



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΕΔΑΦΗ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Α.Μ.: 1114201600059

Επιβλέπουσα: Δρ. Μεγρέμη Ιφιγένεια (Ε.ΔΙ.Π)

ΑΘΗΝΑ, 2024

Περίληψη

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα φυσικό φαινόμενο που σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή, καθώς τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση των πυρκαγιών σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι δασικές πυρκαγιές μπορεί να είναι είτε φυσικής είτε ανθρωπογενούς προέλευσης και αποτελεί μόνιμο πρόβλημα αντιμετώπισης η φυσική τους εμφάνιση σε αρκετά Μεσογειακά οικοσυστήματα.

Οι επιπτώσεις που προκαλούν οι δασικές πυρκαγιές είναι σημαντικές τόσο στο βιοτικό όσο και στο αβιοτικό μέρος ενός οικοσυστήματος, όπως είναι το έδαφος. Οι επιδράσεις που παρατηρούνται στο έδαφος σχετίζονται με τη θερμοκρασία, την υγρασία, την περιεκτικότητα σε θρεπτικά άλατα, αλλά και την έκπλυση και διάβρωσή του σε δευτερεύοντα χρόνο.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής ήταν η συγκέντρωση και καταγραφή, μέσω βιβλιογραφικής επισκόπησης, των επιδράσεων των δασικών πυρκαγιών στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους για την περιοχή της Μεσογείου. Ειδικότερα τα κριτήρια επιλογής των περιοχών που επλήγησαν από δασικές πυρκαγιές (Ελλάδα, Αλγερία, Λιβύη, Ισπανία, Τουρκία και Πορτογαλία) αφορούσαν το κοινό γεωγραφικό πλάτος, ή/και τις ίδιες κλιματικές συνθήκες, ή/και παρόμοια βλάστηση, ή/και είδος πυρκαγιάς. Μεταξύ αυτών επελέγη και μια περιοχή όπου η δασική πυρκαγιά δεν ήταν φυσικής ή/και ανθρωπογενούς προέλευσης αλλά ανήκε στην κατηγορία των ελεγχόμενων πυρκαγιών.

Λέξεις-κλειδιά: Δασικές πυρκαγιές, Μεσογειακά οικοσυστήματα, έδαφος

Abstract

Forest fires are a natural phenomenon related to climate change as in recent years there has been an increase in fires globally. Forest fires can be either of natural or anthropogenic origin and their natural occurrence in several Mediterranean ecosystems is a permanent problem to be addressed.

The impacts of forest fires are significant on both the biotic and abiotic parts of an ecosystem, such as the soil. The effects observed on the soil are related to temperature, moisture, nutrient content, but also to leaching and erosion in secondary time.

The aim of this thesis was to collect and document, through a literature review, the effects of forest fires on soil physicochemical properties for the Mediterranean region. In particular, the selection criteria for the regions affected by forest fires (Greece, Algeria, Libya, Libya, Spain, Turkey and Portugal) included common geographical latitude, and/or same climatic conditions, and/or similar vegetation, and/or fire type. Among these, one area was selected where the forest fire was neither of natural origin nor human induced but belonged to the category of prescribed fires.

Keywords: Forest fires, Mediterranean ecosystems, soil

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

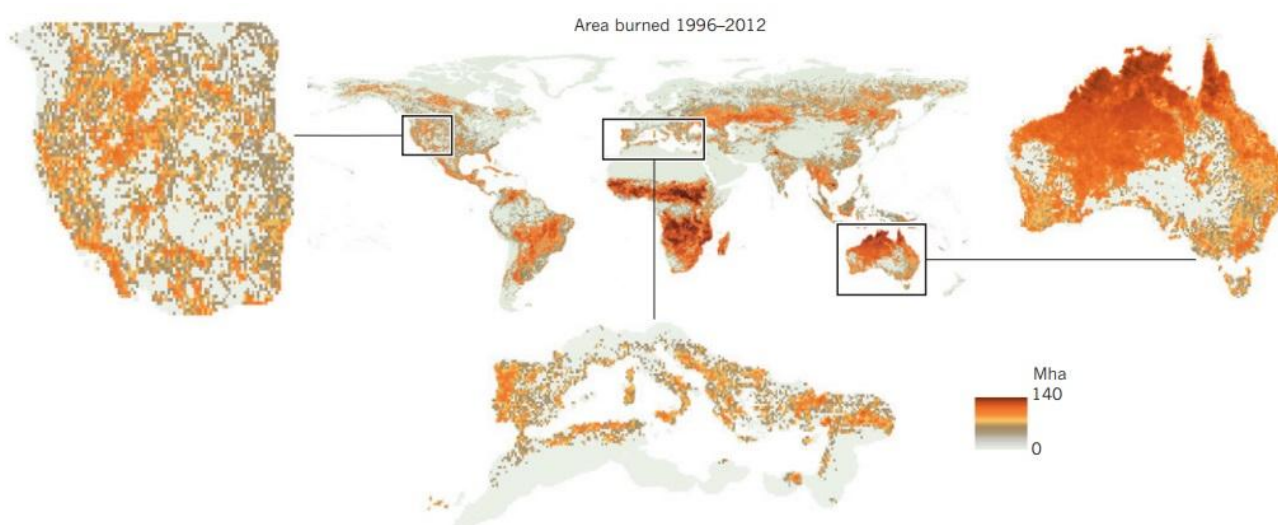
Περίληψη

Abstract

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή</u>	5
1.1 Ορισμός Πυρκαγιάς.....	7
1.2 Κατηγορίες Δασικών Πυρκαγιών.....	8
1.3 Συμπεριφορά Πυρκαγιάς.....	11
1.4 Στάδια Πυρκαγιάς.....	14
1.5 Δασικές Πυρκαγιές και Κλιματική Αλλαγή.....	16
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΔΑΦΟΣ</u>	19
2.1 Φυσικές Ιδιότητες Εδάφους.....	22
2.2 Χημικές Ιδιότητες Εδάφους.....	24
2.3 Επιπτώσεις δασικών πυρκαγιών στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών.....	25
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ</u>	27
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ</u>	32
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	38
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

Οι πυρκαγιές είναι ένα φυσικό φαινόμενο που λαμβάνει χώρα σε παγκόσμια έκταση (Εικόνα 1). Ως φυσικό φαινόμενο που απειλεί τον άνθρωπο και το περιβάλλον θεωρείται φυσική καταστροφή. Οι δασικές πυρκαγιές μπορεί να είναι είτε φυσικής είτε ανθρωπογενούς προέλευσης και αποτελεί μόνιμο πρόβλημα αντιμετώπισης η φυσική τους εμφάνιση σε αρκετά οικοσυστήματα (όπως τα Μεσογειακά).



Εικόνα 1. Παγκόσμιος χάρτης απεικόνισης καμένων εκτάσεων μεταξύ 1996-2012 σε χιλιάδες εκτάρια (Moritz et al., 2014)

Αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο που σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή καθώς τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση των πυρκαγιών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Οι επιπτώσεις που προκαλεί η φωτιά είναι πληθώρες τόσο στο αβιοτικό όσο και στο βιοτικό μέρος ενός οικοσυστήματος. Ως αβιοτικό μέρος εννοείται το έδαφος. Οι επιδράσεις που παρατηρούνται στο έδαφος σχετίζονται με τη θερμοκρασία, την υγρασία, την περιεκτικότητα σε θρεπτικά άλατα, αλλά και την έκπλυση και διάβρωσή του σε δευτερεύοντα χρόνο. Το βιοτικό μέρος αποτελούν η χλωρίδα και η πανίδα.

Οι φυσικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους σε σχέση με τις χημικές επηρεάζονται περισσότερο από την πυρκαγιά (Alcañiz et al., 2018). Οι αλλαγές που προκαλούνται σχετίζονται με την μορφή της βλάστησης αλλά και την σύνθεση της πανίδας (πυκνότητα και δραστηριότητα πληθυσμών). Είναι αδύνατο να εξαλειφθούν εντελώς οι δασικές πυρκαγιές καθώς και το πιο τέλειο σχέδιο πυροπροστασίας είναι

ουτοπικό. Γενικά, οι δασικές πυρκαγιές έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη ψυχολογία δημιουργώντας ένα τοπίο καταστροφής και συγχρόνως στις ανθρώπινες δραστηριότητες καθώς συμβάλλουν στη σταδιακή ερημοποίηση των περιοχών που πλήττονται. Παρόλα αυτά, μπορεί να έχουν θετική επίδραση στη φυσική αναγέννηση των δασικών οικοσυστημάτων και στην αύξηση της βιοποικιλότητας. Παράλληλα όμως, μπορεί να έχουν και αρνητική επίδραση υποβαθμίζοντας πλήρως τα δασικά οικοσυστήματα εάν οι πυρκαγιές επαναλαμβάνονται στις ίδιες περιοχές σε σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα.

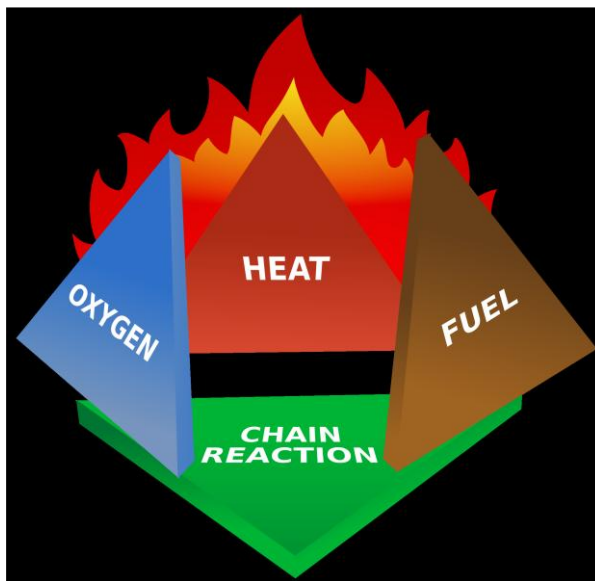
Η ανησυχία και η σημασία του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών είναι επομένως κατανοητή, δεδομένου ότι πάνω από το 10% της έκτασης της χώρας μας καλύπτεται σήμερα από άγονες και βραχύδεις εκτάσεις λόγω των πυρκαγιών.

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η συγκέντρωση, καταγραφή και ανάλυση, μέσω βιβλιογραφικής επισκόπησης, των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους σε περιοχές της Μεσογείου. Η εργασία εξετάζει διαφορετικές χώρες (Ελλάδα, Αλγερία, Λιβύη, Ισπανία, Τουρκία και Πορτογαλία) που επλήγησαν από πυρκαγιές, με κριτήρια επιλογής την κοινή γεωγραφική θέση, τις παρόμοιες κλιματικές συνθήκες, τη σύνθεση της βλάστησης ή/και το είδος πυρκαγιάς. Αναφορά γίνεται και σε μία περίπτωση ελεγχόμενης πυρκαγιάς, προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα με εκείνα των φυσικών ή ανθρωπογενών πυρκαγιών.

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Ως πυρκαγιά ορίζεται το είδος της ανεξέλικτης φωτιάς που αναπτύσσεται επί κάποιου είδους καύσιμης ύλης (π.χ δέντρα). Για να υπάρξει καύση και στη συνέχεια πυρκαγιά είναι απαραίτητη η ταυτόχρονη ύπαρξη: α) καύσιμης ύλης, β) οξυγόνου και γ) θερμότητας (Εικόνα 2). Αν για κάποιο λόγο υπάρξει έλλειψη ενός εκ των τριών προαναφερθέντων, η φωτιά παύει. Οι τρεις αυτές παράμετροι συνθέτουν το τρίγωνο της φωτιάς.



Εικόνα 2. Το τρίγωνο της φωτιάς
https://www.sc.edu/ehs/training/Fire/01_triangle.htm

Η καύσιμη ύλη διακρίνεται: α) στην υπεδάφια (χούμους, τύρφη ,νεκρό ριζικό σύστημα), β) στην επί εδάφους καύσιμη ύλη (βλάστηση έως 2μέτρα) και γ) στην εναερία καύσιμη ύλη (βλάστηση άνω των 2μέτρων από την επιφάνεια).

Το οξυγόνο βρίσκεται στον ατμοσφαιρικό αέρα σε ποσοστό 23% κατά βάρος. Η θερμότητα που απαιτείται προέρχεται από κεραυνό ή εμπρησμό είτε από αμέλεια είτε από πρόθεση. Οι πηγές τις θερμότητας αποτελούν και τις αιτίες πρόκλησης της πυρκαγιάς.

