



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

*«Μελέτη του χημισμού  
μεταμορφωμένων ανθρακικών πετρωμάτων στον  
εθνικό δρυμό Σαμαριά, Δυτική Κρήτη»*

*Πτυχιακή εργασία*

Στυλιανός Αποστολάκης

*ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ*

Καθηγητής Εμμανουήλ Μανούτσογλου (επιβλέπων),

Καθηγητής Νικόλαος Καλλίθρακας-Κόντος,

Δρ. Χρήστος Κανελλόπουλος, Ερευνητής ΕΑΓΜΕ

Χανιά Μάρτιος 2025

Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δεν σημαίνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202). Όπως αναφέρεται και στον Οδηγό Σπουδών της Σχολής, κάθε διπλωματική εργασία αξιολογείται και βαθμολογείται από τη εξεταστική επιτροπή με βάση κριτήρια που αναφέρονται εντός αυτού.

## *Ευχαριστίες*

*Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ Εμμανουήλ Μανούτσογλου για την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.*

*Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Καλλιθρακα για την πολύτιμη βοήθεια του στην ανάλυση των δειγμάτων με την μέθοδο XRF.*

*Όπως επίσης και κ. Κανελλόπουλο Χρήστο για την βοήθεια του στην ανάλυση των δειγμάτων από την ανάλυση του XRD.*

*Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά τον κ.Ηλία Λάζο όπου η βοήθεια του ήταν απαραίτητη και η συμβολή του πολύτιμη.*

*Φυσικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλα τα σημαντικά άτομα που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια μέχρι και σήμερα.*

## *Περίληψη*

Η διερεύνηση των μεταμορφωμένων ανθρακικών πετρωμάτων που βρίσκονται στο μοναδικό γεωλογικό περιβάλλον του Εθνικού Δρυμού Λευκών Ορέων (Σαμαριάς) παρέχει ένα πλήθος πληροφοριών όσον αφορά τα χημικά χαρακτηριστικά και τη ορυκτολογική σύσταση των μεταμορφωμένων κυρίως ανθρακικών πετρωμάτων. Η κατανόηση της χωρικής κατανομής των υφιστάμενων ορυκτολογικών φάσεων με έμφαση στα μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα που καθορίζει και τον χημισμό των πετρωμάτων συμβάλει μεταξύ άλλων και στην κατανόηση του χημισμού των υδάτων που φιλοξενούνται σε υδροφορίες εντός αυτών των πετρωμάτων.

Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκαν δείγματα πεδίου από διάφορες περιοχές του φαράγγιου και συγκεκριμένα από τις τοποθεσίες του Λινοσελίου και της Σαμαριάς. Στην συνέχεια ακολούθησε επεξεργασία των δειγμάτων και τελικά η γεωχημική και ορυκτολογική ανάλυση τους μέσω των μεθόδων φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων X (XRF) και η περίθλαση ακτίνων X (XRD) αντιστοίχα.

Έπειτα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι στα δείγματα απαντώνται αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου, στροντίου και πυριτίου και σχετίζονται με τη γεωχημική σύσταση και τις περιβαλλοντικές συνθήκες σχηματισμού των πετρωμάτων. Η παρουσία θείου, χλωρίου, νατρίου, μαγνησίου και βρωμίου επίσης, αποκαλύπτει σημαντικές γεωλογικές διεργασίες, όπως διάβρωση, εξάτμιση και μεταμόρφωση.

Τέλος, οι περιοχές χαρακτηρίζονται κυρίως πλούσιες σε ασβεστίτη, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζεται ποικιλία στη σύσταση των ορυκτών υποδεικνύοντάς τον χαρακτηρισμό της γεωλογικής προέλευσης των και την επιρροή των περιβαλλοντικών παραγόντων στα μεταμορφωμένα πετρώματα.

*Λέξεις κλειδιά*

*Μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα, Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς, Φυσικοχημικές ιδιότητες, Γεωλογική ανάλυση, Γεωλογία της Κρήτης. Μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα, Εθνικός Δρυμός Σαμαριάς, Φυσικοχημικές ιδιότητες, Γεωλογική ανάλυση, Γεωλογία της Κρήτης.*

### *Abstract*

The investigation of the metamorphosed carbonate rocks found within the unique geological environment of the Samaria National Park provides a wealth of information regarding the physicochemical characteristics and chemical composition of these rocks. Understanding the various features of these rocks involves an in-depth examination of the geomorphological evolution of the Samaria Gorge, with particular emphasis on the metamorphosed carbonate rocks located within the National Park. Understanding the spatial distribution of the existing mineralogical phases, with an emphasis on the metamorphosed carbonate rocks that determine the chemical composition of the rocks, contributes, among other things, to the understanding of the water chemistry hosted in aquifers within these rocks.

For this purpose, field samples were collected from various areas of the gorge, specifically from the locations of Linoseli and Samaria. Subsequently, the samples underwent processing, followed by geochemical and mineralogical analysis using X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy and X-ray diffraction (XRD), respectively.

Analysis of the results reveals that the samples contain elevated concentrations of calcium, strontium, and silicon, which are related to the geochemical composition and the environmental conditions of rock formation. The presence of sulfur, chlorine, sodium, magnesium, and bromine further indicates significant geological processes such as erosion, evaporation, and metamorphism.

Finally, the areas are primarily characterized by a high content of calcite, while at the same time, a variety in mineral composition is observed, indicating the geological origin of the rocks and the influence of environmental factors on the metamorphosed carbonate rocks.

### *Keywords*

Metamorphic carbonate rocks, Samaria National Park, Physico-chemical properties, Geological analysis, Geology of Crete.

