



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

**Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα για την περίοδο 2000-
2020 :**

**Συσχέτιση του Καναδικού Δείκτη Κινδύνου Καιρού
Πυρκαγιάς και των παρατηρημένων Καμένων Δασικών
Εκτάσεων**

Διπλωματική εργασία

Της

Δεμίρογλου Αναστασίας

Χανιά, 2024

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



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

**Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα για την περίοδο 2000-
2020 :**

**Συσχέτιση του Καναδικού Δείκτη Κινδύνου Καιρού
Πυρκαγιάς και των παρατηρημένων Καμένων Δασικών
Εκτάσεων**

Διπλωματική εργασία

Της

Δεμίρογλου Αναστασίας

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής (Επιβλέπων) : Βουλγαράκης Απόστολος

Καθηγητής : Γρυλλάκης Μανώλης

Καθηγητής : Κουτρούλης Αριστείδης

Χανιά, 2024

Περίληψη

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες κοινωνίες είναι οι δασικές πυρκαγιές. Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο και ανήκουν στην κατηγορία των φυσικών καταστροφών. Τα τελευταία χρόνια αποτελούν έναν αυξανόμενη σοβαρότητας κίνδυνο για τα δάση της Μεσογείου, και κατ' επέκταση της Ελλάδας. Οι επιπτώσεις τους είναι τεράστιες και έχουν μεγάλο αντίκτυπο τόσο στο ίδιο το περιβάλλον όσο και στην κοινωνική ευημερία, ενώ οι καταστροφικές πυρκαγιές αναμένεται να αυξηθούν στο μέλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Η συμπεριφορά μιας δασικής πυρκαγιάς εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε φυσικοί είτε ανθρωπογενείς. Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την δραστηριότητα και την εξάπλωση ενός τέτοιου φαινομένου είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες.

Για τον λόγο αυτό, παράλληλα με την ανάγκη για πρόληψη και μια ολοκληρωμένη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών, επιτακτική κρίνεται η χρήση δεικτών που συνοψίζουν τις μετεωρολογικές συνθήκες ως ένα καιρικό δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς. Ένας από τους πιο διαδεδομένους και ευρέως χρησιμοποιημένους είναι ο Καναδικός Δείκτης Καιρού Πυρκαγιάς (Fire Weather Index- FWI) ο οποίος εξαρτάται αποκλειστικά από τις καιρικές συνθήκες. Ο δείκτης αυτός αντικατοπτρίζει τον κίνδυνο έναρξης πυρκαγιάς ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν.

Απώτερος σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι η αξιολόγηση του Καναδικού δείκτη FWI για τα φαινόμενα δασικών πυρκαγιών που έχουν σημειωθεί στην Ελλάδα. Αν, δηλαδή, κατά την έναρξη και διάδοση των πυρκαγιών αυτών ο δείκτης είχε ικανή τιμή που προέβλεπε την επικινδυνότητα της πυρκαγιάς καθώς και την έκταση που τελικά είχε. Με γνώμονα αυτό, διερευνήθηκαν οι συσχετίσεις μεταξύ της καμένης έκτασης (Burned Area/ BA) και του FWI, σε επίπεδο νομού, για το χρονικό διάστημα 2000-2020, χρησιμοποιώντας δεδομένα καμένων εκτάσεων από την Πυροσβεστική Υπηρεσία της χώρας. Για την καλύτερη κατανόηση της συσχέτισης των δύο μεταβλητών, η διερεύνηση έγινε με δύο μεθόδους. Η πρώτη αφορά την συσχέτιση τους σε βάθος χρόνου (ημέρας, δεκαήμερου, μήνα) και η δεύτερη σε ομαδοποίηση των δεδομένων ανάλογα με το μέγεθος της καμένης έκτασης.

Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι ο δείκτης FWI συσχετίζεται αρκετά καλά με την καμένη έκταση κυρίως στις κεντρικές περιοχές της χώρας, στις οποίες παρουσιάζονται ισχυρότερες συσχετίσεις. Αντίθετα η συσχέτιση είναι ασθενέστερη στις νοτιότερες αλλά και στις βορειότερες περιοχές της χώρας. Το γεγονός αυτό πιθανόν οφείλεται στον μικρότερο αριθμό καταγεγραμμένων δασικών πυρκαγιών καθώς και στο διαφορετικό κλίμα που επικρατεί.

Abstract

One of the most serious environmental problems, nowadays, is forest fires. Forest fires are a natural phenomenon and they are considered as a type of natural disaster. In recent years, they have been one of the most serious threats to the forests of the Mediterranean, and by extension, Greece. Their effects are enormous and they have impacts on both the environment and society. Furthermore, destructive wildfires are expected to increase in frequency and size in the future, due to climate change.

The behavior of a forest fire depends on a variety of factors, which can be either natural or man-made. The factors that largely determine the intensity and spread of wildfires are mainly of a meteorological nature.

Alongside the need for forest fire prevention and comprehensive management, the development and use of a fire weather index is imperative. One of the most widespread and widely used such indices is the Canadian Fire Weather Index (FWI) which depends exclusively on weather conditions. This index reflects the risk of a fire starting depending on the prevailing meteorological conditions.

The ultimate purpose of this work is the evaluation of the Canadian FWI for the case of Greece. More specifically, we validate whether the index had a sufficient value that predicted the danger of individual fires and their size at the start and spread of these fires. With this in mind, the correlations between the burnt area (BA) and the FWI were investigated, for each prefecture of Greece, for the period 2000-2020, using ground-based observations of BA provided by Greek Fire Service. In order to understand the correlation of the two variables, the investigation was done with two methods. The first concerns their correlation over time (day, ten days, month) and the second by grouping the data according to the magnitude of the BA.

The results demonstrate that FWI is quite well correlated with the BA mainly in the central regions of the country, where stronger correlations are shown. On the contrary, in the northern regions the correlation is weaker, which may be due to the colder climate and therefore the lower number of recorded forest fires.

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά την χειμερινή περίοδο του Ακαδημαϊκού Έτους 2023, στα πλαίσια των Προπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του κ. Βουλγαράκη Απόστολου, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, με συνεξεταστές τον κ. Κουτρούλη Αριστείδη, επίσης Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και τον κ. Γρυλλάκη Μανώλη, Μεταδιδακτορικού Ερευνητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η μελέτη και η αξιολόγηση του Καναδικού δείκτη FWI για τα φαινόμενα δασικών πυρκαγιών που έχουν σημειωθεί στην Ελλάδα. Ειδικότερα, εφαρμόζονται διάφοροι μέθοδοι συσχέτισης δείκτη επικινδυνότητας FWI και του μεγέθους των καμένων εκτάσεων για φαινόμενα πυρκαγιών κατά το χρονικό διάστημα 2000-2020.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μου. Οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες, προς τον επιβλέποντα της εργασίας, Καθηγητή κ. Βουλγαράκη Απόστολο για την καθοδήγηση του και την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε σε κάθε στάδιο της εργασίας αυτής. Επίσης, τον κ. Γρυλλάκη Μανώλη, για την παροχή όλων των απαραίτητων στοιχείων, την βοήθεια και την καθοδήγηση του σχετικά με το τεχνικό μέρος και την επιτυχή διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια και τους φίλους μου, για την ενθάρρυνση, την πίστη, την κατανόηση και την συμπαράσταση που μου έδειξαν καθ' όλη την περίοδο των σπουδών μου και ιδιαίτερα κατά την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Πίνακας Περιεχομένων

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
Πρόλογος και Ευχαριστίες.....	3
Πίνακας Περιεχομένων	4
Κατάλογος Εικόνων	5
Κατάλογος Διαγραμμάτων / Πινάκων	6
1.Εισαγωγή.....	1
1.1 Η έννοια του δάσους.....	2
1.2 Δάση και δασικές εκτάσεις στην Ελλάδα	3
1.2.1 Ζώνες Βλάστησης.....	3
1.3 Δασικές Πυρκαγιές.....	5
1.3.1 Βασικές έννοιες	5
1.3.2 Πυρκαγιές	6
1.3.3 Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα.....	6
1.4 Χαρακτηριστικά Δασικών Πυρκαγιών.....	7
1.4.1 Είδη δασικών πυρκαγιών	7
1.4.2 Τύποι καύσιμης ύλης	9
1.5 Παράγοντες εκδήλωσης και επέκτασης δασικών πυρκαγιών	10
1.5.1 Μετεωρολογικοί παράγοντες	10
1.5.2 Άλλοι παράγοντες	12
1.6 Διαχείριση δασικών πυρκαγιών	14
1.7 Πρόληψη και δείκτες επικινδυνότητας.....	15
1.7.1 Μοντέλα Κινδύνου Δασικής Πυρκαγιάς.....	17
1.7.2 Καναδικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνων Πυρκαγιάς (Canadian Forest Fire Danger Rating System).....	18
1.7.3 Καναδικός Δείκτης Κινδύνου Πυρκαγιών	19
2 Μεθοδολογία	23
2.1 Δεδομένα	23
2.1.1 Καμένες Δασικές Εκτάσεις	23
2.1.2 Δείκτης FWI	23
2.2 Επεξεργασία Δεδομένων.....	24
2.2.1 Συντελεστής προσδιορισμού R ² (R- squared)	24
2.2.2 Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson.....	25

2.3 Μεθοδολογία	26
2.3.1 Βάση δεδομένων.....	26
2.3.2 Μέσες τιμές και αθροίσματα.....	27
2.3.3 Χρονικό Βήμα	27
2.3.4 Λογάριθμος καμένης έκτασης.....	28
2.3.5 Αφαίρεση δεδομένων.....	28
2.3.6 Κατώφλια τιμή	28
2.4 Διάγραμμα ροής	29
3 Αποτελέσματα	30
3.1 Πυρκαγιές και καμένες δασικές εκτάσεις.....	30
3.1.1 Αριθμός Δασικών Πυρκαγιών	30
3.1.2 Καμένες δασικές εκτάσεις.....	32
3.2 Δείκτης FWI	33
3.3 Αποτελέσματα συσχέτισης	34
3.3.1 Ημερήσια συσχέτιση	34
3.3.2 Συσχέτιση ανά δέκα ημέρες	35
3.3.3 Μηνιαία συσχέτιση	36
3.3.4 Ομαδοποίηση δεδομένων	37
3.3.5 Σύγκριση Μεθόδων.....	39
3.3.6 Συσχετίσεις σε επίπεδο Περιφερειών	40
4. Συμπεράσματα	42
5. Προτάσεις για Μελλοντική έρευνα	45
6. Βιβλιογραφία	46
Παράρτημα.....	51

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Ελληνικά Δάση (URL 2).....	5
Εικόνα 1.2: Το τρίγωνο της φωτιάς (Νουνοπούλου, 2016)	6
Εικόνα 1.3: Είδη καύσιμης ύλης δέντρων και πυρκαγιών (Joyce, 2012)	8
Εικόνα 1.4: Παράδειγμα ημερήσιου Χάρτη Πρόβλεψης Κινδύνου από την Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2019)16	
Εικόνα 1.5: Καναδικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνου Πυρκαγιάς (CFFDRS)(URL 4)19	
Εικόνα 1.6: Δείκτης Κινδύνου Πυρκαγιάς και υπό-δείκτες που υπολογίζονται (URL 3)20	

Κατάλογος Διαγραμμάτων / Πινάκων

Διάγραμμα Π.1: α. R-squared ημερήσια δεδομένα β. δεδομένα δεκαημέρου γ. μηνιαία δεδομένα για κατώφλια τιμή 10 στρεμ.....	51
Διάγραμμα Π.2: R-squared για α. ημερήσια δεδομένα β. δεδομένα δεκαημέρου γ. μηνιαία δεδομένα για κατώφλια τιμή τα 20 στρεμ.....	52
Διάγραμμα Π.3: R-squared α για ημερήσια δεδομένα β. δεδομένα δεκαημέρου γ. μηνιαία δεδομένα με κατώφλια τιμή 50 στρεμ.....	53
Πίνακας 1.1: Κατηγορίες επικινδυνότητας για τα Δάση του Καναδά και για τα Δάση των Ευρωπαϊκών Χωρών	22
Πίνακας 3.1: Σύγκριση αποτελεσμάτων για ενδεικτικούς σταθμούς.....	38

1.Εισαγωγή

Τα δάση είναι ένα μοναδικό φυσικό αγαθό και θεωρείται από τα πολυτιμότερα δώρα της φύσης στον άνθρωπο. Από αρχαιότατων χρόνων η ύπαρξη τους είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το ανθρωπογενές περιβάλλον και το φυσικό οικοσύστημα στο σύνολο του, με πολύπλευρη σημασία. Αποτελεί αναγκαίο και απαραίτητο κομμάτι για την κοινωνία και το ανθρώπινο είδος, καθώς είναι πηγή ενέργειας, τροφής και πολλών άλλων πρώτων υλών. Η συμβολή τους είναι καθοριστική και βοηθάει στην διατήρηση της βιολογικής ισορροπίας και συμβάλλει στην οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική ανάπτυξη. Ταυτόχρονα, προσφέρει ευκαιρίες απασχόλησης, άθλησης και δημιουργίας.

Οι πυρκαγιές, με την σειρά τους, απειλούν και καταστρέφουν τα δάση και την ευημερία που αυτά προσφέρουν. Είναι ένα φαινόμενο διαχρονικό, με το οποίο έρχονται αντιμέτωπες οι περισσότερες χώρες παγκοσμίως. Η επιρροή τους και τα αποτελέσματα που επιφέρουν είναι καταστρεπτικά και συχνά μπορεί να αποβούν μοιραία, προκαλώντας κύριο κοινωνικό και οικολογικό ζήτημα. Συνήθως είναι πολύπλοκα φαινόμενα και συχνά προέρχονται από ανθρώπινους παράγοντες. Ωστόσο, αποτελούν φυσική και βασική διαδικασία των μεσογειακών τύπων δασών για τη λειτουργία και αναπαραγωγή τους (Υφαντή, 2015).

Με την εκδήλωση πυρκαγιών να πληθαίνει ανά τον κόσμο, οι δασικές πυρκαγιές είναι πλέον πεδίο ενδιαφέροντος πολλών μελετητών και επιστημόνων, τόσο της δασοπονίας όσο και άλλων πεδίων έρευνας. Γενικότερα, παρατηρείται ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον στην διεθνή κοινότητα, για πληθώρα περιβαλλοντικών κινδύνων, με έμφαση σε αυτούς που συσχετίζονται με την κλιματική αλλαγή (Domenikiotis et al., 2002). Αντίθετα με άλλες φυσικές καταστροφές, όπως είναι οι σεισμοί και οι πλημμύρες, οι πυρκαγιές είναι ένα φαινόμενο πιο προβλέψιμο και συνεπώς είναι εφικτό, αν και εφόσον ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα, να προληφθεί και να μετριαστεί σε μεγάλο βαθμό.

Επομένως, για την επίτευξη της πρόληψης είναι αναγκαία η πρόβλεψη των συνθηκών που ευνοούν τα φαινόμενα αυτά. Πέρα από την πρόβλεψη των μετεωρολογικών συνθηκών μέσω τεχνολογικών μέσων (εργαλεία Μετεωρολογικής πρόγνωσης) εξίσου σημαντικό είναι να ληφθούν υπό εξέταση δεδομένα από το πρόσφατο παρελθόν. Ειδικότερα, η κατανόηση της σχέσης αλληλεπίδρασης μεταξύ των μετεωρολογικών παραγόντων και της εκδήλωσης φαινομένων δασικής πυρκαγιάς θα συμβάλλει στην πρόβλεψη και αξιολόγηση του κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς σε μελλοντικές κλιματικές συνθήκες. Τέλος, αναγκαία κρίνεται η ανάπτυξη και χρήση εργαλείων για την εκτίμηση του κινδύνου καθώς και της αλλαγής του κλίματος και των επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρει (Ηλιόπουλος, 2013).

1.1 Η έννοια του δάσους

Το δάσος, ανέκαθεν, κατείχε εξέχουσα θέση για την κοινωνία και τον πολιτισμό. Η αξία του για κάθε μορφής ζωή αλλά κυρίως για τον ίδιο τον άνθρωπο είναι ανυπολόγιστη και έχει πολύπλευρη σημασία. Αποτελεί αστείρευτη πηγή ενέργειας και χαρακτηρίζεται ως ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος με τεράστιες δυνατότητες, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη και την ευημερία ενός τόπου καθώς και στην διαφύλαξη της οικολογικής ισορροπίας και στην εξασφάλιση κατάλληλων συνθηκών.

Η σημασία των δασών είναι αυταπόδεικτη και αναμφισβήτητη. Το δάσος, στο σύνολο του, συνιστά έναν από τους κυριότερους ρυθμιστές του κλίματος του πλανήτη, παράγοντας οξυγόνο και διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, απορροφώντας σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης αποτελεί βασικό κρίκο στον υδρολογικό κύκλο, κατακρατώντας σημαντικές ποσότητες φυσικού νερού λόγω βροχής, αυξάνοντας την διαπερατότητα του εδάφους και προστατεύοντας το έδαφος από τη διάβρωση και από πλημμύρες. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η παραγωγή και η προσφορά πολύτιμων προϊόντων (ξυλεία, πρώτες ύλες κλπ.) και υπηρεσιών (τουριστική και πολιτισμική αξία), η οποία ευνοεί την οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική ανάπτυξη.

Ο ορισμός της έννοιας του δάσους αποδίδεται αρκετά επιστημονικά στην ερμηνευτική δήλωση του άρθρου 24 του Συντάγματος σύμφωνα με την οποία:

«Ως δάσος ή δασικό οικοσύστημα νοείται το οργανικό σύνολο άγριων φυτών με ξυλώδη κορμό πάνω στην αναγκαία επιφάνεια του εδάφους, τα οποία, μαζί με την εκεί συνυπάρχουσα χλωρίδα και πανίδα, αποτελούν μέσω της αμοιβαίας αλληλεξάρτησης και αλληλοεπίδρασής τους, ιδιαίτερη βιοκοινότητα (δασοβιοκοινότητα) και ιδιαίτερο φυσικό περιβάλλον (δασογενές). Δασική έκταση υπάρχει όταν στο παραπάνω σύνολο η άγρια ξυλώδης βλάστηση, υψηλή ή θαμνώδης, είναι αραιά.»

Ως οικοσύστημα χαρακτηρίζεται μια βασική οικολογική μονάδα που αποτελείται από τον βιότοπο (φυσικό περιβάλλον) και την βιοκοινότητα (οργανισμοί, ζώα, φυτά) που ζεί σε αυτόν. Ουσιαστικά, είναι ένα πολύπλοκο πλέγμα αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ζωντανών οργανισμών που το συνθέτουν. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές συμβαίνουν τόσο μεταξύ των ίδιων των οργανισμών όσο και μεταξύ των οργανισμών και του αβιοτικού περιβάλλοντος μέσα στο οποίο ζουν (Ellenberg, 1973). Η βιοκοινότητα απαρτίζεται από το σύνολο των ζωντανών οργανισμών, δηλαδή αφορά τα ανώτερα και κατώτερα φυτά, τα ζώα, τους μικροοργανισμούς καθώς και τον άνθρωπο. Ο βιότοπος συνίσταται από το σύνολο των αβιοτικών παραγόντων οι οποίοι υπάρχουν στην συγκεκριμένη περιοχή. Το δασικό οικοσύστημα είναι μια διαφορετική μορφή οικοσυστήματος με ιδιαιτερότητες και χερσαία χαρακτηριστικά. Στα χερσαία οικοσυστήματα κυριαρχεί η δασική βλάστηση η οποία έχει καθοριστικό ρόλο στο βιοτικό και αβιοτικό περιβάλλον και διαμορφώνει ιδιαίτερες συνθήκες (Σμύρης, 2012).

Επομένως με τον όρο Δάσος ορίζεται εκείνο το δασικό οικοσύστημα, στο οποίο υφίσταται η συνύπαρξη ποώδους βλάστησης, θάμνων και δένδρων σε μια στενή κοινωνική θέση όπου συντελούν ένα περιβάλλον με ιδιαίτερα και ξεχωριστά χαρακτηριστικά δεδομένα, «το δασογενές περιβάλλον». Στο δασογενές περιβάλλον το σύνολο των φυτικών και ζωικών οργανισμών, συνιστά μια ξεχωριστή βιοκοινότητα, τη δασοβιοκοινότητα. Με τον όρο

«δασική έκταση» χαρακτηρίζεται δασικό οικοσύστημα το οποίο διαφέρει από το δάσος, κυρίως κατά το μειωμένο βαθμό συγκόμωσης της ξυλώδους ή θαμνώδους βλάστησης (Σμύρης, 2012).

1.2 Δάση και δασικές εκτάσεις στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα έχουν αναπτυχθεί πολλά και διαφορετικά είδη χλωρίδας και πανίδας δημιουργώντας ποικίλα δασικά οικοσυστήματα. Η γεωγραφική της θέση, τα ιδιαίτερα γεωλογικά, τοπογραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά άσκησαν ουσιώδη επιρροή στην ανάπτυξη δασών και δασικών εκτάσεων, δίνοντας τους τεράστια περιβαλλοντική αξία. Η Ελλάδα κατέχει την τέταρτη θέση σε δασικό πλούτο μεταξύ των υπόλοιπων χωρών της Ευρώπης. Συγκεκριμένα, από την συνολική έκτασης της χώρας το ποσοστό δασοκάλυψης ανέρχεται στο 64 %. Από αυτό το ποσοστό το 25,4 % χαρακτηρίζεται ως δάση, το 25 % ως δασικές εκτάσεις και το 13,6 % καλύπτεται από βοσκοτόπους και άλλες εκτάσεις (URL 1).

Τα δασικά οικοσυστήματα της Ελλάδας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε συγκεκριμένες ομάδες ανάλογα με τις βιοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην κάθε περιοχή (Ντάφης, 1973). Σε ηπειρωτικές περιοχές της χώρας και γενικά σε μεγάλα υψόμετρα αναπτύσσονται εκτάσεις της παραμεσογειακής ζώνης. Στα βουνά, και σε ακόμα μεγαλύτερα υψόμετρα απλώνονται δασικά οικοσυστήματα που ανήκουν στην ζώνη οξιός – ελάτης. Σε ορεινές περιοχές, κυρίως της βόρειας Ελλάδας, συναντώνται οικοσυστήματα της ζώνης των ψυχρόβιων κωνοφόρων, στα οποία εναπόκειται και το Ευρασιατικό είδος (φυλλοβόλα δάση οξιός ή και δρυός και άλλων πλατύφυλλων). Αντίθετα, σε παράκτιες περιοχές και νησιώτικες θέσεις της χώρας απαντώνται τα δασικά οικοσυστήματα της μεσογειακής ζώνης βλάστησης.

1.2.1 Ζώνες Βλάστησης

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο στην Ελλάδα αναπτύσσονται διάφορες ζώνες βλάστησης. Η διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι σε κάθε περιοχή της χώρας εμφανίζεται διαφορετικό υψόμετρο και γεωλογικά χαρακτηριστικά. Η διαφορετική γεωλογία συμβάλλει στη διαμόρφωση διαφορετικών κλιματικών συνθηκών και συνεπώς και διαφορετικής βλάστησης. Έτσι αναπτύχθηκαν οι εξής ζώνες βλάστησης (URL 1):

Στις μεσογειακές περιοχές της χώρας αναπτύσσονται θαμνώδης και δενδρώδεις σχηματισμοί.

- Θαμνώδεις σχηματισμοί
 - ΦρύγαναΑποτελούνται από αραιούς και χαμηλούς θάμνους με αγκαθωτά κλαδιά, μικρά χνουδωτά φύλλα και είναι ανθεκτικοί στην θερινή ξηρασία (λαδανιά, λεβάντα, ρίγανη, θυμάρι κλπ).

- Μακία Βλάστηση
Είναι θάμνοι ύψους μέχρι 2-2,5 μέτρα με μικρά δερματώδη φύλλα (πουρνάρι, σχίνος, χαρουπιιά ρείκια, μυρτιά, αγριελιά, δάφνη κλπ).
- Δενδρώδεις σχηματισμοί
Αποτελούνται από μεσογειακά δάση κωνοφόρων (χαλεπριού, πεύκη, πεύκο, καθώς και ελάχιστα δάση κυπαρισσιού και κέδρου).
- Υποτροπικά συστήματα
Η υποτροπική βλάστηση παρουσιάζεται κατά θέσεις μόνο στην Κρήτη όπως για παράδειγμα στο φοινικόδασος του Βάι (φοίνικας Θεόφραστου). (Παπαθανασίου, 2016).

Σε μεγαλύτερα υψόμετρα και σε ορεινές περιοχές απαντώνται οι εξής κατηγορίες βλάστησης:

- Μικτά Δάση Φυλλοβόλων
Κύριο είδος η βελανιδιά (δρυς).
- Ορεινά δάση κωνοφόρων
Είδη κωνοφόρων με μεγάλη αντοχή στο ψύχος (μαύρη πεύκη, κεφαλληνιακή ελάτη, η δασική πεύκη , το ρόμπολο και η υβριδογενής ελάτη στα βουνά της Πελοποννήσου και στη Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα).

