

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

«ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ»

**«Ανάλυση και διαχείριση των επιπτώσεων και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
πυρκαγιών στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον»**

Παπαζήσης Ιωάννης

ΒΟΛΟΣ 2022

UNIVERSITY OF THESSALY
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC ENVIRONMENT AND
DEPARTMENT OF SPECIAL EDUCATION



JOINT POSTGRADUATE PROGRAMME
«EDUCATION FOR SUSTAINABILITY AND THE ENVIRONMENT»

JOINT POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

"Analysis and management of impacts and atmospheric pollution of forest fires in the natural and anthropogenic environment"

Papazisis Ioannis

VOLOS 2022

© ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, 2022. Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία (Μ.Δ.Ε.), η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών: Εκπαίδευση για την Αειφορία και το Περιβάλλον και τα λοιπά αποτελέσματα αυτής αποτελούν συνιδιοκτησία του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα και το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, όπου εκπονήθηκε η Μ.Δ.Ε. καθώς και τον Επιβλέποντα Καθηγητή και την Επιτροπή Αξιολόγησης.

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρίτσας Σοφοκλής, Δρ., Μέλος Ε.ΔΙ.Π., Βαθμίδα Α΄, Γ.Ι.Υ.Π., Π.Θ., Επιβλέπων.

**Σακελλαρίου Σταύρος, Δρ., Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης,
Π.Θ., Συνεπιβλέπων.**

Ματσιώρη Στεριανή, Καθηγήτρια, Γ.Ι.Υ.Π., Π.Θ., Μέλος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκδήλωση των πυρκαγιών σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο λαμβάνει κάθε χρόνο ολοένα μεγαλύτερες διαστάσεις. Είναι ένα φαινόμενο που μοιάζει τις τελευταίες δεκαετίες να γιγαντώνεται, αφού ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, εμφανίζεται σε μεγαλύτερη συχνότητα. Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση αναφορικά με την εκδήλωση των ανεξέλεγκτων πυρκαγιών και κατ' επέκταση τις επιπτώσεις που έχουν αυτές στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον. Επιπλέον, σκοπός της εργασίας είναι η ευαισθητοποίηση αναφορικά με το μέγεθος του φαινομένου και η υπογράμμιση του ζητήματος της ορθότερης και αποτελεσματικότερης διαχείρισης, ιδιαίτερα των ευαίσθητων περιοχών. Αναλύοντας δεδομένα πυρκαγιών από το 1980 μέχρι το 2020, μέσω ενός πλήθους πολυετών ερευνών και μελετών, στόχος είναι η ανάδειξη των επιπτώσεων των πυρκαγιών και του παραγόμενου καπνού στην ατμόσφαιρα και την υγεία του ανθρώπου. Έτσι, λοιπόν, διαμορφώνεται το παρακάτω ερευνητικό ερώτημα.

Ερευνητικό ερώτημα: Επηρεάζουν την υγεία τα σωματίδια και οι ενώσεις που περιέχει ο καπνός των πυρκαγιών; Αν ναι, σε τί βαθμό;

Λέξεις κλειδιά: πυρκαγιές, δασικές πυρκαγιές, επιπτώσεις πυρκαγιών στην υγεία, επιπτώσεις πυρκαγιών στο περιβάλλον

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	v
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ	4
2.1 Ορισμός και εννοιολογικό υπόβαθρο	4
2.2 Πυρκαγιές και στοιχεία καμένων εκτάσεων.....	6
2.2.1 Στοιχεία Β. Αμερικής (ΗΠΑ και Καναδάς)	7
2.2.2 Στοιχεία Ρωσίας.....	12
2.2.3 Στοιχεία Μεσογείου Θάλασσας.....	12
2.3 Χωροχρονική κατανομή μεγα-πυρκαγιών – Κύρια χαρακτηριστικά και επιπτώσεις	13
3. ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	23
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	26
5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ	28
5.1 Σύσταση καπνού.....	30
5.2 Επιπτώσεις στην υγεία	36
5.2.1 Αναπνευστικό σύστημα	37
5.2.2 Καρδιαγγειακό σύστημα	40
5.2.3 Συμπεράσματα ερευνών	43
5.3 Επιπτώσεις στην οικονομία.....	47
6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ.....	54
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	56
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	70
ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ.....	71
ABSTRACT	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	73
Πίνακας εικόνων	73
Πίνακας πινάκων.....	73

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια κοινότητα βιώνει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε ολοένα μεγαλύτερο βαθμό κάθε χρόνο. Οι επιπτώσεις του φαινομένου γίνονται αισθητές με την κλιματική αλλαγή να εντείνεται και να αναφερόμαστε σε αυτήν πλέον με τον όρο «κρίση». Μία από τις πιο άμεσες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι οι μεγάλης κλίμακας και ανεξέλεγκτες πυρκαγιές που εκδηλώνονται σε δασικές κυρίως περιοχές (Flannigan et al., 2000). Η συχνότερη και εντονότερη εκδήλωση πυρκαγιών που προκαλούνται από ακραίες θερμοκρασίες και μακροχρόνιες περιόδους ξηρασίας αποτελεί απόδειξη της κλιματικής κρίσης που βιώνουμε. Οι κυβερνήσεις των κρατών σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν προβεί ήδη σε ενέργειες, όπως η Συμφωνία των Παρισίων για την κλιματική αλλαγή, με τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης να θέτουν ως στόχο να γίνει η Ε.Ε. «η πρώτη κλιματικά ουδέτερη οικονομία και κοινωνία ως το 2050» (Paris Agreement, 2015). Υπάρχουν στοιχεία πως καταβάλλεται προσπάθεια σε παγκόσμιο επίπεδο ούτως ώστε το φαινόμενο να μετριαστεί ως ένα βαθμό, αλλά δε γνωρίζουμε εάν αυτές είναι αρκετές.

Με το πέρασμα του χρόνου παρατηρείται το γεγονός πως οι κίνδυνοι και τα προβλήματα που προκαλούνται από τις πυρκαγιές πληθύνονται και οι επιπτώσεις που έχουν οι πυρκαγιές στο περιβάλλον, στις ζωές και στα οικοσυστήματα κλιμακώνονται. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί παράγοντα που μόνο επιβαρύνει την παρούσα κατάσταση. Χωρίς άμεση δράση και λήψη κατασταλτικών μέτρων από τον άνθρωπο με πιο στοχευμένες δράσεις, το πρόβλημα δε θα πάψει παρά να διογκώνεται.

Οι πυρκαγιές μπορεί να προκληθούν είτε από φυσικά φαινόμενα (κεραυνός), είτε από τον ανθρώπινο παράγοντα και εάν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές (αύξηση της θερμοκρασίας με ταυτόχρονη πτώση της υγρασίας κατά τους θερινούς μήνες) να λάβουν και τις

αντίστοιχες διαστάσεις. Για την Ελλάδα, τα φυσικά αίτια ανέρχονται στο 9,7% και τα ανθρωπογενή στο 14,4%. Το υπόλοιπο 75,9% των πυρκαγιών προκαλείται από άγνωστα αίτια (Sakellariou et al., 2019).

Στοιχεία από υπολείμματα ξυλανθράκων που βρέθηκαν ως ιζήματα στον πυθμένα λιμνών και δεδομένα από κορμούς δέντρων οι οποίοι εμφάνιζαν σημάδια που έδειχναν το πέρασμα πυρκαγιών, δείχνουν πως η κλιματική αλλαγή αποτελεί καταλυτικό παράγοντα στην εμφάνιση πυρκαγιών, τουλάχιστον για τις δυτικές περιοχές των ΗΠΑ (McKenzie et al., 2004).

Ο κίνδυνος εμφάνισης πυρκαγιών, όπως και το μέγεθος και η συχνότητα εμφάνισής τους εντείνεται από το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Θερμότερες και πιο ξηρές συνθήκες οδηγούν σε ευνοϊκότερες συνθήκες για την εμφάνιση πυρκαγιάς και αύξηση της πιθανότητας εμφάνισής της. Με την εκδήλωση ανεξέλεγκτων πυρκαγιών αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου, όπως το μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, που με τη σειρά τους έχουν δυσμενείς συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου, όπως πρόκληση αναπνευστικών προβλημάτων. Επιπλέον, μελέτες δείχνουν πως η αύξηση της συγκέντρωσης τέτοιων μορίων στην ατμόσφαιρα έχει ως συνέπεια την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω της απορρόφησης της ηλιακής και γήινης ακτινοβολίας, γεγονός που αυξάνει περαιτέρω την πιθανότητα εμφάνισης πυρκαγιών, καθώς φαινόμενα ξηρασίας συνθέτουν τις τέλειες συνθήκες για τέτοια φαινόμενα (Ruffault et al., 2018), δημιουργώντας ένα φαινόμενο με αλυσιδωτές αλληλεπιδράσεις, οδηγώντας σε ένα φαύλο κύκλο (Bowman et al., 2020; Xu et al., 2020β).

Η μεταπτυχιακή αυτή διπλωματική εργασία έχει σκοπό να αναδείξει τις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των ανεξέλεγκτων πυρκαγιών στην

υγεία του ανθρώπου, δίνοντας παράλληλα έμφαση στο γεγονός πως δεν υπάρχει ακόμα το κατάλληλο ερευνητικό υπόβαθρο, ώστε να διακρίνουμε με βεβαιότητα για το ποιες είναι αυτές. Τα τελευταία χρόνια, το φαινόμενο έχει αποκτήσει ανεξέλεγκτες διαστάσεις και για αυτό σκοπός της παρούσας εργασίας είναι και η ανάδειξη των επιπτώσεων στο περιβάλλον, εκτός από τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου.

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρεται σε κάποια γενικά στοιχεία για τις πυρκαγιές, όπως το εννοιολογικό υπόβαθρο και το ιστορικό των πυρκαγιών σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο μέσω της χωροχρονικής κατανομής των κυριότερων πυρκαγιών από το 1990. Το τμήμα αυτό επιχειρεί να τονίσει την έκταση του φαινομένου τα τελευταία χρόνια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται κάποια γενικά στοιχεία για τις πυρκαγιές, καθώς και μερικά στατιστικά δεδομένα.

Έπειτα, στο τρίτο κεφάλαιο οι πυρκαγιές σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και στο τέταρτο και πέμπτο αναλύεται η μεθοδολογία της έρευνας και ο παράγοντας των επιπτώσεων των πυρκαγιών στην υγεία του ανθρώπου και στην οικονομία.

2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

2.1 Ορισμός και εννοιολογικό υπόβαθρο

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2022) ως πυρκαγιά ορίζεται «μία μη σχεδιασμένη φωτιά που καίει σε μια φυσική περιοχή όπως ένα δάσος, βοσκότοπο ή λιβάδι».

Επίσης, αναφέρεται ως μία ανεξέλεγκτη φωτιά ή φωτιά προκαλούμενη από φυσικά αίτια (Shakesby & Doerr, 2006), με την πυρκαγιά να αποτελεί κύριο λόγο αλλαγών γεωμορφολογικής ή υδρολογικής φύσεως. Με τις πυρκαγιές μαζί με τις ηφαιστειογενείς δραστηριότητες να έχουν επηρεάσει τις ζωές 6,2 εκατομμυρίων ανθρώπων από το 1998 έως το 2017 και τους θανάτους να φτάνουν τους 2400 παγκοσμίως (WHO, 2022), οι ανεξέλεγκτες πυρκαγιές αποτελούν πρόβλημα που σίγουρα δεν πρέπει να αμελήσουμε.

Αντλώντας στοιχεία από το Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος και σύμφωνα με τις καταγραφές συμβάντων που αναρτώνται σε ετήσια βάση, ως «συμβάν» ορίζεται και καταχωρείται η πυρκαγιά με ελάχιστη έκταση τα 0,01 στρέμματα, είτε έχει λάβει χώρα σε αστική ή σε δασική έκταση.

Τα χαρακτηριστικά μιας πυρκαγιάς μπορούν να συνοψιστούν στα εξής: στο μέγεθος της πυρκαγιάς, στη διάρκειά της και γνωρίσματα της συμπεριφοράς της που είναι η ένταση και ο τύπος. Η ένταση της φωτιάς εξαρτάται από την ταχύτητα εξάπλωσης και την κατανάλωση καύσιμης ύλης, ενώ οι τύποι της πυρκαγιάς είναι οι: πυρκαγιά εδάφους πυρκαγιά επιφάνειας και επικόρυφος πυρκαγιά («*ground, surface, or crown fire*») (de Groot et al., 2013).

Το μέγεθος και η συχνότητα των πυρκαγιών μεγαλώνει όλο και περισσότερο με το πέρασμα του χρόνου. Αν αναλογιστούμε κάποιες περιπτώσεις μόνο της Ελλάδας, όπως η πυρκαγιά στο προάστιο Βαρυμπόμπη του Δήμου Αχαρνών το καλοκαίρι του 2021 που

κατέκαυσε συνολικά σχεδόν 85.000 στρέμματα και διήρκησε από τις 3/8/2021 έως τις 11/9/2021, κατανοούμε πως το φαινόμενο έχει λάβει επικίνδυνες διαστάσεις, καθώς παρόμοια περιστατικά τέτοιου μεγέθους δεν έχουν συναντηθεί στο παρελθόν. Περίπου το ίδιο διάστημα πυρκαγιά που κατέκαυσε περίπου 340.000 στρέμματα δασών και δασικών εκτάσεων και συνολικά πάνω από 500.000 στρέμματα, έλαβε χώρα στην περιοχή της Εύβοιας, ενώ στις 23/7/2018 πυρκαγιά που ξέσπασε στο Νταού Πεντέλης και επεκτάθηκε στο Μάτι και το Νέο Βουτζά προξένησε την απώλεια 103 ανθρώπων, με αυτή να κατατάσσεται στη φονικότερη αστική πυρκαγιά που έχει γνωρίσει ποτέ η Ελλάδα και στη δεύτερη φονικότερη σε παγκόσμια κλίμακα (Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας, 2018; Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας, 2021). Το 2022 επίσης, καταστράφηκε τεράστια έκταση του Εθνικού Δρυμού του δάσους της Δαδιάς.



Εικόνα 1: Καμένη έκταση στην Εύβοια, η πυρκαγιά σταμάτησε στα παράλια του Αιγαίου πελάγους. Πηγή: Northern Evia Fire 2021 (iawfonline.org)

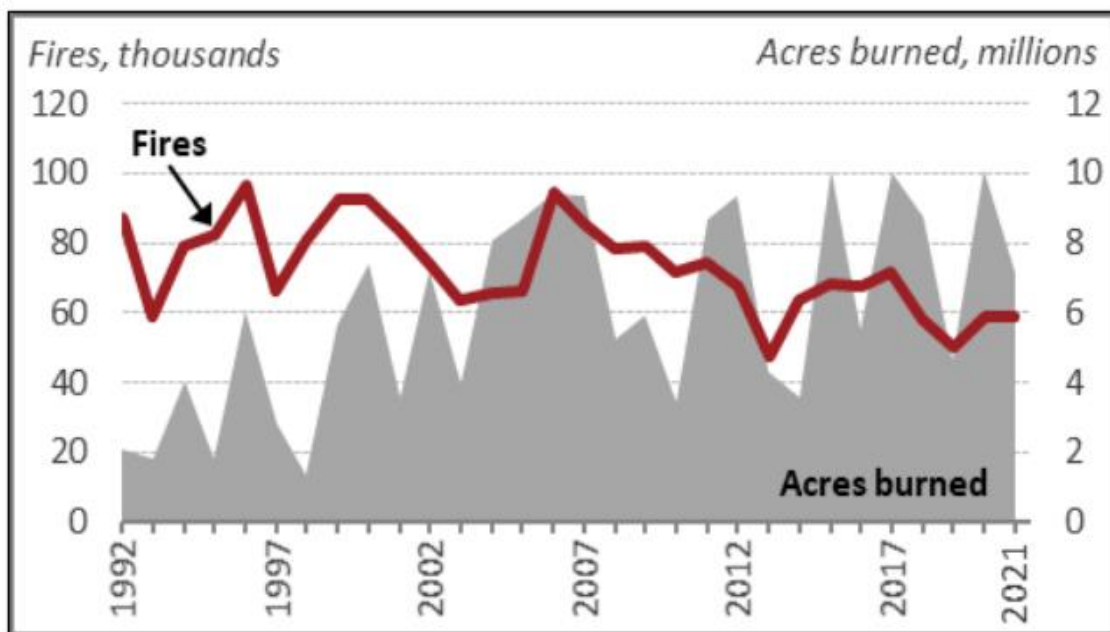
2.2 Πυρκαγιές και στοιχεία καμένων εκτάσεων

Οι πυρκαγιές αποτελούν φυσικές καταστροφές παγκόσμιας κλίμακας. Λίγες από αυτές είναι καταστροφικές, αλλά όταν αποδεικνύεται το αντίθετο, ο αντίκτυπος και οι συνέπειές τους μπορούν να αποβούν μοιραίες. Αν λάβουμε υπόψιν και το οικονομικό κόστος για την αποτροπή του φαινομένου, την αναδιάρθρωση των κατεστραμμένων περιοχών, αλλά και τις επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα, στους υδάτινους φορείς και κατ' επέκταση στην υγεία του ανθρώπου, ο συνολικός αντίκτυπος γίνεται τεράστιος (Butry, et al., 2001; Tymstra, et al., 2020; Thomaz & Pereira, 2021). Ο αντίκτυπος πέραν από περιβαλλοντικός και οικονομικός είναι και κοινωνικός (Thomaz & Pereira, 2021).

Οι πυρκαγιές είναι ένα φαινόμενο, που όπως αναφέρθηκε προκαλείται και από φυσικά αίτια, πέραν των ανθρωπογενών. Παρόλα αυτά, οι πυρκαγιές αποτελούν σημαντικό οικολογικό παράγοντα που συμβάλλει στη διατήρηση της υγείας των δασών, μέσω της αναγέννησής τους και στη διατήρηση της βιοποικιλότητας των οικοσυστημάτων (Weber & Stocks, 1998; Tymstra, et al., 2020). Η κατανόηση της σύνδεσης μεταξύ των πυρκαγιών και των κλιματικών επιρροών στον πλανήτη είναι απαραίτητη (McKenzie et al., 2004).

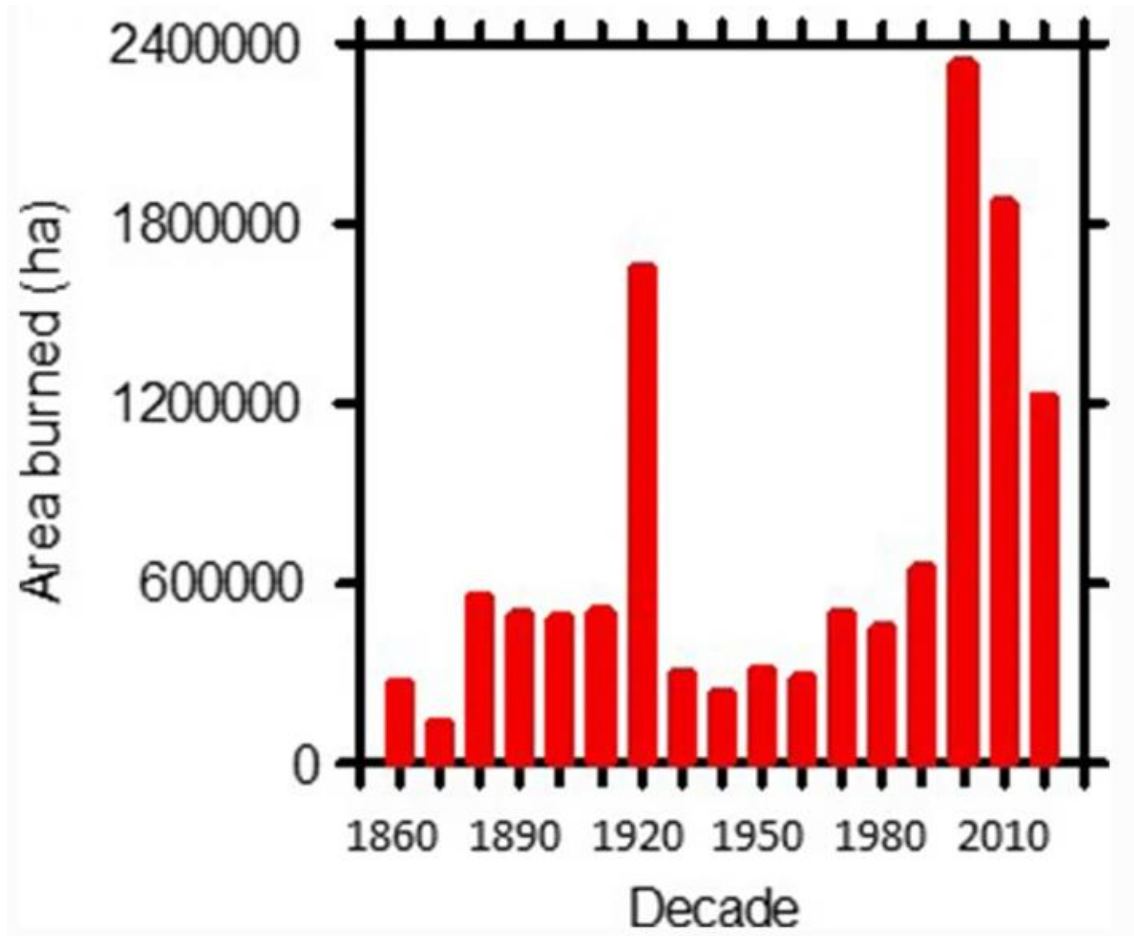
2.2.1 Στοιχεία Β. Αμερικής (ΗΠΑ και Καναδάς)

Το φαινόμενο μοιάζει να λαμβάνει επικίνδυνες διαστάσεις το τελευταίο διάστημα, ίσως γιατί παίζει το ρόλο της και η ανθρώπινη επιρροή. Στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1980, απανθρακώθηκαν περίπου 3 εκατομμύρια εκτάρια από πυρκαγιές σε ετήσια βάση. Την επόμενη δεκαετία χάθηκαν περίπου 3,6 εκατομμύρια εκτάρια, ενώ από το 2000 έως το 2010 ο μέσος όρος καμένης γης στις ΗΠΑ ανήλθε στα 6,5 εκατομμύρια εκτάρια (National Interagency Fire Center, 2012; Moeltner et al., 2013). Η τάση είναι αυξανόμενη και για την επόμενη δεκαετία, όπου από το 2012 έως το 2021 61.829 πυρκαγιές έκαψαν περίπου 7,4 εκατομμύρια εκτάρια (CRS, 2022).



Εικόνα 2: Αριθμός πυρκαγιών και καμένα εκτάρια στις ΗΠΑ. Πηγή: Congressional Research Service, 2022

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα στοιχεία που δημοσίευσαν οι Keeley και Syphard (2021), όπου αναλύουν την καμένη έκταση της Καλιφόρνια. Η παρακάτω εικόνα δείχνει την ανάλυση που προαναφέρεται, δίνοντας έμφαση στην τελευταία στήλη η οποία αντιστοιχεί σε ένα και μόνο έτος (2020).

