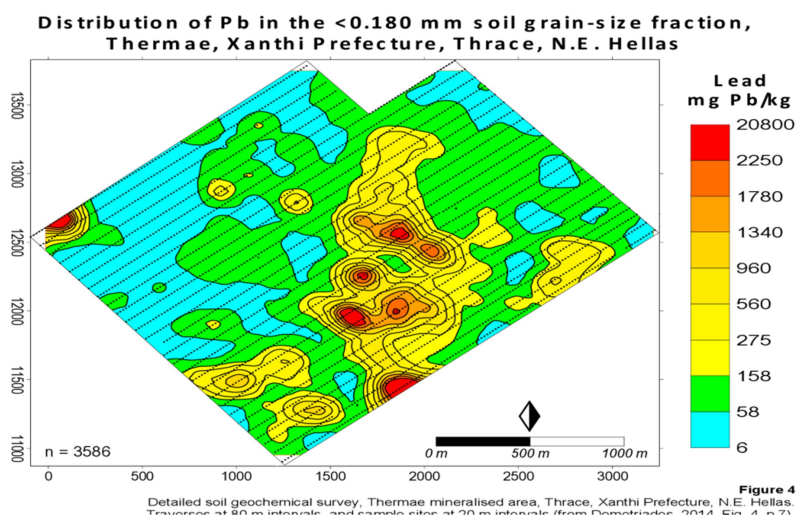


ΣΟΦΙΑ Α. ΜΑΓΚΛΑΡΑ, ΚΩΝ/ΝΟΣ Ι. ΠΛΑΤΑΡΙΔΗΣ

ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΣΤΗ ΘΡΑΚΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Επιβλέπων Καθηγητής:
Μέλφος Βασίλειος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021





ΣΟΦΙΑ Α. ΜΑΓΚΛΑΡΑ, ΚΩΝ/ΝΟΣ Ι. ΠΛΑΤΑΡΙΔΗΣ

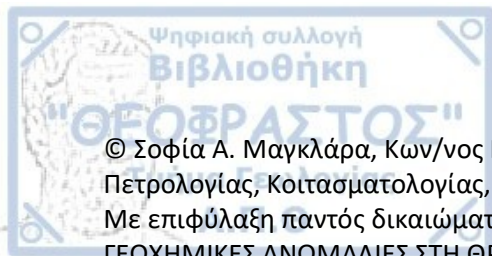
ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΣΤΗ ΘΡΑΚΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Καθηγητής : Μέλφος Βασίλειος

© Σοφία Μαγκλάρα, Κων/νος Πλαταρίδης, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Σοφία Α. Μαγκλάρα, Κων/νος Ι. Πλαταρίδης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΣΤΗ ΘΡΑΚΗ – Διπλωματική Εργασία

©Sofia A. Magklara, Konstantinos I. Plataridis, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2020

All rights reserved.

GEOCHEMICAL ANOMALIES IN THRACE– *Bachelor Thesis*

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



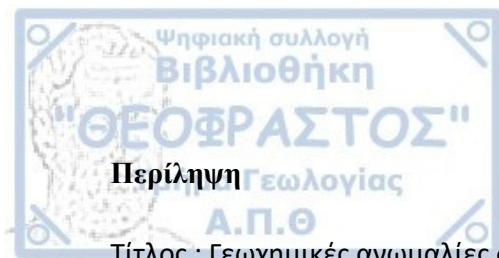
Εικόνα Εξωφύλλου: Λεπτομερής γεωχημική έρευνα εδάφους, Θέρμες , περιοχή κοιτασματολογικού ενδιαφέροντος, Θράκη, Νομός Ξάνθης, ΒΑ Ελλάδα. (Κατανομή μολύβδου Pb σε κλάσμα εδάφους <0.180mm)

Πηγή: Demetriades 2014



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	1
Abstract	2
1. Πρόλογος – Αντικείμενο Εργασίας.....	3
1. Εισαγωγή	4
2. Γεωλογικά στοιχεία Θράκης.....	7
2.1 Γεωλογική επισκόπηση	7
2.2 Κυριότερα Κοιτάσματα στην περιοχή της Θράκης	9
2.2.1 Κίρκη	10
2.2.1.1 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	12
3. Γεωχημικές ανωμαλίες και αναζήτηση κοιτασμάτων.....	15
3.1. Σπάνιες Γαίες	16
3.2. Μελέτη Παράκτιων Άμμων	17
3.3. Στοιχεία δείκτες.....	19
4. Γεωχημικές Ανωμαλίες και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	22
4.1. Τοπική Γεωχημική Έρευνα.....	23
4.2. Λεπτομερής Γεωχημική Έρευνα για Ρυπασμένες Εκτάσεις Γης.....	24
5. Συμπεράσματα – Συζήτηση	26
6. Βιβλιογραφία	28



Τίτλος : Γεωχημικές ανωμαλίες στη Θράκη

Όνομα : Μαγκλάρα Α. Σοφία, Πλαταρίδης Ι. Κωνσταντίνος

Το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θράκης χαρακτηρίζεται από πολλαπλές μεταλλοφόρες εμφανίσεις που συνδέονται άμεσα με τον έντονο μαγματισμό της περιοχής. Για τον λόγο αυτό, στην περιοχή έχει πραγματοποιηθεί πλήθος ερευνών που στοχεύουν τόσο στον εντοπισμό νέων κοιτασμάτων, όσο και στον προσδιορισμό περιβαλλοντικών προβλημάτων (χαρακτηριστικό το παράδειγμα στην περιοχή της Κίρκης). Αναπόσπαστο εργαλείο τέτοιου είδους ερευνών αποτελεί η σωστή χαρτογράφηση των γεωχημικών ανωμαλιών που περιλαμβάνει συγκεκριμένα βήματα, καθένα από τα οποία στοχεύει στον σωστό προσδιορισμό των ανώμαλων γεωχημικών μοτίβων, στην οριοθέτηση της περιοχής ενδιαφέροντος και στην ορθή αξιολόγησή της, είτε πρόκειται για αναζήτηση κάποιου κοιτάσματος είτε για αναγνώριση μιας ρυπασμένης έκτασης γης. Σε τελική ανάλυση, μέσω της γεωχημικής διασποράς μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες υψίστης σημασίας με τη βοήθεια των οποίων η διαδικασία εντοπισμού κοιτασμάτων αλλά και η αξιολόγηση των ρυπασμένων περιοχών, γίνεται ευκολότερη.



Abstract

Title: Geochemical anomalies in Thrace

By: Magklara A. Sofia, Plataridis I. Konstantinos

The region of Thrace is characterized by multiple mineral occurrences which are directly related to the intense magmatism of the region. For this reason a significant number of studies have been carried out in the area, aiming at exploration for new mineral deposits and identifying environmental problems (a typical example is the area of Kirki). An integral tool of such research is the correct mapping of geochemical anomalies consisting of specific steps, each of which aims at the correct identification of anomalous geochemical patterns, the delimitation of the area of interest and its correct evaluation, whether it is a research for a deposit or identification of a contaminated land area. Ultimately, through the geochemical dispersion we can obtain information for the discovery of mineral deposits and the evaluation of contaminated areas.

1. Πρόλογος – Αντικείμενο Εργασίας

Η Θράκη είναι γεωγραφική και ιστορική περιοχή της Ελλάδας που αποτελεί ένα από τα γεωγραφικά διαμερίσματα της χώρας και χωρίζεται στην έκταση της με τις υπάρχουσες περιφερειακές ενότητες της Ξάνθης, Ροδόπης και Έβρου, ενώ το υπέδαφος της φιλοξενεί έναν πολύ μεγάλο αριθμό μεταλλευμάτων όπως Au, Cu, Pb αλλά και βιομηχανικών ορυκτών.

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των γεωχημικών ανωμαλιών στην ευρύτερη περιοχή της Θράκης.

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό:

- Την παρουσίαση των κύριων γεωλογικών στοιχείων της Θράκης
- Την αναφορά στις σημαντικότερες μεταλλοφορίες
- Την αξιοποίηση των γεωχημικών ανωμαλιών στην αναζήτηση κοιτασμάτων καθώς και στον εντοπισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων με ιδιαίτερη έμφαση στην περιοχή της Κίρκης

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όσους συνέβαλαν στην περάτωση της παρούσας εργασίας.

Τον επιβλέποντα Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας, κ. Βασίλη Μέλφο, ευχαριστούμε θερμά για την ανάθεση του θέματος, το αμείωτο ενδιαφέρον και τις χρήσιμες συμβουλές του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους καθηγητές του τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ για τη συνεχή καθοδήγηση καθώς και όλους τους συναδέλφους μας για την ανταλλαγή απόψεων καθόλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μας σπουδών.

Τέλος, ένα ξεχωριστό ευχαριστώ στον τομέα Τομέα Ορυκτολογίας -Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας.

1. Εισαγωγή

Οι γεωχημικές ανωμαλίες είναι γεωχημικά χαρακτηριστικά διαφορετικά από αυτά που θεωρούνται φυσιολογικά. Μπορούν να είναι αποτέλεσμα από :

- Ασυνήθιστες διαδικασίες συγκέντρωσης συγκεκριμένων στοιχείων (π.χ μία διαδικασία σχηματισμού μεταλλεύματος, διάβρωσης και διασποράς στοιχείων από ένα μεταλλοφόρο σώμα)
- Συσσώρευση ή συγκέντρωση στοιχείων από συνήθεις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα (π.χ συλλογή και συγκέντρωση συγκεκριμένων στοιχείων από σιδηρούχα πετρώματα, σιδηρούχους ρεγγόλιθους ή μαγγανιούχα οξείδια)
- Τεχνητή μόλυνση τοποθεσιών
- Θόρυβο ή σφάλμα στην ανάλυση (π.χ φτωχή ακρίβεια της αναλυτικής μεθόδου, ειδικότερα όσον αφορά συγκεντρώσεις στοιχείων κοντά στο όριο ανίχνευσης).

Η γεωχημική έρευνα είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο στην αναζήτηση και τον εντοπισμό κοιτασμάτων με τις προερχόμενες γεωχημικές ανωμαλίες να χρησιμοποιούνται ως δείκτης πιθανότητας και ως οδηγός για μελλοντικές αναζητήσεις. Όπως προαναφέρθηκε μία γεωχημική ανωμαλία μπορεί να περιγραφεί ως η συγκέντρωση και η αφθονία ενός ή περισσότερων γεωχημικών στοιχείων που αποκλίνουν σημαντικά από τη μέση περιεκτικότητα του υποβάθρου ή ως οι πετροχημικές ιδιότητες των πετρωμάτων που αλλάζουν σημαντικά εντός μίας γεωλογικής περιοχής. Η εξαγωγή πληροφοριών που σχετίζονται με τις ανωμαλίες από τα δεδομένα γεωχημικής αναζήτησης είναι μία πολύ σημαντική τεχνική η οποία είναι ζωτικής σημασίας στον εντοπισμό πολλών κοιτασμάτων. Συνεπώς, η ανίχνευση γεωχημικών ανωμαλιών συνεχίζει να είναι μία κρίσιμη και δημοφιλής εργασία στην αναζήτηση κοιτασμάτων.

Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις που εφαρμόζονται στον εντοπισμό γεωχημικών ανωμαλιών αποτελούνται κυρίως από μια σειρά στατιστικών μεθόδων που συμπεριλαμβάνουν τη μονομεταβλητή και πολυμεταβλητή ανάλυση δεδομένων η οποία

βασίζεται στη συχνότητα κατανομής ή συσχετισμού των γεωχημικών δεδομένων αναζήτησης. Μολονότι μπορεί αυτές οι μέθοδοι να είναι αποτελεσματικές για την επίλυση προβλημάτων, στο πεδίο συχνότητας έχουν περιορισμένη χρήση στο χωρικό πεδίο. Επιπρόσθετα, τα παραπάνω συνήθως απαιτούν πολυμεταβλητά γεωχημικά δεδομένα που ταιριάζουν σε μία γνωστή στατιστική κατανομή όπως η πολυμεταβλητή κανονική κατανομή (Wang et. al , 2019).

Είναι σύνηθες οι γεωχημικές ανωμαλίες να αναγνωρίζονται θέτοντας οριακές τιμές, οι οποίες καθορίζουν τα ανώτερα και κατώτερα όρια μιας κανονικής διακύμανσης για ένα συγκεκριμένο πληθυσμό δεδομένων. Οι τιμές που βρίσκονται μεταξύ των οριακών τιμών αναφέρονται ως **καθορισμένες** ενώ αυτές που βρίσκονται εκτός των ορίων είτε ανώτερες είτε κατώτερες αναφέρονται ως **ανωμαλίες** (McQueen, 2008).

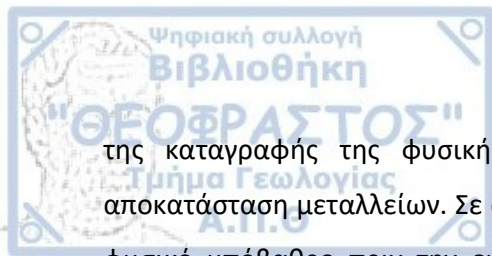
Υπάρχουν δύο ειδών διασπορές στοιχείων :

- 1) Φυσική
- 2) Ανθρωπογενής

Η φυσική διασπορά σχετίζεται με τα χημικά στοιχεία που μεταφέρονται μέσω περιβαλλοντικών στοιχείων από φυσικές διαδικασίες (π.χ εδαφών, νερού και τροφικής αλυσίδας).

Η συσσώρευση αυτών των στοιχείων στην τροφική αλυσίδα, κάποια από τα οποία είναι επικίνδυνα μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα στην υγεία του ανθρώπινου πληθυσμού. Μερικές γεωχημικές ανωμαλίες μπορεί να παρατηρηθούν σε μικρές περιοχές με μέγεθος όχι περισσότερο από μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες τετραγωνικά μέτρα και γι' αυτό το λόγο δεν είναι εύκολα αναγνωρίσιμες όταν χρησιμοποιείται ένας μεγαλύτερος δειγματικός κώνναβος όπως στην περίπτωση όπου πραγματοποιούνται γεωχημικές μελέτες υποβάθρου σε χωρικό ή επαρχιακό επίπεδο. Παρ' όλα αυτά σε τοπική κλίμακα η συγκέντρωση των τοξικών στοιχείων μπορεί να πάρει υψηλές τιμές σε εδάφη μικρού μεγέθους, όπως επίσης και σε υπόγειο νερό το οποίο διαχέεται μέσα σε πετρώματα και κατά συνέπεια μέσα στην τροφική αλυσίδα. Το μέγεθος της γεωχημικής ανωμαλίας, η χωρική κατανομή και η πληθυσμιακή πυκνότητα καθορίζει τον αριθμό των μελών του πληθυσμού που θα επηρεαστούν αρνητικά από αυτές τις φυσικές διαδικασίες.

Για τον λόγο αυτόν θα πρέπει να θεωρηθεί υψηλού ενδιαφέροντος ένας λεπτομερής μηχανισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με αυτές τις περιοχές υψηλού κινδύνου με σεβασμό για την ανθρώπινη υγεία. Μία ακόμη σημαντική εφαρμογή



της καταγραφής της φυσικής διασποράς στοιχείων είναι στο πεδίο όπου γίνεται αποκατάσταση μεταλλείων. Σε αυτή την περίπτωση η έλλειψη δεδομένων που αφορούν το φυσικό υπόβαθρο πριν την εκμετάλλευση επιφέρει σημαντικές αμφιβολίες στα σχέδια αποκατάστασης, δεδομένου τη μη ύπαρξη ενός αξιόπιστου στόχου που πρέπει να επιτευχθεί (Pereira and Neves, 2012)

Η ανθρωπογενής διασπορά οφείλεται στις διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπου οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη διοχέτευση στο περιβάλλον βαρέων μετάλλων κάποια από τα οποία είναι ιδιαίτερα επιβλαβή πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο (Karatasou et al. 2005)

2. Γεωλογικά στοιχεία Θράκης

2.1 Γεωλογική επισκόπηση

Η Θράκη αποτελείται από σχηματισμούς χαρακτηριστικούς της μάζας Ροδόπης και της Περιοδοπικής ζώνης καθώς επίσης και εκρηξιγενή πετρώματα, μολασικούς σχηματισμούς και νεογενείς – τεταρτογενείς αποθέσεις (Rondoyanni et al., 2004).

Η μάζα της Ροδόπης, μαζί με άλλες κύριες ενότητες του Βαλκανικού Ορογενούς στην Σερβία, Βουλγαρία και Ελλάδα, καθώς και το τέμαχος Sakarya στην δυτική Τουρκία, θεωρούνται ότι αποτελούν μέρος του Ευρωπαϊκού ηπειρωτικού περιθωρίου. Η μάζα της Ροδόπης συνορεύει στον Βορρά με το ρήγμα κατά μήκος του ποταμού Maritza (Έβρος) διαχωρίζοντας την Ροδόπη από την ενότητα Srednogorie στη Βουλγαρία και στα δυτικά με την ζώνη Αξιού (Vardar). Η μάζα της Ροδόπης είναι ένα ετερογενές σώμα φλοιού που περιλαμβάνει τρεις υποενότητες (Σχ. 1), τη Βόρεια Ροδοπική, το Νότιο Ροδοπικό σύμπλεγμα (μεταξύ τους διαχωρίζονται από το ανάστροφο ρήγμα του Νέστου) και το τέμαχος Χαλκιδικής που ταυτίζεται με την Σερβομακεδονική μάζα (αποκλείοντας την ενότητα των Κερδυλλίων, στην οποία ανήκει και έχει κοινή τεκτο-μεταμορφική ιστορία με το Νότιο Ροδοπικό σύμπλεγμα). Το τέμαχος της Χαλκιδικής και το Βόρειο Ροδοπικό τέμαχος μοιράζονται μία κοινή τεκτο-μεταμορφική ιστορία και συμμετείχαν στο ίδιο συμβάν επαύξησης του φλοιού με νοτιοδυτική κατεύθυνση, πριν την ανάπτυξη του Νότιου Ροδοπικού συμπλέγματος (Melfos and Voudouris 2017).

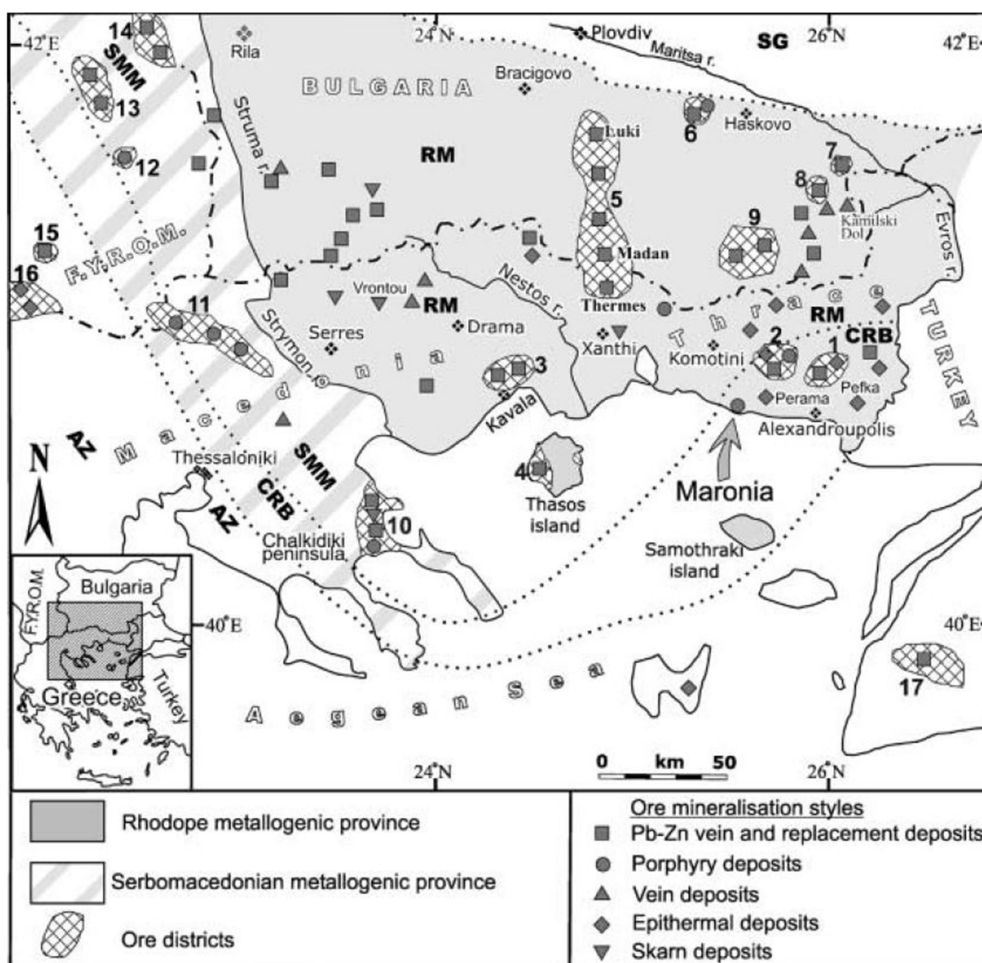
Η μάζα της Ροδόπης αποτελείται από μεταμορφωμένα και εκρηξιγενή πετρώματα πάχους περίπου 24 χλμ. Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Ροδόπης στην ορεινή μάζας βόρεια των πόλεων της Κομοτηνής και της Αλεξανδρούπολης, διακρίνονται σε δύο βασικές ενότητες: την σειρά των μαρμαρυγιακών σχιστολίθων (αποτελείται κυρίως από χλωρίτη, μερικώς από μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους ως γνεύσιους, ενώ σπάνια παρεμβάλλονται αμφιβολίτες και φακοί μαρμάρων) και την σειρά των φυλλιτών και μαρμάρων (αποτελείται κυρίως από αργιλώδεις φυλλίτες, σχιστόλιθους και χαλαζίτες καθώς επίσης και δολομιτικά μάρμαρα). Η ηλικία των προαναφερθέντων γεωλογικών σχηματισμών δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια λόγω έλλειψης στρωματογραφικών στοιχείων. Παρ' όλα αυτά τα βαθύτερα πετρώματα καταλογίζονται ως Προκάμβρια και κατώτερα Παλαιοζωικά.