1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Υπάρχουν δύο τύποι δασικών πυρκαγιών: οι ελεγχόμενες (prescribed) και οι μη ελεγχόμενες (wildfires) . Η ελεγχόμενη καύση της φυσικής επιφάνειας του δάσους ή των αποβλήτων μετά από την κοπή δέντρων είναι μια τυπική πρακτική για τη μείωση των καύσιμων υλών, με στόχο τη μείωση της έκτασης και της έντασης των μη ελεγχόμενων πυρκαγιών ή για την ενίσχυση της επιθυμητής βλάστησης στο δάσος. Είναι προτιμότερο να λαμβάνει χώρα όταν το έδαφος είναι μέτρια υγρό ώστε να έχει μικρή ένταση (Walstad et al., 1990). Αντίθετα, οι μη ελεγχόμενες δασικές πυρκαγιές συμβαίνουν γενικά στην παρουσία άφθονου και ξηρού φορτίου καυσίμων και, επομένως, παρουσιάζουν μεγάλη ένταση. Ωστόσο, λόγω της ανομοιογενούς χωρικής κατανομής της έντασης, τα φυσικά καμένα εδάφη συχνά εμφανίζονται ως χαοτικά μωσαϊκά περιοχών με μικρή ή μεγάλη επίδραση από την πυρκαγιά (Rab, 1996).

Η κατηγοριοποίηση των πυρκαγιών είναι μια διαδικασία που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η προέλευση, ο τρόπος εξάπλωσης, η ταχύτητα διάδοσης και τα αποτελέσματά τους.

Ανάλογα, με τη θέση τους ως προς την επιφάνεια του εδάφους και τον τρόπο εξάπλωσής τους διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες (Εικόνα 3) (Καϊλίδης και Καρανικόλα, 2004): α) Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες β) Πυρκαγιές επιφάνειας ή έρπουσες γ) Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες και δ) Μικτές πυρκαγιές

Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες(groundfire): Σε αυτή την περίπτωση καίγεται οργανική ύλη (ξερά φύλλα, κλαδιά, βρύα κ.α.) που έχει συγκεντρωθεί κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ακόμη και κάτω από αυτήν, αλλά βρίσκεται συνήθως σε στάδιο αποσύνθεσης. Στις πυρκαγιές εδάφους μπορεί να παρατηρηθεί παρουσία καπνού. Γενικά, διαδίδονται αργά, με μικρή ταχύτητα καύσης και ενδέχεται να είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες, καθώς εξελίσσονται χωρίς να γίνονται άμεσα αντιληπτές. Έχουν την δυνατότητα να καταστρέψουν το ριζικό σύστημα των φυτών.

Πυρκαγιές επιφάνειας ή έρπουσες(surfacefires): Είναι οι πυρκαγιές που καίνε τους χορτοβοσκότοπους, τον βελονοτάπητα ή φυλλοτάπητα, τα ξερά κλαδιά, , το χορτάρι, τα υπολείμματα των υλοτομιών, θάμνους, πόες, ή και συνδυασμούς των παραπάνω.

Η καύση φθάνει έως και τα 2 μέτρα ύψος από την επιφάνεια. Περιλαμβάνονται και οι πυρκαγιές των θάμνων οι οποίες είναι οι πιο συχνές και επικίνδυνες. Από αυτές ξεκινούν οι πυρκαγιές κόμης.

Το συγκεκριμένο είδος διαδίδεται πιο γρήγορα από τις υπόγειες, λόγω της αφθονίας οξυγόνου και ξηρής καύσιμης ύλης, της παρουσίας φλόγας και κατάλληλης θερμοκρασίας.

Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες(crownfire): Αναφέρονται στις πυρκαγιές όπου η φωτιά ξεπερνάει τα 2 μέτρα ύψος και καίει την κόμη των δέντρων. Τέτοιου είδους πυρκαγιές έχουμε συνήθως στα κωνοφόρα. Σε πυκνά δάση αυτές οι πυρκαγιές απλώνονται ταχύτατα αφού η φωτιά μεταδίδεται γρήγορα από την μια κόμη στην άλλη. Ο καπνός έχει σκούρο χρώμα, υψώνεται πάνω από το δάσος περικλείοντάς το και δημιουργώντας σχήμα μανιταριού. Η ταχύτητα διάδοσης είναι μεγαλύτερη από κάθε άλλη κατηγορία (Neary et al., 2005).

Μικτές Πυρκαγιές: Αποτελεί τον συνδυασμό δύο ή και περισσότερων από τις παραπάνω κατηγορίες. Αποτελούν την πιο επικίνδυνη κατηγορία, καθώς ο τρόπος εξάπλωσης είναι απρόβλεπτος.



Εικόνα 1. Κατηγορίες Πυρκαγιών (Εδάφους-Επιφάνειας-Κόμης)
<https://twitter.com/ONforestfires/status/1102634466831409153?s=20>

1.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Η συμπεριφορά δασικής πυρκαγιάς αναφέρεται στον τρόπο καύσης της καύσιμης ύλης, στα χαρακτηριστικά εξάπλωσης της φωτιάς και στα φαινόμενα που επηρεάζουν την εξάπλωσή της. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν, την εμφάνιση, την εξάπλωση και διατήρηση των δασικών πυρκαγιών είναι: α) η καύσιμη ύλη, β) η τοπογραφία και γ) οι μετεωρολογικές συνθήκες. Οι τρεις αυτοί παράγοντες συνθέτουν το τρίγωνο συμπεριφοράς της φωτιάς.

ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ

Η καύσιμη ύλη αποτελείται από νεκρά ξυλώδη υλικά (βελόνες, πεσμένα κλαδιά, ξηρή ποώδη βλάστηση και κορμούς δένδρων) ή από ζωντανά δέντρα, θάμνους και άλλη βλάστηση και προέρχεται από το δάσος που λαμβάνει χώρα η πυρκαγιά.

Ανάλογα με την θέση της στον χώρο διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: α) την υποεδάφια, β) την επιδάφια και γ) την εναέρια καύσιμη ύλη.

Η **υποεδάφια καύσιμη ύλη** περιλαμβάνει όλα τα αναφλέξιμα υλικά, που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και βρίσκονται σε κατάσταση αποσύνθεσης, όπως νεκρές ρίζες, σάπιοι κορμοί και κλαδιά.

Λόγω της θέσης τους, ο εμπλουτισμός με οξυγόνο είναι περιορισμένος, με αποτέλεσμα μην ευνοείται η εξάπλωση της πυρκαγιάς. Ωστόσο, πυρκαγιές που προέρχονται από τέτοιου είδους καύσιμη ύλη, χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής, καθώς η φωτιά μπορεί να διατηρηθεί για ώρες ή ακόμα και για μέρες μετά την κατάσβεση της φλόγας, προκαλώντας αναζωπυρώσεις.

Η **επιδάφια καύσιμη ύλη** περιλαμβάνει το ζωντανό και νεκρό οργανικό υλικό που βρίσκεται πάνω στο έδαφος. Η καύσιμη αυτή ύλη, αποτελείται από πεσμένα φύλλα και βελόνες, βλάστηση ύψους έως δύο (2) μέτρων και ποώδη φυτά. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί πως από την επιδάφια καύσιμη ύλη προέρχεται η αρχική ανάφλεξη των δασικών πυρκαγιών, εξαιτίας της υψηλής διαθεσιμότητας οξυγόνου στην ατμόσφαιρα.

Η εναέρια καύσιμη ύλη περιλαμβάνει οργανικά υλικά ζωντανά ή νεκρά που βρίσκονται σε ύψος μεγαλύτερο των 2 μέτρων από το έδαφος, στα δένδρα. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν όλα τα πράσινα και νεκρά υλικά, όπως τα κλαδιά των δένδρων και τα φυλλώματα που βρίσκονται στην κόμη τους (Καϊλίδης & Καρανικόλα, 2004).

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ

Η τοπογραφία αποτελεί τη σταθερότερη μεταβλητή στο τρίγωνο. Η κλίση, το υψόμετρο και άλλα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, οι πυρκαγιές συνήθως εξαπλώνονται ταχύτερα από χαμηλότερα προς υψηλότερα σημεία, επειδή η καύσιμη ύλη που βρίσκεται μπροστά από το μέτωπο της φωτιάς θερμαίνεται, χάνει την υγρασία της και γίνεται πιο εύφλεκτη..

Η εξάπλωση είναι ταχύτερη όσο αυξάνεται η κλίση του εδάφους. Μάλιστα, σε μεγάλες κλίσεις τα φλεγόμενα κομμάτια καύσιμης ύλης μπορεί να κατρακυλήσουν και να δημιουργήσουν νέες εστίες φωτιάς.

Η ταχύτητα εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς αυξάνεται από τα κατόντη προς τα ανάντη. Αυτό συμβαίνει διότι σε περιοχές με μεγάλη κλίση η παρακείμενη καύσιμη ύλη βρίσκεται πιο κοντά στις φλόγες και, κατά συνέπεια, δέχεται μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολούμενης θερμότητας.

Επίσης, σε μεγάλα υψόμετρα παρατηρείται μικρότερη απώλεια υγρασίας από την καύσιμη ύλη, λιγότερη θέρμανσή της και περισσότερη βροχόπτωση καθώς επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες και μικρότερη περιεκτικότητα. Ως αποτέλεσμα η εμφάνιση και η εξάπλωση πυρκαγιών σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο είναι περιορισμένες.

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι κυριότεροι μετεωρολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την έναρξη και εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα, το ύψος της βροχής και ο άνεμος. Ο συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων δημιουργεί τις συνθήκες για την εκδήλωση και εξάπλωση της φωτιάς. Επιπλέον, ο άνεμος επηρεάζει σημαντικά την πυρκαγιά, καθώς μπορεί να μεταφέρει καύσιμη ύλη σε αποστάσεις και να προκαλέσει νέες εστίες.

1.4 ΣΤΑΔΙΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Οι δασικές πυρκαγιές εξελίσσονται συνήθως μέσα από ορισμένα στάδια, καθένα από τα οποία έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Αυτά τα στάδια μπορεί να ποικίλουν σε διάρκεια και ένταση, ανάλογα με παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα καύσιμης ύλης, οι καιρικές συνθήκες και η μορφολογία του εδάφους. Τα βασικά στάδια μιας δασικής πυρκαγιάς διακρίνονται ως εξής:

Στάδιο Ανάφλεξης: Αυτό είναι το αρχικό στάδιο κατά το οποίο ξεκινά η πυρκαγιά. Οι αιτίες ανάφλεξης ποικίλουν και μπορεί να περιλαμβάνουν αστραπές, ανθρώπινες δραστηριότητες όπως πεταμένα τσιγάρα ή εμπρησμό. Η φωτιά αρχίζει να καταναλώνει την καύσιμη ύλη που υπάρχει στην περιοχή.

Στάδιο αρχικής ανάπτυξης: Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, η φωτιά αρχίζει να διαδίδεται και να εντείνεται. Καταναλώνει ξηρή βλάστηση, όπως πεσμένα φύλλα, γρασίδι και μικρά κλαδιά. Η φωτιά παράγει θερμότητα, η οποία, συμβάλλει στην ξήρανση της γύρω βλάστησης, καθιστώντας την πιο ευάλωτη στην καύση.

Στάδιο Εδραίωσης: Σε αυτό το στάδιο, η φωτιά εδραιώνεται στο περιβάλλον. Ενδέχεται να δημιουργεί το δικό της άνεμο, ο οποίος επιταχύνει την εξάπλωση. Η φωτιά κατακαίει μεγαλύτερης μάζας βλάστηση, όπως θάμνους και μικρά δέντρα.

Στάδιο Μεσαίας Ανάπτυξης: Σε αυτό το σημείο, η φωτιά εξαπλώνεται γρήγορα και εντείνεται. Μπορεί να επιδείξει πιο έντονη συμπεριφορά, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας στροβιλισμών φωτιάς (παρόμοιων με τους τυφώνες) και της παραγωγής σημαντικής θερμότητας και καπνού. Σπίθες και καμένα υλικά ενδέχεται να μεταφερθούν μπροστά από το κύριο μέτωπο της φωτιάς, προκαλώντας νέες εστίες.

Στάδιο κορύφωσης έντασης: Αυτό το στάδιο αντιπροσωπεύει το σημείο μέγιστης έντασης και ενέργειας της φωτιάς. Η φωτιά καταναλώνει μεγάλα δέντρα και φυλλώματα, ελευθερώνοντας τεράστια ποσότητα θερμότητας.

Στάδιο Σήψης: Καθώς η διαθέσιμη καύσιμη ύλη εξαντλείται και οι καιρικές συνθήκες μεταβάλλονται, η ένταση της φωτιάς αρχίζει να μειώνεται. Ο ρυθμός διάδοσης επιβραδύνεται και η φωτιά αρχίζει να χάνει τη δυνατότητά της να διατηρηθεί.