Στις Ηπειρωτικές δενδρώδεις διαπλάσεις συναντώνται διαφορετικές ζώνες. Συγκεκριμένα σε περιοχές που υφίστανται θερμοκρασίες κάτω των 0° C με βροχοπτώσεις από 600 μέχρι 1500 χιλιοστά διακρίνονται δύο ζώνες:

- Ζώνη της πλατύφυλλης βελανιδιάς
Σε αυτή την ζώνη αναπτύσσονται βελανιδιές και καστανιές (βόρειες οροσειρές της χώρας, Πελοπόννησος, Στερεά Ελλάδα. Η ευθύφυλλη βελανιδιά κυριαρχεί την ενδοχώρα της Ηπείρου, της Θεσσαλίας , της Μακεδονίας και της Θράκης).
- Αμιγή δάση δασικής οξιάς
Κυρίαρχο είδος η οξιά. Συναντάται στις ορεινές περιοχές της Θεσσαλίας , της Ηπείρου και της Μακεδονίας πάνω από 700 και μέχρι τα 1700 μέτρα. Η ανατολική οξιά απλώνεται στην Ανατολική Μακεδονία μέχρι τη χερσόνησο του Άθω.

Στις ορεινές περιοχές της χώρας, επίσης, αναπτύσσονται:

- Υποαλπικά και αλπικά συστήματα
Στις κορυφές βουνών με υψόμετρο πάνω από 1700 μ έως 2900 μ μέχρι κάποιο υψόμετρο αναπτύσσονται μεμονωμένα δένδρα, ενώ υψηλότερα τη θέση τους παίρνουν θάμνοι (τετραγκαθιά, αγριόκεδρος, σκλήθρα, ποώδη φυτά/αλπικά λιβάδια).



Εικόνα 1.1: Ελληνικά Δάση (URL 2)

1.3 Δασικές Πυρκαγιές

1.3.1 Βασικές έννοιες

Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών δίνονται οι ορισμοί για κάποιες βασικές έννοιες.

Θερμότητα: είναι το αίτιο που προκαλεί το αίσθημα του θερμού ή του ψυχρού. Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας η οποία μεταδίδεται από ένα σώμα σε ένα άλλο σώμα, όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τους. Όταν ένα σώμα προσλαμβάνει τέτοια ενέργεια θερμαίνεται, ενώ όταν αποβάλλει ψύχεται.

Θερμοκρασία: είναι το φυσικό μέγεθος που μετρά τη μέση κινητική ενέργεια από μεταφορά, ταλάντωση ή περιστροφή των δομικών συστατικών της ύλης. Το μέγεθος αυτό εκφράζει την θερμική κατάσταση των σωμάτων. Είναι μέγεθος μετρήσιμο και μετριέται με ειδικά όργανα τα θερμόμετρα.

Καύση: είναι η χημική αντίδραση ενός στοιχείου ή μιας ουσίας με το οξυγόνο ή με άλλο αέριο, που συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας, φωτός και εμφάνιση φλόγας.

Πυρκαγιά: είναι η ανεξέλεγκτη φωτιά που προκαλείται από την μη ελεγχόμενη καύση ενός σώματος με το οξυγόνο και συνοδεύεται από έκλυση μεγάλων ποσών θερμότητας, εμφάνιση φλογών και έχει ως συνέπεια την καταστροφή του καιγόμενου υλικού.

1.3.2 Πυρκαγιές

Η πυρκαγιά είναι ένα φυσικό φαινόμενο με καταστρεπτικό χαρακτήρα. Είναι φυσική καταστροφή η οποία σχετίζεται άμεσα με την (αν)ισορροπία των περιβαλλοντικών οικοσυστημάτων. Ως πυρκαγιά ορίζεται κάθε είδος ανεξέλεγκτης καύσης (φωτιάς) που εκδηλώνεται επί κάποιου είδους καύσιμης ύλης και συνήθως έχει ανεπιθύμητες ή και επιζήμιες επιπτώσεις. Η φωτιά, η οποία αναπτύσσεται, είναι αποτέλεσμα το οποίο οφείλεται στην καύση, μια χημική αντίδραση (συνήθως εξώθερμη οξειδοαναγωγική αντίδραση) ανάμεσα σε ένα τουλάχιστον καύσιμο και ενός (τουλάχιστον) οξειδωτικού μέσου (συνήθως οξυγόνο). Η αντίδραση αυτή συνοδεύεται από την έκλυση μεγάλου και σημαντικού ποσού θερμότητας. Ωστόσο για να εκδηλωθεί φωτιά από την καύση (ανάφλεξη) είναι αναγκαία η προσφορά θερμότητας από εξωτερικές πηγές. Οι εξωτερικοί παράγοντες είναι αυτοί που ταυτίζονται με τα αίτια των πυρκαγιών. Κατά συνέπεια, η καύσιμη ύλη, το οξυγόνο και η θερμότητα αποτελούν το περίφημο «τρίγωνο της πυρκαγιάς» (URL 3).



Εικόνα 1.2: Το τρίγωνο της φωτιάς (Νουνοπούλου, 2016)

1.3.3 Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα

Οι δασικές πυρκαγιές συνιστούν, σήμερα, ένα από τους σημαντικότερους και πιο απειλητικούς εχθρούς για τα ελληνικά δάση. Κανένα άλλο φυσικό φαινόμενο δεν είναι ικανό να προκαλέσει τόσο γρήγορες, εκτεταμένες αλλά και τόσο ριζικές μεταβολές στα δασικά οικοσυστήματα. Ωστόσο, παρά τον καταστρεπτικό τους χαρακτήρα και τις μη αναστρέψιμες επιπτώσεις που προκαλούν, συχνά είναι αναπόσπαστο κομμάτι του κύκλου ζωής ενός δάσους και του οικοσυστήματος που υφίσταται μέσα σε αυτό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι δασικές πυρκαγιές θεωρούνται ωφέλιμες. Συγκεκριμένα η ύπαρξη της φωτιάς στα δάση συμβάλλει στην φυσική αναγέννηση τους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της καύσης του πυκνού στρώματος φυλλάδας, η οποία γυμνώνει την επιφάνεια του εδάφους και, ακολούθως, διευκολύνει την φυσική αναγέννηση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα μεσογειακά δάση χαλεπιού και τραχείας Πεύκης. Επίσης, η πυρκαγιά βοηθάει στην εξάλειψη φυτοπαθολογικών ασθενειών που έχουν προσβάλλει το δάσος

(Καϊλίδης & Καρανικόλα, 2004). Τα αποτελέσματα μιας δασικής πυρκαγιάς και το αν αυτά θα αποβούν μοιραία και θα προκαλέσουν μεγάλες αλλαγές και ίσως και την οριστική καταστροφή του δάσους εξαρτώνται, σε μεγάλο βαθμό, από την ανθρώπινη διαχείριση. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα μεσογειακά δάση εμφανίζουν ιδιαίτερα επιρρεπή συμπεριφορά στις πυρκαγιές. Ιδιαίτερα, οι πιο καταστρεπτικές και επιζήμιες δασικές πυρκαγιές για την Ευρωπαϊκή Ένωση σημειώνονται στην Ελλάδα (URL 3).

Μολονότι που, όπως προαναφέρθηκε, οι πυρκαγιές συντελούν μία φυσική διεργασία, βάσει μελέτης που διεκπεραιώθηκε στις χώρες της Μεσογείου για το χρονικό διάστημα 2006-2010, αποδείχθηκε ότι μόνο το 4,7% του συνόλου των πυρκαγιών, με γνωστά αίτια, προκλήθηκε από φυσικές αιτίες. Σε περαιτέρω ανάλυση το ποσοστό 6,1 % αντιστοιχεί σε ατύχημα, ενώ από αμέλεια το ποσοστό ανέρχεται στο 33,5 %. Το συντριπτικό και μεγαλύτερο ποσοστό εναπόκειται σε εσκεμμένη πράξη (εμπρησμός) με 55,8 %. Συνεπώς, και με τεκμαρτά στοιχεία, ο ανθρώπινος παράγοντας είναι κύριος υπόλογος για την πρόκληση των δασικών πυρκαγιών. Ιδιαίτερα το ποσοστό ευθύνης της ανθρώπινης δραστηριότητας, για τις μεσογειακές χώρες ξεπερνάει το 90 %. Τέλος, σε ελάχιστο ποσοστό αιτία για την έναρξη πυρκαγιάς είναι οι κεραυνοί. Παρά το μικρό ποσοστό ευθύνης που φέρουν οι κεραυνοί, οι φωτιές που προκαλούν μπορεί να αποβούν πολύ επικίνδυνες, καθώς είναι πιθανό να προκληθούν σε δύσβατες τοποθεσίες όπου οι συνθήκες κατάσβεσης είναι ιδιαίτερα δύσκολες. Για το λόγο αυτό, οι καμένες εκτάσεις λόγω φωτιάς από κεραυνό μπορεί να είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Για παράδειγμα, περίπου το 80% των καμένων εκτάσεων στον Καναδά έχει προκληθεί από φωτιά που προήλθε από κεραυνό (URL 3).

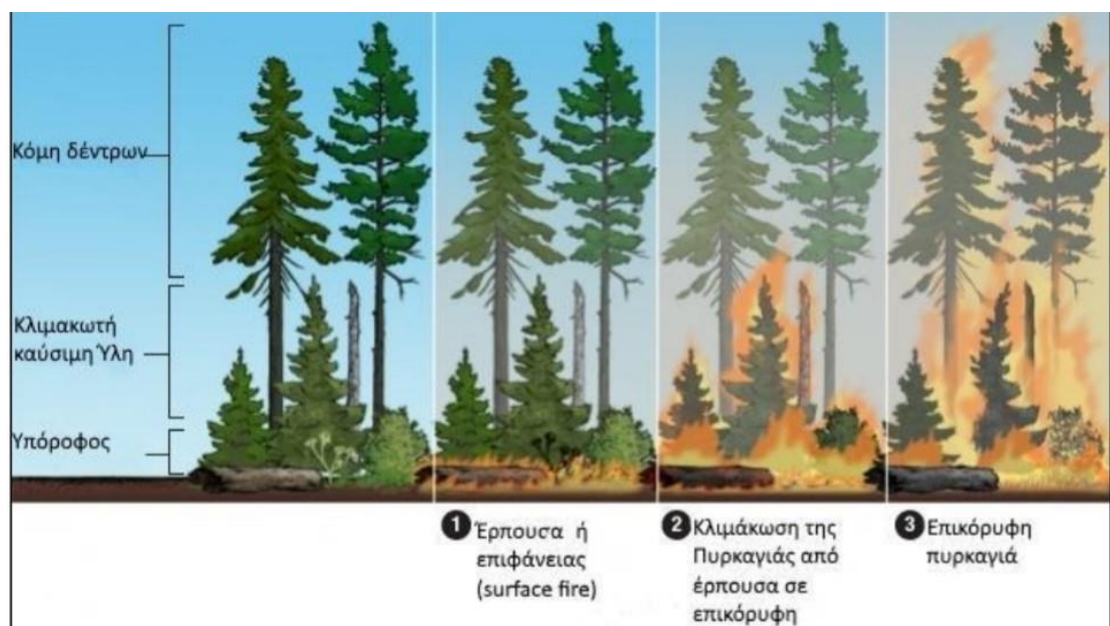
1.4 Χαρακτηριστικά Δασικών Πυρκαγιών

1.4.1 Είδη δασικών πυρκαγιών

Μια δασική πυρκαγιά διακρίνεται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα αίτια από τα οποία μπορεί να προκληθεί, τον τρόπο εξάπλωσης της και τις επιπτώσεις που προκαλεί. Εξίσου βασικό κριτήριο, για την κατηγοριοποίηση τους, αποτελεί η θέση της φωτιάς στην επιφάνεια του εδάφους όπως και ο τρόπος εξάπλωσης της (Καϊλίδης & Καρανικόλα, 2004; Karali et al., 2014).

- **Επιφανειακές ή έρπουσες:** Σε αυτή την κατηγορία οι πυρκαγιές ξεκινούν από χαμηλά, δηλαδή στην επιφάνεια του εδάφους και καίγονται επιφάνειες έως δύο μέτρα ύψος. Ουσιαστικά, η καύσιμη ύλη είναι η χαμηλή βλάστηση της περιοχής, δηλαδή νεκρή ύλη (κλαδάκια, πευκοβερόνες κλπ.) καθώς και ζωντανή βλάστηση (θάμνοι, πόες, χόρτα) και έχουν μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης και διάδοσης. Αποτελούν το συνηθέστερο είδος δασικής πυρκαγιάς. Οι πυρκαγιές αυτές μπορεί να είναι ορισμένες φορές ασήμαντες και εύκολα αντιμετωπίσιμες. Ωστόσο ανάλογα με το είδος της καύσιμης ύλης και τις επικρατούσες συνθήκες τέτοιες πυρκαγιές μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνες και να παρουσιάζουν μεγάλη δυσκολία στον έλεγχο και την αντιμετώπιση τους. Επί το πλείστον των περιπτώσεων κατά την έναρξη της καύσης υπάρχει η αναγκαία και απαραίτητη ποσότητα οξυγόνου, με αποτέλεσμα πάντα να εκδηλώνεται φωτιά.

- Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες πυρκαγιές: Σε αυτού του είδους πυρκαγιά υπό καύση βρίσκεται η οργανική ύλη κάτω από την επιφάνεια του φυλλοστρώματος. Συνήθως η παρουσία μεγάλης ποσότητας οργανικού υλικού, η οποία συσσωρεύεται στα εδάφη, συντελεί στην έναρξη της πυρκαγιάς. Η υπόγεια πυρκαγιά, ξεκινάει από τις ρίζες και τις ύλες που αποδομούνται οι οποίες είναι θαμμένες (τύρφη), ή από ύλες που ημιαποσυντίθενται (φύλλωμα, βελόνες). Η καύση αυτή τροφοδοτείται με ελάχιστη ποσότητα οξυγόνου, καθώς εξαπλώνεται υπόγεια και η οργανική ύλη διεισδύει σε βάθος που ξεπερνάει τα δύο μέτρα, παραμένοντας αρκετά υγρή (περιοχές με τύρφη). Η διάδοση τους είναι αργή και η ταχύτητα καύσης μικρή. Η έκλυση καπνού μπορεί να υπάρχει ή να απουσιάζει. Σε περιπτώσεις απουσίας καπνού είναι δυσκολότερο να γίνουν αντιληπτές και να αντιμετωπιστούν εγκαίρως. Ο έλεγχος και η κατάσβεση τους είναι ιδιαίτερα δύσκολη κατατάσσοντας τους στην πιο επικίνδυνη κατηγορία καθώς οι επιπτώσεις τους είναι ολέθριες και απειλούν το ριζικό σύστημα των φυτών. Τέτοιες πυρκαγιές δεν εκδηλώνονται συχνά στην Ελλάδα.
- Επικόρυφες πυρκαγιές ή πυρκαγιές κόμης: Είναι οι πυρκαγιές εκείνες που εκδηλώνονται και αναπτύσσονται στα υψηλότερα τμήματα των δέντρων (δύο μέτρα και πάνω). Καύσιμη ύλη, σε αυτή την περίπτωση, είναι η κόμη των δέντρων και των θάμνων. Στη συνέχεια και καθώς εξαπλώνονται καίγεται το κάμβιο τους, και συνεπώς επέρχεται ο θάνατος των δέντρων. Συνήθως ξεκινούν σαν έρπουσες πυρκαγιές, οι οποίες εξαιτίας διάφορων λόγων, διαδίδονται και στα υψηλότερα τμήματα των δασών. Είναι πολύ συχνά φαινόμενα πυρκαγιάς για την Ελλάδα, ειδικά σε ζώνες κωνοφόρων, φυλλοβόλων πλατύφυλλων και δασών τραχείας Πεύκης. Κατά την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς κόμης καίγονται και τα φύλλα των δέντρων. Αυτό, σε συνδυασμό με την επιρροή του ανέμου, ευνοεί την μεγαλύτερη εξάπλωση της φωτιάς αφού τα φλεγόμενα φύλλα παρασύρονται και δημιουργούν συνεχώς νέες εστίες. Για τον λόγο αυτό είναι υψίστης σημασίας και χρήζουν μεγάλη προσοχή. Η ταχύτητα διάδοσης είναι μεγαλύτερη από κάθε άλλη κατηγορία.



Εικόνα 1.3: Είδη καύσιμης ύλης δέντρων και πυρκαγιών (Joyce, 2012)

- **Πυρκαγιά καύτρας ή σημειακή πυρκαγιά:** Το συγκεκριμένο είδος πυρκαγιάς χαρακτηρίζεται απρόβλεπτο, καθώς είναι ικανό να δημιουργήσει νέα μέτωπα πυρκαγιάς (από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω). Κάθε καύτρα που βγάξει φλόγα μπορεί, με πολύ απλό τρόπο, να εξαπλώσει την φωτιά και να ξεκινήσουν νέες σε κοντινές αποστάσεις. Επίσης είναι εφικτό, αν οι καύτρες είναι πυρακτωμένες, να μεταφερθούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις με μικρότερες όμως πιθανότητες για την έναρξη νέας εστίας φωτιάς. Οι μικρές νέες εστίες καίνε την δασική καύσιμη ύλη αυτοτελώς και στη συνέχεια απλώνονται και ενώνονται με την αρχική (Καϊλίδης & Καρανικόλα, 2004). Συνεπώς, είναι εύλογο πόσο μεγάλος είναι ο κίνδυνος όταν πρόκειται για τέτοιου είδους πυρκαγιά, με την εξάπλωση να είναι ταχύτερη και να εγκυμονεί ο κίνδυνος, κατά την προσπάθεια κατάσβεσης, περικύκλωσης των ίδιων των πυροσβεστών (Goldammer & deRonde, 2004).
- **Μικτές πυρκαγιές:** Ουσιαστικά αφορούν συνδυασμό όλων των παραπάνω κατηγοριών, με διαφορετική καύσιμη ύλη. Συνιστά την πιο επιζήμια και επικίνδυνη μορφή, καθώς το φαινόμενο αυτό είναι απρόβλεπτο και είναι ικανό να νεκρώσει οποιαδήποτε μορφή ζωής και βλάστησης.

1.4.2 Τύποι καύσιμης ύλης

Ένας παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο στην συμπεριφορά μιας δασικής πυρκαγιάς είναι το είδος της καύσιμης ύλης. Η καύσιμη ύλη διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη συνίσταται από την ύλη που υφίσταται στην επιφάνεια του εδάφους, όπως ξερά φύλλα, φρύγανα, υπολείμματα υλοτομιών καθώς και πεσμένους κορμούς δέντρων. Επίσης υπάρχει και η υπόγεια καύσιμη ύλη στην οποία περιλαμβάνεται η οργανική ύλη που βρίσκεται υπό αποδόμηση, όπως τύρφη και νεκρές ρίζες δέντρων. Τέλος υπάρχει και η καύσιμη ύλη που βρίσκεται στον εναέριο χώρο των δασών (εναέρια καύσιμη ύλη) όπως είναι τα κλαδιά και τα φύλλα των δέντρων τα οποία βρίσκονται τουλάχιστον δύο μέτρα πάνω από το έδαφος (Ρήγας, 2010).

Μία διαφορετική κατηγοριοποίηση της καύσιμης ύλης είναι η ακόλουθη:

- **Αναφλέξιμη καύσιμη ύλη (πευκοβελόνες, φλοιός δέντρων, ξερά φύλλα):** Το υλικό αυτό αναφλέγεται αμέσως καθώς είναι ξερό, συνήθως παρουσία ρετινιού με αποτέλεσμα η φωτιά να εξαπλώνεται πολύ γρήγορα. Στην Ελλάδα, τα δάση με τέτοιο τύπο καύσιμης ύλης είναι τα πλατύφυλλα δάση. Αν η φωτιά είναι υπόγεια μπορεί να ελεγχθεί, όταν όμως πρόκειται για πυρκαγιά κόμης η ταχύτητα και ο ρυθμός εξάπλωσης είναι μεγαλύτερος.
- **Πράσινη καύσιμη ύλη (φύλλα κλαδιών):** Η κατηγορία αυτή εμπεριέχει τα «ζωντανά» φύλλα. Για να επιτευχθεί ανάφλεξη τους πρέπει να προέλθει η ξήρανση τους ή ένα γρήγορο στέγνωμα. Ύστερα, αν έρθουν σε επαφή με φλόγα ή / και καύτρα άλλου δέντρου, αναφλέγονται και καίγονται.
- **Βαριά καύσιμη ύλη (κορμός):** Για να επιτευχθεί καύση αυτής της ύλης απαιτείται η επαφή με αναφλέξιμη καύσιμη ύλη. Η καύση αυτή είναι αργή. Επίσης αργή και δύσκολη είναι και η κατάσβεση της, καθώς κατά την διάρκεια της εξάπλωσης πολλές φορές σπάνε οι κορμοί των δέντρων (που καίγοντα για μεγάλο χρονικό διάστημα) και πέφτουν στο έδαφος, ευνοώντας την διάδοση της πυρκαγιάς.

1.5 Παράγοντες εκδήλωσης και επέκτασης δασικών πυρκαγιών

1.5.1 Μετεωρολογικοί παράγοντες

Οι μετεωρολογικές και κλιματικές συνθήκες αποτελούν μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την έναρξη, ένταση και διάδοση της φωτιάς. Οι κλιματολογικές συνθήκες ασκούν τεράστια επιρροή στην ατμοσφαιρική θερμοκρασία και στην υγρασία της περιοχής και συνεπώς της δασικής ύλης που είναι διαθέσιμη προς καύση, με άμεσο αποτέλεσμα την έναρξη και την εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς.

Όλοι οι μετεωρολογικοί παράγοντες (ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία, περιεχόμενη υγρασία) είναι αλληλένδετοι και συμβάλλουν καθοριστικά στην εκδήλωση μιας φωτιάς, ενώ καμία παράμετρος δεν δρα μεμονωμένα σε ένα δασικό οικοσύστημα. Οι κυριότεροι απ' αυτούς διακρίνονται στις ακόλουθες παραγράφους.

Άνεμος

Ο άνεμος αποτελεί τον πρωταρχικό παράγοντα που καθορίζει το ρυθμό εξέλιξης και την κατεύθυνση μιας πυρκαγιάς. Πρόκειται για μια μεταβλητή η οποία δεν είναι στατική αλλά δυναμική γιατί μπορεί να μεταβάλλεται συνεχώς. Το μέγεθος της επίδρασης του ανέμου διαφέρει, ανάλογα με το είδος της καύσιμης ύλης, την περιεκτικότητα αυτής σε υγρασία, το, την πυκνότητά της κ.λπ. Ωστόσο, εξίσου σημαντικά χαρακτηριστικά στοιχεία που επιδρούν στην διάδοση μιας πυρκαγιάς είναι η θερμοκρασία, η ταχύτητα, η ένταση και η διεύθυνση του ανέμου καθώς και η σχετική υγρασία του ίδιου.

Η θερμοκρασία του αέρα έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς ξηραίνει και προθερμαίνει την καύσιμη ύλη. Ουσιαστικά επιδρά στη σχετική υγρασία και την ατμοσφαιρική αστάθεια, ενώ η θερμοκρασία και η υγρασία της καύσιμης ύλης επηρεάζουν το χρόνο ανάφλεξης και καύσης.

Η ένταση και η διεύθυνση του ανέμου αποτελούν άλλον ένα κρίσιμο παράγοντα. Η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει την ταχύτητα διάδοσης της φλόγας, καθώς η μεγαλύτερη ένταση του ανέμου, παρέχει περισσότερη ποσότητα οξυγόνου για την καύση και ωθεί τις φλόγες στη γειτονική καύσιμη ύλη, η οποία θερμαίνεται και αναφλέγεται με τη σειρά της (Καϊλίδης, 1993). Η διεύθυνση του ανέμου είναι εξίσου σημαντική καθώς αυτή ορίζει την κατεύθυνση διάδοσης. Αν σε μια περιοχή επικρατεί άπνοια, η πυρκαγιά θα εξαπλωθεί ομόκεντρα γύρω από το σημείο ανάφλεξης (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015). Στην περίπτωση ανέμου η πυρκαγιά θα εξαπλώνεται κυρίως κατά την διεύθυνσή του (Καϊλίδης, 1993).

Τέλος, η υγρασία έχει μεγάλη επίδραση στην δημιουργία εκείνων των κατάλληλων συνθηκών. Όταν η τιμή της σχετικής υγρασίας είναι χαμηλή, τότε υπάρχει έντονη ξηρασία της βλάστησης και είναι ευκολότερη η έναρξη και διάδοση μιας πυρκαγιάς. Αντίθετα, για υψηλή σχετική υγρασία η βλάστηση είναι χλωρή και φλέγεται πιο δύσκολα. Ακόμα και σε περίπτωση που τύχει και λάβει χώρα μια πυρκαγιά δύσκολα θα καταφέρει να επεκταθεί. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι ο άνεμος θεωρείται πιο επικίνδυνος όταν είναι ξηρός γιατί επιταχύνει την διαδικασία της εξάτμισης μειώνοντας, ταυτόχρονα, την υγρασία της δασικής καύσιμης ύλης (Καϊλίδης & Καρανικόλα, 2015).

Θερμοκρασία

Άλλος ένας μετεωρολογικός παράγοντας είναι η θερμοκρασία. Η θερμοκρασία έχει σημαντικό ρόλο γιατί επιδρά καθοριστικά και στις υπόλοιπες κλιματικές συνθήκες, όπως η σχετική υγρασία, η ατμοσφαιρική αστάθεια, τα κατακρημνίσματα (βροχές, χαλάζι κλπ), και οι άνεμοι.

