



ΠΑΝ/ΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ
Τμήμα Πολιτικών
Μηχανικών

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



Ευρωπαϊκό
Πανεπιστήμιο Κύπρου
Τμήμα Διοίκησης,
Διαχείρισης και
Μάρκετινγκ



Πρόγραμμα
Μεταπτυχιακών Σπουδών

Διερεύνηση της κατανομής δυνητικά τοξικών στοιχείων στα
ιζήματα ρεμάτων των περιοχών της Δυτικής Αττικής εξαιτίας
φυσικών καταστροφών. Η περίπτωση της δασικής πυρκαγιάς της
Κινέτας (23^{ης} Ιουλίου 2018) και του πλημμυρικού φαινομένου της
Νέας Περάμου (15^{ης} Νοεμβρίου 2017).

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Δουφεξή Μαρία

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

Αθήνα, 2019

Μέλη Τριμελούς Επιτροπής

Δημήτριος Αλεξάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Σπυρίδων Γκολφινόπουλος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Αιγαίου

Δήμητρα Γαμβρουλά, Διδάσκουσα ΔΠΜΣ Ε.Π.ΤΕ.Π.Π.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με αφορμή την ολοκλήρωση της παρούσας έρευνας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Δρ Δημήτριο Εμ. Αλεξάκη για τη συμβολή του στη δειγματοληψία της περιοχής της Κινέτας, την παραχώρηση των δειγμάτων της περιοχής της Νέας Περάμου καθώς και τις συμβουλές και τις υποδείξεις του ως προς τη σύνταξη και την ολοκλήρωση της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ Σπυρίδων Γκολφινόπουλο, Καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου, για τη συμβολή του στην εύρεση του εργαστηριακού χώρου στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων καθώς και για την κριτική ανάγνωση της εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Δρ Δήμητρα Γαμβρουλά, Διδάσκουσα του ΠΜΣ-Ε.Π.ΤΕ.Π.Π., για την κριτική ανάγνωση του κειμένου της εργασίας.

Ιδιαίτερα, είμαι ευγνώμων στον συνάδελφο Κοκμοτό Ιωάννη, Αξιωματικό Μηχανικό Εγκαταστάσεων Πολεμικής Αεροπορίας και Διπλωματούχο Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ για τη βοήθεια και τη συμβολή του στην εκτέλεση της δειγματοληψίας και του πειραματικού τμήματος της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ Ευάγγελο Φουντουκίδη, Καθηγητή ΠΑ.Δ.Α. οποίος συνέβαλε στη διεκπεραίωση της προεπεξεργασίας των δειγμάτων ιζημάτων με την παραχώρηση του εργαστηριακού χώρου καθώς και την Δρ Σίσσυ Ευθυμιάδου και το υπόλοιπο προσωπικό του ΕΛΓΟ “Δήμητρα” για την παραχώρηση του χώρου και την πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των εργαστηριακών προσδιορισμών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΑ ΡΕΜΑΤΩΝ.....	4
1.1. Προέλευση των ιζημάτων	4
1.1.1. Κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα	5
1.1.2. Χημικά ιζηματογενή πετρώματα.....	7
1.1.3. Βιοχημικά και οργανικά ιζηματογενή πετρώματα.....	10
1.2. Εισαγωγή στα ιζήματα των ποτάμιων συστημάτων	10
1.2.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τα ιζήματα ρεμάτων.....	14
1.2.1.1. Κλιματική αλλαγή.....	14
1.2.1.2. Φυσικές καταστροφές.....	14
1.2.1.3. Αστικοποίηση	15
1.2.1.4. Γεωργία και υλοτομία	16
1.3. Επίδραση των ιζημάτων στην ποιότητα των ποτάμιων συστημάτων	16
1.3.1. Φυσικοί παράγοντες	17
1.3.1.1. Χημική αποσάθρωση ευδιάλυτων ή εύκολων προς αποσάθρωση πετρωμάτων.....	17
1.3.1.2. Υδρολογικό καθεστώς των ρεμάτων.....	18
1.3.1.3. Αιωρούμενα σωματίδια	18
1.3.2. Ανθρωπογενείς παράγοντες	18
1.3.2.1. Αλλαγές στα φυσικά χαρακτηριστικά των υδάτων.....	19
1.3.2.2. Ανόργανοι τοξικοί ρυπαντές	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΡΕΜΑΤΩΝ.....	20
2.1. Εισαγωγή.....	20
2.2. Ρύπανση ιζημάτων από ιχνοστοιχεία	21
2.3. Χημική συσχέτιση ιζημάτων και ιχνοστοιχείων	23
2.3.1. Δέσμευση ιχνοστοιχείων στα ιζήματα	25
2.3.1.1. Προσροφημένα ιχνοστοιχεία	25
2.3.1.2. Ιχνοστοιχεία ενωμένα με ανθρακικά	25
2.3.1.3. Ιχνοστοιχεία ενωμένα με Οξειδία Fe-Mn.....	26
2.3.1.4. Δέσμευση ιχνοστοιχείων με οργανικές ουσίες.....	26
2.3.1.5. Ιχνοστοιχεία ενωμένα με πυρίτιο μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα ορυκτών.....	27

2.3.2. Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΡΥΠΑΝΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΡΕΜΑΤΩΝ ΛΟΓΩ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ.....	29
3.1. Γενική εισαγωγή στις πυρκαγιές	29
3.1.1. Επιπτώσεις των πυρκαγιών	31
3.1.1.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	31
3.1.1.2. Οικονομικές επιπτώσεις.....	32
3.1.1.3. Κοινωνικές επιπτώσεις.....	33
3.1.2. Επίδραση των πυρκαγιών στην ιζηματοπόθεση σε ρέματα.....	33
3.2. Γενική εισαγωγή στις πλημμύρες.....	38
3.2.1. Επίδραση των πλημμυρών στα ιζήματα των ρεμάτων	43
3.2.2. Νομοθετικό πλαίσιο για τη διαχείριση των πλημμυρών (Οδηγία 2007/60/ΕΚ)	46
3.2.2.1. Στάδια εφαρμογής της Οδηγίας.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	49
4.1. Περιοχή Κινέτας	49
4.1.1. Γεωλογικό υπόβαθρο Κινέτας.....	51
4.1.2. Δασική πυρκαγιά στην περιοχή της Κινέτας	56
4.2. Περιοχή Νέας Περάμου	57
4.2.1. Χείμαρρος Γιώργη	58
4.2.2. Χείμαρρος Ζωϊρέζας	59
4.2.3. Χείμαρρος Κουλουριώτικο Μονοπάτι.....	59
4.2.4. Χείμαρρος Καμάρας	59
4.2.5. Γεωλογικό υπόβαθρο της Νέας Περάμου.....	59
4.2.5.1. Μεσοζωϊκό (Κρητιδικό, Ιουρασικό, Τριαδικό)	61
4.2.5.1.1. Ασβεστόλιθοι και δολομίτες Ανώτερου Τριαδικού-Κατώτερου-Μέσου Ιουρασικού	61
4.2.5.1.2. Ασβεστόλιθοι Κατώτερου-Μέσου Ιουρασικού	61
4.2.5.1.3. Ασβεστόλιθοι Μέσου-Ανώτερου Κρητιδικού	61
4.2.5.2. Νεογενές.....	61
4.2.5.3. Τεταρτογενές.....	62
4.2.6. Πλημμύρα της περιοχής της Νέας Περάμου	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	65
5.1. Δειγματοληψία.....	66

5.1.1. Δειγματοληψία από την περιοχή της Κινέτας.....	66
5.2. Μακροσκοπικός έλεγχος της πυρκαγιάς.....	70
5.3. Δειγματοληψία από την περιοχή της Νέας Περάμου.....	71
5.4. Εργαστηριακοί προσδιορισμοί δειγμάτων ιζημάτων ρεμάτων.....	73
5.4.1. Προεπεξεργασία δειγμάτων ιζημάτων ρεμάτων.....	73
5.4.2. Προσδιορισμός μηχανικής σύστασης.....	77
5.4.2.1. Εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού της μηχανικής σύστασης.....	77
5.4.3. Προσδιορισμός pH.....	79
5.4.3.1. Εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού pH.....	79
5.4.4. Προσδιορισμός οργανικής ουσίας.....	80
5.4.4.1. Εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού της οργανικής ουσίας.....	80
5.4.5. Προσδιορισμός ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ).....	81
5.4.5.1. Εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων.....	81
5.4.6. Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων (Cu, Fe, Mn, Zn) στα δείγματα ιζημάτων.....	84
5.4.6.1. Χαλκός (Cu).....	86
5.4.6.2. Ψευδάργυρος (Zn).....	86
5.4.6.3. Σίδηρος (Fe).....	86
5.4.6.4. Μαγγάνιο (Mn).....	87
5.4.6.5. Εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}	88
5.5. Επεξεργασία Αποτελεσμάτων.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	90
6.1. Αποτελέσματα μονοπαραγοντικής ανάλυσης.....	90
6.1.1. Μηχανική σύσταση.....	93
6.1.2. pH.....	94
6.1.3. Οργανική ουσία.....	95
6.1.4. Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ).....	98
6.1.5. Σίδηρος (Fe_{DTPA}).....	99
6.1.6. Μαγγάνιο (Mn_{DTPA}).....	103
6.1.7. Χαλκός (Cu_{DTPA}).....	106
6.1.8. Ψευδάργυρος (Zn_{DTPA}).....	109
6.1.9. Προσδιορισμός του βαθμού ρύπανσης των ιζημάτων των ρεμάτων.....	112

6.2. Διμεταβλητή στατιστική ανάλυση	113
6.3. Πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	118
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	137

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Διαδικασίες σχηματισμού ιζηματογενών πετρωμάτων (Λυκούδη, 2005).....	5
Εικόνα 2: Ταξινόμηση των μαργαϊκών ιζημάτων σύμφωνα με το ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (Barth et al., 1939; Pettijohn, 1975).....	6
Εικόνα 3: Ασβεστολιθικό πέτρωμα (Χριστοφίδης, 2002).	8
Εικόνα 4: Πέτρωμα τραβερτίνη (Χριστοφίδης, 2002).	9
Εικόνα 5: Απεικόνιση των ποτάμιων διεργασιών (National Park Service, 2019).	11
Εικόνα 6: Πλευρική και διαμήκης συνδεσιμότητα σε μια τυπική πλημμυρική περιοχή ρέματος (USDA, 2012).	11
Εικόνα 7: Τρίγωνο μηχανικής σύστασης εδάφους (College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2019).	13
Εικόνα 8: Κορεσμός ενός ρέματος σε ιζημα και τέφρα στο LasConchas στο Νέο Μεξικό μετά από την πυρκαγιά (USGS, 2017).	15
Εικόνα 9: Ισορροπία του νερού πριν και μετά την αστικοποίηση (Donaldson, 2005).	15
Εικόνα 10: Συσσώρευση των ιχνοστοιχείων που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα στα ποτάμια ιζήματα (Parma, 2015).....	22
Εικόνα 11: Βασικοί παράγοντες και διεργασίες που ελέγχουν τη σύνθεση και τις συγκεντρώσεις των μετάλλων των ιζημάτων των ρεμάτων (Kuusisto-Hjort, 2009).....	22
Εικόνα 12: Φλόγες που εξαπλώνονται διαμέσου μιας αγροτικής κοινότητας στην Καλιφόρνια, στις 17/8/2016 (Bradford, 2018).....	29
Εικόνα 13: Αριθμός μελετών που προέκυψαν από συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση με αρνητικά, ουδέτερα και θετικά αποτελέσματα σε δέκα υπηρεσίες υδάτινων οικοσυστημάτων μετά από μικρές και ακραίες πλημμύρες (Talbot et al., 2018).....	39
Εικόνα 14: Οικονομική ζημιά που προκλήθηκε από τις σοβαρότερες πλημμύρες παγκοσμίως για τα έτη 1900-2016 (Statista, 2019).....	40
Εικόνα 15: Η ισορροπία του ρέματος (Till et al., 2000).	44
Εικόνα 16: Χάρτης εμφάνισης πλημμυρών στον Ευρωπαϊκό χώρο ανά ποταμό το διάστημα 1998-2002 (EEA, 2004).	46
Εικόνα 17: Χαρτογραφική απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής των Μεγάρων μέσω του Google Earth.	49
Εικόνα 18: Γεωγραφική απεικόνιση της περιοχής της Κινέτας μέσω του Google Map	50
Εικόνα 19: Εκβολή του ρέματος της Πίκας στην περιοχή της Κινέτας.....	51
Εικόνα 20: Γεωτεκτονικό σχήμα το οποίο απεικονίζει τις ισοτοπικές ζώνες της Ελλάδας (Μουντράκης, 1985).....	52

Εικόνα 21: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, τροποποιημένος από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Karlanis et al., 2013).	53
Εικόνα 22: Στρωματογραφική στήλη ενότητας Γερανείων ορέων (Karlanis et al., 2013).....	54
Εικόνα 23: Χαρτογραφική απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών της Κινέτας σε κλίμακα 1:25,000 (Μπεζές, 2011).	54
Εικόνα 24: Υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη της Κινέτας (Μπεζές, 2011).....	55
Εικόνα 25: Καμένη δασική έκταση του ρέματος Πίκα της περιοχής της Κινέτας.	56
Εικόνα 26: Καμένο αυτοκίνητο (αριστερά) και καμένη κατοικία (δεξιά)	57
Εικόνα 27: Χαρτογραφική απεικόνιση της Νέας Περάμου μέσω του Google Map.	58
Εικόνα 28: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Νέας Περάμου σε κλίμακα 1:25,000 (Μπεζές, 2011).....	60
Εικόνα 29: Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη Νέας Περάμου (Μπεζές, 2011).....	60
Εικόνα 30: Εικόνα από κατεστραμμένη οικία στην περιοχή της Νέας Περάμου (Αποστολίδης κ.α., 2017).....	63
Εικόνα 31: Χαρτογραφική απεικόνιση των σημείων που έχουν υποστεί καταστροφή από την πλημμύρα στη Νέα Πέραμο με βάση το σύστημα Copernicus (Copernicus-Emergency Management Service-Mapping, 2017).....	64
Εικόνα 32: Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας σε οδικό χάρτη μέσω του προγράμματος Arcgis 10.4 σε κλίμακα 1:18,000	67
Εικόνα 33: Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας στο χάρτη με της πυρόπληκτες περιοχές (κλίμακα: 1:18,000) (τροποποιημένος από Copernicus Emergency Management Service, 2018).	68
Εικόνα 34: Δειγματοληψία επιφανειακού ιζήματος ρέματος της περιοχής της Κινέτας.	68
Εικόνα 35: Απεικόνιση των σημείων στο Γεωλογικό χάρτη (Κλίμακα 1:4,369) (Τροποποιημένος από Μπεζές, 2011).	69
Εικόνα 36: Νεογενείς σχηματισμοί (αριστερά) και ασβεστολιθικά και υπερβασικά πετρώματα (δεξιά).....	69
Εικόνα 37: Επίδραση της θερμοκρασίας της πυρκαγιάς στη χημεία και στο χρώμα της τέφρας και του εδάφους (Bodi et al., 2014).	70
Εικόνα 38: Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας σε οδικό χάρτη μέσω του προγράμματος Arcgis 10.4 σε κλίμακα 1:14,014	71
Εικόνα 39: Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας σε χάρτη με τις περιοχές που έχουν επηρεαστεί από την πλημμύρα (κλίμακα 1:12,000) (τροποποιημένος από Copernicus Emergency Management Service, 2017).....	72
Εικόνα 40: Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας στο γεωλογικό χάρτη (Κλίμακα 1:16,000) (Τροποποιημένος από Μπεζές, 2011).	73
Εικόνα 41: Το επίπεδο δοχείο καλυμμένο με υλικό από πολυαιθυλένιο όπου τοποθετήθηκε το δείγμα ιζήματος (αριστερά) και τα απλωμένα δείγματα (δεξιά).	74
Εικόνα 42: Κλάσματα των δειγμάτων που λαμβάνονταν από κάθε κόσκινο	74
Εικόνα 43: Θάλαμος αεροξήρανσης δειγμάτων	75
Εικόνα 44: Φούρνος όπου πραγματοποιήθηκε η ξήρανση των 10 g των ιζημάτων	75

Εικόνα 45: Ο σωλήνας Βουγιούκου συμπληρωμένος με απιονισμένο νερό μέχρι τα 1,130 mL μέσα στον οποίο φαίνεται το πυκνόμετρο.	78
Εικόνα 46: Κατάσταση των δειγμάτων στους σωλήνες μετά από 2 h.....	78
Εικόνα 47: Όργανο μέτρησης pH.	79
Εικόνα 48: Ανάδευση των δειγμάτων.	82
Εικόνα 49: Συλλογή των διηθημάτων μετά την προσθήκη MgSO ₄	82
Εικόνα 50: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με φλόγα (VarianSpectraAA 220)....	83
Εικόνα 51: Προσεγγιστική απεικόνιση των μέσων τιμών των ποσοστών άμμου, ιλύος και αργίλου της Κινέτας και της Νέας Περάμου στο τρίγωνο μηχανικής σύστασης του εδάφους όπου το σημείο τομής των χρωματισμένων γραμμών δείχνει τον χαρακτηρισμό των ιζημάτων (College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2019).....	93
Εικόνα 52: Χαρτογραφική απεικόνιση των τιμών pH στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).....	95
Εικόνα 53: Απεικόνιση της οργανικής ουσίας (wt%) για τις δύο περιοχές στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ). ...	97
Εικόνα 54: Απεικόνιση της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (cmol Mg ²⁺ kg ⁻¹)των δύο περιοχών στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).....	99
Εικόνα 55: Απεικόνιση των συγκεντρώσεων του Fe _{DTPA} (mg kg ⁻¹) στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).	100
Εικόνα 56: Απεικόνιση των συγκεντρώσεων του Mn _{DTPA} (mg kg ⁻¹) στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).	104
Εικόνα 57: Απεικόνιση των συγκεντρώσεων του Cu _{DTPA} (mg kg ⁻¹) στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).	107
Εικόνα 58: Απεικόνιση των συγκεντρώσεων του Zn _{DTPA} (mg kg ⁻¹) στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).	110
Εικόνα 59: Απεικόνιση των φορτίων του παράγοντα 1 (Fe _{DTPA} , Mn _{DTPA} , οργανική ουσία και ΙΑΚ) για τα ιζήματα των δύο περιοχών στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ) και στους χάρτες που απεικονίζουν το γεωλογικό υπόβαθρο των δύο περιοχών (β και δ).....	116
Εικόνα 60: Απεικόνιση των φορτίων του παράγοντα 2 (Zn _{DTPA} , Cu _{DTPA} , Mn _{DTPA}) για τα ιζήματα των δύο περιοχών στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ) και στους χάρτες που απεικονίζουν το γεωλογικό υπόβαθρο (β και δ).	117

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Κλίμακα μεγέθους κόκκων του Wentworth σε αντιστοιχία με τις τιμές της κλίμακας του φ (Fraleay, 2004; Nelson, 2018; Wood and Armitage, 1997).....	7
Πίνακας 2: Ταξινόμηση των ανθρακικών πετρωμάτων ανάλογα με τη σύσταση σε ασβεστίτη-δολομίτη (Harrison et al., 1998).....	8
Πίνακας 3: Χημική σύσταση του νερού σε σχέση με τον τύπο των πετρωμάτων (Aswathanarayana, 1995).....	17
Πίνακας 4: Κύριες και δευτερεύουσες πηγές ιχνοστοιχείων σε αστικοποιημένες περιοχές (Kuusisto-Hjort, 2009).	21
Πίνακας 5: Σύγκριση των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων σε κλάσματα διαφορετικού μεγέθους των ιζημάτων του ποταμού Lese (Guagliardi et al., 2013).	24
Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg kg^{-1}) σύμφωνα με τα κριτήρια ποιότητας ιζήματος του Υπουργείου Περιβάλλοντος του Καναδά και του CCME(^a Kennedy et al., 1995; ^b CCME, 2001).	28
Πίνακας 7: Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg kg^{-1}) στα ιζήματα με βάση τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας (WHO) και τον οργανισμό προστασίας του περιβάλλοντος των ΗΠΑ (USEPA) (^c WHO, 2004; ^d USEPA, 1999;).....	28
Πίνακας 8: Ευρωπαϊκές χώρες με τις περισσότερες δασικές πυρκαγιές για τα έτη 2016 και 2017 αντίστοιχα (Migiro,2018; San-Miguel-Ayanz et al., 2018).	30
Πίνακας 9: Όρια ποιότητας του νερού για συστατικά που μπορεί να εμφανιστούν στα ρέματα μετά από πυρκαγιά (NHMRC, 2004; WHO, 2008).	34
Πίνακας 10: Ετήσιες μεταφερόμενες ποσότητες αιωρούμενου ιζήματος μετά από πυρκαγιά σε δασικές λεκάνες απορροής (Lane et al. 2006; Reneau et al., 2007; Sheridan et al., 2007b; Wilkinson et al., 2009).....	36
Πίνακας 11: Πλημμύρες στην Ευρώπη με σημαντικές συνέπειες (ΕΕΑ, 2010).	41
Πίνακας 12: Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg kg^{-1}) σε ιζήματα ρεμάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Tar μετά από πλημμύρα και σύγκριση με βάση δύο πρότυπα (Pease et al.,2006).	45
Πίνακας 13: Οι περίοδοι και η διάρκεια των γεωλογικών αιώνων (Οικονόμου, 2014).....	52
Πίνακας 14: Χαρακτηρισμός των ελεγχόμενων κτιρίων κατά την αυτοψία του Υπουργείου Μεταφορών και Υποδομών (Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών, 2018).....	57
Πίνακας 15: Χαρακτηριστικά του χειμάρρου Γιώργη (Αποστολίδης κ.α., 2017).....	58
Πίνακας 16: Αναλυτική παρουσίαση των αυτοψιών σε κτίρια της Νέας Περάμου από το Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών (Ελληνική Δημοκρατία, 2017).....	64
Πίνακας 17: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των ιχνοστοιχείων που περιέχονται στην τέφρα των ρεμάτων της Κινέτας (n=5) και σύγκριση με κριτήρια ποιότητας ιζημάτων και άλλες μελέτες.	91
Πίνακας 18: Σύνοψη της μονοπαραγοντικής στατιστικής ανάλυσης του συνόλου των γεωχημικών δεδομένων και των ιδιοτήτων των ιζημάτων των ρεμάτων της Κινέτας (n= 22) και της Νέας Περάμου (n=4).	92
Πίνακας 19: Τιμές χαρακτηρισμού της ΙΑΚ (Hazelton and Murphy, 2007).....	98
Πίνακας 20: Κατάταξη των κατηγοριών του παράγοντα ρύπανσης (Hakanson, 1980).	102

Πίνακας 21: Τιμές των παραγόντων ρύπανσης (CF) και των αριθμητικών μέσων του Fe_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) για τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου.	102
Πίνακας 22: Τιμές παραγόντων ρύπανσης (CF) και των αριθμητικών μέσων του Mn_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) για τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου.	106
Πίνακας 23: Οι τιμές των παραγόντων ρύπανσης (CF) και των αριθμητικών μέσων των συγκεντρώσεων του Cu_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) για τις περιοχές της Κινέτας και της Νέας Περάμου.	109
Πίνακας 24: Τιμές του παράγοντα ρύπανσης (CF) και των αριθμητικών μέσων του Zn_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) για τις δύο περιοχές.	111
Πίνακας 25: Ταξινόμηση του βαθμού ρύπανσης (Hakanson, 1980).	112
Πίνακας 26: Βαθμός ρύπανσης για τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου.	112
Πίνακας 27: Συντελεστές συσχέτισης και επίπεδα σημαντικότητας των προσδιοριζόμενων παραμέτρων για εικοσιέξι δείγματα ($n=26$)	113
Πίνακας 28: Τα παραγοντικά φορτία της περιστροφής μέγιστης διακύμανσης, οι κοινές παραγοντικές διακυμάνσεις και η μεταβλητότητα για έξι μεταβλητές των ρεμάτων της Δυτικής Αττικής.	115

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Διαγραμματική απεικόνιση της αθροιστικής συχνότητας σε συνάρτηση με την οργανική ουσία (wt%) σε λογαριθμικούς άξονες.	97
Σχήμα 2: Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του Fe_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) με την αθροιστική συχνότητα σε λογαριθμικούς άξονες.	101
Σχήμα 3: Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του Mn_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) με την αθροιστική συχνότητα σε λογαριθμικούς άξονες.	105
Σχήμα 4: Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του Cu_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) με την αθροιστική συχνότητα.	108
Σχήμα 5: Απεικόνιση αθροιστικής συχνότητας και συγκέντρωσης Zn_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) σε λογαριθμικούς άξονες.	111

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα ερευνητική εργασία έχει ως στόχο να διερευνήσει την ποιότητα των ιζημάτων των ρεμάτων της περιοχής της Κινέτας ύστερα από την δασική πυρκαγιά της 23^{ης} Ιουλίου 2018 και της περιοχής της Νέας Περάμου μετά από την καταστροφική πλημμύρα της 15^{ης} Νοεμβρίου 2017 και να αξιολογήσει τις πηγές ρύπανσης ιχνοστοιχείων στις δύο περιοχές.

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται εισαγωγικά στοιχεία σχετικά με την προέλευση και τις διεργασίες δημιουργίας των ιζημάτων καθώς και την κατάταξή τους ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους. Ακολούθως, γίνεται αναφορά στα ρέματα και στα ιζήματα που αποτίθενται σε αυτά ενώ επισημαίνεται συνοπτικά η επίδραση των ιζημάτων στα ποτάμια συστήματα.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται λόγος για τη ρύπανση των ιζημάτων από ιχνοστοιχεία. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι παράγοντες και οι διεργασίες που ελέγχουν τη σύνθεση και τις συγκεντρώσεις των μετάλλων των ιζημάτων ρεμάτων, οι τρόποι χημικής σύνδεσης των μετάλλων στα ιζήματα καθώς και όρια ποιότητας των ιζημάτων για διάφορα μέταλλα σύμφωνα με κριτήρια ποιότητας ιζημάτων.

Στο κεφάλαιο 3 αναφέρεται η ρύπανση των ιζημάτων των ρεμάτων λόγω των φαινομένων των πυρκαγιών και των πλημμύρων. Αρχικά, γίνεται λόγος για το φαινόμενο των πυρκαγιών και τις επιπτώσεις του (οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές) και ακολούθως αναφέρεται η επίδραση των πυρκαγιών στα ιζήματα των ρεμάτων. Στη συνέχεια, περιγράφεται το φαινόμενο των πλημμύρων, οι επιπτώσεις τους, η επίδραση που έχουν στα ιζήματα των ρεμάτων καθώς και το νομοθετικό πλαίσιο για τις πλημμύρες (Οδηγία 2007/60/ΕΚ).

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το γεωλογικό υπόβαθρο των περιοχών της Κινέτας και της Νέας Περάμου καθώς και μια συνοπτική αναφορά στις καταστροφές που υπέστησαν οι δύο περιοχές εξαιτίας των φαινομένων της πυρκαγιάς και της πλημμύρας.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη συλλογή των δειγμάτων από τα ρέματα της Κινέτας και της Νέας Περάμου και η απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας σε χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν την έκταση της καταστροφής και το γεωλογικό υπόβαθρο για κάθε περιοχή. Από όλα τα σημεία δειγματοληψίας συλλέχθηκαν κατά κύριο λόγο δείγματα ιζημάτων. Ωστόσο, σε ορισμένα σημεία της περιοχής της Κινέτας, πραγματοποιήθηκε συλλογή τόσο ιζημάτων όσο και τέφρας. Ακολούθως, περιγράφεται η διαδικασία προεπεξεργασίας των δειγμάτων πριν από την εργαστηριακή επεξεργασία τους. Επίσης, αναφέρονται οι μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης, των φυσικοχημικών παραμέτρων (pH, ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και οργανική ουσία) και του διαθέσιμου κλάσματος των ιχνοστοιχείων (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}) των ιζημάτων ρεμάτων. Επιπλέον, παρουσιάζεται συνοπτικά η μέθοδος προσδιορισμού των συνολικών συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων και θρεπτικών (Ag, Al, As, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Ni, P, S, Sb, Sc, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W και Zn) της τέφρας που είχε αποθεθεί λόγω της δασικής πυρκαγιάς στην περιοχή της Κινέτας.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ελέγχων στους οποίους υποβλήθηκαν τα ιζήματα των ρεμάτων των περιοχών της Κινέτας και της Νέας Περάμου και η αποτιθέμενη τέφρα. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται η στατιστική ανάλυση (μονοπαραγοντική ανάλυση, ανάλυση με δύο μεταβλητές και πολυμεταβλητή

ανάλυση) των παραμέτρων που προσδιορίστηκαν για τα ιζήματα των ρεμάτων των δύο περιοχών που είναι το pH, η οργανική ουσία, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και τα τέσσερα ιχνοστοιχεία (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}). Ο παράγοντας ρύπανσης (Contamination Factor, CF) που υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μονοπαραγοντική ανάλυση έδειξε μέτρια ρύπανση ($1 < CF < 3$) ως προς τον Fe_{DTPA} , το Mn_{DTPA} και τον Zn_{DTPA} για την περιοχή της Κινέτας διότι οι τιμές του αντιστοιχούν σε 1.37, 1.78 και 1.15 αντίστοιχα ενώ αποκάλυψε σημαντική ρύπανση για τον Cu_{DTPA} και μέτρια ρύπανση για τον Zn_{DTPA} για την περιοχή της Νέας Περάμου με τιμές που ανέρχονται σε 4.56 και 1.53 αντίστοιχα. Επίσης, η ανάλυση με δύο μεταβλητές και η πολυμεταβλητή ανάλυση έδειξαν μια πολύ ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της οργανικής ουσίας, της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων και των δύο στοιχείων (Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA}) αλλά και μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του Cu_{DTPA} και του Zn_{DTPA} . Επιπλέον, η απεικόνιση των βαθμών ανά παράγοντα (factor scores) που υπολογίστηκαν κατά την πολυμεταβλητή ανάλυση σε χάρτες έδειξε ότι, με βάση τους υψηλούς θετικούς βαθμούς ανά παράγοντα, η ρύπανση των ιζημάτων των ρεμάτων της Κινέτας ως προς τον Cu_{DTPA} και τον Zn_{DTPA} οφείλεται αποκλειστικά στην πυρκαγιά ενώ η ρύπανση ως προς το Fe_{DTPA} και το Mn_{DTPA} οφείλεται τόσο στην πυρκαγιά όσο και στα γεωγενή χαρακτηριστικά της περιοχής όπως είναι η παρουσία των οξειδίων Fe-Mn. Αντίστοιχα, στην περιοχή της Νέας Περάμου, τα υψηλά θετικά φορτία του παράγοντα 2 έδειξαν ότι, η ρύπανση των ιζημάτων ως προς τον Cu_{DTPA} και τον Zn_{DTPA} οφείλεται τόσο στο φαινόμενο της πλημμύρας όσο και στα γεωγενή χαρακτηριστικά της περιοχής ενώ από τα χαμηλά φορτία του παράγοντα 1, επιβεβαιώνεται η χαμηλή ρύπανση των ιζημάτων ως προς Fe_{DTPA} και Mn_{DTPA} η οποία μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη των οξειδίων Fe-Mn. Επιπροσθέτως, τα αποτελέσματα από την ανάλυση τέφρας έδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις σε εννέα ιχνοστοιχεία (Sr, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Zn, Sb) και τρία θρεπτικά (Ca, Mg, P) οι οποίες ξεπερνούν τη μέση σύσταση ιζήματος ρέματος καθώς και τα όρια που θέτονται από τα κριτήρια ποιότητας ιζήματος γεγονός που σημαίνει ότι τα δείγματα τέφρας παρουσιάζουν σημαντική ρύπανση ως προς τα ανωτέρω ιχνοστοιχεία.

Τέλος, στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα βασικότερα συμπεράσματα της έρευνας.

Λέξεις-Κλειδιά: Πυρκαγιά, πλημμύρα, ποιότητα ιζημάτων ρεμάτων, ιχνοστοιχεία, παράγοντας ρύπανσης

ABSTRACT

The scope of this dissertation is to evaluate the contamination of stream sediments of the Kineta wildfire impacted area and the Nea Peramos area after the destructive flood of 15th November 2017 and to investigate the trace element contamination sources in the areas.

The first chapter presents an introduction about the origin and the formation processes of sediments as well as their classification depending on how they are formed. Then, streams and the sediments which are deposited in them are reported while a summary description of the effect of the sediment on the fluvial systems become.

The second chapter refers to the trace metals contamination in sediments. Accurately, the factors and processes which control the concentration of the element in the stream sediments, the metals chemical bonding on the surface of the sediment as well as the sediments quality limits for various metals according to sediments quality guides are described.

The third chapter reports the stream sediments contamination due to wildfires and floods. Initially, the economic, social and environmental impacts of wildfire are presented and then, their effect on the stream sediments is reported. Consequently, the effects of floods on the stream sediments and legislative framework (Directive 2007/60/EC) for floods are described.

The fourth chapter presents the geological background of the Kineta and Nea Peramos areas as well as a brief account of the disasters which underwent the two areas due to the wildfire and flood.

The fifth chapter includes the procedure which is followed for the samples collected from the Kineta and Nea Peramos streams and the visualization of the sampling points on maps which show the extent of the disaster and the geological background for each area. From all sampling points, stream sediment samples were collected. However, in some parts of the Kineta area, both sediments and ash were sampled. Then, the pretreatment procedure of the samples and the methodologies which are followed for the determination of the mechanical composition, the physicochemical parameters (pH, organic matter and Cation Exchange Capacity (CEC)) and the available fraction of trace elements (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} and Zn_{DTPA}) of the stream sediments are evaluated. Moreover, the method that is carried out for the determination of total concentrations of trace elements and nutrients (Ag, Al, As, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Ni, P, S, Sb, Sc, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W and Zn) in ash samples which has been deposited due to wildfire in the Kineta area are briefly presented.

The sixth chapter records and analyses the results of the laboratory controls of the stream sediments and ash. Specifically, the statistical analysis (univariate, bivariate and multivariate) of seven parameters (pH, organic matter, CEC, Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , and Zn_{DTPA}) is reported. The contamination factor (CF) which is calculated by using the results were produced by univariate statistical analysis showed moderate contamination for the elements Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} and Zn_{DTPA} in the Kineta area because its values correspond to 1.37, 1.78 and 1.15 respectively while it is revealed significant contamination for Cu_{DTPA} and moderate contamination for Zn_{DTPA} in the Nea Peramos area with values which are come up to 4.56 and 1.53 respectively. Also, bivariate and multivariate statistical analysis indicated a very strong correlation between CEC, organic matter, Fe_{DTPA} and Mn_{DTPA} as well as a strong correlation

between Cu_{DTPA} and Zn_{DTPA} . Moreover, the visualization of factor scores which are calculated during multivariate statistical analysis on maps shows that, according to the high positive factor scores, the stream sediments contamination in the Kineta area for the elements Cu_{DTPA} and Zn_{DTPA} are attributed to the wildfire while the contamination for Fe_{DTPA} and Mn_{DTPA} is due to both the wildfire and the geogenic characteristics of the area such as the mineralization of Fe-Mn oxides. Accordingly, in the Nea Peramos area, the high positive factor scores of factor 2 showed that the stream sediments contamination for Cu_{DTPA} and Zn_{DTPA} is the result both of flood and of geogenic characteristics of the area while from the low factor scores of factor 1, the low stream sediments contamination for Fe_{DTPA} and Mn_{DTPA} that is due to the lack of mineralization of Fe-Mn oxides is confirmed. Furthermore, the results which are eventuated by the laboratory control of ash indicated high concentrations to nine metals (Sr, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Zn, Sb) and three nutrients (Ca, Mg, P) which exceed the concentrations of a mean stream sediment as well as the sediment quality limits defined by sediment quality guides. It means that ash samples present significant trace elements contamination. Finally, the seventh chapter presents the conclusions of this study.

Keywords: Wildfire, flood, stream sediments, trace elements, contamination factor

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρύπανση των υδάτινων σωμάτων από ιχνοστοιχεία χρήζει ιδιαίτερης προσοχής τις τελευταίες δεκαετίες (Giouri et al., 2010). Τα ιχνοστοιχεία μπορεί να προστεθούν σε ένα υδάτινο οικοσύστημα είτε από φυσικές πηγές όπως είναι η αποσάθρωση των εδαφών, οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες είτε από ανθρωπογενείς πηγές προέλευσης όπως είναι η αστικοποίηση, η βιομηχανία, η μεταφορά και η ενεργειακή παραγωγή και θεωρούνται ένας σημαντικός ρύπος του περιβάλλοντος, όταν ανιχνεύονται σε ποσότητες που υπερβαίνουν τις φυσικές συγκεντρώσεις (Bing et al., 2016; Das et al., 2015; Giouri et al., 2010; Omwene et al., 2018; Sekabira et al., 2010).

Τα ιχνοστοιχεία που ελευθερώνονται στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι συνδεδεμένα με τη σωματιδιακή ύλη η οποία ενσωματώνεται τελικά στα ιζήματα. Επομένως, τα ιζήματα αποτελούν ένα αποτελεσματικό μέσο της συσσώρευσης και της μεταφοράς κατάντη ανόργανων ρύπων όπως είναι τα ιχνοστοιχεία (Giouri et al., 2010). Η απελευθέρωση των ιχνοστοιχείων στα υδάτινα συστήματα οφείλεται στο γεγονός ότι, τα μέταλλα αυτά δεν είναι σταθερά συνδεδεμένα με τα ιζήματα και μπορούν να απελευθερωθούν στην υδάτινη στήλη αν αλλάξουν οι περιβαλλοντικές παράμετροι όπως η τιμή του pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, η σκληρότητα κλπ. Η μέτρηση της συνολικής συγκέντρωσης των μετάλλων παρέχει ανεπαρκή πληροφόρηση για την αξιολόγηση της βιοδιαθεσιμότητας ή της τοξικότητας των μετάλλων διότι η κινητικότητα, η πιθανή τοξικότητα και η βιοδιαθεσιμότητά τους εξαρτώνται από τις διαφορετικές χημικές μορφές στις οποίες υπάρχουν στα ιζήματα (Baran and Tarnawski, 2015). Πιο συγκεκριμένα, τα μέταλλα που συνδέονται με το ανταλλάξιμο, το αναγώγιμο και το οξειδώσιμο κλάσμα του ιζήματος είναι ευπαθή στην απελευθέρωση στη στήλη του νερού με αποτέλεσμα να γίνονται βιοδιαθέσιμα αποτελώντας απειλή για τους υδρόβιους οργανισμούς. Τα μικρά αστικά ρέματα είναι πιο ευάλωτα στις απορρίψεις ρύπων σε σύγκριση με τα μεγάλα ποτάμια λόγω της περιορισμένης ροής τους ενώ ακόμα και μικρές ποσότητες απόρριψης ρύπων μπορούν να μεταβάλλουν την ισορροπία των ρεμάτων (Race et al., 2015).

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που συσσωρεύονται στα ιζήματα τα οποία αποτίθενται στα ρέματα μπορούν να αυξηθούν μετά από μια δασική πυρκαγιά ή πλημμύρα με αποτέλεσμα τα ιζήματα να αποτελούν πηγή ρύπανσης η οποία έχει δυνητικά μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στην υγεία των οικοσυστημάτων (Bing et al., 2016; Das et al., 2015; Omwene et al., 2018; Sekabira et al., 2010). Πιο συγκεκριμένα, μια δασική πυρκαγιά έχει ως συνέπεια την αύξηση των πηγών ρύπανσης, των ρυθμών διάβρωσης του εδάφους και την παραγωγή απορροής, ενισχύοντας τη μεταφορά των σωματιδίων και των κολλοειδών συμπεριλαμβανομένων και των μετάλλων που είναι συνδεδεμένα σε αυτά από τα χερσαία στα υδάτινα οικοσυστήματα (Smith et al., 2011). Στη συνέχεια, αφού μεταφερθούν τα μέταλλα στην υδάτινη στήλη, έχουν την τάση να προσροφώνται στα αποτιθέμενα σωματίδια και ενδεχομένως να παραμένουν στα ιζήματα για μεγάλο χρονικό διάστημα (Christensen et al., 2008). Συνεπώς, οι πυρκαγιές έχουν τη δυνατότητα να ρυπαίνουν τα υδάτινα σώματα και τα ιζήματα που υπάρχουν σε αυτά (Silva et al., 2016). Αντίστοιχα, όπως και οι δασικές πυρκαγιές,

οι πλημμύρες μπορούν να οδηγήσουν σε ρύπανση των υδάτινων σωμάτων από ιχνοστοιχεία. Πιο συγκεκριμένα, οι πλημμύρες έχουν ως αποτέλεσμα τη μεταφορά καθαρού νερού, ιζημάτων και μετάλλων στα ποτάμια και στα ρέματα. Η αύξηση της αποφόρτισης συνοδεύεται από αξιοσημείωτες αλλαγές στη συγκέντρωση των αιωρούμενων ιζημάτων, οδηγώντας σε μια αύξηση των φορτίων των μετάλλων που συνδέονται με τα σωματίδια (Zonta et al., 2005). Επίσης, η αποφόρτιση κατά τη διάρκεια πλημμύρων έχει ως συνέπεια την επαναιώρηση των συνδεόμενων με τα ιζήματα μετάλλων που είχαν συσσωρευτεί στα κανάλια των ποταμών και των ρεμάτων και στη συνέχεια, τη μεταφορά καθώς και τη διασπορά τους στις πλημμυρικές περιοχές. Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, οι μακροπρόθεσμες και εποχιακές μεταβολές των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα των καναλιών μπορούν να αποδοθούν τόσο σε μεταβολές του φορτίου του μετάλλου που απορρίπτεται στο κανάλι ενός ρέματος όσο και στις αποφορτίσεις του ρέματος που σχετίζονται με το ποσό και την ένταση των βροχοπτώσεων. Γενικά, πλημμύρες υψηλότερου μεγέθους και μεγαλύτερης διάρκειας οδηγούν σε μείωση των συγκεντρώσεων των μετάλλων στα ιζήματα ενώ οι περίοδοι χαμηλών ροών οδηγούν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στα ιζήματα της κλίνης των ρεμάτων (Ciszewski, 2001).

Η παρούσα ερευνητική μελέτη εξετάζει την ποιότητα των ιζημάτων των ρεμάτων της περιοχής της Κινέτας ύστερα από την δασική πυρκαγιά της 23^{ης} Ιουλίου 2018 και της περιοχής της Νέας Περάμου μετά από την καταστροφική πλημμύρα της 15^{ης} Νοεμβρίου 2017. Τα αντικείμενα της εφαρμοσμένης έρευνας στις περιοχές Κινέτας και Νέας Περάμου έχουν ως εξής:

1. Την καταγραφή της κατάστασης ποιότητας των ιζημάτων των ρεμάτων των περιοχών της Κινέτας και της Νέας Περάμου μέσω του προσδιορισμού των φυσικοχημικών παραμέτρων (pH, οργανική ουσία, ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Cation Exchange Capacity, CEC) και της διαθέσιμης συγκέντρωσης τεσσάρων μετάλλων τα οποία είναι ο χαλκός (Cu_{DTPA}), ο σίδηρος (Fe_{DTPA}), το μαγγάνιο (Mn_{DTPA}) και ο ψευδάργυρος (Zn_{DTPA}) καθώς και η σύγκριση των παραμέτρων αυτών μεταξύ των περιοχών που έχουν επηρεαστεί από τις φυσικές καταστροφές και των περιοχών που δεν έχουν επηρεαστεί.
2. Τη σύγκριση των συγκεντρώσεων των διαθέσιμων στοιχείων (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}) με κριτήρια ποιότητας ιζημάτων και την ποσοτική αξιολόγηση του εμπλουτισμού των ιζημάτων σε Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} και Zn_{DTPA} λαμβάνοντας υπόψη τις φυσικές μεταβολές των στοιχειακών περιεχομένων λόγω λιθολογίας και γεωλογίας.
3. Τη συσχέτιση των στοιχείων (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}) με φυσικοχημικές ιδιότητες όπως η τιμή του pH, η περιεκτικότητα των ιζημάτων σε οργανική ουσία και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Cation Exchange Capacity, CEC) αλλά και μεταξύ τους.
4. Τον καθορισμό των πηγών ρύπανσης των περιοχών της Κινέτας και της Νέας Περάμου ως προς τα τέσσερα στοιχεία (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}) καθώς και τη χωρική σχέση μεταξύ των χημικών μεταβολών στα ιζήματα των ρεμάτων και της λιθολογίας.

5. Τον περαιτέρω έλεγχο της ρύπανσης των ρεμάτων της Κινέτας με τον ποιοτικό έλεγχο της αποτιθέμενης τέφρας μέσω του προσδιορισμού των συνολικών συγκεντρώσεων των εξής στοιχείων: άργυρος (Ag), αλουμίνιο (Al), αρσενικό (As), βηρύλλιο (Be), βισμούθιο (Bi), ασβέστιο (Ca), κάδμιο (Cd), κοβάλτιο (Co), χρώμιο (Cr), χαλκός (Cu), σίδηρος (Fe), γάλλιο (Ga), υδράργυρος (Hg), κάλλιο (K), λανθάνιο (La), μαγνήσιο (Mg), μαγγάνιο (Mn), νικέλιο (Ni), φώσφορος (P), θείο (S), αντιμόνιο (Sb), σκάνδιο (Sc), στρόντιο (Sr), θόριο (Th), τιτάνιο (Ti), θάλλιο (Tl), ουράνιο (U), βανάδιο (V), βολφράμιο (W) και ψευδάργυρος (Zn).

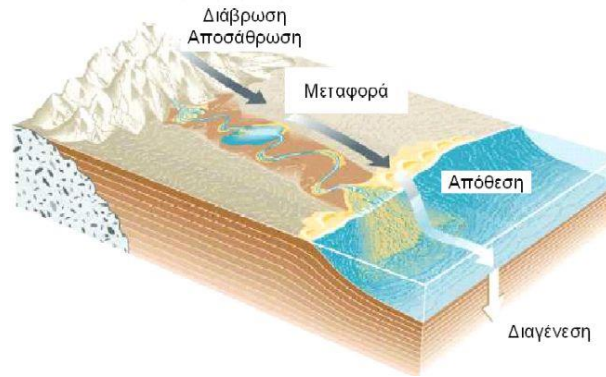
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΑ ΡΕΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια γενική εισαγωγή στα ιζημάτα η οποία αφορά την προέλευση και το σχηματισμό τους. Επίσης, γίνεται μια σύντομη αναφορά στα ποτάμια συστήματα ενώ περιγράφονται πιο συγκεκριμένα τα ρέματα τα οποία κυριαρχούν σε ένα ποτάμιο σύστημα καθώς και τα ιζημάτα που αποτίθενται σε αυτά. Τέλος, αναφέρεται συνοπτικά η επίδραση των ιζημάτων στα ποτάμια συστήματα.

1.1. Προέλευση των ιζημάτων

Τα ποτάμια, οι ωκεανοί, οι άνεμοι και η απορροή της βροχής έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν στερεά σωματίδια τα οποία έχουν προέλθει από τη διάβρωση πετρωμάτων. Τα σωματίδια αυτά αποτίθενται ή καταβυθίζονται όταν η ενέργεια του μεταφερόμενου ρεύματος δεν είναι αρκετά ισχυρή για τη μεταφορά τους (Nelson, 2018). Η απόθεση ή καταβύθιση ενός στερεού υλικού το οποίο βρίσκεται υπό αιώρηση ή διάλυση σε ένα ρευστό μέσο καλείται ιζηματογένεση (Rafferty, 2009). Η διεργασία της ιζηματογένεσης περιλαμβάνει πέντε στάδια μέσα από τα οποία πραγματοποιείται ο σχηματισμός των ιζηματογενών πετρωμάτων. Τα στάδια αυτά είναι τα ακόλουθα (Nelson, 2018; Χριστοφίδης, 2002) (Εικ. 1):

- Η αποσάθρωση που είναι η μετατροπή του προϋπάρχοντος στερεού πετρώματος σε μικρότερα θραύσματα μέσω φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών.
- Η διάβρωση η οποία είναι στην πραγματικότητα πολλές διεργασίες που δρουν μαζί με σκοπό να χαμηλώσουν την επιφάνεια της γης. Όσον αφορά στην παραγωγή ιζημάτων, η διάβρωση αρχίζει τη διεργασία μεταφοράς με μετακίνηση των αποσπασμένων προϊόντων από την αρχική τους τοποθεσία. Αυτό μπορεί να συμβεί με τη βαρύτητα (συμβάντα μετακίνησης μάζας όπως κατολισθήσεις ή πτώσεις πετρωμάτων), με το τρεχούμενο νερό ή με τη μετακίνηση πάγου.
- Η μεταφορά σε ρέματα, ποτάμια ή ωκεάνια ρεύματα των υλικών που προέκυψαν από την αποσάθρωση μέσω του ανέμου ή του νερού.
- Η απόθεση των υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση η οποία λαμβάνει χώρα όταν η ενέργεια του μέσου μεταφοράς γίνει τόσο χαμηλή ώστε να καταστεί αδύνατη η συνέχιση της διεργασίας μεταφοράς. Επομένως, αν η ταχύτητα του μεταφερόμενου μέσου γίνει πολύ χαμηλή το ίζημα θα αποτεθεί. Συνεπώς, το τελικό ίζημα αντανακλά την ενέργεια του μεταφερόμενου μέσου.
- Η λιθοποίηση (διαγένεση) που είναι η διεργασία κατά την οποία το χαλαρό ίζημα μετατρέπεται σε συμπαγές πέτρωμα. Η διεργασία αυτή περιλαμβάνει την συμπίεση κατά την οποία οι κόκκοι έρχονται πιο κοντά με αποτέλεσμα τη μείωση του χώρου των πόρων και την εξάλειψη μέρους του περιεχόμενου νερού. Ένα μέρος αυτού του νερού μπορεί να μεταφέρει συστατικά ορυκτών υπό διάλυση και αυτά τα συστατικά μπορούν αργότερα να καταβυθιστούν ως καινούρια ορυκτά στους χώρους των πόρων. Αυτό προκαλεί την τσιμεντοποίηση, η οποία στη συνέχεια θα αρχίσει να δεσμεύει μαζί τα μεμονωμένα σωματίδια.



Εικόνα 1: Διαδικασίες σχηματισμού ιζηματογενών πετρωμάτων (Λυκούδη, 2005).

Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους και την προέλευση του ιζήματος τα ιζηματογενή πετρώματα κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες είναι τα κλαστικά που προκύπτουν από την μηχανική αποσάθρωση των προϋπαρχόντων πετρωμάτων, τα χημικά τα οποία προέρχονται από την χημική αποσάθρωση δηλαδή όταν το υλικό διαλύεται στο νερό και καθιζάνει χημικά από αυτό, τα βιοχημικά τα οποία προκύπτουν από ζωντανούς οργανισμούς που απομακρύνουν ιόντα όπως Ca^{2+} τα οποία διαλύονται στο νερό προκειμένου να φτιάξουν κελύφη, οστά κλπ. και τα οργανικά τα οποία προέρχονται από τη συσσώρευση φυτικής ύλης σε ένα μέσο π.χ. στο βυθό ενός βάλτου (Nelson, 2018).

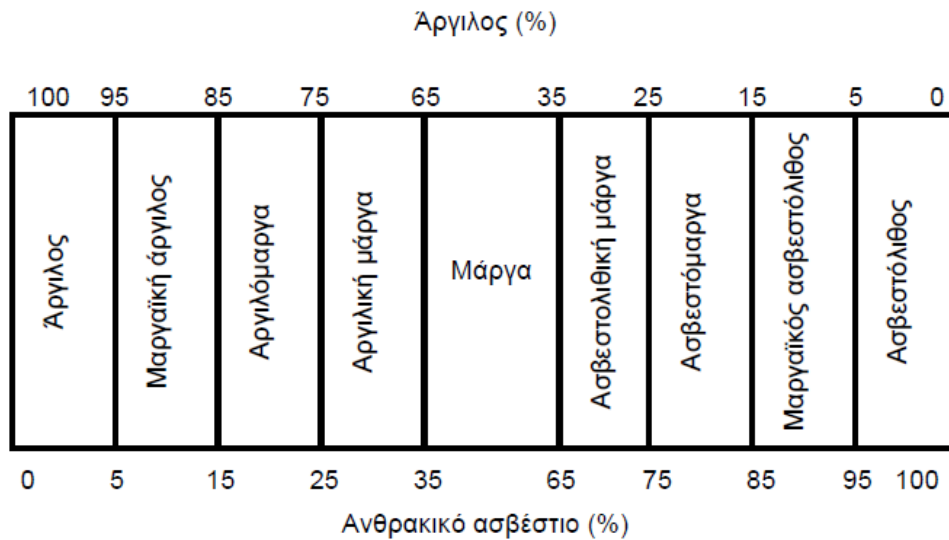
1.1.1. Κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα

Τα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα είναι ιζήματα που σχηματίστηκαν μέσω φυσικών διεργασιών. Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν την μηχανική αποσάθρωση και την διάβρωση του προϋπαρχόντος πετρώματος, την μεταφορά μέσω ενός ρευστού (νερό ή αέρας) ή της βαρύτητας, την διάλυση σε μικρότερα κομμάτια κατά την διάρκεια της μεταφοράς, την μηχανική απόθεση λόγω πτώσης της ενέργειας μεταφοράς και τη διαγένεση δηλαδή τον μετασχηματισμό σε πέτρωμα λόγω πίεσης, θερμότητας, αποστράγγισης, προσθήκης ορυκτών συμπεριλαμβανομένης τηςτσιμεντοποίησης ή των χημικών αντιδράσεων (Nelson, 2018).

Το μέγεθος των σωματιδίων των κλαστικών ιζημάτων καθορίζεται με βάση τη διάμετρο των μεμονωμένων κόκκων τους (Wentworth, 1922). Επομένως, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, τα ιζήματα αυτά διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- i. Τα Κροκαλοπαγή που είναι συμπαγή πετρώματα τα οποία προκύπτουν από τη συγκόλληση κροκάλων (στρογγυλεμένα κομμάτια πετρώματος) και τα λατυποπαγή τα οποία προκύπτουν από τη συγκόλληση λατύπων (γωνιώδη). Η συγκολλητική ύλη συνήθως είναι ασβεστιτική ή χαλαζιακή (Χριστοφίδης, 2002).
- ii. Οι ψαμμίτες (sandstones) που είναι συμπαγή πετρώματα τα οποία προκύπτουν από την διαγένεση της άμμου δηλαδή από την συμπαγοποίηση των κόκκων της. Το συνδετικό υλικό ποικίλλει και χαρακτηρίζει το πέτρωμα (χαλαζιακό, ασβεστιτικό, αργιλικό) και το μέγεθος των κλαστικών κόκκων κυμαίνεται από 2 mm έως 0.0625 mm ενώ το χρώμα τους είναι συνήθως ανοιχτό τεφρό, ερυθροκάστανο ή κιτρινο και έχουν τραχιά και κοκκώδη υφή (Τσιραμπίδης, 2003; Χριστοφίδης, 2002).

- iii. Ο ιλυόλιθος (siltstone) που είναι το ιζηματογενές πέτρωμα του οποίου τα κύρια συστατικά είναι αργιλικά ορυκτά, χαλαζίας (SiO₂), άστριοι, ασβεσίτης (CaCO₃) και οργανική ύλη ενώ το μέγεθός των κόκκων των συστατικών του κυμαίνεται από 0.063 mm έως 0.004 mm (Χριστοφίδης, 2002).
- iv. Ο αργιλόλιθος (claystone) που είναι κλαστικό ίζημα το οποίο αποτελείται κυρίως από ορυκτά της αργίλου όπως είναι ο καολινίτης ((Al₄Si₄O₁₀(OH)₈), ο μοντμοριλλονίτης (Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)₂Si₂O₁₀(OH)₂nH₂O), ο ιλλίτης (2K₂O.3MgO.Al₂O₃.24SiO₂. 12H₂O)) και ο χλωρίτης ((Mg,Fe)₅(Al,Si)₅O₁₀(OH)₈). Το μέγεθος των κόκκων των ορυκτών είναι μικρότερο από 0.004 mm. Στη συνηθισμένη του εμφάνιση το πέτρωμα έχει χαλαρή έως ημισυμπαγή υφή ενώ με τη διαγένεση της αργίλου σχηματίζεται η σχιστή άργιλος και με μεταμόρφωση αυτής ο αργιλικός σχιστόλιθος (Χριστοφίδης, 2002).
- v. Οι μάργες (marls) που είναι ιζηματογενείς σχηματισμοί, συνήθως Νεογενούς ηλικίας, οι οποίοι κυμαίνονται χημικά και ορυκτολογικά μεταξύ ασβεστολίθου και αργίλου (Δάβη, 1991). Μια τυπική μάργα αποτελεί μίγμα με περιεκτικότητα σε άργιλο 35-65% και ασβεστόλιθο 65-35% και ανάλογα με τη σύστασή της σε αυτά τα συστατικά ταξινομείται σε: άργιλο, μαργαϊκή άργιλο, αργιλόμαργα, αργιλική μάργα, μάργα, ασβεστολιθική μάργα, ασβεστομάργα, μαργαϊκό ασβεστόλιθο και ασβεστόλιθο (Εικ. 2). Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι, οι μάργες έχουν σχηματιστεί κάτω από θαλάσσιες ή λιμναίες συνθήκες και συνήθως έχουν χρώμα τεφρό. Ωστόσο, υπάρχουν και ποικιλίες μαργών με χρώμα κίτρινο, πράσινο, κυανό και μαύρο (Barth et al. 1939; Pettijohn, 1975).



Εικόνα 2: Ταξινόμηση των μαργαϊκών ιζημάτων σύμφωνα με το ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (Barth et al., 1939; Pettijohn, 1975).

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται μια πιο αναλυτική προσέγγιση του μεγέθους των κόκκων του κλαστικού ιζήματος. Πιο συγκεκριμένα, το εύρος των μεγεθών ταξινομήθηκε σε κατηγορίες με βάση την κλίμακα Wentworth η οποία συμπληρώθηκε με την κλίμακα του φ του Krumbein που μετασχηματίζει τα χιλιοστόμετρα στον αρνητικό λογάριθμο με βάση το 2 λαμβάνοντας έτσι ακέραιους αριθμούς (Fraley, 2004 ; Wentworth, 1922).

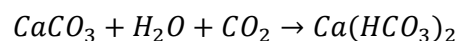
Πίνακας 1: Κλίμακα μεγέθους κόκκων του Wentworth σε αντιστοιχία με τις τιμές της κλίμακας του φ (Fraley, 2004; Nelson, 2018; Wood and Armitage, 1997).

Μεγέθη κόκκων ιζημάτων (mm)	Κλίμακα του φ	Χαλαρό ίζημα (Βαθμίδα Wentworth)	Συμπαγές πέτρωμα
>256	-8	Ογκόλιθος	
>64 έως 256	-6	Χαλίκι μεγάλου μεγέθους	Κροκαλοπαγές ή Λατυποπαγές
>4 έως 64	-2	Χαλίκι μικρού μεγέθους	(ανάλογα με το στρογγύλεμα)
>2 έως 4	-1	Πολύ λεπτό χαλίκι	
>1 έως 2	0	Πολύ χονδροειδής άμμος	
>0.5 έως 1	1	Χονδροειδής άμμος	Ψαμμίτης
>0.25 έως 0.5	2	Μεσαία άμμος	
>0.125 έως 0.25	3	Λεπτή άμμος	
>0.0625 έως 0.125	4	Πολύ λεπτή άμμος	
>0.0313 έως 0.0625	5	Χονδροειδής ιλύς	
>0.0156 έως 0.0313	6	Μεσαία ιλύς	
>0.0078 έως 0.0156	7	Λεπτή ιλύς	Ιλυόλιθος
>0.0039 έως 0.0078	8	Πολύ λεπτή ιλύς	
<0.0039	>8	Άργιλος	Αργιλόλιθος

Από τον ανωτέρω πίνακα φαίνεται ότι τα ιζήματα αποτελούνται από σωματίδια εδάφους όλων των μεγεθών. Πιο συγκεκριμένα, το μέγεθος των σωματιδίων κυμαίνεται από τα πιο μικρά (άμμος, ιλύς και άργιλος) μέχρι τα πιο μεγάλα που περιλαμβάνουν τα χαλίκια και τους ογκόλιθους.