Στάδιο Σβησίματος: Αυτό είναι το τελικό στάδιο, στο οποίο η φωτιά σβήνει πλήρως, είτε φυσικά είτε μέσω ενεργειών κατάσβεσης. Σηματοδοτεί το τέλος της ενεργής φάσης της φωτιάς.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα στάδια αυτά δεν εμφανίζονται πάντοτε με σαφή διαχωρισμό και μπορεί να αλληλεπικαλύπτονται ή να διαφέρουν, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Επιπλέον, οι δασικές πυρκαγιές ενδέχεται να εμφανίσουν ασταθή συμπεριφορά, γεγονός που καθιστά δύσκολη την πρόβλεψη και τη διαχείρισή τους.

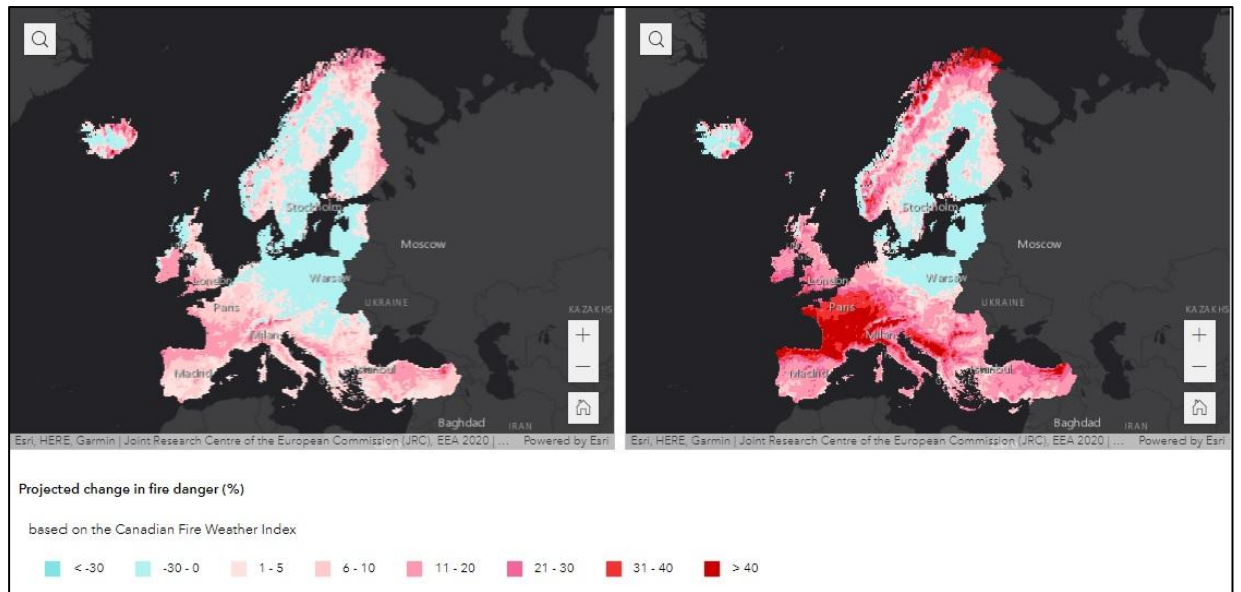
1.5 ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Η ανθρώπινη δραστηριότητα επηρεάζει σημαντικά το κλίμα της γης, καθώς προσθέτει όλο και περισσότερες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου σε εκείνες που απαντώνται φυσιολογικά στην ατμόσφαιρα. Τα αέρια αυτά, προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, καθώς και από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η αποψίλωση των τροπικών δασών, η γεωργία, η κτηνοτροφία και η παραγωγή χημικών ουσιών. Το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου από ανθρώπινες δραστηριότητες είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Συνεπώς, τα αέρια αυτά ενισχύουν το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» στην ατμόσφαιρα του πλανήτη μας, με αποτέλεσμα την αύξηση θερμοκρασίας της γης με πρωτοφανείς ρυθμούς και να επέρχονται σημαντικές αλλαγές στο κλίμα.

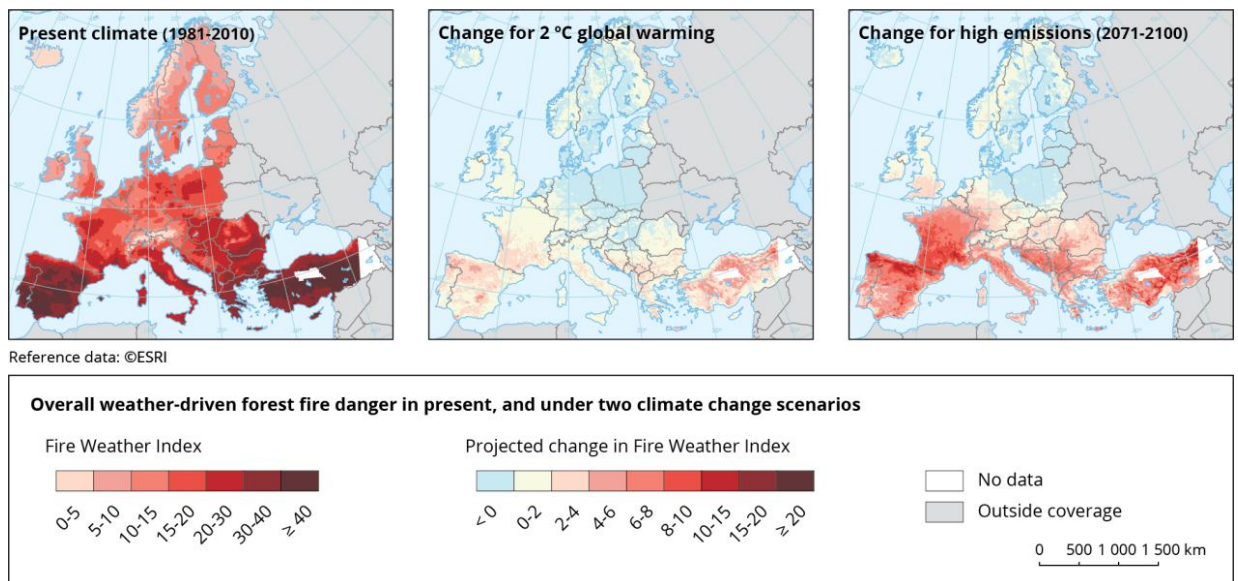
Το κλίμα στην Μεσόγειο αναμένεται να γίνει θερμότερο από τον παγκόσμιο μέσο όρο με μείωση των βροχοπτώσεων ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Η άνοδος της θερμοκρασίας και η παρατεταμένη διάρκεια ξηρασίας οδηγούν σε αύξηση των δασικών πυρκαγιών. Ακόμα, η κλιματική αλλαγή είναι πιθανό να αυξήσει τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου αυξάνοντας και τις περιοχές που διατρέχουν κίνδυνο. Οι ακραίες συνθήκες είναι πιθανό να αυξηθούν σε πολλές περιοχές και μαζί με αυτές η πιθανότητα μεγάλων πυρκαγιών (Moreno et al., 1998).

Προβλέψεις για τον μελλοντικό κίνδυνο πυρκαγιάς λόγω κλιματικής αλλαγής έχουν αυξητική τάση (Karali et al., 2014).

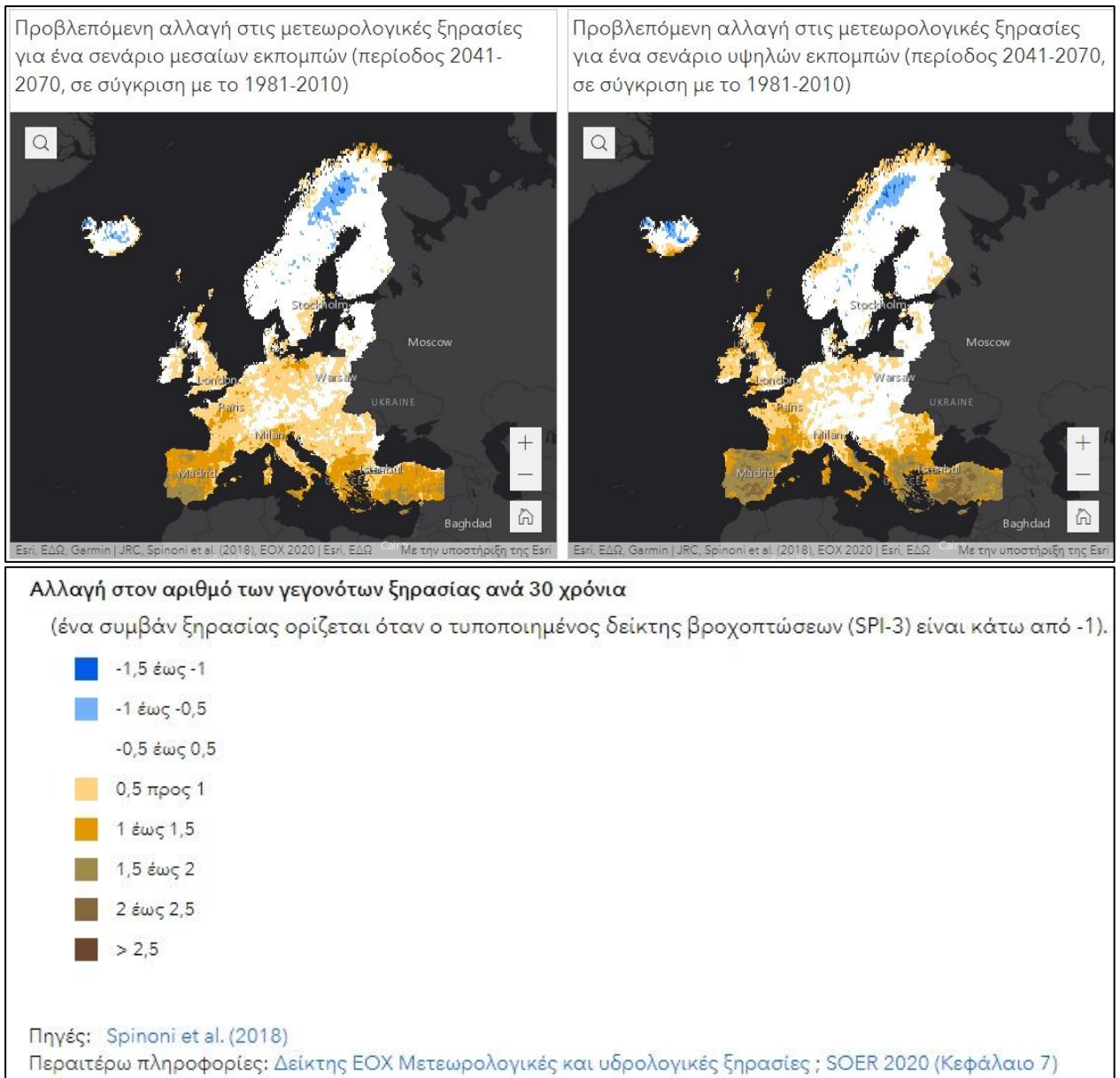
Η σχετική αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς (Εικόνα 4) (με βάση τον Καναδικό δείκτη καιρού πυρκαγιάς) προβλέπεται να είναι ιδιαίτερα μεγάλη στη δυτική-κεντρική Ευρώπη, αλλά ο απόλυτος κίνδυνος πυρκαγιάς παραμένει υψηλότερος στη νότια Ευρώπη. Τα μέτρα προσαρμογής, όπως η βελτιωμένη πρόληψη πυρκαγιάς και η αποτελεσματική καταστολή πυρκαγιάς, μπορούν να μειώσουν σημαντικά αυτούς τους κινδύνους. Για το χαμηλό σενάριο εκπομπών η προβλεπόμενη αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς στη Νότια Ευρώπη κυμαίνεται μεταξύ 30-40 %, ενώ για το υψηλό σενάριο ξεπερνάει το 40%.



