

Στατιστική ανάλυση μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα

Αντώνης Σκρεπετός





ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ: Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας και
Εφαρμοσμένων Οικονομικών**

ΤΜΗΜΑ: Γεωγραφίας

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:
Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου**

**Κατεύθυνση: Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών
Κινδύνων Και Καταστροφών**

«Στατιστική ανάλυση μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα»

Σκρεπετός Αντώνιος

Αθήνα, 2018



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ: Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας και
Εφαρμοσμένων Οικονομικών**

ΤΜΗΜΑ: Γεωγραφίας

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:
Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου**

**Κατεύθυνση: Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών
Κινδύνων Και Καταστροφών**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

**Πέτρος Κατσαφάδος (Επιβλέπων)
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο**

**Δρ. Γαβριήλ Ξανθόπουλος
Αναπληρωτής Ερευνητής, Ινστιτούτο Μεσογειακών και Δασικών
Οικοσυστημάτων**

**Γιώργος Μπάλιας
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο**

Ο Σκρεπετός Αντώνιος δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν έναν από τους πιο σοβαρούς κινδύνους για τα δάση της Μεσογείου, και κατ' επέκταση της Ελλάδας, ενώ έχουν υπάρξει αντικείμενο αυξανόμενου ενδιαφέροντος κατά τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμια κλίμακα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μεγάλες δασικές πυρκαγιές, οι οποίες κατά κανόνα εκτός από τη μεγάλη καμένη έκταση προξενούν και τις μεγαλύτερες καταστροφές. Επομένως, η αναγνώριση των παραγόντων για την εξέλιξη των δασικών πυρκαγιών σε μεγάλες, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών τόσο σε επίπεδο πρόληψης, όσο και σε επίπεδο καταστολής.

Η παρούσα διπλωματική εργασία προσπαθεί να προσδιορίσει τους ατμοσφαιρικούς, τοπογραφικούς και επιχειρησιακούς παράγοντες που επιδρούν στην εμφάνιση μεγάλων δασικών πυρκαγιών αλλά και να ποσοτικοποιήσει τις αλληλεπιδράσεις τους. Στο πλαίσιο αυτό, συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν δεδομένα από τη Δασική Υπηρεσία και το Πυροσβεστικό Σώμα για το χρονικό διάστημα 2000-2015, δημιουργώντας μία βάση δεδομένων με μεγάλες πυρκαγιές (>500ha) όπου εφαρμόστηκε η στατιστική μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης (Linear Regression) και μία βάση δεδομένων μικρών πυρκαγιών (<500ha) που ενώθηκε με την πρώτη για να εφαρμοστεί η μέθοδος της λογιστικής παλινδρόμησης (Logistic Regression). Αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία μοντέλων για την εκτίμηση του μεγέθους της καμένης έκτασης.

Απώτερος σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας είναι η υποστήριξη των εμπλεκόμενων φορέων στην πρόληψη και δασοπυρόσβεση μελλοντικών πυρκαγιών και η υποβοήθηση στη λήψη αποφάσεων πολιτικής σχετικά με τη διαχείριση των πυρκαγιών στη χώρα μας.

Λέξεις κλειδιά: μεγάλες δασικές πυρκαγιές, μοντελοποίηση, Ελλάδα, στατιστική ανάλυση

ABSTRACT

Wildfires are one of the most serious hazards to Mediterranean forests, and therefore Greece, having gained increasing interest over the last decades on a global scale.

Of particular interest are large forest wildfires, which, besides burning a greater area, they also cause greater disasters. Identifying the factors responsible for the growth of a wildfire to a large one is, therefore, of paramount importance for effective wildfire management, at both the levels of prevention and suppression.

This MSc thesis attempts to identify the weather, topographical and operational factors responsible for the occurrence of large forest wildfires, and also attempts to quantify any potential interactions thereof. Data from the Forest Service and the Fire Service covering the period 2000-2015 was collected and analyzed in order to create two databases. The first database was comprised of large wildfires (> 500ha), on which Linear Regression was implemented. The second database contained small wildfires (<500ha), and was united with the first database for the implementation of Logistic Regression. The result was the creation of statistical models capable to estimate the size of the area burned.

The ultimate goal of this research is to support stakeholders involved with the prevention and suppression of future wildfires and also to assist in policy making decisions concerning fire management in our country.

Keywords: large wildfires, modeling, Greece, statistical analysis

Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	11
Εισαγωγή	12
Στόχος της εργασίας.....	15
1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση	16
1.1 Ο οικολογικός ρόλος της φωτιάς.....	16
1.2 Αίτια δασικών πυρκαγιών	17
1.3. Μεγα-πυρκαγιές	18
1.4. Πυρκαγιές σε περιοχές Μίξης Δασών-Οικισμών	19
1.5. Το φαινόμενο της καύσης	21
1.6. Μεταφορά θερμότητας.....	23
1.7. Παράγοντες συμπεριφοράς μεγάλων δασικών πυρκαγιών.....	24
1.7.1. Καύσιμη ύλη.....	24
1.7.2. Ατμοσφαιρικές συνθήκες	28
1.7.3. Θερμοκρασία αέρα	29
1.7.4. Σχετική υγρασία	30
1.7.5. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και Ξηρασία	31
1.7.6. Άνεμος.....	32
1.7.7. Ευστάθεια της ατμόσφαιρας.....	34
1.7.8. Τοπογραφία	36
1.7.9. Χρόνος εξάπλωσης της πυρκαγιάς.....	38
1.8. Αντιμετώπιση δασικών πυρκαγιών	39
1.8.1 Πρόληψη	41
1.8.2. FWI (Fire Weather Index)	46
1.8.3. Μοντέλα προσομοίωσης δασικών πυρκαγιών.....	49
1.8.4. Καταστολή.....	50
1.8.5. Συντονισμός αντιμετώπισης δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα	52
1.8.6. Συντονισμός ευρωπαϊκών χωρών για την αντιμετώπιση μεγάλων δασικών πυρκαγιών.....	53
1.9. Το κλίμα της Ελλάδας.....	54
1.10. Κλιματική αλλαγή	55

1.11. Κλιματική αλλαγή και δασικές πυρκαγιές	58
2. Μεθοδολογία	61
2.1 Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης	63
2.2 Ανεξάρτητες μεταβλητές (Explanatory variables)	64
3. Ανάλυση-Αποτελέσματα	71
3.1. Γραμμική παλινδρόμηση (Linear Regression)	89
3.2. Λογιστική παλινδρόμηση (Logistic Regression).....	94
4. Συζήτηση	99
5. Συμπεράσματα.....	105
6. Βιβλιογραφία	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	
Σχήμα 3.1: Αριθμός μεγάλων δασικών πυρκαγιών ανά νομό στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.	Σελ.72
Σχήμα 3.2: Συνολική καμένη έκταση μεγάλων δασικών πυρκαγιών ανά νομό στην Ελλάδα την περίοδο 200-2015.	Σελ.73
Σχήμα 3.3: Ώρα έναρξης μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.	Σελ.74
Σχήμα 3.4: Χρόνος επέμβασης από τις δυνάμεις δασοπυρόσβεσης για τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές την περίοδο 2000-2015.	Σελ.75
Σχήμα 3.5: Υψόμετρο έναρξης μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.	Σελ.76
Σχήμα 3.6: Ένταση ανέμου κατά την έναρξη μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.	Σελ.77
Σχήμα 3.7: Κλίση του εδάφους κατά την έναρξη μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.	Σελ.78
Σχήμα 3.8: Συχνότητα δασικών πυρκαγιών σε σχέση με τη θερμοκρασία κατά την έναρξη δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015	Σελ.79
Σχήμα 3.9: Αριθμός Συχνότητας μεγάλων δασικών πυρκαγιών σε σχέση με τη σχετική υγρασία κατά την έναρξη μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην	Σελ.80
Σχήμα 3.10: Ώρα έναρξης μεγάλων και μικρών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.	Σελ.82
Σχήμα 3.11: Χρόνος επέμβασης μεγάλων και μικρών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015	Σελ.83
Σχήμα 3.12: Υψόμετρο κατά την έναρξη μεγάλων και μικρών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015	Σελ.84
Σχήμα 3.13: Ένταση ανέμου κατά την έναρξη μεγάλων και μικρών δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015	Σελ.85
Σχήμα 3.14: Κλίση του εδάφους κατά την έναρξη μεγάλων και μικρών δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015	Σελ.86
Σχήμα 3.15: Θερμοκρασία κατά την έναρξη μεγάλων και μικρών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015	Σελ.87
Σχήμα 3.16: Σχετική υγρασία κατά την έναρξη μικρών και μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015	Σελ.88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	
Πίνακας 2.1: Πίνακας με τα στοιχεία κάθε πυρκαγιάς από τη βάση δεδομένων της Δασικής Υπηρεσίας.	Σελ.62
Πίνακας 2.2: Πίνακας αντιστοίχισης δασικών ειδών βάσης δεδομένων της Δασικής Υπηρεσίας με την αξιολόγηση ευφλεκτότητας των Xanthopoulos et al. (2012).	Σελ.68
Πίνακας 2.3: Πίνακας ανεξάρτητων μεταβλητών (explanatory variables)	Σελ.70
Πίνακας 3.1: Πίνακας περιγραφικών στατιστικών της βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές (>500ha)	Σελ.71
Πίνακας 3.2.: Πίνακας περιγραφικών στατιστικών της βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει τις με συστηματικό τρόπο επιλεγείσες τυχαίες μικρότερες	Σελ.81
Πίνακας 3.3: Πίνακας Model Summary για τη γραμμική παλινδρόμηση	Σελ.89
Πίνακας 3.4: Πίνακας διασποράς γραμμικής παλινδρόμησης (ANOVA)	Σελ.90
Πίνακας 3.5: Πίνακας συντελεστών (coefficients) γραμμικής παλινδρόμησης	Σελ.91
Πίνακας 3.6: Πίνακας με τις τιμές του ελέγχου Chi-Square για τη λογιστική παλινδρόμηση	Σελ.94
Πίνακας 3.7: Πίνακας Model Summary για τη λογιστική παλινδρόμηση	Σελ.95
Πίνακας 3.8: Πίνακας διάταξης λογιστικής παλινδρόμησης/ Classification Table	Σελ.96
Πίνακας 3.9: Πίνακας με τις μεταβλητές των μοντέλων της λογιστικής παλινδρόμησης	Σελ.98

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	
Εικόνα 1.1: Χάρτης πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς	Σελ.45
Εικόνα 1.2: Δομή μοντέλου FWI	Σελ.48

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Στατιστική ανάλυση μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα» εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου» με κατεύθυνση τη «Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Κινδύνων και Καταστροφών» του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου.

Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας, θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύνολο των διδασκόντων, για τα γνωστικά εφόδια που μου μετέδωσαν. Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον Δρ. Γαβριήλ Ξανθόπουλο. Οι γνώσεις, οι συμβουλές, η καθοδήγησή του και η ερευνητική προσέγγισή του αποτέλεσαν τους σημαντικότερους παράγοντες για την επιστημονική εξέλιξή και την καλλιέργεια του ερευνητικού τρόπου σκέψης μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα, την αγαπημένη φίλη Μαργαρίτα Τσακιρίδου, υποψήφια διδάκτωρ του University of Portsmouth, για τη στήριξη και την καθοδήγησή της.

Εισαγωγή

Το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους κινδύνους που απειλούν τα φυσικά χερσαία οικοσυστήματα σε παγκόσμια εμβέλεια (Mitsopoulos & Mallinis, 2017). Θεωρείται ένα από τα φυσικά φαινόμενα μεγάλης κλίμακας που ο άνθρωπος δεν είναι ακόμη σε θέση να ελέγξει (Τσαγκάρη κ.α., 2011). Η απειλή είναι ακόμα πιο έντονη για τις περιοχές με μεσογειακά οικοσυστήματα, όπως η Νότια Ευρώπη και η Ελλάδα, με ανυπολόγιστες συνέπειες σε οικολογικό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο. Το 85% της συνολικής καμένης έκτασης στην Ευρώπη το συναντάμε στις μεσογειακές χώρες (San-Miguel-Ayanz et al, 2013).

Οι αρνητικές επιπτώσεις από τις δασικές πυρκαγιές είναι ήδη γνωστές. Η αλλαγή του μικροκλίματος με τον περιορισμό εμφάνισης ειδών χλωρίδας και πανίδας, η διάβρωση του εδάφους και κατ' επέκταση η εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων, η υποβάθμιση της αισθητικής αξίας του τοπίου, η τάση αλλαγής χρήσεων γης είναι κάποιες από τις συνέπειες των δασικών πυρκαγιών. Επίσης, παρατηρούνται άμεσες και έμμεσες οικονομικές συνέπειες από την καταστροφή δασικών προϊόντων (π.χ. ξυλεία, ρητίνη), η απώλεια περιουσιών και ανθρώπινων ζώων αλλά και η αίσθηση ανασφάλειας του πολίτη (Τσαγκάρη κ.α., 2011).

Αν και ο άνθρωπος χρησιμοποιεί τη φωτιά στη Μεσόγειο για αρκετές δεκάδες χιλιάδες χρόνια, μόνο τα τελευταία 10.000 χρόνια έχει επηρεάσει το περιβάλλον και τα χαρακτηριστικά της πυρκαγιάς (Daniau et al., 2010). Η φωτιά είναι διαχρονικά παραδοσιακό εργαλείο για τη διαχείριση αγροτικών περιοχών από τον άνθρωπο με σκοπό τον έλεγχο της βλάστησης και την ενίσχυση των βοσκοτόπων για τροφή ζώων, ωστόσο οι περισσότερες δασικές πυρκαγιές δε σχετίζονται πλέον με τη διαχείριση γης (San- Miguel et al., 2013). Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως οι κοινωνικές συνθήκες της ευρωπαϊκής Μεσογείου έχουν αλλάξει τις τελευταίες δεκαετίες. Η περιοχή χαρακτηρίζεται πια από εκτεταμένες ζώνες μίξης δασών -οικισμών (Wildland Urban Interface – WUI). Μεγάλες οικιστικές περιοχές εκτείνονται σε γειτονικές δασικές περιοχές με μόνιμες ή εξοχικές κατοικίες (Ganteaume et al., 2012). Το γεγονός αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της καύσιμης ύλης αλλά αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την πιθανότητα πυρκαγιάς από τον ανθρώπινο παράγοντα (Ganteaume & Jappiot, 2013) . Στη χώρα μας, σύμφωνα με τα στοιχεία του Ανακριτικού του

Πυροσβεστικού Σώματος, από τις πυρκαγιές του 2017 το 32,11% οφείλεται σε αμέλεια και το 50,49% σε πρόθεση, δηλαδή το 82,6% είναι από ανθρώπινο παράγοντα ("Σ. Φάμελλος", 2017).

Σε άλλες περιοχές της Μεσογείου, παρατηρείται έντονα κατά τις τελευταίες δεκαετίες η εγκατάλειψη της υπαίθρου με αποτέλεσμα τη χαμηλή αξιοποίηση των δασών. Έτσι λοιπόν, η μείωση της κτηνοτροφίας και η μείωση της κατανάλωσης δασικών προϊόντων από βόσκηση και συγκομιδή έχουν οδηγήσει στη συσσώρευση της καύσιμης ύλης στα μεσογειακά οικοσυστήματα της Ευρώπης (Pereira et al. 2005; San-Miguel et al, 2013). Ο συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων μετατρέπει τη Μεσόγειο σε μια περιοχή υψηλού κινδύνου πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών καθώς η χαμηλή βροχόπτωση και οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες της εποχής ευνοούν την ανάφλεξη και την εξάπλωση πυρκαγιών (Sebastian-Lopez et al., 2008)

Η συχνότητα πυρκαγιών στη Μεσόγειο αυξάνεται σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες και αναμένεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο (Moreira et al, 2010). Τα αποτελέσματα της συχνότητας των δασικών πυρκαγιών είναι η δραματική περιβαλλοντική αλλαγή του τοπίου αλλά και το τεράστιο οικονομικό και κοινωνικό αντίκτυπο στην πληγείσα περιοχή (Mitsopoulos & Mallinis, 2017). Όμως, οι περισσότερες φωτιές σβήνουν σε μικρό χρονικό διάστημα χωρίς να έχουν κάψει μεγάλες εκτάσεις και να έχουν δημιουργήσει ιδιαίτερες συνέπειες σε κοινωνικό επίπεδο. Μόνο ένα μικρό ποσοστό ξεφεύγει από τις δυνάμεις δασοπυρόσβεσης δημιουργώντας εκτεταμένες καταστροφές (San- Miguel & Camia, 2010). Στις ΗΠΑ, περίπου το 95% των δασικών πυρκαγιών καταστέλλονται έγκαιρα, ενώ το 4% ξεφεύγει από την αρχική προσβολή απαιτώντας εκτεταμένο επιχειρησιακό σχέδιο για τον αποτελεσματικό τους έλεγχο. Μόνο το 1% των πυρκαγιών μετατρέπονται σε μεγάλες δασικές πυρκαγιές και για τον έλεγχό τους απαιτείται το Incident Command System, ένα επιχειρησιακό σύστημα διαχείρισης πολύπλοκων περιστατικών δασικών πυρκαγιών (Dimitrakopoulos, 2011).

Συνεπώς, το πρόβλημα που παρατηρείται, όχι μόνο στη Μεσόγειο αλλά και παγκοσμίως, δε βρίσκεται στη συχνότητα και τον αριθμό των δασικών πυρκαγιών αλλά στο γεγονός πως ένας μικρός αριθμός πυρκαγιών δίνει πολύ μεγάλες καμένες εκτάσεις (Gill and Moore, 1998; Stocks et al. 2002; Moreira et al., 2010; Ganteaume &

Jappiot, 2013; Barbero et al., 2014a; Hernandez et al., 2015; Fernades, 2016, Mitsopoulos, 2017). Η τάση των μεγάλων δασικών πυρκαγιών παρουσιάζεται σταθερή τις τελευταίες δεκαετίες (San- Miguel & Camia, 2010). Στην Ευρωπαϊκή Μεσόγειο, οι πυρκαγιές >500ha αντιπροσωπεύουν μόνο το 2% του συνολικού αριθμού των πυρκαγιών αλλά ευθύνονται για το 80% της καμένης έκτασης ((Mitsopoulos & Mallinis, 2017; San-Miguel-Ayanz et al., 2013). Συγκεκριμένα στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1986-1995, φωτιές με καμένη έκταση πάνω από 1000 εκτάρια αποτελούσαν μόνο το 6% του συνολικού αριθμού των πυρκαγιών και ταυτόχρονα τα 2/3 (66%) της συνολικής καμένης έκτασης. Ενώ το έτος 2000 το 50% της καμένης έκτασης πανελλαδικά ήταν αποτέλεσμα μόνο από 7 πυρκαγιές κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου. (Dimitrakopoulos, 2011)

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως δεν υπάρχει κάποιος ορισμός για τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές που να είναι κοινά αποδεκτός από την επιστημονική κοινότητα. Διαφορετικά ποσοτικά όρια και παράμετροι έχουν δοθεί από πολλούς ερευνητές και επιστήμονες για να καθορίσουν τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές. Οι Olsen & Shindler (2010) έχουν αναφέρει ως όριο την καμένη έκταση πάνω από 40.000 ha. Το European Forest Fire Information System (San-Miguel-Ayanz, 2013) έχει ορίσει ως μεγάλες δασικές πυρκαγιές αυτές με καμένη έκταση πάνω από 500 ha, ενώ άλλοι συγγραφείς τα 1000 ha (Moreno et al., 1998; Viegas 1998; Dimitrakopoulos et al., 2011). Επίσης, οι Lutz et al. (2011) αναφέρουν πως οι ιδιαιτερότητες του εκάστοτε οικοσυστήματος είναι μία επιπρόσθετη παράμετρος την οποία πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας για τον καθορισμό της μεγάλης δασικής πυρκαγιάς σε συνδυασμό φυσικά με το μέγεθος της καμένης έκτασης.

Σύμφωνα με τους Ganteaume & Jappiot (2013), οι έρευνες για τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές στην περιοχή της Νότιας Ευρώπης είναι πολύ λίγες σε σχέση με άλλες περιοχές με μεσογειακό κλίμα όπως η Νότια Αφρική, η Αυστραλία και η Καλιφόρνια. Οι έρευνες για την περιοχή της Μεσογείου έχουν επικεντρωθεί είτε στη συχνότητα των πυρκαγιών (ανεξάρτητα από το μέγεθος της καμένης έκτασης) είτε στην αξιολόγηση της συχνότητας των μεγάλων πυρκαγιών χωρίς να λαμβάνονται υπόψη μετεωρολογικοί δείκτες και καιρικές παράμετροι (Mitsopoulos & Malinis, 2017). Ο Dimitrakopoulos (2011) αναφέρει πως η έρευνα σχετικά με τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές κατευθύνεται κυρίως προς τις προβλέψεις τους με τη χρήση δεικτών

μετεωρολογικού κινδύνου πυρκαγιάς, τον εντοπισμό τους και τη χαρτογράφησή τους μέσω των τεχνικών τηλεπισκόπησης και την ανάλυση μελετών περίπτωσης ορισμένων μεγάλων δασικών πυρκαγιών που συνέβησαν στο παρελθόν. Ενώ, δεν έχουν αναπτυχθεί θεωρητικά και / ή εμπειρικά μοντέλα για να περιγράψουν τις συνθήκες καύσης που σχετίζονται με την εμφάνιση μεγάλων πυρκαγιών παρόλο που υπάρχουν πολυάριθμες προσεγγίσεις μοντελοποίησης για την προσομοίωση της πιθανής συμπεριφοράς πυρκαγιάς.

Οι επικρατούσες συνθήκες καύσης κάτω από τις οποίες συμβαίνει μια δασική πυρκαγιά αποτελούν το λεγόμενο ‘περιβάλλον φωτιάς’ (Dimitrakopoulos, 2011). Το ‘περιβάλλον πυρκαγιάς’ αποτελείται από τρία σύνολα παραμέτρων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των πυρκαγιών και επομένως την τακτική καταστολής: βλάστηση (καύσιμη ύλη), καιρικές συνθήκες και τοπογραφία (Fernades et al., 2016). Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των δασικών καυσίμων και, ειδικότερα, η περιεκτικότητα σε υγρασία επηρεάζουν την ευφλεκτότητα τους κατά τη διάδοση της πυρκαγιάς. Οι καιρικές συνθήκες (π.χ. ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία αέρα και σχετική υγρασία) επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τον ρυθμό διάδοσης και την ένταση της φωτιάς, ενώ η τοπογραφία (απότομη κλίση και όψη, ύψος) επηρεάζει τόσο την ένταση της φωτιάς όσο και την επιλογή της μεθόδου καταστολής (Dimitrakopoulos, 2011). Ένα επιπρόσθετο σημαντικό στοιχείο επίδρασης στη συμπεριφορά της φωτιάς θεωρείται η ετοιμότητα των δασοπυροσβεστικών δυνάμεων (Ganteaume & Jappiot, 2013; San-Miguel-Ayanz et al., 2013).

Στόχος της εργασίας

Με βάση την παραπάνω εισαγωγή, στόχος της εργασίας είναι να συνεισφέρει στην ανάλυση και κατανόηση της εμφάνισης των μεγάλων δασικών πυρκαγιών στη χώρα μας, δηλαδή στην αναγνώριση όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την ανάφλεξη και το αυξανόμενο μέγεθος των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα. Παράλληλα, θα επιχειρήσει, αν είναι δυνατό, να ποσοτικοποιήσει τους παράγοντες αυτούς μέσω μαθηματικών μοντέλων για την αξιόπιστη πρόβλεψη της καμένης δασικής έκτασης με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα. Μία τέτοια δυνατότητα μπορεί να συμβάλει στην

οργάνωση ενός αποτελεσματικότερου συστήματος πρόληψης και κατάσβεσης μελλοντικών πυρκαγιών.

1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

1.1 Ο οικολογικός ρόλος της φωτιάς

Το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα που απασχολεί τα σύγχρονα κράτη με Μεσογειακό κλίμα, όπως η Ελλάδα, αφού μπορούν να καταστρέψουν τεράστιες εκτάσεις σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. (Xanthopoulos, 2012). Παράλληλα, όμως, οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν και ένα σημαντικό παράγοντα στην εξέλιξη των μεσογειακών οικοσυστημάτων των οποίων αποτελούν βασικό στοιχείο και φυσικό μηχανισμό λειτουργίας (Diakakis, 2011). Συνεπώς, αυτές, ως ένα βαθμό, μπορούν να θεωρηθούν ως ένα μη αναστρέψιμο οικολογικό φαινόμενο που προκαλείται είτε από φυσικά αίτια είτε από τον άνθρωπο. Όσο υπάρχουν δάση, θα υπάρχουν και δασικές πυρκαγιές (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015).

Οι πηγές που αναφέρουν τη δράση της φωτιάς ως ένα περιβαλλοντικό παράγοντα στις Μεσογειακού τύπου περιοχές (Μεσογειακή λεκάνη, Καλιφόρνια στο βόρειο ημισφαίριο, Χιλή, Ν. Αφρική και ΝΔ Αυστραλία στο νότιο) είναι πολλές (Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη & Καζάνης, 2012). Αναφορές για το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών στη Μεσόγειο συναντάμε από τη Μινωική περίοδο, γεγονός που καταδεικνύει πως ο άνθρωπος έρχεται αντιμέτωπος με το φαινόμενο αυτό εδώ και χιλιάδες χρόνια (Dubar et al., 1995). Ενώ για την Καλιφόρνια, ιστορικά στοιχεία για αυτό το φαινόμενο έχουμε ήδη από τους Ινδιάνους με κύριες αιτίες τους κεραυνούς και τα ηφαίστεια (Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη & Καζάνης, 2012).

Τα Μεσογειακά οικοσυστήματα έχουν εξελιχθεί σε άμεση σχέση με τη φωτιά. Οι ισχυρά εναλλασσόμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν το Μεσογειακό κλίμα, δηλαδή υψηλές θερμοκρασίες που συνοδεύονται από εκτεταμένες περιόδους ανομβρίας, προκαλούν αποξήρανση της βλάστησης, καθιστώντας την ιδιαίτερα εύφλεκτη σ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού (Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη & Καζάνης, 2012). Επίσης, στα Μεσογειακά οικοσυστήματα παρατηρείται πολύ

μεγαλύτερος ρυθμός παραγωγής βιομάζας σε σχέση με το ρυθμό διάσπασής της που γίνεται μέσω της σήψης και της δράσης των μικροοργανισμών. Συνεπώς, παρατηρείται πλεόνασμα βιομάζας που δεν επιτρέπει την ανανέωση των οικοσυστημάτων. Ο μοναδικός τρόπος λοιπόν, για την ανανέωση αυτή είναι η φωτιά (Ξανθόπουλος, 1998).

Στα χερσαία οικοσυστήματα με μεσογειακό κλίμα εμφανίζονται φυσικές πυρκαγιές κατά σχεδόν κανονικά διαστήματα (Καϊλίδης και Καρανικόλα 2004). Ο Κωνσταντινίδης (2007) αναφέρει πως οι μεσογειακές περιοχές καίγονταν πριν την ύπαρξη του ανθρώπου περίπου κάθε 100 χρόνια με συχνότερη αιτία τους κεραυνούς. Οι πυρκαγιές, όμως, αυτές, αν και καταστρέφουν μερικώς ή ολοσχερώς ένα συγκεκριμένο κάθε φορά οικοσύστημα, έχουν αναστρέψιμη δράση και δεν αποτελούν παράγοντα οπισθοδρομικής διαδοχής, καθώς τα φυτικά είδη που συνιστούν τα μεσογειακά οικοσυστήματα έχουν αναπτύξει μηχανισμούς προσαρμογής τόσο σε επίπεδο ανατομίας όσο και σε επίπεδο φυσιολογίας σε πυρόπληκτα περιβάλλοντα και αναγεννιούνται μετά το πέρας της πυρκαγιάς (Κωνσταντινίδης και Γκατζογιάννης, 2001).

Αν και το μέγεθος της φωτιάς είναι θεμελιώδες χωρικό χαρακτηριστικό του φαινομένου της φωτιάς δεδομένης της σημασίας του για τη λειτουργία, τη δομή και την ποικιλομορφία του οικοσυστήματος (Fernades et al., 2016), τις τελευταίες δεκαετίες οι δασικές πυρκαγιές έχουν αποτελέσει το σημαντικότερο εχθρό για τα φυσικά και χερσαία οικοσυστήματα προκαλώντας πολύ μεγάλες καταστροφές στον ανθρώπινο πολιτισμό.

1.2 Αίτια δασικών πυρκαγιών

Η έναρξη των δασικών πυρκαγιών προκαλείται από φυσικά και ανθρωπογενή αίτια. Στις αραιοκατοικημένες περιοχές του πλανήτη μας, το 90% των πυρκαγιών ξεκινούν από φυσικά αίτια. Ωστόσο, σε πυκνοκατοικημένες περιοχές με εύφλεκτη βλάστηση, όπως η Ελλάδα, περισσότερο από το 95% των πυρκαγιών οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες (Ξανθόπουλος, 2016).

Το πιο σύνηθες φυσικό αίτιο είναι ο κεραυνός, ενώ πολύ σπάνια αναφέρονται άλλες φυσικές πηγές θερμότητας, όπως ηφαίστεια, σπινθήρες από πτώσεις βράχων και αυτανάφλεξη από συσσώρευση καύσιμη ύλη. Τα αίτια από ανθρώπινο παράγοντα μπορούμε να τα διακρίνουμε σε τυχαία και από πρόθεση. Τα τυχαία μπορεί να είναι ατυχήματα, όπως οδικά, βιομηχανικά και διαφόρου τύπου εκρήξεις ή από αμέλεια. Στις αμέλειες περιλαμβάνονται η απόρριψη αναμένων τσιγάρων σε δασική βλάστηση, οι αγροτικές εργασίες στην ύπαιθρο, το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κ.α. (Ξανθόπουλος, 2016) Οι πυρκαγιές με ανθρωπογενή αίτια από πρόθεση διακρίνονται σ' εκείνες που ξεκινούν από άτομα μειωμένης ευθύνης (διανοητικά ανάπηροι, παιδιά) ή από άτομα με ψυχικές παθήσεις (πυρομανείς) και σ' αυτές που τα άτομα αποσκοπούν σε κάποιο όφελος (οικονομικό, χρήσης γης, εκδίκησης).

Σε παγκόσμια κλίμακα, η συντριπτική πλειονότητα (>90%) της καύσης της βιομάζας οφείλεται σε ανθρώπινο παράγοντα είτε από ατύχημα, αμέλεια ή σκοπιμότητα (Pereira et al., 2005). Οι σύγχρονες συνθήκες χρήσης της υπαίθρου, ανάπτυξης της παραθεριστικής κατοικίας και επέκτασης των οδικών προσβάσεων αυξάνουν τη συχνότητα των πυρκαγιών σε τέτοιο βαθμό, ώστε να ξεπερνιέται κατά πολύ ο φυσικός τους ρόλος και να αποδεικνύονται καταστροφικές.

Η ύπαρξη πηγής θερμότητας είναι αναγκαία αλλά όχι και ικανή συνθήκη για την έναρξη μίας δασικής πυρκαγιάς. Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες για την εκδήλωση και εξέλιξή της (Ξανθόπουλος, 2016). Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η τοπογραφία, οι καιρικές συνθήκες, η θερμοκρασία και η υγρασία της καύσιμης ύλης αλλά και όλα τα χαρακτηριστικά της βιομάζας, όπως η δομή και η σύνθεσή της, οι χημικές ιδιότητές της και πολλά άλλα που αναλύονται στη συνέχεια σε επόμενα κεφάλαια.

1.3. Μεγα-πυρκαγιές

Ένας άλλος όρος που συναντάμε στη Βιβλιογραφία είναι αυτός των μεγα-πυρκαγιών (Dimitrakopoulos, 2011; Ganteaume & Jappiot, 2013; San-Miguel-Ayanz et al., 2013;). Όμως, ούτε σ' αυτή την περίπτωση έχουμε κάποιο σαφή ορισμό που να

καθορίζει το μέγεθος της καμένης έκτασης και τα χαρακτηριστικά των μεγα-πυρκαγιών. Ο Dimitrakopoulos (2011) αναφέρει πως οι μεγα-πυρκαγιές είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα περιστατικά πυρκαγιών με μεγάλη δυσκολία στον έλεγχο και την κατάσβεσή τους. Στις ΗΠΑ, μόνο το 0,1% των δασικών πυρκαγιών γίνεται μεγα-πυρκαγιές με καμένη έκταση το 95% της συνολικής, ενώ απαιτείται το 85% του συνολικού κόστους καταστολής.

Οι πυρκαγιές αυτές καίγονται κάτω από ακραίες καιρικές συνθήκες και παρουσιάζουν μεγάλης έντασης χαρακτηριστικά στη συμπεριφορά τους, καθώς επίσης υπερβαίνουν όλες τις προσπάθειες συμβατικού ελέγχου μέχρις ότου το επιτρέψουν οι καιρικές συνθήκες ή υπάρξει ασυνέχεια στην καύσιμη ύλη (Dimitrakopoulos, 2011). Οι San- Miguel et al. (2013) αναφέρουν πως η ανάφλεξη και η εξάπλωσή τους παρουσιάζονται υπό ευνοϊκές καιρικές συνθήκες, συχνά μετά από ξηρασία, σε περιοχές με συσσώρευση καυσίμων. Ο χρόνος επανάληψής τους είναι ιδιαίτερα συχνός, κάθε 2-3 χρόνια, και δεν είναι μεμονωμένα περιστατικά αλλά ομάδες μεγάλων πυρκαγιών που καίνε ταυτόχρονα και συγκεντρώνονται στο χώρο.

Οι μεγα-πυρκαγιές προκαλούν μεγάλες ανθρώπινες, οικονομικές και περιβαλλοντικές ζημιές συνολικά. Η Μεσογειακή λεκάνη υποφέρει από τέτοιου είδους πυρκαγιές (Ganteaume & Jappiot, 2013). Παραδείγματα μεγα-πυρκαγιών συναντάμε στην Πορτογαλία το 2003 και το 2005, στην Ισπανία το 2006 και στην Ελλάδα το 2007.

1.4. Πυρκαγιές σε περιοχές Μίξης Δασών-Οικισμών

Ως ή Ζώνες Μίξης Δασών-Οικισμών ή WUI (Wildland-Urban Interface) στη διεθνή βιβλιογραφία, μπορούν να οριστούν οι οριακές γραμμές ή οι ζώνες διαχωρισμού μεταξύ της βλάστησης και των ανθρώπινων υποδομών και οποιασδήποτε άλλης ανθρώπινης ανάπτυξης (United States Department of the Interior, 1995; Jappiot, 2001). Η διαχείρισή τους είναι πολύπλοκη και εξαιρετικά δύσκολη μιας και πρέπει να ληφθούν ταυτόχρονα παράγοντες από δύο διαφορετικούς τύπους χρήσεων γης, τον

αστικό και το δασικό, αλλά και παράγοντες που έχουν να κάνουν με τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης τους.

Σύμφωνα με τον Ξανθόπουλο (2003), οι αιτίες για τις πυρκαγιές σε ζώνες μίξης δασών- οικισμών που τα τελευταία χρόνια αυξάνονται δραματικά στη Μεσόγειο σε αριθμό και ένταση είναι πολλά με βασική την ανθρώπινη δραστηριότητα σε φυσικά οικοσυστήματα, η οποία έχει αλλάξει τον χαρακτήρα τους κατά τις τελευταίες δεκαετίες για λόγους αγροτικών, τουριστικών ή και εκμετάλλευσης φυσικών πόρων (μεταλλουργία κ.α.). Η συνεχόμενη μετακίνηση του πληθυσμού από αστικές περιοχές στην ύπαιθρο σε μία προσπάθεια ενός νέου τρόπου ζωής μακριά από τα αστικά κέντρα και σε επαφή με τη φύση μπορεί να προξενήσει πολλά προβλήματα διότι οι νέοι κάτοικοι στην πλειονότητά τους δεν αντιλαμβάνονται τις παραμέτρους κινδύνου αυτού του νέου τρόπου διαβίωσης τους δίπλα στο δάσος (Badia et al, 2011). Ως αποτέλεσμα αυτού, η δόμηση νέων κατοικιών σε επαφή ή και σε μίξη με δάση και δασικές εκτάσεις γίνεται χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Οι προδιαγραφές για την κατασκευή των κατοικιών και γενικότερα των ανθρώπινων υποδομών σε επίπεδο σχεδιασμού, χρησιμοποίησης εύφλεκτων υλικών αποτελούν σημαντικά στοιχεία για την αύξηση της τρωτότητας των οικισμών μέσα σε δάσος έναντι της πυρκαγιάς.

Η αυξημένη ποσότητα καύσιμης ύλης έχει μεγαλύτερο δυναμικό καταστροφής, λόγω συσσώρευσης και μη επαρκούς καθαρισμού της από τους κατοίκους. Επιπρόσθετη παράμετρος για τη μη αποτελεσματική αντιμετώπιση των πυρκαγιών σε περιοχές WUI θεωρείται σε μεγάλο βαθμό η μη επαρκής κατάρτιση των πυροσβεστικών δυνάμεων. Το έργο τους είναι εξαιρετικά δύσκολο και περίπλοκο αφού οφείλουν να προστατέψουν φυσικούς πόρους, περιουσίες και ανθρώπινες ζωές ταυτόχρονα.

Πέρα από τους φυσικούς παράγοντες που επηρεάζουν την έναρξη, τη συμπεριφορά και την καταστολή της φωτιάς στις WUI περιοχές, όπως η καύσιμη ύλη, οι κλιματικές συνθήκες και η τοπογραφία, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν παράγοντες τρωτότητας που σχετίζονται με τις ανθρώπινες υποδομές (Xanthopoulos, 2003):

1. Σχεδιασμός και υλικά κατασκευής σπιτιών
2. Εύφλεκτα υλικά έξω και κοντά στο σπίτι
 - Σωροί από ξύλα λόγω αγροτικών εργασιών από τους ιδιοκτήτες του σπιτιού

- Αποθήκες υγρών καυσίμων (π.χ. πετρέλαιο για θέρμανση)
- Νεκρή βιομάζα, η οποία δεν έχει καθαριστεί όπως χόρτα, φύλλα και βελόνες στις στέγες του σπιτιού
- Εύφλεκτη ζωντανή βλάστηση κοντά ή σε επαφή με το σπίτι

3. Εύφλεκτα υλικά μέσα στο σπίτι

- Κουρτίνες από νάιλον
- Χαλιά
- Ταπετσαρίες
- Έπιπλα πολυουρεθάνης

4. Υποδομές πυροπροστασίας

- Προσβασιμότητα
- Οδικό δίκτυο (π.χ. πλάτος δρόμων, πινακίδες στους δρόμους)
- Νερό (π.χ. δεξαμενές, αντλίες)
- Επαρκής δασοπυροσβεστική διαθεσιμότητα και ικανότητα
- Οδηγίες εκκένωσης της περιοχής από τους κατοίκους

Στις Μεσογειακές χώρες έχει παρατηρηθεί πως δεν υπάρχει επαρκής σχεδιασμός πυροπροστασίας στην πλειονότητα των ζωνών μίξης δασών-οικισμών που διασφαλίζουν την ασφάλεια των κατοίκων.

1.5. Το φαινόμενο της καύσης

Τα χαρακτηριστικά μεταξύ των πυρκαγιών μπορεί να έχουν μεγάλη ομοιότητα αλλά πολλές φορές διακρίνουμε σημαντικές διαφορές. Το γεγονός αυτό οφείλεται στους πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της φωτιάς αλλά και στην αλληλεπίδραση που έχουν μεταξύ τους οι παράγοντες αυτοί. Για να γίνουν κατανοητές αυτές οι επιδράσεις θα πρέπει να αναφερθούν τα θεμελιώδη στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για την καύση που έχει σαν αποτέλεσμα τη φωτιά.