Η Περιοδοπική ζώνη στην περιοχή της Θράκης αποτελείται από ποικίλες σειρές πετρωμάτων με χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση (φυλλίτες, πρασινοσχιστόλιθοι και μετα-

[illegible]

Σχ.1 Γεωλογικός Χάρτης της περιοχής (από Melfos and Voudouris, 2017)

Η περιοχή της Θράκης χαρακτηρίζεται από πλούσια μεταλλοφορία η οποία συναντάται σε πληθώρα κοιτασμάτων τα οποία σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια του τεταρτογενή μαγματισμού στη βόρεια Βαλκανική χερσόνησο. Περιλαμβάνει κοιτάσματα skarn, αντικατάστασης, πολυμεταλλικά φλεβικά, διάσπαρτα θειούχα, επιθερμικά φλεβικά και κοιτάσματα πορφυριτικού τύπου. Αυτά τα κοιτάσματα συνήθως σχετίζονται χωρικά με τοπικές ρηξηγενείς ζώνες και γενετικά με ηφαιστειακή διείσδυση γρανιτικού μάγματος σε γρανοδιοριτικό. Συνήθως οι μεταλλοφόρες εμφανίσεις χαρακτηρίζονται από ορυκτά του Pb, Zn, Sb, Bi, Cu και Mo με, λιγότερο συχνές, οικονομικές συγκεντρώσεις Fe και Sn. Περιλαμβάνουν επίσης δευτερεύουσες εμφανίσεις από Au, Ag, U, W, Hg και As (Melfos 2002).



Σχ.2 Απλοποιημένος χάρτης στον οποίο απεικονίζεται η κατανομή των μεταλλοφόρων περιοχών και των κοιτασμάτων μεταξύ Ροδόπης και Σερβομακεδονικής, στη Νότια Βαλκανική χερσόνησο (Melfos 2002)

Τα σχετικά Τεταρτογενή κοιτάσματα της Ροδοπικής μεταλλογενούς περιοχής (Σχήμα 2) περιλαμβάνουν : (1) ρηγματογενή φλεβικά κοιτάσματα (**Καβάλα, Θάσος, Laky**), (2) συγγενετικά ηφαιστειοϊζηματογενή κοιτάσματα (**Αισύμη, Spahievo**), (3) μετασωματικά Pb-Zn κοιτάσματα (**Θέρμες, Madan**), (4) πορφυριτικά Cu-Mo κοιτάσματα σχετιζόμενα με υποηφαιστειακές διεισδύσεις (**Μαρώνεια, Μελίταινα, Κίρκη, Σπαχίεβο**), (5) πλούσια αλλά και φτωχά σουλφιδικά πολυμεταλλικά επιθερμικά κοιτάσματα (**Πεύκα, Σάπες, Πέραμα, Madjarovo**) και (6) κοιτάσματα skarn (**Ξάνθη, Βροντού, Kamilski Dol**) (Melfos 2002).

Ιδιαίτερη σημασία αξίζει να δοθεί στο κοιτάσμα χαλκού-μολυβδαινίου της Μαρώνειας το οποίο φιλοξενείται από έναν πορφυριτικό μικρογρανίτη, 30km ΝΑ της Κομοτηνής. Τρεις υδροθερμικές ζώνες εξαλλοίωσης έχουν αναγνωριστεί στον πορφυριτικό μικρογρανίτη: Α) μία αργιλική, Β) μία φυλλιτική και Γ) μία προπυλιτική, η οποία εκτείνεται μέσα στο περιβάλλον πέτρωμα (Melfos 2002).

2.2.1 Κίρκη

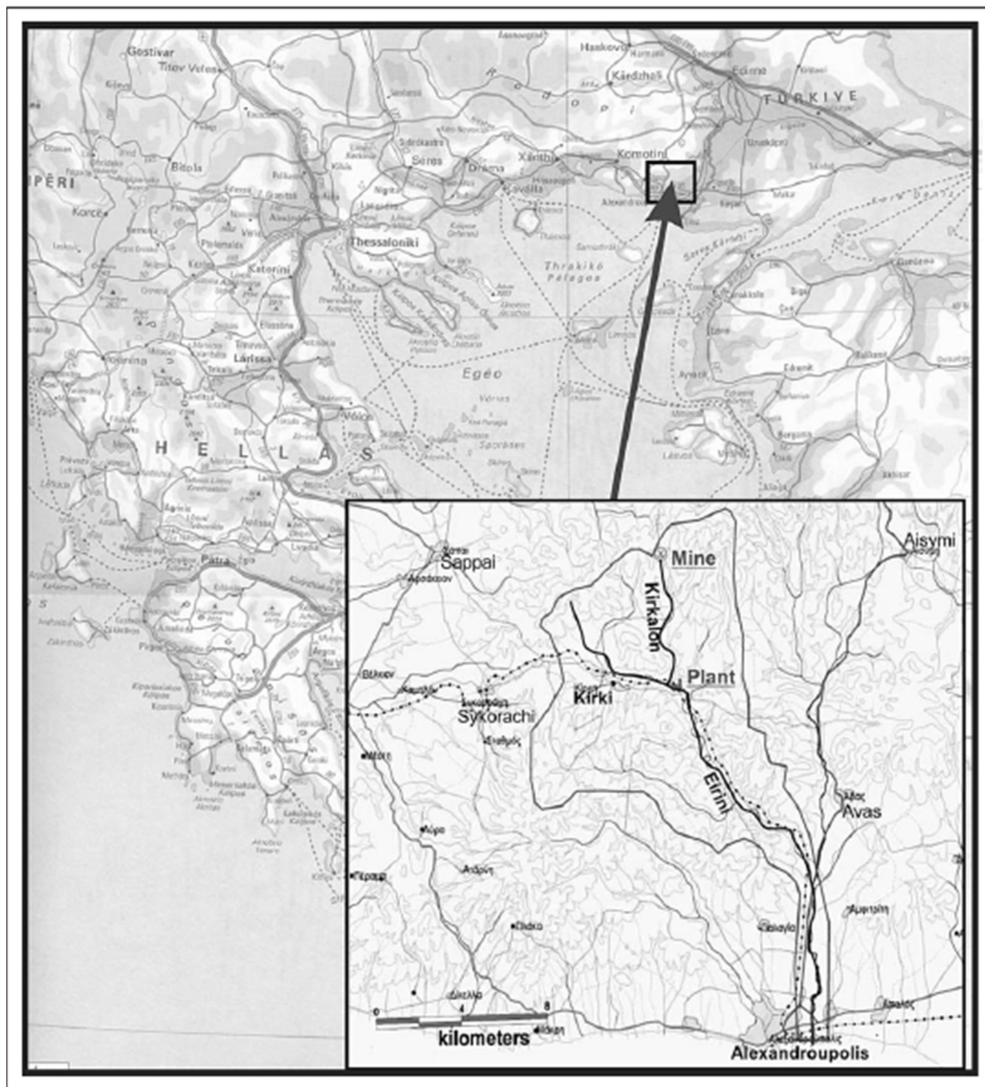
Η Κίρκη (Σχήμα 3) είναι ένα χωριό του νομού Έβρου, 17 χιλιόμετρα ΒΒΔ της Αλεξανδρούπολης. Βόρεια έως βορειοανατολικά της Κίρκης υπάρχουν πολλές μεταλλοφόρες εμφανίσεις από τις οποίες οι πιο γνωστές, είναι αυτή του Αγίου Φιλίππου, King Arthur, Αρμουτσούκ, Αχατκιοί, Επτάδενδρο, Αχλά Ταρλά, Παγώνη Ράχη κ.α (Αρίκας κ.α. 2007).

Οι προαναφερθείσες εμφανίσεις αποτελούνται κυρίως από θειούχα ορυκτά του Pb, Zn, Cu, Fe με κύρια ορυκτά τον γαληνίτη, τον σφαλερίτη, τον χαλκοπυρίτη και τον σιδηροπυρίτη.

Το κοιτάσμα του Αγίου Φιλίππου, αν και έχει δημιουργηθεί σε μεγαλύτερα βάθη απ' ό,τι τα τυπικά επιθερμικά κοιτάσματα παρόλα αυτά, χαρακτηρίζεται ως πολυμεταλλικό, επιθερμικού τύπου υψηλής – ενδιάμεσης θείωσης. Το συγκεκριμένο κοιτάσμα, που θεωρείται και το σημαντικότερο χαρακτηρίζεται από ασυνήθιστη ορυκτολογική σύσταση που απαρτίζεται από μεγάλο αριθμό θειοαλάτων του Pb, As, Cu, Ag, Bi, Sn (Σαμανίδης 2015). Η μεταλλοφορία στο κοιτάσμα του Αγίου Φιλίππου εμφανίζεται υπό μορφή φλεβών και περιορίζεται σε μία ζώνη ρηγμάτων μήκους περίπου 1500m και πλάτους έως 40m. Τα μεταλλοφόρα αυτά ρήγματα τέμνουν τα τριτογενή πετρώματα και κυρίως τα προπυλιτωμένα ιζήματα με ενστρώσεις κροκαλοπαγών, εξαλλοιωμένους υποηφαιστειίτες

όπως δακίτες, ανδρείτες και προπυλιτωμένους μονζονίτες. Κατα μήκος της μεταλλοφορίας συναντάμε επίσης συντεκτονικούς, φλεβικούς ρυόλιθους (Αρίκα κ. ά. 2007).

Όπως επίσης αναφέρθηκε, αρκετά γνωστή είναι η μεταλλοφορία στη θέση της Παγώνης Ράχης. Στο εν λόγω κοίτασμα κατά μήκος των σουλφιδίων και μέσα στις χαλαζιακές φλέβες αυτών αναγνωρίζονται ο μολυβδαινίτης και το σπάνιο ορυκτό ρηνίτης. Ειδικά ο συγκεκριμένος μολυβδαινίτης περιέχει τις υψηλότερες περιεκτικότητες σε ρήνιο στον κόσμο το οποίο ανέρχεται σε 4,7 wt%. Επίσης στη θέση Παγώνη Ράχη, εκτός του Mo, Re εμφανίζονται τα στοιχεία Bi, Sn, Pb, Zn, Au, As, Cu, Te.