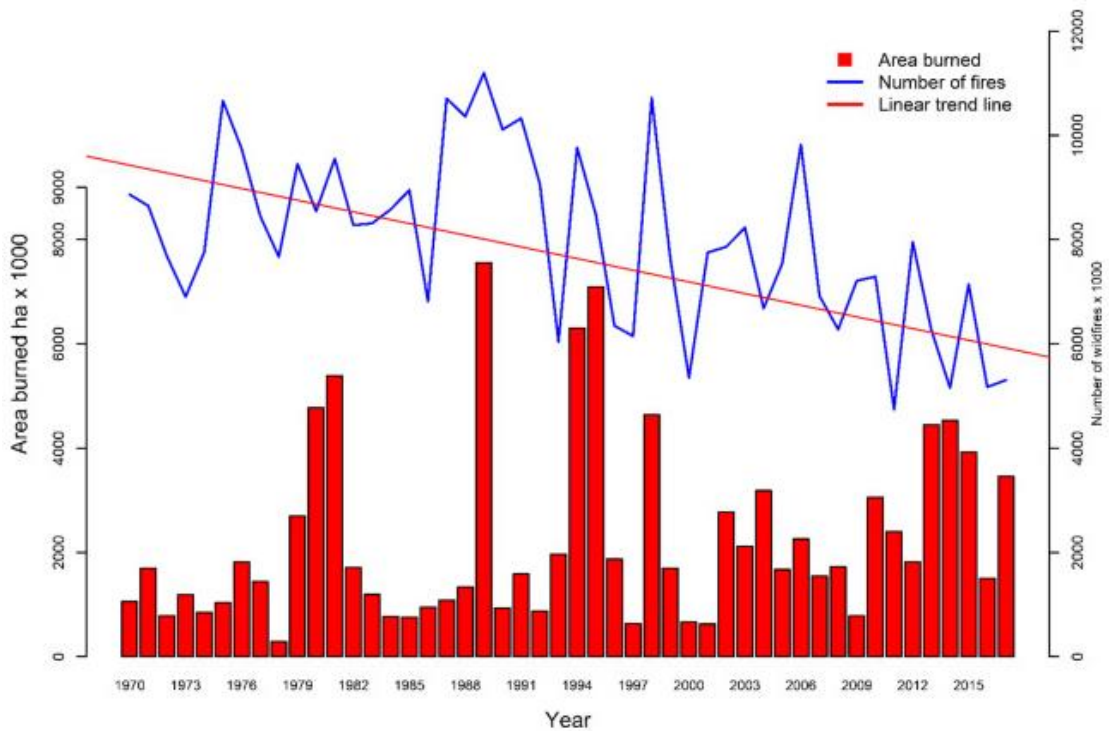


Εικόνα 3: Καμένη έκταση για την Καλιφόρνια για τις δεκαετίες από το 1860 έως το 2020. Πηγή: Keeley & Syphard, 2021

Αντλώντας στοιχεία από τη διεθνή βιβλιογραφία, παρατηρείται πως μία μείζονα ποσότητα άρθρων σχετικά τις επιπτώσεις των πυρκαγιών, επικεντρώνεται στην ευρύτερη περιοχή του Καναδά. Μεγάλο κομμάτι της χώρας αποτελείται από το λεγόμενο αρκτικό δάσος (boreal forests), μια τεράστια έκταση, που καταλαμβάνει 315 εκατομμύρια εκτάρια. Μία τέτοιων διαστάσεων έκταση είναι επιρρεπής σε πυρκαγιές και οι επιπτώσεις των πυρκαγιών μπορεί να επηρεάσουν περιοχές σε παγκόσμια κλίμακα (Weber & Stocks, 1998).

Στην ευρύτερη περιοχή του Καναδά από το 1970 ως το 2017, σημειώθηκαν κατά μέσο όρο 8000 πυρκαγιές το χρόνο, οι οποίες έκαιγαν περίπου 2,25 εκατομμύρια εκτάρια γης ετησίως. Αυτό που παρατηρείται σύμφωνα με στοιχεία των Tymstra, et al. (2020), είναι πως η συχνότητα εμφάνισης μεγάλης κλίμακας πυρκαγιών έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια (Hanes, et al., 2018). Σε μια απόπειρα διαχείρισης του φαινομένου διαπιστώθηκε ότι τα 4 κρίσιμα σημεία στα οποία πρέπει να δοθεί έμφαση όσον αφορά τη διαχείριση κινδύνου, είναι: «μείωση εμφάνισης πυρκαγιών, ετοιμότητα, απόκριση και αποκατάσταση των πληγεισών περιοχών». Λόγω ανεπαρκούς διαχείρισης και περιορισμένης ικανότητας για ανταπόκριση σε αυτά τα κρίσιμα σημεία, υπολογίζεται πως προκαλούνται κάθε χρόνο περίπου 339.000 θάνατοι παγκοσμίως λόγω έκθεσης στον καπνό (Johnston et al., 2012; Cascio, 2018).

Στην Εικόνα 4 αποτυπώνεται ο αριθμός των πυρκαγιών στον Καναδά σε σχέση με την καιγόμενη έκταση, ανά έτος. Το διάγραμμα μας δείχνει πως η συχνότητα των πυρκαγιών (κόκκινη γραμμή) τείνει να μειώνεται, αλλά αυξήθηκε ο αριθμός των καταστροφικών πυρκαγιών (large wildfires) στο σύνολό τους. Αυτός είναι και ο λόγος που οι καμένες εκτάσεις έχουν αυξηθεί.



Εικόνα 4: Αριθμός πυρκαγιών και αριθμός καιγόμενης έκτασης στον Καναδά, 1970-2017, Πηγή: Tymstra et al., 2020

Στοιχεία από τα καναδικά Βραχώδη Όρη συνδέουν την εμφάνιση πυρκαγιών με την ύπαρξη θερμότερου κλίματος (McKenzie et al., 2004). Ένα θερμότερο κλίμα και η αυξημένη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα μπορούν να δημιουργήσουν συνδυαστικά ένα καταλύτη στην αύξηση εμφάνισης πυρκαγιών. Τέλος, στο παρελθόν έχουν αναπτυχθεί και μοντέλα που προβάλλουν την πιθανή κλιματική αλλαγή που μπορεί να προκύψει από τις πυρκαγιές, όπως μηχανιστικά μοντέλα σχετικά με τη συμπεριφορά των πυρκαγιών και των επιπτώσεών τους (Keane et al., 1999; McKenzie et al., 2004) και στατιστικά μοντέλα μεγαλύτερης κλίμακας (Flannigan et al., 2001; McKenzie et al., 2004).

2.2.2 Στοιχεία Ρωσίας

Συγκρίνοντας παράλληλα δεδομένα πυρκαγιών ανάμεσα στον Καναδά και στη Ρωσία, μία χώρα στις οποίας την έκταση επίσης βρίσκεται ένας τεράστιος αριθμός δασών, αντλούνται χρήσιμα δεδομένα. Οι καταστροφικές και ανεξέλεγκτες πυρκαγιές (large wildfires) στη Ρωσία, εμφανίζονταν δέκα φορές περισσότερο από ότι στον Καναδά, ενώ οι καμένες εκτάσεις υπολογίζονται σε 3 φορές περισσότερες, με την απελευθέρωση άνθρακα να έχει διπλάσια τιμή στη Ρωσία. Παρόλα αυτά, το μέγεθος των καταστροφικών πυρκαγιών ήταν μεγαλύτερο στον Καναδά (de Groot et al., 2013).

Γενικότερα, οι πυρκαγιές στη Σιβηρία έχουν αυξηθεί κατά πολύ τα τελευταία χρόνια. Ο κίνδυνος εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα λόγω πυρκαγιών, είναι αυξημένος σε αυτές τις περιοχές, καθώς υπάρχει στο έδαφος μεγάλη ποσότητα άνθρακα, η οποία είναι δυνατό να απελευθερωθεί μέσω πυρκαγιών (Masyagina, 2021).

2.2.3 Στοιχεία Μεσογείου Θάλασσας

Η εικόνα της Μεσογείου δε διαφέρει από τις προαναφερθείσες περιοχές, καθώς πλήττεται συνεχώς από πυρκαγιές, οι οποίες επιδρούν αρνητικά στα δασικά οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα. Η Ισπανία για παράδειγμα, βίωσε το 2012 μία από τις μεγαλύτερες πυρκαγιές σε ολόκληρη την Ευρώπη για εκείνη τη χρονιά, η οποία κατέστρεψε 117,75 km² δασικής έκτασης (Quintano et al., 2019).

Σε μελέτη περίπτωσης της Ελλάδας ερευνητές μελέτησαν τις επιπτώσεις πυρκαγιών στην Πελοπόννησο το καλοκαίρι του 2007 και κάνουν λόγο για ανησυχητικές αυξήσεις των εκπομπών στην ατμόσφαιρα για αέρια όπως μονοξείδιο του άνθρακα και οξείδια του αζώτου (Roupkou et al., 2007).

Παράλληλα, σε μια άλλη χώρα της Μεσογείου, την Ιταλία, οι Carlucci et al. (2019) πρόέβησαν σε μια αποτίμηση των πυρκαγιών της χώρας από το 1961 έως το 2017.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως, στη δεκαετία του 1961 έως το 1970 σημειώθηκαν από 1.000 έως 4.000 πυρκαγιές ανά έτος, ενώ τη δεκαετία του 1980 έως το 1990 οι πυρκαγιές κάθε έτους πολλαπλασιάστηκαν, με κορύφωση το μέσο όρο των 18.000 πυρκαγιών το 1985.

Συγκεντρωτικά, για τη δεκαετία από το 2000 έως το 2009, η Ιταλία μαζί με την Ισπανία, τη Γαλλία και την Ελλάδα βίωσαν κατά μέσο όρο 57.000 πυρκαγιές κάθε χρόνο, καταστρέφοντας 430.000 ha (Carlucci et al., 2019).

2.3 Χωροχρονική κατανομή mega-πυρκαγιών – Κύρια χαρακτηριστικά και επιπτώσεις

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται μία ιστορική και χωρική κατανομή των κυριότερων πυρκαγιών (mega fires) που έπληξαν τον πλανήτη από το 1990 και έπειτα.

Πίνακας 1: Παγκόσμια χωροχρονική κατανομή mega-πυρκαγιών (mega fires)

ΑΣΙΑ			
Ημερομηνία	Ονομασία πυρκαγιάς-πληγείσα περιοχή	Καμένη έκταση	Χαρακτηριστικά
6/5/1987	Black Fire Dragon/ 1987 Daxing'anling wildfire	7.300.000 ha	Επέφερε μείωση των δασών στην Κίνα κατά 15%, τεράστια οικολογική καταστροφή (Juchun, 2002). Πέμπτη σε σειρά μεγαλύτερη πυρκαγιά από το 1800 (Leistikow et al., 2000; Ferreira-Leite et al., 2015; Xu et al., 2020a).
19/9/1989	Mt. Carmel	600 ha	Πλήρης καύση ενός δάσους με δέντρα του είδους <i>Pinus halepensis</i> . Δυνάμεις ανθρώπινου δυναμικού ενεπλάκησαν για την πυρόσβεση (Wittenberg & Inbar, 2009).
8/1997-3/1998	Σύμπλεγμα νησιών Kalimantan,	45.600 km ²	Μακράς διάρκειας πυρκαγιές που προκλήθηκαν από τη βαριά βλάστηση. Τα σωματίδια έφταναν ακόμα και τους 6

	Ινδονησία, Σουμάτρα		ΜΤon (Levine, 1999; Nakajima et al., 1999).
2/12/2010- 5/12/2010	Όρος Carmel, Israel	25000 ha	Η πυρκαγιά έκαψε 25 km ² φυσικού και αναδασωτέου δάσους, με την έκταση να αποτελεί το ένα τρίτο του εθνικού δρυμού, ενώ υπήρξαν και 44 ανθρώπινες απώλειες (Perevolotsky et al., 2011; Tessler, 2012; Ne'eman et al., 2013; Tessler et al., 2015).
4/4/2019- 8/4/2019	Gangneung, Gangwon Province, South Korea	714,8 ha	Η πυρκαγιά έπληξε μεγάλη έκταση κωνοφόρων δασών, ενώ σημειώθηκαν και 2 ανθρώπινες απώλειες και 100 εκατομμύρια δολάρια σε ζημιές (Chung et al., 2019; Hong et al., 2022).

ΕΥΡΩΠΗ			
2003	Πορτογαλία	421.835 ha	4.645 πυρκαγιές (αυξημένες κατά 32% σε σχέση με το μέσο όρο σε μια δεκαετία) έπληξαν την Πορτογαλία, καταστρέφοντας το 8,6% των δασών της χώρας (San-Miguel-Ayanz et al., 2004; Martins et al, 2012).
14/3/2003- 8/8/2003	Σιβηρία, Ρωσία	20.000.000 ha	Τεράστια ήταν η πληγείσα έκταση, με τη συνολική εκπομπή σε άνθρακα να ανέρχεται σε 400-640 Tg. (Huang et al., 2009).
2004	Πορτογαλία	129.652 ha	Για 11 συνεχόμενους μήνες η Πορτογαλία επλήγη από μακρά περίοδο ξηρασίας (Martins et al., 2012).
2005	Πορτογαλία	338.259 ha	Αυξημένες σε σχέση με το 2004 πυρκαγιές (Martins et al., 2012).
2005	Ισπανία	179.929 ha	26.261 πυρκαγιές (δεύτερος μεγαλύτερος αριθμός πυρκαγιών μετά το 1995) με 17 θύματα (EFFIS, 2005).
2007	Ουκρανία, Kherson Oblast	8.886 ha δασικών εκτάσεων	Μία εκ των μεγαλύτερων πυρκαγιών στην Ουκρανία (Mykolaichuk, 2021).
7/2010- 9/2010	Δυτική Ρωσία	300.000 ha	Μακράς διάρκειας κύμα καύσιμα κατά τη διάρκεια του 2010 αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα για την εξάπλωση των πυρκαγιών (Kononov et al., 2011; Guo et al., 2017)
2016	Πορτογαλία	161.522,5 ha	Οι δασικές πυρκαγιές ανήλθαν στις 13.261, ενώ η συνολική καμένη έκταση ήταν αυξημένη κατά 210% σε σχέση με την περασμένη δεκαετία (EFFIS, 2016).

2017	Δαλματικές ακτές Κροατίας	48.543 ha	Σύμφωνα με το EFFIS (2017), η καμένη έκταση συνολικά ήταν η δεύτερη μεγαλύτερη στην ιστορία της χώρας, μετά τις καταγραφές του 2000.
2018	Σουηδία	21.605 ha	Η χειρότερη χρονιά όσον αφορά τις πυρκαγιές στην Ιστορία της Σουηδίας (EFFIS, 2018).
2019	Ισπανία, Κανάριοι νήσοι	66.406 ha	Η δεύτερη σε σειρά πληγείσα χώρα μετά τη Ρουμανία. Η μεγαλύτερη πυρκαγιά της χρονιάς σημειώθηκε στο νησί Gran Canaria, όπου κάηκαν 9000 ha (EFFIS, 2019).
2020	Τουρκία	99.857 ha	Η χειρότερη χρονιά για την Τουρκία μετά το 2016 (EFFIS, 2020).

ΑΜΕΡΙΚΗ			
1998	Φλόριντα	205.000 ha	2.277 πυρκαγιές κατέστρεψαν ή προκάλεσαν ζημιές σε 337 σπίτια, με το κόστος των πυρκαγιών να ανήλθε στα 880 εκατομμύρια δολάρια (CDC, 1999; Diaz, 2012).
18/6/2002 και 20/6/2002	Rodeo–Chediski Fire	460.000 acres	Η πυρκαγιά στο Rodeo προκλήθηκε από ένα πυροσβέστη από το Fort Apache Indian Affairs ο οποίος συνελήφθη, ενώ η πυρκαγιά στο Chediski από μία γυναίκα η οποία είχε χαθεί και ζητούσε βοήθεια. 32.000 κάτοικοι εκκένωσαν τα σπίτια τους ενώ καταστράφηκαν ολοσχερώς 500 κτίρια (Carroll et al., 2005).
8/6/2002	Hayman Fire	55.000 ha	Η πυρκαγιά προξένησε το θάνατο 5 πυροσβεστών. Η πυρκαγιά ξεκίνησε στις 8/6/2002 και στις 9/6/2002, ήταν ανεξέλεγκτη (Graham, 2003).
2002	Florence/Sour Biscuit Complex Fire	460.000 acres	Η μεγαλύτερη πυρκαγιά στην ιστορία της πολιτείας του Όρεγκον (Azuma, 2004).
25/10/2003	Cedar Fire-San Diego County, California	1100 km ²	Προκλήθηκε από ένα κυνηγό ο οποίος είχε χαθεί. Η αποτίμηση: 14 θάνατοι και 2.232 κατεστραμμένες κατοικίες (Blackwell, & Tuttle, 2003; Larsen et al., 2011).
2004	Taylor Complex Fires, Alaska	528.400 ha	6 χτυπήματα κεραυνών αποτέλεσαν το έναυσμα για τις πυρκαγιές στην Αλάσκα το 2004 (Hammond et al., 2019).

2007	Milford Flat Fire	146.000 ha	Η μεγαλύτερη πυρκαγιά στην ιστορία της πολιτείας της Utah (Miller et al., 2012).
16,17/7/2007	Murphy Wildland Fire Complex	650.000 acres	Οι πυρκαγιές προκλήθηκαν από κεραυνούς στις 16 και 17 Ιουλίου του 2007 και μαίνονταν για 2 εβδομάδες (Launchbaugh et al., 2008).
20/10/2007	October 2007 California wildfires	<500.000 acres	Μια σειρά πυρκαγιών στη νότια Καλιφόρνια, που σαν αποτέλεσμα είχαν τη μεγαλύτερη εκκένωση πληθυσμού στην ιστορία της (Verma et al., 2009).
20,21/6/2008	2008 California wildfires	630.000 ha	Μία σειρά από χιλιάδες πυρκαγιές που προκλήθηκαν από κεραυνούς (Reid et al., 2016β).
15/5/2011	Richardson Backcountry Fire-Alberta, Canada	700.000 ha	Η δεύτερη μεγαλύτερη πυρκαγιά στην ιστορία της Αλμπέρτα (Bytnerowicz et al., 2016).
29/5/2011	Wallow Fire-Arizona	217.741 ha	Η μεγαλύτερη πυρκαγιά στην ιστορία της Αριζόνα, προκλήθηκε από ανθρώπινο παράγοντα (Waltz et al., 2014).
2011	Texas Wildfires 2011	3.800.000 acres	23.835 πυρκαγιές κατέστρεψαν 2.763 σπίτια, καθιστώντας το 2011 τη χειρότερη χρονιά από άποψη πυρκαγιών για την πολιτεία του Τέξας (Combs, 2012).
2012	Whitewater–Baldy complex Fire	120.000 ha	Από τις μεγαλύτερες πυρκαγιές στην ιστορία της πολιτείας του Ν. Μεξικού (Tillery & Rengers, 2020).
17/8/2013	Rim Fire, California	104.000 ha	Αιτία της πυρκαγιάς μια παράνομη φωτιά σε κατασκήνωση στο Εθνικό Δάσος Stanislaus της Sierra Nevada. Αποτέλεσε μία από τις σοβαρότερες σε έκταση, ένταση και σφοδρότητα πυρκαγιές (Peterson et al., 2015).
14/7/2014	Carlton Complex Wildfire, Washington State	256.108 acres	Στις 14/7/2014 προκλήθηκαν 4 πυρκαγιές από χτυπήματα κεραυνών («Cougar Flat», «French Creek», «Gold Hike» και «Stokes fires», η ένωση των οποίων αποτέλεσε στις 20/7/2014 την πυρκαγιά «Carlton Complex», τη μεγαλύτερη στην ιστορία της πολιτείας (Chauhan & Hughes, 2017).
2014	Northwest Territories Fire, Canada	3.400.000 ha	Η πιο δριμύς πυρκαγιά στην ιστορία της περιοχής, με πιο πιθανή αιτία πρόκλησης, τους κεραυνούς (Gaboriau et al., 2020; Kochtubajda et al., 2019). Οι

			επιπτώσεις ήταν πολλές, ανάμεσα σε αυτές η απελευθέρωση 164 Tg άνθρακα (Kochtubajda et al., 2019; Veraverbeke et al., 2017) και η 42% αύξηση σε εισαγωγές σε νοσοκομεία για αναπνευστικά επεισόδια, σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά (Howard et al., 2017; Kochtubajda et al., 2019).
1/5/2016	Fort McMurray wildfire, Canada	589,995 ha	Η πυρκαγιά προκάλεσε τη μεγαλύτερη εκκένωση στην ιστορία του Καναδά λόγω πυρκαγιάς, όπου 88.000 κάτοικοι εγκατέλειψαν τα σπίτια τους. Πρόκειται για την πιο δαπανηρή φυσική καταστροφή στην ιστορία του Καναδά (Mamuji & Rozdilsky, 2019).
2017	British Columbia, Canada	1.200.000 ha	Η μεγαλύτερη σε έκταση περιοχή που έχει καεί ποτέ στην περιοχή μέσα σε ένα έτος. Αυτό το πρωτοφανές φαινόμενο αποδίδεται σε ανθρωπογενή αίτια που οδηγούν στην κλιματική αλλαγή (Healy et al., 2019; Kirchmeier-Young et al., 2019), με 65.000 ανθρώπους να αναγκάζονται να εγκαταλείψουν τις κατοικίες τους και παράλληλα τα έξοδα μόνο για την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς να ανέρχονται στα 568 εκατομμύρια δολάρια Καναδά, χωρίς να συνυπολογίζονται άλλα κόστη όπως νοσοκομειακή περίθαλψη κλπ. (Devisscher et al., 2021).
2017	Montana wildfires	1.276.456 acres	Τα έξοδα για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών ανήλθαν στα 390 εκατομμύρια δολάρια (Sage & Nickerson, 2017).
4/12/2017	Thomas Fire, California	114.000 ha	Πυρκαγιά στη Ν. Καλιφόρνια, που τέθηκε σε έλεγχο ένα περίπου μήνα μετά, στις 12/1/2018. Ο απολογισμός της ήταν 2 ανθρώπινες απώλειες και 207 εκατομμύρια δολάρια σε έξοδα (Magnoli, 2018; Addison & Oommen, 2020).
2018	British Columbia, Canada	1.350.000 ha	Η μεγαλύτερη καταστροφή από πυρκαγιά στη Βρετανική Κολομβία, ξεπέρασε σε έκταση τις πυρκαγιές του προηγούμενου έτους στην περιοχή (Devisscher et al., 2021).

2018	Mendocino Complex Fire, California	185.800 ha	Η πυρκαγιά έκαυσε για 3 μήνες, η καμένη έκταση στο Εθνικό Δάσος του Mendocino ήταν ίδια σε έκταση με την πόλη του Λος Άντζελες (Tentoglou et al., 2021)
23/7/2018	Carr Fire	92.936 ha	Η πυρκαγιά προκλήθηκε από βλάβη σε κάποιο μηχανοκίνητο όχημα, καταστρέφοντας 1.079 κατοικίες (Lareau et al., 2018).
8/11/2018	Camp Fire	62.000 ha	Μετά τον περιορισμό της πυρκαγιάς στις 25/11/2018, η τελευταία είχε καταστρέψει ολοκληρωτικά 19.000 περίπου κτίρια, γεγονός που την καθιστά την πιο καταστροφική πυρκαγιά στην ιστορία της Καλιφόρνια (Brewer & Clements, 2019; Rooney et al., 2020).
8/2020	August Complex Fire, California	1.032.648 acres	Η αιτία ήταν κεραυνός, ενώ καταστράφηκαν 935 κτίρια (Calfire, n.d.). Η μεγαλύτερη στην ιστορία της Καλιφόρνια.
2020	Oregon Wildfires	1.000.000 acres	Τουλάχιστον 11 θάνατοι σημειώθηκαν εκείνη την περίοδο, ενώ 4.000 σπίτια καταστράφηκαν και 40.000 εκκενώθηκαν (Hines et al, 2021).
2020	California Wildfires	1.800.000 ha	Οι πυρκαγιές του 2018 ήταν οι μεγαλύτερες που υπήρξαν ποτέ, με αυτές του 2020 κατόρθωσαν να τις ξεπεράσουν. Επρόκειτο για διαφορετικές και πολλές πυρκαγιές τη σεζόν του 2020, που έτυχε να ενωθούν δημιουργώντας τις λεγόμενες mega-fires (Keeley & Syphard, 2021).