Εικόνα 2. Προβλεπόμενη αλλαγή στον κίνδυνο δασικών πυρκαγιών μέχρι τα τέλη του 21ου αιώνα για δύο σενάρια εκπομπών, σε σύγκριση με την περίοδο 1981-2010. Αριστερά χαμηλό σενάριο- Δεξιά υψηλό
(<https://experience.arcgis.com/experience/120dacbf3f40488c9c1a4e594aef5d5c>)



Εικόνα 3. Συνολικός κίνδυνος δασικών πυρκαγιών λόγω των καιρικών συνθηκών στο παρόν για δύο σενάρια κλιματικής αλλαγής
(<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/forest-fires-in-europe>)



Εικόνα 4. Προβλεπόμενη αλλαγή στις μετεωρολογικές ξηρασίες για το χρονικό διάστημα 2041-2070 για δύο σενάρια εκπομπών. Αριστερά χαμηλό σενάριο εκπομπών - Δεξιά υψηλό σενάριο (<https://www.initiativesrivers.org/actualites/cartographie-de-leurope-bouleversee-dereglement-climatique-a-fin-21eme-siecle/>)

Οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί δείχνουν αύξηση της συχνότητας, της διάρκειας και της έντασης των μετεωρολογικών και υδρολογικών ξηρασιών στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης κατά τον 21ο αιώνα. Η μεγαλύτερη αύξηση των συνθηκών ξηρασίας προβλέπεται για τη νότια Ευρώπη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΔΑΦΟΣ

Ως έδαφος χαρακτηρίζεται το ανώτερο στρώμα του φλοιού της γης που αποτελείται από οργανικά και ανόργανα συστατικά, εδαφικό νερό και αέρα. Τα συστατικά αυτά προέρχονται από την αποσάθρωση πετρωμάτων κι έχουν διαφοροποιηθεί με ποικίλους τρόπους. Η αποσάθρωση μπορεί να είναι μηχανική, χημική, φυσική ή άλλου τύπου.

Τα ανόργανα συστατικά αποτελούνται κυρίως από οξυγόνο, πυρίτιο και αργίλιο, καθώς από πλήθος άλλων στοιχείων σε μικρότερες ποσότητες. Τα οργανικά υλικά προέρχεται από τα υπολείμματα των φυτών και των οργανισμών που διαβιούν στο έδαφος και αποτελούνται κυρίως από άνθρακα, οξυγόνο, υδρογόνο και άζωτο. Ο αέρας που περιέχεται στο έδαφος συνίσταται από οξυγόνο, άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα. Το εδαφικό νερό περιλαμβάνει διαλυμένα στοιχεία προερχόμενα από τα ανόργανα συστατικά του εδάφους.

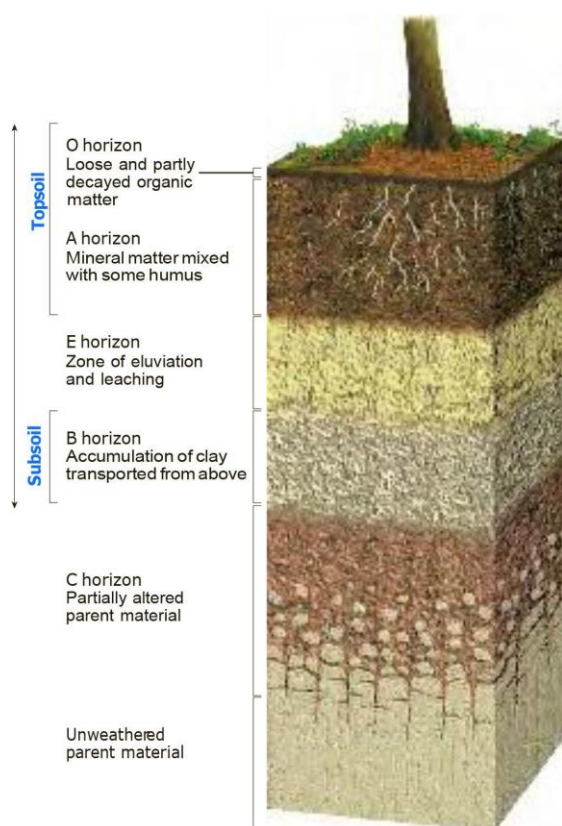
Οι διεργασίες της αποσάθρωσης και της εδαφογένεσης δρουν ταυτόχρονα. Τα χαλαρά υλικά των προϊόντων της αποσάθρωσης δημιουργούν το έδαφος, ανάλογα με την αλληλεπίδραση των παραγόντων που αναφέρονται παρακάτω:

- Μητρικό υλικό
- Κλίμα
- Οργανισμοί
- Ανάγλυφο
- Χρόνος

Το έδαφος διακρίνεται στους ακόλουθους ορίζοντες:

Ορίζοντας O: αποτελείται κυρίως από οργανικό υλικό

- Ορίζοντας A: περιέχει οργανικό υλικό και εδαφικά ορυκτολογικά συστατικά
- Ορίζοντας E: ζώνη απόπλυσης: α) απομάκρυνση πυριτικών ορυκτών και οξειδίων Fe και Al μέσω απόπλυσης =eluviation, β) απομάκρυνση στοιχείων (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) 'εν διαλύσει', έκπλυση=leaching
- Ορίζοντας B: ζώνη εμπλουτισμού (συνάθροιση οξειδίων, αργιλικών, ανθρακικών και πυριτικών ορυκτών)
- Ορίζοντας C: μερικής αποσαθρωμένο μητρικό υλικό



- R: Μητρικό πέτρωμα

Τα στοιχεία που βρίσκονται διαλυμένα στο εδαφικό διάλυμα χωρίζονται σε μακροστοιχεία (macronutrients) και ιχνοστοιχεία (micronutrients ή tracenuitrients). Τα ιχνοστοιχεία είναι εκείνα, των οποίων η συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα είναι μικρότερη από 1 mmol m^{-3} . Τα στοιχεία αυτά είναι τα εξής:

- Μακροστοιχεία- Si, Al, C, O, Na, N, C, K, S, Ca, Mg και Fe
- Ιχνοστοιχεία- Mn, S, P, Ba, Sr, Ni, Cr, Cu, Zn

Εικόνα 7. Ορίζοντες του εδάφους

Στους παρακάτω Πίνακες 1,2 παρατίθενται οι τιμές των παραπάνω στοιχείων στον εδαφικό μανδύα και στο έδαφος.

Major Element	Earth's crust (mean)	Soil (median)
O	47.4%	49%
Si	27.7%	33%
Al	8.2%	7.1%
Fe	4.1%	4%
Ca	4.1%	1.5%
Na	2.3%	0.5%
K	2.1%	1.4%
N	25 mg/kg	2000 mg/kg
C	480 mg/kg	2%
Mg	2.3%	0.5%

Πίνακας 1. Ποσοστά % κύριων στοιχείων στο φλοιό της Γης και στο έδαφος

Trace Element	Earth's crust (mean)	Soil (median)
Mn	950 mg/kg	1000 mg/kg
S	260 mg/kg	700 mg/kg
P	1000 mg/kg	800 mg/kg
Ba	500 mg/kg	500 mg/kg
Sr	370 mg/kg	250 mg/kg
Ni	80 mg/kg	50 mg/kg
Cr	100 mg/kg	70 mg/kg
Cu	50 mg/kg	30 mg/kg
Zn	190 mg/kg	400 mg/kg

Πίνακας 2. Τιμές ιχνοστοιχείων στο φλοιό της Γης και στο έδαφος

Το pH του εδαφικού διαλύματος είναι ίσως η σημαντικότερη χημική ιδιότητα του εδάφους. Από αυτό εξαρτάται η ισορροπία των κατιόντων μεταξύ των προσροφημένων και των διαλυμένων συγκεντρώσεων. Γενικά ισχύει ότι: Όσο χαμηλότερο είναι το pH από την ουδετερότητα (pH 7) τόσο αυξάνεται η συγκέντρωση των κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα.

2.1 Φυσικές Ιδιότητες Εδάφους

Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους αναφέρονται σε χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη φυσική δομή, την υφή και τη σύνθεσή του. Αυτές οι ιδιότητες επηρεάζουν την ικανότητα του εδάφους να υποστηρίξει την ανάπτυξη των φυτών, να συγκρατεί νερό και να διευκολύνει την ανταλλαγή αέρα και θρεπτικών ουσιών. Μερικές βασικές φυσικές ιδιότητες του εδάφους περιλαμβάνουν:

1. **Υφή εδάφους**: Η υφή του εδάφους αναφέρεται στις σχετικές αναλογίες σωματιδίων άμμου, ιλύς και αργίλου που περιέχει το έδαφος. Τα μεγαλύτερα κλάσματα της άμμου (χάλικες, κροκάλες, λατύπες, ογκόλιθοι) δεν λαμβάνονται υπόψη στον προσδιορισμό της υφής, καθώς δεν συμμετέχουν στις διεργασίες σχηματισμού του εδάφους. Η υφή του εδάφους επηρεάζει την κατακράτηση νερού, την αποστράγγιση και τον αερισμό. Τα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο τείνουν να συγκρατούν το νερό και τα θρεπτικά συστατικά καλύτερα από τα αμμώδη εδάφη, ενώ τα αμμώδη στραγγίζουν πιο γρήγορα.

2. **Δομή του εδάφους**: Η δομή του εδάφους αναφέρεται στη διάταξη των σωματιδίων σε αδρανή ή συστάδες. Καλή δομή του εδάφους επιτρέπει την κυκλοφορία αέρα και νερού και τη διείσδυση των ριζών των φυτών. Η δομή του εδάφους επηρεάζεται από παράγοντες όπως η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, η μικροβιακή δραστηριότητα και οι πρακτικές διαχείρισης του εδάφους.

3. **Πορώδες εδάφους**: Το πορώδες του εδάφους αναφέρεται στον όγκο των πόρων μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους. Το πορώδες επηρεάζει την κίνηση του αέρα, του νερού και των θρεπτικών ουσιών στο έδαφος.

4. **Χύδην πυκνότητα**: Η χύδην πυκνότητα είναι η μάζα του ξηρού εδάφους ανά μονάδα όγκου (g/cm^3). Η χύδην πυκνότητα είναι ένα μέτρο του βαθμού συμπίεσης του εδάφους και μπορεί να επηρεάσει τη διείδυση των ριζών, του νερού και την ανάπτυξη των φυτών. Τα συμπιεσμένα εδάφη έχουν συνήθως υψηλότερη πυκνότητα και χαμηλότερο πορώδες.

5. **Χρώμα εδάφους**: Το χρώμα του εδάφους επηρεάζεται από παράγοντες όπως η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, η σύνθεση ορυκτών και οι συνθήκες αποστράγγισης. Το χρώμα του εδάφους μπορεί να παρέχει ενδείξεις σχετικά με τις ιδιότητες του εδάφους, όπως η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, η αποστράγγιση και η γονιμότητα. Για παράδειγμα, τα σκούρα εδάφη υποδεικνύουν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και γονιμότητα.

6. **Περιεκτικότητα σε υγρασία εδάφους**: Η περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους αναφέρεται στην ποσότητα νερού που υπάρχει στο έδαφος. Επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, τη μικροβιακή δραστηριότητα και τη σταθερότητα του εδάφους. Η περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως η βροχόπτωση, η εξάτμιση και η υφή του εδάφους.

7. **Θερμοκρασία εδάφους**: Η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζει τις βιολογικές και χημικές διεργασίες στο έδαφος, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης των φυτών, του κύκλου των θρεπτικών συστατικών και της μικροβιακής δραστηριότητας. Η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται από παράγοντες όπως το κλίμα, το χρώμα του εδάφους και η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη.

2.2 Χημικές Ιδιότητες Εδάφους

1. **Ενεργός οξύτητα (pH)**: Το pH του εδάφους είναι είναι μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητάς του. Κυμαίνεται από 0 έως 14, με τιμή 7 να θεωρείται ουδέτερη. Τιμές κάτω από 7 υποδηλώνουν όξινο εδάφος, ενώ τιμές πάνω από 7 δείχνουν αλκαλικό. Το pH επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά και τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών στο έδαφος.

2. **Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC)**: Η CEC είναι μια μέτρηση της ικανότητας του εδάφους να κρατά και να ανταλλάσσει θετικά φορτισμένα ιόντα (κατιόντα) όπως ασβέστιο (Ca^{2+}), μαγνήσιο (Mg^{2+}), κάλιο (K^+), και υδρογόνο (H^+). Τα εδάφη με υψηλή CEC έχουν αυξημένη ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών ουσιών.

3. **Περιεκτικότητα Θρεπτικών Συστατικών**: Το έδαφος περιέχει θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών, συμπεριλαμβανομένων των μακροθρεπτικών όπως το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), και το κάλιο (K), καθώς και των μικροθρεπτικών όπως ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο ψευδάργυρος (Zn), και ο χαλκός (Cu). Η διαθεσιμότητα αυτών των θρεπτικών συστατικών εξαρτάται από παράγοντες όπως το pH του εδάφους, η CEC και η περιεκτικότητα της οργανικής ύλης.

4. **Περιεκτικότητα Οργανικής Ύλης**: Η οργανική ύλη στο έδαφος αποτελείται από αποσυντεθειμένα φυτικά και ζωικά υπολείμματα, καθώς και ζωντανούς οργανισμούς όπως βακτήρια και μύκητες. Παίζει κρίσιμο ρόλο στη γονιμότητα του εδάφους, στη συγκράτηση της υγρασίας και στη διατήρηση της δομής του εδάφους. Η οργανική ύλη επίσης λειτουργεί ως πηγή θρεπτικών συστατικών καθώς αποσυντίθεται.

