



Πανεπιστήμιο Δυτικής  
Αττικής  
Τμήμα Πολιτικών  
Μηχανικών



Πρόγραμμα  
Μεταπτυχιακών Σπουδών

Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές  
Προστασίας Περιβάλλοντος (Ε.Π.ΤΕ.Π.Π.)



Ευρωπαϊκό  
Πανεπιστήμιο Κύπρου  
Τμήμα Διοίκησης,  
Διαχείρισης και  
Μάρκετινγκ

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«Διερεύνηση διασποράς δυνητικά τοξικών στοιχείων στο έδαφος πυρόπληκτων περιοχών. Η περίπτωση της Κινέτας»



Επιμέλεια: Ιωάννης Κοκμοτός  
Αξιωματικός Μηχανικός Εγκαταστάσεων Πολεμικής Αεροπορίας  
Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων: Δρ Δημήτριος Αλεξάκης  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Αθήνα, Μάρτιος 2019





Πανεπιστήμιο Δυτικής  
Αττικής  
Τμήμα Πολιτικών  
Μηχανικών



Πρόγραμμα  
Μεταπτυχιακών Σπουδών

Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές  
Προστασίας Περιβάλλοντος (Ε.Π.ΤΕ.Π.Π.)



Ευρωπαϊκό  
Πανεπιστήμιο Κύπρου  
Τμήμα Διοίκησης,  
Διαχείρισης και  
Μάρκετινγκ

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**«Διερεύνηση διασποράς δυνητικά τοξικών στοιχείων στο έδαφος πυρόπληκτων περιοχών. Η περίπτωση της Κινέτας»**

Επιμέλεια: Ιωάννης Κοκμοτός  
Αξιωματικός Μηχανικός Εγκαταστάσεων Πολεμικής Αεροπορίας  
Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων: Δρ Δημήτριος Αλεξάκης  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Εγκρίθηκε από την κάτωθι εξεταστική επιτροπή την .....

Δημήτριος Αλεξάκης  
Δρ Γεωχημείας Περιβάλλοντος  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Ευάγγελος Φουντουκίδης  
Δρ Χημικός Μηχανικός-Οικονομ.  
Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Βαρελίδης Γιώργος  
Δρ Πολεοδόμος ΕΜΠ  
Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Κοκμοτός Ιωάννης

Αξιωματικός Μηχανικός Εγκαταστάσεων Πολεμικής Αεροπορίας

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Κοκμοτός Ιωάννης, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

## **Αφιέρωση και Ευχαριστίες**

Με την παράδοση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Δρ Δημήτριο Αλεξάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή ΠΑ.Δ.Α., για το χρόνο που αφιέρωσε, τις συμβουλές και τις πολύτιμες υποδείξεις του για τη σύνταξη και ολοκλήρωσή της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Δρ Ευάγγελο Φουντουκίδη, Καθηγητή ΠΑ.Δ.Α., για την παροχή διευκολύνσεων στο στάδιο προετοιμασίας των εδαφικών δειγμάτων και την Δρ Δήμητρα Γαμβρουλά, Διδάσκουσα του ΠΜΣ-ΕΠΤΕΠΠ, για την κριτική ανάγνωση του κειμένου της εργασίας.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην συνάδερφο Δουφεξή Μαρία, Χημικό Μηχανικό Ε.Μ.Π, για την βοήθεια και την συμβολή της στην εκτέλεση της δειγματοληψίας και του πειραματικού τμήματος της εργασίας. Επιπλέον, είμαι ευγνώμων στον συνάδερφο Καρέλα Γιώργο, Μηχανολόγο Μηχανικό για τον εξοπλισμό που κατασκεύασε ανιδιοτελώς, για την δειγματοληψία των εδαφικών δειγμάτων, καθώς και στη Δρ Σίσσυ Ευθυμιάδου και το προσωπικό του ΕΛΓΟ «Δήμητρα» για την παραχώρηση του χώρου και την πολύτιμη βοήθειά τους στην εκτέλεση των εργαστηριακών προσδιορισμών.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την εργασία αυτή στην σύζυγο μου, για την μεγάλη της υπομονή και συμπαράσταση, καθώς και στα δύο μας παιδάκια.



Thesis title: «Investigation of potentially toxic elements dispersion in soil of wildfire affected areas. The case of Kineta»

Author: Ioannis Kokmotos

## ABSTRACT

Many wildfires occur per year in forests across Greece. These fires can play a very important role in the environmental distribution of trace elements through their fire-induced mobilization and associated transport of soil and ash particles. In particular, fire-induced inputs of these elements into the environment are related to the occurrence of toxicity. Furthermore, wildfires can change some chemical properties in soils during the combustion process.

On the occasion of the recent fire in the West Attica region, this study aimed to the assessment of soil quality in Kineta and the effect of fire on soil properties and nutrient availability ( $Fe_{DTPA}$ ,  $Mn_{DTPA}$ ,  $Zn_{DTPA}$  and  $Cu_{DTPA}$ ), which is a topic poorly documented. For these reason, soil samples were collected from two different depths (0-5 and 5-25 cm) two months after the fire (without intermediate raining). The area is, mainly, covered by pine trees (*pinus halepensis*).

Uni-, bi- and multivariate multivariate statistics and GIS database proved successful tools for the purposes of this research. The type of methodology used in this study consists of chemical analysis, pH, CEC, EC and soil organic matter (OM) evaluation, cumulative frequency diagrams (CDF), correlation analysis and factor analysis, GIS database and comparison of soil parameters with quality standards and levels from basic background studies concerning soil contamination.

Results of this study indicated that wildfires significantly increased OM, pH, available Fe and Mn in comparison with unburned soil. This higher availability of nutrients in the soil may be associated with the addition of ash during fire. At the same time, relationships between various parameters have been identified from factor analysis and reflect genetic association. A GIS elaboration showed the spatial relationship between high positive factor scores and presence of ore

deposits and anthropogenic contamination (wildfires). In particular,  $Zn_{DTPA}$  contents in Kineta soils constitute a case of lithogenic contamination, while high concentrations of  $Mn_{DTPA}$  demonstrate the role of wildfire in enhancing levels of available elements in topsoil and thus soil contamination.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πολλές πυρκαγιές συμβαίνουν ετησίως σε πολλά δάση ανά την Ελλάδα. Οι πυρκαγιές αυτές, μπορούν να διαδραματίσουν πολύ σημαντικό ρόλο στην περιβαλλοντική κατανομή ιχνοστοιχείων, μέσω της κινητοποίησής τους που προκαλείται από τη πυρκαγιά και τη μεταφορά τους μέσω των σωματιδίων εδάφους και τέφρας. Ειδικότερα, η εισροή τέτοιων ιχνοστοιχείων λόγω μιας πυρκαγιάς στο περιβάλλον σχετίζεται με την εκδήλωση τοξικότητας. Επί πλέον, οι πυρκαγιές φαίνεται να αλλάζουν ορισμένες ιδιότητες στο έδαφος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της καύσης, σε μια πυρκαγιά.

Με αφορμή την πρόσφατη πυρκαγιά στην περιοχή της Δυτικής Αττικής, η έρευνα αυτή αποσκοπούσε στην αξιολόγηση της ποιότητας του εδάφους στην Κινέτα και την επίδραση της πυρκαγιάς στις ιδιότητες του εδάφους και στη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών στο έδαφος ( $Fe_{DTPA}$ ,  $Mn_{DTPA}$ ,  $Zn_{DTPA}$  και  $Cu_{DTPA}$ ), ένα θέμα το οποίο είναι ελάχιστα τεκμηριωμένο. Για αυτό το λόγο, εδαφικά δείγματα συλλέχθηκαν από δύο διαφορετικά βάθη (0-5 και 5-25 cm) δύο μήνες μετά τη πυρκαγιά (χωρίς ενδιάμεσες βροχές), σε μια περιοχή η οποία καλύπτεται κυρίως από πεύκα (χαλέπιος πεύκη).

Η μονο-, δι- και πολυπαραγοντική στατιστική ανάλυση και η βάση δεδομένων GIS αποδείχθηκαν επιτυχημένα εργαλεία για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας. Ο τύπος της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την έρευνα αποτελείται από χημικές αναλύσεις, αξιολόγηση pH, ΙΑΚ (CEC), ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και οργανικής ουσίας (OM) εδάφους, διαγράμματα αθροιστικής συχνότητας (CDF), ανάλυση συσχέτισης με δύο μεταβλητές και ανάλυση παραγόντων, βάση δεδομένων GIS και σύγκριση των εδαφικών παραμέτρων με πρότυπα ποιότητας και όρια από βασικές έρευνες υποβάθρου, οι οποίες αφορούν στη ρύπανση του εδάφους.

Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν ότι η πυρκαγιά αύξησε σημαντικά την οργανική ουσία, το pH, τον διαθέσιμο Fe και Mn στο έδαφος των πυρόπληκτων περιοχών σε σύγκριση με τις ανεπηρέαστες περιοχές. Αυτή, η αυξημένη διαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών στο έδαφος μπορεί να σχετίζεται με την προσθήκη τέφρας κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Παράλληλα, οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων που έχουν εντοπιστεί από την παραγοντική

ανάλυση αντικατοπτρίζουν μια γενετική συσχέτιση μεταξύ αυτών. Η επεξεργασία μέσω του GIS κατέδειξε την χωρική συσχέτιση μεταξύ των υψηλών παραγοντικών φορτίων και την παρουσία φυσικής και ανθρωπογενούς ρύπανσης (πυρκαγιά). Πιο συγκεκριμένα, η υψηλή περιεκτικότητα του  $Zn_{DTPA}$  στο έδαφος της περιοχής της Κινέτας αποτελεί μια περίπτωση ρύπανσης η οποία οφείλεται στους λιθογόνους παράγοντες της περιοχής, ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις του  $Mn_{DTPA}$  αποδεικνύουν το ρόλο της πυρκαγιάς στην ενίσχυση των επιπέδων των διαθέσιμων ιχνοστοιχείων στο έδαφος και την κατ' επέκταση ρύπανση του εδάφους.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ .....</b>	<b>- 5 -</b>
1.1 Εισαγωγή .....	- 5 -
1.2 Παράγοντες επιρροής των δασικών πυρκαγιών .....	- 8 -
1.3 Οι δασικές πυρκαγιές στον Ελληνικό χώρο .....	- 9 -
1.4 Τα αίτια των δασικών πυρκαγιών .....	- 15 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ- 21 -</b>	
2.1 Η επίδραση των πυρκαγιών στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους.....	- 21 -
2.1.1 Σύσταση εδάφους και ορυκτολογία .....	- 22 -
2.1.2 Δομή του εδάφους .....	- 22 -
2.1.3 Πορώδες.....	- 23 -
2.1.4 Απωθητικότητα νερού (Υδροφοβικότητα).....	- 24 -
2.1.5 Θερμική αγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα .....	- 28 -
2.2 Η επίδραση των πυρκαγιών στις χημικές ιδιότητες του εδάφους .....	- 29 -
2.2.1 Οργανική ύλη και άνθρακας .....	- 30 -
2.2.2 Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ) .....	- 31 -
2.2.3 Κατιόντα.....	- 33 -
2.2.4 Εδαφικό pH.....	- 33 -
2.2.5 Άζωτο (N) .....	- 34 -
2.2.6 Φωσφόρος (P).....	- 35 -
2.2.7 Θείο (S) .....	- 36 -
2.2.8 Ιχνοστοιχεία .....	- 36 -
2.3 Η επίδραση των πυρκαγιών στην βιολογία του εδάφους.....	- 41 -
2.3.1 Εδαφικοί μικροοργανισμοί.....	- 43 -
2.3.2 Εδαφική μέσο- και μακροπανίδα .....	- 45 -
2.3.3 Αμφίβια, ερπετά και μικρά θηλαστικά .....	- 46 -
2.4 Φαινόμενο εναπόθεσης στάχτης (Ash – Bed effect) .....	- 47 -
2.5 Οι Επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στην ποιότητα του περιβάλλοντος .-	- 49 -
2.5.1 Επιπτώσεις στην ποιότητα της ατμόσφαιρας .....	- 49 -
2.5.2 Επιπτώσεις στην ποιότητα του εδάφους.....	- 52 -
2.5.3 Επιπτώσεις στην ποιότητα των υδάτων .....	- 56 -

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....</b>	<b>- 59 -</b>
3.1 Γενικά στοιχεία .....	- 59 -
3.2 Το κλίμα της περιοχής.....	- 62 -
3.3 Η γεωλογία της περιοχής .....	- 64 -
3.4 Η δασική πυρκαγιά στην περιοχή.....	- 68 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....</b>	<b>- 73 -</b>
4.1 Εισαγωγή.....	- 73 -
4.2 Δειγματοληψία .....	- 74 -
4.3 Μακροσκοπική επισκόπηση πυρκαγιάς .....	- 77 -
4.4 Προετοιμασία δειγμάτων εδάφους.....	- 78 -
4.5 Εργαστηριακοί προσδιορισμοί .....	- 81 -
4.5.1 Μηχανική ανάλυση εδάφους.....	- 81 -
4.5.2 Προσδιορισμός οργανικής ουσίας.....	- 85 -
4.5.3 Προσδιορισμός εκχυλίσμων με διάλυμα DTPA ιχνοστοιχείων .....	- 87 -
4.5.4 Προσδιορισμός ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ) .....	- 91 -
4.5.5 Προσδιορισμός pH .....	- 95 -
4.5.6 Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας και αλατότητας .....	- 97 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>- 101 -</b>
5.1 Εισαγωγή.....	- 101 -
5.2 Αποτελέσματα.....	- 101 -
5.2.1 Μονοπαραγοντική (univariate) ανάλυση .....	- 101 -
5.2.2 Ανάλυση με δύο μεταβλητές (bivariate stats).....	- 113 -
5.2.3 Πολυμεταβλητή ανάλυση με χρήση παραγόντων (factor analysis).....	- 115 -
5.3 Συζήτηση .....	- 117 -
5.3.1 Μονοπαραγοντική (univariate) ανάλυση .....	- 117 -
5.3.2 Ανάλυση με δύο μεταβλητές (bivariate stats).....	- 120 -
5.3.3 Πολυμεταβλητή ανάλυση με χρήση παραγόντων (factor analysis).....	- 122 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>- 125 -</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>- 127 -</b>
<b>ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ .....</b>	<b>- 136 -</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι δασικές πυρκαγιές είναι μια από τις σημαντικότερες αιτίες που δημιουργεί επιπτώσεις στα οικοσυστήματα (Neary et al., 2005). Στις μεσογειακές χώρες της Νότιας Ευρώπης, αποτελούν συχνό φαινόμενο, ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, καταστρέφοντας στην περίπτωση της Ελλάδας, κατά μέσο όρο 449.140 στρ. ετησίως (περίοδος αναφοράς 1980-2016), με την πιο δραματική χρονιά να είναι το 2007 με 2.257.340 στρ. (JRC-EFFIS, 2017).

Πιο συγκεκριμένα, οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκαλεί γενικευμένες ανησυχίες, καθώς έχουν δυσμενείς και ποικίλες επιπτώσεις στα ατμοσφαιρικά, χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα, με οικονομικό και κοινωνικό αντίκτυπο. Μπορούν, δε, να τροποποιήσουν τόσο έντονα τα αβιοτικά και βιοτικά χαρακτηριστικά του εδάφους, αλλάζοντας τις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητές του (Neary et al., 2005).

Ωστόσο, ένα ζήτημα το οποίο αποτελεί αντικείμενο ιδιαίτερης προσοχής, είναι η επίδραση των πυρκαγιών στην κινητοποίηση και την εναπόθεση ρυπογόνων παραγόντων, όπως είναι τα βασικά στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία. Οι πυρκαγιές έχουν βρεθεί ότι απελευθερώνουν και αποθέτουν διάφορα στοιχεία στην επιφάνεια του εδάφους, είτε άμεσα με την καύση της βλάστησης και την ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης του εδάφους, είτε έμμεσα μέσω της αλληλεπίδρασης της στάχτης με το υποκείμενο έδαφος. Με τον τρόπο αυτό, σημαντικές ποσότητες στοιχείων προστίθενται στο έδαφος, αλλάζοντας τελικά τις χημικές ιδιότητές του (Pereira and Ubeda, 2010). Υψηλές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων εντοπίζονται και στην τέφρα αμέσως μετά την πυρκαγιά, η οποία εναποτίθεται στο επιφανειακό έδαφος με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις τους στην επιφάνεια να είναι αυξημένες σε σχέση με αυτές στο υποκείμενο έδαφος (Mandal and Sengupta, 2006). Τα ιχνοστοιχεία προκαλούν μεγάλη περιβαλλοντική ανησυχία λόγω της υψηλής τοξικότητάς τους, της περιβαλλοντικής τους αντοχής και της τάσης βιοσυσσώρευσης τους στην τροφική αλυσίδα.

Επίσης, πολλά μέταλλα που είναι απαραίτητα για τους ζωντανούς οργανισμούς, κυρίως για τη σταθερότητα της δομής τους και τη ρύθμιση των λειτουργιών τους, ενδέχεται να αντικατασταθούν από άλλα, κυρίως βαρέα μέταλλα, και να παρεμποδίσουν την καλή λειτουργία των ενζύμων και των

συναφών παραγόντων, προκαλώντας τοξικές επιδράσεις στους οργανισμούς (Siegel, 1973). Βέβαια, ακόμα και τα βασικά μέταλλα, που προαναφέρθηκαν, μπορούν να προκαλέσουν τοξικές επιδράσεις εάν υπάρχουν σε αυξημένες συγκεντρώσεις (Sunda and Huntsman, 1998).

Όλες οι παραπάνω αλλαγές στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, μπορεί να μετατρέψουν το έδαφος σε επικίνδυνο και τοξικό, προκαλώντας μια ευρύτερη ρύπανση στο περιβάλλον. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως υψηλής έντασης ή μεγάλες σε έκταση πυρκαγιές μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση της διάβρωσης του εδάφους προκαλώντας έντονη απορροή, φαινόμενα τα οποία με την σειρά τους μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα του νερού στα ρέματα, τα ποτάμια και τις λίμνες μέσα σε μια λεκάνη (Paige and Zygmunt, 2013). Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, ιδίως όταν οι δασικές περιοχές θεωρούνται ζώνες επαναφόρτισης των υπόγειων υδάτων (Campos et al., 2016).

Με αφορμή την μεγάλη πυρκαγιά που ξέσπασε στα Γεράνεια Όρη στις 23 Ιουλίου 2018, κατακαίγοντας χιλιάδες στρέμματα δασικής έκτασης αλλά και εκατοντάδες σπίτια του οικισμού της Κινέτας, ευτυχώς χωρίς θύματα, δημιουργήθηκε η ανάγκη να διερευνηθεί η ποιότητα των εδαφικών ιδιοτήτων και η συγκέντρωση βασικών ιχνοστοιχείων της περιοχής, και η τυχόν επίδραση της εν λόγω φυσικής καταστροφής στο περιβάλλον. **Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας** είναι: (α) να προσδιορίσει τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και τις διαθέσιμες για τα φυτά συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ιχνοστοιχείων σε μια περιοχή, η οποία δεν έχει ερευνηθεί ποτέ στο παρελθόν, (β) να προσδιοριστούν τυχόν μεταβολές των ανωτέρω παραγόντων από τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, μέσω της σύγκρισης στις καμμένες και μη υποπεριοχές, (γ) να ερευνηθεί η σχέση μεταξύ των παραμέτρων που εξετάστηκαν και (δ) να εξαχθούν συμπεράσματα αναφορικά με την πιθανή ρύπανση της περιοχής, τόσο από ανθρωπογενείς (όπως είναι η πυρκαγιά), όσο και από γεωγενείς παράγοντες.

Η παρούσα εργασία είναι οργανωμένη σε 6 κεφάλαια. Στο κεφάλαιο 1 αναφέρονται κάποια βασικά στοιχεία για το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών, επικεντρώνοντας στα είδη των δασικών πυρκαγιών, τους παράγοντες επιρροής, και τα αίτια αυτών, ενώ γίνεται και μια ανάλυση στα στατιστικά που υπάρχουν για τον Ελληνικό χώρο. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια αναλυτική αναφορά στις

επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στο έδαφος και συγκεκριμένα στην επίδραση των πυρκαγιών στις φυσικές, χημικές ιδιότητες και την βιολογία του εδάφους. Παράλληλα περιγράφεται το φαινόμενο εναπόθεσης τέφρας, ενώ στο τέλος ακολουθεί μια εκτενή αναφορά στην ρύπανση του περιβάλλοντος από τις δασικές πυρκαγιές και τις επιπτώσεις στα επιμέρους οικοσυστήματα (ατμοσφαιρικά, χερσαία και υδάτινα). Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η περιοχή έρευνας, με έμφαση στη γεωγραφία της περιοχής, την πανίδα και χλωρίδα της, τα κλιματικά της δεδομένα και τη γεωλογία της, ενώ γίνεται και μια εκτενή αναφορά στη δασική πυρκαγιά της 23<sup>ης</sup> Ιουλίου 2018. Στο κεφάλαιο 4 αναφέρονται όλες οι διαδικασίες και οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν για την δειγματοληψία, την προετοιμασία των δειγμάτων και του εργαστηριακούς προσδιορισμούς που έγιναν στα εδαφικά δείγματα της περιοχής έρευνας, ενώ στο κεφάλαιο 5 γίνεται εκτενή αναφορά στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την στατιστική επεξεργασία των εργαστηριακών προσδιορισμών με σχολιασμό επί αυτών, συζήτηση και οπτικοποίηση με την βοήθεια διαγραμμάτων και χαρτών. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν.





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

### 1.1 Εισαγωγή

Η πυρκαγιά είναι ένα φυσικό φαινόμενο οφειλόμενο στην καύση, μια χημική αντίδραση μεταξύ διαφόρων στοιχείων, που συνοδεύεται από την έκλυση σημαντικού ποσού θερμότητας και ισχυρή φωταύγεια. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η καύση οφείλεται σε αντιδράσεις εξώθερμης οξείδωσης ενός καύσιμου υλικού με ένα οξειδωτικό μέσο, συνήθως οξυγόνο. Για να προκληθεί, όμως, πυρκαγιά από την καύση (ανάφλεξη) απαιτείται και η προσφορά θερμότητας, από διάφορες εξωτερικές πηγές, οι οποίες ταυτίζονται με τα αίτια των πυρκαγιών. Οι τρεις παράγοντες (καύσιμη ύλη, οξυγόνο, θερμότητα) αποτελούν το περίφημο τρίγωνο της πυρκαγιάς (Εικ.1.1). Σε κάθε δασική περιοχή, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης καύσιμης οργανικής ύλης, υπάρχουν ειδικές κρίσιμες συνθήκες, δηλαδή καθορισμένες οριακές τιμές του τριγώνου, οι οποίες όταν ξεπεραστούν, δημιουργείται ανάφλεξη και έναρξη πυρκαγιάς (Κωνσταντινίδης, 2003).



Εικόνα 1.1 Τρίγωνο της πυρκαγιάς (<https://el.wikipedia.org>).

Την καύσιμη ύλη στις δασικές πυρκαγιές αποτελούν συνήθως οι νεκροί ή ζωντανοί ιστοί των φυτών. Η δασική καύσιμη ύλη χωρίζεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη θέση την οποία αυτή κατέχει μέσα στο δάσος σε (Ταμπάκης και Καρανικόλα, 2015): (α) καύσιμη ύλη εδάφους, η οποία περιλαμβάνει όλη την καύσιμη ύλη που βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους μέχρι ύψος 1,5 m.

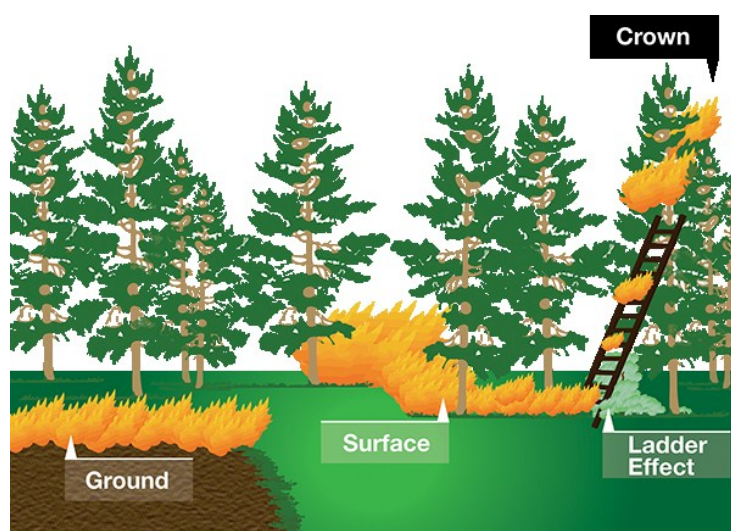
Οι κυριότερες δασικές καύσιμες ύλες του εδάφους είναι η τύρφη, οι ρίζες των δέντρων, ο ξηροτάπητας, τα νεαρά δέντρα και οι θάμνοι, η παρεδάφια βλάστηση, καθώς επίσης και κλαδιά λεπτότερα ή παχύτερα, κατακείμενοι κορμοί και πρέμνα και (β) εναέρια καύσιμη ύλη, η οποία περιλαμβάνει το σύνολο της καύσιμης ύλης που βρίσκεται σε ύψος 1,5 m και υψηλότερα. Έτσι, οι δασικές πυρκαγιές ανάλογα με τον τρόπο εξάπλωσής τους και ανάλογα με τη θέση τους στην επιφάνεια του εδάφους διακρίνονται σε:

- Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες (ground fire). Οι πυρκαγιές που εμφανίζονται με τη λιγότερη συχνότητα στην Ελλάδα, σε αντίθεση με τις βόρειες χώρες. Χαρακτηριστικό τους είναι η καύση της οργανικής ύλης, η οποία συσσωρεύεται στο έδαφος ή ημι-αποσυντίθενται. Το στρώμα αυτής της οργανικής ύλης που βρίσκεται σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης, καλείται ως χούμους. Η οργανική ύλη, διεισδύει σε μεγάλο βάθος που ξεπερνάει τα 2 m και παραμένει αρκετά υγρή, καθώς εξαπλώνεται υπόγεια και τροφοδοτείται με ελάχιστο οξυγόνο. Η ταχύτητα καύσης είναι μικρή και ασήμαντης έντασης, αλλά εντάσσονται στις πιο επικίνδυνες πυρκαγιές, καθώς η κατάσβεσή τους κρίνεται αρκετά δύσκολη και μπορούν να καταστρέψουν ολοκληρωτικά του ριζικό σύστημα των φυτών (Καϊλίδης, 1990).

- Έρπουσες ή επιφανείας (surface fire). Οι πυρκαγιές του είδους αυτού καίνε τους χορτοβοσκότοπους, τον βελονοτάπητα ή φυλλοτάπητα, τους κατακείμενους ξηρούς κλάδους, τις φυτικές αναγεννήσεις τα υπολείμματα των υλοτομιών ή και συνδυασμό των προηγούμενων. Ακόμη εδώ υπάγονται και οι πυρκαγιές των θαμνώνων της χώρας μας οι οποίες είναι οι πιο συνηθισμένες και πιο επικίνδυνες καθώς από αυτές προέρχονται οι πυρκαγιές κόμης. Οι πυρκαγιές επιφανείας διαδίδονται πολύ γρήγορα, επειδή υπάρχει άφθονος αέρας, καύσιμη ύλη σε πυκνούς σχηματισμούς (πυκνοί θαμνώνες) και θερμότητα σε μεγάλες ποσότητες (Καϊλίδης, 1990).

- Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες (crown fire). Επικόρυφες πυρκαγιές, είναι εκείνες που αναπτύσσονται στα υψηλότερα τμήματα των δασών, συνήθως πάνω από 2 m, καίνε την κόμη των δέντρων και των θάμνων, στη συνέχεια το κάμβιο τους μέχρι την ολοκληρωτική καταστροφή του δέντρου. Οι πυρκαγιές κόμης/επικόρυφες, κρίνονται ιδιαίτερα επικίνδυνες, γιατί αναπτύσσονται, κατά κύριο λόγο, σε δάση κωνοφόρων, φυλλοβόλων πλατύφυλλων και τραχείας

πεύκης. Οι πυρκαγιές αυτές προέρχονται συνήθως από έρπουσες πυρκαγιές. Στη χώρα μας στα δάση χαλεπίου και τραχιάς πεύκης συχνά καίγεται ο υπόροφος (έρπουσες) και μεταδίδει τη φωτιά στην κόμη. Εδώ ανήκουν το 40% με 50% των μεγάλων δασικών πυρκαγιών (Καϊλίδης, 1990). Ο λόγος για τον οποίο χρειάζεται μεγάλη προσοχή, είναι η μεγάλη ένταση και επικινδυνότητα που τη διακρίνει, κάτι που οφείλεται στον άνεμο, ο οποίος παρασύρει την καμμένη ουσία (καιγόμενα φύλλα, κλαδιά) και δημιουργεί νέες εστίες πυρκαγιών. Ο καπνός υψώνεται πάνω από το δάσος σε σχήμα μανιταριού λόγω των ανοδικών ρευμάτων που προκαλεί η φλόγα από την απότομη θέρμανση του αέρα, ενώ έχει χρώμα πιο σκούρο από αυτό της έρπουσας πυρκαγιάς.



Εικόνα 1.2 Είδη δασικής πυρκαγιάς (<http://www.kgbanswers.com>).

- Σημειακή πυρκαγιά ή πυρκαγιά καύτρας (spot fire). Δημιουργείται από καύτρες που εκτοξεύονται από μία μικρή εστία και δημιουργούν νέες, οι οποίες μπορεί να έχουν ακτίνα έως 300 m από το κύριο μέτωπο της πυρκαγιάς (Γκόφας, 2001). Στη συνέχεια, οι μικρές εστίες καίνε αυτοτελώς και ενώνονται με την αρχική πυρκαγιά. Είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες, καθώς η εξάπλωσή τους γίνεται με ταχύτατους ρυθμούς και υπάρχει κίνδυνος να περικυκλώσει των μέσων κατάσβεσης.

- Πυρκαγιές αστραπών ή δένδρων (lightning fire). Οι πυρκαγιές αυτές, προκαλούνται κυρίως από το εξωτερικό περιβάλλον, ενώ εμφανίζονται πάνω σε μεμονωμένα δένδρα (σημειακές) κατά τη διάρκεια μια θύελλας (προέρχονται συνήθως από αστραπές). Θεωρούνται αρκετά ελεγχόμενες και μπορούν, να

αντιμετωπιστούν με εύκολο τρόπο επειδή συνδέονται, κατά κύριο λόγο, με ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (Γκόφας, 2001).

Γενικά, για να αρχίσει η ανάφλεξη της δασικής ύλης, η θερμοκρασία της πρέπει να ανεβεί γύρω στους 350°C. Φυσικές και ανθρωπογενείς αιτίες παρέχουν στην καύσιμη ύλη τη θερμοκρασία ανάφλεξης, για την επέκταση όμως της πυρκαγιάς είναι αναγκαία η μεταφορά της στην παρακείμενη καύσιμη ύλη. Ειδικότερα, στην επέκταση των δασικών πυρκαγιών σημαντικό ρόλο παίζει η ακτινοβολούμενη θερμότητα, που είναι θερμική ενέργεια η οποία με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων διαδίδεται σε ευθείες γραμμές με την ταχύτητα του φωτός (Ταμπάκης και Καρανικόλα, 2015).

Τέλος, το οξυγόνο, ως τρίτος παράγοντας του τριγώνου, υπάρχει στον αέρα, άρα θεωρητικά είναι πάντα διαθέσιμο. Κατά τη καύση σε επίπεδο έδαφος με νηνεμία, ο θερμός αέρας ακολουθεί ανοδική πορεία, το κενό που δημιουργείται στη βάση της φωτιάς, αναγκάζει τον αέρα να κινηθεί περιμετρικά προς τη βάση της φωτιάς, περιορίζοντας την εξάπλωσή της. Αντίθετα, ο άνεμος, δίνοντας οξυγόνο, αυξάνει την ένταση μιας φωτιάς και αντίστοιχα, το πλάγιασμα της φλόγας εξαιτίας του ανέμου αυξάνει την επέκταση μιας φωτιάς ανάλογα με τη διεύθυνσή του. Έτσι, παρατηρείται ότι μεγάλες σε έκταση πυρκαγιές υπάρχουν όταν πνέουν μέτριοι ή ισχυροί άνεμοι, όπου ο άνεμος δίνει περισσότερο οξυγόνο στη φωτιά, μεταφέροντας παράλληλα καύτρες, που δημιουργούν νέες εστίες, σε απόσταση δεκάδων μέτρων από το μέτωπο. Με το τρόπο αυτό, το μέτωπο της φωτιάς προχωράει γρηγορότερα, ενώ στη συνέχεια καίγονται και όλες οι μη καμμένες περιοχές που έχουν κυκλωθεί από τη φωτιά (Ταμπάκης και Καρανικόλα, 2015).

## **1.2 Παράγοντες επιρροής των δασικών πυρκαγιών**

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα φαινόμενο στο οποίο επιδρούν αρκετοί παράγοντες, με διαφορετική, κάθε φορά, βαρύτητα. Οι κυριότεροι απ' αυτούς διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες (Καλαϊδής, 1990):

- Μετεωρολογικοί παράγοντες. Σ' αυτούς συγκαταλέγονται η ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική πίεση και η μεταβολή που δημιουργεί στις κατά τόπους καιρικές συνθήκες με τις κινήσεις των ρευμάτων των αερίων μαζών, η θερμοκρασία αέρα και η θερμοκρασία επιφάνειας του εδάφους, αναφορικά με την ποώδη βλάστηση του εδάφους. Επίσης η εξάτμιση, η σταθερότητα ή αστάθεια της

ατμόσφαιρας και η σχετική υγρασία του αέρα που επιδρά αντιστρόφως ανάλογα στην έναυση και επέκταση μιας πυρκαγιάς, αποτελούν επιπρόσθετα στοιχεία αναφοράς. Η βροχή και ο άνεμος είναι, επίσης, δύο βασικοί παράγοντες που επιδρούν στην έναρξη και εξάπλωση των πυρκαγιών. Χαρακτηριστικά, όπως, η ποσότητα νερού που πέφτει στο έδαφος, η διάρκεια των βροχών και η κατανομή των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους επιδρούν στη μεταφορά των υδρατμών της ατμόσφαιρας στο έδαφος και στην αύξηση της περιεχόμενης, στα καύσιμα υλικά, υγρασίας. Τέλος, ο άνεμος ασκεί σημαντικότερη επίδραση στις δασικές πυρκαγιές, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, γιατί αφ' ενός προσδιορίζει τη διεύθυνση διάδοσής τους και αφετέρου την ταχύτητα εξάπλωσής τους.

- Τοπογραφικοί παράγοντες. Σ' αυτούς περιλαμβάνονται το υψόμετρο, το οποίο επηρεάζει την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα και ο προσανατολισμός της περιοχής. Ο κυριότερος παράγοντας είναι η τοπογραφική διαμόρφωση (ανάγλυφο), που επιδρά σημαντικά, κυρίως στις ορεινές περιοχές, στην εξάπλωση της πυρκαγιάς. Η κλίση του εδάφους έχει, μάλιστα, αυξητική επίδραση στην ταχύτητα εξάπλωσης, αντίστοιχη μ' αυτή του ανέμου, καθώς τα ανερχόμενα θερμά αέρια μιας πυρκαγιάς που βγαίνει ανοδικά σε μια πλαγιά προθερμαίνουν τη βλάστηση που θα συναντήσει η φωτιά. Αντίστοιχα, η διαμόρφωση του εδάφους μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα του ανέμου σε τοπική κλίμακα (χαράδρες- φαινόμενο της «καμινάδας», διάσελα, κορυφογραμμές, κλπ.) με επικίνδυνες προεκτάσεις.

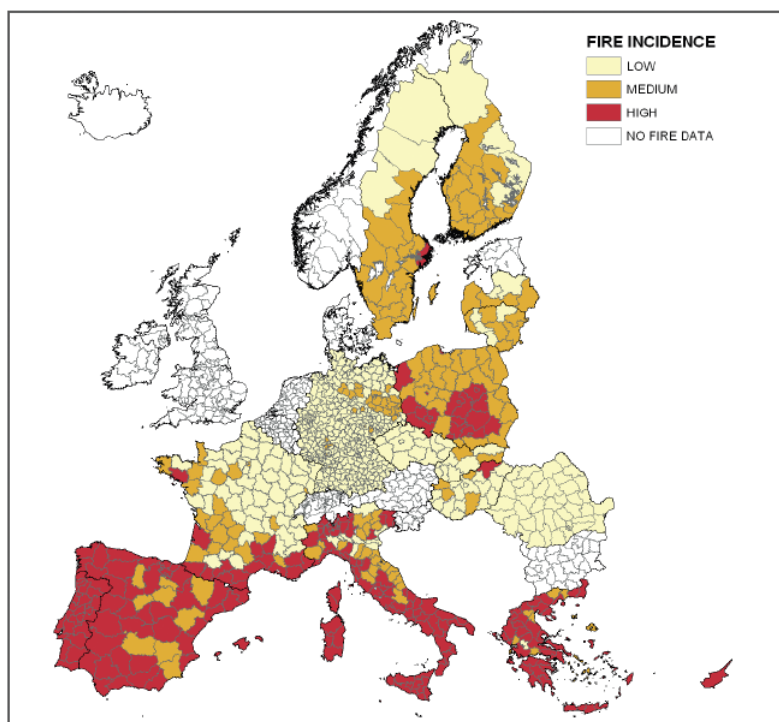
- Βλάστηση. Οι συνθήκες της βλάστησης, και κυρίως το επίπεδο ανάπτυξης της βλάστησης ανά εποχή ή περιοχή, παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των πυρκαγιών. Επίσης, το είδος της βλάστησης, ως παράγοντας που παρουσιάζει μεγαλύτερη ή μικρότερη ευφλεκτότητα, επιδρά σημαντικά τόσο κατά τη διάρκεια του φαινομένου, όσο και κατά το σχεδιασμό της πρόληψης, όσον αφορά την επιλογή που γίνεται για τα καταλληλότερα, προς αναδάσωση, είδη.

### **1.3 Οι δασικές πυρκαγιές στον Ελληνικό χώρο**

Κύριο χαρακτηριστικό των περιοχών του πλανήτη που εμφανίζουν τακτικά θερινές πυρκαγιές είναι ότι όλες βρίσκονται υπό την επίδραση του μεσογειακού κλίματος. Αυτό σημαίνει ότι τα καλοκαίρια είναι πολύ θερμά και ξερά και οι

χειμώνες ήπιοι και μέτρια βροχεροί. Παράλληλα, τα μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα παρουσιάζουν μεγαλύτερο ρυθμό παραγωγής φυτικής βιομάζας σε σχέση με τον ρυθμό διάσπασης της νεκρής βιομάζας, οπότε δημιουργείται πλεόνασμα, ενώ η βλάστηση πρέπει να αναπτύσσεται με ελάχιστο νερό, εκτός αν υπάρχει εναλλακτικός τρόπος καθαρισμού του εδάφους για να φυτρώνουν νέοι σπόροι. Κατάλληλο έδαφος προκύπτει μέσω της φωτιάς - κι εδώ υπάρχει η θετική διάσταση της σχέσης μεταξύ μεσογειακής βλάστησης και πυρκαγιάς - ωστόσο αυτό σε καμία περίπτωση δεν σημαίνει ότι οι συχνές πυρκαγιές, εξαιτίας ανθρώπινης συμπεριφοράς, δεν αποτελούν σοβαρότατη διαταραχή, καθώς τα δάση που ξανακαίγονται πριν «ωριμάσουν», υποβαθμίζονται δραματικά.

Προκειμένου να αναλυθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) η επίδραση που ασκούν οι δασικές πυρκαγιές στην περιοχή της Μεσογείου, ο αριθμός των πυρκαγιών στα δάση και η συνολική καμμένη έκταση συνοψίστηκαν διαμορφώνοντας έναν δείκτη περιστατικών δασικών πυρκαγιών. Αυτό ο δείκτης προσδιορίζει τις περιοχές στις οποίες το μέγεθος των περιστατικών πυρκαγιών είναι υψηλό είτε επειδή ο αριθμός των πυρκαγιών είναι υψηλός είτε επειδή η καμμένη έκταση είναι μεγάλη, κάτι το οποίο θα μπορούσε να οφείλεται σε υψηλή ή χαμηλή συχνότητα πυρκαγιών.



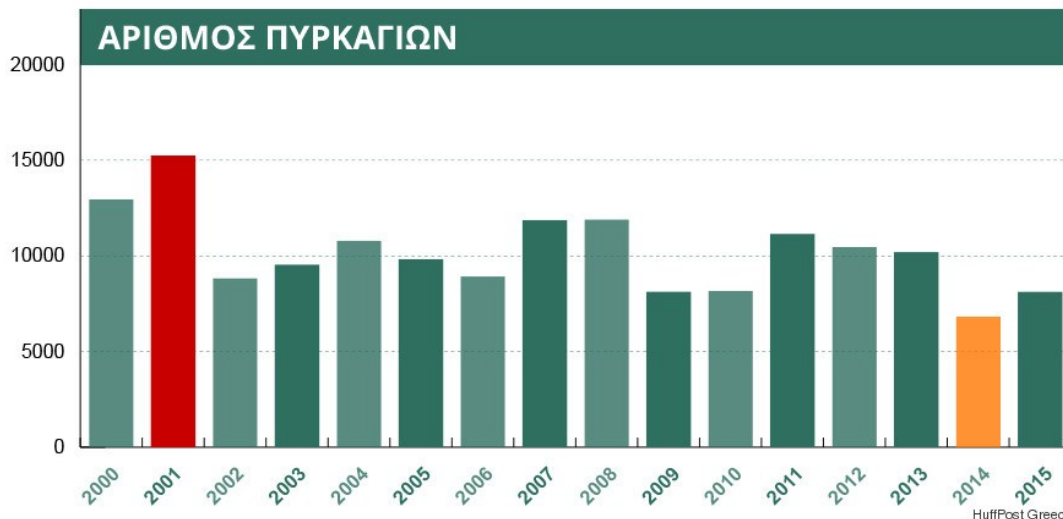
**Εικόνα 1.3** Χάρτης αριθμού περιστατικών πυρκαγιάς για την ΕΕ (Biro, 2010).

Στην Εικόνα 1.3 παρουσιάζεται ο αριθμός περιστατικών πυρκαγιάς στην ΕΕ, όπως αυτός έχει διαμορφωθεί σύμφωνα με τη βάση δεδομένων των δασικών πυρκαγιών European Forest Fire Information System (EFFIS) της ΕΕ, για το χρονικό διάστημα 1990 - 2006. Στο σχήμα αυτό, φαίνεται ξεκάθαρα πως ο μεγαλύτερος αριθμός περιστατικών πυρκαγιάς εντοπίζεται σε χώρες της Μεσογείου όπως η Πορτογαλία, Ισπανία, Ιταλία και Ελλάδα (Birof, 2010).

Η Ελλάδα, όπως και άλλες χώρες της Μεσογείου, φλέγεται κάθε καλοκαίρι και οι συνέπειες είναι κάτι παραπάνω από σημαντικές. Οι πυρκαγιές που έχουν σημειωθεί στην χώρα έχουν υπάρξει ιδιαίτερα καταστροφικές. Τα πλέον ευαίσθητα στις πυρκαγιές δασικά οικοσυστήματα στην Ελλάδα εντοπίζονται κυρίως στην παραλιακή, λοφώδη και υποορεινή περιοχή, όπου τείνουν να κυριαρχούν φρύγανα, αειφύλλα πλατύφυλλα και πευκοδάση. Οι περιοχές αυτές, με υψόμετρο 0-600 m, θεωρούνται ζώνες σημείων έναρξης των περισσότερων δασικών πυρκαγιών, χωρίς να αποκλείεται η εμφάνισή τους σε ορεινούς όγκους (μεγαλύτερα υψόμετρα). Σε μεγάλη έρευνα του περιοδικού «TIME», στην λίστα με τις 10 καταστροφικότερες πυρκαγιές, παγκοσμίως, η Ελλάδα καταλαμβάνει την όγδοη θέση με την πυρκαγιά του 2007 στην Πελοπόννησο – και συγκεκριμένα στην Ηλεία. Πρόκειται για μία από τις μεγαλύτερες φυσικές καταστροφές στην ιστορία της σύγχρονης Ελλάδας (<https://www.huffingtonpost.gr>, 2016).

Τα δεδομένα που προκύπτουν από τα επίσημα στοιχεία που είναι διαθέσιμα από την Πυροσβεστική, σχετικά με τις δασικές (αλλά και μη) πυρκαγιές από το 2000 μέχρι και το 2015, επιτρέπουν την εξαγωγή μιας σειράς συμπερασμάτων. Παρατηρείται ότι από τα πρώτα «χρόνια της κρίσης» (ξεκινώντας από το 2008 και μετά) διαφαίνεται μια μειωτική τάση όσον αφορά στον απόλυτο αριθμό των πυρκαγιών, με μια μικρή άνοδο το 2011, η οποία ακολουθήθηκε στη συνέχεια ξανά από μειωτική τάση (Εικ. 1.4).

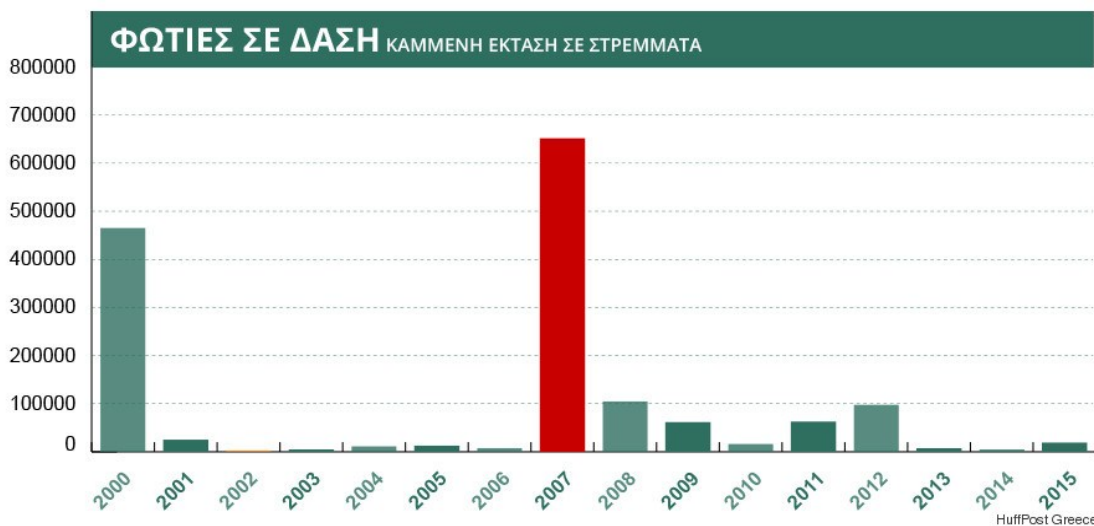
Βέβαια, από το 2000 και μετά, μεταξύ όλων των ετών «δεσπόζει» το μοιραίο από άποψης πυρκαγιών 2007, έτος κατά το οποίο κατακάηκαν 2.644.083,1 στρ. συνολικά, τα 651.585,7 εκ των οποίων ήταν από πυρκαγιές σε δάση και τα 836.875 σε δασικές εκτάσεις, με τους νεκρούς να ανέρχονται σε δεκάδες (Εικ.1.5-1.7).



Εικόνα 1.4 Απόλυτος αριθμός πυρκαγιών δασικών και μη (<https://www.huffingtonpost.gr>, 2016).



Εικόνα 1.5 Σύνολο καμμένων στρεμμάτων (<https://www.huffingtonpost.gr>, 2016).



Εικόνα 1.6 Σύνολο καμμένων δασικών στρεμμάτων (<https://www.huffingtonpost.gr>, 2016).

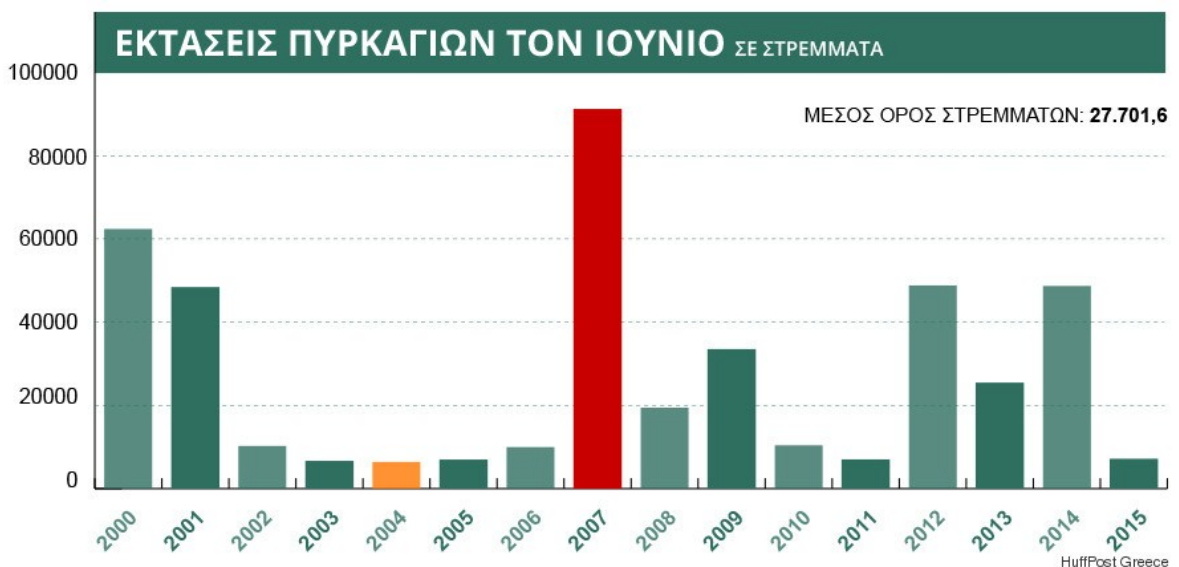




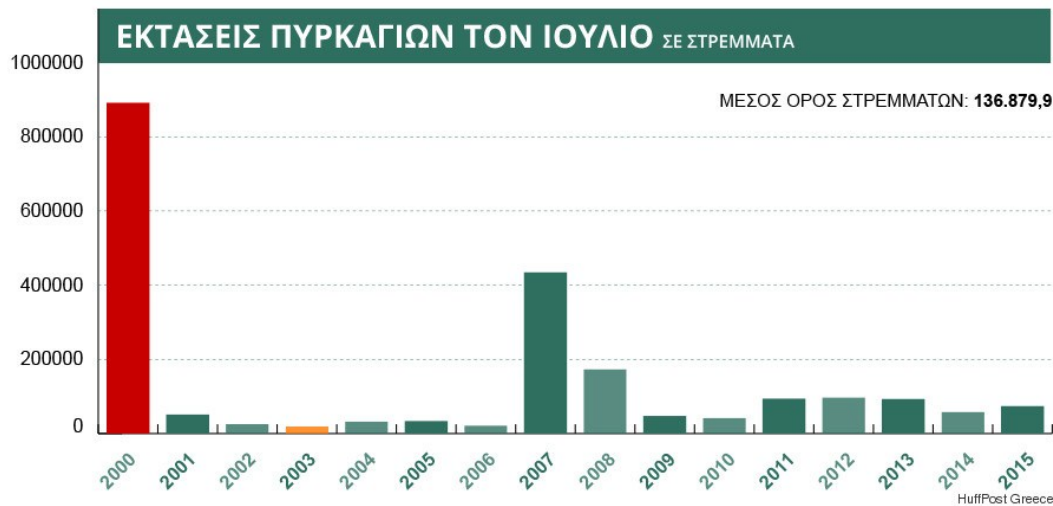
Εικόνα 1.7 Σύνολο καμμένων στρεμμάτων δασικών εκτάσεων (<https://www.huffingtonpost.gr>, 2016).

Οι πληγείσες περιοχές περιελάμβαναν τους νομούς Μεσσηνίας, Αρκαδίας, Ηλείας, Αχαΐας, Λακωνίας, Αργολίδας, Κορινθίας, Αττικής, Ευβοίας και Φθιώτιδας, με την Ηλεία να πλήττεται σκληρότερα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης τα στοιχεία για τους τρεις καλοκαιρινούς μήνες, κατά τους οποίους εκδηλώνονται οι περισσότερες και πιο καταστροφικές πυρκαγιές (Εικ.1.8-1.10).