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	6
Πίνακας εικόνων .....	8
Παραρτήματα.....	8
1    Εισαγωγή .....	9
1.1    Στόχος της διπλωματικής εργασίας .....	10
1.2    Ανθρακικά πετρώματα .....	10
1.3    Φυσικοχημικές ιδιότητες ανθρακικών πετρωμάτων.....	15
1.4    Χημική σύσταση ανθρακικών πετρωμάτων .....	17
1.5    Χρήσεις ανθρακικών πετρωμάτων .....	18
1.6    Τρόποι ανάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων.....	19
2    Εθνικά Πάρκα και Δρυμοί .....	23
2.1    Εθνικοί Δρυμοί και προστατευόμενες περιοχές .....	25
2.2    Το νομικό πλαίσιο και η διαχείριση των εθνικών δρυμών.....	28
3    Εθνικός δρυμός Σαμαριάς.....	30
3.1    Γεωλογία της Κρήτης .....	30
3.2    Γεωλογία Εθνικού Δρυμού Λευκών Ορέων (Σαμαριάς).....	32
3.3    Το κλίμα της περιοχής.....	35
3.4    Το τοπίο και η γεωμορφολογία του .....	37
3.5    Γεωμορφολογική εξέλιξη του φαραγγιού της Σαμαριάς .....	41
4    Μέθοδοι ανάλυσης των πετρωμάτων .....	43
4.1    Χρώση.....	43
4.2    Πετρογραφική μικροσκοπία .....	44

4.3	Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) .....	45
4.4	Ανάλυση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (EMPA) .....	46
4.5	Περίθλαση ακτίνων X σε σκόνη (XRD).....	47
4.6	Φθορισμός ακτίνων X (XRF) .....	47
4.7	Μεθοδολογία συλλογής δειγμάτων .....	48
5	Αποτελέσματα.....	49
5.1	Γεωχημική Ανάλυση XRF .....	49
5.1.1	Γεωχημική ανάλυση XRF δειγμάτων από «ΛΙΝΟΣΕΛΙ».....	50
5.1.2	Γεωχημική ανάλυση XRF δειγμάτων από «ΣΑΜΑΡΙΑ».....	53
5.1.3	Γεωχημική ανάλυση XRF δειγμάτων από «ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0».....	56
5.2	Ορυκτολογική Ανάλυση XRD .....	59
5.2.1	Ορυκτολογική ανάλυση XRD δειγμάτων από «ΛΙΝΟΣΕΛΙ».....	59
5.2.2	Ορυκτολογική ανάλυση XRD δειγμάτων από «ΣΑΜΑΡΙΑ».....	61
5.2.3	Ορυκτολογική ανάλυση XRD δειγμάτων από «ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0».....	63
5.3	Γενική επισκόπηση δειγμάτων.....	65
5.4	Συγκριτική ανάλυση .....	65
5.4.1	Κύρια συμπεράσματα .....	66
5.5	Συγκριτική Γεωχημική και Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων .....	67
5.5.1	Ορυκτολογική Σύσταση.....	67
5.5.2	Χημική Σύσταση Κύριων Στοιχείων (% κ.β.) .....	68
5.5.3	Χημική Σύσταση Ιχνοστοιχείων (ppm) .....	69
5.6	Συγκριτικά Συμπεράσματα .....	70
5.6.1	Ορυκτολογική Σύσταση.....	70
5.6.2	Χημική Σύσταση.....	70
5.7	Πιθανά Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	71

6	Συμπεράσματα και Συζήτηση .....	74
7	Βιβλιογραφία .....	76

## Πίνακας εικόνων

<u>Εικόνα 1 Τεκτονική μετατόπιση των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων και των παρειών της Κρήτης</u> .....	31
<u>Εικόνα 2 Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου του φαράγγιού της Σαμαριάς και η θέση του στην Ελλάδα</u> .	33
<u>Εικόνα 3 Οι κύριοι λιθολογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στο φαράγγι της Σαμαριάς: (α) σχηματισμός Γκίγκιλος (β) σχηματισμός Plattenkalk</u> .....	41

## Παραρτήματα

<u>EIKONA 1</u> .....	82
<u>EIKONA 2</u> .....	82
<u>EIKONA 3</u> .....	83
<u>EIKONA 4</u> .....	83
<u>EIKONA 5</u> .....	84
<u>EIKONA 6</u> .....	84
<u>EIKONA 7</u> .....	85
<u>EIKONA 8</u> .....	86
<u>EIKONA 9</u> .....	86
<u>EIKONA 10</u> .....	87
<u>EIKONA 11</u> .....	87
<u>EIKONA 12</u> .....	88
<u>EIKONA 13</u> .....	88
<u>EIKONA 14</u> .....	89
<u>EIKONA 15</u> .....	89
<u>EIKONA 16</u> .....	90
<u>EIKONA 17</u> .....	90
<u>EIKONA 18</u> .....	91
<u>EIKONA 19</u> .....	91
<u>EIKONA 20</u> .....	92
<u>EIKONA 21</u> .....	92
<u>EIKONA 22</u> .....	93