Η φωτιά είναι μία χημική διεργασία κατά την οποία απαιτούνται τρία θεμελιώδη στοιχεία κατάλληλα συνδυασμένα μεταξύ τους. Τα στοιχεία αυτά είναι η καύσιμη ύλη, η θερμότητα και το οξυγόνο, τα οποία αποτελούν το λεγόμενο 'τρίγωνο της φωτιάς' (Καϊλίδης και Καρανικόλα, 2004). Αν κάποιο από τα στοιχεία αυτά απουσιάζει δεν είναι δυνατή η έναρξη της διαδικασίας της καύσης και κατά συνέπεια της φωτιάς, ενώ αν αφαιρεθεί κάποιο από αυτά τα στοιχεία έχει ως αποτέλεσμα το σβήσιμο της φωτιάς. Μάλιστα σ' αυτή την αρχή στηρίζονται όλες οι μέθοδοι πρόληψης και καταστολής των δασικών πυρκαγιών ("Δασικές Πυρκαγιές - Παράγοντες", n.d.).

Η εξάπλωση της φωτιάς είναι πιθανή, όταν έχει συμβεί η ανάφλεξη και όταν η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από την προϋπάρχουσα φλόγα σε γειτονική καύσιμη ύλη είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να προκαλέσει την ανάφλεξή της (Dupuy, 2009). Η πορεία της καύσης των δασικών καύσιμων υλών στο ύπαιθρο αρχίζει με την προθέρμανση του υλικού, το οποίο παράγει αναφλέξιμα αέρια. Τα αέρια αυτά αντιδρούν με το οξυγόνο που υπάρχει στον αέρα δίνοντας μεγάλες ποσότητες θερμότητας, διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμών ("Δασικές Πυρκαγιές- Παράγοντες", n.d.) .

Συγκεκριμένα, όταν το ξύλο καίγεται πραγματοποιούνται τα εξής φαινόμενα: η εξάτμιση του νερού, η αποσύνθεση του ξύλου, η οποία συνεπάγεται απελευθέρωση άνθρακα, αερίων και πτητικών υγρών, δίνοντας σαν βασικά προϊόντα νερό και διοξείδιο του άνθρακα και τέλος, η καύση του άνθρακα που απελευθερώνει απευθείας διοξείδιο ή μονοξείδιο του άνθρακα (Τσουμής, 1986). Πρακτικά, από την καύση του ξύλου παράγονται νερό σε μορφή ατμού (H_2O), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), νιτρικά οξείδια (NO_x), οξείδια του θείου (SO_2) και τέφρα. Η φλόγα είναι η περιοχή της καύσης των αερίων που είναι ορατή λόγω της ακτινοβολίας που παράγεται ("Fire Security", 2017).

Στο δάσος η παρουσία καύσιμης ύλης και αέρα (οξυγόνου) είναι αυτονόητη. Συνεπώς, μία κατάλληλη πηγή θερμότητας είναι αυτή που δημιουργεί την εκδήλωση της φωτιάς. Ο τρόπος με τον οποίο θα συμπεριφερθεί η πυρκαγιά, όμως, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που επιδρούν σ' αυτή. Παρακάτω αναλύονται οι παράγοντες αυτοί.

1.6. Μεταφορά θερμότητας

Για να αρχίσει η καύση θα πρέπει η θερμοκρασία της καύσιμης ύλης να φτάσει στο σημείο ανάφλεξης, το οποίο είναι γύρω στους 350 °C (Luce and McArthur, 1978). Τα αίτια μπορεί να είναι είτε φυσικά είτε ανθρωπογενή. Για την εξάπλωση της πυρκαγιάς πρέπει να μεταφερθεί θερμότητα, δηλαδή ενέργεια στην παρακείμενη καύσιμη ύλη προθερμαίνοντάς την μέχρι να φτάσει και αυτή σε θερμοκρασία ανάφλεξης. Με αυτό τον τρόπο μεταφέρεται η φλόγα και διαδίδεται η πυρκαγιά (Ταμπάκης και Καρανικόλα, 2015).

Η μεταφορά της θερμότητας γίνεται με τρεις τρόπους ("Δασικές Πυρκαγιές - Χαρακτηριστικά καύσιμης ύλης, Καιρικές συνθήκες, Τοπογραφικές συνθήκες.", 2017):

- Με επαφή, η φωτιά διαδίδεται από το ένα σημείο της καύσιμης ύλης λόγω της αγωγιμότητας του ξύλου. Αυτός ο τρόπος διάδοσης της φωτιάς δεν είναι ιδιαίτερα συνηθισμένος αφού το ξύλο έχει μικρή αγωγιμότητα.
- Με επαγωγή, δηλαδή με διάχυση και μεταφορά των αερίων της καύσης. Ο συγκεκριμένος τρόπος εξάπλωσης της φλόγας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες κάνοντας τον ιδιαίτερα μεταβλητό ως προς τη συνεισφορά του στη διάδοση της πυρκαγιάς. Τέτοιοι παράγοντες είναι η δομή της βλάστησης, ο άνεμος αλλά και η τοπογραφία. Για παράδειγμα, σε επίπεδα εδάφη χωρίς ιδιαίτερο άνεμο που υπάρχει μόνο χαμηλή βλάστηση, η μετάδοση της φωτιάς με επαγωγή δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική. Αυτό συμβαίνει διότι τα θερμά αέρια από την καύση ανεβαίνουν στην ατμόσφαιρα προς τα πάνω χωρίς να συναντούν κάποιου είδους καύσιμη ύλη για να εξαπλωθεί γρήγορα η φλόγα. Αντίθετα σε περιοχές που υπάρχει ταυτόχρονα με τη χαμηλή βλάστηση και υψηλή, τα θερμά αέρια ανεβαίνοντας προς τα πάνω συναντούν τις κόμες της υψηλής βλάστησης με αποτέλεσμα να τις προθερμαίνουν και τελικά να φτάνουν σε θερμοκρασία ανάφλεξης και να εξαπλώνεται ταχύτατα η πυρκαγιά. Επίσης, με την επίδραση ισχυρών ανέμων, τα θερμά αέρια μεταφέρονται γρήγορα μπροστά από το μέτωπο της πυρκαγιάς και με τον τρόπο αυτό έχουμε εξάπλωση της πυρκαγιάς με μεγάλη ταχύτητα. Όταν έχουμε μεγάλη κλίση στο έδαφος έχουμε σημαντική συνεισφορά της επαγωγής ως προς την επέκταση της πυρκαγιάς.

- Με ακτινοβολία που προέρχεται από τη φλόγα, θεωρείται ο σημαντικότερος τρόπος εξάπλωσης της φωτιάς. Η συνεισφορά του στον τρόπο μετάδοσης της θερμότητας είναι πολύ μεγάλη. Αυτό συμβαίνει επειδή η ακτινοβολούμενη θερμότητα που είναι θερμική ενέργεια διαδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ευθείες γραμμές με την ταχύτητα του φωτός (Countryman, 1977). Η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αυξάνεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή. Π.χ. εάν η προσπίπτουσα ακτινοβολία στην καύσιμη ύλη σε απόσταση 20 μέτρων από τη φλόγα έχει ένταση Α τότε εάν η φλόγα πλησιάσει στα 10 μέτρα η ένταση της ακτινοβολίας θα είναι τετραπλάσια.

1.7. Παράγοντες συμπεριφοράς μεγάλων δασικών πυρκαγιών

1.7.1. Καύσιμη ύλη

Το δάσος στο σύνολο του θεωρείται καύσιμη ύλη αφού αποτελείται από αναφλέξιμα υλικά. Ο τρόπος, όμως, με τον οποίο επηρεάζουν τα υλικά αυτά τη συμπεριφορά της φωτιάς εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η διάταξή τους στο χώρο, η ποσότητά τους, η δομή τους, η σύνθεσή τους, η περιεχόμενη σ' αυτά υγρασία, η θερμοκρασία τους και το είδος της βλάστησής ("Δασικές Πυρκαγιές - Χαρακτηριστικά", n.d.).

Με βάση τη διάταξη της καύσιμης ύλης στο δάσος τη διαχωρίζουμε σε υποεδάφια, επιεδάφια και εναέρια ("Δασικές Πυρκαγιές - Χαρακτηριστικά ", n.d.). Όσον αφορά την υποεδάφια καύσιμη ύλη, αποτελείται από το βαθύ χούμο, τις ρίζες, κλαδιά και σάπιους μισοθαμένους κορμούς. Όταν λοιπόν η υποεδάφια καύσιμη ύλη φτάσει σε θερμοκρασία ανάφλεξης, η εξάπλωση της πυρκαγιάς είναι πολύ αργή λόγω της έλλειψης οξυγόνου και η συνεισφορά της στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς είναι μικρή. Εδώ βέβαια πρέπει να τονιστεί πως αποτελεί σημαντική πηγή αναζωπύρωσης.

Η επιεδάφια καύσιμη ύλη αποτελείται από υλικά τα οποία βρίσκονται πάνω στο έδαφος, όπως ("Δασικές Πυρκαγιές - Χαρακτηριστικά", n.d.):

- Ο χούμος, δηλαδή η νεκρή βιομάζα (βελόνες, φύλλα, κλαδάκια) που έχει αποσυντεθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην είναι αναγνωρίσιμη η προέλευσή της.
- Ο ξηροφυλλοτάπητας, δηλαδή βιομάζα που δεν έχει προχωρήσει τόσο πολύ η αποσύνθεσή της και μπορεί να αναγνωριστεί η προέλευσή της
 - Χόρτα
 - Πρέμνα
 - Μικροί θάμνοι
 - Νεαρά δενδρύλλια

Οι πυρκαγιές που δημιουργούνται σ' αυτού του είδους την καύσιμη ύλη είναι πολύ μεγάλης ταχύτητας και συνήθως μεγάλης έντασης μιας και το οξυγόνο είναι σε άφθονη ποσότητα. Επίσης, η αρχική ανάφλεξη των δασικών πυρκαγιών συνήθως γίνεται στην επιεδάφια καύσιμη ύλη (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015)

Η εναέρια καύσιμη ύλη περιλαμβάνει το σύνολο της βιομάζας που βρίσκεται περίπου 1,5 μέτρα και πάνω από τα έδαφος, δηλαδή όλα τα πράσινα και νεκρά μέρη που βρίσκονται στην κόμη των δένδρων. Τέτοια υλικά είναι τα φύλλα και οι βελόνες, τα κλαδιά στην κόμη των δένδρων, νεκρά ιστάμενα δένδρα, υψηλοί θάμνοι, αναρριχώμενα φυτά κλπ. Η ανάφλεξη αυτού του είδους καύσιμης ύλης θεωρείται ότι αυξάνει σε πολύ μεγάλο βαθμό την ένταση της συμπεριφοράς της φωτιάς. Επίσης, η εναέρια καύσιμη ύλη δημιουργεί νέες εστίες πυρκαγιών με τη μετάδοση αναφλέξεων σε μεγάλες αποστάσεις με καύτρες ("Δασικές Πυρκαγιές", n.d.).

Με αντίστοιχο τρόπο διαχωρίζουμε και τις δασικές πυρκαγιές ανάλογα με το είδος της καιόμενης καύσιμης ύλης, τον τρόπο εξάπλωσής τους και τη θέση τους στην επιφάνεια του εδάφους σε: α) πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες, όταν καίγεται η υποεδάφια καύσιμη ύλη, β) πυρκαγιές επιφανείας ή έρπουσες, όταν καίγεται η επιεδάφια καύσιμη ύλη γ) πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες, όταν καίγεται η εναέρια καύσιμη ύλη (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015). Οι Dimitrakopoulos et al. (2011) αναφέρουν πως οι περισσότερες μεγάλες πυρκαγιές στην Ελλάδα διαδίδονται ως ένας συνδυασμός πυρκαγιών επιφανείας και κόμης.

Ένα στοιχείο που κάνει την καύσιμη ύλη βασικό παράγοντα της καύσης θεωρείται η ποσότητά της (Ταμπάκης και Καρανικόλα, 2015). Η θερμική ένταση της πυρκαγιάς εξαρτάται από την ποσότητα της καύσιμης ύλης. Κατά συνέπεια η θερμική ενέργεια που εκλύεται από τη συνολική ποσότητα της καύσιμης ύλης μπορεί να καθορίσει σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά της φωτιάς ("Δασικές Πυρκαγιές - Χαρακτηριστικά", n.d.). Έτσι λοιπόν, η συσσώρευση της καύσιμης ύλης θεωρείται πολύ σημαντική παράμετρος για τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές (Ganteaume & Jappiot, 2013). Η παραγωγή διαφόρων δασικών προϊόντων, όπως ρητίνη, καυσόξυλα, κτηνοτροφικά προϊόντα έχει μειωθεί σε σημαντικό βαθμό τις τελευταίες δεκαετίες στα Μεσογειακά οικοσυστήματα με αποτέλεσμα την αύξηση της βιομάζας με συνέπεια την πολύ πιο έντονη συμπεριφορά πυρκαγιάς σε σύγκριση με το παρελθόν (Moreira et al., 2010; Xanthopoulos et al., 2012).

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζεται στο συνδυασμό της ποσότητας της καύσιμης ύλης με την κατανομή της στο χώρο, δηλαδή τη δομή της βλάστησης. Επειδή οι δασικές πυρκαγιές έχουν χωρική διάσταση μας ενδιαφέρει με ποιο τρόπο η ποσότητα της καύσιμης ύλης κατανέμεται σε οριζόντιο και σε κατακόρυφο επίπεδο στο χώρο (Καϊλίδης και Καρανικόλα 2004). Ο συνδυασμός αυτός αποτελεί βασικό κλειδί για την εξάπλωση, την ταχύτητα και την ένταση της πυρκαγιάς. Έχει βρεθεί πως στα μεσογειακά οικοσυστήματα το μέγεθος της καμένης έκτασης αυξάνεται όταν υπάρχει υψηλή συνδεσιμότητα μεταξύ της βλάστησης (Loepfe et al, 2010). Επίσης, οι Curt et al (2013) υποστηρίζουν πως κάτω από παρόμοιες συνθήκες σύνθεσης της βλάστησης, το μέγεθος της φωτιάς επηρεάζεται κυρίως από τη συνδεσιμότητα της βλάστησης. Η κατανομή και η συνδεσιμότητα της βλάστησης θεωρούνται σημαντικοί παράγοντες για την ισχυρή ταχύτητα διάδοσης στις μεγάλες δασικές πυρκαγιές (Mitsopoulos & Mallinis, 2017).

Επίσης, σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη μίας πυρκαγιάς έχουν οι διαστάσεις της καύσιμης ύλης και ο βαθμός συμπίεσής της. Βιομάζα με μικρές διαστάσεις καίγεται πιο εύκολα από καύσιμη ύλη μεγαλύτερων διαστάσεων (Moreira et al., 2012). Επιπρόσθετα, καύσιμη ύλη η οποία είναι συμπιεσμένη με λίγα διάκενα στο χώρο έχει ως αποτέλεσμα πιο γρήγορη μετάδοση της πυρκαγιάς. Όσο πιο πολλά διάκενα βλάστησης υπάρχουν, τόσο περισσότερες είναι οι αλλαγές στην ταχύτητα εξάπλωσης και στην ένταση μιας πυρκαγιάς (Καλαμποκίδης κ.ά. 2013).

Σύμφωνα με τους Ταμπάκη και Καρανικόλα (2015), η πυκνότητα της καύσιμης ύλης έχει αντιστρόφως ανάλογη σχέση με την ικανότητα ανάφλεξης. Η πυκνότητα του καυσίμου έχει ιδιαίτερη σημασία στη συμπεριφορά της φωτιάς διότι επηρεάζει τη συνολική ποσότητα θερμότητας που μπορεί να απορροφήσει το καύσιμο πριν την ανάφλεξή του (Moreira et al, 2015). Η νεκρή βιομάζα καίγεται πολύ εύκολα λόγω της χαμηλής της πυκνότητας. Επίσης, η ανατομία του καυσίμου επηρεάζει την καύση, ειδικότερα το πορώδες του ξύλου παρουσιάζει μεγαλύτερη ευκολία στην ανάφλεξη, όπως επίσης, τραχιές και ανώμαλες επιφάνειες αναφλέγονται πιο εύκολα (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015).

Η θερμοκρασία της καύσιμης ύλης αποτελεί άλλον έναν παράγοντα για την εξέλιξη μίας πυρκαγιάς. Η θερμοκρασία της καύσιμης ύλης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα και την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Τα πιο θερμά καύσιμα υλικά απαιτούν λιγότερη θερμική ενέργεια για τη διαδικασία της καύσης με συνέπεια την πιο γρήγορη ανάφλεξή τους. Έτσι, η ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς είναι πιο γρήγορη ("Δασικές Πυρκαγιές - Χαρακτηριστικά", n.d.).

Σπουδαίο ρόλο για την καύσιμη ύλη έχει η περιεχόμενη σ' αυτήν υγρασία (Fuel Moisture Content), δηλαδή η ποσότητα νερού σε γραμμάρια που περιέχεται σ' ένα γραμμάριο ξερής καύσιμης ύλης (Xanthopoulos and Wakimota, 1993). Η υψηλή υγρασία της καύσιμης ύλης έχει σαν αποτέλεσμα περισσότερη ενέργεια για την ανάφλεξη με αποτέλεσμα να καθυστερείται η προθέρμανση της καύσιμης ύλης καθώς και η ανάφλεξή της. Η υγρασία των καυσίμων (FMC) έχει κρίσιμο ρόλο για το ρυθμό διάδοσης της φωτιάς και το μήκος της φλόγας (Moreira et al., 2012). Η υγρασία της βιομάζας μπορεί να έχει διαφορετικές τιμές στη διάρκεια του έτους αλλά ακόμα και ημερησίως καθιστώντας την έναν αρκετά μεταβλητό παράγοντα ("Δασικές Πυρκαγιές - Χαρακτηριστικά", n.d.). Η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας της ζωντανής βιομάζας (FMC) επηρεάζεται από τη φυσιολογία του φυτού και σε μικρότερο βαθμό από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Αντίθετα, η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας στη νεκρή καύσιμη ύλη εξαρτάται αποκλειστικά από τις συνθήκες περιβάλλοντος αφού μιλάμε για νεκρούς οργανισμούς (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015). Θεωρείται πως η νεκρή λεπτή καύσιμη ύλη είναι το πρώτο είδος καύσιμης ύλης που θα αναφλεγεί και ακολουθεί η ανάφλεξη των μέσης διαμέτρου νεκρών καυσίμων αλλά και των ζωντανών φυτών. Αξίζει να αναφερθεί πως το εύρος FMC της νεκρής

βιομάζας ξεκινά από 2% και φθάνει ως και 40% επί του ξηρού βάρους ενώ της ζωντανής από 30% ως και 300%.

Το είδος της καύσιμης ύλης είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την ικανότητα ανάφλεξης και τη διάδοση της πυρκαγιάς (Xanthopoulos et al., 2012). Η ικανότητα ανάφλεξης κάθε είδους καθορίζεται από τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες. Επειδή, όμως, η σύνθεση κάθε δάσους ποικίλει τόσο σε ποώδη όσο και σε ξυλώδη βλάστηση είναι πολύπλοκος ο καθορισμός της ικανότητας ανάφλεξης του δασικού οικοσυστήματος με βάση το είδος της βλάστησης. Βέβαια, οι Xanthopoulos et al (2012) έχουν αξιολογήσει διάφορα δασικά είδη του ευρωπαϊκού χώρου όσον αφορά την επικινδυνότητά τους στη φωτιά. Οι Fernades et al. (2016a) αναφέρουν πως η θαμνώδης βλάστηση, τα πεύκα και τα σκληρόφυλλα πλατύφυλλα σχετίζονται με τη γρήγορη εξάπλωση και την υψηλής έντασης πυρκαγιά. Επίσης, οι Ganteaume & Jarriot (2013) υποστηρίζουν πως υπάρχει θετική συσχέτιση του μεγέθους της καμένης έκτασης, δηλαδή των μεγάλων δασικών πυρκαγιών, με τις θαμνώδεις εκτάσεις αλλά αρνητική με την υψηλή βλάστηση. Η συμπεριφορά της φωτιάς εξαρτάται κυρίως από τη δομή της βλάστησης παρά από τον τύπο κάλυψης (Fernades, 2009). Οι διαφορές στην ικανότητα ανάφλεξης στους διάφορους τύπους βλάστησης γίνονται αμελητέες όταν έχουμε ακραίες καιρικές συνθήκες (Barros & Pereira, 2014).

Σε πρόσφατες έρευνες έχει βρεθεί πως οι παράγοντες που αφορούν την καύσιμη ύλη έχουν μέτρια επίδραση στο διαχωρισμό μικρών και μεγάλων πυρκαγιών (Mitsopoulos & Mallinis, 2017; Liu et al, 2013 ; Parisien et al, 2011). Ενώ οι Dimitrakopoulos et al. (2011) δε βρήκαν καμία συσχέτιση μεταξύ μεγάλων δασικών πυρκαγιών και οποιασδήποτε μεταβλητής που αφορά τη βλάστηση, επιβεβαιώνοντας τον Dickson (2006), ο οποίος αναφέρει πως η βλάστηση δεν είναι ισχυρός παράγοντας για την εμφάνιση μεγάλων πυρκαγιών.

1.7.2. Ατμοσφαιρικές συνθήκες

Ο καιρός είναι εκείνος ο παράγοντας που ασκεί σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά μίας πυρκαγιάς και επηρεάζει σημαντικά το μέγεθος της καμένης

έκτασης. Πολλές έρευνες έχουν δείξει πως οι καιρικές συνθήκες έχουν καθοριστικό ρόλο στην εμφάνιση μεγάλων δασικών πυρκαγιών (Podur & Martel, 2007, Parisien et al, 2011; Feug et al, 2015). Η σημασία τους είναι ιδιαίτερα κρίσιμη λόγω της μεταβλητότητάς τους. Οι καιρικές συνθήκες είναι δυνατό να μεταβάλλονται συνεχώς ακόμα και κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου με συνέπεια να αλλάζουν και τη συμπεριφορά της φωτιάς δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα στις δυνάμεις δασοπυρόσβεσης κατά τη διάρκεια της καταστολής ("Weather Elements", 2017). Οι San-Miquel-Ayanz et al. (2013) έχουν υποστηρίξει πως οι καιρικές συνθήκες είναι κρίσιμοι παράγοντες για το ρυθμό εξάπλωσης των πυρκαγιών μεταβάλλοντας τα μικρά μεγέθη σε μεγάλα, καθώς επίσης επηρεάζουν και τη συχνότητά τους.

1.7.3. Θερμοκρασία αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα έχει άμεση επίδραση στη συμπεριφορά της φωτιάς λόγω των απαιτήσεων θερμότητας για ανάφλεξη και συνέχιση της διαδικασίας καύσης. Η θερμότητα από τον ήλιο μεταφέρεται στη Γη μέσω της ακτινοβολίας. Έτσι λοιπόν, θερμαίνεται η επιφάνεια της Γης και στη συνέχεια θερμαίνεται η ατμόσφαιρα που βρίσκεται κοντά της λόγω της αντανάκλασης της ακτινοβολίας από τη Γη ("Weather Elements", 2017).

Τα καύσιμα των δασών λαμβάνουν θερμότητα μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Έπειτα, μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από τους υδρατμούς που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία της. Τα θερμά καύσιμα θα ανάψουν και θα καούν πιο γρήγορα επειδή χρησιμοποιείται λιγότερη θερμική ενέργεια για τη θερμοκρασία ανάφλεξής τους. Επίσης, καύσιμη ύλη που δε σκιάζεται θα είναι πιο θερμή και πιο ξηρή. Γεγονός που μπορεί να επιτρέψει την έναρξη της φωτιάς πιο εύκολα αλλά και την ταχύτερη διάδοσή της.

Η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη τις μεσημεριανές ώρες με αποτέλεσμα να έχουμε υψηλότερες θερμοκρασίες καυσίμου αυτές τις ώρες. Κατά συνέπεια, απαιτείται λιγότερη θερμότητα για τη θερμοκρασία ανάφλεξης της καυσίμης ύλης.

Ταυτόχρονα, οι αυξανόμενες θερμοκρασίες οδηγούν σε μείωση της σχετικής υγρασίας και της υγρασίας καυσίμου ("Weather Elements", 2017).

Οι Dimitrakopoulos et al. (2011) αναφέρουν πως στην Ελλάδα παρουσιάζονται μεγάλες δασικές πυρκαγιές κατά τη διάρκεια κυμάτων καύσωνα και όταν έχουμε θερμοκρασίες πάνω από 30°C σε συνδυασμό με μέτριους ή/και δυνατούς ανέμους. Επίσης, οι Mitsopoulos & Mallinis (2017) και οι San Miquel- Ayanz et al. (2013) υποστηρίζουν πως η υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το μέγεθος της καμένης έκτασης μιας πυρκαγιάς.

1.7.4. Σχετική υγρασία

Η σχετική υγρασία είναι ο λόγος, δηλαδή το κλάσμα, της περιεχόμενης υγρασία στον αέρα με τη μέγιστη υγρασία που θα μπορούσε να συγκρατήσει ο αέρας στην ίδια θερμοκρασία και πίεση, δηλαδή όταν ο αέρας είναι κορεσμένος. Η σχετική υγρασία εκφράζεται συνήθως σε ποσοστό. Όταν έχουμε ομίχλη στην ατμόσφαιρα, δηλαδή υγραποίηση των υδρατμών, σημαίνει πως η σχετική υγρασία είναι 100%. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα η σχετική υγρασία μειώνεται αφού ο αέρας μπορεί να συγκρατήσει περισσότερη υγρασία. Αυτό μαθηματικά σημαίνει πως αυξάνεται ο παρανομαστής του κλάσματος. Βέβαια είναι δυνατό να μεταβληθεί και ο αριθμητής του κλάσματος, δηλαδή να προστεθεί ή να αφαιρεθεί νερό στην ατμόσφαιρα ("Δασικές Πυρκαγιές", n.d.).

Η σχετική υγρασία επιδρά στη συμπεριφορά της φωτιάς διότι επηρεάζει την περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης ύλης. Χαμηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας έχουν ως αποτέλεσμα την ταχύτερη εξάτμιση της υγρασίας του καυσίμου. Συνεπώς, όσο μικρότερα ποσά υγρασίας έχουμε σ' ένα καύσιμο, τόσο λιγότερη θερμική ενέργεια χρειάζεται για να έρθει σε θερμοκρασία ανάφλεξης. Η σχετική υγρασία λοιπόν είναι ρυθμιστικός παράγοντας της περιεχόμενης υγρασίας της καύσιμης ύλης και κατ' επέκταση της ανάφλεξης και της συνέχισης της διαδικασίας της καύσης. Τα υψηλότερα επίπεδα σχετικής υγρασίας στον ημερήσιο κύκλο τα συναντούμε τις

πρώτες πρωινές ώρες πριν το φως της ημέρας και τα χαμηλότερα κατά τις μεσημβρινές ώρες ("Weather Elements", 2017) .

Πολλές έρευνες έχουν δείξει πως η σχετική υγρασία είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την εξέλιξη και τη συμπεριφορά της φωτιάς δημιουργώντας μεγάλες δασικές πυρκαγιές. Βέβαια, η επίδραση της σχετικής υγρασίας παίζει σημαντικό ρόλο σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες και ισχυρούς ή μέτριους ανέμους (Viegas, 1998; Stocks et al., 2002; Dimitrakopoulos, 2011; Mitsopoulos 2017).

1.7.5. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και Ξηρασία

Η ξηρασία και η έλλειψη κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, πάχνη, δροσιά) συνδέονται με την υψηλή πιθανότητα ανάφλεξης αλλά και με την έντονη συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα επιδρούν στην υγρασία της καύσιμης ύλης και στην υγρασία του εδάφους, καθώς επίσης, αυξάνουν τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας του αέρα, ενώ ηρεμούν τους ανέμους ("Weather Elements", 2017). Οι Ganteaume & Jappiot (2013) υποστηρίζουν πως οι περισσότερες μεγάλες πυρκαγιές εμφανίζονται κατά τη διάρκεια ξηρασίας.

Η ποσότητα της βροχής είναι πολύ σπουδαίος παράγοντας που επιδρά ανασχετικά στη δημιουργία και επέκταση των δασικών πυρκαγιών. Δυνατές βροχές που διαρκούν για πολύ χρονικό διάστημα αποθέτουν μεγάλες ποσότητες νερού, διαβρέχουν καλά την εύφλεκτη δασική ύλη και την κάνουν ανθεκτική στην έναρξη και επέκταση των πυρκαγιών. Σε αντίθεση, ελαφρές βροχές μικρής διάρκειας έχουν μικρότερη επίδραση (Ταμπάκης και Καρανικόλα, 2015).

Η έλλειψη κατακρημνισμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη υγρασία της καύσιμης ύλης, κατά συνέπεια έχουμε μεγαλύτερη ποσότητα νεκρών και ξηρών καυσίμων, κατηγορίες της καύσιμης ύλης που ξεκινούν οι πυρκαγιές. Οι Pereira et al. (2005) αναφέρουν πως οι περισσότερες μεγάλες πυρκαγιές εμφανίζονται σε σχετικά μεγάλες ξηρές περιόδους με έντονη απουσία κατακρημνισμάτων αργά την άνοιξη και νωρίς το καλοκαίρι ή σε μικρά διαστήματα ξηρασίας κατά τη διάρκεια ημερών με ακραίες καιρικές συνθήκες.

1.7.6. Άνεμος

Ο ατμοσφαιρικός αέρας που περιβάλλει τη Γη βρίσκεται σε κίνηση λόγω της περιστροφικής κίνησης της Γης, του ανάγλυφου και της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνει ο αέρας από την ατμόσφαιρα και από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτή την κίνηση την ορίζουμε ως άνεμο (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015). Η κίνηση αυτή μπορεί να έχει απότομες αλλαγές ακόμα και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο άνεμος θεωρείται ένας ιδιαίτερα μεταβλητός παράγοντας στη συμπεριφορά της φωτιάς δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα στις δυνάμεις δασοπυρόσβεσης κατά τη διάρκεια της καταστολής ("Δασικές Πυρκαγιές", n.d.).

Ο άνεμος μπορεί να επηρεάσει την ένταση και το μέγεθος της φωτιάς μέσω της κατεύθυνσης του και της ταχύτητάς του ή ακόμα με την συνέργια του με την τοπογραφία της περιοχής που καίγεται. Μάλιστα οι Mitsopoulos & Mallinis (2017) αναφέρουν την ταχύτητα του ανέμου ως έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στο διαχωρισμό μικρών και μεγάλων δασικών πυρκαγιών για τα μεσογειακά οικοσυστήματα. Επίσης, διάφορες έρευνες έχουν δείξει πως δυνατοί ή ακόμα και μέτριοι έντασης άνεμοι συνδέονται με το μέγεθος της καμένης έκτασης (Viegas, 1998; Stocks, 2002; Dimitrakopoulos, 2011).

Ουσιαστικά ο άνεμος είναι η κίνηση του αέρα μεταξύ περιοχών υψηλότερης και χαμηλότερης πίεσης στην προσπάθειά τους να εξισορροπήσουν τις διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ αερίων μαζών (γενικοί άνεμοι) (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015). Υπάρχουν και οι τοπικοί άνεμοι που προκαλούνται από μεταφορά θερμότητας λόγω ημερήσιων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας. Ενώ, συναντάμε και τους χαρακτηριστικούς ανέμους μιας περιοχής, οι οποίοι οφείλονται στην τοπογραφική διαμόρφωση της συγκεκριμένης τοποθεσίας σε συνδυασμό με κάποιες καιρικές διαταραχές (π.χ. Βαρδάρης, Σιρόκος, Μελέτεια κ.α.) (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015).

Όταν σε μια περιοχή αρχίσει μια πυρκαγιά, εάν δεν πνέει άνεμος, τότε η πυρκαγιά θα επεκταθεί περίπου ομόκεντρα γύρω από το σημείο έναρξής της εφόσον καίει ένα

ομοιογενές και ομοιόμορφο στρώμα δασικών καυσίμων. Εάν επικρατεί άνεμος, η πυρκαγιά θα επεκταθεί κυρίως προς τη διεύθυνση του ανέμου και λιγότερο στην αντίθετη με αυτόν διεύθυνση, ενώ, εάν ο άνεμος ξαφνικά αλλάξει διεύθυνση, τότε η πυρκαγιά θα επεκταθεί προς τη νέα διεύθυνση του ανέμου (Καϊλίδης και Καρανικόλα 2004).

Ένα από τα θεμελιώδη στοιχεία της φωτιάς είναι το οξυγόνο όπως έχει ήδη αναφερθεί. Με την επίδραση του ανέμου λοιπόν, παρέχονται μεγαλύτερες ποσότητες οξυγόνου επιταχύνοντας τη διαδικασία της καύσης ενώ ταυτόχρονα ενισχύεται η μείωση της περιεχόμενης υγρασίας του καυσίμου μέσω της εξάτμισης ("Weather Elements", 2017). Ο Aguado (2007) υποστηρίζει πως η ταχύτητα του ανέμου και η θερμοκρασία σχετίζονται με την περιεκτικότητα υγρασίας της νεκρής καύσιμης ύλης. Αυτό, ίσως να εξηγεί το γεγονός πως η νεκρή καύσιμη ύλη είναι το πρώτο είδος καυσίμου που αναφλέγεται όπως έχει αναφερθεί παραπάνω.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό της συμβολής του ανέμου στη συμπεριφορά των πυρκαγιών είναι πως διευκολύνει τη μεταφορά της θερμότητας. Όταν φυσάει ισχυρός άνεμος, οι φλόγες στο μέτωπο της πυρκαγιάς δημιουργούν κλίση προς την παρακείμενη καύσιμη ύλη προθερμαίνοντάς την (μεταφορά θερμότητας με επαγωγή) και επομένως φτάνει ταχύτερα στο σημείο ανάφλεξης με αποτέλεσμα να έχουμε πιο έντονη και πιο γρήγορη εξάπλωση της φωτιάς ατμόσφαιρα (Viegas, 1998; Stocks, 2002; Mitsopoulos & Mallinis, 2017). Επίσης, με την κλίση των φλογών του μετώπου που δημιουργεί ο ισχυρός άνεμος διευκολύνεται και η μεταφορά ενέργειας μέσω της προσπίπτουσας ακτινοβολίας της φλόγας αφού βρίσκεται πιο κοντά στην παρακείμενη καύσιμη ύλη ατμόσφαιρα ("Δασικές Πυρκαγιές", n.d.).

Ένα βασικό χαρακτηριστικό για το οποίο ο ισχυρός άνεμος μπορεί να θεωρηθεί κρίσιμος και επικίνδυνος για την επέκταση μιας πυρκαγιάς είναι η μεταφορά αναμμένων τεμαχιδίων καύσιμης ύλης, τις λεγόμενες 'καύτρες', σε απόσταση δεκάδων ή και εκατοντάδων μέτρων από το μέτωπο της πυρκαγιάς. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται νέες εστίες πυρκαγιών, οι οποίες ενοποιούνται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και μπορεί να θέσουν σε απειλή ακόμα και τις ζωές των δασοπροσβεστών. Οι 'καύτρες' προσπερνάνε τις αντιπυρικές ζώνες και τους δρόμους που υπό συνθήκες νηγεμίας θα λειτουργούσαν ως εμπόδια για την εξάπλωση της πυρκαγιάς ("Δασικές Πυρκαγιές - Χαρακτηριστικά", n.d.).

Σύμφωνα με τους Ταμπάκη και Καρανικόλα (2015) έχει παρατηρηθεί πως κάτω από συνθήκες ομαλού βαρομετρικού πεδίου κατά τη διάρκεια της νύχτας παρουσιάζονται οι ελάχιστες τιμές στις ταχύτητες του ανέμου μέχρι την ανατολή του ηλίου. Αυτό συμβαίνει επειδή κατά τη διάρκεια της νύχτας λόγω έλλειψης ηλιακής ακτινοβολίας δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας στις αέριες μάζες και συνεπώς δεν παρουσιάζεται έντονη κατακόρυφη κίνηση του αέρα (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015). Μετά την ανατολή του ηλίου, οι ταχύτητες του ανέμου αρχίζουν να αυξάνουν και να παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις καθώς πλησιάζει το μεσημέρι. Οι μεγαλύτερες τιμές της ταχύτητας του ανέμου παρουσιάζονται τις πρώτες μεσημβρινές ώρες ("Weather Elements", 2017).

Σημαντική επίδραση για την εξάπλωση της φωτιάς και την αύξηση του μεγέθους της καμένης έκτασης θεωρείται ο συνδυασμός του ανέμου και της τοπογραφίας (Barros, 2012). Για παράδειγμα, όταν η φωτιά εισέρχεται σε στενό φαράγγι που είναι κλειστό στο ένα του άκρο, δημιουργούνται ακραίες συνθήκες εξάπλωσης της φωτιάς στις πλαγιές του φαράγγιου που συνοδεύονται από ισχυρούς ανοδικούς ανέμους, μεγάλες ποσότητες καπνού και πολύ συχνά εκδηλώνεται ένας υπόκωφος χαρακτηριστικός θόρυβος. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό και ως «φαινόμενο της καμινάδας» ή “blow- up” (Κωνσταντινίδης 2003; Gulch, 2007). Η απότομη αυτή αύξηση του ρυθμού διάδοσης είναι υπεύθυνη, σε πολλές περιπτώσεις, για θανατηφόρα ατυχήματα σε ολόκληρο τον κόσμο.

Επίσης, ο άνεμος Foehn (λίβας) είναι ένας γενικός άνεμος που συνδέεται με συστήματα οροσειρών. Εκδηλώνεται ως βαριά και σταθερή ώθηση αέρα εγκαρσώς μίας οροσειράς και ύστερα κατέρχεται τις πλαγιές της υπήνεμης πλευράς, μεταβαλλόμενος σε θερμότερος και ξηρότερος άνεμος λόγω συμπίεσης (Καλαμποκίδης κ.α., 2013)

1.7.7. Ευστάθεια της ατμόσφαιρας

Όταν αναφερόμαστε στην ευστάθεια της ατμόσφαιρας εννοούμε την αντίστασή της στην κάθετη κίνηση του αέρα. Η ευστάθεια της ατμόσφαιρας είναι ένας άλλος

παράγοντας που συμβάλει στην εξέλιξη μιας πυρκαγιάς και για το λόγο αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από τις δασοπυροσβεστικές δυνάμεις στο σχεδιασμό κατάσβεσης ("Weather Elements", 2017) .

Η ατμόσφαιρα διαρκώς προσπαθεί να εξισορροπήσει τις διαφορές θερμοκρασίας που υπάρχουν σ' αυτή. Οι αέριες μάζες στην ατμόσφαιρα έχουν διαφορετική θερμοκρασία και υγρασία μεταξύ τους που καθορίζονται από την πηγή τους, δηλαδή από την περιοχή που δημιουργήθηκαν και από τη διαδρομή τους. Μόλις συναντηθούν δύο αέριες μάζες καθώς έχουν διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ τους προκαλούνται κάθετες κινήσεις με συνέπεια η ατμόσφαιρα να είναι ασταθής, γεγονός που διευκολύνει την επέκταση της πυρκαγιάς ("Weather Elements", 2017). Όταν δύο αέριες μάζες συναντηθούν αναμειγνύονται μεταξύ τους πολύ αργά και τείνουν να διατηρήσουν την αυτοτέλειά τους όσον αφορά τη θερμοκρασία και την υγρασία τους. Η μεταβατική ζώνη ανάμιξης στο ύψος της επιφάνειας του εδάφους των δύο αερίων μαζών καλείται μέτωπο (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015). Σύμφωνα με τους Καλαμποκίδη κ.α. (2013), φαίνεται πως τα ψυχρά μέτωπα επιδρούν στη συμπεριφορά και στο μέγεθος της φωτιάς μέσω των ανέμων που προκαλούν. Ως ψυχρό μέτωπο ορίζουμε την τομή μιας ψυχρής μετωπικής επιφάνειας με την επιφάνεια του εδάφους (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015). Η ψυχρή μετωπική επιφάνεια σχηματίζεται όταν μία ψυχρή αέρια μάζα έρθει σε επαφή με μία θερμή αέρια μάζα και κινούνται με τέτοιο τρόπο ώστε η θερμή να προηγείται της ψυχρής. Καθώς η ψυχρή αέρια μάζα κινείται ταχύτερα από τη θερμή που προηγείται, ο ψυχρός αέρας, που είναι πυκνότερος και βαρύτερος, εισχωρεί κάτω από τον θερμό και τον αναγκάζει να κινηθεί ανατολικότερα. Ταυτόχρονα τον εξαναγκάζει και σε κατακόρυφη ανοδική κίνηση. Με την άνοδο του υγρού και ασταθούς αέρα, παρατηρείται συμπύκνωση και δημιουργούνται μια σειρά από νέφη που προκαλούν βροχοπτώσεις πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το πέρασμα του μετώπου. Τα νέφη που δημιουργούνται κατά κύριο λόγο είναι οι σωρείτες (νέφη Cumulus) μετά το πέρασ του μετώπου. Οι άνεμοι μπροστά από ένα ψυχρό μέτωπο που πλησιάζει είναι νότιοι- νοτιοδυτικοί και μεταβάλλονται σε βόρειους- βορειοδυτικούς μετά το πέρασμα του μετώπου από την περιοχή. Οι ταχύτητες του ανέμου αυξάνουν σε ένταση καθώς το ψυχρό μέτωπο πλησιάζει και συνήθως γίνονται αρκετά ισχυροί και με ριπές (gusty) όταν το μέτωπο βρίσκεται στην περιοχή (Καλαμποκίδης κ.α., 2013; Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015).