Εικόνα 1.8 Σύνολο καμμένων στρεμμάτων το μήνα Ιούνιο (<https://www.huffingtonpost.gr>, 2016).



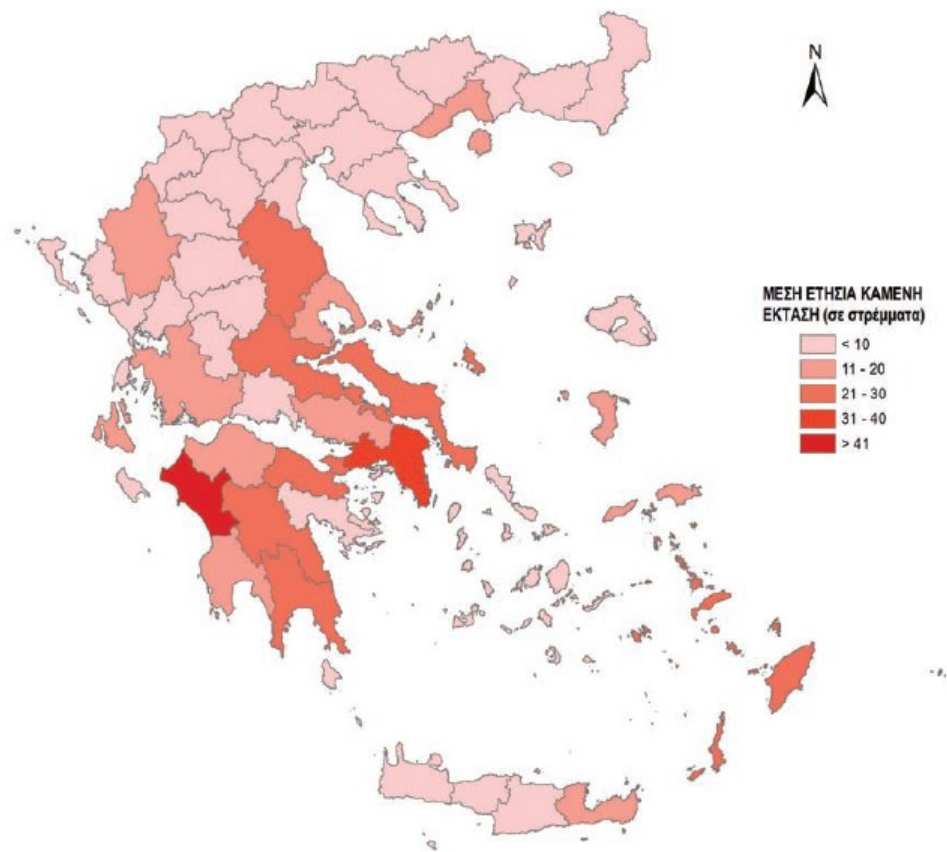
Εικόνα 1.9 Σύνολο καμμένων στρεμμάτων το μήνα Ιούλιο (<https://www.huffingtonpost.gr>, 2016).



Εικόνα 1.10 Σύνολο καμμένων στρεμμάτων το μήνα Αύγουστο (<https://www.huffingtonpost.gr>, 2016).

Από τα ανωτέρω, διαφαίνεται ξεκάθαρα πως ο πιο επικίνδυνος από άποψης πυρκαγιών μήνας, είναι ο Αύγουστος, με μέσο όρο 232.158,5 καμμένων στρ. (και μέσο αριθμό 1.769,8 πυρκαγιών) από το 2000 ως και το 2015, ενώ ακολουθεί ο Ιούλιος, με αντίστοιχους μέσους όρους 136.879,9 στρ. και 1.654,2 πυρκαγιών.

Τέλος, σε επίπεδο Νομών, βάσει στοιχείων που υπάρχουν για το χρονικό διάστημα 1983 – 2008, ως προς τις μέσες ετήσιες καμμένες εκτάσεις (Εικ. 1.11), ο Ν. Ηλείας εμφανίζει ιδιαίτερα αυξημένη τιμή (49.039 στρ. ανά έτος), η οποία απέχει αρκετά από τους αμέσως επόμενους Νομούς Αττικής (29.286 στρ.), Λάρισας (27.358 στρ.) και Εύβοιας (27.351 στρ.) (Τσαγκάρη κ.α., 2011). Με αυτά τα στοιχεία, γίνεται εύκολα κατανοητό σε ποιους νομούς ξεσπούν συχνά δασικές πυρκαγιές, οι οποίες χαρακτηρίζονται και από έντονη δριμύτητα.

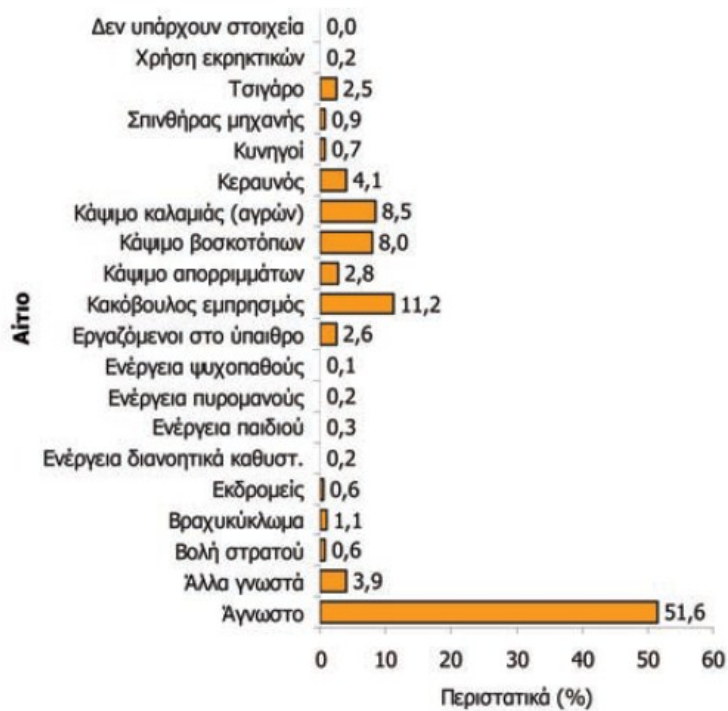


**Εικόνα 1.11** Κατηγοριοποίηση των Νομών της Ελλάδας με βάση τις μέσες ετήσιες καμμένες εκτάσεις από δασικές πυρκαγιές. Δεδομένα χρονικής περιόδου 1983-2008 (Τσαγκάρη κ.α., 2011).

#### **1.4 Τα αίτια των δασικών πυρκαγιών**

Τα αίτια των δασικών πυρκαγιών δύναται να χωριστούν σε δύο μεγάλες ομάδες: στα φυσικά και στα ανθρωπογενή.

Από τα στοιχεία που υπάρχουν για την περίοδο μελέτης 1983-2006, διαφαίνεται πως η εξακρίβωση των αιτίων των πυρκαγιών είναι εφικτή σε ένα πολύ μικρό ποσοστό, 21,4% των περιπτώσεων, ενώ το υπόλοιπο 78,6% αναφέρονται ως πιθανά αίτια. Στο 52% των περιπτώσεων τα αίτια παραμένουν άγνωστα, ενώ από τα γνωστά, συνηθέστερο είναι ο κακόβουλος εμπρησμός (11%) και το κάψιμο καλαμιάς αγρών (9%). Πιο σπάνιες είναι οι πυρκαγιές από ψυχοπαθείς (0,12% του συνόλου) (Εικ. 1.12) (Τσαγκάρη κ.α., 2011).



**Εικόνα 1.12** Ποσοστιαία κατανομή των δασικών πυρκαγιών της Ελλάδας της περιόδου 1983-2006, με βάση τα αίτια εκδήλωσής τους (Τσαγκάρη κ.α., 2011).

Από τα ανωτέρω, μπορεί, επίσης, κανείς να διαπιστώσει ότι μοναδικό ίσως φυσικό αίτιο στην Ελλάδα είναι οι κεραυνοί που προέρχονται από τις ηλεκτροφόρες καταιγίδες οι οποίες χαρακτηρίζονται από ελάχιστη ή και καθόλου βροχή. Γενικά είναι παραδεκτό ότι οι κεραυνοί μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιές, κυρίως σε δάση κωνοφόρων όταν αυτοί πέσουν σε λεπτά τεμάχια, μεγαλύτερων των 3 mm, από ξύλο και βελόνες (Καϊλίδης, 1990). Οι πυρκαγιές αυτές μπορούν να προκληθούν από ανάφλεξη του φυλλοτάπητα ή απευθείας της κόμης. Αριθμητικά είναι πολύ λίγες (περίπου το 4% του συνόλου), όπως άλλωστε, και οι καταστροφές εκτάσεων που διαχρονικά έχουν προκαλέσει (κάθε πυρκαγιά από κεραυνό στην Ελλάδα καίει περίπου 87 στρ.), με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μικρή δριμύτητα. Από τη διαχρονική εξέλιξη του αριθμού τους παρουσιάζεται μια έξαρση τέτοιων περιστατικών ανά οκταετία, επιβεβαιώνοντας την περιοδική επανάληψή τους και τον καθοριστικό τους ρόλο ως παράγοντα οικολογικής διαδοχής των δασικών οικοσυστημάτων (Τσαγκάρη κ.α., 2011). Τέλος, οι πυρκαγιές αυτές συμβαίνουν κυρίως τον Ιούλιο και Αύγουστο και σε συντριπτική πλειονότητα συμβαίνουν τις μεσημεριανές ώρες.

Στον αντίποδα, όσον αφορά στις δασικές πυρκαγιές που προκαλούνται από ανθρωπογενή αίτια, αυτές προκύπτουν είτε από αμέλεια, είτε από πρόθεση. Παρακάτω γίνεται εκτενής αναφορά στα κυριότερα αίτια:

- Τσιγάρα. Τα τσιγάρα και τα σπύρτα αποτελούν το 2,5% των αιτιών των δασικών πυρκαγιών. Για τα σπύρτα συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί πως για να ανάψει πυρκαγιά, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο το ύψος από το οποίο πέφτει. Πιο συγκεκριμένα, για ύψος μικρότερο των 1,10 m σε ξερό βελονοτάπητα, η πιθανότητα πυρκαγιάς ανέρχεται στο 52,8% (Καϊλίδης, 1990). Σχετικά με τα τσιγάρα, παρατηρήθηκε πως οι πιθανότητες για πυρκαγιά είναι ελάχιστες για όλα τα είδη καύσιμης ύλης, όταν δεν φυσά καθόλου άνεμος. Με άνεμο 2-15 km/h και σε ξερό φυλλοτάπητα πάχους μεγαλύτερο των 10 cm, κυρίως από πουρνάρι, οι πιθανότητες ξεπερνούν το 30% (Καϊλίδης, 1990).

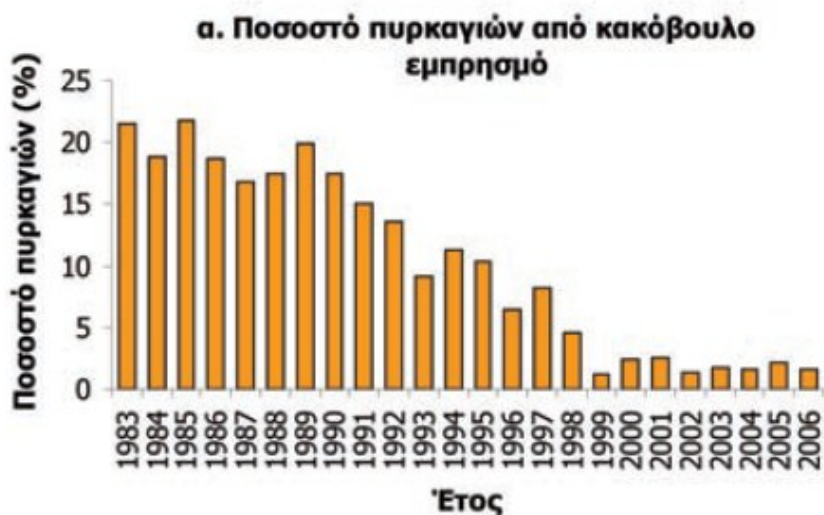
- Εκδρομές και κυνήγι. Οι επισκέπτες και οι κυνηγοί των δασών, οι οποίοι κατασκηνώνουν σε μη οργανωμένα κάμπινγκ, προκαλούν πυρκαγιές, όχι μόνο με τα τσιγάρα τους, αλλά και με το άναμμα φωτιών μέσα στο δάσος για ψήσιμο φαγητού, θέρμανση κλπ (Γκόφας, 2001). Μερικοί κυνηγοί μπορούν ακόμη και να χρησιμοποιούν τη φωτιά για να αναγκάσουν τα ζώα να εμφανιστούν (Biro, 2010).

- Καύση καλαμιάς και βοσκοτόπων. Στη χώρα μας, η καύση καλαμιάς αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές αιτίες πυρκαγιάς με το ποσοστό να ανέρχεται στο 16,5% και αποτελεί την αιτία για την επέκταση της φωτιάς από την τοπική εστία των καλαμιών σε γειτονικές χορτολιβαδικές αλλά και δασικές εκτάσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάλυση αιτιών των δασικών πυρκαγιών κατά την περίοδο Μαΐου-Οκτωβρίου. Οι πυρκαγιές που προκλήθηκαν από εργασίες στην ύπαιθρο (εργαζόμενοι, κάψιμο βοσκοτόπων και καλαμιάς αγρών) είναι αρκετά αυξημένες, ενώ το ποσοστό των πυρόπληκτων εκτάσεων της χώρας που έχουν προκαλέσει (σε μια χρονική περίοδο του έτους κατά την οποία απαγορεύεται η καύση), είναι ίσο με το αντίστοιχο από κακόβουλο εμπρησμό (Τσαγκάρη κ.α., 2011). Ιδιαίτερα, όταν η καύση συνδυάζεται με την ύπαρξη ισχυρών ανέμων τότε εύκολα ξεφεύγει της προσοχής των γεωργών και δημιουργεί νέες εστίες πυρκαγιάς (Γκόφας, 2001). Οι εργασίες αυτές θα πρέπει να απαγορεύονται την περίοδο Μαΐου-Οκτωβρίου, ιδιαίτερα τις μέρες που επικρατούν ισχυροί άνεμοι και υψηλές θερμοκρασίες.

- Χρήση εργαλείων και μηχανημάτων. Οι εργασίες στην ύπαιθρο με τη χρήση εκρηκτικών υλών και μηχανημάτων, πολλές φορές προκαλούν σπινθήρες και πυρκαγιές στα δάση (Καϊλίδης, 1990).

- Κάψιμο απορριμμάτων. Η πρακτική της συγκέντρωσης των σκουπιδιών στην ύπαιθρο, σε μη προφυλαγμένους χώρους, και στη συνέχεια η καύση τους είναι ένα ακόμα σπουδαίο αίτιο πυρκαγιών στα δάση. Εν γένει, οι παράνομες χωματερές αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα εξάπλωσης και ενίσχυσης των πυρκαγιών (Γκόφας, 2001). Σε μεσαίου και μικρού μεγέθους πόλεις, ελλείπει υποδομών, συσσωρεύονται απορρίμματα και στη συνέχεια περιορίζονται μέσω της καύσης. Σε πολλές περιπτώσεις, όμως, η φωτιά ξεφεύγει και μπορεί να μετατραπεί σε δασική (Biro, 2010).

- Εμπρησμοί. Δυστυχώς στην Ελλάδα το πιο σύνηθες αίτιο δασικών πυρκαγιών είναι οι κακόβουλοι εμπρησμοί με ποσοστό 11,2%. Η διαχρονική μεταβολή των ποσοστών των δασικών πυρκαγιών από κακόβουλο εμπρησμό ως προς το σύνολό τους παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.13 , όπου είναι εμφανής η μειωμένη καταγραφή τέτοιων περιστατικών μετά το 1998 (Τσαγκάρη κ.α., 2011).



**Εικόνα 1.13** Ετήσια ποσοστά δασικών πυρκαγιών από κακόβουλο εμπρησμό (Τσαγκάρη κ.α., 2011).

Σημειώνεται επίσης, πως το ποσοστό των εμπρησμών από πυρομανείς και άλλους ψυχοπαθείς στη χώρα μας, είναι ελάχιστο, μόλις 0,3%. Γενικά πάντως, στην Ελλάδα, αν και οι πυρκαγιές για λόγους εκδίκησης δεν είναι άγνωστες, πολλοί από τους εμπρησμούς πιστεύεται πως οφείλονται στην προσπάθεια για

αλλαγή χρήσεων γης (οικόπεδα, βοσκότοποι, κλπ) και για αρπαγή της δασικής γης γενικότερα.

- Άλλες αιτίες. Δασικές πυρκαγιές μπορούν επίσης να συμβούν από πλήθος άλλων αιτιών και συμπτώσεων. Τέτοιες αιτίες μπορεί να είναι από καλώδια της ΔΕΗ, που θεωρείται από την πυροσβεστική ως κύρια αιτία για την πυρκαγιά τον Ιούνιο του 2007 στα Δερβενοχώρια που έκαψε και την Πάρνηθα, από σπασμένα γυάλινα μπουκάλια, βολές των Ενόπλων Δυνάμεων κλπ.

Στα παραπάνω αίτια έρχεται να προστεθεί ένας επιπλέον επιβαρυντικός παράγοντας, ο οποίος ενισχύει όλα τα προηγούμενα και οδηγεί στην έξαρση του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών γενικότερα. Αυτός είναι η εγκατάλειψη της καλλιεργούμενης γης, η οποία οδηγεί στην εισβολή των δασικών ειδών, διαδικασία που καταλήγει στην δημιουργία νέων δασών. Αυτό, βέβαια, παράγει τους πιο επικίνδυνους τύπους ελαφριάς συσσώρευσης καύσιμης ύλης, με υψηλό επίπεδο συνέχειας στην χωρική κατανομή αυτής, εκεί όπου η πυρκαγιά μπορεί να διαδοθεί με μεγάλη ταχύτητα και τέτοια ένταση που να είναι εξαιρετικά δύσκολο να ελεγχθεί (Biro, 2010).

Παράλληλα, από τη στιγμή που ο άνθρωπος έπαψε να εξαρτάται οικονομικά και βιοτικά από τα δάση, υπάρχει γενική αδιαφορία για αυτά. Ουσιαστικά, η προστασία του δάσους καθίσταται ανύπαρκτη και τα κρούσματα των εμπρησμών με σκοπό την οικειοποίηση των δασικών εκτάσεων με σκοπό την αλλαγή χρήσης τους αποτελούν συχνό φαινόμενο. Σε αυτό συμβάλλουν και οι χαλαρές πολιτικές έγκρισης οικοδομικών αδειών. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι περίπου τα τρία τέταρτα των σημείων ανάφλεξης πυρκαγιάς βρίσκονται σε ζώνες μίξης δασών – οικισμών και πλειοψηφία αυτών βρίσκεται στον τύπο ζώνης που χαρακτηρίζεται από υψηλή συσσώρευση βλάστησης. Επιπλέον, όταν ξεσπούν πυρκαγιές, είναι λογικό κατά την καταστολή τους να δίδεται προτεραιότητα στην προστασία των ανθρώπων και των κατοικιών, αφήνοντας το δάσος να καεί (Biro, 2010).





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

#### 2.1 Η επίδραση των πυρκαγιών στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους

Η επίδραση μιας πυρκαγιάς στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους εξαρτάται από την ίδια την σταθερότητα της εκάστοτε ιδιότητας του εδάφους που επηρεάζεται κατά την πυρκαγιά και των θερμοκρασιών οι οποίες αναπτύσσονται σε αυτό. Οι φυσικοί μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά της θερμότητας στο έδαφος και οι σχέσεις μεταξύ των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους και των διεργασιών διάβρωσης είναι παράγοντες που εξετάζονται κατά την επίδραση της πυρκαγιάς στις φυσικές ιδιότητες. Τα κυριότερα φυσικά χαρακτηριστικά που επηρεάζονται από τη θέρμανση του εδάφους περιλαμβάνουν την σύσταση, την περιεκτικότητα σε άργιλο, τη δομή, τη φαινόμενη πυκνότητα και το πορώδες του εδάφους. Φυσικές ιδιότητες όπως η διαβρεξιμότητα και η δομή επηρεάζονται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ η περιεκτικότητα σε χαλαζιακή άμμο, η οποία συμβάλλει στην σύσταση του εδάφους, επηρεάζεται μόνο στις πιο ακραίες θερμοκρασίες (Πιν. 2.1) (Neary et al., 2005).

**Πίνακας 2.1** Όρια θερμοκρασίας για διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους (DeBano and Krammes 1966, DeBano 1990, Iglesias et al., 1997, DeBano 1990, Lide 2001).

Φυσικά Χαρακτηριστικά	Όρια θερμοκρασίας	
	°F	°C
Διαβρεξιμότητα εδάφους	482	250
Δομή εδάφους	572	300
Σχηματισμός ασβεσίτη	572-932	300-500
Άργιλος	860-1.796	460-980
Χαλαζιακή άμμος	2.577	1.414

Παρακάτω, περιγράφεται εν συντομία η κάθε φυσική εδαφική ιδιότητα ξεχωριστά καθώς και η σχέση αυτής με την φωτιά.

### **2.1.1 Σύσταση εδάφους και ορυκτολογία**

Η σύσταση του εδάφους βασίζεται στη σχετική αναλογία ανόργανων συστατικών διαφόρων μεγεθών που βρίσκονται σε 2 mm ορυκτού κλάσματος του εδάφους (DeBano et al., 1998). Διαφορετικές αναλογίες άμμου, ιλύος και αργίλου χρησιμοποιούνται ως βάση για την αναγνώριση 12 τάξεων σύστασης (π.χ. άμμος, αμμώδης αργίλου, αργιλοπηλώδη, τυρφώδη πηλώδη εδάφη). Τα βασικά συστατικά που καθορίζουν τη σύσταση του εδάφους (άμμος, ιλύς και άργιλος) έχουν υψηλά κατώτατα όρια θερμοκρασίας και δεν επηρεάζονται συνήθως από μια πυρκαγιά, εκτός εάν υποβάλλονται σε υψηλές θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους. Το πιο ευαίσθητο από αυτά είναι η άργιλος, η οποία αρχίζει να μεταβάλλεται σε θερμοκρασία εδάφους 400°C περίπου, θερμοκρασία κατά την οποία η ενυδάτωση και η δομή της αργίλου αρχίζουν να καταρρέουν, ενώ σε θερμοκρασίες από 700 έως 800°C, γίνεται ολοκληρωτική καταστροφή της δομής της. Ωστόσο, η άμμος και η ιλύς είναι κυρίως χαλαζιακής δομής και έχουν σημείο τήξης 1.414°C. Μόνο κάτω από υπερβολική θέρμανση τα υλικά αυτά μπορούν να λιώσουν. Βέβαια, όταν συμβαίνει αυτό, η σύσταση του εδάφους γίνεται πιο χονδροειδής και εύκολη να διαβρωθεί. Ως αποτέλεσμα των ανωτέρω, διαπιστώνεται ότι είναι σπάνιο οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται να είναι τόσο υψηλές ώστε να μεταβάλουν τις αργίλους πέρα από δύο εκατοστά κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Neary et al., 2005).

### **2.1.2 Δομή του εδάφους**

Η δομή του εδάφους είναι η διάταξη των πρωτογενών κόκκων σε μεγαλύτερα συσσωματώματα που έχουν διακριτικά σχέδια (στήλη, πρισματική, μπλοκ). Η οργανική ύλη του εδάφους (χούμους) είναι σημαντική συνιστώσα της δομής του εδάφους επειδή λειτουργεί ως κόλλα που βοηθά να συγκρατηθούν τα σωματίδια μαζί, για να σχηματίσουν συσσωματώματα, συμβάλλοντας έτσι στη δομή του άνω μέρος του ορυκτού εδάφους. Εντούτοις, πηγαίνοντας προς τα κάτω, η δομή του εδάφους εξαρτάται περισσότερο από τα ορυκτά στοιχεία της αργίλου και τη σύνθεση των κατιόντων που βρίσκονται στο διάλυμα του εδάφους. Η δομή του εδάφους που δημιουργείται ως αποτέλεσμα της οργανικής ύλης στο έδαφος

μπορεί εύκολα να επηρεαστεί από τη φωτιά για δύο λόγους: (α) η οργανική ύλη είναι συγκεντρωμένη στην επιφάνεια ή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, όπου εκτίθεται άμεσα σε θέρμανση με ακτινοβολία και (β) η τιμή κατωφλίου για τις μη αναστρέψιμες μεταβολές της οργανικής ύλης είναι πολύ χαμηλή. Οι ζωντανοί οργανισμοί μπορούν να θανατωθούν από θερμοκρασίες τόσο χαμηλές όσο είναι οι 60°C, ενώ η μη ζώσα οργανική ύλη αρχίζει να αλλάζει στους 200°C και χάνεται εντελώς σε θερμοκρασίες των 400°C (DeBano et al., 1998).

### **2.1.3 Πορώδες**

Είναι ο όγκος των πόρων σε ένα δείγμα εδάφους διαιρούμενο με τον όγκο του δείγματος αυτού. Τα καλά δομημένα εδάφη περιέχουν σε ισορροπία μακροπόρους (>0,6 mm σε διάμετρο) και μικροπόρους (<0,6 mm σε διάμετρο). Αυτή η ισορροπία αφήνει το νερό και τον αέρα να μετακινούνται γρήγορα μέσα στο έδαφος μέσω των μακροπόρων, ενώ παράλληλα συγκρατεί νερό λόγω τριχοειδών φαινομένων στους μικροπόρους. Οι μακροπόροι αποτελούν το ενεργό πορώδες και είναι καθοριστικής σημασίας παράγοντας για την διείσδυση του νερού των κατακρημνισμάτων στο έδαφος. Ακόμα, οι μακροπόροι είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για τον αερισμό του εδάφους (Singer and Munns, 1996).

Η πυρκαγιά και η σχετική θέρμανση του εδάφους μπορούν να καταστρέψουν τη δομή του εδάφους, επηρεάζοντας τόσο το συνολικό πορώδες όσο και την κατανομή μεγέθους πόρων στην περιοχή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Η απώλεια των μακροπόρων στο επιφανειακό έδαφος μειώνει τα ποσοστά διείσδυσης και παράγει υπερχειλίση, ενώ η μεταβολή της οργανικής ύλης από την έντονη θέρμανση μπορεί επίσης να οδηγήσει σε κατάσταση υδατοαπωθητικότητας το έδαφος, γεγονός που μειώνει περαιτέρω τα ποσοστά διείσδυσης του νερού. Ουσιαστικά, αυτό που συμβαίνει κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς είναι (Nearby et al., 2005): (α) η δομή του εδάφους καταρρέει και αυξάνεται η πυκνότητα του εδάφους επειδή η οργανική ύλη που χρησίμευσε ως συνδετικός παράγοντας έχει καταστραφεί, (β) η κατάρρευση της δομής του εδάφους μειώνει το πορώδες του εδάφους (κυρίως τους μακροπόρους), (γ) η επιφάνεια του εδάφους συμπιέζεται περαιτέρω από τις σταγόνες βροχής όταν τα επιφανειακά σωματίδια του εδάφους και η τέφρα μετακινούνται, και οι πόροι του επιφανειακού εδάφους καταλήγουν

είναι μερικώς ή πλήρως σφραγισμένοι και (δ) τέλος, η αδιαπέραστη επιφάνεια του εδάφους μειώνει τα ποσοστά διείσδυσης στο έδαφος και παράγει μια επιφάνεια ταχείας απορροής η οποία οδηγεί στη διάβρωση.

#### 2.1.4 Απωθητικότητα νερού (Υδροφοβικότητα)

Η δημιουργία υδατοαπωθητικότητας στο έδαφος περιλαμβάνεται τόσο στις φυσικές όσο και στις χημικές ιδιότητες του εδάφους. Παρόλα αυτά, συζητείται μέσα στο πλαίσιο των φυσικών ιδιοτήτων λόγω της σημαντικότητάς του στην μεταβολή διεργασιών όπως η διείσδυση και την κίνηση του νερού στο έδαφος. Κανονικά, τα ξηρά εδάφη έχουν μια τάση για προσρόφηση νερού και υδρατμών, επειδή υπάρχει ισχυρή έλξη μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων και του νερού. Στα εδάφη, όμως, που παρουσιάζουν υδροφοβικότητα τα σταγονίδια νερού παραμένουν πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, ακόμα και για μεγάλες χρονικές περιόδους, και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να εξατμιστούν πριν απορροφηθούν από το χώμα (Εικ. 2.1). Σε αυτές τις περιπτώσεις το νερό, δεν διεισδύει στο έδαφος και αυτό συμβαίνει κυρίως εκεί όπου τα ορυκτά σωματίδια είναι επικαλυμμένα με υδρόφοβες ουσίες που απωθούν το νερό. Αυτή η απωθητικότητα του νερού χαρακτηρίζεται από τη μέτρηση της γωνίας επαφής μεταξύ της σταγόνας νερού και της υδατοαπωθητικής επιφάνειας του εδάφους (Neary et al., 2005).

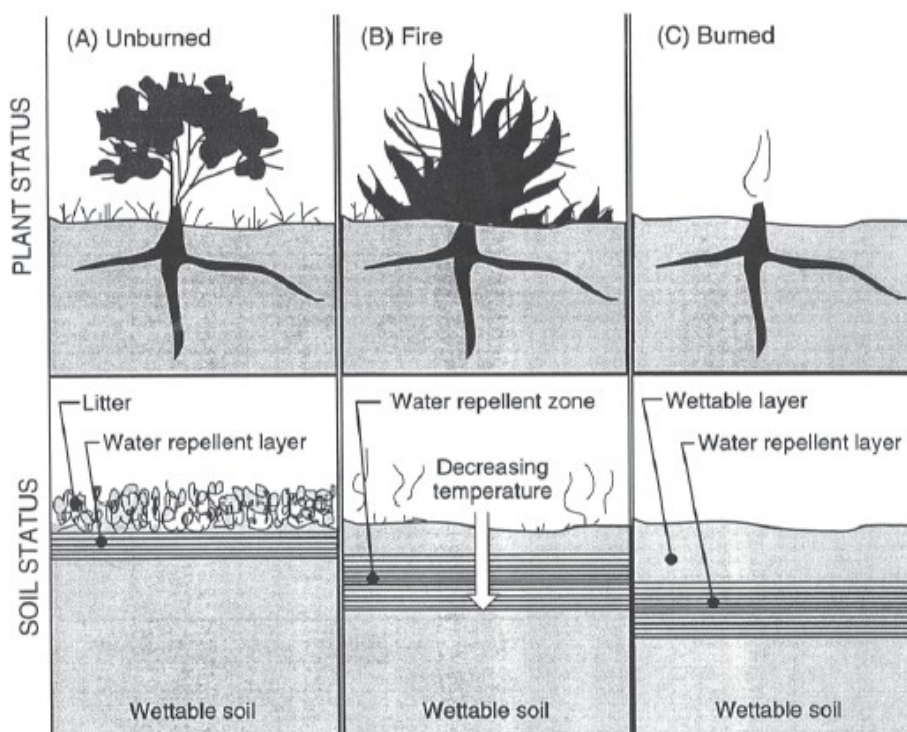


Εικόνα 2.1 Εδαφική υδροφοβικότητα (Neary et al., 2005).

Τα σημαντικότερα αίτια λόγω των οποίων συμβαίνει το ανωτέρω φαινόμενο, φαίνονται παρακάτω (DeBano et al., 1998): (α) μόνιμη, μη αναστρέψιμη ξήρανση οργανικού υλικού, (β) οργανικό υλικό από υπολείμματα και

επιφανειακή βλάστηση, που δημιουργούν υδρόφοβο στρώμα, ειδικά σε τραχιά, αμμώδη εδάφη, (γ) υδρόφοβα οργανικά προϊόντα που εκκρίνονται από βακτηριδιακούς, εδαφικούς μικροοργανισμούς, ειδικά σε τραχιά αμμώδη εδάφη, (δ) ανάμιξη υδρόφοβου οργανικού υλικού με υδρόφοβα ορυκτά και (ε) θέρμανση οργανικού υλικού και μίξη με υδρόφοβα ανόργανα ορυκτά. Από τα παραπάνω, γίνεται φανερό πως η πυρκαγιά και η συνεπαγόμενη θέρμανση του οργανικού υλικού του εδάφους, επηρεάζει και μάλιστα αυξάνει την απωθητικότητα του νερού από το έδαφος και συμβάλλει στο σχηματισμό υδρόφοβων εδαφών.

Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια των διαστημάτων πριν την πυρκαγιά, η απωθητικότητα του νερού συμβαίνει κυρίως στις πλούσιες σε οργανικά επιφανειακές στρώσεις, ιδιαίτερα εκεί όπου ευνοείται ανάπτυξη μυκήτων στην επιφάνεια του εδάφους (Εικ. 2.2Α). Έπειτα, κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς η θερμότητα που παράγεται στην επιφάνεια εξατμίζει τις οργανικές ουσίες, οι οποίες στη συνέχεια μετακινούνται προς τα κάτω στο ορυκτό έδαφος, όπου συμπυκνώνονται στα ψυχρότερα υποκείμενα στρώματα (Εικ. 2.2Β).



**Εικόνα 2.2** Οι μεταβολές στην υδροφοβικότητα κατά τη φωτιά και η γραμμή απώθησης του νερού στο (Α) προπυρικό, (Β) κατά την διάρκεια της φωτιάς και το (C) μεταπυρικό στάδιο (DeBano, 1998).

Στη στρώση αυτή, όπου οι ατμοποιημένες υδρόφοβες ουσίες συμπυκνώνονται, σχηματίζεται ένα διακριτό υδατοαπωθητικό στρώμα κάτω και παράλληλα από την

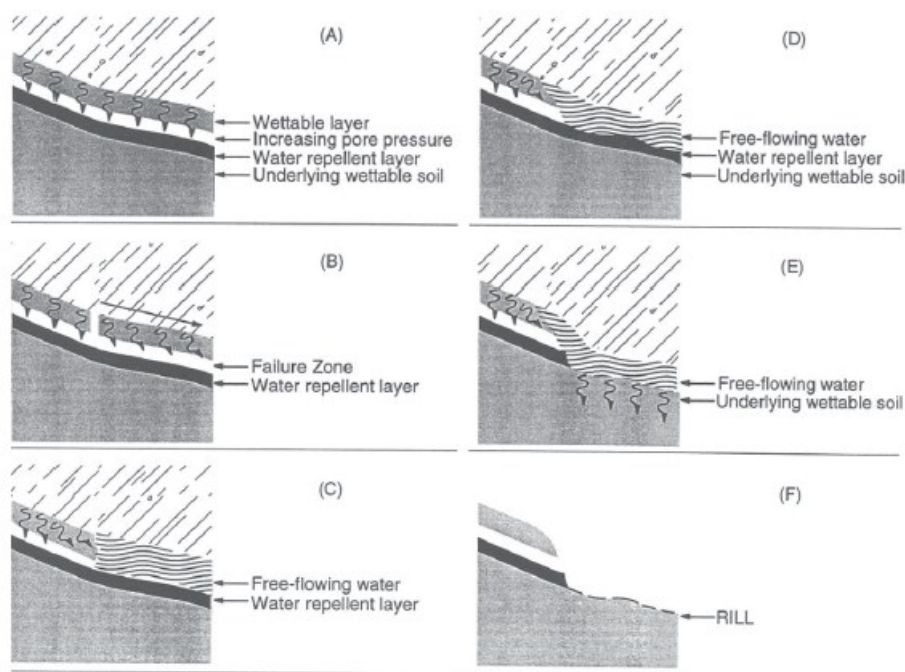
επιφάνεια του εδάφους (Εικ. 2.2C). Το βάθος και το πάχος του, της στρώσης αυτής, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως: (α) η ένταση της πυρκαγιάς, όπου όσο πιο έντονη είναι η πυρκαγιά, τόσο πιο βαθιά προχωρά το υδρόφοβο στρώμα, (β) ο τύπος και η ποσότητα της οργανικής ύλης, (γ) η κλιμάκωση της αύξησης της θερμοκρασίας στο έδαφος, (δ) η σύσταση του εδάφους και (ε) η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό.

Η απωθητικότητα του νερού στο έδαφος έχει ιδιαίτερα σημαντική επίδραση σε δύο διεργασίες διάβρωσης που συμβαίνουν μετά από μια πυρκαγιά, αυτή της αποκόλλησης σωματιδίων λόγω βροχής και του σχηματισμού εδαφικών αυλακώσεων (νεροφάγωμα).

Στην πρώτη περίπτωση, όταν σχηματίζεται ένα υδατοαπωθητικό στρώμα στην επιφάνεια του εδάφους, τα υδρόφοβα σωματίδια είναι πιο ευαίσθητα στις σταγόνες βροχής από αυτά που υπάρχουν σε μια κανονική επιφάνεια (Terry and Shakesby, 1993). Κατά συνέπεια, οι σταγόνες βροχής που πέφτουν σε μια υδρόφοβη επιφάνεια παράγουν λιγότερα σταγονίδια αποκόλλησης σωματιδίων, τα οποία μεταφέρουν όμως περισσότερο ιζήματα σε μικρότερη απόσταση από ό, τι στην περίπτωση ενός διαβρέξιμου εδάφους. Επιπλέον, οι μη υδροφοβικές επιφάνειες έχουν μια απαίτηση σε νερό και με αυτό τον τρόπο συμπιέζονται κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης, γεγονός που τις καθιστά ολοένα και πιο ανθεκτικές στην αποκόλληση σωματιδίων. Αντίθετα, το υδρόφοβο χώμα παραμένει ξηρό και μη-κολλητικό και τα σωματίδια μετακινούνται εύκολα όταν η βροχόπτωση διαλύει το επιφανειακό φιλμ.

Στην δεύτερη περίπτωση, η μείωση της διείσδυσης του νερού που προκαλείται από ένα υδροφοβικό στρώμα δημιουργεί πολύ γρήγορα διατάξεις διαβρώσεις λόγω έντονης απορροής στο έδαφος, οι οποίες αναπτύσσονται σε απότομες καμμένες πλαγιές. Αξιοσημείωτο είναι πως μετά από πυρκαγιά, οι πρώτες καταιγίδες θα δημιουργήσουν ένα εκτεταμένο δίκτυο μικρών αυλακιών. Η δημιουργία των αυλακιών αυτών φαίνεται πως έχει άμεση σχέση με την υδροφοβικότητα. Σε μια τομή κατά μήκος των αυλακιών αυτών, παρατηρείται πως ο πυθμένας τους φτάνει μέχρι το υδρόφοβο στρώμα. Έτσι, όσο πιο βαθύ είναι το υδρόφοβο στρώμα, τόσο πιο βαθιά γίνονται και τα αυλάκια. Η αλληλουχία σχηματισμού αυτών των ρεμάτων, αποτέλεσμα της υδροφοβικότητας λόγω πυρκαγιάς, έχει διαπιστωθεί ότι ακολουθεί συγκεκριμένα στάδια (Wells, 1987). Το

νερό δεν διεισδύει σε όλο το εδαφικό προφίλ αλλά μέχρι να συναντήσει το υδρόφοβο στρώμα. Αυτή η περιορισμένη διεισδυτικότητα συμβαίνει σχεδόν ομοιόμορφα σε όλο το τοπίο, ανάλογα βέβαια και την ένταση και την έκταση της πυρκαγιάς, και όταν το διηθούμενο νερό φτάσει στο υδρόφοβο στρώμα, τότε στραγγίζει πλευρικά κατά μήκος των κλίσεων (Εικ. 2.3Α). Καθώς η βροχόπτωση συνεχίζεται, το νερό γεμίζει τους πόρους που υπάρχουν στο ανώτερο, υγραινόμορο εδαφικό στρώμα, πάνω από το υδρόφοβο, με αποτέλεσμα να κορεστεί.



**Εικόνα 2.3** Η αλληλουχία σχηματισμού ρέματος σε κεκλιμένο καμμένο έδαφος με υδατοαπωθητικό στρώμα περιλαμβάνει: (Α) κορεσμό της βρεχόμενης επιφάνειας, (Β) ανάπτυξη μίας ζώνης αστοχίας στο υγρό επιφανειακό στρώμα (C) ελεύθερης ροής νερό πάνω από το υδατοαπωθητικό στρώμα, (D) διάβρωση του υδατοαπωθητικού στρώματος, (E) απομάκρυνση του υδατοαπωθητικού στρώματος και διείσδυση στο υποκείμενο διαβρέξιμο χώμα και (F) προκύπτουν ρέμα (DeBano, 1998).

Καθώς οι πόροι είναι γεμάτοι και δεν μπορούν να διοχετεύσουν αλλού το νερό, δημιουργείται πίεση πάνω από το υδρόφοβο στρώμα. Αυτή η αυξανόμενη πίεση, οδηγεί σε μείωση της δύναμης συνάφειας (διατμητική αντοχή) μεταξύ του άνω ορίου του υδρόφοβου στρώματος και του υπερκείμενου κορεσμένου εδάφους. Με την αύξηση της πίεσης των πόρων, η δύναμη συνάφειας μπορεί να μειωθεί τόσο πολύ ώστε στην διεπιφάνεια υδρόφοβου στρώματος-υπερκείμενου εδάφους, όπου

και οι πιέσεις είναι μεγαλύτερες, να υπάρξει αποκόλληση και το υπερκείμενο έδαφος να ολισθήσει υπό την επίδραση της βαρύτητας (Εικ. 2.3B). Έτσι, το νερό δεν συγκρατείται πλέον, παρά ρέει ελεύθερο στα αυλάκια που σχηματίστηκαν από την ροή των φερτών (Εικ. 2.3C). Βέβαια, το νερό αυτό, δεν μπορεί να διηθηθεί, καθώς από κάτω βρίσκεται το υδρόφοβο στρώμα, οπότε ρέει μέσα στα αυλάκια με ελεύθερη επιφάνεια, διαβρώνοντάς τα. Καθώς η ροή αυτή είναι τυρβώδης, αποσπά και μεταφέρει υλικά του υδρόφοβου στρώματος (Εικ. 2.3D). Τελικά, το υδρόφοβο στρώμα διαβρώνεται πλήρως και η ελεύθερη ροή αρχίζει να μειώνεται καθώς αρχίζει η διήθηση στο υγραινόμοιο έδαφος κάτω του έντονα διαβρωμένου υδρόφοβου στρώματος. Στο σημείο αυτό, η επιφανειακή ροή μειώνεται αρκετά μέχρι που παύει σε ορισμένες περιπτώσεις ανάλογα και τις εδαφικές συνθήκες (Εικ. 2.3E). Αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός εκτεταμένου δικτύου νεροφαγωμάτων, συχνά με αρκετό βάθος ανάλογα με τις συνθήκες, των οποίων ο πυθμένας είναι περίπου το κάτω όριο του υδρόφοβου στρώματος (Εικ. 2.3F).

### **2.1.5 Θερμική αγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα**

Οι δύο αυτές ιδιότητες του εδάφους επηρεάζονται από τις δασικές πυρκαγιές έμμεσα, καθώς αυτές καταναλώνουν το εδαφικό οργανικό υλικό. Η θερμική αγωγιμότητα επηρεάζεται πάρα πολύ από την ύπαρξη οργανική ύλης στο έδαφος. Γενικά, η αγωγιμότητα μικραίνει όσο αυξάνει η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Κωνσταντινίδης, 2003). Συνεπώς, σε περιοχές πρόσφατα καμμένες, οι υψηλές θερμοκρασίες, λόγω ηλιακής ακτινοβολίας, μπορούν να φτάσουν σε αρκετά μεγάλο βάθος σε σχέση με αντίστοιχες δασωμένες, προξενώντας προβλήματα σε εδαφικούς μικροοργανισμούς και φυτικές ρίζες. Αντίστοιχα και η θερμοχωρητικότητα, επηρεάζεται έμμεσα από τις δασικές πυρκαγιές, λόγω απώλειας του εδαφικού οργανικού υλικού. Η ύπαρξη οργανικής ύλης στο έδαφος αυξάνει την θερμοχωρητικότητα του εδάφους και γι' αυτό σε πρόσφατα καμμένες περιοχές, οι θερμοκρασίες του εδάφους, την περίοδο του καλοκαιριού, μπορούν να φτάσουν τους 70-80°C, αποτελώντας σοβαρή τροχοπέδη στην φυσική αναγέννηση (Κωνσταντινίδης, 2003). Φυσικά, οι δύο αυτές ιδιότητες του εδάφους εξαρτώνται κατά πολύ και από την σύσταση και τη δομή του εδάφους, καθώς και την περιεκτικότητά του σε νερό.



## 2.2 Η επίδραση των πυρκαγιών στις χημικές ιδιότητες του εδάφους

Οι χημικές ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζονται από τις πυρκαγιές περιλαμβάνουν μεμονωμένα χημικά χαρακτηριστικά, χημικές αντιδράσεις και χημικές διεργασίες (DeBano et al., 1998). Τα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους που επηρεάζονται περισσότερο από τη φωτιά είναι η οργανική ύλη, ήτοι, ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φωσφόρος (P), το θείο (S), τα κατιόντα, η ικανότητα ιοντοανταλλαγής και το pH. Τα χημικά χαρακτηριστικά των εδαφών κυμαίνονται από τα ανόργανα κατιόντα, για παράδειγμα το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ), το νάτριο ( $\text{Na}^+$ ), το μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ), το κάλιο ( $\text{K}^+$ ) κ.ο.κ. που απορροφώνται στην επιφάνεια των αργιλικών υλικών, μέχρι αυτών των στοιχείων που περιέχονται στην οργανική ύλη του εδάφους, ήτοι άνθρακας, άζωτο, φωσφόρος και θείο. Όλα τα χημικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται από την πυρκαγιά, αν και οι θερμοκρασίες στις οποίες συμβαίνουν οι μεταβολές μπορούν να διαφέρουν πολύ (Πιν. 2.2).

**Πίνακας 2.2** Όρια θερμοκρασίας για διάφορα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους (Hosking 1938, White et al., 1973, Tiedemann 1987, Raison et al., 1985, DeBano 1991).

Χημικά χαρακτηριστικά	Όρια θερμοκρασίας	
	°F	°C
Οργανική ουσία	212	100
Άζωτο	414	200
Θείο	707	375
Φωσφόρος και κάλιο	1.425	774
Μαγνήσιο	2.025	1.107
Ασβέστιο	2.703	1.484
Μαγγάνιο	3.564	1.962

Επίσης, ορισμένες αμιγώς χημικές αντιδράσεις συμβαίνουν στο έδαφος. Τέτοιες αντιδράσεις μπορεί να είναι η ανταλλαγή κατιόντων, που έχουν προσροφηθεί στην επιφάνεια των σωματιδίων του εδάφους και του οργανικού υλικού (χούμους), με τα περιβάλλοντα διαλύματά τους. Μια άλλη χημική αντίδραση, η οποία εμφανίζεται συχνότερα, είναι η χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων και η τελική μετατροπή τους σε δευτερογενή ορυκτά αργίλου κατά τη διάρκεια του εδαφικού σχηματισμού. Κατά τη διάρκεια της χημικής αποσύνθεσης των βράχων, το έδαφος και το περιβάλλον του διάλυμα εμπλουτίζονται με αρκετά κατιόντα. Συσχετιζόμενες με τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά τη

αποσάθρωση και την διαμόρφωση του εδάφους, είναι και οι φυσικές δυνάμεις (κατάψυξη και απόψυξη, διαβροχή και ξήρανση) και οι βιολογικές δραστηριότητες (παραγωγή οργανικών οξέων κατά την αποσύνθεση του χούμους), που επιταχύνουν επίσης την ανάπτυξη του εδάφους. Πάντως, οι πιο συνηθισμένες χημικές διεργασίες που απαντώνται στο έδαφος και επηρεάζονται από τη πυρκαγιά, είναι εκείνοι οι μηχανισμοί που εμπλέκονται με τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών στο έδαφος (Neary et al., 2005).

Εν συνεχεία, γίνεται μια σύντομη αναφορά στις βασικές χημικές ιδιότητες του εδάφους πως επηρεάζονται από τις πυρκαγιές.

### **2.2.1 Οργανική ύλη και άνθρακας**

Η οργανική ύλη του εδάφους είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παροχή θρεπτικών ουσιών, την ικανότητα ανταλλαγής ιόντων και την κατακράτηση νερού. Ωστόσο, η καύση καταναλώνει το επιφανειακό οργανικό υλικό (μελλοντική οργανική ύλη του εδάφους, συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων κορμών) ενώ η ίδια η θέρμανση του εδάφους μπορεί να καταναλώσει οργανική ύλη που βρίσκεται εντός του εδάφους. Επειδή ο οργανικός άνθρακας είναι ένα από τα κύρια συστατικά της οργανικής ύλης, οι αλλαγές στην οργανική ύλη και στον οργανικό άνθρακα κατά τη θέρμανση του εδάφους θεωρούνται παρόμοιες για πρακτικούς σκοπούς.

Οργανικές ενώσεις εντοπίζονται τόσο στην βιομάζα που είναι πάνω όσο και κάτω από το έδαφος, εκεί όπου απαντώνται τα νεκρά και ζωντανά φυτά και τα νεκρά οργανικά υπολείμματα (δηλαδή, φύλλα, στελέχη, κλαδιά και κορμοί), τα οποία συσσωρεύονται σε όλο το προφίλ του εδάφους. Ειδικότερα, η οργανική ύλη μπορεί να χωριστεί στις εξής συνιστώσες (DeBano et al., 1998):

- Ζωντανή οργανική ύλη (παρεδάφια βλάστηση, ρίζες, μικροοργανισμοί κ.α.)
- Αναγνωρίσιμο φυτικό υλικό που δεν έχει αποσυντεθεί (δασικός τάπητας)
- Αποσυντιθέμενο αλλά αναγνωρίσιμο φυτικό υλικό
- Αποσυντιθέμενα τμήματα κορμών σημαντικών διαστάσεων (coarse woody debris) που μένουν είτε στην επιφάνεια, είτε θάβονται.
- Απανθρακωμένα φυτικά τμήματα

- Αποσυντιθέμενο, σε πολύ προχωρημένη κατάσταση, οργανικό υλικό αναμεμιγμένο με ανόργανα εδαφικά υλικά (χούμους).

Αυτές οι συνιστώσες, δεν είναι απαραίτητο ότι βρίσκονται όλες στα δασικά εδάφη. Αυτό εξαρτάται από το είδος του οικοσυστήματος (τύπος βλάστησης) και τις συνθήκες που επικρατούν, δηλαδή, ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατούν σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Οι αλλαγές στην οργανική ύλη κατά τη διάρκεια της θέρμανσης από τη φωτιά υπήρξε αντικείμενο έρευνας για πολλά χρόνια, όμως, από τις πιο πρόσφατες έρευνες, οι αλλαγές αυτές εντοπίζονται ως κάτωθι (DeBano et al., 1998):

- Μικρές απώλειες οργανικού υλικού παρατηρούνται σε θερμοκρασίες κάτω των 100°C.

- Τα πτητικά στοιχεία εξαερώνονται σχεδόν πλήρως σε θερμοκρασίες άνω των 200°C.

- Καταστροφική απόσπαξη συμβαίνει με απώλεια οργανικού υλικού 85% και σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 200-300°C.

- Πάνω από 300°C, το μεγαλύτερο μέρος του παραμένοντος στο έδαφος, οργανικού υλικού, αποτελείται από άνθρακα που στο τέλος χάνεται αφού αναφλεχθεί και καεί.

- Θέρμανση εδάφους σε θερμοκρασίες άνω των 450°C για 2 h ή στους 500°C για 30 min, αφαιρεί περίπου το 99% του συνολικού εδαφικού οργανικού υλικού (πλήρης αποστείρωση, συνήθως δεν συμβαίνει σε πραγματικές πυρκαγιές).

Τέλος, έχει διαπιστωθεί ότι η καύση όχι μόνο επιταχύνει ταχύτατα τους ρυθμούς αποσύνθεσης της οργανικής ύλης κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, αλλά μπορεί επίσης να επηρεάσει έμμεσα το ρυθμό αποσύνθεσης και μετά την πυρκαγιά. Επίσης, η δριμύτητα της πυρκαγιάς και η συχνότητα καύσης επηρεάζουν την ποσότητα οργανικής ύλης που χάνεται ως αποτέλεσμα της καύσης.