# 1 Εισαγωγή

Το φαράγγι της Σαμαριάς αποτελεί έναν εξέχοντα γεωμορφολογικό και γεωλογικό σχηματισμό που βρίσκεται στο νησί της Κρήτης, αποτελώντας έτσι έναν από τους καθορισμένους εθνικούς δρυμούς εντός της χώρας μας. Δεδομένων των περίπλοκων τεκτονικών διεργασιών και των εγγενών αβεβαιοτήτων στις στρωματογραφικές ερμηνείες των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής, είναι επιτακτική ανάγκη να γίνει μια ενδελεχής εξέταση των υφιστάμενων γεωλογικών μοντέλων που αφορούν τη γεωλογική ανάπτυξη της περιοχής. Η προσπάθεια αυτή είναι ζωτικής σημασίας για τη διαλεύκανση των γεωμορφολογικών μετασχηματισμών που έχουν λάβει χώρα. Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης δομείται γεωλογικά από μεταμορφωμένα Της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων (Plattenkalk) και της ενότητας Τρυπαλίου. Σε σχέση με τη λιθολογία, παρατηρείται ότι ο σχηματισμός του Γκίγκιλου αποτελείται κυρίως από ασβεστοφυλλίτες και σχιστόλιθους όπως και ο μεταφλύσχος της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων. Τα υπόλοιπα μέλη αποτελούνται από μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα που εμπεριέχουν στρώματα ή και κονδύλους κερατολίθων (Chert). Τα πετρώματα έχουν υποστεί έντονη τεκτονική πλαστική και θραυστιγενή καταπόνηση που οδήγησαν στην εμφάνιση γεγονότων πτύχωσης και σημαντικών ρηγμάτων. Οι γεωλογικές αυτές διεργασίες χαρακτηρίστηκαν από απότομες γωνίες κλίσης των βραχωδών σχηματισμών, οι οποίες κατά συνέπεια συνέβαλαν στις έντονες διαφοροποιήσεις της τοπογραφίας. Μεταξύ αυτών των οντοτήτων τεκμηριώνονται δεόντως αξιοσημείωτες λιθολογικές διαφοροποιήσεις, οι οποίες δικαιολογούν περαιτέρω εξέταση σε συνδυασμό με τη στρωματογραφία, την τεκτονική και τον μεταβλητό ρυθμό διάβρωσης που προκύπτει από τις προαναφερθείσες λιθολογικές διαφοροποιήσεις.

## 1.1 Στόχος της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα μελέτη έχει ως στόχο τη λεπτομερή ανάλυση των χημικών ιδιοτήτων των μεταμορφωμένων ανθρακικών πετρωμάτων του φαλαγγίου της Σαμαριάς, μέσω γεωχημικής και ορυκτολογικής ανάλυσης. Η κατανόηση της χωρικής κατανομής των υφιστάμενων ορυκτολογικών φάσεων με έμφαση στα μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα που καθορίζει και τον χημισμό των πετρωμάτων συμβάλει μεταξύ άλλων και στην κατανόηση του χημισμού των υδάτων που φιλοξενούνται σε υδροφορίες εντός αυτών των πετρωμάτων.

## 1.2 Ανθρακικά πετρώματα

Τα ανθρακικά πετρώματα, μεταξύ αυτών κυρίως οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες, αποτελούν περίπου το 20-25% του συνόλου των ιζηματογενών πετρωμάτων και καλύπτουν περίπου το 4% της πλανητικής έκτασης. Σε αντιδιαστολή με τους συμβατικούς λιθικούς σχηματισμούς, τα ανθρακικά πετρώματα παρουσιάζουν ενδογενή χαρακτήρα, προερχόμενα από εγχώριες πηγές, καθώς σχηματίζονται σε κοντινή απόσταση ή απευθείας στο σημείο απόθεσης του πρωτογενούς ανθρακικού ιζήματος. Οι ασβεστόλιθοι, συγκεκριμένα, μπορούν να χαρακτηριστούν ως τα προϊόντα λιθοποίησης που προέρχονται από τα αρχικά ανθρακικά ιζήματα (Flügel, 2010).

Τα ανθρακικά ιζήματα δημιουργούνται κυρίως μέσω βιολογικών και βιοχημικών μηχανισμών, αν και περιστασιακά παρατηρείται η εμφάνιση ανόργανης καταβύθισης ανθρακικού ασβεστίου. Κατά την απόθεση, το ανθρακικό ίζημα υφίσταται αξιοσημείωτες φυσικοχημικές διεργασίες διαγένεσης που ασκούν σημαντικές τροποποιήσεις στην αρχική του σύνθεση. Οι τροποποιήσεις αυτές αρχίζουν σε πρώιμο στάδιο, σχεδόν ταυτόχρονα με το γεγονός της απόθεσης, και συνεχίζονται κυρίως κατά τη φάση της ταφής μέχρι την τελική ανύψωση και την επακόλουθη αποκάλυψη των ανθρακικών πετρωμάτων. Η χρησιμότητα των ανθρακικών πετρωμάτων έχει σημαντική σημασία λόγω της ικανότητάς τους να χρησιμεύουν ως ξενιστές νερού, υδρογονανθράκων (με περισσότερα από το 50% των

πετρελαϊκών πεδίων του κόσμου να περιέχουν "ανθρακικά κοιτάσματα") και ποικίλων επιγενετικών κοιτασμάτων. Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι οι ουσίες αυτές παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα χημικών και βιομηχανικών εφαρμογών. Κατά κύριο λόγο, χρησιμοποιούνται ως αδρανή υλικά και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή τσιμέντου. Επιπλέον, χρησιμεύουν ως πληρωτικά υλικά σε διάφορα πλαίσια και βρίσκουν εφαρμογή στον γεωργικό τομέα. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ως δομικά και διακοσμητικά υλικά στην κατασκευή αρχαίων μνημείων καθώς και σε σύγχρονες αρχιτεκτονικές προσπάθειες, μεταξύ άλλων χρήσεων. Η ολοκληρωμένη εξέταση των ποικίλων βιομηχανικών εφαρμογών των ανθρακικών πετρωμάτων θα αναπτυχθεί σε επόμενες ενότητες του παρόντος κεφαλαίου, καθώς αποτελούν το κύριο αντικείμενο διερεύνησης της παρούσας επιστημονικής προσπάθειας. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των ανθρακικών πετρωμάτων, οι οποίες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στις ποικίλες εφαρμογές τους, συνδέονται στενά με τα ταμειυτικά και διαγενετικά ιστολογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων αυτών. Ως εκ τούτου, η διάκριση των ολοκληρωμένων μηχανισμών σχηματισμού που αφορούν τις ταμειυτικές και διαγενετικές διεργασίες χρησιμεύει ως θεμελιώδης προϋπόθεση για τη μετέπειτα εξέταση και αξιολόγηση της καταλληλότητάς τους για ποικίλες εφαρμογές (Ahr, 2011).