ΩΚΕΑΝΙΑ			
2001-2002	Black Christmas bushfires, New South Wales, Australia	650.000 ha	Τα έξοδα ανήλθαν στα 217 εκατομμύρια δολάρια για την αντιμετώπιση της φωτιάς και άλλα 80 που δόθηκαν σε ασφάλειες, με 121 σπίτια να καταστρέφονται ολοκληρωτικά και 360 άνθρωποι να μένουν άστεγοι (Coghlan, 2004).
18/1/2003	Canberra firestorm	160.000 ha	Μία πρωτοφανής «καταιγίδα» που οδήγησε στο θάνατο 4 ανθρώπων και στην καταστροφή 488 σπιτιών. Επίσης, 5.000 άτομα αναγκάστηκαν να εκκενώσουν τις εστίες τους (Winkworth et al., 2009).

2/2009	Black Saturday bushfires, Victoria, Australia	400.000 ha	Από τις πιο θανατηφόρες πυρκαγιές με 173 θανάτους και 3.500 κατοικίες κατεστραμμένες ή που είχαν υποστεί ζημιές (Bryant et al., 2014).
2019/2020	Black Summer bushfires	10.173.000 ha	Αυτά τα περιστατικά αφορούν πυρκαγιές που έλαβαν χώρα σε διάφορες περιοχές στην Αυστραλία (Morgan et al., 2020). Οι θάνατοι ανήλθαν στους 33, ενώ χάθηκαν 3.100 σπίτια. Η δασική έκταση που καταστράφηκε ήταν 8.341.000 ha, ενώ η συνολική καμένη έκταση ήταν 10.173.000 ha (Davey & Sarre, 2020).

Αν και το ιστορικό που καταγράφεται στην παρούσα εργασία ξεκινά από τις αρχές του 1990 και μετά, θεωρήθηκε απαραίτητη η συμπερίληψη της πυρκαγιάς Black Fire Dragon στην Κίνα το 1987. Ιστορικό σημαντικών πυρκαγιών υπάρχει και μετά από το 2019, αλλά δεν υπήρχε η αντίστοιχη βιβλιογραφία το διάστημα που συντασσόταν η παρούσα εργασία, ενώ δεν είχαν εκδοθεί ακόμα επίσημα στοιχεία από το EFFIS για το 2021, καθώς αυτά επεξεργάζονται την επόμενη χρονιά, ήτοι το 2022, το διάστημα που συντάχθηκε η παρούσα εργασία.

Αξιόλογο είναι πως από το 2019 έως το 2020 η συνολική δασική καμένη έκταση ανήλθε στα 8.341.000 ha για την Αυστραλία. Παρατηρείται επίσης, πως με το πέρασμα του χρόνου και ειδικότερα για τις περιοχές της Β. Αμερικής, η συχνότητα και το μέγεθος των πυρκαγιών διογκώνεται. Όσο πιο πρόσφατες είναι οι πυρκαγιές, τόσο μεγαλύτερο το μέγεθος και ο αντίκτυπός τους.

Θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν σε αυτό το σημείο, οι θάνατοι κάθε χώρας σε παγκόσμιο επίπεδο, μέσω της πλατφόρμας “Our World in Data”. Τα τελευταία δεδομένα έδιναν το 2019 7,54 θανάτους λόγω φωτιάς ανά 100.000 άτομα στη Ζιμπάμπουε της Αφρικής. Επίσης, παρατηρείται πως οι θάνατοι σε παγκόσμια κλίμακα, για κάθε χώρα

σχεδόν, έχουν μειωθεί από το 1990, όπου ξεκίνησε η καταγραφή των δεδομένων, έως το 2019. Παράδειγμα αποτελούν ο Καναδάς και οι Η.Π.Α. Το 1990 στον Καναδά σημειώθηκαν 1,59 θάνατοι ανά 100.000 άτομα, ενώ το 2019 μειώθηκαν στους 0,6. Αντίστοιχα, στις Η.Π.Α., 1,99 θάνατοι ανά 100.000 πληθυσμού το 1990, υποδιπλασιάστηκαν σε 0,82 το 2019.



Εικόνα 5: Πυρκαγιά Hayman, Βραχώδη Όρη, 2002. Πηγή: Graham, 2003

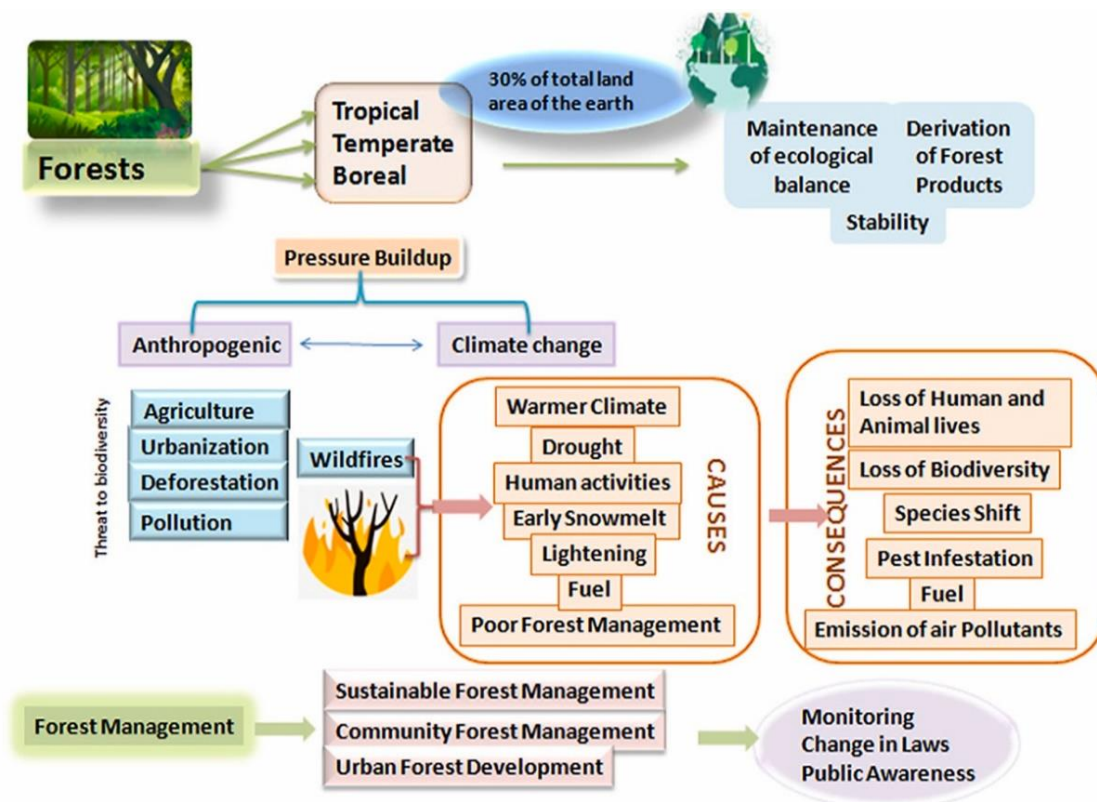
Πίνακας 2: Χωροχρονική κατανομή πυρκαγιών στην Ελλάδα

ΕΛΛΑΔΑ			
Ημερομηνία	Ονομασία πυρκαγιάς-πληγείσα περιοχή	Καμένη έκταση	Χαρακτηριστικά
1998	Πεντέλη, Αττική	110.000 ha	Δασική έκταση που επλήγη στο όρος της Πεντέλης, κοντά στην Αθήνα (Goudelis et al., 2007).
2000	Σάμος, Κορινθία		Αθροιστικά οι συνολικές καμένες εκτάσεις στην Ελλάδα ξεπέρασαν τα 150.000 ha. Από τις κυριότερες καταγραφές του Πυροσβεστικού Σώματος της Ελλάδας το 2000, στην περιοχή της Κορινθίας στις 12/7/2000 κάηκαν 200.000 στρέμματα γης συνολικά, ενώ στη Σάμο στις 5/4/2000 κάηκαν 3.000 στρέμματα γης (Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας, 2000).
2007	Όρος Πάρνηθα, Ηλεία, Εύβοια	2700 km ²	Οι πυρκαγιές κατέστρεψαν από τις μεγαλύτερες εκτάσεις που έχουν σημειωθεί στην Ελλάδα, ενώ σκοτώθηκαν και 84 άτομα (Liu et al, 2009). Στο νομό Ηλείας σημειώθηκαν εκείνη τη χρονιά περισσότερα από 600 περιστατικά, με σημαντικότερο την πυρκαγιά στο Παλαιοχώρι Ζαχάρω, όπου καταστράφηκαν 400.000 στρέμματα στις 24/8/2007 και το Δήμο Ανδρίτσαινας, όπου κάηκαν 220.000 στρέμματα, επίσης στις 24/8/2007.
3/9/2009	Σέσι, Νομός Αττικής	175.000 στρέμματα	Καταστράφηκαν 175.000 στρέμματα, σύμφωνα με την καταγραφή από το Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας (2009).
23/7/2018	Νταού Πεντέλης, Μάτι		Οι περισσότεροι θάνατοι από πυρκαγιά στην Ελλάδα (103). Οι πολλοί θάνατοι οφείλονταν πιθανώς σε δύο αίτια: τον ανεπαρκή πολεοδομικό σχεδιασμό και την μη ταχεία επέμβαση των ομάδων άμεσης βοήθειας.
3/8/2021	Βαρυμπόμπη, Δήμος Αχαρνών	85.000 στρέμματα	

3/8/2021	Δήμος Μαντουδίου- Λίμνης-Αγίας Άννας, Εύβοια	511.852 στρέμματα	Μεγάλης έκτασης και διάρκειας πυρκαγιά, από τις χειρότερες που έχει βιώσει η Ελλάδα.
----------	---	----------------------	--

3. ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Οι αλλαγές και οι επιπτώσεις που έχει δεχτεί ο πλανήτης το τελευταίο διάστημα παγκοσμίως εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής είναι πολλές. Μία από αυτές τις επιπτώσεις που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή, είναι η έξαρση των πυρκαγιών, που μπορεί να αποβούν καταστροφικές (Xu et al., 2020β). Η καύσιμη ύλη, το οξυγόνο και η πηγή που μπορεί να προκαλέσει μία πυρκαγιά, είναι τρεις παράγοντες κλειδιά για την πρόκληση μίας ανεξέλεγκτης πυρκαγιάς, σύμφωνα με τους Xu et al. (2020β). Με την κλιματική αλλαγή που προκαλεί εντονότερες συνθήκες ξηρασίας και ανομβρίας, οι παράγοντες αυτοί αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης πυρκαγιάς, ολοένα και περισσότερο.



Εικόνα 6: Πυρκαγιές (Αίτια, επιπτώσεις), Πηγή: Mansoor et al., 2022

Η παραπάνω εικόνα (Εικ. 6) που αντλήθηκε από τη μελέτη των Mansoor et al. (2022), εμφανίζει συγκεντρωτικά τις επιπτώσεις και τα αίτια των πυρκαγιών, ένα από τα οποία είναι και η κλιματική αλλαγή.

Σύμφωνα με την εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Λαρούς Μπριτάνικα (1996), οι μετεωρολόγοι μιλούν για μεταβολή του κλίματος όταν μια σειρά καιρικών παραμέτρων κινείται κατά μία διεύθυνση για αρκετό χρόνο και αποτελεσματικά, ώστε να τροποποιήσει άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Σύμφωνα με άλλες πηγές, ο όρος της κλιματικής αλλαγής έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την επιστημονική κοινότητα, κυρίως από το 19^ο αιώνα και έπειτα, με τη λέξη «αλλαγή» να δίνει έμφαση στην μεταβολή που έχει προκληθεί στο κλίμα μέσω της ανθρώπινης παρέμβασης (Moser & Dilling, 2004; Lorenzoni et al., 2007; Rahman, 2013). Παρόλα αυτά, η Werndl (2020) αναφέρει πως δεν υπάρχει κάποιο ξεκάθαρο πεδίο για το τι περιλαμβάνει ο όρος «κλιματική αλλαγή», καθώς είναι πολύπλοκος, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ομόφωνη γνώμη.

Οι Mansoor et al. (2022) αναφέρουν χαρακτηριστικά πως «η κύρια αιτία των πυρκαγιών παγκοσμίως είναι το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη και η κλιματική αλλαγή». Στη μελέτη περίπτωσης των Vilà-Villardell et al. (2020) εξετάζεται η αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης πυρκαγιών λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η μελέτη διεξήχθη σε δάση μπλε πεύκης (*Pinus wallichiana*) στο Μπουτάν, προσομοιώνοντας 4 σενάρια, τα οποία έδειξαν διπλάσια αύξηση αναφορικά με τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς στο μέλλον.

Οι Bo et al (2020) μελέτησαν τις επιπτώσεις που είχε μία πυρκαγιά στις ιταλικές Άλπεις το 2017, καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως η κλιματική αλλαγή μπορεί άμεσα

και έμμεσα να προκαλέσει προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου, όπως υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα μέσω του καπνού κ.α.

Πάντως, τα συμπεράσματα και οι απόψεις των ειδικών δεν είναι ευοίωνα, καθώς είναι πιθανό οι πυρκαγιές του 2020 και του 2021, σε παγκόσμιο επίπεδο να εμφανίζονται πολύ συχνότερα και σε μεγαλύτερο βαθμό, λόγω της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη (Coop et al., 2022).

Ένας δείκτης που μπορεί να δείξει τη σύνδεση σε κλιματική αλλαγή και πυρκαγιές είναι η συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών μεγαλύτερων των 200 εκταρίων, ενώ αναφέρεται επίσης πως η υγρασία είναι ένας κύριος παράγοντας που επηρεάζεται από την κλιματική αλλαγή και στη συνέχεια, επηρεάζει τη συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών. Υψηλή υγρασία ευνοεί την ανάπτυξη και αύξηση της καύσιμης ύλης, ενώ χαμηλή υγρασία ευνοεί την καύση της (Westerling & Bryant, 2008). Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4, μία από τις αιτίες των πυρκαγιών είναι η ξηρασία, σύμφωνα και με όσα προαναφέρθηκαν.

Επιπλέον, θα πρέπει να σταθούμε και στον ανθρώπινο παράγοντα, καθώς ο άνθρωπος είναι ο κύριος παράγοντας αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της γης, κυρίως μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων (Jacobsen et al., 2022; Jeffrey et al., 2021).

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η αναζήτηση και αποδελτίωση της βιβλιογραφίας, πραγματοποιήθηκε με σκοπό τέτοιο ώστε να συμπεριληφθεί το σύνολο των ερευνών και δημοσιευμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο. Η στρατηγική που ακολουθήθηκε, συμπεριέλαβε ποικίλες βάσεις δεδομένων, με τη βιβλιογραφία που συμπεριελήφθη, να χρονολογείται έως τις αρχές του 2022.

Τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, ήταν πολύ συγκεκριμένα. Ελήφθησαν υπόψη εργασίες που περιλάμβαναν επιστημονικά δεδομένα, σχετικά με τις επιπτώσεις των πυρκαγιών, κυρίως στους τομείς της υγείας και της οικονομίας. Πιο ειδικά, βρέθηκαν 84 επιστημονικά άρθρα σχετικά με τη σύσταση του καπνού των πυρκαγιών και τις επιπτώσεις του, εκ των οποίων τα 14 αποτελούν μελέτες αναφορικά με το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και 11 με το καρδιαγγειακό. Τα υπόλοιπα άρθρα αναφέρονται στις επιπτώσεις των πυρκαγιών και του καπνού σε ένα γενικότερο πλαίσιο.

Το μεγαλύτερο πλήθος των ερευνών αφορούσαν την ήπειρο της Αμερικής (Η.Π.Α. και Καναδά), αλλά και την Αυστραλία και τη Ρωσία. Αρκετές έρευνες αποτελούσαν μελέτες περίπτωσης, οι οποίες ήταν πολυετείς. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε και η βάση δεδομένων του EFFIS (European Forest Fire Information System), αναφορικά με το ιστορικό των πυρκαγιών που έπληξαν την Ευρώπη.

Αναφορικά με το κεφάλαιο με τις οικονομικές επιπτώσεις, διαπιστώνεται πως οι έρευνες δεν είναι αρκετές, ώστε να καλύπτουν το συνολικό φάσμα και να αποδώσουν μια ξεκάθαρη εικόνα. Επιπλέον, αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνταξη της παρούσης εργασίας, δε συμπεριελάμβαναν όλους εκείνους τους παράγοντες που επηρεάζουν οικονομικά, πριν ή έπειτα από μία πυρκαγιά.

Τέλος, για την περίπτωση της Ελλάδας, το πλήθος των ερευνών που σχετίζονται με τις επιπτώσεις στην υγεία και στην οικονομία είναι ιδιαίτερα χαμηλό, με αποτέλεσμα να μη βρεθούν σχετιζόμενα άρθρα.

5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Το σκηνικό στο περιβάλλον αλλάζει δραματικά χρόνο με το χρόνο λόγω των πυρκαγιών. Από τη σχετική βιβλιογραφία μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως οι πυρκαγιές επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό 3 τομείς-κλειδιά, εξίσου σημαντικούς: το έδαφος, το νερό και τον αέρα, με αυτά τα στοιχεία να είναι αλληλένδετα μεταξύ τους.

Στον πρώτο τομέα, το έδαφος, μεγάλο τμήμα της βλάστησης των δασών χάνεται από τις πυρκαγιές. Τα υγιή δέντρα και οι ρίζες τους βοηθούν στην απορρόφηση της υγρασίας που καταλήγει από τις βροχές στο έδαφος. Έπειτα όμως από μια πυρκαγιά το νερό δεν καταλήγει κάπου. Παραμένοντας στο έδαφος, σχηματίζει χειμάρρους και ποταμούς κουβαλώντας ιζήματα και λάσπη, ανεμπόδιστα (Letey, 2001). Μηδενικός πληθυσμός δέντρων σημαίνει αυτομάτως και περισσότερο χιόνι στο έδαφος κατά τους χειμερινούς μήνες.

Ο δεύτερος τομέας που επηρεάζουν οι πυρκαγιές είναι το νερό. Με τις κατολισθήσεις και τη μετακίνηση τόνων ιζήματος και λάσπης που προκαλούνται από τις πυρκαγιές, επηρεάζεται η ποιότητα του νερού. Στο νερό εντοπίζονται στοιχεία όπως άζωτο σε μεγάλες συγκεντρώσεις, ιζήματα και οργανικές ουσίες. Αποτέλεσμα είναι δυσμενείς συνέπειες στα υδρόβια είδη ζώων και κατ' επέκταση στον άνθρωπο, θέτοντας προκλήσεις για το νερό προς πόση (όπως μεθαιμοσφαιριναιμία στα βρέφη) (Gustine et al., 2022).

Το τρίτο στοιχείο που πλήττεται από τις ανεξέλεγκτες φωτιές είναι ο αέρας (Jaffe et al., 2020). Τα δέντρα χρησιμοποιώντας το CO₂ της ατμόσφαιρας, παράγουν οξυγόνο μέσω της φωτοσύνθεσης. Τα δέντρα αποτελούν ένα φυσικό «φίλτρο». Χωρίς αυτά, η θερμοκρασία αυξάνεται, που είναι και η αιτία που εξαρχής προκαλεί την έξαρση πυρκαγιών (Xu et al., 2020β). Οι πυρκαγιές αποτελούν συνήθως ένα απαραίτητο κομμάτι

στον κύκλο της αναγέννησης, αλλά καθώς αυξάνεται η συχνότητα και δριμύτητά τους, το μακροπρόθεσμο τίμημα παραμένει ένα γκρίζο τοπίο.

Οφείλουμε να τονίσουμε πως έπειτα από την εμφάνιση μιας πυρκαγιάς, παρατηρείται το φαινόμενο της απελευθέρωσης άνθρακα, ο οποίος βρισκόταν παγιδευμένος στο έδαφος. Η απελευθέρωση διοξειδίου άνθρακα είναι μια τιμή που μεταβάλλεται ανάλογα με το χρόνο που έχει παρέλθει από την πυρκαγιά (Masyagina, 2021). Όμως, το πρόβλημα δε σταματά εκεί. Οι επιπτώσεις δεν απαντώνται αποκλειστικά στην ατμόσφαιρα. Ο άνθρακας εάν δεν απελευθερωνόταν στην ατμόσφαιρα μέσω μιας πυρκαγιάς, θα παρέμενε στο έδαφος, αποτελώντας ένα στοιχείο χρήσιμο για τη μικροχλωρίδα του εδάφους, αλλά τώρα απομακρύνεται από αυτό με αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητάς του, ως θρεπτικό συστατικό των ζωντανών οργανισμών. (Masyagina, 2021; Abakumov et al., 2020). Μέχρι σήμερα, δεν έχουν διευκρινιστεί οι ακριβείς επιπτώσεις της απώλειας άνθρακα στο έδαφος των δασών.

Επίσης, οι επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς δεν είναι ίδιες από περιοχή σε περιοχή. Οφείλουμε να λάβουμε υπόψη τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά ενός τόπου ή ενός δάσους. Για παράδειγμα η αντίσταση στην πυρκαγιά που εμφανίζουν τα κωνοφόρα δάση της Ευρασίας σε σχέση με τα κωνοφόρα δάση της Β. Αμερικής είναι διαφορετική. Τα δάση της Ευρασίας με προσδόκιμο ζωής τα 400 έως 600 χρόνια έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα επιβίωσης σε μια πυρκαγιά από ότι τα κωνοφόρα δάση της Βόρειας Αμερικής με προσδόκιμο ζωής 250 έως 350 χρόνια μικρότερο (de Groot et al., 2013).

Όπως σε μια ασθένεια το καλύτερο όπλο στη φαρέτρα μας είναι οι τρόποι με τους οποίους την προλαμβάνουμε, το ίδιο ισχύει και με την πυρκαγιά. Πολύ σημαντικότερη από την καταστολή μιας πυρκαγιάς, είναι η πρόληψη (Thomaz & Pereira, 2021). Εάν δινόταν η κατάλληλη βαρύτητα σε τομείς όπως η εκπαίδευση, πολιτική και διαχείριση

(είτε με κατάλληλες διαμορφώσεις του τοπίου ή πρακτικές όπως οι σχεδιασμένες πυρκαγιές), οι κυβερνήσεις θα είχαν να αντιμετωπίσουν πολλοί λιγότερες πυρκαγιές στον ίδιο χρόνο.

Οι Ruffault et al. (2018) συνδέουν φαινόμενα ξηρασίας που παρατηρήθηκαν στην περιοχή της βόρειας Μεσογείου με πυρκαγιές. Πιο συγκεκριμένα, παρατήρησαν πως φωτιές που ξέσπασαν στην περιοχή της Γαλλίας που βρέχεται από τη Μεσόγειο, προκάλεσαν μια καυτή ξηρασία μαζί με ένα κύμα καύσωνα το 2003, ενώ το 2016 μια μακράς διάρκειας ξηρασία προξένησε πυρκαγιές που επεκτάθηκαν σε συνδυασμό με ισχυρούς ανέμους.

5.1 Σύσταση καπνού

Οι πυρκαγιές αποτελούν κύριο παράγοντα που συμβάλλει στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Ο καπνός των πυρκαγιών είναι ο παράγοντας που συμβάλλει στη ρύπανση της ατμόσφαιρας λόγω των ρύπων που περιέχει προκαλώντας και τις ανάλογες δυσμενείς συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου.