### **2.2.2 Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ)**

Η ανταλλαγή κατιόντων είναι η ανταλλαγή μεταξύ ιόντων που βρίσκονται σε ένα διάλυμα με αυτά τα κατιόντα που βρίσκονται προσροφημένα στην επιφάνεια οποιουδήποτε φορτισμένου υλικού όπως είναι η άργιλος ή τα οργανικά κolloειδή.

Η ικανότητα ιοντοανταλλαγής προκύπτει ουσιαστικά από το άθροισμα των όλων των ιόντων που δύνανται να ανταλλαχθούν και απαντώνται σε οργανικά και ανόργανα κολλοειδή του εδάφους. Η ανταλλαγή και η προσρόφηση των ιόντων εμποδίζει την απώλεια των κατιόντων από το έδαφος, που συμβαίνει με την έκπλυση μετά από πυρκαγιά. Αν και οι περισσότερες θέσεις ανταλλαγής στο έδαφος είναι αρνητικές και προσελκύουν κατιόντα, υπάρχουν κάποιες θετικά φορτισμένες θέσεις που μπορούν να προσελκύσουν ανιόντα (η ανταλλαγή ανιόντων έχει αναφερθεί ότι συμβαίνει σε σωματίδια αργίλου). Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων εξαρτάται από τον τύπο της αργίλου και την αναλογία με την οργανική ύλη που υπάρχει (Neary et al., 2005).

Η θέρμανση του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων τουλάχιστον με δύο τρόπους. Η πιο κοινή αλλαγή είναι η καταστροφή των χημικής σύνθεσης του χούμους. Η θέση του στρώματος του χούμους στο έδαφος ή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, το καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτο σε μερική ή ολική καταστροφή κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς, επειδή τα οργανικά και χουμικά υλικά αρχίζουν να αποσυντίθενται στους 100°C περίπου και καταστρέφονται σχεδόν πλήρως στους 500°C. Αυτές οι θερμοκρασίες είναι εύκολο να επιτευχθούν κατά τη διάρκεια των δασικών πυρκαγιών. Αντίθετα, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων των υλικών αργίλου είναι πιο ανθεκτική, διότι η πλήρης καταστροφή των υλικών δεν συμβαίνει μέχρις ότου επιτευχθούν θερμοκρασίες από 700 έως 800°C. Επιπλέον, το αργιλώδες υλικό βρίσκεται σπάνια στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά αντίθετα βρίσκεται τουλάχιστον μερικά εκατοστά κάτω από την επιφάνεια όπου προστατεύεται καλά από την επιφανειακή θέρμανση. Γενικά, η μείωση της ικανότητας ανταλλαγής ως αποτέλεσμα της πυρκαγιάς είναι ανάλογη προς τη συνολική ποσότητα κατιόντων που παρέχεται από το οργανικό συστατικό (DeBano et al., 1998). Για παράδειγμα, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων στα αμμώδη εδάφη μπορεί να αποτελείται κυρίως από θέσεις ανταλλαγής που βρίσκονται στο τμήμα του χούμους του συγκεκριμένου εδάφους. Εάν σε αυτά τα αμμώδη εδάφη, κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, καταστρέφονται μεγάλες ποσότητες χούμους, τότε δεν θα υπάρχουν διαθέσιμοι μηχανισμοί ώστε να εμποδίζουν τις απώλειες των διαλυτών θρεπτικών ουσιών.

### 2.2.3 Κατιόντα

Στα κατιόντα που απαντώνται στη πυρκαγιά περιλαμβάνονται τα ιόντα του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ), ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ), του καλίου ( $\text{K}^+$ ) και της αμμωνίας ( $\text{NH}_4^+$ ), αν και αυτά τα κατιόντα είναι συνήθως επαρκή στα περισσότερα εδάφη (DeBano, 1991). Σε πολλές έρευνες έχει αναφερθεί σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης κατιόντων του εδάφους μετά από προκαθορισμένη καύση ή πυρκαγιά (Raison et al., 1990). Παρόλα αυτά, το κατιόν  $\text{NH}_4^+$ , το οποίο αποτελεί σημαντικό συστατικό του κύκλου αζώτου (N) και της παραγωγικότητας του εδάφους, αποκρίνεται διαφορετικά από τα άλλα κατιόντα. Με την εξαίρεση του  $\text{NH}_4^+$ , τα κατιόντα έχουν όρια θερμοκρασίας πολύ υψηλά και ως εκ τούτου δεν είναι εύκολο να εξαερωθούν και να χαθούν από τις πυρόπληκτες περιοχές. Η τέφρα που εναποτίθεται στην επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις κατιόντων και η διαθεσιμότητά τους αυξάνεται, συμπεριλαμβανομένου του  $\text{NH}_4^+$  (DeBano et al., 1998). Βέβαια, κάποια από τα κατιόντα μπορούν να χαθούν μέσω μεταφοράς σωματιδίων με τον καπνό. Τέλος, τα μονοθενικά κατιόντα, όπως το  $\text{K}^+$  και το  $\text{Na}^+$ , εμφανίζονται με την μορφή χλωριούχων ή ανθρακικών αλάτων, τα οποία είναι άμεσα διαλυτά και κινούνται εύκολα στο εδαφικό μείγμα, ενώ τα διθενικά, όπως το  $\text{Mg}^{2+}$  και το  $\text{Ca}^{2+}$ , κινούνται πιο δύσκολα και εμφανίζονται κυρίως ως οξειδία και ανθρακικά (DeBano et al., 1998).

### 2.2.4 Εδαφικό pH

Το pH του εδάφους είναι ένα μέτρο της δραστηριότητας των ιόντων υδρογόνου στο έδαφος και προσδιορίζεται σε συγκεκριμένες περιεκτικότητες υγρασίας. Τα ουδέτερα εδάφη έχουν  $\text{pH}=7$ , τα όξινα εδάφη έχουν  $\text{pH}$  μικρότερο από 7 και τα βασικά εδάφη είναι εκείνα με  $\text{pH}$  μεγαλύτερο από 7. Η καύση οργανικής ύλης κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς και η επακόλουθη απελευθέρωση διαλυτών κατιόντων τείνουν να αυξάνουν ελαφρώς το  $\text{pH}$ , επειδή τα βασικά κατιόντα απελευθερώνονται κατά την καύση και εναποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους. Η αύξηση του  $\text{pH}$  του εδάφους, ωστόσο, είναι συνήθως προσωρινή ανάλογα με το αρχικό  $\text{pH}$ , την ποσότητα της τέφρας που απελευθερώνεται, τη χημικής της

σύνθεση και την υγρασία του κλίματος (Wells, 1987). Το pH του εδάφους είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των φυτικών θρεπτικών συστατικών. Τα θρεπτικά συστατικά που απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς και είναι πιθανότερο να επηρεαστούν από το pH είναι ο φωσφόρος (P), ο σίδηρος (Fe) και ο χαλκός (Cu). Ο φωσφόρος είναι ιδιαίτερα σημαντικός επειδή είναι ένα μακροθρεπτικό συστατικό που περιορίζεται συχνά στα άγρια οικοσυστήματα και μπορεί επίσης να καταστεί αδιάλυτο τόσο σε υψηλά όσο και σε χαμηλά pH. Σε χαμηλό pH, ο φωσφόρος σχηματίζει αδιάλυτες ενώσεις με το σίδηρο ενώ σε υψηλό pH, οι ενώσεις του ασβεστίου τείνουν να το ακινητοποιήσουν.

### **2.2.5 Άζωτο (N)**

Το άζωτο (N) θεωρείται πολύ περιορισμένο θρεπτικό συστατικό στα άγρια οικοσυστήματα και ως εκ τούτου απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διαχείριση της πυρκαγιάς, ιδιαίτερα σε ελλιπή οικοσυστήματα σε άζωτο. Το άζωτο είναι μοναδικό επειδή είναι το μόνο θρεπτικό συστατικό του εδάφους που δεν τροφοδοτείται στο έδαφος από την χημική αποσάθρωση του μητρικού βράχου, που προϋπήρχε. Σχεδόν όλο το άζωτο που βρίσκεται στη βλάστηση, το νερό και το έδαφος των άγριων οικοσυστημάτων πρέπει να προστεθεί στο σύστημα από την ατμόσφαιρα.

Η εξαέρωση λόγω πτητικότητας είναι η χημική διαδικασία που είναι περισσότερο υπεύθυνη για τις απώλειες αζώτου κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Υπάρχει μια σταδιακή αύξηση της απώλειας αζώτου λόγω πτητικότητας, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία (White et al., 1973). Οι σχέσεις απωλειών αζώτου και θερμοκρασιών έχουν προσδιοριστεί και φαίνονται παρακάτω:

- Ολοκληρωτική απώλεια σε θερμοκρασίες άνω των 500°C
- Απώλειες της τάξης του 75-100% σε θερμοκρασίες μεταξύ 400-500°C
- Απώλειες της τάξης του 50-75% σε θερμοκρασίες μεταξύ 300-400°C
- Απώλειες της τάξης του 25-75% σε θερμοκρασίες μεταξύ 200-300°C
- Λίγες απώλειες (<10%) σε θερμοκρασίες μικρότερες των 200°C

Το ποσό του ολικού αζώτου που εξαερώνεται κατά την διάρκεια της καύσης (περισσότερο από το 99% του N που εξαερώνεται μετατρέπεται σε ελεύθερο N<sub>2</sub>) είναι άμεσα αναλογικό του ποσού του οργανικού υλικού που καίγεται, καθώς όλο

ουσιαστικά το εδαφικό άζωτο περιέχεται στο οργανικό υλικό (Raison et al., 1990). Το άζωτο που δεν εξαερώνεται τελείως, είτε παραμένει ως μέρος των άκαυστων καυσίμων, είτε μετατρέπεται σε εξαιρετικά διαθέσιμο αμμωνιακό άζωτο ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) που παραμένει στο έδαφος (DeBano et al., 1998). Παράλληλα, το αμμωνιακό άζωτο ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) μετατρέπεται εύκολα σε διαθέσιμη (νιτρική  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) μορφή για τα φυτά. Συγκεκριμένα, μετά από λίγο καιρό (6-12 μήνες) το εδαφικό άζωτο είναι κατά πολύ διαθέσιμο και εκτιμάται πως τα νιτρικά σε αυτή τη φάση, είναι 5 φορές περισσότερα από τα αμμωνιακά και φυσικά πολύ περισσότερα (ανάλογα και τις συνθήκες) σε σχέση με τα προπυρικά επίπεδα (Duran et al., 2008). Αυτή η αυξημένη διαθεσιμότητα αζώτου ενισχύει την ανάπτυξη φυτών μετά την πυρκαγιά και δίνει την εντύπωση ότι υπάρχει περισσότερο ολικό άζωτο μετά την πυρκαγιά. Αυτή η αύξηση στη γονιμότητα, ωστόσο, είναι παραπλανητική και μπορεί να είναι βραχύβια. Γενικά, οι συνέπειες της απώλειας αζώτου κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς στην παραγωγικότητα ενός οικοσυστήματος εξαρτώνται από την αναλογία του συνολικού αζώτου που χάνεται στο συγκεκριμένο οικοσύστημα.

### **2.2.6 Φωσφόρος (P)**

Ο φωσφόρος είναι πιθανώς το δεύτερο πιο περιορισμένο θρεπτικό συστατικό που απαντάται στα φυσικά οικοσυστήματα. Ανεπάρκεια του φωσφόρου δημιουργεί ανωμαλίες στην ανάπτυξη των φυτών και εμφανίζεται συνήθως σε εδάφη όξινα ή ασβεστολιθικά. Η πρόσληψη φωσφόρου και η διαθεσιμότητα σε φυτά περιπλέκεται από τη σχέση μεταξύ μυκοριζών και οργανικής ύλης (DeBano et al., 1998). Ο φωσφόρος δείχνει να έχει διαφορετική συμπεριφορά από το άζωτο στην θέρμανση του εδάφους και χάνεται σε υψηλότερη θερμοκρασία κατά τη θέρμανση του εδάφους από ότι το άζωτο. Η ολική απώλειά του σπάνια φτάνει το 60% (Raison et al., 1990). Οι απώλειες λόγω εξαέρωσης είναι ελάχιστες και γι' αυτό μεγάλα ποσά φωσφόρου μπορούν να βρεθούν στο στρώμα της στάχτης, που καλύπτει το έδαφος αμέσως μετά την φωτιά (DeBano et al., 1998). Αυτός ο εξαιρετικά διαθέσιμος φωσφόρος, ωστόσο, μπορεί να αδρανοποιηθεί γρήγορα εάν υπάρχουν ασβεστολιθικές ουσίες στην τέφρα και έτσι μπορεί να μην είναι διαθέσιμος για ανάπτυξη φυτών (DeBano et al., 1998). Ωστόσο, η ανεπάρκεια του φωσφόρου (αν υπάρξει) είναι συνήθως προσωρινή (1-2 έτη), καθώς ο φωσφόρος ανακάμπτει

από εξωτερικές πηγές σχετικά γρήγορα (Duran et al., 2008). Οι εξωτερικές αυτές πηγές μπορεί να είναι ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, αλλά κυρίως είναι η αποσάθρωση του ανόργανου εδάφους, η οποία μεταπυρρικά επιταχύνεται πολύ λόγω της απώλειας του οργανικού εδαφικού στρώματος.

### **2.2.7 Θείο (S)**

Ο ρόλος του θείου (S) στην παραγωγικότητα του οικοσυστήματος δεν είναι καλά κατανοητός, όμως η διακύμανσή του στο έδαφος παρομοιάζεται με αυτήν του αμμωνιακού αζώτου ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ). Το θείο είναι συχνά περιοριστικός παράγοντας, όπως για παράδειγμα, έχει προκύψει από μετρήσεις, στα παράλια δάση των ΒΔ ακτών του Ειρηνικού (DeBano et al., 1998). Οι απώλειες του θείου λόγω εξαέρωσης είναι μεταξύ αυτών του αζώτου και αυτών του φωσφόρου, ενώ έχουν αναφερθεί απώλειες 20 έως 40% σε υπέργεια βιομάζα κατά τη διάρκεια πυρκαγιών. Το θείο είναι παρόμοιο με το φωσφόρο (σε αντίθεση με το άζωτο) στο ότι δεν μπορεί να σταθεροποιηθεί με βιολογικές διεργασίες, αλλά αντ' αυτού προστίθεται κυρίως από καύσεις ορυκτών καυσίμων (ανθρωπογενές αίτιο με αρνητικά αποτελέσματα όπως η όξινη βροχή), εκρήξεις ηφαιστειών ή την αποσάθρωση των πετρωμάτων σύμφωνα με την διαδικασία της εδαφογένεσης (DeBano et al., 1998).

### **2.2.8 Ιχνοστοιχεία**

Τα ιχνοστοιχεία τα οποία περιέχονται στο έδαφος είναι το αρσενικό (As), ο μόλυβδος (Pb), ο σίδηρος (Fe), το κάδμιο (Cd), ο χαλκός (Cu), το χρώμιο (Cr), ο ψευδάργυρος (Zn), το νικέλιο (Ni) κ.α. Οι πυρκαγιές, δρώντας επιβαρυντικά, έχει βρεθεί ότι μπορούν να οδηγήσουν στην προσθήκη σημαντικών ποσοτήτων των ανωτέρω στοιχείων στο έδαφος, είτε άμεσα με την καύση της βλάστησης και την ορυκτοποίηση της οργανικής ύλης του εδάφους, είτε έμμεσα μέσω των αλληλεπιδράσεων της στάχτης με το υποκείμενο έδαφος (Pereira and Ubeda, 2010), δημιουργώντας, ακόμη και τοξικό περιβάλλον. Παρακάτω γίνεται μια σύντομη αναφορά στα κυριότερα ιχνοστοιχεία που απαντώνται στο έδαφος.



Ο σίδηρος (Fe) είναι το περισσότερο κοινό στοιχείο της λιθόσφαιρας αφού υπολογίζεται ότι η μέση περιεκτικότητα ανέρχεται σε 5,1%, ενώ στο έδαφος είναι σε ποσοστό 3,8% (Lindsey, 1979). Ο σίδηρος είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά ηλεκτρονίων στο φυτό και συμμετέχει στη δομή του μορίου της χλωροφύλλης. Έλλειψη αυτού περιορίζει την πρόσληψη του CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας, τη φωτοσύνθεση και την παραγωγή χλωροφύλλης και ιδιαίτερα επηρεάζει τις μεμβράνες των θυλακοειδών των χλωροπλαστών (Terry and Rao, 1991).

Ο χαλκός (Cu) του εδάφους προέρχεται από τα διάφορα ορυκτά στα οποία περιέχεται το στοιχείο αυτό. Η μέση περιεκτικότητα σε χαλκό της λιθόσφαιρας ανέρχεται σε 70 mg/kg, ενώ των εδαφών είναι γύρω στα 30 mg/kg (Lindsay, 1979). Ο χαλκός του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση και διάλυση των ορυκτών που περιέχουν το στοιχείο αυτό. Η κρίσιμη συγκέντρωση χαλκού στο έδαφος για την εμφάνιση τοξικών φαινομένων δεν είναι σταθερή για όλα τα δασοπονικά είδη. Τα επίπεδα της κρίσιμης αυτής συγκέντρωσης επηρεάζονται σημαντικά από το pH του εδάφους. Γενικά η τοξικότητα χαλκού αυξάνεται με τη μείωση του pH του εδάφους. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της ενεργότητας των ιόντων χαλκού που παρατηρείται με την πτώση του pH. Σύμφωνα με τον Charman (1966) φαινόμενα τοξικότητας εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του χαλκού στο έδαφος υπερβεί τα 150 mg/kg.

Η μέση περιεκτικότητα της λιθόσφαιρας σε μαγγάνιο (Mn) ανέρχεται σε 900 mg/kg (Lindsay, 1979). Βέβαια, η περιεκτικότητα των διαφόρων πετρωμάτων σε μαγγάνιο ποικίλλει πολύ. Η μέση περιεκτικότητα του εδάφους σε μαγγάνιο κυμαίνεται από 20 έως 3.000 mg/kg με μέσο όρο γύρω στα 600 mg/kg (Lindsay, 1979). Στο έδαφος, το μαγγάνιο προέρχεται κυρίως από την αποσάθρωση διαφόρων σιδηρομαγνησιούχων πετρωμάτων. Όσον αφορά την τοξικότητα μαγγανίου, αυτή εμφανίζεται σε όξινα εδάφη, ιδιαίτερα σε τροπικές υγρές περιοχές με pH εδάφους μικρότερο από 5 (όξινο). Η τοξικότητα αυτή περιορίζεται σημαντικά με την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους καθώς και με την προσθήκη CaCO<sub>3</sub>. Τα συμπτώματα τοξικότητας εμφανίζονται με μαύρες κηλίδες και γραμμές που εκτείνονται κατά μήκος των αγωγών ιστών στον κορμό, τα κύρια νεύρα των φύλλων και τους μίσχους. Αυτές οι σκούρες κηλίδες σχηματίζονται από τη συσσώρευση ενώσεων του Mn, όπως MnO καθώς και οργανομεταλλικών συμπλοκών (Ryan et al., 1967).

Η περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο (Zn) του στερεού φλοιού της γης είναι μικρή και ανέρχεται σε 0,001%, ενώ ακόμη μικρότερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους. Αυτή κυμαίνεται από 0,0002% έως 0,0012%, ενώ η μέση περιεκτικότητα των εδαφών είναι 0,0005%. Ο ψευδάργυρος στο έδαφος προέρχεται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων στα ορυκτά των οποίων περιέχεται το στοιχείο αυτό. Τα διάφορα είδη πετρωμάτων περιέχουν διαφορετικές ποσότητες ψευδαργύρου. Πιθανή τοξικότητα ψευδαργύρου παρουσιάζεται στις εξής περιπτώσεις (Ryan et al., 1967): (α) σε εδάφη που προέρχονται από πλούσια σε ψευδάργυρο μητρικά υλικά, (β) σε εδάφη που βρίσκονται κοντά σε βιομηχανίες επεξεργασίας μεταλλευμάτων, (γ) σε ορισμένα όξινα οργανικά εδάφη και (γ) σε εδάφη που βρίσκονται κοντά σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται για ρύπανση του εδάφους με ψευδάργυρο που προέρχεται από την τριβή των ελαστικών.

Ο μόλυβδος (Pb) είναι ένα ιχνοστοιχείο που βρίσκεται φυσικά στο έδαφος και απαντάται στον στερεό φλοιό της Γης σε αναλογία της τάξης του 0,0004%. Ο μόλυβδος πολύ σπάνια απαντάται ως αυτοφυής. Το κυριότερο από τα ορυκτά του είναι ο γαληνίτης. Είναι από τα πιο παλιά χρησιμοποιούμενα μέταλλα και λόγω της ευρύτατης χρήσης του είναι ευρέως διασκορπισμένο στο περιβάλλον. Τα αυξανόμενα ποσά μολύβδου που οφείλονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση, προκαλούνται με την καύση των καυσίμων και την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, τη χρήση των μπογιών, την αποτέφρωση των αποβλήτων, τη χρήση των φυτοφαρμάκων και τις γεωργικές δραστηριότητες. Οι πηγές μολύβδου στα φυσικά νερά περιλαμβάνουν επίσης τις εναποθέσεις σκόνης μολύβδου από την ατμόσφαιρα, υγρά απόβλητα από τις βιομηχανίες (κυρίως χαλυουργίες και παραγωγής μολύβδου), αστικές απορροές και εκροές από μεταλλεία. Ο μόλυβδος βρίσκεται σε μη ρυπασμένα εδάφη σε συγκεντρώσεις <20 mg/kg εδάφους, αλλά έχουν αναφερθεί πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ο μόλυβδος στο περιβάλλον έχει ιδιαίτερα μεγάλο χρόνο παραμονής συγκρινόμενος με άλλους ρυπαντές. Έχει εξαιρετικά μεγάλη τάση συσσώρευσης στο έδαφος, επειδή έχει χαμηλή διαλυτότητα και δεν αποικοδομείται με μικροβιακή δραστηριότητα. Οι μορφές με τις οποίες ο μόλυβδος βρίσκεται στο περιβάλλον είναι: PbS, PbO, PbSO<sub>4</sub> και PbO.PbSO<sub>4</sub> (Μήτσιος, 2004). Οι υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου στο έδαφος (της τάξεως των 100-500

mg/kg), προκαλούν τοξικά συμπτώματα στα φυτά, τα οποία εκδηλώνονται με μικροφυλλία και καχεκτική ανάπτυξη, τα φύλλα γίνονται χλωρωτικά και εμφανίζουν κοκκινωπούς χρωματισμούς και νεκρώσεις, ενώ οι ρίζες μαυρίζουν. Επίσης, δρουν τοξικά σε διαδικασίες όπως η φωτοσύνθεση, η μίτωση και η πρόσληψη νερού από τα φυτά (Kabata-Pendias, 2011).

Το κάδμιο (Cd) είναι ευρέως διασπαρμένο στο περιβάλλον. Είναι φυσικό συστατικό των επιφανειακών και των υπόγειων νερών και βρίσκεται, συνήθως, σε κατάσταση οξειδωσης  $Cd^{+2}$ . Παρεμποδίζει την απορρόφηση του ψευδαργύρου και αντικαθιστά τον ψευδάργυρο, ενώ είναι πολύ τοξικό για τους οργανισμούς. Η μέση συγκέντρωση καδμίου στο φλοιό της Γης είναι 0,15 έως 0,20 mg/kg. Οι πηγές του καδμίου στο περιβάλλον είναι, κυρίως, από φωσφορικά λιπάσματα, από μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα, λυματολάσπη και ατμοσφαιρική εναπόθεση. Εξαιτίας του μεγάλου όγκου του καδμίου που περιέχεται στα φωσφορικά λιπάσματα, προκύπτει πρόβλημα με τη ρύπανση της τροφικής αλυσίδας από την συσσώρευση του εν λόγω στοιχείου στο έδαφος. Επίσης, η ρύπανση των ποταμών και των χειμάρρων με κάδμιο από υγρά απόβλητα και εξορυκτικές δραστηριότητες, μπορούν να επηρεάσουν μεγάλες περιοχές με εκατοντάδες κατοίκους. Τέλος, οι πρωτογενείς πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εκπέμπουν κάδμιο κατατάσσονται ως εξής: χυτήρια > καύση πλαστικών και χρωστικών ουσιών > ορυκτά καύσιμα > εργοστάσια χάλυβα > μεταλλουργία. Περιοχές κοντά σε δρόμους, σε λάδια κινητήρων και ελαστικά οχημάτων είναι πηγές καδμίου (Adriano, 2001).

Ενώσεις του χρωμίου (Cr) βρίσκονται στο γεωπεριβάλλον σε αφθονία λόγω ηφαιστειακών εκρήξεων αλλά και λόγω διαβρώσεων χρωμιούχων πετρωμάτων. Στο έδαφος αλλά και στο θαλάσσιο νερό η συγκέντρωση του χρωμίου είναι 1-300 mg/kg και 5-800 µg/l, αντίστοιχα (Bartlett and Kimble, 1976). Είναι γνωστές, ενώσεις του χρωμίου με αριθμούς οξειδωσης από -2 έως +6, ωστόσο οι πιο συνήθεις είναι το Cr(0) στο μεταλλικό και φυσικό χρώμιο, το Cr(III) σε ενώσεις χρωμίου  $Cr^{3+}$  και το Cr(VI) σε χρωμικές και διχρωμικές ενώσεις. Το τρισθενές χρώμιο Cr(III), αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την διαβίωση του ανθρώπου, αφού συνδέεται άμεσα με τον μεταβολισμό σακχάρων και λιπιδίων, συμμετέχει δηλαδή στην διατροφική διαδικασία. Το εξασθενές χρώμιο, συναντάται κυρίως στην φύση ως παράγωγο ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και αποτελεί μεγάλο κίνδυνο για τον

ανθρώπινο οργανισμό, αφού είναι τοξικό και ιδιαίτερα καρκινογόνο. Επιπρόσθετα, στην φύση υπάρχουν και ορυκτά τρισθενούς χρωμίου, όπως π.χ. ο χρωμίτης ( $\text{Fe}(\text{Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$ ). Αναφορικά με το εξασθενές χρώμιο, αυτό στην φύση υπάρχει ως χρωμικό ιόν  $\text{HCrO}_4^-$  που κυριαρχεί σε pH μικρότερα του 6,5 και ως διχλωρομεθάνιο  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  που εντοπίζεται στην φύση σε υψηλότερες συγκεντρώσεις από το χρωμικό ιόν και σε εύρος pH από 2 έως 6 (Bartlett and Kimble, 1976).

Η ολική συγκέντρωση του νικελίου (Ni) στο έδαφος είναι κατά μέσο όρο 50 mg/kg και το εύρος της συνήθως κυμαίνεται από 5 έως 500 mg/kg. Γενικά, υπάρχει μεγάλη ομοιότητα μεταξύ της κατανομής του νικελίου, του κοβαλτίου και του σιδήρου, στο στερεό φλοιό της γης. Οι ποσότητες του νικελίου είναι μεγαλύτερες στα υπερβασικά πετρώματα. Επίσης, στα πετρώματα το νικέλιο απαντάται κυρίως σε ενώσεις με το θείο, λόγω χημικής συγγένειας των δύο στοιχείων, αλλά και με το αρσενικό και το αντιμόνιο. Το νικέλιο σχηματίζει επίσης ανθρακικές, φωσφορικές και πυριτικές ενώσεις, ενώ σε γενικές γραμμές οι διαλυτές ενώσεις του νικελίου είναι πιο τοξικές από τις λιγότερο διαλυτές (Kabata-Pendias, 2011). Το pH του εδάφους είναι η κυριότερη εδαφική ιδιότητα που επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νικελίου. Αύξηση της τιμής του pH έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαθεσιμότητας του νικελίου, όπως ισχύει για όλα τα απαραίτητα μεταλλικά μικροθρεπτικά στοιχεία για τα φυτά. Ως πηγές του νικελίου στο περιβάλλον καταγράφεται η μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα και τα βιομηχανικά λύματα (Adriano, 2001).

Οι συγκεντρώσεις του αρσενικού (As) στο έδαφος εξαρτώνται από τα μητρικά υλικά από τα οποία προέρχονται, αλλά μπορούν να εμπλουτιστούν και από άλλες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των ανθρωπίνων. Οι τυπικές φυσικές συγκεντρώσεις ποικίλουν από 0,1-40 mg/kg, με μια μέση συγκέντρωση 5-6 mg/kg. Το αρσενικό βρίσκεται στο έδαφος σε ανόργανη κατάσταση ενωμένο με κατιόντα, αλλά και δεσμευμένο σε οργανικό υλικό. Το αρσενικό μπορεί να μεταφερθεί στα επιφανειακά και υπόγεια νερά μέσω της διάβρωσης και της διαλυτοποίησης. Τα φυτά μπορούν επίσης να προσλαμβάνουν αρσενικό. Επειδή το αρσενικό μπορεί να σταθεροποιηθεί σε οργανικές και ανόργανες ενώσεις στο έδαφος, το έδαφος αποτελεί μια δεξαμενή για το αρσενικό. Οι μεγαλύτερες ποσότητες αρσενικού στο περιβάλλον βρίσκονται σε πετρώματα και εδάφη. Εξαιτίας της παρουσίας φυσικών συγκεντρώσεων αρσενικού σε πετρώματα, εδάφη και ιζήματα, αυτές οι πηγές

αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικούς παράγοντες στον καθορισμό των επιπέδων του αρσενικού στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα. Σποραδικές, φυσικές εκπομπές αρσενικού που συνδέονται με ηφαιστειακή δραστηριότητα και πυρκαγιές δασών αναγνωρίζονται επίσης ως σημαντικές (US-EPA, 2000; Kelepertsis et al., 2001; Alexakis and Gamvroula, 2014).

Ανθρωπογενώς, το αρσενικό χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργικά χημικά (80%), στην παραγωγή υάλου και κεραμικών και το υπόλοιπο (10%) για διάφορες χημικές ενώσεις. Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι η καύση του κάρβουνου και πετρελαίου, η χρήση γεωργικών φαρμάκων κ.α. Υψηλές συγκεντρώσεις αρσενικού εμφανίζονται, επίσης, κοντά σε σύγχρονες ή παλαιότερες μεταλλευτικές δραστηριότητες. Θειούχα πετρώματα εξορύσσονται συχνά για χρυσό, μόλυβδο, ψευδάργυρο και χαλκό και το αρσενικό βρίσκεται συχνά σαν πρόσμιξη στα θειούχα μεταλλεύματα αυτών των ορυκτών (US-EPA, 2000).

Το αρσενικό έχει συσχετισθεί με τοξικές επιπτώσεις, οι οποίες ποικίλουν από τον άμεσο θάνατο έως και χρόνιες επιπτώσεις, όπως ο καρκίνος και οι παθήσεις του αγγειακού συστήματος. Έρευνες σε πειραματόζωα έχουν δείξει ότι η τοξικότητα του αρσενικού εξαρτάται από τη μορφή και την οξειδωτική του κατάσταση. Γενικά, θεωρείται ότι οι διαλυτές μορφές του ανόργανου αρσενικού είναι πιο τοξικές από τις οργανικές, καθώς και ότι το αρσενικόδεις (AsIII) είναι πιο τοξικό από το αρσενικό (AsV). Τα διαφορετικά όργανα που επηρεάζονται, συμπεριλαμβάνουν το δέρμα καθώς και το αναπνευστικό, το καρδιαγγειακό, το ανοσοποιητικό, το αναπαραγωγικό και το νευρικό σύστημα (Abernathy and Morgan, 2001).

### **2.3 Η επίδραση των πυρκαγιών στην βιολογία του εδάφους**

Η βιολογική συνιστώσα του εδάφους αποτελείται από τη ζωντανή και τη νεκρή βιομάζα. Τόσο τα ζώντα όσο και τα νεκρά συστατικά του εδάφους επηρεάζονται από τη φωτιά. Η νεκρή βιομάζα αποτελείται από οργανική ύλη που βρίσκεται σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης, και η επίδραση της πυρκαγιάς σε αυτή αναλύθηκε παραπάνω. Από την άλλη μεριά, οι ζωντανοί οργανισμοί μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Μια μέθοδος ταξινόμησης είναι εάν αυτοί οι οργανισμοί είναι χλωρίδα ή πανίδα. Η χλωρίδα του εδάφους περιλαμβάνει φύκη,

κυανοβακτήρια, μυκόρριζα και ρίζες φυτών, ενώ η πανίδα του εδάφους περιλαμβάνει πρωτόζωα, γαιοσκώληκες και έντομα. Η κατηγορία «εδαφική πανίδα» έχει διαιρεθεί περαιτέρω σε μικρο-, μεσο- και μακροπανίδα με βάση τα μήκη σώματος, εάν αυτά είναι μικρότερα από 0,2 mm, από 0,2 έως 10,4 mm και μεγαλύτερα από 10,4 mm αντίστοιχα (Neary et al., 2005).

Αναλύοντας την εδαφική βιολογία, πρώτη παρατηρείται η ομάδα των μικροοργανισμών, οι οποίοι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις διαδικασίες του κύκλου των θρεπτικών ουσιών, την αποσύνθεση των οργανικών υλικών, τη βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους και τις ασθένειες. Επίσης, παίζουν σημαντικό ρόλο στην παροχή μιας ολόκληρης ομάδας θρεπτικών ουσιών. Ως εκ τούτου, η επιρροή τους στη ζωή στα φυσικά οικοσυστήματα είναι σημαντική. Επίσης, ορισμένοι μικροοργανισμοί σχηματίζουν συμβιωτικές σχέσεις με τα φυτά, δημιουργώντας έτσι μια μοναδική βιολογική οντότητα που μπορεί εύκολα να επηρεαστεί από την πυρκαγιά (Neary et al., 2005).

Ο όρος «μικροοργανισμοί» αφορά σε μια ποικίλη ομάδα που περιλαμβάνει βακτηρίδια, μύκητες, αρχαιοβακτήρια, πρωτόζωα, άλγη και ιούς. Εκατοντάδες εκατομμύρια μικροοργανισμών βρίσκονται σε κάθε χούφτα δάσους. Κανένα άλλο ζωντανό συστατικό δεν πλησιάζει τον αριθμό και την ποικιλομορφία των μικροοργανισμών στο έδαφος. Όσον αφορά την ομάδα της μεσοπανίδας, τα πιο συνηθισμένα μέλη της ομάδας αυτής του εδάφους είναι τα ακάρεα. Τα ακάρεα μπορούν να είναι άφθονα στο έδαφος, ιδιαίτερα σε δασικά εδάφη, όπου ένα δείγμα εδάφους 100 gr μπορεί να περιέχει έως 500 είδη ακάρεων που αντιπροσωπεύουν σχεδόν 100 γένη. Τέλος, η μακροπανίδα που καταλαμβάνει το έδαφος μπορεί να τοποθετηθεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες - εκείνες που ξοδεύουν όλο ή περισσότερο τον χρόνο τους στα ανώτερα στρώματα του εδάφους και εκείνα που κατοικούν σε αυτά τα ενδιαιτήματα μόνο προσωρινά ή και καθόλου. Η κυριότερη κατηγορία των ειδών πανίδας που ζουν μόνιμα σε ένα μέρος, κατοικούν τόσο στο χώμα αλλά υπάρχουν οργανισμοί που κατοικούν κάτω από πέτρες, κούτσουρα, φλοιούς ή παρόμοια προστατευόμενα ενδιαιτήματα. Αυτοί οι οργανισμοί ονομάζονται κρυπτόζωα. Η ομάδα των κρυπτοζώων περιλαμβάνει σαρανταποδαρούσες και σκορπιούς, τα οποία ενισχύουν την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, την κυκλοφορία θρεπτικών ουσιών, τη δομή του εδάφους και τη μακροπρόθεσμη πρωτογενή παραγωγικότητα αυτών των οικοσυστημάτων. Τέλος,

στην ομάδα αυτή ανήκουν και οι γαιοσκώληκες, οι οποίοι είναι μια ειδική κατηγορία της μακροπανίδας που έχει αναγνωρισθεί από καιρό ως σημαντική συνιστώσα των υγιών συστημάτων εδάφους. Η μεγάλη αφθονία τους σε ορισμένα εδάφη, τους καθιστούν σημαντικό παράγοντα στη βιολογία τους. Στο έδαφος, βέβαια, υπάρχουν και μεγαλύτεροι ζωντανοί οργανισμοί όπως τα αμφίβια, τα ερπετά και τα μικρά θηλαστικά που κατοικούν σε τρύπες και κοιλοτήτες στο πάνω μέρος του εδάφους. Αυτά τρέφονται με ασπόνδυλα, μέρη φυτών και άλλα οργανικά που βρίσκονται πάνω ή κοντά στην επιφάνεια. Το σκάψιμο στο έδαφος και η απόθεση των κοπράνων από αυτά τα μεγαλύτερα ζώα συμβάλλουν στον αερισμό και τη γονιμότητα του εδάφους (Neary et al., 2005).

Παρακάτω αναλύεται πως η πυρκαγιά επηρεάζει κάθε μια κατηγορία από τους ανωτέρω ζωντανούς οργανισμούς.

### **2.3.1 Εδαφικοί μικροοργανισμοί**

Η πυρκαγιά επηρεάζει τους περισσότερους οργανισμούς που κατοικούν στο υπέδαφος τόσο με άμεσο όσο και με έμμεσο τρόπο. Η πυρκαγιά προσβάλλει άμεσα τους οργανισμούς του εδάφους με τη θανάτωση ή τον τραυματισμό και έμμεσα με την επίδραση στη διαδοχή των φυτών, τους μετασχηματισμούς της οργανικής ύλης του εδάφους και το μικροκλίμα. Ανάλογα με τη δριμύτητα της πυρκαγιάς, οι οργανισμοί στο δάσος μπορούν να σκοτωθούν εντελώς, παρόλο που αυτοί στους βαθύτερα στρώματα του εδάφους ή σε απομονωμένες μη καμμένες τοποθεσίες επιβιώνουν. Ακόμα και οι πυρκαγιές χαμηλής δριμύτητας μπορούν να βλάψουν τους οργανισμούς που βρίσκονται πάνω ή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους επειδή οι περισσότεροι ζώντες οργανισμοί μπορεί να υποστούν ζημιές σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από εκείνες που προκαλούν αλλαγές στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς (Πιν. 2.3).

Η διείδυση της θερμότητας στο έδαφος, κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς, επιδρά στην επιβίωση των εδαφικών μικροοργανισμών. Η μεταφορά της θερμότητας κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ποικίλει πολύ και εξαρτάται πολύ από την εδαφική υγρασία. Τα ξηρά εδάφη είναι καλύτεροι μονωτές, οπότε παρέχουν και μεγαλύτερη προστασία στους εδαφικούς μικροοργανισμούς.

Αντίθετα, τα υγρά εδάφη μεταφέρουν μεγάλα ποσά θερμότητας στα κατώτερα στρώματα, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να φτάνει εύκολα και σε μεγάλο βάθος τους 100°C, θερμοκρασία θανάσιμη για τους περισσότερους μικροοργανισμούς (DeBano et al., 1998).

**Πίνακας 2.3** Όρια θερμοκρασίας για τους πιο σημαντικούς οργανισμούς στο έδαφος (DeBano, 1991).

Βιολογικός παράγοντας	Όρια θερμοκρασίας	
	°F	°C
Ρίζες φυτών	118	48
Μικρά θηλαστικά	120	49
Πρωτεϊνική πήξη	140	60
Μύκητες-νωπό έδαφος	140	60
Σπόροι-νωπό έδαφος	158	70
Μύκητες-στεγνό έδαφος	176	80
Βακτήρια-νωπό έδαφος	176	80
Βακτήρια-στεγνό έδαφος	194	90
Σπόροι-στεγνό έδαφος	194	90
Μυκόρριζα	201	94

Η θέρμανση του εδάφους θανατώνει τους εδαφικούς μικροοργανισμούς (ιδιαίτερα την μικροπανίδα) είτε άμεσα, είτε έμμεσα, μεταβάλλοντας την αναπαραγωγική τους ικανότητα. Έμμεσες επιδράσεις επίσης σχετίζονται με μεταβολές στο εδαφικό περιβάλλον. Για παράδειγμα, ετεροτροφικά βακτήρια πεθαίνουν λόγω της απώλειας (καύσης) της τροφής τους που είναι το οργανικό υλικό. Οι ετεροτροφικοί οργανισμοί γενικότερα, που προσλαμβάνουν άνθρακα (C) για να εξασφαλίσουν ενέργεια για τις βιοτικές τους ανάγκες και την σύνθεση βιομάζας, μπορούν να επηρεαστούν με αυτόν τον τρόπο. Η εδαφική οξύτητα επίσης μπορεί να μειωθεί μεταπυρικά (αύξηση pH), επηρεάζοντας έτσι πολλούς ευαίσθητους μικροοργανισμούς. Παράλληλα, έμμεσες επιδράσεις μπορεί να εμφανιστούν πολύ μετά τη φωτιά και μπορούν να επηρεάσουν το οικοσύστημα για χρόνια. Μεταβολές στην χλωρίδα του οικοσυστήματος επιδρούν σε οργανισμούς, που η επιβίωσή του εξαρτάται από συγκεκριμένα είδη φυτών (DeBano et al., 1998).



### 2.3.2 Εδαφική μέσο- και μακροπανίδα

Τα περισσότερα αποτελέσματα των ερευνών που υπάρχουν σχετικά με την επίδραση της πυρκαγιάς στη μεσο και μακροπανίδα αναφέρονται σε γενικές ομάδες ασπόνδυλων που υπάρχουν στο έδαφος, συμπεριλαμβανομένων των εντόμων και άλλων αρθροπόδων, και τους γαιοσκώληκες. Μία έρευνα στα δάση της Σουηδίας έδειξε ότι η συνολική θνησιμότητα των ασπόνδυλων εξαρτιόταν από την αναλογία του οργανικού εδάφους που καίγεται σε μια πυρκαγιά και ότι η θνησιμότητα των οργανισμών αυτών κυμαινόταν από 59 έως 100%. Τα ασπόνδυλα που ζούσαν βαθύτερα στο έδαφος είχαν λιγότερη θνησιμότητα από αυτά που αποικίζουν τα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Άλλα χαρακτηριστικά που ευνοούσαν επίσης την επιβίωση περιελάμβαναν την μεγαλύτερη κινητικότητα των οργανισμών στο έδαφος, καθώς και η παχιά προστατευτική επιδερμίδα που έχουν κάποια είδη (Wikars and Schimmel, 2001). Με αυτό τον τρόπο, παρατηρείται ότι ορισμένα ασπόνδυλα έχουν χαρακτηριστικά που τους επιτρέπουν να επιβιώσουν από μια πυρκαγιά. Γενικά, τα ασπόνδυλα που κατοικούν πιο μόνιμα στα ανώτερα στρώματα του εδάφους, είναι πολύ πιο πιθανό να επηρεαστούν όταν αυτά τα στρώματα θερμαίνονται σε θανατηφόρες θερμοκρασίες. Από την άλλη μεριά, τα ασπόνδυλα που κατοικούν μόνιμα σε βαθύτερα στρώματα συνήθως προστατεύονται από πυρκαγιές, ακόμη και από αυτές που χαρακτηρίζονται ως υψηλής δριμύτητας. Μερικά μακροασπόνδυλα βρέθηκαν να κινούνται βαθύτερα στο έδαφος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, με αποτέλεσμα να είναι μονωμένα από τις θανατηφόρες θερμοκρασίες του εδάφους κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς (Coultts, 1945).

Αντίθετα, κάποιοι πληθυσμοί ασπόνδυλων μπορούν να αυξηθούν μεταπυρικά. Σε μεμονωμένες τοποθεσίες που καίγονται ανά διαστήματα, εμφανίζεται μια αύξηση των ειδών στα αρθρόποδα με παράλληλη αύξηση του αριθμού των ατόμων. Έτσι, μυρμήγκια, γρύλοι και σκαθάρια αυξάνονται παρουσία φωτιάς, και αυτό διότι η πυρκαγιά μπορεί να καταστρέψει τους ανταγωνιστές τους ή να δημιουργήσει καταλληλότερα καταφύγια για αυτά (καμμένοι κορμοί κ.α.) (DeBano et al., 1998).

Όσον αφορά στους γαιοσκώληκες, οι έμμεσες επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς είναι πιθανώς πιο σημαντικές από την άμεση θέρμανση των πληθυσμών γαιοσκώληκα.

Γενικά, τα υπεδάφια εδάφη είναι γεμάτα με ρίζες και ριζώματα, τα οποία σε συνδυασμό με ευνοϊκές συνθήκες υγρασίας δημιουργούν ένα ιδανικό περιβάλλον για τους γαιοσκώληκες σε βάθος περίπου 10 έως 20 cm κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Μια θέση που βρίσκεται τόσο βαθιά στο έδαφος, προστατεύει τους γαιοσκώληκες από τις άμεσες επιπτώσεις της θέρμανσης κατά την καύση, εκτός από τις περιπτώσεις σοβαρών πυρκαγιών μακράς διάρκειας. Μάλιστα, μια έρευνα έδειξε ότι η πυρκαγιά αύξησε τη δραστηριότητα των σκουληκιών αυτών λόγω των διαφορών στην παραγωγικότητα των φυτών μετά τη φωτιά. Άλλες έρευνες έχουν δείξει, επίσης, ότι η φωτιά (σε χορτολιβαδικές εκτάσεις λιβαδιών και μικτούς τύπους δασών) συχνά οδηγεί σε αύξηση κάποιων ξένων ειδών σε βάρος των ενδημικών ειδών (Neary et al., 2005).

### **2.3.3 Αμφίβια, ερπετά και μικρά θηλαστικά**

Η ικανότητα των αμφιβίων, των ερπετών και των μικρών θηλαστικών να επιβιώσουν στις πυρκαγιές εξαρτάται από την κινητικότητά τους και την ομοιομορφία, τη δριμύτητα, το μέγεθος και τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Η πυρκαγιά μπορεί να προκαλέσει άμεση βλάβη και να σκοτώσει τα ίδια τα ζώα, ανάλογα με το πόσο ικανά είναι να αποφύγουν και να διαφύγουν από την ίδια τη φωτιά. Πολλές φορές, τα ζώα αυτά πεθαίνουν από ασφυξία παρά από την απ' ευθείας θέρμανση. Η πυρκαγιά επηρεάζει επίσης τη μακροπρόθεσμη ευημερία αυτών των μεγαλύτερων οργανισμών με την αλλαγή του οικοτόπου τους, λόγω ανεπάρκειας τροφής και καταφυγίου (Lyon et al., 2000).

Εν κατακλείδι, διαπιστώνεται ότι οι μικροοργανισμοί του εδάφους είναι πολύπλοκοι. Ο τρόπος με τον οποίο οι μικροοργανισμοί ανταποκρίνονται στην πυρκαγιά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ένταση και η δριμύτητα της πυρκαγιάς, τα χαρακτηριστικά του τόπου και η σύνθεση της κοινότητας πριν τη φωτιά. Εν τούτοις, κάποιες γενικότητες μπορούν να γίνουν. Πρώτον, οι περισσότερες έρευνες έχουν δείξει μεγάλη αντοχή από τις μικροβιακές κοινότητες στην πυρκαγιά. Η επανεποίκιση των οργανισμών αυτών στα προ πυρκαγιάς επίπεδα είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο, με το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ανάκτηση να ποικίλει ανάλογα με τη δριμύτητα της πυρκαγιάς. Δεύτερον,

διαπιστώνεται ότι η επίδραση της πυρκαγιάς στους μικροοργανισμούς είναι μεγαλύτερη στο δασικό δάπεδο, σε σχέση με τα κατώτερα στρώματα.

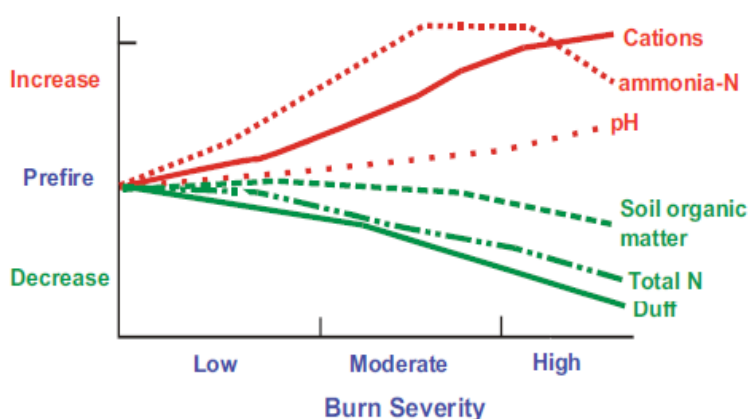
#### **2.4 Φαινόμενο εναπόθεσης στάχτης (Ash – Bed effect)**

Μετά από κάθε πυρκαγιά, ποσότητες τέφρας παραμένουν στην επιφάνεια του εδάφους μέχρις ότου η τέφρα αυτή είτε εκμηδενιστεί είτε απορροφηθεί στο έδαφος με καθίζηση. Σε σοβαρά καμμένα σημεία, μπορεί να υπάρχουν μεγάλα στρώματα τέφρας (πάχους έως και μερικών εκατοστών). Οι εναποθέσεις τέφρας είναι συνήθως μεγαλύτερες μετά από την καύση συμπυκνωμένης καύσιμης ύλης και συμβαίνει τουλάχιστον μετά από πυρκαγιές χαμηλής δριμύτητας.

Αυτή η συσσώρευση παχών στρωμάτων υπολειμμάτων τέφρας στην επιφάνεια του εδάφους μετά από μια πυρκαγιά αναφέρεται ως «Ash – Bed Effect». Οι συνθήκες καύσης που είναι απαραίτητες για τη δημιουργία αυτών των πυκνών στρωμάτων στάχτης επηρεάζουν τις περισσότερες φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Οι μεταβολές του εδάφους που σχετίζονται με το φαινόμενο μπορεί να είναι αποτέλεσμα της ίδιας της πυρκαγιάς (θέρμανση του εδάφους), της υπολειμματικής επίδρασης της τέφρας που έχει εναποτεθεί στην επιφάνεια του εδάφους (δηλαδή του φαινομένου) ή ενός συνδυασμού και των δύο (Raison et al., 1990).

Η ποσότητα και ο τύπος της τέφρας που απομένει μετά την πυρκαγιά εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης που καίγεται, όπως η πυκνότητα, η περιεκτικότητα σε υγρασία, η συνολική ποσότητα του φορτίου που καταναλώνεται και από τη δριμύτητα της πυρκαγιάς. Ως αποτέλεσμα της πυρκαγιάς, η τέφρα που παραμένει μπορεί να κυμαίνεται από μικρές ποσότητες μαύρης απανθρακωμένης ύλης έως παχιά στρώματα λευκής τέφρας που έχουν πάχος αρκετών εκατοστών. Συγκεκριμένα, όταν πυκνή συσσωρευμένη καύσιμη ύλη καίγεται πλήρως, μεγάλες ποσότητες υπολειμματικής λευκής τέφρας κατακάθονται στην επιφάνεια του εδάφους. Σε πολλές, δε, περιπτώσεις, η έντονη θέρμανση του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς μπορεί να αλλάξει το χρώμα των ορυκτών σωματιδίων του εδάφους σε κοκκινωπό, ενώ σε περιπτώσεις ακραίας θερμότητας, τα ορυκτά σωματίδια μπορεί να συντηχθούν και μεταξύ τους (DeBano et al., 1998).

Χημικά, η τέφρα αποτελείται κυρίως από ανθρακικά άλατα και οξείδια μετάλλων και πυριτίου μαζί με μικρές ποσότητες φωσφόρου, θείου και αζώτου. Το ασβέστιο είναι συνήθως το κυρίαρχο κατιόν που βρίσκεται σε αυτές τις συσσωρεύσεις τέφρας. Τα περισσότερα κατιόντα διηθούνται στο χώμα και αυξάνουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε κατιόντα. Αντίστοιχα, το pH μπορεί να υπερβαίνει το 12. Ωστόσο, η σύνθεση του υλικού πριν την πυρκαγιά και η θερμοκρασία ή η δριμύτητα της πυρκαγιάς καθορίζουν τις χημικές ιδιότητες της τέφρας. Γενικά, έχει διαπιστωθεί πως ότι η τέφρα σε άγρια δασικά οικοδομήματα έχει γενικά υψηλότερο pH και χαμηλότερες συγκεντρώσεις φωσφόρου (Εικ. 2.4) (Raison et al., 1990).