Οι υψηλές και ακραίες θερμοκρασίες και ειδικά εκείνες που διαρκούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα (ξηρές περίοδοι), ευνοούν την δημιουργία απειλητικών και επικίνδυνων συνθηκών για την εκδήλωση ενός φαινομένου πυρκαγιάς (Καϊλίδης κ.α., 1978, Καϊλίδης, 1981, 1990, Καϊλίδης κ.ά. 1988). Όταν ο άνεμος είναι θερμός και ξηρός συμβάλλει αρνητικά στην έναρξη φωτιάς. Στην Ελλάδα, έχει παρατηρηθεί ότι οι περισσότερες δασικές πυρκαγιές ξεκινούν κατά την διάρκεια του μεσημεριού, όταν δηλαδή επικρατούν οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας μέσα στη μέρα και αντίστροφα η μικρότερη υγρασία. Επιπλέον, η συχνότερη εμφάνιση πυρκαγιών στη χώρα σημειώνονται κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και την αρχή του φθινοπώρου. Σύμφωνα με μελέτες, οι πυρκαγιές στην Ελλάδα εκδηλώνονται για θερμοκρασίες 21 – 30 °C και συγκεκριμένα αυτές αφορούν το 68,5 % των πυρκαγιών και το 66,7 % των καμένων εκτάσεων ετησίως. Θερμοκρασίες άνω των 25 °C και κυρίως πάνω από 30°C θεωρούνται άκρως επικίνδυνες (Καϊλίδης, κ.ά. 1988, Καϊλίδης, 1990).

Ατμοσφαιρική υγρασία

Η ατμοσφαιρική υγρασία είναι μία άλλη εξίσου σημαντική παράμετρος που επιδράει στην συχνότητα εμφάνισης των δασικών πυρκαγιών. Η υγρασία του αέρα αλληλεπιδρά με την περιεχόμενη υγρασία της δασικής ύλης (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015). Αυτό συνεπάγεται ότι όταν η ατμοσφαιρική υγρασία είναι χαμηλή, ο ατμοσφαιρικός αέρας δρα σαν συλλέκτης υγρασίας και απορροφάει υγρασία από την καύσιμη ύλη (Γκόφας, 2001). Όταν η σχετική υγρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη τότε, η διαδικασία αντιστρέφεται και αυξάνεται η υγρασία της καύσιμης ύλης. Η σχετική υγρασία, δηλαδή, είναι αυτή που έχει καθοριστικό ρόλο στην ένταση της εξάτμισης και της αφυδάτωσης του αποσυντιθέμενου νεκρού οργανικού υλικού και συνεπώς την θερμοκρασία ανάφλεξης (Spanos, S.I., et.al., 1996).

Έχει παρατηρηθεί, επίσης, ότι όταν η δασική καύσιμη ύλη αποτελείται από λεπτό και νεκρό υλικό (βελόνες, ξερά χόρτα, λεπτά κλαδιά) η περιεκτικότητα της σε υγρασία αντιδρά στην αλλαγή της ατμοσφαιρικής υγρασίας σε χρονικό διάστημα μικρότερο της μισής ώρας (Καϊλίδης, 1993). Με αυτό τον τρόπο οι υψηλές τιμές ατμοσφαιρικής υγρασίας δρουν ανασταλτικά στην έναρξη και εξάπλωση πυρκαγιάς (Κωνσταντινίδης, 2003). Γενικά σε συνθήκες σχετικής υγρασίας πάνω από 60% οι δασικές πυρκαγιές είναι λιγότερο συχνές.

Στην Ελλάδα, τα περισσότερα περιστατικά δασικών πυρκαγιών, ήτοι το 67,6%, έχουν εκδηλωθεί για σχετική υγρασία 31% με 60%, με καμένη έκταση που αντιστοιχεί στο 66,4% της καιγόμενης ετήσιας επιφάνειας. Ωστόσο, αρκετές πυρκαγιές στην Ελλάδα ξεκινούν και με σχετική υγρασία 60–70% και αφορούν το 17,8% των περιστατικών, με καμένη έκταση 13% της ετήσιας επιφάνειας (Καϊλίδης, 1990). Τέτοια φαινόμενα, εκδήλωσης πυρκαγιάς με τόσο υψηλή υγρασία, συμβαίνουν κυρίως κατά τους θερινούς μήνες, καθώς η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών και των ανέμων είναι μεγάλη (Καϊλίδης, 1993). Ιδιαίτερα σημαντική είναι η διάρκεια του μεσημεριού των καλοκαιρινών ημερών, κατά την οποία η θερμοκρασία φτάνει την μεγαλύτερη τιμή της και η σχετική υγρασία παίρνει την μικρότερη,

δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες για την έναρξη πυρκαγιάς (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015).

Βροχή και κατακρημνίσματα

Η βροχή έχει καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία και στη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών. Σημαντική είναι τόσο η ποσότητα και η διάρκεια των κατακρημνισμάτων όσο και η συχνότητα τους. Οι βροχές μακράς διάρκειας και μεγάλου ύψους βροχής συμβάλλουν στην διύγρυνση της δασικής βλάστησης. Παρέχουν, δηλαδή, την απαραίτητη υγρασία στην δασική καύσιμη ύλη καθιστώντας την ανθεκτική στην ανάφλεξη ή στην εξάπλωση μιας πυρκαγιάς.

Αντίθετα, οι μικρής διάρκειας και ασθενείς βροχοπτώσεις δεν ευνοούν την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας της βλάστησης και του εδάφους, διότι το μεγαλύτερο μέρος τους συγκρατείται από την κόμη των δένδρων και δεν διατηρείται (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2004). Σε τέτοιες περιπτώσεις η ξήρανση της βλάστησης επέρχεται γρήγορα. Επομένως είναι αντιληπτό ότι η περιεχόμενη υγρασία του εδάφους και της δασικής ύλης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα και την διάρκεια των κατακρημνισμάτων σε μια περιοχή. Στις περιοχές που το μηνιαίο ύψος βροχής είναι κάτω από 10 mm, αλλά και μεταξύ 10–20 mm με θερμό άνεμο, έχουν παρατηρηθεί πολλές δασικές πυρκαγιές (Καϊλίδης, 1993).

Μεγάλη σημασία έχει και η εποχή των βροχοπτώσεων, αλλά και οι καιρικές συνθήκες που ακολουθούν την βροχόπτωση οι οποίες επηρεάζουν την συχνότητα τους. Κατά τους θερινούς μήνες, ειδικά στα μεσογειακά κλίματα, η απουσία κατακρημνισμάτων για μεγάλο χρονικό διάστημα οδηγεί στην μείωση της υγρασίας της δασικής ύλης και στην αύξηση της ευφλεκτότητας της (Καϊλίδης, 1993). Σε περίπτωση πολλών θερινών βροχοπτώσεων, η υποβλάστηση μπορεί να διατηρηθεί με σημαντικά ποσοστά υγρασίας και να αποτρέψει τη διάδοση ερπουσών πυρκαγιών (Κωνσταντινίδης, 2003).

Εξάτμιση

Η εξάτμιση, με την σειρά της, διαδραματίζει ουσιώδη ρόλο στην δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών για την έναρξη μιας δασικής πυρκαγιάς. Συνιστά έναν από τους βασικότερους παράγοντες ελάττωσης της υγρασίας που περιέχεται στην διαθέσιμη δασική ύλη. Ιδιαίτερα σε συνδυασμό η επίδραση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα με την ταχύτητα του ανέμου, αυξάνει την ένταση της εξάτμισης και επιταχύνει την αποξήρανση της δασικής βιομάζας καθιστώντας την σε πιο εύφλεκτη (Καϊλίδης, 1993).

1.5.2 Άλλοι παράγοντες

Τοπογραφικές συνθήκες

Κάθε περιοχή έχει διαφορετική μορφολογία εδάφους και αναπτύσσει τα δικά της ξεχωριστά και μοναδικά χαρακτηριστικά. Η τοπογραφία της κάθε περιοχής είναι ουσιαστική στην έναρξη και διάδοση μιας φωτιάς. Σε κάθε περιοχή επιδρά διαφορετικά και προκαλεί δραστικές αλλαγές στη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς, καθώς η φωτιά εξελίσσεται κυρίως πάνω στο έδαφος (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015, Καϊλίδης, 1993). Κύρια χαρακτηριστικά από τα οποία εξαρτάται η συμπεριφορά της πυρκαγιάς είναι το υψόμετρο της περιοχής, η διαμόρφωση του εδάφους και η κλίση αυτού.

Το **υψόμετρο** και ο **προσανατολισμός** του τοπίου καθορίζουν την υγρασία της δασικής καύσιμης ύλης. Πρακτικά, ανάλογα με το υψόμετρο υπάρχει διαφορά στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η περιοχή και στη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα που αναπτύσσεται σε αυτό το ύψος. Ακόμη, η συγκέντρωση της καύσιμης ύλης διαφέρει από τόπο σε τόπο και ανάλογα με την έκθεση ως προς τον ορίζοντα. Στις νότιες και δυτικές εκθέσεις η καύσιμη ύλη ξηραίνεται με ταχύτερο ρυθμό από ότι στις βόρειες και βορειανατολικές, καθώς, είναι περισσότερο εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία (Καϊλίδης, 1993).

Η **κλίση** επιδρά στην ταχύτητα διάδοσης των πυρκαγιών. Με τον όρο κλίση ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της περιοχής–πλαγιάς και της οριζόντιας θέσης. Η ταχύτητα διάδοσης μιας πυρκαγιάς είναι υψηλότερη όταν αυτή κινείται προς τα ανάντη, μικρότερη ως προς τα κατόντη και ακόμα μικρότερη σε εδάφη που είναι επίπεδα (Καρανικόλα & Ταμπάκης, 2015). Αυτό συμβαίνει γιατί η υπερκείμενη καιγόμενη ύλη βρίσκεται πιο κοντά στις φλόγες και δέχεται μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας. Επιπλέον, όταν η φωτιά διαδίδεται σε τοπογραφική ανωφέρεια εξαπλώνεται ταχύτερα, διότι η υψηλή θερμοκρασία των κατώτερων τοπογραφικών σημείων ξηραίνει την βλάστηση στα ανώτερα σημεία και συνεπώς διευκολύνει την εξαπλώση της φωτιάς. Ωστόσο η πυρκαγιά μπορεί να επεκταθεί και προς τα κάτω απρόβλεπτα, λόγω κορμών και κλαδιών που καίγονται και κατακυλούν προς τα κάτω προκαλώντας νέες εστίες. Σημαντικά συμβάλλει και το γεγονός ότι σε εδάφη με έντονη κλίση, το νερό απορρέει με ταχύτερο ρυθμό από ότι σε εδάφη με πιο ήπια κλίση και μειώνεται δραστικά η υγρασία.

Η κυριότερη όμως τοπογραφική παράμετρος είναι η **τοπογραφική διαμόρφωση** (ανάγλυφο). Σύμφωνα με την δασική υπηρεσία αλλά και την Ε.Σ.Υ.Ε., πρέπει να αναφερθεί ότι η μορφολογία του εδάφους διακρίνεται σε τρεις ζώνες, την πεδινή, την ημιορεινή και την ορεινή. Η διαμόρφωση του εδάφους ασκεί σημαντική επιρροή κυρίως στις ορεινές περιοχές. Η έντονη διαμόρφωση του εδάφους (ράχες, φαράγγια, στενά κλπ.) σε συνδυασμό με την κλίση του ευνοούν τοπικά την επιτάχυνση της ταχύτητας του ανέμου, προκαλώντας άκρως επικίνδυνες συνθήκες για την μετάδοση και επέκταση της φωτιάς (Καλαμποκίδης κα, 2004). Η επίδραση του ανάγλυφου του εδάφους συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την σύσταση τόσο του εδάφους όσο και με την ευκολία πρόσβασης στο σημείο της πυρκαγιάς. Η πυρκαγιά σε ένα κάμπο, όπου η πρόσβαση είναι εύκολη είναι διαφορετική από αυτή σε ένα φαράγγι ή σε μια κορυφή ενός βουνού όπου η πρόσβαση μπορεί να είναι δύσκολη έως και αδύνατη.

Βλάστηση

Το είδος της βλάστησης που επικρατεί σε μια περιοχή έχει εξίσου σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση ή όχι μιας πυρκαγιάς (Καϊλίδης 1993). Η μορφή της βλάστησης επηρεάζεται από όλους τους παραπάνω παράγοντες και ανάλογα με την ευφλεκτότητα που παρουσιάζει καθορίζει τόσο την διάρκεια του φαινομένου όσο και το αν έχει επιτευχθεί μια ολοκληρωμένη και κατάλληλη διαχείριση των δασικών εκτάσεων και ένα επιτυχημένο σχέδιο πρόληψης (επιλογή των καταλληλότερων προς αναδάσωση ειδών). Πέρα από την μορφή της βλάστησης σημαντικές είναι και άλλες παράμετροι όπως οι συνθήκες κάτω από τις οποίες αναπτύχθηκε η βλάστηση (στάδιο ανάπτυξης της βλάστησης ανά εποχή ή περιοχή), η σχετική υγρασία που περιέχεται μέσα στην δασική ύλη και ο ρυθμός αποβολής της. Σε κάθε περιοχή τα φυτά δημιουργούν καθορισμένες φυτοκοινότητες

ανάλογα με τις επικρατούσες κλιματικές, τοπογραφικές και γεωλογικές συνθήκες (Αθανασιάδης, 1985).

Σε περιοχές με έντονη φυτοκάλυψη, η υγρασία είναι συνήθως μεγαλύτερη κάτω από τα δέντρα, ενώ η θερμοκρασία και η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη. Τα δέντρα, δηλαδή, διακόπτουν την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος περιορίζοντας την εξάτμιση και την άνοδο της θερμοκρασίας και παράλληλα δεν επιτρέπουν μεγάλες ταχύτητες αέρα. Ωστόσο η δράση της εκάστοτε φυτοκάλυψης δεν είναι πάντα ανασταλτική. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα όπου επικρατεί θερμό και ξηρό κλίμα, η βλάστηση και η φυτοκάλυψη μπορεί να μετατραπεί σε καύσιμη ύλη, κάτι που την καθιστά εύκολα αναφλέξιμη και δημιουργεί επιπρόσθετους κινδύνους (Zaitser, et.al, 2016). Τέτοια φαινόμενα υφίστανται κυρίως σε δάση που βρίσκονται σε χαμηλά και μέτρια υψόμετρα της δάση χαλεπιού και τραχείας πεύκης όπου τα χόρτα ξηραίνονται κατά της θερινούς μήνες.

1.6 Διαχείριση δασικών πυρκαγιών

Το δάσος συνιστά ένα οικοσύστημα του οποίου η διατήρηση και η ανάπτυξη είναι ζωτικής σημασίας και για το ίδιο το δάσος και για την βιοκοινότητα που ζει μέσα σε αυτό αλλά και για την βιωσιμότητα άλλων μορφών ζωής και ιδιαίτερα του ανθρώπου. Οι λειτουργίες που αναπτύσσονται μέσα σε αυτό το οικοσύστημα αλλά και η διαρθρωτική και βιολογική ποικιλομορφία που διαθέτει, το καθιστούν αναντικατάστατο κομμάτι του φυσικού περιβάλλοντος. Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα φαινόμενο φυσικό που περιλαμβάνεται της δασικές καταστροφές. Πρόκειται για ένα φαινόμενο με έντονες και σοβαρές επιπτώσεις που απειλεί τα δάση αλλά και την κοινωνική ευημερία που αυτά ευνοούν. Είναι, επομένως, πρωταρχική και επιτακτική ανάγκη η προστασία του δάσους από τη φωτιά, τη ρύπανση και κάθε άλλη πιθανή ζημιά που το απειλεί .

Για την κατάλληλη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών πρέπει να τίθεται σε ισχύ ένα καλά σχεδιασμένο και ισορροπημένο σύστημα με γνώμονες την πρόληψη, την ετοιμότητα, την καταστολή και την ανάκαμψη. Σχετίζεται, δηλαδή, με τον σχεδιασμό προ κατασταλτικών μέτρων και τη λήψη αποφάσεων σε επίπεδο πρόληψης αλλά και σε επίπεδο καταστολής. Σκοπός είναι να προλαμβάνεται η έναρξη, ή αλλιώς ανάφλεξη, και η εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς αλλά της να υπάρχουν και τα κατάλληλα εργαλεία για την κατάσβεση και καταστολή της φωτιάς. Σημαντικό, βέβαια, είναι και το στάδιο μετά την αντιμετώπιση του κινδύνου που αφορά την αποκατάσταση των πυρόπληκτων δασικών οικοσυστημάτων. Κάθε στοιχείο του συστήματος αυτού είναι εξίσου σημαντικό και σχετίζεται άμεσα με τα άλλα.

Τα μέτρα πρόληψης και ετοιμότητας αξιολογούν το πόσο ευάλωτη είναι η κατάσταση της εκάστοτε περιοχής. Οι ευάλωτες περιοχές καθώς και οι κρίσιμες περίοδοι, κατά της οποίες είναι πιθανό να εκδηλωθεί μια ισχυρή δασική πυρκαγιά, αξιολογούνται τόσο με την εμπειρία όσο και με εργαλεία της η χαρτογράφηση GIS. Περιοχές, οι οποίες παρουσιάζουν και διατρέχουν υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς πρέπει να υποβάλλονται σε συγκεκριμένες ενέργειες προληπτικών μέτρων, μία εκ των οποίων είναι ο σχεδιασμός χρήσης γης. Αυτό εναπόκειται στο γεγονός ότι οι σύγχρονες κοινωνίες έχουν διαφορετικές τάσεις χρήσης γης οι οποίες συμβάλλουν στην όλο και εντονότερη συσσώρευση βιομάζας και εύφλεκτης καύσιμης ύλης. Αυτό επιδρά καθοριστικά στην συμπεριφορά μιας

πυρκαγιάς. Επομένως, η ανάγκη τροποποίησης της ρύθμισης καυσίμου, με σκοπό τη μείωση του κινδύνου, είναι μεγάλη.

Το σχέδιο καταστολής είναι αυτό που θα αποφασίσει με αποτελεσματικό τρόπο που θα κατανείμει και πως θα χρησιμοποιήσει τα μέσα και της πόρους για την αντιμετώπιση και καταστολή των πυρκαγιών. Τα μέτρα καταστολής εκκινούν από το σημείο εκείνο που ξεσπάει μια δασική πυρκαγιά, από την στιγμή δηλαδή που θα ανιχνευτεί και ιδιαίτερα όταν διαδίδεται, μεγαλώνει και αποκτά μεγαλύτερη ένταση και ταχύτητα. Αντίστοιχα, λαμβάνει τέλος την στιγμή που η πυρκαγιά θα τεθεί υπό πλήρη έλεγχο. Τέλος, το στάδιο της ανάκαμψης αφορά την αποκατάσταση και τη φροντίδα των πυρόπληκτων περιοχών.

Η ύπαρξη της ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης πυρκαγιών είναι αναγκαία και θα πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του χωροταξικού σχεδιασμού, ιδιαίτερα της περιοχές που εκδηλώνουν υψηλό κίνδυνο. Πρέπει να επισημανθεί ότι η κοινωνική και πολιτική διαχείριση των δασικών πυρκαγιών θα γίνει αποτελεσματική μόνο με την προϋπόθεση ότι το μεγαλύτερο μέρος των πόρων και των δράσεων που τίθενται σε χρήση θα συνίστανται από το αρχικό στάδιο της πυροσβεστικής αλυσίδας, δηλαδή την πρόληψη (Viegas, et al., 2008).

1.7 Πρόληψη και δείκτες επικινδυνότητας

Η προστασία και διαφύλαξη της ζωής, της περιουσίας και των δασικών πόρων απαιτεί ολοένα και πιο αποτελεσματική διαχείριση δασικών πυρκαγιών. Πρώτος και κύριος στόχος της αντιπυρικής προστασίας του δασικού και γενικότερα του φυσικού περιβάλλοντος είναι η πρόληψη. Ως πρόληψη ορίζεται το σύνολο εκείνο των μέτρων και ενεργειών που αποσκοπούν στην μείωση και περαιτέρω στην εξάλειψη της πιθανότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς. Ωστόσο σε περίπτωση έναρξης πυρκαγιάς, σκοπός είναι με της διαθέσιμους πόρους και εργαλεία να μειωθεί η ταχύτητα διάδοσης και η ένταση της πυρκαγιάς που εκδηλώνεται. Επιπλέον, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη και χρήση της μηχανισμού ο οποίος θα είναι ικανός να ανιχνεύει και να εντοπίζει γρήγορα κάθε νέο φαινόμενο πυρκαγιάς. Ο μηχανισμός της, επιπλέον, θα πρέπει να είναι σε θέση να αποστέλλει της απαιτούμενες δυνάμεις ώστε η καταστολή να είναι όσο το δυνατόν γρηγορότερη (Καϊλίδης & Καρανικόλας, 2004). Το σύστημα πρόληψης σε συνδυασμό με τον έγκαιρο εντοπισμό αποτελούν έναν από τα πιο αποδοτικά εργαλεία για την διαχείριση των δασικών πυρκαγιών σε σύγκριση με οποιοδήποτε μέτρο και σύστημα καταστολής και αποκατάστασης.

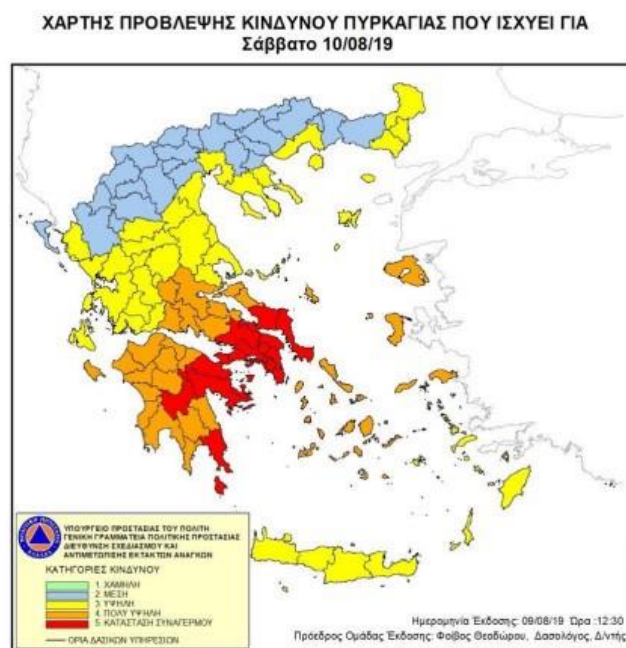
Η γνωστοποίηση, η κατανόηση και έπειτα η άρση των αιτιών, που άμεσα ή έμμεσα πυροδοτούν φαινόμενα πυρκαγιάς, συνιστά την λύση στο πρόβλημα και αποτελεί την πρωταρχική κίνηση για την πρόληψη και τον περιορισμό της συχνότητας τέτοιων φαινομένων. Της έχει προαναφερθεί οι δασικές πυρκαγιές μπορεί να οφείλονται σε φυσικά αίτια είτε σε ανθρώπινη δραστηριότητα. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, έχει διαπιστωθεί ότι ο κίνδυνος πυρκαγιάς από ανθρώπινη επέμβαση είναι υψηλός.

Πολλοί είναι οι ειδικοί που ασχολούνται με την διερεύνηση των αιτιών και του τρόπου αποθάρρυνσης του ανθρώπου από εμπρηστικές ενέργειες. Συνήθως, επιλέγονται διαφημιστικές καμπάνιες, οι οποίες προβάλλουν μηνύματα προληπτικού χαρακτήρα στο ευρύ κοινό, καθώς και μέτρα και οδηγίες για την προστασία του δάσους (απαγόρευση

φωτιάς σε δημόσιους φυσικούς χώρους), με σκοπό την μείωση το κινδύνου πρόκλησης πυρκαγιάς από λάθος ή/και αμέλεια. Ωστόσο η σημασία και η έννοια της πρόληψης δεν είναι, ακόμα, ιδιαίτερα κατανοητή και έτσι οι οργανώσεις καταβάλλουν μεγάλη προσπάθεια, μέσα από υποστηρικτικά προγράμματα, να προβάλλουν τα οφέλη από την αποφυγή τέτοιου είδους καταστροφών (Martell D. L., 2001).

Η πρόληψη, ουσιαστικά, αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό μέτρων, σταδίων και δράσεων που μπορούν να την καταστήσουν ιδιαίτερα αποτελεσματική. Μεταξύ αυτών ουσιώδη ρόλο κατέχει ο προ κατασταλτικός (αντιπυρικός) σχεδιασμός. Ο σχεδιασμός της αναφέρεται στην “ανάλυση απειλής” σε χρονικό και χωρικό επίπεδο, σύμφωνα με την αξιολόγηση των επιμέρους στοιχείων. Τέτοιο στοιχείο είναι η πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς, η ένταση που είναι ικανή να πάρει και οι απειλούμενες αξίες. Βάση αυτών προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με το ποιες περιοχές εκτίθενται σε υψηλότερο κίνδυνο και χρήζουν προτεραιότητα προστασίας. Για την απόφαση και την ορθή λήψη των αποφάσεων απαραίτητα είναι τα δεδομένα σχετικά με την χωρική κατανομή της δασικής ύλης. Εξίσου σημαντικά είναι και ιστορικά στοιχεία πυρκαγιών, κλιματικά δεδομένα αλλά της και στοιχεία για την τοπογραφία και την μορφολογία του εδάφους της περιοχής. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση απειλής, συντάσσεται ο κατάλληλος αντιπυρικός σχεδιασμός, ο οποίος ορίζει της δράσεις και τα έργα που πρέπει να γίνουν. Τα προ κατασταλτικά αυτά έργα, αφορούν δρόμους , δεξαμενές, αντιπυρικές ζώνες, ελικοδρόμια κ.α.