Ο Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (Environmental Protection Agency, EPA) έχοντας κατοχυρώσει εθνικά πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος αέρα (The U.S. National Ambient Air Quality Standards, NAAQS), θέτει όρια για 6 ρυπαντές (σωματίδια της ατμόσφαιρας, όζον, μόλυβδος, διοξείδιο του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου) που προκαλούν όξινη βροχή και αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, εάν βρεθούν πάνω από τα θεσπισμένα όρια, σύμφωνα με την Πράξη για Καθαρό Αέρα (Clean Air Act), που αποτελεί ομοσπονδιακό νόμο από το 1963, με σκοπό να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση παγκοσμίως. Κάποια από τα προαναφερθέντα συναντώνται στον καπνό της φωτιάς, αλλά δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά η επίπτωση

αυτών στην υγεία, κυρίως μακροπρόθεσμα, με τα πρώτα βήματα να πραγματοποιούνται την τελευταία δεκαετία (Cascio, 2018).

Οι Adetona et al. (2016) αναφέρουν πως «ο καπνός των πυρκαγιών είναι ένα σύνθετο μείγμα το οποίο περιέχει εκατοντάδες στοιχεία ή ενώσεις σε σωματιδιακή και αέρια φάση, ενώ η σύνθεσή του διαφέρει χωρικά και χρονικά αναλόγως με τις συνθήκες καύσης (ειδικά από τις σχετικές ποσότητες καύσης)» (σ. 96), ενώ οι Chen et al. (2021) σημειώνουν πως ο καπνός είναι ένα μείγμα από σωματίδια PM, μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου και πτητικές ή ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις.

Η σύσταση του καπνού των πυρκαγιών αναλύεται μέσω της σχετικής βιβλιογραφίας. Σύμφωνα με αυτήν, το 95% των οργανικών ενώσεων του καπνού είναι το μεθάνιο, το μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (Urbanski, 2014; Adetona et al., 2016). Σύμφωνα με τους Naeher et al. (2007) οι κυριότερες και πιο επιβλαβείς ενώσεις (στις οποίες επικεντρωνόμαστε στην παρούσα εργασία) που έχουν βρεθεί στον καπνό των πυρκαγιών είναι ανόργανα αέρια, οξυγονωμένοι και μη οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες, ιχνοστοιχεία και σωματίδια PM. Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνονται τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν, μαζί με τα όρια των συγκεντρώσεων μέχρι τα οποία θα μπορούσε να εκτεθεί κάποιος:

Πίνακας 3: Συστατικά στοιχεία καπνού πυρκαγιών. Πηγή: Adetona et al., 2016

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ-ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΚΑΤΩΤΑΤΟ ΟΡΙΟ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΥΡΥ ΚΟΙΝΟ
PM _{3,5/4}	
PM _{2,5}	35 ppm
Μονοξείδιο του άνθρακα	9 ppm
Διοξείδιο του αζώτου	100 ppb (200 µg/m ³), έκθεση για 1 ώρα)
Διοξείδιο του θείου	0,04 ppm (125 µg/m ³)
Όζον	0,075 ppm
Προπενάλη	0,00015 ppm

Φορμαλδεΐδη	
Βενζόλιο (κυκλικός υδρ/κας)	0,0028 ppm
Τολουόλιο (κυκλικός υδρ/κας)	0,08 ppm
Ξυλένιο	0,16 ppm

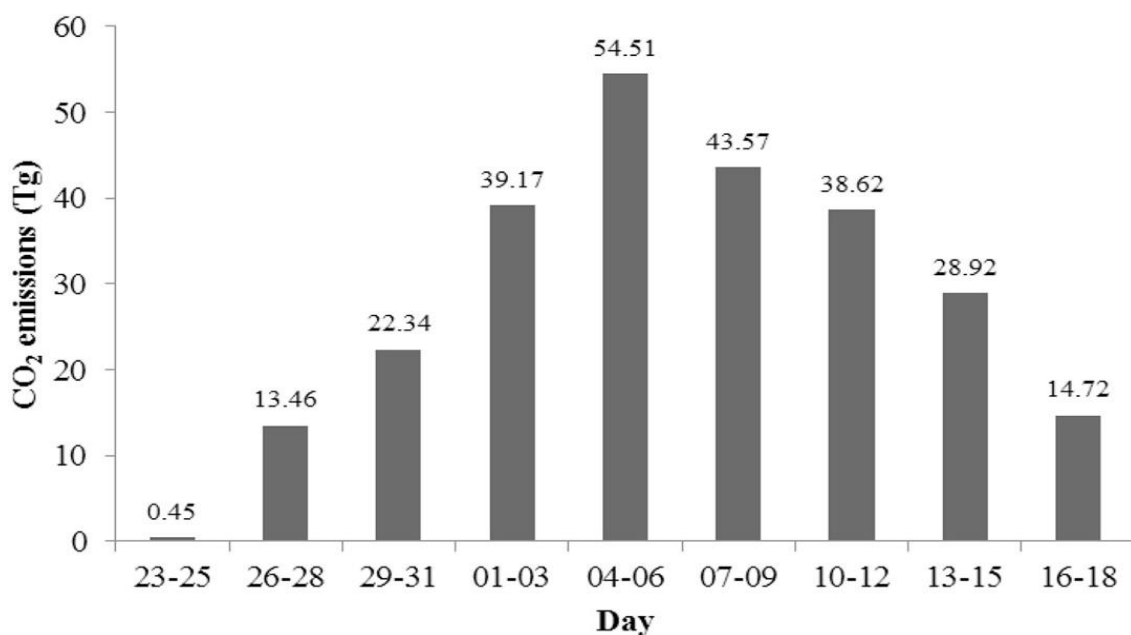
Οι Jacob και Winner (2009) αναφέρουν πως τα συστατικά εκείνα που χρήζουν μεγαλύτερης προσοχής για την ανθρώπινη υγεία είναι το όζον και τα αιωρούμενα σωματίδια. Το O₃ παράγεται μέσω φωτοχημικής οξείδωσης των CO, CH₄ και NMVOCs από τη ρίζα του υδροξυλίου, παρουσία οξειδίων του αζώτου. Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) είναι μια κατηγορία σωματιδίων που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, τα οποία αποτελούνται από θειικά και νιτρικά ιόντα, οργανικές ενώσεις (που περιέχουν άνθρακα), καθαρό άνθρακα, χώμα από το έδαφος, καθώς και θαλασσινό αλάτι. Οι θεικές και νιτρικές ρίζες και οι οργανικές ενώσεις παράγονται με οξείδωση του SO₂, NO_x και των NMVOCs. Τα PM_{2,5} αποτελούνται από θεικές και νιτρικές ρίζες, καθαρό άνθρακα και οργανικές ενώσεις (Jacob & Winner, 2009).

Ένα συμβάν από πυρκαγιά τύρφης στην Ασία οδήγησε στην απελευθέρωση 842 Mg ha⁻¹ CO₂ στην ατμόσφαιρα (Thomaz & Pereira, 2021; Rodríguez Vásquez et al., 2021), ενώ οι πυρκαγιές στη Ρωσία το 2010 απελευθέρωσαν στην ατμόσφαιρα το ποσό των 255,76 Tg CO₂ στην ατμόσφαιρα (Guo et al., 2017; Thomaz & Pereira, 2021).

Οι πρώτες μελέτες για την μέτρηση ποσοτήτων CO₂ που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ξεκινούν κατά τα τέλη της δεκαετίας του '70, με ένα από τα πρώτα μοντέλα να είναι εκείνο της Καύσης Βιομάζας (BBM, Biomass Burning Model) (Seiler et al., 1980) με υπολογισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Στην έρευνα των Guo et al. (2017) αναφέρεται πως η ποσότητα CO₂ που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από την καύση της βιομάζας δεν εξαρτάται μόνο από τον τύπο καύσης που λαμβάνει χώρα αλλά εξαρτάται και από την εποχικότητα και την ταχύτητα του ανέμου, ενώ παράλληλα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά μια νέα

τεχνολογία χρησιμοποιώντας GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite) δορυφορικά δεδομένα.



Εικόνα 7: Γραφική παράσταση εκπομπών CO₂ κατά τις δασικές πυρκαγιές στη Ρωσία το 2010, Πηγή: Guo et al., 2017

Στο παραπάνω γράφημα αποτυπώνεται η εκπομπή του CO₂ που εκλύθηκε στην ατμόσφαιρα τη Ρωσίας, η οποία υπολογίστηκε μέσω του πρώτου δορυφόρου που τέθηκε σε τροχιά για αυτό το σκοπό. Το έργο είχε σαν στόχο την αποτύπωση των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα.

Ο δορυφόρος περιλάμβανε δύο όργανα, έναν θερμικό αισθητήρα υπερύθρου για αποτύπωση άνθρακα (Thermal And Near-infrared Sensor for carbon Observation, TANSO) και έναν εικονογράφο νέφους και αερολύματος (Cloud and Aerosol Imager, CAI). Μέσω των εξισώσεων για υπολογισμό του ύψους μιας στήλης καπνού $H=(R*T/g*M)*\ln(P_0/P)-h$ (όπου R η παγκόσμια σταθερά των αερίων, T η θερμοκρασία, g η επιτάχυνση της βαρύτητας, P₀ η ατμοσφαιρική πίεση, P η πίεση, h το ύψος από το επίπεδο του εδάφους), υπολογίστηκαν οι εκπομπές (ECO₂) για μια στήλη

$ECO_2 = \rho * V = mg * m^{-3} * S * H$ (όπου S η επιφάνεια μιας στήλης καπνού). Τα αποτελέσματα διασταυρώθηκαν μέσω της μεθόδου BBM, που προαναφέρθηκε.

Στο παρελθόν χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές μέθοδοι μέτρησης των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων, οι οποίες παρατίθενται παρακάτω:

Με τη μελέτη των Cofer et al. (1998) κατά την οποία συλλέχθηκαν δείγματα καπνού με τη χρήση ελικοπτέρου κατά την πυρκαγιά σε περιοχή του Καναδά, υπολογίστηκαν μέσω εξισώσεων οι κανονικοποιημένες μέσες αναλογίες εκπομπών για το CO_2^- (ER) όπως και παράγοντες εκπομπών για τα CO_2 , CO , H_2 , CH_4 και TNMHC. Αύξηση στο CO_2 σχετίζεται με ταυτόχρονη αύξηση του CO αλλά δε βρέθηκε ταυτόχρονη αύξηση και των λοιπών αερίων, οπότε και δεν υπήρχε και σύνδεση μεταξύ των παραγόντων. Παρόλα αυτά, οι Guo et al. (2017) τονίζουν πως δεν υπολογίστηκαν οι εκπομπές CO_2 στην ατμόσφαιρα μέσω αυτής της μελέτης.

Με τη μελέτη των Pereira et al. (2009) επιχειρήθηκε εξαγωγή συντελεστών του αερολύματος σε πυρκαγιές της νότιας Αμερικής το 2002, καθώς και συσχέτιση των σωματιδίων $PM_{2.5\mu m}$ και του CO . Μέσω του οργάνου MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), ενός οργάνου σχεδιασμένου για την παρατήρηση της ατμόσφαιρας, των θαλασσών και του εδάφους και των δορυφόρων GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites), αντλήθηκαν δεδομένα σχετικά με την ακτινοβολία της φωτιάς και των προϊόντων αυτής.

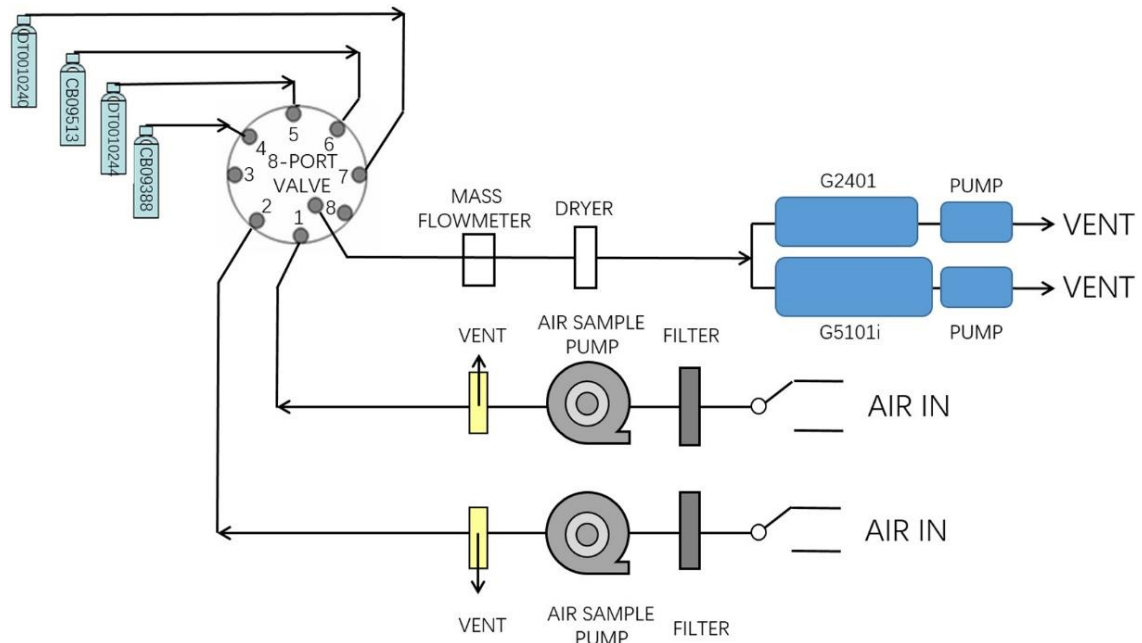
Σε μια πιο πρόσφατη έρευνα σε σχέση με τις προηγούμενες οι Simpson et al. (2011) συνέλλεξαν δείγματα μέσω της αποστολής της NASA, ARCTAS-B, για οργανικές πτητικές ενώσεις που δεν περιέχουν μεθάνιο (NMVOCs), καθώς και δείγματα των CO_2 , CO , CH_4 , CH_2O , NO_2 , NO , HCN και CH_3CN . Πέραν των εκπομπών του CO_2 , οι εκπομπές άνθρακα σε μορφή NMVOCs ανέρχονται σε 2.4 ± 0.6 Tg το χρόνο, μια διόλου

ευκαταφρόνητη ποσότητα που προέρχεται από πυρκαγιές στα βόρεια δάση. Πρέπει να λάβουμε υπόψη πως τα εκπεμπόμενα από τους καπνούς αέρια, είναι δυνατό να μεταφερθούν μέσω των ανέμων σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο εκπομπής τους. Για αυτό το λόγο εντοπίζονται σε μεγάλες ακτίνες έκτασης, γεγονός που τα καθιστά ακόμα πιο επικίνδυνα, επηρεάζοντας μεγαλύτερο πλήθος, είτε ανθρώπων είτε ζώων. Ένα παράδειγμα αποτελεί η έκθεση μέρους του πληθυσμού του Καναδά σε συγκέντρωση $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ των σωματιδίων $\text{PM}_{2,5}$, που προέρχονταν από μεταφορά αυτών από μεγάλη απόσταση (Matz et al., 2020).

Οι Whitburn et al. (2015) τονίζουν πως σημαντικές είναι και οι εκπομπές της αμμωνίας σε μια πυρκαγιά, πέραν των εκπομπών άνθρακα. Αμέσως μετά την απελευθέρωσή της, ακολουθεί η εναπόθεσή της στο έδαφος ή στο νερό (Bouwman et al., 2002; Trebs et al., 2006; Hertel et al., 2012), προκαλώντας σημαντικά προβλήματα στα οικοσυστήματα, όπως ο ευτροφισμός και η μεταβολή του pH του εδάφους σε περισσότερο όξινο, γεγονός που επιφέρει δυσμενείς συνέπειες στους οργανισμούς. Η αμμωνία αποτελεί πηγή του ιόντος του αμμωνίου NH_4^+ , το οποίο είναι δυνατό να εναποτεθεί στο έδαφος με τη μορφή του άλατος του θεικού αμμωνίου. Το θεικό αμμώνιο στο έδαφος μέσω οξείδωσης σχηματίζει τα οξέα νιτρικό και θεικό, συμβάλλοντας κατ' αυτό τον τρόπο στην οξίνιση του εδάφους (Van Breemen et al., 1982).

Παράλληλα, στην έρευνα των Liu et al. (2018), μελετήθηκαν οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου με δείγματα που συλλέχθηκαν πάνω από την Θάλασσα της Ανατολικής Κίνας και την Κίτρινη Θάλασσα. Μέσω ενός συστήματος καταγραφής ενσωματωμένο σε πλοίο που έπλευσε στα νερά των πιο πάνω θαλασσών κατά το Μάρτιο έως Απρίλιο του 2017, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα αέρια CO_2 , CH_4 , CO και N_2O , όπως και

στις αναλογίες αυτών, τα οποία σχετίζονται και είναι έντονα συνδεδεμένα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου ως αποτέλεσμα της έντονης ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Κρίνεται άξια αναφοράς η αποτύπωση της μεθόδου μέτρησης της συγκέντρωσης των πιο πάνω αερίων, σύμφωνα με την Εικόνα 8.



Εικόνα 8: Διαγραμματική απεικόνιση μέτρησης συγκέντρωσης αερίων στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Liu et al. (2018)

Οι ενώσεις από τις οποίες συντίθεται ο καπνός, λοιπόν, είναι διάφορες, των οποίων οι επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και την υγεία του ανθρώπου δεν είναι ακόμα πλήρως γνωστές, αφού απαιτούνται συστηματικές παρατηρήσεις και μετρήσεις επί σειρά πολλών ετών (Butry et al., 2001; Kochi et al., 2010).

5.2 Επιπτώσεις στην υγεία

Αναζητώντας τη βιβλιογραφία, βρέθηκαν πολλές έρευνες σχετικές με τη σύσταση του καπνού και τις επικίνδυνες ενώσεις που περιέχει, αλλά το πεδίο μελέτης για τις

επιπτώσεις στην υγεία δεν έχει διερευνηθεί πλήρως και υπάρχουν αρκετά κενά (Adetona et al., 2016). Προβλέπεται αύξηση στις πυρκαγιές ακόμα και έως 50% έως το 2080, με τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου να μην είναι ακόμα γνωστές εκτενώς. Παρόλα αυτά είναι γνωστές οι επιπτώσεις της έκθεσης σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες, που συνδέονται ως ένα βαθμό με τις πυρκαγιές (Finlay et al., 2012). Ο καπνός από τις πυρκαγιές είναι εξαιρετικά τοξικός σύμφωνα με μελέτες που επικεντρώνονται στο κομμάτι αυτό. Οι συνδέσεις και υποθέσεις που έχουν γίνει στο παρελθόν σχετικά με τις επιβλαβείς επιπτώσεις των πυρκαγιών, επιβεβαιώνονται από αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών, κυρίως σε περιπτώσεις πασχόντων από άσθμα (Reid et al., 2019). Αναφορικά με ασθένειες όπως η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, ενώ υπάρχουν ενδείξεις, δεν υπάρχουν αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών, όπως αναφέρουν οι Reid et al. (2019).

5.2.1 Αναπνευστικό σύστημα

Μελέτη στην Αυστραλία από το 1994 έως το 2007 έδειξε πως η θνησιμότητα (που δεν οφειλόταν σε ατυχήματα) αυξανόταν κατά 5% τις ημέρες που επικρατούσε υψηλή συγκέντρωση καπνού στην ατμόσφαιρα λόγω πυρκαγιών (Johnston et al., 2011). Παράλληλα, κρίνεται απαραίτητη η ενημέρωση του κοινού και για τις ακραίες θερμοκρασίες -πέραν της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, κατά τις μέρες που ξεσπούν πυρκαγιές.

Σε ένα πιο γενικό πλαίσιο, μελέτη των Sutherland et al. (2005), επιβεβαιώνει ότι έξαρση συμπτωμάτων που συνδέονται με το αναπνευστικό σύστημα (δύσπνοια, βήχας κλπ.), εκδηλώνεται με την αύξηση συγκεντρώσεως στην ατμόσφαιρα σωματιδίων και CO, ενώ άτομα με υποκείμενες αναπνευστικές διαταραχές και μέγεθος αεραγωγών μικρότερων του φυσιολογικού, παρουσιάζονται πιο ευάλωτα στον καπνό και στις ενώσεις που περιέχει (Mirabelli et al., 2009).

Ένα ενδιαφέρον στοιχείο αποτελούν τα σωματίδια PM_{10} και $PM_{2.5}$. Όταν τα σωματίδια $PM_{2.5}$ βρίσκονταν εκτός ορίων, υπολογίζεται πως το 71,3% της συγκέντρωσης αυτών οφείλονταν σε πυρκαγιές, κατά τα έτη 2004 έως 2009 σε περιοχές των δυτικών ΗΠΑ, σύμφωνα με τους Liu et al. (2016). «Περισσότερα από 82 εκατομμύρια άτομα θα βιώσουν αύξηση κατά 57% και 31% στη συχνότητα και την ένταση των κυμάτων καπνού, αντιστοίχως», αναφέρουν σχετικά, με γνώμονα την επερχόμενη κλιματική αλλαγή.

Τα σωματίδια PM_{10} εισχωρούν από την άνω αναπνευστική οδό και είναι δυνατό να εγκατασταθούν στους αεραγωγούς, ενώ τα μικρότερα σε διάμετρο σωματίδια $PM_{2.5}$ μπορούν να εισχωρήσουν βαθύτερα στους πνεύμονες, τους βρόγχους και τις κυψελίδες των πνευμόνων. Αύξηση της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ στην ατμόσφαιρα κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ συνδέεται με αύξηση των θανάτων κατά 0,5 έως 2% (Finlay et al., 2012).

Μελέτη που διεξήχθη στο Σίδνεϋ της Αυστραλίας από το 1994 έως το 2002 αφορούσε τα σωματίδια PM_{10} και τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, διερευνήθηκε το αν και πόσο υπάρχουν ενδεχόμενες διαφορές, καθώς υπάρχουν σωματίδια που προέρχονται από αστικές πηγές και από πυρκαγιές στη φύση. Οι ερευνητές κατάφεραν να συνδέσουν τα περιστατικά σε αναπνευστικές παθήσεις και ατόμων που εμφάνιζαν άσθμα με τα σωματίδια που προέρχονταν από πυρκαγιές. Συγκεκριμένα, οι μεταβλητές εμφανίζονται αλληλένδετες, καθώς αύξηση της συγκέντρωσης των PM_{10} , έδειχνε ταυτόχρονη αύξηση περίπου 1% σε εισαγωγές στο νοσοκομείο με αναπνευστικές παθήσεις και περίπου 5% σε εισαγωγές ασθματικών περιπτώσεων (Finlay et al., 2012).

Μία ακόμα έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Φινλανδία, αν και ολοκληρώθηκε σε σύντομο χρονικό διάστημα (2 εβδομάδων) έδειξε μικρή αλλά μη ευκαταφρόνητη αύξηση σε θανάτους (17) σε ένα πληθυσμό 3,4 εκατομμυρίων δειγμάτων. Η αύξηση αυτή

σε θανάτους οφειλόταν πιθανώς στην παρατεταμένη έκθεση του πληθυσμού στα σωματίδια PM₁₀ και PM_{2.5} (Hanninen, et al., 2007).

Μία επιπλέον έρευνα, η οποία όμως είχε ένα μικρό αριθμό δειγμάτων (251) και ολοκληρώθηκε σε μικρότερο διάστημα σε σχέση με τις υπόλοιπες μελέτες που αναφέρονται στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε στην Αυστραλία, στην πόλη Darwin (Johnston et al., 2006). Οι Johnston et al. μελέτησαν την επίπτωση των σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2.5} σε ασθενείς με άσθμα, καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως πρέπει να εκμηδενισθεί η έκθεση των ομάδων αυτών στον καπνό των πυρκαγιών που λαμβάνουν χώρα σε τοποθεσίες με πυκνή βλάστηση, όπως η πόλη Darwin, καθώς αποτελούν άμεση αιτία της επιδείνωσης των συμπτωμάτων που οφείλονται στο άσθμα.