**Εικόνα 2.4** Γενικευμένο γράφημα όπου φαίνεται η μείωση στην οργανική στρώση του δασικού εδάφους (χούμους), στο ολικό N και στην συνολική οργανική ύλη, και αντίστοιχα η αύξηση στο pH του εδάφους, τα κατιόντα και το  $\text{NH}_4^+$  ανάλογα με την αύξηση του επιπέδου δριμύτητας πυρκαγιάς (USDA Forest Service, National Advanced Fire and Resource Institute).

Οι φυσικές μεταβολές που σχετίζονται με την επίδραση τέφρας περιλαμβάνουν κυρίως αλλαγές στη δομή του εδάφους και τη διαπερατότητα στο νερό. Η καύση οργανικής ύλης στο άνω μέρος του εδάφους μπορεί να καταστρέψει εντελώς τη δομή του εδάφους και η παραγόμενη στάχτη συχνά σφραγίζει την είσοδο του νερού προς το έδαφος (Neary et al., 2005).

Τέλος, ο βιολογικός αντίκτυπος του φαινομένου της στάχτης αφορά στη μείωση του αερισμού του εδάφους και τον τρόπο που αυτό επηρεάζει τα φυτά και τους μικροβιολογικούς οργανισμούς. Μελέτες έχουν δείξει ότι μεγάλες ποσότητες τέφρας μειώνουν ελαφρώς τον αερισμό και την αναπνοή του εδάφους, ενώ για μικρές συγκεντρώσεις στάχτης στο έδαφος, οι επιδράσεις πάνω σε αυτό το θέμα,

θεωρούνται αμελητέες. Οι χημικές επιδράσεις της στάχτης που αφορούν στο έδαφος φαίνονται κάτωθι (Neary et al., 2005):

- Αύξηση του εδαφικού pH.
- Μεταβολή της διαλυτότητας της οργανικής ύλης και των συναφών ορυκτών στο νερό.
- Προσθήκη διαθέσιμων θρεπτικών συστατικών στο έδαφος, απαραίτητα για τους μικροβιακούς πληθυσμούς.

## **2.5 Οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στην ποιότητα του περιβάλλοντος**

Η επίδραση των δασικών πυρκαγιών στο περιβάλλον είναι αδιαμφισβήτητα ένας τομέας που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα παραγόντων όπως η χλωρίδα, η πανίδα, το υδατικό δυναμικό καθώς και η προστασία των εδαφών μιας περιοχής. Οι επιπτώσεις από τις πυρκαγιές, δεν έχουν να κάνουν μόνο με την ρύπανση του περιβάλλοντος, αλλά είναι δυνατόν να προκαλέσουν μακροπρόθεσμα και αλλαγή του κλίματος σε τοπικό και ευρύτερο πεδίο. Παράλληλα, μέσω των επιπτώσεων στους διάφορους περιβαλλοντικούς πόρους, γίνεται έμμεσα κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο διαχέονται στο περιβάλλον οι ρύποι από μια δασική πυρκαγιά.

### **2.5.1 Επιπτώσεις στην ποιότητα της ατμόσφαιρας**

Μέσω της καύσης της δασικής βιομάζας, παράγεται καπνός, ο οποίος αφενός μεν θεωρείται παράγοντας ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος, αφετέρου δε, είναι μια πραγματική ανησυχία για ορισμένα τμήματα του πληθυσμού που τυχόν εκτεθούν σ' αυτόν, όπως είναι οι πυροσβέστες, οι πολίτες οι οποίοι εθελοντικά προστρέχουν και συνδράμουν στην πυρόσβεση και μάλιστα χωρίς προστασία και δίχως εκπαίδευση, αλλά και άλλες ευπαθείς ομάδες, διότι περιέχει τοξικά αέρια, υδρογονάνθρακες και άλλα επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία σωματίδια (Καλαϊδής, 1990; Fowler, 2003).

Ο καπνός μιας δασικής πυρκαγιάς μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μίγμα δύο φάσεων, αποτελούμενο από συστατικά αερίων και μικρών σωματιδίων. Πάνω από 150 χημικά είδη έχουν ανιχνευθεί στον καπνό των πειραμάτων καύσης δασικής

καύσιμης ύλης (Statheropoulos and Karma, 2005). Μεταξύ των πιο σημαντικών συμπεριλαμβάνονται (Statheropoulos and Karma, 2005):

(α) Μόνιμα αέρια όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και οξειδία του θείου (SO<sub>x</sub>). Το πλέον επικίνδυνο μόνιμο αέριο που παράγεται σε δασική πυρκαγιά θεωρείται το CO, με το προτεινόμενο όριο έκθεσης (REL Time-Weighted over 10-hour shift work) και το επιτρεπτό όριο έκθεσης (PEL Time-Weighted over 8-hour work-shift) να είναι στα 35 και 50 mg/kg αντίστοιχα. Επιπλέον, το CO<sub>2</sub> είναι ένα άλλο άφθονο προϊόν καύσης. Τυπικά, η εξωτερική συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στο περιβάλλον είναι περίπου 350 mg/kg. Κατά τη διάρκεια συμβάντων πυρκαγιάς διαπιστώθηκε ότι οι εκθέσεις CO<sub>2</sub> ήταν περίπου 3 φορές υψηλότερες από την κανονική συγκέντρωση υποβάθρου. Τέλος, άλλο ένα πρόβλημα είναι η χρήση εμπορικών επιβραδυντικών δασικής πυρκαγιάς, όπως τα μείγματα φωσφορικού αμμωνίου και θειικού αμμωνίου, τα οποία έχει διαπιστωθεί ότι στην περιοχή της πυρκαγιάς συμβάλλουν στην υπέρβαση των ορίων της αμμωνίας. Σε γενικές γραμμές, τα επιβραδυντικά πυρκαγιάς παράγουν ένα οξύ (φωσφορικό ή θειικό), γεγονός που ευνοεί τη διαδικασία αφυδάτωσης η οποία οδηγεί σε αυξημένες ποσότητες χαλκού, υδρατμών και CO<sub>2</sub> και σε μειωμένα πτητικά προϊόντα.

(β) Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) όπως υδρογονάνθρακες, αλδεΐδες, υποκατεστημένα φουράνια, τολουόλιο και ξυλόλιο τα οποία μπορεί να έχουν διάφορες επιπτώσεις στην υγεία.

(γ) Ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις (SVOC) (π.χ. πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες). Οι δασικές πυρκαγιές παράγουν επίσης μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων, οι οποίες κατανέμονται μεταξύ της αέριας και της υγρής ή της στερεάς φάσης σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, τις λεγόμενες ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις (SVOC). Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) είναι μεταξύ των παραγόμενων SVOC. Είναι επικίνδυνες ενώσεις επειδή πολλά από τα μέλη της είναι καρκινογόνα. Οι PAHs μπορούν να συμπυκνωθούν ή να απορροφηθούν στην επιφάνεια μικρών σωματιδίων. Το βενζο(α)πυρένιο (BaP), ένα PAH γνωστό για τις καρκινογόνες ιδιότητές του, εμφανίζεται στις περισσότερες εκπομπές καύσης και χρησιμοποιείται ευρέως ως δείκτης για τους PAHs. Η συγκέντρωση PAHs μειώνεται με την απόσταση από τη δασική πυρκαγιά λόγω διεργασιών φωτοχημικής αποικοδόμησης.

(δ) Σωματίδια που συνήθως περιέχουν ιχνοστοιχεία όπως Na, Mg, Ni, Cu, Pb, Fe, Mn κ.λπ. Ο καπνός δασικής πυρκαγιάς αποτελείται επίσης από σωματίδια με σημαντική συμβολή στις επιπτώσεις στην υγεία από τους εκτεθειμένους πληθυσμούς, με καταστροφή του αναπνευστικού συστήματος. Τα πιο επικίνδυνα σωματίδια είναι τα πολύ μικρά και αναπνεύσιμα, όπως τα  $PM_{10}$  και  $PM_{2,5}$ , λόγω της ενισχυμένης επίδρασης τους στους πνεύμονες. Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10  $\mu m$  τείνουν να αποτελούν το μεγαλύτερο πρόβλημα υγείας, διότι μπορούν να εισπνευστούν και να συσσωρευτούν στο αναπνευστικό σύστημα. Οι PAHs μπορούν να συμπυκνώνονται ή να απορροφώνται στην επιφάνεια των μικρών σωματιδίων, καθώς και σε στοιχεία όπως τα S, Cl, K, Na, Mg, Fe, Cu, Zn, Pb κ.α., με αποτέλεσμα να καθίστανται ακόμα πιο επιβλαβή. Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα μικρά σωματίδια  $PM_{2,5}$  μπορεί να έχουν επιδημιολογικές επιπτώσεις και ότι η έκθεση σε μικρά σωματίδια συνδέεται με πολλές σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, συμπεριλαμβανομένου του πρόωρου θανάτου. Αυτό δεν σημαίνει ότι τα χονδρόκοκκα σωματίδια όπως τα  $PM_{10}$  θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως αβλαβή, στην πραγματικότητα μπορούν να επιδεινώσουν τις αναπνευστικές καταστάσεις όπως το άσθμα.

Η ένταση της πυρκαγιάς είναι ακόμη ένας παράγοντας που επηρεάζει τη σύνθεση και την ποσότητα του παραγόμενου καπνού και των ανωτέρω ρύπων. Στις πυρκαγιές υψηλής έντασης, ο παραγόμενος καπνός αποτελείται από μονοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς. Αντίθετα, στις πυρκαγιές μικρής έντασης, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ατελή καύση της δασικής βιομάζας, παράγονται μεγαλύτερες ποσότητες βλαβερών αερίων, στα οποία συμπεριλαμβάνονται το μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου και του θείου, υδρογονάνθρακες, αλδεΐδες κι άλλα επιβλαβή σωματίδια (Fowler, 2003).

Τέλος, συμβαίνει πολύ συχνά η δασική πυρκαγιά να επεκτείνεται σε αγροτικές/αστικές περιοχές, χώρους υγειονομικής ταφής κ.λπ. Ως εκ τούτου, ο καπνός των δασικών πυρκαγιών λειτουργεί προσθετικά και συνεργατικά με τον καπνό που παράγεται λόγω της καύσης οικοδομικών υλικών, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και αποβλήτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο καπνός που παράγεται να καθίσταται πιο περίπλοκος και ενδεχομένως πιο επικίνδυνος, λόγω της σύνθεσής του (Statheropoulos and Karma, 2005).

## 2.5.2 Επιπτώσεις στην ποιότητα του εδάφους

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκαλεί εκτεταμένες ανησυχίες, καθώς έχουν δυσμενείς και διαφοροποιημένες επιπτώσεις στο περιβάλλον, και δει, στο έδαφος. Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, η θερμοκρασία επηρεάζει την σύσταση του εδάφους, τη δομή του, το πορώδες και τον τρόπο που συγκρατείται το νερό σε αυτό. Όλες αυτές οι αλλαγές συμβάλλουν στη δημιουργία έντονα διαβρωτικών και πλημμυρικών φαινομένων. Επίσης, οι πυρκαγιές, δρώντας επιβαρυντικά, έχει βρεθεί ότι μπορούν να οδηγήσουν στην προσθήκη σημαντικών ποσοτήτων των ιχνοστοιχείων στο έδαφος και ως εκ τούτου, να μεταβάλουν τις χημικές ιδιότητές του (Pereira and Ubeda, 2010).

Η επιφάνεια του εδάφους είναι αυτή που επηρεάζεται πιο πολύ από τη φωτιά και ειδικότερα από την απόθεση τέφρας. Η χημική σύσταση της τέφρας που παράγεται από μία μεγάλη δασική πυρκαγιά εξαρτάται από: (α) τη χημική σύσταση της χλωρίδας που αποτεφρώνεται η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από τη χημική και ορυκτολογική σύσταση του εδάφους όπου αναπτύσσεται η χλωρίδα, (β) τη χημική σύσταση των υλικών που αποτεφρώθηκαν (απορρίμματα, οχήματα) και (γ) τη χημική σύσταση των υλικών κατασκευής των κτηρίων καθώς και των υλικών που ήταν αποθηκευμένα στα κτήρια (οικίες, αποθήκες, βιομηχανίες) τα οποία αποτεφρώθηκαν. Έτσι, η τέφρα δύναται να περιέχει ανόργανες και οργανικές ενώσεις (Πολυχλωριωμένα διφαινύλια PCBs, Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες- Total PAHs, Ολικούς Πετρελαϊκούς Υδρογονάνθρακες-TPH, διοξίνες (TCDDs), κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία (Αλεξάκης, 2010).

Τα ιχνοστοιχεία προκαλούν μεγάλη περιβαλλοντική ανησυχία λόγω της υψηλής τοξικότητάς τους, της περιβαλλοντικής τους αντοχής και της τάσης βιοσυσσωρεύσεως στην τροφική αλυσίδα. Ενώ ένας αριθμός μετάλλων όπως ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn) και ο σίδηρος (Fe) είναι απαραίτητα για τους ζωντανούς οργανισμούς, για τη σταθερότητα της πρωτεϊνικής δομής, τις αντιδράσεις μεταφοράς ηλεκτρονίων και τη ρύθμιση των γονιδίων, άλλα στοιχεία όπως το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb) και ο υδράργυρος (Hg) ενδέχεται να μετατοπίσουν ή να αντικαταστήσουν τα βασικά μέταλλα και να παρεμποδίσουν την καλή λειτουργία των ενζύμων και των συναφών παραγόντων, προκαλώντας τοξικές επιδράσεις στους οργανισμούς (Siegel, 1973). Βέβαια, ακόμα και τα



ανωτέρω βασικά μέταλλα μπορούν να προκαλέσουν τοξικές επιδράσεις εάν υπάρχουν σε αυξημένες συγκεντρώσεις (Sunda and Huntsman, 1998).

Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός, ότι μελέτες που έγιναν σε έδαφος μετά από δασική πυρκαγιά, έδειξαν ότι τα στοιχεία βανάδιο (V), μαγγάνιο (Mn), νικέλιο (Ni), κάδμιο (Cd) και μόλυβδος (Pb), παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις σε πρόσφατα καμμένα έδαφος σε σχέση με το ανεπηρέαστο έδαφος. Χαρακτηριστικά το μαγγάνιο (Mn) παρουσίασε μεγάλη αύξηση στις συγκεντρώσεις του, γεγονός το οποίο προήλθε τόσο από τις στάχτες της καμμένης βλάστησης, όπου αυτό είναι συσσωρευμένο στο φύλλωμα, αλλά κυρίως από τη φυσικοχημική διάσπαση του λόγω θέρμανσης από το σύμπλοκο με την οργανική ύλη του εδάφους (Campos et al., 2016). Παράλληλα, η αύξηση, λόγω της πυρκαγιάς, στις συγκεντρώσεις των στοιχείων V, Ni, Cd και Pb θα μπορούσε να αποδοθεί στην εναποτεθείσα τέφρα, δεδομένου των υψηλότερων συγκεντρώσεων που εμφανίζουν τα στοιχεία αυτά στις στάχτες σε σχέση με τα υποκείμενα εδάφη (Mandal and Sengupta, 2006). Γενικά, τα επίπεδα σχεδόν όλων των στοιχείων που μελετήθηκαν, μεταξύ των οποίων και τα χρώμιο (Cr) και κοβάλτιο (Co), ήταν υψηλότερα στο καμμένο έδαφος από ότι στο μη καμμένο, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι πυρκαγιές μπορούν να λειτουργήσουν ως πηγή ρύπανσης (Campos et al., 2016). Παράλληλα, μπορεί να τονιστεί ότι η τέφρα που κατακάθισε μετά την πυρκαγιά μπόρεσε να προσθέσει σημαντικές ποσότητες ιχνοστοιχείων στο πυρόπληκτο έδαφος. Ο ρόλος της τέφρας, ως παράγοντας που επηρεάζει τα επίπεδα των ιχνοστοιχείων στο καμμένο έδαφος, υποστηρίζεται από (Campos et al., 2016): (α) τα υψηλότερα επίπεδα των στοιχείων που απαντώνται στα δείγματα τέφρας συγκριτικά με το έδαφος κάτω από αυτήν και (β) το γεγονός ότι η σειρά των συγκεντρώσεων στο έδαφος είναι παρόμοια με εκείνη που βρίσκεται στην τέφρα.

Το πότε θεωρείται μια συγκέντρωση ιχνοστοιχείων επιβαρυντική για τη φύση, καθορίζεται από διάφορα διεθνή ποιοτικά πρότυπα τα οποία αφορούν στην ρύπανση του εδάφους αλλά και των υδάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι περιβαλλοντικές οδηγίες και τα πρότυπα που υπάρχουν διεθνώς για την ρύπανση του εδάφους, αφορούν σε κριτήρια και όρια τα οποία είναι θεσπισμένα από συγκεκριμένες χώρες (Αμερική, Ηνωμένο Βασίλειο, Καναδάς, Ολλανδία και Αυστραλία) ([http://esdat.net/Environmental\\_Standards.aspx](http://esdat.net/Environmental_Standards.aspx)). Ενδεικτικά στον

Πίνακα 2.4, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις στόχου και οι συγκεντρώσεις παρέμβασης αποκατάστασης που αφορούν στα μέταλλα για τα εδάφη/ιζήματα, σύμφωνα με τον Ολλανδικά πρότυπα.

**Πίνακας 2.4** Τιμές στόχου και τιμές παρέμβασης αποκατάστασης του εδάφους για μέταλλα (MHSPE, 2000).

	ΕΔΑΦΟΣ/ΙΖΗΜΑ (mg/kg ξηρού δείγματος)		
	Εθνικές τιμές υποβάθρου	Τιμές στόχοι	Όριο παρέμβασης
<b>Μέταλλα</b>			
Αντιμόνιο	3	3	15
Αρσενικό	29	29	55
Βάριο	160	160	625
Κάδμιο	0,8	0,8	12
Χρώμιο	100	100	380
Κοβάλτιο	9	9	240
Χαλκός	36	36	190
Υδράργυρος	0,3	0,3	10
Μόλυβδος	85	85	530
Μολυβδαίνιο	0,5	3	200
Νικέλιο	35	35	210
Ψευδάργυρος	140	140	720

Οι τιμές στόχοι υποδηλώνουν το επίπεδο στο οποίο υπάρχει μια βιώσιμη ποιότητα του εδάφους. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές στόχοι υποδεικνύουν το επίπεδο που πρέπει να επιτευχθεί για την πλήρη ανάκτηση των λειτουργικών ιδιοτήτων του εδάφους για τον άνθρωπο και τη ζωή των φυτών και των ζώων. Από την άλλη μεριά, οι τιμές των ορίων παρέμβασης για την αποκατάσταση του εδάφους υποδεικνύουν πότε θίγονται ή απειλούνται σοβαρά οι λειτουργικές ιδιότητες του εδάφους για τον άνθρωπο, τη φυτική και ζωική ζωή. Αντιπροσωπεύουν το επίπεδο ρύπανσης πάνω από το οποίο υπάρχει σοβαρή περίπτωση ρύπανσης του εδάφους (MHSPE, 2000).

Πέραν, όμως, των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων που απαντώνται στο έδαφος μετά από δασική πυρκαγιά, υπάρχουν και επιπλέον ρύποι με τη μορφή οργανικών και ανόργανων ενώσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων ρύπων είναι οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες - total PAHs. Σε

σχετικές έρευνες που έχουν γίνει, έχει βρεθεί ότι το έδαφος και η τέφρα σε περιοχές δασικών πυρκαγιών χαρακτηρίζονται από υψηλότερα επίπεδα ελαφρών PAHs με δύο έως τέσσερις δακτυλίους, που αντικατοπτρίζουν τις άμεσες εκπομπές από την καύση βιομάζας. Αυτό υποδηλώνει σαφώς ότι το έδαφος σε μια περιοχή δασικής πυρκαγιάς μπορεί να ρυπανθεί από PAHs που εκπέμπονται απευθείας από την καύση βιομάζας. Βέβαια, το έδαφος αυτό μπορεί να επανέλθει στην πρότερη κατάσταση με την πάροδο του χρόνου διαμέσου της έκπλυσης και της διάχυσης της υψηλής σε περιεκτικότητα PAHs τέφρας, καθώς και της εξάτμισης ή της υποβάθμισης των ελαφρότερων PAHs (Kim et al., 2011).

Παρόμοια, με τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες, παρουσία και συμπεριφορά συναντάται στις διοξίνες και τα φουράνια (PCDD/Fs) που προκύπτουν από τις δασικές πυρκαγιές. Σε συγκρίσεις που έγιναν στα επίπεδα των PCDD/Fs σε δείγματα καμμένου εδάφους με εκείνα στα αντίστοιχα δείγματα ανεπηρέαστου εδάφους, διαπιστώθηκε αύξηση των συγκεντρώσεων στις ενώσεις αυτές αμέσως μετά την πυρκαγιά. Είναι χαρακτηριστικό, δε, το γεγονός ότι η τέφρα που προκύπτει από την καύση του ξύλου και άλλων οργανικών ουσιών είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει τη συγκέντρωση των PCDD/Fs στο έδαφος (Kim et al., 2003). Επίσης, είναι συχνό το φαινόμενο κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς να καίγονται διάφορα υλικά τα οποία βρίσκονται κοντά ή εντός των δασικών περιοχών και δεν αποτελούν τμήμα της βιομάζας τους, με αποτέλεσμα να υπάρχουν στην τέφρα διάφορα τοξικές ενώσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο αμίαντος που προέρχεται από οικοδομικά υλικά, υλικά μόνωσης, δαπέδων και στέγης, και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια-PCBs από διάφορες συσκευές, μετασχηματιστές, καθώς, και ανταλλακτικά αυτοκινήτων (Geosyntec Consultants, 2007).

Τέλος, η επίδραση της πυρκαγιάς στη βιολογία του εδάφους, οδηγεί στην σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητάς του, καθώς η θανάτωση και η απώλεια μικροοργανισμών λόγω της πυρκαγιάς, επηρεάζει τις διαδικασίες του κύκλου των θρεπτικών ουσιών στο έδαφος, την αποσύνθεση των οργανικών υλικών, την εκδήλωση ασθενειών, τον αερισμό και τη γονιμότητα του εδάφους.

### 2.5.3 Επιπτώσεις στην ποιότητα των υδάτων

Υψηλής έντασης ή μεγάλες σε έκταση πυρκαγιές μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές αυξήσεις των φαινομένων απορροής και διάβρωσης, τα οποία με την σειρά τους μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα του νερού στα ρέματα, τα ποτάμια και τις λίμνες μέσα σε μια λεκάνη απορροής. Φαινόμενα αυξημένης απορροής και διάβρωσης παρατηρούνται σε περιοχές που γειτνιάζουν άμεσα με τη φωτιά, ενώ ο ετήσιος όγκος απορροής μπορεί να αυξηθεί έως και 30% το πρώτο έτος μετά από μια πυρκαγιά. Μάλιστα, σε απότομα εδάφη, η μέγιστη απορροή μπορεί να είναι 10 έως 100 φορές μεγαλύτερες από τις συνήθεις μέγιστες παροχές. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει για τους εξής λόγους (Paige and Zygmunt, 2013):

(α) Μια πυρκαγιά μπορεί να μειώσει τη διείσδυση και να αυξήσει την επιφανειακή απορροή, καθώς όλο το επιφανειακό στρώμα του εδάφους και η βλάστηση καίγονται και χάνονται. Το γεγονός αυτό μειώνει το χρονικό διάστημα που το νερό μένει στην περιοχή (απορροή), ενώ εκθέτει και την επιφάνεια του εδάφους στο φαινόμενο όπου σταγόνες βροχής αποσπούν σωματίδια του εδάφους (διάβρωση).

(β) Οι πυρκαγιές μειώνουν επίσης την ποσότητα νερού που απορροφάται από τα φυτά, αυξάνοντας περαιτέρω την ποσότητα της επιφανειακής απορροής και την υπόγεια πλευρική ροή (η ροή του νερού κάτω από την επιφάνεια του εδάφους) που συμβαίνει μετέπειτα στα χρόνια μετά από μια πυρκαγιά.

(γ) Η αυξημένη απορροή μπορεί επίσης να οφείλεται στο υδατοαπωθητικό (υδρόφοβο) στρώμα εδάφους το οποίο μπορεί να σχηματιστεί μετά από μέτριες και σοβαρές πυρκαγιές, όπως αναλύθηκε ανωτέρω.

Τα ανωτέρω φαινόμενα, μπορούν να οδηγήσουν τα ρέματα, τα ποτάμια ή τις λίμνες που βρίσκονται σε μια λεκάνη απορροής σε αυξημένη φόρτωση των ιζημάτων τους, μετά από πυρκαγιά. Οι διαβρωμένες όχθες ρεμάτων μπορούν επίσης να συνεισφέρουν στο ίζημα, εάν αυξημένοι όγκοι απορροής έχουν μεταβάλει τα φυσικά χαρακτηριστικά του ρέματος. Στο τελευταίο, συμβάλει και η απώλεια βλάστησης λόγω της πυρκαγιάς, η οποία πριν βοηθούσε στη συγκράτηση των όχθων. Με αυτόν το τρόπο, τα αυξημένα φορτία ιζημάτων στα

επιφανειακά ύδατα μπορούν να επηρεάσουν τους υδροβιότοπους, τις τροφές, τους τόπους ωτοκίας και σε σοβαρές περιπτώσεις, μπορούν να προκαλέσουν και άμεση θανάτωση ψαριών. Μάλιστα, το ιζήμα που καταλήγει σε ρέματα συχνά μεταφέρει άλλους ρύπους, κυρίως φωσφόρο, ο οποίος κάνει δεσμούς εύκολα με τα ιζήματα. Ο φωσφόρος είναι ένα σημαντικό θρεπτικό συστατικό, ωστόσο, τα αυξημένα επίπεδα στα υδάτινα σώματα μπορούν να οδηγήσουν σε υπερβολική ανάπτυξη της υδρόβιας βλάστησης, λόγω ευτροφισμού, που οδηγεί με τη σειρά του στην εξάντληση των επιπέδων οξυγόνου στο νερό σκοτώνοντας έτσι τα ψάρια. Επίσης, η απόθεση τέφρας στα υδάτινα σώματα μπορεί να επηρεάσει τα ψάρια, περιορίζοντας την ορατότητά τους ή φράζοντας τα βράγχιά τους (Paige and Zygmunt, 2013). Η τέφρα μπορεί, ακόμη, να περιέχει ιχνοστοιχεία μολύβδου, αντιμονίου, αρσενικού, χαλκού, υδραργύρου ή ψευδαργύρου. Οι ενδείξεις ότι τα ζώα έχουν καταναλώσει νερό χαμηλής ποιότητας περιλαμβάνουν συχνά μειωμένη πρόσληψη τροφής και αλλαγές συμπεριφοράς και απόδοσης (Waskom et al., 2013). Μετανάστευση ποσοστού των ιχνοστοιχείων της τέφρας στο επιφανειακό νερό και στη συνέχεια στους επιφανειακούς ταμιευτήρες και στο θαλάσσιο περιβάλλον, μπορεί να οδηγήσει στην πρόσληψή τους από τους λιμναίους και θαλάσσιους οργανισμούς (Αλεξάκης, 2010).

Ακόμη, το άζωτο που απελευθερώνεται από τους ιστούς των φυτών κατά τη διάρκεια και μετά από μια πυρκαγιά μπορεί να διηθηθεί ως νιτρικό άλας από τις πυρόπληκτες περιοχές και να μεταφερθεί σε κοντινές λίμνες, ποτάμια και ρέματα. Τα υψηλά επίπεδα νιτρικών ιόντων στα υδάτινα σώματα που χρησιμοποιούνται για το πόσιμο νερό αποτελεί ένα σημαντικό θέμα για την ανθρώπινη υγεία. Επίσης, μέσω της άμεσης θέρμανσης, οι πυρκαγιές μπορούν να αυξήσουν τη θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ η καταστροφή της παραποτάμιας χλωρίδας μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της έκθεσης του επιφανειακού νερού στο ηλιακό φως και αύξηση της θερμοκρασίας του νερού μακροχρόνια. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας είναι ένας παράγοντας που οδηγεί σε επίπεδα μειωμένου οξυγόνου, τα οποία είναι επιζήμια για τους υδάτινους πληθυσμούς, δημιουργώντας συνθήκες ευτροφισμού οι οποίες επηρεάζουν το χρώμα, την οσμή και την γεύση του νερού (Paige and Zygmunt, 2013).

Επιπρόσθετα, αξίζει να σημειωθεί πως βάσει μελετών που έγιναν σε δασικές λεκάνες απορροής, αναφορικά με την ποιότητα των υδάτων μετά από μια

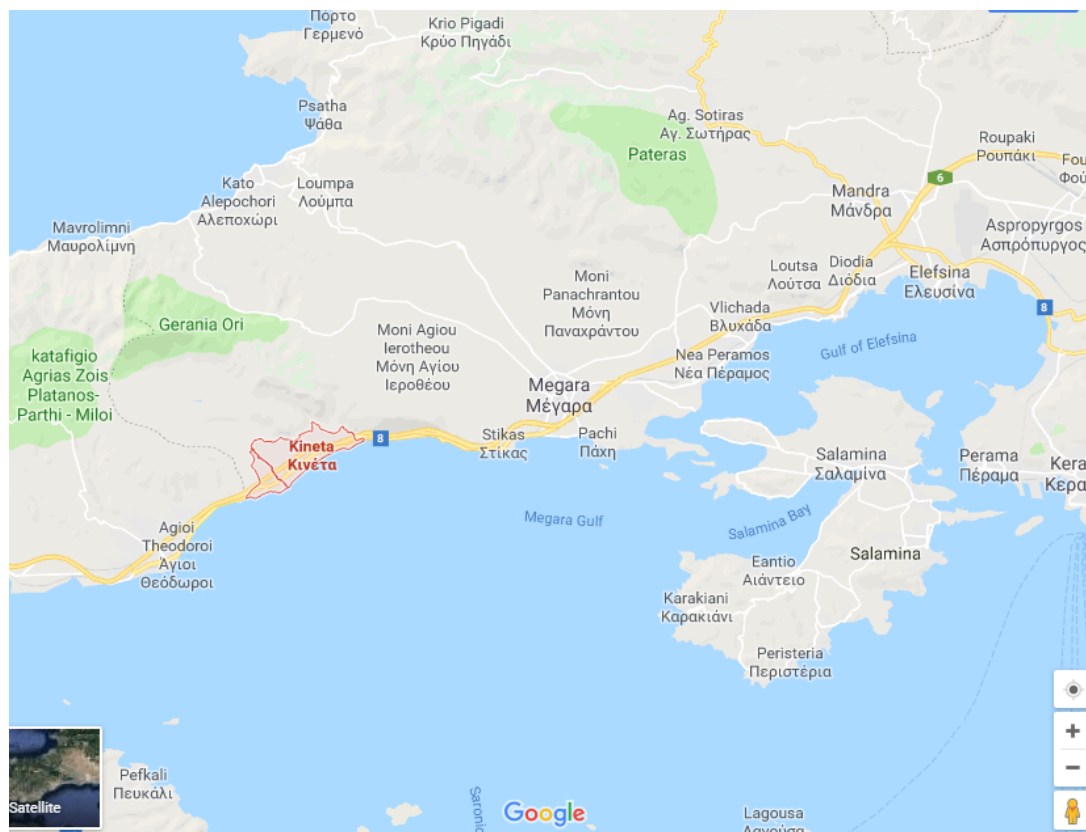
πυρκαγιά, παρατηρήθηκε ότι οι συγκεντρώσεις σε νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ), νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και αμμωνιακά ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ) στα ρεύματα και στις λίμνες αυξήθηκαν παρουσιάζοντας όμως, χαμηλό κίνδυνο υπέρβασης των οριακών τιμών των οδηγιών για το πόσιμο νερό. Επίσης, παρατηρήθηκαν μεγάλες αυξήσεις μετά την πυρκαγιά στις συγκεντρώσεις στο ολικό άζωτο-TN και ολικό φωσφόρο-TP στα ρέματα, ιδιαίτερα αυτών που προκύπτουν ως αποτέλεσμα μεγάλων γεγονότων διάβρωσης. Επίσης, οι υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων ιζημάτων μετά την πυρκαγιά συσχετίστηκαν με αυξημένες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, ιδιαίτερα Fe, Mn, As, Cr, Al, Ba και Pb. Αντίθετα, για τα στοιχεία Cu, Zn και Hg καταγράφηκαν μικρές υπερβάσεις ορίων, υποδεικνύοντας δυνητικά μικρότερο κίνδυνο ρύπανσης του νερού από αυτά τα στοιχεία. Τέλος, οι συγκεντρώσεις των PAHs μετά την πυρκαγιά βρέθηκαν να αυξάνονται, χωρίς όμως να υπερβαίνουν τις οριακές τιμές των σχετικών οδηγιών (Smith et al., 2011).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 3.1 Γενικά στοιχεία

Η Κινέτα είναι ένας παραθαλάσσιος οικισμός της Δυτικής Αττικής που βρίσκεται κατά μήκος της Εθνικής οδού Αθηνών-Κορίνθου, 56 km δυτικά της Αθήνας. Είναι χτισμένη στις ακτές του Σαρωνικού (Εικ. 3.1) και διαθέτει μία από τις μεγαλύτερες παραλίες, κάτι που την έκανε δημοφιλή τόπο παραθερισμού των κατοίκων της Αττικής ήδη από την δεκαετία του 1960. Μετά την δεκαετία του 1980 άρχισε να αποκτάει μόνιμους κατοίκους που αυξήθηκαν ακόμα περισσότερο τις επόμενες δεκαετίες. Η Κινέτα ανήκει στο Δήμο Μεγαρέων και ο πληθυσμός της ανέρχεται σε 1.446 κατοίκους, σύμφωνα με την Απογραφή του 2011 ([https://el.wikipedia.org/wiki/Κινέτα\\_Αττικής](https://el.wikipedia.org/wiki/Κινέτα_Αττικής)).



Εικόνα 3.1 Η περιοχή της Κινέτας και των Γερανείων Όρεων

(<https://www.google.gr/maps/place/Kineta>).

Η Κινέτα έχει υψόμετρο 19 m από την επιφάνεια της θάλασσας, σε γεωγραφικό πλάτος 37,9670933373 και γεωγραφικό μήκος 23,2094674615 (<http://www.megara.gr>). Ο ορεινός όγκος που βρίσκεται άνωθεν του οικισμού της Κινέτας ονομάζεται Γεράνεια Όρη.

Τα Γεράνεια Όρη είναι μια οροσειρά που καταλαμβάνει το ανατολικότερο τμήμα του νομού Κορινθίας και φτάνει μέχρι τα όρια της Δυτικής Αττικής. Έχουν κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά και οι τρεις πλευρές τους καταλήγουν στη θάλασσα. Το μήκος του βουνού φτάνει τα 30 km, το πλάτος τα 13 km και η περίμετρος τα 125 km. Στα βόρεια πέφτει απότομα στον Κορινθιακό, στα δυτικά απλώνεται μέχρι το ακρωτήριο Μελαγκάβι στο Ηραίο Περαχώρας, στα νότια δημιουργεί μικρούς λόφους μέχρι τις Σκυρωνίδες Πέτρες στην ακτή του Σαρωνικού και στα ανατολικά ενώνεται με την Μεγαρίτικη πεδιάδα. Η ψηλότερη κορφή του βουνού είναι το Μακρυπλάγι (1.351 m), όπου και υπάρχει πύργος επικοινωνιών του ΟΤΕ, και ακολουθούν η Ανώνυμη (1.269 m), η Μεγάλη Ντούσκια (1.068 m), η Παλιοβούνα (1.060 m), ο Αέρας (1.058 m), η Πίντιζα (1.032 m), η Γκούρα Κόκκαλη (1.013 m) και η Μικρή Ντούσκια (992 m). Η μορφολογία του βουνού έχει μεγάλη ποικιλία σε σχέση με το μέγεθος του και περιλαμβάνει πολλά φαράγγια, μικρά οροπέδια, κάθετα βράχια, χειμάρρους, ρυάκια, μικρούς καταρράκτες και δασωμένες πλαγιές. Από όλα αυτά ξεχωρίζουν η πανέμορφη χαράδρα της Γκούρας που ξεκινάει από τα ψηλά και κατεβαίνει προς τα νοτιοδυτικά μέσα σε ένα πανέμορφο δάσος, το ημιορεινό οροπέδιο Σέλκι, ο βράχος της Πέτρας Περαχώρας και το ηφαίστειο Σουσάκι στους νότιους πρόποδες (<http://www.naturagraeca.com/ws/122,184,80,1,1,Γεράνεια-Όρη>).

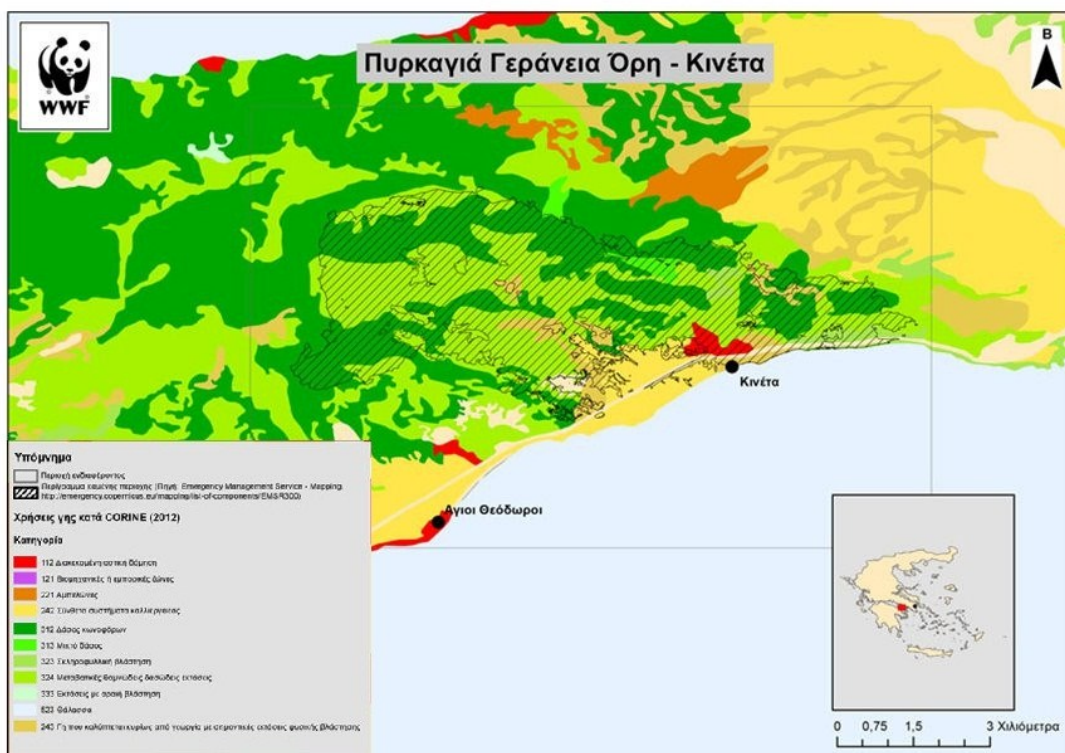
Το βουνό διαθέτει πλούσια χλωρίδα από πεύκα, δρύες, έλατα και αποτελεί βιότοπο περίπου 950 ειδών φυτών, από τα οποία τα 83 είναι ενδημικά της Ελλάδας, και δεκάδων ειδών ζώων. Επίσης, στα Γεράνεια όρη πηγάζουν τα νερά του γνωστού νερού Λουτρακίου. Τα Γεράνεια διαθέτουν πολυδιάστατη οικολογική ταυτότητα και γι' αυτόν το λόγο έχουν ενταχθεί στο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000 ως Τόπος Κοινοτικής Σημασίας με κωδικό GR2530005 «Όρη Γεράνεια», ενώ η περιοχή Πλάτανος – Παρθί – Μύλοι έχει οριστεί ως Καταφύγιο Άγριας Ζωής «Περιοχή Γερανείων Δήμου Μεγάρων» (Εικ. 3.2) (<http://www.visitkorinthia.gr>).





**Εικόνα 3.2** Η περιοχή Natura 2000 και το Καταφύγιο Άγριας Ζωής στα Γεράνεια Όρη, σε συνδυασμό με την πρόσφατα καμμένη έκταση (<http://www.wwf.gr/news/2108-matia-zois-gia-to-mellon>).

Η βλάστηση του βουνού αποτελείται από μεσογειακή μακία, φρύγανα και μεγάλα δάση από χαλέπιο πεύκη στα χαμηλά, που ακολουθείται από πυκνά δάση κεφαλληνιακής ελάτης καταλήγοντας στην αραιή βλάστηση των κορυφών. Σε λίγα σημεία του βουνού υπάρχουν μικρά δάση μαύρης πεύκης. Πλατάνια, πουρνάρια, αριές, χνουδοβελανιδιές, κουμαριές, αγριελιές, σχίνα, χαρουπιές, αγριοαμυγδαλιές, πικροδάφνες και μυρτιές συμπληρώνουν τα δενδρώδη είδη του βουνού. Στην πανίδα της περιοχής περιλαμβάνονται πολλά είδη орνιθοπανίδας, νυχτόβια αρπακτικά, αμφίβια, ερπετά, έντομα και πολλά θηλαστικά της άγριας φύσης (<http://www.naturagraeca.com/ws/122,184,80,1,1,Γεράνεια-Όρη>). Όσον αφορά στις χρήσεις γης στην περιοχή γύρω από τον οικισμό της Κινέτας, επικρατούν οι μεταβατικές θαμνώδεις δασώδεις εκτάσεις με κάποιες περιοχές να είναι αμιγώς δάση κωνοφόρων, ενώ εντός του οικισμού υπάρχουν σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, τμήματα με φυσική βλάστηση και διακεκομμένη αστική δόμηση (Εικ. 3.3). Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή έρευνας υπάρχουν καλλιέργειες ελιάς και έντονη είναι η παρουσία πεύκων, με πολλούς οικισμούς να βρίσκονται εντός του πευκοδάσους. Επιπλέον σχίνα και αρμυρίκια πλαισιώνουν το τοπίο.

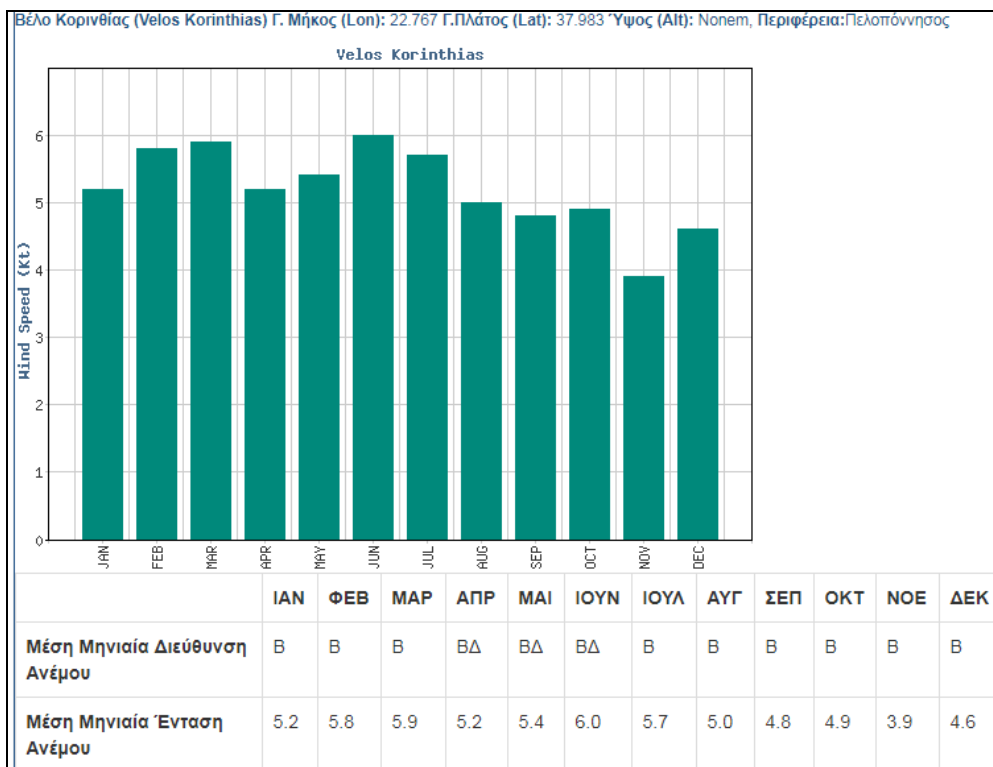


**Εικόνα 3.3** Οι χρήσεις γης της περιοχής κατά Corine (2012) (<http://www.wwf.gr/news/2108-matia-zois-gia-to-mellon>).

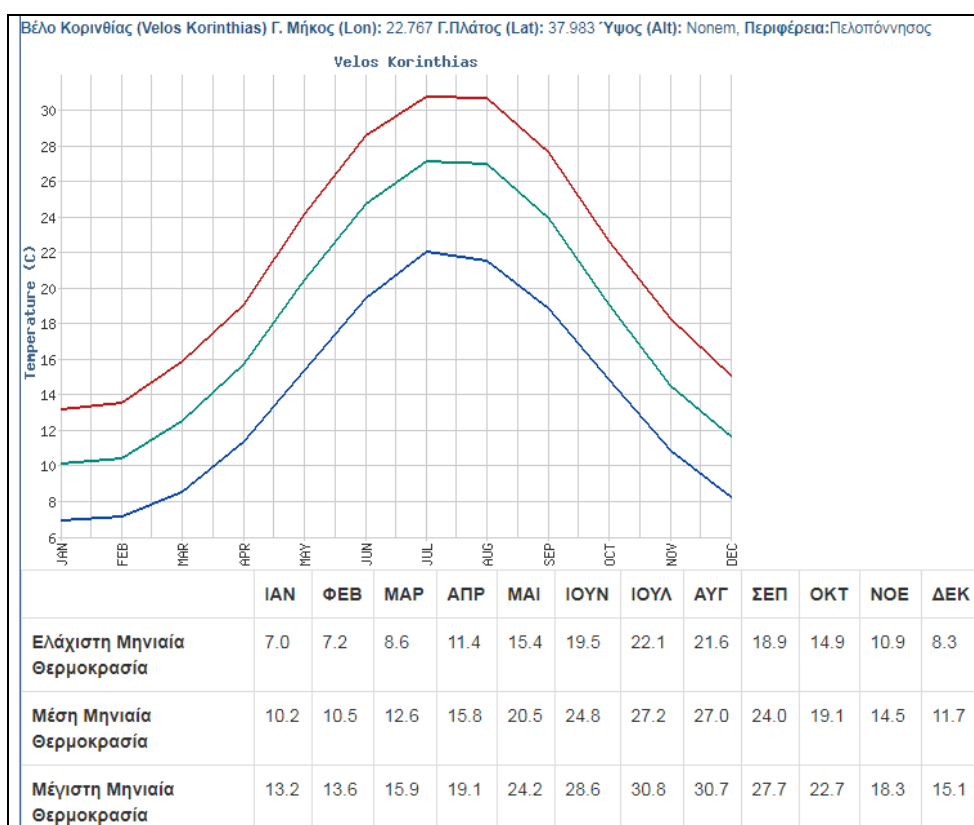
### 3.2 Το κλίμα της περιοχής

Το κλίμα της περιοχής είναι τυπικό μεσογειακό και επηρεάζεται καθοριστικά από την κίνηση των αέριων μαζών από τον Κορινθιακό προς τον Σαρωνικό κόλπο (B-BΔ) που είναι και ο επικρατών άνεμος (Εικ. 3.4). Παρακάτω παρουσιάζονται τα κλιματικά δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) στην περιοχή Βέλο Κορινθίας, η οποία απέχει 39 km από την περιοχή έρευνας (<http://www.hnms.gr>). Ο εν λόγω σταθμός επιλέχθηκε τόσο λόγω της εγγύτητας με την περιοχή έρευνας αλλά και του γεγονότος ότι διαθέτει πλήρη χρονικά κλιματικά δεδομένα.

Όσον αφορά στην θερμοκρασία, το θέρος λόγω της θαλάσσιας αύρας είναι σχετικά δροσερό και διαρκεί από τον Ιούνιο έως το Σεπτέμβριο. Θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Στην περιοχή δεν παρατηρείται ποτέ παγετός και η θερμοκρασία σπάνια πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα, ενώ κυμαίνεται κοντά στους 10°C (Εικ. 3.5).

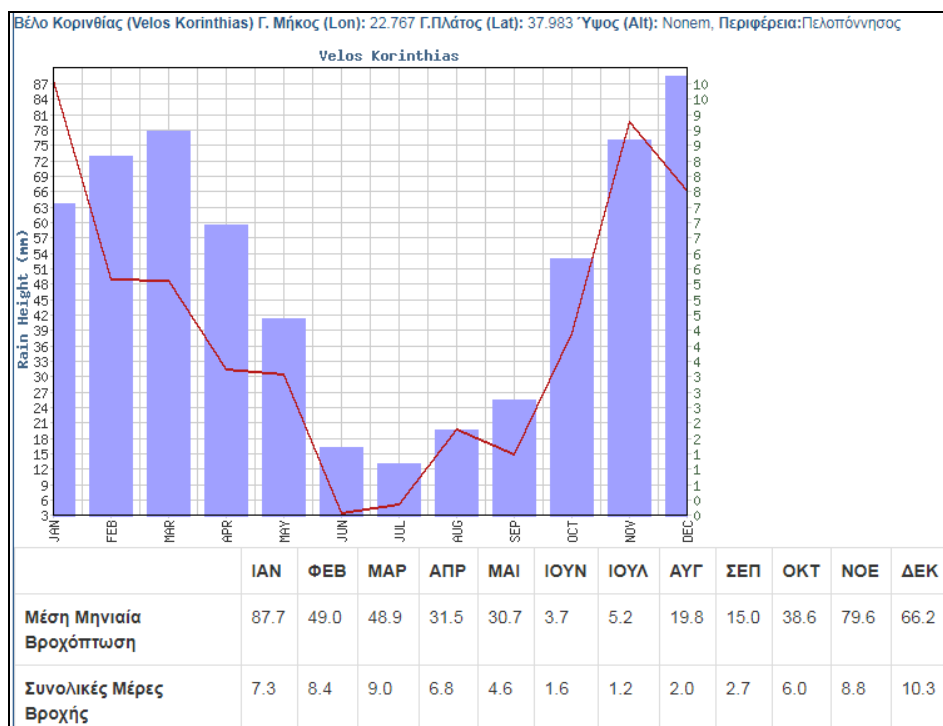


Εικόνα 3.4 Επικρατέστεροι άνεμοι περιοχής (<http://www.hnms.gr>).



Εικόνα 3.5 Θερμοκρασίες περιοχής (<http://www.hnms.gr>).

Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 450 mm με το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων (70-80%) να συμβαίνει τους μήνες Οκτώβριο έως Μάρτιο. Οι μέγιστες βροχοπτώσεις παρουσιάζονται τον μήνα Ιανουάριο, ενώ οι ελάχιστες τον μήνα Ιούλιο, όπως διαπιστώνεται και από τον πίνακα βροχοπτώσεων (Εικ. 3.6).



Εικόνα 3.6 Βροχοπτώσεις περιοχής (<http://www.hnms.gr>).