Σχ.3 Κίρκη – περιοχή εξόρυξης (Liakouroulos 2010)

2.2.1.1 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

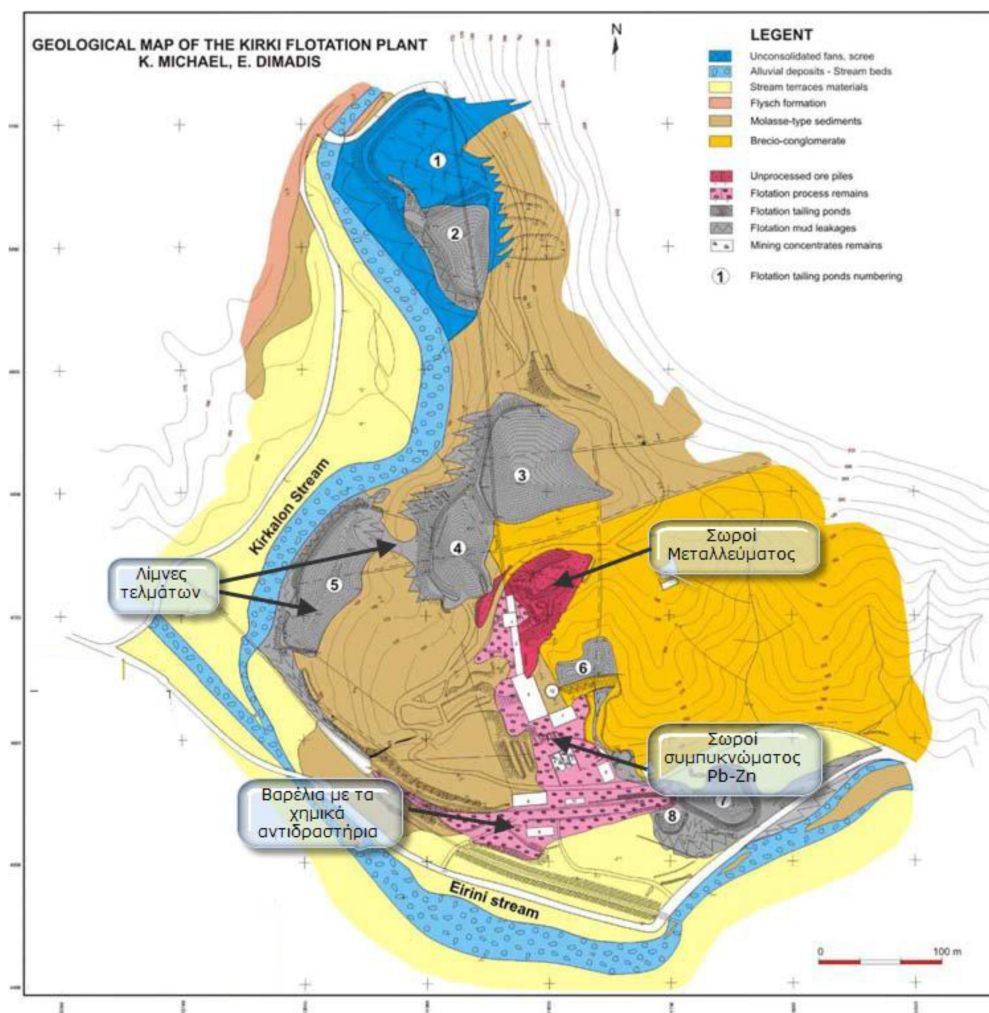
Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως στην περιοχή της Κίρκης υπάρχει σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα (Σχήμα 4). Αυτό δεν είναι άλλο από την όξινη απορροή των μεταλλείων η οποία δημιουργείται λόγω της παραγωγής οξειδωτικών παραγόντων ταχύτερα από τον ρυθμό εξουδετέρωσής τους από αλκαλικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την Αθανασίου (2016) τα θειούχα του Fe, όπως ο σιδηροπυρίτης (FeS_2), ο μαρκασίτης και ο μαγνητοπυρίτης και κάποια θειοάλατα όπως ο εναργίτης (Cu_3AsS_4) παράγουν οξύτητα όταν αντιδρούν με το οξυγόνο και το νερό. Κάποια άλλα θειούχα με αναλογία $\text{Me}^+/\text{S}=1$, όπως ο σφαλερίτης, ο γαληνίτης και ο χαλκοπυρίτης δεν έχουν τάση να παράγουν οξύτητα όταν ο μόνος οξειδωτικός παράγοντας είναι το οξυγόνο. Η καθίζηση ένυδρων οξειδίων κατά τη διάρκεια της οξείδωσης των θειούχων μπορεί επίσης να οδηγήσει στην ανάπτυξη οξύτητας, γιατί ο σχηματισμός τους συνοδεύεται από την απελευθέρωση κατιόντων υδρογόνου (H^+).

Επιπλέον, σύμφωνα με τους Shaw et al (1998), Filipek et al (1999), Nordstrom & Alpers (1999) και Akcil & Koldas (2005) οι παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό και το μέγεθος της οξείδωσης των θειούχων ορυκτών και κατά συνέπεια το μέγεθος της απορροής είναι οι εξής: 1) pH, 2) θερμοκρασία, 3) συγκέντρωση του οξυγόνου στην αέρια και την υγρή φάση, 4) επιφάνεια της εκτεθειμένης θειούχου μεταλλοφορίας στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, 5) μέγεθος κόκκων και μορφή του μεταλλεύματος, 6) είδος των θειούχων ορυκτών που είναι παρόντα στο κοίτασμα, 7) αντίσταση τους στην αποσάθρωση, 8) περιεκτικότητα των θειούχων ορυκτών σε σίδηρο, 9) αν κατά την οξείδωση παράγονται οξειδωμένες ή ανηγμένες μορφές μετάλλων, 10) παρουσία και άλλων μετάλλων, όπως το αρσενικό ως κύριων στοιχείων στο μέταλλευμα, 11) αν ο οξειδωτικός παράγοντας είναι το ατμοσφαιρικό οξυγόνο ή ο ένυδρος τρισθενής σίδηρος, 12) αν καθιζάνουν λόγω οξείδωσης υδροξείδια των μετάλλων ή άλλα ορυκτά, 13) βιολογικοί παράγοντες (Αθανασίου, 2016).

Εξαιτίας της εκμετάλλευσης και σε συνδυασμό με τη δράση των προαναφερθέντων παραγόντων στην περιοχή του Αγίου Φιλίππου δημιουργήθηκαν 4 υπόγεια πατώματα στα μεταλλεία καθώς και μια ανοιχτή εκσκαφή με απότομες πλευρές. Στο πυθμένα της εκσκαφής συσσωρεύεται το νερό της βροχής δημιουργώντας έτσι μία όξινη λίμνη. Τα στείρα της εξόρυξης μαζί με το φτωχό για επεξεργασία μέταλλευμα βρίσκονται ακόμη σε σωρούς έξω από το εργοστάσιο της Κίρκης, διαβρώνονται από το νερό της βροχής και

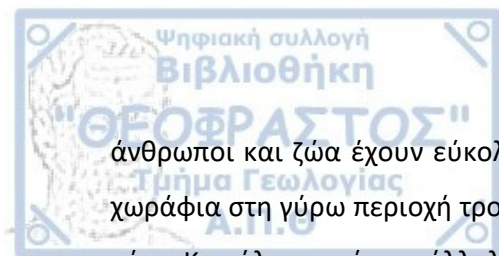
προκαλούν το φαινόμενο της όξινης απορροής στο οποίο αναφερθήκαμε προηγουμένως (Ζαχαριά, 2010).

Επίσης η επιφανειακή απορροή σε συνδυασμό με τις φιλτραρισμένες από τα στείρα απορροές, κινούνται προς το ρέμα Κιρκάλων μεταφέροντας όξινο νερό και τοξικά μέταλλα. Σταθερά μεγάλη επιβάρυνση στο ρέμα Κιρκάλων σε τοξικά στοιχεία προέρχεται από τη συνεχή εκροή νερού από την υψομετρικά χαμηλότερη στοά του μεταλλείου Αγίου Φιλίππου. Συμπερασματικά, η ρύπανση του μεταλλείου του Αγίου Φιλίππου οφείλεται κυρίως σε 3 παράγοντες : 1) τη λίμνη της ανοιχτής εκσκαφής, 2) τον σωρό των στείρων-απορριμμάτων, 3) την απορροή της στοάς του Αγίου Φιλίππου (Ζαχαριά, 2010).



Σχ.4 Γεωλογικός Χάρτης της περιοχής της Κίρκης με τα ρυπασμένα σημεία (ΙΓΜΕ 2006)

Οι επιπτώσεις από την όξινη απορροή στην περιοχή της Κίρκης αποτελούν σημαντικό πρόβλημα τόσο για το περιβάλλον όσο και για τους κατοίκους της περιοχής. Αυτό συμβαίνει καθώς ο χώρος του εργοστασίου εμπλουτισμού δεν φυλάσσεται, συνεπώς



άνθρωποι και ζώα έχουν εύκολα πρόσβαση σε επικίνδυνα και τοξικά υλικά. Επιπλέον, τα χωράφια στη γύρω περιοχή τροφοδοτούνται από το ρυπασμένο νερό που απορρέει από το ρέμα Κιρκάλων, ενώ παράλληλα ο άνεμος και η βροχή μεταφέρουν το λεπτόκοκκο υλικό μακριά. Τελικός αποδέκτης αυτής της ρύπανσης, αν και αρκετά αραιωμένης, είναι ο κόλπος της Αλεξανδρούπολης. Σε απόσταση 5 χλμ υπάρχει και χωματερή, επιδεινώνοντας την ήδη επιβαρυσμένη κατάσταση (Ζαχαριά,2010).

3. Γεωχημικές ανωμαλίες και αναζήτηση κοιτασμάτων

Σύμφωνα με τον Δημητριάδη (2014), στο στάδιο της αναζήτησης κοιτασμάτων, θα πρέπει να εκπονούνται δύο διαφορετικές προσανατολιστικές έρευνες, έχοντας ως κοινό στόχο τους την ανάπτυξη αποδοτικών διαδικασιών για την ενίσχυση της αντίθεσης των σημαντικών γεωχημικών ανωμαλιών και την κατάρριψη ψευδών μοτίβων. Η πρώτη αφορά την τοπική ή αναγνωριστική έρευνα ποτάμιων ιζημάτων ενώ η δεύτερη, τη λεπτομερή γεωχημική έρευνα σε πετρώματα ή έδαφος. Η αναγνωριστική είναι σχετικά εύκολη καθώς οι βασικοί στόχοι της είναι η αναγνώριση της πυκνότητας του δείγματος, το κλάσμα μεγέθους κόκκων που πρόκειται να αναλυθεί, και η βέλτιστη αναλυτική μέθοδος που θα δώσει τη την μεγαλύτερη γεωχημική αντίθεση. Εν αντιθέσει, η λεπτομερής γεωχημική έρευνα είναι περισσότερο περίπλοκη καθώς περιλαμβάνει πολλές μεταβλητές οι οποίες θα πρέπει να καθοριστούν σε μια δυνητικά πιθανή περιοχή. Τέτοιες μεταβλητές είναι:

- Τύπος προτύπων γεωχημικής διασποράς (πρωταρχική διασπορά, δευτερεύουσα διασπορά: κλαστική, υδρομορφική, και βιογενής)
- Βέλτιστο μέσο δειγματοληψίας, σε βράχος ή έδαφος
- Βέλτιστο διάστημα δειγματοληψίας προκειμένου να οριοθετηθούν πιθανώς μεταλλοφόρες δομές
- Εδαφικός ορίζοντας και βάθος από το οποίο θα πρέπει να λαμβάνονται τα εδαφικά δείγματα
- Κλάσμα μεγέθους κόκκων του εδάφους που πρόκειται να αναλυθεί
- Στοιχεία μεταλλοφορίας ή ακολουθία στοιχείων τα οποία πρέπει να καθοριστούν
- Επιπτώσεις της τοπογραφίας, της υδρολογίας, της ξηρασίας, της παγετώδης ιστορίας, του κλίματος κλπ στα πρότυπα δευτερογενής διασποράς
- Μέθοδοι επεξεργασίας των δεδομένων και
- Παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε χάρτες, ιστογράμματα, γραφήματα κλπ

Σύμφωνα με τον Δημητριάδη (2014), τα παραπάνω δεδομένα και πληροφορίες θα οδηγήσουν στον σχηματισμό της τυποποιημένης μεθοδολογίας που θα χρησιμοποιηθεί στη λεπτομερή έρευνα. Προκειμένου η προσανατολιστική έρευνα να είναι αποτελεσματική, θα πρέπει να εκπονείται στο κομμάτι εκείνο της πιθανής περιοχής που περιέχει τη μεταλλοφορία και η γεωλογία να είναι αντιπροσωπευτική για την ευρύτερη περιοχή.