Οι Haikerwal et al. (2016) χαρακτηρίζουν τα σωματίδια PM_{2.5} παράγοντα που πυροδοτεί το άσθμα κατά τη διάρκεια έρευνας που διεξήχθη το 2006 έως το 2007, διάστημα που ξέσπασαν πυρκαγιές στη Βικτώρια της Αυστραλίας. Για διάστημα περίπου 20 ημερών η συγκέντρωση των PM_{2.5} ήταν 50 μg/m³ δύο φορές πάνω από το προτεινόμενο όριο.

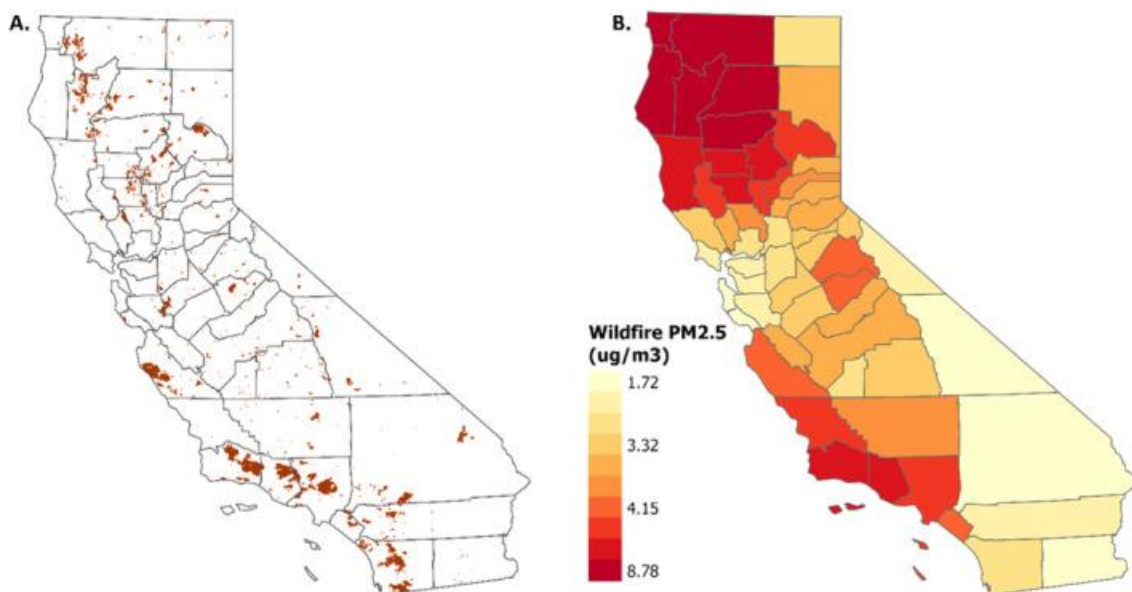
Μια πολυετής μελέτη στη Βραζιλία (Requia et al., 2021) από το 2008 έως το 2018 εξέτασε 2 εκατομμύρια καρδιοαναπνευστικά περιστατικά καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως τα κύματα πυρκαγιών προξενούν 23% αύξηση σε εισαγωγές σε νοσοκομείο που οφείλονται σε αναπνευστικά προβλήματα. Επιπλέον, στο βόρειο τμήμα, όπου βρίσκεται το δάσος του Αμαζονίου η αύξηση σε εισαγωγές ήταν ακόμη μεγαλύτερη (κατά 15%). Παράλληλα, σε μια προγενέστερη έρευνα στην ίδια χώρα, είχαν καταγραφεί αυξήσεις σε εισαγωγές σε νοσοκομεία όσον αφορά αναπνευστικές παθήσεις κατά 8 και 10% σε παιδιά και ηλικιωμένους αντίστοιχα (Ignotti et al., 2010). Υπάρχουν δεδομένα,

λοιπόν, που δείχνουν πως ο καπνός των πυρκαγιών επηρεάζει περισσότερο τις ευάλωτες ηλικιακά ομάδες.

Η μελέτη των Hutchinson et al. (2018) επιβεβαιώνει το γεγονός πως οι επισκέψεις στο νοσοκομείο κατά τις πυρκαγιές στο Σαν Ντιέγκο της Καλιφόρνια το 2007, ήταν αυξημένες για τα περιστατικά με αναπνευστικά προβλήματα, αλλά ήταν μειωμένες για άλλου είδους περιστατικά. Η μελέτη συμφωνεί και με αυτή των Ignotti et al. (2010), αναφορικά με την επίδραση του καπνού στις ευάλωτες ομάδες, όπου οι Hutchinson et al. κατέγραψαν αύξηση 267% σε εισαγωγές που αφορούσαν κυρίως παιδιά από 0 έως 4 ετών.

5.2.2 Καρδιαγγειακό σύστημα

Όσον αφορά την αύξηση λόγω του καπνού από τις πυρκαγιές, των καρδιακών επεισοδίων και παθήσεων, τα αποτελέσματα των ερευνών δίστανται. Η έρευνα των Heaney et al. (2022) που άντλησε δεδομένα από περιστατικά σε νοσοκομεία κατά την περίοδο πυρκαγιών 2004 έως 2009, στην ευρύτερη περιοχή της Καλιφόρνια, πέραν των επιπτώσεων του καπνού των πυρκαγιών στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, προσπάθησε να συνδέσει τον καπνό και με την υγεία του καρδιαγγειακού συστήματος. Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνονται οι πληγείσες από πυρκαγιές περιοχές και η συγκέντρωση των σωματιδίων PM_{2.5}.



Εικόνα 9: Το Α μέρος της εικόνας αποτυπώνει το πλήθος και την ευρύτητα των περιοχών που επλήγησαν από τις πυρκαγιές από το 2004 ως το 2009. Το Β μέρος αποτυπώνει τη συγκέντρωση των PM_{2.5} ανά γεωγραφική περιοχή την ίδια περίοδο. Πηγή: Heaney et al. (2022)

Καθίσταται εύλογο πως η συγκέντρωση των σωματιδίων αυξάνεται όταν αυξάνεται το πλήθος των πυρκαγιών, επομένως και ο καπνός που προέρχεται εξ αυτών. Είναι άξιο αναφοράς το γεγονός πως η αύξηση της συγκέντρωσης των PM_{2.5} δε συνδέεται με εισαγωγές στο νοσοκομείο ατόμων με καρδιαγγειακά νοσήματα. Παρόλα αυτά, σε γενικές γραμμές, τις ημέρες που εμφανιζόταν περισσότερος καπνός παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση σε περιστατικά που συνδέονται με το καρδιαγγειακό σύστημα σε ευάλωτες πληθυσμιακές ομάδες (ηλικιακές ομάδες άνω των 65 ετών).

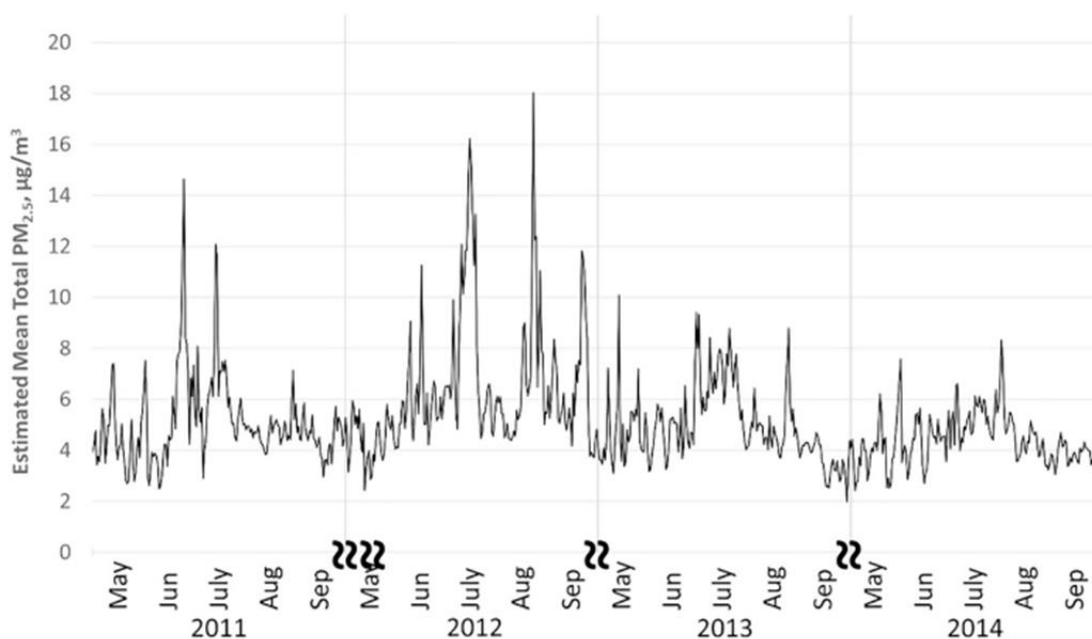
Οι Johnston et al. (2011) συνδέουν την κατά 10% αύξηση των θανάτων από καρδιαγγειακά επεισόδια με τις δυσμενείς επιπτώσεις των πυρκαγιών στο Σίδνεϋ, ενώ υπάρχει σύνδεση και στα οξέα στεφανιαία νοσήματα με τα σωματίδια PM_{2.5}, τα οποία παρουσιάζονται ως παράγοντες ενεργοποίησης (Haikerwal et al., 2015). Πιο συγκεκριμένα, μία αύξηση κατά σχεδόν 7% στον κίνδυνο καρδιακών προσβολών εκτός των νοσοκομείων, οφείλεται σε αύξηση της συγκέντρωσης των PM_{2.5} κατά 9,04 mg/m³,

κυρίως σε ηλικιωμένους άνδρες ηλικίας μεγαλύτερης των 65. Περιοχή μελέτης ήταν η Βικτόρια της Αυστραλίας κατά την περίοδο 2006-2007.

Πρόσφατα δημοσιευμένη μελέτη αναφέρει πως μέχρι στιγμής δεν έχει αποδειχθεί μια σχέση που να δείχνει ότι οι επιπτώσεις του καπνού των πυρκαγιών επηρεάζουν το καρδιαγγειακό σύστημα, αν και υπάρχουν ενδείξεις πως υψηλά επίπεδα PM, μπορούν να συσχετιστούν με την καρδιαγγειακή νόσο ή/και εγκεφαλικά επεισόδια (Chen et al., 2021). Αναφέρεται πως η σύσταση του καπνού των τσιγάρων (που είναι γνωστό πως προκαλεί προβλήματα στο καρδιαγγειακό σύστημα) είναι παρόμοια με αυτή του καπνού από πυρκαγιές, γεγονός που ενισχύει τα παραπάνω δεδομένα (Golpe et al., 2018; Chen et al., 2021).

Μία ακόμα μελέτη σχετικά με τις επιπτώσεις των πυρκαγιών, αυτή τη φορά στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα, επαλήθευσε τα αποτελέσματα των ερευνών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι επιστήμονες κατάφεραν να διαχωρίσουν τα σωματίδια PM_{2.5} που προέρχονται από τον καπνό από τις πυρκαγιές από τα υπόλοιπα σωματίδια PM_{2.5}, που οφείλονται σε διαφορετικά αίτια, όπως αστική ρύπανση. Σχετικές έρευνες αναφέρουν πως τα αστικά σωματίδια PM_{2.5}, μπορεί να έχουν διαφορετικές επιπλοκές στη υγεία του ανθρώπου σε σχέση με αυτά που προέρχονται από πυρκαγιές λόγω διαφορετικής προέλευσης που μεταβάλλει τη σύσταση των σωματιδίων (Nakayama Wong et al., 2011; Wegesser et al., 2010; Alman et al., 2016). Συγκεντρώνοντας δεδομένα νοσοκομειακών επισκέψεων και έκτακτων περιστατικών για οξεία καρδιοαναπνευστικά προβλήματα από το 2011 έως το 2014, προσπάθησαν να συνδέσουν τα περιστατικά αυτά με τις επιπτώσεις των PM_{2.5} στην υγεία του ανθρώπου. Πράγματι, με αύξηση κατά 1 μg/m³ της συγκέντρωσης των σωματιδίων παρατηρούνταν επιδείνωση των συμπτωμάτων πασχόντων από άσθμα και άλλων αναπνευστικών παθήσεων, ενώ όπως

και στην έρευνα των Heaney et al. (2022), δεν υπήρξε σύνδεση των $PM_{2.5}$ με καρδιαγγειακά επεισόδια (Stowell et al., 2019).



Εικόνα 10: Μέσες τιμές συγκεντρώσεως $PM_{2.5}$ κατά το διάστημα της έρευνας στο Κολοράντο για το διάστημα 2011-2014. Πηγή: Stowell et al., 2019

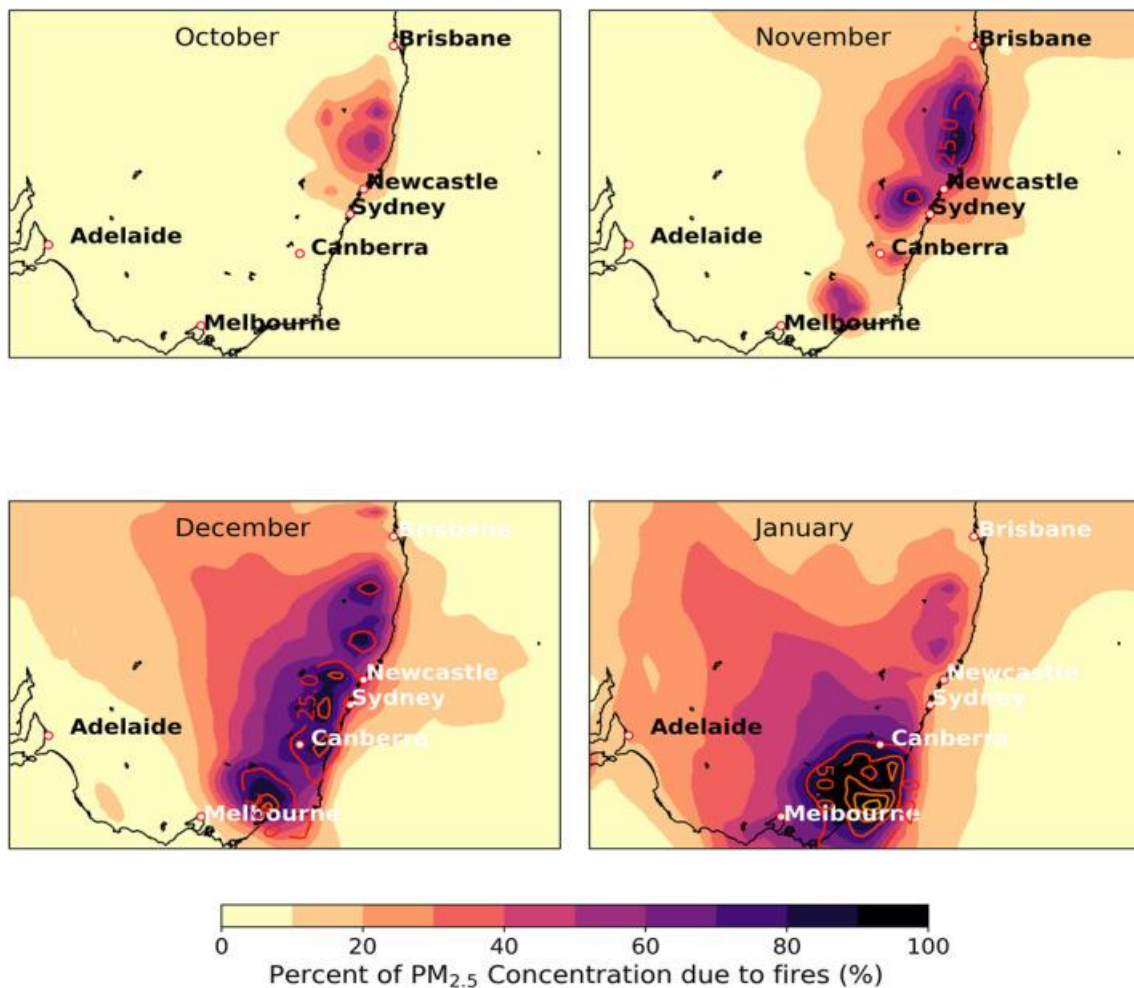
5.2.3 Συμπεράσματα ερευνών

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα και τις έρευνες των τελευταίων ετών, οι αποδείξεις πως το αναπνευστικό σύστημα επηρεάζεται από τις ανεξέλεγκτες πυρκαγιές, είναι απτές, μολονότι απαιτείται περαιτέρω και πιο ενδελεχής μελέτη σχετικά με τους πληθυσμούς που είναι πιο ευάλωτοι, καθώς και με την προστασία αυτών (Reid et al., 2016; Reid et al., 2019). Επίσης, επιπλέον έρευνα προτείνεται στο κομμάτι των καρδιαγγειακών νοσημάτων και το κατά πόσο αυτά συνδέονται με τη θνησιμότητα από τον καπνό των πυρκαγιών (Reid et al., 2016). Δεδομένα και χαρακτηριστικά πυρκαγιών

ή αποτελέσματα από στατιστικές μελέτες επίσης θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο φάσμα των ερευνών (Reid et al., 2019).

Μελέτη διεξήχθη για τις καταστροφικές πυρκαγιές στην Αυστραλία την περίοδο 2019 και 2020, ώστε να πραγματοποιηθεί μια αποτίμηση σχετικά με τις ολικές συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον (Graham et al., 2021). Μέσω δύο προσομοιώσεων οι ερευνητές κατάφεραν να ποσοτικοποιήσουν τις επιπτώσεις των πυρκαγιών και πιο συγκεκριμένα των σωματιδίων $PM_{2.5}$ στην υγεία του ανθρώπου. Το μοντέλο υπολόγισε 171 περισσότερους θανάτους που οφείλονται σε βραχυπρόθεσμη έκθεση στα σωματίδια $PM_{2.5}$, σε αντιδιαστολή με την περίπτωση της μη ύπαρξης πυρκαγιών στην περιοχή (Graham et al., 2021). Παράλληλα, προβλέφθηκε και η αύξηση

των θανάτων σε επόμενες χρονιές, ενώ υπολογίστηκαν και οι μέσες τιμές των $PM_{2.5}$ μέσω του μοντέλου της προσομοίωσης (Εικ. 11).

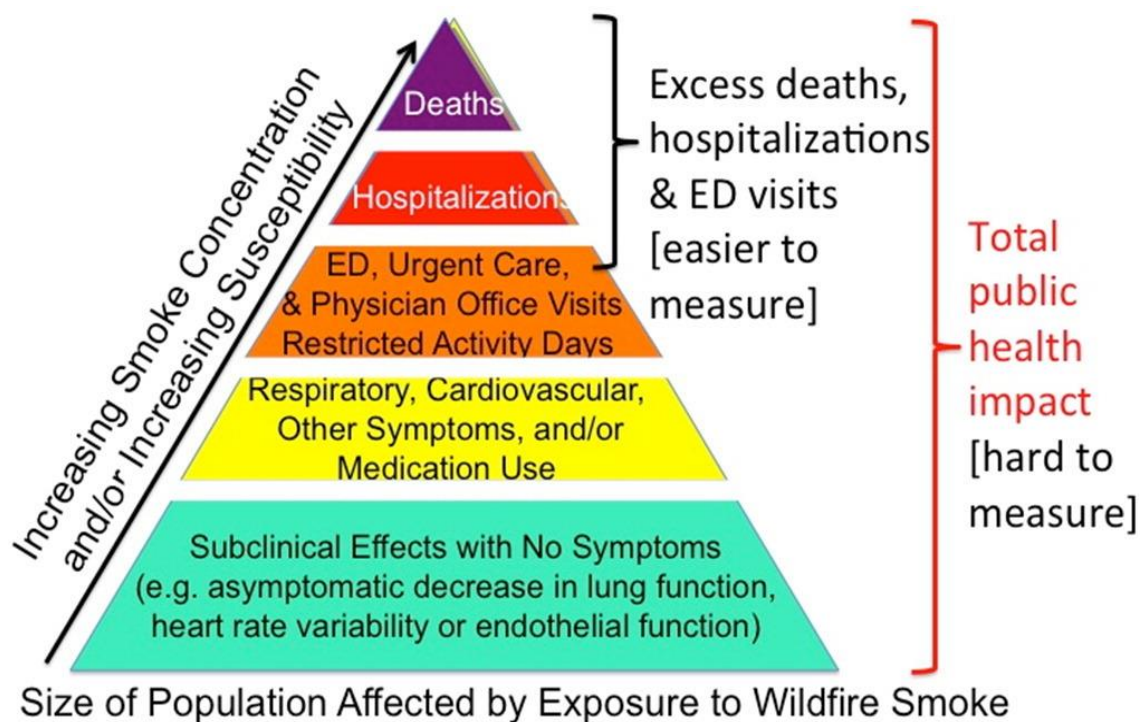


Εικόνα 11: Μέσες τιμές συγκέντρωσης $PM_{2.5}$ υπολογισμένες σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο: $(PM_{2.5}^{fires} - PM_{2.5}^{no\ fires}) / PM_{2.5}^{fires}$. Πηγή: Graham et al., 2021

Οι παιδικές ηλικίες είναι σε γενικές γραμμές οι περισσότερο ευάλωτες και πιο τρωτές ομάδες ενός πληθυσμού (Buka et al., 2006; Hutchinson et al., 2018) και θα πρέπει οι δημόσιες δαπάνες να στοχεύουν στην προστασία αυτών των ομάδων, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες (Hutchinson et al., 2018). Όσον αφορά τις μεγαλύτερες ηλικιακά

ομάδες (>65 ετών), των οποίων ο πληθυσμός θα αυξηθεί από το 15% που είναι σήμερα στο 24% του συνόλου το 2060 για τις ΗΠΑ, θα αυξηθεί αναλογικά και αριθμός αυτών που πάσχουν από καρδιαγγειακά νοσήματα ή διαβήτη και επομένως, μεγαλύτερο μέρος του ευάλωτου πληθυσμού θα είναι εκτεθειμένο στον καπνό μελλοντικών πυρκαγιών (Hutchinson et al., 2018).

Οι συνολικές επιπτώσεις στην υγεία μπορούν να αποτυπωθούν στην παρακάτω εικόνα που αντλήθηκε από την έρευνα του Cascio (2018). Σε γενικές γραμμές, σύμφωνα με την Εικόνα 12, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του καπνού και των σωματιδίων, τόσο εντείνονται και οι επιπτώσεις στον άνθρωπο.



Εικόνα 12: Επιπτώσεις του καπνού. Πηγή: Cascio, 2018

Οι Matz et al. (2020) χρησιμοποιώντας ένα ειδικό εργαλείο με το όνομα AQBAT (Health Canada's Air Quality Benefits Assessment Tool) που παρέχεται από την κυβέρνηση του Καναδά για «εκτίμηση είτε των θετικών είτε αρνητικών επιπτώσεων για προτεινόμενες ρυθμιστικές πρωτοβουλίες σχετικές με την ποιότητα του αέρα», έκαναν μία εκτίμηση για τις επιπτώσεις στην υγεία που είχαν οι πυρκαγιές για τις περιόδους 2013 έως 2015 και 2017 έως 2018. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν 54 έως 240 πρόωρους θανάτους ασθενών που βρίσκονταν σε οξεία κατάσταση κάθε χρόνο, που οφείλονται σε αύξηση των επιπέδων των $PM_{2,5}$, ενώ τα έξοδα για την αντιμετώπιση του συνόλου οξέων περιστατικών προβλέπεται να κυμαίνονται από 480 εκατομμύρια έως 2,1 δισεκατομμύρια δολάρια κάθε χρόνο. Αντιλαμβανόμαστε πως τα νούμερα μεγαλώνουν συνεχώς, με τα χρονικά περιθώρια για διορθωτικές ενέργειες να στενεύουν.