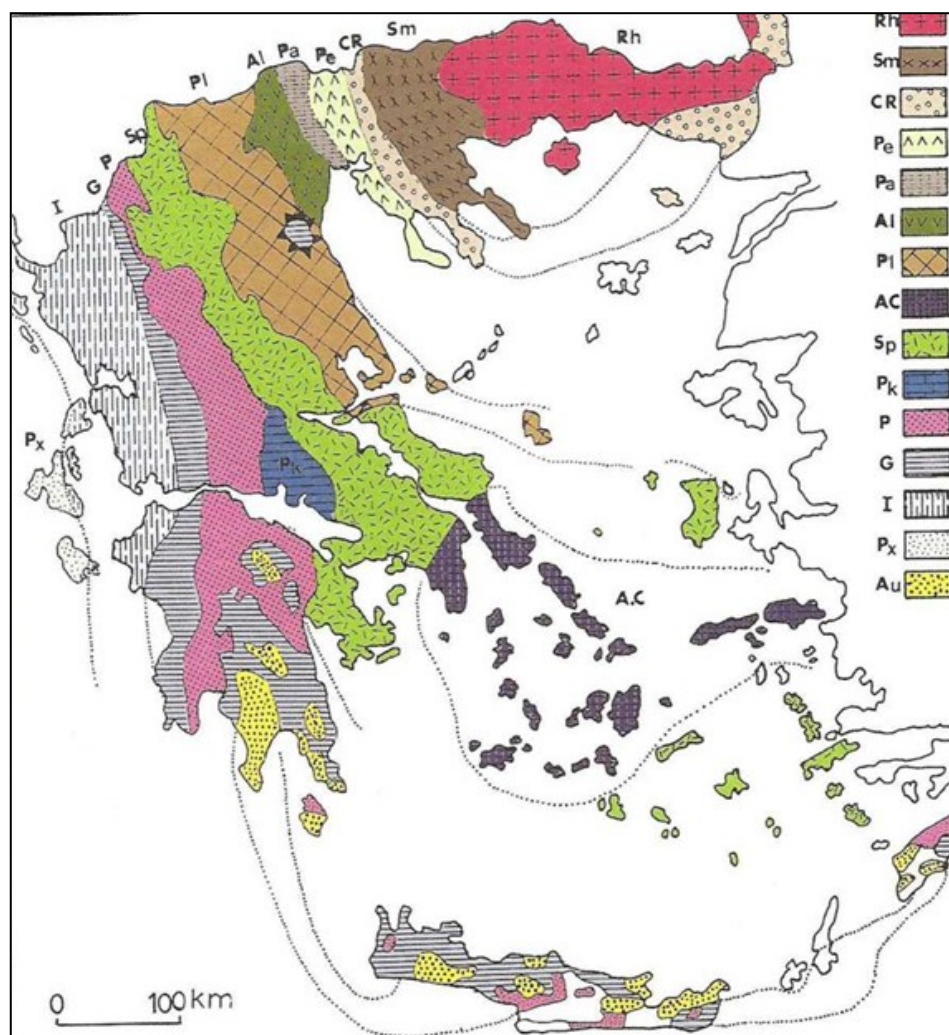
### 3.3 Η γεωλογία της περιοχής

Οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας χωρίζονται σε 2 ενότητες:

- Τις Εσωτερικές Ελληνίδες
- και τις Εξωτερικές Ελληνίδες.

Η ονομασία αυτή προέκυψε, διότι οι πρώτες κατέχουν τα εσωτερικά τόξα των Ελληνίδων οροσειρών, ενώ οι δεύτερες τα εξωτερικά τόξα. Τόσο οι Εσωτερικές, όσο και οι Εξωτερικές Ελληνίδες χωρίζονται σε επιμέρους ζώνες, οι οποίες από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά (Εικ. 3.7) είναι οι εξής: (α) η μάζα της Ροδόπης, (β) η Σερβομακεδονική μάζα, (γ) η Περιροδοπική ζώνη, (δ) η ζώνη Αξιού, η οποία διαχωρίζεται στις υποζώνες Παιονίας, Πάικου και Αλμωπίας, (ε) η Πελαγονική ζώνη, (στ) η Απικο-Κυκλαδική ζώνη, (ζ) η Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη «Ανατολικής Ελλάδας», (η) Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, (θ) η ζώνη Ωλονού-

Πίνδου, (ι) η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, (ια) η Αδριατικοϊόνιος ζώνη ή Ιόνιος ζώνη και (ιβ) η ζώνη Παξών ή Προαπουλία (Mountrakis, 2010).

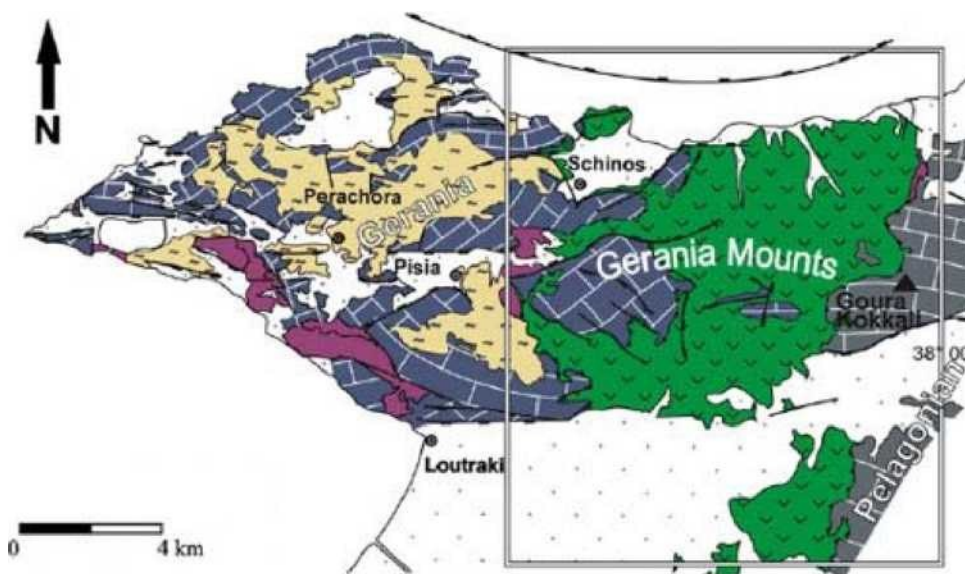


**Εικόνα 3.7** Γεωτεκτονικό σχήμα το οποίο απεικονίζει τις ισοτοπικές ζώνες της Ελλάδας. Rh:Μάζα της Ροδόπης, Sm:Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοτική ζώνη, (Pe:Ζώνη Παιανίας, Pa:ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας)= ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac:Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk:Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας P: Ζώνη Ωλονού-Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα Ταλέα όρη-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, πιθανόν της Ιονίου Ζώνης (Mountrakis, 2010).

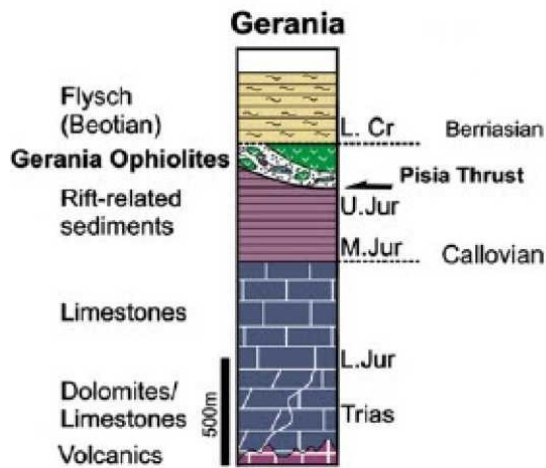
Η περιοχή των Γερανείων Ορέων αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς που κατατάσσονται στη Υποπελαγονική Ζώνη και Βοιωτική Ζώνη, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ της Υποπελαγονικής και της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας έχοντας μια ιδιαίτερη ενότητα πετρωμάτων. Στην περιοχή επικρατούν Πλειοκαινικά (Νεογενή) και Πλειστοκαινικά (Τεταρτογενή) ιζήματα, τα οποία έχουν αποτεθεί ασύμφωνα πάνω στο αλπικό υπόβαθρο. Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΙΓΜΕ, στην περιοχή υπάρχουν Μέσοι Τριαδικοί - Μέσοι Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες

της Πελαγονικής, ενώ χαρακτηριστικοί είναι και οι οφιόλιθοι των Γερανείων Ορέων (ΙΓΜΕ, 1984).

Η ενότητα των Γερανείων περιλαμβάνει από την βάση προς την κορυφή (Εικ. 3.8-3.9): (α) ηφαιστειο-ιζηματογενή ακολουθία Πέρμιας περιόδου (Borponas et al., 1984), (β) νηρητικούς γκρι ασβεστόλιθους και δολομίτες ( $MgCa(CO_3)_2$ ) Άνω Τριαδικής-Κάτω Ιουρασικής περιόδου πάχους 500m (Clement, 1971), (γ) μια ακολουθία Άνω Ιουρασικής περιόδου που επικαλύπτεται είτε από ερυθρούς αμμωνιτοφόρους ασβεστόλιθους (Βαθώνιο-Οξφόρδιο) είτε από ραδιολαρίτες ( $SiO_2$ ) (Clement, 1983), (δ) βοιωτικός φλύσχη (σχηματισμός από πετρώματα, κυρίως αργιλικά και ανθρακικά, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες) και (ε) οφιολιθικό κάλυμμα (λεπτές φέτες παλαιού ωκεάνιου φλοιού και φυσική πηγή Cr) με 10km μήκος και 5km πλάτος (Karlanis et al., 2012). Περιστασιακά, στην επαφή μεταξύ του βοιωτικού φλύσχη και των ιζημάτων του Οξφορδίου έχουν παρατηρηθεί εμφανίσεις μεταλλευμάτων μαγγανίου (Borponas et al., 1984). Το οφιολιθικό κάλυμμα αποτελείται κυρίως από σερπεντινωμένο λερζόλιθο (υπερβασικό πυρογενές πέτρωμα –  $SiO_2$ ). Απουσιάζουν οι λάβες, οι σωρείτες και άλλες λιθολογίες μιας τυπικής οφιολιθικής ακολουθίας. Τεμάχη λάβας, σωρειτών και ωκεάνιων ιζημάτων έχουν βρεθεί σε melange και σε ιζήματα σε Νεογενείς λεκάνες της περιοχής (Karlanis et al., 2012).

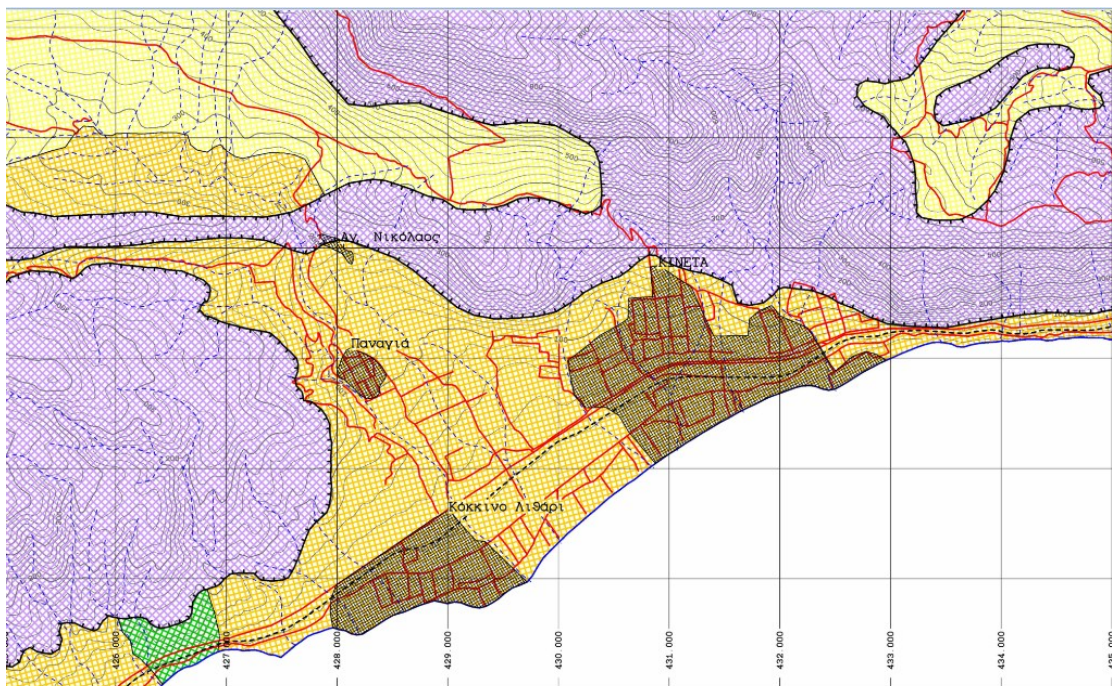


**Εικόνα 3.8** Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας, τροποποιημένος από το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Karlanis et al., 2012).



**Εικόνα 3.9** Στρωματογραφική στήλη ενότητας Γερανείων Όρεων (Karlanis et al., 2012).

Πιο συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή έρευνας τα βασικά πετρώματα που εμφανίζονται είναι (Μπεζές, 2011): (α) άμμοι, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή λιμναίων φάσεων σε εναλλασσόμενες στρώσεις Μέσου – Ανώτερου Μειοκαίνου, (β) μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή κίτρινου ή καστανού χρώματος Ανώτερου Μειοκαίνου, ενώ περιέχονται και μεγάλα τεμάχια από μεσοζωικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι σχηματίστηκαν κατά την τοποθέτηση των ανθρακικών τεκτονικών καλυμμάτων επί του οφιολιθικού υποβάθρου και (γ) ασβεστόλιθοι και δολομίτες Κατώτερου – Μέσου Ιουρασικού (Εικ. 3.10-3.11).



**Εικόνα 3.10** Γεωτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Κινέτας (Μπεζές, 2011) (<http://geolokarta.blogspot.com/search/label/Γεράνεια>).

## ΥΠΟΜΝΗΜΑ



**Εικόνα 3.11** Υπόμνημα γεωτεκτονικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής Κινέτας (Μπεζές, 2011) (<http://geolokarta.blogspot.com/search/label/Γεράνεια>).

Παράλληλα, θα πρέπει να σημειωθεί πως στη βάση των επωθημένων ασβεστολιθικών καλυμμάτων της ευρύτερης περιοχής, έχουν συσσωρευθεί και τα υλικά που σχηματίζουν τα κοιτάσματα των βωξιτών και των σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων. Τα υλικά αυτά είναι αλλόχθονα, προέρχονται από την λατεριτίωση των οφιολίθων και μεταφέρθηκαν στην σημερινή τους θέση κατά την φάση της τοποθέτησης των ασβεστολιθικών καλυμμάτων. Έτσι, το βωξιτικό κοίτασμα σχηματίστηκε κάπου αλλού από όπου βρίσκεται σήμερα, με την βοήθεια της λατεριτικής αποσαθρώσεως, και ύστερα έπαθε διάβρωση, μεταφορά και απόθεση στην σημερινή του θέση, σε μορφή αλλουβιακή (Μπεζές, 2011) (<http://geolokarta.blogspot.com/search/label/Γεράνεια>).

### 3.4 Η δασική πυρκαγιά στην περιοχή

Τη Δευτέρα 23 Ιουλίου 2018, στις 12:03 μμ περίπου, εκδηλώθηκε πυρκαγιά στην περιοχή «Αέρας» στα Γεράνεια Όρη. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι στην περιοχή έπνεαν πολύ ισχυροί Δυτικοί-Βορειοδυτικοί άνεμοι με ριπές έντασης 7 Bf, γεγονός που βοήθησε στην ταχεία εξάπλωσή της (Γκουρμπάτσης, 2018).

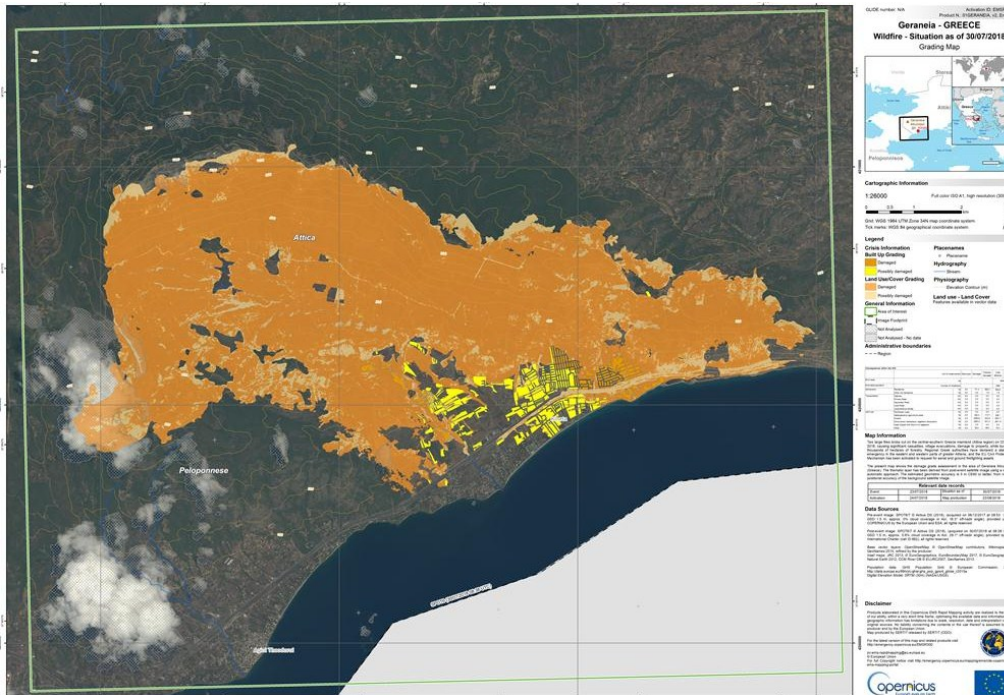


Όπως προκύπτει από τα στοιχεία της δορυφορικής υπηρεσίας Copernicus Emergency Management Service (EMS) της ΕΕ, από την πυρκαγιά καταστράφηκε συνολική έκταση 56.133 στρ. εκ των οποίων 53.157 στρ. δασών και δασικών εκτάσεων και 2.976 στρ. οικιστικών περιοχών (Εικ. 3.12). Η πυρκαγιά, έκαψε επίσης μέρος της περιοχής Natura 2000 Τόπος Κοινοτικής Σημασίας με κωδικό GR2530005 «Όρη Γεράνεια» και του Καταφυγίου Άγριας Ζωής «Περιοχή Γερανείων Δήμου Μεγάρων» (<http://www.wwf.gr/news/2108-matia-zois-gia-to-mellon>). Η έκταση και η ένταση της πυρκαγιάς ήταν τόσο μεγάλη, που ακόμη και μετά από τρία 24ωρα από την εκδήλωσή της, αν και βρισκονταν σε ύφεση, συνέχιζε να καίει στην περιοχή.



**Εικόνα 3.12** Φωτογραφική απεικόνιση της καμένης δασικής έκτασης κατά την δασική πυρκαγιά της 23<sup>ης</sup> Ιουλίου 2018 στα Γεράνεια Όρη.

Το σύστημα Copernicus αποτύπωσε δορυφορικά το μέγεθος της καταστροφής στην περιοχή έρευνας και απέδωσε την συνολική εικόνα (Εικ. 3.13). Πιο συγκεκριμένα, με πορτοκαλί χρώμα αποτυπώνεται το σύνολο της εδαφικής έκτασης (συμπεριλαμβανομένου της βλάστησης) που έχει καεί ολοσχερώς, ενώ με ανοιχτό πορτοκαλί οι αντίστοιχες περιοχές που κάηκαν μερικώς. Επίσης, με κίτρινο χρώμα αποτυπώνεται η περιοχή των οικισμών που πιθανώς να παρουσίασαν κάποιες ζημιές από την πυρκαγιά, ενώ με καφέ είναι οι οικισμοί στους οποίους υπάρχουν καμμένα κτίρια. Από τα στοιχεία αυτά, είναι προφανές πως οι περισσότερες πυρόπληκτες οικίες εντοπίζονται στις συνοικίες Γαλήνη, Άνω Κινέτα (Μαρούγκας) και Πανόραμα Κινέτας.



**Εικόνα 3.13** Δορυφορική εικόνα της πυρόπληκτης έκτασης στην ευρύτερη περιοχή της Κινέτας από την υπηρεσία Copernicus Emergency Management Service (EMS) (<http://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR300>).

Αξίζει να σημειωθεί πως στην εν λόγω πυρκαγιά εφαρμόστηκε από τα αρμόδια κατά το νόμο όργανα επιτυχώς οργανωμένη απομάκρυνση των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής Κινέτας, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν θύματα από την πυρκαγιά (Γκουρμπάτσης, 2018). Παρόλα αυτά πολλά κτίρια (κυρίως κατοικίες) καταστράφηκαν ολοσχερώς και άλλα μερικώς, ενώ αρκετά ήταν και τα αυτοκίνητα που κάηκαν (Εικ 3.14).



**Εικόνα 3.14** Φωτογραφική απεικόνιση καμμένου αυτοκινήτου στην Κινέτα κατά την δασική πυρκαγιά της 23ης Ιουλίου 2018 στα Γεράνεια Όρη.

Σύμφωνα με τα απολογιστικά στοιχεία του Υπουργείου Μεταφορών και Υποδομών, τα οποία αφορούν σε αυτοψίες που διενεργήθηκαν στην περιοχή της Κινέτας από μηχανικούς, ελέγχθηκαν 690 κτίρια από τα οποία τα 225 χαρακτηρίστηκαν «κόκκινα» (πλήρως κατεστραμμένα) και 95 «κίτρινα» (μερικώς κατεστραμμένα – επισκευάσιμα) (Εικ 3.15).



**Εικόνα 3.15** Φωτογραφική απεικόνιση καμμένης οικίας στην Κινέτα κατά την δασική πυρκαγιά της 23ης Ιουλίου 2018 στα Γεράνεια Όρη.

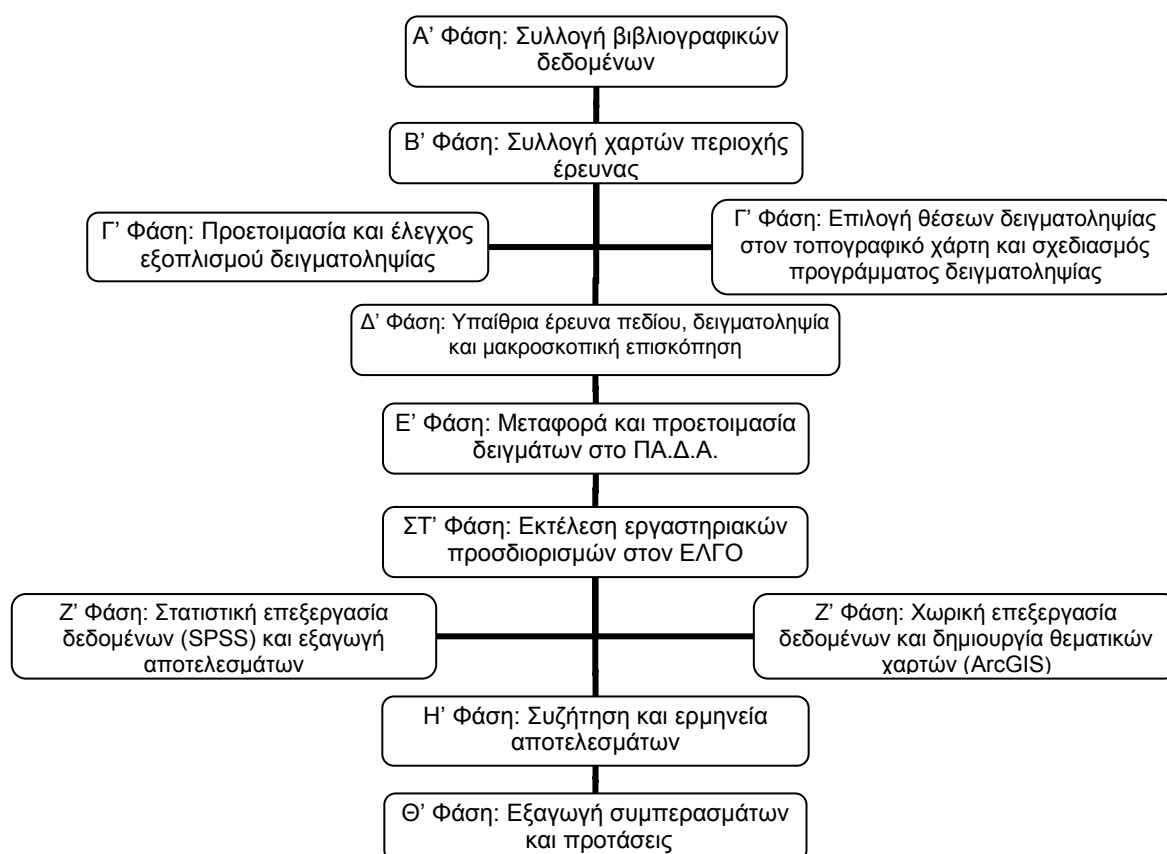


# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### 4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύνολο των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και η μεθοδολογία για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθήθηκε μια σειρά από οργανωμένα στάδια-φάσεις μέχρι την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων. Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζονται σχηματικά οι φάσεις εκπόνησης της εν λόγω έρευνας και η προετοιμασία που απαιτήθηκε προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος, τόσο στην έρευνα πεδίου, όσο και στην επεξεργασία των δεδομένων.



Εικόνα 4.1 Μεθοδολογία εκπόνησης της έρευνας στο έδαφος της περιοχής Κινέτας.

Συνοπτικά, η μεθοδολογία της εργασίας ξεκίνησε με την συλλογή της απαιτούμενης βιβλιογραφίας, για το σύνταξη του θεωρητικού μέρους της διπλωματικής εργασίας, αλλά και όλων εκείνων των στοιχείων της περιοχής έρευνας που κρίθηκαν απαραίτητα προκειμένου να κάνουν την εργασία πεδίου λειτουργική. Στο αμέσως επόμενο στάδιο αναζητήθηκαν όλοι οι διαθέσιμοι χάρτες της περιοχής έρευνας για τον σωστότερο σχεδιασμό της δειγματοληψίας. Στη συνέχεια, προετοιμάστηκε ο απαιτούμενος εξοπλισμός τόσο για την συλλογή των εδαφικών δειγμάτων, όσο και για την καταγραφή των συντεταγμένων (GPS) σε κάθε θέση δειγματοληψίας. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας σε τοπογραφικό χάρτη και ο αναλυτικός σχεδιασμός του προγράμματος δειγματοληψίας. Κατά την υπαίθρια έρευνα πεδίου, έγινε δειγματοληψία και μακροσκοπική επισκόπηση της πυρκαγιάς, ενώ τα δείγματα που ελήφθησαν μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Γεωπεριβαλλοντικής Επιστήμης και Διασφάλισης Ποιότητας Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, όπου προετοιμάστηκαν (αεροζήρανση, ομογενοποίηση, κοσκίνισμα και διαλογή) για την περαιτέρω ανάλυσή τους. Οι εργαστηριακοί προσδιορισμοί πραγματοποιήθηκαν στο Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων (Τμήμα Εδαφολογίας Αθηνών) του Ελληνικού Γεωργικού Οργανισμού (ΕΛΓΟ) «ΔΗΜΗΤΡΑ». Για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν, απαιτήθηκε η απόκτηση εμπειρίας σε στατιστικά προγράμματα (Microsoft Excel και IBM SPSS Statistics 20), ενώ για την χωρική επεξεργασία των δεδομένων και τη δημιουργία θεματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS) ArcGIS 10.4 (ESRI). Τέλος, για την συζήτηση των αποτελεσμάτων, κρίθηκε απαραίτητη η αναζήτηση και η καταγραφή προηγούμενων ερευνών με σκοπό την επαλήθευση και την διασταύρωση των ευρημάτων της παρούσας έρευνας, προκειμένου να εξαχθούν τελικά στοιχειοθετημένα συμπεράσματα.

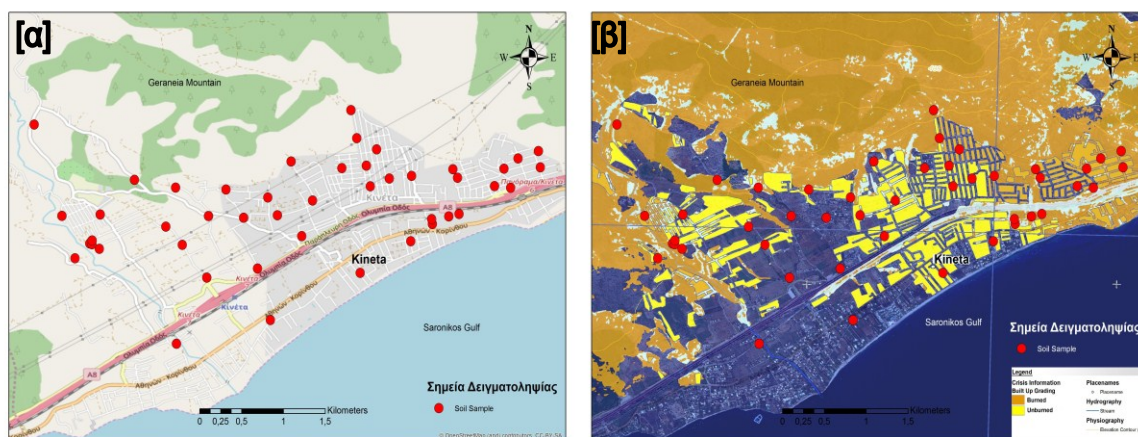
## **4.2 Δειγματοληψία**

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Κινέτας, τόσο εντός όσο και εκτός των επιμέρους οικισμών της περιοχής. Σκοπός της δειγματοληψίας ήταν να αξιολογηθεί η κατανομή των χημικών στοιχείων στο έδαφος της πυρόπληκτης περιοχής και να συγκριθεί με αυτήν στο έδαφος της ανεπηρέαστης περιοχής. Για

να επιτευχθεί αυτό, ελήφθησαν εδαφικά δείγματα και από τις δύο υποπεριοχές, προκειμένου να διαπιστωθεί η μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εδάφους πριν και μετά την πυρκαγιά. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 18, 24 και 26 Σεπτεμβρίου 2018, με αίθριες καιρικές συνθήκες και χωρίς να έχουν εκδηλωθεί προηγουμένως έντονες βροχοπτώσεις, σύμφωνα και με τα ιστορικά δεδομένα βροχοπτώσεων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (<http://meteosearch.meteo.gr/stationInfo.asp>), οι οποίες θα αλλοίωναν τα εδαφικά δείγματα και θα απομάκρυναν τυχόν μέταλλα και ιχνοστοιχεία από την περιοχή.

Η συλλογή των εδαφικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τους Salminen et al. (2005). Η συνολική έκταση της δειγματοληψίας στην περιοχή Κινέτας υπολογίζεται περίπου σε 9.000 στρ. Προκειμένου η δειγματοληψία να είναι όσο πιο αντιπροσωπευτική γίνεται για όλη αυτή την έκταση, η επιφάνεια της περιοχής έρευνας χωρίστηκε με κάνναβο δειγματοληψίας διαστάσεων 500 m X 500 m σύμφωνα με την γεωγραφία της περιοχής. Περιοριστικός, δε, παράγοντας για τις θέσεις δειγματοληψίας αποτέλεσε το οδικό δίκτυο της περιοχής βάσει του οποίου υπήρχε η κατάλληλη προσβασιμότητα, η ρυμοτομία κάθε οικισμού και το ανάγλυφο του τοπίου. Επιπλέον, κριτήριο για την συχνότητα δειγματοληψίας αποτέλεσε το γεγονός εάν το εδαφικό δείγμα ήταν σε πυρόπληκτη ή μη περιοχή.

Με γνώμονα τα ανωτέρω, ελήφθησαν συνολικά 46 εδαφικά δείγματα από διάφορα αντιπροσωπευτικά σημεία εκ των οποίων τα 25 από αυτά ήταν εντός περιοχών που είχαν επηρεαστεί από την πυρκαγιά, ενώ τα υπόλοιπα 21 σε μη καμμένες εκτάσεις (Εικ. 4.2).



**Εικόνα 4.2** (α) Γενικός χάρτης δειγματοληψίας περιοχής Κινέτας και (β) χάρτης δειγματοληψίας με τις πυρόπληκτες περιοχές Κινέτας.

Η πυκνότητα λήψης των εδαφικών δειγμάτων, για την πυρόπληκτη περιοχή, ήταν από 500 m και εγγύτερα, ενώ για τα εδαφικά δείγματα στις μη πυρόπληκτες περιοχές, η πυκνότητα μεταξύ τους κυμαίνονταν από 500 m έως 1.000 m. Επίσης, καταβλήθηκε προσπάθεια για την λήψη δειγμάτων έξω από τον οικισμό κοντά στις παρυφές του ορεινού όγκου των Γερανείων Ορέων.

Από κάθε σημείο δειγματοληψίας λήφθηκε επιφανειακό εδαφικό δείγμα βάθους 0-5 cm. Για την λήψη του δείγματος, ορίζονταν στο σημείο δειγματοληψίας μια μικρή επιφάνεια διαστάσεων 1 m X 1 m, η οποία καθαρίζονταν από πέτρες, πευκοβελόνες, βλάστηση και άλλα άχρηστα υλικά, και εν συνεχεία με την βοήθεια ενός σφυριού αναμοχλεύονταν έως βάθος 5 cm για την λήψη του δείγματος με την βοήθεια μιας σέσουλας. Έπειτα, το εδαφικό δείγμα φυλάσσονταν σε σακούλα πολυαιθυλενίου (PE) μέχρι την μεταφορά του στο χώρο του εργαστηρίου (Εικ. 4.3).



**Εικόνα 4.3** Δειγματοληψία επιφανειακού εδαφικού δείγματος.

Παράλληλα σε δώδεκα (12) από τις προαναφερθείσες θέσεις, λήφθηκε και εδαφικό δείγμα σε μεγαλύτερο βάθος (5-25 cm) με την βοήθεια ειδικού δειγματολήπτη εδάφους (soil auger) (Κελεπερτζής, 1993). Ο δειγματολήπτης που χρησιμοποιήθηκε είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα, με βραχίονα – στέλεχος σταθερού μήκους και κύριο σώμα σε μορφή σωλήνα με τριγωνικές αιχμηρές απολήξεις (δόντια). Η διείδυση του δειγματολήπτη στο έδαφος επιτυγχάνεται με ταυτόχρονη πίεση προς τα κάτω και περιστροφή κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού. Τα εδαφικά δείγματα αυτά, επίσης, τοποθετούνταν σε πλαστικές σακούλες ενώ σημαίνονταν διαφορετικά (Εικ. 4.4).





**Εικόνα 4.4** (α) Δειγματολήπτης εδάφους (soil auger) και (β) δειγματοληψία εδαφικού δείγματος βάθους 5-25 cm.

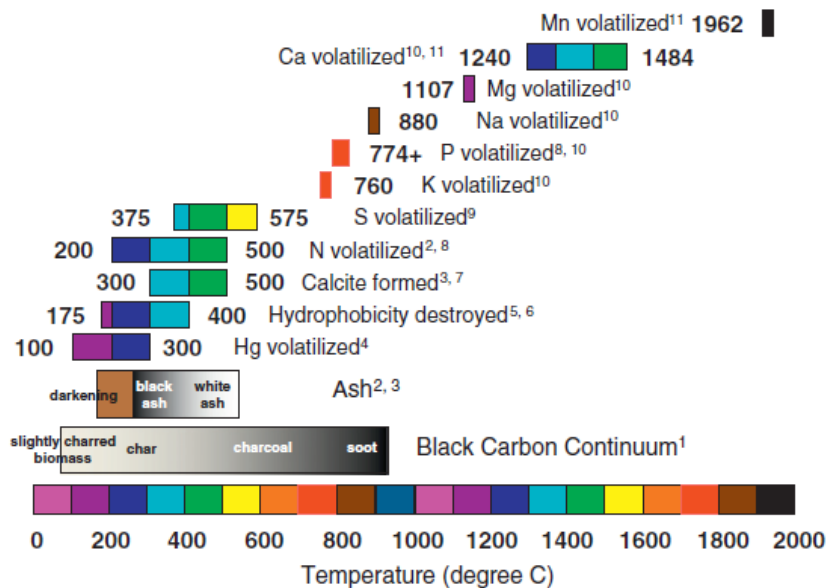
Τέλος, με γνώμονα το γεγονός ότι το σύνολο των επιφανειακών δειγμάτων ανέρχεται σε 46, σε τέσσερις (4) τυχαίες θέσεις από τις προαναφερθείσες, λήφθηκε και διπλό εδαφικό δείγμα. Η διαδικασία αυτή έγινε σύμφωνα με τον κανονισμό 153/04 του Οντάριο, όπου είναι υποχρεωτικό να λαμβάνεται ένα διπλό δείγμα εδάφους ανά δέκα δείγματα που υποβάλλονται στο εργαστήριο (APGO, 2011). Ουσιαστικά, διπλό δείγμα είναι ένα δεύτερο δείγμα που συλλέγεται από την ίδια τοποθεσία και βάθος με το αρχικό δείγμα με παρόμοια διαδικασία συλλογής. Η διαδικασία του διπλού δείγματος χρησιμοποιείται για να διερευνηθεί εάν η διαδικασία δειγματοληψίας είναι αξιόπιστη και επαρκής, οι αναλύσεις που διεξάγονται από το εργαστήριο είναι ακριβείς και η εδαφική μήτρα είναι ετερογενής ή όχι.

#### **4.3 Μακροσκοπική επισκόπηση πυρκαγιάς**

Παράλληλα με την εκτέλεση της δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε και μακροσκοπική επισκόπηση για την δριμύτητα της πυρκαγιάς. Η εν λόγω επισκόπηση πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια της χρωματικής κλίμακας της Εικόνας 4.5. Στην εν λόγω κλίμακα, παρουσιάζεται η μεταβολή της χημείας και του χρώματος του εδάφους και της τέφρας, σύμφωνα με την μεταβολή της

θερμοκρασίας της πυρκαγιάς. Έτσι, με βάση το χρώμα της στάχτης και το χρώμα του εδάφους από την καμμένη βιομάζα, μπορεί να προσδιοριστεί περίπου το ύψος της θερμοκρασίας που είχε μια πυρκαγιά κατά την διάρκεια της εκδήλωσής της.

Έχοντας την χρωματική κλίμακα κατά την δειγματοληψία και παρατηρώντας το χρώμα της τέφρας, το οποίο έκλινε προς το μαύρο, καθώς και την καμμένη βιομάζα του εδάφους, η οποία αποτελούνταν από καβουρδισμένα κλαδιά και κούτσουρα και καμμένη επιφανειακή βλάστηση, εξήλθε το συμπέρασμα ότι η πυρκαγιά στην περιοχή Κινέτας είχε τα χαρακτηριστικά μιας πυρκαγιάς μέτριας δριμύτητας.



**Εικόνα 4.5** Σημαντικά όρια θερμοκρασίας τα οποία επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του εδάφους και της τέφρας (Bodi et al., 2014).

#### 4.4 Προετοιμασία δειγμάτων εδάφους

Τα εδαφικά δείγματα που ελήφθησαν μεταφέρθηκαν σε προστατευόμενο χώρο του Εργαστηρίου Γεωπεριβαλλοντικής Επιστήμης και Διασφάλισης Ποιότητας Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και απλωθήκανε σε ταψάκια καλυμμένα με πολυαιθυλενικό υλικό, για αποφυγή τυχόν ρύπανσης. Ο χώρος ήταν καλά αεριζόμενος με θερμοκρασία <math><25^{\circ}\text{C}</math>, προκειμένου να γίνει η αεροξήρανσή τους. Η αεροξήρανση διήρκεσε από 3 έως και 10 ημέρες ανάλογα με την υγρασία την οποία είχε το κάθε εδαφικό δείγμα, ενώ ανά διαστήματα τα δείγματα

αναμοχλεύονταν με την βοήθεια πλαστικής σέσουλας προκειμένου να εξασφαλισθεί η απομάκρυνση της υγρασίας από όλη τη μάζα τους (Εικ. 4.6).



**Εικόνα 4.6** Προετοιμασία και τοποθέτηση δειγμάτων σε ταψάκια καλυμμένα με πολυαιθυλενικό υλικό για αεροζήρανση.

Μετά την αεροζήρανση ακολούθησε ήπια λειοτρίβηση, προκειμένου να εξαλειφθούν τυχόν σβόλοι, και στη συνέχεια κοσκίνισμα με τη βοήθεια ειδικών πλαστικών κόσκινων (για την αποφυγή ρύπανσης από μέταλλο). Πριν τη διαδικασία του κοσκινίσματος τα εδαφικά δείγματα ομογενοποιήθηκαν και στην συνέχεια τετραμερίστηκαν προκειμένου να κρατηθεί αντιδείγμα. Τα τελικά εδαφικά δείγματα αρχικά κοσκινίστηκαν από κόσκινο με άνοιγμα οπών  $< 2 \text{ mm}$  και στη συνέχεια από κόσκινο με άνοιγμα οπών  $< 0,2 \text{ mm}$  (Εικ. 4.7α).



**Εικόνα 4.7** (α) Υπόδειγμα τελικού κλάσματος από κάθε κόσκινο και (β) τελικά εδαφικά δείγματα προς ανάλυση.

Η περαιτέρω ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων βασίστηκε στο κλάσμα που κρατήθηκε από το λεπτότερο κόσκινο (<0,2 mm) (Κελεπερτζής, 1993; Salminen et al., 1998). Εν συνεχεία, από το κλάσμα αυτό, έγινε διαλογή σε κατάλληλες ποσότητες (επιμέρους σακουλάκια) ανάλογα με τη τελική διαθέσιμη ποσότητα και το είδος των εργαστηριακών προσδιορισμών που θα ακολουθούσαν (Εικ. 4.7β).

Τα τελικά εδαφικά δείγματα μεταφέρθηκαν προς ανάλυση στο Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων (Τμήμα Εδαφολογίας Αθηνών) του Ελληνικού Γεωργικού Οργανισμού (ΕΛΓΟ) «ΔΗΜΗΤΡΑ», το οποίο ανήκει στο Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Από το σύνολο των δειγμάτων που ελήφθησαν αρχικά, ελέγχθηκαν 43 επιφανειακά εδαφικά δείγματα (0-5 cm), 6 εδαφικά δείγματα βάθους (5-25 cm) και 4 διπλά επιφανειακά εδαφικά δείγματα. Κριτήριο για την επιλογή των προς έλεγχο δειγμάτων στον ΕΛΓΟ, ήταν η τελική διαθέσιμη ποσότητα, σε σχέση με αυτήν που απαιτούνταν για κάθε έλεγχο (min 50 gr). Για όλα τα εδαφικά δείγματα (ελεγχθέντα και μη στον ΕΛΓΟ), κρατήθηκε ελάχιστον αντιδείγμα (min 10 gr).

Τα εδαφικά δείγματα, πριν την έναρξη των εργαστηριακών προσδιορισμών, ζυγίζονταν και εν συνεχεία τοποθετούνταν για 24 h σε θαλάμους αεροξήρανσης στους 40°C, με σκοπό την μέγιστη απομάκρυνση της υγρασίας τους. Εν συνεχεία, ζυγίζονταν ξανά και τοποθετούνταν σε πλαστικά δοχεία με σκοπό την μεταφορά τους στο εργαστήριο. Στο στάδιο αυτό, το μέσο ποσοστό της υγρασίας επί ξηρού βάρους των δειγμάτων ήταν 2,22% (Εικ. 4.8α)



**Εικόνα 4.8** (α) Θάλαμος αεροξήρανσης δειγμάτων και (β) φούρνος ξήρανσης μικροδείγματος στον ΕΛΓΟ.

Παράλληλα, μικρή ποσότητα από κάθε δοχείο αεροξηραθέντος εδάφους (10 gr) τοποθετούνταν σε φούρνους ξήρανσης στους 105°C για 24 h, με σκοπό την πλήρη απομάκρυνση και τον υπολογισμό της υγρασίας (% υγρασίας επί ξηρού εδάφους) στοιχείο απαραίτητο κατά την ορθή εξαγωγή των εργαστηριακών αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, το κάθε εδαφικό δείγμα τοποθετήθηκε σε ένα μεταλλικό προζυγισμένο δοχείο το οποίο πρωτίτερα είχε ξηρανθεί στους 105°C. Στη συνέχεια, το δοχείο με το δείγμα τοποθετούνταν στο φούρνο για 24 h στους 105°C, ενώ την επόμενη μέρα το δείγμα από το φούρνο ζυγίζονταν ξανά, υπολογίζοντας έτσι το ποσοστό υγρασίας (το μέσο ποσοστό της υγρασίας επί ξηρού βάρους των δειγμάτων ήταν 2,71%) (Εικ. 4.8β).

#### **4.5 Εργαστηριακοί προσδιορισμοί**

Παρακάτω αναλύονται όλοι οι εργαστηριακοί προσδιορισμοί που έγιναν στα τελικά εδαφικά δείγματα, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και ο απαραίτητος εργαστηριακός εξοπλισμός.

##### **4.5.1 Μηχανική ανάλυση εδάφους**

Με τον όρο μηχανική ανάλυση του εδάφους ορίζεται η εργαστηριακή τεχνική με την οποία γίνεται ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύστασης του, δηλαδή της επί τοις εκατό (%) περιεκτικότητας του, στα τρία κλάσματα μηχανικής σύστασης: της άμμου (2-0,02 mm), της ιλύος (0,02-0,002 mm) και της αργίλου (<0,002 mm). Τα κλάσματα της άμμου και της ιλύος, είναι χημικά αδρανή και θεωρούνται ότι αποτελούν το σκελετό του εδάφους. Τα ορυκτά της αργίλου, έχουν μεγάλη επιφάνεια, φέρουν αρνητικά ηλεκτρικά φορτία και ενεργούν ως ιοντο-εναλλάκτες, με αποτέλεσμα την εναποθήκευση θρεπτικών στοιχείων, τα οποία αποδίδονται στα φυτά.

Κατά την μέθοδο Βουγιούκου (Βουγούκος, 1951), το εδαφικό δείγμα (διερχόμενο από κόσκινο διαμέτρου 2 mm), γνωστού ξηρού βάρους, διασπείρεται σε μια στήλη ύδατος και η πυκνότητα του αιωρήματος μετράται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Επειδή τα χονδρόκοκκα υλικά καθιζάνουν ταχύτερα απ' ό,τι τα λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά (Νόμος του Stokes), επιλέγονται οι

χρόνοι μετρήσεως της πυκνότητας έτσι ώστε να καθιζήσει η άμμος και δεύτερον η άμμος και ιλύς (η άργιλος παραμένει σε αιώρηση). Κατόπιν υπολογίζεται η εκατοστιαία αναλογία άμμου, ιλύος και αργίλου στο έδαφος. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα πυκνόμετρο (υδρόμετρο Βουγιούκου) για την μέτρηση της πυκνότητας του αιωρήματος εδάφους - ύδατος. Η πυκνότητα εξαρτάται από την συγκέντρωση των αιωρούμενων εδαφικών στερεών στο βάθος μετρήσεως. Η ταχύτητα καθιζήσεως των εδαφικών υλικών και συνεπώς ο χρόνος μετρήσεως καθορίζεται από την εξίσωση του Stokes:

$$V=2r^2(d_1-d_2)g/9n$$

όπου,

$V$ = η ταχύτητα πτώσεως των εδαφικών υλικών (cm/sec)

$d_1$ = η πυκνότητα των εδαφικών υλικών (2,65 gr/cm<sup>3</sup>)

$d_2$ = η πυκνότητα του υγρού (0,998 gr/cm<sup>3</sup>)

$g$ = η επιτάχυνση της βαρύτητας (980 cm/sec<sup>2</sup>)

$r$ = η ακτίνα των εδαφικών τεμαχιδίων (cm)

$n$ = το απόλυτο ιξώδες του υγρού (poises)

Η μέθοδος περιλαμβάνει τα κάτωθι αντιδραστήρια:

- Διάλυμα διασποράς: μεταφωσφορικό νάτριο (NaPO<sub>4</sub>) και ανθρακικό νάτριο (διάλυση 100 gr (NaPO<sub>4</sub>) και 14 gr Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> σε 2 l αποσταγμένου νερού).
- Αμυλική αλκοόλη.

Πειραματική διαδικασία: Ζυγίζονται 50 gr συν το 1/2 της υγρασίας του αεροξηραθέντος εδαφικού δείγματος στο ποτήρι του ηλεκτρικού αναμείκτη. Προστίθενται με σύριγγα 50 ml διαλύματος διασποράς και ακολουθεί αναμονή για 10 min. Προστίθενται ~150 ml (ως την κάτω χαραγή του ποτηριού) με νερό και γίνεται ανάδευση με τον αναμείκτη για 5 min. Αδειάζεται το περιεχόμενο του ποτηριού στον κύλινδρο Βουγιούκου. Με υδροβολέα ξεπλένονται τα τοιχώματα του ποτηριού. Με το υδρόμετρο μέσα συμπληρώνονται με νερό έως την χαραγή (1.130 ml). Παράλληλα, φτιάχνεται και ένα τυφλό εδαφικό δείγμα όπου εφαρμόζεται η ίδια μεθοδολογία με τα εδαφικά δείγματα αλλά μόνο με τα διαλύματα. Με αυτό τον τρόπο ελέγχεται το υδρόμετρο, ενώ αφαιρείται αυτή η ανάγνωση και από τις δυο μετρήσεις του υδρόμετρου με το εδαφικό δείγμα. Για την διαδικασία της μέτρησης

των αιωρούμενων στερεών, αναμειγνύεται το περιεχόμενο του κυλίνδρου με ράβδο ανάδευσης δείγματος για 20 φορές, ώστε να ξεκολλήσει το ίζημα από τον πυθμένα του κυλίνδρου. Θα πρέπει να κρατείται η βάση του κυλίνδρου ώστε να αποφεύγεται τυχόν ανατροπή. Παράλληλα, προστίθενται 2 ml αμυλικής αλκοόλης για να ανασταθεί η κάλυψη της επιφάνειας με αφρό. Αμέσως τοποθετούνται το υδρόμετρο και το θερμόμετρο μέσα στο αιώρημα και μετρώνται οι ενδείξεις μετά από 40 sec μετά την ανάμειξη (Εικ. 4.9).



**Εικόνα 4.9** Κύλινδροι Βουγιούκου με εδαφικό δείγματα. Στον κύλινδρο Νο7 διακρίνεται το υδρόμετρο, στον Νο8 η ράβδο ανάδευσης και στον Νο10 το θερμόμετρο.

Αυτή η ένδειξη δίνει τους εδαφικούς κόκκους μέχρι 0,05 mm που είναι σε αιώρηση, ενώ η άμμος έχει καθιζήσει. Απομακρύνονται προσεκτικά το υδρόμετρο και το θερμόμετρο και ξεπλένεται το πρώτο με νερό. 2 h μετά την ανάμειξη, τοποθετούνται πάλι το υδρόμετρο και το θερμόμετρο μέσα στον κύλινδρο Βουγιούκου και μετράται η ένδειξη του υδρόμετρου και η θερμοκρασία. Οι εδαφικοί κόκκοι με διάμετρο μεγαλύτερη από 0,002 mm (δηλαδή άμμος και ιλύς) έχουν καθιζήσει, ενώ η άργιλος είναι σε αιώρηση.

Για τους υπολογισμούς των κλασμάτων χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι:

Άμμος (2,00-0,05 mm):  $S=\Delta_1+2-100$ ,

Ιλύς (0,05-0,002 mm):  $S_i=100-C-S$  και

Άργιλος (0,002-0,000 mm):  $C=\Delta_2+2$

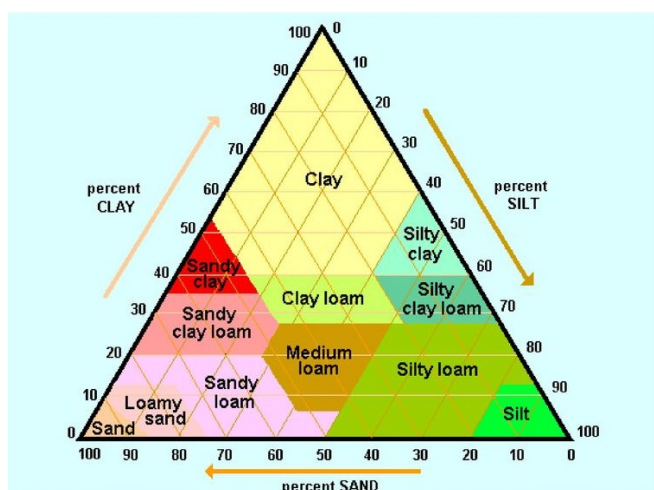
όπου,

$\Delta_1 = M_1 - \text{ΤΥΦΛΟ} \pm \text{διόρθωση } \Theta_1$ , όπου  $M_1 = \text{πρώτη μέτρηση δείγματος}$ ,  
 $\text{ΤΥΦΛΟ} = \text{μέτρηση τυφλού (διορθωμένη)}$  και  $\Theta_1 = \text{πρώτη μέτρηση}$   
 $\text{θερμοκρασίας διορθωμένη από τον πίνακα διόρθωσης ενδείξεων}$   
 $\text{πυκνόμετρου Βουγιούκου με την θερμοκρασία του αιωρήματος}$ ,  
 $\Delta_2 = M_2 - \text{ΤΥΦΛΟ} \pm \text{διόρθωση } \Theta_2$ , όπου  $M_2 = \text{δεύτερη μέτρηση δείγματος}$ ,  
 $\text{ΤΥΦΛΟ} = \text{μέτρηση τυφλού (ως άνω)}$  και  $\Theta_2 = \text{δεύτερη μέτρηση}$   
 $\text{θερμοκρασίας διορθωμένη από τον πίνακα διόρθωσης ενδείξεων}$   
 $\text{πυκνόμετρου Βουγιούκου με την θερμοκρασία του αιωρήματος}$ .