Κάθετη κίνηση του αέρα στην ατμόσφαιρα μπορεί να δημιουργηθεί όταν μία αέρια μάζα έχει μεγάλη διαφορά στη θερμοκρασία από την επιφάνεια του εδάφους πάνω από το οποίο περνάει. Όταν η αέρια μάζα είναι ψυχρότερη από το υποκείμενο έδαφος τότε αυτή θερμαίνεται. Η συγκεκριμένη κατάσταση δημιουργεί αστάθεια του αέρα στα κατώτερα στρώματα και προκαλούνται ανοδικές κινήσεις και τυρβώδεις αναταράξεις. Εάν υπάρχει ταυτόχρονα και αρκετή υγρασία, τότε δημιουργούνται νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης (cumuliform). Αντίθετα, όταν μία αέρια μάζα είναι πιο θερμή από το έδαφος πάνω στο οποίο κινείται τότε αυτή ψύχεται με αποτέλεσμα να προκαλείται πολύ μικρή κατακόρυφη κίνηση και κατά συνέπεια ευστάθεια στην ατμόσφαιρα. Έτσι λοιπόν, παρατηρείται ανάπτυξη θερμοκρασιακής αναστροφής, δηλαδή η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται με το ύψος αντί να μειώνεται, η οποία μπορεί να προκαλέσει επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης και παγίδευσης ρύπων κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (Κατσαφάδος, 2015).

Όταν η κατάσταση της ατμόσφαιρας είναι ευσταθής, δηλαδή δεν παρατηρείται κάθετη κίνηση του αέρα, δε διευκολύνεται η εξέλιξη της πυρκαγιάς διότι δυσκολεύει την τροφοδοσία της με οξυγόνο. Αντίθετα, ενισχύεται η επέκταση της πυρκαγιάς με την κάθετη κίνηση του αέρα αφού διευκολύνει την παροχή οξυγόνου.

1.7.8. Τοπογραφία

Η επίδραση της τοπογραφίας στη διάδοση της φωτιάς είναι πολύπλοκη, σύνθετη και αρκετά μεταβλητή σε χωρική κλίμακα (Hawbaker et al, 2013). Συνεπώς, παράγοντες όπως η τοπογραφική διαμόρφωση, η κλίση του εδάφους, η διεύθυνση και το υψόμετρο μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξάπλωση της φωτιάς. Λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος λοιπόν που παρουσιάζουν οι παράγοντες αυτοί, αξίζει να μελετηθεί η συμβολή τους ως προς τη συμπεριφορά και την εμφάνιση των πυρκαγιών.

Η πιθανότητα εμφάνισης μεγάλων πυρκαγιών θεωρείται πως είναι μεγαλύτερη σε περιοχές με έντονη τοπογραφική διαμόρφωση διότι περιορίζει την πρόσβαση των δασοπυροσβεστικών δυνάμεων (Guytte & Dey, 2000; Dickson, 2006), ενώ κάποιες άλλες έρευνες έχουν δείξει μία οριακή συσχέτιση της τοπογραφίας με τις μεγάλες

δασικές πυρκαγιές (Feng et al, 2015; Fernades et al, 2016a). Επίσης, οι Mitsopoulos & Mallinis (2017) υποστηρίζουν πως οι τοπογραφικοί παράγοντες δεν έχουν σημαντική επίδραση στο διαχωρισμό μικρών και μεγάλων δασικών πυρκαγιών. Οι Liu et al. (2013) επισημαίνουν πως η τοπογραφία παρουσιάζει σημαντική επίδραση στη διάδοση των μικρών πυρκαγιών αλλά καθώς αυξάνεται η ένταση και το μέγεθος της φωτιάς, ο κυρίαρχος έλεγχος αλλάζει από τους τοπογραφικούς παράγοντες στις μεταβλητές του καιρού.

Η ταχύτητα εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς είναι μεγαλύτερη προς τα ανάντη. Αυτό συμβαίνει διότι σε περιοχές με μεγάλη κλίση η παρακείμενη καύσιμη ύλη βρίσκεται πιο κοντά στις φλόγες και κατά συνέπεια δέχεται μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολούμενης θερμότητας. Αντίθετα, η ταχύτητα εξάπλωσης είναι μικρότερη προς τα κατάντη και ακόμα μικρότερη σε επίπεδα εδάφη. (Καϊλίδης και Καρανικόλα, 2004). Όσον αφορά τη διεύθυνση της πλαγιάς, θεωρείται ένας παράγοντας που επιδρά στην περιεχόμενη υγρασία των ελαφρύτερων καυσίμων αφού οι νότιες εκθέσεις είναι ξηρότερες από τις βόρειες. Έτσι λοιπόν, η δασική καύσιμη ύλη ξηραίνεται ταχύτερα στις νότιες, νοτιοδυτικές και δυτικές πλαγίες σε σύγκριση με πλαγίες άλλων εκθέσεων κάνοντάς τες ιδιαίτερα επιρρεπή στη φωτιά (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015).

Οι δασικές πυρκαγιές δε συμβαίνουν παντού στην Ελλάδα αλλά σχεδόν πάντοτε στη μεσογειακή ζώνη, δηλαδή στην παράκτια περιοχή της Ελλάδας, στις περιοχές που βρίσκονται κάτω από τα 600 μ. υψόμετρο και σχεδόν σε όλα τα νησιά (Ξανθόπουλος, 1998; Κωνσταντινίδης, 2007). Καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, αυξάνεται και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας με συνέπεια να μεταβάλλεται η διαμόρφωση της βλάστησης. Η τοπογραφία λοιπόν, καθορίζει την εξάπλωση των μεγάλων δασικών πυρκαγιών με έμμεσο τρόπο μέσω της συμβολής της στη ρύθμιση της δομής της βλάστησης (Liu et al, 2013; Mitsopoulos & Mallinis, 2017). Επίσης στα μεγάλα υψόμετρα, ο αέρας έχει μικρότερη ποσότητα οξυγόνου και επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες. Επομένως, παρουσιάζεται λιγότερη απώλεια υγρασίας στην καύσιμη ύλη, λιγότερη θέρμανση της καύσιμης ύλης και μεγαλύτερη βροχόπτωση με αποτέλεσμα η εμφάνιση και η εξάπλωση πυρκαγιών σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο να είναι περιορισμένες (Καλαμποκίδης κ.α., 2013). Οι Mitsopoulos & Mallinis (2017) υποστηρίζουν πως σε συγκεκριμένα υψόμετρα και τοποθεσίες της Μεσογείου συναντάμε με μεγάλη συχνότητα ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η ανανέωση των βοσκοτόπων για

κτηνοτροφία και η καύση υπολειμμάτων συγκομιδής. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη συσχέτιση του υψομέτρου με την πιθανότητα ανάφλεξης και δημιουργίας μεγάλων δασικών πυρκαγιών.

Η γενική τοπογραφική διαμόρφωση μιας περιοχής επηρεάζει έμμεσα αλλά σημαντικά τη συμπεριφορά της φωτιάς. Η μεταβολή κλίσεων, εκθέσεων και υψομέτρων έχουν ιδιαίτερα σημαντική επίδραση στην ταχύτητα, την κατεύθυνση και τους στροβιλισμούς του ανέμου. Παραδείγματος χάρη, όταν ο άνεμος διέρχεται από ένα βαθύ και στενό φαράγγι η ταχύτητά του αυξάνεται εντυπωσιακά. Ακόμη, όταν ο κατεύθυνση του ανέμου τέμνει μια κορυφογραμμή και η ταχύτητά του είναι αρκετά μεγάλη στην πίσω πλευρά αυτής δημιουργούνται συχνά έντονοι στροβιλισμοί που μεταβάλλουν τη συμπεριφορά της φωτιάς σε σχέση με την αναμενόμενη ("Δασικές Πυρκαγιές - Χαρακτηριστικά", π.δ.). Βέβαια, άλλες έρευνες έχουν δείξει πως υπάρχει αρνητική σύνδεση μεταξύ της έντονης τοπογραφικής διαμόρφωσης και της εμφάνισης πυρκαγιών (Ganteaume & Jappiot, 2013).

1.7.9. Χρόνος εξάπλωσης της πυρκαγιάς

Κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, ορισμένοι παράγοντες, όπως οι καιρικές συνθήκες ή/και η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να μεταβάλλονται διαρκώς όχι μόνο στο χώρο αλλά και στο χρόνο. Συνεπώς, τα χαρακτηριστικά της πυρκαγιάς, όπως η ταχύτητα διάδοσης, η θερμική ένταση, το ύψος της φλόγας, η εκλυόμενη ενέργεια από το μέτωπο μεταβάλλονται και αυτά διαρκώς. Για το λόγο αυτό, η συμπεριφορά της φωτιάς και τα χαρακτηριστικά που επιδρούν σ' αυτή θα πρέπει να εξετάζονται και σε χρονική διάσταση (Viegas, 2006). Η ταχύτητα μιας πυρκαγιάς, που διαδίδεται στο ίδιο καύσιμο, με σταθερό άνεμο και κλίση, είναι διαφορετική μετά από 10 λεπτά εξάπλωσης και διαφορετική (μεγαλύτερη), μετά από μισή ώρα (Vaz et al, 2004).

Η χρονική μεταβλητότητα των παραγόντων που επιδρούν στη φωτιά ενδεχομένως να παίζει σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά της. Συνήθως οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για την εκτίμηση της συμπεριφοράς των μεγάλων δασικών

πυρκαγιών βασίζονται στο γεγονός ότι οι μεταβλητές/παράγοντες που τις καθορίζουν διατηρούν σταθερές τιμές στο χρόνο (Vaz et al, 2004). Έτσι λοιπόν, προσπαθούν να εξάγουν συμπεράσματα για τη διάδοση της φωτιάς σύμφωνα με το βαθμό συνέργειας των σταθερών παραγόντων/μεταβλητών. Φυσικά, αυτό δεν ισχύει στην πραγματικότητα τις περισσότερες περιπτώσεις.

Επιπλέον, η ίδια η πυρκαγιά μπορεί να καθορίσει και να μεταβάλλει τις τιμές και τα χαρακτηριστικά των παραγόντων που επιδρούν σ' αυτή. Λόγω της θέρμανσης των αερίων μαζών στην περιοχή της καύσης και της διαφοράς θερμοκρασίας από τις υπερκείμενες στην περιοχή αέριες μάζες, η πυρκαγιά δημιουργεί ένα δικό της ρεύμα που συμβάλλει στην ένταση των χαρακτηριστικών της. Για παράδειγμα, η ποσότητα θερμών αερίων που μεταφέρεται στα παρακείμενα καύσιμα ή η προσπίπτουσα ακτινοβολία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της φωτιάς, όπως το μέγεθος του μετώπου, και αυτό με τη σειρά του μπορεί να συσχετίζεται με τη διάρκεια, δηλαδή το χρόνο που καίει η φωτιά. Επίσης, η θερμότητα από τη φωτιά μπορεί να αλλάξει ή να δημιουργήσει τοπικούς ανέμους, να συνεισφέρει στην ατμοσφαιρική αστάθεια και να προκαλέσει την ανάπτυξη νεφών σωρείτες (cumulus). Σε ακραίες περιπτώσεις, μία στήλη καύσης, μπορεί να προκαλέσει αστραπές, βροχή και επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα (Καλαμποκίδης, 2013). Έτσι λοιπόν, θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε πως και η ίδια η φωτιά καθορίζει το μέγεθος της, σε συνδυασμό με το χρόνο που διαρκεί και φυσικά με το χώρο στον οποίο εξελίσσεται. Η φωτιά εξαπλώνεται με διαφορετική ταχύτητα διάδοσης τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο, κυρίως σαν συνέπεια της μεταβολής των χαρακτηριστικών καύσης της βλάστησης και του ανέμου, που δημιουργεί η ίδια η πυρκαγιά.

1.8. Αντιμετώπιση δασικών πυρκαγιών

Οι σύγχρονες κοινωνίες, σε παγκόσμια εμβέλεια, έχουν αντιληφθεί πως οι μεγάλες καμένες εκτάσεις είναι η κυριότερη απειλή για τα οικοσυστήματα του πλανήτη μας με

τεράστιο κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό αντίκτυπο (Mitsopoulos & Mallinis, 2017). Δυστυχώς όμως, όπως έχει προαναφερθεί, η έρευνα για τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές είναι αρκετά περιορισμένη. Επομένως, δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα αποτελεσματικοί τρόποι για την αντιμετώπισή τους ώστε οι κοινωνίες να νιώθουν ασφαλείς απέναντι στον κίνδυνο αυτό. Το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών είναι ιδιαίτερα περίπλοκο επειδή επηρεάζεται από πλήθος βιολογικών, περιβαλλοντικών, κοινωνικών, οικονομικών, πολιτικών και τεχνικών παραμέτρων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους σε μεγάλο βαθμό (Ξανθόπουλος, 2016).

Οι πέντε μεσογειακές χώρες που ανήκουν στην ΕΕ (Ελλάδα, Γαλλία, Ιταλία, Πορτογαλία και Ισπανία) επενδύουν περισσότερα από 2,5 δισεκατομμύρια ευρώ κάθε έτος στην αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών, εκ των οποίων το 60% επενδύεται σε εξοπλισμό, προσωπικό και άλλα επιχειρησιακά έξοδα καταστολής, ενώ τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται στην πρόληψη (Biro and Mavsar 2009). Στις ΗΠΑ, μόνο το κόστος καταστολής από το 1998 μέχρι σήμερα ανέρχεται στο 1,5 δις δολάρια, ενώ στον Καναδά σε 750 εκατομ. δολάρια ετησίως (Γκουρμπάτσης, 2015). Έτσι λοιπόν, είναι εμφανής η σημασία των δασικών πυρκαγιών από το τεράστιο οικονομικό κόστος που επενδύεται για την αντιμετώπισή τους. Παρ' όλα αυτά, τεράστιες εκτάσεις συνεχίζουν να καίγονται ετησίως με αποτέλεσμα το πρόβλημα να χρίζει διαφορετικό τρόπο προσέγγισης και αντιμετώπισης.

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ενιαίο αντικείμενο που μπορεί να διαχωριστεί σε επιμέρους επίπεδα (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015). Η διαχείριση τους συνήθως συνδέεται με την καταστολή τους αλλά στη διεθνή Βιβλιογραφία θεωρείται ως 'το σύνολο των ενεργειών που έχουν να κάνουν με την πρόληψη, τη μεταπυρική αποκατάσταση και την καταστολή' (Chandler, 1983; FAO, 1986; Ξανθόπουλος, 2016). Η ανάλυση των πολιτικών για τις δασικές πυρκαγιές στη Νότια Ευρώπη δείχνει ότι κυρίως εστιάζουν σε μέτρα καταστολής, ενώ αντίθετα υπολείπονται σε μακροπρόθεσμες δράσεις πρόληψης και χαρακτηρίζονται από έλλειψη συμπίεσης μεταξύ της πολιτικής προστασίας και του τομέα της δασικής προστασίας (Montiel and San-Miguel, 2009). Το Μεσογειακό Γραφείο του Ευρωπαϊκού Δασικού Ινστιτούτου (EFIMED) ("Πρόληψη δασικών πυρκαγιών στη Μεσόγειο: η διαχείριση είναι η απάντηση", 2017) αναφέρει πως 'το κόστος των μέτρων που διευκολύνουν την καταστολή και κατάσβεση φτάνει σε

δυσθεώρητα ύψη, απορροφώντας τους ήδη μειωμένους πόρους στήριξης των παραγωγικών τομέων της δασοπονίας. Όσο, μάλιστα η έμφαση θα δίδεται στην αποτελεσματική καταστολή και όχι στην πρόληψη, τόσο θα απαιτούνται πρόσθετες χρηματοδοτήσεις, επιτείνοντας το πρόβλημα’.

1.8.1 Πρόληψη

Για την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών, το «κλειδί» βρίσκεται στην αύξηση των μέτρων πρόληψης παρά στην αύξηση των μέτρων καταστολής (San-Miguel_Ayanz, 2013; Ξανθόπουλος, 2016). Στην Ελλάδα, ο φορέας που είναι υπεύθυνος για την πρόληψη των δασικών πυρκαγιών είναι η Δασική Υπηρεσία (Γκουρμπάτσης, 2015). Η πρόληψη των δασικών πυρκαγιών συνίσταται σε μία σειρά από μέτρα και πολιτικές που αποσκοπούν στη μείωση ή εξάλειψη της πιθανότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς, στη μείωση της πιθανότητας εξάπλωσης κάθε πυρκαγιάς που εκδηλώνεται, στη μείωση των καταστροφών σε περίπτωση πυρκαγιάς και την ύπαρξη ενός μηχανισμού ικανού να εντοπίσει γρήγορα κάθε πυρκαγιά στέλνοντας τις απαραίτητες δυνάμεις για την έγκαιρη κατάσβεσή της (Ξανθόπουλος, 2016).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η εγκατάλειψη των παραγωγικών δραστηριοτήτων του πρωτογενούς τομέα στην ύπαιθρο της Μεσογείου οδήγησε στην αύξηση της έκτασης και στην πυκνώση των δασών. Σταδιακά, τα ποικιλόμορφα αγροτικά και δασολιβαδικά Μεσογειακά τοπία μεταβλήθηκαν σε συνεχή και ομοιόμορφα δασικά τοπία, με υψηλή ποσότητα καύσιμης ύλης, ευνοώντας την ανάπτυξη δασικών πυρκαγιών μεγάλης έντασης και έκτασης. Σ’ αυτό το πλαίσιο συγκεκριμένες πολιτικές χρήσης γης και η διαχείριση των δασικών οικοσυστημάτων βελτιώνουν το κομμάτι της πρόληψης και την αποφυγή μεγα- πυρκαγιών (Pereira, 2005; San-miguel-Ayanz, 2013; Ganteaume & Jappiot, 2013; Mitsopoulos & Mallinis, 2017). Μέτρα που χρησιμοποιούνται στη χώρα μας για τη μείωση της συσσωρευμένης καύσιμης ύλης είναι η λελογισμένη βόσκηση, η εφαρμογή ελεγχόμενης καύσης, η χρήση φυτοκτόνων ουσιών ή και συνδυασμός των παραπάνω (Ταμπακίς & Καρανικόλα, 2015).

Η ανάλυση στατιστικών και η διερεύνηση των αιτιών

Η συλλογή δεδομένων από τις πυρκαγιές προηγούμενων χρόνων, η οργάνωσή τους σε βάσεις δεδομένων, η επεξεργασία και η ανάλυση τους αποτελούν τους βασικούς άξονες για την αναγνώριση των αιτιών των πυρκαγιών αλλά και της συμπεριφοράς τους. Μόνο όταν αναγνωριστούν οι αιτίες του προβλήματος μπορούν να βρεθούν αποτελεσματικές λύσεις για την ουσιαστική διαχείριση του. Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα πολυπαραγοντικό ζήτημα και για το λόγο αυτό χρειάζεται επισταμένη και συνεχής έρευνα των δεδομένων όλων των πυρκαγιών που έχουν συμβεί στο παρελθόν με σκοπό να εξαχθούν ακριβή συμπεράσματα (Ξανθόπουλος, 2016).

Ευαισθητοποίηση και ενημέρωση πολιτών

Οι άνθρωποι φοβούνται τις δασικές πυρκαγιές και νιώθουν ανασφαλείς στον κίνδυνο αυτό επειδή η γνώση τους είναι ελλιπής και διαστρεβλωμένη. Συνεπώς, μία συστηματική και διαρκής καμπάνια ενημέρωσης των πολιτών για το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών είναι ένα κρίσιμο και χρήσιμο μέτρο πρόληψης. Αυτή θα πρέπει να ξεκινά από τους μαθητές και το σχολείο και να επεκτείνεται σε όλους τους πολίτες από πλήθος μέσων επικοινωνίας με σκοπό την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να υπάρξει ενημέρωση και ευαισθητοποίηση στις λεγόμενες ζώνες μίξης δασών-οικισμών (WUI) διότι οι άνθρωποι στις περιοχές αυτές έρχονται καθημερινά σε επαφή με τα δάση μας και οφείλουν να ζουν αρμονικά με αυτά προστατεύοντάς τα (Κωνσταντινίδης, 2007; Ξανθόπουλος, 2016).

Δασική Πολιτική και κατάλληλη διαχείριση των δασικών οικοσυστημάτων

Η διαχείριση και η αξιοποίηση των φυσικών πόρων των δασών είναι ένα πολύ ουσιαστικό μέτρο πρόληψης που δυστυχώς στη χώρα μας αλλά και διεθνώς δεν έχει εκτεταμένη εφαρμογή. Η αραίωση των δασών, η αφαίρεση και η επεξεργασία υπολειμμάτων της καύσιμης ύλης καθώς επίσης οι εργασίες συγκομιδής μπορούν να βοηθήσουν πολλαπλά τις κοινωνίες. Η εκμετάλλευση των δασικών προϊόντων από τη

βιομάζα των οικοσυστημάτων θα βοηθήσει στην πρόληψη των δασικών πυρκαγιών αλλά και την οικονομία. Η βελτιστοποίηση της επεξεργασίας καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας από δασική βιομάζα μπορεί να συνδυαστεί με τη μείωση του κινδύνου πυρκαγιάς (San-Miguel-Ayanz, 2013).

Ειδικότερα, είναι σκόπιμη η προώθηση αλυσίδων παραγωγής και ορθής χρήσης τεχνικής ξυλείας, η παραγωγή δασικών μη ξύλινων προϊόντων, η αγροδοασοπονία, καθώς και η αναγνώριση και προώθηση των υπηρεσιών του εκάστοτε οικοσυστήματος. Απαιτείται, με άλλα λόγια, μια προσέγγιση βιοοικονομίας, η οποία έχει τη δυνατότητα, όχι μόνο να μειώσει τους κινδύνους πυρκαγιάς, αλλά και να επαναφέρει την ικανότητα των Μεσογειακών δασών να παράγουν εισόδημα (Το Μεσογειακό Γραφείο του Ευρωπαϊκού Δασικού Ινστιτούτου (EFIMED) "Πρόληψη δασικών πυρκαγιών στη Μεσόγειο: η διαχείριση είναι η απάντηση", 2017).

Νομοθετικά μέτρα

Το νομοθετικό πλαίσιο και τα επιμέρους μέτρα για την εφαρμογή της Δασικής Πολιτικής είναι βαρύνουσας σημασίας. Η υπάρχουσα νομοθεσία επιτρέπει να δημιουργούνται στρεβλώσεις, αντιπαραθέσεις και συγκρούσεις ανάμεσα στους πολίτες αλλά και μεταξύ κράτους και πολιτών που πολλές φορές οδηγούν σε εμπρησμούς και καταπατήσεις γης. Επομένως, οι κατευθύνσεις της δασικής πολιτικής, η εφαρμογή της δασικής και περιβαλλοντικής νομοθεσίας για τις τιμωρίες των παραβατών, η αντιστοίχιση σχετικά με τα ιδιοκτησιακά προβλήματα, η δημιουργία δασολογίου και δασικών χαρτών, το πλαίσιο ανάπτυξης του μη αστικού χώρου είναι κάποια βασικά μέτρα που εντάσσονται στα πλαίσια των μέτρων πρόληψης για τις δασικές πυρκαγιές (Ξανθόπουλος, 2016).

Προκατασταλτικός σχεδιασμός και προκατασταλτικά έργα

Ο προκατασταλτικός σχεδιασμός σχετίζεται με την αξιολόγηση κινδύνου (risk assessment) για πυρκαγιές στα δασικά οικοσυστήματα στο χώρο και στο χρόνο με σκοπό τη δημιουργία συγκεκριμένων μέτρων για την προστασία τους. Η αξιολόγηση

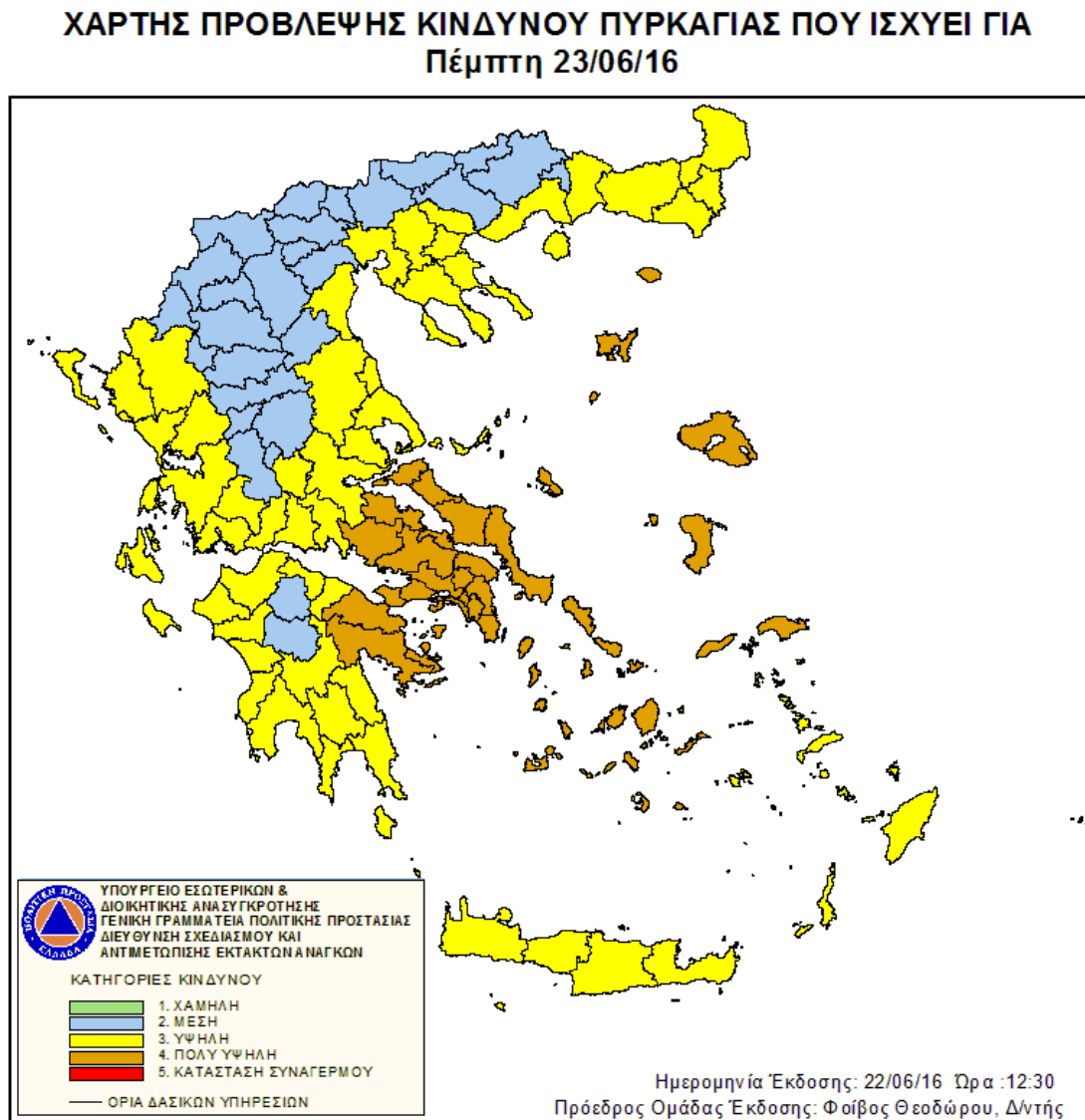
αυτή στηρίζεται σε στοιχεία που έχουν να κάνουν με την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς, την ένταση της πυρκαγιάς και τις απειλούμενες αξίες, την ικανότητα αντιμετώπισης του φαινομένου, της τρωτότητας των κατοικιών, της οικονομικής και κοινωνικής αξίας, κ.α. (Pearce & Majorhazi, 2003; Mazorhazi, 2006; Ξανθόπουλος, 2016). Χρήσιμα και απαραίτητα δεδομένα είναι η κατανομή της καύσιμης ύλης στο χώρο, τα ιστορικά στοιχεία των πυρκαγιών, τα κλιματικά δεδομένα κλπ. Έτσι λοιπόν, με βάση τον προκατασταλτικό (αντιπυρικό) σχεδιασμό προκύπτουν συγκεκριμένα έργα (προκατασταλτικά) αλλά και ο καθορισμός των προτεραιοτήτων τους. Τέτοια μέτρα θεωρούνται οι δρόμοι, οι δεξαμενές, ελικοδρόμια, αντιπυρικές ζώνες.

Το πιο σύνηθες μέτρο πυροπροστασίας των δασών είναι η διάνοιξη αντιπυρικών ζωνών, οι οποίες έχουν σα στόχο τη διακοπή και ασυνέχεια της δασικής βιομάζας. Κατασκευάζονται σε στρατηγικά σημεία για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των επιχειρήσεων καταστολής. Οι ζώνες αυτές πρέπει να δημιουργούνται σε γωνία 45 μοιρών με τους επικρατούντες ανέμους. Αν οι αντιπυρικές ζώνες ανοιχθούν κάθετα στους ανέμους οι καύτρες θα περνούν πολύ εύκολα από τη μια πλευρά στην άλλη γιατί οι ζώνες είναι πάρα πολύ στενές. Αν φτιαχτούν παράλληλα πάλι η φωτιά θα περνά και θα συνεχίζει (Κωνσταντινίδης, 2007). Οι ζώνες αυτές δε συντηρούνται συστηματικά στη χώρα μας με αποτέλεσμα να αυξάνουν αντί να περιορίζουν το κίνδυνο της φωτιάς (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015). Οι αντιπυρικές ζώνες λειτουργούν και ως δρόμοι για τη διακίνηση των ανθρώπων και των μηχανών αλλά και οι δασικοί δρόμοι λειτουργούν και αυτοί ως αντιπυρικές ζώνες αφού διασπών τη συνέχεια της βιομάζας.

Χάρτης πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς

Στην Ελλάδα κατά την αντιπυρική περίοδο, κάθε μέρα εκδίδεται ένας ημερήσιος χάρτης πρόγνωσης κινδύνου πυρκαγιάς για την επόμενη μέρα από τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας (ΓΓΠΠ). Ο χάρτης αυτός αποστέλλεται σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς για την πρόληψη και την καταστολή δασικών πυρκαγιών και αναρτάται στον διαδικτυακό ιστότοπο τη ΓΓΠΠ (www.civilprotection.gr). Θεωρείται το βασικότερο εργαλείο του αντιπυρικού σχεδιασμού και έχει στόχο την

αυξημένη επιφυλακή κατά τις κρίσιμες ημέρες ενώ ταυτόχρονα εξοικονομούνται πόροι τις ημέρες χαμηλού κινδύνου.



Εικόνα 1.1: Χάρτης πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς

Πηγή: Γ.Γ.Π.Π

Χρόνος ανίχνευσης και αναγγελίας δασικών πυρκαγιών

Ο χρόνος επισημάνσης και αναγγελίας της πυρκαγιάς παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο για την κατάσβεσή της. Ο μέγιστος ανεκτός χρόνος για την ανίχνευση

πυρκαγιών, όταν η αξία της επιτηρούμενης περιοχής είναι σχετικά αυξημένη, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 15 λεπτά (Κατσάνος 1975).

Στην Ελλάδα, το βασικό μέσο ανίχνευσης των δασικών πυρκαγιών είναι ένα σύστημα πύργων-παρατηρητηρίων (πυροφυλάκια) με σκοπό τη γρηγορότερη ανίχνευση και αναγγελία της πυρκαγιάς, ώστε η κατάσβεσή της να γίνει, όταν αυτή είναι μικρή (Καϊλίδης και Καρανικόλα 2004). Περιπολίες από ομάδες εθελοντών αλλά και πληρώματα πυροσβεστικών δυνάμεων που είναι διασκορπισμένα στα δάση βοηθούν σημαντικά στον εντοπισμό πυρκαγιών. Επίσης, επίγεια συστήματα με κάμερες που στέλνουν εικόνα σε οθόνες σ' ένα κέντρο επιτήρησης και συστήματα ψηφιακών καμερών μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι μέσα ανίχνευσης πυρκαγιάς με περιορισμένη εφαρμογή. Ενώ, άλλα επίγεια συστήματα εντοπισμού αποτελούμενα από ειδικούς αισθητήρες είναι υπό δοκιμή.

Υπάρχουν, όμως, και εναέριοι τρόποι ανίχνευσης πυρκαγιών μέσω όλων των πλότων, ακόμα και της Πολιτικής Αεροπορίας, οι οποίοι είναι υποχρεωμένοι να αναφέρουν οποιαδήποτε πυρκαγιά αντιληφθούν. Τις ημέρες και ώρες υψηλού κινδύνου, μικρά αεροσκάφη της Πολεμικής Αεροπορίας κάνουν περιπολίες από αέρα πάνω από τα δασικά μας οικοσυστήματα. Επίσης, επικουρικό ρόλο έχουν και οι δορυφορικές εικόνες.

Οι δασικές πυρκαγιές κατά τη διάρκεια της ημέρας ανιχνεύονται και επισημαίνονται αποκλειστικά σχεδόν από την αναδύομενη στήλη καπνού που δημιουργείται, ενώ αντίθετα τη νύχτα η επισημάνση δεν εμφανίζει ειδικά προβλήματα και γίνεται από τις φλόγες της φωτιάς που γίνονται ορατές είτε πολλές φορές από τη στήλη καπνού που αναδύεται. Συνεπώς, η ανίχνευση μιας πυρκαγιάς κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι πολύ δύσκολη (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015).

1.8.2. FWI (Fire Weather Index)

Σημαντικό εργαλείο στην πρόληψη δασικών πυρκαγιών θεωρείται ο δείκτης FWI (Fire Weather Index), ο οποίος είναι ιδιαίτερα διαδεδομένος σε όλο τον κόσμο. Ο FWI είναι ένας ημερήσιος δείκτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς, ο οποίος χρησιμοποιεί μόνο

μετεωρολογικές παραμέτρους, λαμβάνοντας υπ' όψη την επίδραση της υγρασίας της καύσιμης ύλης και του ανέμου στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Κατασκευάστηκε στον Καναδά (Van Wagner, 1987) και χρησιμοποιείται παγκόσμια για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς σε ένα γενικευμένο τύπο καύσιμης ύλης.

Αποτελείται από πέντε (5) επιμέρους υποδείκτες που σχετίζονται με:

Σχετική υγρασία καύσιμης ύλης

- *Δείκτης υγρασίας λεπτών καυσίμων (Fine Fuel Moisture Code-FFMC)* που αντιπροσωπεύει την υγρασία που περιέχεται σε υπολείμματα υλοτομιών και άλλης μορφής ξηρή λεπτή βιομάζα σε μια δασική συστάδα σε ένα στρώμα με ξηρό βάρος περίπου 0,25 kg/m².
- *Δείκτης υγρασίας του χούμου (Duff Moisture Code – DMC)* που αντιπροσωπεύει την περιεχόμενη υγρασία της αποσυντιθέμενης οργανικής ουσίας με μικρή πυκνότητα με ξηρό βάρος περίπου 5 kg/m².
- *Δείκτης ξηρασίας (Drought Code - DC)* που αντιπροσωπεύει ένα βαθύ στρώμα πυκνής οργανικής ύλης με ξηρό βάρος περίπου 25 kg/m².

Δείκτες συμπεριφοράς της πυρκαγιάς

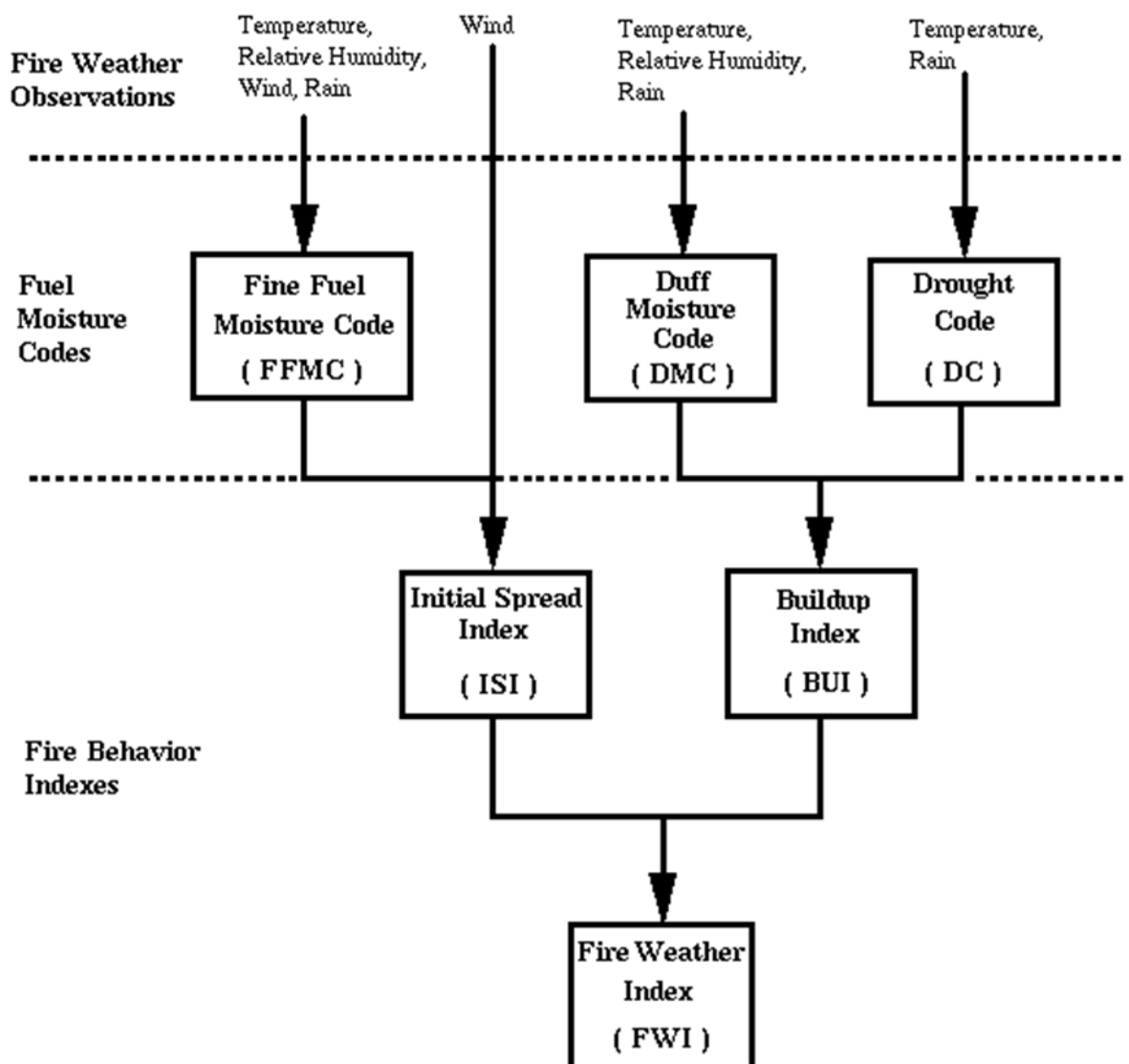
- *Δείκτης αρχικής διάδοσης (Initial Spread Index - ISI)*, που είναι ένας συνδυασμός από την τιμή της έντασης του ανέμου και του υποδείκτη FFMC που αντιπροσωπεύει το ρυθμό εξάπλωσης χωρίς την επιρροή των μεταβλητών ποσοτήτων καυσίμων.
- *Δείκτης συγκέντρωσης (Buildup Index - BUI)* ένας συνδυασμός των DMC και DC που αντιπροσωπεύει τη συνολική καύσιμη ποσότητα διαθέσιμη στην φωτιά που εξαπλώνεται.