1.1.2. Χημικά ιζηματογενή πετρώματα

Τα χημικά ιζηματογενή πετρώματα είναι ιζήματα που σχηματίστηκαν μέσω χημικών διεργασιών. Συγκεκριμένα, προήλθαν από την καθίζηση του υλικού αποσάθρωσης το οποίο βρίσκεται υπό διάλυση ή αιώρηση σε κάποιο διαλυτικό μέσο (συνήθως νερό) μέσω ανόργανων χημικών διεργασιών. Τα χημικά ιζήματα ανάλογα με την σύστασή τους διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες είναι τα ανθρακικά, τα πυριτικά, τα θειικά και χλωριούχα και τα σιδηρομαγγανιούχα ιζήματα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χημικής αποσάθρωσης είναι η διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) στο νερό υπό την παρουσία CO_2 σύμφωνα με την ακόλουθη χημική αντίδραση (Χατζηπαναγιώτου, 1997):



Τα κυριότερα χημικά ιζηματογενή πετρώματα είναι τα ακόλουθα:

- Ο ασβεστόλιθος (limestone) που είναι ανθρακικό ιζηματογενές πέτρωμα το οποίο αποτελείται κυρίως από ασβεσίτη (CaCO_3). Περιέχει 90% ασβεσίτη και μέχρι 10% δολομίτη ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) και έχει χρώμα συνήθως τεφρό αλλά εμφανίζεται και με διάφορα άλλα χρώματα. Σε μικρές αναλογίες αποτελείται συνήθως από αργιλικά ορυκτά, χλωρίτη, χαλαζία, άστριους, χαλκηδόνιο, μαρμαρυγίες, αιματίτη, σιδηροπυρίτη κλπ. καθώς και οργανικό υλικό (Κωστάκης, 2003; Χριστοφίδης, 2002). Η απόθεση του ανθρακικού ασβεστίου μπορεί να είναι είτε χημική (κορεσμός λόγω εξάτμισης ή αύξησης συγκέντρωσης ή αλλαγής φυσικοχημικών σταθερών) είτε βιοχημική από συσσώρευση και συμπαγοποίηση των σκελετικών στοιχείων διαφόρων ζωικών ή φυτικών οργανισμών μετά το θάνατό τους (Εικ. 3) (Χριστοφίδης, 2002).



Εικόνα 3: Ασβεστολιθικό πέτρωμα (Χριστοφίδης, 2002).

- Ο δολομίτης (dolomite) που είναι ανθρακικό πέτρωμα το οποίο έχει περιεκτικότητα 10% σε ασβεσίτη και 90% στο ορυκτό δολομίτη. Σχηματίζεται όταν ένα μέρος του ασβεστίου του CaCO_3 του ασβεστόλιθου αντικατασταθεί από μαγνήσιο (δολομιτίωση) (Χριστοφίδης, 2002). Ανάλογα με την αντικατάσταση του ασβεστίτη από δολομίτη εμφανίζονται οι ακόλουθοι πετρογραφικοί τύποι (Πιν. 2) (Harrison et al., 1998):

Πίνακας 2: Ταξινόμηση των ανθρακικών πετρωμάτων ανάλογα με τη σύσταση σε ασβεσίτη-δολομίτη (Harrison et al., 1998).

Πετρογραφικοί τύποι	Περιεκτικότητα σε ασβεσίτη	Περιεκτικότητα σε δολομίτη
	(wt%)	(wt%)
Ασβεστόλιθοι	10-90	0-10
Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι	50-90	10-50
Ασβεστιτικοί δολομίτες	10-50	50-90
Δολομίτες	0-10	10-90

- Ο τραβερτίνης (travertine) που είναι ανθρακικό πέτρωμα, με ανοιχτό, καστανοκίτρινο χρώμα και με χαρακτηριστική πορώδη υφή (Εικ. 4) (Χριστοφίδης, 2002). Η κύρια αντίδραση που σχηματίζει τραβερτίνη είναι η απώλεια αερίου διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) από διάλυμα διττανθρακικού ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) που οδηγεί σε εναπόθεση ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3). Ο τραβερτίνης είναι το αποτέλεσμα της έλλειψης ισορροπίας μεταξύ της συγκέντρωσης CO_2 του κορεσμένου νερού και της συγκέντρωσης CO_2 του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος (Florsheim et al., 2013). Επομένως, προκειμένου να επιτευχθεί ισορροπία το νερό εξωθεί το διαλυμένο CO_2 με απαέρωση στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας με αυτό τον τρόπο υπερκορεσμό του νερού σε διττανθρακικό ασβέστιο και προκαλώντας καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου (Chafetz et al., 1991). Στην κατακρύμνιση του ανθρακικού ασβεστίου συμμετέχουν και οι φυτικοί οργανισμοί με τη φωτοσυνθετική απομάκρυνση του CO_2 (Fouke et al., 2003), επομένως, το ανθρακικό ασβέστιο αποτίθεται γύρω από τα φυτικά μέρη τα οποία μετά την αποσύνθεσή τους απομακρύνονται και αφήνουν τους πόρους στο πέτρωμα (Χριστοφίδης, 2002).



Εικόνα 4: Πέτρωμα τραβερτίνη (Χριστοφίδης, 2002).

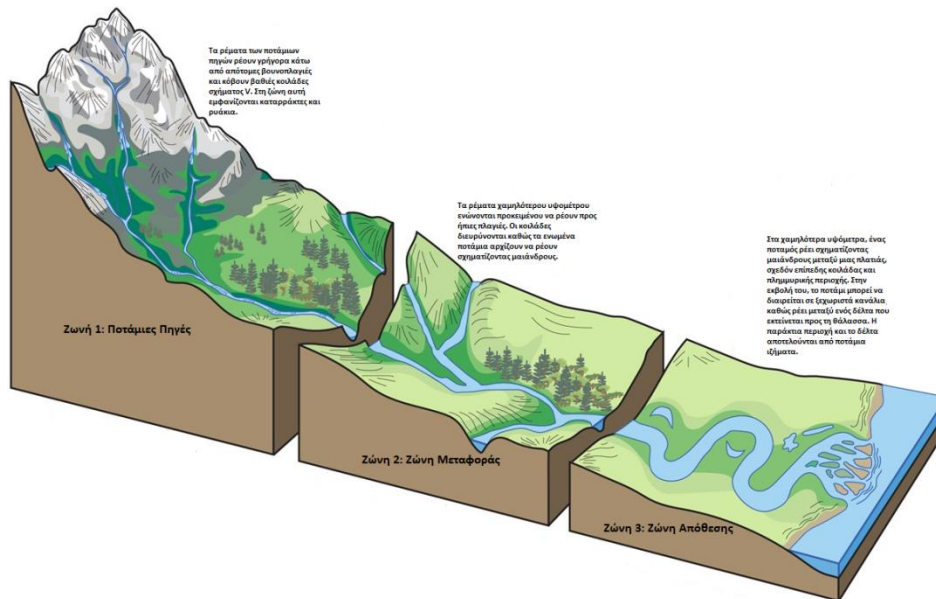
1.1.3. Βιοχημικά και οργανικά ιζηματογενή πετρώματα

Τα βιοχημικά και τα οργανικά ιζηματογενή πετρώματα είναι ιζήματα που προέρχονται από ζωντανούς οργανισμούς. Μετά το θάνατο των οργανισμών αυτών, τα υπολείμματά τους συσσωρεύονται έτσι ώστε να γίνουν ίζημα ή ιζηματογενές πέτρωμα (Nelson, 2018). Ορισμένοι τύποι πετρωμάτων που παράγονται μέσω αυτής της διεργασίας παρουσιάζονται ακολούθως:

- Ο βιοχημικός ασβεστόλιθος ο οποίος προκύπτει από την συσσώρευση σκελετικών υπολειμμάτων που προέρχονται από την κατακρήμιση του ασβεστίτη (CaCO_3) από οργανισμούς. Εδώ είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, κάποιες φορές τα απολιθωμένα υπολείμματα του οργανισμού διατηρούνται στο πέτρωμα ενώ άλλες φορές καταστρέφονται λόγω της ανακρυστάλλωσης κατά τη διάρκεια της λιθοποίησης (Nelson, 2018).
- Ο βιοχημικός πυριτόλιθος που προέρχεται από μικροσκοπικούς πλαγκτονικούς οργανισμούς οι οποίοι εκκρίνουν διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) όπως τα Ακτινόζωα και τα Διάτομα. Ο σχηματισμός αυτού του πετρώματος γίνεται με συσσώρευση των πλαγκτονικών οργανισμών στον βυθό της θάλασσας και ανακρυστάλλωση αυτών κατά τη διάρκεια της λιθοποίησης (Nelson, 2018).
- Ο διατομίτης (diatomite) που είναι ιζηματογενές πέτρωμα οργανικής προέλευσης. Ο σχηματισμός του προέρχεται από τη συσσώρευση τεράστιου αριθμού απολιθωμένων διατόμων που είναι μονοκύτταρα φύκη με κυτταρικό τοίχωμα του οποίου το βασικό συστατικό είναι το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (Χαλκιαδάκης, 2018).
- Το κάρβουνο το οποίο αποτελεί πέτρωμα οργανικής προέλευσης. Προέρχεται από οργανικό άνθρακα ο οποίος είναι τα υπολείμματα απολιθωμένης φυτικής ύλης, συσσωρεύεται σε πλούσιες τροπικές τοποθεσίες υγροτόπων και απαιτεί απόθεση απουσία οξυγόνου καθώς λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε άνθρακα καίγεται εύκολα (Nelson, 2018).

1.2. Εισαγωγή στα ιζήματα των ποτάμιων συστημάτων

Τα ποτάμια συστήματα περιγράφονται ως μια πλευρική και διαμήκης συνέχεια που ταξινομείται μεταξύ διαφόρων θέσεων τοπίου όπως ρέματα, πλημμυρικές περιοχές, υγρότοποι, διάδρομοι ρεμάτων και παράκτιες ζώνες και έχουν κοινές λειτουργίες και χαρακτηριστικά. Το βασικό χαρακτηριστικό ενός ποτάμιου συστήματος είναι η μετακίνηση του επιφανειακού ή/και υπόγειου νερού από ένα υψηλότερο σημείο σε ένα σημείο χαμηλότερου υψομέτρου (κατάντη) υπό την επίδραση της βαρύτητας καθώς και η μεταφορά ανόργανου ιζήματος, οργανικής ουσίας, διαλυμένων χημικών και άλλων υλικών (εισροές) μαζί με το νερό μέσω ποτάμιων διεργασιών (Εικ. 5) (USDA, 2012).



Εικόνα 5: Απεικόνιση των ποτάμιων διεργασιών (National Park Service, 2019).

Η κατάντη μετακίνηση των εισροών μπορεί να θεωρηθεί ως διαμήκης προς την κατεύθυνση ενώ παράλληλα, αυτές οι εισροές μπορεί να μετακινούνται και πλευρικά κατά μήκος του ορίου του ποτάμιου συστήματος καθώς κυλούν μεταξύ περιοχών ροής υψηλής και χαμηλής ενέργειας στον τρισδιάστατο χώρο (Εικ. 6). Στα ποτάμια συστήματα, οι υγρότοποι, τα ρέματα και οι πλημμυρικές περιοχές είναι υδρολογικά συνδεδεμένες σε κάποιο βαθμό. Τα σταθερά συστήματα συνήθως παρέχουν τα μεγαλύτερα οικολογικά οφέλη, εκθέτοντας έναν υψηλό βαθμό σύνδεσης και είναι σε κατάσταση μιας δυναμικής ισορροπίας (USDA, 2012).



Εικόνα 6: Πλευρική και διαμήκης συνδεσιμότητα σε μια τυπική πλημμυρική περιοχή ρέματος (USDA, 2012).

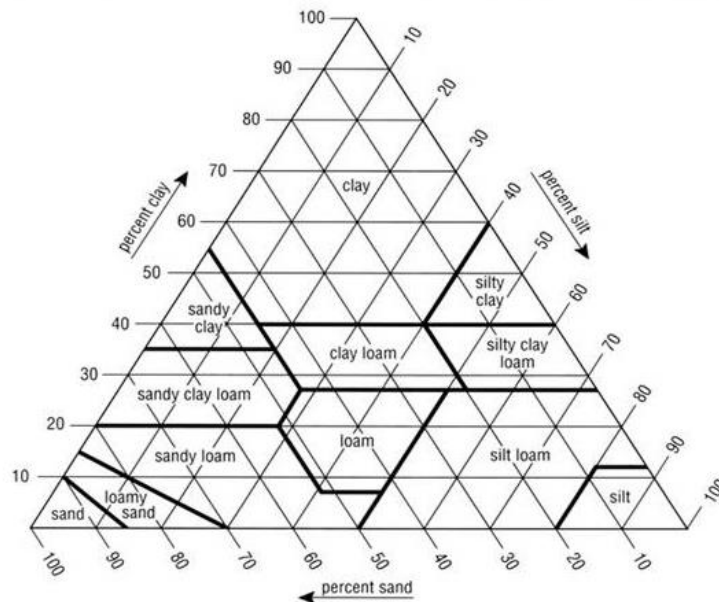
Σύμφωνα με την ανωτέρω συνοπτική περιγραφή των ποτάμιων συστημάτων έγινε αντιληπτό ότι, οι ποτάμιες διεργασίες συνδέονται με τα ποτάμια και τα ρέματα (Εικ. 5). Με τον όρο �έμα χαρακτηρίζεται κάθε φυσική διαμόρφωση του εδάφους που λειτουργεί ως αποδέκτης των όμβριων υδάτων και εξυπηρετεί την απορροή τους σε άλλους αποδέκτες μεγαλύτερης χωρητικότητας όπως λίμνες, ποτάμια, θάλασσες κλπ. που βρίσκονται σε χαμηλότερες στάθμες (Μπελαβίλας και Βαταβάλη, 2009). Τα ρέματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες οι οποίες αναγράφονται ακολούθως (Μπελαβίλας και Βαταβάλη, 2009):

- i. Τα εφήμερα ρέματα ή ρυάκια τα οποία έχουν νερό μόνο όταν βρέχει.
- ii. Οι χείμαρροι των οποίων η ροή είναι εποχική και οι οποίοι έχουν ορμητική ροή νερών.
- iii. Οι ποταμοί των οποίων η ροή είναι συνεχής αλλά η ποσότητά τους παρουσιάζει εποχιακές διακυμάνσεις.

Η λειτουργική ιδιότητα των ρεμάτων είναι να συγκρατούν το νερό γεγονός που συμβάλλει στην αποτροπή των πλημμυρών. Αυτό εξασφαλίζεται σε σημαντικό βαθμό και από την χλωρίδα και την πανίδα που αναπτύσσονται στις διαμορφώσεις του ρέματος. Πέρα όμως από την αντιπλημμυρική ιδιότητά τους, τα ρέματα αποτελούν ένα συνεχόμενο άξονα πρασίνου καθώς διαθέτουν πλούσιους βιότοπους διότι συγκεντρώνουν μια ποικιλία φυτικών και ζωικών ειδών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ανανεώνεται η ποιότητα του αέρα ιδιαίτερα στο αστικό περιβάλλον όπου το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι πιο έντονο προσφέροντας ηπιότερες περιβαλλοντικές συνθήκες (Δημητρέλου, 2013).

Στην παρούσα ερευνητική μελέτη θα γίνει αναφορά στα εφήμερα ρέματα των οποίων η απορροή καταλήγει σε ένα θαλάσσιο σύστημα και πιο συγκεκριμένα στα ιζήματα που αποτίθενται σε αυτά είτε από φυσικούς είτε από ανθρωπογενείς παράγοντες. Αρχικά, είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι, τα ιζήματα των ρεμάτων είναι ανόργανα ή οργανικά υλικά τα οποία μεταφέρονται από ένα ρευστό (συνήθως νερό ή αέρα) και στη συνέχεια αιωρούνται ή αποτίθενται στα ρέματα. Το φορτίο του ιζήματος που μεταφέρεται στα ρέματα μπορεί να αποτελείται είτε από πολύ λεπτά υλικά που αιωρούνται είτε από υλικά που αποτίθενται με την επίδραση της βαρύτητας. Τα υλικά που αιωρούνται είναι συνήθως πολύ λεπτό ιζημα με διάμετρο σωματιδίων μικρότερη από 50 μm δηλαδή άργιλος και ιλύς ενώ αυτά που καταβυθίζονται είναι χονδρόκοκκο ιζημα με διάμετρο σωματιδίων μεγαλύτερη από 50 μm τα οποία ταξινομούνται σε άμμο και χαλίκια (Salomons and Förstner, 1984; Atkins, 2018). Τα υλικά της άμμου, της ιλύος και της αργίλου καλούνται ενεργά ιζήματα ρεμάτων και αποτελούνται από κλάσματα τα οποία προέρχονται από την διάβρωση των αποσαθρωμένων πετρωμάτων και του εδάφους από το νερό του ρέματος, εξαρτώνται από το μέγεθος των σωματιδίων τους και την ταχύτητα του νερού του ρέματος και μεταφέρονται με αιώρηση, αναπήδηση ή με ερπυσμό κατά μήκος της κλίνης του ρέματος (Ranasinghe et al., 2008). Ανάλογα με τα ποσοστά ιλύος, αργίλου και άμμου, τα ιζήματα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με το τρίγωνο μηχανικής σύστασης του εδάφους (Εικ. 7) (College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2019):

- Αμμώδη ιζήματα τα οποία κατατάσσονται σε δύο υποκατηγορίες:
 - i. Αμμώδη (Sandy, S)
 - ii. Αμμοπηλώδη (Sandy Loam, SL)
- Πηλώδη ιζήματα που κατατάσσονται σε έξι υποκατηγορίες:
 - i. Πηλοαμμώδη (Loamy Sand, LS)
 - ii. Αμμοαργιλοπηλώδη (Sandy Clay Loam, SCL)
 - iii. Πηλώδη (Loam, L)
 - iv. Ιλυσπηλώδη (Silty Loam, SiL)
 - v. Ιλσοαργιλοπηλώδη (Silty Clay Loam, SiCL)
 - vi. Ιλυώδη (Silt, Si)
- Αργιλώδη ιζήματα τα οποία κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες:
 - i. Αργιλοπηλώδη (Clay Loam, CL)
 - ii. Ιλσοαργιλώδη (Silty Clay, SiC)
 - iii. Αργιλοαμμώδη (Sandy Clay, SC)
 - iv. Αργιλώδη (Clay, C)



Εικόνα 7: Τρίγωνο μηχανικής σύστασης εδάφους (College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2019).

1.2.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τα ιζήματα ρεμάτων

Τα ιζήματα που αποτίθενται στα ρέματα μπορεί να δημιουργούνται είτε από ανθρωπογενείς είτε από φυσικούς παράγοντες. Ως φυσικές αιτίες εξαιτίας των οποίων δημιουργούνται τα ιζήματα που αποτίθενται στα ρέματα χαρακτηρίζονται οι κλιματικές συνθήκες και οι φυσικές καταστροφές ενώ ως ανθρωπογενείς αιτίες νοούνται η αστικοποίηση, η γεωργία, η υλοτομία καθώς και οι δραστηριότητες εξόρυξης και η βιομηχανία. Προκειμένου να κατανοηθούν οι λόγοι για τους οποίους η δημιουργία των ιζημάτων στα ρέματα οφείλεται στους προαναφερθέντες παράγοντες γίνεται μια σύντομη ανάλυση ορισμένων από αυτούς τους παράγοντες στις παρακάτω ενότητες.

1.2.1.1. Κλιματική αλλαγή

Ο λόγος για τον οποίο η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την απόθεση των ιζημάτων στα ρέματα είναι το φαινόμενο της διάβρωσης. Πιο συγκεκριμένα, η συχνή και έντονη βροχόπτωση μπορεί να αυξήσει την διάβρωση με αποτέλεσμα την αύξηση του φορτίου του ιζήματος που μεταφέρεται στα ρέματα με την απορροή του νερού της βροχής (Environmental Protection Agency, 2016). Διάφοροι ερευνητές έχουν αποδείξει ότι η θερμοκρασία του αέρα είναι ανάλογη με την επιφανειακή απορροή υγρού. Πιο συγκεκριμένα, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα κατά 1 °C παγκοσμίως, η παγκόσμια απορροή υγρού αυξάνεται κατά 4% (Labat et al., 2004) με τη Βόρεια Αμερική να είναι πιο ευαίσθητη στις κλιματικές μεταβολές (Prudhomme et al., 2003). Για παράδειγμα, μια έρευνα σε τέσσερις υδροκρίτες της λίμνης Ήρι στη Βόρεια Αμερική έδειξε ότι η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει την επιφανειακή απορροή στην επιφάνεια της γης η οποία με τη σειρά της μπορεί να αυξήσει το φορτίο του ιζήματος στα υδάτινα σώματα (Bosch, 2014; Charlot, 2007; Daloglu et al., 2012).

1.2.1.2. Φυσικές καταστροφές

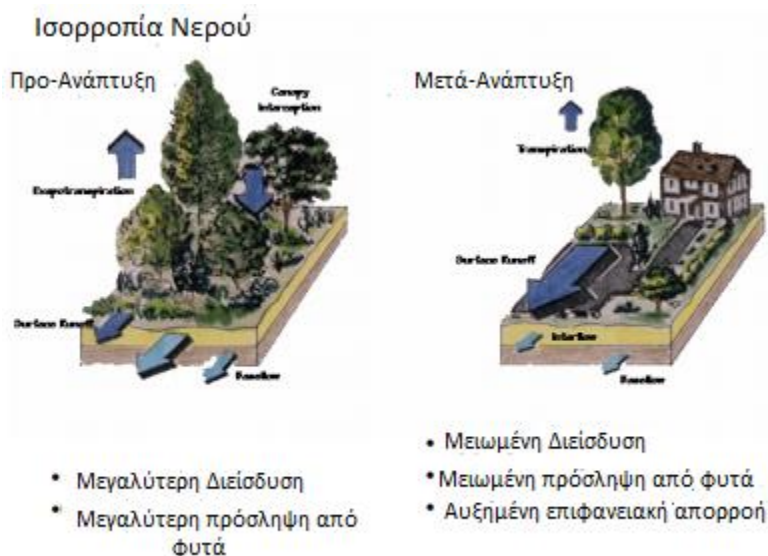
Οι φυσικές καταστροφές οι οποίες είναι η ξηρασία, οι πλημμύρες, οι πυρκαγιές, η ηφαιστειακή δραστηριότητα και οι σεισμικές δονήσεις έχουν παρόμοια αποτελέσματα με την εξόρυξη και την αποψίλωση των δασών κατά τις οποίες η βλάστηση είτε διαταράσσεται είτε απομακρύνεται οδηγώντας σε διάβρωση του εδάφους και κατά συνέπεια σε αυξημένη απόθεση του ιζήματος στα ποτάμια και στα ρέματα (Moody and Martin, 1996). Σε ορισμένες περιοχές, πάνω από 60% της συνολικής παραγωγής ιζήματος οφείλεται σε πυρκαγιές (Barkley, 2013). Ένα πρόσφατο παράδειγμα πυρκαγιάς που είχε ως αποτέλεσμα την απόθεση ιζήματος στα ρέματα λόγω διάβρωσης του εδάφους είναι η πυρκαγιά στο Νέο Μεξικό το 2011 (Εικ. 8) (USGS, 2017).



Εικόνα 8: Κορεσμός ενός ρέματος σε ιζημα και τέφρα στο LasConchas στο Νέο Μεξικό μετά από την πυρκαγιά (USGS, 2017).

1.2.1.3. Αστικοποίηση

Η αύξηση του πληθυσμού στις αστικές περιοχές έχει ως συνέπεια την αύξηση των ποσοτήτων των λεπτών ιζημάτων που μεταφέρονται στα ρέματα (Wolman, 1964). Τα ιζήματα αυτά προέρχονται κυρίως από τις κατασκευαστικές δραστηριότητες (χώροι στάθμευσης, δρόμοι κλπ.) των κατοικημένων περιοχών οι οποίες επεκτείνουν τη συνολική αδιαπέραστη περιοχή του υδροκρίτη μειώνοντας την διείσδυση και την επιφανειακή αποθήκευση των κατακρημνίσεων και αυξάνοντας την απορροή των επιφανειακών υδάτων (Εικ. 9) (Arnold and Gibbons, 1996; Waters, 1995).



Εικόνα 9: Ισορροπία του νερού πριν και μετά την αστικοποίηση (Donaldson, 2005).

Η ιζηματογένεση των ρεμάτων που προκαλείται λόγω των υψηλών ρυθμών διάβρωσης των εδαφών από τις κατασκευαστικές δραστηριότητες καθώς και το όργωμα των εδαφών κατά την εκτέλεση γεωργικών δραστηριοτήτων υποβαθμίζει το βιότοπο του ρέματος. Οι αγροτικές χρήσεις γης μπορούν να οδηγήσουν σε συνεισφορές παρασιτοκτόνων, λιπασμάτων και ζωικών αποβλήτων μεταβάλλοντας την ποιότητα της τροφής ή του νερού για τους βιοτικούς οργανισμούς του ρέματος. Επίσης, η απώλεια δασών οδηγεί σε μειωμένη απορρόφηση των μη σημειακών πηγών ρύπων στο τοπίο. Τελικά, η υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος και της ποιότητας νερού μπορεί να οδηγήσει σε μια μείωση στον αριθμό των ενδημικών ειδών ψαριών ή μακροασπονδύλων που ζουν στα ρέματα (Roy et al., 2003).

1.2.1.4. Γεωργία και υλοτομία

Ο λόγος για τον οποίο η γεωργία και η υλοτομία επηρεάζουν την δημιουργία ιζήματος είναι η διάβρωση του εδάφους δηλαδή η απόσπαση του επιφανειακού εδάφους και θραυσμάτων από πετρώματα και εν συνεχεία η μεταφορά μέσω ενός ρευστού (νερό ή αέρα) και απόθεσή τους στα ρέματα ως κλαστικά ιζήματα. Πιο συγκεκριμένα, στη γεωργία η διάβρωση του εδάφους οφείλεται στις γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονται για διάφορες μορφές καλλιέργειας με στόχο την αύξηση της παραγωγής (Πετσίνης, 2016). Αντίστοιχα, όσον αφορά την υλοτομία, η απομάκρυνση της βλάστησης επιτρέπει μια αύξηση στον όγκο της βροχόπτωσης και στην ισχύ των σταγόνων της βροχής που φτάνουν στο έδαφος με αποτέλεσμα μια μεγαλύτερη κινητοποίηση των σωματιδίων του εδάφους (Cornish, 1980).

1.3. Επίδραση των ιζημάτων στην ποιότητα των ποτάμιων συστημάτων

Τα ποτάμια συστήματα αποτελούν μια πολύ σημαντική πηγή καθαρού νερού η οποία συμβάλλει στην κάλυψη των αναγκών του ανθρώπου. Πιο συγκεκριμένα, ο άνθρωπος χρειάζεται το νερό των ποταμών προκειμένου να καλύψει τις κοινωνικές και οικονομικές ανάγκες του. Οι κυριότερες χρήσεις των ποτάμιων υδάτων από τον άνθρωπο είναι οι ακόλουθες (Charman, 1996):

- Χρήση για αρδευτικούς σκοπούς
- Πηγή πόσιμου νερού
- Βιομηχανική και οικιακή χρήση
- Βιομηχανική και οικιακή διάθεση αποβλήτων
- Πλοήγηση
- Δραστηριότητες αναψυχής όπως το ψάρεμα ή η κολύμβηση
- Αισθητική αξία

Ωστόσο, η ποιότητα των ποτάμιων υδάτων έχει μεταβληθεί τα τελευταία χρόνια είτε λόγω φυσικών είτε λόγω ανθρωπογενών παραγόντων, με αποτέλεσμα πολλές φορές το νερό να καθίσταται ακατάλληλο για πόση, επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών ή ακόμη και για αρδευτικούς σκοπούς. Οι παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν σε υποβάθμιση της

ποιότητας των ποτάμιων υδάτων,αφορούν στα ιζήματα που μεταφέρονται με την απορροή των ρεμάτων και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως.

1.3.1. Φυσικοί παράγοντες

Οι περιοχές οι οποίες δεν έχουν επηρεαστεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες μπορεί να έχουν μεταβολή στην ποιότητα των φυσικών νερών τους εξαιτίας περιβαλλοντικών παραγόντων. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι η χημική αποσάθρωση ευδιάλυτων ή εύκολων προς αποσάθρωση πετρωμάτων, το υδρολογικό καθεστώς των ρεμάτων και τα αιωρούμενα σωματίδια (Meybeck et al., 1989). Οι παράγοντες αυτοί περιγράφονται συνοπτικά στις ακόλουθες υποενότητες.

1.3.1.1. Χημική αποσάθρωση ευδιάλυτων ή εύκολων προς αποσάθρωση πετρωμάτων

Τα πετρώματα που μπορεί να βρεθούν εντός ενός ποτάμιου συστήματος είναι οι σχιστόλιθοι, οι γρανίτες-γνεύσιοι, τα ανθρακικά πετρώματα και οι βασάλτες καθώς βρίσκονται σε μεγαλύτερη αφθονία (σε ποσοστά 33.1%, 20.8%, 15.9% και 4.1% αντίστοιχα) σε επιφανειακά πετρώματα παγκοσμίως. Επίσης, υπάρχουν πετρώματα όπως οι εβαπορίτες και οι γύψοι που παρότι συναντώνται σπανιότερα ως επιφανειακά πετρώματα, με ένα ποσοστό περίπου 1.3%, ασκούν σημαντική επίδραση στη χημική σύσταση των υδάτων λόγω της υψηλής διαλυτότητάς τους (Charman, 1996). Ακολούθως, παρουσιάζεται στον Πίνακα 3 η σχέση της χημικής σύστασης του νερού με τον τύπο των πετρωμάτων (Aswathanarayana, 1995).

Πίνακας 3: Χημική σύσταση του νερού σε σχέση με τον τύπο των πετρωμάτων (Aswathanarayana, 1995).

Τύπος πετρώματος	Επικρατούντα ιόντα	Ολική συγκέντρωση σε ιόντα	Εύρος pH	Περιεκτικότητα σε SiO ₂
Γρανίτης, Ρυόλιθος	Na ⁺ , HCO ₃ ⁻	Χαμηλή	6.3-7.9	Μέτρια προς υψηλή
Γάββρος, Βασάλτης	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻	Μέτρια	6.7-8.5	Υψηλή
Ψαμμίτης, Αρκόζη	Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻	Υψηλή	5.6-9.2	Χαμηλή προς μέτρια
Ιλυόλιθος	Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻	Υψηλή	4-8.4	Χαμηλή προς μέτρια
Ασβεστόλιθος, δολομίτης	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻	Υψηλή	7-8.2	Χαμηλή
Σχιστόλιθος, Γνεύσιος	Na ⁺ , HCO ₃ ⁻ , Ca ²⁺	Χαμηλή προς μέτρια	5.2-8.1	Χαμηλή

1.3.1.2. Υδρολογικό καθεστώς των ρεμάτων

Γενικά, οι εισροές που καταλήγουν σε έναν ποταμό προέρχονται από διαφορετικές οδούς (Singh, 1995). Επομένως, κατά τη διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων, η ποιότητα του νερού εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις λόγω της διαφορετικής προέλευσής του η οποία μπορεί να είναι είτε επιφανειακή απορροή, είτε διακίνηση ύδατος μέσω του εδαφικού στρώματος ή ανάβλυση του υπόγειου ύδατος. Τα νερά της επιφανειακής απορροής έχουν υψηλό βαθμό θολερότητας και μεταφέρουν μεγάλα ποσοστά ολικών αιωρούμενων στερεών συμπεριλαμβανομένων και σωματιδίων οργανικής σύστασης (Μιμίδης, 2006).

1.3.1.3. Αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια τα οποία μεταφέρονται στα ποτάμια συστήματα μέσω της απορροής (υγρού ή αέρα) παίζουν καθοριστικό ρόλο στην χημική σύσταση των ποτάμιων υδάτων καθώς είναι φορείς διαλυμένων συστατικών και ρυπαντικών ουσιών. Οι ρύποι που μπορεί να μεταφέρονται από τα αιωρούμενα σωματίδια προς τα ποτάμια συστήματα είναι οι ακόλουθοι (Thomas, 1988):

- Η οργανική ύλη που είναι η διαλυτή οργανική ουσία η οποία βρίσκεται προσροφημένη στα ορυκτά σωματίδια καθώς και σωματίδια οργανικής φύσης εξωτερικής ή αυτόχθονης προέλευσης όπως είναι τα κλαδιά των δέντρων.
- Τα θρεπτικά συστατικά που βρίσκονται προσροφημένα στην επιφάνεια των ορυκτών σωματιδίων, είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών όπως είναι ο φώσφορος (P) και το άζωτο (N) και εναλλάσσονται μεταξύ της στερεής και της υγρής φάσης.
- Οι τοξικοί οργανικοί μικρορυπαντές όπως είναι τα βιομηχανικά χημικά ή τα υπολειμματικά φυτοφάρμακα που συνδέονται με τη σωματιδιακή ύλη μέσω διαδικασιών οι οποίες σχετίζονται με υδρόφιλες-υδρόφοβες καταστάσεις.
- Οι τοξικοί ανόργανοι ρύποι όπως είναι τα ιχνοστοιχεία τα οποία είναι προσροφημένα στα σωματίδια και ανάλογα με τις συνθήκες του pH μπορούν να ανακυκλώνονται μεταξύ στερεής και υγρής φάσης.

1.3.2. Ανθρωπογενείς παράγοντες

Πέρα από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που αναφέρθηκαν οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των ποτάμιων συστημάτων, τα ποτάμια ύδατα μπορεί να επηρεαστούν και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Μερικοί από τους ανθρωπογενείς παράγοντες όπως είναι οι αλλαγές στα φυσικά χαρακτηριστικά των υδάτων και οι ανόργανοι τοξικοί ρυπαντές που επηρεάζουν την ποιότητα των υδάτων παρουσιάζονται συνοπτικά στις παρακάτω υποενότητες.

1.3.2.1. Αλλαγές στα φυσικά χαρακτηριστικά των υδάτων

Η θερμοκρασία, η θολερότητα και τα ολικά διαλυμένα στερεά των ποταμών επηρεάζονται άμεσα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η γεωργία και η αποψίλωση των δασών οι οποίες όπως αναφέρθηκε προκαλούν διάβρωση του εδάφους οδηγώντας σε αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων στα ποτάμια συστήματα (Meybeck et al., 1989).

1.3.2.2. Ανόργανοι τοξικοί ρυπαντές

Οι ανόργανοι τοξικοί ρυπαντές όπως είναι τα ιχνοστοιχεία προέρχονται από τα βιομηχανικά απόβλητα, τα απόβλητα μεταλλείων και ορυχείων, την επιφανειακή απορροή από αστικές περιοχές, τη στράγγιση των αγροτικών εκτάσεων και τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις. Στα επιφανειακά νερά και υπό κανονικές συνθήκες pH, το μεγαλύτερο ποσοστό των ιχνοστοιχείων βρίσκεται προσροφημένο στα αιωρούμενα σωματίδια. Η διαδικασία προσρόφησης εξαρτάται από την ενεργό επιφάνεια των σωματιδίων που σημαίνει ότι, τα λεπτόκοκκα σωματίδια λόγω της μεγαλύτερης ενεργού επιφάνειας που παρουσιάζουν εμφανίζουν υψηλότερο ποσοστό ιχνοστοιχείων. Οι μορφές με τις οποίες συναντώνται τα ιχνοστοιχεία στη σωματιδιακή φάση οι οποίες θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα παρακάτω είναι οι ακόλουθες (Gray, 2005):

- Προσροφημένα είτε ηλεκτροστατικά είτε εκλεκτικά στα ορυκτά σωματίδια.
- Συνδεδεμένα στην οργανική ουσία.
- Συνδεδεμένα με ανθρακικούς υποκαταστάτες.
- Συνδεδεμένα με θειϊκούς υποκαταστάτες.
- Προσδεμένα σε οξειδία μαγγανίου (Mn^{2+}) και σιδήρου (Fe^{2+}) τα οποία είναι συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων.
- Ενσωματωμένα στο κρυσταλλικό πλέγμα διαφόρων ορυκτών.
- Ενσωματωμένα σε πυριτικά και άλλα σταθερά ορυκτά.

Επίσης, τα μεταλλικά ιόντα μπορούν να συνδέονται με οργανικούς υποκαταστάτες (χουμικά και φουλβικά οξέα) σχηματίζοντας υδατοδιαλυτά οργανομεταλλικά σύμπλοκα τα οποία οδηγούν σε αύξηση των τοξικών μετάλλων στο νερό (Ross, 1994).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΡΕΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται λόγος για τη ρύπανση των ιζημάτων των ρεμάτων από ιχνοστοιχεία. Συγκεκριμένα, αναφέρονται οι τρόποι με τους οποίους συνδέονται χημικά τα ιχνοστοιχεία στα σωματίδια των ιζημάτων καθώς και τα όρια ποιότητας των ιζημάτων που θέτονται με βάση τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων για ορισμένα ιχνοστοιχεία.

2.1. Εισαγωγή

Η αύξηση του πληθυσμού στις πόλεις είτε άμεσα είτε έμμεσα έχει οδηγήσει σε μεταβολές στη μορφή και στη λειτουργία πολλών υδάτινων σωμάτων (ρεμάτων και ποταμών) εξαιτίας των αλλαγών στις χρήσεις γης. Οι επιδράσεις της αστικοποίησης στα υδάτινα σώματα συχνά είναι αποτέλεσμα της ποιότητας και της ποσότητας των απορρίψεων των όμβριων υδάτων στις πόλεις ενώ υπάρχουν και ανθρωπογενείς επιδράσεις όπως οι βιομηχανικές απορρίψεις ή οι εκροές των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων που επίσης επηρεάζουν αρνητικά τα υδάτινα σώματα. Επίσης, η κάλυψη του εδάφους από αδιαπέραστες επιφάνειες παρεμποδίζει τη λειτουργία του εδάφους και του φυσικού υδρολογικού κύκλου μειώνοντας την διείσδυση των όμβριων υδάτων. Αυτές οι αλλαγές στις υδρολογικές συνθήκες είναι πιθανό να έχουν ως συνέπεια την πρόκληση πλημμύρων και τις μορφολογικές τροποποιήσεις των καναλιών των ρεμάτων. Επιπλέον, η ποιότητα του νερού των όμβριων υδάτων μπορεί να είναι υποβαθμισμένη λόγω της ύπαρξης υψηλών συγκεντρώσεων σε θρεπτικά συστατικά, παθογόνους μικροοργανισμούς, οργανικούς ρύπους και τοξικούς ανόργανους ρύπους όπως τα ιχνοστοιχεία έχοντας ως συνέπεια φυσικές και χημικές αλλαγές στα κανάλια των ρεμάτων (Kuusisto-Hjort, 2009).

Στις αστικές περιοχές, τα ιχνοστοιχεία προέρχονται από διαφορετικές φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές όπως είναι η υγρή και ξηρή απόθεση, η κυκλοφορία, οι βιομηχανικές περιοχές, διάφορα χημικά και προϊόντα διάβρωσης των υλικών κτιρίων και οδοστρωσίας (Πιν. 4). Κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων, τα μέταλλα αυτά παραμένουν στις αδιαπέραστες επιφάνειες των αστικών περιοχών ενώ κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης, απομακρύνονται με το νερό των όμβριων υδάτων και εισέρχονται στα υδάτινα σώματα. Στις φυσικές περιοχές, η υψηλότερη αναλογία των ιχνοστοιχείων διατηρείται στο έδαφος και στη βλάστηση μετά την καθοδική διήθηση του νερού και την πρόσληψη από τα φυτά (Kuusisto-Hjort, 2009).

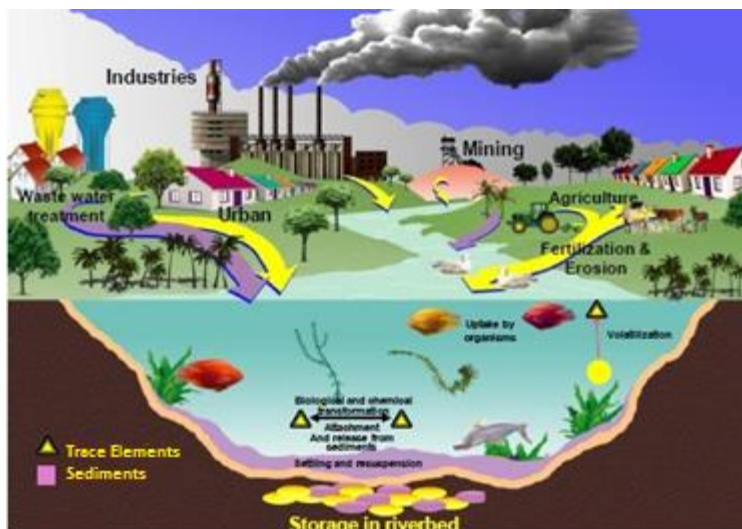
Πίνακας 4: Κύριες και δευτερεύουσες πηγές ιχνοστοιχείων σε αστικοποιημένες περιοχές (Kuusisto-Hjort, 2009).

	Χαλκός (Cu)	Ψευδάργυρος (Zn)	Μόλυβδος (Pb)	Κάδμιο (Cd)
Κτίρια	Στέγες χαλκού, υδρορροές και τοίχοι κτιρίων	Γαλβανισμένος χάλυβας (στέγες, υδρορροές), τοίχοι κτιρίων	Τοίχοι από τούβλα, παλιές βαφές που περιέχουν Pb	Γαλβανισμένα υλικά (στέγες, υδρορροές) και τοίχοι από τούβλα
Κυκλοφορία	Φθορά των φρένων	Φθορά των ελαστικών, φθορά των φρένων, άσφαλτος και λάδια μηχανών	Φθορά των φρένων, φθορά των ελαστικών και άσφαλτος	Βενζίνη, φθορά ελαστικών και άσφαλτος
Άλλε πηγές	Ατμοσφαιρική απόθεση	Ατμοσφαιρική απόθεση	Ατμοσφαιρική απόθεση	Ατμοσφαιρική απόθεση

Μερικά ιχνοστοιχεία όπως ο Cu και ο Zn είναι απαραίτητα για το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών σε μικρές συγκεντρώσεις αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζουν τοξικές επιδράσεις σε αυτούς. Έμμεσα, οι υψηλές συγκεντρώσεις των ρύπων μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στη δομή των κοινοτήτων και στη βιοποικιλότητα. Η τοξικότητα των μετάλλων εξαρτάται από τη βιοδιαθεσιμότητα και όχι από τη συνολική συγκέντρωσή τους δηλαδή από το ποσό που είναι διαθέσιμο για τη βιολογική δράση όπως η πρόσληψη από τον οργανισμό. Επίσης, ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), το νικέλιο (Ni) και ο υδράργυρος (Hg) έχουν χαρακτηριστεί ως ουσίες προτεραιότητας από την Ευρωπαϊκή Ένωση λόγω του υψηλού κινδύνου που προκαλούν στο υδάτινο περιβάλλον ενώ ο χαλκός, ο ψευδάργυρος και το χρώμιο (Cr) θεωρούνται ως απαραίτητα για τους στόχους προστασίας των υδάτων στη Φιλανδία καθώς έχουν σημαντικές αρνητικές επιδράσεις στα επιφανειακά υδάτινα οικοσυστήματα αλλά δεν ταξινομούνται στις ουσίες εθνικής προτεραιότητας (Kuusisto-Hjort, 2009).

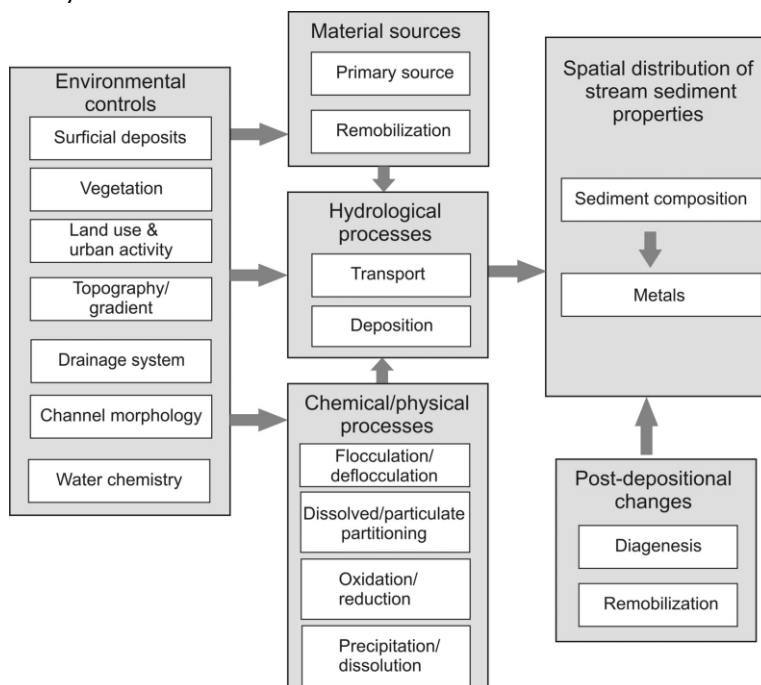
2.2. Ρύπανση ιζημάτων από ιχνοστοιχεία

Τα ιζήματα που μεταφέρονται στα ρέματα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (βιομηχανία, γεωργία, εξόρυξη κλπ.) οι οποίες επηρεάζουν την ποτάμια δυναμική και την περιβαλλοντική ποιότητα των ποτάμιων συστημάτων, αποτελούν φορείς ιχνοστοιχείων. Επομένως, μπορούν να γίνουν πηγή ρύπανσης εάν αλλάξουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες εντός της ιζηματογενούς στήλης ή της ποτάμιας πορείας και εάν τα στερεά απομακρύνονται και επαναιωρούνται (Εικ. 10) (Dinelli et al., 2005; Mantei and Foster, 1991).



Εικόνα 10: Συσσωρευση των ιχνοστοιχείων που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα στα ποτάμια ιζήματα (Parmar, 2015).

Τα περισσότερα τοξικά ιχνοστοιχεία έχουν την τάση να είναι συνδεδεμένα με το σωματιδιακό υλικό που μεταφέρεται στα ρέματα και η μεταφορά και η απόθεσή τους είναι έντονα ελεγχόμενη από τη συμπεριφορά του αιωρούμενου ιζήματος. Τα μέταλλα μπορεί να είναι ήδη συνδεδεμένα με το στερεό υλικό καθώς μπαίνουν στο ρέμα ή ο διαχωρισμός των μετάλλων μεταξύ διαλυμένων και σωματιδιακών φάσεων μπορεί να μεταβάλλεται μετά από φυσικές ή χημικές διεργασίες (Εικ. 11). Επομένως, τα διαλυμένα μέταλλα μπορούν να απορροφηθούν σταδιακά από τα αιωρούμενα ιζήματα εντός του συστήματος του ρέματος (Kuusisto-Hjort, 2009).



Εικόνα 11: Βασικοί παράγοντες και διεργασίες που ελέγχουν τη σύνθεση και τις συγκεντρώσεις των μετάλλων των ιζημάτων των ρεμάτων (Kuusisto-Hjort, 2009).

Εφόσον τα μέταλλα έχουν την τάση να συσσωρεύονται στη σωματιδιακή φάση, το μεγαλύτερο μέρος τους που μεταφέρεται από τα ρέματα αποτίθεται στις κλίνες των ρεμάτων, των πλημμυρικών περιοχών ή των ταμειυτήρων ως ιζήματα. Οι πλημμυρικές περιοχές και οι ταμειυτήρες δρουν κυρίως ως μακροπρόθεσμες αποθήκες μετάλλων και ιζημάτων ενώ τα ιζήματα συνήθως αποθηκεύονται προσωρινά στις κλίνες των καναλιών καθώς μπορεί να κινητοποιηθούν ξανά κατά τη διάρκεια υψηλών συμβάντων αποφόρτισης. Με βάση όσα αναφέρθηκαν, τα ιζήματα μπορούν να δείξουν τη χωρική κατανομή της ρύπανσης και επομένως, έχουν ενεργό συμμετοχή στην αξιολόγηση της ρύπανσης από μέταλλα των ποτάμιων συστημάτων σε αστικές περιοχές (Kuusisto-Hjort, 2009).

Ωστόσο, η αξιολόγηση του ιζήματος ως προς τη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων δεν είναι εύκολη καθώς η συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα καταβυθισμένα ιζήματα της κλίνης εξαρτώνται από τη σύνθεση του ιζήματος και όχι από την τοποθεσία των πηγών του ρύπου. Πιο συγκεκριμένα, η σύνθεση του αιωρούμενου ιζήματος επηρεάζεται από τις ιδιότητες των πηγών του πρωτογενούς ιζήματος καθώς και από το ποσοστό του ιζήματος που κινητοποιείται ξανά. Για παράδειγμα, στις αστικές περιοχές, το ίζημα μπορεί να προέρχεται από διαφορετικά μέρη της λεκάνης απορροής και από πολυάριθμες φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές. Επίσης, το αιωρούμενο υλικό επηρεάζεται από χημικές διεργασίες π.χ. διάλυση οι οποίες συχνά καθοδηγούνται από το pH που επικρατεί ή τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες. Επιπλέον, πολύπλοκες διεργασίες όπως η κροκίδωση μπορεί να ενισχύσουν ή να παρεμποδίσουν την απόθεση των λεπτόκοκκων σωματιδίων μεταβάλλοντας τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του αιωρούμενου ιζήματος (Kuusisto-Hjort, 2009).

2.3. Χημική συσχέτιση ιζημάτων και ιχνοστοιχείων

Η ορυκτολογία, το μέγεθος των σωματιδίων και η γεωχημεία των ιζημάτων των ρεμάτων στα ποτάμια εξαρτάται από την σύνθεση του προϋπάρχοντος πετρώματος, την μηχανική και χημική αποσάθρωση, τα υδρολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, την κατανομή του μεγέθους των κόκκων και το κλίμα (Grunsky et al., 2009; Pratt and Lottermoser, 2007; Ranasinghe et al., 2009; Singh, 2010).

Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων εμφανίζονται διαφορετικές ορυκτολογικές, μορφολογικές, φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες στα ιζήματα. Τα ιζήματα αργίλου και ιλύος αποτελούνται κυρίως από αργιλικά ορυκτά, οργανική ύλη και σωματίδια από χαλαζία, ανθρακικά άλατα και αστρίους ενώ τα ιζήματα άμμου και χαλικιών αποτελούνται κυρίως από μίγμα χαλαζία με αστρίους. Το κλάσμα με διάμετρο σωματιδίων μικρότερη από 2 μm το οποίο λέγεται αργιλικό είναι εμπλουτισμένο σε Fe είτε ως ορυκτό του Fe είτε ως Fe δεσμευμένος με τα αργιλικά και την οργανική ύλη. Τα λεπτόκοκκα σωματίδια περιέχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα μέταλλα φτάνουν στο ίζημα σε χονδρόκοκκη σωματιδιακή μορφή (π.χ. σε περιοχές έγχυσης αποβλήτων από ορυχεία και χυτήρια). Για αυτό το λόγο είναι σημαντικός ο προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων στα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα (Salomons and Förstner, 1984; Σαμανίδου, 1990). Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι το μέγεθος του κόκκου του ιζήματος επιδρά τόσο στην ορυκτολογική όσο και στη γεωχημική σύνθεσή του και μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την μηχανική διάλυση

και τη χημική αποσάθρωση των ορυκτών. Επομένως, ο βαθμός μεταβολής του μεγέθους των κόκκων των ιζημάτων εξαρτάται από την έκταση της φυσικής και χημικής αποσάθρωσης (Kiekebosc-Fitt, 2012).

Με βάση την μελέτη του μεγέθους των κόκκων των ιζημάτων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη γεωχημεία μιας περιοχής και αυτό γιατί ορισμένα χημικά στοιχεία εμφανίζουν ισχυρή χημική συγγένεια με τα σωματίδια (Grunsky et al., 2009). Πιο συγκεκριμένα, τα ενεργά ιζήματα στα κανάλια των ρεμάτων και των ποταμών μπορεί να περιέχουν χαμηλά επίπεδα μετάλλων που προέρχονται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων εντός της ανάντη λεκάνης απορροής και κατανέμονται περισσότερο στα σωματίδια με τα οποία έχουν ισχυρή χημική συγγένεια (Marjoribanks, 2010). Για παράδειγμα, μελέτες που αφορούν την κατανομή των ιχνοστοιχείων σε σχέση με το κλάσμα μεγέθους των ιζημάτων των ρεμάτων αποδεικνύουν ότι αρκετά στοιχεία όπως Cu, Fe, Mn, Mo και Zn συγκεντρώνονται στα λεπτότερα κλάσματα των ιζημάτων και συγκεκριμένα στα κλάσματα μεγέθους κάτω των 4 μm δηλαδή στα αργιλικά σωματίδια (Guagliardi et al., 2013).

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα που αφορά μια σύγκριση των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων με κλάσματα διαφορετικού μεγέθους των ιζημάτων του ποταμού Lese στην Νότια Ιταλία (Guagliardi et al., 2013).

Πίνακας 5: Σύγκριση των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων σε κλάσματα διαφορετικού μεγέθους των ιζημάτων του ποταμού Lese (Guagliardi et al., 2013).

Κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία	Μονάδα μέτρησης	2,000-500 μm	250-125 μm	125-63 μm	<63 μm
NaO	(wt%)	2.0	2.1	1.7	1.5
MgO	(wt%)	2.1	1.9	2.8	3.3
Al ₂ O ₃	(wt%)	12.7	12.3	14.1	15.2
SiO ₂	(wt%)	67.2	65.5	59.3	53.6
CaO	(wt%)	3.9	5.0	6.6	6.9
MnO	(wt%)	0.1	0.1	0.1	0.1
Fe ₂ O ₃	(wt%)	3.3	3.7	4.4	5.1
Ni	mg kg ⁻¹	11.7	16.4	21.5	34.2
Cr	mg kg ⁻¹	19	26.4	45.3	79.7
Co	mg kg ⁻¹	8.2	10.2	11.2	14.7
Pb	mg kg ⁻¹	19.1	21.4	24.1	27.4
Zn	mg kg ⁻¹	50.3	59.7	70.6	96.2

Στο ανωτέρω παράδειγμα παρατηρείται ότι η κατανομή των ιχνοστοιχείων (Al, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) στα ιζήματα επηρεάζεται από το μέγεθος των κόκκων τους καθώς και ότι τα λεπτόκοκκα κλάσματα που αποτελούνται κυρίως από αργιλικά ορυκτά περιέχουν σχετικά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, τα περισσότερα ιχνοστοιχεία εμφανίζουν ισχυρή χημική συγγένεια με τα λεπτόκοκκα κλάσματα των ιζημάτων. Για παράδειγμα, ο μόλυβδος (Pb) εμφανίζει μεγάλη συγγένεια με τα αργιλικά ορυκτά καθώς η ιοντική του ακτίνα είναι παρόμοια με του καλίου (K) επομένως, αντικαθιστά το κάλιο στο πλέγμα του μοντμοριλλονίτη (Αρβανίτης, 2006).

2.3.1. Δέσμευση ιχνοστοιχείων στα ιζήματα

Η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων στη στερεή φάση του ιζήματος μπορεί να είναι αποτέλεσμα είτε άμεσης καταβύθισης από τη διαλυτή φάση είτε διεργασιών ρόφησης όπως είναι η ανταλλαγή κατιόντος, η χημική προσρόφηση, η ρόφηση των μετάλλων σε αργιλικά ορυκτά ή οι διεργασίες δέσμευσης των μετάλλων σε οργανικές ενώσεις. Με βάση αυτές τις διεργασίες τα ιχνοστοιχεία δεσμεύονται στα διάφορα γεωχημικά υποστρώματα των ιζημάτων. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι, ανάλογα με τον τρόπο δέσμευσης, τα ιχνοστοιχεία κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες (Αρβανίτης, 2006).

2.3.1.1. Προσροφημένα ιχνοστοιχεία

Τα προσροφημένα ιχνοστοιχεία περιλαμβάνουν τα μέταλλα τα οποία συνδέονται με ανταλλαγή ιόντων στην επιφάνεια λεπτόκοκκων ή κολλοειδών υλικών με μεγάλη ειδική επιφάνεια όπως είναι τα αργιλικά ορυκτά, η οργανική ύλη καθώς και τα οξειδία σιδήρου (Fe) και μαγγάνιου (Mn) και τα μέταλλα τα οποία συνδέονται με χημική προσρόφηση σε ειδικές θέσεις με χαμηλή προσροφητική ενέργεια διαφόρων στερεών συστατικών (Βασιλάκη, 2012). Το φαινόμενο της προσρόφησης των ιχνοστοιχείων στα σωματίδια εξαρτάται από την τιμή pH του διαλύματος. Πιο συγκεκριμένα, μια μείωση στην τιμή pH του διαλύματος δηλαδή μια αύξηση της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου έχει ως συνέπεια την εκρόφηση των κατιόντων του μετάλλου που προσροφώνται στα σωματίδια καθώς τα ιόντα υδρογόνου συναγωνίζονται τα ιόντα του μετάλλου. Επομένως, υψηλές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στα ιζήματα εμφανίζονται σε ελαφρά αλκαλικό ή αλκαλικό περιβάλλον δηλαδή σε $pH > 7$. Εξάιρεση αποτελεί η προσρόφηση των ιχνοστοιχείων σε χουμικά οξέα όπου η μείωση στην τιμή του pH οδηγεί σε απομάκρυνση των μετάλλων από τη διαλυτή φάση λόγω της ικανότητας που έχουν τα χουμικά οξέα να καθιζάνουν σε χαμηλές τιμές pH (Αρβανίτης, 2006).

2.3.1.2. Ιχνοστοιχεία ενωμένα με ανθρακικά

Τα ανθρακικά άλατα βρίσκονται στα ιζήματα σαν προϊόντα χημικής ή βιοχημικής καθίζησης καθώς και σαν μεταφερόμενα κλάσματα ασβεστόλιθου. Τα κυριότερα ανθρακικά ορυκτά είναι ο αραγονίτης, ο ασβεσίτης και ο δολομίτης που είναι μορφές ανθρακικού ασβεστίου. Τα ιχνοστοιχεία ενώνονται με τα ανθρακικά ιόντα είτε με την διεργασία της χημικής καθίζησης προς σχηματισμό αδιάλυτων ανθρακικών αλάτων είτε υποκαθιστώντας το ασβέστιο (Ca) ή το μαγνήσιο (Mg) στην επιφάνεια ή στο κρυσταλλικό πλέγμα των ανθρακικών ορυκτών όταν οι συγκεντρώσεις δεν είναι αρκετά υψηλές ώστε να ικανοποιείται το γινόμενο διαλυτότητας των ανθρακικών αλάτων (Αρβανίτης, 2006; Βασιλάκη, 2012).

2.3.1.3. Ιχνοστοιχεία ενωμένα με Οξείδια Fe-Mn

Τα οξείδια του σιδήρου (Fe) και του μαγγανίου (Mn) στα ιζήματα προέρχονται από τους ακόλουθους παράγοντες (Βασιλάκη, 2012):

- Ανθεκτικά πρωτογενή ορυκτά όπως ο μαγνητίτης.
- Σωματίδια και επιστρώσεις των οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου που σχηματίστηκαν κατά την διάβρωση.
- Καθίζηση κυρίως στην μεσεπιφάνεια ιζήματος/νερού σε περιοχές όπου γλυκά νερά ή νερό των πόρων συναντούν πιο οξικές συνθήκες.
- Επιστρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων της στήλης του νερού.

Πειραματικά δεδομένα έχουν δείξει ότι τα οξείδια Fe-Mn έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν το 10-50% του συνολικού περιεχομένου των ιχνοστοιχείων ενός ιζήματος, καθιστώντας αυτά ως τα σημαντικότερα υποστρώματα ενσωμάτωσης μετάλλων στα ιζήματα.

2.3.1.4. Δέσμευση ιχνοστοιχείων με οργανικές ουσίες

Η παρουσία των οργανικών ενώσεων στα ιζήματα παίζει έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην κατανομή των ιχνοστοιχείων σε αυτά και αυτό γιατί οι οργανικές ενώσεις οι οποίες βρίσκονται στα ιζήματα έχουν τις ακόλουθες ιδιότητες (Σαμανίδου, 1990):

- Δημιουργία σύμπλοκων ενώσεων με τα μέταλλα με αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας τους.
- Μεταβολή στην κατανομή μεταξύ των οξειδωμένων και ανηγμένων μορφών των μετάλλων.
- Ελάττωση της τοξικότητάς τους καθώς και μεταβολή στην βιοδιαθεσιμότητά τους.
- Επιρροή του ποσοστού προσρόφησης των ιχνοστοιχείων στα αιωρούμενα σωματίδια.
- Επιρροή της σταθερότητας των κolloειδών μεταλλικών ενώσεων.