5. **Αλατότητα του Εδάφους**: Η αλατότητα του εδάφους αναφέρεται στη συγκέντρωση αλάτων, όπως το χλωριούχο νάτριο (NaCl), στο έδαφος. Υψηλό επίπεδο αλατότητας μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών, διαταράσσοντας την πρόσληψη νερού και προκαλώντας τοξικότητα ιόντων.

2.3. Επιπτώσεις Δασικών Πυρκαγιών στις Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες των Εδαφών

Φυσικές ιδιότητες

Σε χαμηλές έως μέτριας έντασης πυρκαγιές το έδαφος καλύπτεται από ένα στρώμα τέφρας μαύρου ή γκρι χρώματος, το οποίο παραμένει έως ότου υπάρξει αναβλάστηση.

Η υφή του εδάφους δεν επηρεάζεται εύκολα από τις δασικές πυρκαγιές, καθώς η άμμος, η ιλύς και η άργιλος εμφανίζουν υψηλά όρια θερμοκρασίας (Alcañiz et al. 2016). Το όριο θερμοκρασίας για την άργιλο (400–800 °C) είναι χαμηλότερο από αυτό της άμμου και της ιλύος (1414 °C) (Neary et al., 2005). Επομένως, τα σωματίδια της άργιλου επηρεάζονται περισσότερο όσον αφορά την υφή. Επιπρόσθετα, η κατάρρευση των σωματιδίων της άργιλου οδηγεί στη συγκόλληση των λεπτότερων σωματιδίων σχηματίζοντας μεγαλύτερα σωματίδια άμμου και ιλύος (Agbeshie et al., 2022).

Η χυδρήν πυκνότητα, σύμφωνα με τους Granged et al. 2011; Jordán et al. 2011; Heydari et al. 2017, επηρεάζεται αρνητικά από τις δασικές πυρκαγιές γεγονός που επηρεάζει και το πορώδες του εδάφους. Άλλες μελέτες αναφέρουν μείωση της πυκνότητας του εδάφους μετά από πυρκαγιά (Chief et al. 2012; Downing et al. 2017), ενώ ορισμένες δεν εντοπίζουν σημαντική επίδραση (Goberna et al. 2012; Meira-Castro et al. 2015). Έχουν επίσης αναφερθεί περιπτώσεις αύξησης της πυκνότητας (Heydari et al. 2017), Granged et al., 2011 and Jordán et al., 2011). Συνεπώς, η επίδραση της πυρκαγιάς στη χυδρήν πυκνότητα και στο πορώδες είναι πολυπαραγοντική και απαιτεί περαιτέρω έρευνα.

Οι θερμοκρασίες του εδάφους μεταξύ 30 και 60 °C έχουν θετική επίδραση στη σταθερότητα των εδαφικών αθροισμάτων μέσω της θερμικής μετατροπής των οξειδίων, που βοηθούν στη σύνδεση τον σχηματισμό ισχυρών σωματιδίων άμμου. Αντίθετα η αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους από 200 έως 460 °C έχει ως αποτέλεσμα την καύση ή πλήρη οξείδωση της οργανικής ύλης (Badía et al. 2014),

οδηγώντας στη διάσπαση και αποσύνθεση της δομής του εδάφους (Alcañiz et al., 2018). Οι Mataix-Solera et al., (2011) παρατήρησαν ότι η μείωση της σταθερότητας του εδάφους σχετίζεται με την ένταση της καύσης, τον τύπο του εδάφους και το είδος και την ποσότητα του συνδετικού υλικού. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται περαιτέρω έρευνα σχετικά με τη σταθερότητα των εδαφών μετά από πυρκαγιές. (Agbeshie et al., 2022).

Χημικές ιδιότητες

Οι μεταβολές στον οργανικό άνθρακα του εδάφους είναι μεταβλητές που εξαρτώνται από τη διάρκεια της πυρκαγιάς, τη διαθέσιμη βιομάζα και την υγρασία της, καθώς και από τον τύπο και την ένταση της πυρκαγιάς (Reyes et al. 2015). Οι πυρκαγιές χαμηλής έντασης σχετίζονται με την αύξηση του οργανικού άνθρακα του εδάφους, λόγω της παρουσίας πυρογόνου άνθρακα από την ατελή καύση της οργανικής ύλης, την αποσύνθεση της ατελώς καμένης βιομάζας και την προσθήκη τέφρας (Sánchez Meador et al. 2017; Santín et al. 2018; Hu et al. 2020).

Κατά τη διάρκεια της δασικής πυρκαγιάς, παρατηρούνται απώλειες στη βιομάζα και τα οργανικά στρώματα, ενώ στην επιφάνεια του εδάφους προστίθεται τέφρα πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία . Αυτό αυξάνει το pH και επηρεάζει σημαντικά τις χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους (Agbeshie et al., 2022). Υψηλότερες τιμές pH καταγράφονται σε εδάφη όπου η ένταση καύσης ξεπερνά τους 450 °C (Knicker 2007). Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου το pH παρέμεινε σταθερό μετά από πυρκαγιά (Badía et al., 2014; Fernández-Fernández et al., 2015; Fultz et al., 2016; Downing et al. 2017; Fernández-García et al., 2019a, b). Αυτό μπορεί να σχετίζεται με τις συνθήκες που επικρατούν μετά την πυρκαγιά όπως η διάβρωση, αλλά και με την ένταση της φωτιάς (Valkó et al. 2016; Alcañiz et al. 2018).

Όσον αναφορά την περιεκτικότητα θρεπτικών συστατικών παρατηρείται σημαντική αύξηση μετά από δασικές πυρκαγιές και σχετίζεται με την εναπόθεση τέφρας και την καύση οργανικής ύλης. Η αποσύνθεση της οργανικής ύλης μεταβάλλει τη

διαθεσιμότητα και την κατανομή των θρεπτικών στοιχείων που βρίσκονται στην τέφρα (Alcañiz et al., 2018). Ιδιαίτερα, αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των ανταλλάξιμων κατιόντων (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+), του φωσφόρου και του αζώτου (NH_4^+ και NO_3^-) ανάλογα με την ένταση της πυρκαγιάς (Franco et al., 2019; Verma et al., 2019; Chungu et al., 2020).

Κάθε χρόνο, περίπου 60.000 πυρκαγιές καταγράφονται στη Μεσογειακή Ευρώπη, καταστρέφοντας κατά μέσο όρο μισό εκατομμύριο εκτάρια δασικών εκτάσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις παρακάτω χώρες. Οι περιοχές που επελέγησαν παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω, μαζί με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Η επιλογή τους βασίστηκε κυρίως στη γεωγραφική τους θέση και στο κλίμα, καθώς όλες βρέχονται από την Μεσόγειο Θάλασσα, εκτός από την Πορτογαλία, η οποία όμως διαθέτει μεσογειακού τύπου κλίμα. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι δασικές πυρκαγιές ήταν ανεξέλεγκτες, δηλαδή φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης, με μοναδική εξαίρεση την Ισπανία, όπου η πυρκαγιά αποτέλεσε ελεγχόμενη και προγραμματισμένη παρέμβαση στο οικοσύστημα.

Αλγερία

Η Αλγερία είναι μια χώρα της Μεσογείου που πλήττεται σοβαρά από πυρκαγιές και ειδικότερα το βόρειο τμήμα της χώρας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 2017 κάηκαν 51.908ha. Στο δάσος Keroua, που βρίσκεται στο νομό Ouled Khaled Saida, πραγματοποιήθηκε μελέτη για τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς στα εδάφη. Στην περιοχή μελέτης η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 11-24.6 °C με μέση θερμοκρασία 19.9 °C, και μέση ετήσια βροχόπτωση 345.16mm. Χωρίστηκαν δύο ζώνες, μία περιοχή που είχε επηρεαστεί από την φωτιά και μια άλλη, η ζώνη ελέγχου, που είχε απόσταση από την ζώνη πυρκαγιάς τουλάχιστον 50 μετρά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάλυση και η συλλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε 2 χρόνια μετά την πυρκαγιά, το 2017. Από κάθε ζώνη λήφθηκαν δείγματα από πέντε διαφορετικές περιοχές (Allam Ayoub, et al.2020).

Ελλάδα

Τον Ιούλιο του 2018 έλαβε χώρα πυρκαγιά στην δυτική Αττική, μεταξύ του όρους των Γερανείων στα βόρεια και του Σαρωνικού κόλπου στα νότια. Στην έκταση αυτή βρίσκεται και η πόλη της Κινέττας. Η βλάστηση της περιοχής αποτελούνταν κυρίως από πεύκα. Στην περιοχή μελέτης συναντώνται μάργες, μαργούχα πετρώματα με οξειδία μαγγανίου, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθοι, δολομίτες, σερπεντίνες,

περιδοτικικά σώματα, σχιστόλιθοι, διάφορα ηφαιστειακά πετρώματα και εμφανίσεις εκμεταλλεύσιμου μαγγανίου. Τα δείγματα για την μελέτη ελήφθησαν από 43 σημεία σε βάθη 0-5cm και 5-25cm, τον Σεπτέμβριο του 2018 (Alexakis, Dimitrios, et al.2021).

Το 2021 μια άλλη δασική πυρκαγιά έπληξε την βόρεια πλευρά της Εύβοιας, του δεύτερου μεγαλύτερου ελληνικού νησιού. Η φωτιά επεκτάθηκε από τον δήμο Αγριοβότανου έως τις Καματριάδες, την Αγία Άννα και τις Ροβιές. Άξιο αναφοράς είναι ότι αυτή η περιοχή γειτνιάζει με προστατευόμενη ζώνη Natura 2000 στα βορειοδυτικά, και με ορυχείο μαγνησίτη στα ανατολικά.

Η βλάστηση της περιοχής περιλάμβανε κυρίως κωνοφόρα δάση, έναν συνδυασμό μικτών και πλατύφυλλων δασών, και σε μικρότερο βαθμό περιοχές αγροδασοπονίας. Η περιοχή που επλήγη από τις φωτιές χαρακτηρίζεται από απότομα πρανή, υψηλή διάβρωση και ένα πυκνό δίκτυο λεκανών απορροής .

Οι μελετώμενες περιοχές χαρακτηρίζονται από μεσογειακό κλίμα με μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης, ξηρούς καλοκαιρινούς μήνες και ήπιους χειμώνες. Όσον αναφορά την γεωλογία της περιοχής συναντώνται περιδοτίτες και μαφικά ηφαιστειακά πετρώματα, καλυμμένα με νεογενείς αποθέσεις. Αλλουβιακά υλικά εμφανίζονται κατά μήκος των κύριων καναλιών απορροής και στις εκβολές των ποταμών.

Τα δείγματα λήφθηκαν ένα μήνα μετά την πυρκαγιά και από περιοχές με μέτρια ως υψηλή ένταση-σφοδρότητα φωτιά . Συνολικά ελήφθησαν 34 δείγματα εδάφους τόσο από επιφανειακά (βάθους 0-10cm) όσο και από υπεδάφια στρώματα (βάθους 15-30cm)(Megremi et al., 2024).

Ισπανία

Στην περιοχή της Τζιρόνα στην οροσειρά Μοντγκρί (Montgrí Massif) της Καταλονίας, πραγματοποιήθηκε μελέτη στις χημικές ιδιότητες του εδάφους, ώστε να διερευνηθούν οι επιδράσεις μιας προγραμματισμένης (ελεγχόμενης) πυρκαγιάς. Η προγραμματισμένη δασική πυρκαγιά διεξήχθη το 2006 με στόχο τη μείωση της επιφανειακής βλάστησης, τη βελτίωση της ποιότητας των λιβαδιών και την πρόληψη

σοβαρών μελλοντικών πυρκαγιών. Η φωτιά είχε χαμηλή ένταση, με θερμοκρασίες που κυμάνθηκαν από 164°C έως 720°C, ανάλογα με τη συγκέντρωση καύσιμης ύλης. Το δάσος αποτελείτο κυρίως από *Pinus halepensis*, ενώ η υπόροφος βλάστηση περιλάμβανε *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, *Cistus albidus*, και *Rosmarinus officinalis*. Συλλογή δειγμάτων εδάφους βάθους 0–5 cm πραγματοποιήθηκε από 42 σημεία δειγματοληψίας σε τέσσερις χρονικές στιγμές: πριν την πυρκαγιά, αμέσως μετά, έναν χρόνο μετά και εννέα χρόνια μετά (Alcañiz, M., et al.2016).