Ο FWI είναι η αριθμητική εκτίμηση της έντασης μιας πυρκαγιάς και χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η δυσκολία ελέγχου της. Η λήψη των τιμών από τις καιρικές μεταβλητές για την εισαγωγή τους στο σύστημα του δείκτη πραγματοποιείται κάθε ημέρα το μεσημέρι (2:00-4:00 μμ.). Οι μεταβλητές αυτές είναι: θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου και βροχοπτώσεις.

Όσον αφορά τη χώρα μας, οι τιμές του FWI που υποδηλώνουν ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς ποικίλλουν χωρικά, αυξάνονται καθώς μεταβαίνουμε από τα βορειοδυτικά

προς τα νοτιοανατολικά. Για τη δυτική ηπειρωτική Ελλάδα, έχουμε υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς όταν $FWI \geq 15$, ενώ για την ανατολική ηπειρωτική χώρα όταν $FWI \geq 30$.

Δομή Μοντέλου FWI



Εικόνα 1.2: Δομή μοντέλου FWI

Πηγή: Giannakopoulos, 2009

1.8.3. Μοντέλα προσομοίωσης δασικών πυρκαγιών

Η κατανόηση της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών και η πρόβλεψή τους είναι απαραίτητα στοιχεία για την επιτυχημένη διαχείρισή τους τόσο σε επίπεδο καταστολής όσο και σε επίπεδο πρόληψης (διαχείριση δασικής καύσιμης ύλης, εκτίμηση κινδύνου, προδιαγεγραμμένη καύση) (Ξανθόπουλος, 1990). Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν μαθηματικά μοντέλα πυρκαγιών. Τέτοια μοντέλα μπορεί να είναι φυσικά, εμπειρικά, ημι-εμπειρικά, πιθανολογικά (Albright and Meisner 1999), και διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τις αρχές δημιουργίας τους και ως προς τις δυνατότητες εφαρμογής τους (Ηλιόπουλος, 2013). Προσομοιώνουν τις δασικές πυρκαγιές χρησιμοποιώντας τη θερμοδυναμική καθώς και τις διαδικασίες θερμικής μεταφοράς. Τα μοντέλα αυτά φυσικά απαιτούν δεδομένα σχετικά με τις ιδιότητες των δασικών καυσίμων στην περιοχή όπου γίνεται η εφαρμογή τους (Ξανθόπουλος, 2009).

Το πιο ευρέως διαδεδομένο μοντέλο πρόβλεψης συμπεριφοράς της φωτιάς είναι το ημι- εμπειρικό μοντέλο του Rothermel (1972). Σε αυτό βασίστηκαν τα νομογράμματα πρόβλεψης συμπεριφοράς της φωτιάς του Albini (Albini, 1976), το πρωτοπόρο για την εποχή του σύστημα πρόβλεψης της συμπεριφοράς πυρκαγιών με H/Y που ονομάστηκε BEHAVE (Burgan and Rothermel 1984, Andrews and Chase 1989), που χρησιμοποιείται και σήμερα στην εξελιγμένη του έκδοση BehavePlus (Andrews et al., 2003), το σύγχρονο σύστημα προσομοίωσης της εξάπλωσης των πυρκαγιών στο χώρο που ονομάζεται FARSITE (Finney 1998), καθώς και πολλά άλλα παρόμοια συστήματα.

Το σημαντικό χαρακτηριστικό του μοντέλου του Rothermel (1972), στο οποίο κατά μεγάλο μέρος οφείλεται η μεγάλη αποδοχή και εξάπλωσή του, είναι η δυνατότητα χρήσης του σε οποιονδήποτε τύπο δασικής καύσιμης ύλης μέχρι ύψος 2 μέτρων, περιλαμβανομένων θαμνότοπων και λιβαδικών εκτάσεων. Το μοντέλο χρησιμοποιεί ως δεδομένα για την πρόβλεψη της ταχύτητας διάδοσης της πυρκαγιάς, την ταχύτητα του ανέμου, την κλίση του εδάφους, την υγρασία της καύσιμης ύλης και μία περιγραφή της καύσιμης ύλης που στην ορολογία του αποκαλείται «μοντέλο καύσιμης

ύλης». Όσο αντιπροσωπευτικότερη είναι αυτή η περιγραφή τόσο ακριβέστερη μπορεί να είναι η πρόβλεψη (Ξανθόπουλος, 2009).

1.8.4. Καταστολή

Η διαχείριση της καταστολής των πυρκαγιών είναι ένας από τους παράγοντες που επιδρούν στο μέγεθος της καμένης έκτασης. Οι τακτικές και τα μέσα δασοπυρόσβεσης στοχεύουν στη μείωση της ταχύτητάς της φωτιάς και εν γένει στην ολοκληρωτική κατάσβεσή της. Διάφορες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την καταστολή των πυρκαγιών στηρίζονται στην αρχή της απομάκρυνσης ενός ή περισσότερων από τα τρία στοιχεία που σχηματίζουν το 'τρίγωνο της φωτιάς', δηλαδή της καύσιμης ύλης, του οξυγόνου και της θερμότητας ("Fire Security abee - Παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών.", 2017) . Οι μέθοδοι αυτοί εξαρτώνται από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της φωτιάς και περιγράφηκαν παραπάνω. Το είδος της καιόμενης βιομάζας, το είδος της πυρκαγιάς, η τοπογραφία, οι καιρικές συνθήκες, η ταχύτητα της φωτιάς είναι χαρακτηριστικά τα οποία λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της μεθόδου που θα ακολουθηθεί με σκοπό την κατάσβεση. Βέβαια, στην πραγματικότητα για την επιλογή της μεθόδου δασοπυρόσβεσης σημαντικό ρόλο κατέχουν τα διαθέσιμα μέσα, το διαθέσιμο προσωπικό αλλά και η προσβασιμότητα στην περιοχή, δηλαδή η ύπαρξη δρόμων και μονοπατιών (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015).

Στην Ελλάδα την ευθύνη για την καταστολή των πυρκαγιών την έχει από το 1998 η Πυροσβεστική Υπηρεσία (Π.Υ) (Γκουρμπάτσας, 2015). Τα μέσα που διαθέτει είναι επίγεια και εναέρια. Η έμφαση στην καταστολή των δασικών πυρκαγιών δίνεται στις επίγειες δυνάμεις ενώ οι εναέρια είναι εξαιρετικά χρήσιμες λειτουργώντας επικουρικά. Πάντοτε η τελική κατάσβεση είναι έργο των επίγειων δυνάμεων (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015). Για την κατάσβεση μιας δασικής πυρκαγιάς, ο ρόλος των πυροσβεστικών αεροπλάνων είναι η ρίψη νερού ή και επιβραδυντικών υλικών στην καύσιμη ύλη. Οι ρίψεις αυτές θα πρέπει να γίνονται με διαδοχικό τρόπο ώστε να μεσολαβεί χρονικό διάστημα μέχρι την εξάτμισή της προηγούμενης ποσότητας που είχε καλύψει την καύσιμη ύλη. Η απόσταση της πυρκαγιάς από το

σημείο ανεφοδιασμού των αεροπλάνων αποτελεί, λοιπόν, το σημαντικότερο παράγοντα για τη συχνότητα των ρίψεων (Οικονόμου 1992). Μπορούμε να πούμε πως ο ρόλος των αεροσκαφών περιορίζεται στη μείωση της θερμικής έντασης της πυρκαγιάς με διαδοχικές ρίψεις, για να καταστεί δυνατή η εκ νέου επέμβαση των επίγειων δυνάμεων.

Σύμφωνα με τον Υπαρχηγό της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας Γκουρμπάτση (2015), για την εκπλήρωση της αποστολής και των αρμοδιοτήτων της η Π.Υ διαθέτει σήμερα 3.115 οχήματα, εκ των οποίων τα 1.722 είναι υδροφόρα οχήματα, τα 1.111 οχήματα είναι βοηθητικά και τα 282 ειδικά οχήματα. Επίσης, κάθε έτος κατά το διάστημα της αντιπυρικής περιόδου για την από αέρος δασοπυρόσβεση έχει στη διάθεσή της τον εξής μέσο αριθμό εναερίων μέσων:

α) τα πέντε (5) ιδιόκτητα Ε/Π (τρία BK-117, για τον από αέρος συντονισμό των πυροσβεστικών δυνάμεων και δύο (2) Super Puma για μεταφορά προσωπικού στα μέτωπα των πυρκαγιών αλλά και για αεροπυρόσβεση),

β) τον εναέριο εθνικό στόλο των ΕΔ με 13 Α/Φ CL-215 (5,5 τόννων), 7 Α/Φ CL-415 (6,1 τόννων) , καθώς και τα 19 Α/Φ PZL (1,5 τόννων)

γ) τον μέσο αριθμό των 12 μισθωμένων Ε/Π (5 βαρέως και 7 μεσαίου τύπου, χωρητικότητας 7.000 και 12.000 λίτρων νερού τα βαρέως τύπου Ε/Π και 4.000 λίτρων νερού τα μεσαίου τύπου αντίστοιχα το καθένα). Επιπρόσθετα είναι διαθέσιμα από τα εναέρια μέσα των ΕΔ, για τη μεταφορά πυροσβεστικού προσωπικού στα μέτωπα των πυρκαγιών: α) 1 Ε/Π τύπου SHINOOK και β) 1 Α/Φ τύπου C-130.

Με την εν λόγω δύναμη σε εναέρια μέσα, ο εναέριος στόλος της Ελλάδας έχει συνολική μεταφορική ικανότητα κατασβεστικού υλικού (νερού) περίπου 220 τόννους / ανά ώρα και έτσι διαθέτει τον μεγαλύτερο στην Ε.Ε στόλο σε εναέρια μέσα αεροπυρόσβεσης.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως για την καταστολή και την εξέλιξη μίας μεγάλης δασικής πυρκαγιάς ενδεχομένως να παίζει ρόλο ο αριθμός των πυρκαγιών που εξελίσσονται ταυτόχρονα. Είναι πιθανό, η ετοιμότητα των δασοπυροσβεστικών δυνάμεων να σχετίζεται με τον αριθμό των παράλληλων δασικών πυρκαγιών επηρεάζοντας την αποτελεσματικότητά τους. Ο δασοπυροσβεστικός μηχανισμός

μπορεί να φτάνει σε οριακό σημείο και να καταρρέει έχοντας να αντιμετωπίσει ταυτόχρονα ένα συγκεκριμένο αριθμό αρκετών περιστατικών πυρκαγιών με αποτέλεσμα κάποιες από αυτές να ξεφεύγουν και να εξελίσσονται τελικά σε μεγάλες πυρκαγιές. Συγκεκριμένα, ο San- Miguel-Ayanz (2013) αναφέρει πως σε περιπτώσεις mega-πυρκαγιών έχουμε ταυτόχρονα αρκετές μεγάλες δασικές πυρκαγιές που συγκεντρώνονται στο χώρο και στο χρόνο. Επομένως, αξίζει να ερευνηθεί ο συνολικός αριθμός των δασικών πυρκαγιών αλλά και των μεγάλων δασικών πυρκαγιών που εξελίσσονται ταυτόχρονα.

1.8.5. Συντονισμός αντιμετώπισης δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα

Την κύρια ευθύνη για την πολιτική προστασία της Ελλάδας την έχει το Υπουργείο Εσωτερικών μέσω της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας. Στα μέσα και στο δυναμικό περιλαμβάνονται (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2015):

α) Ειδικευμένα στελέχη πολιτικής προστασίας σε κεντρικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, στα οποία ανατίθεται η επίβλεψη εκπόνησης και εφαρμογής των σχεδίων, προγραμμάτων και μέτρων πολιτικής προστασίας, καθώς και ο συντονισμός των αναγκαίων ενεργειών.

β) Το σύνολο των κρατικών υπηρεσιών, οι υπηρεσίες των οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης και των οργανισμών κοινής ωφέλειας, που είναι υπεύθυνες σε επιχειρησιακό επίπεδο για τις επί μέρους δράσεις πολιτικής προστασίας και κυρίως για την ετοιμότητα και την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών (όπως Πυροσβεστικό Σώμα, Ελληνική Αστυνομία, Εθνικό Κέντρο Άμεσης Βοήθειας, Ένοπλες Δυνάμεις, Περιφέρειες και οι Ο.Τ.Α., Ε.Μ.Υ.) και

γ) Οι εθελοντικές οργανώσεις πολιτικής προστασίας, καθώς και οι ειδικευμένοι εθελοντές πολιτικής προστασίας, σε κεντρικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, που εντάσσονται στο σχεδιασμό της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας και αναλαμβάνουν την υποστήριξη σχεδίων και δράσεων πρόληψης και αποκατάστασης, καθώς και δράσεις ετοιμότητας και αντιμετώπισης για τις δασικές πυρκαγιές.

1.8.6. Συντονισμός ευρωπαϊκών χωρών για την αντιμετώπιση μεγάλων δασικών πυρκαγιών

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2015) όταν μια δασική πυρκαγιά αποκτά τέτοιες διαστάσεις που καθίσταται αδύνατο να την κατασβήσει μία χώρα μόνη της, είναι δυνατή η ενεργοποίηση του μηχανισμού πολιτικής προστασίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ώστε να εξασφαλιστεί συντονισμένη αντιμετώπιση.

Το Κέντρο Συντονισμού Αντιμετώπισης Εκτάκτων Αναγκών (ΚΣΑΕΑ) αποτελεί τον κόμβο αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Συντονίζει την πανευρωπαϊκή συνδρομή μέσω του μηχανισμού πολιτικής προστασίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εξασφαλίζει ότι όλα τα κράτη που συμμετέχουν στον μηχανισμό πληροφορούνται γρήγορα τις ανάγκες της χώρας που πλήττεται από κρίση. Η απόφαση για την ενεργοποίηση του μηχανισμού πολιτικής προστασίας δεν λαμβάνεται από την Επιτροπή, αλλά από τις εθνικές αρχές της πληγείσας χώρας.

Το ΚΣΑΕΑ παρακολουθεί τον κίνδυνο και την εκδήλωση δασικών πυρκαγιών ανά την Ευρώπη και διασυνδέει τις αρχές πολιτικής προστασίας σε όλη την Ευρώπη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω:

- εθνικών υπηρεσιών παρακολούθησης και μέσω των όπως το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφόρησης για τις Δασικές Πυρκαγιές (EFFIS), το οποίο παρέχει επισκόπηση των δεδομένων που συγκεντρώνουν οι ευρωπαϊκές χώρες μέσω των εθνικών τους προγραμμάτων για τις δασικές πυρκαγιές.
- της διοργάνωσης τακτικών συνεδριάσεων με όλα τα συμμετέχοντα κράτη στον μηχανισμό πολιτικής προστασίας της ΕΕ πριν από την έναρξη της περιόδου εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών, προκειμένου να ανταλλάξουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση ετοιμότητάς τους.
- Κατά τη θερινή περίοδο, το ΚΣΑΕΑ διοργανώνει εβδομαδιαίες βιντεοδιασκέψεις με τις χώρες που διατρέχουν υψηλό κίνδυνο δασικών πυρκαγιών. Κροατία, Γαλλία, Ελλάδα, Ιταλία, Πορτογαλία και Ισπανία

- Επιπλέον, εμπειρογνώμονες από τα κράτη που συμμετέχουν στον μηχανισμό πολιτικής προστασίας της ΕΕ αποσπώνται στο ΚΣΑΕΑ κάθε καλοκαίρι. Όχι μόνο συμβάλλουν στη συνολική λειτουργία του ΚΣΑΕΑ, αλλά διατηρούν και τακτικές επαφές με τις εθνικές αρχές πολιτικής προστασίας, γεγονός που έχει μεγάλη σημασία σε περίπτωση ενεργοποίησης του μηχανισμού πολιτικής προστασίας της ΕΕ.

1.9. Το κλίμα της Ελλάδας

Οι περιοχές που περιβάλλουν τη Μεσόγειο παρουσιάζουν ιδιαίτερο τύπο κλίματος, το “μεσογειακό τύπο”, ο οποίος σε γενικές γραμμές χαρακτηρίζεται από συνήθως ήπιους και βροχερούς χειμώνες και θερμά έως πολύ θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη τοπογραφία, η οποία, σε συνδυασμό με τα επικρατούντα καιρικά συστήματα, δημιουργεί έντονες κλιματικές αντιθέσεις, έτσι ώστε το κλίμα να μεταβάλλεται από μεσογειακό μέχρι και αλπικό. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της χώρας αποτελεί η μεγάλη της ακτογραμμή που υπολογίζεται περίπου 16.300 χλμ., η οποία μαζί με την τοπογραφία διαμορφώνει μια ποικιλία τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών. Σε γενικές γραμμές στον ελληνικό χώρο διαμορφώνονται τέσσερις κλιματικοί τύποι (Μαριολόπουλος, 1982):

α) ο Θαλάσσιος Μεσογειακός Τύπος, με ευχάριστα χαρακτηριστικά εύκρατου κλίματος, στα δυτικά παράλια της Ελλάδος και στα Ιόνια Νησιά,

β) ο Χερσαίος Μεσογειακός Τύπος, που περιλαμβάνει τη ΝΑ Ελλάδα, μέρος της Στερεάς, τμήματα της Ανατ. Πελοποννήσου, τα νησιά και τα παράλια του Κεντρικού Αιγαίου και της Κρήτης, με ξηρότερα καλοκαίρια και ψυχρότερους χειμώνες από τα αντίστοιχα γεωγραφικά πλάτη του Ιονίου,

γ) ο Ηπειρωτικός Τύπος, στο μεγαλύτερο τμήμα της Θράκης, της Μακεδονίας και της Ηπείρου και σε μέρος της Θεσσαλίας, ο οποίος παρουσιάζει χαρακτηριστικά ηπειρωτικού κλίματος των βορειότερων βαλκανικών περιοχών, και

δ) ο Ορεινός Τύπος, που περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους που διασχίζουν την Ελλάδα.

Στους ορεινούς αυτούς όγκους υπάρχουν δασώδεις περιοχές με κλίμα δάσους, καθώς και μικρές περιοχές μεγάλου υψομέτρου με αλπικό κλίμα κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

1.10. Κλιματική αλλαγή

Οι εγκυρότερες και πιο αξιόπιστες εκθέσεις για την κλιματική αλλαγή έχουν δημοσιευτεί από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), η οποία ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization-WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme-UNEP). Σκοπός της επιτροπής είναι η αξιολόγηση της υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής, καθώς και η αξιολόγηση των συνεπειών των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015).

Σύμφωνα με τον ορισμό της IPCC (2007), η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε στατιστικά σημαντική διακύμανση είτε της μέσης κατάστασης του κλίματος είτε της μεταβλητότητάς του, η οποία παραμένει επί μακρό χρονικό διάστημα (συνήθως δεκαετίες ή και περισσότερο). Η κλιματική αλλαγή μπορεί να οφείλεται σε φυσικές εσωτερικές διεργασίες ή εξωτερικές δυνάμεις ή σε επίμονες ανθρωπογενείς μεταβολές στη σύνθεση της ατμόσφαιρας ή στη χρήση της γης.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ενδέχεται να είναι πιο σοβαρές εξαιτίας της αλλαγής της συχνότητας εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων παρά εξαιτίας μιας μακροχρόνιας αλλαγής στο “μέσο” κλίμα. Αυτό συμβαίνει διότι μια αλλαγή στη μέση τιμή μπορεί να επιφέρει μια δυσανάλογη και μη γραμμική επίπτωση σε περιπτώσεις ακραίων γεγονότων που ξεπερνούν κάποια στατιστικά κατώφλια αναφοράς (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Παρά την αλματώδη ανάπτυξη της επιστήμης, δεν υπάρχει σαφής τεκμηρίωση ως προς τα θεμελιώδη ερωτήματα στη συσχέτιση των ακραίων καιρικών φαινομένων και της κλιματικής αλλαγής. Ο τοπικός χαρακτήρας και η μικρή διάρκεια της εμφάνισής

τους, σε συνδυασμό με την έλλειψη στοιχείων, καθιστά δύσκολή τη σύνδεση της κλιματικής αλλαγής και των ακραίων καιρικών φαινομένων και συγκεκριμένα με τη δημιουργία μεγάλων δασικών πυρκαγιών. Υπάρχει, πάντως, η τεκμηριωμένη πεποίθηση πως στο μέλλον, η κλιματική αλλαγή θα έχει σημαντικές επιπτώσεις ως προς την ένταση, τη συχνότητα και την έκταση τέτοιου είδους φαινομένων (Ηλιόπουλος, 2013).

Η Τράπεζα της Ελλάδος το 2011 εκπόνησε έκθεση για τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αποκλειστικά για την Ελλάδα, η οποία παρουσιάζει εμπεριστατωμένα τις προβλεπόμενες κλιματικές και περιβαλλοντικές μεταβολές, αποτιμά το κόστος των μεταβολών αυτών για την ελληνική οικονομία και εκτιμά το κόστος των μέτρων προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Η συγκεκριμένη έρευνα πραγματοποιήθηκε μέσω της σύστασης της Επιτροπής Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ) σε συνεργασία με το Κέντρο Έρευνας Φυσικής της Ατμοσφαιράς και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών (ΚΕΦΑΚ), στο οποίο αναπτύχθηκαν βάσεις δεδομένων και προσομοιώσεων προτύπων με βάση τα Σενάρια εκπομπών αερίων A2, A1B, B2 και B1 που έχουν προκύψει από την IPCC το 2000 (IPCC, 2007). Η Ελλάδα, λοιπόν, διαιρέθηκε σε 13 κλιματικές περιοχές με βάση κλιματικά και γεωγραφικά κριτήρια και υπολογίστηκαν οι αναμενόμενες μεταβολές των μέσων εποχικών και μέσων ετήσιων τιμών έξι κλιματικών παραμέτρων για κάθε μία κλιματική περιοχή αλλά και για την επικράτεια για τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100, σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς (1961-1990). Οι παράμετροι αυτοί είναι:

- μέση θερμοκρασία του αέρα (°C)
- βροχόπτωση (χλστ./έτος)
- σχετική υγρασία (%)
- κλάσμα νεφοκάλυψης (%)
- εισερχόμενη ολική μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία στην επιφάνεια (W/τετρ. μ)
- ταχύτητα ανέμου στα 10μ. από την επιφάνεια (μ./δευτερόλεπτο)

Σύμφωνα με την ΕΜΕΚΑ (2011), για την ελλαδικό χώρο, αναμένεται στο τέλος του αιώνα (2100) άνοδος της μέσης ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990. Η μέση ετήσια αύξηση της θερμοκρασίας προβλέπεται

να είναι μεγαλύτερη κατά το σενάριο A2 (ΣΑ2: 4,5°C) και μικρότερη κατά το σενάριο B1 (ΣΒ1: 2,4°C), ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες προβλέπεται η αύξηση να είναι μεγαλύτερη (ΣΑ2: 5,4°C, ΣΒ1: 3°C). Η άνοδος της θερμοκρασίας αναμένεται να είναι υψηλότερη στις ηπειρωτικές χώρες (ΣΑ2: 6-7°C, ΣΒ1: 4,5-5°C το καλοκαίρι) σε σχέση με τις νησιωτικές (ΣΑ2: 4,5-5°C, ΣΒ1: 5°C το καλοκαίρι). Επίσης, η θερμοκρασία θα είναι ιδιαίτερα υψηλή και το φθινόπωρο (ΣΑ1Β: 3,5°C, ΣΑ2: 4,3-5,2°C, ΣΒ1: 2,4°C, ΣΒ2: 1,5°C), ενώ το χειμώνα και την άνοιξη (ΣΑ1Β: 3-3,5°C, ΣΑ1: 3,9°C, ΣΒ1: 2 °C, ΣΒ2: 1 °C) θα είναι ηπιότερη. Επιπρόσθετα, ο αριθμός των ημερών που η θερμοκρασία ξεπερνά τους 35°C αυξάνεται.

Στο σύνολο της επικράτειας αναμένεται μείωση του υετού για την περίπτωση των σεναρίων Α1Β, Α2, και Β2 για το χρονικό διάστημα 2071-2100. Η μέση ετήσια μείωση του υετού θα είναι έντονη στα σενάρια Α1Β (19%) και Α2 (17%) και πιο ήπια στο σενάριο Β2. Το καλοκαίρι, η μείωση του υετού αναμένεται ιδιαίτερα σημαντική για τα σενάρια Α1Β (37%) και Α2 (47%). Για το ακραίο σενάριο Α2, η μείωση του υετού αναμένεται να επηρεάσει περισσότερο τα Δυτικά ηπειρωτικά και την Ανατολική Πελοπόννησο (20%). Αξίζει να σημειώσουμε πως σε απόλυτο αριθμό, η μείωση του υετού το καλοκαίρι δε θα είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι και σήμερα το ύψος βροχής κατά το θέρος στην Ελλάδα είναι πολύ μικρό.

Σημαντικές είναι οι αλλαγές που θα παρουσιαστούν στη διάρκεια περιόδων ξηρασίας, αφού θα μειωθούν τα κατακρημνίσματα και θα αυξηθεί η θερμοκρασία. Στη δυτική χώρα, την περίοδο 2021-2050 αναμένεται αύξηση ως και 10 ημέρες, ενώ για την περίοδο 2071-2100 αναμένεται αύξηση ως και 20 μέρες για τα Δυτικά και τη Βόρεια Ελλάδα. Βέβαια η μεγαλύτερες αυξήσεις προβλέπεται να παρουσιαστούν στην Ανατολική χώρα και τη Βόρεια Κρήτη, με περισσότερες από 20 μέρες ξηρασίας για το διάστημα 2021-2050 και 40 ημέρες το 2071-2100.

Όσον αφορά τη σχετική υγρασία, αναμένεται η μείωσή της για τα σενάρια Α1Β, Α2 και Β2. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας αλλά και στην προβλεπόμενη μείωση του υετού. Συνεπώς, η μείωση της σχετικής υγρασίας θα είναι ιδιαίτερα έντονη στα ηπειρωτικά της χώρας, ιδίως κατά το καλοκαίρι.

1.11. Κλιματική αλλαγή και δασικές πυρκαγιές

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η έρευνα για τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές σε παγκόσμια επίπεδο, αλλά κυρίως στη Μεσογειακή λεκάνη είναι περιορισμένη. Σε συνδυασμό με τα «ανοιχτά» ερευνητικά ερωτήματα που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, οι αναφορές για τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές υπό το καθεστώς της αλλαγής του κλίματος είναι και αυτές με τη σειρά τους αρκετά περιορισμένες. Οι Hennessy et al. (2005) επισημαίνουν πως χρειάζεται περισσότερη έρευνα για την κλιματική αλλαγή και τη σύνδεσή της με τις δασικές πυρκαγιές, αλλά και για τις οικολογικές επιδράσεις που θα προκύψουν.

Η κλιματική αλλαγή και τα ακραία καιρικά φαινόμενα είναι πιθανό να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά των δασικών πυρκαγιών, όπως την ανάφλεξη, το ρυθμό εξάπλωσης και την ένταση (Giannakopoulos, 2012), καθώς επίσης τη συχνότητα, το μέγεθος (COAG, 2004) και τη δυσκολία κατάσβεσης (Epsilin et al, 2005). Η έλλειψη κατακρημνισμάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσουν σε παρατεταμένη αντιπυρική περίοδο, η οποία να ξεκινά λίγο νωρίτερα την άνοιξη και να τελειώνει λίγο αργότερα το φθινόπωρο (Hennessy, 2005; Westerling, 2006). Σύμφωνα με τον Johnston (2016), στις δυτικές ΗΠΑ, η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει διπλασιάσει το μέγεθος της έκτασης των καμένων εκτάσεων από δασικές πυρκαγιές τα τελευταία 30 χρόνια. Για το γεγονός αυτό ευθύνονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες του αέρα που ξηραίνουν τη βλάστηση, καθιστώντας την πιο επιρρεπή στην καύση.

Οι κυβερνήσεις οφείλουν να αναπτύξουν μακροχρόνιες στρατηγικές με σχεδιασμό και επενδύσεις για τις αλλαγές στο καθεστώς της φωτιάς που θα προκαλέσει η κλιματική αλλαγή (Hennessy et al., 2005). Με τη σειρά τους οι επιχειρησιακές δυνάμεις δασοπυρόσβεσης πρέπει να ανταποκριθούν και να προσαρμοστούν στη νέα πραγματικότητα με την ικανότητα αντίδρασής τους να ταιριάζει στις εκάστοτε καιρικές συνθήκες (Epsilin et al, 2005).

Είναι αδύνατον να γίνουν ακριβείς προβλέψεις για την αύξηση του αριθμού και της έντασης των δασικών πυρκαγιών που θα προκληθούν από την κλιματική αλλαγή, αλλά είναι βέβαιο ότι θα υπάρχουν σημαντικές αυξήσεις τόσο του αριθμού όσο και της καταστροφής που προκαλεί κάθε πυρκαγιά. Προβλέπεται ότι η καμένη έκταση δασών θα αυξηθεί κατά 10% (Σενάριο B2) έως 20% (Σενάριο A2), δηλ. κατά 200.000 στρέμματα έως 400.000 στρέμματα επιπλέον το 2100 (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Οι Mouillot et al. (2002) αναφέρουν πως με την άνοδο της θερμοκρασίας θα αυξηθεί ο αριθμός των πυρκαγιών τη θερινή περίοδο και η συνολική καμένη έκταση, ενώ θα μειωθεί ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών πυρκαγιών. Τα δάση της νότιας ηπειρωτικής χώρας και της Κρήτης αναμένεται να ζημιωθούν περισσότερο (Giannakopoulos et al., 2009, Carvalho et al., 2010). Εκτιμάται ότι η καμένη έκταση και αναλογικά το συνολικό κόστος καταστολής των πυρκαγιών, των ζημιών και των δαπανών αποκατάστασης θα αυξηθεί περίπου κατά 10% (Σενάριο B2) έως 20% (Σενάριο A2) ετησίως του σημερινού (Moriondo et al., 2006, Giannakopoulos et al., 2009, Carvalho et al., 2010, Schelhaas et al., 2010).

Σύμφωνα με το Ζερεφό (2009), τον 20ο αιώνα διαπιστώθηκε μικρή αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση του ύψους των κατακρημνισμάτων. Η τάση αυτή εκτιμάται ότι θα συνεχιστεί τον 21^ο στα σενάρια ΣΒ2 (-35 χιλιοστά) και ΣΑ2 (-84 χιλιοστά). Ωστόσο, η συνολική μείωση των κατακρημνισμάτων το έτος 2100 δεν θα είναι ομοιόμορφη σε όλη την ελληνική επικράτεια, καθώς αναμένεται μείωσή τους στην ηπειρωτική χώρα (όπου βρίσκονται τα παραγωγικά δάση της Ελλάδος) και αύξηση στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους (εκτός της Κρήτης). Τα δασικά οικοσυστήματα θα ζημιωθούν κατά κύριο λόγο από τα μειωμένα κατακρημνίσματα και τις υψηλές θερμοκρασίες που θα επικρατήσουν κατά την ξηροθερμική περίοδο, ενώ διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο καταστροφικών πυρκαγιών (Giannakopoulos et al., 2009).

Εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών έως το έτος 2100, θα υπάρξει χωρική ανακατανομή των δασών της χώρας και η συγκόμωση των δασών συνολικά θα μειωθεί. Όσον αφορά το είδος της καύσιμης ύλης λοιπόν, τα δάση των θερμόβιων κωνοφόρων και των αείφυλλων πλατύφυλλων (de Dios et al., 2007) θα επεκταθούν κατά 2% (B2) έως 4% (A2) και τα δάση ερυθρελάτης, ελάτης, οξυάς και μαύρης πεύκης θα συρρικνωθούν κατά 4% (B2) έως 8% (A2) (ΕΜΕΚΑ, 2011). Συνεπώς, δασικά είδη με μεγαλύτερη ευφλεκτότητα θα επεκταθούν. Επίσης, ορισμένα από τα παράκτια δασικά οικοσυστήματα κινδυνεύουν να μετατραπούν σε λιβάδι ή να ερημοποιηθούν (Le Houérou 1996), (B2: 1%, A2: 2%).

Αναλύοντας τον δείκτη FWI, οι Karali et al. (2011) υποστηρίζουν πως για την Ανατολική Ελλάδα το διάστημα 2021-2050, οι ημέρες με υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς θα είναι 20 περισσότερες και 45 περισσότερες για το διάστημα 2071-2100. Για τη Δυτική Ελλάδα, θα έχουμε 20 περισσότερες ημέρες αυξημένου κινδύνου πυρκαγιάς το 2021-

2050 και 25-40 περισσότερες για την περίοδο 2071-2100. Εκτιμάται πως η Αττική, η Ανατολική Πελοπόννησος, η Κεντρική Μακεδονία και η Θεσσαλία θα είναι οι περιοχές που θα επηρεαστούν πιο έντονα.

2. Μεθοδολογία

Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης αποτελεί ολόκληρη την Ελλάδα, η οποία καλύπτει 131.960 km² στη Νοτιοανατολική (NA) Ευρώπη με γεωγραφικό πλάτος που κυμαίνεται από 35°00'Β έως 42°00'Β και σε γεωγραφικό μήκος από 19°00'Α έως 28°30'Α, Περιλαμβάνεται στη Μεσογειακή βιογεωγραφική περιοχή και το κλίμα της είναι εύκρατο μεσογειακό με ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Στα ορεινά τμήματα της βόρειας χώρας, οι χειμώνες θεωρούνται έντονοι. Η βροχόπτωση είναι ισχυρότερη στο Βορρά και στις ορεινές περιοχές με τις μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις να ποικίλλουν από 500 έως 1200 mm στα βόρεια και 380 έως 810 mm στα νότια, ενώ η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 17 ° C. Το υψόμετρο κυμαίνεται από το επίπεδο της θάλασσας ως τα 2.900 μέτρα. Περίπου το 66% της έκτασης της χώρας χρησιμοποιείται για τη γεωργία, ενώ τα δάση και οι δασικές εκτάσεις καλύπτουν το 30% της συνολικής έκτασης. Ο πληθυσμός εκτιμάται ότι είναι περίπου στους 11 εκατομμύρια κατοίκους, οι μισοί από τους οποίους συγκεντρώνονται στο κεντρικό τμήμα της χώρας (Mitsopoulos & Mallinis, 2017).

Βάσεις Δεδομένων

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας διατέθηκαν από τη Δασική Υπηρεσία και συγκεκριμένα από τη Γενική Διεύθυνση Δασών και Δασικού Περιβάλλοντος. Προέρχονται από τη γενική βάση δεδομένων των δασικών πυρκαγιών για την περίοδο 2000 ως το 2015 που περιλαμβάνει στοιχεία για όλες τις πυρκαγιές που συνέβησαν στην Ελλάδα στη συγκεκριμένη περίοδο. Συγκεκριμένα η βάση περιλαμβάνει στοιχεία που αφορούν την κάθε πυρκαγιά και τις συνθήκες υπό τις οποίες εξελίχθηκε (Πίνακας 2.1). Τα στοιχεία αυτά έχουν συλλεχθεί από δασολόγους της Δασικής Υπηρεσίας σε μικρό χρόνο μετά την κατάσβεση κάθε πυρκαγιάς και αντιπροσωπεύουν τις επικρατούσες συνθήκες κατά τα αρχικά στάδια της πυρκαγιάς. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν οι ετήσιες βάσεις δεδομένων για τις πυρκαγιές της ίδιας χρονικής περιόδου από το Πυροσβεστικό Σώμα, οι οποίες διατίθενται μέσω της ιστοσελίδας του

(<http://www.fireservice.gr/pyr/site/home/LC+Secondary+Menu/opendata.csp;jsessionid=0a5a5afa30d7808938d058e54a1b9be2abd2c28f2a6e.e38LaNiOa3yTb40QbNmTc3yMa3j0n6jAmljGr5XDqQLvpAe>). Οι πυρκαγιές ενδιαφέροντος ταυτοποιήθηκαν και στις δύο βάσεις και αξιοποιήθηκαν για τον υπολογισμό συμπληρωματικών στοιχείων όπως ο αριθμός των παράλληλων πυρκαγιών.

Στοιχεία πυρκαγιάς	
Γεωγραφικό πλάτος	Σχετική υγρασία
Γεωγραφικό μήκος	Θερμοκρασία
Ωρα έκρηξης	Ένταση ανέμου
Ωρα επισήμανσης	Διεύθυνση ανέμου
Ωρα αναγγελίας	Κλίση
Ωρα επέμβασης	Έκθεση
Ωρα κατάσβεσης	Πέτρωμα
Ωρα αναζωπύρωσης	Πυκνότητα χορτοτάπητα
Ωρα ανακατάσβεσης	Πυκνότητα καμένης βλάστησης
Κλήση στρατού	Μορφή πυρκαγιάς
Άφιξη στρατού	Τρόπος κατάσβεσης (μόνο εναέρια μέσα, μόνο επίγεια μέσα, μικτός, αυτοκατάσβεση)
Άφιξη αεροσκαφών	Χρήση επιβραδυντικού
Αναχώρηση αεροσκαφών	Χρήση αντιπυρός
Αίτια Πυρκαγιάς	Αριθμός δασικού προσωπικού
Εξακρίβωση Δράστη	Αριθμός δασοπυροσβεστών
Είδος καμένης δασικής βλάστησης	Αριθμός ένοπλων δυνάμεων
Αριθμός στρεμμάτων καμένης δασικής βλάστησης	Αριθμός ιδιωτών
Είδος μη δασικής βλάστησης	Αριθμός οχημάτων Π. Σ.
Αριθμός στρεμμάτων καμένης μη δασικής βλάστησης	Αριθμός οχημάτων μεταφοράς προσωπικού
Άλλες καταστροφές (οικίες, γεωργοκτ/κες εγκαταστάσεις, άνθρωποι, ζώα, μηχανήματα)	Αριθμός φορητών εργαλείων
Ιδιοκτησία Δασικών γαιών (δημόσιες/μη δημόσιες)	Αριθμός βαρέων μηχανημάτων
Υψόμετρο	Αριθμός CL_215
Κωδικός μετεωρολογικού σταθμού	Αριθμός M-18 PZL

Πίνακας 2.1: Πίνακας με τα στοιχεία κάθε πυρκαγιάς από τη βάση δεδομένων της Δασικής Υπηρεσίας.

Έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία δημιουργήθηκαν δύο μικρότερες βάσεις, υποσύνολα της γενικής. Η πρώτη περιλαμβάνει όλες τις μεγάλες πυρκαγιές (>5000 στρέμματα) που περιλαμβάνονται στη γενική βάση για την περίοδο 2000-2015. Ο αριθμός των δασικών πυρκαγιών σε αυτή τη βάση, με καμένη έκταση μεγαλύτερη των

5000 στρεμμάτων ή 500 εκταρίων (ha) έφθασε τις 128. Η δεύτερη βάση δεδομένων απαρτίζεται από ίδιο αριθμό (δηλαδή 128) μικρότερων δασικών πυρκαγιών, για την ίδια περίοδο 2000-2015, που επελέγησαν με συστηματικό τρόπο από τη γενική βάση: Κάθε πυρκαγιά της δεύτερης βάσης απέχει 200 θέσεις (ως προς τον αύξοντα αριθμό) από κάθε μία από τις μεγάλες πυρκαγιές που περιλαμβάνονται στην πρώτη βάση. Τελικά, στη δεύτερη βάση παρέμειναν 126 πυρκαγιές καθώς οι υπόλοιπες 2 διαπιστώθηκε ότι είχαν ελλιπή στοιχεία. Όσον αφορά τη συνολική καμένη έκταση κάθε πυρκαγιάς, έχουν συνυπολογιστεί καμένες εκτάσεις με δασική βλάστηση αλλά και αγροτικές εκτάσεις με καλλιέργειες που συνάντησαν και έκαψαν ορισμένες πυρκαγιές στο πέρασμά τους.