Ξέροντας τα ποσοστά των κλασμάτων, με την βοήθεια του σχήματος της Εικόνας 4.10 και του Πίνακα 4.1 κατατάσσονται τα εδάφη σε κατηγορίες.

**Πίνακας 4.1** Οι κλάσεις της μηχανικής σύστασης σε κατηγορίες  
[http://www.greekarchitects.gr/site\\_parts/articles/print.php?article=3351&language=gr](http://www.greekarchitects.gr/site_parts/articles/print.php?article=3351&language=gr).

	Κλάση Μηχανικής Σύστασης	Συμβολισμός	Χαρακτηρισμός	Ομάδα Μηχανικής Σύστασης
1.	Αμμώδης (Sand)	S	Χονδρόκοκκα	Αμμώδη (Ελαφρά Εδάφη)
2.	Πηλοαμμώδης (Loamy Sand)	LS		
3.	Αμμοπηλώδης (Sandy Loam)	SL	Μετρίως Χονδρόκοκκα	Πηλώδη (Μέσης Σύστασης)
4.	Πηλώδης (Loam)	L	Μέσα ή Μέσης Σύστασης	
5.	Ιλοσηλώδης (Silty Loam)	SiL		
6.	Ιλυώδης (Silt)	Si		
7.	Αμμοαργιλοπηλώδης (Sandy Clay Loam)	SCL	Μετρίως Λεπτόκοκκα	
8.	Αργιλοπηλώδης (Clay Loam)	CL		
9.	Ιλοαργιλοπηλώδης (Silty Clay Loam)	SiCL	Λεπτόκοκκα	Αργιλώδη (Βαριά Εδάφη)
10.	Αμμοαργιλώδης (Sandy Clay)	SC		
11.	Ιλοαργιλώδης (Silty Clay)	SiC		
12.	Αργιλώδης (Clay)	CL		



**Εικόνα 4.10** Τρίγωνο μηχανικής σύστασης για την κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες  
[http://www.greekarchitects.gr/site\\_parts/articles/print.php?article=3351&language=gr](http://www.greekarchitects.gr/site_parts/articles/print.php?article=3351&language=gr).



#### 4.5.2 Προσδιορισμός οργανικής ουσίας

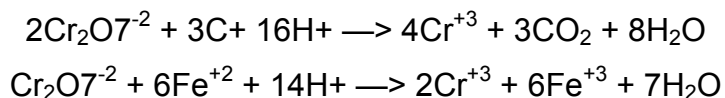
Ως οργανική ουσία εδάφους ορίζεται το οργανικό κλάσμα του εδάφους, το οποίο περιλαμβάνει τα φυτικά, ζωικά και μικροβιακά υπολείμματα σε όλα τα στάδια της αποσύνθεσης τους καθώς και το σχετικά ανθεκτικό εδαφικό χούμους. Η %οργανική ουσία (%<sub>OM</sub>), εκφράζει τα gr της οργανικής ουσίας που περιέχονται σε 100 gr ξηρού εδάφους.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος των Walkley and Black's (1934) με την οξειδωση του άνθρακα με διχρωμικό ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ) διάλυμα σε συνδυασμό με θειικό οξύ, η οποία ακόμη παραμένει επικρατούσα καθώς καθορίζει τα φυσικοχημικά ενεργά κομμάτια της οργανικής ουσίας στο έδαφος που ελέγχουν τη συγκράτηση του νερού και των θρεπτικών στο έδαφος, ενώ παράλληλα δεν υφίστανται παρεμποδίσεις από το ανθρακικό ασβέστιο.

Ο προσδιορισμός της %<sub>OM</sub> στηρίζεται στον προσδιορισμό του %Οργανικού άνθρακα (%<sub>OC</sub>), και ακολούθως τον υπολογισμό της βάσει του τύπου:

$$\%_{OM} = 1,724 * \%_{OC}$$

Ο συντελεστής 1,724 προκύπτει θεωρώντας ότι η οργανική ουσία των εδαφών περιέχει κατά μέσον όρο 58% άνθρακα. Ο προσδιορισμός του %<sub>OC</sub> στηρίζεται στην οξειδοαναγωγική οπισθογομέτρηση των  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ , τα οποία δεν ανήχθηκαν από τον οργανικό άνθρακα, με τιτλοδότη διάλυμα  $\text{FeSO}_4$  και περιγράφεται από τις παρακάτω αντιδράσεις:



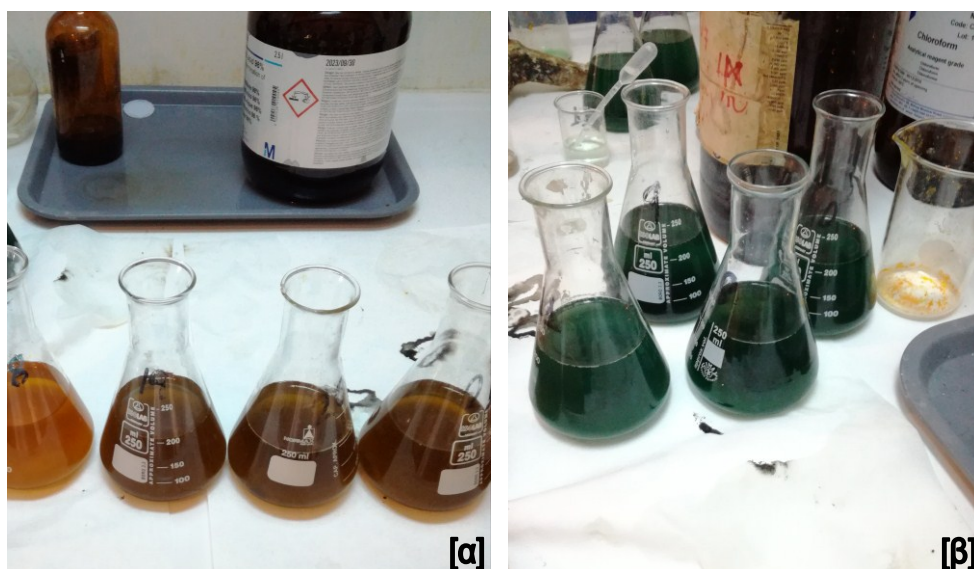
Δεδομένου ότι κατά μέσον όρο αντιδρά μόνον το 77% του ολικού οργανικού άνθρακα, είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση του συντελεστή διόρθωσης 1,3. Επομένως, η αρχική σχέση διορθώνεται στην ακόλουθη:

$$\%_{OM} = 1,724 * 1,3 * \%_{OC} \Rightarrow \%_{OM} = 2,2412 * \%_{OC}$$

Η μέθοδος περιλαμβάνει τα κάτωθι αντιδραστήρια:

- Πρότυπο διάλυμα διχρωμικού καλίου ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1N.
- Πυκνό θειικό οξύ ( $H_2SO_4$ )
- Πυκνό φωσφορικό οξύ ( $H_3PO_4$ )
- Πρότυπος τιτλοδότης, διάλυμα θειικού σιδήρου ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 0,5N.
- Δείκτης διφαινουλαμίνης

Πειραματική διαδικασία: Ζυγίζονται 0,2 gr αεροξηραθέντος εδάφους, που έχουν λειοτριβηθεί και κοσκινιστεί με κόσκινο διαμέτρου τουλάχιστον 0,5 mm (στην παρούσα έρευνα είναι 0,2 mm), μεταφέρονται σε ευρύλαιμη κωνική φιάλη των 500 ml, προστίθενται με σιφώνι ακριβώς 10 ml διαλύματος  $K_2Cr_2O_7$  1N και ανακινούνται προσεκτικά μέχρι πλήρους διασποράς του δείγματος στο διάλυμα. Στη συνέχεια προστίθενται 20 ml πυκνού  $H_2SO_4$ , ανακινούνται επί 1 min και αφήνεται το δείγμα σε ηρεμία επί 30 min. Τέλος, προστίθενται 200 ml νερό περίπου, 10 ml πυκνού  $H_3PO_4$  και 1 ml δείκτη διφαινουλαμίνης (για να χρωματιστεί το δείγμα μαύρο) και ογκομετράται η περίσσεια του  $K_2Cr_2O_7$  με τον πρότυπο τιτλοδότη, διάλυμα  $FeSO_4$  0,5N, μέχρις αλλαγής του χρώματος του δείκτη από μπλε σε πράσινο (Εικ. 4.11).



**Εικόνα 4.11** (α) Εδαφικά δείγματα πριν την προσθήκη δείκτη διφαινουλαμίνης και (β) εδαφικά δείγματα με χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα μετά από ογκομέτρηση με πρότυπο τιτλοδότη  $FeSO_4$ .

Εάν έχουν αναχθεί από τον οργανικό άνθρακα >75% των  $Cr_2O_7^{2-}$ , τότε, επαναλαμβάνεται ο προσδιορισμός χρησιμοποιώντας μικρότερη ποσότητα

δείγματος. Παράλληλα ετοιμάζεται και ένα τυφλό δείγμα με όλα τα αντιδραστήρια εκτός του εδάφους, βάσει του οποίου εκτελείται λευκός προσδιορισμός της κανονικότητας του πρότυπου τιτλοδότη, καθώς και ένα δείγμα ελέγχου ποιότητας (Quality Control Sample - QCS) του οποίου γνωρίζονται τα αποτελέσματα.

Η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της οργανικής ουσίας στο έδαφος είναι:

$$\%_{OM} (g_{OM}/100 \text{ gr ξηρού δείγματος}) = 0,067 * (100 + \%H_2O) * (T - A) / T * W_{ae}$$

όπου,

T = ml τιτλοδότη που καταναλώθηκαν για τον λευκό προσδιορισμό.

A = ml τιτλοδότη που καταναλώθηκαν για το δείγμα.

%H<sub>2</sub>O = υγρασία του δείγματος.

W<sub>ae</sub> = gr αεροξηραθέντος δείγματος.

#### 4.5.3 Προσδιορισμός εκχυλίσιμων με διάλυμα DTPA ιχνοστοιχείων

Τα ιχνοστοιχεία των οποίων προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις είναι ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn) και ο σίδηρος (Fe). Το DTPA (δισαιθυλενο-τριάμινο-πενταοξικό οξύ) χρησιμοποιήθηκε στην εκχύλιση των ιχνοστοιχείων αυτών. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τους Lindsay and Norvell (1978) και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της διαθεσιμότητας του ψευδαργύρου (Zn), χαλκού (Cu), μαγγανίου (Mn) και σιδήρου (Fe) στα ουδέτερα και ασβεστούχα εδάφη. Ο προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων γίνεται με τη χρήση φασματοφωτομέτρου ατομικής απορρόφησης με τεχνική φλόγα στο εκχύλισμα.

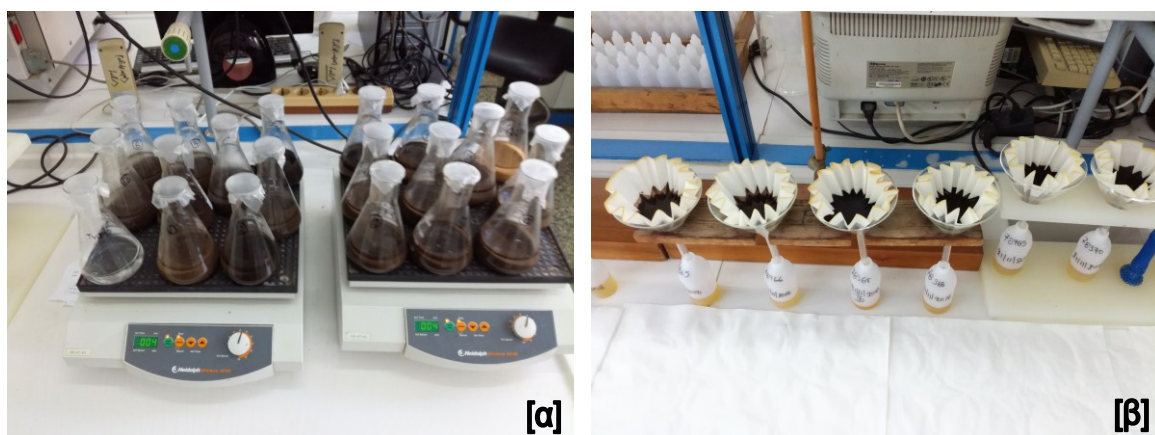
Η μέθοδος περιλαμβάνει τα κάτωθι αντιδραστήρια:

- Διάλυμα νιτρικού οξέος περιεκτικότητας, περίπου 4 mol/l.
- Τριαιθανολαμίνη, Triethanolamine (TEA), C<sub>6</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>3</sub>, έτοιμο αντιδραστήριο εμπορίου (Merck 108379).
- Τριάμινο-δισαιθυλο-πενταοξικό οξύ, Diethylenetriaminopentaacetic acid (DTPA), C<sub>14</sub>H<sub>23</sub>N<sub>3</sub>O<sub>10</sub>, έτοιμο αντιδραστήριο εμπορίου (Merck 1083900).
- Διάλυμα υδροχλωρικού οξέος HCl, 6 mol/l.

- Ένυδρο (2 H<sub>2</sub>O) Χλωριούχο Ασβέστιο, Calcium chloride dihydrate, CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, έτοιμο αντιδραστήριο εμπορίου (Merck 102382).
- Διάλυμα Εκχύλισης DTPA, C<sub>TEA</sub> = 0,1 mol/l, cCaCl<sub>2</sub>=0,01 mol/l, cDTPA= 0,005 mol/l. Για την κατασκευή του διαλύματος μεταφέρεται ποσοτικά σε ποτήρι ζέσεως των 2000 ml, 29,84 gr TEA, 3,934 gr DTPA και 2,940 gr CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, προστίθεται νερό και γίνεται ανάδευση μέχρι να διαλυθούν πλήρως τα άλατα. Γίνεται αραίωση με νερό μέχρι όγκο 1.600 ml και ρυθμίζεται το pH στη τιμή 7,3+/- 0,2 με διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (HCl), 6 mol/l. Γίνεται μεταφορά σε ογκομετρική φιάλη των 2.000 ml Class A, συμπλήρωση μέχρι την χαραγή και ανάδευση.
- Stock διάλυμα Cu c(Cu)= 1.000 mg/L, έτοιμο διάλυμα εμπορίου (Merck 1.19786).
- Stock διάλυμα Mn c(Mn)= 1.000 mg/L, έτοιμο διάλυμα εμπορίου (Merck 1.19789).
- Stock διάλυμα Fe c(Fe)= 1.000 mg/L έτοιμο διάλυμα εμπορίου (Merck 1.19781).
- Stock διάλυμα Zn c(Zn)= 1.000 mg/L έτοιμο διάλυμα εμπορίου (Merck 1.19806).
- Διάλυμα βαθμονόμησης Cu, Mn, Fe, Zn stock (1): c(Cu)= 1 mg/l, c(Mn)= 1 mg/l, c(Fe)= 1 mg/l, c(Zn)= 0,5 mg/l, το οποίο δημιουργείται από την αραίωση των ανωτέρω stock διαλύματος με το διάλυμα εκχύλισης DTPA.
- Διάλυμα βαθμονόμησης Cu, Mn, Fe, Zn stock (2): c(Cu)= 4 mg/l, c(Mn)= 2 mg/l, c(Fe)= 5 mg/l, c(Zn)= 1 mg/l, κατά το προηγούμενο.
- Διάλυμα βαθμονόμησης Cu, Mn, Fe, Zn stock (3): c(Cu)= 8 mg/l, c(Mn)= 5 mg/l, c(Fe)= 10 mg/l, c(Zn)= 2 mg/l, κατά το προηγούμενο.

Πειραματική διαδικασία: Αρχικά γίνεται ρύθμιση του pH του εκχυλιστικού διαλύματος DTPA, αφού πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση του πεχαμέτρου με buffers. Στη συνέχεια, ρυθμίζεται το pH του εκχυλιστικού διαλύματος DTPA στη τιμή 7,3+/- 0,2 με διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (HCl), 6 mol/l. Κατόπιν, ακολουθεί η εκχύλιση των ιχνοστοιχείων (Cu, Mn, Fe, Zn) με διάλυμα DTPA. Συγκεκριμένα, μεταφέρονται σε κωνική φιάλη των 250 ml, 25 gr αεροξηραθέντος εδάφους και προστίθεται με σιφώνιο ή με dispenser 50 ml διαλύματος DTPA. Οι φιάλες πωματίζονται με parafilm και τοποθετούνται σε ηλεκτρικό παλινδρομικό

αναδευτήρα στις 120 στροφές/min για 2 h σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C±/± 2°C. Γίνεται διήθηση και συλλογή του διηθήματος σε δοχεία πολυαιθυλενίου με τη βοήθεια των χωνιών και των ηθμών (Εικ. 4.12).



**Εικόνα 4.12** (α) Φιάλες με εδαφικό δείγμα και διάλυμα DTPA σε ηλεκτρικό παλινδρομικό αναδευτήρα και (β) διήθηση διαλυμάτων σε δοχεία πολυαιθυλενίου με τη βοήθεια χωνιών και ηθμών.

Παράλληλα, παρασκευάζεται, τυφλό διάλυμα σε κωνική φιάλη των 250 ml, με την προσθήκη 50 ml διαλύματος DTPA, ενώ ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τα υπόλοιπα δείγματα. Για τον εσωτερικό έλεγχο ποιότητας του προσδιορισμού των εκχυλίσμων με DTPA ιχνοστοιχείων (Cu, Mn, Fe, Zn) εδαφικών δειγμάτων, χρησιμοποιείται αεροξηραθέν δείγμα εδάφους σε μορφή πούδρας, το οποίο είναι διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες (QCS).

Ακολουθεί μέτρηση εντός 48 ωρών σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με φλόγα (AAS-Flame). Συγκεκριμένα, η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Varian SpectrAA 220 Atomic Absorption Spectrometer (Εικ. 4.13). Κατά την μέτρηση με το φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης γίνεται αρχικά βαθμονόμηση του οργάνου με την χρήση των προτύπων βαθμονόμησης (standards) με γνωστές συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων, ώστε να χαραχθούν οι καμπύλες βαθμονόμησης, οι οποίες θα συνδέουν τις ενδείξεις του οργάνου με τις συγκεντρώσεις των διαλυμάτων.

Μετρώνται απευθείας τα εκχυλιστικά διαλύματα και προσδιορίζεται η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων στα εκχυλίσματα ( $\rho_4$ ) και στο τυφλό δείγμα ( $\rho_{b3}$ ). Όταν η συγκέντρωση του εκχυλίσματος είναι εκτός καμπύλης βαθμονόμησης,

αραιώνονται κατάλληλα και ξαναμετρώνται καταγράφοντας τον συντελεστή αραίωσης ( $S_{Cu}$ ,  $S_{Mn}$ ,  $S_{Fe}$ ,  $S_{Zn}$ ).



**Εικόνα 4.13** Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με φλόγα Varian SpectraAA 220 Atomic Absorption Spectrometer εν ώρα μετρήσεως για τον προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων Cu, Mn, Fe και Zn.

Η συγκέντρωση του κάθε ιχνοστοιχείου X στο εδαφικό δείγμα σε mg/kg υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$b(X) = 50 \cdot (S_X \cdot \rho_4 - \rho_{b3}) \cdot (100 + \%H_2O) / m \cdot 100$$

όπου,

$b(X)$ : Η συγκέντρωση του, εκχυλίσιμου με DTPA, X ιχνοστοιχείου στο έδαφος, σε mg/kg,

$S_X$ : Ο συντελεστής αραίωσης του δείγματος στις περιπτώσεις που η συγκέντρωση του X ιχνοστοιχείου είναι έξω από την καμπύλη βαθμονόμησης,

$\rho_4$ : Η μετρούμενη συγκέντρωση του ιχνοστοιχείου, σε mg/l,

$\rho_{b3}$ : Η συγκέντρωση του ιχνοστοιχείου στο τυφλό δείγμα, σε mg/l και

$m$ : Η μάζα της ύλης του εδάφους, σε gr.

$\%H_2O$ : Η υγρασία του αεροξηραθέντος εδάφους.

#### 4.5.4 Προσδιορισμός ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ)

Η ΙΑΚ των εδαφικών δειγμάτων προσδιορίζεται στο pH του εδάφους και σε χαμηλή συνολική ιοντική ισχύ (0,01 mol/l περίπου). Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή των Hendershot and Duquette (1986). Αρχικά προκαλείται στο έδαφος κορεσμός ως προς την περιεκτικότητά του σε βάριο, προσθέτοντας στο έδαφος τρεις φορές διάλυμα χλωριούχου βαρίου 0,1 mol/l. Με αυτόν τον τρόπο, προκαλείται στο έδαφος εξισορρόπηση με διάλυμα χλωριούχου βαρίου 0,1 mol/l. Κατόπιν, προστίθεται γνωστή περίσσεια θειικού μαγνησίου 0,02 mol/l. Το υπάρχον βάριο, τόσο αυτό του διαλύματος όσο και αυτό που έχει προσροφηθεί από το έδαφος, συμπυκνώνεται σε εξαιρετικά αδιάλυτο θειικό βάριο και οι θέσεις ανταλλαγής ιόντων καταλαμβάνονται αμέσως από το μαγνήσιο. Η περίσσεια μαγνησίου μετράται με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με φλόγα (FAAS). Στο διάλυμα προστίθεται οξιτισμένο διάλυμα λανθανίου και ακολουθεί μέτρηση του μαγνησίου μέσω FAAS. Το λανθάνιο προστίθεται προκειμένου να αποφευχθεί ο σχηματισμός σταθερών ενώσεων του μαγνησίου με τα φωσφορικά ιόντα, το αργίλιο κλπ. στη φλόγα.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει τα κάτωθι αντιδραστήρια:

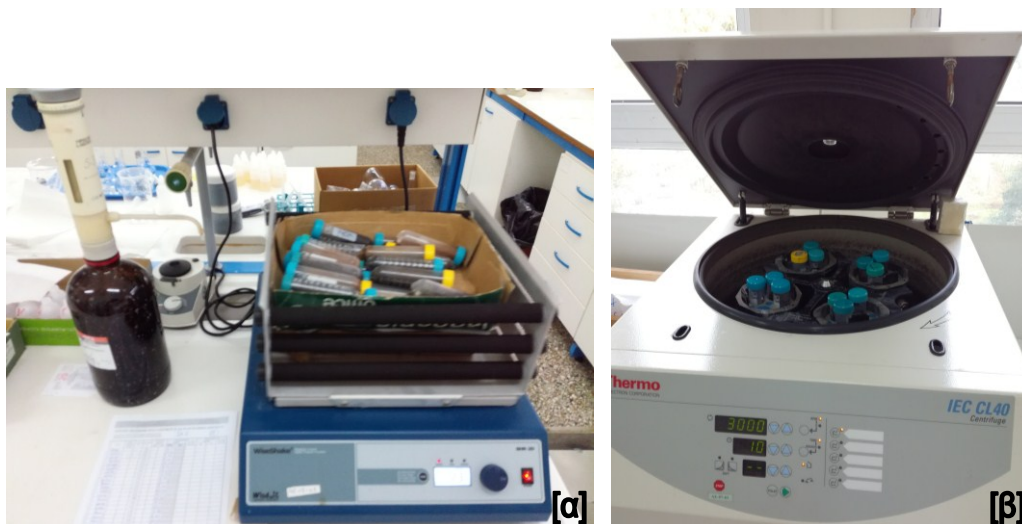
- Υπερκάθαρο νερό με αγωγιμότητας  $<1 \mu\text{S/cm}$  και συγκέντρωση μαγνησίου στο τυφλό δείγμα  $C_{b1} < 0,0214 \text{ mmol/l}$ .
- Διάλυμα χλωριούχου βαρίου,  $c(\text{BaCl}_2) = 0,1 \text{ mol/l}$ . Διαλύονται 48,86 gr διένυδρου χλωριούχου βαρίου ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Merck 1.01719) σε νερό, μεταφέρονται ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη Class A των 2.000 ml και συμπληρώνεται νερό μέχρι τη χαραγή.
- Διάλυμα χλωριούχου βαρίου,  $c(\text{BaCl}_2) = 0,0025 \text{ mol/l}$ . Με σιφώνιο μιας χαραγής Class A, μεταφέρονται 25 ml από το διάλυμα χλωριούχου βαρίου 0,1 mol/l σε μια ογκομετρική φιάλη Class A των 1.000 ml και συμπληρώνεται νερό μέχρι τη χαραγή.
- Διάλυμα θειικού μαγνησίου,  $c(\text{MgSO}_4) = 0,0200 \text{ mol/l}$ . Διαλύονται  $4,93 \pm 0,01 \text{ gr}$  επταένυδρου θειικού μαγνησίου ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , Merck 1.05886) σε νερό, μεταφέρονται ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη Class A των 1.000 ml και συμπληρώνεται νερό μέχρι τη χαραγή.

- Πρότυπο διάλυμα μαγνησίου,  $c(\text{Mg}) = 0,001 \text{ mol/l}$ . Με σιφώνιο μιας χαραγής Class A, μεταφέρονται 50 ml από το διάλυμα θειικού μαγνησίου των  $0,0200 \text{ mol/l}$ , σε μια ογκομετρική φιάλη Class A των 1.000 ml και συμπληρώνεται νερό μέχρι τη χαραγή.
- Υδροχλωρικό οξύ fuming 37% ( $\rho = 1,19 \text{ gr/ml}$ ), έτοιμο διάλυμα του εμπορίου (Merck 1.00317).
- Οξιτισμένο διάλυμα λανθανίου,  $c(\text{La}) = 10 \text{ mg/l}$ . Διαλύονται  $0,0312 \pm 0,0001 \text{ gr}$  εξαένυδρου νιτρικού λανθανίου ( $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Merck 1.05326) σε νερό. Μεταφέρονται ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη Class B των 1.000 ml, προστίθενται με ογκομετρικό κύλινδρο 84 ml υδροχλωρικού οξέως και συμπληρώνεται νερό μέχρι τη χαραγή.
- Πρότυπα διαλύματα βαθμονόμησης. Μεταφέρονται με αυτόματη ρυθμιζόμενη πιπέττα 0 ml, 0,5 ml, 1 ml, 2 ml, 2,5 ml από το πρότυπο διάλυμα μαγνησίου σε μία σειρά από ογκομετρικές φιάλες Class A των 100 ml. Στη συνέχεια, προστίθενται με dispenser ή με αυτόματη ρυθμιζόμενη πιπέττα 10 ml οξιτισμένου διαλύματος λανθανίου και συμπληρώνεται νερό μέχρι τη χαραγή. Στα διαλύματα βαθμονόμησης η συγκέντρωση μαγνησίου είναι 0 - 0,005 - 0,010 - 0,020 και 0,025 mmol/l, αντίστοιχα, ενώ παρασκευάζονται πάντα φρέσκα αμέσως πριν τη χρήση τους.

Πειραματική διαδικασία: Μεταφέρονται 2,50 gr αεροξηραμένου εδάφους (διάμετρος μικρότερη των 2 mm), μέσα σε ερμητικά κλειστό σωλήνα φυγοκέντρισης πολυαιθυλενίου των 50 ml. Σημειώνεται η μάζα του σωλήνα και του εδάφους ( $m_1$ ). Προστίθενται με dispenser, 30 ml διαλύματος χλωριούχου βαρίου  $0,1 \text{ mol/l}$ , ανακινούνται καλά με την βοήθεια ενός αναδευτήρα και τοποθετούνται οι σωλήνες σε κουτιά στον αναδευτήρα ώστε οι μύτες να είναι ελαφρά υψωμένες και το χώμα να μη κολλήσει στο κάτω μέρος των σωλήνων. Ανακινούνται με ταχύτητα  $100(+/-5) \text{ στρ/min}$  για 1 h. Οι σωλήνες ισορροπούνται και γίνεται φυγοκέντριση στις  $3.000 \text{ στρ/min}$  για 10 min με σκοπό να επιτευχθεί πλήρης διαχωρισμός και καταβύθιση του ιζήματος. Απορρίπτεται το υπερκείμενο υγρό. Επαναλαμβάνονται οι διαδικασίες της προσθήκης των 30 ml διαλύματος χλωριούχου βαρίου, της ανακίνησης και της φυγοκέντρισης άλλες δύο φορές, απορρίπτοντας κάθε φορά το υπερκείμενο υγρό. Στο δείγμα που απομένει, προστίθενται με dispenser, 30 ml διαλύματος χλωριούχου βαρίου  $0,0025 \text{ mol/l}$  και



ανακινούνται για όλη τη διάρκεια της νύχτας. Οι σωλήνες ισορροπούνται και γίνεται φυγοκέντριση στις 3.000 στρ/μιν για 10 min (Εικ. 4.14). Απορρίπτεται το υπερκείμενο υγρό και ζυγίζεται ο σωλήνας μαζί με το περιεχόμενό του και σημειώνεται η μάζα ( $m_2$ ). Προστίθενται στο εδαφικό δείγμα με dispenser, 30 ml διαλύματος θειικού μαγνησίου 0,0200 mol/l και ανακινούνται για όλη τη διάρκεια της νύχτας. Οι σωλήνες ισορροπούνται και γίνεται φυγοκέντριση στις 3.000 στρ/μιν για 10 min.



**Εικόνα 4.14** (α) Σωλήνες φυγοκέντρισης πολυαιθυλενίου των 50 ml, με εδαφικό δείγμα και διάλυμα χλωριούχου βαρίου σε τράπεζα ανάδευσης και (β) φυγόκεντρος με δείγματα έτοιμα προς φυγοκέντριση.

Μεταφέρεται το υπερκείμενο διάλυμα (Εικ. 4.15α) μέσω κοινού διηθητικού ηθμού σε φιάλη πολυαιθυλενίου για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της περίσσειας του μαγνησίου. Παράλληλα με τα άγνωστα δείγματα παρασκευάζεται ένα τυφλό δείγμα ακολουθώντας επακριβώς τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, χωρίς την προσθήκη δείγματος, ενώ παράλληλα με τα άγνωστα δείγματα, μετράται και το εκχύλισμα που έχει προέλθει από το δείγμα εσωτερικού ελέγχου (QCS). Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της περίσσειας του μαγνησίου γίνεται σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με φλόγα (AAS-Flame). Κατά την μέτρηση με το φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης γίνεται αρχικά βαθμονόμηση του οργάνου με την χρήση των προτύπων βαθμονόμησης (standards). Εν συνεχεία, μεταφέρονται με πιπέττα σταθερού όγκου 0,100 ml από το τελικό διήθημα των εδαφικών δειγμάτων και του τυφλού δείγματος σε ογκομετρικές φιάλες των 100 ml. Κατόπιν, προστίθενται με dispenser

ή με αυτόματη πιπέττα, 10 ml οξινισμένου διαλύματος λανθανίου σε κάθε ογκομετρική φιάλη, συμπληρώνεται νερό μέχρι την χαραγή και γίνεται ανάμειξη (Εικ. 4.15β). Προσδιορίζεται η συγκέντρωση μαγνησίου στα αραιωμένα εκχυλίσματα ( $c_1$ ) και στο τυφλό δείγμα ( $c_{b1}$ ). Για την επαναφορά του συστήματος, λόγω ολίσθησης (drift), επαναβαθμονεύεται η συσκευή μετά από κάθε δεκαπεντάδα μετρήσεων αγνώστων εκχυλισμάτων.



**Εικόνα 4.15** (α) Δείγμα κατόπιν φυγοκέντρησης με εμφανές το υπερκείμενο διάλυμα και (β) διαδικασία μέτρησης αραιωμένου διαλύματος σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με φλόγα Varian SpectrAA 220 Atomic Absorption Spectrometer.

Η συγκέντρωση του μαγνησίου στα εδαφικά εκχυλίσματα διορθώνεται χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$c_2 = c_1 \cdot (30 + m_1 - m_2) / 30$$

όπου,

$c_2$ : η διορθωμένη συγκέντρωση μαγνησίου στο δείγμα, σε mmol/l,

$c_1$ : η συγκέντρωση μαγνησίου στο δείγμα, σε mmol/l,

$m_1$ : είναι η συνολική μάζα του σωλήνα φυγοκέντρησης με το αεροξηραμένο εδαφικό δείγμα σε gr,

$m_2$ : είναι η συνολική μάζα του σωλήνα φυγοκέντρησης με το υγρό δείγμα, σε gr.

Η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων του εδάφους, υπολογίζεται από τον τύπο:

$$IAK = 2 \cdot (c_{b1} - c_2) \cdot 3.000 / m$$

όπου,

IAK : η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων του εδάφους, σε cmol+/kg

$c_2$ : η διορθωμένη συγκέντρωση μαγνησίου στο δείγμα, σε mmol/l,

$c_{b1}$ : η συγκέντρωση του μαγνησίου στο τυφλό δείγμα, σε mmol/l,

και πάντα  $c_{b1} < 0,0214$  mmol/l,

m: η ξηρή μάζα του δείγματος σε gr.

#### 4.5.5 Προσδιορισμός pH

Όσον αφορά το pH ενός διαλύματος, αυτό ορίζεται από τη σχέση:  $pH = -\log(H^+)$  όπου  $(H^+) = \gamma[H^+]$ ,  $\gamma$  είναι ο συντελεστής ενεργότητας του  $H^+$  και  $[H^+]$  είναι η συγκέντρωση ιόντων  $H^+$  σε mol/l. Κατά τη μέτρηση του pH, θεωρείται σαν pH του εδάφους το pH του εδαφικού διαλύματος.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του εδάφους, είναι αυτή του pH πάστας (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Ο προσδιορισμός γίνεται με τη βοήθεια πεχαμέτρου που είναι εφοδιασμένο με ενδεικτικό ηλεκτρόδιο υάλου και αισθητήριο θερμοκρασίας. Το pH προσδιορίζεται βάσει του τύπου:

$$pH = E - K/0,0001982 \cdot T$$

όπου,

E: Η.Ε.Δ. σε Volt που παράγει στο σύστημα: Ag, AgCl/HCl/ ύαλος/δείγμα/KCl, Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/Hg.

K: σταθερά σε Volt της υάλου.

T: η θερμοκρασία

Η μέθοδος περιλαμβάνει τα κάτωθι αντιδραστήρια:

- Buffer PH 7,02 : Έτοιμο Διάλυμα προμηθευόμενο από την CRISON με Cat.N0.23-111 -02.
- Buffer PH 4,00 : Έτοιμο Διάλυμα προμηθευόμενο από την CRISON με Cat.N ° 23-111 -02.
- Buffer PH 9,26 : Έτοιμο Διάλυμα προμηθευόμενο από την CRISON με Cat.N ° 23-111 -02.

- Ηλεκτρολύτης KCl 3M+AgCl. Έτοιμο Διάλυμα προμηθευόμενο από την CRISON με Cat.N °.23-111 -02.

Πειραματική διαδικασία: Αρχικά δημιουργείται η εδαφική πάστα. Ζυγίζονται (100+%H<sub>2</sub>O) gr αεροξηραθέντος δείγματος. Με προχοίδα των 50 ml, προστίθεται νερό με ταυτόχρονη ανάδευση (με σπαθίδα), μέχρις ότου το αυλάκι που δημιουργείται από την σπαθίδα στην γυαλιστερή πια μάζα του μίγματος εδάφους-νερού, να μην εξαφανίζεται λόγω μετακίνησης της. Το ευρισκόμενο σε σημείο κορεσμού μίγμα εδάφους - νερού καλείται εδαφική πάστα (Εικ. 4.16).



**Εικόνα 4.16** Εδαφική πάστα έτοιμη προς μέτρηση pH.

Ακολουθεί η βαθμονόμηση του οργάνου (Mettler Toledo FE20 FiveEasy Benchtop pH Meter). Η βαθμονόμηση γίνεται πριν από μετρήσεις και αν αυτές είναι πολλές, επαναλαμβάνεται κάθε 2-3 h. Το πεχάμετρο αυτοβαθμονομείται δεδομένου ότι έχει αποθηκευμένο στην μνήμη του τιμές pH των buffers με διάφορες θερμοκρασίες. Ενεργοποιώντας, επομένως, τη διαδικασία της βαθμονόμησης «calibration», αν το pH του δείγματος είναι μικρότερο του 7 βαθμονομείται με τα buffers pH 7,02 και 4,00, ενώ αν το pH του δείγματος είναι μεγαλύτερο του 7 βαθμονομείται με τα buffers pH 7,02 και 9,26, ξεπλένοντας το ηλεκτρόδιο πριν από κάθε εμβάπτιση σε buffer. Στην συνέχεια, πραγματοποιείται η μέτρηση του pH στην πάστα του εδαφικού δείγματος, που δημιουργήθηκε αφού προηγουμένως αφεθεί σε ηρεμία επί 1 h, προκειμένου να επέλθει ισορροπία. Ενεργοποιώντας την διαδικασία της μέτρησης εμβαπτίζεται το ενδεικτικό ηλεκτρόδιο και το αισθητήριο θερμοκρασίας στην πάστα και μετράται απευθείας η τιμή του pH και της θερμοκρασίας του δείγματος.

#### 4.5.6 Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας και αλατότητας

Η αντίσταση ενός ομογενούς μέσου με ομοιόμορφη κάθετη διατομή εμβαδού  $s$  ( $\text{cm}^2$ ) και μήκος  $l$  ( $\text{cm}$ ) δίνεται από τον τύπο :  $R = \rho \cdot l / s$  , όπου  $R$  = αντίσταση ( $\text{Ohm}$ ) και  $\rho$  = ειδική αντίσταση ( $\text{Ohm} \cdot \text{cm}$ )

Η ειδική αγωγιμότητα  $K$  ορίζεται το αντίστροφο του  $\rho$  και έχει μονάδες  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Τέλος, η ειδική αγωγιμότητα ενός εδαφικού δείγματος,  $K_{\text{ap}(25^\circ\text{C})}$ , ορίζεται ως η ειδική αγωγιμότητα εκχυλίσματος πάστας ανηγμένης στους  $25^\circ\text{C}$ . Πιο συγκεκριμένα, παραλαμβάνεται το υδατικό εκχύλισμα εδάφους 1:2 και μετρείται σ'αυτό η ειδική αγωγιμότητα  $K_{1:2(25^\circ\text{C})}$ , οπότε η  $K_{\text{ap}(25^\circ\text{C})}$  υπολογίζεται από τον τύπο:

$$K_{\text{ap}(25^\circ\text{C})} = (200/sp) \cdot K_{1:2(25^\circ\text{C})}$$

όπου,

$K_{1:2(25^\circ\text{C})}$  = η ειδική αγωγιμότητα εκχυλίσματος 1:2, ανηγμένη στους  $25^\circ\text{C}$  και  $sp$  (%υδατοκορεσμός δείγματος) =  $V \cdot (100 + \%H_2O) + W_{\text{αε}} \cdot (\%H_2O) / W_{\text{αε}}$ , με  $V = \text{ml}$  νερού καταναλωθέντα για την πλήρωση όλων των πόρων του δείγματος,  $W_{\text{αε}} = \text{gr}$  αεροξηραθέντος δείγματος και  $\%H_2O$  = υγρασία δείγματος.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε (Rhoades, 1982; Sonneveld and van Den Ende, 1971) περιλαμβάνει τα κάτωθι αντιδραστήρια:

- Απιονισμένο-απεσταγμένο νερό: Το νερό που χρησιμοποιείται θα πρέπει να έχει ειδική αγωγιμότητα στους  $25^\circ\text{C}$  μικρότερη από  $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Διάλυμα  $\text{KCl}$  0,01M: Διαλύονται 0,7456 gr άνυδρου  $\text{KCl}$  σε απεσταγμένο νερό και αραιώνονται μέχρις όγκου 1.000 ml. Αυτό το standard διάλυμα αναφοράς στους  $25^\circ\text{C}$  έχει ειδική αγωγιμότητα  $1.413 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Αποθηκεύεται σε καλά πωματισμένη φιάλη από βοριοπυριτικό γυαλί.

Πειραματική διαδικασία: Στην πάστα που δημιουργήθηκε, προστίθενται με προχοίδα (200 -  $sp$ ) ml απεσταγμένου νερού για την επίτευξη αναλογίας εδάφους-νερού 1:2. Γίνεται ανάδευση με σπαθίδα επί 1 min τουλάχιστον 4 φορές ανά διαστήματα 30 min, μεταφέρεται το διάλυμα σε χωνί και γίνεται διήθηση με ηθμούς. Ακολούθως, παραλαμβάνεται το υδατικό εκχύλισμα εδάφους 1:2. Για την μέτρηση, χρησιμοποιείται αγωγιμόμετρο (Mettler Toledo FE30 FiveEasy Benchtop

Conductivity Meter). Εμβαπτίζεται η κυβελίδα στο εκχύλισμα, εισάγεται στον μικροϋπολογιστή του οργάνου η θερμοκρασία του εκχυλίσματος και ενεργοποιώντας την διαδικασία της μέτρησης μετρείται απευθείας η ειδική αγωγιμότητα  $K_{1:2(25^{\circ}\text{C})}$  του εκχυλίσματος ανηγμένη στους  $25^{\circ}\text{C}$  (Εικ. 4.17). Κάθε φορά που συμβαίνει κάποια αλλαγή στα ηλεκτρόδια του οργάνου πρέπει να βαθμονομείται. Η βαθμονόμηση γίνεται με διάλυμα KCl 0,01M  $25^{\circ}\text{C}$  με εμβάπτιση της κυβελίδας στο διάλυμα και ενεργοποιώντας τη διαδικασία βαθμονόμησης (calibration) στο όργανο.



**Εικόνα 4.17** (α) Διαδικασία εκχύλισης εδαφικού δείγματος με νερό 1:2 και (β) όργανο μέτρησης αγωγιμότητας (αγωγιμόμετρο) Mettler Toledo FE30 FiveEasy Benchtop Conductivity Meter.

Η ειδική αγωγιμότητα του εδαφικού δείγματος  $K_{ap(25^{\circ}\text{C})}$  υπολογίζεται από τον τύπο που αναφέρθηκε και ανωτέρω:

$$K_{ap(25^{\circ}\text{C})} = (200/sp) * K_{1:2(25^{\circ}\text{C})}$$

Αντιστοίχως, η αλατότητα (Total Soluble Salts – TSS), προσδιορίζεται υπολογιστικά από την ειδική αγωγιμότητα  $K_{1:2(25^{\circ}\text{C})}$ . Η μέθοδος βασίζεται στο ότι η σχέση της ειδικής αγωγιμότητας  $K_{(25^{\circ}\text{C})}$  της συγκέντρωσης  $c$  των αλάτων είναι γραμμική. Συγκεκριμένα:  $c = 12,5 \cdot K_{(25^{\circ}\text{C})}$ , όπου  $c = \text{mg/l}$  ανιόντος ή κατιόντος άλατος/l εκχυλίσματος και  $K_{(25^{\circ}\text{C})} = \text{ειδική αγωγιμότητα εδαφικού εκχυλίσματος ανηγμένη στους } 25^{\circ}\text{C}$ , σε mS/cm.

Για τον υπολογισμό της αλατότητας, TSS, χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$\text{TSS} = 0,128 * K_{1:2(25^{\circ}\text{C})}$$

όπου,

TSS = αλατότητα, σε gr άλατος/100 gr ξηρού εδαφικού δείγματος

ή mg άλατος/ kg ξηρού εδαφικού δείγματος

$K_{1:2(25^{\circ}\text{C})}$  = ειδική αγωγιμότητα εκχυλίσματος 1:2, ανηγμένη στους 25°C, σε mS/cm (με τη χρήση αγωγιμόμετρου).





## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους εργαστηριακούς προσδιορισμούς των εδαφικών δειγμάτων, η συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων αυτών, καθώς και η συζήτηση αναφορικά με τα ευρήματα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας σε σχέση με τη διεθνή βιβλιογραφία και έρευνα. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε σε τρία βήματα: (α) αρχικά έγινε μονοπαραγοντική (univariate) ανάλυση κάθε μεταβλητής ξεχωριστά, (β) εν συνεχεία, έγινε ανάλυση με δύο μεταβλητές (bivariate stats), όπου εξετάστηκε η σχέση μεταξύ των μεταβλητών με τη βοήθεια συντελεστών συσχέτισης και (γ) έγινε πολυμεταβλητή ανάλυση (multivariate stats) με ομαδοποίηση των δεδομένων και την χρήση κατάλληλων παραγόντων (factor analysis). Για την στατιστική επεξεργασία, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Microsoft Excel και IBM SPSS Statistics 20 (για Windows), ενώ ψηφιακοί χάρτες και χάρτες με τα αποτελέσματα ενσωματωμένα δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS) ArcGIS 10.4 (ESRI). Επιπρόσθετα, τα δεδομένα πεδίου των σημείων δειγματοληψίας καταγράφηκαν χρησιμοποιώντας σύστημα γεωγραφικής θέσης (GPS) σε smartphone, του οποίου προηγουμένως οι μετρήσεις είχαν διασταυρωθεί με άλλη συσκευή εντοπισμού, ενώ τα δεδομένα έχουν καταγραφεί επίσης σε πρόσθετο επίπεδο πληροφοριών (layer) του ανωτέρω λογισμικού GIS.

### 5.2 Αποτελέσματα

#### 5.2.1 Μονοπαραγοντική (univariate) ανάλυση

Τα δεδομένα που εξετάστηκαν αφορούν: (α) στον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης του εδάφους με βάση 13 εδαφικά δείγματα, (β) τον υπολογισμό της οργανικής ουσίας (OM-Organic Matter), των συγκεντρώσεων των διαθέσιμων ιχνοστοιχείων μαγγάνιο (Mn), ψευδάργυρος (Zn), χαλκός (Cu) και σίδηρος (Fe)

(Mn<sub>DTPA</sub>, Zn<sub>DTPA</sub>, Cu<sub>DTPA</sub> και Fe<sub>DTPA</sub>) και της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC-Cation Exchange Capacity) από 49 εδαφικά δείγματα (53 δειγματοληπτικά σημεία εκ των οποίων στα 4 διπλά χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος) και (γ) τον υπολογισμό του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC-Electric Conductivity) και των ολικών διαλυτών αλάτων (TSS-Total Soluble Salts) από 34 εδαφικά δείγματα (37 δειγματοληπτικά σημεία εκ των οποίων στα 3 διπλά χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος).

Αρχικά, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών, ο διάμεσος, το εύρος τιμών και η τυπική απόκλιση όλων των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής Κινέτας. Η ανάλυση των παραμέτρων αυτών που αφορούν τα διαθέσιμα ιχνοστοιχεία και τις φυσικοχημικές ιδιότητες, παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.1.

**Πίνακας 5.1** Συνοπτική απεικόνιση της μονοπαραγοντικής στατιστικής ανάλυσης των ιδιοτήτων και των γεωχημικών δεδομένων των εδαφικών δειγμάτων από την περιοχή της Κινέτας (<sup>a</sup>n=49, <sup>b</sup>n=34, <sup>c</sup>n=13).

Παράμετρος	Μονάδες	Min	Max	Αρ.Μέσος	Διάμεσος	Τυπ.Απόκλιση
<u>Εδαφικές Ιδιότητες</u>						
Οργανική Ουσία <sup>a</sup>	%	2,93	28,72	11,51	9,51	6,51
ΙΑΚ <sup>a</sup>	cmol(+)/kg	0,00	41,65	25,43	25,12	9,56
pH <sup>b</sup>	-	7,12	7,97	7,66	7,65	0,18
Ηλ.Αγωγιμότητα <sup>b</sup>	μS/cm	755,26	6.243,73	2.444,06	2.030,09	1.319,33
TSS (Total Soluble Salts) <sup>b</sup>	mg/kg	303,36	3.456,00	1.168,56	1.008,64	801,14
<u>Μηχανική Σύσταση</u>						
Άργιλος <sup>c</sup>	%	5,22	36,08	18,09	14,16	10,28
Ιλύς <sup>c</sup>	%	10,00	28,50	19,03	20,00	5,87
Άμμος <sup>c</sup>	%	43,78	83,42	62,88	63,64	12,14
<u>Ιχνοστοιχεία</u>						
Fe <sub>DTPA</sub> <sup>a</sup>	mg/kg	2,97	78,91	24,54	17,18	18,23
Zn <sub>DTPA</sub> <sup>a</sup>	mg/kg	0,78	39,73	7,87	5,44	8,19
Mn <sub>DTPA</sub> <sup>a</sup>	mg/kg	2,86	89,41	28,41	23,92	20,75
Cu <sub>DTPA</sub> <sup>a</sup>	mg/kg	0,34	15,49	1,74	1,24	2,40

Παράλληλα, στα σημεία όπου έγινε διπλή δειγματοληψία, για τα ιχνοστοιχεία υπολογίστηκε η Σχετική Ποσοστιαία Διαφορά (Relative Percent Difference - RPD) των δύο συγκεντρώσεων ( $x_1$  και  $x_2$ ) που εξήχθησαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις:

$$|(x_1-x_2) / (x_1+x_2)/2| \times 100$$

Αυτό έγινε με σκοπό να ελεγχθεί, εάν οι αναλύσεις του εργαστηρίου είχαν ακρίβεια και η εδαφική μήτρα είναι ετερογενής ή όχι. Σύμφωνα, με τις οδηγίες του Υπουργείου Περιβάλλοντος του Καναδά, (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2016) για δείγματα εδάφους, η ανωτέρω τιμή σε εργαστηριακούς ελέγχους ιχνοστοιχείων και μετάλλων θα πρέπει να είναι  $RPD \leq 30\%$ . Στην παρούσα έρευνα, οι ανωτέρω συνθήκες ικανοποιούνται για τα διαθέσιμα ιχνοστοιχεία στις 3 από τις 4 θέσεις, καθώς στη μια θέση παρατηρείται μια απόκλιση στα 3 από τα 4 ιχνοστοιχεία (Zn, Mn και Cu), γεγονός που ίσως οφείλεται στην ετερογένεια του εδάφους στην συγκεκριμένη περιοχή.

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των τιμών των εδαφικών παραμέτρων (πλην της μηχανικής σύστασης) μεταξύ των καμμένων και των ανεπηρέαστων υποπεριοχών, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των μέσων τιμών κάθε μεταβλητής ανά υποπεριοχή, χρησιμοποιώντας μέσω του προγράμματος SPSS, το Student's t-test για ανεξάρτητες μεταβλητές με επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας  $p < 0,05$ .

Ξεκινώντας από την μηχανική ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων ( $n=13$ ), είναι εμφανές ότι η πλειονότητα των εδαφών κατατάσσεται στην ομάδα εδαφών μέσης μηχανικής σύστασης (πηλώδη εδάφη), με εξαίρεση δύο μεμονωμένα εδαφικά δείγματα με σύσταση αργιλώδη και αμμώδη. Πιο συγκεκριμένα, ο χαρακτηρισμός των εδαφών είναι σε ποσοστό 46% αμμώδης πηλός (sandy loam), 23% αμμώδης αργιλοπηλός (sandy clay loam), ενώ με ποσοστό περίπου 8% χαρακτηρίζονται αντίστοιχα εδάφη ως αργιλώδης πηλός (clay loam), αμμώδης άργιλος (sandy clay), πηλός (loam) και πηλώδης άμμος (loamy sand). Επιπλέον, όπως διαφαίνεται και από τις μέσες τιμές για την άργιλο, την ιλύ και την άμμο του Πίνακα 5.1, τα μέσα ποσοστά ανέρχονται σε 18,09%, 19,03% και 62,88%, αντίστοιχα. Βάσει των τιμών αυτών, συμπεραίνεται ότι το ποσοστό της άμμου επικρατεί, με την άργιλο και την ιλύ να έχουν περίπου το ίδιο μικρό ποσοστό, ενώ τα εδάφη στην περιοχή έρευνας μπορούν να καταταχθούν στην κατηγορία των εδαφών μέσης μηχανικής σύστασης, με μέσο χαρακτηρισμό εδαφών ως αμμώδης πηλός (sandy loam).