Η γένεση των ανθρακικών πετρωμάτων ερμηνεύεται κυρίως μέσω της εξέτασης των σύγχρονων ανθρακικών ιζημάτων που απαντώνται σε διάφορες περιοχές, όπως ενδεικτικά η πλατφόρμα των Μπαχάμα, η υφαλοκρηπίδα της Φλόριντα, η ακτή του Yucatan και η ακτή Trucial (Tucker & Wright, 1990). Παρ' όλα αυτά, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι οι περίπλοκοι μηχανισμοί και οι προκύπτοντες σχηματισμοί της σύγχρονης ανθρακικής ιζηματογένεσης μπορεί να μην αποδίδουν με συνέπεια τις απαιτούμενες γνώσεις για την κατανόηση των ερμηνειών των αρχαίων ασβεστόλιθων. Αυτή η ασυμφωνία προκύπτει λόγω της πολύπλευρης και ποικίλης σειράς παραγόντων που διέπουν τη γένεση και τον μετασχηματισμό των ανθρακικών πετρωμάτων κατά τη διάρκεια των γεωλογικών εποχών και εντός συγκεκριμένων τόπων απόθεσης των αρχικών ιζημάτων. Στο εξής, το πρωταρχικό σώμα γνώσεων σχετικά με τους αρχαίους ανθρακικούς σχηματισμούς έγκειται στη σχολαστική και ολοκληρωμένη εξέταση των ορυκτολογικών και πετρογραφικών χαρακτηριστικών που είναι εγγενή στους εν λόγω σχηματισμούς.

Μια αξιοσημείωτη διαφορά διακρίνεται κατά τη σύγκριση των σύγχρονων ανθρακικών ιζημάτων με τα παλαιά ανθρακικά πετρώματα, κυρίως όσον αφορά την ορυκτολογική τους σύσταση. Η ορυκτολογική σύσταση των σύγχρονων ιζημάτων συνδέεται στενά με την εμφάνιση μη σκελετικών, κυρίως σκελετικών, και ανθρακικών κόκκων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι οργανισμοί διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή ανθρακικών ιζημάτων, ασκώντας έτσι σημαντικό έλεγχο στο μέγεθος και την κατανομή των κόκκων εντός των ιζηματογενών πετρωμάτων. Αντίθετα, το υδροδυναμικό καθεστώς έχει σχετικά μικρή επίδραση στα χαρακτηριστικά αυτά, όπως διευκρινίζεται από τον Tucker (2001). Για να είμαστε πιο ακριβείς, τα σύγχρονα ανθρακικά ιζήματα αποτελούνται κυρίως από δύο διαφορετικά ανθρακικά ορυκτά, δηλαδή τον αραγωνίτη, ο οποίος κρυσταλλώνεται στο ορθορομβικό σύστημα, και τον ασβεστίτη, ο οποίος υιοθετεί το τριγωνικό σύστημα. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι ο ασβεστίτης μπορεί να βρεθεί σε δύο διαφορετικές μορφές, οι οποίες διαφοροποιούνται με βάση το ποσοστό του ανθρακικού μαγνησίου που υπάρχει. Η πρώτη παραλλαγή αναφέρεται ως ασβεστίτης χαμηλού μαγνησίου (LMC) και χαρακτηρίζεται από περιεκτικότητα σε ανθρακικό μαγνήσιο μικρότερη από 4 mole %. Από την άλλη πλευρά, η δεύτερη παραλλαγή είναι γνωστή ως ασβεστίτης υψηλού μαγνησίου (HMA) και περιέχει συνήθως περισσότερο από 4 mole %  $MgCO_3$ , με ένα τυπικό εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 11 και 19 mole %  $MgCO_3$ .

Σε πλήρη αντίθεση, είναι αξιοσημείωτο ότι μέσα σε γερασμένους ανθρακικούς σχηματισμούς παρατηρείται η αποκλειστική παρουσία ασβεστιτικής ορυκτής φάσης, συγκεκριμένα με τη μορφή ασβεστίτη χαμηλού μαγνησίου (LMC). Η εμφάνιση αυτή μπορεί να αποδοθεί στη μετατροπή τόσο των χημικά επισφαλών φάσεων του αραγωνίτη όσο και του YMC στην πιο σταθερή ασβεστιτική ορυκτή φάση. Στην ουσία, η ορυκτολογική σύσταση των παλαιών ανθρακικών πετρωμάτων αποτελείται κυρίως από C.M. ασβεστίτη ή/και δολομίτη.

Ενώ είναι αλήθεια ότι τα ανθρακικά πετρώματα μπορούν πράγματι να βρεθούν σε μη θαλάσσια περιβάλλοντα, όπως λίμνες, πηγές και σπήλαια, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα πρωταρχικά περιβάλλοντα απόθεσής τους βρίσκονται κυρίως σε ρηχά έως βαθιά θαλάσσια περιβάλλοντα. Τα θαλάσσια περιβάλλοντα απόθεσης διευκρινίζονται σχολαστικά και κατηγοριοποιούνται συστηματικά, χρησιμοποιώντας ως θεμελιώδες πλαίσιο τα μοντέλα ανθρακικών πλατφορμών. Ο όρος "ανθρακική πλατφόρμα" χρησιμοποιείται με γενική έννοια

για να περιγράψει την τρισδιάστατη μορφολογία του ταμιευτήρα και να χαρακτηρίσει στρωματογραφικά εκτεταμένες ακολουθίες ανθρακικών πετρωμάτων, που απαντώνται κυρίως σε ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα. Υπάρχουν πέντε κύριες ταξινομήσεις ανθρακικών πλατφορμών που έχουν αναγνωριστεί δεόντως:

- η κρηπίδα/πλατφόρμα με ή χωρίς περιθώριο (rimmed/non-rimmed shelf/platform)
- η ράμπα (ramp)
- η επιηπειρωτική πλατφόρμα (epeiric platform)
- η απομονωμένη πλατφόρμα (isolated platform)
- η βυθισμένη πλατφόρμα (drowned platform) (Tucker & Wright, 1990).