Λιβύη

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Λιβύη στην περιοχή Aljabal Alakhdar (Green Mountain), επικεντρώθηκε σε δύο περιοχές: το Ra'sAlHilal που είναι παράκτια και τη Marawah που βρίσκεται στην ορεινή ενδοχώρα. Το κλίμα και στις δύο περιοχές είναι ημίξηρο, με τις θερμοκρασίες να κυμαίνονται μεταξύ 10 και 35 °C, ενώ οι ετήσιες βροχοπτώσεις κυμαίνονται μεταξύ 275–660 mm. Δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τόσο σε καμένες όσο και μη καμένες περιοχές. Στο βουνό, τα δείγματα ελήφθησαν σε βάθη 0-15cm, 15-45cm και 45-75cm ενώ στην παράκτια περιοχή σε βάθη 0-15cm, 15-35cm και 35-60cm (Eldiabani, et al., 2014).

Πορτογαλία

Στην περιοχή Ερμίδα, στον δήμο Αβέιρο στη βόρεια-κεντρική Πορτογαλία, ξέσπασε δασική πυρκαγιά στις 26 Ιουλίου του 2010, καίγοντας έκταση 2.950.000 m². Η φυσική βλάστηση της περιοχής αποτελείτο κυρίως από πεύκα (*Pinus pinaster*) και ευκάλυπτο (*Eucalyptus globulus*). Το κλίμα ταξινομείται ως υγρό μεσογειακό (Köppen Csb) με βροχερούς χειμώνες και μακρές, ξηρές, θερμές περιόδους το καλοκαίρι (DRA, 2002). Η πυρκαγιά χαρακτηρίστηκε ως μέσης έντασης, βάσει των μεθοδολογιών των Shakesby & Doerr (2006) και Keeley (2009).

Τα δείγματα ελήφθησαν συνολικά από έξι πλαγιές, εκ των οποίων οι τρεις ήταν καλυμμένες με πεύκα και οι άλλες τρεις με ευκάλυπτο. Η δειγματοληψία

πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις χρονικές στιγμές: αμέσως μετά, 4, 8, και 15 μήνες μετά την πυρκαγιά, από βάθος 0–5 cm (Campos et al., 2016).

Τουρκία

Αυτή η μελέτη πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Λαψεκί (Lapseki), στην επαρχία Τσανάκκαλε της βορειοδυτικής Τουρκίας, μετά από δασική πυρκαγιά το 2002. Το κλίμα της περιοχής είναι μεσογειακό, με μέση ετήσια βροχόπτωση 650-700 χιλιοστά και μέση θερμοκρασία 14,5°C, με ζεστά ξηρά καλοκαίρια και δροσερούς βροχερούς χειμώνες. Το δασικό οικοσύστημα περιλάμβανε δρυς (*Quercus* spp.), πεύκα (*Pinus* spp.), φιστικιές (*Pistacia* spp.), και σπάρτο (*Spartium junceum*). Η πυρκαγιά χαρακτηρίστηκε ως χαμηλής έως μέσης έντασης (250-450°C). Όσον αφορά την δειγματοληψία των εδαφικών δειγμάτων έγινε από καμένες και μη καμένες εκτάσεις με παρόμοια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, δύο εβδομάδες μετά την πυρκαγιά. Από κάθε σημείο ελήφθησαν τρία δείγματα με απόσταση 1 μέτρου μεταξύ τους, ενώ τα καμένα και μη καμένα σημεία απείχαν 20-30 μέτρα. Ελήφθησαν δείγματα από βάθος 0–5cm, τόσο διαταραγμένα όσο και αδιατάρακτα, μετά από προσεκτική αφαίρεση της χλωρίδας από την επιφάνεια του εδάφους (Ekinçi Huseyin et al.2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ

Φυσικές Ιδιότητες

Στην Αλγερία, οι φυσικές ιδιότητες δεν επηρεάστηκαν σε αξιόλογο βαθμό, παρα μόνο η φυσική υγρασία. Πιο συγκεκριμένα, η φυσική υγρασία ήταν σαφώς μειωμένη στα καμένα εδάφη έναντι των μη καμένων, με τιμές 3.33% και 8.22%. Οι τιμές της χυδής πυκνότητας παρουσίασαν αύξηση στα καμένα εδάφη από 1.05gcm⁻³ σε 1.2305gcm⁻³. Το πορώδες του εδάφους, αντίθετα, υπέστη μείωση από 56.07% σε 49.17%. Αντίστοιχα και η διαπερατότητα του εδάφους μειώθηκε από 2.74cmh⁻¹ σε 2.63 cmh⁻¹. (Allam, Ayoub, et al., 2020).

Στην Λιβύη, τα εδάφη και στις δύο περιοχές κατατάχθηκαν ως πηλώδης ιλύς(silt loam), με βάση την ταξινόμηση USDA, ανεξαρτήτως βάθους ή επίδρασης της πυρκαγιάς . Το ποσοστό ιλύος ήταν το υψηλότερο, με μικρότερες ποσότητες άμμου και αργίλου. Σε ότι αφορά τη φυσική υγρασία κυμάνθηκε μεταξύ 1 και 5. Ακόμα, το ποσοστό νερού αυξανόταν σε σχέση με το βάθος ενώ ήταν περισσότερο στα δείγματα της ακτής. Σε σχέση με τις καμένες και μη εκτάσεις βρέθηκε σημαντική διαφορά, με τα εδαφικά δείγματα των καμένων περιοχών να έχουν μειωμένο ποσοστό νερού και να είναι ξηρότερα, γεγονός το οποίο να οφείλεται στην πυρκαγιά. Όσον αναφορά το πορώδες του αποδείχτηκε ότι η ένταση της φωτιάς δεν αρκούσε ώστε να το επηρεάσει, καθώς μέσω της ανάλυσης διασποράς προέκυψε ότι η διαφορά στις τιμές του πορώδους οφείλεται στα αυξημένα ποσοστά ιλύς-άμμου και μικρότερα της αργίλου (Eldiabani, et al.2014).

Στην Ελλάδα, στην πυρκαγιά του 2018, στην Κινέτα, το χρώμα των εδαφικών δειγμάτων κυμαινόταν μεταξύ γκρι και μαύρου, υποδεικνύοντας θερμοκρασίες καύσης 300–500°C. Η κοκκομετρική ανάλυση έδειξε μέσο ποσοστό άμμου 63.6%, ιλύος 20% και αργίλου 14.2%. Τα εδάφη ταξινομήθηκαν ως : αμμώδης πηλός,

αμμώδης-αργιλώδης πηλός, πηλώδης άμμος, αργιλώδης πηλός, πηλός και αμμώδης άργιλος (Alexakis et al., 2021).

Στην Εύβοια, τα εδάφη ήταν κυρίως πηλώδη (loam-type), με παρουσία αργίλου (όπως καολινίτης και μαρμαρυγίες) τόσο στο υπέδαφος όσο και στην επιφάνεια, γεγονός που υποδηλώνει ότι η θερμοκρασία στο ανόργανο έδαφος πιθανόν να μην ξεπέρασε τους 500°C (Megremi et al., 2024).

Στην Τουρκία, η υγρασία του εδάφους ήταν υψηλότερη στα μη καμένα έναντι των καμένων εδαφών με τιμές 4.1% και 1.93% αντίστοιχα. Το πορώδες μειώθηκε σημαντικά στα καμένα εδάφη έναντι των μη καμένων με τιμές 48.52% έναντι 53.44%. Αντίθετα η χύδην πυκνότητα αυξήθηκε από 1.22 gcm⁻³ σε 1.31 gcm⁻³ (Ekinici Huseyin et al., 2006).

Σε ότι αφορά την Ισπανία, η μελέτη επικεντρώθηκε κυρίως στις χημικές ιδιότητες του εδάφους και δεν περιλάμβανε ειδική ανάλυση κοκκομετρικής σύστασης ή άλλων φυσικών χαρακτηριστικών (π.χ. υφή, πορώδες ή υγρασία).

Χημικές Ιδιότητες

pH

Στην Αλγερία, οι μέσες τιμές του pH_{H2O} και του pH_{KCl} ήταν παρόμοιες τόσο στην καμένη περιοχή όσο και στην ζώνη ελέγχου, που είχε απόσταση από την πυρκαγιά τουλάχιστον 50 μετρά . Συγκεκριμένα το pH_{H2O} παρέμεινε σταθερό και στις δύο ζώνες με μέση τιμή 7,64, ενώ η μέση τιμή του pH_{KCl} κυμάνθηκε από 7,40 στην καμένη ζώνη και 7,38ενώ στην ζώνη ελέγχου (Allam, Ayoub, et al., 2020).

Στην Ελλάδα, στην πυρκαγιά του 2018, στην Κινέτα, το pH στα επιφανειακά καμένα εδάφη κυμάνθηκε από 7.46 έως 7.97 ενώ στα μη καμένα από 7.12 έως 7.83. Οι μεγαλύτερες τιμές του pH στα επιφανειακά καμένα εδάφη οφείλονται στην απελευθέρωση ιόντων από την τέφρα (Alexakis, D. et al., 2021). Στην πυρκαγιά του 2021 οι τιμές pH κυμάνθηκαν από 6.91 έως 8.46 στα επιφανειακά εδάφη και από 7.26 έως 8.73 στο δείγματα υποβάθρου, υποδεικνύοντας ουδέτερες έως αλκαλικές συνθήκες για το σύνολο των εδαφών (Megremi, I. et al.2024).

Στην Πορτογαλία, το pH παρουσίασε αξιοσημείωτη αύξηση αμέσως μετά την πυρκαγιά, ιδιαίτερα στα δείγματα του ευκαλυπτόδασους, όπως στις θέσεις BE1 και BE3, φτάνοντας σε τιμές μέχρι 6.7. Οι τιμές αυτές συνέχισαν να είναι υψηλότερες από τα μη καμένα εδάφη και τέσσερις μήνες μετά, όμως σταδιακά μειώθηκαν στους 8 και 15 μήνες, φτάνοντας σε ορισμένες περιπτώσεις σε επίπεδα 30%–35% χαμηλότερα από τις αρχικές τιμές (Πίνακας 3).

	UBE	BE1	BE2	BE3	BP1	BP2	BP3
IAF	4.0±0.02	6.4±0.14	6.0±0.11	6.7±0.10	5.8±0.02	5.9±0.08	5.1±0.11
4MAF	3.9±0.13	6.0±0.03	4.8±0.06	6.5±0.04	5.5±0.06	5.7±0.05	4.6±0.06
8MAF	4.0±0.15	5.6±0.15	4.5±0.14	5.8±0.06	4.5±0.03	5.2±0.08	4.1±0.06
15MAF	4.0±0.03	4.4±0.09	4.2±0.02	Nd	4.1±0.06	4.3±0.05	Nd

Πίνακας 3. Τιμές pH για κάθε περιοχή σε κάθε χρονική διάρκεια λήψης δειγμάτων

Στην Ισπανία, αμέσως μετά την πυρκαγιά, το pH του εδάφους αυξήθηκε ελαφρώς, από $7,00 \pm 0,28$ σε $7,08 \pm 0,34$, χωρίς όμως στατιστική σημαντικότητα. Ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά, το pH συνέχισε να αυξάνεται, φτάνοντας $7,25 \pm 0,45$ διαφορά που ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τις προ-πυρκαγικές τιμές. Ωστόσο, εννέα χρόνια μετά την πυρκαγιά, το pH του εδάφους μειώθηκε σημαντικά και έπεσε κάτω από τις αρχικές τιμές, φτάνοντας τα $6,68 \pm 0,40$ (Alcañiz M., et al.2016).

Στην Λιβύη, δεν πραγματοποιήθηκε μελέτη του pH.

Στην Τουρκία, παρατηρείται ανοδική τάση του pH μετά την πυρκαγιά: από 5,41 στα μη καμένα, σε 5,88 στα καμένα. (Ekinci Huseyin et al., 2006).

Οργανική Ύλη(organic matter OM)

Στην Αλγερία το περιεχόμενο οργανικής ύλης των καμένων εδαφών (7,73%) δύο χρόνια μετά την πυρκαγιά ήταν σημαντικά χαμηλότερο σε σύγκριση με τη ζώνη ελέγχου (16,08%). Η μείωση αυτή αποδίδεται στην πλήρη καύση της βλάστησης και την επακόλουθη διάβρωση του εδάφους λόγω του νερού, η οποία απομάκρυνε τα επιφανειακά οργανικά συστατικά. (Allam, Ayoub, et al., 2020).