Η οργανική ύλη που εμπεριέχεται στα ιζήματα των ποτάμιων συστημάτων μπορεί να είναι είτε βιολογικής προέλευσης είτε να προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα (συνθετικές οργανικές ενώσεις). Το 40-70% περίπου της οργανικής ύλης αποτελείται από χουμικά οξέα τα οποία είναι ετερογενή πολυμερή και χαρακτηρίζονται από μεγάλο εύρος μοριακού βάρους ($700-2 \times 10^6 \text{ gr mol}^{-1}$) (Σαμανίδου, 1990). Σύμφωνα με τον Haworth, τα χουμικά οξέα περιέχουν σύνθετο αρωματικό πυρήνα στον οποίο μπορούν να δεσμεύονται τα μέταλλα είτε φυσικά είτε χημικά (Αρβανίτης, 2006).

2.3.1.5. Ιχνοστοιχεία ενωμένα με πυρίτιο μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα ορυκτών

Περίπου το 25-50% του συνολικού περιεχομένου των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα είναι ενωμένα με πυριτικά και μικρότερες ποσότητες άλλων ανθεκτικών ορυκτών. Η σύνδεση γίνεται κυρίως με υποκατάσταση από ιχνοστοιχεία, ατόμων του κρυσταλλικού πλέγματος είτε πρωτογενών ορυκτών που επιβίωσαν από την διάβρωση είτε δευτερογενών ορυκτών που σχηματίστηκαν κατά την διάβρωση και την διαγένεση. Ωστόσο, η σύνδεση είναι δυνατόν να οφείλεται σε φυσικό εγκλεισμό μιας άλλης φάσης μέσα στην πυριτική ή με ενσωμάτωση σε βιογενές πυρίτιο το οποίο προέρχεται από σκελετικό υλικό φυτοπλαγκτονικών ειδών όπως είναι τα διάτομα (Campbell et al., 1988).

2.3.2. Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων

Στις προηγούμενες ενότητες αναφέρθηκε ότι, τα ιζήματα των ποτάμιων συστημάτων συσσωρεύουν μέταλλα τα οποία μπορεί να προέρχονται είτε από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και του εδάφους είτε από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Τέτοια μέταλλα είναι ο χαλκός (Cu), το κοβάλτιο (Co), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο ψευδάργυρος (Zn) κλπ. τα οποία είναι απαραίτητα για τους βιοτικούς και αβιοτικούς οργανισμούς, όταν βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί να γίνουν τοξικά. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η αξιολόγηση της ρύπανσης των ιζημάτων από ιχνοστοιχεία έτσι ώστε να γίνει εκτίμηση του κινδύνου για το υδάτινο περιβάλλον καθώς και για την ανθρώπινη υγεία διότι τα μέταλλα αυτά περνάνε στην τροφική αλυσίδα μέσω της κατανάλωσης τροφίμων όπως είναι τα ψάρια (Helen et al., 2016).

Η αξιολόγηση του περιεχομένου των ιζημάτων σε ιχνοστοιχεία γίνεται με τη βοήθεια αριθμητικών κριτηρίων ποιότητας ιζήματος (SQGs) τα οποία περιλαμβάνουν την κατώτερη συγκέντρωση επίδρασης (Threshold Effect Concentration, TEC) και την πιθανή συγκέντρωση επίδρασης (Probable Effect Concentration, PEC). Εάν η συγκέντρωση των μετάλλων που βρίσκονται στα ιζήματα είναι κάτω από την TEC, είναι απίθανο να παρατηρηθούν βλαβερές επιδράσεις ενώ αν είναι πάνω από την PEC είναι πιθανό να εμφανιστούν επιβλαβείς επιδράσεις στο υδάτινο περιβάλλον. Υπάρχουν αρκετά κριτήρια ποιότητας ιζήματος με βάση τα οποία αξιολογείται το περιεχόμενο των ιζημάτων σε ιχνοστοιχεία. Στην παρούσα ερευνητική μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα κριτήρια ποιότητας τα οποία είναι κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO), του οργανισμού προστασίας του περιβάλλοντος των ΗΠΑ (USEPA), του Καναδικού Συμβουλίου των Υπουργών Περιβάλλοντος (Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME) και του Υπουργείου Περιβάλλοντος του Καναδά στο Οντάριο. Με βάση τα προαναφερόμενα κριτήρια ποιότητας, οι συγκεντρώσεις ορισμένων ιχνοστοιχείων στα ιζήματα των ποτάμιων συστημάτων πάνω από τις οποίες υπάρχει κίνδυνος τοξικότητας παρουσιάζονται στους Πίνακες 6 και 7 (Helen et al., 2016).

Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg kg^{-1}) σύμφωνα με τα κριτήρια ποιότητας ιζήματος του Υπουργείου Περιβάλλοντος του Καναδά και του CCME(^αKennedy et al., 1995; ^βCCME, 2001).

Μέταλλο	Κριτήρια ποιότητας ιζήματος του Υπουργείου Περιβάλλοντος Καναδά στο Οντάριο ^α		Κριτήρια ποιότητας ιζήματος σύμφωνα με το CCME ^β	
	TEL	PEL	TEL	PEL
Κάδμιο, (Cd)	0.6	10	0.6	3.5
Χρώμιο, (Cr)	26	110	37.3	90.0
Χαλκός, (Cu)	16	110	35.7	197
Σίδηρος, (Fe)	21,200	43,766	-	-
Μόλυβδος, (Pb)	31	250	35.0	91.3
Μαγγάνιο, (Mn)	460	1100	-	-
Ψευδάργυρος, (Zn)	120	820	123	315

Πίνακας 7: Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg kg^{-1}) στα ιζήματα με βάση τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας (WHO) και τον οργανισμό προστασίας του περιβάλλοντος των ΗΠΑ (USEPA) (^γWHO, 2004; ^δUSEPA, 1999;).

Μέταλλο	Κριτήρια ποιότητας ιζήματος του WHO ^γ	Κριτήρια ποιότητας ιζήματος του USEPA ^δ
	TEL	TEL
Κάδμιο, (Cd)	6	0.6
Χρώμιο, (Cr)	25	25
Χαλκός, (Cu)	25	16
Σίδηρος, (Fe)	-	30
Μόλυβδος, (Pb)	-	40
Μαγγάνιο, (Mn)	-	30
Ψευδάργυρος, (Zn)	123	110

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΡΥΠΑΝΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΡΕΜΑΤΩΝ ΛΟΓΩ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναφορά στην επίδραση των φυσικών καταστροφών στα ιζήματα των ρεμάτων και συγκεκριμένα στη ρύπανση αυτών από ιχνοστοιχεία. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει αναφορά σε δύο φυσικές καταστροφές. Αρχικά, θα παρουσιαστούν οι οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πυρκαγιών ενώ θα αναλυθεί η επίδραση που έχουν στα ιζήματα των ρεμάτων. Στη συνέχεια, θα γίνει λόγος για τις πλημμύρες και τις επιπτώσεις τους στα ιζήματα των ρεμάτων καθώς και για το νομοθετικό πλαίσιο που αφορά τις πλημμύρες (Οδηγία 2007/60/ΕΚ).

3.1. Γενική εισαγωγή στις πυρκαγιές

Η δασική πυρκαγιά είναι μια φυσική ενόχληση που είναι συχνή σε πολλά χερσαία οικοσυστήματα όπου οι μετεωρολογικές συνθήκες χαρακτηρίζονται από υψηλότερη θερμοκρασία και χαμηλή σχετική υγρασία. Η πλειοψηφία των πυρκαγιών συμβαίνουν σε ημίξηρο περιβάλλον όπως στις δυτικές και νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, στη δυτική και νότια Αφρική, στη Χιλή, στη βόρεια Ισπανία και στην Αυστραλία συμπεριλαμβανομένης της βόρειας Ρωσίας και του Καναδά (Abraham et al., 2017). Επίσης, οι πυρκαγιές καίνε εκατομμύρια στρέμματα κάθε χρόνο, αφήνοντας θάνατο και καταστροφή στο πέρασμά τους και επιτίθενται κυρίως σε αγροτικές περιοχές ή περιοχές υπαίθρου με καύσιμη βλάστηση (Εικ. 12). Παρόλο που τα φυσικά αίτια όπως είναι οι αστραπές ή η θερμότητα του ήλιου καθώς και η κλιματική αλλαγή παίζουν ένα ρόλο στην πρόκληση πυρκαγιάς, το 90% των δασικών πυρκαγιών παγκοσμίως οφείλεται σε κάποια ανθρώπινη απεισκευσία όπως είναι η απόρριψη ενός τσιγάρου ή ακόμα και ο εμπρησμός (Taylor-Coleman, 2018; Bradford, 2018; Migiro, 2018). Τα τελευταία χρόνια, οι ακραίες εποχές των πυρκαγιών είχαν σημαντικό αντίκτυπο στις ανθρώπινες ζωές στην Ελλάδα το έτος 2007, στην Αυστραλία τα έτη 2009, 2013, 2015, 2016 και 2017, στον Καναδά το 2016 και στις ΗΠΑ τα έτη 2007, 2013, 2015 και 2016 (Abraham et al., 2017).



Εικόνα 12: Φλόγες που εξαπλώνονται διαμέσου μιας αγροτικής κοινότητας στην Καλιφόρνια, στις 17/8/2016 (Bradford, 2018).

Οι πυρκαγιές είναι συχνές στην Ευρώπη και σε μερικά έθνη όπως η Πορτογαλία και η Ρωσία καταγράφονται πάνω από 10,000 πυρκαγιές το χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, στην Πορτογαλία έχει καταγραφεί ένας από τους υψηλότερους αριθμούς πυρκαγιών από το 1993. Αυτές οι φωτιές κατέστρεψαν πάνω από το 10% των δασών της χώρας και προκάλεσαν 18 θανάτους το 2003. Το 2016, η Πορτογαλία είχε τον υψηλότερο αριθμό δασικών πυρκαγιών (13,261) στην Ευρώπη ο οποίος αντιπροσώπευε μια μείωση κατά 31% σε σχέση με το μέσο αριθμό των πυρκαγιών την τελευταία δεκαετία (18,923) και μια μείωση κατά 15% σε σχέση με το 2015. Επίσης, το 2016, η Ρωσία έχασε πάνω από 5,978,107 στρέμματα τα οποία περιλάμβαναν 4,798,337 στρέμματα δασικής γης. Η πρώτη φωτιά στη Ρωσία ξεκίνησε στις 3/1/2016 στην περιοχή Ιρκούσκ και μέχρι το τέλος του χρόνου η χώρα είχε να αντιμετωπίσει 10,089 πυρκαγιές. Η Ρώσικη Ομοσπονδία αντιμετώπισε κατά μέσο όρο 18,623 πυρκαγιές από το 2006 έως το 2015 με ένα μέσο όρο 5,710,791 στρεμμάτων που καίγονταν κάθε χρόνο κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Τέλος, μια άλλη χώρα της Ευρώπης για την οποία έχει καταγραφεί ένας μεγάλος αριθμός πυρκαγιών είναι η Ισπανία που είχε πάνω από 400,000 πυρκαγιές τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Το 2016, η Ισπανία είχε 22 μεγάλες δασικές πυρκαγιές οι οποίες αντιπροσώπευαν το 49% ολόκληρης της καμένης περιοχής (162,637 στρέμματα) (Migiro, 2018).

Στον ακόλουθο πίνακα απεικονίζεται μια σύγκριση του αριθμού των πυρκαγιών και των καμένων εκτάσεων για τα έτη 2016 και 2017 αντίστοιχα για τις Ευρωπαϊκές χώρες που αντιμετώπισαν τις περισσότερες δασικές πυρκαγιές.

Πίνακας 8: Ευρωπαϊκές χώρες με τις περισσότερες δασικές πυρκαγιές για τα έτη 2016 και 2017 αντίστοιχα (Migiro, 2018; San-Miguel-Ayanz et al., 2018).

Χώρα	Αριθμός δασικών πυρκαγιών (2016)	Αριθμός δασικών πυρκαγιών (2017)	Καμένη περιοχή (ha) (2016)	Καμένη περιοχή (ha) (2017)
Πορτογαλία	13,261	21,002	161,522	540,630
Ρωσία	10,089	10,051	2,419,254	1,459,099
Ισπανία	8,817	13,793	65,817	178,234
Σουηδία	5,454	5,276	1,288	1,433
Πολωνία	5,286	3,592	1,451	1,023
Ιταλία	4,793	7,855	47,926	161,987
Γαλλία	4,285	4,403	16,093	26,378
Φιλανδία	933	881	310	460
Ελλάδα	777	1,083	26,540	13,393
Λετονία	641	423	467	265

Από τον ανωτέρω πίνακα επαληθεύεται ότι οι χώρες με τον μεγαλύτερο αριθμό δασικών πυρκαγιών για τα έτη 2016 και 2017 αντίστοιχα είναι η Πορτογαλία, η Ρωσία και η Ισπανία. Τέλος, παρατηρείται ότι, χώρες όπως η Ελλάδα, η Ιταλία, η Πολωνία και η Ρωσία παρόλο που έχουν μεγαλύτερο αριθμό πυρκαγιών το έτος 2017, παρουσιάζουν μειωμένη έκταση της καμένης περιοχής σε σχέση με το 2016 πιθανότατα λόγω πιο έγκαιρης αντιμετώπισης της πυρκαγιάς στις χώρες αυτές.

3.1.1. Επιπτώσεις των πυρκαγιών

Οι πυρκαγιές εμφανίζουν περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις διότι καταστρέφουν τις γεωργικές εκτάσεις, τους ανθρώπινους οικισμούς και τα δάση προκαλώντας σημαντικές ζημιές. Η βιοποικιλότητα μπορεί να επηρεαστεί σοβαρά από τις πυρκαγιές. Για παράδειγμα, έχει υπολογιστεί ότι, λόγω των πυρκαγιών του 2007, πάνω από 106,000 εκτάρια γης σε περιοχές του δικτύου Natura 2000 κάηκαν στην Κύπρο, τη Γαλλία, την Ελλάδα, την Ιταλία, την Πορτογαλία και την Ισπανία τα οποία αντιστοιχούν σε 21.3% της καμένης περιοχής στις χώρες αυτές. Επίσης, οι πυρκαγιές μπορούν να επηρεάσουν σημαντικές οικονομικές δραστηριότητες όπως είναι η δασοκομία ή ο τουρισμός ενώ σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε απώλειες ανθρώπινων ζώων. Ακολούθως, παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι περιβαλλοντικές, οι οικονομικές και οι κοινωνικές επιπτώσεις των πυρκαγιών (Bassi and Kettunen, 2008).

3.1.1.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Μια πυρκαγιά προκαλεί σοβαρές και πολλές φορές ανεπανόρθωτες ζημιές τόσο στην χλωρίδα και την πανίδα όσο και στο κλίμα. Οι ζημιές που μπορεί να προκαλέσει μια πυρκαγιά στο περιβάλλον παρουσιάζονται αναλυτικότερα ως εξής (Μαυρογιώργη, 2018):

- Καταστροφή της βλάστησης όπου χιλιάδες δέντρα καίγονται και τα περισσότερα δεν μπορούν να αναγεννηθούν μόνα τους όπως αναγεννιούνται τα πεύκα τα οποία είναι προσαρμοσμένα σε συμβάντα πυρκαγιάς και μπορούν να ανακάμψουν άμεσα με δεδομένο πάντα ότι δεν έχουν καεί επανειλημμένα στο πρόσφατο παρελθόν (Μαυρογιώργη, 2018).
- Διάβρωση του εδάφους καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν σε μια πυρκαγιά μεταβάλλουν την εδαφική δομή και μειώνουν τη συνοχή του εδάφους. Ταυτόχρονα, η απομάκρυνση της βλάστησης αφήνει το έδαφος απόλυτα εκτεθειμένο στη βροχή και τον αέρα με αποτέλεσμα τη μείωση της δυνατότητας απορρόφησης του νερού. Επομένως, οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με την απομάκρυνση της βλάστησης κάνουν τα εδάφη πιο ευπαθή με αποτέλεσμα να απομακρύνονται από τον άνεμο ή να παρασύρονται από το ορμητικό βρόχινο νερό. Ανάλογα με την κλίση του εδάφους, αυτή η φθορά μπορεί να οδηγήσει σε σταδιακή απώλεια της εδαφικής κάλυψης με αρνητικές συνέπειες για τις δυνατότητες αναγέννησης της βλάστησης ενώ η μειωμένη δυνατότητα απορρόφησης του νερού μπορεί να συμβάλλει σε φαινόμενα πλημμύρων (Μαυρογιώργη, 2018).
- Όσον αφορά στην πανίδα, τα περισσότερα μεγάλα θηλαστικά όπως και τα πουλιά έχουν τη δυνατότητα να διαφύγουν από την περιοχή της πυρκαγιάς, ενώ πολλά είδη ερπετών προφυλάσσονται από αυτήν καλυπτόμενα στο έδαφος ή στα βράχια. Αντίθετα, τα μικρότερα θηλαστικά, τα αρθρόποδα αλλά και πολλά είδη ερπετών και μικρών δασόβιων πουλιών δεν προλαβαίνουν συνήθως να διαφύγουν. Οι επιπτώσεις της πυρκαγιάς στην πανίδα μπορεί να είναι σημαντικότερες εάν η πυρκαγιά εκδηλωθεί

την εποχή της αναπαραγωγής, εάν η έκτασή της είναι τόσο μεγάλη που να καλύπτει μεγάλο μέρος της εξάπλωσης ενός είδους ή εάν η διάσπαση του βιοτόπου από υποδομές είναι τέτοια που να εμποδίζει τη διαφυγή των ζώων και μετέπειτα τον επανεποικισμό (Μαυρογιώργη, 2018).

- Οι πυρκαγιές μπορεί να επιβαρύνουν προσωρινά τον ατμοσφαιρικό αέρα λόγω των εκπομπών επικίνδυνων ουσιών κατά την καύση όπως είναι οι διοξίνες και τα φουράνια ενώ η καταστροφή της βλάστησης επηρεάζει το μικροκλίμα των συγκεκριμένων περιοχών, καθώς μειώνει τις ευεργετικές ψυκτικές επιδράσεις των δασικών δέντρων και αυξάνει την ηλιακή αντανάκλαση του εδάφους (Μαυρογιώργη, 2018).
- Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, οι δασικές πυρκαγιές και η καταστροφή των δασών αναμένεται να επηρεάσουν το τοπικό κλίμα, οδηγώντας σε μια άνοδο των μέσων θερμοκρασιών, επέκταση της καλοκαιρινής περιόδου και ελάττωση των βροχοπτώσεων που συνοδεύεται από αυξημένη ένταση της βροχής διότι η μείωση της κάλυψης με βλάστηση θα οδηγήσει σε μείωση των φυτικών οργανισμών που δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) με αποτέλεσμα της αύξησης της συγκέντρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια την αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου (Bassi and Kettunen, 2008).

Στην Ελλάδα, έχουν υπολογιστεί συνολικά 97,518 ha της φυσικής κάλυψης με βλάστηση που κήκον από τις φωτιές του έτους 2007 εκ των οποίων τα 30,132 ha ήταν τοποθετημένα σε περιοχές Natura 2000. Πιο συγκεκριμένα, έχουν επηρεαστεί επτά σημαντικοί χώροι κοινοτικής σημασίας καθώς και είδη οικολογικής σημασίας όπως το χρυσό τσακάλι. Επίσης, ένα σημαντικό μέρος του Εθνικού Πάρκου και του ελατόδασους της Πάρνηθας καταστράφηκε με ουσιώδη ζημιά για τη βιοποικιλότητα, καθώς τα ελατοδάση δεν είναι προσαρμοσμένα σε συμβάντα πυρκαγιών και απαιτούν μεγαλύτερη ανθρώπινη προσπάθεια για να αναγεννηθούν. Επιπλέον, η δασική πυρκαγιά στην Πάρνηθα προκάλεσε καταστροφή στους πληθυσμούς αρκετών προστατευόμενων πτηνών, θηλαστικών (ειδικότερα ελαφιών) και σε άλλα σπονδυλωτά και ασπόνδυλα ζώα (Bassi and Kettunen, 2008).

3.1.1.2. Οικονομικές επιπτώσεις

Μια από τις κυριότερες οικονομικές επιπτώσεις των πυρκαγιών είναι η απώλεια των περιουσιακών στοιχείων όσον αφορά τις κτιριακές εγκαταστάσεις και τις χρήσεις γης. Αυτή η οικονομική επίπτωση αποτελεί τον μακροπρόθεσμο προϋπολογισμό διότι το κόστος για την αποκατάσταση των ζημιών μπορεί να συνεχίζεται για αρκετούς οικονομικούς κύκλους καθώς τα αριθμητικά στοιχεία που συμπεριλαμβάνονται στον προϋπολογισμό με στόχο την αποκατάσταση των ζημιών δεν ακολουθούν τις πραγματικές ανάγκες χρηματοδότησης. Παρόλα αυτά, υπάρχει και ο βραχυπρόθεσμος προϋπολογισμός ο οποίος αφορά την πρόληψη, το προσωπικό, τον εξοπλισμό, τις προμήθειες και την συνεχή κινητοποίηση όσων είναι υπεύθυνοι για την κατάσβεση. Με άλλα λόγια, οι οικονομικές απώλειες μιας πυρκαγιών σχετίζονται με τις απώλειες αγαθών και υπηρεσιών, ιδιοκτησίας και χρήσης γης (Biro Yves, 2009; Douglas et al., 2003). Χαρακτηριστικό παράδειγμα που εξηγεί τις οικονομικές απώλειες των πυρκαγιών είναι

οι καταστροφικές πυρκαγιές του έτους 2007 στην Ελλάδα οι οποίες προκάλεσαν εκτεταμένη ζημιά σε ολόκληρα χωριά, χιλιάδες σπίτια, ζώα, οδικά δίκτυα, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρικές υποδομές και αρδευτικά δίκτυα. Επίσης, περίπου, 78,000 εκτάρια αγροτικής γης (κυρίως ελαιόδεντρα) κήκαν στην Πελοπόννησο (WWF, 2007). Αξίζει να σημειωθεί ότι, η εκτεταμένη ζημιά στα ελαιόδεντρα συνδέεται με την αλλαγή του ισοζυγίου της αγροτικής παραγωγής σε εθνικό επίπεδο και απαιτεί εκτεταμένη αποζημίωση για την αγροτική ζημιά. Επομένως, το τελικό κόστος των πυρκαγιών αυτών υπολογίστηκε αρκετά υψηλό και κυμάνθηκε από 3 έως 5 δισεκατομμύρια ευρώ δηλαδή 1.4% έως 2.4% του ΑΕΠ της χώρας (Xanthopoulos, 2007).

3.1.1.3. Κοινωνικές επιπτώσεις

Η βασικότερη κοινωνική συνέπεια μιας πυρκαγιάς είναι η απώλεια της ανθρώπινης ζωής. Για παράδειγμα το καλοκαίρι του 2007 οι πυρκαγιές στην Ελλάδα προκάλεσαν 76 θανάτους (Xanthopoulos, 2007) και άφησαν χιλιάδες ανθρώπους άστεγους και άνεργους (WWF, 2007) ενώ το καλοκαίρι του 2018 στην πυρκαγιά που ξέσπασε στην Ανατολική Αττική, οι θάνατοι έφτασαν τους 102 (ΤΟ ΒΗΜΑ Team, 2019). Παρόλα αυτά, ο μεγαλύτερος κίνδυνος επικεντρώνεται στην ανθρώπινη υγεία καθώς θεωρείται ότι, αυτά τα συμβάντα θα έχουν βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία π.χ. λόγω του τοξικού νέφους που παραμένει πάνω από τις πόλεις, των μεγάλων ποσοτήτων από τις εκπομπές των διοξινών ή της ρύπανσης του πόσιμου νερού από τέφρες. Επίσης, η ποιότητα ζωής των κατοίκων που ζουν σε περιοχές οι οποίες έχουν πληχθεί από πυρκαγιές θα υποβαθμιστεί από ζημιές στο τοπίο όπως οι διαταραχές της ισορροπίας του εδάφους και του νερού ή οι πλημμύρες που προκαλούνται λόγω της καταστροφής της βλάστησης (Νικολαΐδης κ.α., 2007; WWF, 2007).

3.1.2. Επίδραση των πυρκαγιών στην ιζηματοπόθεση σε ρέματα

Η μεταφορά των ιζημάτων στα ρέματα μπορεί να γίνει εξαιρετικά επεισοδιακή λόγω της επίδρασης συμβάντων μεγάλης έκτασης και χαμηλής συχνότητας ενόχλησης όπως είναι οι μεγάλες καταιγίδες ή οι πυρκαγιές. Οι πυρκαγιές αποτελούν καταλύτες για τη διάβρωση του εδάφους και την μεταφορά ιζήματος σε πολλά τοπία και ένα μεγάλο μέρος της συνολικής μακροπρόθεσμης διάβρωσης μπορεί να συσχετιστεί με σύντομες περιόδους μετά τις πυρκαγιές. Οι έντονες πυρκαγιές έχουν ως συνέπεια την απώλεια της κάλυψης του εδάφους και τη μείωση στους ρυθμούς διεύδυσης λόγω της τέφρας ή του λεπτού ιζήματος ενισχύοντας την απορροή και την επιφανειακή διάβρωση. Επίσης, οι κατολισθήσεις και οι ροές των θραυσμάτων σε καμένες περιοχές μπορούν να ενισχύσουν την παροχή ιζήματος. Μια άλλη διάσταση της μεταφοράς ιζήματος μετά από φωτιές είναι η μεταφορά της τέφρας σε ρέματα η οποία μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού και στις υδρόβιες κοινότητες (USDA, 2014).

Το αιωρούμενο ιζημα που εισέρχεται στα ρέματα επηρεάζει το χρώμα και την θολερότητα του νερού και μπορεί επίσης να μεταφέρει διάφορους ρύπους που συνδέονται με τα σωματίδια και επηρεάζουν την ποιότητα του νερού όταν εμφανίζονται σε αυτό πάνω από κάποια αποδεκτά όρια (Πιν. 9) (Horowitz, 1991; Horowitz and Elrick, 1987; Ongley et al., 1992).

Πίνακας 9: Όρια ποιότητας του νερού για συστατικά που μπορεί να εμφανιστούν στα ρέματα μετά από πυρκαγιά (NHMRC, 2004; WHO, 2008).

Συστατικό ποιότητας νερού	Πηγές	Κριτήρια τιμών συγκέντρωσης (mg L ⁻¹ αν δεν δηλώνονται αλλιώς)
Αρσενικό (As)	Διάλυση ορυκτών, βιομηχανικών λυμάτων και λυμάτων εξόρυξης	0.01
Βάριο (Ba)	Εδάφη και πετρώματα	0.7
Χρώμιο (Cr)	Εδάφη και πετρώματα: Η αποσάθρωση και η οξείδωση μετατρέπουν το μη διαλυτό Cr ⁺² σε διαλυτό Cr ⁺³	0.05 (για το συνολικό Cr)
Χαλκός (Cu)	Εδάφη και πετρώματα σε μορφή ανθρακικών και σουλφιδίων ορυκτών	2
Σίδηρος (Fe)	Εδάφη και πετρώματα όπως οξείδια, σουλφίδια και ανθρακικά ορυκτά	0.3 (αισθητικό όριο)
Μόλυβδος (Pb)	Διάλυση από φυσικές πηγές	0.01
Μαγγάνιο (Mn)	Εδάφη και πετρώματα: Υπάρχει και σε διαλυτές και σε μη διαλυτές ενώσεις ως Mn ²⁺ , Mn ⁴⁺ και Mn ⁷⁺	0.4
Υδράργυρος (Hg)	Ατμοσφαιρική απόθεση από φυσικές πηγές π.χ. ηφαιστεια και ανθρωπογενείς πηγές π.χ. μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα	WHO: 0.006 (ανόργανο Hg) και Αυστραλιανά κριτήρια: 0.001 (ολικός Hg)
Οργανικός άνθρακας	Εδάφη και ιζήματα, οργανική ύλη και τέφρα	μη διαθέσιμες τιμές στα κριτήρια παγκόσμιου οργανισμού (WHO) και 5 mg L ⁻¹ με βάση τα κριτήρια του Καναδά
Ψευδάργυρος (Zn)	Ευρέως καταναμημένο σε πετρώματα	3 (αισθητικό όριο)

Από την άποψη της ποιότητας και της επεξεργασίας του πόσιμου νερού, οι ανεβασμένες συγκεντρώσεις του αιωρούμενου ιζήματος ενδέχεται να εμποδίσουν την ανίχνευση των βακτηρίων και των ιών, να προωθήσουν την βακτηριακή ανάπτυξη από τα ανεβασμένα επίπεδα των προσροφημένων θρεπτικών και να περιορίσουν την αποτελεσματική απολύμανση (NHMRC, 2004). Έχει αποδειχθεί ότι πολλά συστατικά ποιότητας του νερού και ιδιαίτερα τα ιχνοστοιχεία και ο φώσφορος δεσμεύονται περισσότερο στο λεπτό ίζημα και λιγότερο στο χονδρόκοκκο υλικό, γι αυτό το λόγο και οι περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί αφορούν το λεπτό ίζημα (Horowitz, 1991; Noske et al., 2010; Ongley et al., 1992).

Αξίζει να σημειωθεί ότι, η μεταφορά των λεπτών συνεκτικών ιζημάτων μέσω του ποτάμιου συστήματος μπορεί να κυριαρχείται από σύνθετα σωματίδια αιωρούμενων ιζημάτων π.χ. συσσωματώματα και όχι από πρωτογενή σωματίδια (Droppo, 2001; Woodward and Walling, 2007). Η δομή αυτών των σύνθετων σωματιδίων ενσωματώνει μικροβιακές κοινότητες, οργανικά και ανόργανα σωματίδια καθώς και χημικά συστατικά που μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την ποιότητα του νερού (Droppo, 2001). Έρευνες από καμένα δάση δείχνουν ότι τα συσσωματώματα του εδάφους εμφανίζουν σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες καθίζησης από μη καμένα σωματίδια παρόμοιας διαμέτρου οι οποίες αποδίδονται στην αύξηση της πυκνότητας των καμένων συσσωματωμάτων λόγω του μειωμένου οργανικού περιεχομένου και του χώρου των πόρων (Blake et al., 2007; Blake et al., 2009a). Επιπλέον, η συσσωμάτωση των σωματιδίων αργίλου σε χονδροειδή σύνθετα σωματίδια έχει αποδοθεί στην επίδραση της θέρμανσης του εδάφους με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων που συνδέονται με τα σύνθετα σωματίδια σε σχέση με τα πρωτογενή σωματίδια παρόμοιου μεγέθους (Blake et al., 2005; Giovannini and Lucchesi, 1997; Giovannini et al., 1988). Οι πιθανές συνέπειες που προκύπτουν από τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς στα σωματίδια του εδάφους μπορεί να περιλαμβάνουν αύξηση στην αποθήκευση του λεπτού ιζήματος και ενδεχομένως καθυστερημένη απελευθέρωση των ρυπαντών μετά τη φωτιά από υποβαθμισμένα συσσωματώματα (Blake et al., 2009a).

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους, μια πυρκαγιά μπορεί να ενισχύσει την παροχή του ιζήματος που μεταφέρεται στα ρέματα οδηγώντας σε αύξηση της ποσότητας αυτού. Η παροχή αυτή προσδιορίζεται με τη μέτρηση της μεταφερόμενης ποσότητας και του φορτίου του ιζήματος του ρέματος. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζεται η ετήσια μεταφερόμενη ποσότητα του αιωρούμενου ιζήματος τον πρώτο χρόνο μετά την πυρκαγιά για διάφορες χώρες καθώς και μια σύγκριση που δείχνει πόσο αυξήθηκε η ποσότητα του ιζήματος σε σχέση με ποσότητες πριν την πυρκαγιά.

Πίνακας 10: Ετήσιες μεταφερόμενες ποσότητες αιωρούμενου ιζήματος μετά από πυρκαγιά σε δασικές λεκάνες απορροής (Lane et al. 2006; Reneau et al., 2007; Sheridan et al., 2007b; Wilkinson et al., 2009).

Τοποθεσία	Έκταση (km ²)	Ετήσια ποσότητα αιωρούμενου ιζήματος τον 1 ^ο χρόνο μετά την πυρκαγιά σε t ha ⁻¹ year ⁻¹ (και φορτίο σε t)	Ετήσια ποσότητα αιωρούμενου ιζήματος τα επόμενα χρόνια μετά την πυρκαγιά σε t ha ⁻¹ year ⁻¹ (και φορτίο σε t)	Σύγκριση των ποσοτήτων του 1 ^{ου} χρόνου μετά την πυρκαγιά με ποσότητες πριν την πυρκαγιά
East Kiewa River, NE Victoria, Australia	1.36	2.05 (280)	2 ^ο χρόνος: 0.39 (56)	8-9
New Mexico, USA	16.6	9 (14,913)	2 ^ο χρόνος: 5.2 (8,637), 3 ^ο χρόνος: 2.1 (3,472), 4 ^ο χρόνος: 0.74 (1,232), 5 ^ο χρόνος: 0.67 (1,120)	106
Little River, Blue Mountains, Australia	183	0.21 (3,843)	2 ^ο χρόνος: 1.02 (18,666)	104-250
Ovens River, Victoria, Australia	495	0.83 (41,260)	2 ^ο χρόνος: 0.26 (12,678), 3 ^ο χρόνος: 0.05 (2,588)	24
Dargo River, Victoria, Australia	676	0.22 (14,854)	2 ^ο χρόνος: 0.30 (20,131), 3 ^ο χρόνος: 0.4 (27,188)	21
Tambo River-2, Victoria, Australia	895	0.37 (32,967)	2 ^ο χρόνος: 0.35 (31,386), 3 ^ο χρόνος: 0.07 (6,101)	171
Mitta Mitta River	1,533	3.3 (511,559)	2 ^ο χρόνος: 0.54 (83,374), 3 ^ο χρόνος: 0.68 (104,170)	168

Το εύρος των μεταφερόμενων ποσοτήτων του αιωρούμενου ιζήματος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι, η βροχόπτωση της οποίας το μέγεθος, η ένταση και η συχνότητα μετά την πυρκαγιά μαζί με τα βασικά συμβάντα ροής αποτελούν τους βασικούς οδηγούς της διάβρωσης και της μεταφοράς του ιζήματος σε πολλές καμένες λεκάνες απορροής, η έκταση και η σοβαρότητα του καψίματος της λεκάνης απορροής, οι διεργασίες διάβρωσης, οι πηγές του ιζήματος (π.χ. τοποθεσία και συνδεσιμότητα σε μεγάλα ρέματα των παραποτάμων) και οι επιπτώσεις κλίμακα (όπως αυξανόμενες δυνατότητες αποθήκευσης

ιζήματος με αύξηση του μεγέθους της λεκάνης απορροής) (Cannon et al., 2008; Lane et al., 2006; Malmon et al., 2007; Moody and Martin, 2009; Prosser and Williams, 1998; Reneau et al., 2007; Robichaud et al., 2007; Sheridan et al., 2007a). Με βάση τον Πίνακα 10, οι ποσότητες του ιζήματος μειώνονται μετά τον πρώτο χρόνο καθώς αποκαθίσταται η κάλυψη με βλάστηση και οι επιπτώσεις της πυρκαγιάς στις υδρολογικές ιδιότητες του εδάφους (π.χ. αλλαγές στην αντοχή του εδάφους στο νερό) μειώνονται στα επίπεδα πριν την πυρκαγιά. Παρόλα αυτά, παρατηρούνται ορισμένες αυξήσεις στις ποσότητες του αιωρούμενου ιζήματος τα μετέπειτα χρόνια οι οποίες μπορεί να οφείλονται στα μεγάλα συμβάντα βροχόπτωσης που έχουν αντίκτυπο στις μερικώς ανακτηθείσες λεκάνες απορροής και στις ροές των καταγίδων στα ρέματα των παραποτάμων οι οποίες κινητοποιούν ξανά τις αποθέσεις ιζημάτων από προηγούμενα συμβάντα ροής μετά από πυρκαγιά (Mayor et al., 2007; Moody and Martin, 2001; Wilkinson et al., 2009).

Πέρα από το αιωρούμενο ίζημα που μπορεί να μεταφέρει ουσίες που αλλοιώνουν την ποιότητα του νερού και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς μετά από πυρκαγιές υπάρχει και η τέφρα η οποία έχει εξίσου αρνητικό αντίκτυπο. Πιο συγκεκριμένα, οι αποθέσεις τέφρας μετά από πυρκαγιά μπορεί να σχηματίσουν μια μεγάλη αποθήκη σωματιδιακού άνθρακα (κάρβουνο, μαύρος άνθρακας) και να περιέχουν αυξημένες συγκεντρώσεις διαφόρων θρεπτικών, ιχνοστοιχείων καθώς και άλλων πιθανών ρυπαντών (Amiro et al., 1996; Goforth et al., 2005; Johansen et al., 2003). Η αξιολόγηση της χημικής σύστασης της τέφρας παρουσιάζει ορισμένες δυσκολίες λόγω του υψηλού επιπέδου μεταβλητότητας το οποίο εξαρτάται από τον τύπο της βλάστησης και το τμήμα του καμένου φυτού (φλοιός, ξύλο ή φύλλα), το κλίμα, τον τύπο του εδάφους και τις συνθήκες της καύσης (Demeyer et al., 2001; Someshwar, 1996). Για παράδειγμα, έχει βρεθεί ότι, το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) είναι το κύριο συστατικό της τέφρας του ξύλου (άσπρης τέφρας) μαζί με άλλα ανθρακικά και οξειδία των μετάλλων και του πυριτίου (Demeyer et al., 2001). Επίσης, έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί σε καμένο κωνοφόρο δάσος και δασότοπο πεύκου-δρυός στη Βόρεια Καλιφόρνια σχετικά με τις συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα και αζώτου έχει δείξει ότι, οι συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα και αζώτου σε μαύρη τέφρα η οποία σχηματίζεται από ατελή καύση ήταν 7-17 και 5.2-10.5 φορές αντίστοιχα μεγαλύτερη από τις συγκεντρώσεις σε άσπρη τέφρα (Demeyer et al., 2001; Goforth et al., 2005). Τέλος, έχει προσδιοριστεί ότι, η τέφρα παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα ως προς την συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων ανάλογα με το είδος της βλάστησης. Για παράδειγμα, οι συγκεντρώσεις του σιδήρου (Fe), του μαγγανίου (Mn), του ψευδαργύρου (Zn) και του χαλκού (Cu) ήταν $1,466 \text{ mg kg}^{-1}$, $2,570 \text{ mg kg}^{-1}$, 201 mg kg^{-1} και 57 mg kg^{-1} αντίστοιχα για τέφρα από καμένο πεύκο ενώ για την τέφρα που σχηματίστηκε από πεσμένα φύλλα ευκαλύπτου προσδιορίστηκαν $600-10,000 \text{ mg kg}^{-1}$ σε Fe, $60-100,000 \text{ mg kg}^{-1}$ σε Mn, $20-370 \text{ mg kg}^{-1}$ σε Zn και $12-340 \text{ mg kg}^{-1}$ σε Cu (Ferreira et al., 2005; Khanna et al., 1994).

3.2. Γενική εισαγωγή στις πλημμύρες

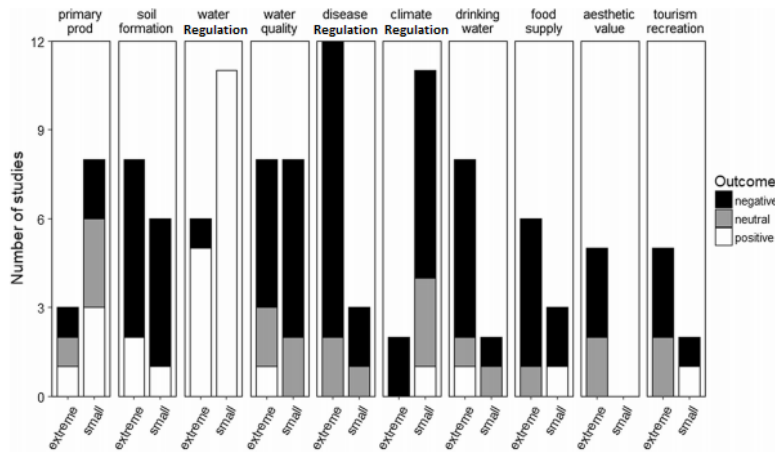
Η πλημμύρα είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η άμεση απορροή (επιφανειακή και ταχεία υπεδάφια) είναι τόσο σημαντική ώστε η συνολική παροχή να υπερβαίνει την διοχετευτική ικανότητα του ρέματος και να κατακλύζει τις περιοχές που γειτνιάζουν με το ρέμα (Τσακίρης, 1995). Ο μεγαλύτερος κίνδυνος ο οποίος σχετίζεται με την πλημμύρα είναι η μετακίνηση μεγάλων όγκων νερού σε μικρό χρονικό διάστημα και η απότομη άνοδος της στάθμης του νερού στις παραποτάμιες περιοχές με όλες τις δυσμενείς και καταστροφικές επιπτώσεις (Αλεξιάκης, 2010). Τα συμβάντα πλημμύρας οφείλονται κυρίως σε φυσικά αίτια όπως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις ή το λιώσιμο του πάγου και του χιονιού στις κορυφές των βουνών. Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες όπως είναι η αποψίλωση των δασών, η δημιουργία φραγμάτων, η κατασκευή αδιαπέραστων επιφανειών όπως δρόμοι που δεν επιτρέπουν στο νερό να περάσει μέσα από το έδαφος, η κατασκευή γεφυρών πάνω από ποτάμια που μπορεί να καθυστερεί την αποφόρτιση του νερού, μειώνοντας την ικανότητα του ποταμού να συγκρατεί περισσότερο νερό, η δόμηση στα ρέματα καθώς και η κλιματική αλλαγή επηρεάζουν τη συχνότητα εμφάνισης τους, οδηγώντας σε αύξηση του κινδύνου που μπορεί να διατρέχει μια περιοχή (Greentumble, 2016; Smith, 2017).

Ανάλογα με τα αίτια δημιουργίας τους, οι πλημμύρες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες (Σουλιώτης, 2018):

- Παράκτιες πλημμύρες. Οι παράκτιες πλημμύρες προκαλούνται από τους έντονους κυματισμούς που είναι πιθανό να δημιουργηθούν από τις έντονες καταιγίδες σε συνδυασμό με τους ισχυρούς ανέμους στα ανοιχτά της θάλασσας.
- Ποτάμιες πλημμύρες. Οι ποτάμιες πλημμύρες επηρεάζονται κυρίως από κλιματολογικούς παράγοντες όπως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις σε μεγάλες λεκάνες απορροής ή το λιώσιμο στρώματος χιονιού που συσσωρεύτηκε τη χειμερινή περίοδο.
- Ξαφνικές πλημμύρες. Οι ξαφνικές πλημμύρες είναι το πιο συνηθισμένο είδος πλημμύρας το οποίο έχει τα περισσότερα θύματα και προκαλούνται κυρίως από ισχυρές καταιγίδες και παρόλο που δεν διαρκούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, η ποσότητα του νερού που πέφτει μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την υπερχειλίση χειμάρρων, ρεμάτων και ποταμών.

Οι πλημμύρες αποτελούν το 1/3 των φυσικών καταστροφών και επηρεάζουν τους ανθρώπους περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη καταστροφή (Sivakumar, 2011) καθώς προκαλούν ασθένειες, ζημιές και απώλειες ζωής, ιδιοκτησίας και υποδομών καθώς και διακοπή των δημόσιων υπηρεσιών. Για παράδειγμα, οι πλημμύρες έχουν ως συνέπεια επικίνδυνες κατολισθήσεις, απώλειες καλλιεργειών και ζώων, διακοπή των κανονικών συστημάτων αποστράγγισης, διαρροή ακατέργαστων λυμάτων και ζωικών αποβλήτων και επιταχυνόμενη απόρριψη των βιομηχανικών και αστικών τοξικών υλικών και θρεπτικών στις υδάτινες οδούς. Με βάση τα ανωτέρω εξάγεται το συμπέρασμα ότι, οι πλημμύρες παρουσιάζουν οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι επιπτώσεις αυτές είναι κυρίως αρνητικές αλλά αυτό δεν ισχύει πάντα καθώς όταν δεν είναι ακραίες, οι πλημμύρες μπορεί να παρέχουν πολλά

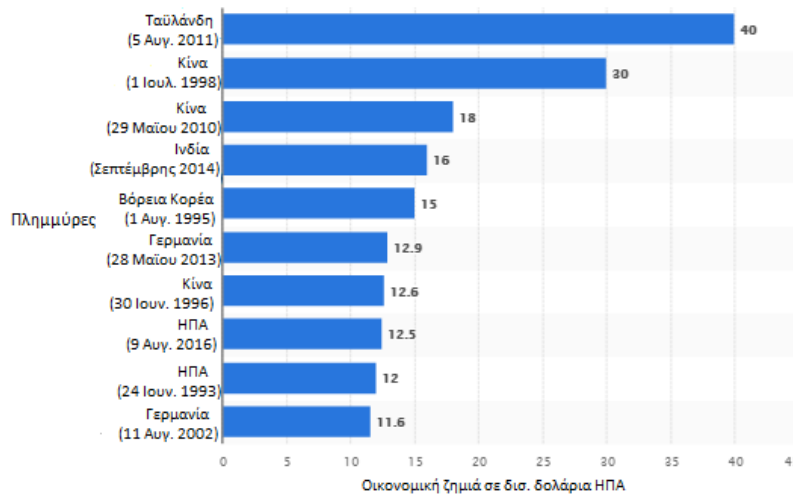
οφέλη όπως είναι η επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων, η αύξηση της παραγωγής ψαριών, η δημιουργία οικοτόπων άγριας πανίδας, η επαναφόρτιση των υδροτόπων, η κατασκευή πλημμυρικών περιοχών και η αναζωογόνηση της γονιμότητας του εδάφους (Εικ. 13) (Atta-ur-Rahman and Khan, 2011; Euripidou and Murray, 2004; Hong et al., 2007; Hubbard et al., 2011; Poff, 2002).



Εικόνα 13:Αριθμός μελετών που προέκυψαν από συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση με αρνητικά, ουδέτερα και θετικά αποτελέσματα σε δέκα υπηρεσίες υδάτινων οικοσυστημάτων μετά από μικρές και ακραίες πλημμύρες (Talbot et al., 2018).

Οι συνέπειες των πλημμυρών και των μέτρων που θα μπορούσαν να ληφθούν με στόχο τη μείωση των επιπτώσεων μιας πλημμύρας χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής καθώς οι οικονομικές και οι ασφαλισμένες απώλειες εξαιτίας των ακραίων πλημμυρών έχουν αυξηθεί παρόλο που οι επενδύσεις της προστασίας από τις πλημμύρες έχουν επίσης αυξηθεί (Munich, 2005). Αυτό οφείλεται στην κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη και στις πολιτικές χωροταξικού σχεδιασμού καθώς φαίνεται ότι, ο πληθυσμός έχει αυξηθεί κοντά στις περιοχές που είναι ευπαθείς σε πλημμύρες π.χ. κοντά σε ποτάμια ή ρέματα με αποτέλεσμα την αύξηση του δυναμικού των ζημιών δηλαδή του ποσού των περιουσιακών στοιχείων στις περιοχές που είναι ευπαθείς σε πλημμύρες (Dobrovicova et al., 2015).

Από το 1990, έχουν σημειωθεί πάνω από τριάντα πλημμύρες από τις οποίες είτε οι οικονομικές απώλειες ξεπέρασαν το 1 δισεκατομμύριο δολάρια, είτε ο αριθμός των θανάτων ήταν μεγαλύτερος από 1,000 είτε συνέβησαν και τα δύο. Ο υψηλότερος αριθμός σε οικονομικές ζημιές της δεκαετίας του 1990 λόγω πλημμύρας ήταν της τάξης των 30 δισεκατομμυρίων δολαρίων και καταγράφηκε στην Κίνα τον Ιούλιο του 1998 (Εικ. 14) ενώ μια καταιγίδα στο Μπαγκλαντές τον Απρίλιο του 1991 προκάλεσε τον υψηλότερο αριθμό θανάτων (περίπου 140,000) (Dobrovicova et al., 2015).



Εικόνα 14: Οικονομική ζημιά που προκλήθηκε από τις σοβαρότερες πλημμύρες παγκοσμίως για τα έτη 1900-2016 (Statista, 2019).

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι, οι πιο καταστροφικές πλημμύρες συμβαίνουν στις αναπτυγμένες χώρες. Πιο συγκεκριμένα, τα έτη 1998 και 2004, οι πλημμύρες στο Μπαγκλαντές προκάλεσαν ζημιές ύψους 2.8 και 2.2 δισεκατομμύρια δολάρια δηλαδή περίπου 7% του ΑΕΠ του, στην Κίνα, οι ζημιές αντιπροσωπεύουν το 1-3% του ΑΕΠ της και στην Ιαπωνία υπολογίζονται σε 0.1% του ΑΕΠ της. Ο πλούτος μιας χώρας καθορίζει το ποσό των κεφαλαίων που μπορούν να δαπανηθούν για την προστασία από τις πλημμύρες και μπορεί να εκφραστεί μέσω του ετήσιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Στις εν λόγω χώρες αυτό ποικίλει από 2,000 δολάρια στο Μπαγκλαντές έως περίπου 40,000 δολάρια στις ΗΠΑ (Vanalphen and Lodder, 2006).

Εκτός από τις χώρες εκτός Ευρώπης που αντιμετώπισαν τις πιο δραματικές ακραίες πλημμύρες και η Ευρώπη είχε αρκετά συμβάντα πλημμύρας με υλικές ζημιές οι οποίες κόστισαν πάνω από 1 δισεκατομμύριο και των οποίων η αύξηση έχει εντείνει την ανησυχία των Ευρωπαϊκών Εθνών. Μετά από τα καταστροφικά συμβάντα πλημμύρας της δεκαετίας του 1990 στην Ευρώπη, ο 21^{ος} αιώνας μαρτύρησε αρκετές καταστροφικές πλημμύρες οι οποίες είχαν είτε οικονομικές απώλειες, είτε κοινωνικές απώλειες είτε και τα δύο. Η απόλυτη καταγραφή ετήσιας απώλειας λόγω πλημμύρας στην Ευρώπη παρατηρήθηκε τον Αύγουστο του 2002 όπου η υλική ζημιά ξεπέρασε τα 20 δισεκατομμύρια € σε ονομαστική αξία (Πιν. 11). Αυτή η πλημμύρα κατέστρεψε τις ιστορικές πόλεις της Πράγας και της Δρέσδης. Επίσης, σημαντικές μεγάλες πλημμύρες σημειώθηκαν στην Ευρώπη τα έτη 2005, 2007 και 2010 (Kundzewicz et al., 2013). Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, μετά από έντονες βροχοπτώσεις υπήρξε μια δραματική αύξηση στα επίπεδα των Ευρωπαϊκών ποταμών το έτος 2013 όπως για παράδειγμα στη Γερμανία και στην Τσέχικη Δημοκρατία οι οποίες έφεραν επίσης θύματα και την δήλωση του υψηλότερου επιπέδου της πλημμυρικής δραστηριότητας (Dobronicova et al., 2015).

Πίνακας 11: Πλημμύρες στην Ευρώπη με σημαντικές συνέπειες (ΕΕΑ, 2010).

Χρόνος	Μήνας	Περιοχή	Αριθμός θυμάτων	Οικονομικές Απώλειες (εκ. €)
1999	Μάιος	Γερμανία, Ελβετία, Λιχτενστάιν και Αυστρία	5	805 (370 Γερμ. +435 (Ελβετία))
	Ιούνιος	Ρουμανία	19	-
	Νοέμβριος	Γαλλία	33	570
2000	Απρίλιος	Ρουμανία, Ουγγαρία, Σερβία, Ουκρανία	9	400 (Ρουμανία)
	Οκτώβριος-Νοέμβριος	Αγγλία, Ουαλία	10	1,400
	Οκτώβριος	Ιταλία, Γαλλία, Σουηδία και Ιταλικές Άλπεις	29	11,700
2001	Ιούνιος	Ρουμανία	7	220
	Ιούλιος	Πολωνία	25	810
2002	Αύγουστος	Γερμανία, Τσέχικη Δημοκρατία (ΤΔ) και Αυστρία	-	20,900 (13,700 Γερμ. +3,500+3,700 Αυστρία)
	Σεπτέμβριος	Γαλλία	47	1,500
	Νοέμβριος-Δεκέμβριος	Ιταλία	23	440
2003	Ιανουάριος	Ιταλία	-	150
	Φεβρουάριος	Ελλάδα	-	650
	Αύγουστος	Ιταλία	3	510
	Δεκέμβριος	Γαλλία	7	1,600
2004	Αύγουστος	Αγγλία	-	700
2005	Απρίλιος-Μάιος	Ρουμανία-Σερβία	-	565
	Μάιος-Αύγουστος	Βουλγαρία	24	335
2006	Ιούλιος-Αύγουστος	Ρουμανία	85	1,200
	Αύγουστος	Ελβετία, Αυστρία, Γερμανία	11	2,810 (190 Γερμ. +620 Αυστρία+2,000 Ελβετία)
	Μάρτιος	Ελλάδα	-	410
2007	Μάρτιος-Μάιος	Ουγγαρία, Σλοβακία, Σερβία, Αυστρία, Γερμ. Τσέχικη Δημ.	12	800 (590 Ουγγ. +210 Τσέχικη Δημ.)
	Ιούνιος	Ρουμανία	44	-
	Οκτώβριος-Νοέμβριος	Τουρκία	47	-
2008	Μάιος	Ισπανία	-	310
	Ιούνιος	Αγγλία	-	270
	Ιούνιος	Β. Αγγλία και Ουαλία	-	1,900
	Ιούλιος	Αγγλία	-	1,900
	Αύγουστος	Ελβετία	6	290
	Σεπτέμβριος	Σλοβενία	7	245
2009	Ιούλιος	Ρουμανία	5	440
	Δεκέμβριος	Ιταλία	3	290
2009	Ιούνιος	Τσέχικη Δημοκρατία (ΤΔ) και Πολωνία	-	450 (200 ΤΔ + 250 Πολωνία)
	Σεπτέμβριος	Τουρκία	14	-
	Οκτώβριος	Ιταλία	31	100
	Νοέμβριος	Αγγλία και Ν. Σκωτία	35	230

Σύμφωνα με τον Πίνακα 11, τα συμβάντα πλημμύρας που συνέβησαν τη χρονική περίοδο από το 1999 έως το 2009 οδήγησαν σε 541 ανθρώπινους θανάτους. Τα πιο θανατηφόρα συμβάντα διαδραματίστηκαν το 2005 στη Ρουμανία με 85 νεκρούς, το 2006 στην Τουρκία και στη Ρουμανία με 47 και 44 νεκρούς αντίστοιχα και το 2009 στην Ιταλία με 35 νεκρούς (ΕΕΑ, 2010). Επίσης, τον Ιούνιο του έτους 2013, διενεργήθηκε μια σειρά από σιγμιαίες πλημμύρες στην Ινδία και το Νεπάλ που ήταν η πιο θανατηφόρα καταστροφή των 460 καταγεγραμμένων φυσικών συμβάντων επικινδυνότητας παγκοσμίως καθώς είχε πάνω από 1,000 νεκρούς μετά από εξαιρετικά έντονες βροχές μουσώνων. Επιπλέον, η πιο δαπανηρή φυσική καταστροφή ήταν οι ποτάμιες πλημμύρες που έπληξαν τη νότια και ανατολική Γερμανία τον Μάιο και τον Ιούνιο του 2013 και προκάλεσαν μια ζημιά αξίας άνω των 16 δισεκατομμυρίων δολαρίων (κυρίως στη Γερμανία). Τέλος, σε ορισμένες περιοχές, η βροχόπτωση ήταν πάνω από 400 L m^{-2} σε διάστημα μερικών ημερών, γεγονός που οδήγησε σε ταχεία αύξηση των ποτάμιων συστημάτων του Δούναβη και του Έλβα (News.com.au, 2013). Για παράδειγμα, το έτος 2013, στη Σλοβακία καταγράφηκε η υψηλότερη στάθμη του ποταμού Δούναβη εξαιτίας ενός κύματος πλημμύρας που προήλθε από τη Γερμανία και μετά από την Αυστρία. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, ιστορικά ήταν η τρίτη μεγαλύτερη πλημμύρα στην Μπρατισλάβα (όσον αφορά τη μέγιστη ροή) καθώς δεν είχε περάσει περισσότερο νερό στην κλίση του ποταμού τα τελευταία 113 χρόνια. Η στάθμη του νερού ανέβηκε μέχρι και 1,034 cm με μέγιστη παροχή τα $10,641 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ αλλά λόγω του σχεδίου πλημμύρας που είχε αναπτυχθεί το οποίο κόστισε 32.5 εκ. € και συγχρηματοδοτήθηκε από την Σλοβακία με το ποσό των 4.8 εκ. €, το ποσοστό των ζημιών που προκλήθηκαν μειώθηκε κατά 98% σε σχέση με τις ζημιές που είχε προκαλέσει η πλημμύρα στο Δούναβη το έτος 2002 (Dobrovicova et al., 2015).

Πέρα από τις οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις που αναδύονται από τις πλημμύρες υπάρχουν και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες παρουσιάζουν τόσο θετικές όσο και αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον. Οι θετικές συνέπειες οι οποίες εμφανίζονται κατά κύριο λόγο όταν οι πλημμύρες δεν είναι ακραίες είναι οι ακόλουθες (Queensland Government, 2015):

- Αναπλήρωση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων.
- Εξάπλωση της οργανικής ουσίας, των θρεπτικών και των ιζημάτων που εμπλουτίζουν τα εδάφη των πλημμυρικών περιοχών.
- Ενεργοποίηση των διαδικασιών ζωής όπως είναι τα συμβάντα αναπαραγωγής, η αποδημία και η διασπορά σπόρων στην χλωρίδα και την πανίδα που προσαρμόζονται σε αυτούς τους κύκλους.
- Δημιουργία βοσκοτόπων και καλλιεργειών λόγω της καλής υγρασίας του εδάφους.

Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε, οι πλημμύρες παρουσιάζουν και αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον οι οποίες παραθέτονται ακολούθως (Alberta Water Portal, 2018):

- Διάβρωση της ποτάμιας όχθης η οποία προκαλείται λόγω της μετακίνησης του νερού με πολύ υψηλή ταχύτητα και έχει ως συνέπεια τη μεταφορά ιζήματος στις κλίνες των ποταμών και των ρεμάτων. Το ίζημα αυτό δρα ως μη σημειακή πηγή ρύπανσης του

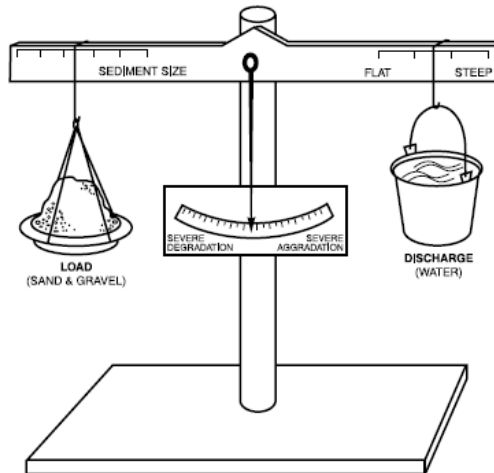
νερού που μπορεί να φράξει τις κλίνες των ποταμών και των ρεμάτων καθώς και να μειώσει την αποθηκευτική ικανότητα των ταμιευτήρων και των υγροτόπων (Alberta Water Portal, 2018).

- Αρνητική επίδραση στην άγρια πανίδα και στα ζώα των αγροκτημάτων λόγω των μεγάλων ποσοτήτων νερού. Πιο συγκεκριμένα, εάν μια πλημμύρα είναι μεγάλη μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της άγριας πανίδας και της βιοποικιλότητας στην πλημμυρισμένη περιοχή οδηγώντας σε μείωση του επιπέδου της βιοποικιλότητας, του δυναμικού των ενδιαιτημάτων και των τροφίμων που υπάρχουν στο οικοσύστημα και δημιουργώντας μακροπρόθεσμες επιπτώσεις για την επιβίωση της άγριας πανίδας. Για παράδειγμα, μετά τις πλημμύρες του 2011 στην Κουίνσλαντ της Αυστραλίας, χιλιάδες ζώα πέθαναν εξαιτίας του νερού που πλημμύρισε τα ενδιαιτήματά τους. Επιπλέον, ζώα που δεν μπόρεσαν να μετακινηθούν σε υψηλότερο έδαφος με την πάροδο του χρόνου απομακρύνθηκαν από τα πλημμυρικά νερά ή παρέμειναν σε μολυσμένο νερό μέχρι να διασωθούν (Dumas, 2011).
- Υποβάθμιση της ποιότητας του νερού και του εδάφους καθώς το νερό των πλημμυρών μπορεί να περιέχει επικίνδυνες ουσίες όπως είναι τα ιχνοστοιχεία (Alberta Water Portal, 2018).
- Αλλαγή των τοπικών τοπίων και των ενδιαιτημάτων. Πιο συγκεκριμένα, στις αστικές περιοχές, οι πλημμύρες μπορούν να γίνουν εξαιρετικά επιζήμιες και δαπανηρές καθώς επιδρούν αρνητικά στις κατοικίες, τις υποδομές και τις επιχειρήσεις (Alberta Water Portal, 2018).