5.3 Επιπτώσεις στην οικονομία

Οι πυρκαγιές εκτός από τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, επιφέρουν και οικονομικές επιβαρύνσεις σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Με το μέγεθος και τη συχνότητα της εμφάνισης των πυρκαγιών να μεγαλώνουν κάθε χρόνο, κρίνεται απαραίτητως αναγκαία η κατανόηση του πώς επηρεάζουν την οικονομία. Οι πιο προφανείς επιπτώσεις είναι εκείνες που έχουν αρνητικό αντίκτυπο. Κάποιες από αυτές είναι οι πιθανές αρνητικές συνέπειες στην υλοτομία, στον τουρισμό, με τους κατοίκους να εγκαταλείπουν τις μόνιμες κατοικίες τους και τους επισκέπτες να μην έχουν την επιθυμία/δυνατότητα να επισκεφτούν κατεστραμμένα τοπία ή στη χαμηλή διάθεση των φυσικών πόρων, αδυναμία ανάπτυξης του πρωτογενούς τομέα και των χαμένων ωρών εργασίας εξαιτίας προβλημάτων υγείας ή και άλλων παραγόντων (Díaz, 2012). Οι κάτοικοι των πληγεισών περιοχών δεν μπορούν εργαστούν κατά το διάστημα που διαρκεί μετά το πέρας της πυρκαγιάς, γεγονός που επηρεάζει την οικονομία και τις συνθήκες της αγοράς.

Στον αντίποδα βρίσκονται οι θετικές συνέπειες, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να φέρουν την ανάπτυξη μέσω δημιουργίας θέσεων εργασίας. Εργολάβοι, επενδυτικά προγράμματα, είναι κάποιες από τις κατηγορίες που μπορούν να βρεθούν ωφελημένες μετά από πυρκαγιές σε δασικές εκτάσεις. Όλα τα παραπάνω αναλύονται μέσω μιας αντικειμενικής ματιάς, όταν δηλαδή δεν εμπλέκονται οικονομικά ή άλλου είδους συμφέροντα. Πρέπει λοιπόν, τέτοιου είδους επενδύσεις να λαμβάνουν χώρα μετά από αυστηρή μελέτη, με γνώμονα πάντοτε την αειφορία του τόπου και τη βιώσιμη ανάπτυξή του.

Επιπλέον, μπορούμε να ισχυριστούμε πως υπάρχουν δύο ειδών οικονομικές επιπτώσεις, οι βραχυπρόθεσμες και οι μακροπρόθεσμες, με τις βραχυπρόθεσμες να περιλαμβάνουν μεγάλους υλικές ζημιές από οικονομικής απόψεως ενώ στις μακροπρόθεσμες να βρίσκονται η απώλεια διαχείρισης της βλάστησης, απώλεια πρώτων υλών και άγριας ζωής (Butry et al., 2001).

Αναφορικά με την υλοτομία, καθώς η αγορά είναι τεράστια, μια πυρκαγιά είναι δυνατό να επηρεάσει τα αποθέματα των παραγωγών και κατ' επέκταση, να προκαλέσει αλλαγές στις τιμές και ανακατατάξεις, γεγονός που δείχνει μία γενικότερη αστάθεια (Butry et al., 2001). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι πυρκαγιές στην περιοχή της Φλόριντα των ΗΠΑ το 1998, με τους ερευνητές να εκτιμούν τη ζημία που υπέστησαν οι καταναλωτές από 400 εκατομμύρια έως 1,5 δισεκατομμύρια δολάρια και των ιδιοκτητών κατεστραμμένων εκτάσεων, από 360 έως 460 εκατομμύρια δολάρια. Αντιθέτως, οι «ωφελημένοι» σημείωσαν κέρδη πάνω από 400 εκατομμύρια δολάρια και ήταν αυτοί που είχαν στην κατοχή τους μη κατεστραμμένες εκτάσεις πρώτης ύλης.

Τα χαμένα έσοδα στον τομέα του τουρισμού για την ίδια περιοχή, την ίδια χρονική περίοδο ανήλθαν σε απώλειες των 60 εκατομμυρίων δολαρίων σε ξενοδοχειακές μονάδες

και ακόμα 80 εκατομμύρια δολάρια περίπου, που προορίζονταν για επιπλέον τουριστικά έξοδα.

Οι Fann et al. (2018) μέσω μιας πενταετούς έρευνας που διήρκησε από το 2008 ως το 2012 προέβησαν σε μια οικονομική εκτίμηση για τους βραχυπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους θανάτους σχετιζόμενους με τα σωματίδια PM_{2.5} στις ΗΠΑ, αλλά και τις εισαγωγές στα νοσοκομεία της χώρας. Τα συγκεντρωτικά στοιχεία εμφανίζονται αναλυτικά στην παρακάτω εικόνα:

Estimated economic value of wildfire-attributable PM_{2.5}-related premature deaths and respiratory hospital admissions (2008 to 2012)
(Billions of 2010\$, 95% confidence intervals)^A.

Health Endpoints	Year					Present Value
	2008	2009	2010	2011	2012	
Sum of mortality from <u>short-term</u> exposures and respiratory hospital admissions ^A	\$20 (\$2—\$53)	\$12 (\$1—\$31)	\$14 (\$1—\$37)	\$11 (\$1—\$30)	\$12 (\$1—\$31)	\$63 (\$6—\$170)
Sum of mortality from <u>long-term</u> exposures and respiratory hospital admissions ^B	\$130 (\$12—\$340)	\$76 (\$7—\$210)	\$90 (\$8—\$250)	\$96 (\$9—\$260)	\$100 (\$9—\$270)	\$450 (\$42—\$1,000)

^ASum of [Delfino et al. \(2009\)](#) respiratory hospital admission estimates and [Zanobetti & Schwartz \(2009\)](#) mortality.

^BSum of [Delfino et al. \(2009\)](#) hospital admission estimates and [Krewski \(2009\)](#) mortality.

Εικόνα 13: Εκτιμώμενη οικονομική αξία των σχετιζόμενων με τα σωματίδια PM_{2.5} θανάτων στις ΗΠΑ. Πηγή: Fann et al., 2018

Σε μια αποτίμηση των παρουσιαζόμενων δεδομένων, οι ερευνητές εκτιμούν πως για τη δεδομένη περίοδο, η αξία κυμαίνεται από 11 έως 20 δισεκατομμύρια δολάρια κάθε χρόνο για τις βραχυπρόθεσμες συνέπειες, με το σύνολο για την πενταετία από το 2008 έως το 2012 να εκτιμάται στα 63 δισεκατομμύρια δολάρια.

Μία παλαιότερη μελέτη από το Πανεπιστήμιο του Σαν Ντιέγκο (Rahn, 2009) υπολόγισε πως η αξία των ζημιών από συμβάντα που έλαβαν χώρα το 2003 στην ίδια περιοχή ανήλθε σχεδόν στα 2,5 δισεκατομμύρια δολάρια.

Καθίσταται εύλογο, λοιπόν, πως κάθε χρόνο η κυβέρνηση της κάθε χώρας να διαθέτει ένα μεγάλο όγκο κονδυλίων στην πρόληψη και καταστολή των πυρκαγιών. Στις ΗΠΑ το ποσό αυτό τα τελευταία χρόνια ανέρχεται στα 3 δισεκατομμύρια δολάρια κάθε χρόνο (U.S. Government Accountability Office, 2007).

Στον τομέα του τουρισμού οι επιπτώσεις των πυρκαγιών έχουν επίσης δυσμενείς συνέπειες. Η μελέτη των Duffield et al. (2013) έδειξε πως χάθηκαν περίπου 206 εκατομμύρια δολάρια σε έσοδα από το 1986 έως το 2011 στο Εθνικό Πάρκο Yellowstone των ΗΠΑ.

Cost Type	Total Estimated Cost	Cost Per Acre	Percent Total
Fire Suppression and Emergency Response	\$ 43,230,826	\$115	2%
CalTrans	\$15,000,000	\$40	1%
San Diego Gas and Electric	\$71,100,000	\$189	3%
FEMA- Hazard Mitigation	\$14,000,000	\$37	1%
Watershed Protection	\$47,183,333	\$126	2%
Estimate of Lost Business Economic Activity	\$365,500,000	\$972	15%
Unemployment Insurance	\$400,000,000	\$1,064	16%
FEMA- Disaster Loans	\$170,000,000	\$452	7%
FEMA- Individuals and Household Program	32,900,000	\$88	1%
FEMA- Supplemental Assistance	\$1,400,000	\$4	0%
FEMA- Public Assistance	\$103,200,000	\$275	4%
Foundation/Grant Programs	\$3,273,560	\$9	0%
American Red Cross	\$7,500,000	\$20	0%
Home, Business and Property Loss	\$1,164,955,197	\$3,099	48%
Medical Costs	\$10,773,560	\$29	0%
TOTAL	\$2,450,016,476		

Εικόνα 14: Εκτιμώμενο κόστος των πυρκαγιών στο Σαν Ντιέγκο το 2003. Πηγή: Diaz, 2012

Με βάση την παραπάνω μελέτη, το κόστος για κάθε εκτάριο καμένης γης υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε 6.516 δολάρια.

Οι Kochi et al. (2010) κάνουν αναφορά στην αξία μίας ζωής στατιστικά (Value of a statistical life, VSL) που είναι «η προθυμία μιας κοινωνίας να πληρώσει ώστε να σωθεί η ζωή ενός ατόμου», όπου κατά μέσο όρο υπολογίζεται μεταξύ 2 και 14 εκατομμυρίων δολαρίων. Για τη μείωση των εξόδων, αναφέρουν πως υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι μείωσης των επιπτώσεων στην υγεία, όπως η μείωση των πυρκαγιών ώστε να μειωθούν και οι εκπομπές των σωματιδίων και η απομάκρυνση των ευάλωτων ομάδων από τα μέτωπα.

Οι Melvin et al. (2017) υπολόγισαν τα κόστη των πυρκαγιών στην Αλάσκα από το 2006 μέχρι το 2100. Μέχρι το 2030, τα κόστη με βάση δύο σενάρια, εκτιμώνται στα 23,3 έως 40,9 εκατομμύρια δολάρια σύμφωνα με το πρώτο και 26,9 έως 46,7 εκατομμύρια δολάρια με βάση το δεύτερο. Κατά το 2090 υπολογίζονται στα 41,9 έως 72,9 εκατομμύρια και 33,8 έως 52,9 εκατομμύρια δολάρια αντίστοιχα, κάθε χρόνο.

Αν και δεν έχουν πραγματοποιηθεί εκτεταμένες μελέτες και αναφορές στο κόστος των επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου, η μελέτη των Richardson et al. (2012) πραγματοποίησε εκτιμήσεις, τονίζοντας παράλληλα πως προηγούμενες έρευνες λαμβάνουν υπόψη τα έξοδα για φαρμακευτική περίθαλψη του καθενός, το χρόνο που απαιτείται για την ανάρρωση και θεραπεία και τα χαμένα εισοδήματα λόγω ανικανότητας παρουσίας στον εργασιακό χώρο, αλλά δε λαμβάνεται υπόψη ο πιθανός πόνος και δυσφορία που μπορεί να αισθανθεί ο παθόντας ή απώλεια ημερών που προορίζονταν για αναψυχή, γεγονός που μεταφράζεται σε «αχρηστία». Επιπλέον, θα έπρεπε να συμπεριλαμβάνονταν τα μέτρα πρόληψης, που είναι τα μέτρα που λαμβάνει ο καθένας ατομικά πριν ξεσπάσει μια πυρκαγιά. Το τελευταίο φαινόμενο παρατηρείται σε περιοχές που διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο στο να ξεσπάσουν πυρκαγιές ή σε ευάλωτες ομάδες. Για παράδειγμα, ομάδες όπως παιδιά που πάσχουν από άσθμα θα προστατευτούν από τον καπνό μιας πυρκαγιάς αγοράζοντας μάσκες και παραμένοντας σπίτι (Kunzli et al., 2006; Richardson et al., 2012). Μαζί με τις αμυντικές τεχνικές που δύναται να χρησιμοποιήσουν οι πολίτες, το κόστος υπολογίζεται στα 84,42 δολάρια την ημέρα για κάθε άτομο που εκτίθεται.

Στο κόστος συνυπολογίζονται κυρίως τα μέτρα πρόληψης που λαμβάνονται και οι υλικές ζημιές των σπιτιών, αυτό όμως δεν αποτελεί τη συνολική εικόνα της

αποτίμησης, δεν είναι ολοκληρωμένη και δε συμπεριλαμβάνει όλες τις πτυχές του φαινομένου (Butry et al., 2001; Richardson et al., 2012).

6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

Αναφορικά με τη διαχείριση του φαινομένου, λαμβάνοντας υπόψη τα όσα παρατέθηκαν παραπάνω, οφείλουν να παρθούν μέτρα πρόληψης και κατάλληλης διαχείρισης, με στοχευμένες και όχι άσκοπες κινήσεις. Η άποψη αυτή ενισχύεται από το γεγονός πως προβλέψεις δείχνουν αύξηση των πυρκαγιών και καμένων εκτάσεων στο μέλλον. Μελέτες μιλούν για διπλασιασμό, ακόμα και τριπλασιασμό των καμένων εκτάσεων έως το 2050 (McKenzie et al., 2004; Westerling, 2018; D'Evelyn et al., 2022).

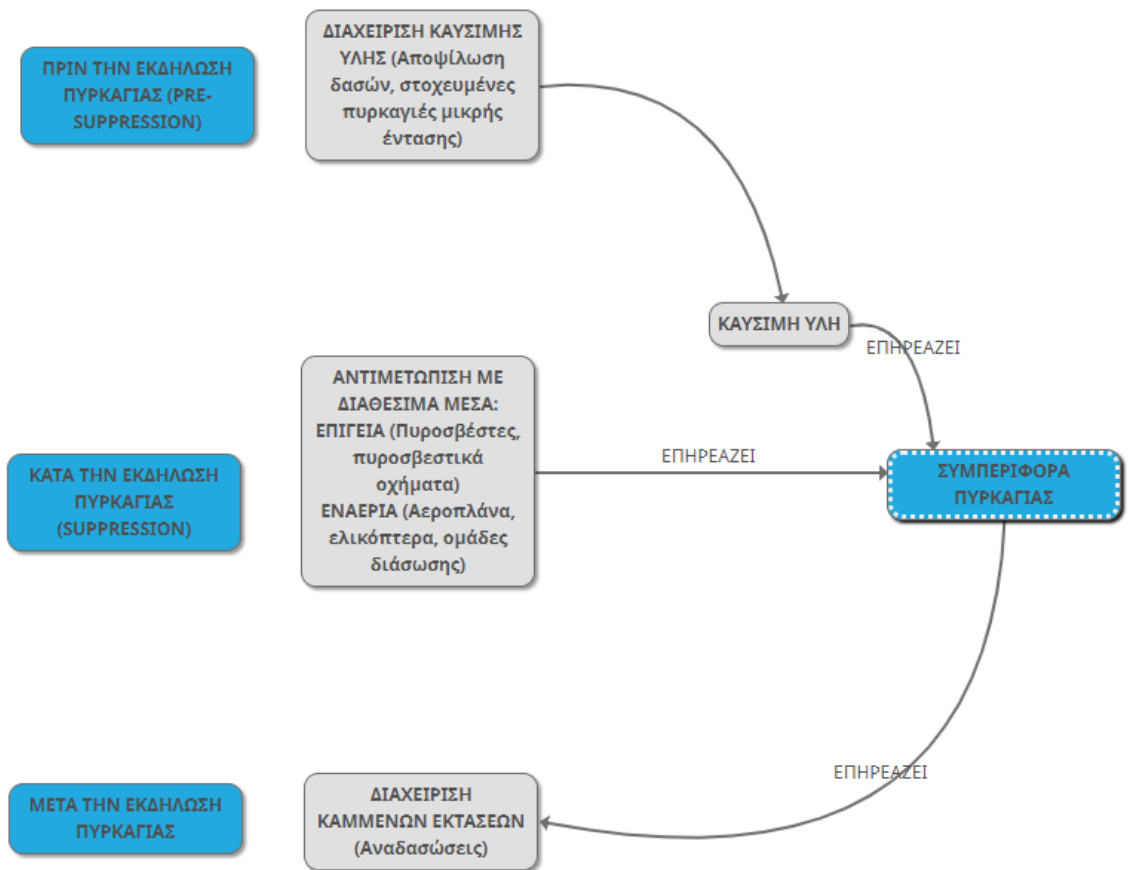
Τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν περιλαμβάνουν τη διαχείριση των μη κατεστραμμένων αλλά ευάλωτων περιοχών, τη διαχείριση των καμένων εκτάσεων, την αποκατάσταση και ανάπλασή τους. Οι D'Evelyn et al. (2022) και οι Stevens et al. (2020) συζητούν για «στρατηγική μείωση της καύσιμης ύλης» και «υιοθέτηση δέντρων ανθεκτικότερων στις πυρκαγιές». Η μείωση της καύσιμης ύλης μπορεί να επιτευχθεί είτε με μηχανικό τρόπο (αποψίλωση) είτε με στοχευμένες φωτιές με σκοπό τη μείωση της συσσωρευμένης καύσιμης ύλης, η οποία μπορεί να έχει συγκεντρωθεί λόγω του μηχανικού τρόπου αποψίλωσης στην περιοχή. Σε κάθε περίπτωση η μείωση της πυκνής βλάστησης που μπορεί να προκαλέσει εστία αναζωπύρωσης σε μια μελλοντική τυχαία πυρκαγιά, λαμβάνει χώρα όπου είναι απόλυτα απαραίτητο με γνώμονα την αειφορία και την οικολογία. Παρόλα αυτά τα μέτρα πρόληψης, η παραγωγή του καπνού είναι αναπόφευκτη (Stephens et al., 2013).

Η τεχνολογία είναι ικανή να παίζει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση των πυρκαγιών και πιο συγκεκριμένα στο κομμάτι της πρόληψής των. Ο τομέας της γεωπληροφορικής μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στην πρόληψη. Οι Jaber et al. (2001) χρησιμοποιώντας δυνατότητες «τηλεγεωεπεξεργασίας», παρουσίασαν ένα μοντέλο πρόληψης, όπου περιπολίες με πυροσβεστικά οχήματα και ένας πύργος ελέγχου που

ανιχνεύει πρώιμα περιστατικά, δίνουν σήμα σε δορυφόρο ο οποίος έχει τη δυνατότητα να ανταλλάσσει πληροφορίες με ένα κέντρο ελέγχου. Αντιλαμβανόμαστε πως οι δυνατότητες πρόληψης είναι πολλές, με σύμμαχο την τεχνολογία.

Οι Sakellariou et al. (2019) αναφέρονται σε «βέλτιστη τοποθέτηση πύργων ελέγχου», «χωρική βελτιστοποίηση πυροσβεστικών οχημάτων» και «διαχείριση της καύσιμης ύλης δασών σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς», σύμφωνα με μελέτη περίπτωσης στη Θάσο της Ελλάδας.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται μια γενική εικόνα αναφορικά με τη διαχείριση των πυρκαγιών.



Σχήμα 1: Τρόποι διαχείρισης πυρκαγιών. Ιδία επεξεργασία

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αν και οι πυρκαγιές στην Ελλάδα και την Ευρώπη, γίνονται ολοένα συχνότερες και εντονότερες, η ευρύτητα της έρευνας είναι μικρή και η βιβλιογραφία περιορισμένη. Ο μεγαλύτερος αριθμός ερευνών όσον αφορά εκπομπές ρύπων, επιπτώσεις στην υγεία και στο περιβάλλον έχουν σαν περιοχή μελέτης τις ΗΠΑ και την Αυστραλία. Στο κομμάτι εκείνο της εργασίας που αναφέρεται στις επιπτώσεις του καπνού στην υγεία του ανθρώπου, προτείνεται περισσότερη έρευνα και μελέτη στην Ελλάδα. Επίσης, αυτές εστιάζουν κυρίως στις επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα, οι οποίες είναι αποδεδειγμένο ότι συνδέονται με τον καπνό πυρκαγιών, αλλά δεν έχει αποδειχθεί ακόμα πως ο καπνός επηρεάζει και το καρδιαγγειακό (Chen et al., 2021). Απώτερος σκοπός είναι η διαφύλαξη της υγείας του ανθρώπου και του περιβάλλοντός του.

Ποικίλα άρθρα και πολλοί ερευνητές καταλήγουν στο συμπέρασμα πως η εδραίωση της κλιματικής αλλαγής, που σήμερα τη βιώνουμε ως μία κλιματική κρίση, που σε ένα μεγάλο βαθμό οφείλεται σε μεγαλύτερες σε έκταση και διάρκεια πυρκαγιές οδηγεί στην αύξηση της πιθανότητας προς απώλεια διαφόρων ειδών και κατ' επέκταση τη μείωση της βιοποικιλότητας (Lenihan, et al., 1998; McKenzie et al., 2004; Keane et al., 1999).

Ερευνητές αναφέρονται ακόμα και σε «δανεισμένο χρόνο» στον οποίο ζουν κάποια απομονωμένα είδη και πως εξαιτίας του γεγονότος ότι «τα οικοσυστήματα είναι δυναμικά», κινδυνεύουν, εάν ο βαθμός των πυρκαγιών δε μειωθεί (Boughton et al., 2002).

Οι Ford et al. (2018) κάνουν την πρόβλεψη πως ενώ οι θάνατοι λόγω των PM_{2.5} που προέρχονται από ανθρωπογενείς παράγοντες πρόκειται να μειωθούν κατά το τέλος του 21^{ου} αιώνα, οι θάνατοι που οφείλονται στα σωματίδια με προέλευση τον καπνό των πυρκαγιών, θα διπλασιαστούν για την περιοχή μελέτης των ΗΠΑ. Σύμφωνα με όλα αυτά,

μέχρι το 2100 τα σενάρια πρόβλεψης των ερευνητών δε δείχνουν κάποια θετικά αποτελέσματα και για το λόγο αυτό προτείνεται αποτελεσματικότερη και πληρέστερη ενημέρωση του κοινού σε συνδυασμό με σχεδιασμούς μείωσης του φαινομένου. Τα σενάρια αυτά ενισχύονται και από δεδομένα που συγκεντρώνονται για τις περιοχές που βρίσκονται δυτικά των ΗΠΑ, τα οποία προβλέπουν αύξηση των πυρκαγιών και κατ' επέκταση του καπνού και υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα (Wilmot et al., 2022). Η αύξηση των πυρκαγιών στις δυτικές ΗΠΑ προβλέπεται να είναι ακόμα μεγαλύτερη στο μέλλον, καθώς η καύσιμη ύλη (που είναι τα δάση) γίνεται περισσότερο ξηρή, επομένως και πιο εύφλεκτη. Η αφθονία αυτή σε καύσιμη ύλη, οφείλεται κυρίως στην κλιματική αλλαγή λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας (Abatzoglou et al., 2016).