Ένα ακόμα σπουδαίο μέτρο πρόληψης αφορά και την ετοιμότητα της κοινωνίας , με την ανάπτυξη συστήματος εκτίμησης κινδύνου. Η πρόβλεψη κινδύνου για φαινόμενα πυρκαγιάς για την επόμενη χρονική περίοδο(ημέρα ή ημέρες), συμβάλλει στην καλύτερη αξιοποίηση του δυναμικού και των πόρων, αλλά και στην ενημέρωση των πολιτών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του χάρτη κατανομής κινδύνου πυρκαγιάς για την επόμενη μέρα (από τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας), οι οποίοι κατευθύνονται από ειδικές οδηγίες.



Εικόνα 1.4: Παράδειγμα ημερήσιου Χάρτη Πρόβλεψης Κινδύνου από την Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2019)

Στην Ελλάδα, από το 1998 και μετά, η Δασική Υπηρεσία είναι αποκλειστικά αρμόδια για την πρόληψη πυρκαγιών.

1.7.1 Μοντέλα Κινδύνου Δασικής Πυρκαγιάς

Τα μοντέλα επικινδυνότητας πυρκαγιάς είναι χρήσιμα εργαλεία που χρησιμοποιούνται ευρέως από την επιστημονική κοινότητα σε παγκόσμιο επίπεδο. Της είναι οι χώρες που έχουν αντιληφθεί την αξία της και της έχουν αξιοποιήσει ώστε κατάλληλοι φορείς να κατασκευάζουν, βάση αυτών, χάρτες πρόβλεψης για την αποφυγή περιστατικών πυρκαγιάς.

Οι δείκτες που προκύπτουν από τα μοντέλα επικινδυνότητας, σχηματίζονται από διάφορους παράγοντες που το εκάστοτε μοντέλο θεωρεί ότι ασκούν σημαντική επίδραση στην πρόκληση κινδύνου πυρκαγιάς. Σε της της παράγοντες περιλαμβάνονται τα είδη βλάστησης με κριτήριο την ικανότητα της σε καύση, η υγρασία και η πυκνότητα της βλάστησης, η τοπογραφία, οι καιρικές συνθήκες, ο ανθρώπινος παράγοντας κ.α. Σε κάθε μοντέλο χρησιμοποιείται διαφορετικός συνδυασμός μεταβλητών, οι οποίες αποκτούν και διαφορετική βαρύτητα ανάλογα με το μοντέλο που εφαρμόζεται. Δείκτες που εξαρτώνται από παράγοντες που μεταβάλλονται βραχυπρόθεσμα (καιρικές συνθήκες) ονομάζονται δυναμικοί δείκτες. Αντίθετα, αυτοί που βασίζονται σε μεταβλητές που παραμένουν, για σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα, αμετάβλητες (είδη βλάστησης, τοπογραφία) χαρακτηρίζονται στατικοί. Τα περισσότερα μοντέλα, ωστόσο, χρησιμοποιούν σύνθετους δείκτες που αφορούν και τα δύο είδη μεταβλητών.

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κάθε μοντέλο έχει δικό του πεδίο εφαρμογής με βάση τον σκοπό για τον οποίο αναπτύχθηκε και εφαρμόζεται ανάλογα με την περιοχή και της μεταβλητές που έχουν καθοριστικό ρόλο εκεί. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα μοντέλα επικινδυνότητας και ο αντίστοιχος δείκτης (Μπαχλαβα, 2011).

Fire Potential Index FPI

Ο Fire Potential Index είναι της δυναμικός δείκτης Δασικών Πυρκαγιών. Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης και της περιεχόμενης υγρασίας. Για τον υπολογισμό του FPI λαμβάνονται στοιχεία της η εξάλειψη υγρασίας από τον χάρτη με τα είδη καύσιμης ύλης, την υγρασία νεκρού καυσίμου δέκα ωρών από τα μετεωρολογικά δεδομένα (σχετική υγρασία και θερμοκρασία) καθώς και ο ποσοστό πράσινης βλάστησης (δείκτης Greenness Vegetation Index). Ο FPI είναι αποτέλεσμα συνδυασμού μετεωρολογικών δεδομένων, δεδομένων τηλεσκόπησης και παρατηρήσεων στην επιφάνεια της γης. Ο δείκτης της, κατά την εφαρμογή του, παρουσίασε υψηλή συσχέτιση με την εμφάνιση πυρκαγιάς για Νεβάδα και Καλιφόρνια. Έπειτα εφαρμόστηκε και σε περιοχές της Ευρώπης, με καλά αποτελέσματα για περιοχές της Μεσογείου.

Fire Risk Index

Ο Fire Risk Index είναι της δείκτης επικινδυνότητας ο οποίος βασίζεται σε τρεις επιμέρους δείκτες. Ο Topographic danger index ή αλλιώς TDI αφορά την τοπογραφία της περιοχής και εξαρτάται από την κλίση, τον προσανατολισμό και το υψόμετρο της. Ο Weather danger index ή WDI ο οποίος προκύπτει από της καιρικές συνθήκες. Υπολογίζεται από τον λόγο της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα ως της την μέση μέγιστη σχετική υγρασία του αέρα. Τέλος ο Fuel danger index ή FDI ο οποίος εξαρτάται από το είδος

καύσιμης ύλης. Με την ανάπτυξη του FDI και με παράλληλη έγκριση της χρήσης ψηφιακών προϊόντων κατάταξης, προκύπτει της πολύ ακριβής χάρτης του τύπου καύσιμης ύλης της περιοχής μελέτης.

Wildfire Risk Index

Ο Wildfire Risk Index είναι της σύνθετος δείκτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς, ο οποίος απαρτίζεται από δύο δείκτες, τον Fire hazard index και τον Mc. Arthur Fire danger index. Ο WRI αποτελεί το άθροισμα των δύο αυτών επιμέρους δεικτών. Ο πρώτος (FHI) προκύπτει από τηλεπισκοπήσεις και χαρτογράφηση δεδομένων με χρήση συστημάτων GIS. Επηρεάζεται κυρίως από μακροπρόθεσμους παράγοντες της το είδος της καύσιμης ύλης, η τοπογραφία της περιοχής, η ανθρώπινη δραστηριότητα κ.α. Ο δείκτης της αντιπροσωπεύει την συμπεριφορά της περιοχής κατά την καύση και την πιθανή αντίδραση της μετά την εκδήλωση πυρκαγιάς. Από αυτόν προκύπτει της χάρτης ο οποίος ταξινομεί της περιοχές ανάλογα με την συμπεριφορά στην φωτιά και όχι τον κίνδυνο εκδήλωσης της. Αντίθετα ο Fire danger index αντιπροσωπεύει την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς και βασίζεται σε μετεωρολογικά δεδομένα (ατμοσφαιρική θερμοκρασία, άνεμος, σχετική υγρασία), δηλαδή δυναμικές μεταβλητές με συχνή μεταβολή.

1.7.2 Καναδικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνων Πυρκαγιάς (Canadian Forest Fire Danger Rating System)

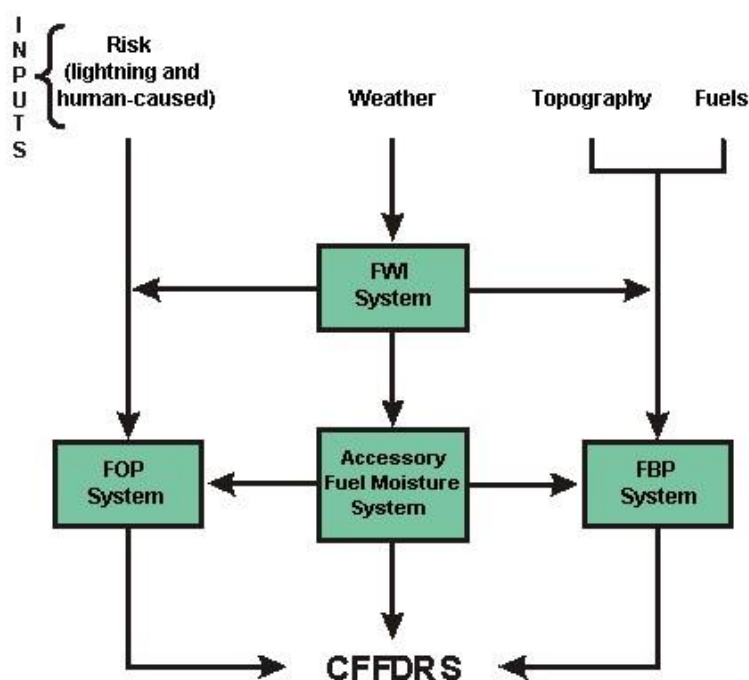
Το Καναδικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνων Πυρκαγιάς (CFFDRS) είναι ένα εθνικό σύστημα αξιολόγησης του κινδύνου δασικών πυρκαγιών προερχόμενο από τον Καναδά.

Ο κίνδυνος δασικής πυρκαγιάς ορίζεται ως «της γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει μια ποικιλία παραγόντων, σταθερών όσο και μεταβλητών, του περιβάλλοντος πυρκαγιάς που καθορίζουν την ευκολία ανάφλεξης, τον ρυθμό εξάπλωσης, τη δυσκολία ελέγχου και πρόσκρουση πυρκαγιάς» (Merrill και Alexander, 1987). Η διαδικασία της συστηματικής αξιολόγησης και ενσωμάτωσης των επιμέρους συνδυαστικών παραγόντων που επηρεάζουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς αναφέρεται ως αξιολόγηση κινδύνου πυρκαγιάς.

Τα συστήματα αξιολόγησης κινδύνου πυρκαγιάς παράγουν ποιοτικούς και αριθμητικούς δείκτες δυναμικού πυρκαγιάς που χρησιμοποιούνται ως οδηγοί σε μια ποικιλία δραστηριοτήτων διαχείρισης πυρκαγιάς

Το CFFDRS βρίσκεται υπό ανάπτυξη από το 1968 από τη Forestry Canada (πρώην Candian Forestry Service) για έναν αριθμό ετών, και η εξέλιξη του Καναδικού συστήματος αξιολόγησης (CFFDRS) αναμένεται να συνεχιστεί. Επί του παρόντος, αποτελείται από δύο υποσυστήματα –το Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System και το Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System –τα οποία χρησιμοποιούνται εκτενώς στον Καναδά αλλά και διεθνώς.

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τα στοιχεία του CFFDRS. Ο κίνδυνος (όσον αφορά της πιθανές αφορμές εκδήλωσης), ο καιρός, τα καύσιμα και η τοπογραφία παρέχουν τα απαραίτητα στοιχεία για την πρόβλεψη του καιρού πυρκαγιάς, της εκδήλωσης πυρκαγιάς και της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Παράλληλα αναπτύσσονται μοντέλα υγρασίας καυσίμου για μια σειρά καναδικών τύπων δασών. Μαζί, αυτά τα συστήματα προβλέπουν τον πιθανό κίνδυνο πυρκαγιάς μέσα στο δάσος.



Εικόνα 1.5: Καναδικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνου Πυρκαγιάς (CFFDRS)(URL 4)

1.7.3 Καναδικός Δείκτης Κινδύνου Πυρκαγιών

Ο Δείκτης Κινδύνου Πυρκαγιών (Fire Weather Index, FWI) αποτελεί μία από της βασικές συνιστώσες του καναδικού συστήματος κατάταξης της επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών (CFFDRS). Ο δείκτης καιρού πυρκαγιάς (FWI) είναι της μετεωρολογικά βασισμένος δείκτης που χρησιμοποιείται παγκοσμίως για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς σε ένα γενικευμένο τύπο καύσιμης ύλης. Αποτελείται από διαφορετικούς παράγοντες που ευθύνονται για της επιπτώσεις της υγρασίας του καυσίμου και του ανέμου στη συμπεριφορά και την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Όσο υψηλότερο είναι το FWI, τόσο πιο ευνοϊκές είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες για να πυροδοτηθεί μια πυρκαγιά. Της ο δείκτης μπορεί να βοηθήσει τόσο στην πρόβλεψη στο πολύ κοντινό μέλλον (διάστημα ημερών), όσο και στη διαμόρφωση μακροπρόθεσμης στρατηγικής και στον σχεδιασμό σε τομείς της γεωργία, ο τουρισμός, οι επενδύσεις κ.α. υπό ένα μεταβαλλόμενο κλίμα.

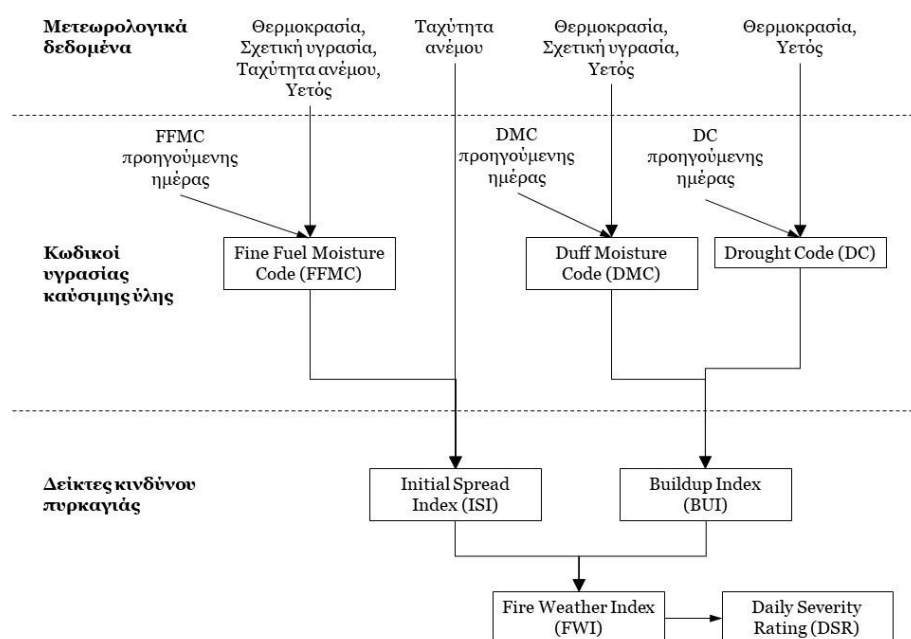
Ιστορικά στοιχεία

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, οι πυροσβεστικές υπηρεσίες του Καναδά, λόγω των συχνών φαινομένων πυρκαγιάς, είχαν μεγάλη ανάγκη για περιφερειακά συστήματα αξιολόγησης κινδύνου πυρκαγιάς, τα οποία αναπτύχθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1950. Ως απάντηση σε αυτές της απαιτήσεις, οι ερευνητές άρχισαν να εργάζονται σε ένα εθνικό σύστημα αξιολόγησης του κινδύνου πυρκαγιάς. Το αποτέλεσμα ήταν ο καναδικός δείκτης καιρού πυρκαγιάς των δασών (FWI), που εκδόθηκε προσωρινά το 1969, δηλαδή το πρώτο υποσύστημα του CFFDRS. Οι επόμενες εκδόσεις εμφανίστηκαν το 1970, 1976, 1978 και 1984. Το Σύστημα FWI είναι πιο σύνθετο από της προκατόχους του,

διατηρώντας τα καλύτερα χαρακτηριστικά των προηγούμενων συστημάτων, αλλά και ενσωματώνοντας νέα στοιχεία όπου είναι απαραίτητα.

Ανάλυση δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς (FWI)

Το σύστημα FWI αποτελείται από έξι επιμέρους δείκτες που μεμονωμένα και συλλογικά αντιπροσωπεύουν της επιπτώσεις της υγρασίας του καυσίμου και του ανέμου στη συμπεριφορά της φωτιάς. Οι τρεις πρώτοι υπό-δείκτες αφορούν την υγρασία της καύσιμης ύλης. Είναι οι κώδικες που υποδεικνύουν την περιεκτικότητα σε υγρασία στα λεπτά επιφανειακά υπολείμματα των φυτών και άλλων καυσίμων (FFMC), την περιεκτικότητα σε υγρασία στα χαλαρά συμπιεσμένα οργανικά στρώματα μέτριου βάθους(DMC) και η περιεχόμενη υγρασία στα πιο βαθιά και συμπαγή οργανικά στρώματα (DC). Οι τρεις επόμενοι δείκτες είναι κωδικοί συμπεριφοράς πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα εκφράζουν τον αναμενόμενο ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς (ISI), την συνολική ποσότητα καυσίμου που είναι διαθέσιμη για καύση (BUI) και την ένταση της φωτιάς (FWI).



Εικόνα 1.6: Δείκτης Κινδύνου Πυρκαγιάς και υπό-δείκτες που υπολογίζονται (URL 3)

Οι υπό-δείκτες αυτοί, του συστήματος FWI, εξαρτώνται αποκλειστικά από καθημερινές μετρήσεις ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και σωρευμένης βροχόπτωσης 24 ωρών καταγεγραμμένες κατά της μεσημβρινές τοπικές ώρες.

Δεδομένου ότι το σύστημα FWI εξαρτάται αποκλειστικά από καιρικές μετρήσεις, μπορεί εύκολα, από την πρόβλεψη του καιρού, να δοθεί μια πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς (π.χ. Raddatz και Atkinson, 1982).

Οι τρεις κωδικοί υγρασίας είναι στην πραγματικότητα λογιστικά συστήματα που προσθέτουν υγρασία μετά τη βροχή και αφαιρούν λίγη για την ξήρανση κάθε ημέρας (δηλαδή, ο σημερινός κωδικός υγρασίας εξαρτάται από τη χθεσινή υγρασία και τον σημερινό καιρό). Οι τρεις δείκτες υγρασίας καυσίμου εκφράζονται σε κλίμακες που σχετίζονται με το πραγματική υγρασία καυσίμου (Van Wagner 1987a, b). Καθώς οι δείκτες αντιδρούν με διαφορετικούς ρυθμούς, χρονικές καθυστερήσεις και απαιτούμενες ποσότητες βροχής για κορεσμό του αντιπροσωπευτικού στρώματος καυσίμου, οποιοσδήποτε από τους μπορεί να είναι υψηλός ή χαμηλός σε αντίθεση με της της. Για παράδειγμα, δύο ή τρεις μέρες έντονης ξήρανσης μετά από δυνατή βροχή παράγουν υψηλό FPMC (εξάτμιση στα επιφανειακά στρώματα) ενώ το DMC παραμένει χαμηλό. Αντίθετα, μια ελαφριά βροχή μετά από μια μακρά περίοδο ξηρασίας θα οδηγήσει σε χαμηλό FPMC ενώ το DMC παραμένει υψηλό. Τέλος, το DC μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί αργά ενώ το FPMC και το DMC παρουσιάζουν διακυμάνσεις της φορές.

Οι τρεις κωδικοί υγρασίας, σε συνάρτηση με τον άνεμο και ανά ζευγάρια, σχηματίζουν δύο ενδιαμέσους δείκτες και έναν τελικό δείκτη συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Ο πρώτος ενδιαμέσος δείκτης ISI συνδυάζει της επιπτώσεις του ανέμου και την περιεκτικότητα σε υγρασία καυσίμου που αντιπροσωπεύεται από το FPMC και αποτελεί μια αριθμητική βαθμολογία του ρυθμού εξάπλωσης πυρκαγιάς. Στον δείκτη αυτόν δεν υπολογίζεται η επίδραση της μεταβλητής ποσότητας καυσίμου. Επειδή το ISI εξαρτάται αποκλειστικά από τον καιρό, ο πραγματικός ρυθμός εξάπλωσης αναμένεται να διαφέρει από τον ένα τύπο καυσίμου σε άλλο λόγω διαφορών στα χαρακτηριστικά στοιχεία των καυσίμων και στην έκθεση του αέρα. Αντίστοιχα ο BUI, που συνδυάζει το DMC και το DC, εκφράζει μια αριθμητική βαθμολογία της συνολικής ύλης που είναι διαθέσιμη για καύση. Το BUI κατασκευάστηκε έτσι ώστε όταν το DMC είναι κοντά στο μηδέν, το DC να μην επηρεάζει τον ημερήσιο κίνδυνο πυρκαγιάς (εκτός από το ενδεχόμενο σιγοκαίματος) ανεξάρτητα από το επίπεδο του DC (δηλαδή, όταν το DMC είναι κοντά στο μηδέν, το ίδιο ισχύει και για το BUI, ανεξάρτητα από την τιμή DC). Το FWI, το οποίο συνδυάζει το ISI και το BUI, αντιπροσωπεύει ένα σχετικό μέτρο της δυνητικής έντασης μιας πυρκαγιάς που εξαπλώνεται σε ένα τυπικό σύμπλεγμα καυσίμων (δηλαδή, μια ώριμη συστάδα πεύκου) σε επίπεδο έδαφος (Alexander and De Groot, 1988).

Το FWI είναι ένας καλός δείκτης πολλών πτυχών της δραστηριότητας μιας πυρκαγιάς και χρησιμοποιείται καλύτερα ως μέτρο γενικού κινδύνου πυρκαγιάς για διαχειριστικούς σκοπούς. Ωστόσο, είναι αδύνατο να υπάρξει μια πλήρης εικόνα των ημερήσιων πιθανοτήτων έναρξης πυρκαγιάς με έναν μόνο αριθμό. Η κλίμακα FWI είναι ομοιόμορφη σε όλο τον Καναδά, αλλά ο καιρός πυρκαγιάς ποικίλλει, στις διάφορες περιοχές του πλανήτη, με αποτέλεσμα ο κύριος αρμόδιος κάθε χώρας να έχει αναπτύξει διαφορετικό ποιοτικό σχέδιο ταξινόμησης του κινδύνου πυρκαγιάς. Ο δείκτης χωρίζεται σε κατηγορίες κινδύνου, οι οποίες προσδιορίζονται από μελέτες ευαισθησίας προσαρμοσμένες στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος.

Επικινδυνότητα	Καναδάς	Ευρωπαϊκές Χώρες
Πολύ χαμηλή		<5.2
Χαμηλή	0-7	5.2-11.2
Μέτρια	8-16	11.2-21.3
Υψηλή	17-31	21.3-38.0
Πολύ υψηλή		38.0-50.0
Ακραία	>32	>50

Πίνακας 1.1: Κατηγορίες επικινδυνότητας για τα Δάση του Καναδά και για τα Δάση των Ευρωπαϊκών Χωρών (Καράλη, 2014)

Με την εισαγωγή του Συστήματος FWI, την ανάλυση καιρικών συνθηκών πυρκαγιάς πολλών ετών και με πληροφορίες αναφοράς πυρκαγιών από όλο τον Καναδά προέκυψαν ισχυροί συσχετισμοί μεταξύ της δραστηριότητας πυρκαγιάς (δηλαδή, εκδήλωση πυρκαγιάς και καμένη έκταση της) και των αυξανόμενων τιμών του καιρού πυρκαγιάς όπως αντικατοπτρίζεται από τα στοιχεία του συστήματος FWI. Ως αποτέλεσμα, τα στοιχεία του συστήματος θεωρούνται κατάλληλα για τον σχεδιασμό διοικητικής καταστολής.

2. Μεθοδολογία

Όπως προαναφέρθηκε σκοπός αυτής της ΔΕ είναι η συσχέτιση του Καναδικού δείκτη επικινδυνότητας έναρξης πυρκαγιάς FWI με τις δασικές πυρκαγιές που έχουν εκδηλωθεί στον ελλαδικό χώρο την χρονική περίοδο 2000-2020.

Αρχικά, συλλέχθηκαν τα ημερήσια δεδομένα των καμένων εκτάσεων (BA) και του FWI σε επίπεδο νομού. Η πληροφορία αυτή συμπτύχθηκε σε ένα αρχείο το οποίο αποτέλεσε και την βάση δεδομένων. Από αυτή την βάση, υπολογίστηκαν μέσες τιμές του δείκτη και το σύνολο καμένης δασικής έκτασης ανά δεκαήμερο και ανά μήνα. Στις, πλέον, τρεις βάσεις δεδομένων (ημερήσια, δεκαήμερου και μηνιαία) έγινε ταξινόμηση της πληροφορίας κατά φθίνουσα τιμή BA. Έπειτα και εφόσον υπολογίστηκε ο λογάριθμος των καμένων εκτάσεων ($\log(BA)$) πραγματοποιήθηκε η συσχέτιση ανάμεσα στις τιμές του δείκτη και τον λογάριθμο αυτόν. Η συσχέτιση και τα αποτελέσματα που προέκυψαν αποτυπώθηκαν σε εθνικούς χάρτες. Μία ακόμα μέθοδος που εφαρμόστηκε αφορά την ομαδοποίηση των δεδομένων σε δεκάδες. Η ομαδοποίηση αυτή έγινε μόνο σε ημερήσια δεδομένα τα οποία είχαν ταξινομηθεί με τον ίδιο τρόπο(φθίνουσα καμένη έκταση).