3.2.1. Επίδραση των πλημμυρών στα ιζήματα των ρεμάτων

Τα κανάλια των ρεμάτων αποτελούν δυναμικά χαρακτηριστικά του τοπίου που μεταβάλλουν το μέγεθος, το σχήμα και το υλικό της κλίνης με την πάροδο του χρόνου και σύμφωνα με τις μεταβολές στη ροή του νερού και στο φορτίο του ιζήματος. Το κινητό υλικό που συνθέτει την κλίση, την όχθη και την πλημμυρική περιοχή ενός ρέματος μεταφέρεται και αποτίθεται στο ρέμα και μπορεί να μετακινείται ανάλογα με τις συνθήκες (Till et al., 2000).

Ένα κανάλι ρέματος μπορεί να θεωρηθεί σχετικά σταθερό όταν η ροή του νερού και του ιζήματός του βρίσκονται σε ισορροπία με την πάροδο του χρόνου (Εικ. 15). Εάν αλλάξει ένας από τους δύο παράγοντες το κανάλι θα προσαρμόσει ανάλογα την πλαγιά, το βάθος, το πλάτος, την σύνθεση της κλίνης και την πυκνότητα της βλάστησης. Η έκταση και ο ρυθμός αυτών των προσαρμογών εξαρτάται από την έκταση και τον ρυθμό της μεταβολής στη ροή του νερού και στο φορτίο του ιζήματος (Till et al., 2000).



Εικόνα 15: Η ισορροπία του ρέματος (Till et al.,2000).

Η μεταφορά του επιφανειακού νερού στα ρέματα μπορεί να συμβεί μέσω ενός συστήματος καναλιών δύο σταδίων το οποίο περιλαμβάνει (Till et al.,2000):

1. Το κανάλι υπερχείλισης της κοίτης το οποίο έχει την ικανότητα να μεταφέρει τις πλημμυρικές ροές που συμβαίνουν κατά μέσο όρο μια φορά στα δύο χρόνια.
2. Το κανάλι χαμηλής ροής που μεταφέρει μικρές ροές μαζί με πλημμύρες οι οποίες δημιουργούνται από εισροή των υπόγειων υδάτων κατά μήκος της κοιλάδας ενός ποταμού.
3. Την πλημμυρική περιοχή στην οποία θα διαρρεύσουν τα πλημμυρικά ύδατα όταν ένα συμβάν ροής υπερβεί την ικανότητα υπερχείλισης της κοίτης.

Οι αλλαγές στα ρέματα συμβαίνουν κυρίως όταν το κανάλι υπερχείλισης της κοίτης είναι γεμάτο από νερό. Αυτό είναι το επίπεδο στο οποίο το νερό έχει τη μέγιστη ισχύ ώστε να μετακινήσει το ιζήμα. Όταν αυτός ο όγκος ροής ξεπεραστεί, το νερό ανεβαίνει πάνω από το επίπεδο του καναλιού και υπερχειλίζει στην πλημμυρική περιοχή μειώνοντας δραματικά τη μέση ταχύτητα ροής και κατά συνέπεια την ισχύ του. Καθώς η ισχύς του νερού μειώνεται, η ικανότητα μεταφοράς του ιζήματος γίνεται τέτοια ώστε μεγάλες ποσότητες ιζήματος να αποτίθενται στην πλημμυρική περιοχή κατά τη διάρκεια συμβάντων πλημμύρας (Till et al.,2000).

Τα ιζήματα που μεταφέρονται στην πλημμυρική περιοχή κατά τη διάρκεια των συμβάντων πλημμύρας είναι φορείς ιχνοστοιχείων. Επομένως, οι πλημμύρες παίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταφορά τοξικών μετάλλων που συνδέονται με το σωματιδιακό υλικό ιδιαίτερα σε σοβαρά μολυσμένες λεκάνες απορροής όπου τόσο οι συγκεντρώσεις του αιωρούμενου υλικού όσο και το περιεχόμενο των ρύπων αυξάνουν με την αύξηση της αποφόρτισης ιδιαίτερα στο πρώιμο στάδιο των πλημμύρων (Ciszewski and Grygar, 2016). Έχει βρεθεί ότι, οι περίοδοι χαμηλών ροών σε ξηρές εποχές οδηγούν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στα ιζήματα της κλίνης του καναλιού ενώ οι υγρές εποχές χαρακτηρίζονται από χαμηλότερο περιεχόμενο μετάλλων στην κλίση και υψηλότερο στα αιωρούμενα ιζήματα. Επίσης, οι φυσικές εποχιακές μεταβολές μπορεί να επιδεινώνονται με την αλλαγή των

οξειδοαναγωγικών συνθηκών στον πυθμένα του ποταμού η οποία συνδέεται με τις μεταβαλλόμενες περιεκτικότητες σε οργανική ύλη και οξείδια του μαγγανίου (Mn) και σιδήρου (Fe) στα ιζήματα (Cánonas et al., 2012; He et al., 1997). Επιπλέον, οι πλημμύρες μπορούν να αλλάξουν τη χημεία του ποτάμιου νερού. Για παράδειγμα, η είσοδος του βρόχινου νερού σε όξινα νερά μπορεί να αραιώσει την περίσσεια οξύτητας και να προάγει την υδρόλυση των ιόντων Fe^{3+} ακολουθούμενη από την καθίζηση των οξειδίων του Fe και την προσρόφηση μέρους των διαλυμένων ιχνοστοιχείων στα στερεά σωματίδια (Gaiero et al., 1997).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ρύπανσης ιζήματος από ιχνοστοιχεία σε ένα ποτάμιο σύστημα περιγράφεται στην έρευνα των Pease et al. (2006) που πραγματοποιήθηκε σε ιζήματα που αποτέθηκαν στην πλημμυρική περιοχή του ποταμού Tar στην Βορειοανατολική Καρολίνα των ΗΠΑ μετά από την πλημμύρα που προκάλεσε ο τυφώνας Floyd, στην οποία συλλέχθηκαν ιζήματα ρεμάτων σε όλη τη λεκάνη απορροής του ποταμού και προσδιορίστηκαν οχτώ μέταλλα τα οποία είναι αρσενικό (As), κοβάλτιο (Co), χρώμιο (Cr), χαλκός (Cu), υδράργυρος (Hg), νικέλιο (Ni), μόλυβδος (Pb) και ψευδάργυρος (Zn). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με βάση τους εννέα προκαταρκτικούς στόχους αποκατάστασης μιας περιοχής (Preliminary Restoration Goals (PRG)) της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) οι οποίοι εγκρίθηκαν από το Τμήμα Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων της Βόρειας Καρολίνας και τις συγκεντρώσεις υποβάθρου των ιζημάτων των ρεμάτων εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Tar που ελήφθησαν από το Εθνικό Πρόγραμμα αξιολόγησης των Πόρων Ουρανίου (National Uranium Resource Evaluation (NURE)) του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ (Πιν. 12).

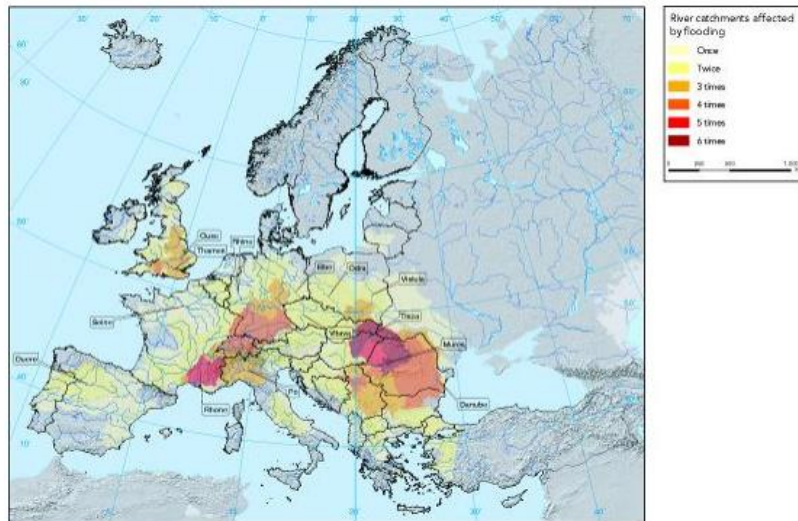
Πίνακας 12: Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων ($mg\ kg^{-1}$) σε ιζήματα ρεμάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Tar μετά από πλημμύρα και σύγκριση με βάση δύο πρότυπα (Pease et al., 2006).

Μέταλλα	As	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Συγκέντρωση διαμέσου από όλα τα δείγματα ($mg\ kg^{-1}$)	4.4	8.0	38.0	23.8	0.01	11.0	33.8	96.0
Τιμές διαμέσων από NURE ($mg\ kg^{-1}$)	2.0	9.0	4.0	3.0	Μη διαθέσιμη	5.0	15.0	10.0
Τιμές από PRG ($mg\ kg^{-1}$)	0.39	4.7	210	2.9	23	1.6	400	23

Από τα ανωτέρω αποτελέσματα φαίνεται ότι, οι τιμές των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα ρεμάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Tar εξαρτώνται από την αναφορά με την οποία συγκρίνονται. Πιο συγκεκριμένα, επτά από τα ιχνοστοιχεία προσδιορίστηκαν παραπάνω σε σχέση με τις τιμές υποβάθρου της διαμέσου για την παράκτια πεδιάδα της Βόρειας Καρολίνας ενώ ήταν πολύ πιο κάτω σε σχέση με τις τιμές από τους PRG της EPA και επομένως, εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι, τα πλημμυρικά ιζήματα επηρεάστηκαν από το συμβάν αλλά δεν φάνηκε να παρουσιάζουν σημαντική οικολογική απειλή (Pease et al., 2006).

3.2.2. Νομοθετικό πλαίσιο για τη διαχείριση των πλημμυρών (Οδηγία 2007/60/ΕΚ)

Λαμβάνοντας υπόψη το αρνητικό αντίκτυπο που έχουν οι πλημμύρες στην ανθρώπινη υγεία και ζωή, στο περιβάλλον, στην πολιτιστική κληρονομιά, στην οικονομική δραστηριότητα καθώς και στις υποδομές δημιουργήθηκε η ανάγκη δημιουργίας ενός νομοθετικού πλαισίου για την διαχείριση των πλημμύρων. Ως εκ τούτου, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο εξέδωσε την Οδηγία 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Η Οδηγία αυτή θεμελιώθηκε μετά από τις καταστροφικές πλημμύρες που συνέβησαν στον Ευρωπαϊκό χώρο το διάστημα 1998-2002 και είχαν 700 ανθρώπινα θύματα, μισό εκατομμύριο άστεγους και οικονομική ζημιά περίπου 25 δισεκατομμύρια € (ΕΕΑ, 2004).



Εικόνα 16: Χάρτης εμφάνισης πλημμυρών στον Ευρωπαϊκό χώρο ανά ποταμό το διάστημα 1998-2002 (ΕΕΑ, 2004).

Δεδομένης της πιθανότητας αύξησης των πλημμυρών στο μέλλον είτε λόγω της αλλαγής του κλίματος είτε λόγω της αύξησης του αριθμού των ανθρώπινων οικισμών και των περιουσιακών στοιχείων που εγκαθίστανται σε ζώνες πλημμυρικού κινδύνου, η Οδηγία 2007/60/ΕΚ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη διαχείριση της πλημμυρικής διακινδύνευσης και θα πρέπει να ακολουθείται πιστά από τα Κράτη-Μέλη προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι μιας ενδεχόμενης πλημμύρας (ΥΠΕΚΑ, 2007).

3.2.2.1. Στάδια εφαρμογής της Οδηγίας

Η εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ γίνεται σε τρία στάδια τα οποία είναι τα εξής (ΥΠΕΚΑ, 2007):

1. Η προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας η οποία περιλαμβάνει μια εκτίμηση των περιοχών οι οποίες είναι περισσότερο εκτεθειμένες σε κάποιο πλημμυρικό κίνδυνο δηλαδή προσδιορίζει τις περιοχές εκείνες στις οποίες υπάρχει ή θα υπάρξει κίνδυνος πλημμύρας. Η αξιολόγηση αυτή βασίζεται σε διαθέσιμες ή εύκολα υπολογιζόμενες πληροφορίες όπως καταγραφές και μελέτες για μακροπρόθεσμες εξελίξεις, κυρίως επιπτώσεις από την αλλαγή του κλίματος σε περίπτωση πλημμύρας,

διεξάγεται με σκοπό να αξιολογηθούν οι δυνητικοί κίνδυνοι και περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Χάρτες της περιοχής της λεκάνης απορροής του ποταμού οι οποίοι περιλαμβάνουν τα όρια των λεκανών απορροής των ποταμών και των παράκτιων ζωνών αν υπάρχουν και περιγράφουν τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά και τη χρήση γης.
 - Αν υπάρχει ακόμη η πιθανότητα μελλοντικών συμβάντων πλημμύρας, απαιτείται η περιγραφή των πλημμυρών που είχαν σημειωθεί κατά το παρελθόν και είχαν αρνητικές περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις η οποία θα περιλαμβάνει την έκταση της πλημμύρας, τις οδούς αποστράγγισης και την αξιολόγηση των αρνητικών επιπτώσεων που προκάλεσαν.
 - Περιγραφή των σημαντικών πλημμυρών που σημειώθηκαν στο παρελθόν μέσω των οποίων θα μπορούσαν να προβλεφθούν οι σημαντικές αρνητικές συνέπειες παρόμοιων φαινομένων στο μέλλον.
 - Αξιολόγηση των πιθανών αρνητικών συνεπειών των μελλοντικών πλημμυρών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα λαμβάνοντας υπόψη ζητήματα όπως η τοπογραφία, η θέση των ρεμάτων και τα γενικά υδρολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους, η αποτελεσματικότητα των υφιστάμενων τεχνητών υποδομών προστασίας από τις πλημμύρες, η θέση των κατοικημένων περιοχών και των περιοχών οικονομικής δραστηριότητας καθώς και οι μακροπρόθεσμες εξελίξεις συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής στη συχνότητα εμφάνισης των πλημμυρών.
2. Η δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας και χαρτών κινδύνου πλημμύρας για τις περιοχές που εκτιμήθηκαν στην προκαταρκτική αξιολόγηση. Οι χάρτες κινδύνου πλημμύρας περιγράφουν τις πιθανές αρνητικές συνέπειες που συνδέονται με τις πλημμύρες και σχετίζονται με τον αριθμό των κατοίκων που ενδέχεται να πληγούν, τον τύπο της οικονομικής δραστηριότητας στην περιοχή που ενδέχεται να πληγεί καθώς και την καταγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών που βρίσκονται σε πιθανό κίνδυνο ενώ οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας αποτυπώνουν το ανάγλυφο της περιοχής που πλημμυρίζεται και την πιθανή έκταση της πλημμύρας.
3. Τα σχέδια διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας τα οποία καταρτίζονται με βάση τους χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και τους χάρτες κινδύνου πλημμύρας και περιλαμβάνουν μέτρα πρόληψης με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών που έχουν οι πλημμύρες στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και στην οικονομική δραστηριότητα.

Τα ανωτέρω στάδια της Οδηγίας θα πρέπει να συγχρονίζονται με τα στάδια της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων με στόχο τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, την ανταλλαγή πληροφοριών καθώς και την επίτευξη κοινών συνεργειών και κοινού οφέλους για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που καθορίζονται στο άρθρο 4 της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ (ΥΠΕΚΑ, 2007).

Η προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας, η σύνταξη χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας και χαρτών κινδύνων πλημμύρας καθώς και τα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας θα έπρεπε να είχαν ολοκληρωθεί από τα κράτη-μέλη στις 22 Δεκεμβρίου 2011, στις 22 Δεκεμβρίου 2013 και στις 22 Δεκεμβρίου 2015 αντίστοιχα. Πέραν της υποχρέωσης δημοσιοποίησης, αυτά τα σχέδια θα έπρεπε να αποτελέσουν αντικείμενο διαβούλευσης με τους κατοίκους και την αυτοδιοίκηση κάθε απειλούμενης περιοχής (Φούρλα, 2017).

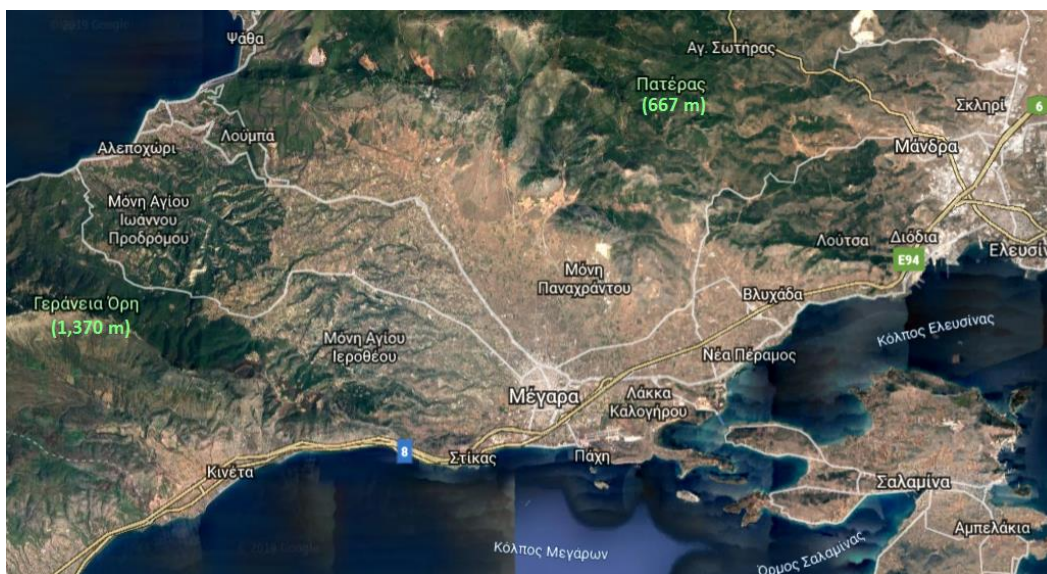
Οι αρμόδιες ελληνικές αρχές δεν συμμορφώθηκαν με τα προαναφερόμενα χρονοδιαγράμματα. Πιο συγκεκριμένα, οι χάρτες επικινδυνότητας και κινδύνων πλημμύρας στάλθηκαν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή λίγο πριν τον Νοέμβριο του έτους 2017 ενώ τα σχέδια διαχείρισης που ήταν τα πιο σημαντικά καταρτίστηκαν τον Φεβρουάριο του έτους 2018. Από τα σχέδια που ετοιμάστηκαν πραγματοποιήθηκε διαβούλευση με το κοινό μόνο για το σχέδιο του Εύρου και όχι για τη Νέα Πέραμο η οποία κατά την διάρκεια της καταστροφικής πλημμύρας του έτους 2017, είχε υποστεί εκτεταμένες ζημιές κυρίως λόγω των συντριμμιών και των φερτών υλικών που μεταφέρθηκαν από ζημιές σε ιδιοκτησίες και επιχειρήσεις. Σύμφωνα με την προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας που διεξήχθη για το νομό Αττικής από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και κλιματικής αλλαγής, η Νέα Πέραμος χαρακτηρίστηκε ως εξαιρετικά επιρρεπής σε πλημμύρες καθώς παρουσίαζε υψηλή πυκνότητα κατοίκησης και ανισόπεδη κατοίκηση. Η Μάνδρα η οποία βρίσκεται 10 km βορειοανατολικά δίπλα σε πλαγιά βουνού, θα έπρεπε να είχε συμπεριληφθεί στην αξιολόγηση κινδύνων καθώς παρουσίαζε παρόμοιους κινδύνους για ανθρώπους, οικισμούς και καλλιέργειες. Επομένως, ζητήθηκε μια επαναξιολόγηση της κατάστασης από πλευράς επικινδυνότητας και χαρτογράφησης καθώς και η άμεση έγκριση και δημοσίευση των σχεδίων διαχείρισης (Φούρλα, 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνεται παρουσίαση των γεωμορφολογικών, γεωλογικών και πληθυσμιακών χαρακτηριστικών των περιοχών έρευνας δηλαδή της Κινέτας και της Νέας Περάμου καθώς και παρουσίαση στοιχείων των φυσικών καταστροφών (πυρκαγιά, πλημμύρα) που έπληξαν τις δύο περιοχές.

4.1. Περιοχή Κινέτας

Η περιοχή της Κινέτας ανήκει στο δήμο Μεγάρων της Περιφερειακής Ενότητας δυτικής Αττικής που βρίσκεται στην περιφέρεια Αττικής, σύμφωνα με την διοικητική διαίρεση της Ελλάδας όπως διαμορφώθηκε με το πρόγραμμα “Καλλικράτης” (Δήμος Μεγαρέων, 2016). Η λεκάνη των Μεγάρων αναπτύσσεται μεταξύ δύο παράλληλων οροσειρών οι οποίες είναι η οροσειρά του “Πατέρα” (υψόμετρο 667 m) στα βορειοανατολικά κάτω από την οποία βρίσκεται η Νέα Πέραμος και η οροσειρά των “Γερανείων” (υψόμετρο 1,370 m) στα δυτικά-νοτιοδυτικά κάτω από την οποία βρίσκεται η περιοχή της Κινέτας (Εικ. 17).



Εικόνα 17: Χαρτογραφική απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής των Μεγάρων μέσω του Google Earth.

Η Κινέτα έχει υψόμετρο 19 m από την επιφάνεια της θάλασσας, με γεωγραφικό πλάτος 37.9670933373 και γεωγραφικό μήκος 23.2094674615 και βρέχεται από τον Αργοσαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα τον Σαρωνικό. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται βόρεια από τις ακτές του νομού Αττικής, βορειοδυτικά και δυτικά από τις ακτές του Νομού Κορινθίας και νοτιοδυτικά από τις ακτές του Νομού Αργολίδος (Εικόνα 18) (Δήμος Μεγαρέων, 2016). Λόγω της γειτνίασής της με την Αθήνα, η περιοχή της Κινέτας αποτελεί μια από τις ταχύτατα τουριστικά αναπτυσσόμενες παράκτιες περιοχές με τον πληθυσμό της να αυξάνεται με την πάροδο των ετών, φτάνοντας τους 1972 κατοίκους το έτος 2001 σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) (ΕΛΣΤΑΤ, 2001).



Εικόνα 18: Γεωγραφική απεικόνιση της περιοχής της Κινέτας μέσω του Google Map

Η περιοχή της Κινέτας έχει δύο ρέματα τα οποία είναι το ρέμα της Πίκας και το ρέμα της Αμυγδαλιάς. Τα ρέματα αυτά είναι εφήμερα δηλαδή έχουν νερό μόνο όταν βρέχει και σε περιόδους βροχόπτωσης, το νερό ακολουθεί τη διαδρομή τους και εκβάλλει στο Δήμο Μεγαρέων. Στην παρούσα έρευνα εξετάστηκαν κατά κύριο λόγο τα ιζήματα του ρέματος της Πίκας ως προς την χημική τους σύσταση αμέσως μετά την πυρκαγιά που ξέσπασε στην περιοχή τον Ιούλιο του 2018. Ωστόσο, συλλέχθηκαν ορισμένα δείγματα ιζημάτων και από το ρέμα της Αμυγδαλιάς. Η εκβολή του ρέματος της Πίκας τοποθετείται σε σημείο με γεωγραφικό πλάτος 37.956408026896 και γεωγραφικό μήκος 23.200959227897 και έχει έκταση περίπου 11 στρέμματα (Εικ. 19) (ΕΚΒΥ, 2017).

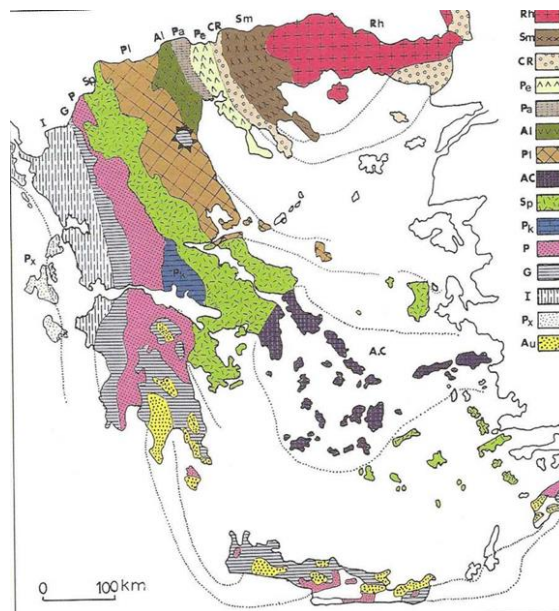


Εικόνα 19: Εκβολή του ρέματος της Πίκας στην περιοχή της Κινέτας.

4.1.1. Γεωλογικό υπόβαθρο Κινέτας

Οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας διακρίνονται με βάση τη γεωλογική ορολογία σε Εσωτερικές Ελληνίδες οι οποίες κατέχουν τα εσωτερικά τόξα των Ελληνίδων οροσειρών και σε Εξωτερικές Ελληνίδες οι οποίες κατέχουν τα εξωτερικά τόξα. Τόσο οι Εσωτερικές όσο και οι Εξωτερικές Ελληνίδες χωρίζονται σε επιμέρους ζώνες οι οποίες είναι από τα ανατολικά προς τα δυτικά οι εξής (Εικ. 20) (Μουντράκης, 1985):

- Η Προαπούλια ζώνη ή ζώνη Παξών (Px).
- Η Αδριατικοϊόνιος Ζώνη ή Ιόνιος Ζώνη (I).
- Η Ζώνη Γαβροβού-Τρίπολης (G).
- Η Ζώνη Ωλονού-Πίνδου (P).
- Η Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας (Pk).
- Η Πελαγονική Ζώνη (PI).
- Υποπελαγονική Ζώνη ή Ζώνη “Ανατολικής Ελλάδας” (Sp) μέρος της οποίας είναι η Ενότητα Βοιωτίας.
- Η Αττικοκυκλαδική Ζώνη (Ac).
- Η Ζώνη Αξιού που διαχωρίζεται σε τρεις υποζώνες οι οποίες είναι η Ζώνη Παιανίας (Pe), Ζώνη Πάικου (Pa) και η Ζώνη Αλμωπίας (Al).
- Η Περιοδοπική Ζώνη (CR).
- Η Μάζα της Ροδόπης (Rh).
- Η Σερβομακεδονική μάζα (Sm).
- Η Ενότητα Ταλέα Όρη (Au) όπου υπάρχουν πλακώδεις ασβεστόλιθοι και δεν έχει αποσαφηνιστεί που ανήκει, παρόλο που εκτιμάται ότι ανήκει στην Ιόνιο Ζώνη.



Εικόνα 20: Γεωτεκτονικό σχήμα το οποίο απεικονίζει τις ιστοπικές ζώνες της Ελλάδας (Μουντράκης, 1985).

Οι γεωτεκτονικές ζώνες αποτελούνται από γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι ανάλογα με την ηλικία των πετρωμάτων τους κατηγοριοποιούνται σε σχηματισμούς του Προκαμβρίου, του Παλαιοζωικού, του Μεσοζωικού και του Καινοζωικού γεωλογικού αιώνα. Οι γεωλογικοί αυτοί αιώνες παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 13 (Οικονόμου, 2014).

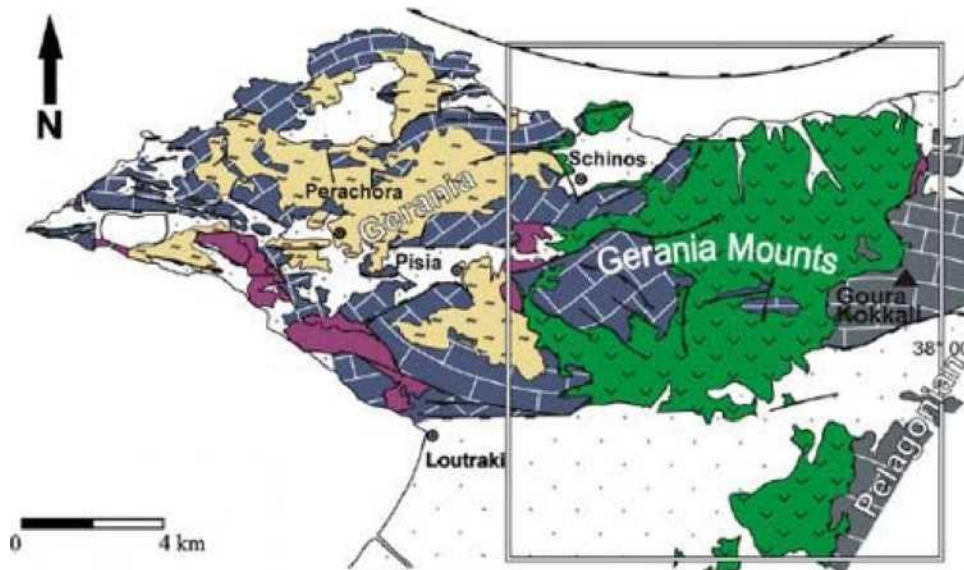
Πίνακας 13: Οι περίοδοι και η διάρκεια των γεωλογικών αιώνων (Οικονόμου, 2014).

Αιώνας	Περίοδος	Εποχή	Έτη
Καινοζωικός	Τεταρτογενής	Ολόκαινο	0.01 εκατ. χρόνια-σήμερα
		Πλειστόκαινο	2.0-0.01 εκατ. χρόνια
	Νεογενής	Πλειόκαινο	5-2.0 εκατ. χρόνια
		Μειόκαινο	23-5 εκατ. χρόνια
	Παλαιογενής	Ολιγόκαινο	34-23 εκατ. χρόνια
		Ηώκαινο	56-34 εκατ. χρόνια
Μεσοζωικός	Κρητιδικό	Παλαιόκαινο	65-56 εκατ. χρόνια
		Ιουρασικό	145-65 εκατ. χρόνια
		Τριαδικό	200-145 εκατ. χρόνια
Παλαιοζωικός	Πέρμιο	Λιθανθρακοφόρο	250-200 εκατ. χρόνια
		Δεβόνιο	300-250 εκατ. χρόνια
		Σιλούριο	360-300 εκατ. χρόνια
		Ορδοβίσιο	420-360 εκατ. χρόνια
		Κάμβριο	445-420 εκατ. χρόνια
Προκάμβριο	-		485-445 εκατ. χρόνια
			540-485 εκατ. χρόνια
			4 δις. εκατ. χρόνια-600 εκατ. χρόνια

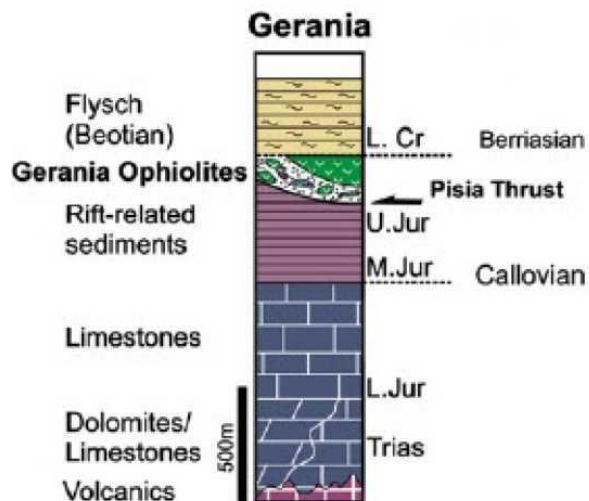
Η περιοχή των Γερανείων ορέων τα οποία βρίσκονται άνωθεν της περιοχής της Κινέτας αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς που κατατάσσονται στην Πελαγονική Ζώνη και στην Ενότητα Βοιωτίας. Στην περιοχή επικρατούν Πλειοκαινικά (Νεογενή) και Πλειστοκαινικά (Τεταρτογενή) ιζημάτα τα οποία έχουν αποθεθεί ασύμφωνα πάνω στο αλπικό υπόβαθρο. Σύμφωνα με στοιχεία του ΙΓΜΕ, στην περιοχή υπάρχουν Μέσοι Τριαδικοί-Μέσοι Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες ενώ χαρακτηριστικοί είναι και οι οφιόλιθοι των Γερανείων Όρεων (Bornovas et al., 1984).

Η ενότητα των Γερανείων ανήκει πιθανότατα στις Εσωτερικές Ελληνίδες και περιλαμβάνει από τη βάση έως την κορυφή τα εξής (Εικ. 21 και 22):

- Ηφαίστειο-ιζηματογενή ακολουθία που ανήκει στην Πέρμια περίοδο (Bornovas et al., 1984).
- Νηρητικούς γκρι ασβεστόλιθους και δολομίτες Άνω Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού με πάχος 500 m (Clement, 1971).
- Βοιωτικό φλύσχη (Karlanis et al., 2013).
- Οφιολιθικό κάλυμμα με 10 km μήκος και 5 km πλάτος το οποίο αποτελείται κυρίως από σερπεντινωμένο λερζόλιθο (υπερβασικό πυριγενές πέτρωμα με σύσταση σε $\text{SiO}_2 < 45\%$) (Karlanis et al., 2013).
- Εμφανίσεις μεταλλευμάτων μαγγανίου που παρατηρούνται περιστασιακά μεταξύ του βοιωτικού φλύσχη και των ιζημάτων του Οξφορδίου (Bornovas et al., 1984).

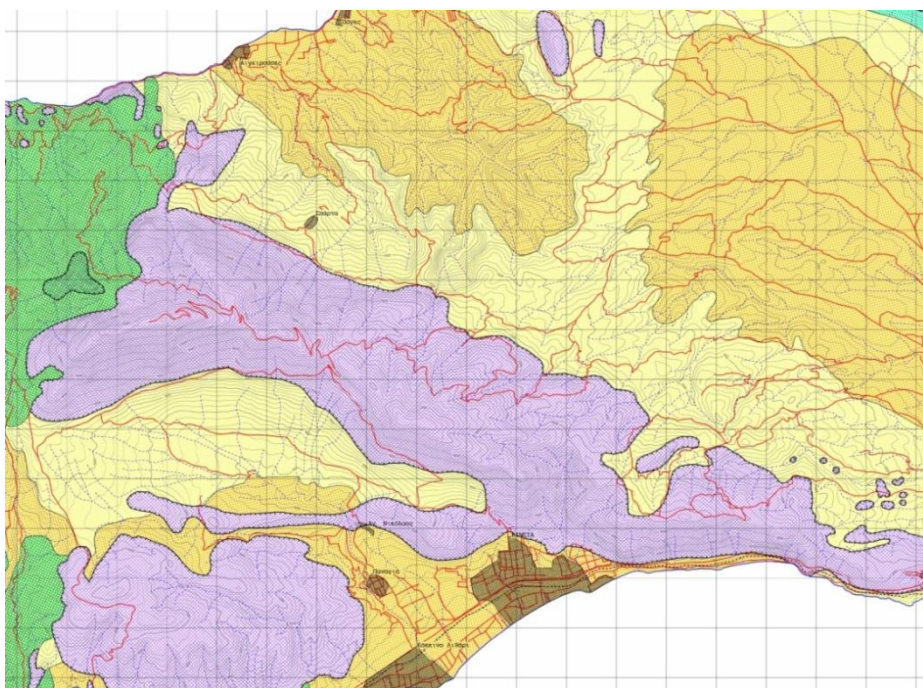


Εικόνα 21: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, τροποποιημένος από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Karlanis et al., 2013).



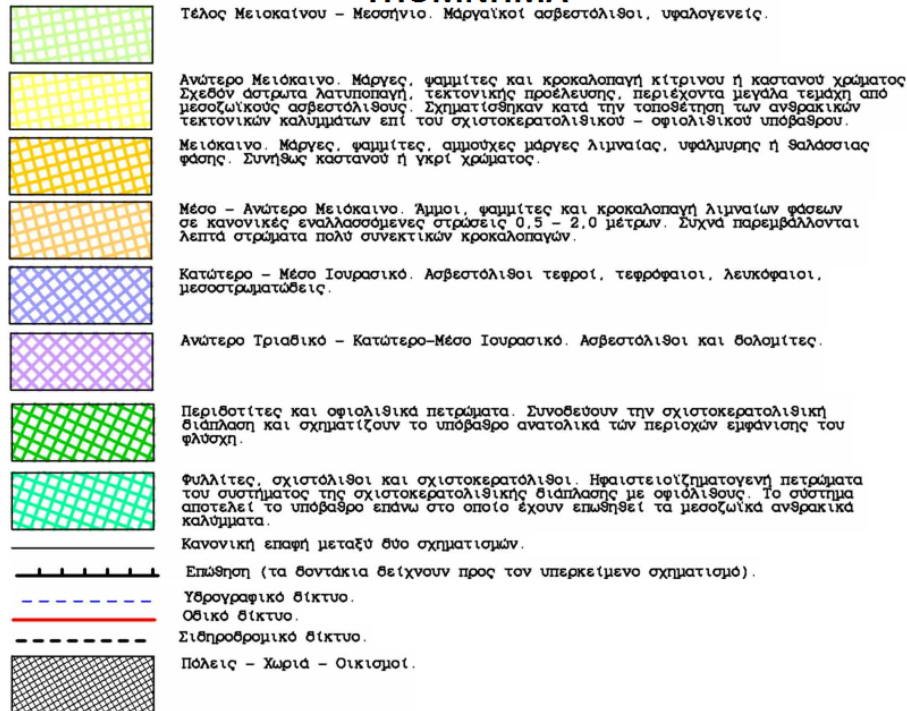
Εικόνα 22: Στρωματογραφική στήλη ενότητας Γερανείων ορέων (Karlanis et al., 2013).

Αφού έγινε μια σύντομη αναφορά στη γεωλογία των Γερανείων, στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί συνοπτικά η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της Κινέτας. Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη που κατασκευάστηκε από τον Μπεζέ (2011), η περιοχή της Κινέτας αποτελείται από σχηματισμούς του Μεσοζωϊκού γεωλογικού αιώνα και του Καινοζωϊκού γεωλογικού αιώνα ο οποίος αποτελείται από την περίοδο του Νεογενούς (Εικ. 23 και 24).



Εικόνα 23: Χαρτογραφική απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών της Κινέτας σε κλίμακα 1:25,000 (Μπεζές, 2011).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Εικόνα 24: Υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη της Κινέτας (Μπεζές, 2011).

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον παραπάνω γεωλογικό χάρτη, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή έρευνας από τους παλαιότερους προς τους νεώτερους έχουν ως εξής (Μπεζές, 2011; Bornovas et al., 1984):

- Οι ασβεστόλιθοι ηλικίας Κατώτερου-Μέσου Ιουρασικού οι οποίοι είναι τεφροί, λευκότεφροι μεσοστρωματώδεις ή μαύροι βιομικρίτες, βιοαρενίτες σε εναλλαγές με ψαμμίτες και χαλαζιακά κροκαλοπαγή. Η συγκολλητική ύλη των κροκαλοπαγών είναι ανθρακική. Στους ανωτέρω σχηματισμούς παρατηρούνται και βασικά εκρηξιγενή πετρώματα δηλαδή πετρώματα που έχουν περιεκτικότητα σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) μικρότερη από 52%.
- Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες ηλικίας Ανώτερου Τριαδικού-Κατώτερου-Μέσου Ιουρασικού οι οποίοι είναι τεφροί, λευκότεφροι παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι βιομικρίτες, δολοσπάστες και το μέγιστο πάχος τους φτάνει τα 500 m περίπου.
- Άμμοι, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή λιμναίων φάσεων ηλικίας Μέσου-Ανώτερου Μειόκαινου σε κανονικές εναλλασσόμενες στρώσεις μικρού πάχους από 0.5 έως 0.2 m. Συχνά παρεμβάλλονται λεπτά στρώματα πολύ συνεκτικών κροκαλοπαγών.
- Μάρμες, ψαμμίτες, αμμούχες μάρμες ηλικίας Μειόκαινου που είναι λιμναίας, θαλάσσιας ή υφάλμυρης φάσης και συνήθως καστανού ή γκρι χρώματος.
- Μάρμες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή κίτρινου ή καστανού χρώματος, σχεδόν άστρωτα λατυποπαγή, τεκτονικής προέλευσης ενώ περιέχονται μεγάλα τεμάχια από μεσοζωϊκούς ασβεστόλιθους οι οποίοι σχηματίστηκαν κατά την τοποθέτηση ανθρακικών τεκτονικών

καλυμμάτων επί του σχιστοκερατολιθικού-οφιολιθικού υποβάθρου. Η ηλικία των σχηματισμών αυτών τοποθετείται στο Ανώτερο Μειόκαινο.

- Περιδοτίτες και οφιολιθικά πετρώματα που συνοδεύουν την σχιστοκερατολιθική διάπλαση και σχηματίζουν το υπόβαθρο ανατολικά της περιοχής εμφάνισης του φλύσχη.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι, στη βάση των επωθημένων ασβεστολιθικών καλυμμάτων έχουν συσσωρευτεί και τα υλικά που σχηματίζουν τα κοιτάσματα των βωξιτών και των σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων. Τα υλικά αυτά είναι αλλόχθονα δηλαδή αντιστοιχούν στα μεσοζωϊκά ασβεστολιθικά καλύμματα, προέρχονται από την λατεριτίωση των οφιδίθων και μεταφέρθηκαν στην σημερινή τους θέση κατά την φάση της τοποθέτησης των ασβεστολιθικών καλυμμάτων (Μπεζές, 2011).

4.1.2. Δασική πυρκαγιά στην περιοχή της Κινέτας

Τη Δευτέρα 23 Ιουλίου 2018 εκδηλώθηκε πυρκαγιά στην περιοχή “Αέρας” στα Γεράνεια Όρη (Κινέτα), όπου λόγω των πολύ ισχυρών Δυτικών-Βορειοδυτικών ανέμων που έπνεαν στην περιοχή με ριπές έντασης 7 Βf υποβοηθήθηκε η εξάπλωση της πυρκαγιάς στην περιοχή (Γκουρμπάτσης, 2018). Σύμφωνα με στοιχεία που αφορούν την εκτίμηση των ζημιών από την δορυφορική υπηρεσία Copernicus Emergency Management Service (EMS), από την πυρκαγιά καταγράφηκε συνολική καμένη έκταση 56,133 στρεμμάτων τα οποία αντιστοιχούν σε 53,157 στρέμματα δασών και δασικών εκτάσεων και 2,976 στρέμματα οικιστικών περιοχών (Εικ. 25) (Κασσίμη, 2018). Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι, η πυρκαγιά έχει κάψει μέρος προστατευόμενης περιοχής Natura 2000 που βρίσκεται στην περιοχή των Γερανείων ορέων και αποτελεί Τόπο Κοινοτικής Σημασίας με κωδικό GR2530005 “Όρη Γεράνεια” και του καταφυγίου Άγριας Ζωής “Περιοχή Γερανείων Δήμου Μεγάρων” (Ξυπνητού, 2018).



Εικόνα 25: Καμένη δασική έκταση του ρέματος Πίκα της περιοχής της Κινέτας.

Πέρα από τις καταστροφές που προκλήθηκαν στα δάση και τις δασικές εκτάσεις λόγω της πυρκαγιάς, καταστράφηκαν και αρκετά κτίρια είτε σε μεγαλύτερο είτε σε μικρότερο βαθμό ενώ υπήρξαν και ορισμένα αυτοκίνητα που κάηκαν (Εικ. 26).



Εικόνα 26: Καμένο αυτοκίνητο (αριστερά) και καμένη κατοικία (δεξιά)

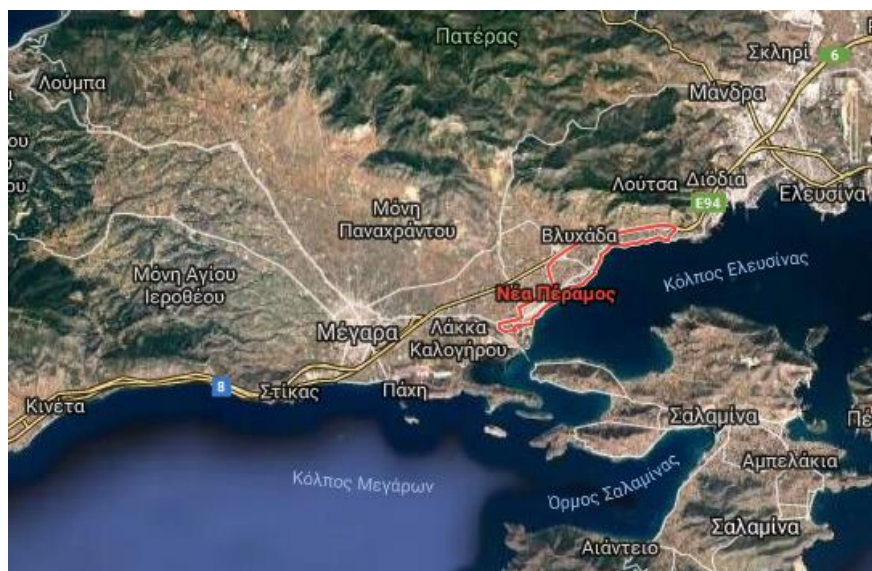
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτοψιών που διεξήχθησαν από το Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών, προσδιορίστηκε ότι, στην Κινέτα, από τα 690 κτίρια που ελέγχθηκαν τα 225 χαρακτηρίστηκαν ως “κόκκινα” δηλαδή ολοσχερώς κατεστραμμένα, τα 95 “κίτρινα” δηλαδή μερικώς κατεστραμμένα και τα 370 “πράσινα” (Πιν. 14) (Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών, 2018). Παρά τις καταστροφές που συνέβησαν τόσο σε δασικές εκτάσεις όσο και σε κτίρια εξαιτίας της πυρκαγιάς, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι λόγω της οργανωμένης απομάκρυνσης των κατοίκων από την ευρύτερη περιοχή της Κινέτας, δεν υπήρξαν θύματα από την πυρκαγιά (Γκουρμπάτσης, 2018).

Πίνακας 14: Χαρακτηρισμός των ελεγχόμενων κτιρίων κατά την αυτοψία του Υπουργείου Μεταφορών και Υποδομών (Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών, 2018).

Χαρακτηρισμός	ΔΗΜΟΣ ΜΕΓΑΡΕΩΝ (ΚΙΝΕΤΑ)					ΣΥΝΟΛΟ
	Κατοικίες	Επαγγελματικοί χώροι	Δημόσια κτίρια	Αποθήκες	Άλλη χρήση	
ΠΡΑΣΙΝΑ	360	8	2	0	0	370
ΚΙΤΡΙΝΑ	86	4	2	3	0	95
ΚΟΚΚΙΝΑ	193	3	0	29	0	225
ΣΥΝΟΛΟ	639	15	4	32	0	690

4.2. Περιοχή Νέας Περάμου

Η Νέα Πέραμος υπάγεται στον δήμο Μεγαρέων της Περιφερειακής Ενότητας Δυτικής Αττικής που βρίσκεται στην Περιφέρεια Αττικής, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας όπως διαμορφώθηκε από το 2011 με τον Καλλικρατικό Νόμο 3852/2010. Η Νέα Πέραμος έχει υψόμετρο 13 m από την επιφάνεια της θάλασσας σε γεωγραφικό πλάτος 37.9998433857 και γεωγραφικό μήκος 23.4189360712 και βρίσκεται σε απόσταση 4 km κάτω από το όρος “Πατέρας” (Εικ. 27). Σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού του έτους 2011, η περιοχή της Νέας Περάμου με έκταση 7,300 στρέμματα, είχε 8,333 κατοίκους, με υπέρβαση των 15,000 κατοίκων ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες.



Εικόνα 27: Χαρτογραφική απεικόνιση της Νέας Περάμου μέσω του Google Map.

Η περιοχή της Νέας Περάμου διαπερνάται από τρεις βασικούς χείμαρρους οι οποίοι είναι ο χείμαρρος Γιώργη από τα ανατολικά προς τα Δυτικά, ο χείμαρρος Κουλουριώτικο μονοπάτι και ο χείμαρρος Καμάρας. Μεταξύ των δύο πρώτων κινούνται και 3-4 άλλοι μικρότεροι που προκαλούν αρκετές ζημιές όταν ενεργοποιούνται. Οι χείμαρροι της Νέας Περάμου παρουσιάζονται πιο αναλυτικά ακολούθως (Αποστολίδης κ.α., 2017).

4.2.1. Χείμαρρος Γιώργη

Ο χείμαρρος Γιώργη είναι ο χείμαρρος που διασχίζει την Νέα Πέραμο στο ανατολικό της τμήμα και αποτελεί το χαμηλότερο τμήμα των χειμάρρων Ζωϊρέζας και Αγίας Τριάδας, έχοντας λεκάνη απορροής 26,863 στρεμμάτων (Πιν. 15). Την περίοδο του Νοεμβρίου 2017 όπου διαδραματίστηκαν οι καταστροφικές πλημμύρες στην περιοχή, στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής, τα φαινόμενα διάβρωσης και στερεομεταφοράς ήταν πολύ έντονα ακόμα και σε τοπικό επίπεδο (Αποστολίδης κ.α., 2017).

Πίνακας 15: Χαρακτηριστικά του χειμάρρου Γιώργη (Αποστολίδης κ.α., 2017).

α/α	Τμήμα	Μήκος (m)	Κλίση (%)
1	Χείμαρρος Γιώργη (από θάλασσα έως Εθνική Οδό)	1,300	3
2	Χείμαρρος Γιώργη (από Εθνική Οδό έως θέση Καντήλι)	6,900	2.3
3	Χείμαρρος Ζωϊρέζας (από θέση Καντήλι έως Χείμαρρο Αγίας Τριάδας)	5,250	3.7
4	Χείμαρρος Αγίας Τριάδας (έως όρια λεκάνης)	1,850	13

4.2.2. Χείμαρρος Ζωϊρέζας

Ο χείμαρρος Ζωϊρέζας είναι το μεσαίο τμήμα του χειμάρρου Γιώργη, πάνω από τη θέση Καντήλι και μέχρι το σημείο ένωσης των δύο χειμάρρων στο ανώτερο τμήμα της λεκάνης, του χειμάρρου Αγίας Τριάδας και αυτού που προέρχεται από τη θέση Παλαιά Κορυφή. Την περίοδο των καταστροφικών πλημμύρων του έτους 2017, από το χείμαρρο διακινήθηκαν πολύ μεγάλες ποσότητες νερού και στερεών υλικών που παρασύρθηκαν. Ειδικά σε μια θέση 1,130 μέτρων από τη διασταύρωση προς Μάνδρα (δρόμος Νέας Περάμου-Καντήλι-Μάνδρα), στον δρόμο προς Αγία Τριάδα, η διάβρωση του εδάφους αλλά και η στερεομεταφορά ενός μικρού συμβάλλοντος χειμάρρου ήταν τόσο μεγάλες που εντυπωσίασαν τους παρατηρητές για την ένταση και τα καταστρεπτικά αποτελέσματα της βροχόπτωσης (Αποστολίδης κ.α., 2017).

4.2.3. Χείμαρρος Κουλουριώτικο Μονοπάτι

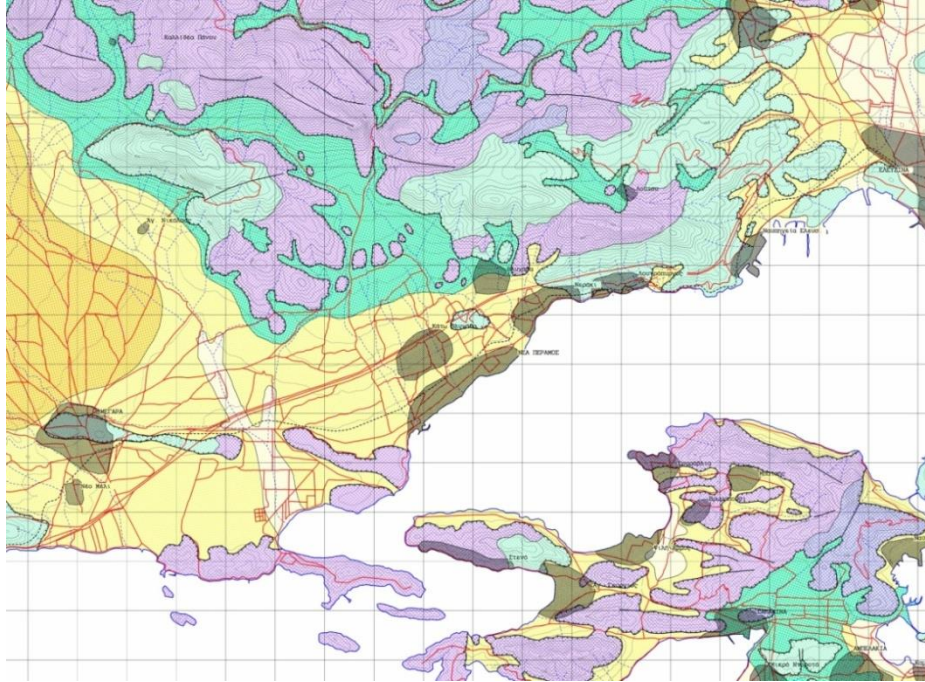
Το Κουλουριώτικο Μονοπάτι είναι ο χείμαρρος που διαπερνά τη Νέα Πέραμο στο μέσον της, έχει λεκάνη απορροής έκτασης 8,610 στρεμμάτων και έχει διευθετηθεί από το τέλος της δεκαετίας του 1990. Κινείται παράλληλα με το δρόμο Νέας Περάμου-Καντήλι-Μάνδρα και εισέρχεται σε κλειστό αγωγό σε ένα μήκος 2,540 m, ώσπου να φτάσει στη θάλασσα, στο δυτικό άκρο του λιμανιού. Στο τελευταίο τμήμα του, ο αγωγός έχει πλάτος 12 και 17 m, είναι υπερυψωμένος σχετικά με το φυσικό έδαφος ενώ τελειώνει με μια αλλαγή χάραξης 90° μόλις 250 m πριν φτάσει στην θάλασσα. Πάνω από το σημείο που ο χείμαρρος εγκιβωτίζεται, έχει διευθετηθεί με συρματοπλεκτα κιβώτια σε ένα μήκος περίπου 2,270 m. Στο ανώτερο τμήμα, η επένδυση των πρανών έγινε μόνο στο ανατολικό τους τμήμα. Κατά τη διάρκεια της καταστροφικής πλημμύρας, λόγω συσσώρευσης φερτών υλικών, ο χείμαρρος στο σημείο που εισέρχεται στον κλειστό αγωγό, εκτράπηκε προς τον δρόμο της Νέας Περάμου-Καντηλίου και μέσω αυτού κινήθηκε και μέσα στον οικισμό (Αποστολίδης κ.α., 2017).

4.2.4. Χείμαρρος Καμάρας

Ο χείμαρρος Καμάρας έρχεται από την περιοχή Μεγάρων, έχει πολύ μεγάλη λεκάνη απορροής και περνά τον δρόμο Μεγάρων-Νέας Περάμου ο οποίος είναι 600 m ανατολικά του κόμβου της Εθνικής Οδού Αθηνών-Κορίνθου προς Μέγαρο. Κατά τη διάρκεια του πλημμυρικού συμβάντος της 15^{ης} Νοεμβρίου 2017, ο χείμαρρος προκάλεσε την καταστροφή της παλαιάς σιδηροδρομικής γραμμής ενώ γέμισε με φερτά υλικά τους κοντινούς αγρούς (Αποστολίδης κ.α., 2017).

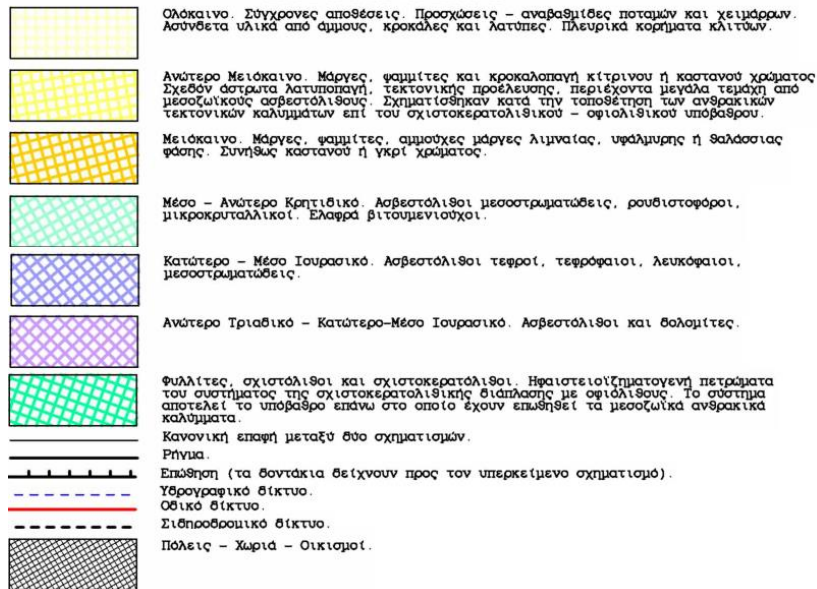
4.2.5. Γεωλογικό υπόβαθρο της Νέας Περάμου

Αφού έγινε μια γενική αναφορά στην περιοχή της Νέας Περάμου, στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη που κατασκευάστηκε από τον Μπεζέ (2011), η περιοχή της Νέας Περάμου αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς του Μεσοζωϊκού, του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς (Εικ. 28 και 29) (Μπεζές, 2011).



Εικόνα 28: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Νέας Περάμουσε κλίμακα 1:25,000 (Μπεζές, 2011).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Εικόνα 29: Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη Νέας Περάμου (Μπεζές, 2011).

4.2.5.1. Μεσοζωϊκό (Κρητιδικό, Ιουρασικό, Τριαδικό)

Το Μεσοζωϊκό της περιοχής αντιπροσωπεύεται από το Ιουρασικό, το Κρητιδικό και το Τριαδικό. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί του Μεσοζωϊκού είναι οι εξής (Μπεζές, 2011; Δούνας 1971):

4.2.5.1.1. Ασβεστόλιθοι και δολομίτες Ανώτερου Τριαδικού-Κατώτερου-Μέσου Ιουρασικού

Αυτοί οι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι λεπτοί-μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι και δολομίτες οι οποίοι συχνά περικλείουν ενστρώσεις και κονδύλους κερατολίθων. Τοπικά περιέχουν λεπτά στρώματα αργιλικού σχιστόλιθου. Το πάχος τους είναι 200-250 m αλλά τις περισσότερες φορές λόγω έντονης διάβρωσης εμφανίζονται μικρά υπολείμματα.

4.2.5.1.2. Ασβεστόλιθοι Κατώτερου-Μέσου Ιουρασικού

Αυτοί οι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, χρώματος τεφρού, τεφρόφαιου και λευκόφαιου.

4.2.5.1.3. Ασβεστόλιθοι Μέσου-Ανώτερου Κρητιδικού

Οι γεωλογικοί αυτοί σχηματισμοί είναι λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, εναλλασσόμενοι συχνά με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, με πάχος 100 m και ηλικία που τοποθετείται στο Κενομάνιο. Ακολουθούν, οι παχυστρωματώδεις λευκότεφροι ασβεστόλιθοι με έντονη οσμή βιτουμενίων οι οποίοι περικλείουν πλήθος απολιθωμάτων ρουδιστών, έχουν πάχος 80 m και η ηλικία τους τοποθετείται στο Τουρώνιο. Τέλος, στους ανώτερους ορίζοντες, υπάρχουν μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, πρασινότεφροι έως κεραμόχρωμοι που μεταπίπτουν σταδιακά σε ασβεστολιθικούς ψαμμίτες και αμιγείς ψαμμίτες. Το πάχος τους είναι 40 m και η ηλικία τους ανήκει στο Σενώνιο.