Η φύση έχει προνοήσει κατά τέτοιο τρόπο που οι καμένες εκτάσεις να αποτελούν γόνιμο έδαφος για την αναγέννηση των πληθυσμών των δέντρων. Μελέτες δείχνουν πως η αναγέννηση των δέντρων μπορεί να είναι έως και 65% υψηλότερη σε καμένα εδάφη σε σχέση με μη καμένη γη (Filicetti et al., 2022). Παρόλα αυτά, η ένταση και η συχνότητα των πυρκαγιών σήμερα, καθιστούν συνθήκες που δείχνουν ένα σενάριο μη βιώσιμο για τον πλανήτη, σε περίπτωση που δεν ελαττωθεί ως ένα βαθμό, το ανεξέλεγκτο πλέον φαινόμενο.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παρούσα εργασία, το μέλλον του πλανήτη σχετικά με τις επιπτώσεις των πυρκαγιών προβλέπεται δυσοίωνα. Κάθε χρόνο το φαινόμενο αποκτά μεγαλύτερες διαστάσεις, γεγονός που απαιτεί καλύτερη διαχείριση. Όμως δεν αντιμετωπίζεται στον απαιτούμενο βαθμό. Για αυτό το λόγο είναι αναγκαία η διάθεση κεφαλαίων, ιδιαίτερα στις περιοχές υψηλότερου κινδύνου. Επιπλέον, προτείνεται η έρευνα σε μεγαλύτερο βάθος σχετικά με τις επιπτώσεις του καπνού στο περιβάλλον και στον άνθρωπο, ώστε να προβούμε σε λύσεις ουσιαστικές και μόνιμες,

καθώς οι επικίνδυνες εκπομπές του καπνού δεν έχουν μόνο βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα τα οποία είναι εμφανή, αλλά και μακροπρόθεσμες συνέπειες, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abakumov, E., Pechkin, A., & Shamilishvili, G. (2020). Effect of the Wildfires on Sandy Podzol Soils of Nadym Region, Yamalo-Nenets Autonomous District, Russia. *Applied and Environmental Soil Science*.
- Abatzoglou J. T., Williams, A. P. (2016). Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(42), 11770-11775. doi: 10.1073/pnas.1607171113.
- Adetona, O., Reinhardt, T. E., Domitrovich, J., Broyles, G., Adetona, A. M., Kleinman, M. T., Ottmar, R. D., & Naeher, L. P. (2016). Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public. *Inhalation Toxicology*, 28(3), 95-139. doi: 10.3109/08958378.2016.1145771
- Addison, P., & Oommen, T. (2020). Post-fire debris flow modeling analyses: case study of the post-Thomas Fire event in California. *Natural Hazards*, 100(1), 329-343.
- Alman, B. L., Pfister, G., Hao, H., Stowell, J., Hu, X., Liu, Y., & Strickland, M. J. (2016). The association of wildfire smoke with respiratory and cardiovascular emergency department visits in Colorado in 2012: a case crossover study. *Environ. Health*.
- Azuma, D. L. (2004). Southwest Oregon Biscuit fire: an analysis of forest resources and fire severity (No. 560). US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Blackwell, J. A., & Tuttle, A. (2003). California fire siege 2003: The story. Sacramento: California Department of Forestry and Fire Protection and US Department of Agriculture Forest Service.
- Bo, M., Mercalli, L., Pognant, F., Berro, D. C., & Clerico, M. (2020). Urban air pollution, climate change and wildfires: The case study of an extended forest fire episode in northern Italy favoured by drought and warm weather conditions. *Energy Reports*, 6, 781-786.
- Boughton, D., & Malvadkar, U. (2002). Extinction risk in successional landscapes subject to catastrophic disturbances. *Conservation Ecology* 6, (2).
- Bowman, D. M., Kolden, C. A., Abatzoglou, J. T., Johnston, F. H., van der Werf, G. R., & Flannigan, M. (2020). Vegetation fires in the Anthropocene. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 500-515.
- Bouwman, A. F., Boumans, L. J. M., & Batjes N. H. (2002). Estimation of global NH₃ volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands. *Global Biochemical Cycles*, 16 (2), 8-1–8-14.
- Brewer, M. J., & Clements, C. B. (2019). The 2018 Camp Fire: Meteorological analysis using in situ observations and numerical simulations. *Atmosphere*, 11(1), 47.
- Bryant, R. A., Waters, E., Gibbs, L., Gallagher, H. C., Pattison, P., Lusher, D., MacDougall, C., Harms, L., Block, K., Snowdon, E., Sinnott, V., Ireton, G., Richardson, J., & Forbes, D. (2014). Psychological outcomes following the Victorian Black Saturday bushfires. *Australian & New Zealand Journal of Psychiatry*, 48(7), 634-643.
- Buka, I., Koranteng, S., Osornio-Vargas, A. R. (2006). The effects of air pollution on the health of children. *Paediatr Child Health*, 11, 513–516.
- Butry, D. Mercer, D. E., Prestemon, J. P., Pye, J. M., & Holmes, T. P. (2001). What is the price of catastrophic fire? *Journal of Forestry*, 99 (11), 9-17.

- Bytnerowicz, A., Hsu, Y. M., Percy, K., Legge, A., Fenn, M. E., Schilling, S., Frączek, W., & Alexander, D. (2016). Ground-level air pollution changes during a boreal wildland mega-fire. *Science of the Total Environment*, 572, 755-769.
- Carlucci, M., Zambon, I., Colantoni, A., & Salvati, L. (2019). Socioeconomic development, demographic dynamics and forest fires in Italy, 1961–2017: a time-series analysis. *Sustainability*, 11(5), 1305.
- Carroll, M. S., Cohn, P. J., Seesholtz, D. N., & Higgins, L. L. (2005). Fire as a galvanizing and fragmenting influence on communities: the case of the Rodeo–Chediski fire. *Society and Natural Resources*, 18(4), 301-320.
- Cascio, W. E. (2018). Wildland fire smoke and human health. *Science of the Total Environment*, 624, 586-595. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.086.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention). (1999). Surveillance of morbidity during wildfires--Central Florida, 1998. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*, 48(4), 78-79.
- Chauhan, A., & Hughes, A. L. (2017). Providing online crisis information: An analysis of official sources during the 2014 carlton complex wildfire. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3151-3162.
- Chen, H., Samet, J. M., Bromberg, P. A., & Tong, H. (2021). Cardiovascular health impacts of wildfire smoke exposure. *Part Fibre Toxicol.*, 18(1), 2. doi: 10.1186/s12989-020-00394-8.
- Chung, M., Jung, M., & Kim, Y. (2019). Wildfire damage assessment using multi-temporal Sentinel-2 data. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 97-102.
- Cofer W. R., Winstead, E. L., Stocks, B. J., Goldammer, J. G., & Cahoon, D. R. (1998). Crown fire emissions of CO₂, CO, H₂, CH₄, and TNMHC from a dense jack pine boreal forest fire. *Geophysical Research Letters*, 25, 3919-3922.
- Coghlan, B. J. (2004). The human health impact of the 2001–2002 “Black Christmas” bushfires in New South Wales, Australia: an alternative multidisciplinary strategy. *Journal of Rural and Remote Environmental Health*, 3(1), 18-28.
- Combs, S. (2012). The impact of the 2011 drought and beyond. *Texas Comptroller of Public Accounts Special Rep.*, Publ, 96(1704), 16.
- Coop, J. D., Parks, S. A., Stevens-Rumann, C. S., Ritter, S. M., & Hoffman, C. M. (2022). Extreme fire spread events and area burned under recent and future climate in the western USA. *Global Ecology and Biogeography*, 31(10), 1949-1959.
- de Groot, W. J., Cantin A. S., Flannigan, M. D., Soja, A. J., Gowman, L. M., & Newberry, A. (2013). A comparison of Canadian and Russian boreal forest fire regimes. *Forest Ecology and Management*, 294, 23-34. doi: 10.1016/j.foreco.2012.07.033.
- Davey, S. M., & Sarre, A. (2020). the 2019/20 Black Summer bushfires. *Australian Forestry*, 83(2), 47-51.
- D'Evelyn, S. M., Jung, J., Alvarado, E., Baumgartner, J., Caligiuri, P., Haggmann, R. K., Henderson, S. B., Hessburg, P. F., Hopkins, S., Kasner, E. J., Krawchuk, M. A., Krenz, J. E., Lydersen, J. M., Marlier, M. E., Masuda, Y. J., Metlen, K., Mittelstaedt, G., Prichard, S. J., Schollaert, C. L., Smith, E. B., Stevens, J. T., Tessum, C. W., Reeb-Whitaker, C., Wilkins, J. L., Wolff, N. H., Wood, L. M., Haugo, R. D., & Spector, J. T. (2022). Wildfire, Smoke Exposure, Human Health, and Environmental Justice Need to be Integrated into Forest Restoration and Management. *Curr Environ Health Rep.* 9(3), 366-385. doi: 10.1007/s40572-022-00355-7.

- Delfino, R. J., Brummel, S., Wu, J., Stern, H., Ostro, B., Lipsett, M., Winer, A., Street, D. H., Zhang, L., Tjoa, T., & Gillen, D. L. (2009). The relationship of respiratory and cardiovascular hospital admissions to the southern California wildfires of 2003. *Occup. Environ. Med*, 66, 189–97. doi: 10.1136/oem.2008.041376.
- Devisscher, T., Spies, J., & Griess, V. C. (2021). Time for change: Learning from community forests to enhance the resilience of multi-value forestry in British Columbia, Canada. *Land Use Policy*, 103, 105317.
- Diaz, J. M. (2012). Economic impacts of wildfire. Joint Fire Science Program, Southern Fire Exchange 2012 Fact Sheet. Διαθέσιμο από: https://fireadaptednetwork.org/wp-content/uploads/2014/03/economic_costs_of_wildfires.pdf Τελευταία πρόσβαση στις 13/6/2022.
- Duffield, J. W., Neher, C. J., Patterson, D. A. & Deskins, A. M. (2013). Effects of wildfire on national park visitation and the regional economy: a natural experiment in the northern Rockies. *International Journal of Wildland Fire*, 22, 1155-1166.
- EFFIS (2005). Forest Fires in Europe 2005. Report No 6. Land Management and Natural Hazards Unit, European Commission Joint Research Centre.
- EFFIS (2016). Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2016. JRC Technical Reports, European Commission, Joint Research Centre.
- EFFIS (2017). Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2017. JRC Technical Reports, European Commission, Joint Research Centre.
- EFFIS (2018). Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2018. JRC Technical Reports, European Commission, Joint Research Centre.
- EFFIS (2019). Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2019. JRC Technical Reports, European Commission, Joint Research Centre.
- EFFIS (2020). Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2020. JRC Technical Report, European Commission, Joint Research Centre.
- Fann, N., Alman, B., Broome, R. A., Morgan, G. G., Johnston, F. H., Pouliot, G., & Rappold, A. G. (2018). The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008-2012. *Sci Total Environ*, 610-611, 802-809. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
- Filicetti, A., & Nielsen, S. (2022). Effects of wildfire and soil compaction on recovery of narrow linear disturbances in upland mesic boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 510. doi: 10.1016/j.foreco.2022.120073
- Finlay, S. E., Moffat, A., Gazzard, R., Baker, D., & Murray, V. (2012). Health impacts of wildfires. *PLoS currents*, 4.
- Flannigan, M., Stocks, B. J. & Wotton, B. (2000), 'Climate change and forest fires', *Science of the total environment* 262(3), 221-229.
- Flannigan, M., Campbell, I., Wotton, M., Carcaillet, C., Richard, P., & Bergeron, Y. (2001). Future fire in Canada's boreal forest: paleoecology results and general circulation model: regional climate model simulations. *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 854–864.
- Ford, B., Val Martin, M., Zelasky, S. E., Fischer, E. V., Anenberg, S. C., Heald, C. L., & Pierce, J. R. (2018). Future Fire Impacts on Smoke Concentrations, Visibility, and Health in the Contiguous United States. *Geohealth*, 2(8), 229-247.
- Gaboriau, D. M., Remy, C. C., Girardin, M. P., Asselin, H., Hély, C., Bergeron, Y., & Ali, A. A. (2020). Temperature and fuel availability control fire size/severity in the boreal forest of central Northwest Territories, Canada. *Quaternary Science Reviews*, 250, 106697.

- Golpe, R., Sanjuan-Lopez, P., Martin-Robles, I., Gonzalez-Juanatey, C., Perez-de-Llano, L., & Lopez-Campos, J. L. (2018). Cardiovascular studies in patients with chronic obstructive pulmonary disease due to biomass smoke or tobacco. *Lung*, 196(2), 195–200. doi: 10.1007/s00408-018-0095-9.
- Goudelis, G., Ganatsas, P. P., Spanos, I., & Karpi, A. (2007). Effect of repeated fire on plant community recovery in Penteli, central Greece. In *Eco-and Ground Bio-Engineering: the use of vegetation to improve slope stability* (pp. 337-343). Springer, Dordrecht.
- Graham, R. T. (2003). Hayman fire case study. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Graham, A. M., Pringle, K.J., Pope, R.J., Arnold, S.R., Conibear, L.A., Burns, H., Rigby, R., Borchers-Arriagada, N., Butt, E.W., Kiely, L., Reddington, C., Spracklen, D.V., Woodhouse, M.T., Knote, C., & McQuaid, J.B. (2021). Impact of the 2019/2020 Australian Megafires on Air Quality and Health. *Geohealth*, 5(10).
- Guo, M., Li, J., Wang X., He, H., & Wu, L. (2017). CO2 emissions from the 2010 Russian wildfires using GOSAT data. *Environmental Pollution*, 226, 60-68.
- Gustine, R. N., Hanan, E. J., Robichaud, P. R., & Elliot, W. J. (2022). From burned slopes to streams: how wildfire affects nitrogen cycling and retention in forests and fire-prone watersheds. *Biogeochemistry*, 157(1), 51-68.
- Haikerwal, A., Akram, M., Del Monaco, A., Smith, K., Sim, M.R., Meyer, M., Tonkin, A.M., Abramson, M.J., & Dennekamp, M. (2015). Impact of Fine Particulate Matter (PM2.5) Exposure During Wildfires on Cardiovascular Health Outcomes. *Journal of the American Heart Association*.
- Haikerwal, A., Akram, M., Sim, M. R., Meyer, M., Abramson, M.J., & Dennekamp, M. (2016). Fine particulate matter (PM2.5) exposure during a prolonged wildfire period and emergency department visits for asthma. *Respirology*, 21(1), 88-94. doi: 10.1111/resp.12613.
- Hammond, D. H., Strand, E. K., Hudak, A. T., & Newingham, B. A. (2019). Boreal forest vegetation and fuel conditions 12 years after the 2004 Taylor Complex fires in Alaska, USA. *Fire Ecology*, 15(1), 1-19.
- Hanes, C. C., Wang, X., Jain, P., Parisien, M-A., Little, J. M., & Flannigan, M. D. (2018). Fire-regime changes in Canada over the last half century. *Can J For Res*, 49, 256-269.
- Hanninen, O., Salonen, R. O., Lanki, T., Koistinen, K., Jantunen, M., Anttila, P. (2007). Population Risk and Exposure-Response from Exposures to Long-Range Transported Wildfire Smoke. *Epidemiology*, 18 (5), 191.
- Healy, R. M., Wang, J. M., Sofowote, U., Su, Y., Deboz, J., Noble, M., Munoz, A., Jeong, C., Hilker, N., Evans, G. J., & Doerksen, G. (2019). Black carbon in the Lower Fraser Valley, British Columbia: Impact of 2017 wildfires on local air quality and aerosol optical properties. *Atmospheric Environment*, 217, 116976.
- Heaney, A., Stowell, J. D., Liu, J. C., Basu, R., Marlier, M., Kinney, P. (2022). Impacts of Fine Particulate Matter from Wildfire Smoke on Respiratory and Cardiovascular Health in California. *Geohealth*.
- Hertel, O., Skjøth, C.A., Reis, S., Bleeker, A., Harrison, R.M., Cape, J.N., Fowler, D., Skiba, U., Simpson, D., Jickells, T., Kulmala, M., Gyldenkærne, S., Sørensen, L.L., Erisman, J.W., & Sutton, M.A. (2012). Governing processes for reactive nitrogen compounds in the European atmosphere. *Biogeosciences*, 9, 4921-4954.

- Hines, M., Petteni, M., Knowlton, S., & Roots, S. (2021). *Stories from the Outside: Oregon Wildfires 2020*. Homelessness Research & Action Collaborative, Portland State University.
- Hong, J. S., Hyun, S. Y., Lee, J. H., & Sim, M. (2022). Mental health effects of the Gangwon wildfires. *BMC public health*, 22(1), 1-10.
- Howard, C., Rose, C., Dodd, W., Scott, P., Cunsulo-Willox, A., & Orbinski, J. (2017). SOS: Summer of smoke – a mixed-methods, community-based study investigating the health effects of a prolonged, severe wildfire season on a subarctic population. *Canadian Journal of Emergency Medicine*, 19(1), 99.
- Hutchinson, J. A., Vargo, J., Milet, M., French, N. H. F., Billmire, M., Johnson, J., & Hoshiko, S. (2018). The San Diego 2007 wildfires and Medi-Cal emergency department presentations, inpatient hospitalizations, and outpatient visits: An observational study of smoke exposure periods and a bidirectional case-crossover analysis. *PLoS Medicine*, 15(7).
- Huang, S., Siegert, F., Goldammer, J. G., & Sukhinin, A. I. (2009). Satellite-derived 2003 wildfires in southern Siberia and their potential influence on carbon sequestration. *International Journal of Remote Sensing*, 30(6), 1479-1492.
- Ignotti, E., Valente, J. G., Longo, K. M., Freitas, S. R., Hacon Sde, S., Netto, P. A. (2010). Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. *Rev Saude Publica*, 44(1), 121-130.
- Jaber, A., Guarnieri, F., & Wybo, J. L. (2001). Intelligent software agents for forest fire prevention and fighting. *Safety Science*, 39(1-2), 3-17.
- Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric environment*, 43(1), 51-63.
- Jacobsen, A. P., Khiew, Y. C., Duffy, E., O'Connell, J., Brown, E., Auwaerter, P. G., Blumenthal, R. S., Schwartz, B. S., & McEvoy, J. W. (2022). Climate change and the prevention of cardiovascular disease. *American Journal of Preventive Cardiology*, 100391.
- Jaffe, D. A., O'Neill, S. M., Larkin, N. K., Holder, A. L., Peterson, D. L., Halofsky, J. E., & Rappold, A. G. (2020). Wildfire and prescribed burning impacts on air quality in the United States. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 70(6), 583-615.
- Jeffrey, L., Ong, M. Y., Nomanbhay, S., Mofijur, M., Mubashir, M., & Show, P. L. (2021). Greenhouse gases utilization: A review. *Fuel*, 301, 121017.
- Johnston, F. H., Webby, R. J., Pilotto, L. S., Bailie, R. S., Parry, D. L., & Halpin, S. J. (2006). Vegetation fires, particulate air pollution and asthma: a panel study in the Australian monsoon tropics. *Int J Environ Health Res.*, 16(6), 391-404. doi: 10.1080/09603120601093642.
- Johnston, F., Hanighan, I., Henderson, S., Morgan, G., & Bowman, D. (2011). Extreme air pollution events from bushfires and dust storms and their association with mortality in Sydney, Australia 1994–2007. *Environ. Res.*, 111, 811–816.
- Johnston, F. H., Henderson, S. B., Chen, Y., Randerson, J. T., Marlier, M., Defries, R. S., Kinney, P., Bowman, D. M., & Brauer, M. (2012). Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires. *Environ. Health Perspect*, 120(5), 695–701.
- Juchun, L. (2002). Influence of forest fire disaster on forest ecosystem in Great Xing'anling. *Journal of Beijing Forestry University*, 24(5/6), 101-107.

- Keane, R. E., Morgan, P., & White, J. D. (1999). Temporal patterns of ecosystem processes on simulated landscapes in Glacier National Park, Montana, USA. *Landscape Ecology* 14, 311–329.
- Keeley, J. E., Syphard, A. D. (2021). Large California wildfires: 2020 fires in historical context. *Fire Ecology*, 17(1), 1-11.
- Kirchmeier-Young, M. C., Gillett, N. P., Zwiers, F. W., Cannon, A. J., & Anslow, F. S. (2019). Attribution of the influence of human-induced climate change on an extreme fire season. *Earth's Future*, 7(1), 2-10.
- Krewski, D., Jerrett, M., Burnett, R.T., Ma, R., Hughes, E., Shi, Y., Turner, M.C., Pope C.A. 3rd, Thurston, G., Calle, E.E., Thun, M.J., Beckerman, B., DeLuca, P., Finkelstein, N., Ito, K., Moore, D.K., Newbold, K.B., Ramsay, T., Ross, Z., Shin, H., & Tempalski, B. (2009). Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. *Res Rep Health Eff Inst.*, 140, 5-114.
- Kochi I., Donovan, G. H., Champ, P. A., Loomis, J. B. (2010). The economic cost of adverse health effects from wildfire-smoke exposure: a review. *International Journal of Wildland Fire* 19, 803-817.
- Kochtubajda, B., Stewart, R. E., Flannigan, M. D., Bonsal, B. R., Cuell, C., & Mooney, C. J. (2019). An assessment of surface and atmospheric conditions associated with the extreme 2014 wildfire season in Canada's Northwest Territories. *Atmosphere-Ocean*, 57(1), 73-90.
- Konovalov, I. B., Beekmann, M., Kuznetsova, I. N., Yurova, A., & Zvyagintsev, A. M. (2011). Atmospheric impacts of the 2010 Russian wildfires: integrating modelling and measurements of an extreme air pollution episode in the Moscow region. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(19), 10031-10056.
- Kunzli, N., Avol, E., Wu, J., Gauderman, W. J., Rappaport, E., Millstein, J., Bennion, J., McConnell, R., Gilliland, F. D., Berhane, K., Lurmann, F., Winer, A., & Peters, J. M. (2006). Health effects of the 2003 southern California wildfires on children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 174, 1221-1228.
- Lareau, N. P., Nauslar, N. J., & Abatzoglou, J. T. (2018). The Carr Fire vortex: a case of pyrotornadogenesis?. *Geophysical research letters*, 45(23), 13-107.
- Larsen, J. C., Dennison, P. E., Cova, T. J., & Jones, C. (2011). Evaluating dynamic wildfire evacuation trigger buffers using the 2003 Cedar Fire. *Applied Geography*, 31(1), 12-19.
- Launchbaugh, K., Brammer, B., Brooks, M. L., Bunting, S., Clark, P., Davison, J., Fleming, M., Kay, R., Pellant, M., Pyke, D. A., & Wylie, B. (2008). Interactions among livestock grazing, vegetation type, and fire behavior in the Murphy Wildland Fire Complex in Idaho and Nevada, July 2007. *US Geological Survey Open-File Report*, 1214, 42.
- Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., & da Vinha, L. (2015). Mega-fires around the world: A literature review. *Wildland Fires—A Worldwide Reality*. New York, Nova Science Publishers, 15-33.
- Lenihan, J., Daly, C., Bachelet, D. & Neilson., R. P. (1998). Simulating broad-scale fire severity in a dynamic global vegetation model. *Northwest Science* 72, 91–103.
- Levine, J. S. (1999). The 1997 fires in Kalimantan and Sumatra, Indonesia: Gaseous and particulate emissions. *Geophysical Research Letters*, 26(7), 815-818.
- Letey, J. (2001). Causes and consequences of fire-induced soil water repellency. *Hydrological Processes*, 15(15), 2867-2875.