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την επεξεργασία των δεδομένων αφαιρέθηκε η πληροφορία με μηδενική καμένη έκταση και μετά την λογαρίθμηση εφαρμόστηκαν διάφορες κατώφλιες τιμές. Περισσότερες πληροφορίες για κάθε επιμέρους βήμα δίνονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

2.1 Δεδομένα

2.1.1 Καμένες Δασικές Εκτάσεις

Τα δεδομένα των καμένων δασικών εκτάσεων (BA) για την χρονική περίοδο 2000-2020 συλλέχθηκαν από την σελίδα του Πυροσβεστικού Σώματος Ελλάδος (URL 5). Το πυροσβεστικό σώμα παρέχει δημόσια ψηφιακό αρχείο με πληροφορίες και δεδομένα εκ των οποίων και όλα τα αστικά και δασικά συμβάντα στα οποία επενέβη το Π.Σ.

Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά τα δεδομένα των δασικών πυρκαγιών, τα οποία διατίθενται σε μορφή excel. Στο αρχείο αυτό καταγράφονται όλα τα συμβάντα εκφρασμένα σε στρέμματα δασικής γης, ανά νομό με καταγεγραμμένη ημερομηνία έναρξης και λήξης της πυρκαγιάς.

2.1.2 Δείκτης FWI

Όπως προαναφέρθηκε, ο FWI είναι ένας ημερήσιος δείκτης κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς για ένα γενικευμένο τύπο καύσιμης ύλης. Οι ημερήσιες τιμές του δείκτη ελήφθησαν από την βάση δεδομένων του Copernicus.

Το Copernicus είναι το ευρωπαϊκό πρόγραμμα γεωσκόπησης, το οποίο εξετάζει τον πλανήτη και το περιβάλλον του προς όφελος όλων των Ευρωπαίων πολιτών. Προσφέρει υπηρεσίες πληροφοριών που αντλούνται από δορυφορική Παρατήρηση της Γης καθώς

και επιτόπου δεδομένα. Μεταξύ άλλων, διαθέτει και το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών Δασικών Πυρκαγιών (EFFIS). Το EFFIS αποτελείται από ένα αρθρωτό σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών Ιστού που παρέχει τόσο πληροφορίες σε σχεδόν πραγματικό χρόνο όσο και ιστορικές πληροφορίες για δασικές πυρκαγιές και καθεστώτα δασικών πυρκαγιών στις περιοχές της Ευρώπης, της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής. Η παρακολούθηση πυρκαγιάς στο EFFIS περιλαμβάνει τον πλήρη κύκλο πυρκαγιάς, παρέχοντας πληροφορίες για τις συνθήκες πριν από την πυρκαγιά, πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα και μελλοντική πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς, τις ενεργές πυρκαγιές και τις καμένες περιοχές και εκτιμήσεις για τις ζημιές μετά την πυρκαγιά.

Η επέκταση του EFFIS προς τα Παγκόσμια Πληροφοριακά Συστήματα για τις Πυρκαγιές (GWIS) βρίσκεται σε εξέλιξη σε συνεργασία με το Group on Earth Observations (GEO).

Από την υπηρεσία αυτή του Copernicus συλλέχθηκαν τα δεδομένα που αφορούν μέσες τιμές του δείκτη ανά ημέρα. Ειδικότερα το πρόγραμμα αυτό χωρίζει την επιφάνεια της χώρας σε τμήματα και υπολογίζει τις τιμές του δείκτη για κάθε κομμάτι επιφάνειας.

Στην συνέχεια η πληροφορία αυτή εισήχθη στο γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, ArcGis. Παράλληλα από τον ΟΚΧΕ (Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας) έγινε λήψη αρχείου με τα όρια των Νομών το οποίο μεταφορτώθηκε στο ArcGis. Με την εφαρμογή και των δύο πληροφοριών αποτυπώθηκαν χωρικά τα δεδομένα. Ως αποτέλεσμα αντλήθηκαν τα τελικά δεδομένα με τις μέσες ημερήσιες τιμές του FWI για κάθε Νομό της Ελλάδας.

2.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με χρήση του Excel. Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του δείκτη σχετικά με όλες τις καταγεγραμμένες δασικές πυρκαγιές υπολογίστηκαν, μέσω του Excel, συντελεστές συσχέτισης του FWI με το μέγεθος των παρατηρημένων καμένων εκτάσεων.

2.2.1 Συντελεστής προσδιορισμού R² (R- squared)

Η συσχέτιση είναι μία μέτρηση που παρακολουθεί τις κινήσεις δύο ή περισσότερων συνόλων δεδομένων μεταξύ τους. Στην απλή γραμμική παλινδρόμηση ο συντελεστής προσδιορισμού μεταξύ 2 μεταβλητών X, μετρά τη μεταβλητότητα (variation) της εξαρτημένης μεταβλητής (Y) που εξηγείται από τις μεταβολές στις τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής της (X) . Ο συντελεστής προσδιορισμού συμβολίζεται με το R².

Το μέρος της εξαρτημένης μεταβλητής που δεν ερμηνεύεται από την ανεξάρτητη μεταβλητή ερμηνεύεται από τα κατάλοιπα. Επομένως, την αναλογία (ή ποσοστό) της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής που ερμηνεύεται από την παλινδρόμηση ονομάζουμε συντελεστή προσδιορισμού (coefficient of determination) και συμβολίζεται με R². Ο συντελεστής προσδιορισμού μπορεί να πάρει τιμές μεταξύ του μηδέν και της μονάδας, δηλαδή: $0 \leq R^2 \leq 1$. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού R² τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή της γραμμής παλινδρόμησης του δείγματος στα

στοιχεία και αντίστροφα. Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 μπορεί να πάρει αρνητική τιμή όταν η παλινδρόμηση δεν έχει σταθερά (δηλαδή σημείο τομής) ή όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων σε δύο στάδια.

Επομένως, το R-squared (R^2) είναι ένα σημαντικό στατιστικό μέτρο και αποτελεί μοντέλο παλινδρόμησης που αντιπροσωπεύει το ποσοστό της διαφοράς ή της διακύμανσης σε στατιστικούς όρους για μια εξαρτημένη μεταβλητή που μπορεί να εξηγηθεί από μια ανεξάρτητη μεταβλητή ή μεταβλητές. Εν ολίγοις, καθορίζει πόσο καλά τα δεδομένα θα ταιριάζουν με το μοντέλο παλινδρόμησης.

Ο τύπος από τον οποίο ορίζεται είναι ο εξής:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\check{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Και εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας των y_i που απορροφάται από την παλινδρόμηση. Στην απλή γραμμική παλινδρόμηση, το r^2 είναι το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης του Pearson (r). Τα αποτελέσματα από την συσχέτιση με την χρήση του δείκτη R-squared δεν ήταν τα αναμενόμενα καθώς στο πλεόνασμα των Νομών παρουσίαζε πολύ ασθενή σχέση των δύο μεταβλητών. Μερικά από αυτά παρατίθενται, ενδεικτικά, στο Παράρτημα.

2.2.2 Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson

Σε μελέτες με δύο συνεχείς μεταβλητές που συνήθως ονομάζονται x-τιμές και y-τιμές μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών μπορεί επίσης να εκτιμηθεί με τη βοήθεια του συντελεστή συσχέτισης Pearson R. Αποτελεί ένα μέτρο της ισχύος και της κατεύθυνσης της γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών, που περιγράφει την κατεύθυνση και τον βαθμό στον οποίο μια μεταβλητή σχετίζεται γραμμικά με μια άλλη. Ο συντελεστής Pearson, επομένως, εκφράζει τον βαθμό που οι μεταβλητές σχετίζονται μεταξύ τους και εκφράζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson μπορεί να πάρει τιμές από -1 έως +1. Μια τιμή +1 δείχνει ότι οι μεταβλητές σχετίζονται απόλυτα γραμμικά με μια αυξανόμενη σχέση, μια τιμή -1 δείχνει ότι οι μεταβλητές σχετίζονται απόλυτα γραμμικά με μια φθίνουσα σχέση και μια τιμή 0 δείχνει ότι οι μεταβλητές δεν σχετίζονται γραμμικά με ο ένας τον άλλον. Ισχυρή θεωρείται η συσχέτιση όταν ο συντελεστής συσχέτισης είναι μεγαλύτερος από 0,8 και ασθενής συσχέτιση εάν ο συντελεστής συσχέτισης είναι μικρότερος από 0,5. Τέλος όταν δεν παρατηρείται κάποια σχέση μεταξύ των μεταβλητών τότε είναι ασυσχέτιστα και ο συντελεστής παίρνει τιμές κοντά στο μηδέν.

2.3 Μεθοδολογία

2.3.1 Βάση δεδομένων

Όλα τα δεδομένα λήφθηκαν σε αρχεία excel. Για την κατασκευή της βάσης δεδομένων απαιτήθηκε επιμέρους εργασία στα αρχικά αρχεία.

Τα δεδομένα των καμένων δασικών εκτάσεων για την περίοδο μελέτης (2000-2020) διατίθενται από το Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος σε διαφορετικά αρχεία ανά έτη(π.χ. Δασικές Πυρκαγιές 2000-2012, 2013, 2014 κ.ο.κ.) και είναι ταξινομημένα ανά έτος και νομό. Αφού δημιουργήθηκε ένα αρχείο με όλα τα δεδομένα έγινε επεξεργασία ώστε να κατανοηθεί η πληροφορία ανά ημερομηνία και ξεχωριστά για κάθε νομό. Τα δεδομένα ταξινομήθηκαν ανά χρονολογική σειρά και στη συνέχεια με χρήση της εντολής sumifs δημιουργήθηκε ένα αρχείο το οποίο είχε την πληροφορία για κάθε νομό σε ξεχωριστή στήλη.

Νομός	Ημερομηνία Έναρξης	Ώρα Έναρξης	Ημερομηνία Κατάσβεσης	Ώρα Κατάσβεσης	ΚΑΜΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ (Σε Στρέμματα)									Σύνολο
					Δάση	Δασική Έκταση	Άλλη	Χορτικές Εκτάσεις	Καλάμια Βάλτοι	Γεωργικές Εκτάσεις	Υπολλείματα Καλλιεργειών	Σκουπίδια	τοποί	
ΑΤΤΙΚΗΣ	8/6/2000	13:30	8/6/2000	15:00	3	3	0	0	0	0	0	0	0	6
ΑΤΤΙΚΗΣ	5/6/2000	11:44	5/6/2000	13:00	0	0	0	0	0	8	0	0	0	8
ΑΤΤΙΚΗΣ	14/6/2000	10:25	14/6/2000	14:00	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4
ΑΤΤΙΚΗΣ	23/7/2000	11:10	23/7/2000	13:16	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
ΑΤΤΙΚΗΣ	4/10/2000	14:40	4/10/2000	17:20	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8
ΑΤΤΙΚΗΣ	7/7/2000	11:30	7/7/2000	16:00	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
ΑΤΤΙΚΗΣ	20/7/2000	14:26	20/7/2000	17:36	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
ΑΤΤΙΚΗΣ	20/6/2000	15:12	20/6/2000	17:20	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4
ΑΤΤΙΚΗΣ	5/8/2000	2:15	5/8/2000	14:00	200	800	0	0	0	0	0	0	0	1000
ΑΤΤΙΚΗΣ	25/5/2000	21:10	25/5/2000	21:40	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
ΑΤΤΙΚΗΣ	29/7/2000	13:00	29/7/2000	20:00	5	5	0	0	0	1	0	0	0	11
ΑΤΤΙΚΗΣ	29/7/2000	16:05	9/8/2000	7:00	1400	0	0	0	0	0	0	0	0	1400

Νομός	Ημερομηνία Έναρξης	Ώρα Έναρξης	Ημερομηνία Κατάσβεσης	Ώρα Κατάσβεσης	Δάση	Δασική Έκταση	Άλλη	Χορτικές Εκτάσεις	Καλάμια Βάλτοι	Γεωργικές Εκτάσεις	Υπολλείματα Καλλιεργειών	Σκουπίδια	τοποί	Σύνολο
ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	7/1/2000	15:14	7/1/2000	15:40	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,2
ΕΒΡΟΥ	8/1/2000	18:49	8/1/2000	19:55	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	8/1/2000	11:30	8/1/2000	12:20	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4
ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	8/1/2000	15:59	8/1/2000	17:31	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0,1
ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	10/1/2000	23:49	11/1/2000	5:16	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	11/1/2000	15:49	11/1/2000	17:10	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,5
ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	12/1/2000	16:10	12/1/2000	18:30	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
ΕΒΡΟΥ	13/1/2000	18:39	13/1/2000	19:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	13/1/2000	15:25	13/1/2000	16:25	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	14/1/2000	11:30	14/1/2000	12:30	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	14/1/2000	22:39	15/1/2000	0:20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	14/1/2000	17:19	14/1/2000	22:40	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
ΠΕΛΛΑΣ	15/1/2000	17:59	15/1/2000	18:35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ημερομηνία	Έτος	Μήνας	Ημέρα	ΑΙΤΩΛ/ΟΑ	ΑΡΓΟ/ΛΙΔ	ΑΡΚΑΔΙΑ	ΑΡΤΑΣ	ΑΤΤΙΚΗΣ	ΑΧΑΪΑΣ	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	ΔΡΑΜΑΣ	ΔΩΔΕΚΑΝ	ΕΒΡΟΥ
1/1/2000	2000	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2/1/2000	2000	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3/1/2000	2000	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4/1/2000	2000	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5/1/2000	2000	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6/1/2000	2000	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7/1/2000	2000	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8/1/2000	2000	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9/1/2000	2000	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/1/2000	2000	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11/1/2000	2000	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12/1/2000	2000	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/1/2000	2000	1	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/1/2000	2000	1	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15/1/2000	2000	1	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/1/2000	2000	1	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Εικόνα 2.1: Επεξεργασία δεδομένων / Δημιουργία βάσης δεδομένων καμένων δασικών εκτάσεων

Η εντολή Sumifs υπολογίζει το άθροισμα (sum) ενός πλήθους κελιών που πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια (ifs). Συγκεκριμένα, κατά την εφαρμογή της εντολής αυτής επιτεύχθηκε άθροιση των εκτάσεων που έχουν σημειωθεί με όρους – προϋποθέσεις, να συμπίπτει δηλαδή ο νομός της κάθε σειράς με τον νομό της κάθε στήλης που κατασκευάστηκε και περαιτέρω να είναι ίδια η ημερομηνία σε ημέρα (1 έως 30 ή 31), σε μήνα (1 έως 12) και χρόνο (2000 έως 2020). Θεωρήθηκε ορθό να χρησιμοποιηθεί αυτή η

αθροιστική εντολή (sumifs) καθώς για ημερομηνίες που δεν υπήρξαν πυρκαγιές (δηλαδή δεν υπήρχαν δεδομένα/στοιχεία) το κελί συμπληρωνόταν με μηδέν ενώ για ημερομηνίες που είχαν σημειωθεί παραπάνω πυρκαγιές από μία γινόταν άθροιση.

Με παρόμοιο τρόπο επεξεργάστηκε και το αρχείο με τα δεδομένα του FWI, με την διαφορά ότι έγινε χρήση της εντολής Averageifs, δηλαδή υπολογισμός της μέσης τιμής του δείκτη .

Έπειτα τα δύο αρχεία συγχωνεύτηκαν σε ένα, έχοντας για κάθε νομό την καμένη έκταση σε μια στήλη και δίπλα την αντίστοιχη τιμή του δείκτη ανά ημέρα κατανεμημένα ανά χρονολογική σειρά.

Από τα παραπάνω δεδομένα δημιουργήθηκαν χάρτες όπου φαίνεται ο αριθμός των δασικών πυρκαγιών ανά έτος, ο μέσος FWI στα αντίστοιχα συμβάντα πυρκαγιών και ο μέσος όρος καμένης γης (σε στρέμματα) ανά έτος σε κάθε νομό.

2.3.2 Μέσες τιμές και αθροίσματα

Για την μελέτη και την επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων υπολογίστηκαν διάφορες μέσες τιμές και αθροίσματα. Η επεξεργασία, αρχικά, έγινε με εφαρμογή χρονικού βήματος σε επίπεδο ημέρας, δεκαήμερου και μήνα.

Τα ημερήσια δεδομένα είναι αυτά που συντελούν την βάση δεδομένων και ως εκ τούτου δεν χρειάστηκε κάποιος περαιτέρω υπολογισμός. Στη συνέχεια από την βάση αυτή υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές του δείκτη FWI και το σύνολο (άθροισμα) των καμένων δασικών εκτάσεων αντίστοιχα, ανά δεκαήμερο και στην συνέχεια ανά μήνα για κάθε νομό ξεχωριστά. Έπειτα, σε επίπεδο νομού, έγινε ταξινόμηση των δεδομένων κατά φθίνουσα καμένη έκταση με αποτέλεσμα να είναι εμφανείς οι μεγαλύτερες δασικές πυρκαγιές σε κάθε νομό με τον αντίστοιχο δείκτη επικινδυνότητας για εκείνη την ημέρα. Η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε και σε επίπεδο περιφερειών. Για κάθε περιφέρεια υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές του δείκτη FWI και το σύνολο της καμένης δασικής έκτασης ανά ημέρα από τους επιμέρους νομούς. Ακολουθήθηκε η παραπάνω διαδικασία με χρονικό βήμα δεκαήμερου και μήνα.

Τέλος εφαρμόστηκε μία ακόμη μέθοδος κατά την οποία έγινε ομαδοποίηση των δεδομένων. Συγκεκριμένα στα ημερήσια δεδομένα, τα οποία ταξινομήθηκαν κατά φθίνουσα καμένη δασική έκταση, πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση ανά δέκα συμβάντα πυρκαγιών σε κάθε νομό. Σε επόμενο βήμα, υπολογίστηκαν το σύνολο των καμένων στρεμμάτων και η μέση τιμή του δείκτη επικινδυνότητας για κάθε δεκάδα φαινομένων. Η ομαδοποίηση της πληροφορίας ανά τάξη μεγέθους καμένης έκτασης αποσκοπεί σε εύρεση καλύτερης συσχέτισης καθώς μειώνει και εξομαλύνει το σφάλμα που προκύπτει από διάφορους παράγοντες που μπορούν, δυνητικά να επηρεάζουν το BA (π.χ. τοπογραφία) (Grillakis, et al., 2022).

2.3.3 Χρονικό Βήμα

Η εφαρμογή χρονικού βήματος στην επεξεργασία των δεδομένων αφορά στην καλύτερη κατανόηση της σχέσης των δύο μεταβλητών σε βάθος χρόνου. Ο FWI αποτελεί δείκτη

επικινδυνότητας ο οποίος βασίζεται σε μετεωρολογικά δεδομένα. Ωστόσο οι μετεωρολογικές συνθήκες μεταβάλλονται καθημερινά και επηρεάζουν τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες από ημέρα σε ημέρα. Η κλιματική κατάσταση της κάθε ημέρας, εβδομάδας ή/και μήνα δρα αλυσιδωτά και συντελεί στην διαμόρφωση των περιβαλλοντικών συνθηκών των επόμενων ημερών, εβδομάδων ή/και μηνών αντίστοιχα. Επομένως, οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε παρόντα χρόνο συμβάλλουν με ουσιαστικό τρόπο στην διαμόρφωση εκείνων των συνθηκών, κατάλληλων για έναρξη πυρκαγιάς στο μέλλον.

Π.χ. στις Μεσογειακές χώρες κατά τους θερινούς μήνες επικρατούν συχνά συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών με παράλληλη απουσία βροχοπτώσεων για συνεχόμενο αριθμό ημερών. Πυρκαγιά είναι εφικτό να σημειωθεί οποιαδήποτε ημέρα από αυτές ή ακόμα να υπάρξουν παραπάνω από ένα φαινόμενο πυρκαγιάς και επομένως και καμένης έκτασης.

Προκειμένου να συμπεριληφθεί η πληροφορία αυτή, της χρονικής διαφοράς δηλαδή που μπορεί να υπάρχει μεταξύ της εμφάνισης κατάλληλων συνθηκών για την εκδήλωση πυρκαγιάς (και περαιτέρω υψηλή τιμή του δείκτη FWI) και την καταγραφή καμένης έκτασης, εφαρμόστηκαν χρονικά βήματα. Η ανάλυση των δεδομένων και η εύρεση της συσχέτισης των μεταβλητών ξεκίνησε σε ημερήσιο επίπεδο. Κρίθηκε σημαντικό να εξεταστεί η συσχέτιση τους σε εύρος δέκα συνεχόμενων ημερών και έπειτα και στην διάρκεια ενός μήνα. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε εθνικό επίπεδο και η συσχέτιση υπολογίστηκε για όλους τους επιμέρους νομούς της χώρας, μέσω της χρήσης μέσης τιμής του δείκτη και αθροίσματος της καμένης έκτασης για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα.

2.3.4 Λογάριθμος καμένης έκτασης

Κατά την επεξεργασία και τον υπολογισμό των συντελεστών έχει χρησιμοποιηθεί ο λογάριθμος της καμένης έκτασης και όχι ο αριθμός των καμένων στρεμμάτων. Η λογαρίθμηση της μεταβλητής εφαρμόζεται καθώς έχει παρατηρηθεί ότι προσφέρει καλύτερη γραμμική συσχέτιση και επομένως καλύτερες τιμές των συντελεστών pearson και R-squared (Zubkova, 2021) (Grillakis, et al., 2022).

2.3.5 Αφαίρεση δεδομένων

Κατά την ανάλυση των δεδομένων παρατηρήθηκε ότι στα δεδομένα της καμένης έκτασης περιλαμβάνονται, όπως είναι λογικό, ένα μεγάλο πλήθος μηδενικών στοιχείων καθώς δεν έχει εκδηλωθεί κάποια δασική πυρκαγιά την αντίστοιχη μέρα. Αυτή η πληροφορία αφαιρέθηκε από το σύνολο προκειμένου να μελετηθούν μόνο οι περιπτώσεις στις οποίες εκδηλώθηκε δασική πυρκαγιά.

2.3.6 Κατώφλια τιμή

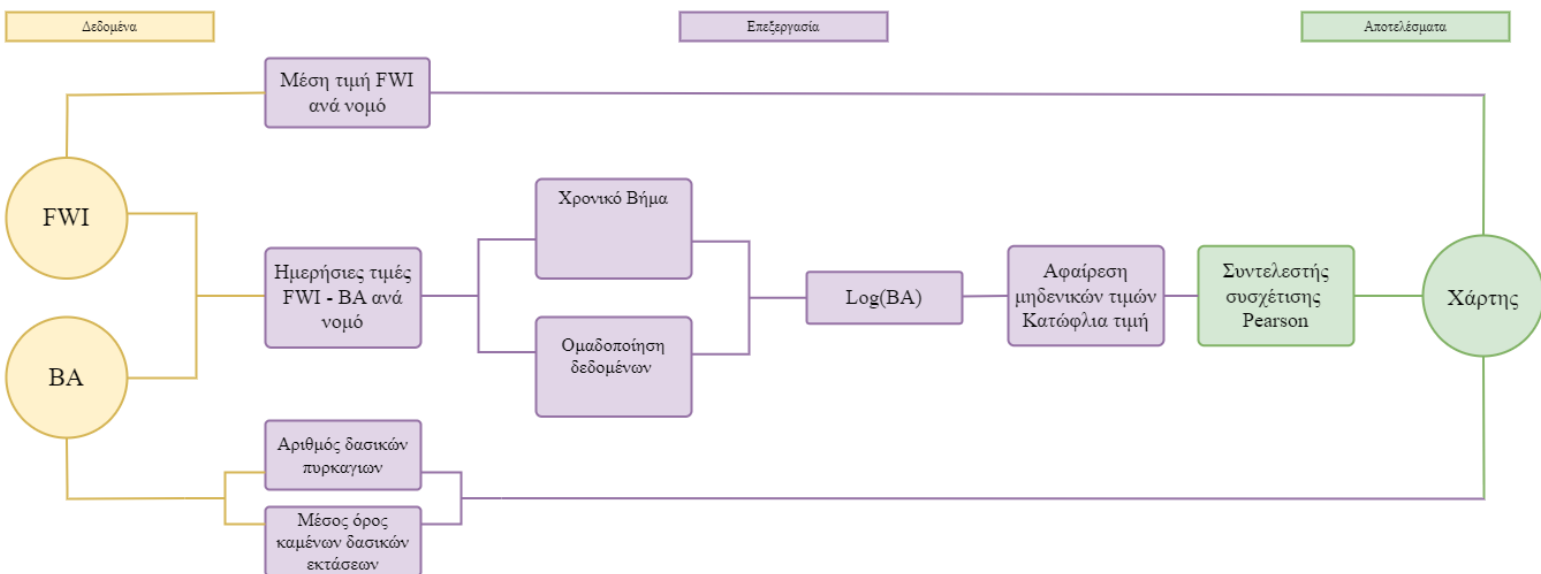
Ακολουθώντας την μεθοδολογία που αναλύεται παραπάνω, έγινε έλεγχος της συσχέτισης μεταξύ του δείκτη FWI και της έκτασης της δασικής πυρκαγιάς. Αρχικά ως βάση δεδομένων λήφθηκαν όλα τα φαινόμενα πυρκαγιάς κατά τα οποία κάηκε τουλάχιστον 1

στρέμμα δασικής γης.