3.1. Σπάνιες Γαίες

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι γεωχημικές ανωμαλίες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι στην αναζήτηση και τον εντοπισμό κοιτασμάτων καθώς λειτουργούν ως δείκτης πιθανότητας και οδηγός για μελλοντικές αναζητήσεις.

Ειδικότερα, κυρίαρχο ρόλο στην αναζήτηση νέων κοιτασμάτων έχουν οι Σπάνιες Γαίες (REE), μία ομάδα 17 χημικών στοιχείων με παρόμοιες χημικές ιδιότητες. Μέχρι σήμερα, έχουν αναγνωριστεί περισσότερα από 200 ορυκτά ως βασικοί φορείς των REE. Οι φάσεις στις οποίες φιλοξενούνται οι REE συχνά περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις Th και U, πράγμα που συνεπάγεται μία στενή γεωχημική σύνδεση μεταξύ των REE και των ακτινιδών. Η παρουσία ραδιενεργών στοιχείων στα ορυκτά που φέρουν Σπάνιες Γαίες εκτός του ότι είναι σημαντική για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο πλαίσιο της εκμετάλλευσης, έχει καθοριστικό ρόλο στον εντοπισμό νέων κοιτασμάτων, μιας και οι ραδιομετρικές μέθοδοι συμβάλλουν σημαντικά στη γεωφυσική αναζήτηση των βαρέων ορυκτών άμμων (Tzifas et al 2019).

Όσον αφορά τα προσχωματικά κοιτάσματα, οι παράκτιες, βαρέων ορυκτών άμμοι είναι δυνατόν να φιλοξενούν συσσωρεύσεις βαρέων μετάλλων οικονομικού ενδιαφέροντος, προσφέροντας έτσι δυνατότητα μελλοντικής εκμετάλλευσης. Αυτές οι αποθέσεις σχηματίζονται ως αποτέλεσμα διεργασιών μηχανικής διάβρωσης, μεταφοράς, υδροδυναμικής διαλογής και τελικά συσσώρευσης σε κατάλληλα σημεία, οδηγώντας στην προτιμησιακή συγκέντρωση ορυκτών υψηλότερης πυκνότητας που είναι ανθεκτικά στη χημική αποσάθρωση, σε σχέση με ελαφρύτερα ορυκτά. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος προέλευσης, τα προσχωματικά κοιτάσματα μπορεί να είναι ιδιαίτερα εμπλουτισμένα σε REE και άλλα κρίσιμα μέταλλα όπως Co, Nb, Ta (Papadopoulos et al., 2019).

Τα κυριότερα ορυκτά των σπανίων γαιών με οικονομική σημασία είναι ο αλλανίτης, ο μοναζίτης, ο μπαστνασίτης, ο ανκυλίτης, το ξενότιμο και τα ορυκτά στην ομάδα του κρανδαλίτη (Παπαμανώλη 2019). Πιο συγκεκριμένα, ο μοναζίτης (Σχήμα 5) είναι φωσφορικό ορυκτό των σπανίων γαιών και είναι το πιο κοινό και ανεξάρτητο ορυκτό της ομάδας των REE. Συναντάται κυρίως ως επουσιώδες ορυκτό σε γρανιτικά και μεταμορφωμένα πετρώματα. Είναι χημικά ανθεκτικό και κατά τη διαδικασία της αποσάθρωσης συγκεντρώνεται σε άμμους παραλίας και ποτάμια. Σε προσχωματικά κοιτάσματα ο μοναζίτης αποτελεί υποπροϊόν κατά την εξόρυξη τιτανίου και κασσιτέρου

(Mariano 1989). Ο μοναζίτης σχεδόν πάντα, παρουσιάζει επιλεκτικότητα στις ελαφρές σπάνιες γαίες (Παπαμανώλη 2019). Κύρια πηγή μοναζίτη παγκοσμίως αποτελούν οι μαύρες άμμοι οι οποίες όπως αναφέραμε και προηγουμένως προσφέρουν τη δυνατότητα μελλοντικής εκμετάλλευσης. Επομένως είναι σωστό να αναφερθεί πως η συγκέντρωση μοναζίτη αποτελεί ένδειξη για την ύπαρξη προσχωματικών κοιτασμάτων.



Σχ.5 Μοναζίτης – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

3.2. Μελέτη Παράκτιων Άμμων

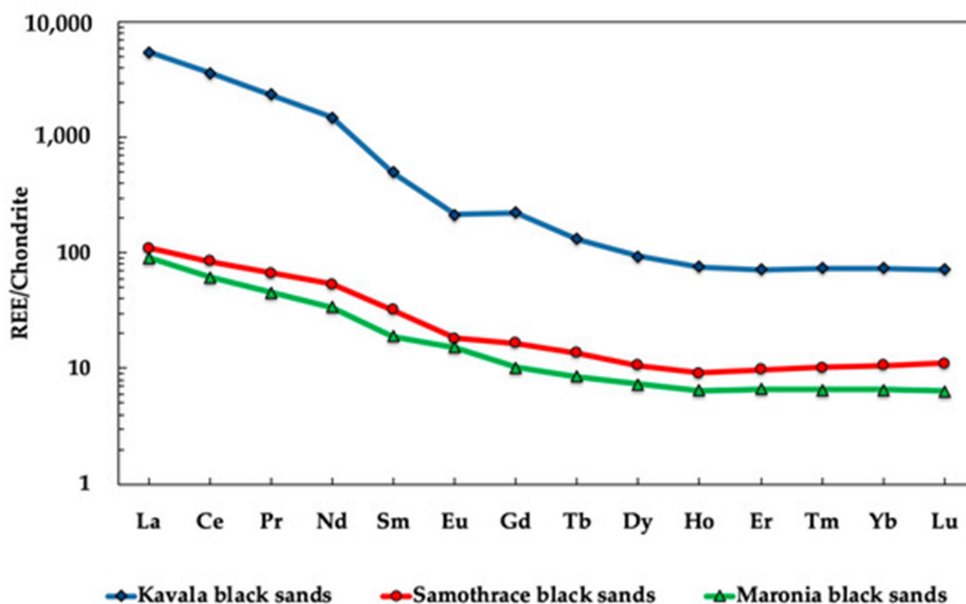
Σε γενικό πλαίσιο οι παράκτιες άμμοι προκύπτουν από την αποσάθρωση πετρωμάτων και συνήθως δεν παραμένουν στη θέση τους αλλά μεταφέρονται από το νερό, τον άνεμο ή άλλους παράγοντες. Κατά τη μεταφορά τους, ταξινομούνται σύμφωνα με το μέγεθος των κόκκων και το ειδικό τους βάρος. Οι άνισοι πυθμένες των ποταμών και άλλες αιτίες τείνουν να καθορίζουν την κίνηση των κόκκων των ορυκτών οι οποίοι εγκαθίστανται και ταξινομούνται σύμφωνα με το ειδικό τους βάρος με αποτέλεσμα τον διαχωρισμό πολύτιμων μετάλλων. Συγκεντρώσεις ορυκτών κατ' αυτόν τον τρόπο συχνά αποτελούν εμπορικά μεταλλεύματα και αναφέρονται στη βιομηχανία ως "Placers" (Fersman et al, 1939).

Μεγάλο πλήθος ερευνών έχουν εκπονηθεί για τις παράκτιες άμμους στον Ελλαδικό χώρο, συμπεριλαμβανομένου και ερευνών για την περιοχή της Μαρώνειας στη Σαμοθράκη. Όλες αυτές οι έρευνες επικεντρώνονται στις παράκτιες άμμους οι οποίες έχουν προφανώς

σχηματισθεί από την αποσάθρωση γρανιτικών πετρωμάτων με αναγνωρισμένη πιθανότητα να περιέχουν αυξημένες πρωτογενείς συγκεντρώσεις REE σε σύγκριση με τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού σε αυτές (Paradopoulos et al., 2019).

Τα κανονικοποιημένα αραχνοδιαγράμματα (Σχήμα 6) σε σύγκριση με τον Ανώτερο Ηπειρωτικό Φλοιό που κατασκευάστηκαν για την απεικόνιση βαρέων ορυκτών άμμων από την περιοχή της Μαρώνειας, δείχνουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις σε LILE (Large Ion Lithophile Elements), HFSE (High Field Strength Elements) και στοιχεία μετάπτωσης (As, Sb, Sn, Zn, Cu, Mo, Co, Pb). Ο εμπλουτισμός σε στοιχεία μετάπτωσης μπορεί να αποδοθεί στην μεταλλοφορία Cu-Mo που παρατηρείται στον πλουτωνίτη της Μαρώνειας (Paradopoulos et al., 2019).

Γενικότερα οι συγκεντρώσεις βαρέων ορυκτών χρειάζεται να μελετώνται επί τόπου σε εργαστήρια πεδίου, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για οικονομικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα. Η παρουσία ενός οικονομικά εκμεταλλεύσιμου ορυκτού επιτρέπει την εκτίμηση της κατανομής του και την πιθανή οικονομική του αξιοποίηση (Fersman et al, 1939). Βλέπουμε επομένως, πώς η μελέτη των βαρέων ορυκτών άμμων μπορεί να αποτελέσει καθοδηγητική μέθοδο στην εύρεση νέων κοιτασμάτων όπως αυτό στην περιοχή της Μαρώνειας.