4.2.5.2. Νεογενές

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Νεογενούς περιόδου είναι από τους παλαιότερους προς τους νεώτερους οι ακόλουθοι (Μπεζές, 2011):

- Μάργες, ψαμμίτες, αμμούχες μάργες λιμναίας, υφάλμυρης ή θαλάσσιας φάσης ηλικίας μειόκαινου που έχουν συνήθως καστανό ή γκρι χρώμα.
- Μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή κίτρινου ή καστανού χρώματος, σχεδόν άστρωτα λατυποπαγή τεκτονικής προέλευσης ενώ περιέχονται μεγάλα τεμάχια από μεσοζωϊκούς ασβεστόλιθους και σχηματίστηκαν κατά την τοποθέτηση των τεκτονικών καλυμμάτων επί του σχιστοκερατολιθικού υποβάθρου. Η ηλικία αυτών των γεωλογικών σχηματισμών του νεογενούς τοποθετείται στο Μειόκαινο.

4.2.5.3. Τεταρτογενές

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής της Νέας Περάμου είναι αλλουβιακές αποθέσεις ηλικίας Ολόκαινου οι οποίες είναι οι εξής (Μπεζές, 2011; Δούνας, 1971):

- Οι σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων οι οποίες αποτελούνται από αδρομερή υλικά. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούνται στις κοίτες των χειμάρρων κροκάλες και άμμος.
- Οι αποθέσεις κοιλάδων και κλειστών λεκανών που αποτελούνται συνήθως από λεπτομερή υλικά-αργίλους, αμμούχους αργίλους, άμμο και ενίοτε από πιο αδρομερή υλικά όπως λατύπες και κροκάλες (από την διάβρωση των ασβεστολίθων που δομούν τα κράσπεδα).
- Οι αναβαθμίδες χειμάρρων που αποτελούνται από αδρομερή υλικά τα οποία προέρχονται από ποτάμια και αναπτύσσονται κατά μήκος των κοιτών των χειμάρρων ή στις πλευρές των κοιλάδων.
- Τα πλευρικά κορήματα κλιτύων

4.2.6. Πλημμύρα της περιοχής της Νέας Περάμου

Την Τετάρτη 15 Νοεμβρίου 2017 έπληξαν την περιοχή της Νέας Περάμου έντονα καιρικά φαινόμενα τα οποία είχαν καταστρεπτικές συνέπειες για τον οικισμό της περιοχής. Οι καταστροφές είχαν σαν αποτέλεσμα το θάνατο ενός κατοίκου της Νέας Περάμου και πολλές καταστροφές σε σπίτια, καταστήματα καθώς και στο λιμάνι (Εικ. 30). Τα αίτια που προκάλεσαν την καταστροφική πλημμύρα στην περιοχή της Νέας Περάμου είναι η τοπική καταιγίδα, η υπερχειλίση ποταμού και η θραύση-αστοχία τεχνητού έργου. Σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60 για τις πλημμύρες, τα προαναφερθέντα αίτια ορίζονται ως εξής (Αποστολίδης κ.α., 2017):

- Τοπική καταιγίδα. Είναι η πλημμύρα που οφείλεται αποκλειστικά σε βροχόπτωση, η οποία είτε έπεσε απευθείας στην περιοχή είτε απέρρευσε από αυτήν ή από αυτήν. Στην περίπτωση της Νέας Περάμου, η κρίσιμη βροχόπτωση συνέβη στην ορεινή λεκάνη απορροής των χειμάρρων και μεταφέρθηκε το νερό της στον οικισμό μέσω των φυσικών αγωγών.
- Υπερχειλίση ποταμού. Είναι η πλημμύρα από τα νερά τα οποία προέρχονται από ένα μέρος φυσικού συστήματος αποστράγγισης. Σε αυτή την αιτία συμπεριλαμβάνονται οι πλημμύρες που οφείλονται σε ορεινούς χείμαρρους και εφήμερα ρέματα.
- Θραύση-αστοχία τεχνικού έργου. Είναι η πλημμύρα που προέρχεται από τεχνητές υδραυλικές υποδομές ή από αστοχία των συγκεκριμένων υποδομών. Στην περίπτωση αυτή, συμπεριλαμβάνονται οι πλημμύρες που προκύπτουν από συστήματα αποχέτευσης, συστήματα ύδρευσης και επεξεργασίας λυμάτων και από τεχνητά συστήματα καθοδήγησης και κατακράτησης νερού.



Εικόνα 30: Εικόνα από κατεστραμμένη οικία στην περιοχή της Νέας Περάμου (Αποστολίδης κ.α., 2017).

Η υπηρεσία Copernicus Emergency Management Service (EMS) της ΕΕ αποτύπωσε δορυφορικά το μέγεθος της καταστροφής και απέδωσε σε χαρτογραφική απεικόνιση τη συνολική εικόνα (Εικ. 31). Πιο συγκεκριμένα, όπως γίνεται αντιληπτό και στο χάρτη, οι έντονες οριακές γραμμές καφέ χρώματος δείχνουν ύπαρξη υψηλής ροής λάσπης και κατά συνέπεια φερτών υλικών, η παχιά κίτρινη γραμμή απεικονίζει τις σιδηροδρομικές γραμμές που υπάρχει πιθανότητα να έχουν καταστραφεί λόγω του νερού και των φερτών υλικών, με λεπτή κίτρινη γραμμή διαφαίνονται οι δρόμοι οι οποίοι πιθανότατα έχουν καταστραφεί και τα σημεία όπου υπάρχουν κίτρινα τετράγωνα υποδηλώνουν τα κατεστραμμένα κτίρια. Σύμφωνα με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από το χάρτη για το μέγεθος της καταστροφής, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, τα περισσότερα κτίρια που πιθανότατα έχουν καταστραφεί βρίσκονται στην περιοχή της Βλυχάδας η οποία εντάσσεται στη Δημοτική Ενότητα της Νέας Περάμου (Copernicus-Emergency Management Service-Mapping, 2017).



Εικόνα 31: Χαρτογραφική απεικόνιση των σημείων που έχουν υποστεί καταστροφή από την πλημμύρα στη Νέα Πέραμο με βάση το σύστημα Copernicus (Copernicus-Emergency Management Service-Mapping, 2017).

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο συνολικός αριθμός των κτιρίων που έχουν καταστραφεί εξαιτίας της πλημμύρας στη Νέα Πέραμο, το Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών πραγματοποίησε 401 αυτοψίες, από τις οποίες βρέθηκε ότι, τα 382 κτίρια είναι πλήρως κατεστραμμένα και κατά συνέπεια χρήζουν αποζημίωσης. Τα αποτελέσματα των αυτοψιών ανά κατηγορία κτιρίου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 16) (Ελληνική Δημοκρατία, 2017).

Πίνακας 16: Αναλυτική παρουσίαση των αυτοψιών σε κτίρια της Νέας Περάμου από το Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών (Ελληνική Δημοκρατία, 2017).

ΠΛΗΓΕΙΣΑ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΜΕ ΖΗΜΙΕΣ				ΣΥΝΟΛΟ (ΠΡΟΣ ΑΠΟΖΗΜΙΩΣΗ)	ΧΩΡΙΣ ΖΗΜΙΕΣ	Κλειστά	ΣΥΝΟΛΟ ΑΥΤΟΨΙΩΝ
	Κατοικίες	Επαγγελματικοί χώροι	Δημόσια κτίρια	Αποθήκες (υπόγεια)				
Π.Ε. ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ Δ.Ε. ΝΕΑΣ ΠΕΡΑΜΟΥ	241	37	6	98	382	19	0	401

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται η δειγματοληψία των ιζημάτων που συλλέχθηκαν από τα ρέματα της Κινέτας και της Νέας Περάμου καθώς και οι εργαστηριακοί έλεγχοι στους οποίους υποβλήθηκαν τα δείγματα των ιζημάτων. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκε η συλλογή των δειγμάτων, τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκαν τα σημεία δειγματοληψίας, ο τρόπος που έγινε η δειγματοληψία καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να ληφθούν τα δείγματα ενώ παρουσιάζεται και μια μακροσκοπική εξέταση της πυρκαγιάς στην περιοχή της Κινέτας. Επίσης, παρατίθενται οι χάρτες πάνω στους οποίους απεικονίζονται τα σημεία δειγματοληψίας. Ειδικότερα, απεικονίζονται οι συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας οι οποίες λήφθηκαν μέσω του Γεωγραφικού Συστήματος Τοποθέτησης (Geographical Positioning System, GPS) σε χάρτες που δείχνουν την έκταση της καταστροφής που προκλήθηκε στην Κινέτα και τη Νέα Πέραμο από την πυρκαγιά και την πλημμύρα αντίστοιχα καθώς και το γεωλογικό υπόβαθρο που επικρατούσε στα σημεία όπου πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία. Τέλος, γίνεται αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την εκτέλεση των εργαστηριακών ελέγχων που διενεργήθηκαν στα δείγματα των ιζημάτων και ήταν ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας, της Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (Cation Exchange Capacity, CEC), της διαθέσιμης συγκέντρωσης για τέσσερα ιχνοστοιχεία τα οποία είναι ο χαλκός (Cu_{DTPA}), ο σίδηρος (Fe_{DTPA}), το μαγγάνιο (Mn_{DTPA}) και ο ψευδάργυρος (Zn_{DTPA}), της μηχανικής σύστασης και της τιμής του pH ενώ αναλύθηκαν και ορισμένα δείγματα της αποτιθέμενης στα ρέματα τέφρας ως προς ιχνοστοιχεία και θρεπτικά στα οποία πραγματοποιήθηκε προσδιορισμόςτων συνολικών συγκεντρώσεων: του αργύρου (Ag), του αλουμινίου (Al), του αρσενικού (As), του βηρυλλίου (Be), του βισμούθιου (Bi), του ασβεστίου (Ca), του καδμίου (Cd), του κοβαλτίου (Co), του χρωμίου (Cr), του χαλκού (Cu), του σιδήρου (Fe), του γαλλίου (Ga), του υδραργύρου (Hg), του καλίου (K), του λανθανίου (La), του μαγνησίου (Mg), του μαγγανίου (Mn), του νικελίου (Ni), του φωσφόρου (P), του θείου (S), του αντιμονίου (Sb), του σκανδίου (Sc), του στροντίου (Sr), του θορίου (Th), του τιτανίου (Ti), του θαλλίου (Tl), του ουρανίου (U), του βαναδίου (V), του βολφραμίου (W) και του ψευδαργύρου (Zn).

5.1. Δειγματοληψία

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν ο τρόπος που έγινε η δειγματοληψία των ιζημάτων των ρεμάτων στις περιοχές της Νέας Περάμου και τις Κινέτας, η απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας σε χάρτες που δείχνουν την έκταση της καταστροφής και το γεωλογικό υπόβαθρο των περιοχών καθώς και η μακροσκοπική εξέταση της πυρκαγιάς στην περιοχή της Κινέτας.

5.1.1. Δειγματοληψία από την περιοχή της Κινέτας

Η δειγματοληψία στην περιοχή της Κινέτας πραγματοποιήθηκε στις 18, 24 και 26 Σεπτεμβρίου 2018. Οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν εκείνη την περίοδο ήταν ευνοϊκές για τη συλλογή των δειγμάτων καθώς επικρατούσε ηλιοφάνεια. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, πριν από την 18^η Σεπτεμβρίου 2018, δεν είχαν εκδηλωθεί έντονες βροχοπτώσεις (49,4 mm βροχής) οι οποίες πιθανόν θα είχαν σαν αποτέλεσμα την απομάκρυνση τυχόν ιχνοστοιχείων από τα ιζήματα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2018). Τα δείγματα που συλλέχθηκαν από την περιοχή ήταν κατά κύριο λόγο ιζήματα που είχαν αποθεθεί στα ρέματα της περιοχής. Ωστόσο, από ορισμένες περιοχές δειγματοληψίας που είχαν πληγεί από την πυρκαγιά συλλέχθηκαν τόσο ιζήματα ρεμάτων τα οποία περιείχαν και καμένα τεμάχια οργανικού όσο και τέφρα. Πιο συγκεκριμένα, τα περισσότερα δείγματα συλλέχθηκαν από το βασικό ρέμα της περιοχής το οποίο είναι γνωστό ως ρέμα της Πίκας και τοποθετείται γεωγραφικά στην περιοχή των Γερανείων αλλά πραγματοποιήθηκε και συλλογή δειγμάτων από ένα δεύτερο ρέμα που ονομάζεται ρέμα της Αμυγδαλιάς και βρίσκεται στην συνοικία του Πανοράματος Κινέτας που είχε πληγεί σε σημαντικό βαθμό από την καταστροφική πυρκαγιά της 23^{ης} Ιουλίου 2018. Η λήψη των δειγμάτων έγινε από εικοσιδύο σημεία της περιοχής από τα οποία συλλέχθηκαν εικοσιδύο δείγματα ιζημάτων (n=22) και πέντε δείγματα τέφρας (n=5). Τα σημεία επιλέχθηκαν από το χαμηλότερο σημείο που ήταν η κοίτη των ρεμάτων μέχρι το υψηλότερο σημείο που τοποθετείται κοντά στην οροσειρά των Γερανείων (Εικ. 32).



Εικόνα 32: Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας σε οδικό χάρτη μέσω του προγράμματος Arcgis 10.4 σε κλίμακα 1:18,000

Τα σημεία δειγματοληψίας ιζημάτων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά της περιοχής που είχε επηρεαστεί από την πυρκαγιά καθώς και της ανεπηρέαστης περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, από τα εικοσιδύο ιζήματα ρεμάτων που λήφθηκαν, τα δεκατέσσερα (KRr01-02, KRz01-02 και KR08-17) δείγματα ήταν εντός των περιοχών που είχαν επηρεαστεί από πυρκαγιά ενώ τα επτά (KR01-07, KRk01) βρίσκονταν σε ανεπηρέαστες περιοχές (Εικ. 33). Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ορισμένα ιζήματα στις περιοχές που δεν είχαν επηρεαστεί από πυρκαγιά (KR05-07, KRk01) περιείχαν καμένα τεμάχια οργανικού υλικού τα οποία μπορεί να μεταφέρθηκαν με τον άνεμο λόγω της εγγύτητας με την επηρεασμένη περιοχή και του χαμηλού βάρους τους αφού η θέρμανση του εδάφους κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς προκαλεί μείωση της οργανικής ύλης και κατά συνέπεια απώλεια βάρους του εδαφικού υλικού με αποτέλεσμα την εύκολη μεταφορά του από το νερό ή τον αέρα (DeBano, 1990; Ebel, 2012; Ebel and Moody, 2012).



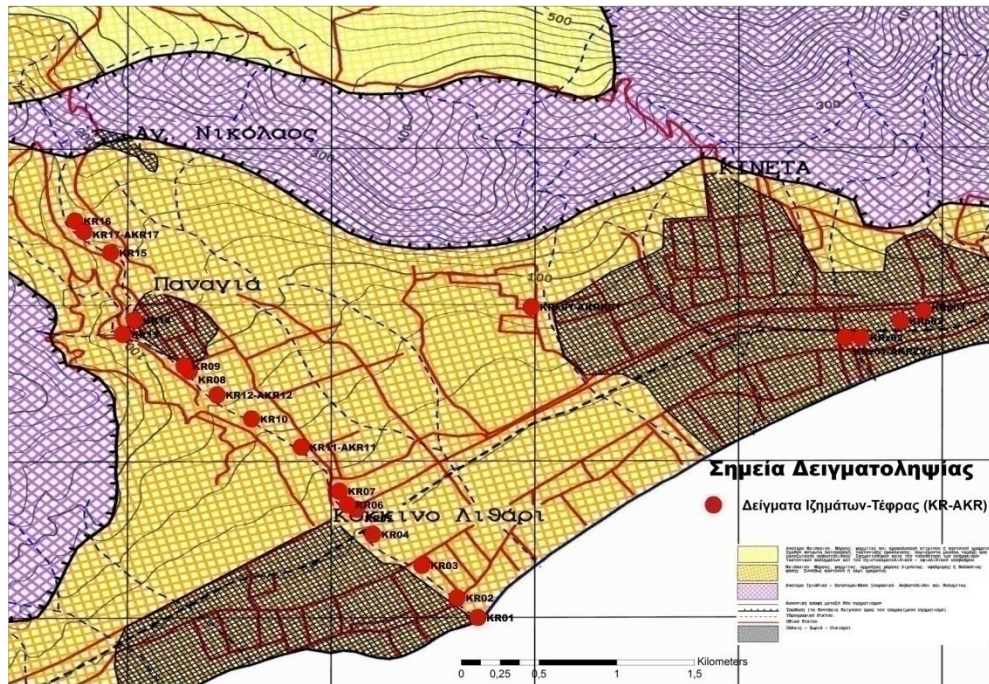
Εικόνα 33: Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας στο χάρτη με της πυρόπληκτες περιοχές (κλίμακα: 1:18,000) (τροποποιημένος από Copernicus Emergency Management Service, 2018).

Τα ιζήματα που λαμβάνονταν από κάθε σημείο δειγματοληψίας ήταν επιφανειακά. Η συλλογή κάθε δείγματος γινόταν με τη βοήθεια πλαστικής σέσουλας έτσι ώστε να μην υπάρξουν τυχόν επιμολύνσεις από μέταλλα στο δείγμα. Σε κάθε σημείο δειγματοληψίας γινόταν καθαρισμός από πευκοβελόνες και άλλα υλικά και στη συνέχεια, το δείγμα συλλεγόταν σε σακούλα πολυαιθυλενίου (PE) στην οποία εισαγόταν ένα χαρτόνι όπου αναγραφόταν ο κωδικός του κάθε δείγματος έτσι ώστε να διαχωριστούν τα δείγματα κάθε περιοχής δειγματοληψίας (Εικ. 34). Παράλληλα, σε πέντε από τις προαναφερθείσες θέσεις λήφθηκαν δείγματα τέφρας. Τα δείγματα συλλεγόταν με πλαστικό κουταλάκι έτσι ώστε να μην υπάρξουν τυχόν επιμολύνσεις από μέταλλα και εισάγονταν σε γυάλινα βαζάκια.



Εικόνα 34: Δειγματοληψία επιφανειακού ιζήματος ρέματος της περιοχής της Κινέτας.

Το γεωλογικό υπόβαθρο μιας περιοχής παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην κατανομή των ιχνοστοιχείων. Επομένως, κρίθηκε αναγκαία η απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας στο γεωλογικό χάρτη της περιοχής της Κινέτας (Μπεζές, 2011) έτσι ώστε να αξιολογηθούν οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα με βάση τη γεωλογία της Κινέτας (Εικ. 35).



Εικόνα 35: Απεικόνιση των σημείων στο Γεωλογικό χάρτη (Κλίμακα 1:4,369) (Τροποποιημένος από Μπεζές, 2011).

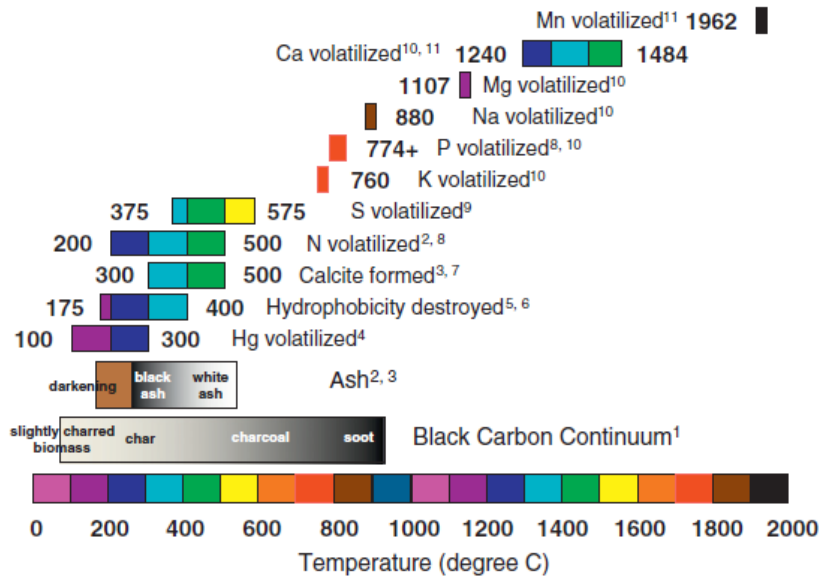
Σύμφωνα με τον παραπάνω χάρτη παρατηρείται ότι, η γεωλογική δομή της περιοχής όπου πραγματοποιήθηκε η λήψη των δειγμάτων κυριαρχείται από Νεογενείς αποθέσεις. Πιο συγκεκριμένα, όπως παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, επικρατούσαν μάργες, ψαμμίτες, κροκάλες ανθρακικού υλικού (ασβεστόλιθοι), μικρά τεμάχια υπερβασικών με το μέγεθος των κόκκων τους να ποικίλλει από 0.5 cm έως 3 cm αλλά και υπερβασικά μεγαλύτερου μεγέθους από 0.5 έως 5 cm (Εικόνα 36).



Εικόνα 36: Νεογενείς σχηματισμοί (αριστερά) και ασβεστολιθικά και υπερβασικά πετρώματα (δεξιά).

5.2. Μακροσκοπικός έλεγχος της πυρκαγιάς

Κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε μακροσκοπικός έλεγχος της πυρκαγιάς με σκοπό να εξεταστεί η σοβαρότητα του φαινομένου. Πιο συγκεκριμένα, αφού έγινε παρατήρηση του χρώματος του υλικού που συλλέχθηκε από κάθε περιοχή στη συνέχεια, εξάχθηκαν συμπεράσματα με τη βοήθεια μιας χρωματικής κλίμακας η οποία απεικονίζει την μεταβολή της χημείας και του χρώματος του ιζήματος και της τέφρας σύμφωνα με την μεταβολή της θερμοκρασίας της πυρκαγιάς (Εικ. 37).



Εικόνα 37: Επίδραση της θερμοκρασίας της πυρκαγιάς στη χημεία και στο χρώμα της τέφρας και του εδάφους (Bodi et al., 2014).

Επομένως, παρατηρώντας το χρώμα της τέφρας που συλλέχθηκε από τα ρέματα της περιοχής και ήταν μεταξύ μαύρης και άσπρης απόχρωσης δηλαδή, σύμφωνα με την ανωτέρω κλίμακα, το χρώμα βρισκόταν στην περιοχή θερμοκρασιών από 250 °C έως 550 °C περίπου εξάγεται το συμπέρασμα ότι η πυρκαγιά στην περιοχή της Κινέτας ήταν μέτριας σοβαρότητας.

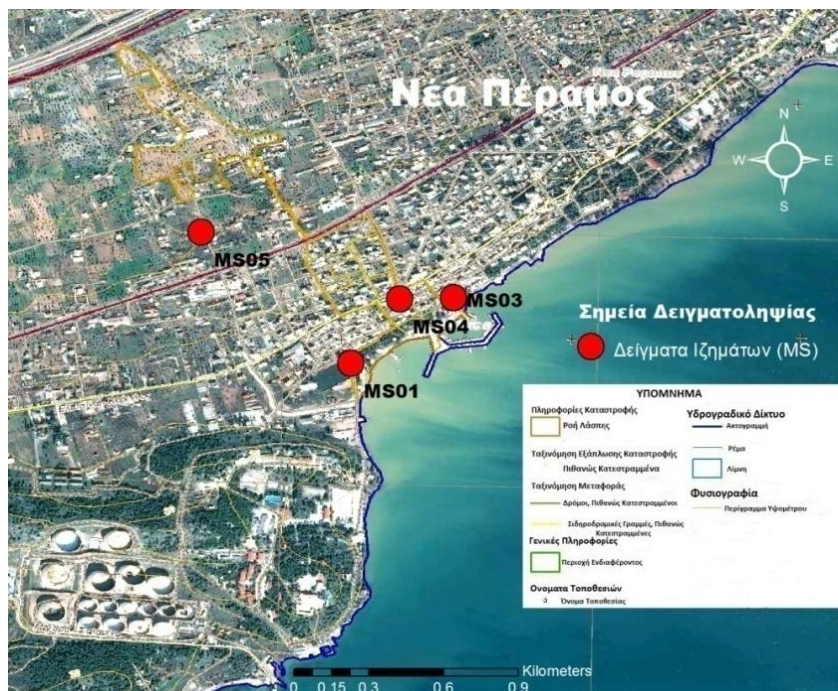
5.3. Δειγματοληψία από την περιοχή της Νέας Περάμου

Η δειγματοληψία ιζημάτων στην περιοχή της Νέας Περάμου έγινε σε γεωγραφικό πλάτος από 37.99883 έως 38.00356 και γεωγραφικό μήκος από 23.41189 έως 23.42098. Η συλλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε από τέσσερα σημεία δειγματοληψίας τα οποία επιλέχθηκαν από το χαμηλότερο σημείο που είναι η κοίτη των ρεμάτων μέχρι το υψηλότερο σημείο το οποίο τοποθετείται λίγο πριν από την Εθνική Οδό (Εικ. 38).



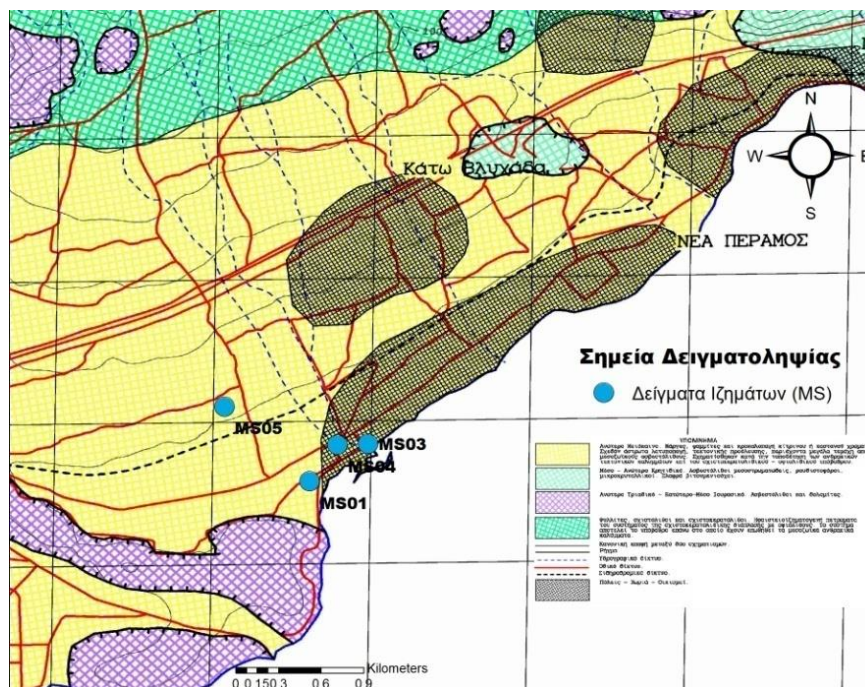
Εικόνα 38: Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας σε οδικό χάρτη μέσω του προγράμματος Arcgis 10.4 σε κλίμακα 1:14,014

Τα σημεία δειγματοληψίας ιζημάτων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά της περιοχής που είχε επηρεαστεί από την πλημμύρα καθώς και της ανεπηρέαστης περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, από τα τέσσερα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων που λήφθηκαν, το ένα δείγμα (MS05) τοποθετείται σε περιοχή η οποία είναι ανεπηρέαστη από την πλημμύρα δηλαδή δεν υπάρχει ροή λάσπης ενώ τα υπόλοιπα δείγματα ιζημάτων που βρίσκονται κοντά στην κοίτη των ρεμάτων (MS01, MS03-04) τοποθετούνται σε περιοχή που έχει επηρεαστεί από την πλημμύρα (Εικ. 39).



Εικόνα 39: Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας σε χάρτη με τις περιοχές που έχουν επηρεαστεί από την πλημμύρα (κλίμακα 1:12,000) (τροποποιημένος από Copernicus Emergency Management Service, 2017).

Η γεωλογία της περιοχής της Νέας Περάμου ελέγχει την κατανομή των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα ρεμάτων. Επομένως, κρίθηκε απαραίτητη η απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας στο γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Μπεζές, 2011) με σκοπό να ληφθεί υπόψη το γεωλογικό υπόβαθρο της Νέας Περάμου στην αξιολόγηση της κατανομής των ιχνοστοιχείων. Η απεικόνιση έδειξε ότι, η γεωλογική δομή της περιοχής όπου πραγματοποιήθηκε η συλλογή των δειγμάτων κυριαρχείται από Νεογενείς αποθέσεις. Πιο συγκεκριμένα, όπως παρατηρήθηκε και κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, επικρατούσαν μάργες, ψαμμίτες και κροκάλες κίτρινου ή καστανού χρώματος ενώ υπήρχαν και λατύπες που περιείχαν μεγάλα τεμάχια από ασβεστόλιθους τα οποία σχηματίστηκαν κατά την τοποθέτηση τεκτονικών καλυμμάτων επί του σχιστολιθικού-οφιολιθικού υποβάθρου (Εικ. 40).



Εικόνα 40: Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας στο γεωλογικό χάρτη (κλίμακα 1:16,000) (Τροποποιημένος από Μπεζές, 2011).

5.4. Εργαστηριακοί προσδιορισμοί δειγμάτων ιζημάτων ρεμάτων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται αναλυτικά η διεργασία προεπεξεργασίας που πραγματοποιήθηκε στα δείγματα των ιζημάτων τα οποία συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, οι εργαστηριακοί έλεγχοι στους οποίους υποβλήθηκαν τα δείγματα μετά από την προεπεξεργασία καθώς και οι μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν προκειμένου να διεκπεραιωθούν οι εργαστηριακοί έλεγχοι.

5.4.1. Προεπεξεργασία δειγμάτων ιζημάτων ρεμάτων

Τα δείγματα που συλλέχθηκαν από τις περιοχές της Νέας Περάμου και της Κινέτας μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Γεωπεριβαλλοντικής Επιστήμης και Διασφάλισης Ποιότητας Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και απλώθηκαν σε επίπεδα δοχεία τα οποία είχαν καλυφθεί προηγουμένως με πολυαιθυλενικό υλικό έτσι ώστε να αποφευχθεί τυχόν επιμόλυνση (Εικ. 41).



Εικόνα 41: Το επίπεδο δοχείο καλυμμένο με υλικό από πολυαιθυλένιο όπου τοποθετήθηκε το δείγμα ιζηματος (αριστερά) και τα απλωμένα δείγματα (δεξιά).

Μετά από το άπλωμα στα δοχεία, τα δείγματα ιζημάτων αφέθηκαν για ξήρανση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για περίπου 3-10 ημέρες ανάλογα με την υγρασία που είχε το κάθε δείγμα ιζηματος ενώ κατά διαστήματα, τα δείγματα ανακατεύονταν με τη βοήθεια σέσουλας έτσι ώστε να διασφαλιστεί η απομάκρυνση της υγρασίας από όλη τη μάζα τους. Στη συνέχεια και αφού τα δείγματα είχαν στεγνώσει πραγματοποιήθηκε αποσβόλωσή τους προκειμένου να εξαλειφθούν τυχόν σβόλοι και έπειτα υποβάλλονταν σε κοσκίνιση χρησιμοποιώντας πλαστικά κόσκινα μεγέθους πόρων 2 mm και 200 μm ώστε να αποφευχθεί τυχόν ρύπανση από μέταλλα (Εικ. 42). Τέλος, το λεπτόκοκκα κλάσματα των δειγμάτων δηλαδή τα κλάσματα που είχαν μέγεθος κόκκων μικρότερο από 200 μm συλλέχθηκαν σε σακουλάκια πολυαιθυλενίου και μεταφέρθηκαν για εργαστηριακή ανάλυση στο Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων (Τμήμα Εδαφολογίας Αθηνών) του Ελληνικού Γεωργικού Οργανισμού (ΕΛΓΟ)-ΔΗΜΗΤΡΑ, που ανήκει στο Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.



Εικόνα 42: Κλάσματα των δειγμάτων που λαμβάνονταν από κάθε κόσκινο

Τα δείγματα των ιζημάτων, πριν πραγματοποιηθούν οι εργαστηριακοί έλεγχοι, τοποθετήθηκαν σε μεταλλικά ταψάκια τα οποία είχαν καλυφθεί προηγουμένως με μεμβράνη από πολυμερές υλικό έτσι ώστε να μην ερχόταν σε επαφή το δείγμα με το μέταλλο και εισάχθηκαν σε θάλαμο αεροξήρανσης ο οποίος ρυθμίστηκε στους 40 °C για περίπου 24 h προκειμένου να απομακρυνθεί το μεγαλύτερο ποσοστό της υγρασίας που είχε απομείνει στα δείγματα (Εικ. 43).



Εικόνα 43: Θάλαμος αεροξήρανσης δειγμάτων

Μετά από 24 h, τα δείγματα συλλέγονταν σε δοχεία πολυαιθυλενίου με σκοπό να μεταφερθούν για εργαστηριακό έλεγχο. Πριν γίνει η εισαγωγή των δοχείων στο εργαστήριο για να πραγματοποιηθούν οι εργαστηριακοί έλεγχοι, περίπου 10 g από το κάθε δείγμα ιζήματος που είχε υποστεί αεροξήρανση στους 40 °C τοποθετήθηκαν σε μεταλλικά δοχεία και εισάχθηκαν σε φούρνο στους 105 °C για 24 h έτσι ώστε να προσδιοριστεί η υγρασία που μπορεί να μην απομακρύνθηκε με την αεροξήρανση (Εικ. 44).



Εικόνα 44: Φούρνος όπου πραγματοποιήθηκε η ξήρανση των 10 g των ιζημάτων

Μετά το πέρας των 24 ωρών, τα δείγματα απομακρύνθηκαν από το φούρνο και ζυγίστηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί η τελική μάζα κάθε δείγματος μετά από την ξήρανση στους 105 °C και να υπολογιστεί το ποσοστό υγρασίας. Το ποσοστό της υγρασίας που απομακρύνθηκε μετά την ξήρανση στους 105 °C το οποίο χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς των παραμέτρων που προσδιορίστηκαν μέσω των εργαστηριακών ελέγχων ήταν κατά μέσο όρο 2.03% και υπολογίστηκε για κάθε δείγμα σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$x = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100 \quad (1)$$

Όπου:

x: Το ποσοστό υγρασίας του ιζήματος

m_i : Η αρχική μάζα του ιζήματος σε g

m_f : Η τελική μάζα του ιζήματος σε g μετά την ξήρανση στους 105 °C

Τέλος, μετά από την διεργασία προεπεξεργασίας, τα δείγματα των ιζημάτων υποβλήθηκαν σε χημικές αναλύσεις των οποίων οι μεθοδολογίες θα παρουσιαστούν αναλυτικά στις παρακάτω υποενότητες. Οι χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Μηχανική σύσταση.
- pH.
- Οργανική ουσία.
- Διαθέσιμα ιχνοστοιχεία και συγκεκριμένα χαλκό (Cu_{DTPA}), σίδηρο (Fe_{DTPA}), μαγγάνιο, (Mn_{DTPA}) και ψευδάργυρο (Zn_{DTPA}).
- Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (Cation Exchange Capacity (CEC)).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, η προαναφερθείσα προεπεξεργασία πραγματοποιήθηκε και στα δείγματα τέφρας τα οποία συλλέχθηκαν από τις περιοχές δειγματοληψίας των ιζημάτων των ρεμάτων της Κινέτας. Ωστόσο, ο προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων στην τέφρα δεν πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο του ΕΛΓΟ αλλά τα δείγματα στάλθηκαν στα αναλυτικά εργαστήρια (ALS) της Ιρλανδίας προς ανάλυση όπου υπήρξε η δυνατότητα προσδιορισμού της συνολικής συγκέντρωσης τόσο των τεσσάρων ιχνοστοιχείων (Cu, Zn, Fe, Mn) όσο και άλλων ιχνοστοιχείων καθώς και θρεπτικών (Ag, Al, As, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Ga, Hg, K, La, Mg, Ni, P, S, Sb, Sc, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn) γεγονός που οδήγησε στην καλύτερη αξιολόγηση της τέφρας. Ο προσδιορισμός των ανωτέρω στοιχείων στην τέφρα πραγματοποιήθηκε με χώνευση με βασιλικό νερό (Aqua Regia) το οποίο είναι μίγμα HCl με HNO_3 σε αναλογία 3:1 και στη συνέχεια μέτρηση των στοιχείων στο υγρό διήθημα σε φασματοφωτόμετρο ατομικής εκπομπής σε επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, ICP-AES).

5.4.2. Προσδιορισμός μηχανικής σύστασης

Η μηχανική σύσταση του ιζήματος αναφέρεται στη σύσταση του ιζήματος με βάση τους κόκκους διαφόρων διαστάσεων και συγκεκριμένα στα τεμάχια του ιζήματος που διέρχονται από κόσκινο με οπές διαμέτρου 2 mm. Επομένως, ο προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του ιζήματος πραγματοποιείται στα κλάσματα της λεπτής γης, δηλαδή, στα κλάσματα της άμμου, της ιλύος και της αργίλου. Η άμμος, η ιλύς και η άργιλος καλούνται κλάσματα μηχανικής σύστασης και η διαδικασία προσδιορισμού της εκατοστιαίας αναλογίας τους ονομάζεται μηχανική ανάλυση του ιζήματος (Bouyoucos, 1962).

Στην παρούσα έρευνα μετρήθηκε η μηχανική σύσταση των ιζημάτων των ρεμάτων με τη μέθοδο του πυκνόμετρου του Βουγιούκου η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω. Η μέθοδος στηρίζεται στο νόμο του Stokes και απαιτεί να γίνουν τέσσερις βασικές παραδοχές προκειμένου να εφαρμοστεί. Οι παραδοχές αυτές είναι οι εξής (Bouyoucos, 1962; Dane et. Al, 2002; Jury and Horton, 2004):

- Η τελική ταχύτητα επιτυγχάνεται μόλις ξεκινήσει η καθίζηση.
- Τα σωματίδια είναι λεία και σφαιρικά.
- Δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ μεμονωμένων σωματιδίων στο διάλυμα (το αιώρημα είναι αρκετά αραιό)
- Καθιζάνουν με ταχύτητες που δεν αγγίζουν τα όρια της τυρβώδους ροής.

5.4.2.1. Εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού της μηχανικής σύστασης

Αρχικά, ζυγίστηκαν (50+x) g ιζήματος δεδομένης υγρασίας (όπου x το ½ του ποσοστού υγρασίας του ιζήματος) και τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 600 mL. Με σιφώνιο των 50 mL, προστέθηκαν 50 mL διασπορικό διάλυμα εξαμεταφωσφορικού νατρίου ($\text{Na}(\text{PO}_3)_6$), πραγματοποιήθηκε ανάδευση με γυάλινη ράβδο και το δείγμα αφέθηκε σε ηρεμία για τουλάχιστον 3-4 h προκειμένου να διαποτιστεί από το διασπορικό. Στη συνέχεια, έγινε συμπλήρωση με απιονισμένο νερό μέχρι την ένδειξη των 500 mL, ανάδευση με γυάλινη ράβδο και το δείγμα έμεινε σε κατάσταση ηρεμίας για 24 h. Μετά από 24 h, το δείγμα αναδεύτηκε με τη γυάλινη ράβδο, τοποθετήθηκε σε αναμίκτη και αφού ανακινήθηκε για 15 min, μεταφέρθηκε από το δοχείο του αναμίκτη στον σωλήνα Βουγιούκου. Ακολούθως, τοποθετήθηκε εντός του σωλήνα το πυκνόμετρο και πραγματοποιήθηκε συμπλήρωση με απιονισμένο νερό μέχρι την ένδειξη 1,130 mL (Εικ. 45).



Εικόνα 45: Ο σωλήνας Βουγιούκου συμπληρωμένος με απιονισμένο νερό μέχρι τα 1,130 mL μέσα στον οποίο φαίνεται το πυκνόμετρο.

Αφού έγινε 20 φορές ανάδευση με τον αναδευτήρα ανατάραξης, τοποθετήθηκε ξανά το πυκνόμετρο και λήφθηκαν δύο μετρήσεις οι οποίες είναι μετά από 40 sec και μετά από 2 h.



Εικόνα 46: Κατάσταση των δειγμάτων στους σωλήνες μετά από 2 h

Επομένως, αν A είναι η πρώτη μέτρηση μετά από 40 sec και B είναι η δεύτερη μέτρηση μετά από 2 h τότε:

$A = (\text{ιλύς} + \text{άργιλος})\%$

$B = \text{άργιλος}\%$

Οπότε: $A - B = \text{ιλύς}\%$ και $100 - A = \text{άμμος}\%$

5.4.3. Προσδιορισμός pH

Το pH αποτελεί δείκτη της ισχύος των οξέων και των βάσεων και ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος των διαλυμένων ιόντων υδρογόνου (H^+) σε ένα διάλυμα σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$pH = -\log[H^+] \quad (2)$$

Ανάλογα με την τιμή του pH, ένα διάλυμα μπορεί να χαρακτηριστεί ως όξινο ($pH < 7$), βασικό ($pH > 7$) ή ουδέτερο ($pH = 7$) (Boyd et al., 2011). Η γνώση της τιμής του pH είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς το pH είτε έμμεσα είτε άμεσα επηρεάζει τους μηχανισμούς συγκράτησης των μετάλλων από τα ιζήματα καθώς με την αύξηση του pH αυξάνεται η απορρόφηση των κατιονικών μετάλλων (Draszawka-Bolzan, 2017). Επομένως, στην παρούσα έρευνα γίνεται προσδιορισμός του pH στα δείγματα των ιζημάτων των ρεμάτων ώστε να αιτιολογηθούν οι ποσότητες των μετάλλων που προσδιορίστηκαν στα ιζήματα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό του pH στηρίχθηκε στην δημιουργία εδαφικής πάστας σύμφωνα με την παρακάτω μεθοδολογία.

5.4.3.1. Εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού pH

Αρχικά, ζυγίστηκαν (100+ ποσοστό υγρασίας) g από τα δείγματα τα οποία είχαν υποστεί ξήρανση με αέρα. Στη συνέχεια, με προχοΐδα των 50 ml προστέθηκε νερό στα δείγματα με ταυτόχρονη ανάδευση με σπαθίδα μέχρι το αυλάκι που δημιουργείται από την σπαθίδα στην γυαλιστερή πλέον μάζα των μιγμάτων ιζήματος-νερού να μην εξαφανίζεται λόγω μετακίνησής της. Τέλος, τα δείγματα αφέθηκαν σε ηρεμία για περίπου μια ώρα προκειμένου να επέλθει ισορροπία και ακολούθησε μέτρηση του pH στις πάστες με χρήση του πεχαμέτρου METTLER TOLEDO MPC227 που φαίνεται στην εικόνα (Εικ. 47).



Εικόνα 47: Όργανο μέτρησης pH.

5.4.4. Προσδιορισμός οργανικής ουσίας

Η οργανική ουσία του ιζήματος είναι το οργανικό κλάσμα του ιζήματος το οποίο περιλαμβάνει τα φυτικά, τα ζωικά και τα μικροβιακά υπολείμματα σε όλα τα στάδια της αποσύνθεσης τους καθώς και τον σχετικά ανθεκτικό χούμο. Η οργανική ουσία επηρεάζει θετικά και ρυθμίζει σε σημαντικό βαθμό το σύνολο των ιδιοτήτων του ιζήματος. Πιο συγκεκριμένα, τα οργανικά συστατικά του ιζήματος επηρεάζουν την ικανότητα συγκράτησης του νερού και των θρεπτικών συστατικών, τη δομή, τη διηθητική ικανότητα, τη βιοποικιλότητα του ιζήματος, το πορώδες καθώς και την διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών (Benites and Bot, 2005).

Μερικές από τις ευνοϊκές επιδράσεις της οργανικής ουσίας στο ίζημα παρουσιάζονται ακολούθως (Πολυζόπουλος, 1976):

- Προάγει τη δημιουργία σταθερών συσσωματωμάτων των κόκκων του ιζήματος βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο το πορώδες και τις εξαρτημένες από αυτό ιδιότητες όπως την περατότητα από το νερό ή τον αερισμό.
- Αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (IAK) και την ρυθμιστική ιδιότητα.
- Προστατεύει από έκπλυση, ή άλλου είδους απώλειες, ή δεσμεύσεις θρεπτικά στοιχεία (N, P, S) ενώ αποτελεί τη μοναδική πηγή ενέργειας για πολλούς μικροοργανισμούς και άλλους ζώντες οργανισμούς του ιζήματος.
- Προάγει τη χρησιμοποίηση ορισμένων ιχνοστοιχείων από τα φυτά διότι έχει την ικανότητα να συγκρατεί ιχνοστοιχεία και φυτοφάρμακα.

Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της οργανικής ουσίας στα ιζήματα έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τις ποσότητες των ιχνοστοιχείων που προσδιορίστηκαν κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών αναλύσεων. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της οργανικής ουσίας περιγράφεται αναλυτικά ακολούθως.

5.4.4.1. Εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού της οργανικής ουσίας

Αρχικά ζυγίστηκαν 0.2 g από τα δείγματα τα οποία είχαν υποστεί άλεση στα 200 μm και ξήρανση με αέρα και μεταφέρθηκαν σε κωνικές φιάλες των 500 mL. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 10 mL διαλύματος διχρωμικού καλίου ($K_2Cr_2O_7$) 1 N, και ανακινήθηκαν προσεκτικά μέχρι πλήρους διασποράς του δείγματος στο διάλυμα. Έπειτα, προστέθηκαν 20 mL πυκνό H_2SO_4 , ανακινήθηκαν για περίπου 1 min και αφέθηκαν σε ηρεμία για περίπου 30 min. Τέλος, προστέθηκαν περίπου 200 mL νερού, 10 mL πυκνό H_3PO_4 , 1 mL δείκτη διφαινυλαμίνης και ογκομετρήθηκε η περίσσεια $K_2Cr_2O_7$ με πρότυπο διάλυμα θειϊκού σιδήρου ($FeSO_4$) 0.5 N μέχρι να αλλάξει το χρώμα του δείκτη από μπλε σε πράσινο. Παράλληλα, εκτελέστηκε λευκός προσδιορισμός (τυφλό δείγμα) της κανονικότητας του πρότυπου διαλύματος $FeSO_4$.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την διαδικασία της ογκομέτρησης υπολογίστηκε το ποσοστό της οργανικής ουσίας σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$\% \text{ οργανικής ουσίας} \left(\frac{\text{g οργανικής ουσίας}}{100 \text{ g ξηρού δείγματος}} \right) = \frac{0.087 \times (100 + \% H_2O) \times (T - A)}{T \times W} \quad (3)$$

Όπου:

T: Ο όγκος του FeSO₄ που καταναλώθηκε κατά την ογκομέτρηση του τυφλού δείγματος σε mL.

A: Ο όγκος του FeSO₄ που καταναλώθηκε κατά την ογκομέτρηση του δείγματος σε mL.

%H₂O: Το ποσοστό υγρασίας του δείγματος.

W: Η μάζα του δείγματος σε g.

5.4.5. Προσδιορισμός ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ)

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ) είναι το σύνολο των θετικά φορτισμένων ιόντων όπως ασβέστιο (Ca²⁺), μαγνήσιο (Mg²⁺), κάλιο (K⁺), νάτριο (Na⁺), σίδηρος (Fe²⁺), και μαγγάνιο (Mn²⁺) που απαιτούνται για την εξουδετέρωση των αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων της αργίλου και της οργανικής ύλης του ιζήματος. Τα κατιόντα αυτά που συγκρατούνται από τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια μέσω ηλεκτροστατικών δυνάμεων, είναι εύκολα ανταλλάξιμα με άλλα κατιόντα και επομένως, είναι διαθέσιμα στα φυτά. Η τιμή της ΙΑΚ αποτελεί ένα δείκτη της γονιμότητας του ιζήματος καθώς όλα τα προσροφημένα κατιόντα είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών και είναι η πιο σημαντική ιδιότητα από άποψη συγκράτησης θρεπτικών και βιοδιαθεσιμότητας (Genon and Dufey, 1991; Ketterings et al., 2007).

Τα ανταλλάξιμα κατιόντα (προσροφημένα) υπερτερούν κατά πολύ ποσοτικά των κατιόντων του διαλύματος ιζήματος και για αυτό το λόγο κινητοποιούνται ώστε να αναπληρώσουν της απώλειες του διαλύματος ιζήματος. Επίσης, η ικανότητα της στερεάς φάσης να συγκρατεί διάφορα κατιόντα έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της έκπλυσης τους και επομένως την απώλειά τους με το νερό της βροχής. (Κεραμίδας, 1997).

Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός της ΙΑΚ των ιζημάτων των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου, με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα για τις διαθέσιμες ποσότητες των τεσσάρων ιχνοστοιχείων (Cu_{DTPA}, Fe_{DTPA}, Mn_{DTPA}, Zn_{DTPA}) που προσδιορίστηκαν κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών αναλύσεων. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την διάρκεια του προσδιορισμού της ΙΑΚ στα ιζήματα περιγράφεται αναλυτικά ακολούθως.

5.4.5.1. Εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων

Αρχικά, ζυγίστηκαν 2.5 g ιζημάτων ρεμάτων τα οποία είχαν υποστεί άλεση στα 0.2 mm και ξήρανση με ρεύμα αέρα και τοποθετήθηκαν σε κλειστούς σωλήνες φυγοκέντρισης πολυαιθυλενίου των 50 mL. Αφού σημειώθηκε η συνολική μάζα (σωλήνας και ίζημα), προστέθηκαν 30 mL διαλύματος πυκνού χλωριούχου βαρίου (BaCl₂) συγκέντρωσης 0.1 M με dispenser και τοποθετήθηκαν σε κουτιά τα οποία εισήχθησαν σε συσκευή ανάδευσης, όπου ανακινήθηκαν με ταχύτητα 130 στροφές min⁻¹ για 1 h (Εικ. 48).



Εικόνα 48: Ανάδευση των δειγμάτων.

Μετά από 1 h, οι σωλήνες αφαιρέθηκαν από τον αναδευτήρα και τοποθετήθηκαν στην φυγόκεντρο για 10 min. Μετά το πέρας των 10 min, οι σωλήνες απομακρύνθηκαν από τη φυγόκεντρο και πετάχτηκε το υπερκείμενο υγρό. Η διαδικασία προσθήκης των 30 mL πυκνού BaCl_2 , της ανακίνησης, της φυγοκέντρωσης και της αφαίρεσης του υπερκείμενου υγρού επαναλήφθηκε άλλες δύο φορές. Μετά την τρίτη επανάληψη, προστέθηκαν στους σωλήνες 30 mL διαλύματος αραιού χλωριούχου βαρίου (BaCl_2) συγκέντρωσης 0.0025 M και ανακινήθηκαν για όλη τη διάρκεια της νύχτας. Την επόμενη ημέρα, οι σωλήνες αφαιρέθηκαν από τη συσκευή ανάδευσης και εισήχθησαν στη φυγόκεντρο στις 3,000 στροφές min^{-1} για 10 min. Μετά το πέρας των 10 min απομακρύνθηκε το υπερκείμενο υγρό και εισήχθησαν στους σωλήνες 30 mL θειϊκού μαγνησίου (MgSO_4) συγκέντρωσης 0.02 M τα οποία ανακινήθηκαν για όλη τη διάρκεια της νύχτας. Την επόμενη μέρα, αφού πραγματοποιήθηκε φυγοκέντρωση για 10 min, μεταφέρθηκε το υπερκείμενο υγρό μέσω κοινού διηθητικού ηθμού σε φιάλη πολυαιθυλενίου για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της περίσσειας μαγνησίου (Εικ. 49).



Εικόνα 49: Συλλογή των διηθημάτων μετά την προσθήκη MgSO_4 .

Τέλος, μεταφέρθηκαν 0.1 mL από το τελικό διήθημα των ιζημάτων σε ογκομετρικές φιάλες των 100 mL, προστέθηκαν 10 mL νιτρικού λανθανίου (LaNO_3) σε κάθε ογκομετρική φιάλη, έγινε συμπλήρωση με νερό μέχρι τη χαραγή, ανακίνηση και το διάλυμα μεταφέρθηκε στη συσκευή ατομικής απορρόφησης με φλόγα με σκοπό να μετρηθεί η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Εικ. 50).



Εικόνα 50: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με φλόγα (VarianSpectraAA 220).

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέτρηση των διηθημάτων στη συσκευή ατομικής απορρόφησης υπολογίστηκε η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων των ιζημάτων σύμφωνα με τους ακόλουθους τύπους:

$$c_2 = \frac{c_1 \times (30 + m_2 - m_1)}{30} \quad (4)$$

Όπου:

c_2 : Η διορθωμένη συγκέντρωση του μαγνησίου (Mg^{2+}) στο δείγμα σε mmol L^{-1} .

c_1 : Η συγκέντρωση του μαγνησίου (Mg^{2+}) στο δείγμα σε mmol L^{-1} .

m_1 : Η συνολική μάζα του σωλήνα φυγοκέντρισης με το αεροξηραμένο δείγμα ιζήματος, σε g.

m_2 : Η συνολική μάζα του σωλήνα φυγοκέντρισης με το υγρό δείγμα, σε g.

$$CEC = \frac{2 \times (c_{b1} - c_2) \times 3,000}{m} \quad (5)$$

Όπου:

CEC: Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του ιζήματος σε $\text{cmol Mg}^{2+} \text{ kg}^{-1}$.

c_2 : Η διορθωμένη συγκέντρωση του μαγνησίου στο δείγμα σε mmol L^{-1} .

c_{b1} : Η συγκέντρωση του μαγνησίου στο τυφλό δείγμα σε mmol L^{-1} ($c_{b1} < 0.0214 \text{ mmol L}^{-1}$).

m : Η ξηρή μάζα του δείγματος σε g.

5.4.6. Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων (Cu, Fe, Mn, Zn) στα δείγματα ιζημάτων

Ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn) και ο ψευδάργυρος (Zn) είναι στοιχεία απαραίτητα για το ίζημα το οποίο έχει την ικανότητα να τα συγκρατεί μέχρι μια συγκεκριμένη ποσότητα. Παραπάνω από αυτήν την ποσότητα τα στοιχεία αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε ρύπανση των ιζημάτων και εμφάνιση τοξικότητας στα φυτά και στα ζώα (Adriano, 1986). Τα προαναφερόμενα στοιχεία ανάλογα με τη μορφή που υπάρχουν στο ίζημα μπορεί να είναι είτε ευκίνητα και επομένως διαθέσιμα στα φυτά είτε ακινητοποιημένα (Shuman, 1991). Οι μορφές με τις οποίες απαντώνται στο ίζημα είναι οι εξής:

- Διαλυμένα στο διάλυμα του ιζήματος (υδατοδιαλυτό κλάσμα). Το υδατοδιαλυτό κλάσμα περιέχει τα ελεύθερα ιόντα και τα ιόντα που είναι συμπλοκοποιημένα με τη διαλυτή οργανική ουσία και άλλα συστατικά. Το κλάσμα αυτό είναι το πιο ασταθές κλάσμα των μετάλλων και των μεταλλοειδών στα ιζήματα και αποτελεί την πιο εύκολα διαθέσιμη μορφή για πρόσληψη από τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς (Filgueiras et al., 2002). Σύμφωνα με τους John and Leventhal (1995), το υδατοδιαλυτό κλάσμα αποτελείται από ανθρακικά σύμπλοκα, ιοντικά σύμπλοκα και ένυδρα ιόντα, με τη διαλυτότητά τους να είναι ισχυρά επηρεαζόμενη από το pH.
- Ανταλλάξιμα και προσροφημένα στην επιφάνεια των κολλοειδών συστατικών (ανταλλάξιμο κλάσμα). Το ανταλλάξιμο κλάσμα των μετάλλων είναι ασθενώς προσροφημένο και διατηρείται στις επιφάνειες των ιζημάτων με ασθενείς ηλεκτροστατικούς δεσμούς ενώ μπορεί να μετατοπιστεί εύκολα στο υδατοδιαλυτό κλάσμα (Filgueiras et al., 2002; Ogunfowokan et al., 2013). Το κλάσμα αυτό αποτελεί την πιο ασταθή και την πιο βιοδιαθέσιμη μορφή των μετάλλων στα ιζήματα (Wang et al., 2010).
- Συνδεδεμένα με ανθρακικά άλατα (όξινο-διαλυτό κλάσμα). Το όξινο-διαλυτό κλάσμα περιλαμβάνει τις ανταλλάξιμες και τις ανθρακικές φάσεις. Τα μέταλλα σε αυτό το κλάσμα είναι προσροφημένα στις επιφάνειες των ανθρακικών ορυκτών (Filgueiras et al., 2002; Wang et al., 2010). Το κλάσμα αυτό περιλαμβάνει τις πιο ασταθές μορφές των μετάλλων (ανταλλάξιμες και άλλες μορφές) συνδεδεμένες με ανθρακικά. Η ανθρακική μορφή είναι μια χαλαρά συνδεδεμένη φάση και υφίσταται αλλαγές ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Morillo et al., 2004). Επομένως, τα μέταλλα που συνδέονται σε αυτή τη φάση απελευθερώνονται εύκολα στο περιβάλλον υπό όξινες συνθήκες (Filgueiras et al., 2002; Morillo et al., 2004).
- Συνδεδεμένα με τα οξείδια Fe-Mn (αναγωγίσιμο κλάσμα). Το αναγωγίσιμο κλάσμα αντιπροσωπεύει τα μέταλλα που συνδέονται με τα οξείδια Fe και Mn και μπορούν να απελευθερώνονται με την οξείδωση των ενώσεων αυτών των οξειδίων (Morillo et al., 2004). Η μεγάλη επιφάνεια των άμορφων ένυδρων οξειδίων Fe-Mn επιτρέπει τη συλλογή των μετάλλων από αυτά τα οξείδια με αποτέλεσμα η αναγωγίσιμη φάση να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη μεταλλική κινητικότητα και βιοδιαθεσιμότητα σε υδάτινα περιβάλλοντα (Wang et al., 2010).

- Συνδεδεμένα με την οργανική ουσία και τα σουλφίδια (οξειδώσιμο κλάσμα). Τα μέταλλα που συνδέονται στο οξειδώσιμο κλάσμα των ιζημάτων μπορούν να απελευθερώνονται στο περιβάλλον υπό οξειδωτικές συνθήκες (Morillo et al., 2004). Τα μέταλλα που σχηματίζουν σύμπλοκα με την οργανική ουσία απελευθερώνονται με αποσύνθεση της οργανικής ουσίας υπό οξειδωτική κατάσταση και ταυτόχρονα τα μέταλλα που δεσμεύονται σε σουλφίδια μπορούν να εξαχθούν κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου (Filgueiras et al., 2002). Η οργανική ουσία, τα σουλφίδια και το δυναμικό οξειδοαναγωγής παίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόσδεση και στην κινητικότητα του μετάλλου στο ίζημα (Carlat et al., 2005). Επίσης, οι οργανικές ουσίες έχουν υψηλή συγγένεια για δισθενή ιόντα σε σχέση με τα μονοσθενή (Okoro and Fatoki, 2012). Επομένως, τα μέταλλα που συνδέονται με το οξειδώσιμο κλάσμα έχουν περιορισμένη κινητικότητα (Wang et al., 2010).
- Συστατικά της δομής των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών (Υπολειμματικό κλάσμα). Το υπολειμματικό κλάσμα είναι αδρανές κλάσμα που περιέχει τα μέταλλα τα οποία είναι συνδεδεμένα με ορυκτά που αποτελούν μέρος της κρυσταλλικής δομής (Carlat et al., 2005). Η υπολειμματική φάση είναι απίθανο να απελευθερωθεί από τα ιζήματα και επομένως, μπορεί να είναι λιγότερο τοξική για τους οργανισμούς. Ωστόσο, τα μέταλλα μπορούν να γίνουν διαθέσιμα από την κρυσταλλική φάση όταν συμβαίνουν διεργασίες εκτεταμένης αποσάθρωσης και αποσύνθεσης (Filgueiras et al., 2002; John and Leventhal, 1995; Ogunfowokan et al., 2013; Wang et al., 2010).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων στο ίζημα είναι το pH, το είδος των ορυκτών, οι οξειδοαναγωγικές συνθήκες και η περιεκτικότητα των ιζημάτων σε άργιλο και οργανική ουσία (Παναγιωτόπουλος, 2008). Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της τιμής του pH έχει ως συνέπεια την αύξηση της ικανότητας του ιζήματος να συγκρατεί τα προαναφερθέντα στοιχεία και την μεγιστοποίηση της σε ουδέτερες ή αλκαλικές τιμές pH. Επίσης, η οργανική ουσία μπορεί να συγκρατήσει ισχυρά τα στοιχεία αυτά καθώς σχηματίζει σταθερές υδατοδιαλυτές ή δυσδιάλυτες ενώσεις (χηλικές ενώσεις) με αποτέλεσμα την μείωση της διαθεσιμότητάς τους στα φυτά. Επιπροσθέτως, όσον αφορά τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, όταν επικρατούν αναγωγικές συνθήκες, στοιχεία όπως Cu και Zn μπορούν να σχηματίσουν δυσδιάλυτες ενώσεις, με αποτέλεσμα τη μείωση της κινητικότητας και της διαθεσιμότητάς τους, σε αντίθεση με τον σίδηρο και το μαγγάνιο των οποίων η διαθεσιμότητα αυξάνεται σε αναγωγικές συνθήκες. Τέλος, όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του ιζήματος σε άργιλο και κατά συνέπεια η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ), τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα συγκράτησης των ιχνοστοιχείων σε αυτό (Adriano, 1986). Ακολούθως, παρουσιάζεται η εξάρτηση από τους ανωτέρω παράγοντες για κάθε ένα από τα ιχνοστοιχεία που εξετάζονται στην παρούσα έρευνα.