- Liu, J. C., Mickley, L. J., Sulprizio, M. P., Dominici, F., Yue, X., Ebisu, K., Anderson, G. B., Khan, R. F. A., Bravo, M. A., & Bell, M. L. (2016). Particulate air pollution from wildfires in the Western US under climate change. *Climatic change*, 138(3), 655-666.
- Liu, Y., Kahn, R. A., Chaloulakou, A., & Koutrakis, P. (2009). Analysis of the impact of the forest fires in August 2007 on air quality of Athens using multi-sensor aerosol remote sensing data, meteorology and surface observations. *Atmospheric Environment*, 43(21), 3310-3318.
- Liu, Y., Zhou, L., Tans, P., Zang, K., Cheng, S. (2018). Ratios of greenhouse gas emissions observed over the Yellow Sea and the East China Sea. *Science of The Total Environment*, 633, 1022-1031. doi: org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.250
- Lorenzoni, I., Nicholson-Cole, S. & Whitmarsh, L. (2007). Barriers perceived to engaging with Climate Change among the UK public and their policy implications. *Global Environmental Change* 17(3-4), 445-459.
- Magnoli, G. (2018). County estimates \$46 million cost for Thomas Fire, Montecito debris flow response, repairs. Noozhawk.
- Mamuji, A. A., Rozdilsky, J. L. (2019). Wildfire as an increasingly common natural disaster facing Canada: understanding the 2016 Fort McMurray wildfire. *Natural Hazards*, 98(1), 163-180.
- Mansoor, S., Farooq, I., Kachroo, M. M., Mahmoud, A. E. D., Fawzy, M., Popescu, S. M., Alyemeni, M., N., Sonne, C., Rinklebe, J., & Ahmad, P. (2022). Elevation in wildfire frequencies with respect to the climate change. *Journal of environmental management*, 301, 113769.
- Martins, V., Miranda, A. I., Carvalho, A., Schaap, M., Borrego, C., & Sá, E. (2012). Impact of forest fires on particulate matter and ozone levels during the 2003, 2004 and 2005 fire seasons in Portugal. *Science of the Total Environment*, 414, 53-62.
- Masyagina, O. V. (2021). Carbon dioxide emissions and vegetation recovery in fire-affected forest ecosystems of Siberia: Recent local estimations. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 23. doi: 10.1016/j.coesh.2021.100283.
- Matz, C. J., Egyed, M., Xi, G., Racine, J., Pavlovic, R., Rittmaster, R., Henderson, S. B., & Stieb, D. M. (2020). Health impact analysis of PM_{2.5} from wildfire smoke in Canada (2013-2015, 2017-2018). *Sci Total Environ*, 725, 138506. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138506.
- McKenzie, D., Gedalof, Z., Peterson, D.L., & Mote, P. (2004). Climatic Change, Wildfire, and Conservation. *Conservation Biology*, 18 (4), 890-902.
- Melvin, A. M., Murray, J., Boehlert, B., Martinich, J. A., Rennels, L., & Rupp, T. S. (2017). Estimating wildfire response costs in Alaska's changing climate. *Climatic Change* 141, 783–795. doi: 10.1007/s10584-017-1923-2
- Miller, M. E., Bowker, M. A., Reynolds, R. L., & Goldstein, H. L. (2012). Post-fire land treatments and wind erosion—lessons from the Milford Flat Fire, UT, USA. *Aeolian Research*, 7, 29-44.
- Mirabelli, M. C., Künzli, N., Avol, E., Gilliland, F. D., Gauderman, W. J., McConnell, R., & Peters, J. M. (2009). Respiratory symptoms following wildfire smoke exposure: airway size as a susceptibility factor. *Epidemiology*, 20(3), 451-459.
- Morgan, G., Sheppard, V., Khalaj, B., Ayyar, A., Lincoln, D., Jalaludin, B., Beard, J., Corbett, S., Lumley, T. (2010). Effects of bushfire smoke on daily mortality and hospital admissions in Sydney, Australia. *Epidemiology*, 21(1), 47–55.

- Morgan, G. W., Tolhurst, K. G., Poynter, M. W., Cooper, N., McGuffog, T., Ryan, R., Wouters, M. A., Stephens, N., Black, P., Sheehan, D., Leeson, P., Whight, S. & Davey, S. M. (2020). Prescribed burning in south-eastern Australia: history and future directions. *Australian Forestry*, 83(1), 4-28.
- Moser, S. C., Dilling, L. (2004). Making Climate Hot: Communicating the urgency and challenge of Climate Change. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* 46(10), 32-46.
- Mykolaichuk, M. (2021). Strategic environmental assessment of the territory as a public management instrument for technological development. A case of Ukraine. *Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti*, 25(1), 188-204.
- Naeher, L.P., Brauer, M., Lipsett, M., Zelikoff, J.T., Simpson, C.D., Koenig, J.Q., Smith, K.R. (2007). Woodsmoke health effects: a review. *Inhal Toxicol* 19, 67–106.
- Nakajima, T., Higurashi, A., Takeuchi, N., & Herman, J. R. (1999). Satellite and ground-based study of optical properties of 1997 Indonesian forest fire aerosols. *Geophysical Research Letters*, 26(16), 2421-2424.
- Nakayama Wong, L. S., Aung, H. H., Lame, M. W., Wegesser, T. C., Wilson, D. W. (2011). Fine particulate matter from urban ambient and wildfire sources from California's San Joaquin Valley initiate differential inflammatory, oxidative stress, and xenobiotic responses in human bronchial epithelial cells. *Toxicol In Vitro*. 25(8), 1895–1905.
- Ne'eman, G., Izhaki, I., & Keeley, J. E. (2012). Fire in the Mediterranean—from genes to ecosystems. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 58(2-3), 103-111.
- Pereira, G., Freitas, S. R., Moraes, E., Ferreira, N. J., Shimabukuro, Y., Rao, V., Longo, K. (2009). Estimating trace gas and aerosol emissions over South America: Relationship between fire radiative energy released and aerosol optical depth observations. *Atmospheric Environment*, 43, 40, 6388-6397. doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.09.013.
- Perevolotsky, A., Boneh, O., Zalotzky, M., Lahav, H., Kaplan, D., Snir, H., & Stainer, N. (2011). Recommendations of the Committee of Management for the post-December 2010 fire on Mt. Carmel, Israel. Ministry of Environment, Israel.
- Poupkou, A., Markakis, K., Liora, N., Giannaros, T. M., Zanis, P., Im, U., ... & Zerefos, C. (2014). A modeling study of the impact of the 2007 Greek forest fires on the gaseous pollutant levels in the Eastern Mediterranean. *Atmospheric research*, 149, 1-17.
- Quintano, C., Fernandez-Manso, A., Marcos, E., & Calvo, L. (2019). Burn severity and post-fire land surface albedo relationship in Mediterranean forest ecosystems. *Remote Sensing*, 11(19), 2309.
- Rahman, M. I. U. (2013). Climate change: a theoretical review. *Interdisciplinary Description of Complex Systems: INDECS*, 11(1), 1-13.
- Rahn, M. (2009). *Wildfire Impact Analysis, Fire Impact Analysis, Spring 2009*. San Diego, CA: San Diego University. Διαθέσιμο από: http://universe.sdsu.edu/sdsu_newscenter/images/rahn2009fireanalysis.pdf
Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2022.
- Peterson, D. A., Hyer, E. J., Campbell, J. R., Fromm, M. D., Hair, J. W., Butler, C. F., & Fenn, M. A. (2015). The 2013 Rim Fire: Implications for predicting extreme fire spread, pyroconvection, and smoke emissions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(2), 229-247.

- Reid C.E., Brauer, M., Johnston, F.H., Jerrett, M., Balmes, J.R., & Elliott, C.T. (2016 α). Critical Review of Health Impacts of Wildfire Smoke Exposure. *Environ Health Perspect*, 124(9), 1334-1343.
- Reid, C. E., Jerrett, M., Tager, I. B., Petersen, M. L., Mann, J. K., & Balmes, J. R. (2016 β). Differential respiratory health effects from the 2008 northern California wildfires: A spatiotemporal approach. *Environmental research*, 150, 227-235.
- Reid C.E., Maestas M.M. (2019). Wildfire smoke exposure under climate change: impact on respiratory health of affected communities. *Curr Opin Pulm Med*.
- Requia, W.J., Amini, H., Mukherjee, R., Gold, D.R., & Schwartz, J.D. (2021). Health impacts of wildfire-related air pollution in Brazil: a nationwide study of more than 2 million hospital admissions between 2008 and 2018. *Nat. Commun*, 12, 6555.
- Rodríguez Vásquez, M.J., Benoist, A. Roda, J.M., & Fortin, M. (2021). Estimating greenhouse gas emissions from peat combustion in wildfires on Indonesian peatlands, and their uncertainty. *Global Biogeochem Cycles*, 35, Article e2019GB006218.
- Rooney, B., Wang, Y., Jiang, J. H., Zhao, B., Zeng, Z. C., & Seinfeld, J. H. (2020). Air quality impact of the northern California camp fire of November 2018. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(23), 14597-14616.
- Ruffault, J., Curt, T., Martin-StPaul, N. K., Moron, V., & Trigo, R. M. (2018). Extreme wildfire events are linked to global-change-type droughts in the northern Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(3), 847-856. doi: 10.5194/nhess-18-847-2018
- Sage, J. L., Nickerson, N. P. (2017). The Montana expression 2017: 2017's costly fire season.
- Sakellariou, S., Tampekis, S., Samara, F., Flannigan, M., Jaeger, D., Christopoulou, O., & Sfougaris, A. (2019). Determination of fire risk to assist fire management for insular areas: the case of a small Greek island. *Journal of Forestry Research*, 30(2), 589-601.
- San-Miguel-Ayanz, J., Barbosa, P., Camia, A., Kucera, J., Liberta, G., Schmuck, G., Schulte, E., Bucella, P., Colletti, L., & Flies, R. (2004). Forest Fires in Europe-2003 fire campaign. Official Publication of the European Communities, SPI, 4.
- Seiler, W., & Crutzen P.J. (1980). Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climate Change*, 2, 207-247.
- Shakesby, R.A., Doerr, S.H. (2006). Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, 74 (3-4), 269-307. doi: 10.1016/j.earscirev.2005.10.006.
- Simpson, I. J., Akagi, S. K., Barletta, B., Blake, N. J., Choi, Y., Diskin, G. S., Fried, A., Fuelberg, H. E., Meinardi, S., Rowland, F. S., Vay, S. A., Weinheimer, A. J., Wennberg, P. O., Wiebring, P., Wisthaler, A., Yang, M., Yokelson, R. J., & Blake, D. R. (2011). Boreal forest fire emissions in fresh Canadian smoke plumes: C1-C10 volatile organic compounds (VOCs), CO₂, CO, NO₂, NO, HCN and CH₃CN. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 6445-6463. doi: 10.5194/acp-11-6445-2011.
- Stephens, S., Burrows, N., Buyantuev, A., Gray, R., Keane, R., Kubian, R., Liu, S., Seijo, F., Shu, L., Tolhurst, K., & van Wagtenonk, J. (2013). Temperate and boreal forest mega-fires: Characteristics and challenges. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12, 115-122. doi: 10.1890/120332.

- Stevens, J.T., Kling, M.M., Schwilk, D.W., Varner, J.M., Kane, J.M. (2020). Biogeography of fire regimes in western U.S. conifer forests: A trait-based approach. *Global Ecology and Biogeography*, 29, 944-955. doi: 10.1111/geb.13079.
- Stowell, J.D., Geng, G., Saikawa, E., Chang, H.H., Fu, J., Yang, C.E., Zhu, Q., Liu, Y., Strickland, M.J. (2019). Associations of wildfire smoke PM2.5 exposure with cardiorespiratory events in Colorado 2011-2014. *Environ Int.*
- Sutherland, E. R., Make, B. J., Vedal, S., Zhang, L. N., Dutton, S. J., Murphy, J. R., & Silkoff, P.E. (2005). Wildfire smoke and respiratory symptoms in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 115(2), 420–422.
- Tentoglou, T., Burmistrova, J., & Hestir, E. (2021). Burn Severity and Albedo Analysis Concerning the Mendocino Complex Fire. In 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS (pp. 6496-6499). IEEE.
- Tessler, N. (2012). Documentation and analysis of wildfire regimes on Mount Carmel and the Jerusalem hills. *Themes in Israeli Geography*, 79–80, 184–193.
- Tessler, N., Sapir, Y., Wittenberg, L., & Greenbaum, N. (2015). Recovery of Mediterranean Vegetation after Recurrent Forest Fires: Insight from the 2010 Forest Fire on Mount Carmel, Israel. *Land Degradation & Development*, 27(5), 1424-1431.
- Thomaz, E. L., & Pereira, P. (2021). Editorial overview: “Fire. Prevention, management and challenges”. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 23, 100301. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100301>.
- Tillery, A. C., & Rengers, F. K. (2020). Controls on debris-flow initiation on burned and unburned hillslopes during an exceptional rainstorm in southern New Mexico, USA. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(4), 1051-1066.
- Trebs, I., Lara, L.L., Zeri, L.M.M., Gatti, L.V., Artaxo, P., Dlugi, R., Slanina, J., Andreae, M.O., Meixner, F.X. (2006). Dry and wet deposition of inorganic nitrogen compounds to a tropical pasture site (Rondônia, Brazil). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 447-469.
- Tymstra, C., Stocks, B. J., Cai, X., & Flannigan, M. D. (2020). Wildfire management in Canada: Review, challenges and opportunities. *Progress in Disaster Science*, 5, 100045. doi: 10.1016/j.pdisas.2019.100045.
- Urbanski, S. (2014). Wildland fire emissions, carbon, and climate: emission factors. *For Ecol Manage* 317, 51–60.
- United States, Government Accountability Office. (2007). *Wildland Fire Management: Lack of Clear Goals or a Strategy Hinders Federal Agencies' Efforts to Contain the Cost of Fighting Fires*. Technical Report GAO 07 655. DIANE Publishing.
- Van Breemen, N., Burrough, P. A., Velthorst, E. J., v. Dobben, H. F., d. Wit, T., Ridder, T. B., & Reijnders, H. F. R. (1982). Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall, *Nature*, 299, 548–550.
- Verma, V., Polidori, A., Schauer, J. J., Shafer, M. M., Cassee, F. R., & Sioutas, C. (2009). Physicochemical and toxicological profiles of particulate matter in Los Angeles during the October 2007 southern California wildfires. *Environmental science & technology*, 43(3), 954-960.
- Veraverbeke, S., Rogers, B. M., Goulden, M. L., Jandt, R. R., Miller, C. E., Wiggins, E. B., & Randerson, J. T. (2017). Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests. *Nature Climate Change*, 7, 529–534.

- Vilà-Vilardell, L., Keeton, W. S., Thom, D., Gyeltshen, C., Tshering, K., & Gratzer, G. (2020). Climate change effects on wildfire hazards in the wildland-urban-interface–Blue pine forests of Bhutan. *Forest Ecology and Management*, 461, 117927.
- Waltz, A. E., Stoddard, M. T., Kalies, E. L., Springer, J. D., Huffman, D. W., & Meador, A. S. (2014). Effectiveness of fuel reduction treatments: assessing metrics of forest resiliency and wildfire severity after the Wallow Fire, AZ. *Forest Ecology and Management*, 334, 43-52.
- Weber, M. G., & Stocks, B. J. (1998). Forest fires and sustainability in the boreal forests of Canada. *Ambio*, 27 (7), 545-550.
- Wegesser, T. C., Franzi, L. M., Mitloehner, F. M., Eiguren-Fernandez, A., & Last, J. A. (2010). Lung antioxidant and cytokine responses to coarse and fine particulate matter from the great California wildfires of 2008. *Inhal Toxicol*, 22(7), 561–70.
- Werndl, C. (2020). On defining climate and climate change. *The British Journal for the Philosophy of Science*.
- Westerling, A. L., & Bryant, B. P. (2008). Climate change and wildfire in California. *Climatic Change*, 87(1), 231-249.
- Westerling, A. L. (2018). Wildfire Simulations for California's Fourth Climate Change Assessment: Projecting Changes in Extreme Wildfire Events with a Warming Climate: a Report for California's Fourth Climate Change Assessment (p. 57). Sacramento, CA: California Energy Commission.
- Wilmot, T. Y., Mallia, D. V., Hallar, A. G., & Lin, J. C. (2022). Wildfire plumes in the Western US are reaching greater heights and injecting more aerosols aloft as wildfire activity intensifies. *Scientific Reports*, 12(1), 12400. doi: 10.1038/s41598-022-16607-3.
- Winkworth, G., Healy, C., Woodward, M., & Camilleri, P. (2009). Community capacity building: learning from the 2003 Canberra bushfires. *Australian Journal of Emergency Management*, 24(2), 5-12.
- Wittenberg, L. E. A., Inbar, M. (2009). The role of fire disturbance on runoff and erosion processes—a long-term approach, Mt. Carmel case study, Israel. *Geographical Research*, 47(1), 46-56.
- Xanthopoulos, G., Athanasiou, M., & Kaoukis, K. (2022). SUPPRESSION VERSUS PREVENTION. The disastrous forest fire season of 2021 in Greece. *International Association of Wildland Fire*. Διαθέσιμο από: <https://www.iawfonline.org/wp-content/uploads/2022/06/Wildfire-Magazine-Q2-2022-v2.pdf> Τελευταία πρόσβαση στις 17/8/2022.
- Xu, W., He, H. S., Hawbaker, T. J., Zhu, Z., & Henne, P. D. (2020α). Estimating burn severity and carbon emissions from a historic megafire in boreal forests of China. *Science of the Total Environment*, 716, 136534.
- Xu, R., Yu, P., Abramson, M. J., Johnston, F. H., Samet, J. M., Bell, M. L., Haines, A., Ebi, K. L., Li, S., & Guo, Y. (2020β). Wildfires, global climate change, and human health. *New England Journal of Medicine*, 383(22), 2173-2181.
- Zanobetti, A., Franklin, M., Koutrakis, P., Schwartz, J. (2009). Fine particulate air pollution and its components in association with cause-specific emergency admissions. *Environ. Health*, 8, 58. doi: 10.1186/1476-069X-8-58.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Πάπυρος Λαρούς Μπριτάνικα (1996). Τόμος 41. Εκδόσεις Πάπυρος Γραφικάί Τέχνη
Α.Ε. Αθήνα 1996.

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

- Calfire (California Department of Forestry and Fire Protection). n.d. Search Results. Cal Fire Department of Forestry and Fire Protection. Top 20 largest California Fires. Διαθέσιμο από: https://www.fire.ca.gov/media/4jandlhh/top20_acres.pdf Τελευταία πρόσβαση στις 1/7/2022.
- Congressional Research Service. (2022). Wildfire Statistics. Διαθέσιμο από: <https://sgp.fas.org/crs/misc/IF10244.pdf> Τελευταία πρόσβαση στις 10/9/2022.
- National Interagency Fire Center. (2012). Total wildland fires and acres (1960–2009). Διαθέσιμο από: <http://www.nifc.gov/fireInfo/nfn.htm> Τελευταία πρόσβαση στις 10/5/2022.
- Our world in data. Διαθέσιμο από: <https://ourworldindata.org/grapher/fire-death-rates?tab=chart&country=~USA> Τελευταία πρόσβαση στις 8/10/2022.
- Paris Agreement. (2015). Διαθέσιμο από: <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change/paris-agreement/> Τελευταία πρόσβαση στις 13/9/2022.
- WHO (World Health Organization). Wildfires overview (2022). Διαθέσιμο από: https://www.who.int/health-topics/wildfires#tab=tab_1 Τελευταία πρόσβαση στις 26/4/2022.
- Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας. (2000). Αρχείο Συμβάντων 2000. Διαθέσιμο από: https://www.fireservice.gr/el_GR/synola-dedomenon Τελευταία πρόσβαση στις 3/10/2022.
- Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας. (2007). Αρχείο Συμβάντων 2007. Διαθέσιμο από: https://www.fireservice.gr/el_GR/synola-dedomenon Τελευταία πρόσβαση στις 3/10/2022.
- Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας. (2009). Αρχείο Συμβάντων 2009. Διαθέσιμο από: https://www.fireservice.gr/el_GR/synola-dedomenon Τελευταία πρόσβαση στις 3/10/2022.
- Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας. (2018). Αρχείο Συμβάντων 2018. Διαθέσιμο από: https://www.fireservice.gr/el_GR/synola-dedomenon Τελευταία πρόσβαση στις 3/10/2022.
- Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας. (2021). Αρχείο Συμβάντων 2021. Διαθέσιμο από: https://www.fireservice.gr/el_GR/synola-dedomenon Τελευταία πρόσβαση στις 3/10/2022.

ABSTRACT

The incidence of fires at the global and national level is increasing every year. It is a phenomenon that seems to have become bigger in recent decades, since it appears with greater frequency, especially in the summer months. This thesis is a bibliographic review regarding the occurrence of uncontrolled fires and the effects they have on human health and the environment. In addition, the purpose of this paper is to raise awareness regarding the magnitude of the phenomenon and to underline the issue of better and more efficient management, especially of sensitive areas. Analyzing fire data from 1980 to 2020, through several multi-year studies, the aim is to highlight the effects of fires and the produced smoke on the atmosphere and human health. Thus, the following research question is formulated.

Research question: Do the particles and compounds contained in wildfire smoke affect human health? If so, to what extent?

Keywords: wildfires, forest fires, health impacts of wildfire, fire impacts on environment

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Καμένη έκταση στην Εύβοια, η πυρκαγιά σταμάτησε στα παράλια του Αιγαίου πελάγους. Πηγή: Northern Evia Fire 2021 (iawfonline.org).....	6
Εικόνα 2: Αριθμός πυρκαγιών και καμένα εκτάρια στις ΗΠΑ. Πηγή: Congressional Research Service, 2022	8
Εικόνα 3: Καμένη έκταση για την Καλιφόρνια για τις δεκαετίες από το 1860 έως το 2020. Πηγή: Keeley & Syphard, 2021.....	9
Εικόνα 4: Αριθμός πυρκαγιών και αριθμός καιγόμενης έκτασης στον Καναδά, 1970-2017, Πηγή: Tymstra et al., 2020	11
Εικόνα 5: Πυρκαγιά Hayman, Βραχώδη Όρη, 2002. Πηγή: Graham, 2003	20
Εικόνα 6: Πυρκαγιές (Αίτια, επιπτώσεις), Πηγή: Mansoor et al., 2022	23
Εικόνα 7: Γραφική παράσταση εκπομπών CO ₂ κατά τις δασικές πυρκαγιές στη Ρωσία το 2010, Πηγή: Guo et al., 2017	33
Εικόνα 8: Διαγραμματική απεικόνιση μέτρησης συγκέντρωσης αερίων στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Liu et al. (2018)	36
Εικόνα 9: Το Α μέρος της εικόνας αποτυπώνει το πλήθος και την ευρύτητα των περιοχών που επλήγησαν από τις πυρκαγιές από το 2004 ως το 2009. Το Β μέρος αποτυπώνει τη συγκέντρωση των PM _{2.5} ανά γεωγραφική περιοχή την ίδια περίοδο. Πηγή: Heaney et al. (2022)	41
Εικόνα 10: Μέσες τιμές συγκεντρώσεως PM _{2.5} κατά το διάστημα της έρευνας στο Κολοράντο για το διάστημα 2011-2014. Πηγή: Stowell et al., 2019	43
Εικόνα 11: Μέσες τιμές συγκεντρώσεως PM _{2.5} υπολογισμένες σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο: (PM _{2.5} fires- PM _{2.5} no fires)/ PM _{2.5} fires . Πηγή: Graham et al., 2021	45
Εικόνα 12: Επιπτώσεις του καπνού. Πηγή: Cascio, 2018.....	46
Εικόνα 13: Εκτιμώμενη οικονομική αξία των σχετιζόμενων με τα σωματίδια PM _{2,5} θανάτων στις ΗΠΑ. Πηγή: Fann et al., 2018	49
Εικόνα 14: Εκτιμώμενο κόστος των πυρκαγιών στο Σαν Ντιέγκο το 2003. Πηγή: Diaz, 2012.....	51

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Παγκόσμια χωροχρονική κατανομή mega-πυρκαγιών (mega fires)	13
Πίνακας 2: Χωροχρονική κατανομή πυρκαγιών στην Ελλάδα.....	21
Πίνακας 3: Συστατικά στοιχεία καπνού πυρκαγιών. Πηγή: Adetona et al., 2016.....	31