Στην Ελλάδα, στην πυρκαγιά του 2018, στην Κινέτα, παρατηρήθηκε ότι η οργανική ύλη στο επιφανειακό έδαφος που επηρεάστηκε από την πυρκαγιά παρουσίασε αξιοσημείωτες διαφορές . Πιο συγκεκριμένα, στα καμένα επιφανειακά εδάφη παρουσίασε αύξηση από 3,27% σε 28,72% ενώ στα μη καμένα εδάφη από 4.10%σε 14.34%. Στατιστικά, η οργανική ύλη αυξήθηκε κατά 84% στα καμένα σε σχέση με τα μη καμένα. Αυτό αποδίδεται σε ατελή καύση φυτικής βιομάζας, αποσύνθεση φυλλώματος και αποθέσεις τέφρας (Alexakis et al., 2021). Στην πυρκαγιά του 2021, στην Εύβοια, η οργανική ύλη κυμάνθηκε από 2.75% έως 10.8% στα επιφανειακά εδάφη και από 0.19% έως 6.75% στα δείγματα υποβάθρου. Σε σύγκριση με τα μη καμένα εδάφη ο οργανικός άνθρακας αυξήθηκε σχεδόν κατά 80% στις περιοχές που επηρεάστηκαν από πυρκαγιές (Megremi, I. et al., 2024).

Στην Ισπανία, το ποσοστό του συνολικού άνθρακα (C) αυξήθηκε σημαντικά αμέσως μετά την πυρκαγιά από 5,82% σε 6,95%, λόγω ενσωμάτωσης τέφρας και ατελώς καμένης οργανικής ύλης. Ένα χρόνο μετά η τιμή αυξήθηκε περαιτέρω σε 7,55%, αλλά η διαφορά δεν ήταν πλέον στατιστικά σημαντική. Εννέα χρόνια μετά, ο άνθρακας μειώθηκε κάτω από τις αρχικές τιμές και καταγράφηκε στο 5,39%, με στατιστικά σημαντική μείωση, πιθανώς λόγω αυξημένης μεταλλικοποίησης της οργανικής ύλης και κατανάλωσης από φυτά (Alcañiz, M., et al., 2016).

Στην **Πορτογαλία**, η οργανική ύλη (ως ποσοστό C org) εμφάνισε αύξηση αμέσως μετά την πυρκαγιά, παραμένοντας υψηλή και στους 4 μήνες, με μικρές διαφοροποιήσεις ανά θέση. Στους 8 και 15 μήνες, ωστόσο, παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση, κυρίως στα πευκοδάση, χωρίς να επιστρέφουν πλήρως στις αρχικές τιμές. Οι υψηλότερες τιμές οργανικής ύλης μετά την πυρκαγιά αποδίδονται σε απόθεση τέφρας και μερικώς καμένης οργανικής ύλης στην επιφάνεια του εδάφους (Πίνακας 5).

	UBE	BE1	BE2	BE3	BP1	BP2	BP3
IAF	16 1.3	24 0.9	26 1.0	15 1.1	22 1.0	15 2.3	19 1.2
4MAF	16 1.2	23 1.5	26 1.4	15 0.8	21 1.3	15 1.2	19 1.5
8MAF	17 1.2	21 0.9	18 1.3	16 1.9	19 1.6	15 0.5	15 0.7
15MAF	16 0.9	19 0.8	17 1.0	nd	18 0.9	15 2.1	Nd

Πίνακας 4. Τιμές OM για κάθε περιοχή σε κάθε χρονική διάρκεια λήψης δειγμάτων

Στην **Τουρκία**, διαπιστώθηκε ότι ο οργανικός άνθρακας ήταν μεγαλύτερος στα μη καμένα εδάφη με ποσοστό 7.74% έναντι των καμένων με ποσοστό 7.14% (Ekinçi Huseyin et al., 2006).

Διαθεσιμότητα Στοιχείων

Στην **Ελλάδα**, στην πυρκαγιά του 2018, στην Κινέτα, η σειρά διαθεσιμότητας των στοιχείων που ανακτήθηκαν με DTPA (DTPA-extractable) στα επιφανειακά εδάφη ήταν : Mn>Fe>Zn>Cu (Alexakis et al., 2021). Στην πυρκαγιά του 2021, στην Εύβοια, τόσο τα επιφανειακά εδάφη όσο και τα δείγματα υποβάθρου ήταν εμπλουτισμένα σε Fe, Mn, Cr, Ni και Co. Η σειρά των στοιχείων κατά φθίνουσα σειρά των τιμών στα επιφανειακά εδάφη Fe>Mn>Cr>Ni>Zn>Pb> Co >Cu>Cd δεν διέφερε σημαντικά από εκείνη που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα υποβάθρου Fe>Mn>Ni>Cr>Zn> Co >Cu>Pb>Cd. Η αύξηση περιεκτικότητα των στοιχείων (Cr, Ni, Fe, Co, Mn) συνδέεται με γεογενείς παράγοντες και πιο συγκεκριμένα με την παρουσία των υπερβασικών πετρωμάτων της περιοχής (Megremi, I. et al., 2024).

Στην **Πορτογαλία**, τα επίπεδα τιμών των Mn, Cd, Pb, Ni και V αμέσως μετά την πυρκαγιά αυξήθηκαν σημαντικά, ειδικά στο δάσος ευκαλύπτου. Η μεγαλύτερη αύξηση καταγράφηκε αμέσως μετά, με σταδιακή μείωση έως τον 8ο και 15ο μήνα. Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρέμειναν για Pb, Ni και V έως και τον 8ο μήνα. Αντίθετα, οι τιμές των Co και Cu, δεν παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές, ούτε μεταξύ των καμένων και μη εδαφών, ούτε μεταξύ των δύο τύπων δασών. Γενικότερα, παρατηρήθηκε ότι τα στοιχεία V, Ni και Co εμφάνισαν αύξηση στους 8 μήνες μετά την πυρκαγιά και μείωση στους 15, ενώ το Mn και το Cd ακολούθησαν αντίστροφη πορεία, με άμεση αύξηση και σταδιακή μείωση. Μόνο για Ni και Co παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των καμένων εδαφών πεύκου και ευκαλύπτου, με υψηλότερες τιμές στο πευκοδάσος. Το αλουμίνιο (Al) παρουσίασε ομοιογενείς τιμές (1.9%–3.6%) μεταξύ καμένων και μη καμένων εδαφών, χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο ανάμεσα στα δάση όσο και στις χρονικές περιόδους.

Στην **Ισπανία** το συνολικό άζωτο αυξήθηκε άμεσα μετά την πυρκαγιά από 0,34% σε 0,53%, ενώ ένα χρόνο μετά μειώθηκε ελαφρά σε 0,52%, χωρίς στατιστική διαφορά. Εννέα χρόνια μετά την πυρκαγιά οι τιμές του αζώτου μειώθηκαν σημαντικά κάτω από

τις αρχικές φτάνοντας το 0,32%. Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου αμέσως μετά την πυρκαγιά σημείωσε αξιοσημείωτη αύξηση (από 78,27 ppm σε 86,35 ppm), ένα χρόνο μετά μειώθηκε σημαντικά σε 52,18 ppm και εννέα χρόνια μετά αυξήθηκε ξανά σε 61,63 ppm, αλλά παρέμεινε κάτω από τα αρχικά επίπεδα. Όσον αφορά, τα K^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , οι συγκεντρώσεις τους είχαν παρόμοια συμπεριφορά με του P. Αρχικά, αμέσως μετά την πυρκαγιά αυξήθηκαν και ένα χρόνο μετά οι τιμές του Ca^{2+} και του Mg^{2+} επανήλθαν στις τιμές προ πυρκαγιάς ενώ του K^{2+} μειώθηκε σημαντικά ένα χρόνο μετά και παρέμεινε χαμηλότερη από την αρχική τιμή εννέα χρόνια μετά. Η μείωση αυτών των στοιχείων αποδίδεται σε έκπλυση, ανάκτηση από τα φυτά και απουσία διάβρωσης, λόγω ήπιας κλίσης του εδάφους. Παρότι εννέα χρόνια μετά υπήρξε μερική αποκατάσταση των συγκεντρώσεων, η διαθεσιμότητα των περισσότερων στοιχείων δεν είχε επανέλθει πλήρως στα αρχικά επίπεδα (Alcañiz, M., et al. 2016).

Στην **Τουρκία** ο διαθέσιμος φώσφορος P ήταν υψηλότερος δύο βδομάδες μετά την πυρκαγιά στα καμένα εδάφη (51.74 mg kg^{-1}) σε σχέση με τα μη καμένα (18.52 mg kg^{-1}). Το ίδιο συνέβη και με το Κάλιο (K) όπου στα καμένα η συγκέντρωσή του ισούσαν με $194.15 \text{ mg kg}^{-1}$, ενώ στα μη καμένα με 167.05 ppm . Όσον αφορά το οργανικό άζωτο (N) εμφανίστηκε αυξημένο στα καμένα εδάφη (0.57%) έναντι των μη καμένων (0.44%) (Ekinci, Huseyin et al., 2006).

Ικανότητα Ιοντοανταλλαγής (CEC)

Στην **Τουρκία**, η ικανότητα ιοντοανταλλαγής του εδάφους μειώθηκε μετά την πυρκαγιά χωρίς όμως αξιοσημείωτη διαφορά. Στα καμένα εδάφη η τιμή ήταν $20.13 \text{ cmol kg}^{-1}$ ενώ στα μη καμένα $25,27 \text{ cmol kg}^{-1}$. Αν και η διαφορά δεν ήταν στατιστικά σημαντική, υποδηλώνει μείωση της ικανότητας του εδάφους να συγκρατεί θρεπτικά στοιχεία, πιθανώς λόγω της απώλειας οργανικού υλικού (Ekinci Huseyin et al., 2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δασικές πυρκαγιές όπως βλέπουμε είναι ένα φυσικό φαινόμενο με συνεχή αύξηση τα τελευταία χρόνια το οποίο έχει άμεση σύνδεση με την κλιματική αλλαγή, καθώς η άνοδος της θερμοκρασίας και οι παρατεταμένες ξηρασίες ενισχύουν τον κίνδυνο ανάφλεξης και επέκτασης. Από την πλευρά της ανθρώπινης ζωής και της βιοποικιλότητας, πρόκειται για φυσική καταστροφή, με σοβαρές συνέπειες στα οικοσυστήματα. Ωστόσο, όσον αφορά το έδαφος οι επιπτώσεις εξαρτώνται από τις τοπικές συνθήκες, τη βλάστηση, την ένταση της πυρκαγιάς, και το χρονικό σημείο δειγματοληψίας. Ένα βασικό συμπέρασμα είναι η έλλειψη κοινής επιστημονικής στρατηγικής για την αποτίμηση των επιπτώσεων των πυρκαγιών στο έδαφος. Κάθε μελέτη εστιάζει σε διαφορετικές παραμέτρους, διαφορετικό βάθος, χρονικό εύρος και μεθοδολογία, καθιστώντας δύσκολη μια πλήρως συγκρίσιμη προσέγγιση.

Συγκρίνοντας τα φυσικά χαρακτηριστικά σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρείται μείωση της υγρασίας του εδάφους στα καμένα εδάφη. Στη Λιβύη η μείωση δεν προκλήθηκε λόγω έντασης πυρκαγιάς αλλά λόγω κοκκομετρικής σύστασης (περισσότερη άμμος). Όσον αναφορά το χρώμα παρότι γίνεται αναφορά μόνο στην περίπτωση της Ελλάδας, τα καμένα εδάφη αποκτούν γκρι-μαυρό χρώμα λόγω της τέφρας και των υπολειμμάτων καύσης. Το πορώδες μειώθηκε σε όλες τις περιπτώσεις όπου μετρήθηκε, ενώ η χύδην πυκνότητα αυξήθηκε, γεγονός που υποδεικνύει συμπύκνωση του επιφανειακού εδάφους λόγω θερμικής επίδρασης. Μόνο στην περίπτωση της Λιβύης, η φωτιά δεν επηρέασε σημαντικά το πορώδες.

Το pH παρουσίασε αύξηση σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις μετά την πυρκαγιά, όπως στην Ελλάδα, Αλγερία, Τουρκία, Λιβύη και Ισπανία. Η μόνη εξαίρεση ήταν η Πορτογαλία, όπου παρατηρήθηκε αρχική αύξηση αλλά στη συνέχεια σημαντική μείωση εννέα μήνες μετά, κάτω από τις αρχικές τιμές.