5.4.6.1. Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός βρίσκεται στη φύση είτε σε μονοσθενή μορφή (Cu^+) είτε σε δισθενή μορφή (Cu^{2+}) η οποία είναι και η πιο αφομοιώσιμη από τα φυτά (Κεραμίδας, 1997) και αποτελεί ένα από τα λιγότερο ευκίνητα ιχνοστοιχεία στο ιζήμα διότι η οργανική ουσία, τα οξείδια σιδήρου (Fe), αργιλίου (Al) και μαγγανίου (Mn) καθώς και τα ορυκτά της αργίλου τον δεσμεύουν ισχυρά με αποτέλεσμα τη μείωση της διαθεσιμότητάς του από τα φυτά (Adriano, 1986). Ειδικά, η οργανική ουσία σχηματίζει σταθερά σύμπλοκα με το συγκεκριμένο στοιχείο, μειώνοντας τη διαθεσιμότητά του στα φυτά (Kabata-Pendias, 2001). Επίσης, πέρα από αυτούς τους παράγοντες, η διαθεσιμότητα του χαλκού επηρεάζεται και από το pH. Πιο συγκεκριμένα, η διαθεσιμότητα μειώνεται σε αλκαλικά ιζήματα ($\text{pH} > 7$) και μεταξύ του pH του ιζήματος και του διαθέσιμου Cu υπάρχει αρνητική συσχέτιση (Adriano, 1986).

5.4.6.2. Ψευδάργυρος (Zn)

Ο Zn βρίσκεται στη φύση με τη δισθενή μορφή του δηλαδή ως Zn^{2+} ενώ στο διάλυμα του ιζήματος βρίσκεται και με τη μορφή σύμπλοκων ιόντων ως $\text{Zn}(\text{OH})^+$, $\text{Zn}(\text{OH})_2^{-}$ και $\text{Zn}(\text{OH})_3^{-}$ (Κεραμίδας, 1997). Οι μορφές του ψευδαργύρου που είναι εύκολα διαθέσιμες από τα φυτά είναι η υδατοδιαλυτή και η ανταλλάξιμη (Adriano, 1986). Η διαθεσιμότητα του Zn επηρεάζεται σημαντικά από την οργανική ουσία και το pH του ιζήματος. Πιο συγκεκριμένα, η οργανική ουσία (φουλβικά οξέα και οργανικά οξέα μικρού μοριακού βάρους) σχηματίζει ευδιάλυτες χημικές ενώσεις με τον Zn με αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας και της κινητικότητάς του (Alloway, 1995). Αντίθετα, η αύξηση του pH οδηγεί σε αυξημένη συγκράτηση των ιόντων του μετάλλου και κατά συνέπεια σε μείωση της διαθεσιμότητάς του από τα φυτά. Επομένως, όπως και στην περίπτωση του Cu, η διαθεσιμότητα του Zn είναι πολύ χαμηλή σε αλκαλικά ιζήματα ενώ σε όξινα είναι αυξημένη (Adriano, 1986).

5.4.6.3. Σίδηρος (Fe)

Ο σίδηρος θεωρείται ότι υπάρχει στα ιζήματα κυρίως με τη μορφή οξειδίων και υδροξειδίων, ελεύθερων ή συνδυασμένων με άλλα ορυκτά. Επίσης, στα ιζήματα που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, ο Fe εμφανίζεται σε σημαντικό βαθμό με τη μορφή χηλικών ενώσεων. Επιπλέον, στα ιζήματα, η συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού Fe είναι αρκετά χαμηλή σε σχέση με την ολική περιεκτικότητά του και οι διαλυτές ανόργανες μορφές του είναι Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, FeOH^{2+} , Fe^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$, $\text{Fe}(\text{OH})_4^{2-}$ (Kabata-Pendias, 2001).

Η κινητικότητα και η διαλυτότητα του Fe στα ιζήματα επηρεάζεται από δυο βασικούς παράγοντες οι οποίοι είναι οι οξειδοαναγωγικές συνθήκες και το pH. Πιο συγκεκριμένα, οι οξειδωτικές συνθήκες και οι αλκαλικές τιμές pH έχουν ως αποτέλεσμα την κατακρήμνιση και επομένως την ακινητοποίηση του Fe ενώ οι αναγωγικές συνθήκες και οι όξινες τιμές pH οδηγούν σε αύξηση της διαλυτότητας του Fe και κατά συνέπεια σε αύξηση της διαθεσιμότητάς του. Επίσης, η πρόσληψη του Fe από τα φυτά αλλά και η μετακίνησή του εντός αυτών επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως είναι το pH του ιζήματος, η συγκέντρωση του

ασβεστίου (Ca) και του φωσφόρου (P) καθώς και οι υψηλές συγκεντρώσεις άλλων μετάλλων (κυρίως Mn, Zn) (Kabata-Pendias, 2001).

5.4.6.4. Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο (Mn) βρίσκεται στα ιζήματα στην δισθενή (Mn^{2+}), την τρισθενή (Mn^{3+}) και την τετρασθενή (Mn^{4+}) μορφή του, με την δισθενή μορφή να είναι πιο αφομοιώσιμη από τα φυτά (Κεραμίδας, 1997). Οι μορφές με τις οποίες το Mn υπάρχει στο ίζημα είναι ως υδατοδιαλυτό, ανταλλάξιμο, προσροφημένο, συμπλοκοποιημένο με οργανική ουσία ή ως οξείδιο και συστατικό των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών (Adriano, 1986).

Η διαλυτότητα και η διαθεσιμότητα του Mn στο ίζημα επηρεάζεται κυρίως από το pH και τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες και λιγότερο από την περιεκτικότητα του ιζήματος σε οργανική ουσία. Επομένως, όταν επικρατούν αναγωγικές συνθήκες στο ίζημα ή το pH του ιζήματος είναι όξινο, η διαλυτότητα και κατά συνέπεια η διαθεσιμότητα του Mn θα αυξηθεί. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, σε ορισμένα όξινα ιζήματα ($pH < 5,5$) υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης τοξικότητας στα φυτά λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης Mn (Adriano, 1986; Kabata-Pendias, 2001).

Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός του διαθέσιμου κλάσματος των ιχνοστοιχείων Cu, Fe, Mn, και Zn στα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου, με στόχο να διερευνηθεί η τοξικότητα των ιζημάτων σε αυτά τα στοιχεία, μετά από τις φυσικές καταστροφές που συνέβησαν στις δύο περιοχές. Ο προσδιορισμός των προαναφερθέντων στοιχείων διεκπεραιώθηκε με την εκχύλιση των δειγμάτων με διάλυμα τριάμινο-διαίθυλο-πενταοξικού οξέος ($C_{14}H_{23}N_3O_{10}$, DTPA) και την μετέπειτα μέτρηση των εκχυλισμάτων σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με τεχνική φλόγας. Πριν γίνει η περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των προαναφερθέντων στοιχείων, θα πρέπει να τονιστεί ότι, το DTPA δεν προσδιορίζει τη συνολική ποσότητα των στοιχείων στα ιζήματα αλλά τη ποσότητα που είναι εύκολα διαθέσιμη στους οργανισμούς και στα υδάτινα οικοσυστήματα. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίζει τη ποσότητα των μετάλλων που βρίσκονται σε υδατοδιαλυτή, ανταλλάξιμη και ανθρακική μορφή στο ίζημα καθώς η διαθεσιμότητα του μετάλλου η οποία σχετίζεται με τη διαλυτότητα μειώνεται ανάλογα με τη μορφή που υπάρχουν τα μέταλλα στο ίζημα σύμφωνα με την ακόλουθη σειρά: Υδατοδιαλυτά > Ανταλλάξιμα > Προσροφημένα σε ανθρακικά > Προσροφημένα σε οξείδια Fe-Mn > Προσροφημένα σε οργανικές ενώσεις > Προσροφημένα στο υπολειμματικό κλάσμα (Kosore et al., 2015; Mescouto Cleide et al., 2011). Στη συνέχεια αυτής της ενότητας θα παρουσιαστεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε με σκοπό τον προσδιορισμό των ανωτέρω στοιχείων σύμφωνα με την παρακάτω μεθοδολογία.

5.4.6.5. Εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}

Αρχικά, ζυγίστηκαν 25 g δείγματος το οποίο είχε υποστεί άλεση στα 200 μm και ξήρανση με αέρα και μεταφέρθηκαν σε κωνική φιάλη των 250 mL. Στη συνέχεια, προστέθηκαν στις φιάλες 50 mL διαλύματος DTPA με dispenser και αφού πωματίστηκαν με parafilm, τοποθετήθηκαν σε συσκευή ανάδευσης όπου πραγματοποιήθηκε ανάδευση στις 120 στροφές min^{-1} , για 2 h και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C. Μετά το πέρας των δύο ωρών, το διάλυμα διηθήθηκε και το διήθημα συλλέχθηκε σε δοχεία πολυαιθυλενίου. Τέλος, μετά από 24 h, ακολουθήθηκε μέτρηση του διηθήματος στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με φλόγα (VarianSpectraAA220) όπου προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις των στοιχείων (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}) σε mg L^{-1} .

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέτρηση με ατομική απορρόφηση υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} και Zn_{DTPA} σε mg kg^{-1} σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$b_i = \frac{50 \times (S_i \times \rho_i - \rho_{bi}) \times (100 + \%H_2O)}{m \times 100} \quad (6)$$

Όπου:

i : Το προς μέτρηση στοιχείο (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}).

b_i : Η συγκέντρωση του εκχυλίσμου με DTPA στοιχείου i στο ιζήμα, σε mg kg^{-1} .

S_i : Ο συντελεστής αραίωσης του δείγματος στις περιπτώσεις που η συγκέντρωση του στοιχείου i είναι έξω από την καμπύλη βαθμονόμησης.

ρ_i : Η μετρούμενη συγκέντρωση του στοιχείου i σε mg L^{-1} .

ρ_{bi} : Η συγκέντρωση του στοιχείου i στο τυφλό δείγμα σε mg L^{-1} .

m : Η μάζα του ιζήματος σε g.

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

5.5. Επεξεργασία Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω των εργαστηριακών ελέγχων υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία η οποία πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια στατιστικών προγραμμάτων (Microsoft Excel και IBM SPSS Statistics). Αρχικά, εφαρμόστηκε η μονοπαραγοντική στατιστική ανάλυση (univariate statistic analysis) μέσω της οποίας πραγματοποιήθηκαν για κάθε παράμετρο οι στατιστικοί προσδιορισμοί της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής, της μέσης τιμής, της διαμέσου και της τυπικής απόκλισης. Οι προσδιορισμοί αυτοί συνέβαλαν στην κατασκευή των διαγραμμάτων αθροιστικής συχνότητας μέσω των οποίων προσδιορίστηκαν οι τιμές κατωφλίου για κάθε παράμετρο καθώς και οι ανώμαλες τιμές οι οποίες είναι μεγαλύτερες από την τιμή κατωφλίου και υποδηλώνουν κάποια γεωχημική ανωμαλία. Τελικά, μέσω της τιμής κατωφλίου και της μέσης τιμής, προσδιορίστηκαν οι παράγοντες ρύπανσης για κάθε χημικό στοιχείο (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}) με στόχο να διερευνηθεί τυχόν ρύπανση λόγω γεωλογίας και λιθολογίας.

Στη συνέχεια, τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε διπαραγοντική στατιστική ανάλυση (bivariate statistic analysis) όπου υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης (correlation factor) μεταξύ δυο παραμέτρων μέσω του λογισμικού IBM SPSS Statistics.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε πολυμεταβλητή ανάλυση (factor analysis) μέσω του λογισμικού IBM SPSS Statistics. Η ανάλυση είχε ως αποτέλεσμα τον προσδιορισμό των φορτίων ανά παράγοντα (factor scores) τα οποία απεικονίστηκαν σε χάρτες με τη βοήθεια του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS) έτσι ώστε να γίνει χωρική κατανομή των παραμέτρων και να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς τη ρύπανση των δυο περιοχών που ερευνήθηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των μετρήσεων που λήφθηκαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις που εκτελέστηκαν στα δείγματα των ιζημάτων των ρεμάτων των περιοχών της Κινέτας και της Νέας Περάμου και στα δείγματα της τέφρας των οποίων η συλλογή έγινε από τα ρέματα της περιοχής της Κινέτας καθώς και τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν για κάθε αποτέλεσμα. Αρχικά, θα προσδιοριστούν οι τιμές κατωφλίου και οι τιμές γεωχημικού πλαισίου μέσω της μονοπαραγοντικής στατιστικής ανάλυσης (univariate statistic analysis) η οποία εκτελέστηκε στο excel προκειμένου να υπολογιστούν οι παράγοντες ρύπανσης (Contamination Factors, CF) για τις δύο περιοχές. Στη συνέχεια, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση με δυο μεταβλητές (bivariate statistic analysis) μέσω του στατιστικού προγράμματος IBM SPSS Statistics 20, έτσι ώστε να υπολογιστούν οι συντελεστές συσχέτισης Pearson μεταξύ των παραμέτρων που μετρήθηκαν και τέλος, θα γίνει ανάλυση κατά παράγοντες (factor analysis) μέσω του προγράμματος IBM SPSS Statistics 20, με σκοπό να προσδιοριστούν οι βαθμοί ανά παράγοντα (factor scores) οι οποίοι θα απεικονιστούν στους γεωλογικούς χάρτες που κατασκευάστηκαν μέσω του προγράμματος ArcGis 10.4.

6.1. Αποτελέσματα μονοπαραγοντικής ανάλυσης

Η μονοπαραγοντική στατιστική ανάλυση μελετά την στατιστική κατανομή καθενός από τα προσδιορισθέντα δεδομένα ξεχωριστά μέσω του υπολογισμού περιγραφικών στατιστικών παραμέτρων οι οποίες είναι ο αριθμητικός μέσος (average), η διάμεσος (median) και η τυπική απόκλιση (Standard Deviation, SD) καθώς και της κατασκευής των διαγραμμάτων συχνότητας (frequency) και αθροιστικής συχνότητας (cumulative frequency) μέσω των οποίων προσδιορίζονται οι τιμές κατωφλίου (threshold values) και γεωχημικού πλαισίου (geochemical framework values). Στην παρούσα ερευνητική εργασία έγινε εφαρμογή της μονοπαραγοντικής στατιστικής ανάλυσης προκειμένου να εξεταστούν τα ακόλουθα:

1. Η οργανική ουσία, τα τέσσερα διαθέσιμα ιχνοστοιχεία (χαλκός (Cu_{DTPA}), σίδηρος (Fe_{DTPA}), μαγγάνιο (Mn_{DTPA}) και ψευδάργυρος (Zn_{DTPA})), η Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων (Cation Exchange Capacity, CEC) και η τιμή του pH των ιζημάτων των ρεμάτων που προσδιορίστηκαν για εικοσιέξι δείγματα ($n=26$) από τα οποία τα εικοσιδύο συλλέχθηκαν από τα ρέματα της περιοχής της Κινέτας ενώ τα τέσσερα από το ρέμα της περιοχής της Νέας Περάμου.
2. Η μηχανική σύσταση των ιζημάτων των ρεμάτων που προσδιορίστηκε σε οχτώ δείγματα ($n=8$) από τα οποία τα έξι συλλέχθηκαν από τα ρέματα της περιοχής της Κινέτας ενώ τα δύο από το ρέμα της περιοχής της Νέας Περάμου.
3. Οι συνολικές συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων και των θρεπτικών (Ag, Al, As, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Ga, Hg, K, La, Mg, Ni, P, S, Sb, Sc, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn, Cu, Fe, Mn) που προσδιορίστηκαν σε πέντε δείγματα ($n=5$) τέφρας που συλλέχθηκε από τα ρέματα της περιοχής της Κινέτας.

Αρχικά, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από την στατιστική ανάλυση των γεωχημικών δεδομένων της αποτιθέμενης τέφρας τα οποία αφορούν τα εικοσιτρία από τα τριάντα στοιχεία καθώς οι συγκεντρώσεις των επτά στοιχείων (Ag, Bi, Hg, Th, Tl, U, W) βρίσκονταν κάτω από το όριο ανίχνευσης σε όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν καταγράφονται στον Πίνακα 17 ο οποίος παρουσιάζει το όριο ανίχνευσης, τη μέση τιμή (average) και την τυπική απόκλιση (Standard Deviation, SD) καθώς και σύγκριση των μέσων τιμών των στοιχείων με κριτήρια ποιότητας ιζήματος και μέσης σύστασης ιζήματος ρέματος για κάθε στοιχείο.

Πίνακας 17: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των ιχνοστοιχείων που περιέχονται στην τέφρα των ρεμάτων της Κινέτας (n=5) και σύγκριση με κριτήρια ποιότητας ιζημάτων και άλλες μελέτες.

Ιχνοστοιχεία	Όριο ανίχνευσης	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέση ^(α) σύσταση ιζήματος	Κριτήρια ^(β) ποιότητας ιζήματος
Al (wt%)	0.01	1.21	0.27	10.2	-
As (mg kg ⁻¹)	2	9.20	3.42	10.1	6
Co (mg kg ⁻¹)	1	28.20	20.75	11.20	-
Cd (mg kg ⁻¹)	0.5	0.65	0.07	0.527	0.6
Cr (mg kg ⁻¹)	1	130.80	77.25	92.80	26
Cu (mg kg ⁻¹)	1	31.60	28.09	22.10	16
Fe (wt%)	0.01	2.40	1.07	2.25	2.12
Mn (mg kg ⁻¹)	5	531.80	139.03	716	460
Ni (mg kg ⁻¹)	1	557.40	420.78	35.20	16
Sr (mg kg ⁻¹)	1	173.60	145.49	171	-
V (mg kg ⁻¹)	1	26	2.35	68.3	-
Zn (mg kg ⁻¹)	2	107.60	77.84	98	120
Be (mg kg ⁻¹)	10	0.65	0.07	2.03	-
Ga (mg kg ⁻¹)	10	10	0	12.1	-
La (mg kg ⁻¹)	10	12	4.47	41	-
Sb (mg kg ⁻¹)	2	2	0	1.07	-
Sc (mg kg ⁻¹)	1	3.6	1.14	-	-
Ti (wt%)	0.01	0.02	0	0.685	-
Ca (wt%)	10	16.96	5.23	5.81	-
K (wt%)	0.01	0.39	0.15	2.08	-
Mg (wt%)	0.01	4.03	1.25	1.77	-
P (mg kg ⁻¹)	10	2,208	2,306.92	0.174	-
S (wt%)	0.01	900	824.62	923	-

(α) Salminel et al., 2005 (β) Department of Water Resources-State of California, 1995

Σύμφωνα με τον Πίνακα 17 παρατηρείται ότι, υπάρχει σημαντική υπέρβαση της συγκέντρωσης των βασικών μετάλλων (Ca, Mg) και του φωσφόρου (P) μεταξύ της αποτιθέμενης στα ρέματα τέφρας σε σχέση με τη συγκέντρωση σε ένα μέσο ιζήμα. Επίσης, φαίνεται ότι, τα οχτώ στοιχεία (Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Sb, Sr, Zn) ξεπερνούν τη συγκέντρωση μέσου ιζήματος με τον Zn να μην υπερβαίνει όμως το χαμηλότερο επίπεδο επίδρασης των κριτηρίων ποιότητας ιζήματος το οποίο ξεπερνά το Mn και το As. Με βάση τις ανωτέρω παρατηρήσεις γίνεται αντιληπτό ότι, περίπου το 50% των στοιχείων που προσδιορίστηκαν στην τέφρα ξεπερνά τις συγκεντρώσεις του μέσου ιζήματος και του κριτηρίου ποιότητας ιζήματος και επομένως, η τέφρα αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης για τα ρέματα της περιοχής.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του συνόλου των γεωχημικών δεδομένων (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}) καθώς και των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων (μηχανική σύσταση, οργανική ουσία, ΙΑΚ και pH) των ιζημάτων των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 18, ο οποίος περιλαμβάνει την ελάχιστη τιμή (min), τη μέγιστη τιμή (max), τον αριθμητικό μέσο (average), τη διάμεσο (median) και την τυπική απόκλιση (Standard Deviation, SD) κάθε μετρούμενης παραμέτρου ξεχωριστά.

Πίνακας 18: Σύνοψη της μονοπαραγοντικής στατιστικής ανάλυσης του συνόλου των γεωχημικών δεδομένων και των ιδιοτήτων των ιζημάτων των ρεμάτων της Κινέτας (n= 22) και της Νέας Περάμου (n=4).

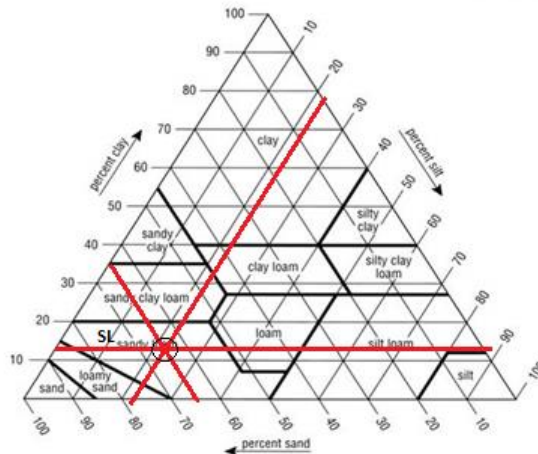
Παράμετρος	ΚΙΝΕΤΑ-ΝΕΑ ΠΕΡΑΜΟΣ					ΚΙΝΕΤΑ					ΝΕΑ ΠΕΡΑΜΟΣ				
	min	max	Average	Median	SD	min	max	Average	Median	SD	min	max	Average	Median	SD
<u>Ιγνοστοιχεία</u>															
Fe_{DTPA} (mg kg ⁻¹)	10.16	91.86	49.76	47.35	18.84	29.09	91.86	52.38	48.55	15.11	10.16	81.35	35.34	24.92	32.12
Mn_{DTPA} (mg kg ⁻¹)	11.67	93.73	39.83	32.66	22.10	18.34	93.73	44.08	35.75	21.35	11.67	21.70	16.45	16.21	4.10
Cu_{DTPA} (mg kg ⁻¹)	0.36	8.20	1.50	0.82	1.73	0.36	2.25	0.92	0.73	0.55	2.87	8.20	4.74	3.94	2.51
Zn_{DTPA} (mg kg ⁻¹)	0.79	52.56	6.36	2.79	10.50	0.79	52.56	6.05	2.46	11.40	5.94	10.83	8.05	7.72	2.07
<u>Χημικές ιδιότητες ιζημάτων</u>															
pH	7.17	8.28	7.63	7.63	0.22	7.30	8.28	7.66	7.63	0.21	7.17	7.70	7.51	7.58	0.25
Οργανική ουσία (wt%)	1.10	13.30	7.73	7.27	3.75	1.10	13.30	8.52	8.59	3.41	1.10	6.04	3.39	3.22	2.45
ΙΑΚ (cmol Mg ²⁺ kg ⁻¹)	4.04	38.72	22.54	22.18	8.15	14.41	38.72	24.78	23.30	6.47	4.04	14.11	10.21	11.35	4.56
<u>Μηχανική σύσταση</u>															
Άργιλος (%)	8.38	15.38	12.40	12.24	2.24	8.38	15.38	12.29	11.38	2.40	13.10	14.16	13.63	13.63	0.75
Ίλύς (%)	12.70	28.70	22.20	22.85	5.06	12.70	28.70	21.94	21.70	5.41	18.86	24.00	21.43	21.43	3.63
Άμμος (%)	55.92	78.92	65.41	64.85	6.53	55.92	78.92	65.76	65.78	6.96	62.90	66.98	64.94	64.94	2.88

Σύμφωνα με τον Πίνακα 18 παρατηρείται ότι, όλα τα δεδομένα είναι πιθανότατα ασύμμετρα διότι ο αριθμητικός μέσος είναι διαφορετικός από τη διάμεσο. Πιο συγκεκριμένα, για τα περισσότερα δεδομένα, ο αριθμητικός μέσος είναι μεγαλύτερος από τη διάμεσο, δηλαδή, η κατανομή των δεδομένων εμφανίζει θετική ασυμμετρία ενώ για την ΙΑΚ και το pH της περιοχής της Νέας Περάμου καθώς και για την οργανική ουσία και το ποσοστό της άμμου της περιοχής της Κινέτας, ο αριθμητικός μέσος είναι μικρότερος από τη διάμεσο, δηλαδή, η κατανομή εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία. Επομένως, στη συνέχεια της μονοπαραγοντικής στατιστικής ανάλυσης, κρίθηκε απαραίτητο να εφαρμοστεί ένας λογαριθμικός (με βάση το 10) μετασχηματισμός προκειμένου να γίνει κανονικοποίηση των δεδομένων και να σχεδιαστούν τα

διαγράμματα κατανομής αθροιστικής συχνότητας (Cumulative Distribution Frequency, CDF) μέσω των οποίων θα προσδιοριστούν οι τιμές κατωφλίου και γεωχημικού πλαισίου. Τα αποτελέσματα του τελικού σταδίου της μονοπαραγοντικής ανάλυσης που είναι η σχεδίαση των διαγραμμάτων κατανομής αθροιστικής συχνότητας καθώς και η συζήτηση των αποτελεσμάτων για κάθε παράμετρο ξεχωριστά παρουσιάζονται αναλυτικά στις παρακάτω υποενότητες.

6.1.1. Μηχανική σύσταση

Ο προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης στα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου στηρίχθηκε στον υπολογισμό των ποσοστών της άμμου, της ιλύος και της αργίλου στα δείγματα (n=8). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, στα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου επικρατεί η άμμος ενώ ακολουθούν με μικρότερα ποσοστά η ιλύς και η αργίλος (Πιν. 18). Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή της Κινέτας, οι μέσες τιμές των ποσοστών αργίλου, ιλύος και άμμου ανέρχονται σε 12.29%, 21.94% και 65.76% αντίστοιχα ενώ διαφέρουν κατά ένα πολύ μικρό ποσοστό από τις τιμές της Νέας Περάμου που αντιστοιχούν σε 13.63% άργιλο, 21.43% ιλύ και 64.94% άμμο. Με βάση τις ανωτέρω τιμές και ύστερα από τοποθέτηση αυτών στο τρίγωνο μηχανικής σύστασης του εδάφους, εξάγεται το συμπέρασμα ότι, τα ιζήματα των ρεμάτων των δύο περιοχών μπορούν να χαρακτηριστούν ως αμμοπηλώδη (Sandy Loam, SL) (Εικ. 51) (College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2019).



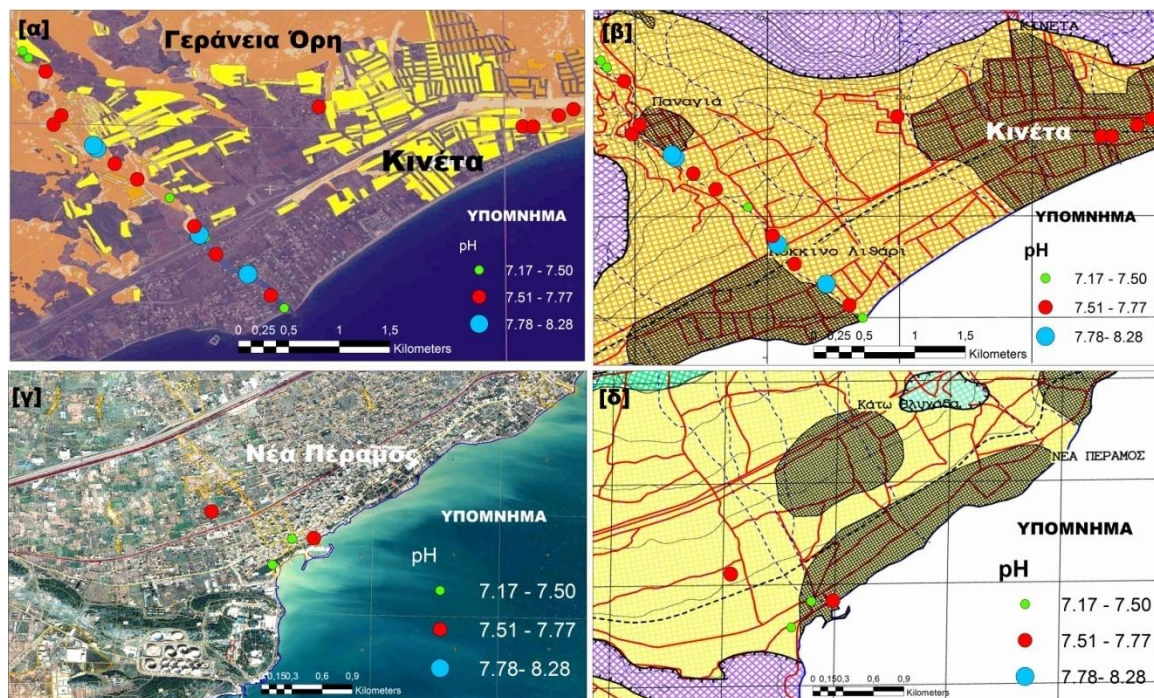
Εικόνα 51: Προσεγγιστική απεικόνιση των μέσων τιμών των ποσοστών άμμου, ιλύος και αργίλου της Κινέτας και της Νέας Περάμου στο τρίγωνο μηχανικής σύστασης του εδάφους όπου το σημείο τομής των χρωματισμένων γραμμών δείχνει τον χαρακτηρισμό των ιζημάτων (College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2019).

6.1.2. pH

Σύμφωνα με τον Πίνακα 18, οι τιμές pH που προσδιορίστηκαν για τις περιοχές της Κινέτας και της Νέας Περάμου κυμαίνονται από 7.30 έως 8.28 και από 7.17 έως 7.70 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα φανερώνουν ότι, οι τιμές pH των ιζημάτων των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου κυμαίνονται από την ουδέτερη έως την ελαφρώς αλκαλική περιοχή ($\text{pH} \geq 7$). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι, στις περιοχές όπου έγινε η δειγματοληψία επικρατούσαν αμιγείς ασβεστόλιθοι και μάργες που είναι ιζηματογενείς σχηματισμοί που κυμαίνονται χημικά και ορυκτολογικά μεταξύ αργίλου και ασβεστολίθου (Εικ. 35, 40). Επομένως, η ελαφρώς αλκαλική τιμή pH μπορεί να οφείλεται στην ισχυρή ρυθμιστική ικανότητα των ανθρακικών αλάτων στο κλάσμα των ιζημάτων (Μπάφας, 2016; Alexakis, 2011).

Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, στην περιοχή της Κινέτας, οι τιμές pH των ιζημάτων που λήφθηκαν από τις περιοχές που δεν έχουν επηρεαστεί από την πυρκαγιά δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά με αυτές των περιοχών που έχουν επηρεαστεί από πυρκαγιά όπως αποδεικνύεται μετά από σύγκριση των μέσων τιμών pH η οποία πραγματοποιήθηκε μεταξύ των επηρεασμένων και των ανεπηρέαστων από την πυρκαγιά περιοχών μέσω του ελέγχου t-test για ανεξάρτητες μεταβλητές του προγράμματος SPSS. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μια πολύ μικρή αύξηση από 7.64 σε 7.67 η οποία δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p > 0.05$) και οφείλεται στο γεγονός ότι, τα ιζήματα που λήφθηκαν από τις περιοχές που είχαν επηρεαστεί από πυρκαγιά περιείχαν τεμάχια καμένης οργανικής ύλης είτε σε μικρές είτε σε μεγάλες ποσότητες που μεταφέρονται στα ρέματα και οδηγούν σε αύξηση του pH των ιζημάτων. Η αύξηση του pH εξηγείται από το γεγονός ότι, τα τεμάχια καμένης οργανικής ύλης προέρχονται από την οξείδωση του οργανικού υλικού του εδάφους και την απώλεια των ομάδων υδροξυλίου (OH^-) που προκάλεσε η πυρκαγιά καθώς και την καταστροφή των οργανικών οξέων (Faria et al., 2015). Αντίστοιχα, μια σύγκριση της τιμής pH στην ανεπηρέαστη περιοχή με την μέση τιμή της επηρεασμένης στα ιζήματα της Νέας Περάμου έδειξε μια μείωση της τιμής pH από 7.68 σε 7.45 δηλαδή της τάξης του 2.9% πιθανότατα λόγω της παραγωγής οξέων κατά την αιώρηση του ιζήματος στο πλημμυρικό νερό καθώς το pH των αλκαλικών εδαφών και ιζημάτων μειώνεται ενώ το pH των όξινων εδαφών και ιζημάτων αυξάνεται κατά τη διάρκεια ενός πλημμυρικού συμβάντος (Vincent et al., 2014).

Ωστόσο, με βάση τα αποτελέσματα σε κάθε περιοχή δειγματοληψίας, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχουν περιοχές ανεπηρέαστες των οποίων το pH βρίσκεται στην περιοχή υψηλού εύρους στην οποία βρίσκεται μια επηρεασμένη περιοχή και περιοχές επηρεασμένες από πυρκαγιά που βρίσκονται στην περιοχή χαμηλού εύρους που βρίσκεται μια ανεπηρέαστη (Εικ. 52). Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στην εγγύτητα ορισμένων ανεπηρέαστων περιοχών με τις επηρεασμένες λόγω της οποίας μεταφέρθηκαν σημαντικές ποσότητες καμένου οργανικού υλικού και στις ανεπηρέαστες περιοχές αλλά και στην συγκέντρωση του αμιγούς ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) σε κάθε σημείο καθώς και στην ποσότητα της μάργας διότι περισσότερη μάργα σημαίνει μεγαλύτερη ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) στο ίζημα και επομένως μεγαλύτερο pH (Bobet et al., 2015).



Εικόνα 52: Χαρτογραφική απεικόνιση των τιμών pH στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).

6.1.3. Οργανική ουσία

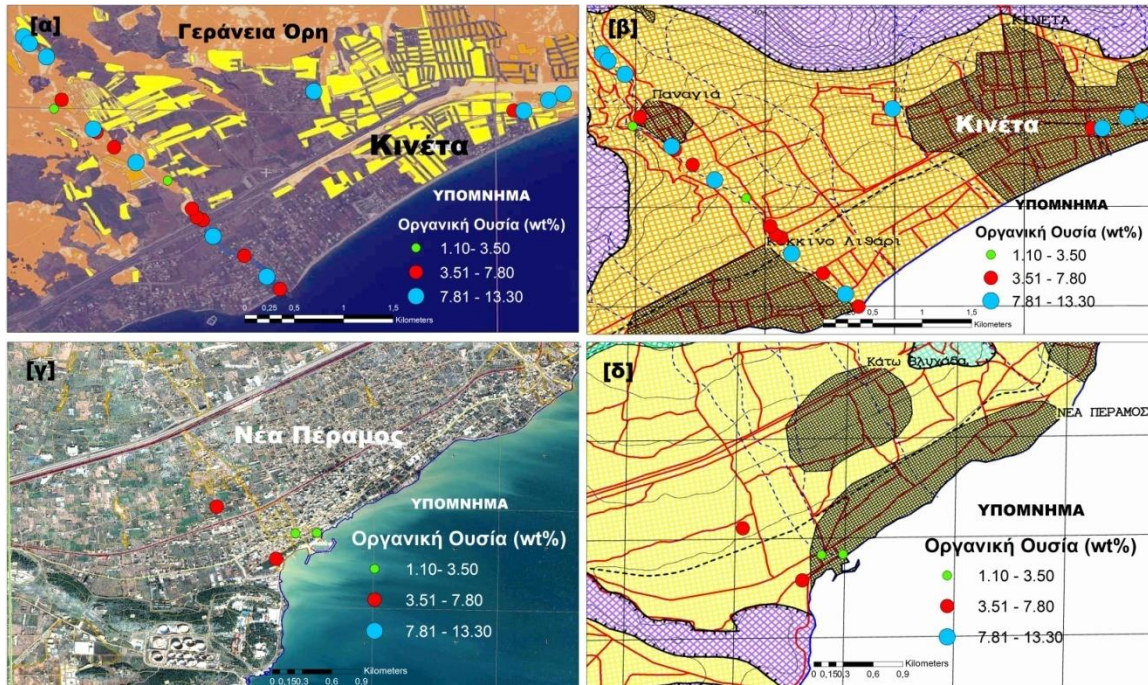
Η συγκέντρωση της οργανικής ουσίας για τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου κυμαίνεται από 1.10 wt% έως 13.30 wt% και από 1.10 wt% έως 6.04 wt% αντίστοιχα (Πιν. 18). Τα αποτελέσματα φανερώνουν ότι, η οργανική ουσία των ιζημάτων διακυμάνθηκε από την περιοχή μέσης περιεκτικότητας (1-2 wt%) έως την περιοχή υψηλής περιεκτικότητας (>2 wt%) (Μπάφας, 2016). Επίσης, η σύγκριση των μέσων τιμών της οργανικής ουσίας μεταξύ των επηρεασμένων και των ανεπηρέαστων περιοχών έδειξε μια αύξηση στην συγκέντρωση της οργανικής ουσίας της επηρεασμένης από την πυρκαγιά περιοχής της Κινέτας σε σχέση με την ανεπηρέαστη από 8.00 wt% σε 8.81 wt% δηλαδή της τάξης του 9.2% η οποία δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p > 0.05$). Η αύξηση οφείλεται στην παρουσία της τέφρας. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο μέρος της τέφρας η οποία είναι το οργανικό κλάσμα που προέρχεται από την καύση της υπερκείμενης βλάστησης και του επιφανειακού στρώματος του εδάφους που είναι πλούσιο σε οργανική ουσία και συχνά ονομάζεται νεκρομάζα ή φυτικά απορρίμματα πάνω από τα ορυκτά εδάφη ή τα οργανικά εδάφη αλλά και των οργανικών θραυσμάτων απομακρύνονται από τα δάση μετά από μια πυρκαγιά και καταλήγουν στα ρέματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η χαρακτηριστική οργανική ύλη που εισέρχεται στα ρέματα μετά από μια πυρκαγιά περιλαμβάνει φύλλα από βλάστηση καθώς και θραύσματα ξύλου και συνήθως είναι καμένη σε διάφορους βαθμούς, δηλαδή, από ελαφρώς καμένη βλάστηση έως ξυλάνθρακα ή αιθάλη (Beaty, 1994; Bodi et al., 2014; Everest et al., 1987). Αντίθετα, η οργανική ουσία των ιζημάτων των ρεμάτων της Νέας Περάμου παρουσιάζει μια μείωση μεταξύ των περιοχών που έχουν επηρεαστεί από την πλημμύρα και των ανεπηρέαστων περιοχών από 4.90 wt% σε 2.87 wt% δηλαδή της τάξης του 4.1%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, το οργανικό

υλικό του εδάφους όπως είναι τα οργανικά οξέα ή ο χούμος το οποίο μεταφέρεται με το πλημμυρικό νερό στα ρέματα, διαλύεται σε αυτό με αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσής του στη σωματιδιακή φάση (Vincent et al., 2014).

Ωστόσο, με βάση την εξέταση της οργανικής ουσίας σε κάθε σημείο δειγματοληψίας ξεχωριστά παρατηρείται ότι, στην περιοχή της Κινέτας, υπάρχουν περιοχές ανεπηρέαστες από πυρκαγιά που εμφανίζουν αρκετά υψηλό περιεχόμενο σε οργανική ουσία ενώ εμφανίζονται επηρεασμένες περιοχές με πολύ χαμηλό οργανικό περιεχόμενο (Εικ. 53). Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί από το γεγονός ότι, στις περιοχές που είναι επηρεασμένες από την πυρκαγιά, η ποσότητα του καμένου οργανικού υλικού που μεταφέρεται στα ρέματα δεν είναι η ίδια για κάθε σημείο δειγματοληψίας αλλά εξαρτάται από την κλίση της επιφάνειας του εδάφους καθώς και από την ισχύ και την κατεύθυνση του ανέμου αλλά θα μπορούσε να οφείλεται και στην συσσώρευση φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων καθώς και υπολειμμάτων μικροοργανισμών στα ιζήματα των επηρεασμένων περιοχών. Αντίστοιχα, στις ανεπηρέαστες περιοχές, οι υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού υλικού μπορεί να οφείλονται στους ακόλουθους λόγους:

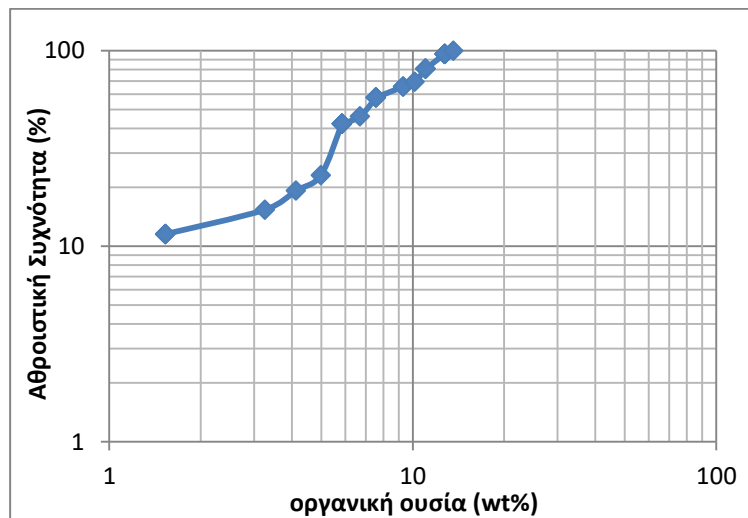
- Στην ύπαρξη καμένων τεμαχίων οργανικού υλικού τα οποία μπορούν να μεταφερθούν και στα ρέματα των ανεπηρέαστων περιοχών λόγω του χαμηλού βάρους τους, της κλίσης της επιφάνειας του εδάφους, της ισχύος και της κατεύθυνσης του ανέμου αλλά και της εγγύτητας των ιζημάτων των ανεπηρέαστων περιοχών με τις επηρεασμένες.
- Στην συσσώρευση φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων καθώς και υπολειμμάτων μικροοργανισμών και προϊόντων μεταβολισμού τους.

Ομοίως, στην περιοχή της Νέας Περάμου παρατηρείται επηρεασμένη από την πλημμύρα περιοχή με υψηλή συγκέντρωση οργανικής ουσίας στο ιζήμα η οποία πιθανότατα οφείλεται στην ύπαρξη φυτικών απορριμμάτων όπως κλαδιά δέντρων ή φύλλα από βλάστηση, ζωικών υπολειμμάτων ή υπολειμμάτων μικροοργανισμών που είτε προϋπήρχαν στην επηρεασμένη περιοχή είτε μεταφέρθηκαν με το πλημμυρικό νερό με αποτέλεσμα την αύξηση της οργανικής ουσίας του ιζήματος (Εικ. 53).



Εικόνα 53: Απεικόνιση της οργανικής ουσίας (wt%) για τις δύο περιοχές στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).

Αφού αναλύθηκαν οι προσδιοριζόμενες συγκεντρώσεις της οργανικής ουσίας για τα ιζήματα των ρεμάτων των δύο περιοχών, στη συνέχεια αυτής της ενότητας θα παρουσιαστεί το διάγραμμα κατανομής αθροιστικής συχνότητας (Cumulative Distribution Frequency, CDF) προκειμένου να υπολογιστούν οι τιμές κατωφλίου και γεωχημικού πλαισίου. Η διαδικασία κατασκευής του διαγράμματος αθροιστικής συχνότητας περιλάμβανε τα δεδομένα και των δύο περιοχών (n=26) και όχι την κάθε περιοχή ξεχωριστά καθώς τα δεδομένα της Νέας Περάμου ήταν πολύ λίγα για να δώσουν ακριβή αποτελέσματα από μόνα τους.



Σχήμα 1: Διαγραμματική απεικόνιση της αθροιστικής συχνότητας σε συνάρτηση με την οργανική ουσία (wt%) σε λογαριθμικούς άξονες.

Με βάση το Σχήμα 1 προσδιορίζεται η τιμή κατωφλίου που είναι η χαμηλότερη τιμή πάνω από την οποία υφίσταται κάποια γεωχημική ανωμαλία και αντιστοιχεί στο σημείο καμπής της αθροιστικής συχνότητας δηλαδή στην τιμή 5.84 wt%. Επομένως, η τιμή γεωχημικού πλαισίου που είναι χαμηλότερη από την τιμή κατωφλίου και βρίσκεται στην περιοχή της καμπύλης από 1.53 wt% έως 4.98 wt% αντιστοιχεί στο 50% της καμπύλης δηλαδή στην τιμή 3.69 wt% ενώ οι ανώμαλες τιμές οι οποίες είναι πάνω από την τιμή κατωφλίου κυμαίνονται από 6.70 wt% έως 13.60 wt%. Σύμφωνα με την Εικόνα 53 εξάγεται το συμπέρασμα ότι, στην περιοχή της Κινέτας, τα ποσοστά οργανικής ουσίας που είναι μεγαλύτερα από 5.84 wt% δηλαδή μεγαλύτερα από την τιμή κατωφλίου βρίσκονται κατά κύριο λόγο στις επηρεασμένες από την πυρκαγιά περιοχές. Αντίθετα, στην περιοχή της Νέας Περάμου, τα ποσοστά οργανικής ουσίας που είναι μεγαλύτερα από 5.84 wt% βρίσκονται τόσο σε επηρεασμένη από την πλημμύρα περιοχή όσο και σε ανεπηρέαστη.

6.1.4. Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ)

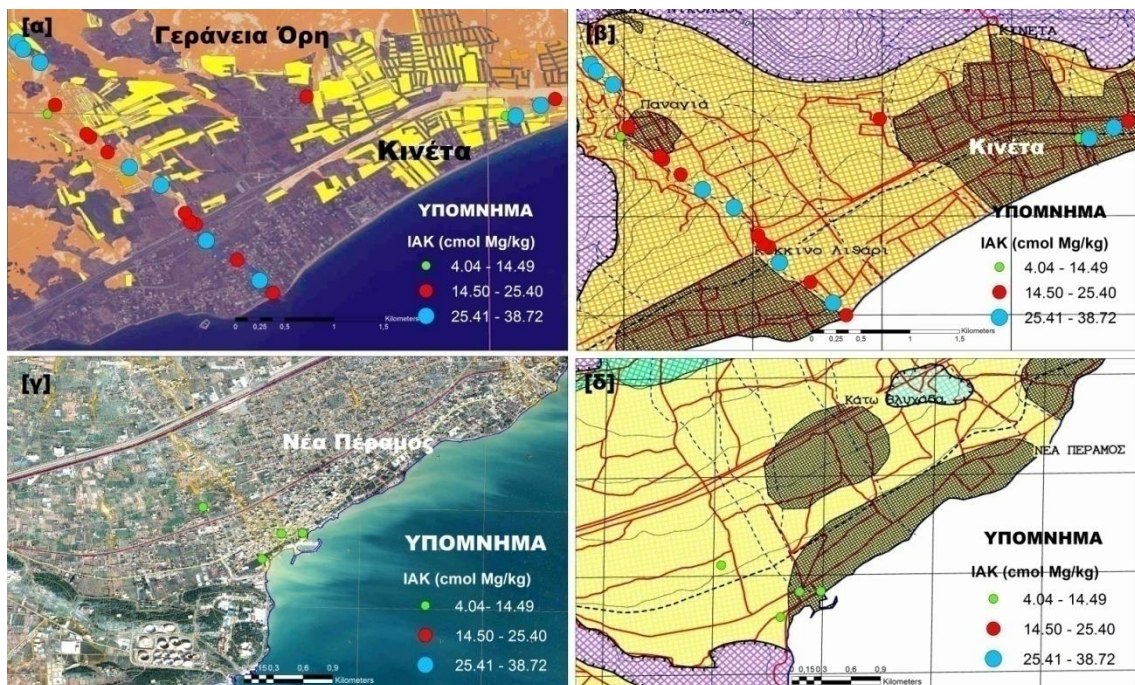
Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων αναφέρεται στην ποσότητα των αρνητικών φορτίων που υπάρχουν στις επιφάνειες της αργίλου και της οργανικής ουσίας των ιζημάτων και στην ικανότητα των ιζημάτων να προσροφούν και να ανταλλάσσουν κατιόντα λόγω της παρουσίας αυτών των αρνητικών φορτίων (Ahmad et al., 2012; Camberato, 2001). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον προσδιορισμό της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων για τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου παρουσιάζουν διακύμανση από 14.41 cmol Mg²⁺ kg⁻¹ έως 38.72 cmol Mg²⁺ kg⁻¹ και από 4.04 cmol Mg²⁺ kg⁻¹ έως 14.11 cmol Mg²⁺ kg⁻¹ αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους Hazelton and Murphy (2007), οι ανωτέρω τιμές ταξινομούνται από μέτριες έως υψηλές για τα ιζήματα της περιοχής της Κινέτας ενώ κατατάσσονται από πολύ χαμηλές έως χαμηλές για την περιοχή της Νέας Περάμου (Πίν. 19).

Πίνακας 19: Τιμές χαρακτηρισμού της ΙΑΚ (Hazelton and Murphy, 2007).

Ταξινόμηση	ΙΑΚ (cmol (+) kg ⁻¹)
Πολύ χαμηλή	<6
Χαμηλή	6-12
Μέτρια	12-25
Υψηλή	25-40
Πολύ υψηλή	>40

Επίσης, η σύγκριση των μέσων τιμών της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων μεταξύ των επηρεασμένων και των ανεπηρέαστων από την πυρκαγιά περιοχών έδειξε μια αύξηση στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων της επηρεασμένης περιοχής από 24.73 cmol Mg²⁺ kg⁻¹ σε 24.81 cmol Mg²⁺ kg⁻¹ η οποία είναι της τάξης του 3.2%. Η αύξηση εξηγείται από το γεγονός ότι, η οργανική ουσία καθώς και το pH του ιζήματος αυξάνουν, οδηγώντας σε αύξηση των

αρνητικών χώρων με αποτέλεσμα τη συγκράτηση περισσότερων κατιόντων (Ahmad et al., 2012; Ketterings et al., 2007). Ωστόσο, αν εξεταστεί κάθε περιοχή δειγματοληψίας ξεχωριστά παρατηρείται ότι, υπάρχουν ορισμένες περιοχές που εμφανίζουν χαμηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων όταν η συγκέντρωση της οργανικής ουσίας είναι υψηλή και το αντίστροφο (Εικ. 53 και 54). Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην περιεκτικότητα της αργίλου στο ιζηματικό διάλυμα πέρα από την οργανική ουσία και το pH, η τιμή της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων επηρεάζεται και από τα αρνητικά φορτία των αργιλικών ορυκτών (Saengkul et al., 2013). Επιπροσθέτως, όσον αφορά τα ιζήματα των ρεμάτων της περιοχής της Νέας Περάμου, παρατηρείται μια σημαντική μείωση της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων στις περιοχές που είναι επηρεασμένες από την πλημμύρα σε σχέση με την ανεπηρέαστη από 13.16 cmol Mg²⁺ kg⁻¹ σε 9.23 cmol Mg²⁺ kg⁻¹ η οποία είναι της τάξης του 30% και οφείλεται στην μειωμένη περιεκτικότητα των ιζημάτων σε οργανική ύλη στην επηρεασμένη περιοχή (Ubuoh et al., 2016).

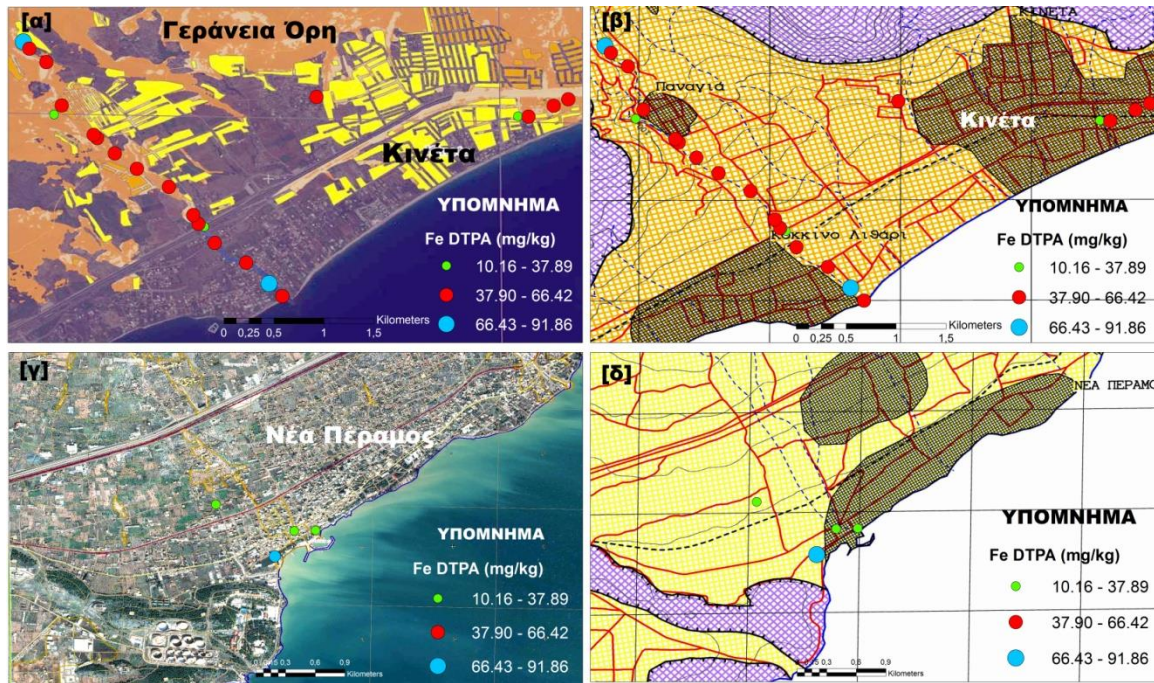


Εικόνα 54: Απεικόνιση της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (cmol Mg²⁺ kg⁻¹) των δύο περιοχών στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).

6.1.5. Σίδηρος (Fe_{DTPA})

Οι τιμές της διαθέσιμης συγκέντρωσης του σιδήρου που προσδιορίστηκαν για τα ρέματα της Κινέτας και της Νέας Περάμου κυμαίνονται από 29.09 mg kg⁻¹ έως 91.86 mg kg⁻¹ και από 10.16 mg kg⁻¹ έως 81.35 mg kg⁻¹ αντίστοιχα. Επίσης, η σύγκριση των μέσων τιμών του Fe_{DTPA} μεταξύ των ανεπηρέαστων και των επηρεασμένων από την πυρκαγιά περιοχών έδειξε μια πολύ μικρή αύξηση του διαθέσιμου Fe_{DTPA} της επηρεασμένης περιοχής από 52.32 mg kg⁻¹ σε 52.42 mg kg⁻¹ η οποία είναι της τάξης του 0.2%. Η αύξηση στη συγκέντρωση του Fe επιβεβαιώνεται από προηγούμενες έρευνες όπως των Gallaher et al. (2004) που παρατήρησαν αυξημένες συγκεντρώσεις Fe οι οποίες υπερέβαιναν τις συγκεντρώσεις ελέγχου του Οργανισμού

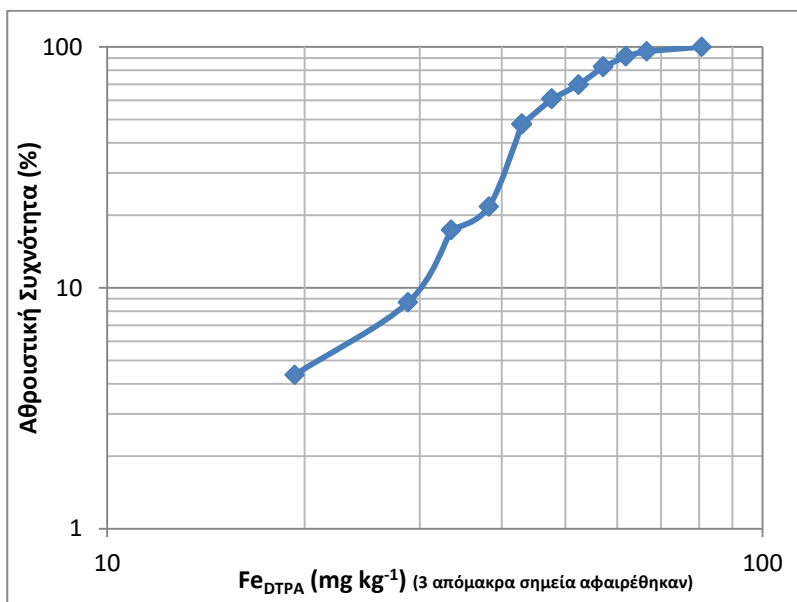
Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (USEPA) λόγω της πυρκαγιάς του Cerro Grande στο Νέο Μεξικό αλλά και της Jacqueline Ann Ho (2013) η οποία μελέτησε την βιοσυσσώρευση των συνδεδεμένων με τα ιζήματα μετάλλων από την πυρκαγιά που έπληξε τα ρέματα της νότιας Αλμπέρτα στην *Hyalella azteca* και παρατήρησε μια αύξηση της τάξης του 30% της καμένης περιοχής σε σχέση με την άκαυτη. Αυτή η αύξηση οφείλεται στο γεγονός ότι, η φωτιά απελευθερώνει και κινητοποιεί ξανά το Fe από τα φυτά και την οργανική ουσία του εδάφους μέσω ενός σχετικά πολύπλοκου συνόλου διεργασιών (Burton et al., 2016; Kristensen et al., 2014; Odigie and Flegal, 2014; Odigie et al., 2016) με αποτέλεσμα ο σίδηρος να μεταφέρεται στα υδάτινα οικοσυστήματα μέσω της επιφανειακής απορροής και της δράσης του ανέμου και τελικά να αποτίθεται στα ιζήματα των ρεμάτων αυξάνοντας τη συγκέντρωσή του σε αυτά (Zhuang and Gao, 2014). Ωστόσο, η αύξηση αυτή είναι σχεδόν αμελητέα διότι τόσο οι επηρεασμένες όσο και οι ανεπηρέαστες περιοχές κυμαίνονται κατά ένα ποσοστό της τάξεως του 75% από 37.90 mg kg^{-1} έως 66.42 mg kg^{-1} , οπότε δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές (Εικ. 55). Αυτό υποδηλώνει ότι, η κινητικότητα και η διαθεσιμότητα του Fe_{DTPA} είναι μέτρια γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο υψηλό οργανικό περιεχόμενο των ιζημάτων (Εικ. 53) διότι όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα μέταλλα δεσμεύονται πιο ισχυρά στο οργανικό κλάσμα του εδάφους με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μειωμένη κινητικότητα (Mescouto Cleide et al., 2011; Yoon et al., 2006). Αντίστοιχα, στην περιοχή της Νέας Περάμου, ο Fe_{DTPA} παρουσιάζει μια σημαντική αύξηση από 16.21 mg kg^{-1} σε 41.46 mg kg^{-1} στις επηρεασμένες από την πλημμύρα περιοχές η οποία είναι της τάξης του 60%. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η αύξηση αυτή έρχεται σε συμφωνία με προηγούμενες έρευνες που μελέτησαν την κατανομή των ιχνοστοιχείων σε ιζήματα όπως η έρευνα των Gopal et al. (2017) οι οποίοι παρατήρησαν μια αύξηση του σιδήρου στα θαλάσσια επιφανειακά ιζήματα της περιοχής Τσεννάι στην Ινδία.



Εικόνα 55: Απεικόνιση των συγκεντρώσεων του Fe_{DTPA} (mg kg^{-1}) στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, περίπου το 96% των ιζημάτων των ρεμάτων της Κινέτας, δηλαδή τα είκοσιένα από τα είκοσιδύο δείγματα ιζημάτων έχουν συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν την τιμή των 30 mg kg^{-1} η οποία είναι το αντίστοιχο όριο τοξικότητας σύμφωνα με την USEPA (1999) για το σίδηρο. Σε αντίθεση με το ανωτέρω όριο τοξικότητας, η ποσοτική αξιολόγηση του εμπλουτισμού των ιζημάτων ως προς τον Fe_{DTPA} γίνεται με τον υπολογισμό του παράγοντα ρύπανσης (Contamination Factor, CF) ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη φυσική μεταβολή του Fe_{DTPA} λόγω της λιθολογίας και της γεωλογίας.