Διαφορετικοί τύποι πλατφορμών παρουσιάζουν διακριτά τοπογραφικά προφίλ, λιθοστρώματα και ακολουθίες λιθοστρωμάτων, τα οποία εξαρτώνται από το βάθος του νερού και το ενεργειακό δυναμικό συγκεκριμένων τμημάτων της πλατφόρμας (Tucker, 2001).

Η ανθρακική διαγένεση μπορεί να χαρακτηριστεί συνοπτικά ως η περίπλοκη σειρά τροποποιήσεων και μετασχηματισμών που συντελούνται στη σύνθεση και τη δομή των ανθρακικών ιζημάτων και πετρωμάτων, προωθούμενη από τη συμβολή φυσικοχημικών και βιολογικών μηχανισμών. Αυτές οι μετασχηματιστικές διεργασίες αρχίζουν αμέσως μετά την απόθεση, επιμένουν καθ' όλη τη διάρκεια της φάσης ταφής και διαρκούν μέχρι την τελική ανύψωση και την επακόλουθη έκθεση των λιθοποιημένων σχηματισμών σε υποεπιφανειακές συνθήκες. Το πρωταρχικό αποτέλεσμα συνεπάγεται τη μεταμόρφωση του μη στερεοποιημένου ανθρακικού ιζήματος σε ανθρακικό πέτρωμα, συγκεκριμένα ασβεστόλιθο ή δολομίτη. Η διαγένεση έχει τη δυνατότητα να ασκήσει σημαντική επίδραση στα πρωτογενή χαρακτηριστικά των ανθρακικών ιζημάτων, οδηγώντας στη μερική ή πλήρη καταστροφή της δομής και της ορυκτολογικής σύνθεσης του ταμιευτήρα. Ενδεικτικά, αξίζει να σημειωθεί ότι η αρχική κλασματική ή κοκκώδης σύνθεση που παρατηρείται σε πολυάριθμους αλλοχημικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι είναι ασβεστόλιθοι που σχηματίζονται μέσω διαδικασιών μηχανικής απόθεσης, έχει τη δυνατότητα να υποστεί μετατροπή σε πλήρως κρυσταλλική δομή, με αποτέλεσμα αυτό που αναφέρεται ως ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι. Οι ορυκτολογικές μεταβολές περιλαμβάνουν κυρίως τη μετατροπή χημικά επισφαλών ανθρακικών ορυκτών, όπως ο αραγωνίτης και ο ασβεστίτης υψηλής μαγνησίας, σε πιο σταθερά αντίστοιχα, δηλαδή ασβεστίτη και δολομίτη χαμηλής μαγνησίας. Επιπλέον, ένα δευτερεύον αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας συνεπάγεται τη δημιουργία μιας σειράς αυτογενών ορυκτών, συμπεριλαμβανομένων των εβαποριτών, των ορυκτών  $\text{SiO}_2$  και άλλων.

Εν κατακλείδι, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι η διαγένεση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αλλοίωση του πορώδους και της διαπερατότητας εντός ανθρακικών σχηματισμών. Αυτές οι ιδιότητες, με τη σειρά τους, διέπουν το δυναμικό των ταμιευτήρων αυτών των πετρωμάτων σε σχέση με το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και το νερό. Είναι ζωτικής σημασίας να τονιστεί ότι η διαγένεση στα ανθρακικά πετρώματα παρουσιάζει αξιοσημείωτες διαφορές από τη διαγένεση που παρατηρείται στους συμβατικούς τύπους πετρωμάτων. Οι κύριες διαγενετικές διεργασίες είναι οι ακόλουθες:

- Τσιμεντοποίηση: η κύρια διαγενετική διεργασία που μετατρέπει το ανθρακικό ίζημα σε στερεό πέτρωμα (ασβεστόλιθος) και λαμβάνει χώρα όταν τα ρευστά των πόρων είναι κορεσμένα στη συγκεκριμένη ορυκτολογική/τσιμεντοποιητική φάση.
- Μικροβιακός μικροθρυμματισμός: η ανάπτυξη μικροθρυμματικού περιβλήματος γύρω από βιοκλάστες και/ή ο σχηματισμός μικροθρυμματισμένων κόκκων από τις δραστηριότητες λιθοφάγων μικροοργανισμών (κυρίως ενδολιθικών βακτηρίων) σε σκληρά σκελετικά θραύσματα. Αυτό οφείλεται στη διατήρηση του σχήματος των αραγωνιτικών βιοκλαστών κατά τη διάρκεια της διάλυσης, ώστε να είναι τελικά αναγνωρίσιμοι.
- Διάλυση: πραγματοποιείται όταν τα πορώδη ρευστά είναι ακόρεστα στην παρούσα ανθρακική φάση (που έχει αποθεθεί). Ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία στο μετεωρικό και ρηχό θαλάσσιο διαγενετικό περιβάλλον. Δημιουργία μεγάλων καρστικών επιφανειών και εκτεταμένου δευτερογενούς πορώδους
- Νεομορφισμός: αναφέρεται στις εξής διεργασίες: α) ανακρυστάλλωση (αύξηση του μεγέθους των κρυστάλλων, όπως π.χ. από μικρίτη σε μικροσπαρίτη) και β) αντικατάσταση (π.χ. αντικατάσταση κελυφών αραγωνίτη ή συγκολλητών κ.λπ. από ασβεστίτη χαμηλής μαγνησίας).
- Συμπίεση: λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της ταφής (ρηχή και βαθιά ταφή) και διακρίνεται σε: Α) Μηχανική (αφυδάτωση, πυκνότερη στοίβαξη και/ή θραύση ανθρακικών κόκκων) Β) Χημική (διάλυση κόκκων στις επαφές τους με συμπίεση, σχηματισμός στυρολίθων).
- Δολομιτίωση: η κύρια διαγενετική διαδικασία για πολλούς παλαιούς ασβεστόλιθους, ιδίως σε ρηχά θαλάσσια ύδατα. Αντικατάσταση του ανθρακικού ασβεστίου από δολομίτη (μερική ή ολική). Κυρίως "πρώιμη" αλλά και "όψιμη" διαγενετική διαδικασία.