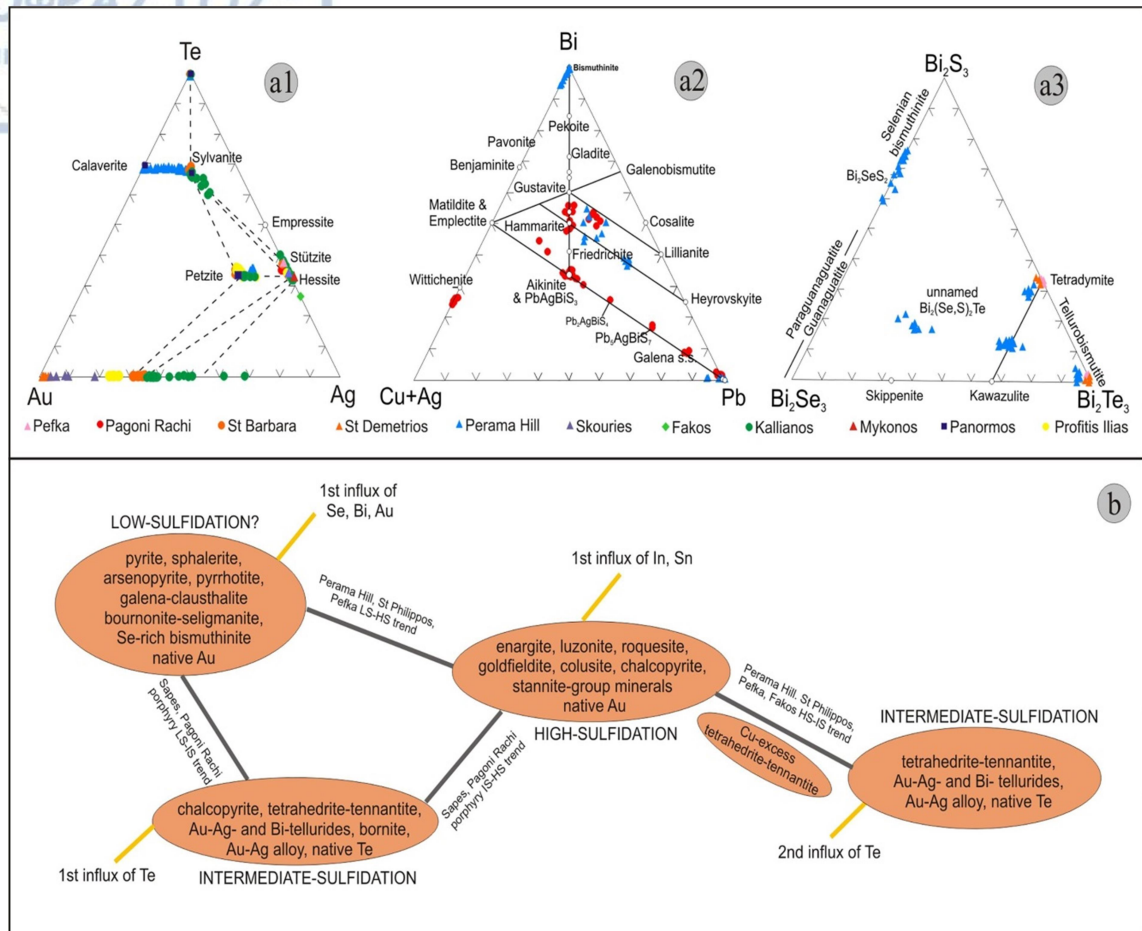
Σχ.6 Κανονικοποιημένο αραχνοδιάγραμμα για REE, LILE, HFSE και στοιχείων μετάπτωσης παράκτιων άμμων από διαφορετικές περιοχές της Βόρειας Ελλάδας (Paradopoulos et al., 2019)

3.3. Στοιχεία δείκτες

Ορισμένα χημικά στοιχεία παρά το γεγονός πως περιέχονται σε πολύ μικρές ποσότητες, μπορούν να υποδείξουν την παρουσία νέων κοιτασμάτων. Τα στοιχεία αυτά ονομάζονται στοιχεία δείκτες. Για παράδειγμα, ορυκτά που συμπεριλαμβάνουν Bi, Te και Se στη δομή τους, είναι στενά συνδεδεμένα με τον χρυσό και έχουν αναγνωριστεί ως οδηγοί στην αναζήτηση για μεταλλεύματα που φέρουν χρυσό (Σχήμα 7). Η πορφυριτική – επιθερμική μεταλλοφορία στην Ελλάδα (και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Θράκης) μπορεί να διακριθεί στους εξής τύπους :

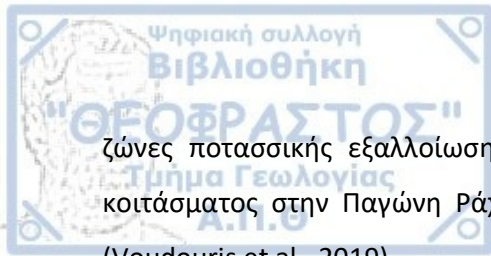
- I. Μεταλλοφορία όπου ο αυτοφυής χρυσός και τα Au-Ag ιόντα τελλουρίου σχετίζονται με θειοάλατα του Bi στα πορφυριτικά και επιθερμικά κοιτάσματα της Δυτικής Θράκης
- II. Κοιτάσματα όπου ο αυτοφυής χρυσός σχετίζεται με θειοάλατα του Bi, απουσία ιόντων τελλουρίου (πχ. η πορφυριτική Cu-Mo-Au μεταλλοφορία της Μαρώνειας)
- III. Κοιτάσματα που περιέχουν αυτοφυή χρυσό και στερούνται Bi-θειοαλάτων και χαλκογενίδων

(Voudouris et al., 2019)



Σχ.7 (α) Τριμερή διαγράμματα για την ορυκτολογική σύνθεση σε πορφυριτικά, επιθερμικά συστήματα (β) Σχηματικό μοντέλο για αποθέσεις μεταλλεύματος σε πορφυριτικά-επιθερμικά κοιτάσματα της βορειοανατολικής Ελλάδας (Voudouris et al., 2019)

Η παρουσία Bi και Te στο σχηματισμό των βισμούθιouxων θειοαλάτων ή/και η παρουσία ιόντων τελλουρίου στη μεταλλοφορία, αποτελεί ισχυρή ένδειξη εγγύτητας σε μία μαγματική πηγή. Παραδείγματα τέτοιου τύπου μεταλλοφορίας που χαρακτηρίζονται από την απουσία εκτεθειμένων γρανιτοειδών είναι τα κοιτάσματα στις περιοχές του Περάματος και Πεύκων στη βόρεια Ελλάδα (Voudouris et al., 2019). Ο σεληνιούχος ή/και βισμούθιouxος γαληνίτης και τα χαλκογενίδια βισμούθιου που περιέχουν Se, σε διάφορα πορφυριτικά-επιθερμικά κοιτάσματα στη βόρεια Ελλάδα (π.χ. Σάπες-Κασσίτερες, Παγώνη Ράχη, Πέραμα, Πεύκα), είναι ενδεικτικά υψηλής θερμοκρασίας, μαγματικών – υδροθερμικών διαλυμάτων κατά τα αρχικά στάδια της εναπόθεσης μεταλλεύματος (Voudouris et al., 2018b). Επιπλέον, ο σεληνιούχος γαληνίτης, όταν αναγνωρίζεται ως επουσιώδες ορυκτό δύναται να καθοδηγήσει την έρευνα προς τα μη εκτεθειμένα γρανιτοειδή. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως ο Βορνίτης είναι ευρύτατα διαδεδομένος στις



ζώνες ποτασσικής εξαλλοίωσης αρκετών κοιτασμάτων, συμπεριλαμβανομένου και του κοιτάσματος στην Παγώνη Ράχη και είναι στενά συνδεδεμένος με τον αυτοφυή χρυσό (Voudouris et al., 2019).

4. Γεωχημικές Ανωμαλίες και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

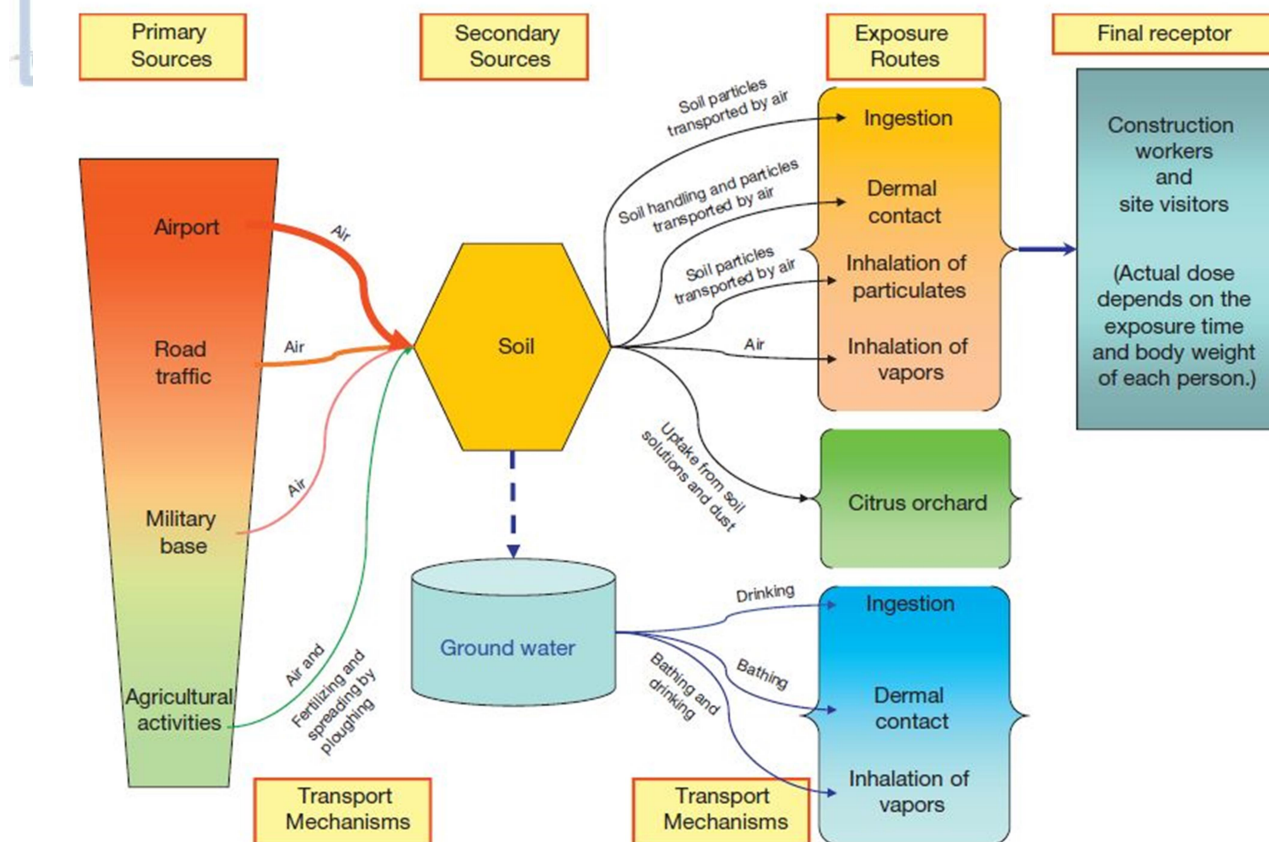
Παρά το γεγονός πως η γεωχημική χαρτογράφηση και ο εντοπισμός γεωχημικών ανωμαλιών έχουν τις ρίζες τους στην αναζήτηση ορυκτού πλούτου, τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται ευρέως σε μελέτες σχετικά με το περιβάλλον και τα προβλήματα που εντοπίζονται σε αυτό (Johnson and Ander, 2009).

Όπως στο στάδιο της αναζήτησης κοιτασμάτων, έτσι και κατά την έρευνα για πιθανώς ρυπασμένες περιοχές εκπονείται μία προσανατολιστική έρευνα προκειμένου να γίνει σωστή γεωχημική χαρτογράφηση η οποία θα υποδείξει υπάρχοντα περιβαλλοντικά προβλήματα μέσω των γεωχημικών ανωμαλιών. Σύμφωνα με τον Α. Δημητριάδη (2014) κύριοι στόχοι της προσανατολιστικής έρευνας σε αυτό το στάδιο είναι :

- Η συλλογή συγκεκριμένων δεδομένων και πληροφοριών σχετικά με τα χαρακτηριστικά των δυνητικά ρυπογόνων προς το έδαφος δραστηριοτήτων
- Η επιβεβαίωση της ύπαρξης ρυπασμένων εδαφών, με τη συλλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από φαινομενικά ρυπασμένα και μη ρυπασμένα σημεία της περιοχής
- Η συλλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από τα παραγόμενα απόβλητα – εάν υπάρχουν.
- Η βελτίωση του εννοιολογικού μοντέλου της περιοχής (Σχήμα 8)

Ιδανικά, όλες οι υποδομές της υπό εξέτασης ιδιοκτησίας θα πρέπει να έχουν αφαιρεθεί, συμπεριλαμβανομένης της ασφάλτου, των δρόμων με σκυρόδεμα, τις αυλές κλπ.