Αφού αναλύθηκαν οι συγκεντρώσεις του Fe_{DTPA} στις δύο περιοχές, στην συνέχεια αυτής της ενότητας θα κατασκευαστούν τα διαγράμματα αθροιστικής συχνότητας προκειμένου να προσδιοριστούν οι τιμές κατωφλίου και γεωχημικού πλαισίου και έπειτα να υπολογιστούν οι παράγοντες ρύπανσης (Contamination Factors, CF) για κάθε περιοχή έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τη ρύπανση της περιοχής ως προς τον σίδηρο. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία κατασκευής των διαγραμμάτων, πραγματοποιήθηκε στα δεδομένα έλεγχος για ακραίες ή απομακρυσμένες τιμές συγκεντρώσεων χρησιμοποιώντας θηκογράμματα (boxplots). Στην περίπτωση του Fe_{DTPA} , βρέθηκαν τρεις ακραίες τιμές. Συνεπώς, αφού αφαιρέθηκαν οι τιμές αυτές, χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω στατιστική ανάλυση είκοσιτρείς τιμές συγκεντρώσεων αντί για είκοσέξι. (Σχ. 2).



Σχήμα 2: Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του Fe_{DTPA} (mg kg^{-1}) με την αθροιστική συχνότητα σε λογαριθμικούς άξονες. (3 απόμακρα σημεία αφαιρέθηκαν)

Σύμφωνα με το Σχήμα 2, η τιμή κατωφλίου αντιστοιχεί στην τιμή 38.24 mg kg^{-1} . Επομένως, οι τιμές γεωχημικού πλαισίου βρίσκεται στην περιοχή της καμπύλης από 33.51 mg kg^{-1} έως 19.32 mg kg^{-1} και αντιστοιχεί στο 50% της περιοχής το οποίο με εφαρμογή της γραμμικής παρεμβολής υπολογίζεται στην τιμή 24.04 mg kg^{-1} ενώ οι ανώμαλες τιμές κυμαίνονται από 42.97 mg kg^{-1} έως 80.79 mg kg^{-1} . Με βάση την προσδιορισθείσα περιοχή ανώμαλων τιμών του Fe_{DTPA} και σύμφωνα με την Εικόνα 55 εξάγεται το συμπέρασμα ότι, οι συγκεντρώσεις του Fe_{DTPA} που είναι μεγαλύτερες από 66.43 mg kg^{-1} εμφανίζονται τόσο σε περιοχή που έχει επηρεαστεί από την

πυρκαγιά όσο και σε περιοχή που δεν έχει επηρεαστεί. Αντίθετα, στην περιοχή της Νέας Περάμου, εμφανίζεται τιμή συγκέντρωσης του Fe_{DTPA} η οποία είναι μεγαλύτερη από 66.43 mg kg^{-1} σε περιοχή η οποία έχει επηρεαστεί από την πλημμύρα.

Ο προσδιορισμός της τιμής κατωφλίου συμβάλλει στον υπολογισμό του παράγοντα ρύπανσης για κάθε περιοχή σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις (Hakanson, 1980):

$$CF = \frac{C_{met}}{C_n} \quad (7)$$

Όπου:

C_{met} : Η προσδιοριζόμενη συγκέντρωση του μετάλλου στο ίζημα σε mg kg^{-1} .

C_n : Η συγκέντρωση κατωφλίου που προσδιορίστηκε στην παρούσα έρευνα mg kg^{-1} .

Ανάλογα με την τιμή του παράγοντα ρύπανσης μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη ρύπανση μιας περιοχής. Οι κατηγορίες του παράγοντα ρύπανσης (CF) συνοψίζονται στον Πίνακα 20.

Πίνακας 20: Κατάταξη των κατηγοριών του παράγοντα ρύπανσης (Hakanson, 1980).

Τιμή CF	Περιγραφή του παράγοντα ρύπανσης
CF<1	Παράγοντας χαμηλής ρύπανσης
1<CF<3	Παράγοντας μέτριας ρύπανσης
3<CF<6	Παράγοντας σημαντικής ρύπανσης
CF>6	Παράγοντας πολύ υψηλής ρύπανσης

Αντίστοιχα, οι παράγοντες ρύπανσης που προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τη σχέση 7 για τις περιοχές της Κινέτας και της Νέας Περάμου παρουσιάζονται στον Πίνακα 21.

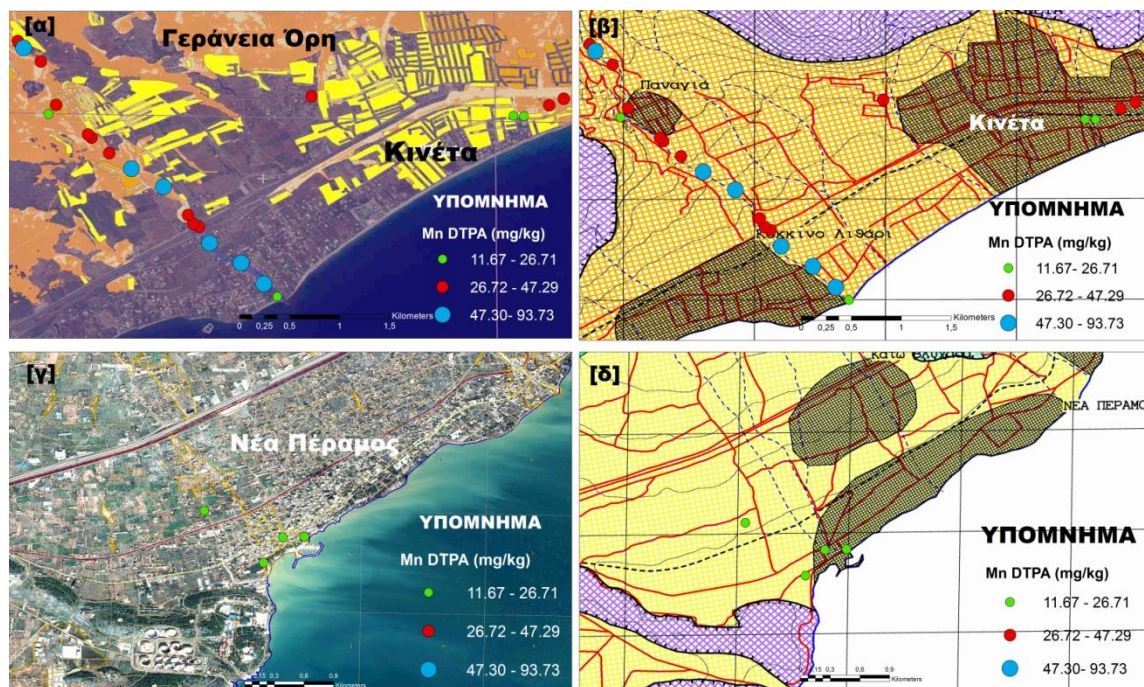
Πίνακας 21: Τιμές των παραγόντων ρύπανσης (CF) και των αριθμητικών μέσων του Fe_{DTPA} (mg kg^{-1}) για τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου.

Ρέμα	Fe_{DTPA}
Αριθμητικός Μέσος Κινέτας (n=22) (mg kg^{-1})	52.38
Αριθμητικός μέσος Νέας Περάμου (n=4) (mg kg^{-1})	35.34
Τιμή κατωφλίου (mg kg^{-1})	38.24
CF Κινέτας	1.37
CF Νέας Περάμου	0.92

Σύμφωνα με τους Πίνακες 20 και 21 εξάγεται το συμπέρασμα ότι, τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας εμφανίζουν μέτρια ρύπανση ($1 < CF < 3$) ενώ της Νέας Περάμου παρουσιάζουν χαμηλή ρύπανση ($CF < 1$) ως προς τον σίδηρο (Fe_{DTPA}).

6.1.6. Μαγγάνιο (Mn_{DTPA})

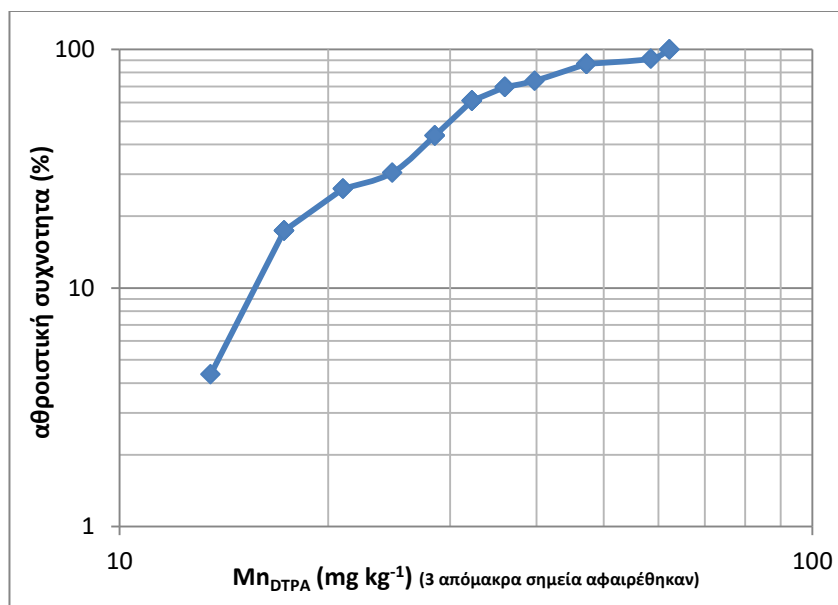
Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου (Mn_{DTPA}) που προσδιορίστηκαν για τα ρέματα της Κινέτας και της Νέας Περάμου κυμαίνονται από 18.34 mg kg^{-1} έως 93.73 mg kg^{-1} και από 11.67 mg kg^{-1} έως 21.70 mg kg^{-1} αντίστοιχα. Επίσης, η σύγκριση των μέσων τιμών των συγκεντρώσεων του Mn_{DTPA} μεταξύ των επηρεασμένων και των ανεπηρέαστων από πυρκαγιά περιοχών έδειξε ότι, η μέση τιμή του Mn_{DTPA} της επηρεασμένης περιοχής ανέρχεται στην τιμή 42.67 mg kg^{-1} που είναι μικρότερη από την τιμή των 46.54 mg kg^{-1} της ανεπηρέαστης περιοχής. Δηλαδή, υπάρχει μια μείωση μεταξύ της επηρεασμένης και της ανεπηρέαστης περιοχής η οποία δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p > 0.05$). Γενικά, μια πυρκαγιά έχει ως συνέπεια την αύξηση των συγκεντρώσεων του Mn που είναι συνδεδεμένο στη σωματιδιακή φάση των ιζημάτων των ρεμάτων όπως αποδεικνύεται από τους Gallaher et al. (2004) και από τη νερευνητική εργασία της Jacqueline Ann Ho (2013) η οποία παρατήρησε μια αύξηση κατά 30% στην συγκέντρωση του Mn στα ιζήματα της πυρόπληκτης περιοχής σε σχέση με την μη πυρόπληκτη. Ωστόσο, τα αποτελέσματα που προέκυψαν έρχονται σε αντίθεση με τις ανωτέρω μελέτες καθώς ορισμένα δείγματα ιζημάτων σε ανεπηρέαστες περιοχές εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις Mn_{DTPA} οι οποίες κυμαίνονται από 47.30 mg kg^{-1} έως 93.73 mg kg^{-1} και θα μπορούσαν να οφείλονται στην αποσύνθεση των φύλλων δασικών ειδών η οποία απελευθερώνει Mn (Εικ. 56) (Parra et al., 1996). Αντίστοιχα, στην περιοχή της Νέας Περάμου παρατηρείται μια μικρή αύξηση στις επηρεασμένες από την πλημμύρα περιοχές από 16.21 mg kg^{-1} σε 16.53 mg kg^{-1} η οποία είναι της τάξης του 2%. Η αύξηση αυτή επιβεβαιώνεται από τους Mehmood et al. (2016), οι οποίοι σύγκριναν τη συγκέντρωση του Mn στα ιζήματα του ποταμού Jhelum πριν και μετά την πλημμύρα του Σεπτεμβρίου 2014. Επίσης, αύξηση στη συγκέντρωση του Mn μετά από πλημμύρα παρατήρησαν και οι Strzebonska et al. (2015) που μελέτησαν τη ρύπανση των ιζημάτων του ποταμού Βιστούλα στην Κρακοβία από ιχνοστοιχεία εξαιτίας της πλημμύρας του έτους 2010. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι, παρά την αύξηση της συγκέντρωσης του Mn_{DTPA} στις επηρεασμένες από την πλημμύρα περιοχές, η συγκέντρωσή του παραμένει αρκετά χαμηλή και σε εύρος που κυμαίνεται από 11.67 mg kg^{-1} έως 26.71 mg kg^{-1} (Εικ. 56). Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στην έκταση της πλημμύρας καθώς οι πλημμύρες υψηλότερου μεγέθους και μεγαλύτερης διάρκειας έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση των συγκεντρώσεων των μετάλλων στα ιζήματα της κλίνης των καναλιών ενώ οι χαμηλές ροές οδηγούν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στα ιζήματα (Gaiero et al., 1997).



Εικόνα 56: Απεικόνιση των συγκεντρώσεων του Mn_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, περίπου το 72% των ιζημάτων των ρεμάτων της Κινέτας, δηλαδή δεκαέξι από τα εικοσιδύο δείγματα ιζημάτων έχουν συγκεντρώσεις Mn που υπερβαίνουν την τιμή των $30\ mg\ kg^{-1}$ η οποία είναι το αντίστοιχο όριο τοξικότητας σύμφωνα με την USEPA (1999) για τη συγκέντρωση του Mn στα ιζήματα. Αντίστοιχα, στα ιζήματα της Νέας Περάμου δεν εμφανίζεται κάποια υπέρβαση ορίου καθώς οι συγκεντρώσεις του Mn_{DTPA} για τα τέσσερα δείγματα ιζημάτων είναι μικρότερες των $30\ mg\ kg^{-1}$. Σε αντίθεση με το ανωτέρω όριο τοξικότητας, η ποσοτική αξιολόγηση του εμπλουτισμού των ιζημάτων ως προς το Mn_{DTPA} πραγματοποιείται με τον υπολογισμό του παράγοντα ρύπανσης ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη φυσική μεταβολή του Mn_{DTPA} λόγω της λιθολογίας και της γεωλογίας και προκύπτει με περαιτέρω στατιστική ανάλυση.

Αφού αναλύθηκαν οι συγκεντρώσεις του Mn_{DTPA} για τις δύο περιοχές, στη συνέχεια αυτής της ενότητας θα κατασκευαστούν τα διαγράμματα κατανομής αθροιστικής συχνότητας προκειμένου να προσδιοριστούν οι τιμές κατωφλίου και γεωχημικού πλαισίου και έπειτα να υπολογιστούν οι παράγοντες ρύπανσης (CF) έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τη ρύπανση των δύο περιοχών (Σχ. 3).



Σχήμα 3: Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του Mn_{DTPA} (mg kg⁻¹) με την αθροιστική συχνότητα σε λογαριθμικούς άξονες.

Με βάση το Σχήμα 3 παρατηρείται ότι, η τιμή κατωφλίου η οποία αντιστοιχεί στο σημείο καμπής της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας πάνω από το οποίο οι συγκεντρώσεις του Mn αυξάνονται σχεδόν γραμμικά ισούται με 24.77 mg kg⁻¹. Επομένως, οι τιμές γεωχημικού πλαισίου βρίσκονται στην περιοχή της καμπύλης από 13.54 mg kg⁻¹ έως 21.03 mg kg⁻¹ και αντιστοιχεί στο 50% της περιοχής το οποίο υπολογίζεται με εφαρμογή της γραμμικής παρεμβολής στην τιμή 15.29 mg kg⁻¹ ενώ οι ανώμαλες τιμές δηλαδή οι τιμές πάνω από την τιμή κατωφλίου έχουν εύρος από 32.26 mg kg⁻¹ έως 62.21 mg kg⁻¹. Με βάση την προσδιορισθείσα περιοχή ανώμαλων τιμών του Mn_{DTPA} και σύμφωνα με την Εικόνα 56 εξάγεται το συμπέρασμα ότι, οι συγκεντρώσεις του Mn_{DTPA} που είναι μεγαλύτερες από 47.30 mg kg⁻¹ εμφανίζονται τόσο σε περιοχές που έχουν επηρεαστεί από την πυρκαγιά όσο και σε ανεπηρέαστες περιοχές. Αντίθετα, στην περιοχή της Νέας Περάμου, δεν εμφανίζεται καμία τιμή συγκέντρωσης Mn_{DTPA} η οποία είναι μεγαλύτερη από 47.30 mg kg⁻¹ ούτε στις επηρεασμένες περιοχές ούτε στην ανεπηρέαστη.

Τέλος, με βάση την τιμή κατωφλίου και τη σχέση (7) υπολογίστηκε ο παράγοντας ρύπανσης (CF) για κάθε μια από τις δύο περιοχές του οποίου τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 22.

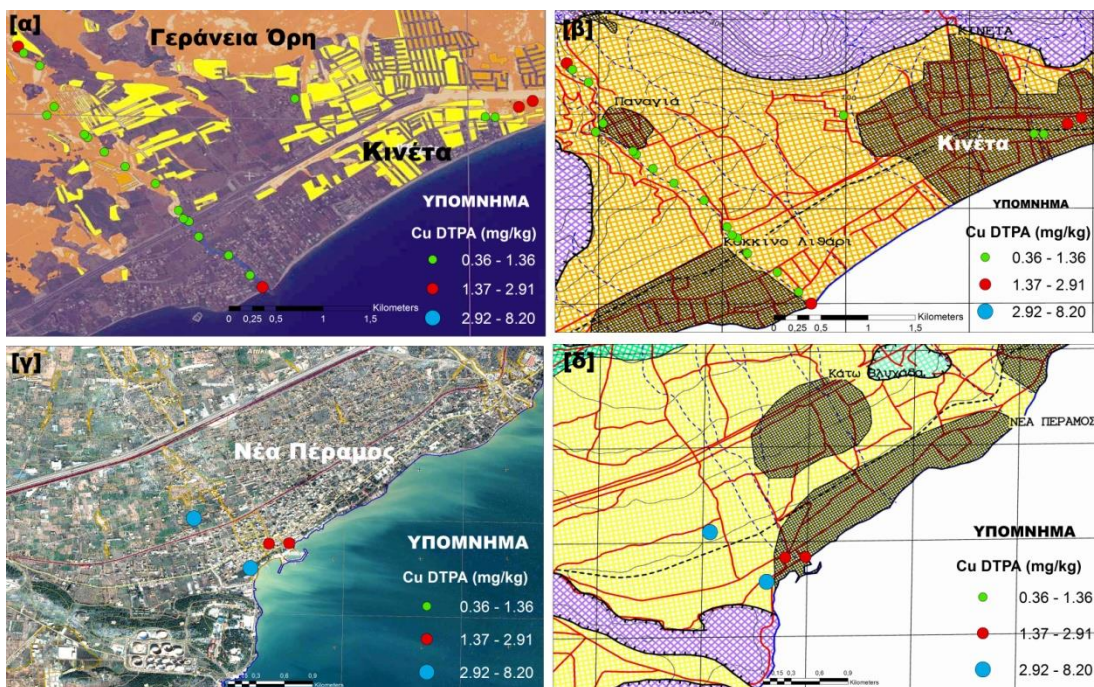
Πίνακας 22: Τιμές παραγόντων ρύπανσης (CF) και των αριθμητικών μέσων του Mn_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) για τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου.

Ρέμα	Mn_{DTPA}
Αριθμητικός Μέσος Κινέτας (n=22) ($mg\ kg^{-1}$)	44.08
Αριθμητικός μέσος Νέας Περάμου (n=4) ($mg\ kg^{-1}$)	16.45
Τιμή κατωφλίου ($mg\ kg^{-1}$)	24.77
CF Κινέτας	1.78
CF Νέας Περάμου	0.66

Σύμφωνα με τον Πίνακα 22 εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα ιζήματα της περιοχής της Κινέτας είναι μετρίως ρυπασμένα ως προς το Mn_{DTPA} ($1 < CF < 3$) ενώ τα ιζήματα της περιοχής της Νέας Περάμου εμφανίζουν χαμηλή ρύπανση ($CF < 1$).

6.1.7. Χαλκός (Cu_{DTPA})

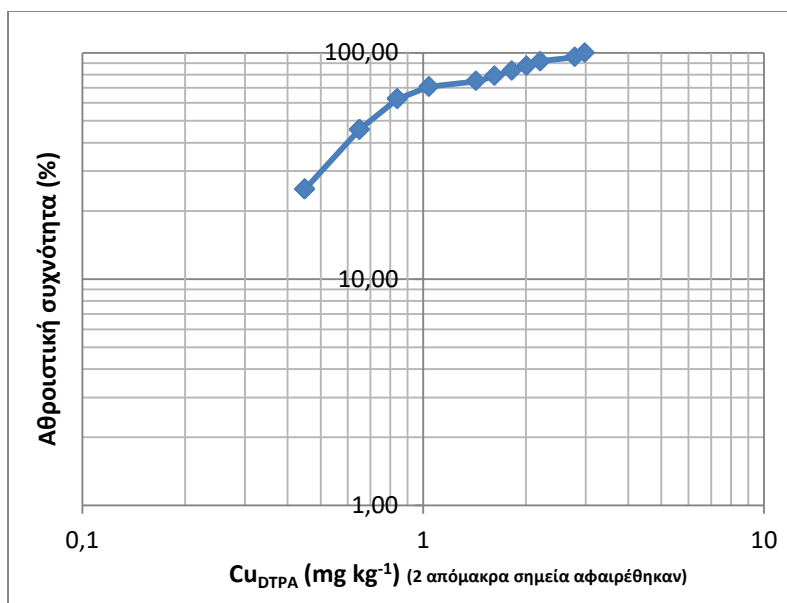
Οι τιμές του Cu_{DTPA} που προσδιορίστηκαν για τις περιοχές της Κινέτας και της Νέας Περάμου κυμαίνονται από $0.36\ mg\ kg^{-1}$ έως $2.25\ mg\ kg^{-1}$ και από $2.87\ mg\ kg^{-1}$ έως $8.20\ mg\ kg^{-1}$ αντίστοιχα. Η σύγκριση των μέσων τιμών του Cu_{DTPA} μεταξύ των επηρεασμένων και των ανεπηρέαστων από την πυρκαγιά περιοχών έδειξε μια αύξηση στην τιμή της επηρεασμένης περιοχής από $0.74\ mg\ kg^{-1}$ σε $1.02\ mg\ kg^{-1}$ η οποία δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p > 0.05$). Η αύξηση επιβεβαιώνεται από προηγούμενες μελέτες όπως της Jacqueline Ann Ho (2013) που παρατήρησε μια αύξηση στη συγκέντρωση του Cu της τάξης του 40% στα ιζήματα ρεμάτων της καμένης περιοχής σε σχέση με την άκαυτη και τους Gallaher et al. (2004) που επίσης παρατήρησαν αύξηση του Cu στα ιζήματα ρεμάτων της επηρεασμένης από πυρκαγιά περιοχής σε σχέση με την ανεπηρέαστη. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, οι συγκεντρώσεις του Cu_{DTPA} βρίσκονται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα, γεγονός που υποδηλώνει χαμηλή κινητικότητα του Cu_{DTPA} στα ιζήματα (Εικ. 57). Η χαμηλή κινητικότητα του Cu_{DTPA} στα ιζήματα πιθανότατα οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση οργανικής ουσίας καθώς ο Cu_{DTPA} συνδέεται με πιο ισχυρούς δεσμούς στο κλάσμα της οργανικής ουσίας σε σχέση με άλλα κλάσματα όπως τα οξειδία Fe-Mn με αποτέλεσμα να περιορίζεται η κινητικότητά του και συνεπώς, η διαθεσιμότητά του (Takacs et al., 1999). Αντίστοιχα, στα ιζήματα των ρεμάτων της Νέας Περάμου παρατηρείται μείωση στη συγκέντρωση του Cu_{DTPA} της επηρεασμένης από την πλημμύρα περιοχής σε σχέση με την ανεπηρέαστη από $4.97\ mg\ kg^{-1}$ σε $4.66\ mg\ kg^{-1}$. Η μείωση θα μπορούσε να οφείλεται στο γεγονός ότι, η πλημμύρα ήταν μεγάλου μεγέθους και διάρκειας, επομένως, είχε ως συνέπεια την μείωση της συγκέντρωσης του Cu_{DTPA} στα ιζήματα των ρεμάτων (Gaiero et al., 1997).



Εικόνα 57: Απεικόνιση των συγκεντρώσεων του Cu_{DTPA} (mg kg^{-1}) στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας των περιοχών της Κινέτας και της Νέας Περَامου, οι συγκεντρώσεις των ιζημάτων ως προς τον Cu_{DTPA} δεν ξεπερνούν το αντίστοιχο όριο τοξικότητας των 16 mg kg^{-1} σύμφωνα με την USEPA (1999). Σε αντίθεση με το ανωτέρω όριο τοξικότητας, η ποσοτική αξιολόγηση των ιζημάτων ως προς τον Cu_{DTPA} γίνεται με τον υπολογισμό του παράγοντα ρύπανσης (CF) ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη φυσική μεταβολή του περιεχομένου σε Cu_{DTPA} λόγω της γεωλογίας και της λιθολογίας και προκύπτει με περαιτέρω στατιστική ανάλυση.

Αφού αναλύθηκαν οι συγκεντρώσεις του Cu_{DTPA} για τις δύο περιοχές, στη συνέχεια αυτής της ενότητας θα κατασκευαστούν τα διαγράμματα κατανομής αθροιστικής συχνότητας προκειμένου να προσδιοριστεί η τιμή κατωφλίου και οι τιμές γεωχημικού πλαισίου και στη συνέχεια να υπολογιστεί ο παράγοντας ρύπανσης (CF) (Σχ. 4).



Σχήμα 4: Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του Cu_{DTPA} (mg kg⁻¹) με την αθροιστική συχνότητα.

Σύμφωνα με το Σχήμα 4, η τιμή κατωφλίου αντιστοιχεί σε συγκέντρωση 1.04 mg kg⁻¹, οι ανώμαλες τιμές κυμαίνονται από 1.43 mg kg⁻¹ έως 2.98 mg kg⁻¹ ενώ οι τιμή γεωχημικού πλαισίου βρίσκεται στην περιοχή της καμπύλης από 0.45 mg kg⁻¹ έως 0.84 mg kg⁻¹ και αντιστοιχεί στο 50% της περιοχής το οποίο ισούται με 0.65 mg kg⁻¹. Με βάση την προσδιορισθείσα περιοχή ανώμαλων τιμών του Cu_{DTPA} και σύμφωνα με την Εικόνα 58 εξάγεται το συμπέρασμα ότι, οι συγκεντρώσεις του Cu_{DTPA} που είναι μεγαλύτερες από 1.04 mg kg⁻¹ εμφανίζονται τόσο σε περιοχές που έχουν επηρεαστεί από την πυρκαγιά όσο και σε ανεπηρέαστες περιοχές. Ομοίως, στην περιοχή της Νέας Περάμου, εμφανίζονται τιμές συγκέντρωσης Cu_{DTPA} που είναι μεγαλύτερες από 2.92 mg kg⁻¹ τόσο στις επηρεασμένες περιοχές όσο και στην ανεπηρέαστη.

Τέλος, με βάση την τιμή κατωφλίου που προσδιορίστηκε στο Σχήμα 4 και τη σχέση (7) υπολογίστηκε ο παράγοντας ρύπανσης (CF) για κάθε μια από τις δύο περιοχές του οποίου τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 23.

Πίνακας 23: Οι τιμές των παραγόντων ρύπανσης (CF) και των αριθμητικών μέσων των συγκεντρώσεων του Cu_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) για τις περιοχές της Κινέτας και της Νέας Περάμου.

Ρέμα	Cu_{DTPA}
Αριθμητικός Μέσος Κινέτας (n=22) ($mg\ kg^{-1}$)	0.92
Αριθμητικός μέσος Νέας Περάμου (n=4) ($mg\ kg^{-1}$)	4.74
Τιμή κατωφλίου ($mg\ kg^{-1}$)	1.04
CF Κινέτας	0.88
CF Νέας Περάμου	4.56

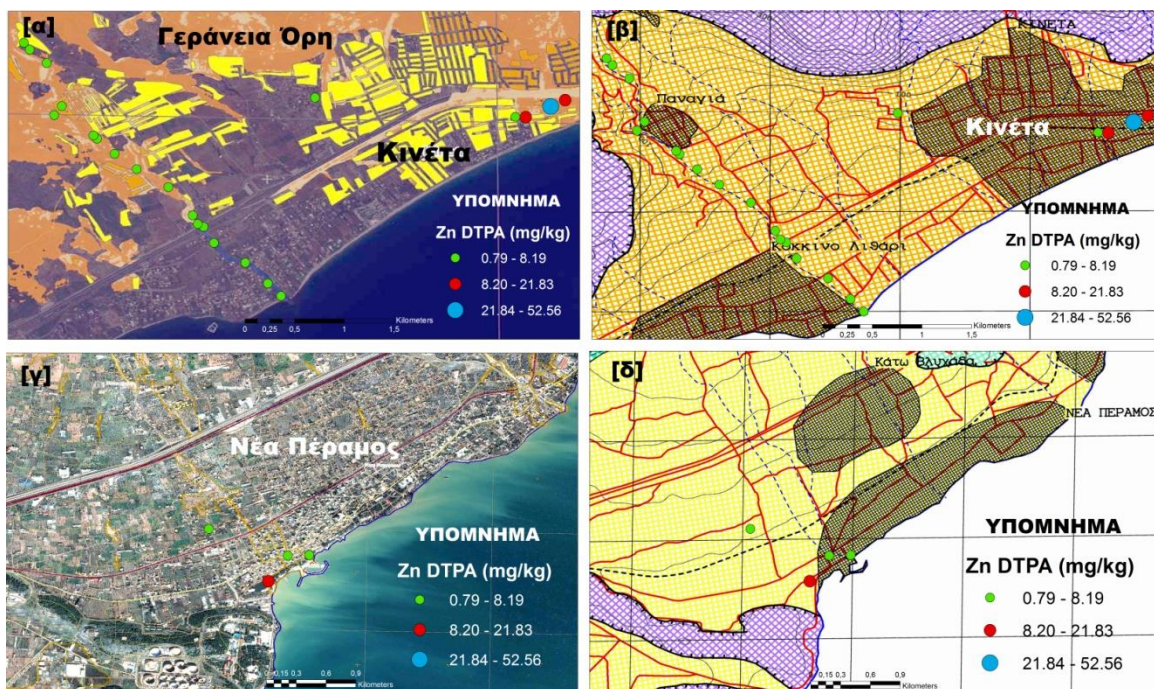
Με βάση των Πίνακα 23 εξάγεται το συμπέρασμα ότι, τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας παρουσιάζουν χαμηλή ρύπανση ($CF < 1$) ενώ τα ιζήματα των ρεμάτων της Νέας Περάμου εμφανίζουν σημαντική ρύπανση ως προς τον Cu_{DTPA} ($3 < CF < 6$).

6.1.8. Ψευδάργυρος (Zn_{DTPA})

Οι συγκεντρώσεις του Zn_{DTPA} που προσδιορίστηκαν για τις περιοχές της Κινέτας και της Νέας Περάμου κυμαίνονται από $0.79\ mg\ kg^{-1}$ έως $52.56\ mg\ kg^{-1}$ και από 5.94 έως $10.83\ mg\ kg^{-1}$ αντίστοιχα. Η σύγκριση των μέσων τιμών Zn_{DTPA} μεταξύ των επηρεασμένων και των ανεπηρέαστων περιοχών έδειξε ότι, υπάρχει μια αύξηση στη συγκέντρωση Zn_{DTPA} της επηρεασμένης περιοχής σε σχέση με την ανεπηρέαστη από $2.60\ mg\ kg^{-1}$ σε $8.03\ mg\ kg^{-1}$ η οποία δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p > 0.05$) (Εικ. 58). Προηγούμενες έρευνες όπως των Gallaher et al. (2004) έδειξαν αύξηση στην συγκέντρωση του Zn στα ιζήματα ρεμάτων μεταξύ καμένης και άκαυτης περιοχής ενώ η Jacqueline Ann Ho (2013) ανέφερε μικρότερη συγκέντρωση Zn στην καμένη περιοχή σε σχέση με την άκαυτη. Αυτό υποδηλώνει ότι, μια πυρκαγιά μπορεί είτε να αυξήσει είτε να μειώσει τη συγκέντρωση του μετάλλου στο ίζημα ανάλογα με τους ακόλουθους παράγοντες (Pereira and Ubeda, 2010; Someshwar, 1996):

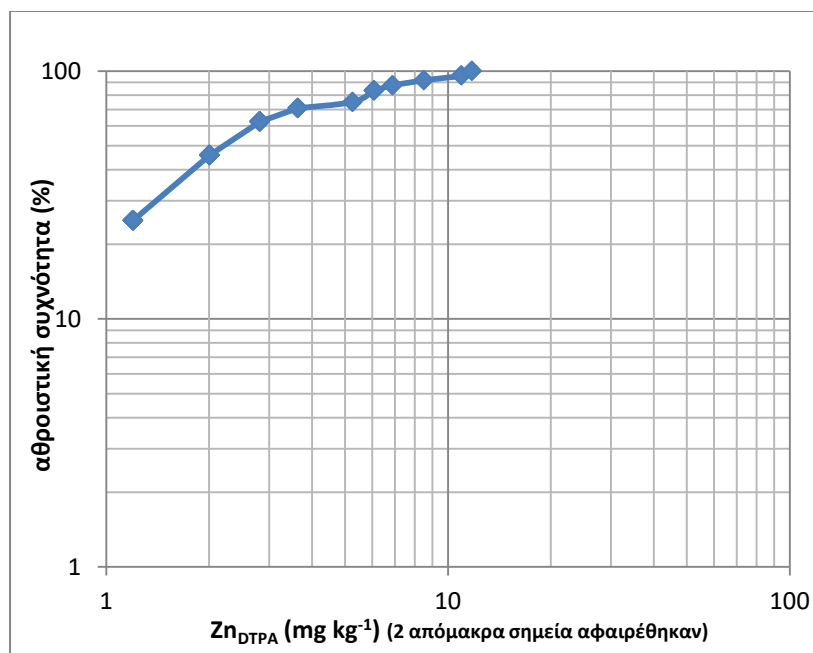
- Τη συγκέντρωση του Zn στο ίζημα πριν τη φωτιά.
- Τους τύπους και την πυκνότητα της βλάστησης στην περιοχή.
- Τους τύπους των τμημάτων των φυτικών ειδών που κάηκαν.

Αντίστοιχα, στην περιοχή της Νέας Περάμου παρατηρείται μια μικρή μείωση στη συγκέντρωση του Zn_{DTPA} της επηρεασμένης από την πλημμύρα περιοχής σε σχέση με την ανεπηρέαστη από $8.19\ mg\ kg^{-1}$ σε $8.01\ mg\ kg^{-1}$ η οποία είναι της τάξης του 2.2% και πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι, η πλημμύρα ήταν μεγάλου μεγέθους και διάρκειας με αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης του μετάλλου στα ιζήματα των ρεμάτων (Gaiero et al., 1997).



Εικόνα 58: Απεικόνιση των συγκεντρώσεων του Zn_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) στους γεωλογικούς χάρτες (β και δ) και στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ).

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, οι συγκεντρώσεις του Zn_{DTPA} που προσδιορίστηκαν στα ιζήματα των περιοχών της Κινέτας και της Νέας Πέραμου δεν υπερβαίνουν το όριο τοξικότητας των $110\ mg\ kg^{-1}$ σύμφωνα με την USEPA (1999) οπότε θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι τα ιζήματα δεν είναι ρυπασμένα. Σε αντίθεση με το ανωτέρω όριο τοξικότητας, η ποσοτική αξιολόγηση των ιζημάτων ως προς τον Zn_{DTPA} γίνεται με τον υπολογισμό του παράγοντα ρύπανσης ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη φυσική μεταβολή του Zn_{DTPA} λόγω της γεωλογίας και της λιθολογίας. Προτού υπολογιστεί ο παράγοντας ρύπανσης, θα παρουσιαστεί το διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας μέσω του οποίου θα προσδιοριστούν οι τιμές γεωχημικού πλαισίου και η τιμή κατωφλίου με βάση την οποία θα υπολογιστεί ο παράγοντας ρύπανσης (CF) (Σχ. 5).



Σχήμα 5: Απεικόνιση αθροιστικής συχνότητας και συγκέντρωσης Zn_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) σε λογαριθμικούς άξονες.

Σύμφωνα με το Σχήμα 5, η τιμή γεωχημικού πλαισίου βρίσκεται στην περιοχή της καμπύλης από $1.2\ mg\ kg^{-1}$ έως $3.64\ mg\ kg^{-1}$ και αντιστοιχεί στο 50% της περιοχής το οποίο ισούται με $2.01\ mg\ kg^{-1}$, η τιμή κατωφλίου ανέρχεται σε $5.27\ mg\ kg^{-1}$ και οι ανώμαλες τιμές παρουσιάζουν διακύμανση από $6.08\ mg\ kg^{-1}$ έως $11.78\ mg\ kg^{-1}$. Με βάση την προσδιορισθείσα περιοχή ανώμαλων τιμών του Zn_{DTPA} και σύμφωνα με την Εικόνα 58 εξάγεται το συμπέρασμα ότι, στην περιοχή της Κινέτας, οι συγκεντρώσεις του Zn_{DTPA} που είναι μεγαλύτερες από $8.20\ mg\ kg^{-1}$ εμφανίζονται στις επηρεασμένες από την πυρκαγιά περιοχές. Αντίθετα, στην περιοχή της Νέας Περάμου, εμφανίζεται τιμή συγκέντρωσης Zn_{DTPA} που είναι μεγαλύτερη από $8.20\ mg\ kg^{-1}$ σε επηρεασμένη από την πλημμύρα περιοχή.

Τέλος, σύμφωνα με την τιμή κατωφλίου και τη σχέση (7) υπολογίστηκε ο παράγοντας ρύπανσης (CF) του οποίου τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 24.

Πίνακας 24: Τιμές του παράγοντα ρύπανσης (CF) και των αριθμητικών μέσων του Zn_{DTPA} ($mg\ kg^{-1}$) για τις δύο περιοχές.

Ρέμα	Zn_{DTPA}
Αριθμητικός Μέσος Κινέτας (n=22) ($mg\ kg^{-1}$)	6.05
Αριθμητικός μέσος Νέας Περάμου (n=4) ($mg\ kg^{-1}$)	8.05
Τιμή κατωφλίου ($mg\ kg^{-1}$)	5.27
CF Κινέτας	1.15
CF Νέας Περάμου	1.53

Σύμφωνα με τον Πίνακα 24 εξάγεται το συμπέρασμα ότι, τα ιζήματα των περιοχών της Κινέτας και της Νέας Περάμου είναι μετρίως ρυπασμένα ως προς τον Zn_{DTPA} διότι ο παράγοντας ρύπανσης κυμαίνεται στην περιοχή από 1 έως 3 ($1 < CF < 3$).

6.1.9. Προσδιορισμός του βαθμού ρύπανσης των ιζημάτων των ρεμάτων

Στην ενότητα αυτή θα υπολογιστεί ο βαθμός ρύπανσης (Contamination Degree, C_{deg}) των ιζημάτων των ρεμάτων με στόχο την παρουσίαση της συνολικής εικόνας της ρύπανσης για τα ιζήματα των ρεμάτων των περιοχών της Δυτικής Αττικής. Ο βαθμός ρύπανσης είναι το άθροισμα των παραγόντων ρύπανσης όλων των στοιχείων που μελετήθηκαν στην παρούσα έρευνα δηλαδή του Fe_{DTPA} , του Mn_{DTPA} , του Cu_{DTPA} και του Zn_{DTPA} και υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση (Hakanson, 1980):

$$C_{deg} = \sum_{i=1}^{i=4} CF^i = \sum_{i=1}^{i=4} (C_{met}^i / C_n^i) \quad (8)$$

Ανάλογα με την τιμή που θα προκύψει από την εφαρμογή της σχέσης (8), ο βαθμός ρύπανσης κατατάσσεται σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 25.

Πίνακας 25: Ταξινόμηση του βαθμού ρύπανσης (Hakanson, 1980).

Τιμή C_{deg}	Περιγραφή του βαθμού ρύπανσης
$C_{deg} < 8$	Χαμηλός βαθμός ρύπανσης
$8 \leq C_{deg} < 16$	Μέτριος βαθμός ρύπανσης
$16 \leq C_{deg} < 32$	Σημαντικός βαθμός ρύπανσης
$32 \leq C_{deg}$	Πολύ υψηλός βαθμός ρύπανσης

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με το βαθμό ρύπανσης των ιζημάτων των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου ύστερα από εφαρμογή της σχέσης (8) καταγράφονται στον Πίνακα 26.

Πίνακας 26: Βαθμός ρύπανσης για τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου.

Ρέμα	Fe_{DTPA}	Mn_{DTPA}	Cu_{DTPA}	Zn_{DTPA}	C_{deg}
CF Κινέτας	1.37	1.78	0.88	1.15	5.18
CF Νέας Περάμου	0.92	0.66	4.56	1.53	7.67

Σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα εξάγεται το συμπέρασμα ότι, τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου εμφανίζουν χαμηλό βαθμό ρύπανσης ($C_{deg} < 8$), με τα ιζήματα της Νέας Περάμου να εμφανίζουν ένα βαθμό ρύπανσης κοντά στο 8 λόγω της σημαντικής ρύπανσης που παρουσιάζουν ως προς τον Cu_{DTPA} .

6.2. Διμεταβλητή στατιστική ανάλυση

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί η συσχέτιση που έχουν τα δεδομένα μεταξύ τους μέσω του υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης Pearson. Πιο συγκεκριμένα, συσχετίζονται η συγκέντρωση των μετάλλων (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}) που υπάρχουν στα ιζήματα και των ιδιοτήτων των ιζημάτων (οργανική ουσία, ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, pH). Τα αποτελέσματα από τη σύγκριση με βάση το συντελεστή συσχέτισης Pearson φαίνονται στον Πίνακα 27.

Πίνακας 27: Συντελεστές συσχέτισης και επίπεδα σημαντικότητας των προσδιοριζόμενων παραμέτρων για εικοσιέξι δείγματα (n=26)

		Οργανική ουσία	IAK	pH	Fe_{DTPA}	Mn_{DTPA}	Cu_{DTPA}	Zn_{DTPA}
Οργανική Ουσία	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	1						
IAK	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	0.722**	1					
pH	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	0.337	0.117	1				
Fe_{DTPA}	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	0.686**	0.614**	0.246	1			
Mn	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	0.596*	0.795**	0.201	0.585**	1		
Cu_{DTPA}	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	-0.144	-0.376	-0.394*	-0.117	-0.399*	1	
Zn_{DTPA}	Συσχέτιση Pearson Sig. (2-tailed)	0.191	-0.138	-0.072	-0.038	-0.243	0.700**	1
		0.350	0.502	0.728	0.854	0.231	0.000	

** Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0.01, * Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0.05

Σύμφωνα με τον Πίνακα 27 παρατηρείται ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της οργανικής ουσίας και της IAK ($r=0.722$, $p<0.01$) η οποία επαληθεύεται από τους Lin and Chen (1998) που μελέτησαν τη σχέση της οργανικής ουσίας με τη IAK σε ποτάμια ιζήματα και τους Thongra-ar et al. (2008) που διερεύνησαν τη ρύπανση από ιχνοστοιχεία των ιζημάτων μεταξύ της ανατολικής ακτής του κόλπου της Ταϊλάνδης. Η συσχέτιση αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι, η οργανική ουσία συνεισφέρει στην IAK λόγω των αρνητικών φορτίων της τα οποία προσελκύουν τα θετικά ιόντα. Όσον αφορά τη συσχέτιση των ιχνοστοιχείων με τις φυσικοχημικές ιδιότητες παρατηρείται ότι, η οργανική ουσία εμφανίζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το Fe_{DTPA} ($r=0.686$, $p<0.01$) και το Mn_{DTPA} ($r=0.596$, $p<0.01$). Η θετική συσχέτιση του Fe_{DTPA} και του Mn_{DTPA} με την οργανική ουσία οφείλεται στο γεγονός ότι, ο Fe προσροφάται στις οργανικές ενώσεις (χουμικά, φουλβικά οξέα), η αποσύνθεση των οποίων παράγει ροές Fe, δηλαδή, αυξάνει τη διαθεσιμότητα του Fe καθώς και του Mn διότι το Mn υπάρχει σε εδάφη και ιζήματα που είναι πλούσια σε σίδηρο ή/και οργανική ουσία (Alexakis, 2015, Montalvo et al., 2014). Επίσης, η ισχυρή θετική συσχέτιση του Mn_{DTPA} και του Fe_{DTPA} με την οργανική ουσία σχετίζεται με την ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των μετάλλων και της IAK καθώς όπως αναφέρθηκε η IAK εξαρτάται από την οργανική ουσία. Γι αυτό το λόγο, εμφανίζεται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της IAK με το Fe_{DTPA} ($r=0.614$, $p<0.01$) και το Mn_{DTPA} ($r=0.795$, $p<0.01$) γεγονός που αναφέρεται και

σε προηγούμενες μελέτες όπως των Thongra-ar et al. (2008). Επιπλέον, υπάρχει μια αδύναμη αρνητική συσχέτιση μεταξύ του Cu_{DTPA} και του pH ($r=-0.394$, $p<0.05$) η οποία εξηγείται από το γεγονός ότι, η βιοδιαθεσιμότητα του Cu από το ίζημα μειώνεται με την αύξηση του pH (Takac et al., 2009). Μια καλή θετική συσχέτιση επίσης εμφανίζεται μεταξύ του Fe_{DTPA} και του Mn_{DTPA} ($r=0.585$, $p<0.01$). Η συσχέτιση αυτή μπορεί να οφείλεται είτε στο γεγονός ότι ο Fe και το Mn παρουσιάζουν ομοιότητες στην οξειδοαναγωγική (υπό αναγωγικές συνθήκες αυξάνεται η διαθεσιμότητα του Fe και του Mn) και τη γεωχημική συμπεριφορά τους είτε σε παρόμοιες πηγές των δυο μετάλλων (Kabata-Pendias, 2001). Επιπροσθέτως, παρατηρείται μια αδύναμη αρνητική συσχέτιση μεταξύ Mn_{DTPA} και Cu_{DTPA} ($r=-0.399$, $p<0.05$) η οποία μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν φαινόμενα σύνδεσης μεταξύ αυτών των στοιχείων ή κοινές πηγές (Montalvo et al., 2014) ενώ εμφανίζεται μια ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ Cu_{DTPA} και Zn_{DTPA} ($r=0.700$, $p<0.01$) που πιθανότατα οφείλεται σε κοινές πηγές αυτών των στοιχείων. Τέλος, παρατηρείται μια αδύναμη αρνητική συσχέτιση μεταξύ Cu και IAK ($r=-0.376$, $p=0.059$) η οποία υποδηλώνει ότι, η αύξηση της IAK έχει ως συνέπεια την απελευθέρωση του Cu από το κλάσμα του ιζήματος στο οποίο είναι δεσμευμένος, δηλαδή, την αύξηση της κινητικότητας του Cu. Η αρνητική αυτή συσχέτιση έρχεται σε συμφωνία με την έρευνα των Ololade et al. (2008) και θα μπορούσε να αποδοθεί στο φαινόμενο της εκλεκτικότητας των κατιόντων καθώς ο Cu ανταγωνίζεται άλλα κατιόντα για τους χώρους ανταλλαγής. Επομένως, καθώς η IAK αυξάνει άλλα κατιόντα όπως ο ψευδάργυρος (Zn), ο μόλυβδος (Pb) κλπ. με υψηλότερο συντελεστή εκλεκτικότητας σε σχέση με το Cu θα έχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα ως προς την προσρόφηση στις θέσεις ανταλλαγής και αντίστροφα (Appel et al., 2003).

6.3. Πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα των ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου επεξεργάστηκαν από τις στατιστικές τεχνικές της R-mode παραγοντικής ανάλυσης, εφαρμόζοντας την περιστροφή μέγιστης διακύμανσης (varimax rotation) με κανονικοποίηση Kaiser προκειμένου να καθοριστεί η κοινή προέλευση καθώς και οι εσωτερικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Η πολυμεταβλητή ανάλυση εφαρμόστηκε μεταξύ των τεσσάρων ιχνοστοιχείων (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}), της οργανικής ουσίας και της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων με βάση το ειδικό περιβαλλοντικό ενδιαφέρον που σχετίζεται με τη σύνθεση των μετάλλων, τη λιθολογία και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες των δύο περιοχών της Δυτικής Αττικής. Η επιλογή των μεταβλητών έγινε με κριτήριο η τιμή Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) να είναι κοντά στην τιμή 0.750 καθώς η παραγοντική ανάλυση θεωρείται αξιόπιστη όταν $KMO \geq 0.750$ ενώ οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν λογαριθμημένες πριν την παραγοντική ανάλυση έτσι ώστε να προκύψουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα της πολυμεταβλητής ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 28 όπου φαίνονται τα παραγοντικά φορτία (factor loadings) της περιστροφής μέγιστης διακύμανσης, οι κοινές παραγοντικές διακυμάνσεις (communalities) και το ποσοστό της μεταβλητότητας για κάθε παράγοντα. Επίσης, για κάθε δείγμα ιζήματος υπολογίστηκαν τα φορτία ανά παράγοντα (factor scores) τα οποία παρουσιάστηκαν σε χάρτες μέσω του προγράμματος ArcGis 10.4 με σκοπό να απεικονιστεί η

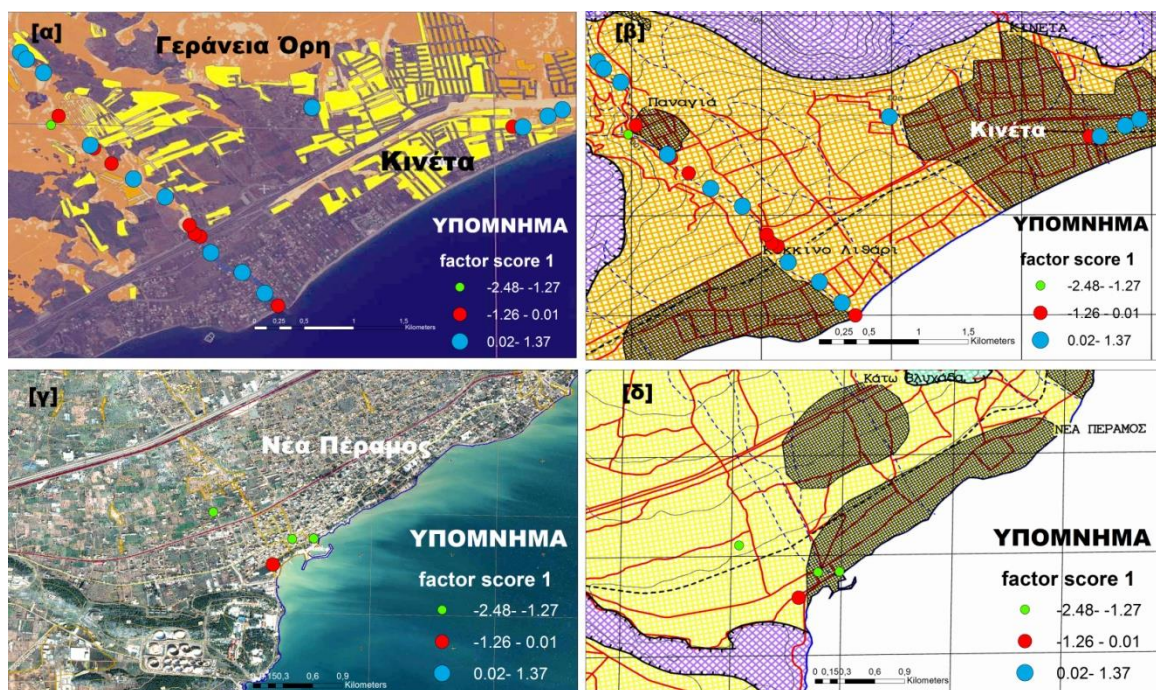
χωρική συσχέτιση μεταξύ των χημικών μεταβολών στα ιζήματα ρεμάτων καθώς και η ρύπανση των δύο περιοχών της δυτικής Αττικής (Εικ. 59 και 60).

Πίνακας 28: Τα παραγοντικά φορτία της περιστροφής μέγιστης διακύμανσης, οι κοινές παραγοντικές διακυμάνσεις και η μεταβλητότητα για έξι μεταβλητές των ρεμάτων της Δυτικής Αττικής.

Μεταβλητή	Παράγοντας 1	Παράγοντας 2	Κοινή παραγοντική διακύμανση
Fe _{DTPA}	0.833		0.694
Mn _{DTPA}	0.817	-0.337	0.781
Cu _{DTPA}		0.889	0.834
Zn _{DTPA}		0.933	0.873
Οργανική ουσία	0.901		0.832
Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων	0.884		0.836
Διακύμανση	3.003	1.847	4.850
Ποσοστόδιακύμανσης(%)	50.052	30.786	80.838

*Τα φορτία κάτω από ±0.325 δεν παρουσιάζονται στον πίνακα.

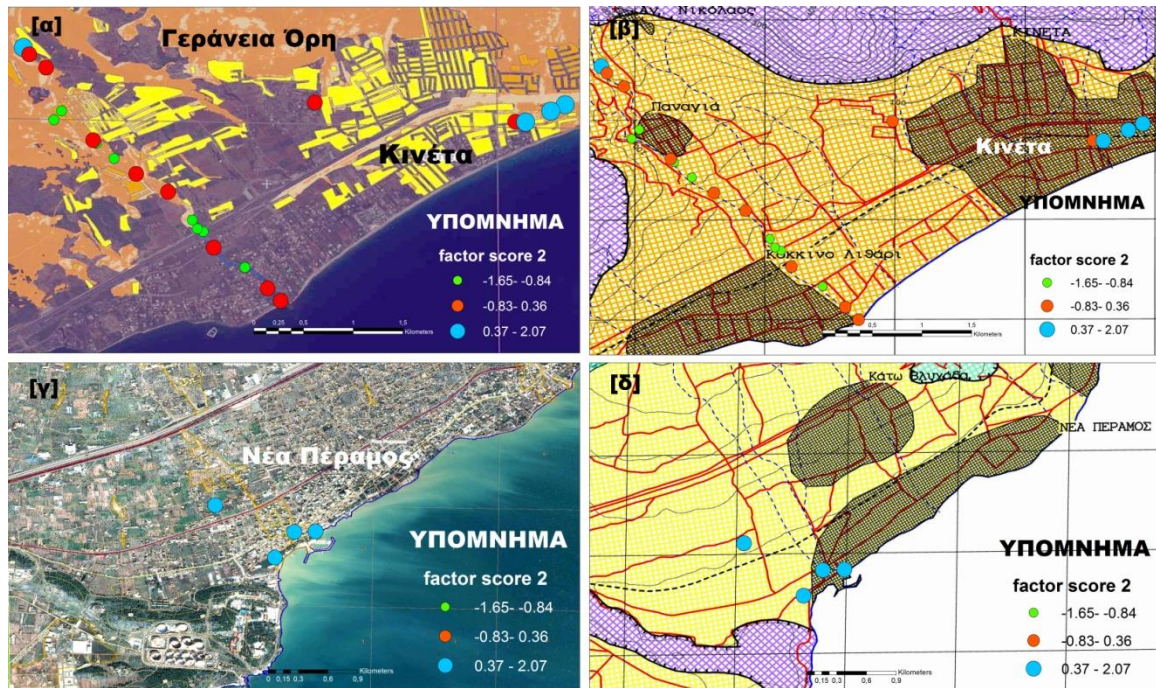
Σύμφωνα με τον Πίνακα 28, η κατανομή των μεταβλητών στα ιζήματα των ρεμάτων της δυτικής Αττικής εξηγείται σε όρους δύο παραγόντων που αντιπροσωπεύουν το 80.838% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, ο παράγοντας 1 αντιπροσωπεύει το 50.052% της συνολικής διακύμανσης με υψηλά θετικά φορτία (μεγαλύτερα από +0.800) για τα δύο ιχνοστοιχεία (Fe_{DTPA}, Mn_{DTPA}), την οργανική ουσία και την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων εξαρτάται από την συγκέντρωση του ιζήματος σε οργανική ουσία όπως αποδεικνύεται και από την υψηλή θετική συσχέτισή τους στην ανάλυση με δύο μεταβλητές ενώ σύμφωνα με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή των Μεγάρων από τον Alexakis (2015), οι υψηλές συγκεντρώσεις του Mn καταγράφονται σε εδάφη και ιζήματα πλούσια σε οργανική ουσία ή/και σίδηρο. Για αυτό το λόγο παρουσιάζονται υψηλά φορτία Fe_{DTPA}, Mn_{DTPA}, οργανικής ουσίας και ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων και κατά συνέπεια υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των παραμέτρων στον παράγοντα 1. Σύμφωνα με την Εικόνα 59 παρατηρείται ότι, στην περιοχή της Κινέτας, τα υψηλότερα θετικά φορτία (μεγαλύτερα από +0.02) εμφανίζονται τόσο στις επηρεασμένες από την πυρκαγιά περιοχές όσο και στις ανεπηρέαστες με το μεγαλύτερο ποσοστό των υψηλών φορτίων (64%) να βρίσκεται στις επηρεασμένες και το μικρότερο (50%) στις ανεπηρέαστες. Αυτό σημαίνει ότι, η ρύπανση που παρατηρήθηκε στην περιοχή ως προς τον Fe_{DTPA} και το Mn_{DTPA} μέσω του υπολογισμού του παράγοντα ρύπανσης δεν οφείλεται αποκλειστικά στην πυρκαγιά αλλά και στα γεωγενή χαρακτηριστικά της περιοχής τα οποία μπορεί να είναι η παρουσία της οργανικής ουσίας και των οξειδίων Fe-Mn. Αντίστοιχα, στην περιοχή της Νέας Περάμου, παρουσιάζονται χαμηλότερα φορτία (μικρότερα από +0.02) τόσο στην ανεπηρέαστη από την πλημμύρα περιοχή όσο και στις επηρεασμένες γεγονός που αιτιολογεί τη χαμηλή ρύπανση ως προς το Fe_{DTPA} και το Mn_{DTPA} που προσδιορίστηκε μέσω των παραγόντων ρύπανσης και δεν οφείλεται αποκλειστικά στο φαινόμενο της πλημμύρας στην περιοχή αλλά θα μπορούσε να οφείλεται στην έλλειψη της παρουσίας της οργανικής ουσίας και των οξειδίων Fe-Mn.



Εικόνα 59: Απεικόνιση των φορτίων του παράγοντα 1 (Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , οργανική ουσία και ΙΑΚ) για τα ιζήματα των δύο περιοχών στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ) και στους χάρτες που απεικονίζουν το γεωλογικό υπόβαθρο των δύο περιοχών (β και δ).