Αναφορικά, με τις τιμές του pH, αυτές κυμάνθηκαν από 7,12 έως 7,95, ενώ η μέση τιμή που καταγράφεται είναι 7,66. Αυτές οι τιμές του pH στα εδαφικά

δείγματα της περιοχής της Κινέτας, είναι σχεδόν ουδέτερες έως και ελαφρώς αλκαλικές, πιθανώς ως αποτέλεσμα της ισχυρής ικανότητας ρύθμισης των ανθρακικών αλάτων στο εδαφικό κλάσμα (ασβεστολιθικά καλύμματα). Στη σύγκριση των μέσων τιμών που έγινε, μεταξύ των πυρόπληκτων και μη περιοχών, διαπιστώθηκε μια στατιστικά σημαντική ( $p < 0,05$ ) αύξηση του pH στις πυρόπληκτες περιοχές, ήτοι από  $pH=7,59$  σε  $pH=7,74$ . Παρόλα αυτά, η αύξηση αυτή θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι δεν είναι τόσο μεγάλη, πιθανότατα λόγω των ήδη υψηλών τιμών που παρουσιάζει το ανεπηρέαστο έδαφος ( $pH > 7$ ). Αυτό στοιχειοθετείται επιπρόσθετα και από το γεγονός της σύγκρισης του pH του εδάφους της περιοχής έρευνας, σε σχέση με τον αντίστοιχο μέσο όρο των ευρωπαϊκών χωρών που δίδεται από τον Γεωχημικό Άτλαντα της Ευρώπης (FOREGS) (Salminen et al., 2005) (Πιν. 5.2).

**Πίνακας 5.2** Σύγκριση του pH του εδάφους της παρούσας έρευνας με αντίστοιχες τιμές pH του Γεωχημικού Άτλαντα της Ευρώπης (<sup>e</sup>Salminen et al., 2005).

	Διάμεσος έρευνας	Αρ. Μέσος έρευνας	Διάμεσος για επιφ.έδαφος <sup>e</sup>	Αρ. μέσος για επιφ. έδαφος <sup>e</sup>
pH	7,65	7,66	5,51	5,68

Εν συνεχεία, μελετώντας την ΙΑΚ, οι τιμές της κυμαίνονται από το μηδέν, για έδαφος το οποίο δεν έχει καθόλου ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, και φτάνουν μέχρι τα 41,65 cmol(+)/kg, με την μέση τιμή να ανέρχεται στα 25,43 cmol(+)/kg. Γενικά, οι σχετικά υψηλές τιμές της ΙΑΚ ( $> 20$  cmol(+)/kg), δείχνουν ότι η κινητικότητα των ιχνοστοιχείων αναμένεται να είναι μικρή. Αυτές οι υψηλές τιμές που απαντώνται στο συγκεκριμένο έδαφος μπορεί να οφείλονται: είτε (α) στον αλκαλικό χαρακτήρα του εδάφους (υψηλό pH) λόγω του  $CaCO_3$  των ασβεστολιθικών καλυμμάτων, είτε (β) στην περιεχόμενη οργανική ύλη. Στο τελευταίο συνηγορεί και το πόρισμα των Sumner και Miller (1996), σύμφωνα με τους οποίους, η ποσότητα σωματιδίων αργίλου και οργανικής ύλης είναι δύο σημαντικοί παράγοντες που σχετίζονται με την ΙΑΚ. Από την άλλη, το pH του εδάφους είναι σημαντικό για την ΙΑΚ επειδή, καθώς αυξάνεται το pH (καθίσταται λιγότερο οξύ), ο αριθμός των αρνητικών φορτίων στα κolloειδή αυξάνεται, αυξάνοντας έτσι την ΙΑΚ. Όσον αφορά την σύγκριση των μέσων τιμών ΙΑΚ του εδάφους που παρατηρούνται μεταξύ των καμμένων και μη υποπεριοχών, η τιμή

στο πυρόπληκτο έδαφος είναι μεγαλύτερη, αλλά η διαφορά αυτή δεν θεωρείται στατιστικά σημαντική ( $p > 0,05$ ).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και κατ'επέκταση τα ολικά διαλυτά άλατα (TSS), τα οποία υπολογίζονται βάσει της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, παρουσιάζουν ίδια συμπεριφορά. Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από 755,26  $\mu\text{S}/\text{cm}$  έως 6.243,73  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Η μέση τιμή ανέρχεται στα 2.444,06  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ενώ συγκρίνοντας τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ των υποπεριοχών (πυρόπληκτων και μη) παρατηρείται ότι οι πυρόπληκτες περιοχές εμφανίζουν μεγαλύτερη αγωγιμότητα χωρίς, βέβαια, αυτή η αύξηση να είναι στατιστικά σημαντική ( $p > 0,05$ ).

Τέλος, όσον αφορά στο ποσοστό της οργανικής ουσίας στο έδαφος καθώς και στις συγκεντρώσεις των διαθέσιμων ιχνοστοιχείων ( $\text{Fe}_{\text{DTPA}}$ ,  $\text{Mn}_{\text{DTPA}}$ ,  $\text{Zn}_{\text{DTPA}}$  και  $\text{Cu}_{\text{DTPA}}$ ) του εδάφους, τα αποτελέσματα της μονοπαραγοντικής στατιστικής ανάλυσης αυτών, παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.1. Συγκεκριμένα, τα ποσοστά οργανικής ουσίας κυμαίνονται από 2,93% έως 28,72%, με μέση τιμή 11,51%. Αυτό που είναι αξίζει να αναφερθεί είναι η στατιστικά σημαντική ( $p < 0,01$ ) αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους μετά την πυρκαγιά. Συγκεκριμένα, η μέση τιμή αυτής φαίνεται να αυξήθηκε από 8,01% στο 14,37%, όπως προκύπτει από τον υπολογισμό στο έδαφος στις καμμένες και τις ανεπηρέαστες υποπεριοχές.

Αντίστοιχα, εξετάζοντας τις DTPA συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων και την διαφορά που παρουσιάζεται στο έδαφος μεταξύ των καμμένων και μη υποπεριοχών, παρατηρείται μια ποικιλία στις μεταβολές, με κάποιες από αυτές να είναι στατιστικά σημαντικές και άλλες όχι. Αναλυτικότερα, οι συγκεντρώσεις του  $\text{Cu}_{\text{DTPA}}$  κυμάνθηκαν από 0,34 mg/kg μέχρι 15,49 mg/kg, με την μέση τιμή να ανέρχεται στα 1,74 mg/kg. Όσον αφορά τη σύγκριση μεταξύ των υποπεριοχών σχετικά με την επίδραση της πυρκαγιάς, οι μέσες συγκεντρώσεις δεν παρουσιάζουν καμία στατιστικά σημαντική μεταβολή ( $p > 0,05$ ). Το ίδιο ισχύει και για το διαθέσιμο  $\text{Zn}_{\text{DTPA}}$ , του οποίου οι συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν μεταξύ 0,78 - 39,73 mg/kg, με μέση τιμή 7,87 mg/kg. Αναφορικά με το διαθέσιμο Mn, αυτό παρουσίασε συγκεντρώσεις που κυμάνθηκαν μεταξύ 2,86 και 89,41 mg/kg, ενώ η μέση τιμή αυτών ήταν 28,41 mg/kg. Εν αντιθέσει, με τα προηγούμενα ιχνοστοιχεία από την σύγκριση που έγινε μεταξύ των πυρόπληκτων και μη περιοχών,

παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική ( $p < 0,01$ ) αύξηση μετά την πυρκαγιά με τις μέσες τιμές να διαμορφώνονται στα 20,14 mg/kg για το έδαφος των μη καμμένων περιοχών και 35,16 mg/kg για το έδαφος των καμμένων περιοχών, μια αύξηση της τάξης του 75%. Τέλος, οι συγκεντρώσεις του  $Fe_{DTPA}$  στο έδαφος της περιοχής παρουσίασαν τιμές μεταξύ 2,97 - 78,91 mg/kg, με μέση τιμή 24,54 mg/kg, ενώ όπως και στο διαθέσιμο Mn, υπήρξε μια στατιστικά σημαντική ( $p < 0,01$ ) αυξητική διαφορά στο έδαφος των καμμένων περιοχών σε σχέση με αυτά των μη καμμένων περιοχών. Συγκεκριμένα, η μέση τιμή της συγκέντρωσης  $Fe_{DTPA}$  στο έδαφος της καμμένης υποπεριοχής ήταν 32,24 mg/kg, ενώ στην ανεπηρέαστη ήταν 15,09 mg/kg, παρατηρώντας μια έντονη διαφορά της τάξης του 114%.

Παράλληλα, πέρα των ανωτέρω, έγινε σύγκριση των μέσων συγκεντρώσεων των Fe, Mn, Zn και Cu στα εδαφικά δείγματα αυτής της έρευνας, με συγκεντρώσεις-όρια των στοιχείων αυτών από διάφορα πρότυπα ποιότητας και άλλες βασικές έρευνες υποβάθρου. Συγκεκριμένα, ο αριθμητικός μέσος και ο διάμεσος των DTPA συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων συγκρίθηκαν: (α) με τις ολικές συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων από διάφορες Ευρωπαϊκές οδηγίες-πρότυπα, οι οποίες αφορούν σε όρια ρύπανσης του εδάφους (Ολλανδικά Πρότυπα-Dutch Target and Intervention Values (the New Dutch List), Σουηδικά Πρότυπα-Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites (Swedish Environmental protection Agency) και παλαιότερα πρότυπα του Ην. Βασιλείου - GLC guidelines: Great London Council definitions of contaminated soils – suggested range of values), (β) με τις ολικές συγκεντρώσεις υποβάθρου από έρευνες οι οποίες έχουν γίνει και αφορούν τόσο τον ευρωπαϊκό χώρο (Salminen et al., 2005), όσο και ολόκληρο το φλοιό της Γης (Turekian and Wedepohl, 1961) και (γ) με συγκεντρώσεις των αντίστοιχων εκχυλίσιμων με DTPA ιχνοστοιχείων, οι οποίες αποτελούν κρίσιμα όρια θρεπτικής επάρκειας του εδάφους (Nutrient Critical levels) (Lindsay and Norvell, 1978) και όρια πάνω από τα οποία, οι συγκεντρώσεις καθίστανται τοξικές/επιβλαβείς για τις καλλιέργειες (CFL, 1983; Landon, 1991). Το σύνολο των ανωτέρω παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.3.

Παρατηρώντας τις τιμές του εν λόγω πίνακα είναι φανερό ότι καμιά συγκέντρωση δεν ξεπερνά τα όρια που τίθενται για τις ολικές συγκεντρώσεις από τα διάφορα πρότυπα και τις έρευνες υποβάθρου. Αυτό είναι πολύ φυσιολογικό, δεδομένου ότι οι συγκεντρώσεις που προκύπτουν από την εκχύλιση με διάλυμα

**Πίνακας 5.3** Σύγκριση των μέσων τιμών και των διαμέσων των συγκεντρώσεων (mg/kg) των ιχνοστοιχείων της περιοχής της Κινέτας με αντίστοιχες συγκεντρώσεις σε πρότυπα ποιότητας και άλλες βασικές έρευνες υποβάθρου (<sup>a</sup>Lindsay and Norvell (1978), <sup>b</sup>Landon (1991), <sup>c</sup>Consolidated Fertilizers Limited (CFL) (1983) (ριζώδη), <sup>d</sup>Turekian and Wedepohl (1961), <sup>e</sup>Salminen et al. (2005), <sup>f</sup>Ολλανδικές τιμές στόχου και παρέμβασης (Νέα Ολλανδική Λίστα), <sup>g</sup>Κριτήρια ποιότητας περιβάλλοντος για ρυπασμένους τόπους (Σουηδική υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος), <sup>h</sup>G.L.C: Great London Council Οδηγίες: Ορισμοί ρυπασμένων εδαφών - προτεινόμενο εύρος τιμών: I: Τυπικές τιμές για ανεπηρέαστα εδάφη, II: Ελαφριά ρύπανση, III: Ρυπασμένα εδάφη, IV: Βαριά ρύπανση, V: Ασυνήθιστα βαριά ρύπανση).

	Διάμεσος έρευνας	Αρ.Μέσος έρευνας	Κρίσιμα όρια Θρεπτικότητας (Ανεπάρκεια) <sup>a</sup>	Τοξικό/Επιβλαβές όριο	Μ.Ο. φλοιού Γης. <sup>d</sup>	Αρ. Μέσος Ευρ.εδαφών <sup>e</sup>	Ολλανδικές Οδηγίες <sup>f</sup>	Σουηδικά Κριτήρια (Επιδράσεις από σημειακή πηγή) <sup>g</sup>				G.L.C. οδηγίες <sup>h</sup>				
	(mg/kg)	(mg/kg)	Fe <sub>DTPA</sub> , Mn <sub>DTPA</sub> , Zn <sub>DTPA</sub> και Cu <sub>DTPA</sub> (mg/kg)					Λίγο ή Καθόλου	Μέτρια	Μεγάλη	Πολύ Μεγάλη	I	II	III	IV	V
Fe <sub>DTPA</sub>	17,18	24,21	< 4,50	-	47.200	21.700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn <sub>DTPA</sub>	5,45	7,94	< 0,60	10 <sup>b</sup>	95	68,10	720	<60	60–300	300–1.500	>1.500	250	500	1.000	5.000	>5.000
Mn <sub>DTPA</sub>	23,76	29,20	<3,50	45 <sup>c</sup>	850	524	-	-	-	-	-	500	1.000	2.000	1%	>1%
Cu <sub>DTPA</sub>	1,28	1,99	<0,20	20 <sup>c</sup>	45	17,30	190	<25	25–130	130–650	>650	-	-	-	-	-

DTPA, προσδιορίζουν μόνο την διαθέσιμη για τα φυτά συγκέντρωση του εκάστοτε ιχνοστοιχείου, η οποία αποτελεί ουσιαστικά ένα μέρος της ολικής συγκέντρωσης του ιχνοστοιχείου που βρίσκεται στο έδαφος. Συγκρίνοντας τις μέσες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων της παρούσας έρευνας, με τα κρίσιμα όρια θρεπτικότητας κατά Lindsay and Norvell (1978), διαπιστώνεται ότι ικανοποιούνται τα κριτήρια θρεπτικής επάρκειας, ενώ αντίστοιχα δεν παρατηρείται υπέρβαση στα όρια τοξικότητας (CFL, 1983; Landon, 1991).

Κατόπιν, εξετάζοντας την συγκέντρωση σε κάθε δείγμα μεμονωμένα, παρατηρείται ότι τα κρίσιμα όρια θρεπτικότητας των Lindsay and Norvell (1978) δεν τηρούνται για 1 εδαφικό δείγμα (ποσοστό 1,9% επί συνόλου) το οποίο παρουσιάζει συγκεντρώσεις  $Fe_{DTPA}$  και  $Mn_{DTPA}$  κάτω από τα όρια, δείχνοντας μια μεμονωμένη ανεπάρκεια του σημείου αυτού (Πιν. 5.4). Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις όλων των ιχνοστοιχείων σε όλα τα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας βρίσκονται πάνω από τα όρια θρεπτικής επάρκειας. Με βάση τα ανωτέρω, θα μπορούσε να ειπωθεί πως η περιοχή δεν φαίνεται να αντιμετωπίζει θέμα γονιμότητας του εδάφους, παρά το φαινόμενο της πυρκαγιάς.

**Πίνακας 5.4** Αριθμός και ποσοστό εδαφικών δειγμάτων της περιοχής Κινέτας των οποίων οι συγκεντρώσεις βρίσκονται κάτω από τα κρίσιμα όρια θρεπτικότητας (<sup>a</sup>Lindsay and Norvell (1978)) και πάνω από τα τοξικά/επιβλαβή όρια για καλλιέργειες (<sup>b</sup>Landon (1991), <sup>c</sup>Consolidated Fertilizers Limited (CFL) (1983) (ριζώδη)).

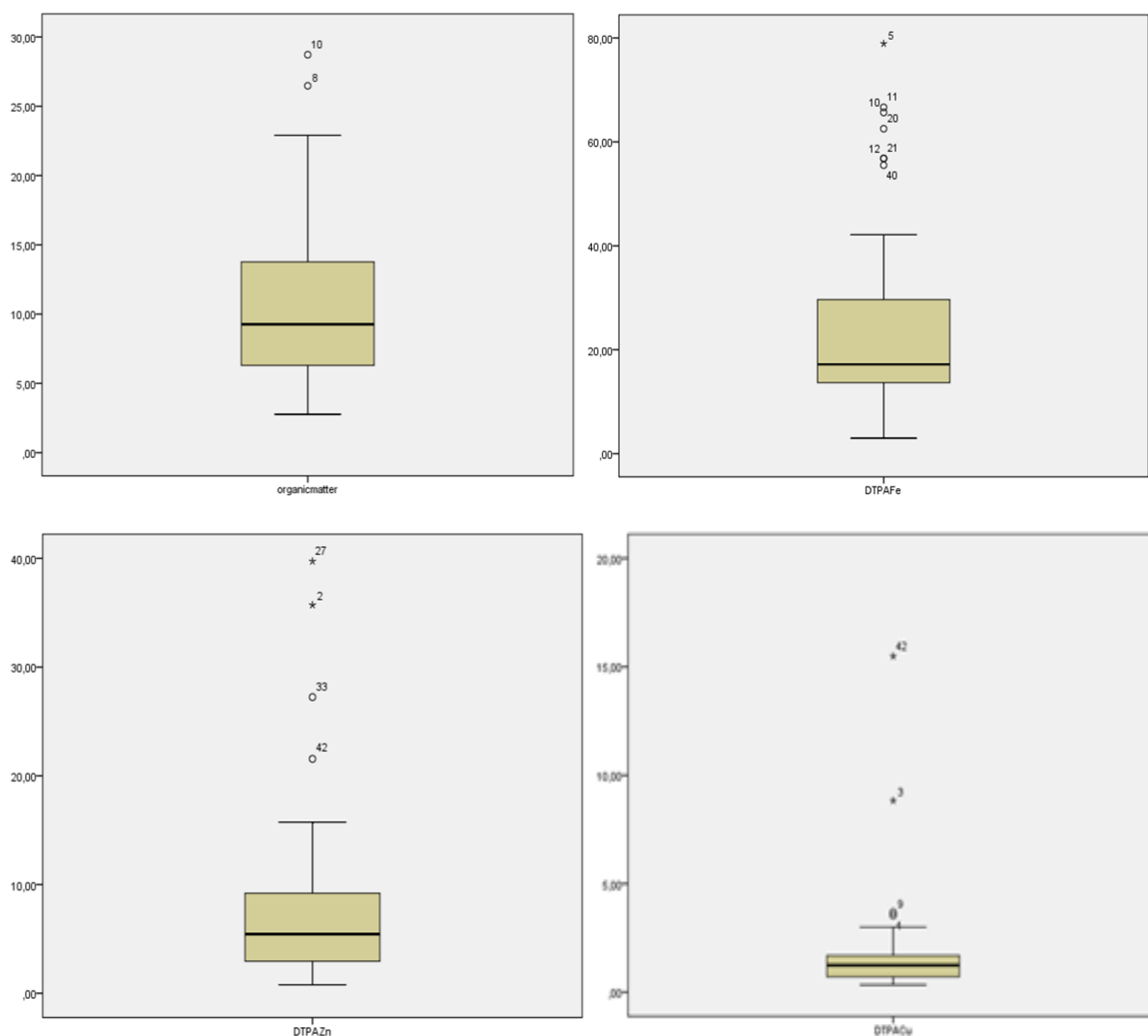
	$Fe_{DTPA}$	$Zn_{DTPA}$	$Mn_{DTPA}$	$Cu_{DTPA}$
Αριθμός (και ποσοστό επί τοις εκατό%) των εδαφικών δειγμάτων στην Κινέτα που βρίσκονται κάτω από τα κρίσιμα όρια θρεπτικότητας <sup>a</sup>	1 (1,9%) <sup>a</sup>	0 (0%) <sup>a</sup>	1 (1,9%) <sup>a</sup>	0 (0%) <sup>a</sup>
Αριθμός (και ποσοστό επί τοις εκατό%) των εδαφικών δειγμάτων στην Κινέτα που ξεπερνούν τα τοξικά/επιβλαβή όρια <sup>b,c</sup>	-	12 (22,6%) <sup>b</sup>	10 (18,9%) <sup>c</sup>	0 (0%) <sup>b</sup>

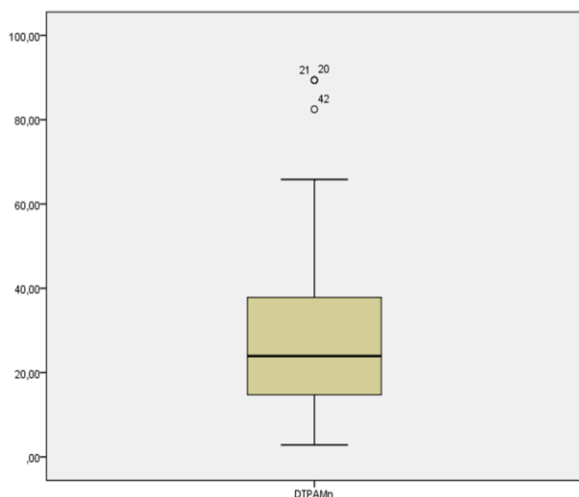
Εν συνεχεία, συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων σε κάθε θέση δειγματοληψίας με τα όρια τοξικότητας (CFL, 1983; Landon, 1991) παρατηρείται ότι σε 12 εδαφικά δείγματα (ποσοστό 22,6% επί του συνόλου) το ιχνοστοιχείο  $Zn_{DTPA}$  παρουσιάζει υπέρβαση των ορίων, ενώ σε 10 εδαφικά δείγματα (ποσοστό



18,9% επί του συνόλου) παρουσιάζεται υπέρβαση των ορίων τοξικότητας στο ιχνοστοιχείο  $Mn_{DTPA}$ . Καμία υπέρβαση δεν εμφανίζει ο  $Cu_{DTPA}$ , ενώ όρια τοξικότητας δεν ορίζονται για τον  $Fe_{DTPA}$  (Πιν. 5.4). Αυτό σημαίνει ότι στην περιοχή της Κινέτας θα χρειαστεί η λήψη κατάλληλων μέτρων για την καλλιέργεια ορισμένων φυτικών ειδών, ενώ η υπέρβαση των ορίων τοξικότητας για τα ιχνοστοιχεία  $Zn_{DTPA}$  και  $Mn_{DTPA}$ , θα μπορούσε να αποτελέσει ένδειξη για ενδεχόμενη ρύπανση του εδάφους και από άλλους παράγοντες, επιφέροντας πιθανούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία μέσω της χρήσης γης

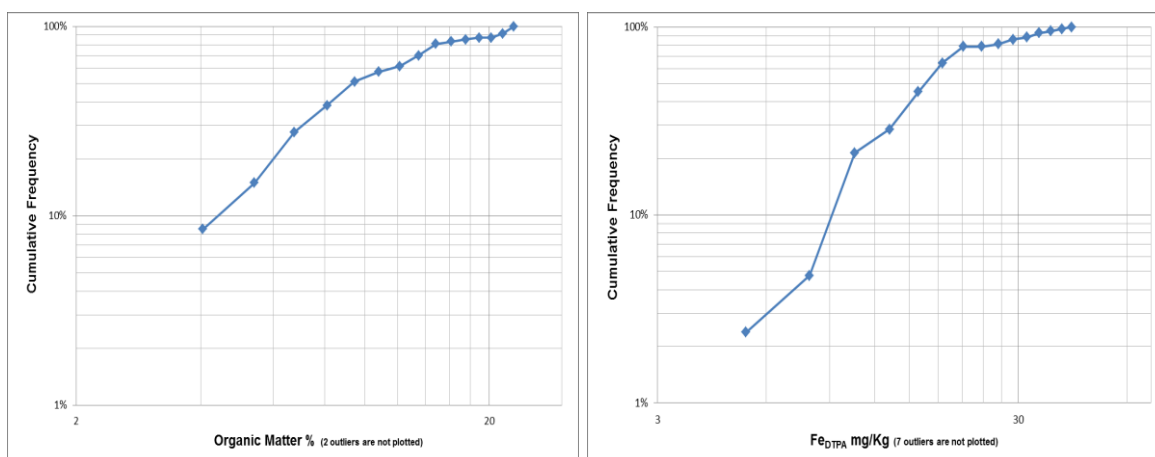
Για την περαιτέρω στατιστική ανάλυση των συγκεντρώσεων των τεσσάρων ιχνοστοιχείων και της οργανικής ουσίας, δημιουργήθηκαν διαγράμματα CDF (Cumulative Distribution Function). Αρχικά, τα εν λόγω δεδομένα, ελέγχθηκαν, για ενδείξεις ακραίων ή απομακρυσμένων τιμών χρησιμοποιώντας θηκογράμματα (boxplots) (Carranza, 2009) (Εικ. 5.1). Έτσι, αφού αφαιρέθηκαν οι τιμές αυτές, προετοιμάστηκε ένα υποσύνολο για περαιτέρω στατιστική ανάλυση.

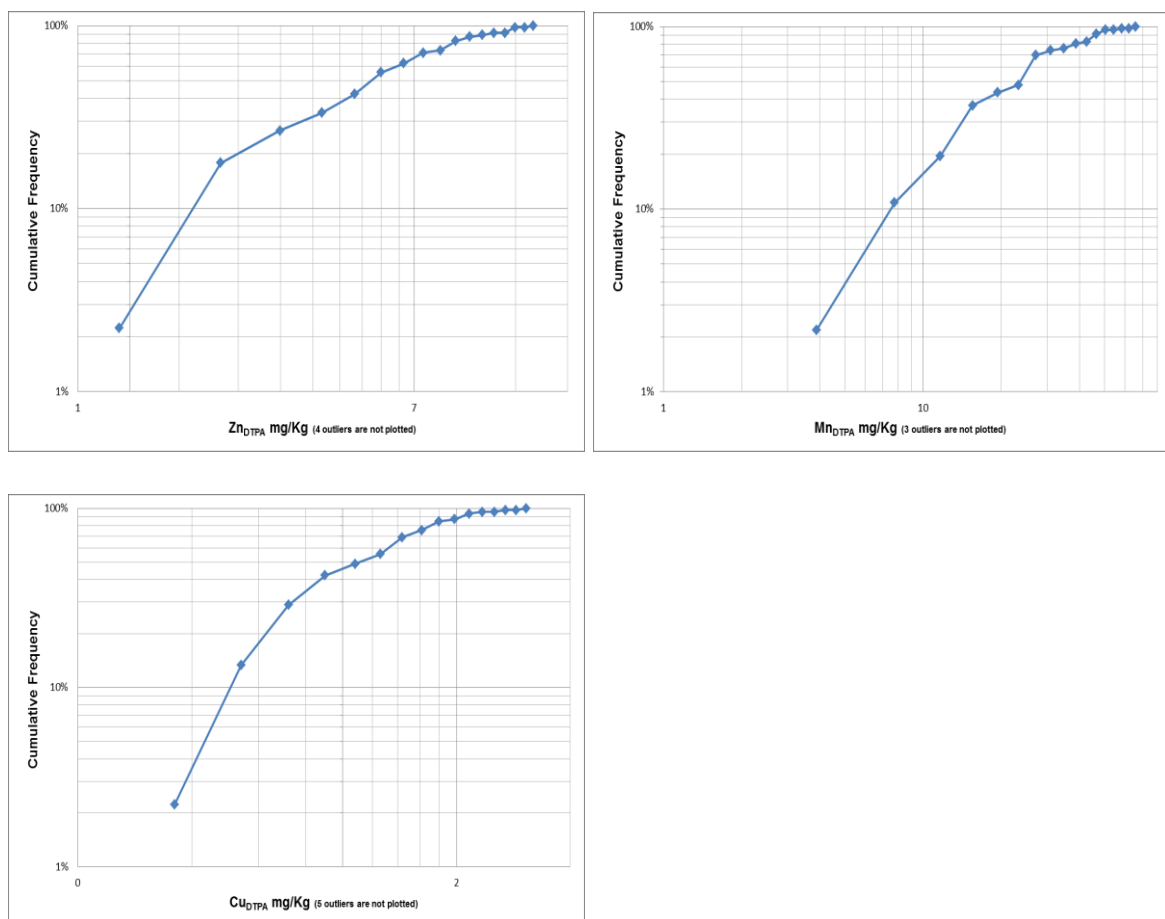




**Εικόνα 5.1** Γραφήματα τύπου boxplots όπου απεικονίζονται οι ακραίες (με αστερίσκο) και οι απομακρυσμένες (με κύκλο) τιμές, μαζί με τον αύξοντα αριθμό της τιμής αυτής, ανά κατηγορία εδαφικών δεδομένων.

Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας της κατανομής τους, με κριτήριο την σχέση μεταξύ αριθμητικού μέσου και διάμεσου. Δεδομένου, ότι σε όλα τα δεδομένα διαπιστώθηκε αριθμητικός μέσος > διάμεσος, όλες οι κατανομές χαρακτηρίζονται ως μη κανονικές με θετική ασυμμετρία-λοξότητα. Ως εκ τούτου, εφαρμόστηκε λογαριθμικός (με βάση το 10) μετασχηματισμός για την ομαλοποίηση των δεδομένων. Από το σύνολο των CDF διαγραμμάτων, που παρουσιάζονται παρακάτω (Εικ. 5.2), εξήχθησαν και οι τιμές κατωφλίου στα σημεία όπου παρουσιάζεται «σπάσιμο» και αλλαγή της κλίσης της καμπύλης.





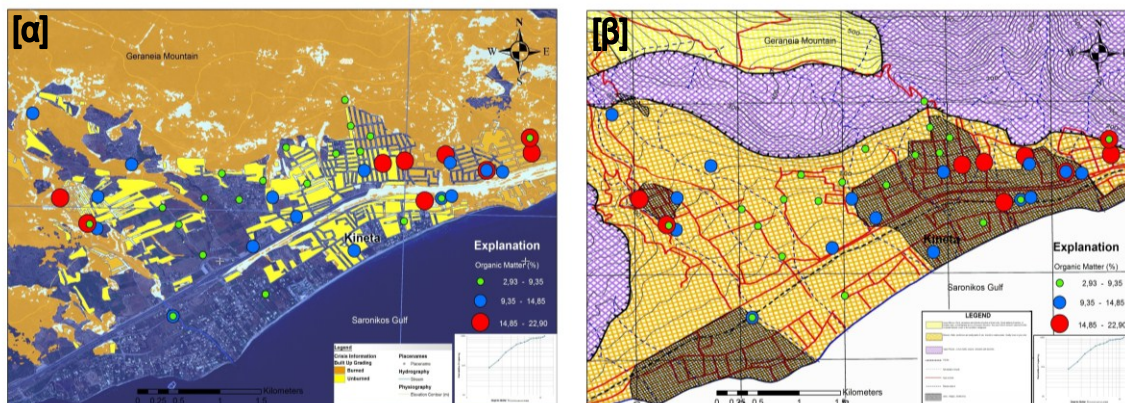
**Εικόνα 5.2** Διαγράμματα CDF για τα  $Fe_{DTPA}$ ,  $Zn_{DTPA}$ ,  $Mn_{DTPA}$ ,  $Cu_{DTPA}$  και Οργανική Ουσία των εδαφικών δειγμάτων της Κινέτας ( $n = 53$ ).

Με βάση τις τιμές των κατωφλίου, καθορίστηκαν οι τιμές πλαισίου και οι ανώμαλες τιμές. Συνοπτικά για κάθε μεταβλητή, οι εν λόγω τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.

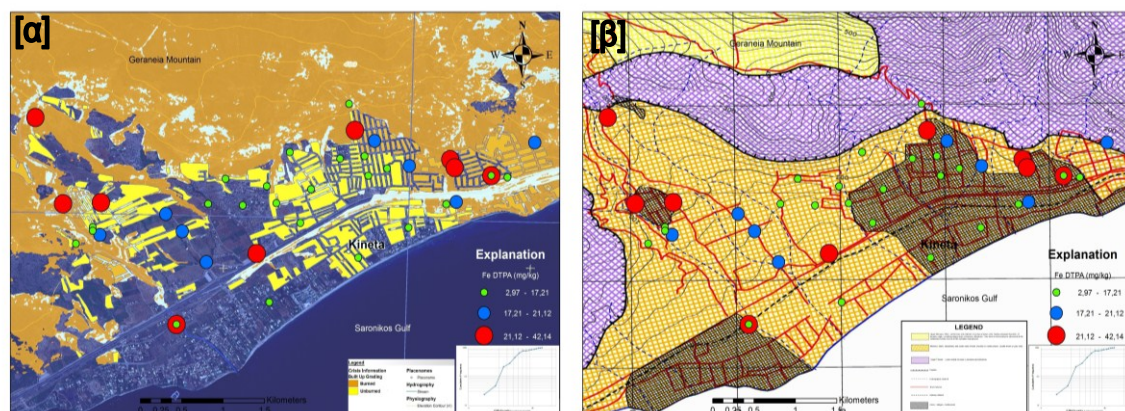
**Πίνακας 5.5** Τιμές πλαισίου, κατωφλίου και ανώμαλες τιμές για την οργανική ουσία και τα ιχνοστοιχεία.

Παράμετρος	Μονάδες	Τιμές Πλαισίου	Τιμές κατωφλίου	Ανώμαλες τιμές
<u>Εδαφικές ιδιότητες</u>				
Οργανική Ουσία	%	2,93-9,35	14,85	14,85-22,90
<u>Ιχνοστοιχεία</u>				
$Fe_{DTPA}$	mg/kg	2,97-17,21	21,12	21,12-42,14
$Zn_{DTPA}$	mg/kg	0,78-5,18	8,37	8,37-15,74
$Mn_{DTPA}$	mg/kg	2,86-23,63	42,68	42,68-65,85
$Cu_{DTPA}$	mg/kg	0,34-1,11	1,98	1,98-3,00

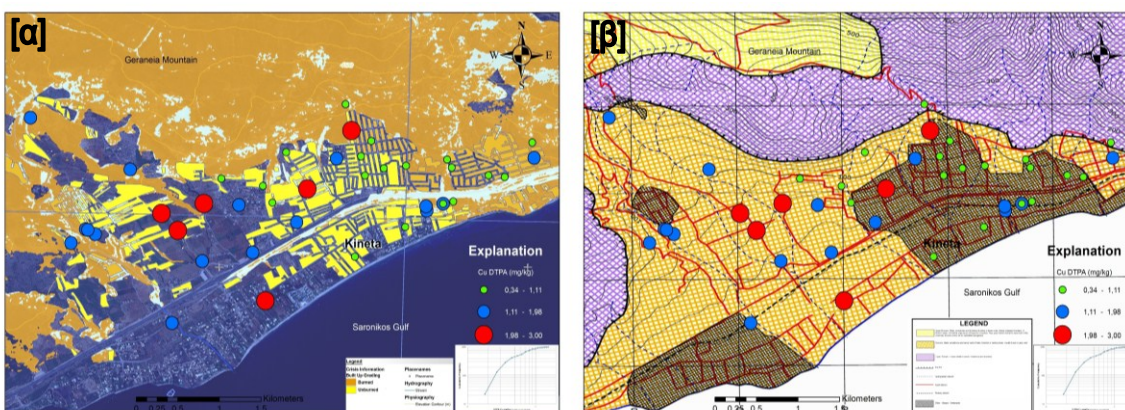
Τέλος, δημιουργήθηκαν χάρτες στους οποίους απεικονίζεται με spots η χωρική κατανομή των μεταβλητών που εξετάστηκαν ανωτέρω, διαβαθμισμένη σε τρεις κλάσεις, σύμφωνα με τις τιμές πλαισίου, κατωφλίου και ανωμαλιών (Εικ. 5.3-5.7).



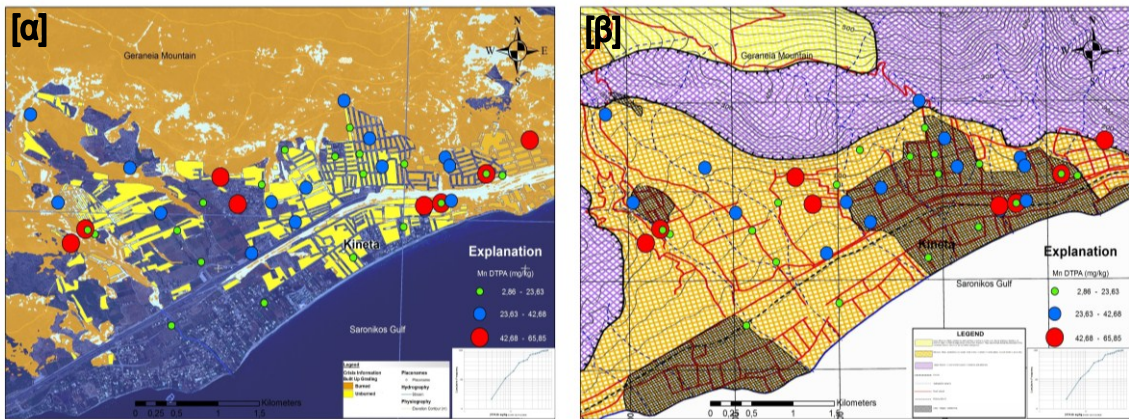
**Εικόνα 5.3** Διαβαθμισμένη απεικόνιση με spots της χωρικής κατανομής της οργανικής ουσίας στο έδαφος της περιοχής Κινέτας (α) σε χάρτη που απεικονίζεται η καμμένη περιοχή και (β) σε χάρτη που απεικονίζεται το γεωλογικό υπόβαθρο.



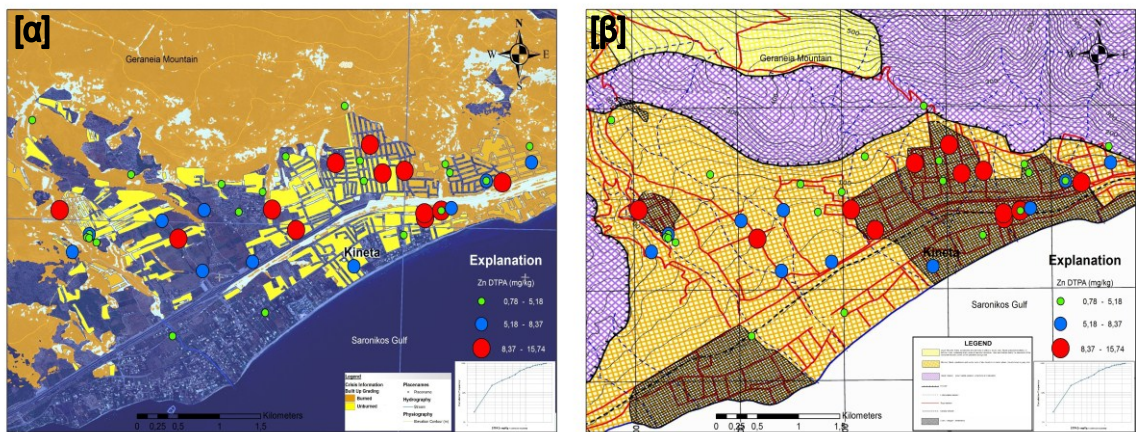
**Εικόνα 5.4** Διαβαθμισμένη απεικόνιση με spots της χωρικής κατανομής του  $Fe_{DTPA}$  στο έδαφος της περιοχής Κινέτας (α) σε χάρτη που απεικονίζεται η καμμένη περιοχή και (β) σε χάρτη που απεικονίζεται το γεωλογικό υπόβαθρο.



**Εικόνα 5.5** Διαβαθμισμένη απεικόνιση με spots της χωρικής κατανομής του  $Cu_{DTPA}$  στο έδαφος της περιοχής Κινέτας (α) σε χάρτη που απεικονίζεται η καμμένη περιοχή και (β) σε χάρτη που απεικονίζεται το γεωλογικό υπόβαθρο.



**Εικόνα 5.6** Διαβαθμισμένη απεικόνιση με spots της χωρικής κατανομή του  $Mn_{DTPA}$  στο έδαφος της περιοχής Κινέτας (α) σε χάρτη που απεικονίζεται η καμμένη περιοχή και (β) σε χάρτη που απεικονίζεται το γεωλογικό υπόβαθρο.



**Εικόνα 5.7** Διαβαθμισμένη απεικόνιση με spots της χωρικής κατανομή του  $Zn_{DTPA}$  στο έδαφος της περιοχής Κινέτας (α) σε χάρτη που απεικονίζεται η καμμένη περιοχή και (β) σε χάρτη που απεικονίζεται το γεωλογικό υπόβαθρο.

### 5.2.2 Ανάλυση με δύο μεταβλητές (bivariate stats)

Τα δεδομένα από τα εδαφικά δείγματα εξετάστηκαν στο σύνολό τους, ως προς την συσχέτιση που έχουν μεταξύ τους (ανά δύο), χρησιμοποιώντας κατάλληλο συντελεστή συσχέτισης. Η ανάλυση αυτή μεταξύ των παραμέτρων πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος SPSS. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής συσχέτισης Pearson, χρησιμοποιήθηκε για τη συσχέτιση των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων στο έδαφος και των ιδιοτήτων του εδάφους pH, IAK, ηλεκτρική αγωγιμότητα και οργανική ουσία. Όλες οι στατιστικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 5%. Το σύνολο των αποτελεσμάτων από αυτή τη σύγκριση φαίνεται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 5.6.

**Πίνακας 5.6** Συντελεστές συσχέτισης Pearson και p values των εδαφικών παραμέτρων της περιοχής Κινέτας.

		Οργαν. Ουσία	ΙΑΚ	pH	Ηλ. Αγωγιμότητα	Fe <sub>DTPA</sub>	Zn <sub>DTPA</sub>	Mn <sub>DTPA</sub>	Cu <sub>DTPA</sub>
Οργανική Ουσία	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	1							
ΙΑΚ	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	,709**	1						
pH	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	-,106	-,179	1					
Ηλ.Αγωγ.	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	,338	,025	-,352*	1				
Fe <sub>DTPA</sub>	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	,632**	,594**	,288	,083	1			
Zn <sub>DTPA</sub>	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	-,034	,005	-,286	,439**	,035	1		
Mn <sub>DTPA</sub>	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	,540**	,469**	,071	,453**	,633**	,094	1	
Cu <sub>DTPA</sub>	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	-,080	,018	-,090	-,018	,077	,300*	,283*	1
		,586	,900	,612	,920	,599	,036	,048	

\*\* . Η συσχέτιση είναι στατιστικά σημαντική στο 0.01.

\* . Η συσχέτιση είναι στατιστικά σημαντική στο 0.05.

Ξεκινώντας από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και παρατηρώντας τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης Pearson και τα p values του πίνακα, η οργανική ουσία εμφανίζει μια δυνατή συσχέτιση με την ΙΑΚ ( $r=0,709$ ,  $p<0,01$ ). Επιπλέον, μια μικρή και αρνητική συσχέτιση υπάρχει μεταξύ του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $r=-0,352$ ,  $p<0,05$ ), γεγονός που σημαίνει ότι όσο οι τιμή του pH μικραίνει, η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται. Αναφορικά, με την συσχέτιση μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους και των ιχνοστοιχείων, διαφαίνεται μια πολύ καλή συσχέτιση του Fe<sub>DTPA</sub> με την οργανική ουσία ( $r=0,632$ ,  $p<0,01$ ) και μια μέτρια συσχέτιση με την ΙΑΚ ( $r=0,594$ ,  $p<0,01$ ). Ο Zn<sub>DTPA</sub> εμφανίζει μια μέτρια σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $r=0,439$ ,  $p<0,01$ ), ενώ το Mn<sub>DTPA</sub> συσχετίζεται ικανοποιητικά με την οργανική ουσία ( $r=0,540$ ,  $p<0,01$ ), την ΙΑΚ ( $r=0,469$ ,  $p<0,01$ ) και την ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $r=0,453$ ,  $p<0,01$ ). Τέλος, ο Cu<sub>DTPA</sub> δεν φαίνεται να έχει σχέση με κάποια φυσικοχημική ιδιότητα του εδάφους. Όσον αφορά στην συσχέτιση μεταξύ των ιχνοστοιχείων, ο Fe<sub>DTPA</sub> συσχετίζεται αρκετά καλά με το Mn<sub>DTPA</sub> ( $r=0,633$ ,  $p<0,01$ ), ενώ ο Cu<sub>DTPA</sub> εμφανίζει μια αδύναμη συσχέτιση με τον Zn<sub>DTPA</sub> ( $r=0,300$ ,  $p<0,05$ ) και το Mn<sub>DTPA</sub> ( $r=0,283$ ,  $p<0,05$ ).

### 5.2.3 Πολυμεταβλητή ανάλυση με χρήση παραγόντων (factor analysis)

Όσον αφορά στην πολυμεταβλητή ανάλυση, οι παράμετροι των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής της Κινέτας που εξετάστηκαν, επεξεργάστηκαν με τις στατιστικές τεχνικές της R-mode παραγοντικής ανάλυσης, εφαρμόζοντας την τεχνική περιστροφής Varimax με κανονικοποίηση Kaiser, ενώ κρατήθηκαν όσοι παράγοντες είχαν χαρακτηριστική ρίζα (eigenvalue) μεγαλύτερη από 1. Αυτή η ανάλυση έγινε προκειμένου να προσδιοριστεί η κοινή προέλευση και οι εσωτερικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Η πολυμεταβλητή ανάλυση εφαρμόστηκε μεταξύ των 4 διαθέσιμων μορφών των ιχνοστοιχείων ( $Fe_{DTPA}$ ,  $Mn_{DTPA}$ ,  $Zn_{DTPA}$  και  $Cu_{DTPA}$ ), της οργανικής ουσίας και της ΙΑΚ με βάση το ειδικό περιβαλλοντικό ενδιαφέρον που σχετίζεται με τη λιθολογία και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες της περιοχής της Κινέτας. Η επιλογή των μεταβλητών που συμμετείχαν στην παραγοντική ανάλυση έγινε με κριτήριο η τιμή Kaiser-Meyer-Olkin (ΚΜΟ) να είναι μεγαλύτερη του 0,750, ενώ οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν λογαριθμημένες, προκειμένου η ανάλυση να δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα,

Από την παραγοντική ανάλυση των ανωτέρω μεταβλητών, προέκυψαν δύο παράγοντες. Στον Πίνακα 5.7, φαίνονται τα φορτία ανά παράγοντα μετά την περιστροφή varimax, οι εταιρικότητες (communalities) και το ποσοστό διακύμανσης.

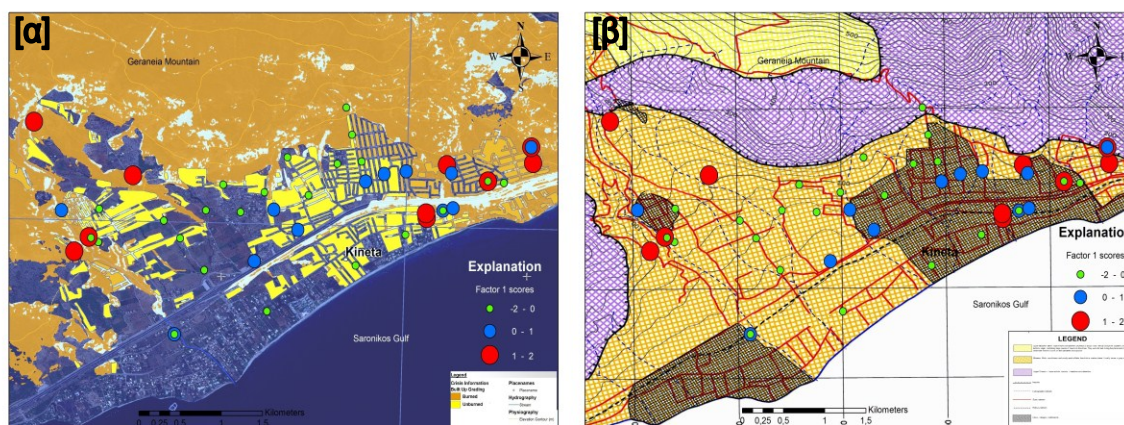
**Πίνακας 5.7** Τιμές των παραγοντικών φορτίων μετά από περιστροφή Varimax και τιμές της διακύμανσης για τις εξεταζόμενες παραμέτρους των εδαφικών δειγμάτων της Κινέτας (n = 49).

Μεταβλητή	Παράγοντας 1	Παράγοντας 2	Εταιρικότητες
Οργανική Ουσία	,893		,804
ΙΑΚ	,810		,675
$Fe_{DTPA}$	,808		,714
$Mn_{DTPA}$	,765	,388	,735
$Cu_{DTPA}$		,866	,752
$Zn_{DTPA}$		,768	,638
Διακύμανση	2,741	1,578	4,319
% Διακύμανση	45,68	26,30	71,98

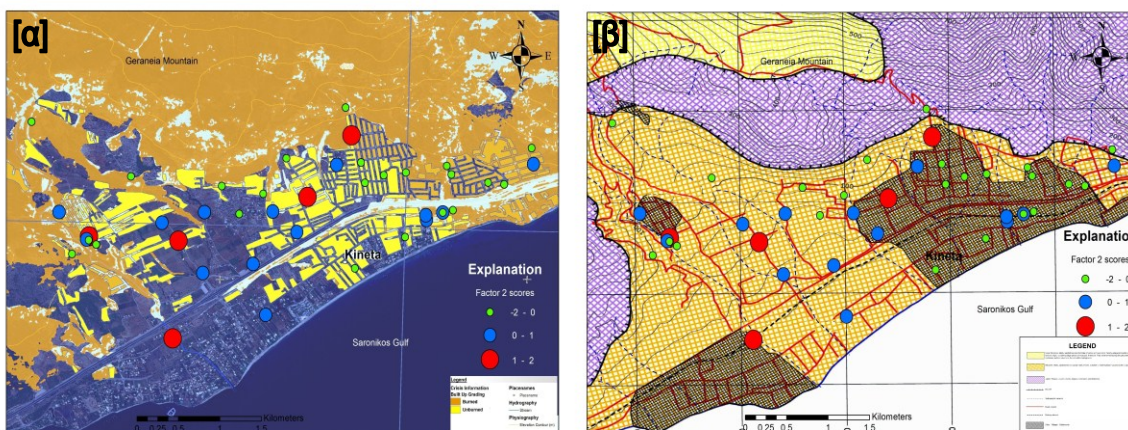
Στην παρούσα έρευνα, η κατανομή των παραμέτρων που αφορούν στο έδαφος της περιοχής της Κινέτας, εξηγείται από δύο παράγοντες που αντιπροσωπεύουν το 72% της συνολικής διακύμανσης του συνόλου των δεδομένων. Ο Παράγοντας 1, που αντιπροσωπεύει το 45,68% του συνόλου των

μεταβλητών, είναι ένας παράγοντας με υψηλά θετικά φορτία (μεγαλύτερα από +0,765) για τις παραμέτρους οργανική ουσία, ΙΑΚ,  $Fe_{DTPA}$  και  $Mn_{DTPA}$ . Από την άλλη μεριά, ο Παράγοντας 2, εξηγώντας το 26,30% της συνολικής διακύμανσης, παρουσιάζει υψηλά θετικά φορτία (μεγαλύτερα από +0,768) για τα  $Zn_{DTPA}$  και  $Cu_{DTPA}$ , και μέτρια θετικά φορτία για το  $Mn_{DTPA}$  (+0,388).

Επιπλέον, μέσω τους λογισμικού SPSS υπολογίστηκε για κάθε εδαφικό δείγμα το φορτίο ανά παράγοντα (factor score) και με την χρήση GIS, δημιουργήθηκαν χάρτες (Εικ. 5.8 και 5.9) με διαβαθμισμένα σημεία, οι οποίοι κατέδειξαν την χωρική συσχέτιση μεταξύ των υψηλών παραγοντικών φορτίων και της αντίστοιχης πηγής ρύπανσης του εδάφους.



**Εικόνα 5.8** Διαβαθμισμένη απεικόνιση με κουκίδες των φορτίων του Παράγοντα 1 (Οργανική Ουσία, ΙΑΚ,  $Fe_{DTPA}$  και  $Zn_{DTPA}$ ) στο έδαφος της περιοχής Κινέτας (α) σε χάρτη που απεικονίζεται η καμμένη περιοχή και (β) σε χάρτη που απεικονίζεται το γεωλογικό υπόβαθρο.



**Εικόνα 5.9** Διαβαθμισμένη απεικόνιση με κουκίδες των φορτίων του Παράγοντα 2 ( $Zn_{DTPA}$ ,  $Cu_{DTPA}$ , και  $Mn_{DTPA}$ ) στο έδαφος της περιοχής Κινέτας (α) σε χάρτη που απεικονίζεται η καμμένη περιοχή και (β) σε χάρτη που απεικονίζεται το γεωλογικό υπόβαθρο.