2.1 Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης

Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS. Οι στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία περιλαμβάνουν την εξέταση των δεδομένων με βάση τα περιγραφικά στοιχεία (descriptive statistics), τη συσχέτιση των μεταβλητών (correlation), και τη γραφική απεικόνιση. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (multiple linear regression) και η λογιστική παλινδρόμηση (logistic regression) όπως περιγράφεται παρακάτω.

Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση είναι μια προσέγγιση για τη μοντελοποίηση της σχέσης μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και περισσότερων από μίας επεξηγηματικών/ανεξάρτητων μεταβλητών (explanatory variables). Η εξαρτημένη μεταβλητή πρέπει να είναι ποσοτική και συνεχής και να ακολουθεί την Κανονική Κατανομή με σταθερή διακύμανση και οι ανεξάρτητες μεταβλητές μπορούν να είναι είτε ποσοτικές και συνεχείς, είτε κατηγορικές. Η κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή πρέπει να συνδέεται γραμμικά με την εξαρτημένη. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές πρέπει να είναι ισχυρά συσχετισμένες με την εξαρτημένη μεταβλητή ενώ μεταξύ τους πρέπει να μην εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση. Επίσης, τα λάθη πρέπει να είναι τυχαία με σταθερή διακύμανση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εξαρτημένη μεταβλητή θεωρήθηκε το

μέγεθος της καμένης έκτασης ενώ οι ανεξάρτητες μεταβλητές αναλύονται παρακάτω. Η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη από τις δύο βάσεις, εκείνη των μεγάλων πυρκαγιών (>500ha), σε μία προσπάθεια να συσχετισθεί το μέγεθος της καμένης έκτασης με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που μπορούν να είναι γνωστές από τα αρχικά στάδια μια πυρκαγιάς. Δοκιμάστηκε στο SPSS τόσο ο απ' ευθείας υπολογισμός επιλεγμένων συνδυασμών μεταβλητών (μέθοδος Enter) όσο και η επιλογή σε βήματα (μέθοδος Stepwise).

Η λογιστική παλινδρόμηση (Logistic Regression) είναι μια στατιστική μέθοδος που παρέχει πληροφορίες για τη σχέση μεταξύ μιας διχοτόμου εξαρτημένης μεταβλητής και ενός ή περισσότερων ανεξάρτητων επεξηγηματικών μεταβλητών, οι οποίες μπορεί να είναι κατηγορικές αλλά και ποσοτικές. Αποτελεί ένα μοντέλο ταξινόμησης των τιμών μιας εξαρτημένης μεταβλητής με βάση τη θεωρία των πιθανοτήτων. Στόχος στο μοντέλο αυτό όπου η εξαρτημένη κατηγορική μεταβλητή συνήθως έχει δυαδικό χαρακτήρα (λαμβάνει δύο τιμές) είναι η πρόβλεψη της έκβασης αυτής από ένα πλήθος ανεξάρτητων μεταβλητών. Για τη συγκεκριμένη στατιστική μέθοδο, οι δύο βάσεις δεδομένων ενώθηκαν, δημιουργώντας μία νέα αποτελούμενη από μικρές και μεγάλες δασικές πυρκαγιές (N=254, 126 μικρές και 128 μεγάλες). Ως εξαρτημένη μεταβλητή θεωρήθηκε το μέγεθος της καμένης έκτασης παίρνοντας τις τιμές 0 για τις μικρές πυρκαγιές (<500 ha) και 1 για τις μεγάλες πυρκαγιές (>500ha). Ως ανεξάρτητες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες με αυτές της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε Binary Logistic Regression στο SPSS με τη μέθοδο Stepwise.

2.2 Ανεξάρτητες μεταβλητές (Explanatory variables)

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που εξετάστηκαν για τις δύο στατιστικές μεθόδους επιλέχθηκαν με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία από τις βάσεις δεδομένων και την επισκόπηση της βιβλιογραφίας. Οι μεταβλητές αυτές είναι: Ώρα έναρξης, γεωγραφικό πλάτος, χρόνος επέμβασης, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, υψόμετρο, ένταση ανέμου, κλίση εδάφους, βλάστηση, απόσταση πλησιέστερης αεροπορικής βάσης Canadair

(CL), ο αριθμός των παράλληλων δασικών πυρκαγιών, ο αριθμός των παράλληλων μεγάλων δασικών πυρκαγιών (>500 ha).

Το γεωγραφικό πλάτος είναι μία ποσοτική και συνεχής μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να διερευνηθεί η πιθανή συσχέτιση συγκεκριμένων περιοχών της χώρας με μεγάλες δασικές πυρκαγιές (Τσαγκάρη κ.α., 2011). Οι τιμές της μεταβλητής του γεωγραφικού πλάτους απαρτίζονται από τετρανήφιους αριθμούς που οι δύο πρώτοι είναι οι μοίρες και οι δυο τελευταίοι τα πρώτα λεπτά.

Η ώρα έναρξης της φωτιάς είναι μια ανεξάρτητη μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε για να ερευνηθεί η συσχέτιση του ημερήσιου κύκλου με τις μεγάλες καμένες εκτάσεις. Ενώ η σχέση του ημερήσιου κύκλου με τη συμπεριφορά των πυρκαγιών αναφέρεται σχεδόν σε κάθε εγχειρίδιο καταστολής αυτών, στη βιβλιογραφία δε συναντάμε άμεσες ερευνητικές εργασίες για τη συσχέτισή αυτού με τις μεγάλες πυρκαγιές. Ωστόσο, η ώρα έναρξης σχετίζεται με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό άλλες μετεωρολογικές μεταβλητές και την κατάσταση της καύσιμης ύλης, όπως τη θερμοκρασία και περιεχόμενη υγρασία της λεπτής καύσιμης ύλης, τον άνεμο και τη σταθερότητα της ατμόσφαιρας (Τσαγκάρη κ.α., 2011; Ταμπάκης και Καρανικόλα, 2015). Συνεπώς, η ώρα έναρξης θα μπορούσε να σχετίζεται με έμμεσο τρόπο με τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές (http://www.auburn.edu/academic/forestry_wildlife/fire/weather_elements.htm).

Οι καιρικές μεταβλητές, όπως θερμοκρασία και σχετική υγρασία, είναι ποσοτικές και συνεχείς με ποικίλες αναφορές για τη συσχέτισή τους με τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές (Viegas, 1998; Stocks et al., 2002; Podur & Martel, 2007; Dimitrakopoulos, 2011; Parisien et al, 2011; San Miquel- Ayanz et al., 2013; Feug et al, 2015; Mitsopoulos & Mallinis, 2017). Οι τιμές των μεταβλητών αυτών στη βάση δεδομένων έχουν προκύψει από τις τιμές των πλησιέστερων μετεωρολογικών σταθμών κατά την έναρξη της εκάστοτε πυρκαγιάς.

Ο χρόνος επέμβασης είναι μία μεταβλητή που αφορά το επιχειρησιακό σκέλος και την ετοιμότητα των δασοπυροσβεστικών δυνάμεων (Viegas, 2006; Τσαγκάρη κ.α., 2011; Dimitrakopoulos, 2011). Είναι μία ποσοτική και συνεχής μεταβλητή, η οποία προέκυψε από το άθροισμα του χρόνου επισημάνσης, αναγγελίας και επέμβασης από τη στιγμή της έναρξης της φωτιάς και η μονάδα μέτρησης είναι τα λεπτά.

Το υψόμετρο θεωρείται και αυτό μία ποσοτική και συνεχής μεταβλητή αντιπροσωπεύοντας την τιμή του υψομέτρου που ξεκίνησε κάθε πυρκαγιά με μονάδα μέτρησης τα μέτρα (m). Χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση της εξάρτησης της καμένης έκτασης από αυτό, αφού σε πολλές περιπτώσεις στη βιβλιογραφία εμφανίζεται η συσχέτιση τους τόσο σε κοινωνικό επίπεδο (Pereira, 2005; Ganteaume & Jappiot, 2013; Mitsopoulos & Mallinis, 2017) όσο και σε οικολογικό (Ξανθόπουλος, 1998; Κωνσταντινίδης, 2007; Liu et al, 2013; Mitsopoulos & Mallinis, 2017).

Η ένταση του ανέμου στη βάση δεδομένων είναι μία ανεξάρτητη μεταβλητή διάταξης (ordinal) διαβαθμισμένης σε πέντε κλάσεις με βάση την κλίμακα Μποφόρ (0-1 BF/1,1-4 BF/ 4,1-7BF/7,1-9 BF/>9,1BF) . Η ένταση του ανέμου καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά της φωτιάς αλλά και το μέγεθος της καμένης έκτασης σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Viegas, 1998; Stocks, 2002; Dimitrakopoulos, 2011; Mitsopoulos & Mallinis, 2017) εν αντιθέσει με τη διεύθυνση του ανέμου για την οποία δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αναφορές συσχέτισης με το μέγεθος της φωτιάς, οπότε και δεν επιλέχθηκε ως μεταβλητή.

Αρκετές αναφορές συναντάμε για την επίδραση της τοπογραφίας στη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών (Guytte & Dey, 2000; Liu et al., 2013; Feng et al, 2015; Fernades et al., 2016a; Mitsopoulos & Mallinis, 2017). Θεωρείται ένας ανασταλτικός παράγοντας για τη διαχείριση και αντιμετώπισή τους αφού μπορεί να δυσκολέψει την πρόσβαση των δασοπυροσβεστικών δυνάμεων (Dickson, 2006). Επί μέρους στοιχεία της τοπογραφίας αποτελούν η έκθεση, η κλίση, και η γενικότερη τοπογραφική διαμόρφωση (π.χ. φαράγγια). Το τελευταίο αυτό στοιχείο δεν περιλαμβάνεται στη βάση δεδομένων. Στα συνήθως χρησιμοποιούμενα συστήματα πρόβλεψης συμπεριφοράς πυρκαγιών όπως το BehavePlus (Andrews, 2014), η μεταβλητή που αντιπροσωπεύει την τοπογραφία είναι η κλίση. Στην ανάλυση λοιπόν, από τη βάση δεδομένων, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η κλίση, η οποία σύμφωνα με το πρωτόκολλο συλλογής είναι διαβαθμισμένη σε έξι κλάσεις (0-20%, 21-40%, 41-60%, 61-80%, 81-100%, >100%).

Η βλάστηση είναι μία βασική μεταβλητή που επηρεάζει τον τρόπο εξάπλωσης κάθε πυρκαγιάς. Επιμέρους στοιχεία της βλάστησης που επιδρούν στη συμπεριφορά της φωτιάς είναι η ποσότητά της (Moreira et al., 2010; Xanthopoulos et al., 2012; Ganteaume & Jappiot, 2013; Ταμπάκης και Καρανικολα, 2015), η κατανομή της στο

χώρο (Loepfe et al, 2010; Curt et al, 2013; Mitsopoulos & Mallinis, 2017), οι διαστάσεις της (Moreira et al., 2012, Καλαμποκίδης κ.ά. 2013), η θερμοκρασία και περιεχόμενη υγρασία της (Xanthopoulos and Wakimota, 1993; Moreira et al., 2012, Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015, Fernades et al., 2016a), το είδος (Xanthopoulos et al., 2012; Ganteaume & Jappiot, 2013; Fernades et al., 2016a). Τα στοιχεία που ήταν διαθέσιμα για τη βλάστηση ήταν ο αριθμός των στρεμμάτων που κάηκαν ανά κατηγορία βλάστησης σε κάθε πυρκαγιά (Αείφυλλα πλατύφυλλα, Πεύκη μαύρη, Πεύκη τραχεία, Πεύκη χαλέπιος, Πεύκη δασική, Οξιά, Κυπάρισσος, Κουκουναριά, Πουρνάρι, Δρυς φυλλοβόλος, Αριά, Φυλλοβόλλα πλατύφυλλα, Φρυγανοσκεπείς εκτάσεις, Χορτοσκεπείς εκτάσεις, Λοιπά θερμόβια πλατύφυλλα, Λοιπά ψυχρόβια κωνοφόρα, Ελάτη, Αναγέννηση, Αναδάσωση, Σιτηρά, Άμπελοι, Ελαιώνες, Λοιπές καλλιέργειες). Στη βάση δεδομένων δεν αναφέρεται ο τύπος βλάστησης στο σημείο όπου ξεκίνησε η πυρκαγιά. Καθώς μια μεγάλη πυρκαγιά κατά κανόνα εξαπλώνεται σε περισσότερους τύπους βλάστησης, για την ανάλυση απαιτήθηκε να δημιουργηθεί μια μεταβλητή που να αντιπροσωπεύει συνολικά τη βλάστηση και την ευφλεκτότητά της, ως συνισταμένη των επί μέρους ειδών. Για τη δημιουργία της συγκεκριμένης μεταβλητής χρησιμοποιήθηκε μία αξιολόγηση ευφλεκτότητας ειδών βλάστησης από ειδικούς επιστήμονες και ερευνητές στις δασικές πυρκαγιές από όλη την Ευρώπη (Xanthopoulos et al., 2012). Η αξιολόγηση στηρίζεται σε ένα δείκτη που λαμβάνει τιμές από 1 για είδη βλάστησης μικρής ευφλεκτότητας έως 5 για εξαιρετικής ευφλεκτότητας είδη. Έτσι για τον υπολογισμό της αντιπροσωπευτικής ευφλεκτότητας της βλάστησης στην οποία εξαπλώθηκε κάθε πυρκαγιά της βάσης δεδομένων, έγινε στάθμιση της συμβολής του κάθε τύπου βλάστησης με βάση την ευφλεκτότητά του και την έκταση που κάηκε από αυτόν συμβάλλοντας στη συνολική καμένη έκταση. Έτσι λοιπόν, ο προσδιορισμός του αντιπροσωπευτικού δείκτη ευφλεκτότητας της βλάστησης που διέτρεξε κάθε πυρκαγιά (μεταβλητή ΒΛΑΣΤΗΣΗ) έγινε με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{ΒΛΑΣΤΗΣΗ} = \frac{\beta_1 * \alpha_1 + \beta_2 * \alpha_2 + \dots + \beta_v * \alpha_v}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_v}$$

β_v = συντελεστής ευφλεκτότητας είδους βλάστησης v

α_v = αριθμός στρεμμάτων έκτασης του είδους βλάστηση v που κάηκε

Αξίζει να επισημανθεί πως κάποια είδη βλάστησης που αναγράφονται στις βάσεις δεδομένων της Δασικής Υπηρεσίας και στην αξιολόγηση των ειδών από τους Xanthopoulos et al. (2012) δεν έχουν πλήρη ταύτιση παρουσιάζοντας ορισμένες διαφοροποιήσεις μεταξύ τους, οπότε και έγινε αντιστοίχιση ορισμένων ειδών. Τα είδη βλάστησης που διαφοροποιούνται και έγινε αντιστοίχιση στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας είναι τα εξής:

Είδη βλάστησης στη βάση δεδομένων της Δασικής Υπηρεσίας	Είδη βλάστησης αξιολόγησης Xanthopoulos et al. (2012)
Αείφυλλα πλατύφυλλα	Broadleaved evergreen forest (maquis) not dominated by oak (tall)
Άμπελοι	Managed grassland
Αναγέννηση	Broadleaved evergreen forest (maquis) not dominated by oak (tall)
Αναδάσωση	Broadleaved evergreen forest (maquis) not dominated by oak (tall)
Λοιπές καλλιέργειες	Managed grassland
Λοιπά θερμόβια πλατύφυλλα	Forest of other thermophilous deciduous trees (Carpinus deciduous forests orientalis, Ostrya carpinifolia, etc.)
Λοιπά ψυχρόβια κωνοφόρα	Tall Scots pine forest with mix of Birch and other forest deciduous trees
Δρυς Φυλλοβόλος	Oak (Quercus pubescens) forest
Αριά	Broadleaved evergreen forest (oak dominated maquis)
Πουρνάρι	Broadleaved evergreen forest (oak dominated maquis)
Φυλλοβόλα πλατύφυλλα	Forest of other thermophilous deciduous trees (Carpinus deciduous forests orientalis, Ostrya carpinifolia, etc.)
Σιτηρά	Managed grassland

Πίνακας 2.2: Πίνακας αντιστοίχισης δασικών ειδών βάσης δεδομένων της Δασικής Υπηρεσίας με την αξιολόγηση ευφλεκτότητας των Xanthopoulos et al. (2012).

Σημαντικές μεταβλητές για την εξέλιξη των πυρκαγιών από διάφορες αναφορές (San- Miguel-Ayanz, 2013; Ξανθόπουλος, 2016) είναι αυτές που σχετίζονται με το επιχειρησιακό σκέλος της καταστολής. Επιλέχθηκε λοιπόν, να ερευνηθεί η επίδραση ή μη της απόστασης της πλησιέστερης βάσης των εναέριων μέσων (Canadaair και PZL M18b Dromader) από την περιοχή της κάθε πυρκαγιάς. Δυστυχώς, επίσημα στοιχεία

για τις αεροπορικές βάσεις που χρησιμοποιήθηκαν ανά έτος, για τον καθορισμό των μεταβλητών της απόστασης από την πλησιέστερη αεροπορική βάση Canadair (CL_215, CL_415) δεν έγιναν διαθέσιμα από το Πυροσβεστικό Σώμα λόγω απορρήτου. Οι συγκεκριμένες μεταβλητές καθορίστηκαν από ένα δημοσίευμα που παρουσίαζε την κατανομή των εναέριων δασοπυροσβεστικών δυνάμεων στις αεροπορικές βάσεις της χώρας τη χρονιά 2016 (<http://almyrosinfo.gr/article/μέχρι-την-παρασκευή-canadair-στη-ν-αγχίαλο>) και θεωρήθηκε πως δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην κατανομή αυτή κάθε χρονιά. Έτσι λοιπόν, μετρήθηκε στο Google Earth η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των συντεταγμένων κάθε πυρκαγιάς της βάσης δεδομένων και των συντεταγμένων της πλησιέστερης αεροπορικής βάσης που διαθέτει CL_215, CL_415 (π.χ. Ελευσίνα, Μίκρα, Ανδραβίδα, Αγχίαλος, Σάμος, Άκτιο) και PZL M 18B Dromader. Στην περίπτωση των PZL, όταν η απόσταση υπερέβαινε τα 50 km δε λαμβανόταν υπόψη, καθώς πρόκειται για μικρά αεροσκάφη που πρέπει να επιστρέψουν στη βάση τους για να ανεφοδιαστούν με νερό, οπότε κατά κανόνα δρουν σε σχετικά μικρή απόσταση από τη βάση τους. Επειδή λοιπόν, οι περισσότερες πυρκαγιές είχαν απόσταση μεγαλύτερη των 50 km από την πλησιέστερη αεροπορική βάση PZL M 18B, η συγκεκριμένη μεταβλητή τελικά απορρίφθηκε από την ανάλυση λόγω έλλειψης τιμών. Επίσης, δεν έγινε διαφοροποίηση όσον αφορά την απόσταση από τη βάση των CL_215 και CL_415 και θεωρήθηκε τελικά ως μία μεταβλητή.

Μια άλλη μεταβλητή που θεωρήθηκε ότι μπορεί να επηρεάζει τη συνολική δυσκολία των πυρκαγιών που αντιμετωπίζει η χώρα σε μία ημέρα, οδηγώντας σε αδυναμία αποτελεσματικής αντιμετώπισης και τελικά στην εξέλιξη κάποιων πυρκαγιών σε μεγάλες, ήταν ο αριθμός των παράλληλων πυρκαγιών αλλά και η ύπαρξη άλλων μεγάλων παράλληλων πυρκαγιών (San- Miguel-Ayanz, 2013). Αυτές οι δύο μεταβλητές υπολογίστηκαν με βάση τις βάσεις δεδομένων του Πυροσβεστικού Σώματος σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεταβλητές που προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τα δεδομένα της Δασικής Υπηρεσίας. Αυτό συνέβη διότι θεωρήθηκε πως το Πυροσβεστικό Σώμα είναι καταλληλότερο και πιο αξιόπιστο για την παροχή και διάθεση στοιχείων επιχειρησιακού τύπου μιας και είναι ο αρμόδιος φορέας για τη δασοπυρόσβεση. Συνεπώς, με βάση τις ημερομηνίες των πυρκαγιών εντοπίστηκε και ο αριθμός των συνολικών παράλληλων πυρκαγιών και των μεγάλων παράλληλων πυρκαγιών.

Πίνακας 2.3: Πίνακας ανεξάρτητων μεταβλητών (explanatory variables)

Όνομα μεταβλητή	Κωδικός	Τύπος μεταβλητή	Μονάδες
Γεωγραφικό πλάτος	Γ ΠΛΑΤΟΣ	Ποσοτική και Συνεχής	-
Ωρα έναρξης	ΩΡΑ	Κατηγορική	-
Χρόνος επέμβασης	ΧΡΟΝΟΣ_ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ	Ποσοτική και Συνεχής	Λεπτά
Θερμοκρασία	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	Ποσοτική και Συνεχής	°C
Σχετική υγρασία	ΣΧΕΤΙΚΗ_ΥΓΡΑΣΙΑ	Ποσοτική και Συνεχής	%
Υψόμετρο	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	Ποσοτική και Συνεχής	Μέτρα (m)
Ένταση ανέμου	ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ	Διάταξης (ordinal)	Νηνεμία(0-1 BF), Μέτριος(1,1-4 BF) Ισχυρός(4,1-7 BF), Πολύ ισχυρός(7,1- 9 BF), Θυελλώδης (>9 BF)
Κλίση	ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ	Διάταξης (ordinal)	0-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100, >100 (%)
Βλάστηση	ΒΛΑΣΤΗΣΗ	Ποσοτική και Συνεχής	-
Απόσταση πλησιέστερης βάσης Canadair	ΑΠΟΣΤΑΣΗ_CL	Ποσοτική και Συνεχής	Km
Αριθμός Παράλληλων δασικών πυρκαγιών	ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	Ποσοτική και Συνεχής	-
Αριθμός παράλληλων μεγάλων δασικών πυρκαγιών	ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	Ποσοτική και Συνεχής	-

3. Ανάλυση-Αποτελέσματα

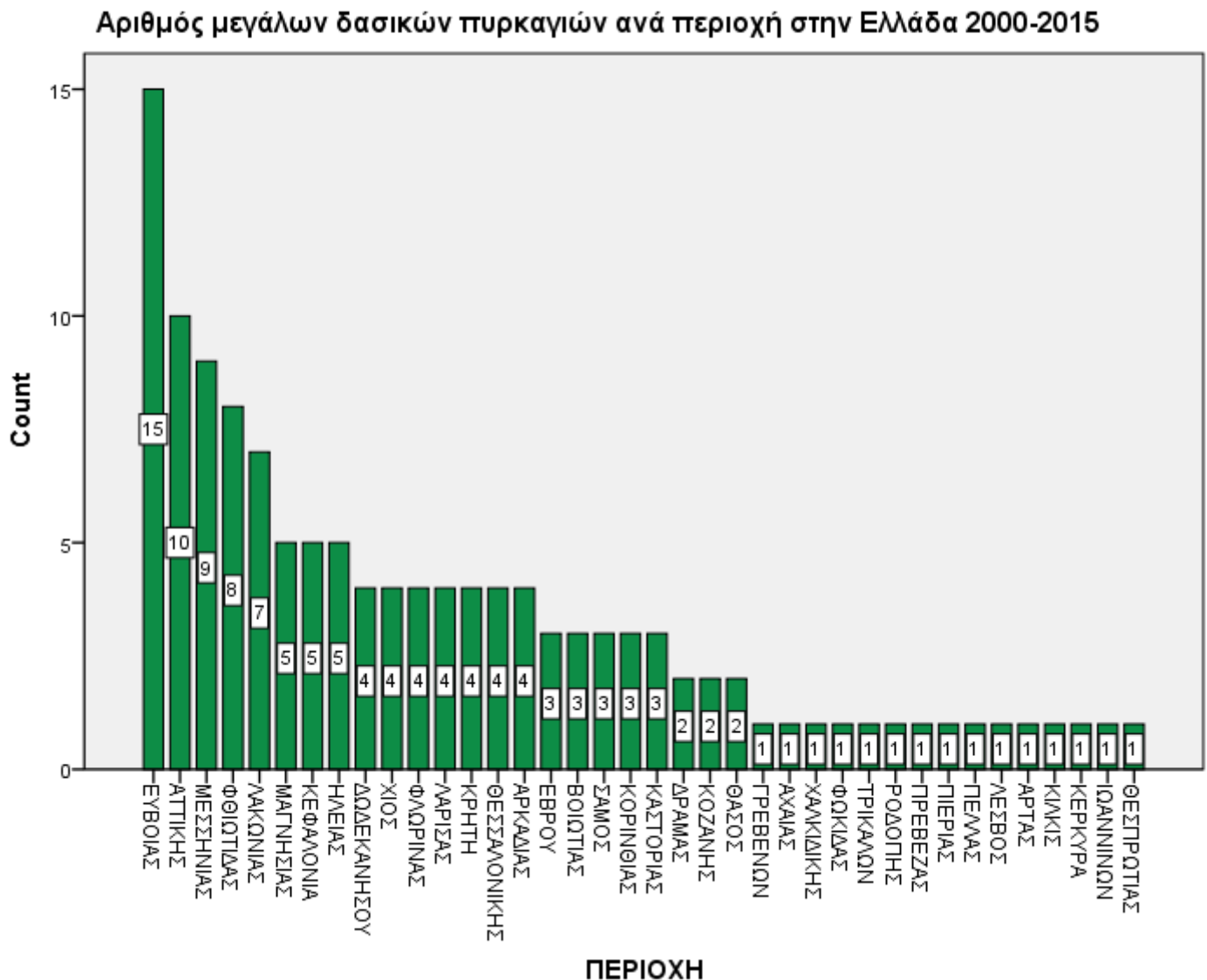
Το πρώτο βήμα της ανάλυσης ήταν η δημιουργία του Πίνακα 3.1 με τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία (Descriptive statistics) των μεταβλητών της βάσης δεδομένων που περιέχει μόνο τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές (>5000 στρέμματα ή >500 ha). Στη συνέχεια δημιουργήθηκε και ο αντίστοιχος πίνακας για τη βάση που περιέχει τις τυχαία επιλεγμένες μικρότερες πυρκαγιές (Πίνακας 3.2). Επισημαίνεται ότι ο αριθμός παρατηρήσεων για ορισμένες μεταβλητές είναι μικρότερος του 128 γιατί για αυτές λείπουν κάποιες από τις παρατηρήσεις.

Πίνακας 3.1: Πίνακας περιγραφικών στατιστικών της βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές (>500ha).

Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
ΩΡΑ	128	0:12	23:55	13:40	5:00
ΗΜΕΡΙΑ	128	25.06.2000	04.09.2015	10.06.2007	1774 18:14:...
ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙ ΕΣ	128	0	6	1,39	2,055
ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	128	3	152	84,88	32,450
ΓΠΛΑΤΟΣ	122	3503	4507	3850,03	156,316
ΧΡΟΝΟΣ_ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ	123	0	745	33,72	74,069
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	123	0	2190	486,61	427,591
ΣΧΕΤΙΚΗ_ΥΓΡΑΣΙΑ	121	4	78	37,19	17,766
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	122	6	44	30,82	7,090
ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ	117	1	4	2,20	,646
ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ	123	1	6	2,56	1,065
Απόσταση_CL	128	4,98	424,26	103,9145	77,85205
ΚΑΜΕΝΗ_ΕΚΤΑΣΗ	128	5000	250283	29511,52	46068,755
ΒΛΑΣΤΗΣΗ	128	2,00	4,79	3,3848	,55075
Valid N (listwise)	104				

Έχοντας μια γενική εικόνα για τα δεδομένα το επόμενο βήμα της ανάλυσης ήταν η γραφική εξέταση αυτών με έμφαση σε εκείνα που αφορούν τις μεγάλες πυρκαγιές. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση της πιθανής τους συσχέτισης με τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές (>5000 στρέμματα) στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

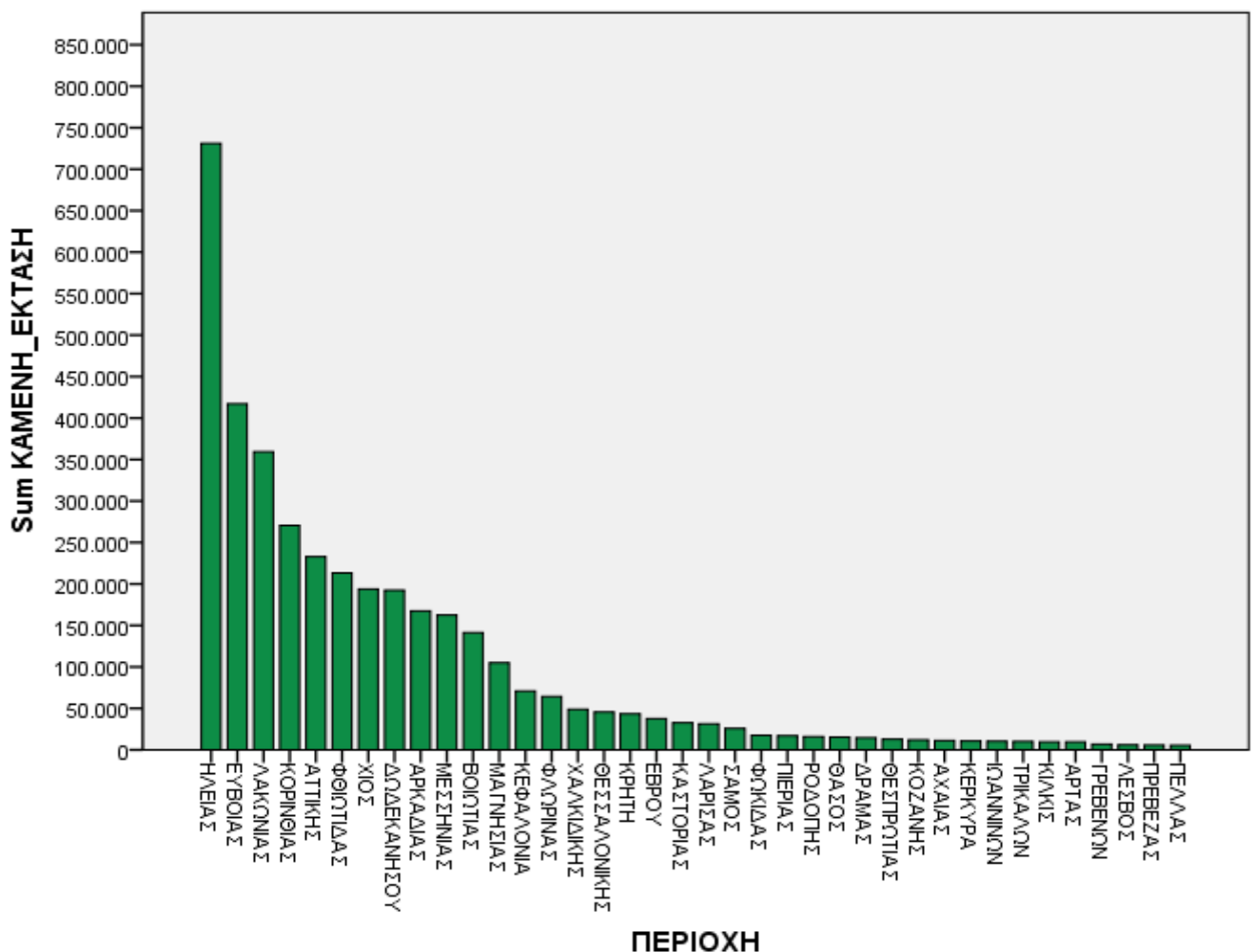
Σχήμα 3.1: Αριθμός μεγάλων δασικών πυρκαγιών ανά νομό στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.



Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως μεγάλες δασικές πυρκαγιές δεν εκδηλώνονται σε οποιοδήποτε νομό της Ελλάδας. Ο νομός Ευβοίας ξεχωρίζει ως προς τον ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό μεγάλων πυρκαγιών (κατά μέσο όρο μία μεγάλη πυρκαγιά ανά έτος), ενώ επίσης ξεχωρίζουν οι νομοί Αττικής, Μεσσηνίας, Φθιώτιδας

και Λακωνίας με περίπου μία μεγάλη πυρκαγιά ανά διετία. Με βάση αυτό το σχήμα μπορούν να αναζητηθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τη συχνή εξέλιξη πυρκαγιών σε μεγάλες σε ορισμένους νομούς σε σχέση με άλλους νομούς.

Από το πιο κάτω διάγραμμα (Σχήμα 3.2) μπορούμε να διακρίνουμε τις διαφοροποιήσεις μεταξύ της συχνότητας των μεγάλων πυρκαγιών και του μεγέθους της καμένης έκτασης που είχαν από αυτές σε κάθε νομό της χώρας. Χαρακτηριστικό

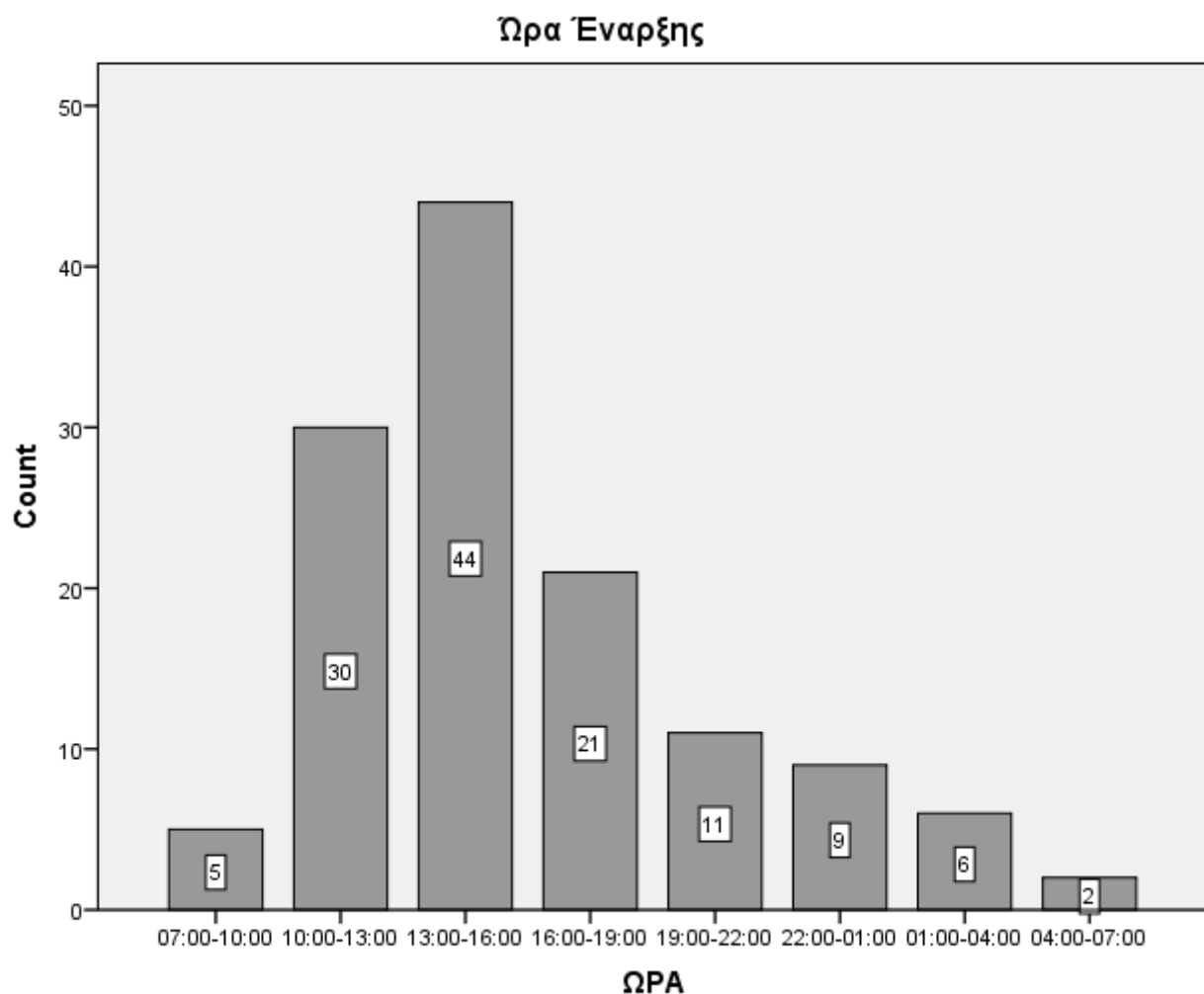


Σχήμα 3.2: Συνολική καμένη έκταση μεγάλων δασικών πυρκαγιών ανά νομό στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

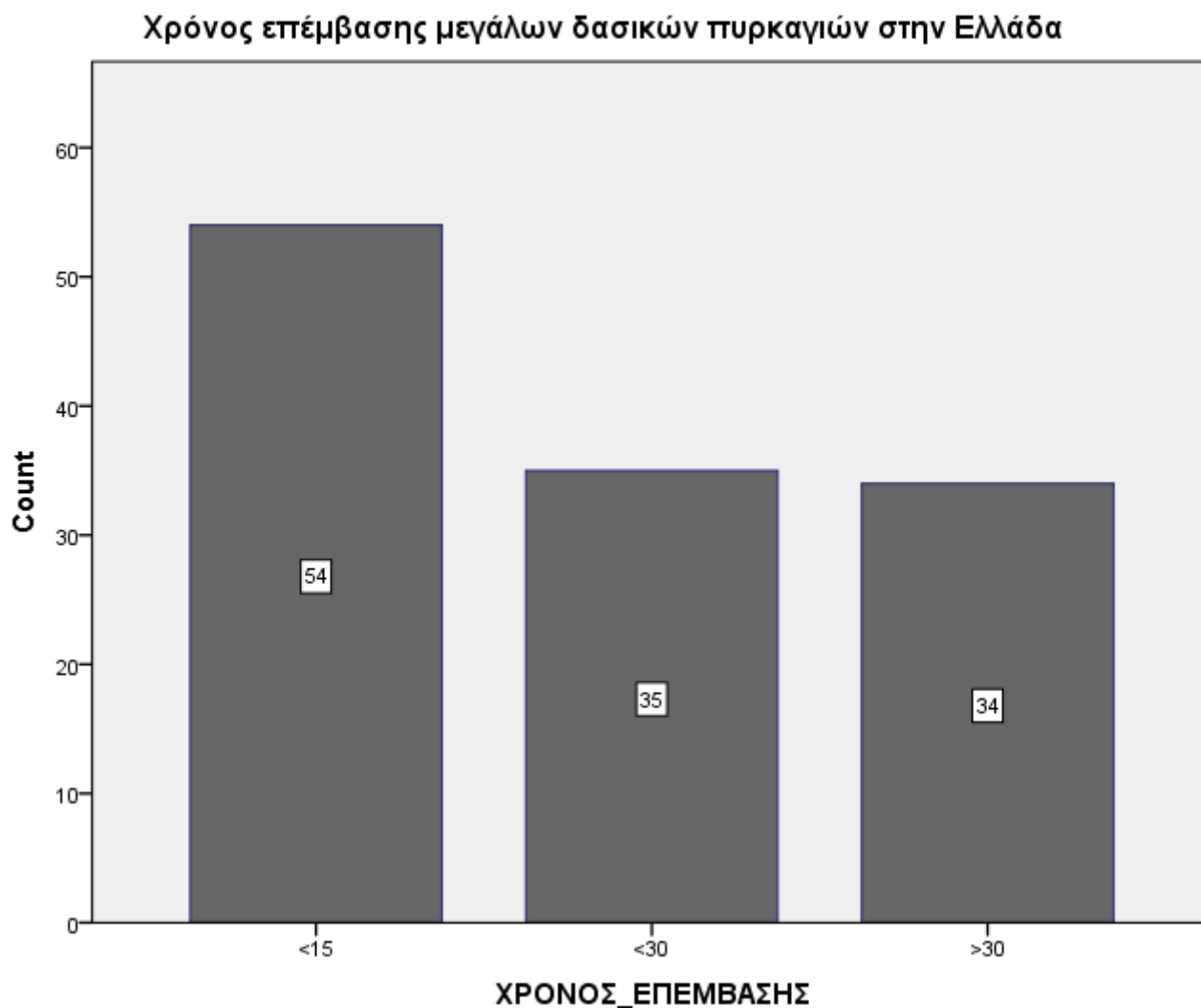
παράδειγμα αποτελεί ο νομός Μεσσηνίας που βρίσκεται στις πρώτες θέσεις όσον αφορά τη συχνότητα μεγάλων πυρκαγιών αλλά η καμένη έκταση των πυρκαγιών αυτών δε βρίσκεται σε αντίστοιχα υψηλή θέση. Επίσης, ο νομός Ηλείας, ενώ δεν έχει πολύ μεγάλη συχνότητα μεγάλων πυρκαγιών, βρίσκεται στην πρώτη θέση στο διάγραμμα της καμένης έκτασης που έχουν προκαλέσει οι πυρκαγιές αυτές. Αντίθετα,

ο νομός Εύβοιας έχει αντίστοιχα ποσά συχνότητας και καμένης έκτασης μεγάλων πυρκαγιών

Σχήμα 3.3: Ώρα έναρξης μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

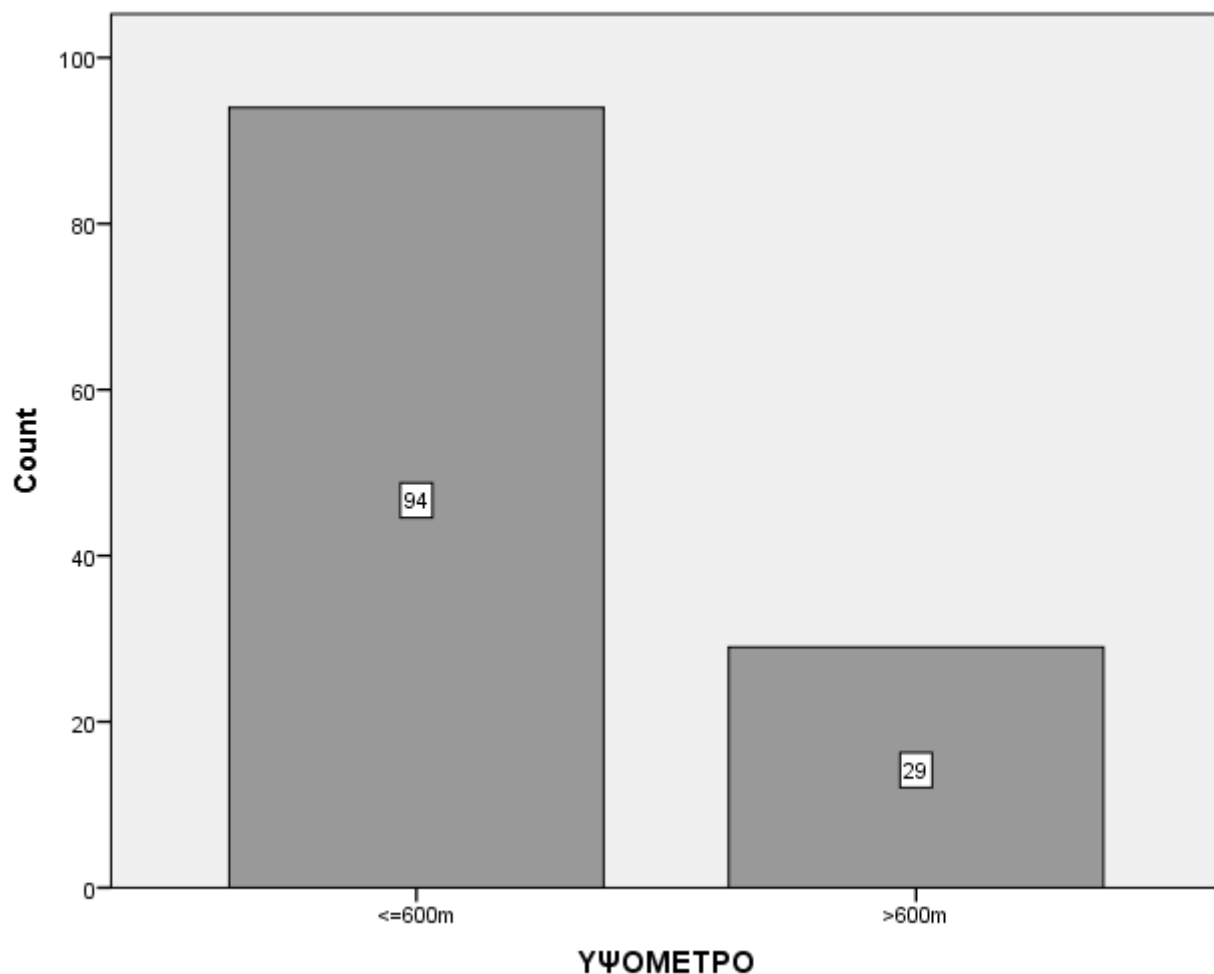


Οι περισσότερες μεγάλες δασικές πυρκαγιές (44) εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα κατά τις μεσημβρινές ώρες 13:00- 16:00, ενώ αυξημένος αριθμός παρατηρείται και στο διάστημα 10:00-13:00. Εκείνες τις ώρες οι μετεωρολογικές συνθήκες (θερμοκρασία, σχετική υγρασία) είναι τέτοιες που ευνοούν την ανάφλεξη των φωτιών αλλά και ακολουθεί ένα μεγάλο χρονικό ημερήσιο διάστημα με κρίσιμες ατμοσφαιρικές συνθήκες που βοηθούν την εξέλιξη των πυρκαγιών σε μεγάλες.