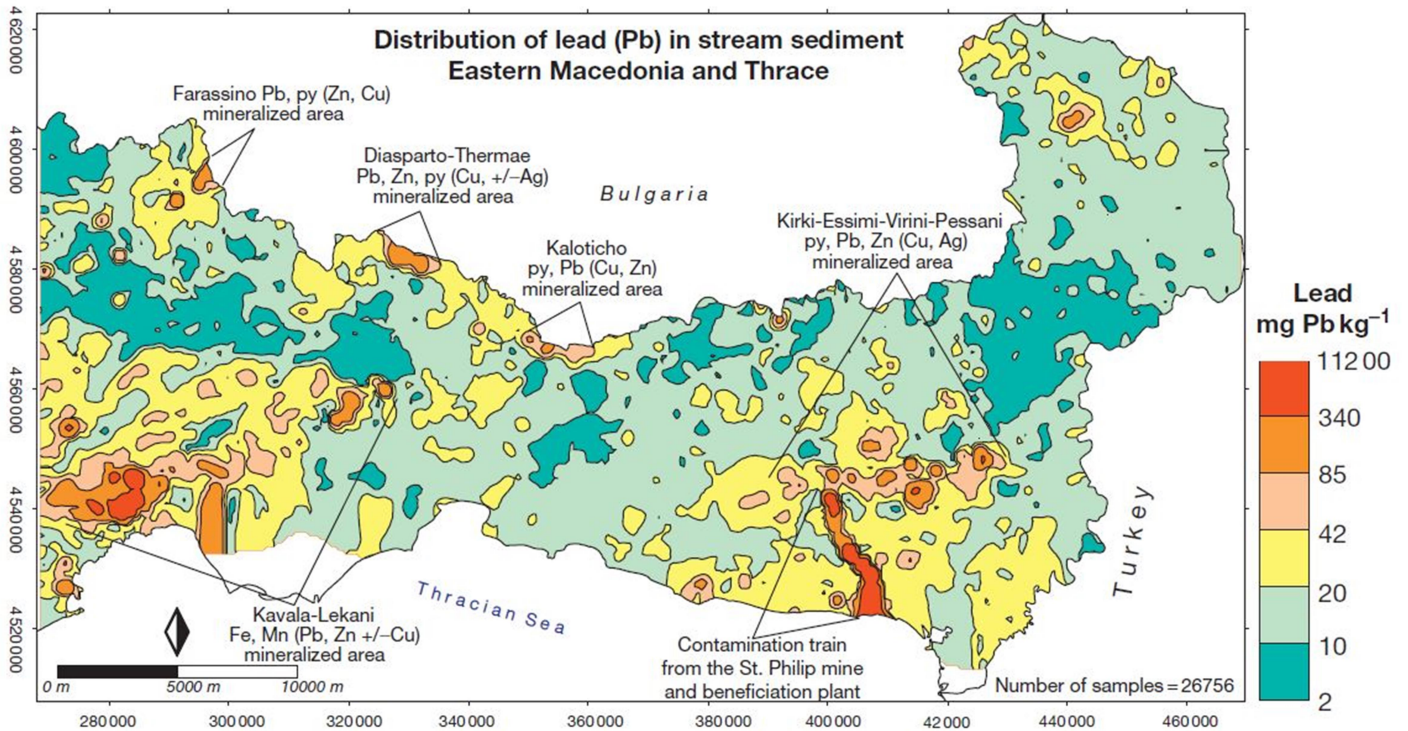
Είναι σημαντικό να θυμόμαστε πως το έδαφος είναι ένα πολύ δύσκολο μέσο προς δειγματοληψία και ανάλυση καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εκ φύσεως ετερογενές και η σύνδεση των ρυπαντών σε αυτό, εξαρτάται τόσο από τις ιδιότητες του ενυπάρχοντος εδάφους όσο και από τις ιδιότητες των ρυπαντών. Επομένως οι επιπτώσεις στο τοπικό περιβάλλον επηρεάζουν τις διαδικασίες διασποράς των ρυπαντών (Demetriades, 2014).



Σχ.8 Εννοιολογικό μοντέλο περιοχής πιθανών πηγών μόλυνσης του εδάφους από δραστηριότητες αεροδρομίου, οδικής κυκλοφορίας, στρατιωτικής βάσης και γεωργικών δραστηριοτήτων : Πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές, μηχανισμοί μεταφοράς, τρόποι έκθεσης στους ρύπους αυτούς, και τελικοί αποδέκτες (Demetriades, 2014)

4.1. Τοπική Γεωχημική Έρευνα

Ο στόχος της τοπικής, γεωχημικής έρευνας αναγνώρισης είναι να αξιολογήσει το ορυκτό δυναμικό μιας μεγάλης έκτασης εκατοντάδων έως χιλιάδων χιλιομέτρων καθορίζοντας ανώμαλα γεωχημικά μοτίβα, αλλά και να καθορίσει τις τοπικές, γεωχημικές τιμές υποβάθρου για κάθε στοιχείο που αναλύεται (Σχήμα 9). Τονίζεται ότι αυτή η φάση στοχεύει στην επιλογή πιθανών δυνητικά εκμεταλλεύσιμων περιοχών, και όχι στον εντοπισμό ενός συγκεκριμένου κοιτάσματος. Το μέσον δειγματοληψίας που χρησιμοποιείται κυρίως είναι τα ποτάμια ιζήματα (Demetriades, 2014).



Σχ.9 Κατανομή μολύβδου Pb σε κλάσμα <0.180-mm ποτάμιων ιζημάτων, Ανατολική Μακεδονία και Θράκη, ΒΑ Ελλάδα. Πυκνότητα δειγματοληψίας στα 2 δείγματα ανά km² (Demetriades , 2014)

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 9, μετά την τοπική γεωχημική έρευνα και την κατασκευή γεωχημικού χάρτη της περιοχής, μπορεί κανείς να διακρίνει τις ανεβασμένες τιμές στην κατανομή του μολύβδου (Pb) και επομένως το πρόβλημα ρύπανσης που επικρατεί στην περιοχή της Κίρκης που προκαλείται από την εξόρυξη στην περιοχή του Αγίου Φιλίππου.

4.2. Λεπτομερής Γεωχημική Έρευνα για Ρυπασμένες Εκτάσεις Γης

Σκοπός της λεπτομερής εξέτασης μια ρυπασμένης περιοχής είναι:

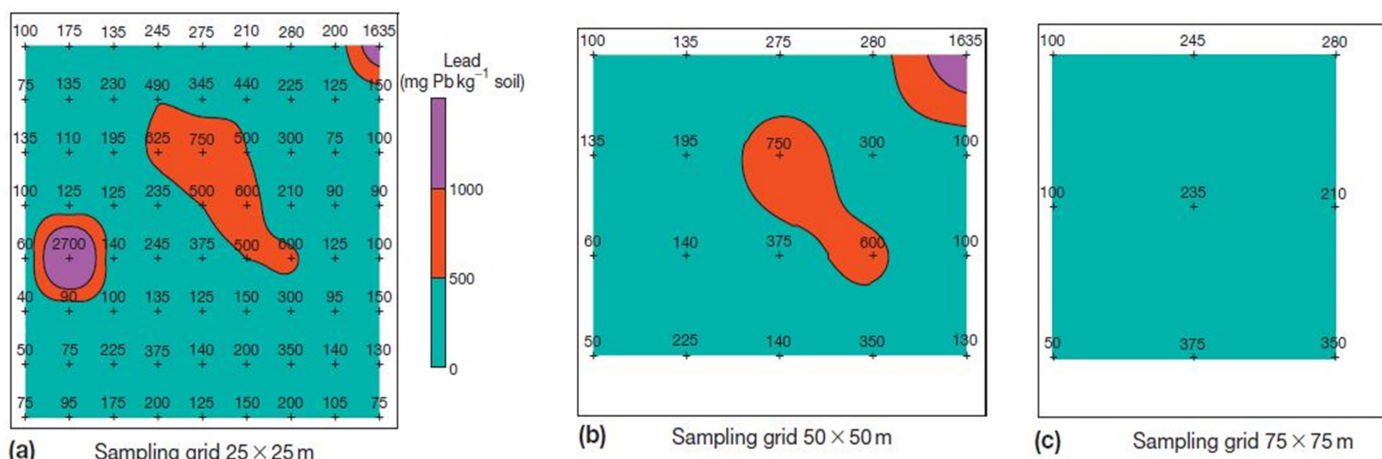
- Να καθορίσει το μέγεθος και την έκταση του ρυπασμένου εδάφους σε όλη την περιοχή, να προσδιορίσει τα χωρικά τρισδιάστατα χαρακτηριστικά του, καθώς και να οριοθετήσει τα μη ρυπασμένα κομμάτια,
- Να εκτιμήσει τα πιθανά ρίσκα που σχετίζονται με αναγνωρισμένους κινδύνους και υποδοχείς, και

- iii. Να αξιολογήσει την ανάγκη για αποκατάσταση προκειμένου να μειωθούν ή να εξαλειφθούν οι κίνδυνοι σύμφωνα με την τελική χρήση γης.

(Demetriades, 2014)

Ο τετράγωνος κάνναβος δειγματοληψίας θεωρείται ο ιδανικός για έρευνες ρυπασμένου εδάφους και τον σχεδιασμό μπλοκ αποκατάστασης, εάν η περιοχή θεωρείται επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία.

Παραλλαγές στον τρόπο μιας γεωχημικής απόκρισης με αλλαγές στο διάστημα σημείων δειγματοληψίας φαίνονται στο Σχήμα 10. Μια κρίσιμη εξέταση αυτών των χαρτών διασποράς δείχνει τον τρόπο με τον οποίο η υπο-δειγματοληψία μπορεί να οδηγήσει σε «αβεβαιότητα» της ερμηνείας μίας έρευνας (Σχήμα 10b και 10c) (Demetriades, A., 2014).