Αντίστοιχα, ο παράγοντας 2 αντιπροσωπεύει το 30.786% της συνολικής μεταβλητότητας και δείχνει υψηλά θετικά φορτία (μεγαλύτερα από +0.850) για τον Cu_{DTPA} και τον Zn_{DTPA} και χαμηλό αρνητικό φορτίο για το Mn_{DTPA} . Η παρουσία του Mn και στον παράγοντα 2 φανερώνει τηγεωγενή προέλευσή του η οποία μπορεί να οφείλεται στην παρουσία των οξειδίων του Mn που υπάρχουν εντός των Νεογενών αποθέσεων και των προϊόντων αποσάθρωσης των Νεογενών αποθέσεων όπως αναφέρεται και στην έρευνα των Gamnroula et al. (2013) που πραγματοποίησαν μια υδρογεωχημική μελέτη της λεκάνης των Μεγάρων. Τα υψηλά θετικά φορτία του Cu_{DTPA} και του Zn_{DTPA} υποδηλώνουν ότι, τα δύο ιχνοστοιχεία έχουν κυρίαρχο ρόλο στην ερμηνεία του παράγοντα 2 γεγονός που επιβεβαιώθηκε και στην ανάλυση με δύο μεταβλητές όπου ο Cu_{DTPA} παρουσίασε ισχυρή συσχέτιση με τον Zn_{DTPA} . Παρατηρώντας την Εικόνα 60 γίνεται αντιληπτό ότι, στην περιοχή της Κινέτας, τα υψηλότερα θετικά φορτία (μεγαλύτερα από +0.37) που αντιστοιχούν σε υψηλές συγκεντρώσεις Cu_{DTPA} και Zn_{DTPA} εμφανίζονται αποκλειστικά στις επηρεασμένες από την πυρκαγιά περιοχές. Επομένως, η ρύπανση της περιοχής της Κινέτας που προσδιορίστηκε μετά από τον υπολογισμό των παραγόντων ρύπανσης του Cu και του Zn πιθανότατα οφείλεται στην πυρκαγιά. Αντίθετα, στην περιοχή της Νέας Περάμου παρατηρούνται υψηλότερα θετικά φορτία (μεγαλύτερα από +0.37) τόσο στην επηρεασμένη περιοχή όσο και στις ανεπηρέαστες γεγονός που σημαίνει ότι, η ρύπανση που παρατηρήθηκε στην περιοχή ως προς τον Cu_{DTPA} και τον Zn_{DTPA} μέσω του υπολογισμού των παραγόντων ρύπανσης αποδίδεται στα γεωγενή χαρακτηριστικά της περιοχής. Αυτό αποδεικνύεται από την έρευνα Alexakis et al. (2018) στην περιοχή των

Μεγάρων που αποδεικνύει την προέλευση του Cu από γεωγενείς παράγοντες καθώς φαίνεται ότι, οι μεγάλες περιεκτικότητες Cu προέρχονται από την παρουσία της οργανικής ουσίας των ιζημάτων ενώ η γεωγενής προέλευση του Zn προέρχεται από την παρουσία των οξειδίων Mn που απαντώνται στις μάργες των Νεογενών σχηματισμών όπως αποδεικνύεται από την έρευνα των Gamvroula et al. (2013).



Εικόνα 60: Απεικόνιση των φορτίων του παράγοντα 2 (Zn_{DTPA} , Cu_{DTPA} , Mn_{DTPA}) για τα ιζήματα των δύο περιοχών στους χάρτες που απεικονίζουν την έκταση των καταστροφών (α και γ) και στους χάρτες που απεικονίζουν το γεωλογικό υπόβαθρο (β και δ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση της ποιότητας των ιζημάτων των ρεμάτων της περιοχής της Κινέτας έδειξαν μικρή αύξηση στη συγκέντρωση του διαθέσιμου σιδήρου (Fe_{DTPA}) της επηρεασμένης από την πυρκαγιά περιοχής που οφείλεται πιθανότατα στην αποσύνθεση της οργανικής ουσίας η οποία απελευθερώνει Fe αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την κινητικότητα του. Καταγράφεται επίσης μείωση στη συγκέντρωση του διαθέσιμου Mn_{DTPA} της επηρεασμένης περιοχής λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων στις ανεπηρέαστες περιοχές που μπορεί να οφείλεται στην αποσύνθεση φύλλων βλάστησης η οποία οδηγεί στην απελευθέρωση Mn και κατά συνέπεια στην αύξηση της συγκέντρωσής του στα ιζήματα. Ομοίως, παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση του διαθέσιμου Cu_{DTPA} και Zn_{DTPA} στις επηρεασμένες από την πυρκαγιά περιοχές. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις του Cu_{DTPA} και του Zn_{DTPA} δεν υπερβαίνουν τα όρια τοξικότητας που θέτει το Υπουργείο Περιβάλλοντος των ΗΠΑ για το Cu και τον Zn που αντιστοιχούν σε 16 mg kg^{-1} και 110 mg kg^{-1} αντίστοιχα σε αντίθεση με τις συγκεντρώσεις του Fe_{DTPA} και του Mn_{DTPA} που υπερβαίνουν το όριο τοξικότητας των 30 mg kg^{-1} τόσο στις επηρεασμένες από την πυρκαγιά περιοχές όσο και στις ανεπηρέαστες. Ωστόσο, το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις του Cu_{DTPA} και του Zn_{DTPA} δεν ξεπερνούν τα όρια τοξικότητας δεν συνεπάγεται ότι δεν υπάρχει ρύπανση των ιζημάτων των ρεμάτων της περιοχής ως προς αυτά τα στοιχεία καθώς οι παράγοντες ρύπανσης (CF) που λαμβάνουν υπόψη τη φυσική μεταβολή των περιεχομένων των στοιχείων λόγω της λιθολογίας και της γεωλογίας και προσδιορίστηκαν με στόχο την ποσοτικοποίηση της ρύπανσης έδειξαν μια χαμηλή ρύπανση των ιζημάτων ως προς το Cu_{DTPA} ($CF=0.88$) και μια μέτρια ρύπανση ως προς τον Zn_{DTPA} ($CF=1.15$) ενώ μέτρια ρύπανση προσδιορίστηκε και για τον Fe_{DTPA} ($CF=1.37$) και το Mn_{DTPA} ($CF=1.78$) γεγονός που σημαίνει ότι, το προφίλ της ρύπανσης του ρέματος της Κινέτας κυριαρχείται από τον Fe_{DTPA} , το Mn_{DTPA} και τον Zn_{DTPA} . Επίσης, ο προσδιορισμός του βαθμού ρύπανσης έδειξε χαμηλό βαθμό ρύπανσης στα ιζήματα της περιοχής της Κινέτας ($C_{deg}=5.18 < 8$) γεγονός που σημαίνει ότι τα ιζήματα των ρεμάτων της Κινέτας δεν παρουσιάζουν σημαντική ρύπανση ως προς τα τέσσερα διαθέσιμα ιχνοστοιχεία. Ωστόσο, η ρύπανση αυτή δεν θα πρέπει να αγνοηθεί καθώς οι συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων είναι εύκολα διαθέσιμες και κατά συνέπεια τοξικές για τους φυτικούς οργανισμούς, τους οργανισμούς των υδάτινων οικοσυστημάτων αλλά και για τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα.

Η ρύπανση που παρουσίασαν τα τέσσερα ιχνοστοιχεία (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}) στα ιζήματα των ρεμάτων της περιοχής της Κινέτας ερμηνεύτηκε μέσω της παραγοντικής ανάλυσης όπου η απεικόνιση των φορτίων ανά παράγοντα σε χάρτες μέσω του προγράμματος GIS έδειξε τα εξής:

- Η ρύπανση ως προς τον Fe_{DTPA} και το Mn_{DTPA} που παρουσιάζουν μια ισχυρή συσχέτιση όπως αποδείχτηκε και από την ανάλυση με δύο μεταβλητές οφείλεται τόσο στην επίδραση της πυρκαγιάς όσο και στα γεωγενή χαρακτηριστικά της περιοχής όπως η παρουσία της οργανικής ουσίας και/ή των οξειδίων Fe-Mn.
- Η ρύπανση ως προς τον Cu_{DTPA} και τον Zn_{DTPA} που επίσης παρουσιάζουν ισχυρή συσχέτιση οφείλεται αποκλειστικά στην πυρκαγιά.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση της τέφρας των ρεμάτων της Κινέτας έδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις για τα στοιχεία Sr, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Zn, Sb, Ca, Mg, P σε σχέση με τα κριτήρια ποιότητας ιζήματος και της μέσης σύστασης ιζήματος αποτελώντας πιθανή πηγή ρύπανσης για τη θαλάσσια περιοχή με συνεπακόλουθες συνέπειες για την υδρόβια ζωή αλλά και για την ανθρώπινη υγεία.

Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα της περιοχής της Νέας Περάμου παρουσίασαν μια μείωση στις συγκεντρώσεις του διαθέσιμου Cu_{DTPA} και Zn_{DTPA} των επηρεασμένων από την πλημμύρα περιοχών. Ωστόσο, παρατηρήθηκε αύξηση στις συγκεντρώσεις του Fe_{DTPA} και του Mn_{DTPA} στις επηρεασμένες περιοχές η οποία μπορεί να οφείλεται στα φερτά υλικά όπως μεταλλικά υλικά ή φύλλα βλάστησης που μεταφέρθηκαν μαζί με το αιωρούμενο ιζημα στα ρέματα και είχαν υψηλές συγκεντρώσεις σε αυτά τα στοιχεία. Επίσης, η ποσοτικοποίηση της ρύπανσης μέσω του προσδιορισμού του παράγοντα ρύπανσης έδειξε σημαντική ρύπανση ως προς τον Cu_{DTPA} ($CF=4.56$), μέτρια ρύπανση για τον Zn_{DTPA} ($CF=1.53$) και χαμηλή ρύπανση για τον Fe_{DTPA} και το Mn_{DTPA} με τους παράγοντες ρύπανσης να ανέρχονται σε 0.92 και 0.66 αντίστοιχα γεγονός που σημαίνει ότι, το προφίλ της ρύπανσης των ρεμάτων της Νέας Περάμου κυριαρχείται από τον Cu_{DTPA} και τον Zn_{DTPA} . Επίσης, ο προσδιορισμός του βαθμού ρύπανσης έδειξε χαμηλό προς μέτριο βαθμό ρύπανσης στα ιζήματα της Νέας Περάμου καθώς η τιμή του είναι κοντά στο 8 ($C_{deg}=7.67<8$) η οποία ωστόσο δεν μπορεί να αγνοηθεί διότι οι συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων είναι εύκολα διαθέσιμες ενώ είναι πιθανή η πρόκληση τοξικότητας στους οργανισμούς και στους υδάτινους αποδέκτες. Τέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης και της απεικόνισης των φορτίων ανά παράγοντα σε χάρτες, η ρύπανση των ιζημάτων των ρεμάτων της Νέας Περάμου λόγω αυτών των στοιχείων οφείλεται τόσο στο φαινόμενο της πλημμύρας όσο και στα γεωγενή χαρακτηριστικά της περιοχής.

Η γεωχημική σύσταση των ιζημάτων ρεμάτων της Κινέτας και της Νέας Περάμου επηρεάστηκε τόσο από τα φαινόμενα της πυρκαγιάς και της πλημμύρας όσο και από τα γεωγενή χαρακτηριστικά των δύο περιοχών με αποτέλεσμα τη μεταβολή της συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων στα ιζήματα ρεμάτων των δύο περιοχών. Επίσης, η παρουσία της τέφρας στα ρέματα της Κινέτας θα μπορούσε να επιδεινώσει τη ρύπανση λόγω των ιχνοστοιχείων που υπερβαίνουν τα όρια τοξικότητας. Επομένως, είναι σημαντικό να γίνουν κατάλληλες ενέργειες καθαρισμού των ρυπασμένων ρεμάτων όπως είναι η απομάκρυνση των ιζημάτων από τα ρέματα των δύο περιοχών καθώς και της τέφρας από τα ρέματα της Κινέτας. Επίσης, κρίνεται απαραίτητη η μελλοντική παρακολούθηση των ιζημάτων η οποία θα ήταν καλύτερο να επεκταθεί στον προσδιορισμό τόσο του διαθέσιμου κλάσματος των τεσσάρων ιχνοστοιχείων (Cu_{DTPA} , Fe_{DTPA} , Mn_{DTPA} , Zn_{DTPA}) της παρούσας ερευνητικής εργασίας όσο και του διαθέσιμου κλάσματος άλλων ιχνοστοιχείων όπως του νικελίου (Ni) ή του καδμίου (Cd) προκειμένου να υπάρχει μια ολοκληρωμένη εικόνα ως προς την τοξικότητα των ιζημάτων. Μελλοντικά, προτείνεται με στόχο έναν πιο ολοκληρωμένο έλεγχο των ιζημάτων, ο προσδιορισμός των τεσσάρων ιχνοστοιχείων (Cu, Fe, Mn, Zn) καθώς και άλλων ιχνοστοιχείων και στα υπόλοιπα κλάσματα των ιζημάτων πέραν του διαθέσιμου κλάσματος ώστε να προσδιοριστεί σε πιο κλάσμα ιζήματος ενσωματώνονται περισσότερο τα ιχνοστοιχεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Αλεξάκης Δ. (2010). *Διασπορά επικίνδυνων υλικών εξαιτίας φυσικών καταστροφών και επιπτώσεις στην ποιότητα υδατικών και εδαφικών πόρων. Πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία*. Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων και Προληπτικού Σχεδιασμού και Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Αρβανίτης Λ. (2006). *Γεωχημική μελέτη σε επιφανειακά ιζήματα του επιβατικού τμήματος του Λιμένα Πειραιώς*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πάτρας.
- Βασιλάκη Γ. (2012). *Χημικός και ορυκτολογικός χαρακτηρισμός θαλάσσιων ιζημάτων της περιοχής Ελευσίνας και εκτίμηση του επιπέδου ρύπανσης βάσει δεικτών ποιότητας*. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Γκουρμπάτσης Α. (2018). *Τεχνική έκθεση: Η διερεύνηση των αιτιών και των συνθηκών της καταστροφικής - θανατηφόρου δασικής πυρκαγιάς, που εκδηλώθηκε την 23η Ιουλίου 2018 και ώρα Ω/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*.
- Δάβη Ε. (1991). *Πετρολογία*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Δημητρέλου Μ. (2013). *Σύγχρονες τάσεις διαχείρισης των αστικών ρεμάτων. Μελέτη περίπτωσης: Το Ρέμα Πικροδάφνης και οικονομική αποτίμηση της αξίας του*. Μεταπτυχιακή Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κεραμίδας Β. (1997). *Σημειώσεις του μαθήματος γονιμότητα εδαφών*. Τμήμα Εκδόσεων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ), Θεσσαλονίκη.
- Κωστάκης Γ. (2003). *Εισαγωγή στην αξιολόγηση των βιομηχανικών ορυκτών*. Σημειώσεις παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Λυκούδη Ε. (2005). *Εκρηξιγενή-Μεταμορφωμένα-Ιζηματογενή Πετρώματα. Πετροχημικός Κύκλος*. Σημειώσεις παραδόσεων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μιμίδης Θ. (2006). *Επίδραση της Γεωργίας στην Υποβάθμιση των Εδαφικών και Υδατικών Πόρων*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Εκδόσεις Γ.Π.Α., σελ. 31, 59.
- Μουντράκης Δ. (1985). *Γεωλογία της Ελλάδος*. University Studio press, Θεσσαλονίκη.
- Μπάφας Γ. (2016). *Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά εδάφους του Υπαλτικού Λιβαδιού "Κωστηλάτα" Θεοδωριάνων Άρτας*. Πτυχιακή Εργασία. Σχολή Τεχνολόγων Γεωπόνων, ΤΕΙ Ηπείρου, Άρτα.
- Μπελαβίλας Ν. και Βαταβάλη Φ. (2009). *Πράσινο και ελεύθεροι χώροι στην πόλη. Οδηγός για το Περιβάλλον*. WWF Ελλάς, Αθήνα.

- Νικολαΐδης Ν., Τζωράκη Ο., Τυροβολά Κ., Σταμάτη Φ., Περουλάκη Ε., Βαλτά Κ. και Cassentini Β. (2007). *Μετά τις πυρκαγιές στη Λακωνία: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις*. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Οικονόμου Δ. (2014). *Διδακτική παλαιοπεριβάλλοντος στην εκπαίδευση. Εφαρμογή στην παλαιοντολογία σπονδυλωτών και στην παλαιοανθρωπολογία*. Μεταπτυχιακή Εργασία. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Παναγιωτόπουλος Κ. (2008). *Εδαφολογία*. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- Πετσίνης Χ. (2016). *Διάβρωση εδάφους και τρόποι αντιμετώπισης*. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.
- Πολυζόπουλος Ν. Α. (1976). *Εδαφολογία*. Εκδόσεις Σακκούλα, Θεσσαλονίκη-Αθήνα, σελ. 1-198.
- Σαμανίδου Β. (1990). *Μελέτη κατανομής και επαναδιάλυσης βαρέων μετάλλων σε νερά και ιζήματα ποταμών της Βόρειας Ελλάδας*. Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Σουλιώτης Ν. (2018). *Στοιχεία κινδύνου πλημμυρών και κατολισθήσεων στο Δήμο Καρπενησίου*. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Τσακίρης Γ. (1995). *Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία*. Εκδόσεις Συμμετρία.
- Τσιραμπίδης Α. (2003). *Ελαφρά αδρανή και χαλαζιακή άμμος: ιδιότητες-παραγωγή-είδη*. Πρακτικά Ημερίδας Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας «Αδρανή Πετρώματα και Δομικοί Λίθοι», Θεσσαλονίκη, σελ. 23-47.
- Χατζηπαναγιώτου Κ. (1997). *Πετρογραφία Ι*. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Abraham J., Dowling K. and Singarayer F. (2017). *The unquantified risk of post-fire metal concentration in soil: a Review*. Water Air Soil Pollution, pp. 175-228.
- Adriano D.C. (1986). *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer-Verlag, NY.
- Ahmad Z. A., Nur A. S. and Nadzhratul H. (2012). *Influential factors on the levels of cation exchange capacity in sediment at Langat River*. Arabian Journal of Geosciences 6 (8), pp. 3049-3058. doi: 10.1007/s12517-012-0563-0.
- Alexakis D. (2011). *Diagnosis of stream sediment quality and assessment of toxic element contamination sources in East Attica*. Environmental Earth Sciences 63, pp. 1369-1393. doi: 10.1007/s12665-010-0807-9.
- Alexakis D. (2015). *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), pp. 359-373.
- Alexakis D., Gamvroula, D. and Theofili, E. (2018). *Environmental availability of potentially toxic elements in an agricultural Mediterranean site*. Environmental and Engineering Geoscience, pp. 1-10.
- Alloway B. J. (1995). *Heavy metals in soils*. 2nd edition. Blackie Academic & Professional, U.K.

- Amiro B. D., Sheppard S.C., Johnston F. L., Evenden W. G. and Harris D. R. (1996). *Burning radionuclide question: what happens to iodine, cesium and chlorine in a biomass fire?* The Science of the Total Environment 187, pp. 93–103.
- Appel C., Ma L.Q., Rhue R.D. and Reve W. (2003). *Selectivities of potassium-calcium and potassium-lead exchange in two tropical soils.* Soil Science Society of America Journal 67 (6), pp. 1707-1714.
- Arnold C. L. and Gibbons C. J. (1996). *Impervious surface coverage.* Journal of the American Planning Association 62, pp. 243-258.
- Aswathanarayana U. (1995). *Geoenvironment: An Introduction.* A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, Netherlands, pp. 27, 77.
- Atta-ur-Rahman and Khan A. (2011). *Analysis of flood causes and associated socio- economic damages in the Hindukush region.* Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards 59 (3), pp. 1239–1260.
- Baran A. and Tarnawski M. (2015), *Assessment of heavy metals mobility and toxicity in contaminated sediments by sequential extraction and a battery of bioassays.* Ecotoxicology 24, pp. 1279-1293.
- Barkley Y. (2013). *Wildfire and its effects on Streams and Rivers.* University of Idaho Extension, Moscow, ID.
- Barth T. F., Correns C. V. and Eskola P., (1939). *Die Entstehung der Gesteine.* Berlin. Julius Springer, pp. 422.
- Bassi S. and Kettunen M. (2008). *Forest fires: causes and contributing in Europe.* Policy Department, Economic and Scientific Policy, European Parliament, pp. 1-56.
- Beaty K. G. (1994). *Sediment transport in a small stream following two successive forest fires.* Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 51, pp. 2723-2733.
- Bing H., Zhou J., Wu Y., Wang X., Sun H. and Li R. (2016). *Current state, sources, and potential risk of heavy metals in sediments of Three Gorges Reservoir.* China. Environmental Pollution 214, pp. 485–496.
- Birot Yves. (2009). *Living with Wildfires: What Science Can Tell Us.* European Forest Institute, Discussion Paper 15, pp. 1-86.
- Blake W. H., Dropp I. G., Wallbrink P. J., Doerr S. H., Shakesby R. A. and Humphreys G. S. (2005). *Impacts of wildfire on effective sediment particle size: implications for post-fire sediment budgets.* In: Walling, D. E., Horowitz, A. J. (Eds.), *Sediment Budgets 1*, IAHS Publication 291, IAHS Press, Wallingford, UK, pp. 143–150.
- Blake W. H., Droppo I. G., Humphreys G. S., Doerr S. H., Shakesby R. A. and Wallbrink P. J. (2007). *Structural characteristics and behavior of fire-modified soil aggregates.* Journal of Geophysical Research F: Earth Surface 112 (2), F02020.
- Blake W. H., Wallbrink P. J. and Droppo I. G. (2009a). *Sediment aggregation and water quality in wildfire-affected river basins.* Marine and Freshwater Research 60 (7), pp. 653–659.

- Bobet A., Santagata M. and Howayek A. El. (2015). *Engineering properties of marls*. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University. doi: 10.5703/1288284315533.
- Bodi B. M., Martin A. D., Balfour N. V., Santin C., Doerr H. S., Pereira P., Cerda A. and Solera-Mataix J. (2014). *Wildland fire-ash: Production, composition and eco-hydro-geomorphic effects*. *Earth Science Reviews* 130, pp. 103-127.
- Bornovas J., Eleutheriou A., Gaitanakis P. (1984). *Geological Map of Greece, 1:50.000, Sheet Sofikon*. I.G.M.E., Athens.
- Bosch E. A. (2014). *Interacting effects of climate change and agricultural BMPs on nutrient runoff entering Lake Erie*. *Journal of Great Lakes Research* 40 (3), pp. 581-589. doi:10.1016/j.jglr.2014.04.011.
- Bouyoucos G. (1962). *Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils*. *Agronomy Journal* 54 (5), pp. 464-465.
- Boyd E. C., Tucker S. C. and Viriyatum R. (2011). *Interpretation of pH, acidity and alkalinity in aquaculture and fisheries*. *North American Journal of Aquaculture* 73, pp. 403-408.
- Burton C. A., Hoefen T. M., Plumlee G. S., Baumberger K. L., Backlin A. R., Gallegos E. and Fisher R. N. (2016). *Trace elements in stormflow, ash and burned soil following the 2009 Station Fire in Southern California*. *PLOS one*, 04 May, pp. 1-26.
- Camberato J. J. (2001). *Cation exchange capacity—everything you want to know and much more*. First printed in South Carolina Turfgrass Foundation News, October–December, 2001.
- Campbell P.G.C., Lewis A.G., Chapman P.M., Crowder A.A., Fletcher W.K., Imber B., Luoma S. N., Stokes P. M. and Winfrey, M. (1988). *Biologically Available Metals in Sediments*. No NRCC 27694, National Research Council of Canada, Ottawa, pp. 298.
- Cannon S. H., Gartner J. E., Wilson R. C., Bowers J. C. and Laber J. L. (2008). *Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California*. *Geomorphology* 96, pp. 250–269.
- Cánovas C. R., Olías M., Sarmiento A. M., Nieto J. M. and Galván L. (2012). *Pollutant transport processes in the Odiel River (SW Spain) during rain events*. *Water Resources Research* 48. doi: 10.1029/2011WR011041.
- Caplat C., Texier H., Barillier D. and Lelievre C. (2005). *Heavy metals mobility in harbour contaminated sediments: the case of Port-en-Bessin*. *Marine Pollution Bulletin* 50 (5), pp. 504-511.
- CCME. (2001). *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables*. CCME, Winnipeg.
- Chafetz H. S., Rush P. F., and Utech N. M. (1991). *Microenvironmental controls on mineralogy and habit of CaCO₃ precipitates: an example from an active travertine system*. *Sedimentology* 38, pp. 107-126.

- Chaplot V. (2007). *Water and soil resources response to rising levels of atmospheric CO₂ concentration and to changes in precipitation and air temperature*. Journal of Hydrology 337(1-2), pp. 159-171. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.01.026.
- Chapman D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. University Press, Cambridge, Great Britain, pp. 128, 253, 274-286.
- Christensen G. N., Evenset A., Rognerud S., Skjelkvåle B. L., Palerud R., Fjeld E. and Røyset O. (2008). *Status of metals and environmental pollutants in lakes and fish from the Norwegian part of the AMAP region*. National lake survey 2004-2006, part III: AMAP (ed. G.N. Christensen). Norwegian Pollution Control Authority (SFT), Oslo.
- Ciszewski, D. (2001). *Flood-related changes in heavy metal concentrations within sediments of the Biala Przemsza River*. Geomorphology 40, pp. 205-218.
- Ciszewski D. and Grygar T. M. (2016). *A review of flood-related storage and remobilization of heavy metal pollutants in river systems*. Water, air & soil pollution, pp. 227-239, doi: [10.1007/s11270-016-2934-8](https://doi.org/10.1007/s11270-016-2934-8).
- Clément B. (1971). *Découverte d'un flysch éocène en Béotie (Grèce continentale)*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris 272, pp. 791-792.
- Cornish P. M. (1980). *Water quality studies in New South Wales state forests, 1. A north coast eucalypt forest near Lismore*. Aust. For. 43 (2), pp 105-110.
- Daloglu I., Cho K. H. and Scavia D. (2012). *Evaluating causes of trends in long-term dissolved reactive phosphorus loads to Lake Erie*. Environmental Science and Technology 46 (19), pp. 10660-10666. doi:10.1021/es302315d.
- Dane J., Topp G. and Campbell G. (2002). *Methods of Soil Analysis*. Part 4, Physical Methods. Madison, Wis.: Soil Science Society of America.
- Das P., Kumar M. and Sarma K.P. (2015). *Speciation of heavy metals in surface sediment of the Brahmaputra River*. Assam, India. J. Environ. Res. Dev. 9 (3A), pp. 944-952.
- DeBano L. (1990). *The effect of fire on soil properties*. Symposium on Management and Productivity of Western-Montane Forest Soils, 10th-12th April 1990, Boise, ID.
- Demeyer A., Voundi Nkana J. C. and Verloo M. G. (2001). *Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview*. Bioresource Technology 77, pp. 287-295.
- Dinelli E., Cortecchi G., Lucchini F. and Zantedeschi E. (2005). *Sources of major and trace elements in the stream sediments of the Arno river catchment (northern Tuscany, Italy)*. Geochemical Journal 39, pp. 531-545.
- Dobrovicova S., Dobrovic R. and Dobrovic J. (2015). *The economic impact of floods and their importance in different regions of the world with emphasis in Europe*. Procedia Economics and Finance 34, pp. 649-655.

- Douglas C. M., Roessing M. E., Camp A. E. and Tyrrell M. L. (2003). *Assessing the environmental, social, and economic impacts of wildfire*. GISF Research Paper 001 Forest Health Initiative, pp. 1-59.
- Droppo I. G. (2001). *Rethinking what constitutes suspended sediment*. Hydrological Processes 15, pp. 1551–1564.
- Ebel B. A. (2012). *Wildfire impacts on soil-water retention in the Colorado Front Range*. United States. Water Resource, Res. 48 (12).
- Ebel B. A. and Moody J. A. (2012). *Hyper-Dry conditions provide new insights into the cause of extreme floods after wildfire*. Catena 93, pp. 58-63.
- EEA. (2010). *Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe-An overview of the last decade*. European Environment Agency. EEA Technical report No 13/2010, pp. 144 Copenhagen, ISBN 978-92-9213-168-5, ISSN 1725-2237.
- EEA. (2004). *Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe*. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, pp. 48.
- Euripidou E. and Murray V. (2004). *Public health impacts of floods and chemical contamination*. Journal of Public Health 26, pp. 376–383.
- Everest F. H., Beschta R. L., Scrivener J. C., Koski K. V., Koski J. R., Sedell and Cederholm C.J. (1987). *Fine sediment and salmonid production: a paradox*. pp. 98-142 in Salo E.O. and Cundy T.W., editors, *Streamside Management: Forestry and Fishery Interactions*. Institute of Forest Research Contributions, College of Forest Resources. University of Washington, Seattle, Washington.
- Faria S. R., De La Rosa J. M., Knicker H., Gonzalez-Perez J. A. and Keizer J. J. (2015). *Molecular characterization of wildfire impacts on organic matter in eroded sediments and topsoil in Mediterranean Eucalypt stands*. Catena 135, pp. 29-37.
- Ferreira A. J. D., Coelho C. O. A., Boulet A. K. and Lopes F. P. (2005). *Temporal patterns of solute loss following wildfires in Central Portugal*. International Journal of Wildland Fire 14, pp. 401–412.
- Filgueiras A. V., Lavilla I. and Bendicho C. (2002). *Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples*. Journal of Environmental Monitoring 4 (6), pp. 823-857.
- Florsheim J. L., Ustin S. L., Tang Y., Di B., Huang C., Qiao X., Peng H., Zhang M., and Cai Y. (2013). *Basin-scale and travertine dam-scale controls on fluvial travertine*. Jiuzhaigou, southwestern China: Geomorphology 180-181, pp. 267- 280.
- Fouke B. W., Bonheyo G. T., Sanzenbacher B., and Frias-Lopez J. (2003). *Partitioning of bacterial communities between travertine depositional facies at Mammoth Hot Springs*. Yellowstone National Park, U.S.A.: Canadian Journal of Earth Science 40, pp. 1531-1548.
- Fraley L. (2004). *Methods of measuring fluvial sediment*. Center for Urban Environmental Research and Education. University of Maryland, Baltimore.

- Gaiero D. M., Ross R. G., Depetris P. J. and Kempe S. (1997). *Spatial and temporal variability of total non-residual heavy metals content in stream sediment from the Suquia River System, Cordoba, Argentina*. *Water, Air & Soil Pollution* 93, pp. 303–319.
- Gallaher B. M. and Koch R. J. (2004). *Cerro Grande fire impacts to water quality and stream flow near Los Alamos national laboratory: results of four years of monitoring*. Ed. Bruce M Gallaher & Richard J Koch. Springfield, VA: National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce, Print.
- Gamvroula D., Alexakis D. and Stamatis G. (2013). *Diagnosis of groundwater quality and assessment of contamination sources in the Megara basin (Attica, Greece)*. *Arabian Journal of Geosciences* 6, pp. 2367–2381.
- Genon J. G. and Dufey J. (1991). *Contribution of clay and organic matter to the cation exchange capacity of Southeastern Belgium soils*. *Landbouwtijdschrift. Tweetalige Editie* 44 (2), pp. 277-284.
- Giouri A., Christophoridis C., Melfos V. and Vavelidis M. (2010). *Assessment of heavy metals concentrations in sediments of Bogdanas River at the Assiros-Lagadas area of Northern Greece*. *Scientific Annuals, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki. Proceedings of the XIX CBGA Congress in Thessaloniki, Greece, Vol. 100*, pp. 63-69.
- Giovannini G. and Lucchesi S. (1997). *Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities*. *Soil Science* 162 (7), pp. 479–486.
- Giovannini G., Lucchesi S. and Giachetti M. (1988). *Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility*. *Soil Science* 146, pp. 255-261.
- Goforth B. R., Graham R. C., Hubbert K. R., Zanner C. W. and Minnich R. A. (2005). *Spatial distribution and properties of ash and thermally altered soils after high-severity forest fire, southern California*. *International Journal of Wildland Fire* 14, pp. 343–354.
- Gopal V., Krishnakumar S., Simon Peter T., Nethaji S., Suresh Kumar K., Jayaprakash M. and Magesh N.S. (2017). *Assessment of trace element accumulation in surface sediments of Chennai Coast after a major flood event*. *Marine Pollution Bulletin* 114, pp. 1063-1071.
- Gray N. F. (2005). *Water Technology: An Introduction for Environmental Scientists and Engineers*. 2nd edition. Elsevier Butterworth Heinemann, Oxford.
- Grunsky E. C., Drew L. J., David M. and Sutphin D. M. (2009). *Process recognition in multielement soil and stream-sediment geochemical data*. *Applied Geochemistry* 24, pp. 1602-1616.
- Guagliardi I., Apollaro C., Scarciglia F. and De Rosa R. (2013). *Influence of particle-size on geochemical distribution of stream sediments in the Lese River Catchment, Southern Italy*. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 17 (1), pp. 43-55.
- Hakanson L. (1980). *An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach*. *Water Research* 14, pp. 975–1001. doi:10.1016/0043-1354(80)90143-8.

- Harrison D. J., Inglethorpe S. D. J., Mitchell C. J., Kemp S. J., Chaodumrong P. and Charusribandhu M. (1998). *Procedures for the rapid assessment of limestone resources*. British Geological Survey, Technical Report WC/98/1, pp. 3-111.
- Hazelton P. and Murphy B. (2007). *Interpreting soil test results. What do all the numbers mean?* Pam Hazelton and NSW Department of Natural Resources, pp. 160.
- He M., Wang Z. and Tang H. (1997). *Spatial and temporal patterns of acidity and heavy metals in predicting the potential for ecological impact on the Le An River polluted by acid mine rainage*. Science of the Total Environment 206, pp. 67–77. doi: 10.1016/S0048-9697(97)00217-9.
- Helen D., Vaithyanathan C. and Ramalingom Pillay A. (2016). *Assessment of heavy metal contamination and sediment quality of Thengapattinam Estuary in Kanyakumary Distrinct*. International Journal of Chemical and Physical Sciences 5 (1), pp. 8-17, ISSN: 2319-6602.
- Ho A. J. (2013). *Toxicity and bioaccumulation of sediment-associated metals and elements from wildfire impacted streams of Southern Alberta on Hyalella Azteca*. Master Thesis in Geography. University of Waterloo, Canada.
- Hong Y., Adler R. F., Negri A. and Huffman G. J. (2007). *Flood and landslide applications of near real- time satellite rainfall products*. Natural Hazards 43, pp. 285–294.
- Horowitz A. J. (1991). *A primer in sediment-trace element chemistry*, second ed. Lewis Publishers, Chelsea, MI.
- Horowitz A. J. and Elrick K. A. (1987). *The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry*. Applied Geochemistry 2, pp. 437–451.
- Hubbard L., Kolpin D. W., Kalkhoff S. J. and Robertson D. M. (2011). *Nutrient and sediment concentrations and corresponding loads during the historic June 2008 flooding in Eastern Iowa*. Journal of Environmental Quality 40, pp. 166–175.
- Johansen M. P., Hakonson T. E., Whicker F. W. and Breshears D. D. (2003). *Pulsed redistribution of a contaminant following forest fire: cesium-137 in runoff*. Journal of Environmental Quality 32, pp. 2150–2157.
- John D. A. and Leventhal J. S. (1995). *Bioavailability of metals. Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models*, pp. 10-18.
- Jury W. and Horton R. (2004). *Soil Physics*. 6th Edition. Hoboken, N.J.: J. Wiley.
- Kabata-Pendias A. (2001). *Trace elements in soils and plants*. 3rd edition. CRC Press, BOCA Raton.
- Kaplanis A., Koukouvelas I., Xypolias P., Kokkalas S. (2013). *Kinematics and ophiolite obduction in the Gerania and Helicon Mountains, central Greece*. Tectonophysics 595-596, pp. 215-234.
- Khanna P. K., Raison R. J. and Falkiner R. A. (1994). *Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forest soils*. Forest Ecology and Management 66, pp. 107–125.

- Kiekebosch-Fitt E. M. (2012). *Geochemistry and mineralogy of fluvial sediments in the Southern Alps, NZ. The influence of climate and tectonics on chemical weathering*. Faculty of Science, Medicine & Health, University of Wollongong.
- Kosore C. M., Galindo-Riano M. D. and Diaz De Alba. (2015). *Assessing trace-element mobility in Algeciras Bay (Spain) sediments by acid and complexing screening*. Arabian Journal of Chemistry, King Saud University, pp. 1-12.
- Kristensen L. J., Taylor M. P., Odigie K. O. and Hibdon S. A. (2014). *Lead isotopic composition of ash sourced from Australian bushfires*. Environmental Pollution 190, pp. 159–165.
- Kundzewicz Z. W., Pinskiwar I. and Brakenridge G. R. (2013). *Large floods in Europe, 1985–2009*. Hydrological Sciences Journal 58, pp. 1-7.
- Kuusisto-Hjort P. (2009). *Controls on trace metals in urban stream sediments-implications for pollution monitoring using sediment chemistry data*. Academic Dissertation, Department of Geography. University of Helsinki, Finland.
- Labat D., Godderis Y., Probst J. L. and Guyot J. L. (2004). *Evidence for global runoff increase related to climate warming*. Advances in Water Resources 27, pp. 631-642.
- Lane P. N. J., Sheridan G. J. and Noske P. J. (2006). *Changes in sediment loads and discharge from small mountain catchments following wildfire in south eastern Australia*. Journal of Hydrology 331, pp. 495–510.
- Lin Jih-Gaw and Chen Shen-Y. (1998). *The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediments*. Environmental International 24 (3), pp.345-352.
- Malmon D. V., Reneau S. L., Katzman D., Lavine A. and Lyman J. (2007). *Suspended sediment transport in an ephemeral stream following wildfire*. Journal of Geophysical Research 112, pp. F02006. doi:10.1029 /2005JF000459.
- Mantei E. J. and Foster M. V. (1991). *Heavy metals in stream sediments: effect of human activities*. Environmental Geology and Water Sciences 18, pp. 95–104.
- Marjoribanks R. (2010). *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mayor A. G., Bautista S., Llovet J. and Bellot J. (2007). *Post-fire hydrological and erosional responses of a Mediterranean landscape: seven years of catchment-scale dynamics*. Catena 71, pp. 68–75.
- Mehmood A. M., Shafiq-ur-Rehman, Rashid A., Ganie A. S., Haq S. and Sherwani A. (2016). *Impact of September 2014 floods on sediment quality of Himalayan Jhelum River Kashmir*. International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT) 5, Issue 12, pp. 233-243, ISSN: 2278-0181.
- Mescouto Cleide S. T., Lemos Vanda P., Dantas Filho Heronides A., Da Costa Marcondes L., Kern Dirse C. and Fernandes Kelly G. (2011). *Distribution and availability of copper, iron, manganese and zinc in the archeological Black Earth Profile from the Amazon Region*. Journal of the Brazilian Chemical Society 2 (8), Sao Paulo.

- Meybeck M., Chapman D. and Helmer R. (1989). *Global freshwater quality: A first assessment*. Blackwell reference, Oxford, pp. 306.
- Montalvo C., Aguilar A. C., Amador E. L., Ceron G. J., Ceron M. R., Anguebes F. and Cordova V. A. (2014). *Metal contents in sediments (Cd, Cu, Mg, Fe, Mn) as indicators of pollution of Palizada River, Mexico*. Environment and Pollution 3 (4), ISSN: 1927-0909, E-ISSN: 1927-0917. doi: 10.5539/ep.v3n4p89.
- Moody J. and Martin D. A. (1996). *The Buffalo Creek Fire*.
- Moody J.A. and Martin D.A. (2001). *Initial hydrologic and geomorphic response following a wildfire in the Colorado Front Range*. Earth Surface Processes and Landforms 26 (10), pp. 1049–1070.
- Moody J.A. and Martin D.A. (2009). *Synthesis of sediment yields after wildland fire in different rainfall regimes in the western United States*. International Journal of Wildland Fire 18, pp. 96–115.
- Morillo J., Usero J. and Gracia I. (2004). *Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain*. Chemosphere 55 (3), pp. 431-442.
- Munich RE. (2005). *Weather catastrophes and climate change - is there still hope for us?* Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München, pp. 264, ISBN 3-937624-81-3.
- NHMRC. (2004). *Australian drinking water guidelines 6*. National Health and Medical Research Council, Australian Government.
- Noske P. J., Lane P. N. J. and Sheridan G. J. (2010). *Stream exports of coarse matter and phosphorus following wildfire in NE Victoria, Australia*. Hydrological Processes 24, pp. 1514–1529.
- Odigie K. O. and Flegal A. R. (2014). *Trace metal inventories and lead isotopic composition chronicle a forest fire's remobilization of industrial contaminants deposited in the Angeles National Forest*. PLoS One 9, pp. 1–9.
- Odigie K. O., Khanis E., Hibdin S. A., Jana P., Urrutia K. and Flegal A. R. (2016). *Remobilization of trace element by forest fire in Patagonic, Chile*. Regional Environmental Change 16, pp. 1089–1096.
- Ogunfowokan A., Oyekunle J., Olutona G., Atoyebi A. and Lawal A. (2013). *Speciation study of heavy metals in water and sediments from Asunle River of the Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria*. International Journal of Environmental Protection.
- Okoro H. K. and Fatoki O. S. (2012). *A review of sequential extraction procedures for heavy metals speciation in soil and sediments*. Journal of Environmental & Analytical Toxicology 01 (S1).
- Ololade I., Lajide L. and Amoo I. (2008). *Seasonal metal distribution in Ondo coastal sediment, Nigeria*. Journal of Applied Sciences and Environmental Management 12 (4).
- Omwene P. I., Öncel M. S., Çelen M. and Kobya M. (2018). *Heavy metal pollution and spatial distribution in surface sediments of Mustafakemalpa,sa stream located in the world's largest borate basin (Turkey)*. Chemosphere 208, pp. 782–792.

- Ongley E. D., Krishnappan B. G., Droppo I. G., Rao S. S. and Maguire R. J. (1992). *Cohesive sediment transport: emerging issues for toxic chemical management*. *Hydrobiologia* (235/236), pp. 177–187.
- Parmar, S. (2015). *Geochemical Fractionation and Phytoremediation of Heavy Metals around Yamuna River in Delhi*. PhD thesis. G. B. Pant University of Agriculture & Technology, India.
- Parra J. G., Rivero V. C. and Lopez T. I. (1996). *Forms of Mn in soils affected by a forest fire*. *The Science of the Total Environment* 188, pp. 231-236.
- Pease P., Lecce S., Gares P. and Rigsby C. (2006). *Heavy metal concentrations in sediment deposits on the Tar River floodplain following Hurricane Floyd*. *Environmental Geology* 51, pp. 1103-1111. doi: 10.1007/s00254-006-0401-3.
- Pereira P. and Ubeda X. (2010). *Spatial distribution of heavy metals released from ashes after a wildfire*. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 18, pp. 13–22.
- Pettijohn F. J., (1975). *Sedimentary rocks*, 3rd ed. Harper & Row, New York, pp. 526.
- Poff N. L. (2002). *Ecological response to and management of increased flooding caused by climate change*. *Philosophical Transactions of the Royal Society A-Mathematical Physical and Engineering Sciences* 360, pp. 1497–1510.
- Pratt C. and Lottermoser B. G. (2007). *Mobilisation of traffic-derived trace metals from road corridors into coastal stream and estuarine sediments*. Cairns, northern Australia. *Environmental Geology* 52, pp. 437-448.
- Prosser I. P. and Williams L. (1998). *The effect of wildfire on runoff and erosion in native eucalyptus forest*. *Hydrological Processes* 12, pp. 251–265.
- Prudhomme C., Jakob D. and Swensson C. (2003). *Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments*. *Journal of Hydrology* 277, pp.1-23.
- Race M., Nábělková J., Fabrbicino M., Pirozzi F. and Raia P. (2015), *Analysis of heavy metals sources for urban creeks in the Czech Republic*. *Water Air Soil Pollution*, pp. 226, 322, doi:10.1007/s11270-015-2579-z.
- Ranasinghe P. N., Fernando G.W.A.R, Dissanayake C. B., Rupasinghe M. S. and Witter D. L. (2009). *Statistical evaluation of stream sediment geochemistry in interpreting the river catchment of high-grade metamorphic terrains*. *Journal of Geochemical Exploration* 103, pp. 97-114.
- Ranasinghe P. N., Fernando G. W. A. R., Dissanayake C. B. and Rupasinghe M. S. (2008). *Stream sediment geochemistry of the Upper Mahaweli River Basin of Sri Lanka Geological and environmental significance*. *Journal of Geochemical Exploration* 99, pp. 1-28.
- Reneau S. L., Katzman D., Kuyumjian G. A., Lavine A. and Malmon D. V. (2007). *Sediment delivery after a wildfire*. *Geology* 35 (2), pp. 151–154.
- Robichaud P. R., Elliot W. J., Pierson F. B., Hall D. E. and Moffet C. A. (2007). *Predicting post-fire erosion and mitigation effectiveness with a web-based probabilistic erosion model*. *Catena* 71 (2), pp. 229–241.

- Ross S. M. (1994). *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, England, pp. 109.
- Roy A. Y., Rosemond D. A., Paul J. M., Leigh S. D. and Wallace B. J. (2003). *Stream macroinvertebrate response to catchment urbanisation (Georgia, USA)*. *Freshwater Biology* 48, pp. 329-346.
- Saengkul C., Pakkong P. and Sawangwong P. (2013). *Effect of sediment characteristics on sorption of ¹³⁷Cs at the sediment-water interface*. *IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology (IOSR-JESTFT)*, e-ISSN: 2319-2402, p-ISSN: 2319-2399. Volume 4, Issue 5 (May. - Jun. 2013), pp. 122-125.
- Salminen R., Batista M. J., 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 P. J., Olsson S. A., Ottesen R. T. Petersell V., Plant J. A., Reeder S., Salpeteur I., Sandstrom H., Siewers U., Steenfelt A. and Tarvainen T. (2005). *FOREGS Geochemical Atlas of Europe Part 1. Background Information, Methodology and Maps*. Espoo: Geological Survey of Finland.
- Salomons W. and Förstner U. (1984). *Metals in the hydrocycle*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, pp. 63,64.
- Sekabira K., Origa H. O., Basamba T. A., Mutumba G. and Kakudidi E. (2010). *Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries*. *International Journal of Environmental Science and Technology* 7, pp. 435–446.
- Sheridan G. J., Lane P. and Noske P. (2007a). Quantification of hillslope runoff and erosion processes before and after wildfire in a wet Eucalyptus forest. *Journal of Hydrology* 343, pp. 12–28.
- Sheridan G., Lane P., Noske P., Feikema P., Sherwin C. and Grayson R. (2007b). *Impact of the 2003 Alpine Bushfires on Streamflow: Estimated Changes in Stream Exports of Sediment, Phosphorus and Nitrogen following the 2003 Bushfires in Eastern Victoria*. Murray-Darling Basin Commission, MDBC Publication No. 22/08, Canberra, Australia.
- Shuman L. M. (1991). *Chemical forms of micronutrients*. pp. 113-144. In Mortvedt et al. (ed.) *Micronutrients in agriculture*. SSSA Book Series No.4, 2nd edition. SSSA, Madison, WI.
- Silva V., Abrantes N., Costa R., Keizer J. J., Gonçalves F. and Pereira J. L. (2016). *Effects of ash-loaded post-fire runoff on the freshwater clam Corbicula fluminea*. *Ecological Engineering* 90, pp. 180-189.
- Singh P. (2010). *Geochemistry and provenance of stream sediments of the Ganga River and its major tributaries in the Himalayan region*. *India. Chemical Geology* 269, pp. 220-236.
- Singh V. P. (1995). *Environmental hydrology*. Kluwer Academic Publishers: The Netherlands. pp: 137-157.
- Sivakumar B. (2011). *Global climate change and its impacts on water resources planning and management: assessment and challenges*. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25, pp. 583–600.

- Smith H. G., Sheridan G. J., Lane P. N. J., Nyman P. and Haydon S. (2011). *Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply*. Journal of Hydrology 396, pp. 170-192.
- Someshwar A. V. (1996). *Wood and combination wood-fired boiler ash characterization*. Journal of Environmental Quality 25, pp. 962–972.
- Strzebonska M., Kostka A., Rybicka-Helios E. and Krzeminska-Jarosz E. (2015). *Effect of flooding on heavy metals contamination of Vistula floodplain sediments in Cracow; Historical mining and smelting as the most important source of pollution*. Polish Journal of Environmental Studies 24 (3), pp. 1317-1326. doi: 10.15244/pjoes/33202.
- Takac P., Szabova T., Kozakova L. and Benkova M. (2009). *Heavy metals and their bioavailability from soils in the long-term polluted Central Spis Region of SR*. Plant Soil and Environment 55 (4), pp. 167-172.
- Takacs M., Alberts J. J. and Egeberg P. K. (1999). *Characterization of natural organic matter from eight Norwegian surface waters: proton and copper binding*. Environment International 25, pp. 315-323.
- Talbot C. J., Bennet E. M., Cassell K., Hanes D. M., Minor E. C., Paerl H., Raymond P. A., Vargas A., Vidon P. G., Wollheim W. and Xenopoulos M. A. (2018). *The impact of flooding on aquatic ecosystem services*. Biogeochemistry 141, pp. 439-461.
- Thomas R. L. (1988). *Lake sediments as indicators of changes in land erosion rates*. In: Lerman A. and Meybeck M. (Eds) Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles, Kluwer, Dordrecht, pp. 143-164.
- Thongra-ar W., Musika C., Wongsudawan W. and Munhapol A. (2008). *Heavy metals contamination in sediments along the Eastern Coast of the Gulf of Thailand*. Environment Asia 1, pp. 37-45.
- Ubuoh E. A, Uka A. and Egbe C. (2016). *Effects of flooding on soil quality in Abaliki agro-ecological zone of South-Eastern State, Nigeria*. International Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology Research 1 (3), pp. 20-32.
- USEPA. (1999). *US Environmental Protection Agency: screening level ecological risk assessment protocol for hazardous waste combustion facilities*. Appendix E: Toxicity Reference Values, Vol. 3.
- Van alphen J. and Lodder Q. (2006). *Integrated flood management: experiences of 13 countries with their implementation and day-to-day management*. Proceedings of the 3rd International Symposium on Flood Defence, 25–27 May 2005, Nijmegen, the Netherlands. Irrigation and drainage 55, pp. 159–S171.
- Vincent A., Osakwe A. St., Osaro K. I. and Weltime O. M. (2014). *Post flooding effect on soil quality in Nigeria: The Asaba, Onitsha experience*. Open Journal of Soil Science 4, pp. 72-80.

- Wang S., Jia Y., Wang S., Wang X., Wang H., Zhao Z. and Liu B. (2010). *Fractionation of heavy metals in shallow marine sediments from Jinzhou Bay, China*. Journal of Environmental Sciences 22 (1), pp. 23-31.
- Waters T. (1995). *Sediment in streams: Sources, biological effects and control*. American Fisheries Society. Bethesda, MD.
- Wentworth K. (1922). *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. Journal of Geology 30 (5), pp. 377-392.
- WHO. (2004). *Guidelines for drinking water quality*. 3rd Edition, World Health Organization, pp. 515.
- WHO. (2008). *Guidelines for drinking-water quality*. Third ed. World Health Organisation, Geneva.
- Wilkinson S. N., Wallbrink P. J., Hancock G. J., Blake W. H., Shakesby R. A. and Doerr S. H. (2009). *Fallout radionuclide tracers identify a switch in sediment sources and transport-limited sediment yield following wildfire in a eucalypt forest*. Geomorphology 110, pp. 140-151.
- Wolman M. (1964). *Problems posed by sediment derived from construction activities in Maryland*. Maryland water pollution control commission, Annapolis, Maryland.
- Wood P. J. and Armitage P. D. (1997). *Biological effects of fine sediment in the Lotic Environment*. Environmental Management 21 (2), pp. 203-217.
- Woodward J. C. and Walling D. E. (2007). *Composite suspended sediment particles in river systems: their incidence, dynamics and physical characteristics*. Hydrological Processes 21, pp. 3601–3614.
- WWF. (2007). *Ecological assessment of the wildfires of August 2007 in the Peloponnese, Greece*. WWF Greece. Athens.
- Xanthopoulos G. (2007). *Olympic flames*. Wildfire 16 (5), pp. 10-18.
- Yoon J., Cao X., Zhou Q. and Ma L.Q. (2006). *Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site*. Science of the Total Environment 368 (2), pp. 456–464.
- Zhuang W. and Gao X. (2014). *Integrated assessment of heavy metal pollution in the surface sediments of the Laizhou Bay and the coastal waters of the Zhangzi Island, China: comparison among typical marine sediment quality indices*. PLoS One 9 (4), e94145.
- Zonta R., Collavini F., Zaggia L. and Zuliani A. (2005). *The Effect of floods on the transport of suspended sediments and contaminants: A case study from the Estuary of the Dese River. (Venice Lagoon, Italy)*. Environment International 31, pp. 948-958.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Alberta Water Portal. (2019). *Environmental impacts of flooding*. Retrieved February 2019 by, www.albertawater.com.
- Atkins W. A. (2018). *Erosion and sedimentation*. Retrieved December 2018 by, <https://www.waterencyclopedia.com>.

Benites J. and Bot A. (2005). *The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food production*. Retrieved February 2019 by, <http://www.fao.org/>.

Bradford A. (2018). *Wildfires: causes, costs and containment*. Retrieved January 2019 by, <https://www.livescience.com>.

College of Tropical Agriculture and Human Resources (CTAHR), University of Hawaii. (2019). *Soil texture and soil structure*. Retrieved January 2019 by, <https://cms.ctahr.hawaii.edu>.

Copernicus-Emergency Management Service-Mapping (EMS). (2017). *EMSR257: Flood in Attica, Greece*. Retrieved April 2019 by, www.emergency.copernicus.eu.

Copernicus-Emergency Management Service-Mapping (EMS). (2018). *EMSR300: Forest Fires in Attica, Greece*. Retrieved April 2019 by, www.emergency.copernicus.eu.

Donaldson S. (2005). *Impacts of urbanization on waterways*. Retrieved December 2018 by, <https://www.unce.unr.edu>.

Draszawka-Bołzan B. (2017). *Effect of pH and soil environment*. Retrieved December 2018 by, www.worldnewsnaturalsciences.com.

Dumas D. (2011). *Wildlife hit hard by Queensland floods*. *Australian Geographic*. Retrieved February 2019 by, <https://www.australiangeographic.com.au>.

Environmental Protection Agency (EPA). (2016). *Climate adaptation and erosion & sedimentation*. Retrieved December 2018 by, <https://www.epa.gov>.

Greentumble. (2016). *What are the human causes of floods?* Retrieved February 2019 by, <https://greentumble.com/what-are-the-human-causes-of-floods/>.

Kennedy N. D., Wheeler P. D. and Wilson P. (1995). *Compilation of sediment & soil standards, criteria & guidelines*. Retrieved January 2019 by, <https://www.water.ca.gov>.

Ketterings Q., Reid S. and Rao R. (2007). *Cation exchange capacity (CEC)*. Cornell University Extension Service. Fact Sheet #22. Retrieved May 2019 by, <http://nmsp.cals.cornell.edu>.

Migiro G. (2018). *European countries with the most forest fires*. Retrieved February 2019 by, <https://www.worldatlas.com>.

National Park Service. (2019). *River systems and fluvial landforms*. Retrieved June 2019 by, <https://www.nps.gov>.

Nelson A. S. (2018). *Sediment and sedimentary rocks*. Retrieved December 2018 by, <https://www.tulane.edu/~sanelson/eens1110/sedrx.pdf>.

News.com.au. (2013). *Europe's floods top 2013 disaster bill, according to Munich Re*. Retrieved February 2019 by, www.news.com.au.

Queensland Government. (2015). *2010-11 Floods Impacts*. Retrieved February 2019 by, www.qld.gov.au.

Rafferty P. J.(2009). *Sedimentation*. Retrieved December 2018 by, <https://www.britannica.com/science/sedimentation-geology>.

San-Miguel-Ayanz J., Durrant T., Boca R., Libertà G., Branco A., De Rigo D., Ferrari D., Maianti P., Artés Vivancos T., Costa H., Lana F., Löffler P., Nuijten D., Ahlgren A. C. and Leray T. (2018). *Forest fires in Europe, Middle, East and North Africa 2017. JRC technical reports*. Retrieved February 2019 by, <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/forest-fires-europe-middle-east-and-north-africa-2017>.

- Smith F. (2017). *The causes of floods*. Retrieved February 2019 by, <https://sciencing.com/how-are-people-affected-by-floods-12510012.html>.
- Statista. (2019). *Economic damage caused by major floods worldwide up to 2016*. Retrieved February 2019 by, www.statista.com.
- Taylor-Coleman J. (2018). *Wildfires around the world: the photos that explain the flames*. Retrieved January 2019 by, <https://www.bbc.com>.
- Till B., Trayler K. and Oswald H. (2000). *Sediments in streams*. Retrieved February 2019 by, www.water.wa.gov.au.
- University of Nevada Cooperative Extension. (2005). *Impacts of urbanization on waterways*. Retrieved December 2018 by, www.unce.unr.edu
- USDA. (2012). *Understanding fluvial systems: wetlands, streams and floods plains*. Retrieved June 2019 by, <https://www.nrcs.usda.gov>.
- USDA. (2014). *Wildfire impacts on stream sedimentation*. Retrieved February 2019 by, <https://www.fs.fed.us>.
- USGS. (2017). *Increases in wildfire-caused erosion could impact water supply and quality in the west*. Retrieved December 2018 by, <https://www.usgs.gov>.

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Αποστολίδης Η., Περλέρος Β., Τσατήρης Β. και Βασιλόπουλος Γ. (2017). *Έκθεση για την πλημμύρα της 15^{ης} Νοεμβρίου 2017 στην Μάνδρα και Νέα Πέραμο Αττικής*. Ανάκτηση Μάρτιος 2019 από, www.geotee-anste.gr.
- Δήμος Μεγαρέων. (2016). *Κινέτα*. Ανάκτηση Ιανουάριος 2019 από, www.megara.gr.
- Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. (2018). *Μετεωρολογικός Σταθμός Αγίων Θεοδώρων*. Ανάκτηση Αύγουστος 2019 από, www.meteo.gr.
- Ελληνικό Κέντρο Υγροτόπων-Βιοτόπων (ΕΚΒΥ). (2017). *Έκθεση επιστημονικής τεκμηρίωσης οριοθέτησης των υγροτόπων της Αττικής*. Ανάκτηση Μάρτιος 2019 από, <http://repository.biodiversity-info.gr>.
- Ελληνική Δημοκρατία. (2017). *1949 Αυτοψίες στις Πλημμυροπαθείς Περιοχές της Δυτικής Αττικής από τα κλιμάκια του Υπουργείου Υποδομών*. Ανάκτηση Απρίλιος 2019 από, www.government.gov.gr.
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ). (2001). *Πραγματικός πληθυσμός. Νομοί, δήμοι, κοινότητες, δημοτικά και κοινοτικά διαμερίσματα και οικισμοί*. Ανάκτηση Ιανουάριος 2019 από, www.statistics.gr.
- Κασσίμη Α. (2018). *86000 Στρέμματα κάηκαν κατά την Αντιπυρική Περίοδο. Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*. Ανάκτηση Απρίλιος 2019 από, <http://www.kathimerini.gr>.
- Μαυρογιώργη Φ. (2018). *Οι επιπτώσεις της πύρινης λαίλαπας-που μπορούν να απευθυνθούν οι πληγέντες*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 2019 από, <https://energyin.gr/2018/07/24/οι-επιπτώσεις-της-πύρινης-λαίλαπας-πο/>.
- Μπεζές Κ. (2011). *Γεωλογικοί χάρτες της Κινέτας και των Μεγάρων σε κλίμακα 1:25000*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 2019 από, www.geolokarta.blogspot.com.

- Ξυπνητού Μ. (2018). Ακατάλληλα τα Μισά Σπίτια από την Πυρκαγιά-Καμπανάκι από Περιβαλλοντικές Οργανώσεις. *ΕΛΕΥΘΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ*. Ανάκτηση Απρίλιος 2019 από, www.eleftherostypos.gr.
- ΤΟ ΒΗΜΑ Team. (2019). Φωτιά στο Μάτι: Οι 74 από τους 102 Νεκρούς Κάηκαν Τρέχοντας να Σωθούν. *ΤΟ ΒΗΜΑ*. Ανάκτηση Ιανουάριος 2019 από, <https://www.tovima.gr/2019/06/03/society/mati-oi-74-apo-tous-102-nekrous-kaikan-eno-etrexan/>.
- ΥΠΕΚΑ. (2007). *Η οδηγία 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και την διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 2019 από, www.ypeka.gr.
- Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών. (2018). Στα 225 τα “κόκκινα” κτίρια στην Κινέτα. Ανάκτηση Απρίλιος 2019 από, <http://www.loutraki365.gr>.
- Φούρλα Δ. Μ. (2017). Οι πρόσφατες πλημμύρες στη Μάνδρα Αττικής και οι κίνδυνοι που παραμονεύουν. *Δημοκρατική*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 2019 από, www.dimokratiki.gr
- Χαλκιαδάκης Μ. (2018). *Γη διατόμων: το φυτό που έγινε ορυκτό*. Ανάκτηση Νοέμβριος 2018 από, https://www.oryktosploutos.net/2014/04/blog-post_11.html.
- Χριστοφίδης Γ. (2002). *Σημειώσεις ορυκτολογίας-ασκήσεις*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2018 από, http://www.geo.auth.gr/106/biblia/SHMEIWSEIS_ORYKTOLOGIAS_ASKHSEIS.pdf.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΔΟΥΦΕΞΗ ΜΑΡΙΑ του ΓΕΩΡΓΙΟΥ φοιτήτρια του ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (Ε.Π.ΤΕ.Π.Π) 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

ΔΟΥΦΕΞΗ ΜΑΡΙΑ

28/11/2019