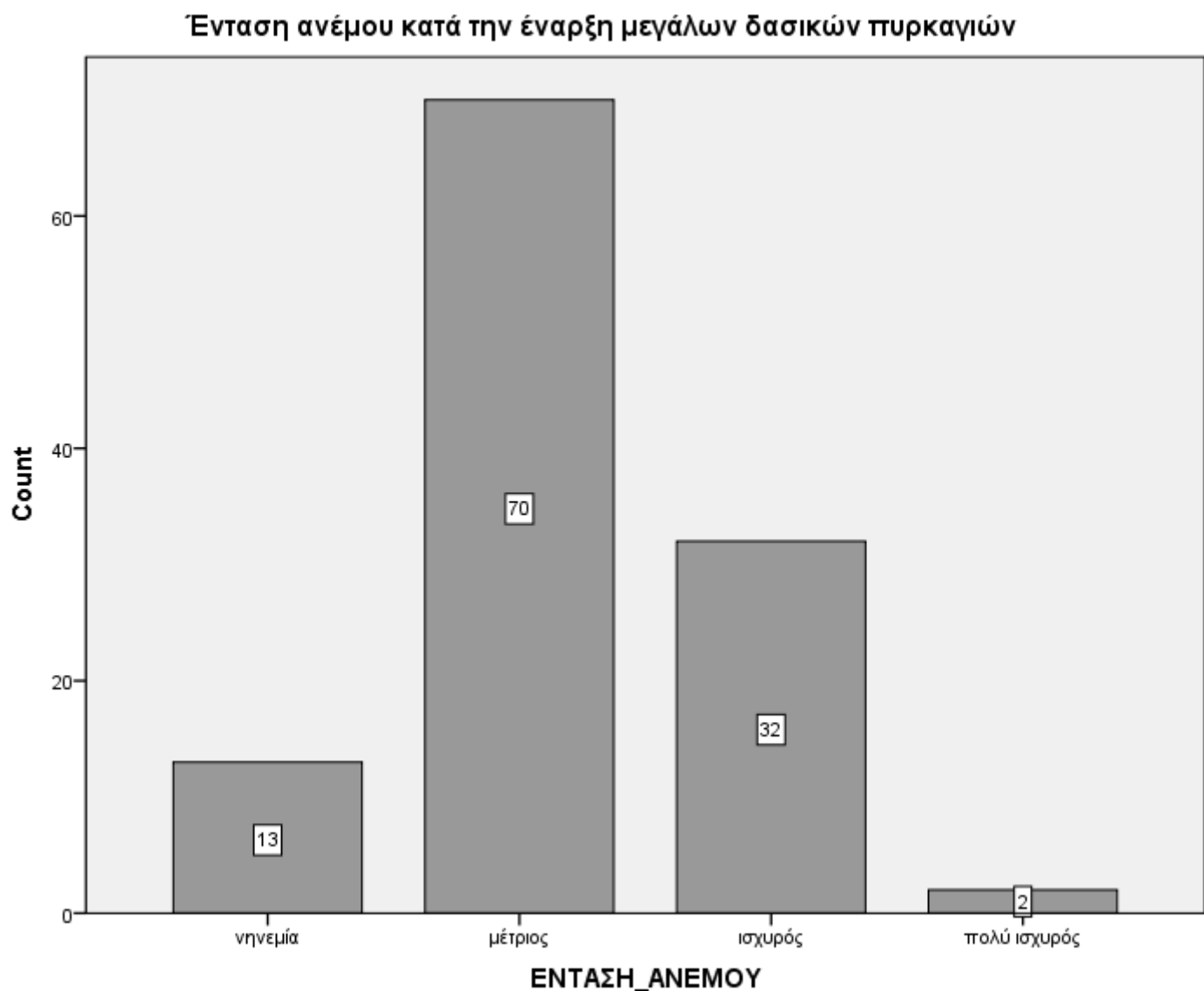
Σχήμα 3.4: Χρόνος επέμβασης από τις δυνάμεις δασοπυρόσβεσης για τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές την περίοδο 2000-2015.

Παρατηρείται πως ο χρόνος επέμβασης των μεγάλων πυρκαγιών ποικίλει με 54 μεγάλες δασικές πυρκαγιές συνέβησαν με μικρό χρόνο επέμβασης από τις δασοπυροσβεστικές δυνάμεις (<15 λεπτά), ενώ 34 πυρκαγιές είχαν μεγάλο χρόνο επέμβασης (>15 λεπτά). Μεταξύ 15 και 30 λεπτών χρόνου επέμβασης συναντάμε 35 πυρκαγιές. Γενικώς, παρατηρείται μικρός χρόνος επέμβασης στις μεγάλες πυρκαγιές, με το 1/3 των μεγάλων δασικών πυρκαγιών να έχει μικρότερο χρόνο από 30 λεπτά.



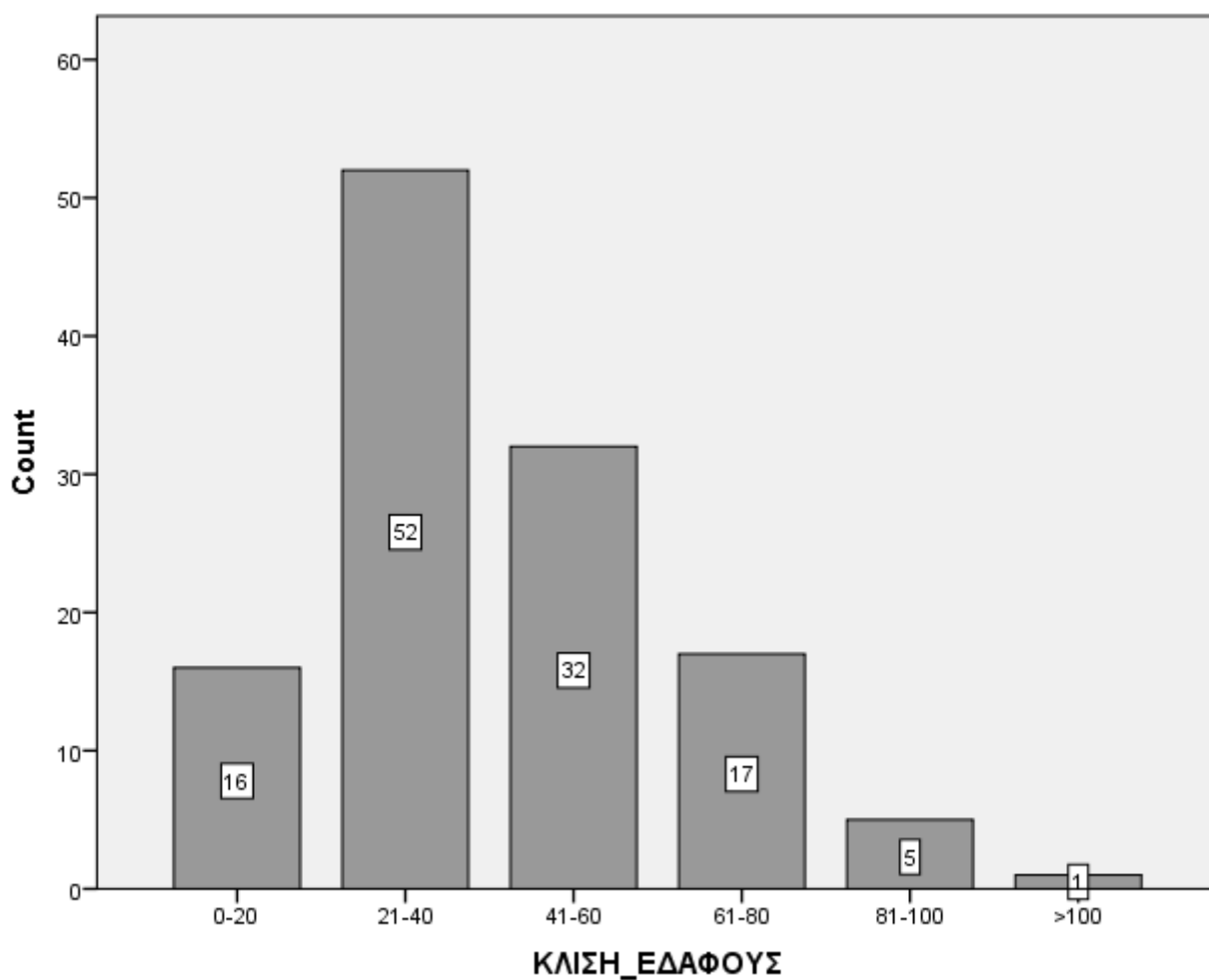
Σχήμα 3.5: Υψόμετρο έναρξης μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

Οι περισσότερες μεγάλες πυρκαγιές ξεκίνησαν στη μεσογειακή ζώνη βλάστησης, δηλαδή σε υψόμετρο 0-600 μ. Επίσης, η αρχική ανάφλεξη 29 πυρκαγιών έγινε σε υψόμετρα άνω των 600 μέτρων. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο διότι η συντριπτική πλειονότητα των δασικών πυρκαγιών (μικρών και μεγάλων) εκδηλώνονται στη μεσογειακή ζώνη βλάστησης.



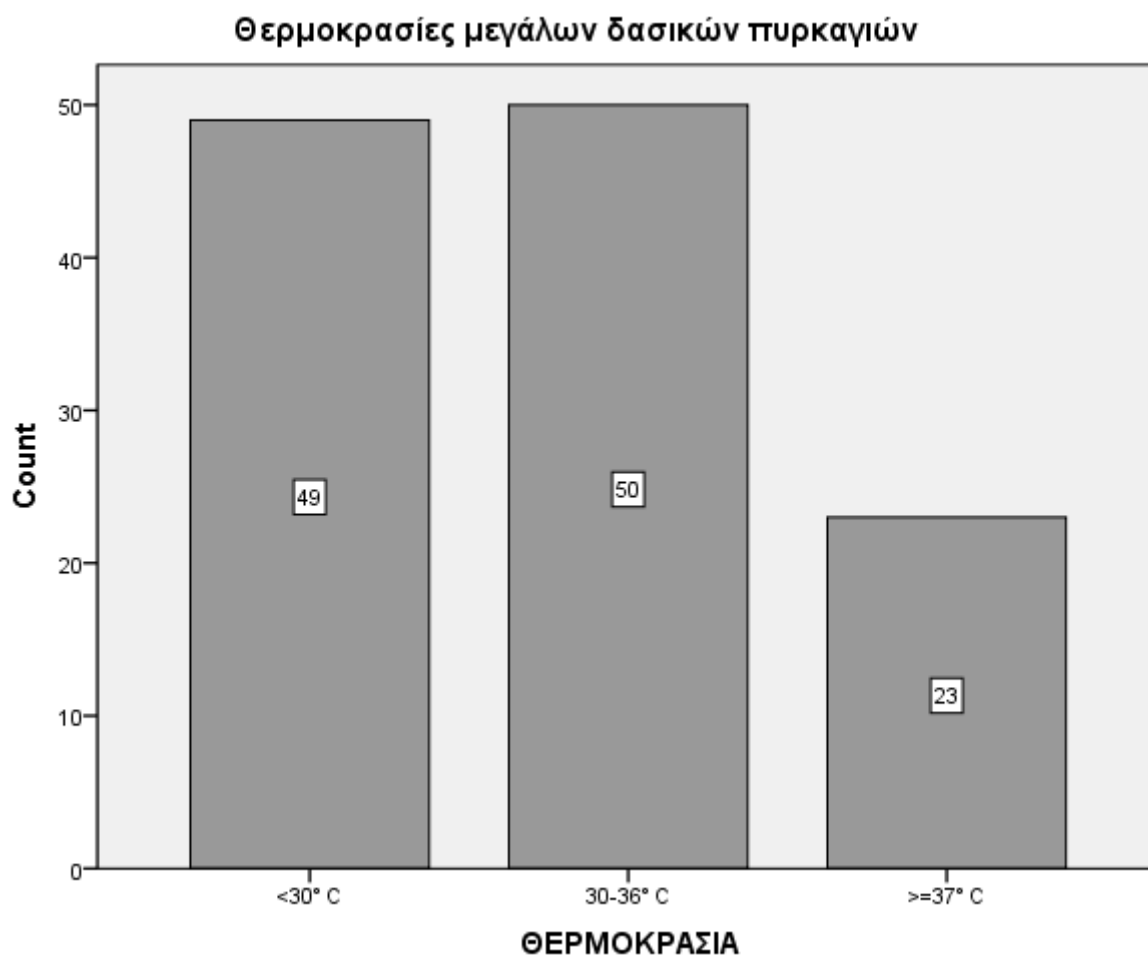
Σχήμα 3.6: Ένταση ανέμου κατά την έναρξη μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

Η πλειονότητα των μεγάλων δασικών πυρκαγιών (70) ξεκίνησε με μέτριους ανέμους, ενώ με ισχυρούς εκδηλώθηκαν 32, με νηνεμία προκλήθηκαν 13 μεγάλες δασικές πυρκαγιές. Το σχήμα αυτό επιβεβαιώνει τις περισσότερες αναφορές που κάνουν λόγω συσχέτισης της καμένης έκτασης με μέτριους ή και ισχυρούς ανέμους (Dimitrakopoulos et al,2011; Fernades, 2016).



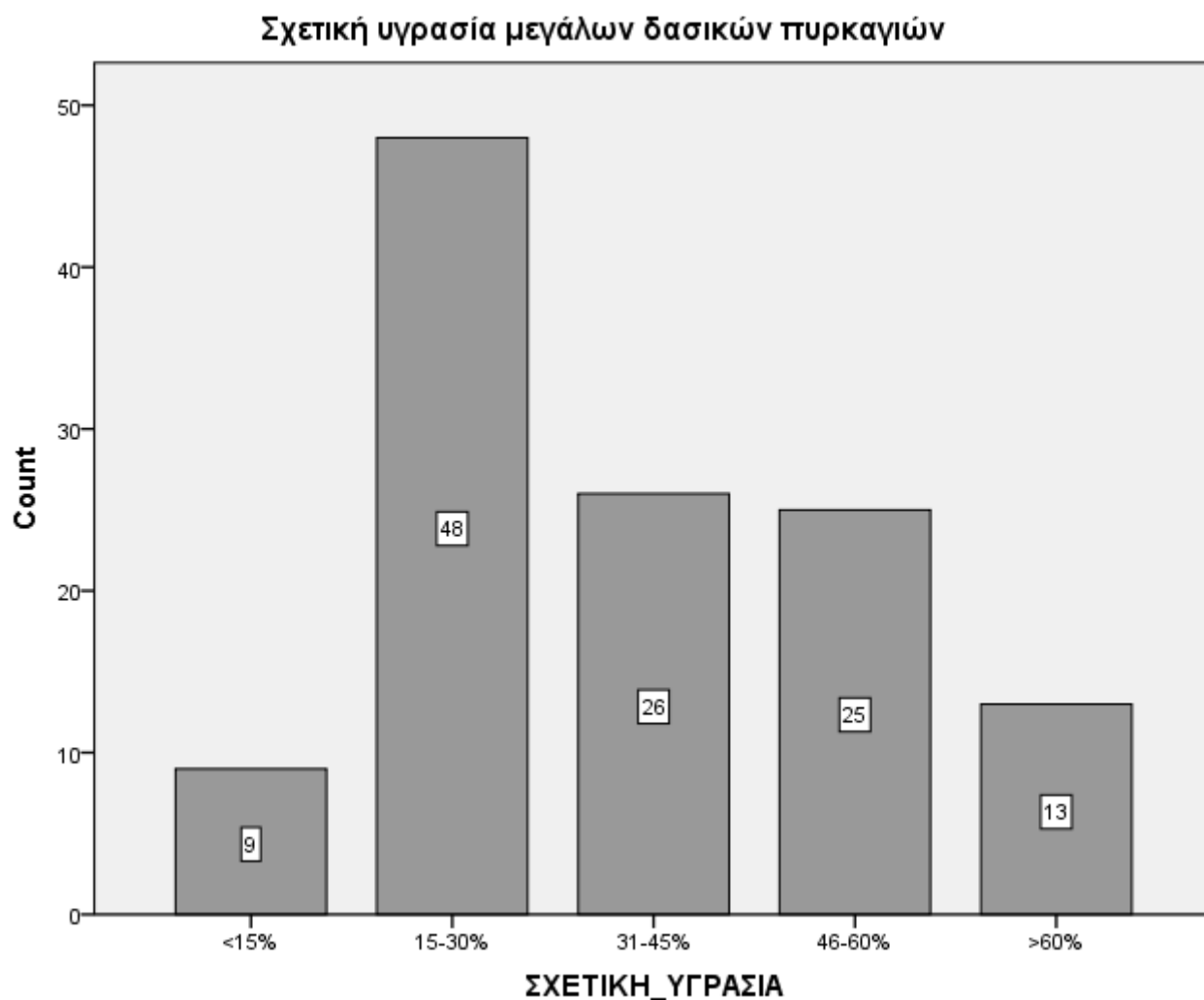
Σχήμα 3.7: Κλίση του εδάφους κατά την έναρξη μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

Οι περισσότερες μεγάλες πυρκαγιές (52) ξεκίνησαν σε τοπογραφική διαμόρφωση με μέτρια κλίση 21-40 %. Ακολουθούν πυρκαγιές με κλίση 41-60% (32), 61-80% (17), 0-20% (16), ενώ μία μεγάλη πυρκαγιά ξεκίνησε σε κλίση >100%. Το παραπάνω Σχήμα δείχνει πως οι μέτριες κλίσεις 21-60% επιδρούν στο μέγεθος της καμένης έκτασης της φωτιάς.



Σχήμα 3.8: Συχνότητα δασικών πυρκαγιών σε σχέση με τη θερμοκρασία κατά την έναρξη δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται πως 50 μεγάλες δασικές πυρκαγιές ξεκίνησαν με θερμοκρασία 30-36°C και 49 με θερμοκρασία μικρότερη από 30 °C, ενώ 23 συνέβησαν με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 37°C. Από το εύρημα αυτό μπορούμε να πούμε πως παρατηρούνται μεγάλες πυρκαγιές σε όλες τις κλάσεις θερμοκρασίας, χωρίς να αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην εξέλιξη μίας πυρκαγιάς σε μεγάλη, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με τις περισσότερες αναφορές (San Miguel-Ayanz, 2013; Mitsopoulos & Mallinis, 2017) που υποστηρίζουν πως η θερμοκρασία είναι ένας ισχυρός παράγοντας για την εξέλιξη μικρών πυρκαγιών σε μεγάλες.



Σχήμα 3.9: Αριθμός Συχνότητας μεγάλων δασικών πυρκαγιών σε σχέση με τη σχετική υγρασία κατά την έναρξη μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

Οι περισσότερες μεγάλες δασικές πυρκαγιές (48) παρατηρήθηκαν με μέτρια προς χαμηλή σχετική υγρασία (15-30%) και ακολουθούν 26 δασικές πυρκαγιές με σχετική υγρασία 31-45%, 25 με 46-60%, 13 με σχετική υγρασία μεγαλύτερη από 60% και 9 με μικρότερη από 15%. Το γράφημα αυτό δείχνει πως οι περισσότερες μεγάλες δασικές πυρκαγιές ξεκίνησαν με μικρή σχετική υγρασία (<30%) επιβεβαιώνοντας τη βιβλιογραφία (Viegas, 1998; Stocks et al., 2002; Dimitrakopoulos, 2011; Mitsopoulos 2017) πως η χαμηλή σχετική υγρασία επιδρά με το μέγεθος της καμένης έκτασης.

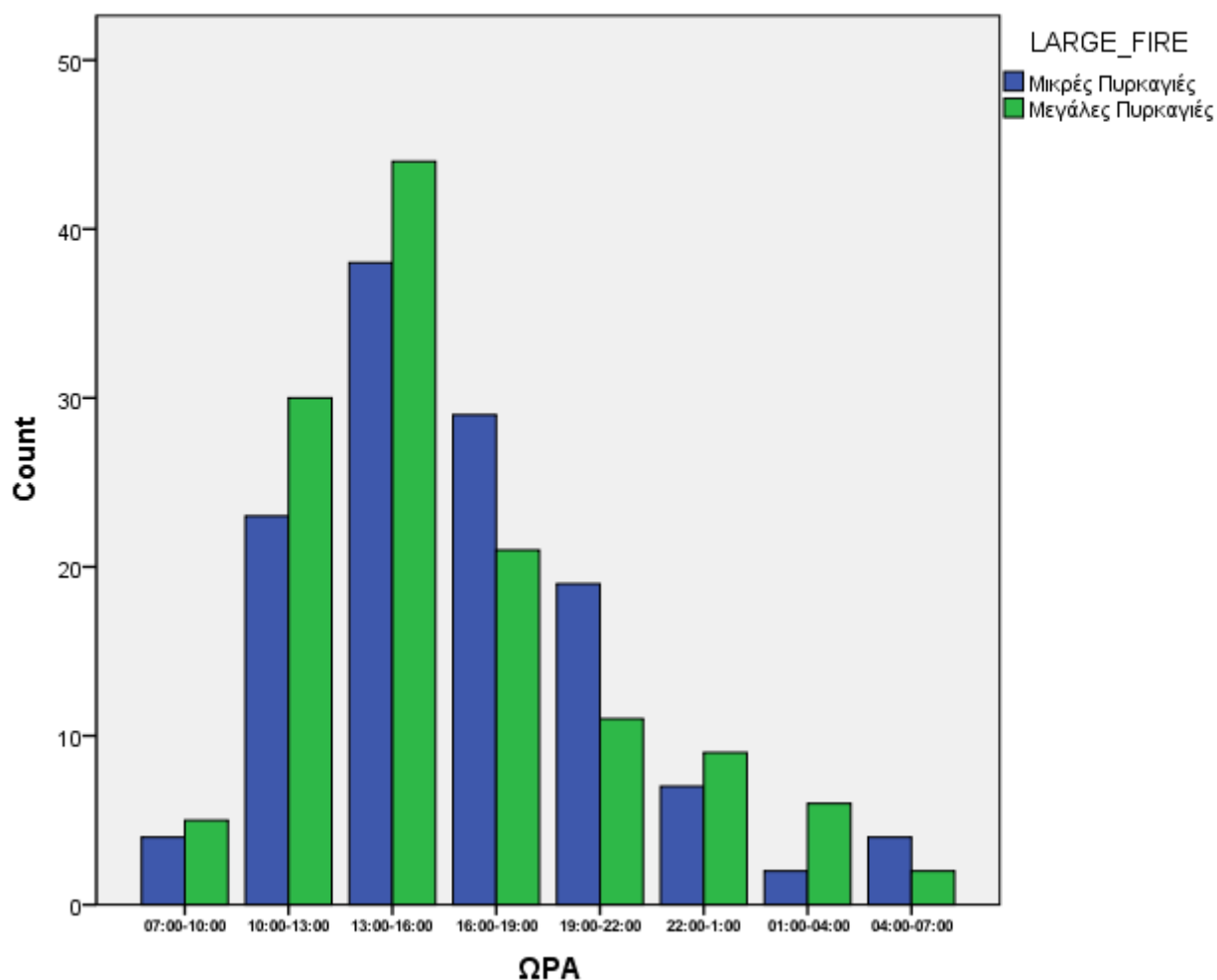
Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
ΩΡΑ	254	0:12	23:55	14:32	4:45
ΗΜΕΡΙΑ	254	25.06.2000	04.09.2015	05.06.2007	1765 15:28:...
ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	254	0	6	,91	1,831
ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	254	3	152	75,67	31,486
ΓΠΛΑΤΟΣ	243	3501	4507	3871,44	147,008
ΧΡΟΝΟΣ_ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ	243	0	745	29,13	54,620
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	249	0	2190	479,96	429,829
ΣΧΕΤΙΚΗ_ΥΓΡΑΣΙΑ	245	4	89	41,37	18,603
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	246	6	44	29,22	6,512
ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ	240	1	4	2,05	,641
ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ	246	1	6	2,30	1,054
Απόσταση_CL	254	4,98	424,26	104,3699	76,19500
ΚΑΜΕΝΗ_ΕΚΤΑΣΗ	254	,0020	250283,0000	14976,68529	35790,85825
ΒΛΑΣΤΗΣΗ	254	2,00	4,80	3,3392	,61675
Valid N (listwise)	214				

Πίνακας 3.2:. Πίνακας περιγραφικών στατιστικών της βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει τις με συστηματικό τρόπο επιλεγείσες τυχαίες μικρότερες πυρκαγιές.

Ακολουθούν διαγράμματα που συγκρίνουν τις μεγάλες και τις μικρές δασικές πυρκαγιές με βάση την ώρα έναρξης, το χρόνο επέμβασης, το υψόμετρο, την ένταση του ανέμου, την κλίση του εδάφους, τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία (Μικρές πυρκαγιές Large Fire=0, Μεγάλες πυρκαγιές Large Fire=1).

Σύγκριση μεγάλων και μικρών δασικών πυρκαγιών με βάση την ώρα έναρξης



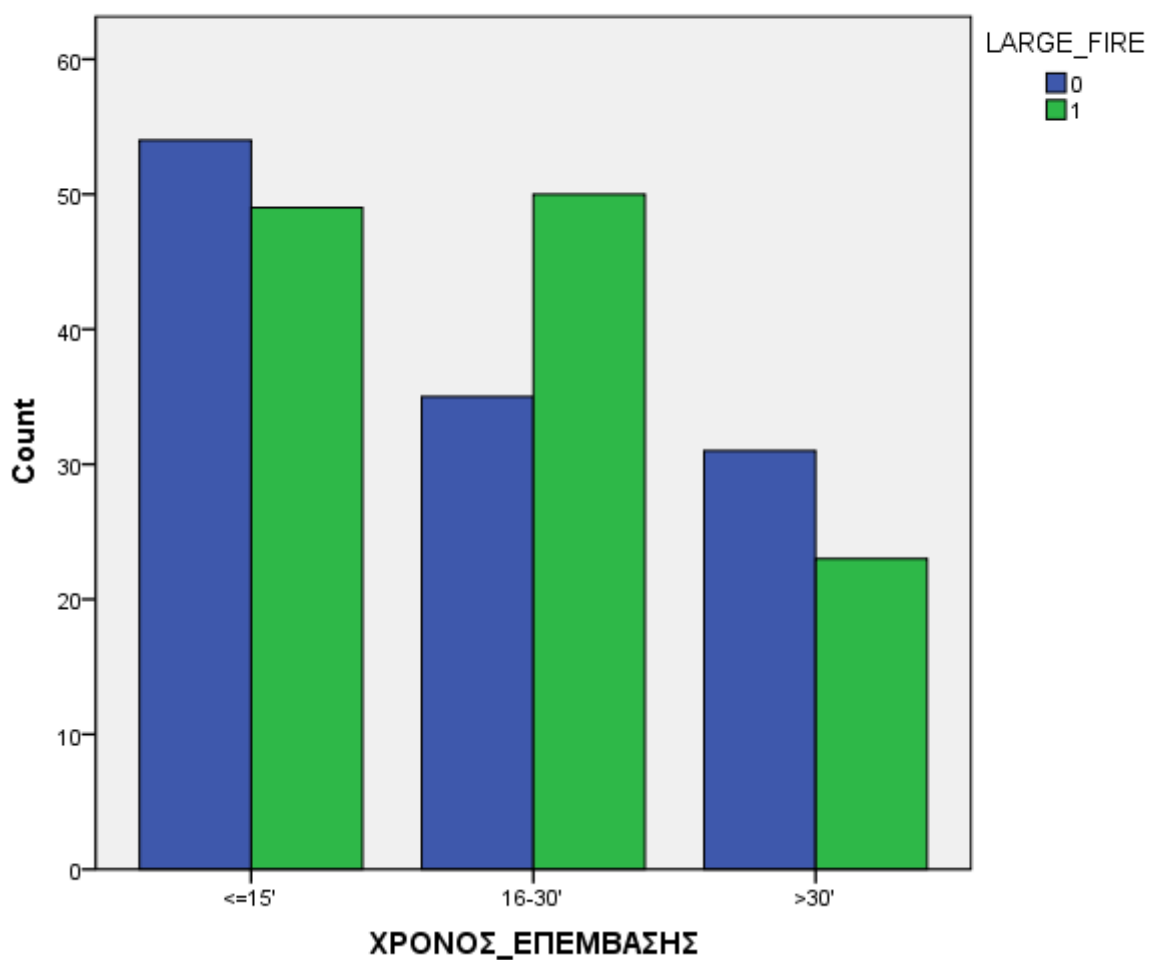
Σχήμα 3.10: Ώρα έναρξης μεγάλων και μικρών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως το διάστημα 13:00-16:00 εκδηλώνονται περισσότερες μεγάλες δασικές πυρκαγιές λόγω της κρισιμότητας των μετεωρολογικών συνθηκών εκείνων των ωρών αλλά και του χρόνου που έχουν μπροστά τους μέχρι να μετριαστούν οι καιρικές συνθήκες. Επιπλέον, αυξημένος κίνδυνος για μεγάλες δασικές πυρκαγιές σε σχέση με τις μικρές παρουσιάζεται κατά και το διάστημα 01-04:00. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να εξηγείται από την αδυναμία του μηχανισμού δασοπυρόσβεσης εκείνες τις ώρες (βραδινές) να είναι σε

ετοιμότητα λόγω της δυσκολίας προσβασιμότητας στην περιοχή από την έλλειψη ορατότητας.

Από το παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 3.11) δεν μπορούν να εξαχθούν ιδιαίτερα αποτελέσματα από την κατανομή των μικρών και των μεγάλων δασικών πυρκαγιών με βάση το χρόνο επέμβασης από τις δασοπυροσβεστικές δυνάμεις.

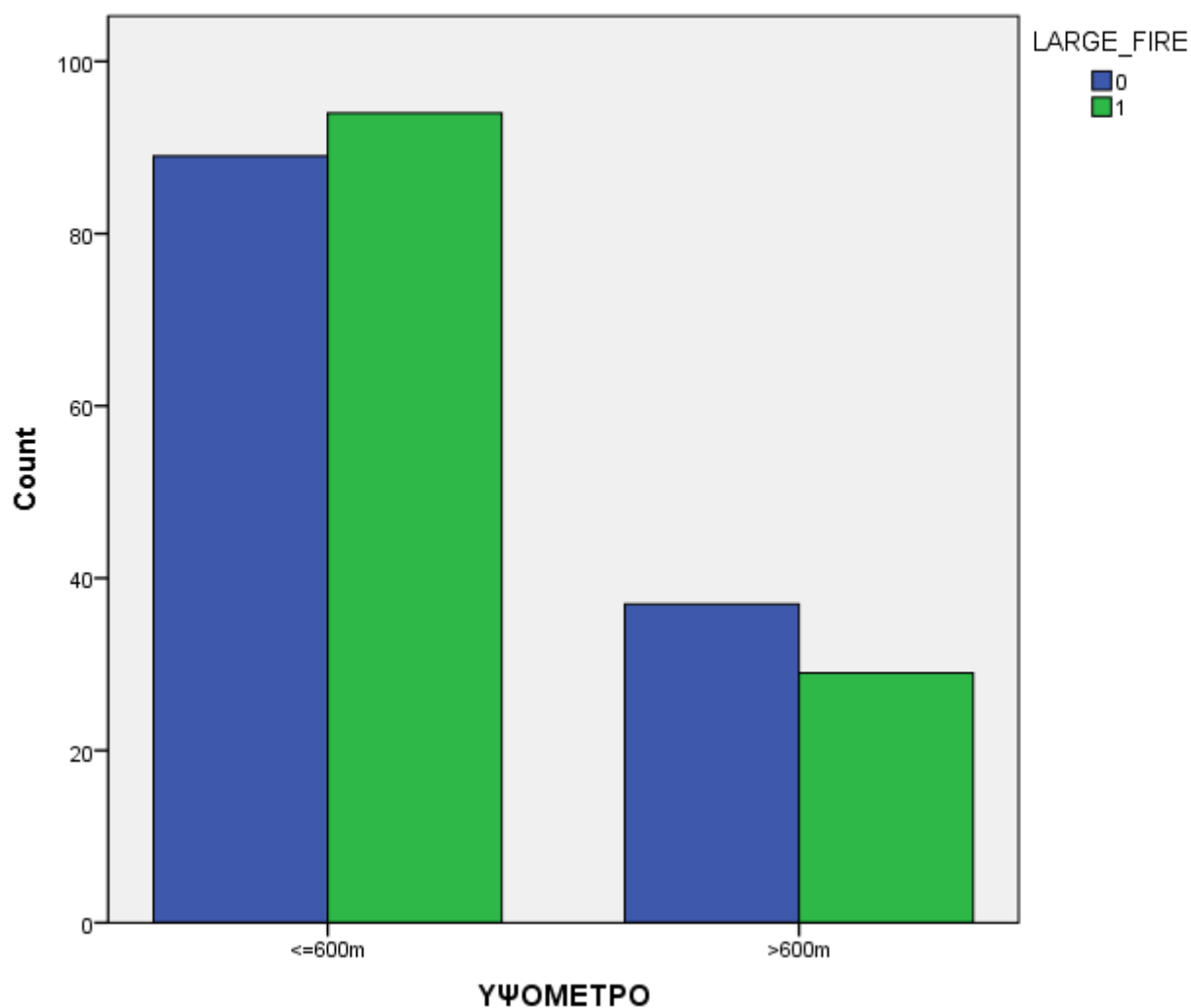
Σύγκριση μεγάλων και μικρών δασικών πυρκαγιών με βάση το χρόνο επέμβασης



Σχήμα 3.11: Χρόνος επέμβασης μεγάλων και μικρών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

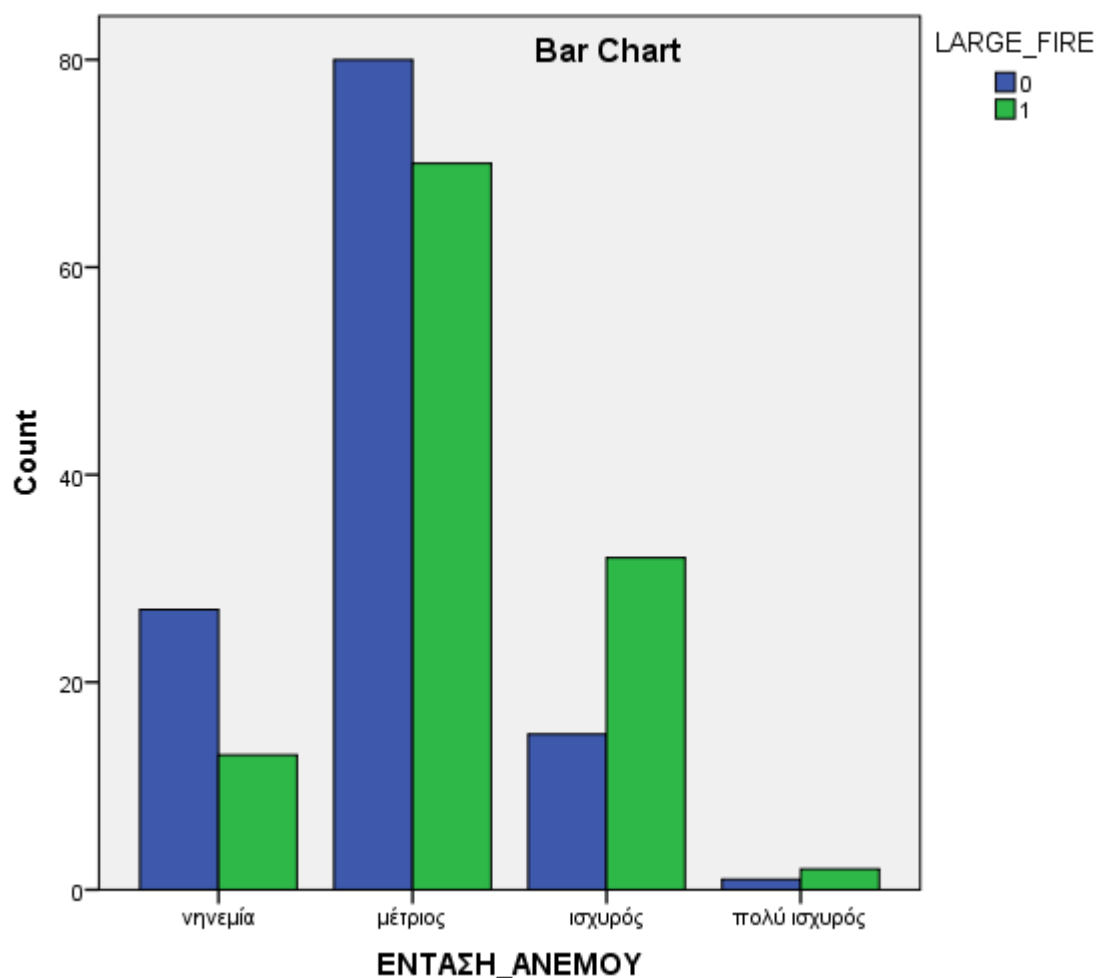
Περισσότερες μεγάλες δασικές πυρκαγιές σε σύγκριση με μικρές εκδηλώνονται με χρόνο επέμβασης από τις δασοπυροσβεστικές δυνάμεις μεταξύ 16-30', ενώ με χρόνο μικρότερο από 15' και μεγαλύτερο από 30' δημιουργούνται περισσότερες μικρές πυρκαγιές.