Ωστόσο θεωρήθηκε ορθό να δοκιμαστούν και άλλες κατώφλιες τιμές (10,20,50 στρεμμ.) ώστε να ελεγχθεί αν στο μεγάλο πλήθος της πληροφορίας χάνεται κάποια συσχέτιση. Αυτό εναπόκειται στο γεγονός ότι υπάρχουν πολλοί εξωτερικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την έκβαση μιας πυρκαγιάς και αν αυτή θα κατασβησθεί εγκαίρως ή όχι. Ένας ακόμα λόγος για ορισμό επιπλέον διαφορετικών κατωφλίων είναι η αντίληψη ότι για φαινόμενα μεγαλύτερων πυρκαγιών θα υπάρχει καλύτερη συσχέτιση. Η ιδέα αυτή βασίστηκε στην ύπαρξη μεγάλου πλήθους φαινομένων κατά τα οποία κάηκε μικρή έκταση (π.χ. μικρότερη των 10 στρ.) από τυχαία αίτια και όχι απαραίτητα λόγω μετεωρολογικών παραγόντων.

Όλα αυτά οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η πραγματική συσχέτιση του FWI και του BA επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους. Επομένως είναι αναγκαία η περαιτέρω διερεύνηση με σκοπό να παρατηρηθεί αν σε μικρότερο πλήθος δεδομένων υπάρχει καλύτερη σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών και γιατί. Ωστόσο κατά την εφαρμογή των διαφόρων κατώφλιων τιμών (10,20,50 στρεμμ.) δεν παρατηρήθηκε, για την πλειοψηφία των νομών, ισχυρή βελτίωση της συσχέτισης και επομένως τα αποτελέσματα βασίζονται σε δεδομένα με καμένη έκταση μεγαλύτερη του ενός στρέμματος (>1 στρεμμ.).

2.4 Διάγραμμα ροής



Εικόνα 2.2 : Διάγραμμα ροής δεδομένων

3. Αποτελέσματα

3.1 Πυρκαγιές και καμένες δασικές εκτάσεις

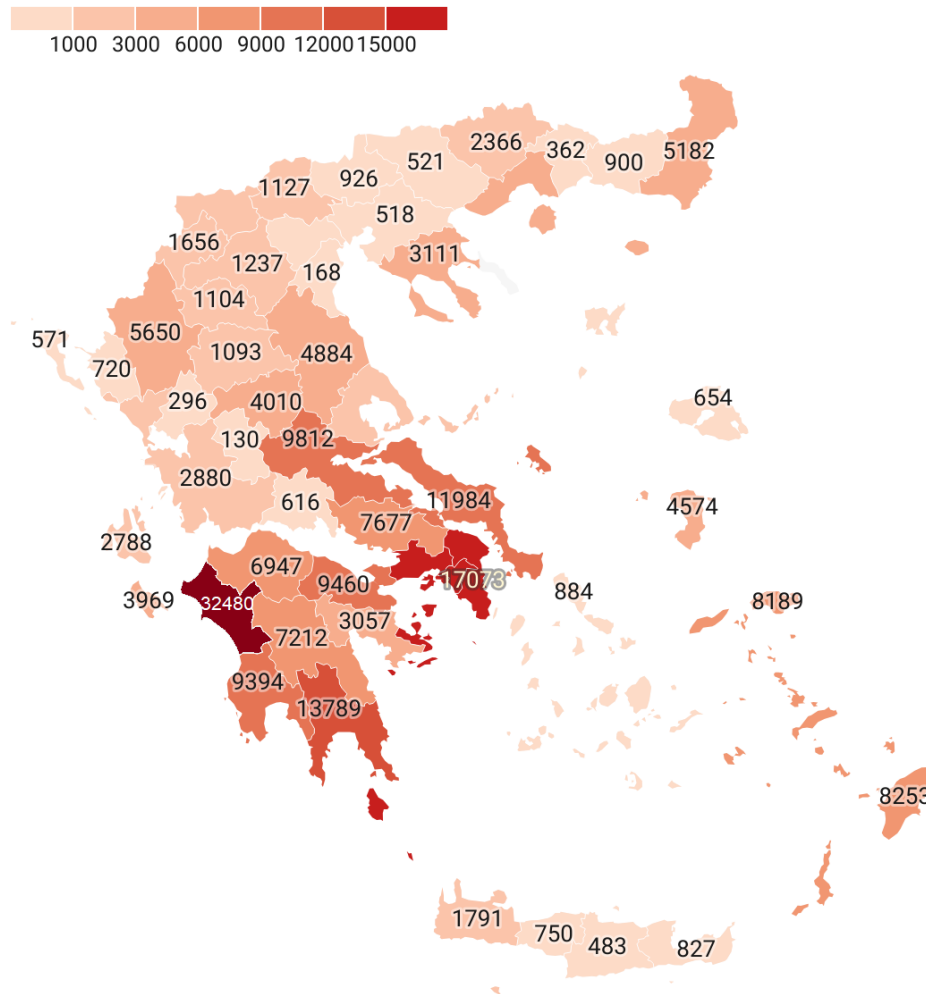
3.1.1 Αριθμός Δασικών Πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα φαινόμενο με σημαντικό φυσικό ρόλο στα Μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα και αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα για τα σύγχρονα κράτη, ιδίως της Μεσογείου, όπως η Ελλάδα. Ειδικότερα, κατά τα 30 τελευταία χρόνια, η Ελλάδα αντιμετωπίζει μεγάλο και πολύπλευρο πρόβλημα με τις δασικές πυρκαγιές. Σύμφωνα με τον Κατάγη (2017), την περίοδο 1990-2015 ο αριθμός των δασικών πυρκαγιών διπλασιάστηκε σε σχέση με την περίοδο 1970-1990, την περίοδο 1980-2010 οι συνολικά αποτεφρωμένες εκτάσεις αντιστοιχούσαν στο 10% της συνολικής έκτασης της Ελλάδας με το 85% αυτών να οφείλεται σε δασικές πυρκαγιές ενώ οι πυρκαγιές του 2007 στην Πελοπόννησο είναι οι καταστροφικότερες των τελευταίων 20 ετών με πάνω από 1.500.000 στρέμματα καμένων εκτάσεων και μεγάλες απώλειες σε ανθρώπινες ζωές.

Για την περίοδο 2000-2020 (περίοδος μελέτης) καταγράφηκαν συνολικά 19.831 δασικές πυρκαγιές στην χώρα, δηλαδή περίπου 944 φαινόμενα πυρκαγιάς ανά έτος. Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός δασικών πυρκαγιών που έχουν εκδηλωθεί σε κάθε νομό.

3.1.2 Καμένες δασικές εκτάσεις

Στη συνέχεια εξετάστηκαν τα δεδομένα του ΒΑ. Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται ο μέσος όρος εκτάσεων δασικής γης που έχουν καεί ανά έτος σε κάθε Νομό για την χρονική περίοδο 2000-2020. Όπως φαίνεται παρακάτω σε κάθε Νομό της Ελλάδας καίγονται, επί το πλείστον, κοντά στα 4.000 στρέμματα (σύνολο καμένης έκτασης/ αριθμός Νομών= 4200 στρεμ./νομό). Ελάχιστη καμένη έκταση σημειώνεται στον Νομό Ημαθίας (όπως και για τον αριθμό πυρκαγιών) με μόλις 58 στρέμματα ενώ ιδιαίτερα υψηλός είναι ο αριθμός για τον Νομό Ηλείας ο οποίος ανέρχεται στα 32.500 στρέμματα.

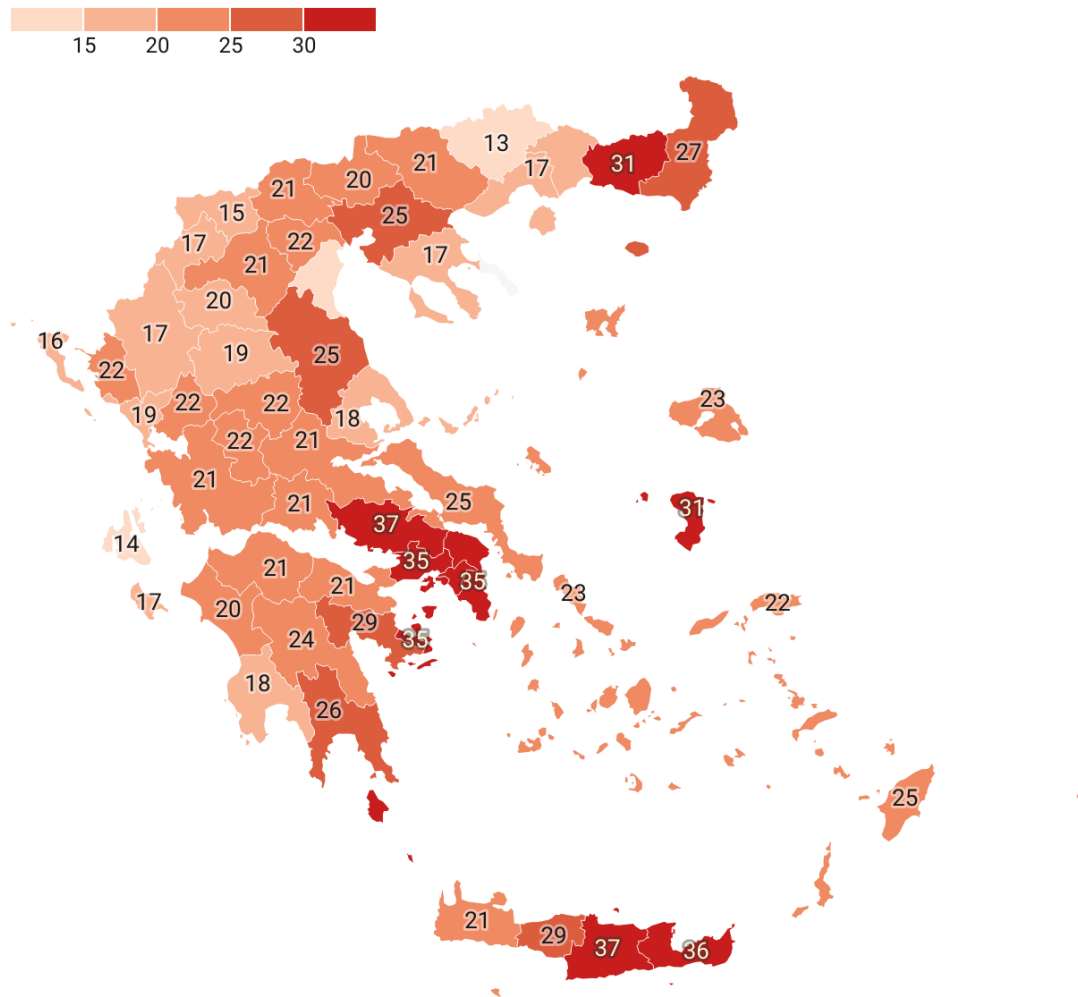


Map: Δεμίρογλου Αναστασία • Map data: GEODATA.gov.gr • Created with Datawrapper

Εικόνα 3.2: Μέσος όρος καμένων δασικών εκτάσεων ανά έτος και νομό (σε Στρέμματα)

3.2 Δείκτης FWI

Στην Εικόνα 3.3 παρουσιάζεται η μέση τιμή του δείκτη FWI.



Map data: GEODATA.gov.gr • Created with Datawrapper

Εικόνα 3.3: Μέσος όρος FWI ανά νομό

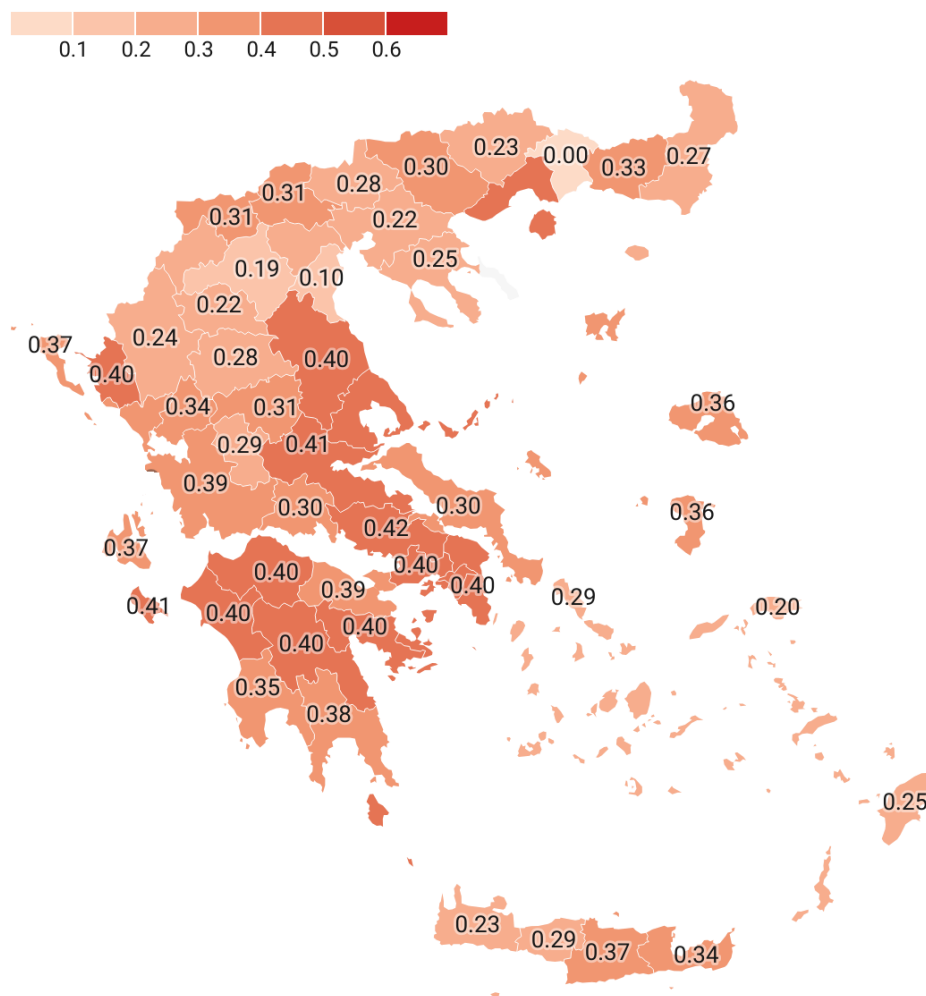
Από την Εικόνα 3.3 προκύπτει πως ο FWI παρουσιάζει συχνότερα έντονο κίνδυνο πυρκαγιάς στους Νομούς της Βοιωτίας, Αττικής, Ροδόπης, του Ηρακλείου και του Λασιθίου ($FWI > 30$). Στην πλειοψηφία των υπόλοιπων Νομών εμφανίζονται τιμές που υποδηλώνουν μέτριο (12-21 π.χ. Ιωάννινα 17) ή ακόμα και σχετικά υψηλό κίνδυνο έναρξης πυρκαγιάς (22-30 π.χ. Αρκαδία 25). Ο παραπάνω χάρτης κατασκευάστηκε από ημερήσια δεδομένα του δείκτη επικινδυνότητας, μόνο για ημέρες κατά τις οποίες εκδηλώθηκε φαινόμενο δασικής πυρκαγιάς, ανεξαρτήτου μεγέθους καμένης έκτασης.

3.3 Αποτελέσματα συσχέτισης

3.3.1 Ημερήσια συσχέτιση

Για κάθε νομό της Ελλάδας υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson με μεταβλητές τον λογάριθμο της καμένης έκτασης (logBA) και τον δείκτη επικινδυνότητας FWI.

Στον παρακάτω χάρτη τα αποτελέσματα αφορούν συσχέτιση σε ημερήσιο επίπεδο. Για κάθε ημέρα, δηλαδή, που εκδηλώθηκε πυρκαγιά υπολογίστηκε ο λογάριθμος της καμένης έκτασης, σημειώθηκε ο δείκτης FWI και τέλος υπολογίστηκε, για κάθε νομό, η συσχέτιση των δύο αυτών τιμών.



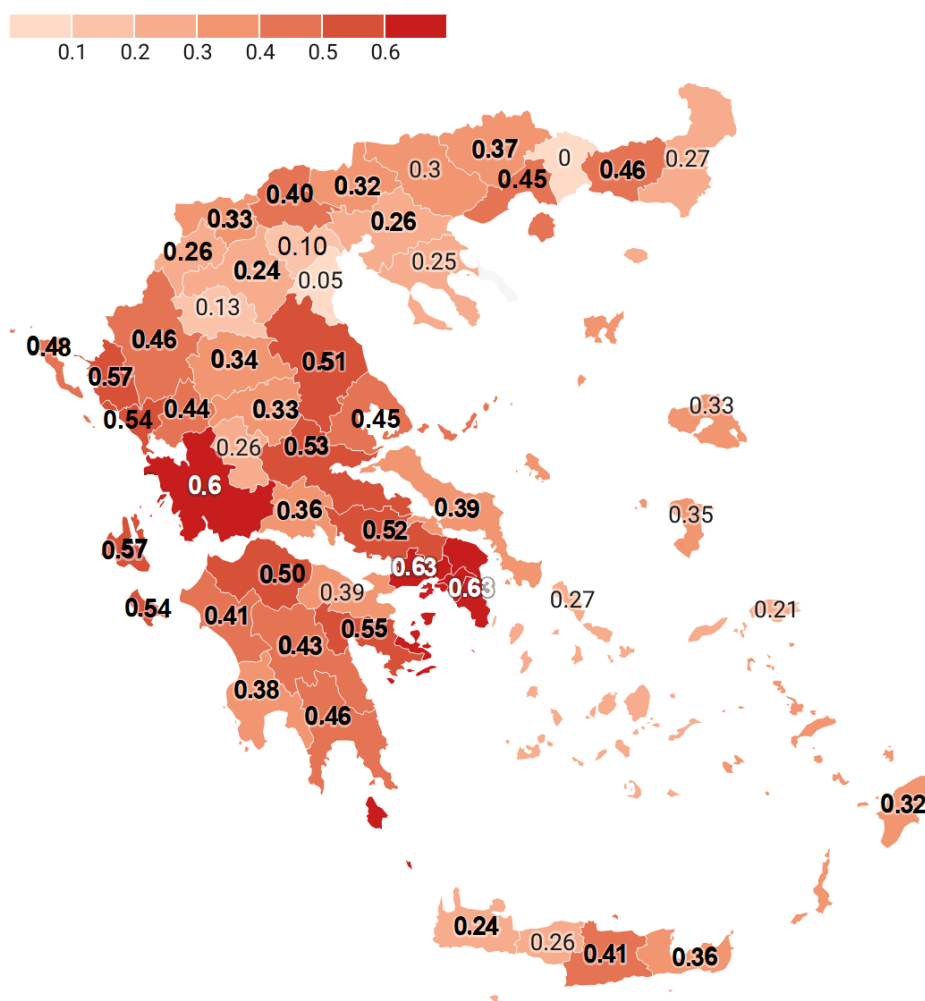
Map data: GEODATA.gov.gr • Created with Datawrapper

Εικόνα 3.4: Αποτελέσματα / Συσχέτιση log(BA) - FWI για ημερήσια δεδομένα

Από την Εικόνα 3.4 προκύπτει ότι οι περισσότεροι νομοί της Ελλάδας παρουσιάζουν ασθενή έως μέτρια συσχέτιση ανάμεσα στις ημερήσιες τιμές του δείκτη και τις αντίστοιχες καμένες δασικές περιοχές με τιμή μικρότερη του 0.50. Συγκεκριμένα σε καμία περιοχή ο δείκτης του Pearson δεν ξεπερνά την τιμή 0.50 ενώ στον Νομό Ξάνθης η συσχέτιση είναι μηδενική, δηλαδή οι μεταβλητές δεν σχετίζονται γραμμικά μεταξύ τους.

3.3.2 Συσχέτιση ανά δέκα ημέρες

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε η ίδια μέθοδος σε επίπεδο νομού αλλά σε χρονικό διάστημα 10 ημερών. Πιο αναλυτικά για όλη την περίοδο μελέτης έγιναν αθροίσματα των εκτάσεων καμένης γης και υπολογίσθηκε και ο μέσος όρος του δείκτη FWI των αντίστοιχων (10) ημερών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην ακόλουθη εικόνα. Με έντονη γραμματοσειρά είναι όλες εκείνες οι τιμές των νομών που παρουσιάζουν θετική μεταβολή, επομένως και βελτίωση της συσχέτισης σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο (ημερήσια μέθοδο).

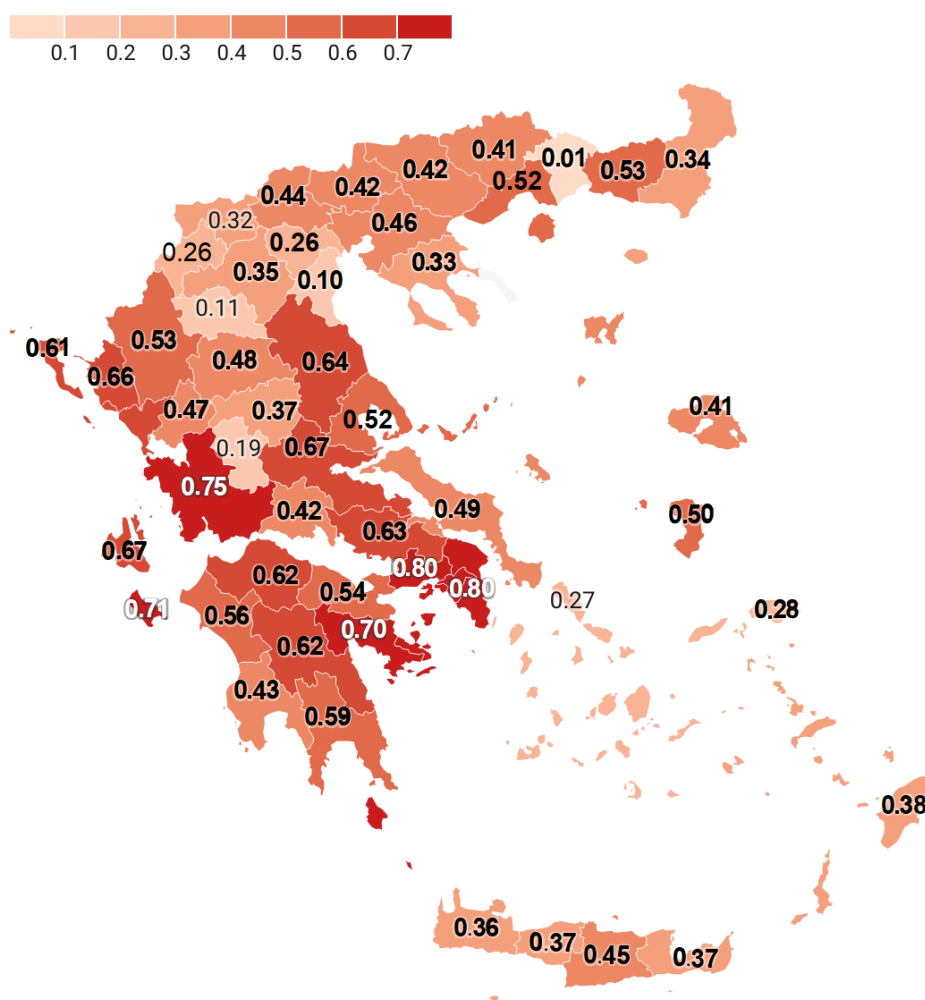


Εικόνα 3.5: Αποτελέσματα / Συσχέτιση $\log(BA)$ - FWI για δεδομένα δεκαήμερου

Από τον χάρτη της Εικόνας 3.5 προκύπτει ότι η συσχέτιση σε διάρκεια 10ήμερου, για την πλειοψηφία των νομών, παρουσιάζει αύξηση. Συγκεκριμένα στον Νομό Αττικής ο βαθμός συσχέτισης αυξάνεται από 0.40 σε 0.63. Παρομοίως στον Νομό Αιτωλοακαρνανίας ο δείκτης Pearson παίρνει τιμή 0.60 από 0.39, ενώ αρκετοί νομοί όπως της Λάρισας, της Φθιώτιδας και της Αργολίδας παρουσιάζουν πλέον πιο ισχυρή συσχέτιση με τιμή μεγαλύτερη του 0.50. Ωστόσο, παρά την βελτίωση των τιμών, τα αποτελέσματα δεν φανερώνουν ιδιαίτερα ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη και της καμένης έκτασης.

3.3.3 Μηνιαία συσχέτιση

Σε αυτό το σημείο πραγματοποιήθηκε η ίδια συσχέτιση με τις μεταβλητές υπολογισμένες σε διάρκεια ενός μήνα. Υπολογίσθηκαν, δηλαδή, ο μέσος όρος του δείκτη επικινδυνότητας και η συνολική καμένη δασική έκταση για κάθε μήνα και για κάθε νομό. Κατά τον ίδιο τρόπο με έντονη γραμματοσειρά παρουσιάζονται οι τιμές των νομών με βελτιωμένη συσχέτιση.