## 5.3 Συζήτηση

### 5.3.1 Μονοπαραγοντική (univariate) ανάλυση

Από την ανωτέρω στατιστική ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων παρατηρήθηκε ότι το φαινόμενο της πυρκαγιάς επηρέασε τόσο τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, όσο και τις συγκεντρώσεις των διαθέσιμων ιχνοστοιχείων σε αυτό.

Ξεκινώντας με την μηχανική σύσταση του εδάφους, το μέσο ποσοστό της άμμου επικρατεί, με την άργιλο και την ιλύ να έχουν το ίδιο μοιρασμένο μικρό ποσοστό, ενώ τα εδάφη κατατάσσονται στην κατηγορία των εδαφών μέσης μηχανικής σύστασης, με μέσο χαρακτηρισμό ως αμμώδης πηλός (sandy loam). Αυτό επιβεβαιώνεται και με τα στοιχεία που παραθέτουν οι Yassoglou et al. (2017) για τα ελληνικά εδάφη, σε περιοχές όπου υπάρχουν φλύσχης ως μητρικό υλικό, όπως στα Γεράνεια Όρη, και ψαμμίτες, όπως στην περιοχή έρευνας-Κινέτα.

Όπως παρατηρήθηκε, οι τιμές του pH στα εδαφικά δείγματα είναι σχεδόν ουδέτερες έως ελαφρώς αλκαλικές, γεγονός που αποδίδεται στην ρυθμιστική ικανότητα των ανθρακικών αλάτων στα ασβεστολιθικά καλύμματα της περιοχής, όπως περιγράφεται στη γεωλογία της περιοχής από τον Μπεζέ (2011). Παράλληλα, οι τιμές που ανιχνεύτηκαν συμφωνούν και με την βιβλιογραφία των Yassoglou et al. (2017), καθώς οι ψαμμίτες, οι οποίοι χαρακτηρίζουν την περιοχή (Μπεζές, 2011), τείνουν να εμφανίζουν pH το οποίο κυμαίνεται από 7,0 έως 8,0. Από την εξέταση των τιμών μεταξύ των εδαφικών δειγμάτων στις καμμένες και μη περιοχές, διαπιστώθηκε ελαφρώς υψηλότερη τιμή pH στο έδαφος των πυρόπληκτων περιοχών, το οποίο συμφωνεί πλήρως με τους Gómez-Rey et al. (2014), οι οποίοι στην έρευνά τους εντόπισαν μια μικρή αύξηση της τάξης του 0,3. Γενικότερα, αύξηση του pH μετά από πυρκαγιές εντοπίζεται σε πολλές έρευνες (Boerner et al., 2009; Norouzi and Ramezani, 2013a; Campos et al., 2016). Η αύξηση του pH του εδάφους, ωστόσο είναι συνήθως προσωρινή, ανάλογα, βέβαια, με το αρχικό pH, την ποσότητα τέφρας που απελευθερώνεται, τη χημική σύνθεση της τέφρας και την υγρασία του κλίματος (Neary et al., 2005).

Εν συνεχεία, η ΙΑΚ εμφάνισε σχετικά υψηλές τιμές (>20 cmol(+)/kg), γεγονός που δείχνει ότι η κινητικότητα των ιχνοστοιχείων αναμένεται να είναι μικρή. Αυτές οι υψηλές τιμές μπορεί να οφείλονται στον αλκαλικό χαρακτήρα του εδάφους (υψηλό pH), αλλά και στην περιεχόμενη οργανική ύλη. Στο τελευταίο, συνηγορεί

και το πόρισμα των Sumner και Miller (1996). Όσον αφορά τις τιμές ΙΑΚ που παρατηρούνται στο έδαφος μεταξύ των καμμένων και μη περιοχών, παρά την αύξηση που σημειώνεται αυτή δεν θεωρείται στατιστικά σημαντική. Εν τούτοις, αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχουν έρευνες που έχουν γίνει σε δάση με δρυς, όπου η ΙΑΚ φαίνεται να είναι μεγαλύτερη, κυρίως μετά από πυρκαγιές μεσαίας δριμύτητας (Heydari et al., 2016).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο έδαφος δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των πυρόπληκτων και μη περιοχών. Εντούτοις οι αλλαγές που εντοπίζονται στην ηλεκτρική αγωγιμότητα και στο pH μετά από μια πυρκαγιά, οφείλονται κυρίως στην καύση της επιφανειακής οργανικής ύλης και στην εναπόθεση τέφρας, κατά την οποία απελευθερώνονται κατιόντα, οξειδία, υδροξείδια και ανθρακικά άλατα στο έδαφος, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει μείωση των οργανικών οξέων που παράγονται κατά τη διάρκεια της βιολογικής οξείδωσης της οργανικής ύλης (Kutiel and Inbar, 1993; Verma and Jayakumar, 2012; Campos et al., 2016).

Ακολούθως, από την εξέταση της οργανικής ουσίας διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση των ποσοστών της οργανικής ουσίας στο έδαφος μετά την πυρκαγιά, αύξηση η οποία αναφέρεται και στην διεθνή βιβλιογραφία από τους Neary et al. (2005), για τα επιφανειακά εδάφη, όπως ακριβώς συμβαίνει στην παρούσα έρευνα. Το ίδιο επιβεβαιώνεται και από την πρόσφατη έρευνα των Campos et al. (2016), σε χώρα της Μεσογείου (Πορτογαλία) με του ίδιου είδους βλάστηση (πεύκα), ενώ προηγούμενες έρευνες έχουν αποδώσει τις αυξήσεις αυτές της οργανικής ύλης στην επιφάνεια του εδάφους ως αποτέλεσμα νέων εισροών, όπως απανθρακωμένα οργανικά απορρίμματα και φύλλα, δασική μάζα σε αποσύνθεση και υπολείμματα τέφρας (Gimeno-Garcia et al., 2000; Faria et al., 2015). Παράλληλα, οι Gonzalez-Perez et al. (2004), έχουν αναφέρει αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα του εδάφους μετά από πυρκαγιές μέσης δριμύτητας.

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των εκχυλίσμων με DTPA ιχνοστοιχείων, ξεκινώντας με τον Cu, δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστικά σημαντική μεταβολή, μεταξύ του καμμένου και μη εδάφους. Βέβαια, στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί πως σε πρόσφατη έρευνα (Campos et al., 2016) σε δάσος, ίδιο με αυτό της παρούσας έρευνας, έδειξε ότι καμία σημαντική μεταβολή της ολικής συγκέντρωσης του Cu στο έδαφος δεν συμβαίνει, μετά από πυρκαγιά,

αναφέροντας πως οι Pagotto et al. (2001) χρησιμοποιώντας απλές και διαδοχικές εκχυλίσεις με διαφορετικά αντιδραστήρια, έδειξαν ότι τα στοιχεία του Cu και Pb είναι γενικά ακίνητα στο έδαφος και δεν ανταποκρίνονται στις μεταβολές ούτε της αλατότητας και ούτε του pH. Στο ίδιο αποτέλεσμα, κατέληξε και η έρευνα των García-Marco and González-Prieto (2008), όπου δεν εντόπισαν σημαντικές διαφορές στον διαθέσιμο Cu, μετά από την επίδραση πυρκαγιάς. Δεδομένου ότι στο έδαφος που μελετήθηκε στην παρούσα έρευνα, οι τιμές της IAK ήταν υψηλές (>20 cmol(+)/kg), γεγονός που σημαίνει μειωμένη κινητικότητα ιχνοστοιχείων, συνάγεται το συμπέρασμα ότι ο  $Cu_{DTPA}$  στο έδαφος της Κινέτας δε μεταβλήθηκε ιδιαίτερα. Σχετικά με τις μέσες συγκεντρώσεις του διαθέσιμου Zn, αυτές δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους εδάφους των καμμένων και του εδάφους των μη καμμένων περιοχών. Αντίθετα, το διαθέσιμο Mn παρουσίασε μια στατιστικά σημαντική αύξηση μετά την πυρκαγιά, στοιχείο το οποίο επιβεβαιώνει μια σειρά πρόσφατων ερευνών (García-Marco and González-Prieto, 2008; Close et al. 2011; Gómez-Rey et al., 2014). Θα πρέπει να επισημανθεί, δε, ότι στην παρούσα έρευνα το ιχνοστοιχείο αυτό παρουσίασε μια μεταβολή της τάξης του 75%, το οποίο έρχεται σε απόλυτη συμφωνία με τα ευρήματα της έρευνας των Campos et al. (2016), που αφορά στην ολική συγκέντρωση του Mn στο έδαφος. Μάλιστα, στην εν λόγω έρευνα αναφέρεται πως σε όμοια συμπεράσματα έχουν οδηγηθεί και οι Parra et al. (1996) με τις αυξήσεις των συγκεντρώσεων του Mn σε πυρόπληκτο έδαφος να είναι της τάξης του 100%. Οι αυξήσεις, αυτές, των συγκεντρώσεων Mn μπορεί να έχουν την προέλευσή τους στην τέφρα της καμμένης βλάστησης (κυρίως υπό μορφή οξειδίων) (Parra et al., 1996), καθώς το Mn συσσωρεύεται συνήθως στα φύλλα των δέντρων και ειδικά στις βελόνες σε ρητινώδη είδη (Kabata-Pendias, 2011). Τέλος, παρόμοια σημαντική αύξηση μεταξύ των υποπεριοχών από την επίδραση της πυρκαγιάς εμφανίζει και ο  $Fe_{DTPA}$ . Το γεγονός αυτό, φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με τις περισσότερες έρευνες (García-Marco and González-Prieto, 2008; Pivello et al., 2010; Norouzi and Ramezanzpour, 2013a; Gómez-Rey et al., 2014), αλλά η αύξηση αυτή που παρατηρείται στην συγκεκριμένη έρευνα μπορεί να έχει τη βάση της στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής. Από την άλλη μεριά, βέβαια, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έρχονται σε συμφωνία με μερικές έρευνες, όπως αυτή των De Marco et al. (2005), οι οποίοι παρατήρησαν αύξηση του ολικού

και του διαθέσιμου Fe, μετά από πυρκαγιές χαμηλής και μέτριας δριμύτητας, σε έδαφος που ήταν υπό την φυτοκάλυψη *Phillyrea angustifolia* στη νοτιοδυτική Ιταλία. Παρόμοια στοιχεία αναφέρονται και στην έρευνα των Groeschl et al. (1993), όπου σε περιοχή ανάλογη με την παρούσα έρευνα (πευκοδάσος) η οποία κάηκε από πυρκαγιά, οι συγκεντρώσεις του ολικού Fe είχαν αυξηθεί ανάλογα με τα διαφορετικά επίπεδα δριμύτητας.

Τέλος, επικεντρώνοντας στην συζήτηση συγκεκριμένων παραμέτρων όπως η ΙΑΚ, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οργανική ουσία και ο  $Fe_{DTPA}$  και το πώς αυτές μεταβλήθηκαν με την επίδραση της πυρκαγιάς, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η περιοχή της Κινέτας, επλήγη από μια πυρκαγιά μέτριας δριμύτητας (moderate fire severity), όπως περιγράφεται από τον Keeley (2009). Δηλαδή, μια πυρκαγιά η οποία έκαψε τις κόμεις των δέντρων, χωρίς να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τις πευκοβελόνες, όλη η βλάστηση κάτω από τα δέντρα καταστράφηκε πλήρως, ενώ καμμένα κλαδιά και κούτσουρα βρίσκονταν στην επιφάνεια του εδάφους. Επίσης, η οργανική στιβάδα του εδάφους καταναλώθηκε σε μεγάλο βαθμό, ενώ η στάχτη που δημιουργήθηκε έκλεινε προς το μαύρο χρώμα. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά της πυρκαγιάς, έρχονται σε συμφωνία με την μακροσκοπική επισκόπηση που πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας.

### **5.3.2 Ανάλυση με δύο μεταβλητές (bivariate stats)**

Αναφορικά με την συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων που εξετάστηκαν, η οργανική ουσία εμφανίζει μια δυνατή συσχέτιση με την ΙΑΚ, κάτι το οποίο είναι σύμφωνο με την διεθνή βιβλιογραφία (Neary et al., 2005) στην οποία αναφέρεται ότι η ΙΑΚ παρέχεται ουσιαστικά από την οργανική ουσία του εδάφους. Στο ίδιο αποτέλεσμα με την παρούσα έρευνα, έχουν οδηγηθεί και οι Norouzi and Ramezanzour (2013a) μέσω της μελέτης του οργανικού άνθρακα, οι οποίοι εξέτασαν την επίδραση της πυρκαγιάς στην μεταβολή των θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Τέλος, όσον αφορά το κομμάτι των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, παρατηρήθηκε μια μικρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ του μεταξύ του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, η οποία έρχεται σε συμφωνία με τις έρευνες των Aizat et al. (2014), Nur Aini et al. (2014) και Shukla et al. (2016), που πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικού είδους καλλιέργειες η καθεμία.

Ερευνώντας, την συσχέτιση μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους και των διαθέσιμων ιχνοστοιχείων, παρατηρήθηκε μια πολύ καλή συσχέτιση του  $Fe_{DTPA}$  με την οργανική ουσία και μια μέτρια συσχέτιση με την ικανότητα ιοντοανταλλαγής (IAK), στοιχείο το οποίο επιβεβαιώνεται και από αντίστοιχες έρευνες σε πυρόπληκτες και μη περιοχές δασών (Norouzi and Ramezanzour, 2013a; Norouzi and Ramezanzour, 2013b), αλλά και σε άλλα εδάφη (Cancela et al., 2004). Επίσης, η συσχέτιση αυτή του  $Fe_{DTPA}$  με την οργανική ουσία, επιβεβαιώνεται και από τους Kumar and Babel (2011) και Shukla et al. (2016), εκ των οποίων ο τελευταίος διευκρινίζει πως ο οργανικός άνθρακας, βελτιώνει τη δομή του εδάφους, μέσω της παροχής διάφορων διαλυτών παραγόντων, ενώ παράλληλα μειώνει την οξειδωση και την καταβύθιση των κατιόντων, οδηγώντας έτσι σε αυξημένες συγκεντρώσεις διαθέσιμων ιχνοστοιχείων. Με τον τρόπο αυτό γίνεται κατανοητό ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις του διαθέσιμου σιδήρου ( $Fe_{DTPA}$ ) οφείλονται κυρίως στην υψηλή οργανική ουσία του εδάφους. Εν συνεχεία, παρατηρήθηκε πως το  $Mn_{DTPA}$  σχετίζεται ικανοποιητικά με την οργανική ουσία. Παρόμοια στοιχεία για την συσχέτιση αυτή παρατίθενται και από άλλες έρευνες σε πευκοδάση (Norouzi and Ramezanzour, 2013a; Norouzi and Ramezanzour, 2013b), ενώ η παρουσία αυτού του είδους της συσχέτισης εντοπίζεται και σε άλλες καλλιεργήσιμες περιοχές (Bhaskar et al., 2017; Vaghela et al., 2018). Επιπλέον, οι Anneru et al. (2017) στην έρευνά τους διευκρινίζουν πως η παραγωγή ηλεκτρονίων κατά την αποσύνθεση της οργανικής ύλης οδηγεί στη μείωση των οξειδίων του Mn και την αλλαγή τους σε πιο διαλυτές μορφές που είναι εύκολα διαθέσιμες στα φυτά, αυξάνοντας έτσι το  $Mn_{DTPA}$ . Παράλληλα, υπάρχει μια στατιστικά σημαντική και ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ του  $Mn_{DTPA}$  με την IAK, η οποία αναφέρεται και από άλλους ερευνητές (Norouzi and Ramezanzour, 2013a; Norouzi and Ramezanzour, 2013b; Bhaskar et al., 2017), ενώ η μέτρια συσχέτιση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, επιβεβαιώνεται από τους Norouzi and Ramezanzour (2013a) και Norouzi and Ramezanzour (2013b). Ο  $Zn_{DTPA}$  φαίνεται να συσχετίζεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα μετρίως, συσχέτιση η οποία επαληθεύεται από τους Norouzi and Ramezanzour (2013a), ενώ ο  $Cu_{DTPA}$  δεν φαίνεται να έχει κάποια σχέση με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους. Παράλληλα, το pH είναι η μόνη ιδιότητα του εδάφους, η οποία δεν εμφανίζει καμία συσχέτιση με τα ιχνοστοιχεία, γεγονός το οποίο έχουν παρατηρήσει και επισημάνει

στην έρευνα τους οι Wang et al. (2010).

Τέλος, αναφορικά με την συσχέτιση που παρουσιάζουν τα ιχνοστοιχεία μεταξύ τους, ο  $Fe_{DTPA}$  εμφανίζει μια αρκετά καλή συσχέτιση με το  $Mn_{DTPA}$ , το οποίο επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα άλλων ερευνών (Singh et al., 2014; Shukla et al., 2016) σε διαφορετικά είδη καλλιεργήσιμων εδαφών, και από το γεγονός ότι ο Fe και το Mn βρίσκονται στο έδαφος προσκολλημένα μαζί με τη μορφή οξειδίων και υδροξειδίων, ενώ μια αδύναμη συσχέτιση εντοπίζεται μεταξύ του  $Cu_{DTPA}$  με τον  $Zn_{DTPA}$  και το  $Mn_{DTPA}$ , αντίστοιχα.

### 5.3.3 Πολυμεταβλητή ανάλυση με χρήση παραγόντων (factor analysis)

Από την παραγοντική ανάλυση, παρατηρήθηκε ότι δημιουργήθηκαν δύο ομάδες παραμέτρων (clusters), μία για κάθε παράγοντα.

Συγκεκριμένα, ο Παράγοντας 1 περιλαμβάνει μια ομάδα παραμέτρων στην οποία ανήκουν η οργανική ουσία, η ΙΑΚ (CEC), ο  $Fe_{DTPA}$  και το  $Mn_{DTPA}$ . Εξετάζοντας την ομάδα αυτή διαπιστώνεται ότι αποτελείται από παραμέτρους οι οποίες, στην ανάλυση με δύο μεταβλητές (bivariate), παρουσιάζουν πολύ καλό βαθμό συσχέτισης δικαιολογώντας έτσι την από κοινού ύπαρξή τους στο ίδιο cluster. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι όλες οι παράμετροι φέρουν υψηλά φορτία στον Παράγοντα 1 (μεγαλύτερα του +0,765), δηλώνοντας έτσι την συμμετοχή όλων στην ερμηνεία του. Επίσης, είναι γνωστό ότι το Mn βρίσκεται επί το πλείστον προσκολλημένο στον Fe σχηματίζοντας οξείδια και υδροξείδια, ενώ όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη έρευνα της γειτονικής περιοχής των Μεγάρων, αυξημένες περιεκτικότητες Mn καταγράφονται συχνά σε εδάφη πλούσια σε οργανική ύλη ή / και σίδηρο (Alexakis, 2016), όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση της έρευνας αυτής. Σε πρόσφατη έρευνα που έγινε σε πευκοδάσος άλλης μεσογειακής χώρας, το μαγγάνιο (Mn) στο έδαφος παρουσίασε μεγάλη αύξηση στις συγκεντρώσεις του μετά την πυρκαγιά, γεγονός το οποίο προήλθε τόσο από τις στάχτες της καμμένης βλάστησης, όπου αυτό είναι συσσωρευμένο στο φύλλωμα, αλλά και από τη φυσικοχημική διάσπασή του, λόγω θέρμανσης, από το σύμπλοκο με την οργανική ύλη του εδάφους (Campos et al., 2016). Αντίστοιχα, μεγάλη συσσώρευση Mn στο έδαφος μετά από πυρκαγιά εντοπίζεται και σε πολλές άλλες έρευνες (García-Marco and González-Prieto, 2008; Close et

al., 2011; Gómez-Rey et al., 2014). Η Εικόνα 5.8 απεικονίζει τη χωρική κατανομή των φορτίων του Παράγοντα 1, όπου τα υψηλότερα θετικά φορτία (μεγαλύτερα από +1), αντιστοιχούν σε υψηλότερες τιμές οργανικής ουσίας, IAK, Fe<sub>DTPA</sub> και Mn<sub>DTPA</sub> στο έδαφος. Αυτές οι υψηλότερες τιμές του Παράγοντα 1, παρατηρούνται αποκλειστικά στις πυρόπληκτες υποπεριοχές, υποδεικνύοντας ότι η πυρκαγιά επηρέασε τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών του εδάφους και τις εδαφικές ιδιότητες, με τις μεγαλύτερες τιμές αυτών να συγκεντρώνονται εκεί. Εξάλλου, όπως επιβεβαιώνεται και από την μονοπαραγοντική ανάλυση, η πυρκαγιά ήταν αυτή που αύξησε σημαντικά ( $p < 0,01$ ) τις συγκεντρώσεις των Fe<sub>DTPA</sub> και Mn<sub>DTPA</sub>, αλλά και το ποσοστό της οργανικής ουσίας στο έδαφος. Το σύνολο των ανωτέρω οδηγεί στο συμπέρασμα πως ο Παράγοντας 1 σχετίζεται με το φαινόμενο της πυρκαγιάς, αποδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο την ανθρωπογενή προέλευση των υψηλών τιμών που παρουσιάζουν οι παράμετροι σε αυτόν. Παράλληλα, η υπέρβαση των ορίων τοξικότητας του Mn<sub>DTPA</sub>, που παρατηρήθηκε στην μονοπαραγοντική ανάλυση, και η πιθανή ρύπανση του εδάφους, αποδίδεται σε ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης, όπως είναι η πυρκαγιά.

Από την άλλη, ο Παράγοντας 2 περιλαμβάνει ένα σύμπλεγμα παραμέτρων το οποίο αποτελείται από τα διαθέσιμα ιχνοστοιχεία Zn, Cu και Mn. Το γεγονός ότι το Mn<sub>DTPA</sub> βρίσκεται και στον Παράγοντα 2, δηλώνει την διττή του προέλευση, πέραν της ανθρωπογενούς που προαναφέρθηκε. Παράλληλα, τόσο ο Cu<sub>DTPA</sub>, όσο και ο Zn<sub>DTPA</sub> παρουσιάζουν υψηλά φορτία (μεγαλύτερα από +0,768) στον Παράγοντα 2, δείχνοντας ότι έχουν πρωταρχικό ρόλο στην ερμηνεία του, ενώ στην ανάλυση με δύο μεταβλητές παρατηρήθηκε ότι ο Cu<sub>DTPA</sub> σχετίζεται πολύ λίγο με τα Zn<sub>DTPA</sub> και Mn<sub>DTPA</sub>. Το χαρακτηριστικό εδώ είναι πως κανένα από τα ιχνοστοιχεία δεν σχετίζεται με την πυρκαγιά, δεδομένου και των αποτελεσμάτων της μονοπαραγοντικής ανάλυσης, καθώς οι αυξημένες τιμές στο έδαφος φαίνεται να έχει άλλη πηγή προέλευσης. Εξετάζοντας αρχικά τον Cu, πρόσφατη έρευνα στην εγγύς περιοχή των Μεγάρων (Alexakis et al., 2018), καταδεικνύει την προέλευσή του από γεωγενείς παράγοντες. Συγκεκριμένα, φαίνεται πως μεγάλες περιεκτικότητες Cu προέρχονται από το κλάσμα της οργανικής ύλης του εδάφους (μεταλλοποίηση της οργανικής ύλης), ενώ παράλληλα αποδεικνύεται ότι ένα σημαντικό μέρος του Cu είναι ακίνητο, άρα και ανεπηρέαστο από την πυρκαγιά. Όσον αφορά τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία (Zn<sub>DTPA</sub> και Mn<sub>DTPA</sub>), αντίστοιχες έρευνες

αποδεικνύουν την γεωγενή προέλευσή τους στην ευρύτερη περιοχή. Οι Gamnroula et al. (2013) και Alexakis (2016) αναφέρουν στις έρευνές τους, ως πηγές του Mn και του Zn στο έδαφος, τα οφιολιθικά υπερβασικά πετρώματα που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας. Αξιοσημείωτο είναι ότι στην έρευνα της Gamnroula (2013), η οποία αφορά στην υδρογεωχημική έρευνα της λεκάνης των Μεγάρων, η παραγοντική ανάλυση των δειγμάτων εδάφους κατέδειξε ότι ο ένας εκ των δύο παραγόντων που προέκυψε, περιελάμβανε τα στοιχεία Cu, Zn και Mn, όπως ακριβώς και η παρούσα έρευνα. Επίσης, η ίδια έρευνα κατέληξε στο ότι τα στοιχεία Mn και Zn σχετίζονται με τα οξειδία μαγγανίου που απαντώνται στις μάργες των Νεογενών σχηματισμών, αποδεικνύοντας έτσι την γεωγενή προέλευση των ιχνοστοιχείων που περιλαμβάνονται στον Παράγοντα 2 της παρούσας έρευνας. Παράλληλα, η Εικόνα 5.9 δείχνει τη χωρική κατανομή των φορτίων του Παράγοντα 2, όπου τα υψηλότερα θετικά φορτία (μεγαλύτερα από +1), αντιστοιχούν σε υψηλότερες τιμές  $Zn_{DTPA}$ ,  $Fe_{DTPA}$  και  $Mn_{DTPA}$  στο έδαφος. Σε αυτήν, παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές του Παράγοντα 2, εντοπίζονται σε όλη την περιοχή έρευνας, τόσο στις πυρόπληκτες όσο και στις μη πυρόπληκτες υποπεριοχές, χωρίς να καταδεικνύεται κάποια σημειακή πηγή προέλευσης. Από τα ανωτέρω, είναι εμφανές πως ο Παράγοντας 2 έχει μια προέλευση γεωγενή, ενώ η υπέρβαση των ορίων τοξικότητας του  $Zn_{DTPA}$ , που παρατηρήθηκε στην μονοπαραγοντική ανάλυση, αποδίδεται στα γεωγενή χαρακτηριστικά της περιοχής.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία διαπιστώθηκε ότι η περιοχή της Κινέτας, η οποία επλήγη από την πυρκαγιά της 23<sup>ης</sup> Ιουλίου 2018, παρουσιάζει μια αλλαγή των εδαφικών παραμέτρων μεταξύ του εδάφους στις πυρόπληκτες περιοχές και του εδάφους στις ανεπηρέαστες περιοχές. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική αύξηση του pH (2%), της οργανικής ουσίας (79%), του Fe<sub>DTPA</sub> (114%) και Mn<sub>DTPA</sub> (75%), καταδεικνύοντας την σημαντική επίπτωση της πυρκαγιάς στην ποιοτική σύσταση του εδάφους και τη διασπορά των ιχνοστοιχείων στις πυρόπληκτες περιοχές. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας είναι σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, καθώς η μεταβολή της χημικής σύστασης του εδάφους μετά από δασική πυρκαγιά συνδέεται με την δημιουργία νέων εισροών στο έδαφος, όπως είναι η απανθρακωμένη οργανική μάζα, τα καμμένα φύλλα και η τέφρα, τα οποία απελευθερώνουν κατιόντα, οξείδια, υδροξείδια και ανθρακικά άλατα στο έδαφος.

Παράλληλα, μέσα από την εξέταση και συζήτηση της μονοπαραγοντικής ανάλυσης των παραμέτρων, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η πυρκαγιά στην περιοχή της Κινέτας έχει τα χαρακτηριστικά μιας πυρκαγιάς μέτριας δριμύτητας. Το γεγονός αυτό επαληθεύτηκε και μακροσκοπικά, κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας των εδαφικών δειγμάτων, μέσω της σύγκρισης του χρώματος της τέφρας και της καμμένης δασικής βιομάζας με χρωματική κλίμακα που δείχνει τη μεταβολή των χαρακτηριστικών του εδάφους ανάλογα με τη δριμύτητα πυρκαγιάς.

Επίσης, μέσα από την σύγκριση των τιμών των παραμέτρων που εξετάστηκαν, με τα όρια και τα πρότυπα της διεθνούς έρευνας, διαπιστώθηκε ότι ενώ η περιοχή δεν αντιμετωπίζει θέματα ανεπάρκειας του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά (άρα και γονιμότητας), σε αρκετά σημεία της δειγματοληψίας παρατηρήθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις των διαθέσιμων ιχνοστοιχείων Zn και Mn, ξεπερνώντας μάλιστα τα σχετικά όρια τοξικότητας για τα ιχνοστοιχεία αυτά, υποδηλώνοντας ρύπανση τους εδάφους της περιοχής στα ιχνοστοιχεία αυτά.

Συναφώς, τόσο η ανάλυση με δύο μεταβλητές, όσο και η παραγοντική ανάλυση αποδείχθηκαν πολύτιμα εργαλεία για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και τον

εντοπισμό των παραγόντων που ελέγχουν την ποιότητα του εδάφους. Η χρήση του GIS αποδείχθηκε πολύ χρήσιμη στην επιβεβαίωση της ερμηνείας της στατιστικής ανάλυσης για το έδαφος της περιοχής της Κινέτας, μέσω της χωρικής απεικόνισης των παραμέτρων μεμονωμένα αλλά και των παραγόντων. Συγκεκριμένα, η εξέταση της ποιότητας του εδάφους της παρούσας έρευνας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η ρύπανση του εδάφους λόγω υψηλών συγκεντρώσεων του  $Mn_{DTPA}$  αποδίδεται στην πυρκαγιά που ξέσπασε στην περιοχή (ανθρωπογενής αιτία), ενώ οι αντίστοιχες υψηλές συγκεντρώσεις του  $Zn_{DTPA}$  αποδίδονται σε γεωγενείς πηγές. Έτσι, η τρέχουσα έρευνα επιβεβαιώνει ένα πλήθος ερευνών σύμφωνα με το οποίο οι πυρκαγιές, μέσω της κινητοποίησης των ιχνοστοιχείων στο περιβάλλον, ενεργούν ως πιθανή πηγή περιβαλλοντικής ρύπανσης.

Βέβαια, θα πρέπει να αναφερθεί πως οι κίνδυνοι ρύπανσης από τις υψηλές συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων του εδάφους δεν περιορίζονται μόνο τοπικά στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά μέσω των βροχοπτώσεων, μπορούν να διασπαρούν στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, καθώς και σε βαθύτερους εδαφικούς ορίζοντες. Με τον τρόπο αυτό, η περιβαλλοντική επιβάρυνση μιας περιοχής απαιτεί την διερεύνηση ενός μεγάλου αριθμού παραγόντων.

Η καταγραφή υψηλών συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων  $Zn_{DTPA}$  και  $Mn_{DTPA}$  στο έδαφος που εξετάστηκε στην έρευνα αυτή και η υπέρβαση των ορίων τοξικότητας, δείχνει ότι είναι απαραίτητη η διερεύνηση και άλλων ανόργανων και οργανικών ενώσεων.

Ως εκ τούτου, προτείνεται η εγκατάσταση και η λειτουργία δικτύου παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εδάφους, του νερού και των ιζημάτων της περιοχής και η χρονική καταγραφή των παραμέτρων αυτών, με σκοπό την αποτύπωση της εξέλιξης της διασποράς των ανόργανων και οργανικών ενώσεων.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abernathy C. and Morgan A. (2001) Exposure and health effects. Chapter 3: United Nations synthesis report on arsenic in drinking water (first draft). Washington DC: Office of Water, Health and Ecological Criteria Division, US Environmental Protection Agency.
- Adriano D.C. (2001) Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. 2nd Edition, Springer, New York, pp 867.
- Alexakis D., Gamvroula D., Theofili E. (2018) Environmental availability of potentially toxic elements in an agricultural Mediterranean site. *Environmental and Engineering Geoscience*, 1-10.
- Alexakis D. (2016) Human health risk assessment associated with Co, Cr, Mn, Ni and V contents in agricultural soils from a Mediterranean site. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(3):359-373.
- Alexakis D. and Gamvroula D. (2014) Arsenic, chromium and other potentially toxic elements in the rocks and sediments of Oropos-Kalamos basin, Attica, Greece. *Appl Environ Soil Sci.*:1–8. Article ID 718534.
- Annepu S.K., Shirur M., Sharma V.P. (2017) Assessment of soil fertility status of Mid Himalayan region, Himachal Pradesh. *Indian Journal of Ecology* 44(2):226-231.
- Aizat M., Mohamad-Roslan A.M.K., Sulaiman W.N.A. and Karam D.S. (2014) The relationship between soil pH and selected soil properties in 48 years logged-over forest. *International Journal of Environmental Sciences*, 4(6):1129-1140.
- APGO - Association of Professional Geoscientists of Ontario (2011) Guidance for Environmental Site Assessments Under Ontario Regulation 153/04 (as amended).
- Αλεξάκης Δ. (2010) Πρόληψη και Διαχείριση των Φυσικών Καταστροφών. Ο Ρόλος του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού, Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων και Προληπτικού Σχεδιασμού Ε.Μ.Π., Ειδικός Τόμος στη μνήμη του Πέτρου Βυθούλκα, σ. 90-104.
- Bartlett R.J. and Kimble J.M. (1976) Behavior of chromium in soils: 1. Trivalent Forms, Agricultural Research Centre, Tripoli.

- Birot Yves (2009) Η Ζωή μας με τις Δασικές Πυρκαγιές: Η Άποψη της Επιστήμης, European Forest Institute.
- Bhaskar B.P., Tiwari G., Prasad J. (2017) Endogenic influence on profile distribution of total and DTPA-extractable micronutrients in rice growing hydric soils of Majuli river island, India. *Spanish Journal of Soil Science*, 7(1).
- Bodi M., Martin D.A., Santin C., Balfour V., Doerr S.H., Pereira P., Cerda A., and Mataix-Solera J. (2014) Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydro-geomorphic effects. *Earth-Sci. Rev.*, 130: 103–127.
- Boerner R.E., Hart S., Huang J. (2009) Impacts of fire and fire surrogate treatments. A meta-analytical approach. *Ecol. Appl.*, 19(2):338–358.
- Bouyoucos G.H. (1951) A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43:434–438.
- 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. *Science of the Total Environment*, 572:1363-1376.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (2016) Guidance Manual For Environmental Site Characterization in Support of Environmental and Human Health Risk Assessment Vol.4 Analytical Methods.
- Carranza E.J.M. (2009) Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS. In: M. Hale (Editor), *Handbook of exploration and environmental geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, 51-115.
- CFL - Consolidated Fertilizers Limited (1983) Soil Analysis Service Interpretation Charts. Consolidated Fertilizers Limited, Morningside, Queensland, Australia.
- Close D.C., Davidson N.J., Swanborough P.W., Corkrey R. (2011) Does low-intensity surface fire increase water- and nutrient-availability to overstorey *Eucalyptus gomphocephala*? *Plant Soil*, 349(1-2):203-214.
- Chapman H.D. (1996) Diagnostic criteria for plants and soils. University of California, Riverside, USA, 487-499.
- Coults J.R.H. (1945) Effect of veld burning on the base exchange capacity of a soil. *South Africa Journal of Science*, 41:218–224.
- Γκόφας Α. (2001) Εγχειρίδιο Δασοπροστασίας, Γιαχούδη-Γιαπούλη.

- Γκουρμπάτσης Α. (2018) Τεχνική Έκθεση: Η διερεύνηση των αιτίων και των συνθηκών της καταστροφικής - θανατηφόρου δασικής πυρκαγιάς, που εκδηλώθηκε την 23η Ιουλίου 2018 και ώρα 16:49 μμ, στην περιοχή Νταού Πεντέλης και εξαπλώθηκε στην Καλλιτεχνούπολη – Ν. Βουτζά– Μάτι - Κόκκινο Λιμανάκι των Δήμων Ραφήνας – Πικερμίου και Μαραθώνα αντίστοιχα της Περιφερειακής Ενότητας Ανατολικής Αττικής της Περιφέρειας Αττικής.
- DeBano L.F. (1991) The effect of fire on soil properties. In Proceedings Management and Productivity of Western-Montane Forest Soils. 254pp, USDA Forest Service General Technical Report INT-280, 151–156.
- DeBano L.F., Daniel G.L., Ffolliot P.F. (1998) Fire's Effects on Ecosystems, John Wiley and Sons, Inc, New York , p318.
- De Marco A., Gentile A.E., Arena C., and De Santo A.V. (2005) Organic matter, nutrient content and biological activity in burned and unburned soils of a Mediterranean maquis area of southern Italy. *International Journal of Wildland Fire* 14:365–377.
- Duran J., Rodriguez A., Fernandez-Palacios J. M., Gallardo A. (2008) Changes in soil N and P availability in a pinus canariensis fire chronosequence. *Forest Ecology and Management* 256, 384–387.
- Faria S.R., De la Rosa J.M., Knicker H., González-Pérez J.A., Villaverde-Capellán J., Keizer J.J. (2015) Wildfire-induced alterations of topsoil organic matter and their recovery in Mediterranean eucalypt stands using biogeochemical markers. *Eur. J. Soil Sci.* 66(4):699–713.
- Fowler C. (2003) Human health impacts of forest fires in the southern United States: A Literature Review. *Journal of Ecological Anthropology*, 7: 39-59.
- Gamvroula D, Alexakis D, Stamatis G. (2013) Diagnosis of groundwater quality and assessment of contamination sources in the Megara basin (Attica, Greece). *Arab J Geosci.* 6:2367–2381.
- Gamvroula D. (2013) Environmental and hydrogeochemical research Study in the Megara basin [PhD thesis]. Athens: Agricultural University of Athens, Greece (in Greek with English summary); 324 p.

- García-Marco S. and González-Prieto S. (2008) Short- and medium-term effects of fire and firefighting chemicals on soil micronutrient availability. *Sci Total Environ.* 407: 297–303.
- Geosyntec Consultants (2007) Sampling and Analysis Plan, Wildfires - Burn debris Assessment, San Diego and San Bernardino Counties, California.
- Gimeno-García E., Andreu V., Rubi J.L. (2000) Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *Eur. J. Soil Sci.* 51: 201–210.
- Gómez-Rey M.X., Couto-Vázquez A., García-Marco S., González-Prieto S.J. (2013) Impact of fire and post-fire management techniques on soil chemical properties. *Geoderma*, 195–196:155–164.
- Gómez-Rey M.X. and González-Prieto S.J. (2014) Short and medium-term effects of a wildfire and two emergency stabilization treatments on the availability of macronutrients and trace elements in topsoil. *Science of the Total Environment* 493: 251-261.
- Gonzalez-Perez J.A., Gonzalez-Vila F.J., Almendros G., Knicker H. (2004) The effect of fire on soil organic matter: a review. *Environ Int* 30:855–870.
- Groeschl D.A., Johnson J.E. and Smith D.W. (1993) Wildfire effects on forest floor and surface soil in a table mountain pine-pitch pine forest. *International of Journal Wildland Fire* 3:149–154.
- Hendershot W.H. and Duquette M. (1986) A simple barium chloride method for determining cation exchange capacity and exchangeable cations. *Soil Science Society of America Journal*, 50(3):605-608.
- IGME – Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (1984) Φύλλο Σοφικόν, Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50000, Αθήνα.
- JRC (Joint Research Centre) – EFFIS (European Forest Fire Information System) (2017) Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2016. Publications Office of the European Union.
- Kabata-Pendias A. (2011) Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, 201-213.
- Kaplanis A., Koukouvelas I., Xypolias P., Kokkalas S. (2013) Kinematics and ophiolite obduction in the Gerania and Helicon Mountains, central Greece. *Tectonophysics*, 595-596: 215-234.

- Keeley J.E. (2009) Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review. *Int J Wildland Fire*, 18(1): 116–126.
- Kelepertsis A., Alexakis D., Kita I. (2001) Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki area, Korinthos, Greece. *Environmental Geochemistry and Health*, 23:117-135.
- Kim E.J., Oh J.E., Chang Y.S. (2003) Effects of forest fire on the level and distribution of PCDD/Fs and PAHs in soil. *Sci. Total Environ.* 311, 177–189.
- Kim E.J., Choi S.D., Chang Y.S. (2011) Levels and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils after forest fires in South Korea. *Environmental Science and Pollution Research*, 18:9,1508-17.
- Kumar M. and Babel AL. (2011) Available micronutrient status and their relationship with soil properties of Jhunjhunu Tehsil, District Jhunjhunu, Rajasthan, India. *Journal of Agricultural Science*, 3(2):97-106.
- Kutiel P. and Inbar M. (1993) Fire impacts on soil nutrients and soil erosion in a Mediterranean pine forest plantation. *Catena* 20, 129–139.
- Καϊλίδης Δ. (1990) Δασικές Πυρκαγιές. Τρίτη ed. Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη-Γιαπούλη.
- Κελεπερτζής Α. (1993) Εφαρμοσμένη Γεωχημεία, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κωνσταντινίδης Π. (2003) Μαθαίνοντας να Ζούμε με τις Δασικές Πυρκαγιές, Χριστοδουλίδη.
- Landon R.J. (1991) Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Booker Tate Ltd; Longman, London.
- Lindsay W.L. (1979) Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons. N.Y, p.449.
- Lindsay W.L. and Norvell W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.
- Lyon L.J., Telfer E.S., Schreiner D.S. (2000) Direct effects of fire and animals responses: Chapter 3 and 4. In: Smith, J.K. (ed.) *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR- 42-Volume 1. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 17–23.

- Mandal A. and Sengupta D. (2006) An assessment of soil contamination due to heavy metals around a coal-fired thermal power plant in India. *Environ. Geol.* 51: 409–420.
- MHSPE (Ministry of Housing, Spatial. Planning and the Environment) (2000) Intervention Values and Target Values: Soil Quality Standards. Netherlands.
- Mountrakis D. (2010) *Geology and Geotectonic Evolution of Greece*. University Studio Press, Thessaloniki.
- Μήτσιος Ι. (2004) Γονιμότητα Εδαφών (Θρεπτικά Στοιχεία Φυτών και Βαρέα Μέταλλα) - Μέθοδοι και Εφαρμογές, Εκδόσεις ΖΥΜΕΛ.
- Μπεζέξ Κ. (2011) Γεωλογικός Χάρτης 1:25.000 – Γεράνεια Όρη, <http://geolokarta.blogspot.com/search/label/Γεράνεια>.
- Neary D.G, Ryan K.C. and DeBano L.F. (2005) *Wildland Fire in Ecosystems: Effects of Fire on Soil and Water*, United States Department of Agriculture, Forest Service.
- Norouzi Mehdi and Ramezanpour Hassan (2013)a Effect of fire on soil nutrient availability in forests of Guilan, North of Iran. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(1):157-170.
- Norouzi Mehdi and Ramezanpour Hassan (2013)b Effect of fire on chemical forms of iron and manganese in forest soils of Iran. *Environmental Forensics*, 14(2):169-177.
- Nur Aini I., Ezrin M.H. and Aimrun W. (2014) Relationship between Soil Apparent Electrical Conductivity and pH Value of Jawa Series in Oil Palm Plantation. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2:199–206.
- Pagotto C., Rémy N., Legret M., Le Cloirec P. (2001) Heavy metal pollution of road dust and roadside soil near a major rural highway. *Environ. Technol.* 22: 307-319.
- Paige G. and Zygmunt J. (2013) *The Science Behind Wildfire Effects on Water Quality, Erosion, in Living With Wildfire in Wyoming*. University of Wyoming Extension.
- Parra J.G., Rivero V.C., Lopez T.I. (1996) Forms of Mn in soils affected by a forest fire. *Sci. Total Environ.* 181: 231–236.
- Pereira P. and Úbeda X. (2010) Spatial distribution of heavy metals released from ashes after a wildfire. *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.* 18(1): 13–22.



- Pivello V.R., Oliveras I., Miranda H.S., Haridasan M., Sato M.N., Meirelles S.T. (2010) Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. *Plant Soil*, 337: 111–123.
- Rhoades J.D. (1982) Soluble salts. p. 167-179. In: A. L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis: Part 2: Chemical and microbiological properties*. Monograph Number 9 (Second Edition). ASA, Madison, WI.
- Raison R.J., Keith H., Khanna P.K. (1990) Effects of fire on the nutrient supplying capacity of forest soils. In: Dyck W.J., Meeg C.A. *Impact of intensive harvesting on forest site productivity*. Bull. No. 159. Rotorua, New Zealand: Forest Research Institute: 39–54.
- Ryan P., Lee J. and Peebles T.F. (1967) Trace elements problems in relation to soil units in Europe. Working party on soil classification and survey of the European commission on agriculture. F.A.O. of the United Nations. Rome world soil resources, reports 31.
- Salminen R, Batista MJ, Bidovec M, Demetriades A, De Vivo B, De Vos W, Duris M, Gilucis A, Gregorauskiene V, Halamic J, Heitzmann P, Lima A, Jordan G, Klaver G, Klein P, Lis J, Locutura J, Marsina K, Mazreku A, O'Connor PJ, Olsson SA, Ottesen RT, Petersell V, Plant JA, Reeder S, Salpeteur I, Sandstrom H, Siewers U, Steenfelt A, Tarvainen T (2005) *FOREGS Geochemical Atlas of Europe Part 1. Background Information, Methodology and Maps*. Espoo: Geological Survey of Finland.
- Shukla A.K, Beherab S.K., Lenkaa N.K., Tiwaria P.K., Prakasha C., Malick R.S., Sinhaa N.K., Singhd V.K., Patraa A.K., Chaudharye S.K. (2016) Spatial variability of soil micronutrients in the intensively cultivated Trans-Gangetic Plains of India. *Soil and Tillage Research*, 163: 282–289.
- Singh Y.P., Raghubanshi B.P.S., Tiwari R.J. and Motsara S. (2014) Distribution of available macro and micronutrients in soils of Morena District of Madhya Pradesh. *TECHNOFAME- A Journal of Multidisciplinary Advance Research*, 3(1):1-08.
- Siegel H. (1973) *Metal Ion in Biological Systems* volume. 2. Marcel Dekker, New York.
- Singer M.J. and Munns D.N. (1996) *Soils An Introduction*. Third Edition, Prentice Hall, Publishing Co., Upper Saddle River, USDA, 480 p.

- Smith H., Sheridan G., Lane P., Nymana P., Haydon S. (2011) Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *Journal of Hydrology* 396:170–192.
- Sonneveld C. and van den Ende J. (1971) Soil analysis by means of a 1:2 volume extract. *Plant and Soil*, 35: 505-516.
- Statheropoulos M. and Karma S. (2005) Health impacts of forest fires smoke on fire-fighters and populations, *Forest Fire Net*, a publication of the European Center for Forest Fires (ECFF), No. 3.
- Sumner M.E. and Miller W.P. (1996) Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficients. In: Sparks, D.L., Ed., *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*, SSSA Book Series 5, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 1201-1230.
- Sunda W.G. and Huntsman S.A. (1998) Processes regulating cellular metal accumulation and physiological effects: phytoplankton as model systems. *Sci. Total Environ.* 219(2-3):165-181.
- Terry N. and Rao I.M. (1991) Nutrients and photosynthesis: Iron and phosphorus as case studies. In: J.R. Porter, D.W. Lawlor, eds. *Plant Growth: Interactions with Nutrition and Environment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Terry J.P. and Shakesby R.A. (1993) Soil hydrophobicity effects on rain splash: simulated rainfall and photographic evidence, *Earth Surface Processes and Landforms*, 18: 519–525.
- Turekian K.K. and Wedepohl K.H. (1961) Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust, *Geol Soc Am Bull*, 72:175–192.
- Τσαγκάρη Κ., Καρέτσος Γ. και Προύτσος Ν. (2011) Δασικές Πυρκαγιές Ελλάδας 1983-2008, WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ και ΤΔΠ.
- Ταμπάκης Σ. και Καρανικόλα Π. (2015) Δασικές Πυρκαγιές και Κοινωνία, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
- US-EPA (United States Environmental Protection Agency) (2000) *Arsenic Occurrence in Public Drinking Water Supplies* Washington, D.C. 20460 EPA-815-R-00-023.
- US (United States) Salinity Laboratory Staff (1954) pH reading of saturated soil paste. p. 102. In: L. A. Richards (ed.) *Diagnosis and improvement of saline*

- and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Vaghela I.D., Patel J.K., Malav J.K., Chaudhary J.P. and Pavaya R.P. (2018) Status of available Sulphur and micronutrients in soils of Patan district of Gujarat. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*; 7(5):2256-2261.
- Verma S. and Jayakumar S. (2012) Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: a review. *Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci.* 2(3):168–176.
- Walkley A. and Black I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.
- Waskom R., Kallenberger J., Grotz B. and Bauder T. (2013) Addressing the Impacts of Wildfire on Water Resources, Colorado State University, Fact Sheet No. 6.706, Natural Resources Series.
- Wells W.G. II. (1987) The effects of fire on the generation of debris flows in southern California. *Reviews in Engineering Geology*, 7:105–114.
- Wang X., He M., Xie J., Xi J., Lu X. (2010) Heavy metal pollution of the world largest antimony mine-affected agricultural soils in Hunan province (China). *J. Soils Sediments* 10:827–837.
- White E.M., Thompson W.W., Gartner F.R. (1973) Heat effects on nutrient release from soils under ponderosa pine. *Journal of Range Management*, 26: 22-24.
- Wikars L.O. and Schimmel J. (2001) Immediate effects of fire severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests. *Forest Ecology and Management*, 141(3):189–200.
- Yassoglou N., Tsadilas C., Kosmas C. (2017) *The Soils of Greece*, Springer International Publishing.

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

[https://www.huffingtonpost.gr/2016/08/04/grafhmata-pyrkagies\\_n\\_11292464.html](https://www.huffingtonpost.gr/2016/08/04/grafhmata-pyrkagies_n_11292464.html)

(Huffingpost: Τα γραφήματα των πυρκαγιών: Στοιχεία για τις δασικές φωτιές από το 2000 έως το 2015) (τελευταία πρόσβαση στις 8/2/2019).

[http://esdat.net/Environmental\\_Standards.aspx](http://esdat.net/Environmental_Standards.aspx) (Environmental Guidelines and Standards) (τελευταία πρόσβαση στις 7/2/2019).

[https://el.wikipedia.org/wiki/Κινέτα\\_Αττικής](https://el.wikipedia.org/wiki/Κινέτα_Αττικής) (τελευταία πρόσβαση στις 5/2/2019).

<http://www.megara.gr/portal/index.php/mainmenu-dimotikes-enotites/67-subcategory-i-oikismoi/110-main-article-oikismoi-kineta> (Δήμος Μεγαρέων - Κινέτα) (τελευταία πρόσβαση στις 5/2/2019).

<http://www.naturagraeca.com/ws/122,184,80,1,1,Γεράνεια-Όρη> (Ένας οδηγός για την άγρια φύση της Ελλάδας – Γεράνεια) (τελευταία πρόσβαση στις 6/2/2019).

<http://www.visitkorinthia.gr/korinthos/tourism/articles/article.jsp?context=1504&categoryid=14074&articleid=14120> (Γεράνεια Όρη) (τελευταία πρόσβαση στις 7/2/2019).

[http://www.hnms.gr/emv/el/climatology/climatology\\_city?perifereia=Peloponnese&poli=Velos\\_Korinthia](http://www.hnms.gr/emv/el/climatology/climatology_city?perifereia=Peloponnese&poli=Velos_Korinthia) (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία – Βέλο Κορινθίας) (τελευταία πρόσβαση στις 5/2/2019).

<http://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR300> (Χάρτης με τις καμμένες εκτάσεις των Γερανείων Όρων από το σύστημα Copernicus της ΕΕ) (τελευταία πρόσβαση στις 8/2/2019).

<http://www.wwf.gr/news/2108-matia-zois-gia-to-mellon> (Ματιά ζωής για το μέλλον) (τελευταία πρόσβαση στις 9/2/2019).

[http://www.greekarchitects.gr/site\\_parts/articles/print.php?article=3351&language=gr](http://www.greekarchitects.gr/site_parts/articles/print.php?article=3351&language=gr) (Μηχανική Σύσταση του εδάφους και τρόποι βελτίωσης της) (τελευταία πρόσβαση στις 6/2/2019).

<http://meteosearch.meteo.gr/stationInfo.asp> (Ιστορικό βροχοπτώσεων για τους Αγίους Θεοδώρους Κορινθίας) (τελευταία πρόσβαση στις 12/2/2019).

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Κοκκοτός Ιωάννης, του Γεωργίου φοιτητής του ΠΜΣ "Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος"

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Διπλωματική Εργασία (Δ.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών



Ημερομηνία

20/3/2019