Σύγκριση μεγάλων και μικρών πυρκαγιών με βάση το υψόμετρο



Σχήμα 3.12: Υψόμετρο κατά την έναρξη μεγάλων και μικρών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

Σε υψόμετρο μικρότερο από 600 μέτρα (μεσογειακή ζώνη βλάστησης) παρατηρούνται περισσότερες μεγάλες πυρκαγιές, ενώ σε υψηλότερο υψόμετρο οι μικρές πυρκαγιές είναι περισσότερες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως τα επιρρεπή οικοσυστήματα για διάδοση της φωτιάς είναι αυτά της μεσογειακής βλάστησης, συνεπώς πυρκαγιές που ξεκινάνε εκτός αυτής είναι πιο εύκολα να αντιμετωπιστούν.

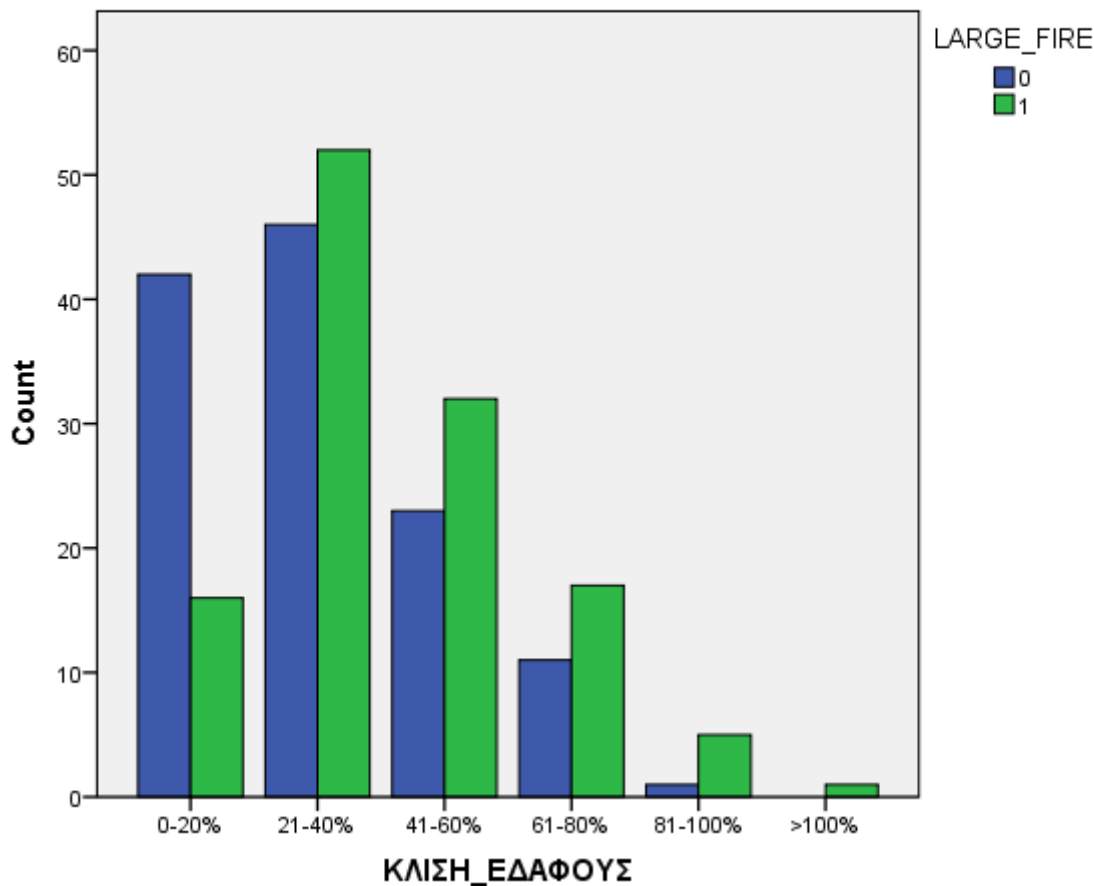


Σχήμα 3.13: Ένταση ανέμου κατά την έναρξη μεγάλων και μικρών δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

Οι κατανομές των μικρών και των μεγάλων πυρκαγιών σε σχέση με τις τέσσερις κλάσεις ανέμου διαφέρουν. Σε νηνεμία και κατά τη διάρκεια μέτριων ανέμων η εκδήλωση μικρών πυρκαγιών ευνοείται σε σχέση με τις μεγάλες. Επίσης, σε κατάσταση ισχυρών ανέμων οι μεγάλες δασικές πυρκαγιές είναι περισσότερες. Βέβαια παρατηρείται μεγάλος αριθμός μεγάλων δασικών πυρκαγιών και με μέτριους ανέμους. Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.13 επιβεβαιώνουν τις περισσότερες έρευνες που έχουν δείξει πως δυνατοί ή και μέτριοι άνεμοι συνδέονται με το μέγεθος της καμένης έκτασης (Viegas, 1998; Dimitrakopoulos et al, 2011; Stocks, 2002).

Σχήμα 3.14: Κλίση του εδάφους κατά την έναρξη μεγάλων και μικρών δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

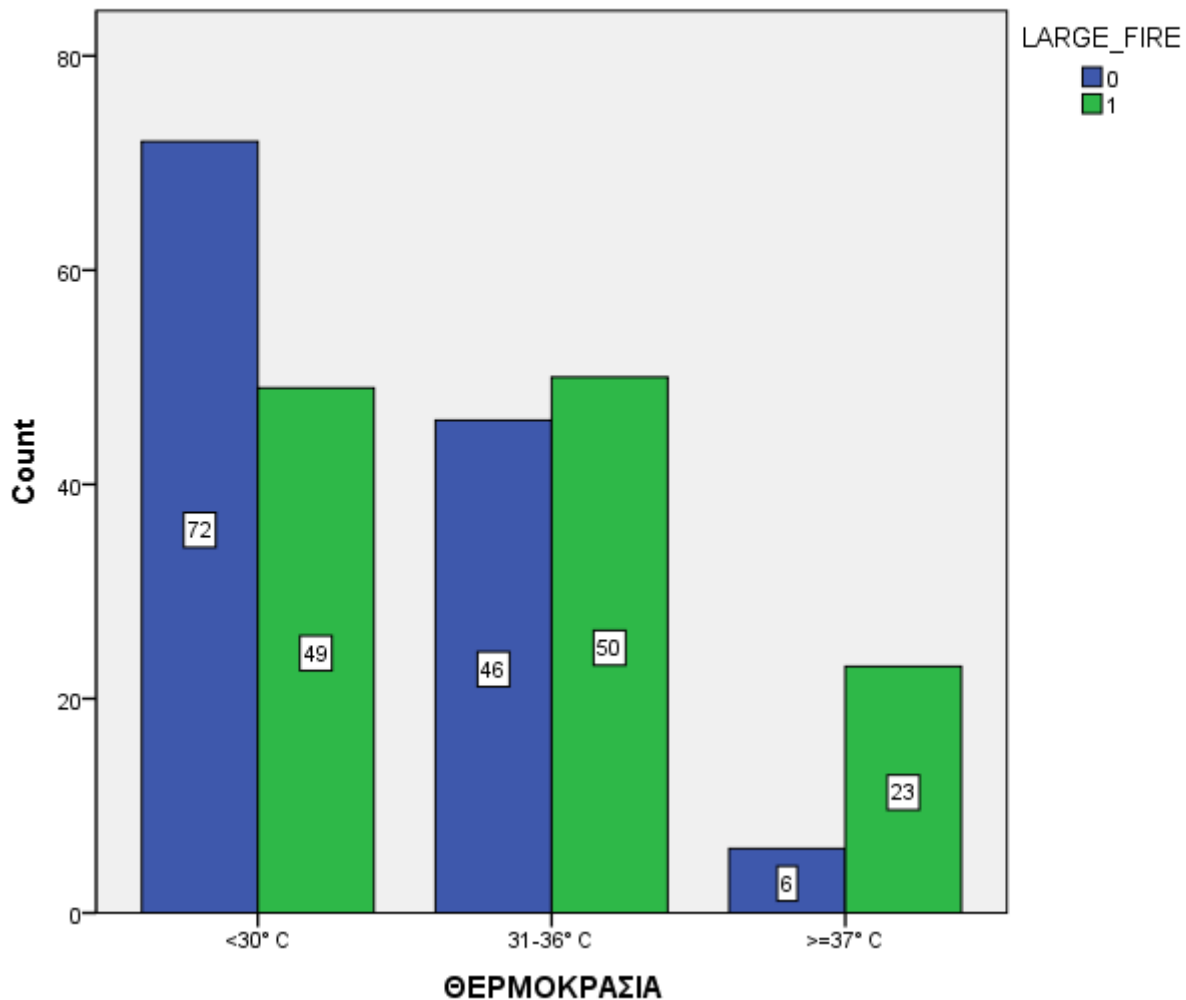
Σύγκριση μεγάλων και μικρών δασικών πυρκαγιών με βάση την κλίση του εδάφους



Από το Σχήμα 3.14 διαπιστώνεται αρκετή διαφορά στην κατανομή των τυχαίων (μικρών) πυρκαγιών σε σχέση με τις μεγάλες επιβεβαιώνοντας αναφορές (Feng et al, 2015; Fernades, 2016) που υποστηρίζουν πως η κλίση συσχετίζεται με τη διάδοση της φωτιάς. Οι μεγάλες είναι πολύ πιο λίγες σε μικρές κλίσεις (0-20%) όπου δεν ευνοείται η διάδοση μιας πυρκαγιάς και είναι γενικά ευκολότερη η πρόσβαση για αντιμετώπιση. Σε μεσαίες κλίσεις (21-40%), η εμφάνιση των μεγάλων πυρκαγιών είναι μεγαλύτερη από ότι η εμφάνιση των μικρών, ενώ και σε κλίσεις μεγαλύτερες από 40% παρατηρείται να κυριαρχούν οι μεγάλες δασικές πυρκαγιές.

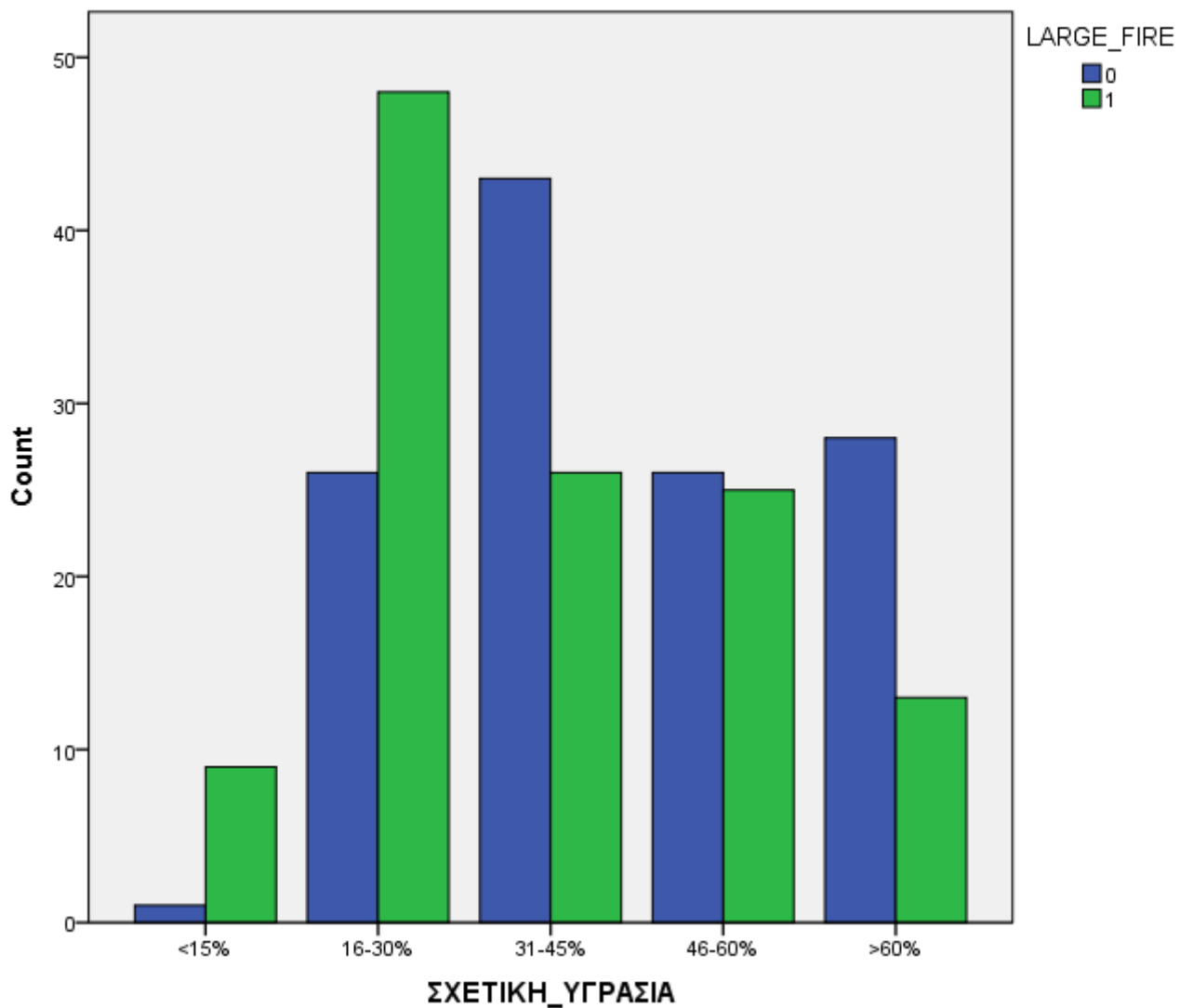
Σχήμα 3.15: Θερμοκρασία κατά την έναρξη μεγάλων και μικρών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

Σύγκριση μεγάλων και μικρών δασικών πυρκαγιών με βάση τη θερμοκρασία



Από το παραπάνω σχήμα διαπιστώνεται πως οι μεγάλες καμένες εκτάσεις ευνοούνται σαφώς με τις συνθήκες καύσωνα, δηλαδή θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 37°C επιβεβαιώνοντας τους Dimitrakopoulos et al. (2011). Περισσότερες μικρές πυρκαγιές παρουσιάζονται με θερμοκρασία χαμηλότερη των 30°C, ενώ σε θερμοκρασίες 31- 36°C εμφανίζονται οριακά περισσότερες μεγάλες δασικές πυρκαγιές.

Σύγκριση μεγάλων και μικρών πυρκαγιών με βάση τη σχετική υγρασία



Σχήμα 3.16: Σχετική υγρασία κατά την έναρξη μικρών και μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2015.

Από το Σχήμα 3.16 διαπιστώνεται πως οι μεγάλες καμένες εκτάσεις ευνοούνται σαφώς από τη χαμηλή σχετική υγρασία, με εμφάνιση της ισχυρής επίδρασης της από την κλάση 16-30% και χαμηλότερα, συμφωνώντας με άλλες έρευνες (San Miguel-Ayanz, 2013; Mitsopoulos & Mallinis, 2017).

3.1. Γραμμική παλινδρόμηση (Linear Regression)

Εφαρμόζοντας γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο Stepwise στο SPSS στη βάση δεδομένων με τις μεγάλες πυρκαγιές (>5000 στρέμματα) με N=128, δημιουργήθηκαν τέσσερις (4) συναρτήσεις.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,342 ^a	,117	,108	47013,68457
2	,444 ^b	,197	,181	45049,27137
3	,514 ^c	,264	,242	43346,46069
4	,549 ^d	,301	,273	42446,09805

a. Predictors: (Constant), ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ
b. Predictors: (Constant), ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ, ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ
c. Predictors: (Constant), ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ, ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ, ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ
d. Predictors: (Constant), ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ, ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ, ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ, ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Πίνακας 3.3: Πίνακας Model Summary για τη γραμμική παλινδρόμηση

Παρατηρούμε από τον Πίνακα 3.3 πως το πρώτο μοντέλο εξηγεί 11,7% της συνολικής μεταβλητότητας, το δεύτερο 19,7%, το τρίτο 26,4% και το τέταρτο εξηγεί 30,1%. Επίσης, το Adjusted R Square δεν είναι πολύ μικρότερο από το αντίστοιχο R Square. Το καλύτερο από τα τέσσερα είναι το τελευταίο μοντέλο, αφού εξηγεί το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας. Δυστυχώς όμως, όλα τα μοντέλα εξηγούν μικρό ποσοστό της μεταβλητότητας, συνεπώς δε θεωρούνται σημαντικά στατιστικά.

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	29790143625	1	29790143625	13,478	,000 ^b
	Residual	2,254E+11	102	2210286537		
	Total	2,552E+11	103			
2	Regression	50266248451	2	25133124225	12,384	,000 ^c
	Residual	2,050E+11	101	2029436851		
	Total	2,552E+11	103			
3	Regression	67347804918	3	22449268306	11,948	,000 ^d
	Residual	1,879E+11	100	1878915655		
	Total	2,552E+11	103			
4	Regression	76873917690	4	19218479423	10,667	,000 ^e
	Residual	1,784E+11	99	1801671239		
	Total	2,552E+11	103			

a. Dependent Variable: ΚΑΜΕΝΗ_ΕΚΤΑΣΗ

b. Predictors: (Constant), ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ

c. Predictors: (Constant), ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ, ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

d. Predictors: (Constant), ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ, ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ, ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ

e. Predictors: (Constant), ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ, ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ, ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ, ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Πίνακας 3.4: Πίνακας διασποράς γραμμικής παλινδρόμησης (ANOVA)

Το F-test δίνει σημαντικότητα (Significance) $<0,001$ σε όλα τα μοντέλα, οπότε και τα τέσσερα μοντέλα είναι πολύ σημαντικά στο ποσοστό της εξήγησης της μεταβλητότητάς τους.

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-8753,494	11973,929		-,731	,466
	ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ	16165,986	4403,421	,342	3,671	,000
2	(Constant)	-14872,905	11634,228		-1,278	,204
	ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ	14374,163	4256,970	,304	3,377	,001
	ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	6611,284	2081,373	,286	3,176	,002
3	(Constant)	-57707,742	18087,031		-3,191	,002
	ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ	12642,714	4136,119	,267	3,057	,003
	ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	7321,077	2016,488	,316	3,631	,000
	ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ	21093,374	6995,777	,262	3,015	,003
4	(Constant)	-108520,203	28319,725		-3,832	,000
	ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ	12295,767	4053,016	,260	3,034	,003
	ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	7350,478	1974,644	,318	3,722	,000
	ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ	17053,364	7072,185	,212	2,411	,018
	ΒΛΑΣΤΗΣΗ	18066,209	7856,822	,200	2,299	,024

a. Dependent Variable: KAMENH_EKTAΣH

Πίνακας 3.5: Πίνακας συντελεστών (coefficients) γραμμικής παλινδρόμησης

Από τον Πίνακα 3.5 παρατηρούμε πως όλοι οι συντελεστές των μεταβλητών σε όλα τα μοντέλα είναι θετικοί οπότε όσο αυξάνουν οι τιμές των μεταβλητών αυξάνεται και το μέγεθος της καμένης έκτασης. Το μέγεθος του κάθε συντελεστή δείχνει πόσο αυξάνεται η καμένη έκταση όταν αυξηθεί κατά 1 μονάδα η αντίστοιχη μεταβλητή κρατώντας τις υπόλοιπες σταθερές.

Η πρώτη συνάρτηση έχει την εξής μορφή:

$$KAMENH_EKTAΣH = -8753,494 + 16165,986 \text{ ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ} \quad (1)$$

Στη συνάρτηση (1) η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η KAMENH_EKTAΣH, η οποία εκφράζεται σε στρέμματα, και η ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ είναι η μοναδική ανεξάρτητη. Το Adjusted R Square ισούται με 0,108, αρκετά αδύναμο στατιστικά, ενώ η σταθερά (constant) και ο συντελεστής (coefficient) έχουν σημαντικότητα (Significance) 0,466 και 0,000 αντίστοιχα.

Η δεύτερη συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$\text{KAMENH_EKTAΣH} = -14872 + 14374,163 \text{KΛΙΣH_ΕΔΑΦΟΥΣ} + 6611,284 \text{ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ} \quad (2)$$

Στη συνάρτηση (2), η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η KAMENH_EKTAΣH. Το Adjusted R Square ισούται με 0,181, η σημαντικότητα (Significance) τη σταθεράς (constant) είναι 0,204, η σημαντικότητα του συντελεστή (coefficient) της KΛΙΣHΣ_ΕΔΑΦΟΥΣ είναι 0,001 και η σημαντικότητα του συντελεστή (coefficient) ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ είναι 0,002.

Η τρίτη συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$\text{KAMENH_EKTAΣH} = -57707,742 + 12642,714 \text{KΛΙΣH_ΕΔΑΦΟΥΣ} + 7321,077 \text{ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ} + 21093,374 \text{ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ} \quad (3)$$

Το Adjusted R Square στη συνάρτηση (3) ισούται με 0,242, η σημαντικότητα (Significance) της σταθεράς είναι 0,002, η σημαντικότητα του συντελεστή (coefficient) της KΛΙΣHΣ_ΕΔΑΦΟΥΣ είναι 0,003, η σημαντικότητα (Significance) του συντελεστή (coefficient) του ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ είναι 0,000 και η σημαντικότητα του συντελεστή (coefficient) της μεταβλητής ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ είναι 0,003. Στο συγκεκριμένο μοντέλο παρατηρούμε πως η σημαντικότητα των συντελεστών (coefficients) και της σταθεράς είναι σημαντική αλλά έχουμε χαμηλό Adjusted R Square.

Η τέταρτη συνάρτηση έχει την εξής μορφή:

$$\begin{aligned} \text{KAMENH_EKTAΣH} = & -108520,203 + 12295,767 \text{KΛΙΣH_ΕΔΑΦΟΥΣ} \\ & + 7350,478 \text{ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ} + 17053,364 \text{ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ} \\ & + 18066,209 \text{ΒΛΑΣΤΗΣΗ} \end{aligned} \quad (4)$$

Το Adjusted Square στη συνάρτηση (4) ισούται με 0,273, το πιο κοντινό στο 0,5 από όλα τα μοντέλα. Η σημαντικότητα (Significance) της σταθεράς ισούται με 0,000, η σημαντικότητα (Significance) του συντελεστή της ΚΛΙΣΗ_ΕΛΑΦΟΥΣ είναι 0,003, η σημαντικότητα (Significance) του συντελεστή (coefficient) του ΠΑΡ_ΜΕΓΑΛΕΣ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ είναι 0,000 και η σημαντικότητα του συντελεστή (coefficient) τη μεταβλητή ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ είναι 0,018 και η σημαντικότητα του συντελεστή (coefficient) της ΒΛΑΣΤΗΣΗ είναι 0,024.

Το σημαντικότερο μοντέλο στατιστικά θεωρείται το τέταρτο διότι περιέχει τις περισσότερες μεταβλητές (τέσσερις στον αριθμό) με σημαντικότητα στους συντελεστές τους και στη σταθερά μικρότερη από 0,003. Το Adjusted R Square είναι 0,273, δείχνοντας ότι το μοντέλο δεν μπορεί να γενικευτεί στον πληθυσμό. Γεγονός που δεν το καθιστά ιδανικό για να προβλέπει την έκταση της καμένης έκτασης κάθε πυρκαγιάς.

3.2. Λογιστική παλινδρόμηση (Logistic Regression)

Για τη λογιστική παλινδρόμηση χρησιμοποιήθηκαν δύο επιπλέον μεταβλητές, ο λόγος της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας ($\Theta\text{EPM_}\Sigma\text{X}\Upsilon\Gamma\text{P}\Lambda\text{C}\text{I}\text{A}=\Theta\text{EPMOKP}\Lambda\text{C}\text{I}\text{A}/\Sigma\text{XETIKH_}\Upsilon\Gamma\text{P}\Lambda\text{C}\text{I}\text{A}$) και ο λόγος του γινομένου της θερμοκρασίας και της έντασης του ανέμου με τη σχετική υγρασία ($\Theta\text{EPM_}\Sigma\text{X}\Upsilon\Gamma\text{P}\Lambda\text{C}\text{I}\text{A_ANEMO}\Sigma=\Theta\text{EPM_}\Sigma\text{X}\Upsilon\Gamma\text{P}\Lambda\text{C}\text{I}\text{A}*\text{ENTAS}\text{H_ANEMOY}$). Αυτό οφείλεται στο γεγονός, πως από μόνες τους οι μεταβλητές της θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και έντασης του ανέμου δεν μπορούσαν να δημιουργήσουν κάποιο σημαντικό στατιστικά μοντέλο.

Εφαρμόζοντας λοιπόν λογιστική παλινδρόμηση (Logistic Regression) στο SPSS στη βάση δεδομένων με τις μικρές και τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές (N=254) με τη μέθοδο Forward Stepwise (Conditional), δημιουργήθηκαν πέντε (5) μοντέλα.

Omnibus Tests of Model Coefficients				
		Chi-square	df	Sig.
Step 1	Step	27,646	1	,000
	Block	27,646	1	,000
	Model	27,646	1	,000
Step 2	Step	9,146	1	,002
	Block	36,792	2	,000
	Model	36,792	2	,000
Step 3	Step	6,501	1	,011
	Block	43,293	3	,000
	Model	43,293	3	,000
Step 4	Step	5,284	1	,022
	Block	48,576	4	,000
	Model	48,576	4	,000
Step 5	Step	5,467	1	,019
	Block	54,043	5	,000
	Model	54,043	5	,000

Πίνακας 3.6: Πίνακας με τις τιμές του ελέγχου Chi-Square για τη λογιστική παλινδρόμηση

Παρατηρούμε πως η τιμή του Sig. και για τα πέντε μοντέλα είναι μικρότερη από την τιμή 0,05 του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας και επομένως κρίνεται ότι είναι στατιστικά σημαντικά για τα ποσοστά μεταβλητότητας που εξηγούν.

Model Summary			
Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	268,853	,121	,162
2	259,707	,158	,211
3	253,206	,183	,244
4	247,922	,203	,271
5	242,455	,223	,298

Πίνακας 3.7: Πίνακας Model Summary για τη λογιστική παλινδρόμηση

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε πως οι τιμές του Nagelkerke R Square σε όλα τα μοντέλα είναι χαμηλές, αφού απέχουν αρκετά από την τιμή 1 που είναι η ιδανική για τη στατιστική σημαντικότητα των μοντέλων. Το γεγονός αυτό δείχνει πως και τα πέντε μοντέλα δεν εξηγούν μεγάλο ποσοστό της μεταβλητότητας. Το τελευταίο μοντέλο δείχνει να έχει τη μεγαλύτερη τιμή του Nagelkerke R Square με τιμή 0,298.

Από τον Πίνακα 3.8 μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την σωστή πρόβλεψη των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής από την εξίσωση που δημιουργήθηκε βάση του αλγορίθμου της λογιστικής παλινδρόμησης. Στις γραμμές του πίνακα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής, δηλαδή της καμένης έκτασης. Στις στήλες απεικονίζονται οι τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής όπως αυτές προβλέπονται βάση της εξίσωσης. Επίσης, ο πίνακας Classification Table (Πίνακας 3.8) μας δείχνει ότι η προσθήκη των ανεξάρτητων μεταβλητών αυξάνει το ποσοστό των περιπτώσεων της καμένης έκτασης που προβλέπονται σωστά.

Classification Table^a

Observed			Predicted		
			LARGE_FIRE		Percentage Correct
			0	1	
Step 1	LARGE_FIRE	0	70	40	63,6
		1	43	61	58,7
	Overall Percentage				61,2
Step 2	LARGE_FIRE	0	72	38	65,5
		1	34	70	67,3
	Overall Percentage				66,4
Step 3	LARGE_FIRE	0	84	26	76,4
		1	34	70	67,3
	Overall Percentage				72,0
Step 4	LARGE_FIRE	0	84	26	76,4
		1	30	74	71,2
	Overall Percentage				73,8
Step 5	LARGE_FIRE	0	84	26	76,4
		1	33	71	68,3
	Overall Percentage				72,4

a. The cut value is ,500

Πίνακας 3.8: Πίνακας διάταξης λογιστικής παλινδρόμησης/ Classification Table

Έτσι λοιπόν, παρατηρούμε πως το τέταρτο μοντέλο (Step 4) προβλέπει σωστά το μεγαλύτερο ποσοστό (73,8%) των παρατηρήσεων σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα.

Το τέταρτο μοντέλο (Step 4) και το πέμπτο μοντέλο (Step 5) από την ανάλυση της λογιστικής παλινδρόμησης θεωρούνται τα πιο σημαντικά στατιστικά συγκρινόμενα με

τα υπόλοιπα τρία. Δυστυχώς όμως, ούτε αυτά εξηγούν μεγάλο ποσοστό της στατιστικής μεταβλητότητας.

Έτσι λοιπόν, από τον Πίνακα 3.9 που βρίσκεται παρακάτω, μπορούμε να δώσουμε τις παρακάτω μορφές στις εξισώσεις από τη λογιστική παλινδρόμηση.

Η μορφή της συνάρτησης του τέταρτου μοντέλου (Step 4) είναι η εξής:

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{LF}/1-\text{LF}) \\ = 4,392 + 0,020\text{ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ} + 0,680\text{ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ} + 0,383\text{ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦ} \\ \text{ΟΥΣ} + 0,589\text{ΘΕΡΜ_ΣΧΥΓΡΑΣΙΑ} \end{aligned} \quad (5)$$

Όπου LF=Large Fire

Η συνάρτηση λογιστικής παλινδρόμησης (5) εκφράζει την πιθανότητα μίας πυρκαγιάς να γίνει μεγάλη ή μικρή με βάση τις ακόλουθες μεταβλητές: παράλληλες πυρκαγιές, ένταση ανέμου, κλίση εδάφους, θερμοκρασία και σχετική υγρασία με Nagelkerke R Square=0,271 και ποσοστό σωστά εκτιμώμενων τιμών 73,8%.

Η συνάρτηση (5) μπορεί να γραφεί:

$$\begin{aligned} \text{PLF} = 1/[1 + \exp(- \\ \{4,392 + 0,020\text{ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ} + 0,680\text{ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ} + 0,383\text{ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦ} \\ \text{ΟΥΣ} + 0,589\text{ΘΕΡΜ_ΣΧΥΓΡΑΣΙΑ}\})] \end{aligned} \quad (6)$$

Όπου LF=Large Fire

Η μορφή της συνάρτησης του πέμπτου μοντέλου (Step 5) είναι η εξής:

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{LF}/1-\text{LF}) = 5,635 + 0,021\text{ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ} - 0,003\text{ΓΠΛΑΤΟΣ} \\ + 0,526\text{ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ} + 0,353\text{ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ} + 0,737\text{ΘΕΡΜ_ΣΧΥΓΡΑΣΙΑ} \end{aligned} \quad (7)$$

Η συνάρτηση λογιστικής παλινδρόμησης (7) εκφράζει την πιθανότητα μίας πυρκαγιάς να γίνει μεγάλη ή μικρή με βάση τις ακόλουθες μεταβλητές: παράλληλες πυρκαγιές, γεωγραφικό πλάτος, ένταση ανέμου, κλίση εδάφους, θερμοκρασία και σχετική

υγρασία με Nagelkerke R Square=0,298 και ποσοστό σωστά εκτιμώμενων τιμών 72,4%.

Η συνάρτηση (7) μπορεί να γραφεί:

$$PLF=1/[1+\exp(-\{5,635+0,021\PAP_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ-0,003ΓΠΛΑΤΟΣ-0,526ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ+0,353ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ+0,737ΘΕΡΜ_ΣΧΥΓΡΑΣΙΑ\})] \quad (8)$$

Ο πίνακας διάταξης/Classification Table (Πίνακας 3.8.) για τις μεγάλες πυρκαγιές (LF) χρησιμοποιεί την τιμή 0,50 που αντιστοιχεί σε σωστές και λανθασμένες εκτιμήσεις. Όπου P(LF) είναι η πιθανότητα μία πυρκαγιά να γίνει μικρή ή μεγάλη.

Πίνακας 3.9: Πίνακας με τις μεταβλητές των μοντέλων της λογιστικής παλινδρόμησης.

		Variables in the Equation					
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	,025	,005	22,865	1	,000	1,026
	Constant	-2,028	,439	21,358	1	,000	,132
Step 2	ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	,025	,005	20,747	1	,000	1,025
	ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ	,738	,253	8,536	1	,003	2,092
	Constant	-3,475	,688	25,534	1	,000	,031
Step 3	ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	,024	,006	19,123	1	,000	1,024
	ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ	,678	,260	6,787	1	,009	1,970
	ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ	,391	,158	6,134	1	,013	1,479
	Constant	-4,199	,772	29,569	1	,000	,015
Step 4	ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	,020	,006	11,410	1	,001	1,020
	ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ	,680	,263	6,664	1	,010	1,974
	ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ	,383	,160	5,744	1	,017	1,466
	ΘΕΡΜ_ΣΧΥΓΡΑΣΙΑ	,589	,266	4,919	1	,027	1,802
	Constant	-4,392	,794	30,625	1	,000	,012
Step 5	ΠΑΡ_ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	,021	,006	12,294	1	,000	1,021
	ΓΠΛΑΤΟΣ	-,003	,001	5,282	1	,022	,997
	ΕΝΤΑΣΗ_ΑΝΕΜΟΥ	,526	,274	3,694	1	,055	1,692
	ΚΛΙΣΗ_ΕΔΑΦΟΥΣ	,353	,165	4,608	1	,032	1,424
	ΘΕΡΜ_ΣΧΥΓΡΑΣΙΑ	,737	,282	6,827	1	,009	2,090
	Constant	5,635	4,392	1,646	1	,200	280,037

4. Συζήτηση

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη έρευνα παρουσιάζουν ορισμένα προβλήματα, με συνέπεια να υπάρξουν αρκετές δυσκολίες τόσο σε επίπεδο μεθοδολογίας όσο και στα αποτελέσματα. Αρχικά, αναλύοντας κάθε μία πυρκαγιά ξεχωριστά και διασταυρώνοντας τες με τον Τύπο, διαπιστώθηκε πως στις βάσεις δεδομένων από τη Δασική Υπηρεσία δεν είχαν καταγραφεί και συμπεριληφθεί μεγάλες πυρκαγιές που είχαν συμβεί στο παρελθόν. Γεγονός που περιορίσε το δείγμα της τελικής βάσης δεδομένων πάνω στην οποία εφαρμόστηκαν οι στατιστικές μέθοδοι. Επίσης, παρατηρήθηκαν πολλά ελλιπή στοιχεία στις μεταβλητές που επιλέχθηκαν, με αποτέλεσμα η βάση δεδομένων να βρίθει ελλিপών τιμών, οι missing values.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τη μεταβλητή του γεωγραφικού πλάτους, στην πλειονότητα των πυρκαγιών, οι διαθέσιμες πληροφορίες ήταν οι μοίρες και τα πρώτα λεπτά, ενώ απουσίαζαν τα δεύτερα λεπτά. Επομένως, δεν υπήρχε ακριβής γνώση σε χωρικό επίπεδο του συγκεκριμένου σημείου που ξεκίνησε κάθε πυρκαγιά.

Για τη μεταβλητή της βλάστησης, η μοναδική πληροφορία που υπήρχε από τη Δασική Υπηρεσία ήταν το είδος της καύσιμης ύλης με την αντίστοιχη επιφάνεια που κάηκε σε στρέμματα. Συνεπώς, δεν ήταν γνωστό σε τι τύπο βλάστησης ξεκίνησε η πυρκαγιά κάτι που θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό στοιχείο για την πρόβλεψη της εξέλιξης μιας πυρκαγιάς σε μεγάλη.

Το σημαντικότερο πρόβλημα στα δεδομένα αφορούσε τους μεταβαλλόμενους παράγοντες, κυρίως τους ατμοσφαιρικούς (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ένταση ανέμου), αλλά και την κλίση του εδάφους και το υψόμετρο. Οι συγκεκριμένες μεταβλητές είχαν να κάνουν με τις τιμές τους την ώρα της έναρξης της πυρκαγιάς. Η παρούσα έρευνα, όμως, αφορά πυρκαγιές με καμένη έκταση μεγαλύτερη των 5000 στρεμμάτων. Αυτό σημαίνει πως οι συγκεκριμένες δασικές πυρκαγιές είχαν διάρκεια αρκετών ωρών, και στην πλειονότητά τους, αρκετών ημερών με αποτέλεσμα όλοι οι παραπάνω παράγοντες να μεταβάλλονται διαρκώς. Επομένως, ουσιαστικά δεν υπήρχαν οι τιμές τους στη διάρκεια του χρόνου αλλά ούτε και η μεταβολή των τιμών αυτών, γεγονός που θεωρείται καθοριστικής σημασίας (Viegas, 2006) για τη διερεύνηση της αλληλεπίδρασης των ατμοσφαιρικών (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ένταση ανέμου) αλλά και των χωρικών μεταβλητών (κλίση εδάφους, υψόμετρο) με το μέγεθος της καμένης έκτασης. Επίσης, όσον αφορά την ένταση του ανέμου, η

συγκεκριμένη μεταβλητή είναι χωρισμένη σε πέντε κλάσεις από τη Δασική Υπηρεσία με βάση την κλίμακα Μποφόρ. Με δεδομένο ότι η κλίμακα για κάθε ένδειξη αφορά πεδίο εκτιμήσεων ταχύτητας του ανέμου και όχι μετρήσεις, και σε κάθε κλάση περιλαμβάνονται έως και 3 επίπεδα έντασης σε Μποφόρ, η περιεχόμενη πληροφορία περιλαμβάνει τεράστια ανακρίβεια. Παραδείγματος χάρη, η δεύτερη κλάση που αφορά μέτριους ανέμους (1,1-4,0 BF) αντιστοιχεί σε ταχύτητες ανέμου από 1 έως 28 km/h, ενώ η τρίτη κλάση που αφορά ισχυρούς ανέμους (4,1-7,0 BF) αντιστοιχεί σε ταχύτητες ανέμου από 29 έως 61 km/h. Σε αυτές τις δύο κλάσεις περιλαμβάνονται οι περισσότερες πυρκαγιές της βάσης δεδομένων, κάνοντας εξαιρετικά δύσκολη την εξαγωγή χρήσιμων αποτελεσμάτων για τον παράγοντα της έντασης του ανέμου.