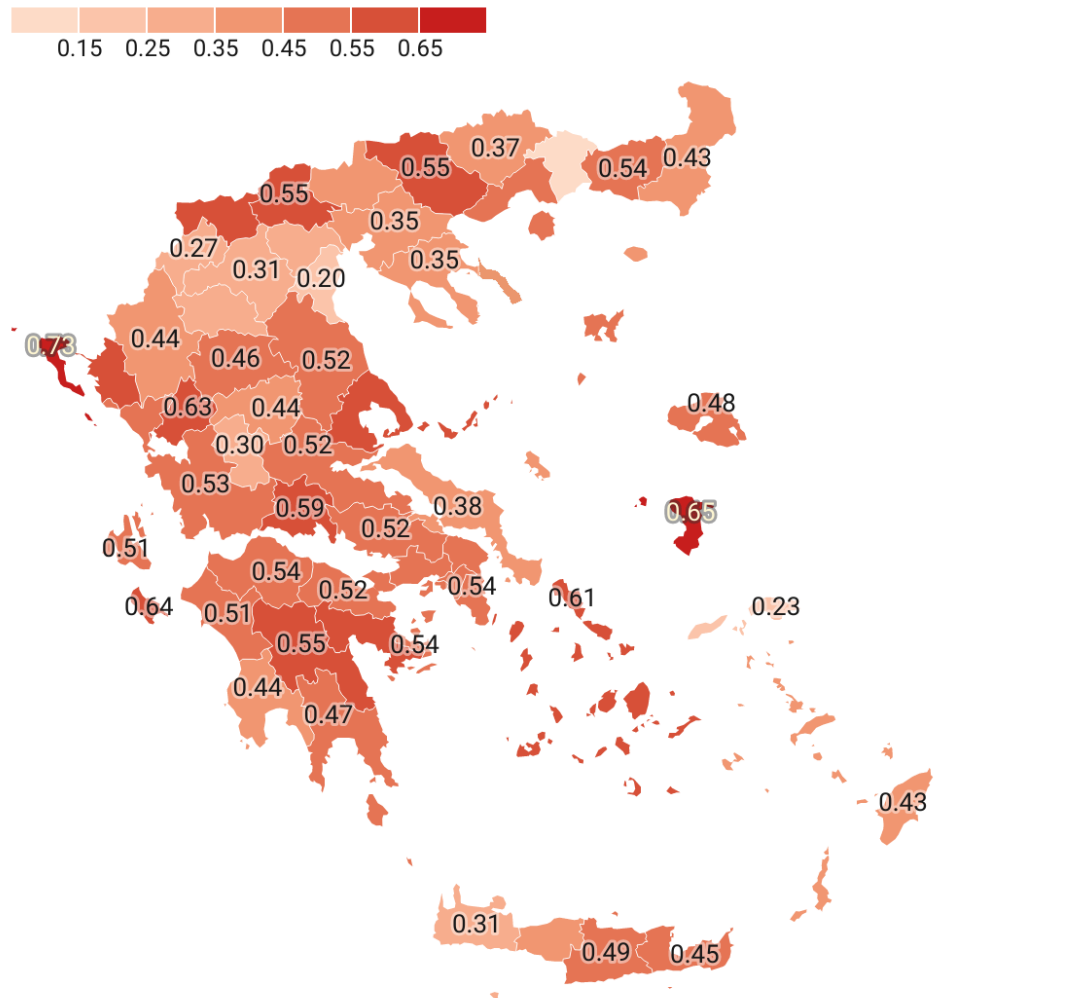


Εικόνα 3.6: Αποτελέσματα / Συσχέτιση $\log(BA)$ - FWI σε μηνιαία δεδομένα

Όπως διακρίνεται παραπάνω (Εικόνα 3.6) και σε συνδυασμό με τους χάρτες των Εικόνων 11 και 12 αρκετές περιοχές της Ελλάδας τείνουν να έχουν ισχυρά θετική συσχέτιση. Αυτές οι περιοχές αφορούν Νομούς προς το κέντρο της χώρας όπως είναι η Αττική με συντελεστή συσχέτισης 0.80, η Αιτωλοακαρνανία με 0.75 και η Αργολίδα με 0.70. Αντίθετα υπάρχουν και οι Νομοί στους οποίους ο βαθμός συσχέτισης είναι μηδενικός σε όλα τα στάδια της ανάλυσης αποδεικνύοντας πως δεν υπάρχει σχέση μεταξύ του δείκτη επικινδυνότητας και του μεγέθους καμένης γης μετά από μια δασική πυρκαγιά. Τέτοιες περιοχές είναι οι Νομοί της Ξάνθης, Πιερίας και Γρεβενών.

3.3.4 Ομαδοποίηση δεδομένων

Τέλος, παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα από την μέθοδο της ομαδοποίησης των πυρκαγιών.



Εικόνα 3.7: Αποτελέσματα / Ομαδοποίηση πυρκαγιών και Συσχέτιση $\log(BA)$ - FWI

Από την απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτής της μεθόδου (Χάρτης Εικόνας 3.7) φαίνεται ότι η συσχέτιση που προκύπτει είναι ασθενέστερη για αρκετές περιοχές σε σύγκριση με την προηγούμενη μέθοδο. Συγκεκριμένα σε 24 νομούς ο συντελεστής συσχέτισης έχει μειωθεί σε σχέση με τα μηνιαία αποτελέσματα ενώ σε 6 Νομούς παρατηρήθηκε σταθερός ή μικρής μεταβολής (της τάξεως του 0,01) συντελεστής συσχέτισης. Κάποια παραδείγματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

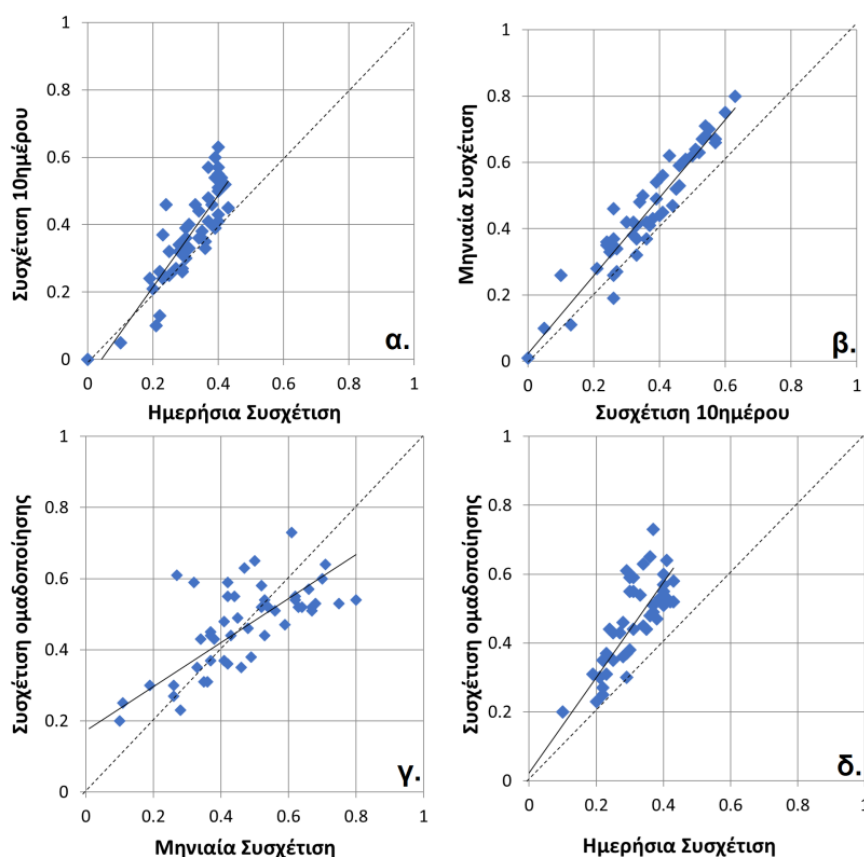
Νομός	Pearson για ημερήσια δεδομένα	Pearson για μηνιαία δεδομένα	Pearson για μέθοδο ομαδοποίησης
Αιτωλοακαρνανίας	0,39	0,75	0,53
Κεφαλονιάς	0,37	0,67	0,51
Λακωνίας	0,38	0,59	0,47
Λάρισας	0,40	0,64	0,52
Πρεβέζης	0,39	0,68	0,53
Καβάλας	0,43	0,52	0,52
Ροδόπης	0,33	0,53	0,54

Πίνακας 3.1: Σύγκριση αποτελεσμάτων για ενδεικτικούς σταθμούς

Για τους υπόλοιπους 20 Νομούς ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson δίνει καλύτερες τιμές, με τις περισσότερες να είναι μικρής θετικής μεταβολής ενώ υπάρχουν και εξαιρέσεις με σημαντική αύξηση αποδεικνύοντας θετικά ισχυρή συσχέτιση. Τέτοια παραδείγματα είναι οι Νομοί Φλώρινας με τιμή 0.59 (από 0.32), Κυκλάδων με τιμή 0.61 (από 0.27), Άρτας με τιμή 0.63 (από 0.47).

Ωστόσο σημαντικό είναι να αναφερθούν οι περιοχές που ενώ παρουσιάζουν θετική μεταβολή συσχέτισης, αυτή είναι μικρής σημασίας καθώς ούτε η προηγούμενη τιμή αλλά ούτε η νέα αποδίδει ισχυρή συσχέτιση. Π.χ. ο Νομός Πιερίας με νέα τιμή συσχέτισης 0.2, οι Νομοί Ευρυτανίας και Ημαθίας με τιμή 0.3.

3.3.5 Σύγκριση Μεθόδων



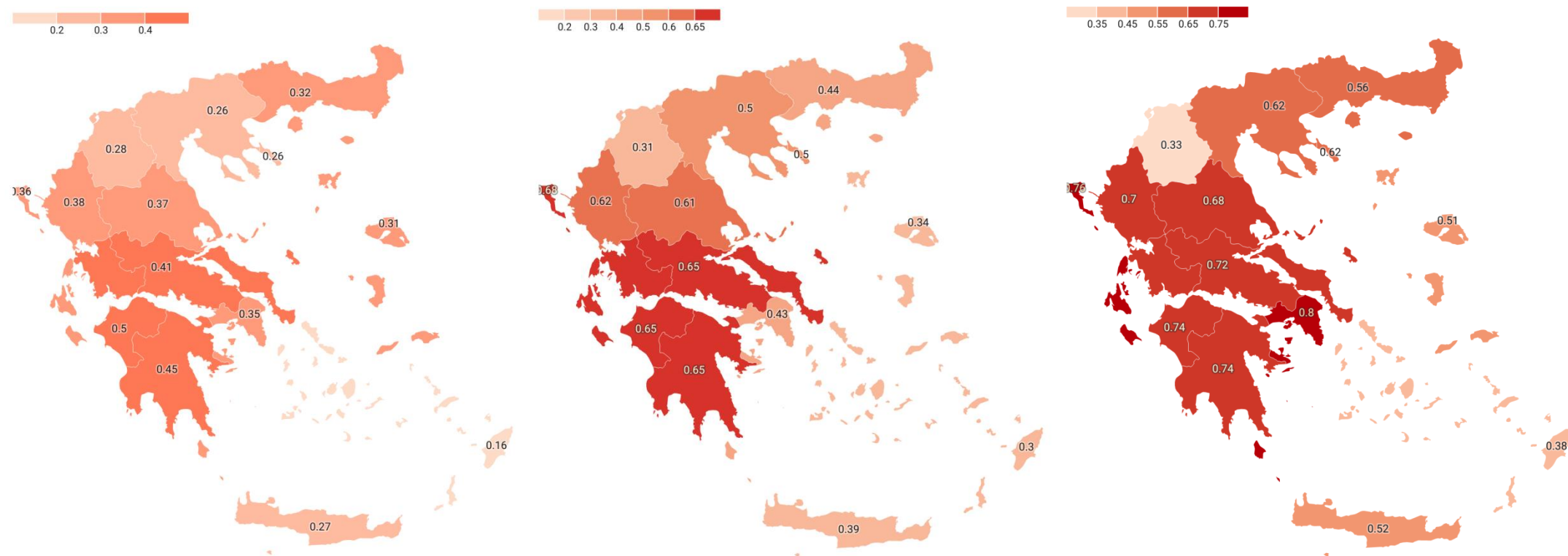
Εικόνα 3.8: Διαγράμματα Σύγκρισης Μεθόδων α. Ημερήσιας-Συσχέτιση Δεκαήμερου β. Δεκαήμερου-Μηνιαίας Συσχέτισης γ. Ομαδοποίησης-Μηνιαία Συσχέτιση δ. Ομαδοποίησης-Ημερήσιας Συσχέτισης

Από την εφαρμογή των διάφορων μεθόδων συσχέτισης, που παρουσιάζονται στις προηγούμενες ενότητες, λήφθηκαν διαφορετικά αποτελέσματα. Βάση των αποτελεσμάτων συσχέτισης είναι εφικτή η σύγκριση των μεθόδων και η εύρεση αυτής που υπερτερεί έναντι των υπολοίπων.

Στην Εικόνα 3.8 απεικονίζονται τα διαγράμματα σύγκρισης των μεθόδων ανά δύο. Τα διαγράμματα α και β συγκρίνουν τις συσχετίσεις με ημερήσιο και δεκαήμερο χρονικό βήμα και δεκαήμερο με μηνιαίο χρονικό βήμα αντίστοιχα. Ειδικότερα, στο διάγραμμα από την θέση των διάφορων σημείων σε σχέση με την διαγώνιο γραμμή είναι εύλογο το συμπέρασμα ότι η συσχέτιση σε βάθος χρόνου δέκα ημερών είναι ισχυρότερη, ενώ στο διάγραμμα β ισχυρότερη είναι η συσχέτιση σε μηνιαία βάση.

Στα διαγράμματα γ και δ γίνεται σύγκριση των συσχετίσεων ημέρας και μήνα με αυτή της ομαδοποίησης. Στο διάγραμμα δ είναι φανερό πως η μέθοδος της ομαδοποίησης υπερτερεί σε μεγάλο βαθμό έναντι στην μέθοδο με ημερήσιο βήμα. Αντίθετα στο διάγραμμα γ δεν είναι έκδηλο ποια μέθοδος υπερτερεί καθώς τα σημεία-σταθμοί είναι κατανεμημένα σχεδόν κατά ισάριθμο αριθμό και πάνω και κάτω της διαγωνίου.

3.3.6 Συσχετίσεις σε επίπεδο Περιφερειών



Εικόνα 3.9: Αποτελέσματα α. Ημερήσια Συσχέτιση β. Συσχέτιση Δεκαήμερου γ. Μηνιαία Συσχέτιση σε επίπεδο Περιφερειών

Όπως απεικονίζεται στις παραπάνω εικόνες η συσχέτιση σε επίπεδο Περιφερειών δεν παρουσιάζει μεγάλη διαφορά με αυτή σε επίπεδο Νομού. Συγκεκριμένα στον χάρτη της εικόνας 3.9 α. φαίνεται ότι η συσχέτιση παραμένει ασθενής για τα ημερήσια δεδομένα. Αντίστοιχα στην εικόνα 3.9 β. η συσχέτιση του BA με τον FWI αυξάνεται με μέγιστες τιμές 0.65 στις περιφέρειες Πελοποννήσου, Δυτικής Ελλάδας και Στερεάς Ελλάδας ενώ εξίσου σημαντική είναι η συσχέτιση με τιμή 0.63 στα Ιόνια νησιά, η τιμή 0.62 στην Ήπειρο και 0.61 στη Θεσσαλία.

Τέλος, σε βάθος χρόνου ενός μήνα παρουσιάζονται ξανά οι καλύτερες συσχετίσεις. Ειδικότερα τα αποτελέσματα σε επίπεδο περιφέρειας είναι πιο εμφανή και απεικονίζεται πιο ομοιόμορφα η ισχυρή σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ του δείκτη επικινδυνότητας και της καμένης έκτασης (λογάριθμου καμένης έκτασης) στην πλειοψηφία των Περιφερειών της Ελλάδας. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο Ν. Αττικής είναι αυτός που κατέχει την υψηλότερη τιμή του δείκτη συσχέτισης με 0.80 ενώ ακολουθούν τα Ιόνια νησιά με 0.76, η Δυτική Ελλάδα και η Πελοπόννησος με 0.74, η Στερεά Ελλάδα με 0.72 και η Ήπειρος με 0.70.

4. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στο μέγεθος της καμένης έκτασης (BA), που προκύπτει από μια δασική πυρκαγιά, και στον δείκτη FWI. Κύριος σκοπός είναι να εξεταστεί αν ο δείκτης είναι αξιόπιστος για τα ελληνικά δάση και τις πυρκαγιές από τις οποίες απειλούνται και αν μέσω αυτού είναι δυνατή η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την επιτυχή πρόληψη και καταστολή.

Όπως έχει προαναφερθεί, η μελέτη αυτή αφορά δεδομένα από φαινόμενα δασικών πυρκαγιών για το χρονικό διάστημα 2000-2020 στην περιοχή της Ελλάδας τα οποία αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν με δύο μεθόδους. Η πρώτη αφορά την επεξεργασία των δεδομένων χρονικά (ανά ημέρα, δεκαήμερο και μήνα) ενώ η δεύτερη εναπόκειται στην κατηγοριοποίηση των πυρκαγιών σε ομάδες ανάλογα με το μέγεθος της καμένης έκτασης.

Τα αποτελέσματα από την πρώτη ανάλυση αποκαλύπτουν ότι ο δείκτης FWI παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το BA, ιδιαίτερα στις κεντρικές περιοχές της χώρας. Ειδικότερα σε ημερήσιο επίπεδο κανένας Νόμος δεν παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση. Αυτό συνεπάγεται ότι για το χρονικό διάστημα 2000-2020 η τιμή του δείκτη δεν ήταν πάντα, ως επί το πλείστον, ανάλογη του μεγέθους της πυρκαγιάς και της καμένης έκτασης. Ωστόσο κατά την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων σε διάρκεια δέκα (10) ημερών και μηνός υπάρχει ισχυρότερη συσχέτιση του δείκτη και του BA. Επομένως τα αποτελέσματα της συσχέτισης είναι καλύτερα για μεγαλύτερα χρονικά βήματα μερικών ημερών και ακόμα ισχυρότερα σε βάθος ενός μήνα. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει συσσώρευση της πληροφορίας. Με άλλα λόγια, η εφαρμογή της μεθόδου σε βάθος χρόνου επιτρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή και η επίδραση που υπάρχει από ημέρα σε ημέρα καθώς και η κλιμάκωση των συνθηκών για την εκδήλωση πυρκαγιάς. Αφορά, δηλαδή, το γεγονός ότι μπορεί μια ημέρα με υψηλή τιμή FWI να μην εκδηλωθεί πυρκαγιά αλλά σε πέραν μερικών ημερών με εξίσου ικανή τιμή του δείκτη, λόγω κλιμάκωσης των συνθηκών (όπως συνεχόμενη υψηλή ατμοσφαιρική θερμοκρασία, χαμηλή υγρασία και μεγάλη ταχύτητα αέρα) να ξεσπάσει φωτιά. Όπως γίνεται αντιληπτό, σε επίπεδο ημέρας όλη αυτή η πληροφορία χάνεται. Επιπλέον υφίσταται και ο παράγοντας της τυχαιότητας στην πρόκληση μιας δασικής πυρκαγιάς. Από το σύνολο των δεδομένων είναι εμφανές το γεγονός ότι ο υψηλός δείκτης επικινδυνότητας δεν συνεπάγεται πάντα εκδήλωση πυρκαγιάς και κατά επέκταση καμένη δασική έκταση. Αντίστροφα, υφίσταται και ο ανθρώπινος παράγοντας, ο οποίος άλλωστε είναι ανεξάρτητος από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Αξίζει να σημειωθεί πως και στις τρεις περιπτώσεις ο Νομός με την καλύτερη συσχέτιση είναι ο Νομός Αττικής.

Τα αποτελέσματα σε επίπεδο Περιφέρειας δεν διαφέρουν σημαντικά από αυτά της πρώτης μεθόδου ανά νομό. Ουσιαστικά προσδίδουν μια πιο ομοιόμορφη εικόνα της συσχέτισης που υπάρχει στην Ελλάδα. Αν γίνει άμεση σύγκριση των συσχετίσεων των επιμέρους νομών και της αντίστοιχης Περιφέρειας παρατηρείται βελτίωση στις τιμές συσχέτισης. Π.χ. σε επίπεδο μήνα η Περιφέρεια Πελοποννήσου έχει δείκτη συσχέτισης 0.74 ενώ οι επιμέρους Νομοί της έχουν μικρότερες τιμές όπως Ν. Αργολίδας 0.70, Ν. Αρκαδίας 0.62, Ν. Κορινθίας 0.54, Ν. Λακωνίας 0.59 και Ν. Μεσσηνίας 0.43. Αυτό εναπόκειται στο γεγονός ότι σε επίπεδο Περιφερειών ο αριθμός των δεδομένων είναι πολύ μεγαλύτερος και μπορεί να ανιχνευθεί καλύτερη και ισχυρότερη σχέση μεταξύ των

μεταβλητών. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, όσο μεγαλώνει η χωρική και χρονική κλίμακα, περιορίζεται ο παράγοντας της τυχαιότητας.

Τα αποτελέσματα της δεύτερης μεθόδου, κατά την οποία έγινε ομαδοποίηση των συμβάντων δασικών πυρκαγιών ανά δέκα φαινόμενα και ανά τάξη μεγέθους, εκδηλώνουν μια μέτρια έως και ασθενή συσχέτιση του δείκτη και της καμένης έκτασης σε όλη την περιοχή μελέτης. Οι καλύτερες τιμές του δείκτη συσχέτισης, και σε αυτή την περίπτωση, εμφανίζονται ως επί το πλείστον στους νομούς στα κεντρικά της χώρας με λίγες εξαιρέσεις κάποιους νομούς στα βόρεια όπως οι Νομοί Πέλλας, Σερρών και Φλώρινας. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε για να εξακριβωθεί αν, για κάθε νομό της Ελλάδας, οι διάφορες κατηγορίες μεγέθους καμένης έκτασης αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο εύρος τιμών του δείκτη. Αν, δηλαδή, παρατηρείται ένας κανόνας που για συγκεκριμένο εύρος τιμών FWI εκδηλώνονται συνήθως δασικές πυρκαγιές που αποφέρουν συγκεκριμένη τάξη μεγέθους καμένης έκτασης, κάτι που θα επέτρεπε την ταξινόμηση και κατηγοριοποίηση τους. Παρά το γεγονός ότι τα αποτελέσματα των συσχέτισεων αυτών είχαν μικρότερο βαθμό, ακόμα εκδηλώνεται σημαντική συσχέτιση. Η μείωση που παρατηρούμε πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι ο δείκτης FWI δηλώνει την επικινδυνότητα έναρξης πυρκαγιάς λόγω μετεωρολογικών παραγόντων, ενώ η επέκταση της πυρκαγιάς και το μέγεθος, τελικά, της καμένης περιοχής εξαρτάται και από εξωτερικούς παράγοντες. Τέτοιοι παράγοντες εναπόκεινται σχεδόν αποκλειστικά στην ανθρώπινη παρέμβαση η οποία μπορεί να είναι θετική όπως η γρήγορη κατάσβεση και καταστολή (π.χ. Πυροσβεστικό Σώμα) ή αντίστροφα κάποια εμπρηστική συμπεριφορά. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, στην Ελλάδα το μεγαλύτερο ποσοστό κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς οφείλεται σε εσκεμμένη πράξη (εμπρησμό), ως επακόλουθο αμέλειας και ατυχήματος και όχι λόγω φυσικών αιτιών. Η ίδια αδυναμία του δείκτη υπεισέρχεται και στην πρώτη μέθοδο καθώς το σύνολο δεδομένων είναι το ίδιο. Εξίσου σημαντικό να αναφερθεί ότι τα δεδομένα σε αυτή τη προσέγγιση είναι ανά ημέρα και έτσι χάνεται η πληροφορία από την τυχόν κλιμάκωση των φυσικών παραγόντων που μπορεί να οδηγήσουν σε πυρκαγιά.

Τέλος, άξιο σχολιασμού είναι το γεγονός ότι η κεντρική Ελλάδα εμφανίζει σε όλες τις περιπτώσεις ισχυρότερη συσχέτιση μεταξύ του δείκτη και του BA. Οι περιοχές αυτές έχουν σημειώσει περισσότερα φαινόμενα δασικών πυρκαγιών σε σχέση με τους υπόλοιπους νομούς της Ελλάδας που, όπως διακρίνεται, έχουν μικρότερη τιμή συσχέτισης. Αυτό πιθανότατα επιδρά καθώς όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των δεδομένων τόσο καλύτερη είναι η αξιολόγηση της συσχέτισης. Αντίθετα για μικρά δείγματα (π.χ. Ν. Ξάνθης), η δύναμη ανίχνευσης στατιστικά σημαντικών σχέσεων είναι μειωμένη και η εύρεση της πραγματικής σχέσης μηδαμινή.

Συνοψίζοντας, ο δείκτης επικινδυνότητας έναρξης πυρκαγιάς FWI είναι αρκετά αξιόπιστος για τα Ελληνικά δεδομένα. Η τιμή του δεν είναι πάντα ανάλογη της καμένης έκτασης που κάηκε ή πρόκειται να καεί, αλλά είναι ανάλογη της πιθανότητας η πυρκαγιά να είναι πολύ ισχυρή με μεγάλες συνέπειες και ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Από τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν, αυτή που φαίνεται να υπερτερεί έναντι των υπολοίπων είναι η μέθοδος μηνιαίας συσχέτισης στην οποία παρουσιάζονται και οι ισχυρότερες τιμές. Εξίσου αποτελεσματική φαίνεται και η μέθοδος της ομαδοποίησης η οποία εμφανίζει εξίσου σημαντικές θετικές τιμές συσχέτισης, με προοπτικές βελτίωσης σε περαιτέρω έρευνα και μελέτη των δεδομένων της. Ιδιαίτερα πρέπει να τονιστεί ότι η μέθοδος της μηνιαίας συσχέτισης παρουσιάζει ιδιαίτερα καλές τιμές αλληλεπίδρασης στις κεντρικές περιοχές της Ελλάδας (π.χ. Αττική, Πελοπόννησος), ενώ η εφαρμογή της ομαδοποίησης έχει καλύτερα

αποτελέσματα στις βορειότερες περιοχές της χώρας αλλά και στα νησιά του Αιγαίου (Κυκλάδες, Δωδεκάνησα) Τέλος, ακολουθούν οι μέθοδοι συσχέτισης με χρονικό βήμα δεκαημέρου και ημέρας. Αυτές οι μέθοδοι εκδηλώνουν την ύπαρξη θετικής συσχέτισης, ωστόσο ο βαθμός αλληλεπίδρασης που εκδηλώνουν δεν είναι ιδιαίτερα ισχυρός ώστε να αποδείξει αντίστοιχα και ισχυρά θετική αλληλεξάρτηση.