Άλλες, δευτερογενείς διαγενετικές διεργασίες μπορούν να θεωρηθούν η αποδελτιωτικοποίηση και η πυριτικοποίηση. (Kati, 2016).

### 1.3 Φυσικοχημικές ιδιότητες ανθρακικών πετρωμάτων

Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των ανθρακικών πετρωμάτων είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τη γένεσή τους, συγκεκριμένα με τους μηχανισμούς απόθεσης και τα περιβάλλοντα στα οποία σχηματίστηκαν, καθώς και με τις επακόλουθες διαγενεακές τροποποιήσεις που υπέστησαν. Ως εκ τούτου, μπορεί να παρατηρηθεί ότι ο καθαρός ασβεστόλιθος, όταν βρίσκεται σε κατάσταση μερικώς λιθοποιημένης νιφάδας, παρουσιάζει αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά, όπως μειωμένη μηχανική αντοχή και πρόσφυση, αυξημένη ικανότητα απορρόφησης ουσιών και έντονη χημική αντιδραστικότητα, η οποία οφείλεται κυρίως στην εκτεταμένη ειδική επιφάνεια που διαθέτουν οι κόκκοι που τον αποτελούν. Ταυτόχρονα, είναι αξιοσημείωτο ότι ένα μάρμαρο που διαθέτει ίδια χημική σύνθεση με εκείνη της προαναφερθείσας νιφάδας, δηλαδή ασβεστολιθική φύση, παρουσιάζει σχετικά υψηλή σκληρότητα, χαμηλή απορροφητικότητα και μη αντιδραστικότητα. Αντίθετα, ο τρόπος επεξεργασίας του πετρώματος αποκτά εξέχουσα σημασία, καθώς επηρεάζει διάφορους παράγοντες, όπως η διαδικασία θραύσης και, στη συνέχεια, η επιφάνεια των κόκκων, καθώς και η χημική αντιδραστικότητά τους. Προκειμένου να προβλεφθούν τα χημικά χαρακτηριστικά των πιθανών προϊόντων που προέρχονται από ένα κοίτασμα, είναι επιτακτική ανάγκη να πραγματοποιηθούν ολοκληρωμένες φυσικές, ορυκτολογικές και πετρογραφικές εξετάσεις των ανθρακικών πετρωμάτων, με ιδιαίτερη έμφαση στους ασβεστόλιθους (Freas et al., 2006).

Τα χαρακτηριστικά των ανθρακικών πετρωμάτων παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με την προοριζόμενη εφαρμογή τους, που περιλαμβάνουν τόσο φυσικές όσο και χημικές πτυχές, οι οποίες συνήθως υπόκεινται σε ολοκληρωμένη εξέταση. Εάν το πέτρωμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην ακατέργαστη, ανεπεξέργαστη κατάστασή του, καθίσταται επιτακτική η ενδελεχής εξέταση και ανάλυση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του, καθώς κατέχουν ύψιστη σημασία σε αυτό το πλαίσιο. Εάν, αντίθετα, το πέτρωμα

υποστεί επεξεργασία για χρήση, τότε τα χημικά χαρακτηριστικά του αποκτούν ύψιστη σημασία. Παρ' όλα αυτά, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι ορισμένα σενάρια, όπως αυτά που συναντώνται στις γεωργικές πρακτικές ή στην κατασκευή γυαλιού, καθιστούν αναγκαία τη συνολική εξέταση του πετρώματος από πολλαπλές οπτικές γωνίες, προκειμένου να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό του (Harrison et al., 1998).

Οι κύριες φυσικομηχανικές ιδιότητες των ασβεστόλιθων, πολλές από τις οποίες θα πρέπει να θεωρούνται τυπικές (Oates, 1998), είναι: το χρώμα (που αντανακλά κυρίως την ποσότητα και τη φύση των προσμίξεων), η οσμή (χαρακτηριστική στην παρουσία υαλοποιημένου υλικού), η υφή (μεγάλη διακύμανση ανάλογα με το μέγεθος των συστατικών και τον τύπο του φορέα των κόκκων), η κρυσταλλική δομή των ανθρακικών ορυκτών (ασβεστίτης και δολομίτης διαφορετικά από τον αραγωνίτη), το ειδικό βάρος (π.χ. ασβεστίτης  $2,72 \text{ g/cm}^3$  και αραγωνίτης  $2,94 \text{ g/cm}^3$ ), πορώδες (εξαρτάται σημαντικά από την υφή και τον βαθμό συμπίεσης), απορρόφηση νερού (εξαρτάται από το πορώδες, την κατανομή μεγέθους των πόρων και το επίπεδο της οργανικής ύλης), πυκνότητα κόκκων και φαινόμενη πυκνότητα (συνάρτηση του πορώδους, της κρυσταλλικής πυκνότητας και της ποσότητας νερού στους πόρους), σκληρότητα (γενικά 3, αλλά κυμαίνεται από 2 έως 4 στην κλίμακα Mohs), αντοχή σε θλίψη, αντοχή στην τριβή, συντελεστής θερμικής διαστολής, θερμική αγωγιμότητα και φωτεινότητα (σημαντική παράμετρος στις χρήσεις ως πληρωτικά και χρωστικές ουσίες σε χρώματα και χάρτινα επιχρίσματα) (Harrison et al. 1998).