Είναι σαφές ότι τα παραπάνω προβλήματα συνέβαλαν στην αδυναμία των μοντέλων σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας που εξήχθησαν από τη συγκεκριμένη έρευνα, τόσο από τη γραμμική παλινδρόμηση (Linear Regression) όσο και από τη λογιστική παλινδρόμηση (Logistic Regression). Τα προβλήματα της βάσης δεδομένων δεν αφορούσαν μόνο τα στοιχεία που προέρχονται από τη Δασική Υπηρεσία (Δ.Υ). Στην προσπάθεια ταυτοποίησης και συμπλήρωσης των δεδομένων από τις βάσεις δεδομένων του Πυροσβεστικού Σώματος (Π.Σ.), έγινε αντιληπτό πως και τα δεδομένα αυτά παρουσίαζαν παρόμοιες δυσκολίες και προβλήματα. Συγκρίνοντας τις βάσεις δεδομένων της Δ.Υ. και του Π.Σ., διαπιστώθηκε πως τα δεδομένα της Δασικής Υπηρεσίας είναι πιο αναλυτικά και αξιόπιστα για τους οικολογικούς παράγοντες, ενώ τα δεδομένα του Πυροσβεστικού Σώματος είναι πιο αξιόπιστα σε ότι σχετίζονται με το επιχειρησιακό σκέλος.

Τα μοντέλα που προέκυψαν από τις παλινδρομήσεις λοιπόν, μπορεί να είναι αδύναμα για επιχειρησιακή πρόβλεψη της καμένης έκτασης οποιασδήποτε πυρκαγιάς. Ωστόσο, μπορούμε να διαπιστώσουμε ορισμένες τάσεις για τις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν από το ποσοστό στατιστικής μεταβλητότητας που εξηγούν.

Παρατηρείται πως η κλίση του εδάφους τόσο στα μοντέλα της γραμμικής, όσο και στα μοντέλα της λογιστικής παλινδρόμησης είναι σημαντικός παράγοντας επιβεβαιώνοντας άλλες αναφορές (Feng et al., 2015; Fernades, 2016a) που έδειξαν ότι όλοι οι τοπογραφικοί παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης και της κλίσης, έχουν μία οριακή συσχέτιση με το μέγεθος της καμένης έκτασης. Αυτό μπορεί να εξηγείται και από το γεγονός πως η έντονη κλίση του εδάφους συμβάλει στην αύξηση της ταχύτητας

της φωτιάς (Καϊλίδης & Καρανικόλα, 2004) λόγω της μικρότερης απόστασης της φλόγας από την προθερμαινόμενη βλάστηση πάνω στο κεκλιμένο έδαφος. Επίσης, από τη γραφική απεικόνιση της σύγκρισης μικρών και μεγάλων δασικών πυρκαγιών σε σχέση με τις κλάσεις της κλίσης (Σχήμα 3.14) διαπιστώθηκε αρκετή διαφορά στην κατανομή των τυχαίων (μικρών) πυρκαγιών σε σχέση με τις μεγάλες. Οι μεγάλες είναι πολύ πιο λίγες από τις τυχαίες σε μικρές κλίσεις (0-20%) όπου δεν ευνοείται η διάδοση μιας πυρκαγιάς και είναι γενικά ευκολότερη η πρόσβαση για αντιμετώπιση. Σε μεσαίες κλίσεις (21-40%), η εμφάνιση των μεγάλων πυρκαγιών είναι μεγαλύτερη από ότι η εμφάνιση των μικρών προερχόμενων από το τυχαίο δείγμα, ενώ και σε κλίσεις μεγαλύτερες από 40% παρατηρείται να κυριαρχούν οι μεγάλες δασικές πυρκαγιές. Αυτό έρχεται σε διαφωνία με τους Liu et al. (2013) που αναφέρουν πως η τοπογραφία παρουσιάζει σημαντική επίδραση κυρίως στη διάδοση των μικρών πυρκαγιών ενώ στις μεγάλες κυριαρχούν οι μετεωρολογικές συνθήκες. Βέβαια, αναγνωρίζουν ότι αυτό μπορεί να διαφέρει μεταξύ οικοσυστημάτων αφού τα οικοσυστήματα που μελέτησαν ήταν τα αρκτικά δάση της ΒΑ Κίνας.

Όσον αφορά την ένταση του ανέμου, οι Mitsopoulos & Mallinis (2017) αναφέρουν πως είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για να εξελιχθεί μια πυρκαγιά σε μεγάλη. Άλλες έρευνες έχουν δείξει πως δυνατοί ή και μέτριοι άνεμοι συνδέονται με το μέγεθος της καμένης έκτασης (Viegas, 1998; Stocks, 2002). Από το Σχήμα 3.13. φαίνεται η επίδραση της έντασης του ανέμου στο να εξελιχθεί μια πυρκαγιά σε μεγάλη, συμφωνώντας με τους Dimitrakopoulos et al (2011). Οι κατανομές των τυχαίων και των μεγάλων πυρκαγιών σε σχέση με τις τέσσερις κλάσεις ανέμου διαφέρουν σαφώς. Οι μεγάλες πυρκαγιές εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα από ότι οι μικρές στις δύο υψηλότερες κλάσεις ταχύτητας ανέμου.

Στο πιο ισχυρό από τα μοντέλα που προέκυψαν στη γραμμική παλινδρόμηση βρίσκεται και η μεταβλητή της βλάστησης, που σχετίζεται μόνο με το δασικό είδος. Συμφωνώντας με τους Xanthopoulos et al. (2012) πως το είδος της καύσιμης ύλης είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την ικανότητα ανάφλεξης και τη διάδοση της πυρκαγιάς αλλά και με τους Fernades et al. (2016a) πως είδη με υψηλή ευφλεκτότητα σχετίζονται με τη γρήγορη εξάπλωση και την υψηλής έντασης πυρκαγιά. Άλλες έρευνες έχουν δείξει πως δεν υπάρχει συσχέτιση κάποιας μεταβλητής της βλάστησης με το μέγεθος της φωτιάς (Dickson, 2006; Dimitrakopoulos, 2011).

Οι παράλληλες μεγάλες πυρκαγιές και οι παράλληλες πυρκαγιές είναι δύο μεταβλητές που συναντάμε στα πιο ισχυρά μοντέλα της γραμμικής παλινδρόμησης και σε όλα τα μοντέλα της λογιστικής αντίστοιχα. Για τους συγκεκριμένους παράγοντες δεν υπάρχουν αναφορές στη βιβλιογραφία. Μόνο οι San- Miguel et al (2013) αναφέρουν τις μεγάλες παράλληλες πυρκαγιές που συγκεντρώνονται στο χώρο, δημιουργώντας τις μεγα-πυρκαγιές, ως ένα παράγοντα που συνδέεται με το μέγεθος της καμένης έκτασης. Στην παρούσα έρευνα όμως, οι δύο αυτές μεταβλητές έχουν να κάνουν με τις πυρκαγιές που συμβαίνουν ταυτόχρονα σε ολόκληρη τη χώρα και διαπιστώνεται ότι έχουν επίδραση στο μέγεθος της καμένης έκτασης. Λογικά, αυτό μπορεί να οφείλεται στην αδυναμία του συστήματος δασοπυρόσβεσης, το οποίο να φτάνει σε οριακό σημείο και να «καταρρέει», αδυνατώντας να καταστείλει μεγάλο αριθμό δασικών πυρκαγιών που καίνε ταυτόχρονα με αποτέλεσμα κάποιες από αυτές να «ξεφεύγουν» και να εξελίσσονται σε μεγάλες. Οπωσδήποτε, το συγκεκριμένο εύρημα αξίζει να ερευνηθεί περαιτέρω.

Το γεωγραφικό πλάτος, ως μεταβλητή που επιδρά στις μεγάλες δασικές πυρκαγιές το συναντάμε σε ένα από τα μοντέλα της λογιστικής παλινδρόμησης με αρνητικό συντελεστή. Το γεγονός αυτό, δείχνει πως μεγαλύτερη καμένη έκταση παρατηρείται σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, δηλαδή στη Νότια Ελλάδα, επιβεβαιώνοντας τους Τσαγκάρη κ.α. (2011) ότι υπάρχει μία αυξημένη τάση συχνότητας των δασικών πυρκαγιών και μεγέθους της καμένης έκτασης από τα βόρεια προς τα κεντρικά και νότια τμήματα της χώρας. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δείχνουν πως οι περισσότερες σε αριθμό μεγάλες δασικές πυρκαγιές στην περίοδο 2000-2015 έχουν λάβει χώρα στην Εύβοια και ακολουθούν Αττική, Μεσσηνία, Φθιώτιδα και Λακωνία (Σχήμα 3.1). Οι μεγαλύτερες καμένες εκτάσεις βρίσκονται στους νομούς Ηλείας, Εύβοιας, Λακωνίας, Κορινθίας και Αττικής (Σχήμα 3.2).

Οι περισσότερες έρευνες για τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές θεωρούν τις ατμοσφαιρικές μεταβλητές ως καθοριστικούς παράγοντες για το μέγεθος της φωτιάς (Parisien et al., 2011; San Miguel-Ayanz, 2013; Liu et al., 2013; Feug et al., 2015; Mitsopoulos & Mallinis, 2017). Οι Dimitrakopoulos et al. (2011) υποστηρίζουν πως οι μεγάλες δασικές πυρκαγιές συσχετίζονται με τις ημέρες καύσωνα και με τις θερμοκρασίες πάνω από 30°C με μέτριους ή και δυνατούς ανέμους, ενώ πολλές αναφορές συσχετίζουν την καμένη έκταση με τη χαμηλή σχετική υγρασία (Stocks,

2002; Dimitrakopoulos, 2011; Mitsopoulos & Mallinis, 2017). Στα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία δεν παρουσιάζονται σε κανένα από τα μοντέλα ως αυτόνομες μεταβλητές. Στα δύο πιο ισχυρά μοντέλα της λογιστικής παλινδρόμησης συναντάμε τη μεταβλητή της αλληλεπίδρασης της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας (δηλαδή το λόγο θερμοκρασίας/ υγρασίας). Τα γεγονόσ αυτό, μας δείχνει πως υπάρχει τάση συσχέτισης της αλληλεπίδρασης των δύο αυτών μεταβλητών με την καμένη έκταση. Αξίζει να σημειωθεί πως συγκρίνοντας μικρές και μεγάλες φωτιές με βάση τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία (Σχήμα 3.15 και 3.16), διαπιστώνεται πως οι μεγάλες καμένες εκτάσεις ευνοούνται σαφώς με τις συνθήκες καύσωνα, δηλαδή θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 37°C και από τη χαμηλή σχετική υγρασία, με εμφάνιση της ισχυρής επίδρασης της από την κλάση 15-30% και χαμηλότερα.

Η ώρα έναρξης των πυρκαγιών, αν και δεν περιλαμβάνεται σε κανένα από τα μοντέλα που προέκυψαν από τις παλινδρομήσεις παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τη γραφική απεικόνιση της σύγκρισης μικρών και μεγάλων φωτιών (Σχήμα 3.10). Αυτό που γίνεται αντιληπτό είναι πως το διάστημα 10:00-16:00, κυριαρχούν οι μεγάλες πυρκαγιές με συντριπτικό ποσοστό σε σχέση με τις μικρές. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός πως εκείνες τις ώρες οι καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, σχετική υγρασία) είναι τέτοιες που ευνοούν την ανάφλεξη των φωτιών αλλά και επειδή ακολουθεί ένα μεγάλο χρονικό διάστημα με κρίσιμες καιρικές συνθήκες που βοηθούν την εξέλιξη των πυρκαγιών σε μεγάλες. Επίσης, μπορεί να διαπιστωθεί πως το ημερήσιο διάστημα 01:00-4:00 χαρακτηρίζεται από σχετικά αυξημένο κίνδυνο εξέλιξης μεγάλων πυρκαγιών. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να εξηγείται από την αδυναμία του μηχανισμού δασοπυρόσβεσης εκείνες τις ώρες (βραδινές) να είναι σε ετοιμότητα λόγω της δυσκολίας προσβασιμότητας στην περιοχή από την έλλειψη ορατότητας.

Όσον αφορά τον παράγοντα του υψομέτρου, διαπιστώνεται πως δεν υπάρχει κάποια αλληλεπίδραση με το μέγεθος της καμένης έκτασης, απουσιάζοντας από τα μοντέλα που προέκυψαν. Βέβαια, παρατηρείται πως οι περισσότερες πυρκαγιές, μικρές και μεγάλες, ξεκινούν σε υψόμετρα μικρότερα από 600μ. (Σχήμα 3.12) επιβεβαιώνοντας τις αναφορές (Κωνσταντινίδης, 2007; Ξανθόπουλος, 1998) που

υποστηρίζουν πως οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα εκδηλώνονται κυρίως στη μεσογειακή ζώνη βλάστησης, η οποία βρίσκεται σε υψόμετρα από 0 ως 600 μέτρα.

Οι μεταβλητές του χρόνου επέμβασης και της απόστασης από CL (Canadair) φαίνεται να μην έχουν κάποια συσχέτιση με το μέγεθος της καμένης έκτασης από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας. Όσον αφορά τα αποτελέσματα του χρόνου επέμβασης, επιβεβαιώνουν τους Dimitrakopoulos (2011) που αναφέρουν πως το 1/3 των μεγάλων δασικών πυρκαγιών έχει σχετικά μικρό χρόνο επέμβασης (<30'). Επιπλέον, δε διαπιστώνονται ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ μικρών και μεγάλων πυρκαγιών με βάση το χρόνο επέμβασης.

Δυστυχώς λόγω της αδυναμίας των μοντέλων σε επίπεδο επιχειρησιακής εκτίμησης δεν είναι δυνατή η αξιοποίησή τους ώστε να προβλέψουν το τι πρόκειται να γίνει ως προς την εμφάνιση και τα χαρακτηριστικά των μεγάλων δασικών πυρκαγιών στη χώρα μας στο εγγύς και μεσοπρόθεσμο μέλλον με βάση τα σενάρια της IPCC (2007). Με βάση τη βιβλιογραφία, προβλέπεται πως η αλλαγή του κλίματος θα προκαλέσει αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, μείωση της σχετικής υγρασίας (Mouillot, 2002; Ζερεφός, 2009; ΕΜΕΚΑ, 2011) και αύξηση της συχνότητας μικρών και μεγάλων δασικών πυρκαγιών κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα σε όλα τα σενάρια (Giannakopoulos, 2009; ΕΜΕΚΑ, 2011). Επιπλέον, εκτιμάται πως στα περισσότερα οικοσυστήματα θα υπάρξει μία έντονη επέκταση δασικών ειδών μεγαλύτερης ευφλεκτότητας (de Dios et al, 2007; ΕΜΕΚΑ, 2011). Αυτοί οι παράγοντες βρίσκονται στα μοντέλα που προέκυψαν από τις στατιστικές μεθόδους αυτής της έρευνας, διαπιστώνοντας μία τάση αλληλεπίδρασης και συσχέτισης αυτών με το μέγεθος της καμένης έκτασης. Συνεπώς, θεωρείται πως το μέγεθος της καμένης έκτασης θα έχει την τάση να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια λόγω της παρουσίας των πιο πάνω μεταβλητών στα μοντέλα. Ωστόσο, δεν μπορεί να γίνει συγκεκριμένη εκτίμηση της αύξησης αυτής από τα εξαχθέντα μοντέλα λόγω του μικρού ποσοστού σημαντικής μεταβλητότητάς που εξηγούν.

5. Συμπεράσματα

Η έρευνα για τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα αλλά και στη Μεσογειακή λεκάνη είναι αρκετά περιορισμένη. Στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αναφορές για το μέγεθος της καμένης έκτασης και για τους παράγοντες που το καθορίζουν. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχουν συμφωνημένα καθορισμένα όρια για τον ορισμό τους και τα χαρακτηριστικά τους, με συνέπεια οι ερευνητικές προσπάθειες και τα αποτελέσματά τους να βρίσκονται ακόμα σε αρχικό στάδιο. Επομένως, η συνέχιση της διερεύνηση του ζητήματος των μεγάλων δασικών πυρκαγιών με στόχο την καλύτερη δυνατή αντιμετώπισή τους θεωρείται επιβεβλημένη λόγω του σοβαρού αντίκτυπου που προξενούν στις κοινωνίες.

Στο πλαίσιο αυτό, πολύ χρήσιμο εργαλείο σε εθνικό επίπεδο θα αποτελούσε η καλύτερη συλλογή και οργάνωση των δεδομένων των πυρκαγιών που εκδηλώνονται στην Ελλάδα από τους αρμόδιους φορείς, τη Δασική Υπηρεσία στο επίπεδο της πρόληψης και του Πυροσβεστικού Σώματος στο επίπεδο της καταστολής. Τα δεδομένα και από τους δύο φορείς χαρακτηρίζονται από ελλείψεις και λάθη. Το γεγονός αυτό προκάλεσε αρκετά προβλήματα στην παρούσα έρευνα με αποτέλεσμα τα δεδομένα να προκαλούν «θόρυβο» στα αποτελέσματα.

Τα στατιστικά μοντέλα που προέκυψαν από τη γραμμική (Linear Regression) και λογιστική παλινδρόμηση (Logistic Regression) δεν μπορούν να αποτελέσουν επιχειρησιακά εργαλεία για την εκτίμηση της καμένης έκτασης δασικών πυρκαγιών. Παρ' όλα αυτά, διαπιστώνονται ορισμένες τάσεις σε συγκεκριμένους παράγοντες ως προς το μέγεθος της φωτιάς, οι οποίες ενδεχομένως να είναι χρήσιμες στους αρμόδιους φορείς για τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών. Η κλίση του εδάφους φαίνεται να είναι σημαντικός παράγοντας στην εξέλιξη μιας μεγάλης πυρκαγιάς. Το είδος της βλάστησης και το γεωγραφικό πλάτος φαίνεται να έχουν μία οριακή συσχέτιση με το μέγεθος της καμένης έκτασης, ενώ οι καιρικές συνθήκες, όπως η ένταση του ανέμου και η αλληλεπίδραση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας ενισχύουν το μέγεθος της φωτιάς. Επιπλέον, οι παράλληλες συνολικές πυρκαγιές και οι παράλληλες μεγάλες πυρκαγιές που καίνε στην επικράτεια της χώρας επιδρούν στην εξέλιξη μεγάλων πυρκαγιών.

6. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Aguado, I., E. Chuvieco, R. Boren, H. Nieto, (2007), *Estimation of dead fuel moisture content from meteorological data in Mediterranean areas. Applications in fire danger assessment*, Int J Wildland Fire, 16:390–397
- Albini, F.A., (1976), *Estimating wildfire behavior and effects*, Gen. Tech. Rep. INT-30, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 92 p.
- Albright D. & Meisner B. N., (1999), “*Classification of Fire Simulation Systems*”, Fire Management Notes 59 (2): 5-12.
- Andrews, P.L., (1986), *BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system BURN subsystem*, Part 1. Gen. Tech. Rep. INT-194, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 130 p.
- Andrews P.L., (2007), *BehavePlus fire modeling system: past, present, and future*, In ‘7th Symposium on Fire and Forest Meteorology’, 23–25 October 2007, Bar Harbor, ME, (Eds TJ Brown, BE Potter, N Larkin, K Anderson) (American Meteorological Society: Boston MA) Available at <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/126669.pdf> [Verified 8 July 2013]
- Andrews, P.L., (2014), *Current status and future needs of the BehavePlus, Fire Modeling System*, International Journal of Wildland Fire 2014, 23, 21–33, <http://dx.doi.org/10.1071/WF12167>
- Andrews, P.L. & C.H. Chase, (1989), *BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem*, Part 2. Gen. Tech. Rep. INT-260. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 93 p.

- Badia, A., P. Serra, S. Modugno, (2011), *Identifying dynamics of fire ignition probabilities in two representative Mediterranean wildland-urban interface areas*, Applied Geography 31 (2011) 930-940.
- Barbero, R., J. Abatzoglou, E. Steel, (2014a), *Modeling very large-fire occurrences over the continental United States from weather and climate forcing*, Environ Res Lett, 9:124009.
- Barros, A., & J. Pereira (2014), *Wildfire selectivity for land cover type: does size matter?* PLoS One 9:e84760.
- Barros, A., J. Pereira, U. Lund, (2012), *Identifying geographical patterns of wildfire orientation: a watershed-based analysis*, Ecol Manag ,264:98–107
- Biro, Y., & R. Mavsar, (2009), *Wildfires impact in 3D: Environment, economy, society*, Living with wildfire: what science can tell us, Joensuu, Finland: European Forest Institute, Discussion Paper 15, 33-37p.
- Burgan, R.E., & R.C. Rothermel, (1984), *BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modelling system-FUEL subsystem*, Gen. Tech. Rep. INT-167, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 126 p.
- Carvalho A., M.D. Flannigan, K.A. Logan, L.M. Gowman, A.I. Miranda C. Borrego, (2010), *The impact of spatial resolution on area burned and fire occurrence projections in Portugal under climate change*, Climate Change 98, 177-97.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud, D. Williams, (1983), *Fire in Forestry: Volume 2, Forest Fire Management and Organisation*, John Wiley & Sons.
- COAG, (2004). *Report of the National Inquiry on Bushfire Mitigation and Management*, <http://www.coagbushfireenquiry.gov.au/findings.htm>
- Countryman, C. M., (1977), *Heat and wildland fire*, Pacific. Southw. For Rang. Exp. Sta. Part 1, 7p.

- Curt, T., L. Borgniet, C. Bouillon, (2013), *Wildfire frequency varies with the size and shape of fuel types in southeastern France: implications for environmental management*, J Environ Manag 117:150–161.
- Daniau, A.L., F. d’Errico, M.F.S. Goni, (2010), *Testing the hypothesis of fire use for ecosystem management by neanderthal and upper palaeolithic modern human populations*, Plos One 5.
- Dickson, B., J. Prather, Y. Xu, H. Hampton, E. Aumack, (2006), *Large fire occurrence in Northern Arizona, USA*. Landsc Ecol 21:747–761.
- Dimitrakopoulos, A., C. Gogi, G. Stamatelos, I. Mitsopoulos, (2011), *Statistical analysis of the fire environment of large forest fires (1000 ha) in Greece*, Pol J Environ Stud 20:327–332.
- Dubar, M., J.P. Ivaldi, M. Thinon, (1995), *Mio-pliocene fire sequences in the valensole basin (Southern France) – paleoclimatic and paleogeographic interpretation*, Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie Ii 320, 873–879.
- Dupuy, J.L., (2009), *Fire start and spread*, Living with wildfire: what science can tell us, Joensuu, Finland: European Forest Institute, Discussion Paper 15, 27-31p.
- Esplin, B., A.M. Gill, N. Enright, (2003), *Report of the Inquiry into the 2002–2003 Victorian Bushfires*, State Government of Victoria, Melbourne.
- FAO, (1986), *Wildland Fire Management Terminology*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Forestry Paper p. 70, p. 257
- Feng, L., J. Yang, J. Zu, J. Zhang, (2015), *Quantifying influences and relative importance of fire weather, topography, and vegetation on fire size and fire severity in a Chinese boreal forest landscape*, For Ecol Manag 356:2–12.
- Fernandes, P., (2009), *Combining forest structure data and fuel modelling to assess fire hazard in Portugal*, Ann For Sci 66:415p1–9.
- Fernandes, P, T. Monteiro-Henriques, N. Guiomar, C. Loureiro, A. Barros, (2016a), *Bottom-up variables govern large-fire size in Portugal*, Ecosystems 19:1362–1375.

- Finney, M.A., (2004), *FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation*, Res. Pap. RMRS-RP-4 (revised) USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 47 p.
- Ganteaume, A., & M. Jappiot, (2013), *What causes large fires in Southern France*, Forest Ecology and Management, 294, 76–85
- Ganteaume, A., A. Camia, M. Jappiot, J. San-Miguel-Ayanz, M. Long-Founel, L. Corinne, (2012), *A review of the main driving factors of forest fire ignition over Europe*, Environmental Management.
- Giannakopoulos C., P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou C.M. Goodes, (2009), *Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming*, Global and Planetary change (in press), doi:10.1016/j.gloplacha.2009.06.001
- Gill, A., & P. Moore, (1998), *Big versus small fires: the bushfires of greater Sydney January 1994*, In: Moreno J (ed) Large forest fires. Backhuys Publishers, Leiden, pp 49–68.
- Guyette, R.P., & D.C. Dey, (2000), *Humans, topography, and wildland fire: the ingredients for long-term patterns in ecosystems*, in Proceedings of the Workshop on Fire, People, and the Central Hardwoods Landscape. USDA Forest Service General Technical Report NE-274. Fort Collins, CO, USA, pp. 28-35.
- Hawbaker, T., V. Radeloff, S. Stewart, R. Hammer, N. Keuler, M. Clayton, (2013), *Human and biophysical influences on fire occurrence in the United States*, Ecol Appl 23:565–582.
- Hennessy, K., K. McInnes, D. Abbs, R. Jones, J. Bathols, R. Suppiah, J. Ricketts, T. Rafter, D. Collins, D. Jones, (2004), *Climate Change in New South Wales, Part 2: Projected changes in climate extremes*, Consultancy report for the New South Wales Greenhouse Office by the Climate Impact Group of CSIRO Atmospheric Research and the National.
- Climate Centre of the Australian Government Bureau of Meteorology, 79 pp.

- Hernandez, C., P. Drobinski, S. Turquety, J. Dupuy, (2015), *Size of wildfires in the Euro-Mediterranean region: observations and theoretical analysis*, Nat Hazards Earth Syst Sci Discuss 15:1331–1341.
- IPCC, (2007), *Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2007, [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Karali A., A. Roussos, C. Giannakopoulos, M. Hatzaki, G. Xanthopoulos, K. Kaoukis, (2012), *Evaluation of the Canadian Fire Weather Index in Greece and Future Climate Projections*, Climatology and Atmospheric Physics, Springer Atmospheric Sciences, DOI 10.1007/978-3-642-29172-2_71, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.
- Liu, Z., J. Yang, H. He, (2013), *Identifying the threshold of dominant controls on fire spread in a boreal forest landscape of northeast China*, PLoS ONE 8:e55618.
- Loepfe, L., J. Martinez-Vilalta, J. Oliveres, J. Pinol, F. Lloret, (2010), *Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenisation determine fire regimes in three Mediterranean areas*, For Ecol Manag 259:2366–2374.
- Luce, R.H., & G.A. McArthur, (1978), *Bushfires in Australia*, CSIRO Division of For. Research. Canberra, 1-359 p.
- Lutz, J., C. Key, C. Kolden, J. Kane, J. van Wageningen, (2011), *Fire frequency, area burned, and severity: what is a normal fire year?*, Fire Ecol 7:51–65
- Mitsopoulos, I., & G. Mallinis, (2017), *A data-driven approach to assess large fire size generation in Greece*, Natural Hazards, 88(3), 1591–1607.
- Moreira, F., F. Catry, F. Rego, F. Bacao, (2010), *Size-dependent pattern of wildfire ignitions in Portugal: when do ignitions turn into big fires?*, Landsc Ecol 25:1405–1417.

- Montiel, C., & J. San-Miguel, (2009), *Policy analysis reveals the need for new approaches*, Living with wildfire: what science can tell us? Joensuu, Finland: European Forest Institute, Discussion Paper 15, 63-67p.
- Moreira, F., F.X. Catry, F. Rego, F. Bacao, (2010), *Size-dependent pattern of wildfire ignitions in Portugal: When do ignitions turn into big fires?*, Landscape Ecology, 25(9), 1405–1417.
- Moreira, F., M. Arianoutsou, P. Corona, J. De las Heras, (2012), *Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests*, Springer-Verlag, p. 329 (ISBN 978-94-007-2207-1).
- Moreno, J., A. Va 'zquez, R. Ve 'lez, (1998), *Recent history of forest fires in Spain*. Large forest fires, Backhuys Publishers, Leiden, pp 159–185.
- Moriondo M., P. Good, R. Durao, M. Bindi, C. Gianakopoulos, J. Corte-Real, (2006), *Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area*, Climate Research, 31, 85-95.
- Mouillot F., S. Rambal, R. Joffre, (2002), *Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem*, Global Change Biology, 8, 423-37.
- Olsen, C., & B. Shindler, (2010), *Trust, acceptance, and citizen–agency-interactions after large fires: influences on planning processes*, Int J Wildland Fire 19:137–147.
- Parisien, M., S. Parks, C. Miller, M. Krawchuk, M. Heathcott, M. Moritz, (2011), *Contributions of ignitions, fuels, and weather to the spatial patterns of burn probability of a boreal landscape*, Ecosystems 14:1141–1155.
- Pearce, H.G., & K. Majorhazi, (2003), *Application of Fire Behavior to Fire Danger and Wildfire Threat Modelling in New Zealand*, In proceedings of the 3rd International Wildland Fire Conference in Sydney, Australia, 3-6 October 2003.

- Pereira, M. G., R.M. Trigo, C.C. Da Camara, J.M.C. Pereira, S.M. Leite, (2005), *Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal*, Agricultural and Forest Meteorology, 129(1–2), 11–25.
- Rothermel R.C, (1972), *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*, USDA Forest Service, General Technical Report INT-115.
- San-Miguel-Ayanz, J., & A.Camia, (2010), *Forest Fires, in Mapping the Impacts of Natural Hazards and Technological Accidents in Europe: An Overview of the Last Decade*, EEA Technical Report N13/2010, pp. 47–53.
- San-Miguel-Ayanz, J., J. Moreno, A. Camia, (2013), *Analysis of large fires in European Mediterranean land- scapes: lessons learned and perspectives*, For Ecol Manag 294:11–22.
- Schelhaas M.J., G. Hengeveld, M. Moriondo, G.J. Reinds, Z.W. Kundzewicz, H. ter Maat, M. Bindi, (2010), *Assessing risk and adaptation options to fires and windstorms in European forestry* (in press), doi: 10.1007/s11027-010-9243-0.
- Sebastian-Lopez, A., R. Salvador-Civil, J. Gonzalo-Jimenez, J. San-Miguel-Ayanz, (2008), *Integration of socio-economic and environmental variables for modeling long-term fire danger in southern Europe*, European Journal of Forest Research 127 (2), 149–163.
- Stocks, B., J.Mason, J. Todd, E. Bosch, B. Wotton, B. Amiro, M. Flannigan, K. Hirsch, K. Logan, D. Martell, W. Skinner, (2002), *Large forest fires in Canada, 1959–1997*. J Geophys Res 108:8149.
- U.S. Department of the Interior; U.S. Department of Agriculture, (1995), *Federal Wildland Fire Management Policy &Program Review*, Final Report –December 18, 1995.
- Van Wagner C.E., (1987), *Development and structure of a Canadian forest fire weather index system*, Forestry technical report 35, Canadian Forestry Service, Ottawa.

- Vaz, G., J.C.S. André, D.X. Viegas, (2004), *Fire Spread Model For A Linear Front In A Horizontal Solid Porous Fuel Bed In Still Air*, Combustion Science And Technology, Volume 176, Number 2, February 2004 , Pp. 135-182(48).
- Viegas, D.X., (1998), *Weather, fuel status and fire occurrence: predicting large fires*, In: Moreno J (ed) Large forest fires. Backhuys Publishers, Leiden, pp 31–48.
- Viegas, D.X., (2006), *Parametric study of an eruptive fire behavior model*, International Journal of Wildland Fire 15(2) 169-177.
- Westerling, A.L., H.G. Hidalgo, D.R. Cayan, T.W. Swetnam, (2006), *Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity*, SCIENCE, vol.313
- Xanthopoulos, G., and R.H. Wakimoto. 1993. *A time-to-ignition - Temperature - Moisture relationship for branches of three western conifers*, Can. J. For. Res. 23 (2): 253-258.
- Xanthopoulos, G., (2003), *Factors affecting the vulnerability of houses to wildland fire in the Mediterranean region*, International Workshop "Forest Fires in the Wildland-Urban Interface & Rural Areas in Europe.
- Xanthopoulos, G., P. Fernandes, C. Calfapietra, (2012), *Fire hazard and flammability of European forest types*, pp. 79-92. In Moreira, F., M. Arianoutsou, P. Corona, J. De las Heras, (Eds.), Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests. Springer, Heidelberg. 329 p.

Ελληνόγλωσση

- Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη, Μ., & Δ. Καζάνης, (2012), *Ο οικολογικός ρόλος της φωτιάς στα χερσαία οικοσυστήματα της Ελλάδας*, σσ. 103-116, στο βιβλίο Το δάσος μία ολοκληρωμένη προσέγγιση, Παπαγεωργίου, Α.Κ., Γ. Καρέτσος, Γ. Κατσαδωράκης, (επιμέλεια), WWF Ελλάς σελ. 265

- Γκουρμπάτσης, Α., Αντιστράτηγου – Υπαρχηγού ΠΣ, ε.α, Νομικού, (2015), *Έρευνα: Το κόστος της δασοπυρόσβεσης στην Ελλάδα*, Αθήνα, Ιούνιος, 2015.
- Διακάκης, Μ.,(2011), *Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής- Μεταβολές στην Ένταση και την Κατανομή των Φυσικών Καταστροφών*, Ε. Βενιζέλου 21, 102 50 Αθήνα, Ιούνιος 2011.
- Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ), (2011), *Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα*, Τράπεζα της Ελλάδας, Αθήνα, Ιούνιος, 2011.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, (2015), *Λειτουργία του μηχανισμού καταπολέμησης των δασικών πυρκαγιών στην Ευρώπη*, Δελτίο Τύπου, Βρυξέλλες, 17 Ιουλίου 2015, (Επικαιροποιήθηκε στις 10/8/2017), MEMO/15/5411.
- Ηλιόπουλος Ν., (2013), *Διδακτορική Διατριβή ΠΥΡΟ-ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας,
- Ζερεφός Χ., (2009), *Αναφορά προόδου ομάδας κλίματος*, Επιτροπή μελέτης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής, Νοέμβριος.
- Καϊλίδης, Δ.Σ., & Π. Καρανικόλα, (2004), *Δασικές Πυρκαγιές 1900 - 2000*, Εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη.
- Καλαμποκίδης, Κ., Ν. Ηλιόπουλος, Δ. Γλιγλίνος, (2013), *Πυρο-Μετεωρολογία και Συμπεριφορά Δασικών Πυρκαγιών σε ένα Μεταβαλλόμενο Κλίμα*. Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ, Αθήνα.
- Καρτέρης, Μ.Α., (1986), *Δασική Αεροφωτογραφία*, Τόμος Ι. University Studio Press.
- Κατσάνος, Α.Μ., (1975), *Συμβολή εις την ανίχνευση και επισήμανσιν των πυρκαϊών των δασών*, Δασικά χρονικά, τεύχος 11 - 12, σελ. 357-400.
- Κατσαφάδος, Π., & Η. Μαυροματίδης, (2015), *Εισαγωγή στη Φυσική της Ατμόσφαιρας και την Κλιματική Αλλαγή*, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου.

- Κωνσταντινίδης, Π., & Σ. Γκαντζογιάννης, (2001), *Επιλογή δασικών ειδών για αναδασώσεις σε πυρόπληκτες περιοχές*, Εκδ.: Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών Θεσσαλονίκης και Ταχυδρομικό Ταμιευτήριο. Αυτοτελής έκδοση, σελ. 143.
- Κωνσταντινίδης, Π., (2007), «*Το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα*» (πρόληψη, καταστολή και μεταπυρική διαχείριση των καμένων εκτάσεων), Οικολόγιο, Ομιλία στο ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΛΗΜΟΥ ΝΕΑΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ "Ο ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΔΙΑΚΟΣ", 19 Οκτωβρίου 2007.
- Ξανθόπουλος, Γ., (1990), *Δυνατότητες πρόβλεψης συμπεριφοράς της πυρκαγιάς στα δάση της Ελλάδας*, Σελ. 199-203. Στα πρακτικά του Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Δασολογικής Εταιρείας, με θέμα «Δασοπονία και Περιφερειακή Ανάπτυξη», 7-9 Νοεμβρίου 1990, Καρπενήσι. 417 σελ.
- Ξανθόπουλος, Γ., (2003), *Πυρκαγιές στη ζώνη μίξης δασών-οικισμών*, Πυροσβεστική Επιθεώρηση 100: 20-22.
- Ξανθόπουλος Γ., Σ. Δόσης, Α. Καρπή, Ε. Παναγιωτίδου, Δ. Σουφλής, (2009), *Αντιπροσωπευτικά μοντέλα δασικής καύσιμης ύλης για την Περιφέρεια της Αττικής: Δημιουργία και λογισμικό αξιοποίησης*, Σελ. 615-625, Πρακτικά του 14^{ου} Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου 1-4 Νοεμβρίου 2009, Πάτρα, Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, Θεσσαλονίκη, σελ. 1101.
- Ξανθόπουλος, Γ., (2012), *Το φαινόμενο της δασικής πυρκαγιάς ως πρόβλημα: χαρακτηριστικά, προσεγγίσεις αντιμετώπισης και συνολική διαχείριση*, Σελ 187-200 στο βιβλίο «Το Δάσος – Μία ολοκληρωμένη προσέγγιση», Παπαγεωργίου, Α.Κ., Γ. Καρέτσος, Γ. Κατσαδωράκης, (επιμέλεια), WWF Ελλάς. 265 σελ.
- Ξανθόπουλος, Γ., (2016), *Οι δασικές πυρκαγιές, η διαχείρισή τους στην Ελλάδα και το αποτύπωμά της στην Αττική*, Γεωγραφίες 27: 72-88.
- Οικονόμου, Α., (1992), *Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των πυροσβεστικών αεροπλάνων από τη σκοπιά του προσωπικού εδάφους*. Επιστημονική διημερίδα «Κατάσβεση πυρκαϊών δασών από αέρος». Θεσ/νίκη, σελ. 219.

Ταμπάκης, Σ., & Π. Καρανικόλα, (2015), *Δασικές Πυρκαγιές και Κοινωνία*, Έκδοση Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.

Τσαγκάρη, Κ., Γ. Καρέτσος, Ν. Προύτσος, (2011), *Δασικές Πυρκαγιές Ελλάδας 1983-2008*, WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ.

Τσουμής, Γ., (1986), *Επιστήμη και Τεχνολογία του ξύλου*, Τόμος Α' Δομή και Ιδιότητες, Έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ.

Διαδικτυακές πηγές

Moore, P., J. Hardesty, S. Kelleher, S. Maginnis, R. Myers, (n.d.). Forests and Wildfires: Fixing the Future by Avoiding the Past. *FAO*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/article/wfc/xii/0829-b3.htm>

Fire management. (n.d.). *FAO*. Retrieved from <http://www.fao.org/forestry/firemanagement/en/>

Φάμελλος, Σ. (2017). Σ. Φάμελλος: «Οι δράσεις πρόληψης και η διαχείριση των δασών συμβάλλουν στη μείωση των καμένων εκτάσεων». *Δασαρχείο*. Retrieved from <https://dasarxeio.com/2017/11/10/1852-3/>

ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (n.d.). Δασικές Πυρκαγιές. Παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών από την ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. *Fire security*. Retrieved from <http://www.firesecurity.gr/bibliothiki/pykat2.htm>

ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (n.d.). Δασικές Πυρκαγιές - Χαρακτηριστικά καύσιμης ύλης, Καιρικές συνθήκες, Τοπογραφικές συνθήκες. *Fire security*. Retrieved from <http://www.firesecurity.gr/xdaspyrkagion.html>

Weather Elements that Affect Fire Behavior. (2017). Retrieved from http://www.auburn.edu/academic/forestry_wildlife/fire/weather_elements.htm

Πρόληψη δασικών πυρκαγιών στη Μεσόγειο: η διαχείριση είναι η απάντηση. (2017).

Δασαρχείο. Retrieved from <https://dasarxeio.com/2017/08/10/1034-10/>

Μέχρι την Παρασκευή Canadair στη Ν. Αγχίαλο. (n.d.). *Almyrosinfo.gr*. Retrieved from <http://almyrosinfo.gr/article>