Σχ.10 Σχεδιαστικοί χάρτες κατανομής που δείχνουν τη χαρτογράφηση μια ρυπασμένης περιοχής, σε διαφορετικές διαστάσεις τετράγωνου καννάβου (οι αριθμοί πάνω από τους σταυρούς αντιπροσωπεύουν την συγκέντρωση Pb σε mg kg^{-1}). ((a) Ο κατάλληλος κάνναβος για αυτή την περίπτωση είναι των 25x25 m (b) Ένας κάνναβος των 50x50 m δίνει μια πολύ γενικευμένη εικόνα και παραλείπει ένα σημαντικό σημείο (c) Ένας κάνναβος των 75x75 m δε βρίσκει κανένα σημείο ρύπανσης, και η περιοχή θεωρείται ως μη ρυπασμένη (Demetriades, 2014)

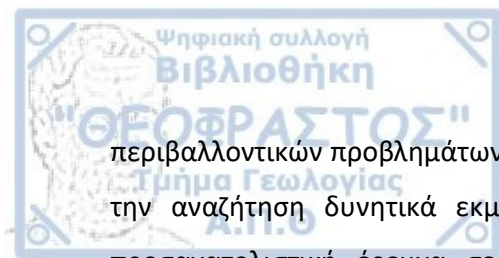
5. Συμπεράσματα – Συζήτηση

Όπως αναφέρθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, η περιοχή της Θράκης χαρακτηρίζεται από έντονο πλουτωνισμό που αποτελείται κυρίως από γρανίτες, γρανοδιορίτες, μονζονίτες, χαλαζιακούς μονζονίτες και διορίτες. Στο ευρύτερο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θράκης συναντώνται περιοχές πλούσιες σε μεταλλοφορία που συνδέονται κυρίως με ηφαιστειακές διεισδύσεις γρανιτικού μάγματος, οι σπουδαιότερες εκ των οποίων εντοπίζονται στις περιοχές Μαρώνεια, Μελίταινα, Κίρκη, Πεύκα, Σάπες και Πέραμα. Ιδιαίτερη σημασία έχει δοθεί στην περιοχή της Κίρκης καθώς οι πολλαπλές μεταλλοφόρες εμφανίσεις στη γύρω περιοχή και κυρίως το μεταλλείο του Αγίου Φιλίππου ευθύνονται για τη δημιουργία του φαινομένου της όξινης απορροής που είναι επιβλαβές τόσο για το περιβάλλον όσο και για τους ανθρώπους που διαμένουν εκεί.

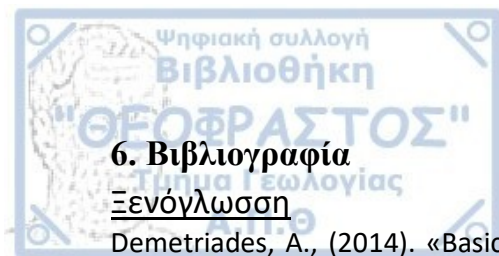
Σε γενικό πλαίσιο η γεωχημική χαρτογράφηση και η αναγνώριση γεωχημικών ανωμαλιών αποτελούν μία από τις σπουδαιότερες μεθόδους αναζήτησης κοιτασμάτων τόσο στον Ελλαδικό χώρο όσο και παγκοσμίως. Για τη σωστή επίτευξη μιας γεωχημικής χαρτογράφησης είναι απαραίτητη η εκπόνηση λεπτομερής γεωχημικής έρευνας στο σημείο ενδιαφέροντος η οποία περιλαμβάνει μεταβλητές όπως γεωχημική διασπορά, στοιχεία μεταλλοφορίας, τοπογραφία, κλπ.

Στην περιοχή της Θράκης, μεγάλο ρόλο στη γεωχημική χαρτογράφηση έχει η μελέτη σπάνιων γαιών καθώς λειτουργούν ως δείκτης πιθανότητας ύπαρξης δυνητικά εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων. Πέραν αυτού, ιδιαίτερη σημασία έχει και η μελέτη παράκτιων, βαρέων ορυκτών άμμων που έχει εκπονηθεί σε μεταλλοφόρες περιοχές ενδιαφέροντος όπως η Μαρώνεια, η Καβάλα και η Σαμοθράκη. Συγκεκριμένα η μελέτη των βαρέων ορυκτών άμμων ή αλλιώς «black sands» στις προαναφερθείσες περιοχές έχει δείξει αυξημένες συγκεντρώσεις REE σε σύγκριση με τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού σε αυτές. Τέλος, στη διαδικασία αναζήτησης κοιτασμάτων συμβάλλει η μελέτη ορισμένων στοιχείων-δεικτών τα οποία μπορούν να υποδείξουν την παρουσία μεταλλοφόρων εμφανίσεων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα πορφυριτικά και επιθερμικά κοιτάσματα της Δυτικής Θράκης αλλά και η πορφυριτική Cu-Mo-Au μεταλλοφορία της Μαρώνειας.

Όπως αναλύσαμε στο κεφάλαιο 4, οι γεωχημικές ανωμαλίες εκτός από τη χρήση τους στην αναζήτηση νέων κοιτασμάτων, χρησιμοποιούνται εκτενώς και στον εντοπισμό



περιβαλλοντικών προβλημάτων σε πιθανώς ρυπασμένες περιοχές. Όπως ακριβώς και κατά την αναζήτηση δυνητικά εκμεταλλεύσιμων περιοχών, έτσι κι εδώ πραγματοποιείται προσανατολιστική έρευνα σε συγκεκριμένα βήματα. Μέσω της τοπικής γεωχημικής έρευνας αξιολογείται το ορυκτό δυναμικό μεγάλων εκτάσεων γης και καθορίζονται οι γεωχημικές τιμές υποβάθρου για κάθε στοιχείο που αναλύεται. Επιτυγχάνεται κατ' αυτόν τον τρόπο η γεωχημική χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης, και συνεπώς η κατανομή ορισμένων στοιχείων, οι υψηλές τιμές των οποίων υποδεικνύουν ενδεχομένως κάποιο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Επιπλέον, με την πραγματοποίηση μιας λεπτομερούς γεωχημικής έρευνας οριοθετείται με ακρίβεια η ρυπασμένη περιοχή, εκτιμώνται οι πιθανοί κίνδυνοι και αξιολογείται η ανάγκη της περιοχής για αποκατάσταση. Φυσικά, για να έχει ουσιαστικό νόημα η γεωχημική χαρτογράφηση απαιτείται η χρήση κατάλληλου καννάβου δειγματοληψίας.



6. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Demetriades, A., (2014). «Basic considerations: Sampling, the key for a successful applied geochemical survey for mineral exploration and environmental purposes», Chapter 15.1 In: W. F. McDonough (volume Editor), Analytical geochemistry/Inorganic instrument analysis. In: H.D. Holland & K.K. Turekian (Executive Editors), Treatise on Geochemistry. Elsevier, Oxford, vol. 15, pp. 1-31;
- Fersman A. Ye., (1939). «Geochemical and mineralogical methods of prospecting for mineral deposits» chapter IV, Special methods of prospecting, Geological Survey circular 127, pp. 1 – 37
- Liakopoulos A., Lemièrre B., Michael K, et al.(2010). «Environmental impacts of unmanaged solid waste at a former base metal mining and ore processing site (Kirki, Greece)», *Waste Management & Research*. 28(11):996-1009. doi:10.1177/0734242X10375746
- McQueen K. G., (2015). «Identifying Geocemical Anomalies». Retrieved from <https://www.researchgate.net/project/Regolith-Geology-and-Mineral-Exploration>
- Melfos V., Vavelidis M., Christofides G., Seidel E., (2002). «Origin and evolution of the Tertiary Maronia porphyry copper-molybdenum deposit, Thrace, Greece», *Mineralium Deposita* (2002) 37: 648–668. DOI 10.1007/s00126-002-0277-4
- Melfos V., Voudouris P., (2017). «Cenozoic metallogeny of Greece and potential for precious, critical and rare metals exploration», *Ore Geology Reviews*, Volume 89, Pages 1030-1057, ISSN 0169-1368, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.05.029>.
- Papadopoulos A., Tzifas I. T., Tsikos H.,(2019). «The Potential for REE and Associated Critical Metals in Coastal Sand (Placer) Deposits of Greece: A Review», *Minerals* 2019, 9, 469; doi:10.3390/min9080469
- Rondoyanni, T., Georgiou, C., Galanakis, D., & Kourouzidis, M (2004). «EVIDENCES OF ACTIVE FAULTING IN THRACE REGION (NORTHEASTERN GREECE)», *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36(4), pp. 1671-1678. doi: <https://doi.org/10.12681/bgsg.16572>
- Tzifas I.T., Papadopoulos A. , P. Misaelides, A. Godelitsas, J. Göttlicher, H. Tsikos, ..., & Hatzidimitriou A (2019). «New insights into mineralogy and geochemistry of allanite-bearing Mediterranean coastal sands from Northern Greece», *Geochemistry* 79 (2019),pp. 247–267

Voudouris P., Papavasiliou C., Melfos V (2005), «Silver mineralogy of St. Philippos deposit (NE Greece) and its relationship to a Te-bearing porphyry-Cu-Mo mineralization». IGCP Project 486, 2005. Field workshop, Kiten, Bulgaria, 14-19 September 2005, pp. 155-160.

Voudouris P., Mavrogonatos C., Spry P. G., Baker T., Melfos V., Klemd R., ..., & Melfou M., (2019) «Porphyry and epithermal deposits in Greece: An overview, new discoveries, and mineralogical constraints on their genesis», *Ore Geology Reviews* 107 (2019), pp. 654 – 691

Wang Z., Dong Y., Zuo R (2019) «Mapping geochemical anomalies related to Fe–polymetallic mineralization using the maximum margin metric learning method», *Ore Geology Reviews*, 107, pp.258-265.

Ελληνόγλωσση

Αθανασίου Ζ.(2016), «Πετρογραφική Μελέτη δειγμάτων από την περιοχή της Κίρκης, (ΒΑ Ελλάδα), και εξυγίανση, σε πειραματική προσέγγιση, των όξινων απορροών του εγκαταλελειμμένου μεταλλείου, Άγιος Φίλιππος» (Αδημοσίευτη Πτυχιακή Εργασία), Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

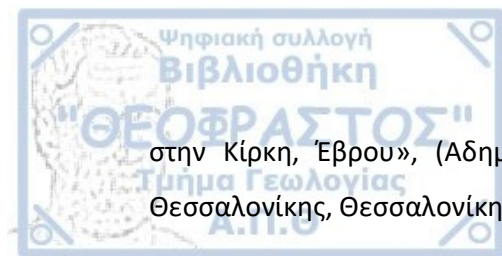
Αρίκας Κ., Asfahani N., Nowak A., Goetz D (2007). «Τα μεταλλεία Κίρκης Νομού Έβρου και εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων», *Μεταλλειολογικά και Μεταλλουργικά Χρονικά* 17, σελ. 21-50

Δήμου Ε (1993), «Συγκριτική και ορυκτολογική μελέτη των μεταλλοφοριών στις θέσεις Αχλά Ταρλά και Αγ. Φίλιππος περιοχή Κίρκης (Β.Α. Ελλάδα)». Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τόμος XXVIII/2. Πρακτικά 6ου Συνεδρίου, Αθήνα, Μάιος 1993, σελ. 37-54.

Ζαχαριά Χ.(2010), «Περιγραφή διασποράς ρύπων από εγκαταστάσεις μεταλλευτικών αποβλήτων με σύγχρονα λογισμικά εργαλεία», (Αδημοσίευτη Πτυχιακή Εργασία), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Καρατάσου Ε., Βαβελίδης Μ., Μέλφος Β., Κορωναίος Α. και Σκλαβούνος Σ., (2005). «Ρύπανση των ιζημάτων του Θερμορέματος από βαρέα μέταλλα στη μεταλλευτική περιοχή Κώνου-Σαπών, Θράκη», 2ο Συνέδριο της επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2005, σελ. 133-142

Σαμανίδης Γ. Χ., (2012). «Ορυκτολογική και Γεωχημική μελέτη θεικών αλάτων στα μεταλλευτικά τέλματα και συμπυκνώματα από την ανενεργή μονάδα εμπλουτισμού



στην Κίρκη, Έβρου», (Α δημοσίευτη Πτυχιακή Εργασία), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.