5. Προτάσεις για Μελλοντική έρευνα

Προκειμένου να δημιουργηθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα γύρω από την συσχέτιση του FWI με τα ελληνικά δεδομένα (δασικές πυρκαγιές) παρατίθενται παρακάτω μερικές προτάσεις.

Μελέτη της συσχέτισης των επιμέρους μετεωρολογικών παραμέτρων στις οποίες βασίζεται ο FWI. Αναλυτικότερα, να εξεταστεί ξεχωριστά η σχέση των παρατηρημένων καμένων δασικών εκτάσεων με την ατμοσφαιρική θερμοκρασία, την σχετική υγρασία, τον άνεμο και την βροχόπτωση. Αυτή η έρευνα θα αποσκοπήσει στην παρατήρηση των παραμέτρων εκείνων που κατέχουν καθοριστικό ρόλο για τα δεδομένα της Ελλάδας ανά περιοχή.

Παρομοίως, μπορούν να εξεταστούν όλοι οι επιμέρους δείκτες του FWI (FFMC, DMC, DC, ISI, BUI), οι οποίοι αφορούν συνδυασμό των μετεωρολογικών παραμέτρων. Οι μελέτες αυτές μπορούν να βοηθήσουν στον σχεδιασμό αποτελεσματικότερων στρατηγικών που θα συμβάλλουν στην καλύτερη πρόβλεψη και πρόληψη.

Χρήση και μη μετεωρολογικών παραμέτρων όπως είδος βλάστησης, τύπος χώματος, ποσότητα καύσιμης ύλης, κοινωνικοοικονομικοί παράμετροι κλπ. για να εξεταστούν και τοπικού χαρακτήρα αίτιες σχετικά με την έναρξη και εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς. Θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό να γίνει έρευνα σχετικά με το είδος της βλάστησης και επομένως και της καύσιμης ύλης που υπήρξε σε κάθε δασική πυρκαγιά που έχει σημειωθεί, καθώς και η τοπογραφία της περιοχής. Από αυτήν την μελέτη μπορεί να επιτευχθεί μια κατηγοριοποίηση της βλάστησης ως προς την ευκολία καύσης και κατά προέκταση του κινδύνου πυρκαγιάς, γεγονός που μπορεί να ευνοήσει την καλύτερη κατάστροση στρατηγικών αποκατάστασης πυρόπληκτων περιοχών (αναδάσωση) μετά από κάποια πυρκαγιά.

Τέλος, προτείνεται η πιο εντατική μελέτη της επίδρασης του καιρού στις δασικές πυρκαγιές με χρήση δυναμικών μοντέλων τοπικής κλίμακας για την προσομοίωση των συνθηκών ανάπτυξης μιας δασικής πυρκαγιάς.

6. Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Γκόφας Α., 2001 Εγχειρίδιο Δασοπροστασίας, Εκδόσεις Γιαχούδη Θεσσαλονίκη

Ηλιόπουλος Ν., 2013 Πυρο-Μετεωρολογία, Πυρκαγιές και Κλιματική Αλλαγή, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Καϊλίδης Δ.Σ., 1981. Υλωρική, Πρώτο Μέρος, Δασικές Πυρκαγιές. Δεύτερη Έκδοση. Θεσσαλονίκη

Καϊλίδης Δ.Σ., 1990 Δασικές πυρκαγιές, 3η Έκδοση. Δημοσιεύσεις Γιαπούλη-Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη

Καϊλίδης Δ.Σ., 1990 Κλίμα μετεωρολογικοί παράγοντες και πυρκαγιές δασών – θαμνοτόπων και χορτοσκεπών στην Ελλάδα, τόμος ΛΓ/2, Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.

Καϊλίδης Δ.Σ., 1993 Δασικές πυρκαγιές 3η Έκδοση Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη Θεσσαλονίκη

Καϊλίδης & Καρανικόλα, 2004 Οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα τον προηγούμενο αιώνα (1900-2000) Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ

Καϊλίδης, Δ.Σ., Μαρκάλας Στ., Θεοδωροπούλου Δ., 1977 Μια χρονιά καταστροφικών πυρκαγιών στα δάση και στα βοσκοτόπια της χώρας μας, Επετηρίδα Γεωπονικής Δασολογικής Σχολής, Δασολογικό Τμήμα, Α.Π.Θ.

Καϊλίδης Δ.Σ., Μαρμαράς Ν., Μαρκάλας Στ., 1979 Μηχανική κοπή και απομάκρυνση υπορόφου αειφύλλων σε φυσικό δάσος Χαλεπίου Πεύκης και σε τεχνητό Τραχείας Πεύκης. Δασικά Χρονικά. Τόμος, 21 (6-7-8)

Καϊλίδης Δ.Σ., Παντελής Δ., 1988 Τα μεγέθη των πυρκαγιών των δασών-θαμνοτόπων χορτοβοσκοτόπων και η σχέση τους με τους μετεωρολογικούς παράγοντες με την διάρκεια του έτους και του 24/ώρου. Τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Υλωρικής, Α.Π.Θ.

Καλαμποκίδης Κ., Ρούσσου Ο., Βασιλάκος Χ., & Μαρκοπούλου Δ., 2004 Χωρική μοντελοποίηση καύσιμης ύλης και συμπεριφοράς πυρκαγιών τοπίου Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου., Ελλ/κής Γεωγραφικής Εταιρείας & Τμ/τος Γεωγραφίας Παν/μίου Αιγαίου, Μυτιλήνη. Τόμος Ι

Καλιαμπάκος, Δ., 2023 Κλιματική αλλαγή - Περιβαλλοντική παρακολούθηση [Κεφάλαιο]. Στο Καλιαμπάκος, Δ. (Επιμ.) 2022. Έρευνα και δράσεις για την αναγέννηση των ορεινών και απομονωμένων περιοχών Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις

Καράλη Α., Λεμέσιος Γ., Ρούσσος Α., Τενέντες Β., 2014 Διευθυντής ερευνών: Γιαννακόπουλος Χ. Εκτίμηση ευπάθειας των ελληνικών δασών στον κίνδυνο

πυρκαγιάς λόγω της κλιματικής αλλαγής, Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Κατάνης, 2017 Χαρτογράφηση και παρακολούθηση καμένων εκτάσεων με την χρήση χρονοσειρών δορυφορικών εικόνων, Α.Π.Θ.

Κοκκάλης Α., 2017 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις , συνέπεια δασικής πυρκαγιάς και μέτρα αποκατάστασης, Τμήμα γεωλογίας και γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ, Αθήνα

Κωνσταντινίδης Π., 2003 Μαθαίνοντας να ζούμε με τις δασικές πυρκαγιές, Εκδόσεις Χριστοδουλίδης Κωνσταντινίδης, Π. & Στ. Γκατζογιάννης, (2001) «Επιλογή δασικών ειδών για αναδασώσεις σε πυρόπληκτες περιοχές» ΕΘΙΑΓΕ–Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών

Μπαχλαβας Α., 2011 Δημιουργία Χάρτη Επικινδυνότητας Δασικών Πυρκαγιών με Χρήση Αντικειμενοστράφους Ανάλυσης Τηλεσκοπικών και Χαρτογραφικών Δεδομένων σε επίπεδο Χώρας , Τμήμα Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα

Νουνοπούλου Ε., 2016 Πυρκαγιές – Οδηγίες Προστασίας, Ελληνική Ομάδα Διάσωσης, Τμήμα Αντιμετώπισης Καταστροφών, Αθήνα

Ντάφης, Σπ., 1973. Ταξινόμησης της Δασικής Βλαστήσεως της Ελλάδος. Επιστημονική Επετηρίδα Γεωπονικής και Δασολογικής Σχολής. Αφιέρωμα εις μνήμην Αν. Οικονομόπουλου. Τόμος ΙΕ΄. Τεύχος Β΄.

Ντάφης Σπ., 1986 Δασική Οικολογία. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη

Σμύρης Π., 2012 Κεφ. Εισαγωγή: Το δασικό Οικοσύστημα, στο **Παπαγεωργίου Α.Χ., Καρέτσος Γ., Κατσαδωράκης Γ.** (επιμ. Έκδοσης) Το Δάσος Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, WWF Ελλάς, Αθήνα

Ξανθόπουλος Γ., 1998 Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον Κέντρο Πολιτιστικής Έρευνας και Επιμόρφωσης, επίκεντρα Φθινόπωρο 1998

Ξανθόπουλος Γ., 2004 Η Σημασία της κατανόησης του ρόλου της φωτιάς σε κάθε δασικό οικοσύστημα, Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων Ημερίδα; «Η Αειφορία στη Δασοπονία σήμερα και η σημασία της Βάσης Δεδομένων Μακροχρόνιων Παρατηρήσεων» Αθήνα

Ξανθόπουλος Γ., 2007 Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα: 10 χρόνια αργότερα, ΕΘΙΑΓΕ τριμηνιαία έκδοση Τεύχος 28 Απρ–Ιουν.2007

Ξανθόπουλος Γ, Caballero 2007 Πυρκαγιές στη μίξη δασών – οικισμών: Μαθήματα από πρόσφατες καταστροφές -Το αύριο εν κινδύνω Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές στην Ευρώπη και την Ελλάδα, Εκδόσεις Gutenberg

Ρήγας Χ., 2010 Διερεύνηση των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον - Η περίπτωση του νομού Ηλείας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθήνας

Ταμπάκης Στ., Καρανικόλα 2015 Δασικές Πυρκαγιές και Κοινωνία, Έκδοση: Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Δ.Π.Θ., Ορεστιάδα

Υφαντή Δ., 2015 Δασικές Πυρκαγιές: Χωροθέτηση Πύργων παρατήρησης με χρήση ΣΓΠ, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Ξένη Βιβλιογραφία

Alexander, M.E. and W.J. De Groot. 1988. Fire behavior in jack pine stands as related to the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System. Can For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, Alta. Poster (with text)

Athanasiadis, 1985. G. Athanasiadis Numerical investigations of direct and indirect integral equations for solving the heat conduction problem Comput. Meth. Appl. Mech. Engrg.(1985)

de Groot, W. J., Field, R. D., Brady, M. A., Roswintarti, O., Mohamad, M., 2006: Development of the Indonesian and Malaysian Fire Danger Rating Systems. Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change, doi: 10.1007/s11027-006-9043-8.

Ellenberg, H. 1973. Oekosystemforschung. Ergebnisse von Symposien der Deutschen Botanischen Gesellschaft und der Gesellschaft fuer Angewandte Botanik in Innsbruck, Juli 1971. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York.

Forestry Canada Fire Danger Group, 1992: Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction System. Forestry Canada, Ottawa, ON, Information Report ST-X-3.

Grillakis M., Voulgarakis A., Rovithakis A., Seiradakis K., Koutroulis A., Field R., Lazaridis M., 2022. Climate drivers of global wildfire burned area. Environmental Research Letters.

Goldammer, J. G. 1999. Early warning systems for the prediction of an appropriate response to wildfires and related environmental hazards. pp. 9-70. In: K. T. Goh, D. H. Schwela, J. G.

Goldammer, J. G. & C. de Ronde (eds.). 2004. Wildland Fire Management Handbook for Sub-Sahara Africa. Global Fire Monitoring Center and Oneworldbooks, Cape Town.

Kalabokidis K, • G.I Xanthopoulos •P. Moore • D. Caballero • G. Kallos et al (2011) «Decision support system for forest fire protection in the Euro–Mediterranean region»

Karali et.al 2014 Karali, A., Hatzaki, M., Giannakopoulos, C., Roussos, A., Xanthopoulos, G., and Tenentes, V.: Sensitivity and evaluation of current fire risk and future projections due to climate change: the case study of Greece, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 143–153

- Karanikola, P, T. Panagopoulos, S. Tampakis, M. I. Karantoni, and G. Tsantopoulos (2014)** «Facing and managing natural disasters in the Sporades islands, Greece» *Nat. Hazards Earth Syst.Sci.*, 14, 995–1005, 2014 www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/995/2014
- Mariell, D.L. 1978.** The use of historical fire weather data in prescribed burn planning. *For. Chron.* 54: 96-98.
- Martell, D.L., R.J. Drysdale, G.E. Doan and D. Boychuk. 1984.** An evaluation of forest fire initial attack resources. *Interfaces* 14(5): 20-32.
- Martell, D.L., S. Otukal and B.J. Stocks. 1987.** A logistic model for predicting daily people-caused forest fire occurrence in Ontario. *Can. J. For. Res.* 17. 394-401.
- Merrill, D.F. and M.E. Alexander (eds). 1987.** Glossary of forest fire management terms. Fourth edition. *Natl. Res. Counc. Can., Can. Comm. For. Fire Manage.*, Ottawa, Ont. Publ. NRCC No. 2651 6. 91 p.
- Papathanasiou, 2016** FLIRE DSS: A web tool for the management of floods and wildfires in urban and periurban areas(Article)
- Raddatz, R.L. and G.B. Atkinson. 1982.** Automated weather element input to forest fire severity forecasting. *Environ. Can., Atmos. Environ. Serv., Downsview, Ont. Tech. Memor. TEC 877.* 15 p.
- Spanos, S.I., et.al., 1996** Spanos, S.I., Zarpas, C., Dalezios, N. (1996), Meteorological and satellite indices for the assessment of forest fires, International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology, Volos, Greece, 24-26 April 1996, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 583-588 pp.
- Van Wagner CE (1987)** The development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forest Service, Forest Technical Report 35. (Ottawa, ON)
- Van Wagner, C.E., (1977).** Effects of slope on fire spread rate.Environment Canada. *Can. For. Serv. Bi-Monthly Res.Notes*, 33: 7-8.
- Van Wagner, C.E. 1977c.** Conditions for the start and spread of crown fire, *Can. J. For. Res.* 7: 23-34.
- Van Wagner, C.E. 1987a.** Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. *Can. For. Serv., Ottawa, Ont. For. Tech. Rep.* 35. 37 p.
- Van Wagner, C.E. 1987b.** Elaboration et structure de la Methode Canadienne de l'Indice For&-Meteo. *Serv. Can. For., Ottawa, Ont. Rap. Tech. For.* 35F. 34 p.
- Viegas, et al., 2008** Viegas, D. X., Bovio, G., Ferreira, A., Nosenzo, A. and Sol, B., 1999: Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of Wildland Fire*, 9(4), 235–246pp.

Zaitseret.al, 2016 Why are forest fires generally neglected in soil fauna research? A mini-review, Applied by Soil Ecology, Volume 98, February 2016, p 261-271

Ιστοσελίδες

URL 1: <https://www.geogreece.gr/dasos.php>

URL 2: <http://1gym-pyrgou.ilei.sch.gr/dasos/ellinika.htm>

URL 3: <https://www.mirc.ntua.gr/natural-disasters-metsovo/wildfires>

URL 4: <https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/background/summary>

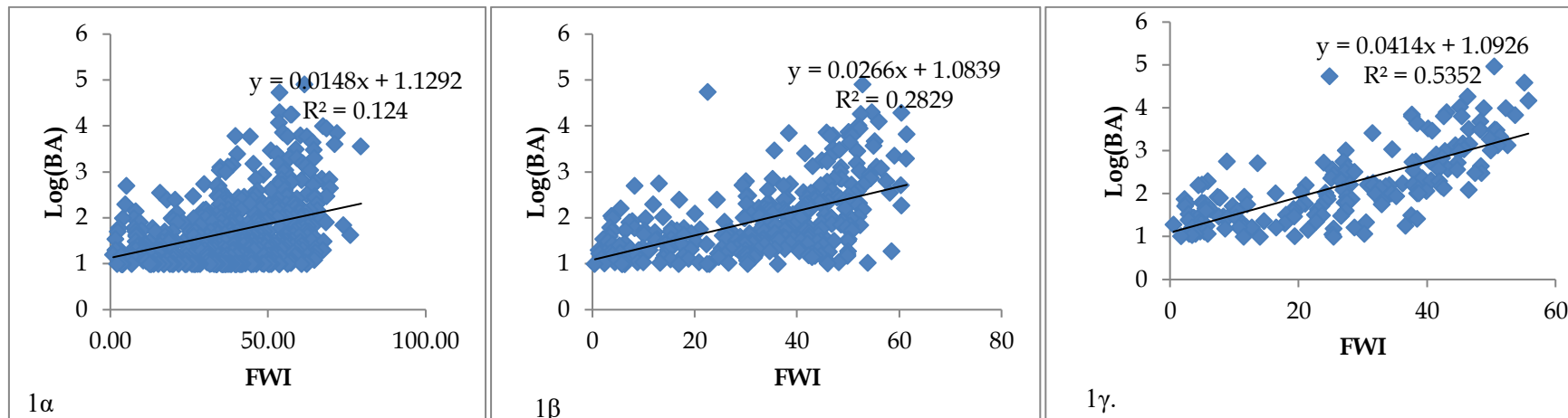
URL 5: [https://www.fireservice.gr/el GR/synola-dedomenon](https://www.fireservice.gr/el_GR/synola-dedomenon)

URL 6: <https://climate.copernicus.eu/fire-weather-index>

Παράρτημα

Παρακάτω παρατίθενται αποτελέσματα τα οποία αφορούν την συσχέτιση του λογάριθμου της καμένης έκτασης και της τιμής FWI με χρήση του συντελεστή προσδιορισμού R^2 . Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερα ασθενή συσχέτιση στο σύνολο των Νομών της χώρας.

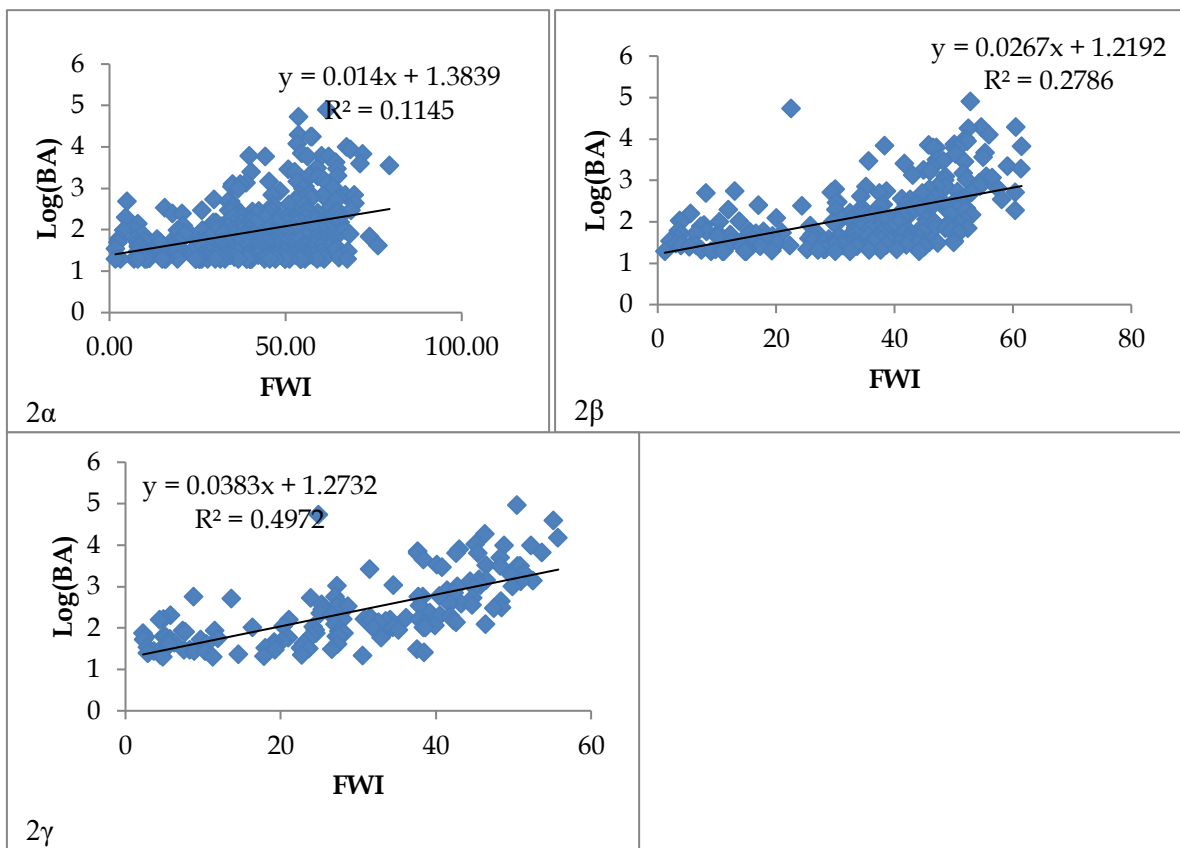
Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τον Νομό Αττικής.



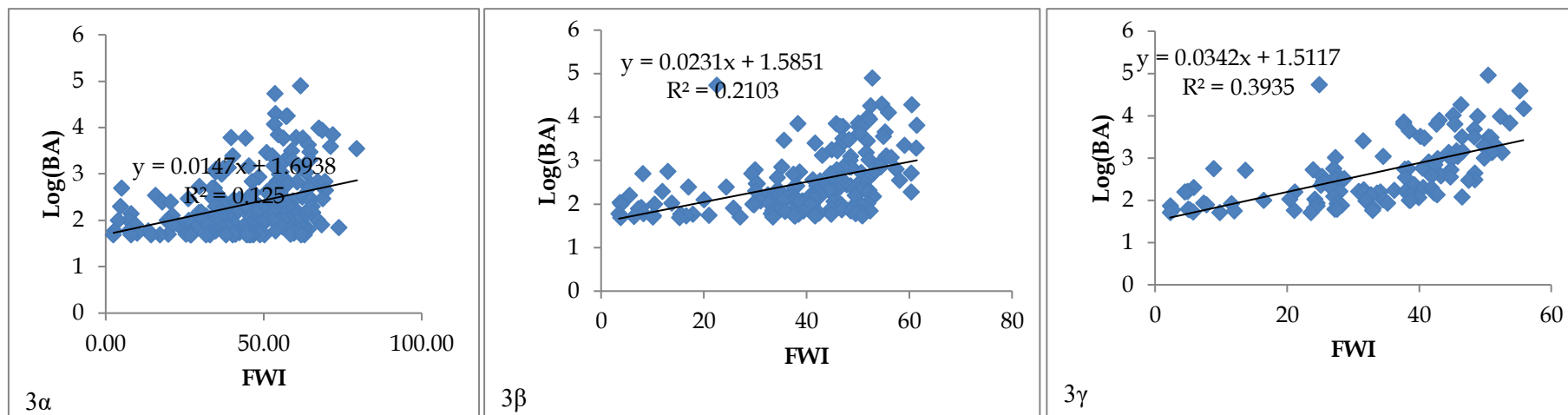
Διάγραμμα Π.1: α. R-squared ημερήσια δεδομένα β. δεδομένα δεκαημέρου γ. μηνιαία δεδομένα για κατώφλια τιμή 10 στρεμ.

Όπως και με τον συντελεστή Pearson, έτσι και με τον R-squared εξετάστηκαν οι συσχετίσεις σε βαθμό ημέρας, δεκαημέρου και μήνα.

Επίσης εξετάστηκαν διάφορες κατώφλιες τιμές, συγκεκριμένα η βάση των 10 καμένων στρεμμάτων, των 20 και των 50 στρεμ.



Διάγραμμα Π.2: R-squared για α. ημερήσια δεδομένα β. δεδομένα δεκαημέρου γ. μηνιαία δεδομένα για κατώφλια τιμή τα 20 στρεμ.



Διάγραμμα Π.3: R-squared α για ημερήσια δεδομένα β. δεδομένα δεκαημέρου γ. μηνιαία δεδομένα με κατώφλια τιμή 50 στρεμ.

Όπως φαίνεται παραπάνω ο συντελεστής προσδιορισμού δεν λαμβάνει ιδιαίτερα υψηλές τιμές και ειδικά στον Νομό Αττικής στον οποίο ο δείκτης Pearson λαμβάνει την υψηλότερη συσχέτιση. Επίσης παρατηρείται πως καθώς η κατώφλια τιμή αυξάνει συντελεστής R^2 επί το πλείστον παρουσιάζει μείωση. Το ίδιο παρατηρήθηκε και με τον δείκτη Pearson και επομένως τα αποτελέσματα που προτιμήθηκαν να παρουσιαστούν αφορούν το σύνολο δεδομένων εξαιρουμένων των μηδενικών $\log(BA)$, δηλαδή του $\log(1)$ ή αλλιώς τέθηκε κατώφλια τιμή μεγαλύτερη του ενός καμένου στρέμματος δασικής γης. Αυτό θεωρήθηκε ως πιο ορθό καθώς λήφθηκαν υπό μελέτη όλες οι περιπτώσεις που ξέσπασε φωτιά ακόμα και αν αυτή αφορούσε πολύ μικρή έκταση.