Για την εξακρίβωση των χημικών χαρακτηριστικών των ασβεστόλιθων με σκοπό τη διερεύνηση της χημικής τους σταθερότητας χρησιμοποιούνται διάφορες μεθοδολογίες. Ειδικότερα, ο αραγωνίτης, σε αντίθεση με τον ασβεστίτη, εμφανίζει τάση αστάθειας και εύκολης διάλυσης σε επιφανειακές συνθήκες. Επιπλέον, η διαλυτότητα του ασβεστίτη στο νερό, χωρίς διοξείδιο του άνθρακα, εξαρτάται από την ποσότητα νερού στην οποία εκτίθεται. Η διαλυτότητα αυτή επηρεάζεται επίσης από τη θερμοκρασία. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση του ασβεστόλιθου με το διοξείδιο του άνθρακα οδηγεί σε αυξημένη διαλυτότητα. Το pH του νερού, όταν έρχεται σε επαφή με τον ασβεστόλιθο, κυμαίνεται συνήθως από 8 έως 9, ενώ ο δολομίτης τείνει να δίνει ελαφρώς υψηλότερες τιμές. Επιπλέον, η αντίδραση του καθαρού ασβεστόλιθου με αραιό υδροχλωρικό και νιτρικό οξύ χαρακτηρίζεται από έντονη ένταση, ενώ ο δολομίτης αντιδρά αποκλειστικά με θερμό υδροχλωρικό οξύ (Λασκαρίδης & Πατρώβης, 2005). Γενικά, οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν έντονη αντιδραστικότητα έναντι

των οξέων, καθιστώντας τους κατάλληλους για σκοπούς εξουδετέρωσης οξέων. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η θερμική αποσύνθεση του ανθρακικού ασβεστίου λαμβάνει χώρα στους 900 βαθμούς Κελσίου περίπου, με αποτέλεσμα το σχηματισμό οξειδίου του ασβεστίου και διοξειδίου του άνθρακα υπό μερική πίεση CO<sub>2</sub> σε 1 ατμόσφαιρα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η διαδικασία αποσύνθεσης του δολομίτη και του δολομιτωμένου ασβεστόλιθου είναι πιο περίπλοκη στη φύση (Oates, 1998).

## 1.4 Χημική σύσταση ανθρακικών πετρωμάτων

Η χημική σύσταση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα. Η παρατηρούμενη ορυκτολογική σύνθεση μπορεί δυνητικά να ευθυγραμμιστεί με τα συστατικά ορυκτά του σχετικού πυριγενή ή ιζηματογενή πετρώματος. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις, η παρατηρούμενη ορυκτολογική σύσταση μπορεί να αποκλίνει σημαντικά από τους προαναφερθέντες τύπους πετρωμάτων λόγω της διαδικασίας του μετασχηματισμού. Ωστόσο, είναι συχνά εφικτό να εξακριβωθούν τα εγγενή χαρακτηριστικά του αρχικού πετρώματος με βάση τη χημική του σύσταση, ακόμη και σε περιπτώσεις όπου έχει υποστεί πλήρη ανακρυστάλλωση και η αρχική δομή έχει εξαφανιστεί (Tetteh et al., 2020).

Διάφορα χημικά κριτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξακρίβωση της ιζηματογενούς προέλευσης ενός μεταμορφωμένου πετρώματος. α) Το πλεόνασμα οξειδίων, το οποίο εκδηλώνεται ως  $c (=Al_2O_3)$ , δυνητικό κορούνδιο) στον προσδιορισμό της δυνητικής σύνθεσης (Norm). Σε περίπτωση που η συγκέντρωση του  $c$  ξεπεράσει το όριο του 5%, είναι εύλογο ότι το ποσοστό ιζηματογενούς προέλευσης μπορεί να φθάσει έως και το 10%. Ωστόσο, σε περίπτωση που η συγκέντρωση του  $c$  υπερβεί το 10%, η πιθανότητα ιζηματογενούς προέλευσης καθίσταται εξαιρετικά πιθανή. Σύμφωνα με τις δεδομένες πληροφορίες, μπορεί να παρατηρηθεί ότι η ένωση K<sub>2</sub>O παρουσιάζει μεγαλύτερη αντιδραστικότητα από το Na<sub>2</sub>O όταν συνδυάζεται με το MgO, το οποίο με τη σειρά του παρουσιάζει μεγαλύτερη αντιδραστικότητα από το CaO. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είναι χαρακτηριστικό των ιζηματογενών πετρωμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο,

ιδίως εκείνων που διαθέτουν αξιοσημείωτες ποσότητες ιλλίτη και μοντμοριλλονίτη. Η παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων  $\text{SiO}_2$  υποδηλώνει ότι το εν λόγω πέτρωμα προέρχεται πιθανότατα από ψαμμίτη ή πυριτόλιθο, όπως αναφέρουν οι Freas et al., (2006).

