available at: <http://www.fria.gr/mmfría/index.php?id=100&catid=40&lan=GR&tl=CATEGORYID> (Accessed: 26 September 2020).

ΕΛΣΤΑΤ (2019) *Ελληνική Στατιστική Αρχή*. Available at: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/-> (Accessed: 16 November 2019).

Καϊλίδης, Δ. (1990) *Δασικές Πυρκαγιές*. Τρίτη Έκδο. Θεσσαλονίκη: ΓΙΑΧΟΥΔΗ-ΓΙΑΠΟΥΛΗ.

Κούτσιας, Ν. and Καρτέρης, Μ. (1999) 'Μοντελοποίηση και Χαρτογράφηση του Βαθμού Επικινδυνότητας Έναρξης των Δασικών Πυρκαγιών σε Εθνική Κλίμακα', in Ελληνική Εταιρία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ed.) *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών-Δυνατότητες και Εφαρμογές, Προοπτικές και Προκλήσεις*. Αθήνα.

Κουτσόπουλος, Κ. (2002) *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*.

Αθήνα.

Λεκκας, Ε., Δανάμος, Γ. and Μαυρίκας, Γ. (2001) 'Γεωλογική Δομή και Εξέλιξη των νήσων Κεφαλλονιάς και Ιθάκης', in *Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου*. Αθήνα: Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, p. 7. Available at: <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/geosociety/article/viewFile/16938/15103>.

Μηλιαρέσης, Γ. (2003) *Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση*. Αθήνα: Ίων.

Ντάφης, Σ. (1992) *Εφαρμοσμένη Δασοκομική*. Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη Γιαπούλη.

Ντάφης, Σ. (1996) *Δασική Οικολογία*. Θεσσαλονίκη: ΓΙΑΧΟΥΔΗ-ΓΙΑΠΟΥΛΗ.

Παλάσκας, Δ. (2015) 'Σχέδιο Διαχείρισης Εθνικού Δρυμού Αίνου, έκδ.3.0'. Φορέας Διαχείρισης Εθνικού Δρυμού Αίνου, p. 276. Available at: <https://docplayer.gr/67992319-Shedio-diaheirisis-ethnikoy-drymoy-ainoy.html>.

Παπαμίχος, Ν. (1996) *Δασικά Εδάφη*. Θεσσαλονίκη: Α.Π.Θ.

*Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας* (2019). Available at: [https://www.fireservice.gr/el\\_GR/synola-dedomenon](https://www.fireservice.gr/el_GR/synola-dedomenon) (Accessed: 6 December 2019).

ΥΠΕν (2019) *Όρια περιοχών Natura 2000*. Available at: <http://www.ypeka.gr/?tabid=503> (Accessed: 17 November 2019).