Οι μεταβολές στην οργανική ύλη διαφέρουν ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή και το είδος της πυρκαγιάς. Στην Αλγερία, η οργανική ύλη μειώθηκε δύο χρόνια μετά την πυρκαγιά, ενώ στην Ελλάδα (Κινέτα 2018 και Εύβοια 2021) παρατηρήθηκε αύξηση. Στην Πορτογαλία καταγράφηκε παροδική αύξηση τους πρώτους μήνες και μείωση έως και 35% στο διάστημα 15 μηνών. Στην Τουρκία, η μείωση ήταν ήπια και μη στατιστικά

σημαντική. Στην Ισπανία, μετά από ελεγχόμενη πυρκαγιά, η οργανική ύλη αυξήθηκε βραχυπρόθεσμα, αλλά εννέα χρόνια μετά μειώθηκε σημαντικά κάτω από τις αρχικές τιμές.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της Ισπανίας, όπου μελετήθηκαν οι επιδράσεις μιας ελεγχόμενης πυρκαγιάς (prescribed fire). Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές, όπου οι πυρκαγιές ήταν φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης, η προγραμματισμένη φωτιά στην Καταλονία χαρακτηρίστηκε από χαμηλή ένταση και σαφώς καθορισμένο στόχο. Τα ευρήματα δείχνουν ότι οι επιπτώσεις στο έδαφος ήταν περιορισμένες και παροδικές: οι τιμές του pH και της οργανικής ύλης αυξήθηκαν προσωρινά, αλλά επανήλθαν στα αρχικά επίπεδα ή και κάτω από αυτά εννέα χρόνια μετά. Η περίπτωση αυτή αναδεικνύει τη σημασία της σωστά διαχειριζόμενης φωτιάς ως εργαλείο πρόληψης και ελέγχου, χωρίς τις μακροπρόθεσμες αρνητικές συνέπειες που εντοπίστηκαν σε περιοχές με ανεξέλεγκτες πυρκαγιές.

Συγκρίνοντας την διαθεσιμότητα των στοιχείων παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των στοιχείων στο έδαφος αμέσως μετά την πυρκαγιά. Ωστόσο, όπως παρατηρείται σε Πορτογαλία, Ισπανία, Τουρκία, και Ελλάδα με το πέρασμα του χρόνου οι συγκεντρώσεις των στοιχείων τείνουν να μειώνονται και να προσεγγίζουν τις αρχικές, προ πυρκαγιάς. Η προέλευση των στοιχείων ποικίλει: στην Εύβοια οι υψηλές συγκεντρώσεις των στοιχείων σχετίζονται με τα υπερβασικά πετρώματα και όχι αποκλειστικά με την πυρκαγιά, ενώ στην Πορτογαλία διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος της βλάστησης (πεύκο ή ευκάλυπτος).

Σε αντίθεση η ικανότητα ιοντοανταλλαγής μειώθηκε σε όσες περιοχές μετρήθηκε (Τουρκία, Ελλάδα) χωρίς στατιστικά σημαντική διαφορά τιμών.

Γενικά, οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στο έδαφος διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το είδος του οικοσυστήματος, τη γεωλογία, το είδος βλάστησης, την ένταση της φωτιάς, αλλά και το χρονικό πλαίσιο της δειγματοληψίας. Ενώ οι πυρκαγιές προκαλούν αρχικές φυσικοχημικές διαταραχές, η μακροπρόθεσμη ανάκαμψη του εδάφους είναι δυνατή, αν και όχι πάντα πλήρης.

Η συστηματική και συγκριτική μελέτη των μεταβολών αυτών μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη βιώσιμων στρατηγικών αποκατάστασης, αλλά και στην καλύτερη κατανόηση της ανθεκτικότητας του εδάφους στα φαινόμενα αυτά.

11.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αργυράκη Α., (2013). Αναλυτική Γεωχημεία. Σημειώσεις Μαθήματος. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.

Καϊλίδης Δ., Καρανικόλα Π. και Ταμπάκης Σ., (2004). Οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα τον προηγούμενο αιώνα (1900-2000). Πρακτικά του 1ου Περιβαλλοντικού Συνεδρίου, Ν. Ορεστιάδα 7 - 9 Μαΐου 2004, σελ. 249-258.

ΤΑΜΠΑΚΗΣ, Σ., και ΚΑΡΑΝΙΚΟΛΑ. Π., (2015). ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΑ. Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Διεθνής Βιβλιογραφία

Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., Awuah, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. J. For. Res. 33, 1419–1441. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>

Alexakis, D., Kokmotos, I., Gamvroula, D., & Varelidis, G. (2021). Wildfire effects on soil quality: Application on a suburban area of West Attica (Greece). Geosciences Journal, 25, 243–253. <https://doi.org/10.1007/s12303-020-0011-1>

Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., & Úbeda, X. (2018). *Effects of prescribed fires on soil properties: A review. Science of The Total Environment, 613-614, 944–957.* doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.144

Allam, A. Y., Borsali, H. A., Kefifa, A., Zouidi, M., Gros R. (2020). Effect of fires on certain properties of forest soils in Western Algeria. Acta Technologica Agriculturae 3, pp. 111-117. DOI: 10.2478/ata-2020-0018

Badía D, Martí C, Aguirre AJ, Aznar JM, González-Pérez JA, De la Rosa JM, León J, Ibarra P, Echeverría T (2014) Wildfire effects on nutrients and organic carbon of a Rendzic Phaeozem in NE Spain: changes at cm-scale topsoil. CATENA 113:267–275

Campos, I.; Abrantes, N.; Keizer, J.J.; Vale, C.; Pereira, P. (2016). Major and trace elements in soils and ashes of eucalypt and pine forest plantations in Portugal following a wildfire. Sci. Total Environ., 572, 1363–1376.

Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: A review. Oecologia, 143, 1–10.

Chief K., Young M.H., Shafer D.S., (2012). Changes in soil structure and hydraulic properties in a wooded-shrubland ecosystem following a prescribed fire. *Soil Sci Soc Am J* 76(6):1965–1977

Chungu D., Ng'andwe P., Mubanga H., Chileshe F., (2020). Fire alters the availability of soil nutrients and accelerates growth of *Eucalyptus grandis* in Zambia. *J for Res* 31(5):1637–1645

Doerr, S. H., & Santín, C., (2006). Fire severity and soil hydrophobicity: A review. *International Journal of Wildland Fire*, 15(4), 403–420. <https://doi.org/10.1071/WF05108>

Downing T.A., Imo M., Kimanzi J., Otinga A.N., (2017). Effects of wildland fire on the tropical alpine moorlands of Mount Kenya. *CATENA* 149:300–308

Huseyin Ekinci, (2006). Effect of Forest Fire on Some Physical, Chemical and Biological Properties of Soil in Çanakkale, Turkey. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8530(1):8-1

Ekinci, H., Kavdir, Y., & Yilmaz, I. H., (2006). Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Çanakkale, Turkey. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8(1), 102–106.

Eldiabani, A., Trabelsi, D., & Benslama, M., (2014). The effect of forest fires on physical properties and magnetic susceptibility of semi-arid soils in north-eastern Libya. *Catena*, 115, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.004>

Granged A.J., Zavala L.M., Jordán A., Bárcenas-Moreno G., (2011). Post fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: a 3-year study. *Geoderma* 164(1–2):85–94

Fernández-Fernández M., Gómez-Rey M.X., González-Prieto S.J., (2015). Effects of fire and three fire-fighting chemicals on main soil properties, plant nutrient content and vegetation growth and cover after 10 years. *Sci Total Environ* 515:92–100

Fernández-García V., Marcos E., Fernández-Guisuraga J.M., Taboada A., Suárez-Seoane S., Calvo L., (2019a). Impact of burn severity on soil properties in a *Pinus pinaster* ecosystem immediately after fire. *Int J Wildland Fire* 28(5):354–364

Fernández-García V., Miesel J., Baeza M.J., Marcos E., Calvo L. (2019b). Wildfire effects on soil properties in fire-prone pine ecosystems: Indicators of burn severity legacy over the medium term after fire. *Appl Soil Ecol* 135:147–156

Franco M., Stefanuto E.B., Úbeda X., Pereira P., (2019). Long-term impact of prescribed fire on soil chemical properties in a wildland-urban interface. Northeastern Iberian Peninsula. *Sci Total Environ* 689:305–311

Fultz L.M., Moore-Kucera J., Dathe J., Davinic M., Perry G., Wester D., Schwilk D.W., Rideout-Hanzak S., (2016). Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biogeochemical processes and microbial communities: two case studies in the semi-arid Southwest. *Appl Soil Ecol* 99:118–128

Goberna M., García C., Insam H., Hernández M.T., Verdú M., (2012). Burning fire-prone Mediterranean shrublands: immediate changes in soil microbial community structure and ecosystem functions. *Microb Ecol* 64(1):242–255

Heydari M., Rostamy A., Najaf F., Dey D.C., (2017). Effect of fire severity on physical and biochemical soil properties in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests in Iran. *J for Res* 28(1):95–104

Hu M., Song J., Li S., Li Z., Hao Y., Di M., Wan S., (2020). Understanding the effects of fire and nitrogen addition on soil respiration of a field study by combining observations with a meta-analysis. *Agric for Meteorol* 292:108106

Jordán A., Zavala L.M., Mataix-Solera J., Nava A.L., Alanís N., (2011). Effect of fire severity on water repellency and aggregate stability on Mexican volcanic soils. *CATENA* 84(3):136–147

Karali, A., Hatzaki, M., Giannakopoulos, C., Roussos, A., Xanthopoulos, G., & Tenentes, V. (2014). Sensitivity and evaluation of current fire risk and future projections due to climate change: the case study of Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(1), 143–153. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-143-2014>

Keeley, J. E., (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116–126. <https://doi.org/10.1071/WF07049>

Keizer, J. J., Doerr, S. H., Malvar, M. C., Prats, S. A., Ferreira, R. S., & Coelho, C. O. A., (2008). Temporal variation in topsoil water repellency in two recently burnt eucalypt stands in north-central Portugal. *Catena*, 74(3), 192–204. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.03.012>

Knicker H., (2007). How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry* 85(1):91–118

Mataix-Solera J., Cerdà A., Arcenegui V., Jordán A., Zavala L.M., (2011). Fire effects on soil aggregation: a review. *Earth Sci Rev* 109(1–2):44–60

Meira-Castro A., Shakesby R.A., Marques J.E., Doerr S.H., Meixedo J.P., Teixeira J., Chaminé H.I., (2015). Effects of prescribed fire on surface soil in a *Pinus pinaster* plantation, northern Portugal. *Environ Earth Sci* 73(6):3011–3018

Megremi, I., Stathopoulou, E., Vorriss, E., Kostakis, M., Karavoltsos, S., Thomaidis, N., & Vasilatos, C., (2024). Mediterranean wildfires' effect on soil quality and properties: A case from Northern Euboea, Greece. *Land*, 13, 325. <https://doi.org/10.3390/land13030325>

Moreno, J. M., Vazquez, A. and Velez, R., (1998). Recent History of Forest Fires in Spain. *Large Forest Fires*, pp. 159-185, edited by J.M. Moreno <file:///C:/Users/museum/Downloads/1998Moreno-Vazquez-VelezRecenthistoryFF.pdf>

Neary, D. G., Klopatek, C. C., DeBano, L. F., & Ffolliott, P. F., (1999). Fire effects on belowground sustainability: A review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122(1–2), 51–71. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00032-8)

Natura 2000. (n.d.). Nature and biodiversity. Retrieved from <https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/>

Rab MA., (1996). Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the Eucalyptus regnans forest of southeastern Australia. *For Ecol Manage* 84:159–175

Reyes O, García-Duro J, Salgado J., (2015). Fire affects soil organic matter and the emergence of *Pinus radiata* seedlings. *Ann for Sci* 72(2):267–275

Sánchez Meador A., Springer J.D., Huffman D.W., Bowker M.A., Crouse J.E., (2017). Soil functional responses to ecological restoration treatments in frequent-fire forests of the western United States: a systematic review. *Restor Ecol* 25(4):497–508

Santín C., Otero X.L., Doerr S.H., Chafer C.J., (2018). Impact of a moderate/ high-severity prescribed eucalypt forest fire on soil phosphorous stocks and partitioning. *Sci Total Environ* 621:1103–1114

SHAKESBY, R., & DOERR, S., (2006). Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, 74(3-4), 269–307. doi:10.1016/j.earscirev.2005.10.006

Valkó O., Deák B., Magura T., Török P., Kelemen A., Tóth K., Horváth R., Nagy D.D., Debnár Z., Zsigrai G., Kapocsi I., (2016). Supporting biodiversity by prescribed burning in grasslands—a multi-taxa approach. *Sci Total Environ* 572:1377–1384

Verma S., Singh D., Singh A.K., Jayakumar S., (2019). Post-fire soil nutrient dynamics in a tropical dry deciduous forest of Western Ghats. *India for Ecosyst* 6(1):1–9

Walstad J.D., Radosевич S.R., Sandberg D.V., (1990). Introduction to natural and prescribed fire in Pacific Northwest forests. In 'Natural and prescribed fire in Pacific Northwest forests'. (Eds JD Walstad, SR Radosевич and DV Sandberg) Chapter 1, pp. 3–5. (Oregon State University Press: Corvallis).

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις

https://www.contentarchive.wwf.gr/images/pdfs/pe/entheto_dasikespirkagies.pdf

<http://www1.aegean.gr/environment/antoniadis/courses/SoilScience/SoilScience.pdf>

<https://www.firesecurity.gr/sympdas.html>

<https://www.eea.europa.eu/en>