Η χημική σύσταση ενός πετρώματος μπορεί είτε να παραμείνει σταθερή κατά τη διάρκεια της μεταμόρφωσης, γνωστή ως ισοχημική μεταμόρφωση, είτε να υποστεί μεταβολές λόγω της προσθήκης ή της αφαίρεσης υλικού εντός του μεταμορφωμένου συστήματος, που αναφέρονται ως αλλοχημική μεταμόρφωση ή μετασωμάτωση. Στο πλαίσιο του ισοχημικού μεταμορφισμού, είναι αξιοσημείωτο ότι υπάρχει η δυνατότητα διακριτού βαθμού μεταφοράς υλικού. Το νερό και άλλες πτητικές ουσίες, αν και σε ελάχιστες ποσότητες, μπορούν να βρεθούν στη σύνθεση σχεδόν όλων των πετρωμάτων. Αυτές οι οντότητες εκπέμπονται μέσω πυριγενών δραστηριοτήτων ή εναλλακτικών μηχανισμών, αναλαμβάνοντας στη συνέχεια ρόλο ως παράγοντες μεταφοράς υλικών στο πλαίσιο μεταμορφικών λειτουργιών. Εμπειρικά στοιχεία και συστηματικές έρευνες έχουν τεκμηριώσει ότι η μετασωμάτωση εκδηλώνεται ως συνέπεια της εισόδου ή εξόδου ουσιών που διευκολύνεται από ρευστές ή αέριες φάσεις (Tetteh et al., 2020).

## 1.5 Χρήσεις ανθρακικών πετρωμάτων

Η χημική σύσταση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα. Η παρατηρούμενη ορυκτολογική σύνθεση μπορεί δυνητικά να ευθυγραμμιστεί με τα συστατικά ορυκτά του σχετικού πυριγενή ή ιζηματογενή πετρώματος. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις, η παρατηρούμενη ορυκτολογική σύσταση μπορεί να αποκλίνει σημαντικά από τους προαναφερθέντες τύπους πετρωμάτων λόγω της διαδικασίας μετασωμάτωσης. Ωστόσο, είναι συχνά εφικτό να εξακριβωθούν τα εγγενή χαρακτηριστικά του αρχικού πετρώματος με βάση τη χημική του σύσταση, ακόμη και σε περιπτώσεις όπου έχει υποστεί πλήρη ανακρυστάλλωση και η αρχική δομή έχει εξαφανιστεί (Tetteh et al., 2020).

Διάφορα χημικά κριτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξακρίβωση της ιζηματογενούς προέλευσης ενός μεταμορφωμένου πετρώματος. α) Το πλεόνασμα οξειδίων,

το οποίο εκδηλώνεται ως  $c(=Al_2O_3$ , δυνητικό κορούνδιο) στον προσδιορισμό της δυνητικής σύνθεσης (Norm). Σε περίπτωση που η συγκέντρωση του  $c$  ξεπεράσει το όριο του 5%, είναι εύλογο ότι το ποσοστό ιζηματογενούς προέλευσης μπορεί να φθάσει έως και το 10%. Ωστόσο, σε περίπτωση που η συγκέντρωση του  $c$  υπερβεί το 10%, η πιθανότητα ιζηματογενούς προέλευσης καθίσταται εξαιρετικά πιθανή. Σύμφωνα με τις δεδομένες πληροφορίες, μπορεί να παρατηρηθεί ότι η ένωση  $K_2O$  παρουσιάζει μεγαλύτερη αντιδραστικότητα από το  $Na_2O$  όταν συνδυάζεται με το  $MgO$ , το οποίο με τη σειρά του παρουσιάζει μεγαλύτερη αντιδραστικότητα από το  $CaO$ . Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είναι χαρακτηριστικό των ιζηματογενών πετρωμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο, ιδίως εκείνων που διαθέτουν αξιοσημείωτες ποσότητες ιλλίτη και μοντμοριλλονίτη. Η παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων  $SiO_2$  υποδηλώνει ότι το εν λόγω πέτρωμα προέρχεται πιθανότατα από ψαμμίτη ή πυριτόλιθο, όπως αναφέρουν οι Freas et al., (2006).

Η χημική σύσταση ενός πετρώματος μπορεί είτε να παραμείνει σταθερή κατά τη διάρκεια της μεταμόρφωσης, γνωστή ως ισοχημική μεταμόρφωση, είτε να υποστεί μεταβολές λόγω της προσθήκης ή της αφαίρεσης υλικού εντός του μεταμορφωμένου συστήματος, που αναφέρονται ως αλλοχημική μεταμόρφωση ή μετασωμάτωση. Στο πλαίσιο του ισοχημικού μεταμορφισμού, είναι αξιοσημείωτο ότι υπάρχει η δυνατότητα διακριτού βαθμού μεταφοράς υλικού. Το νερό και άλλες πτητικές ουσίες, αν και σε ελάχιστες ποσότητες, μπορούν να βρεθούν στη σύνθεση σχεδόν όλων των πετρωμάτων. Αυτές οι οντότητες εκπέμπονται μέσω πυριγενών δραστηριοτήτων ή εναλλακτικών μηχανισμών, αναλαμβάνοντας στη συνέχεια ρόλο ως παράγοντες μεταφοράς υλικών στο πλαίσιο μεταμορφικών λειτουργιών. Εμπειρικά στοιχεία και συστηματικές έρευνες έχουν τεκμηριώσει ότι η μετασωμάτωση εκδηλώνεται ως συνέπεια της εισόδου ή εξόδου ουσιών που διευκολύνεται από ρευστές ή αέριες φάσεις (Hosseinzadeh et al., 2017).

## 1.6 Τρόποι ανάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων

Τα ανθρακικά πετρώματα αποτελούν σημαντικό και άφθονο συστατικό των χερσαίων υλικών που βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης. Το σκεπτικό πίσω από αυτόν τον ισχυρισμό πηγάζει

από το γεγονός ότι τα πετρώματα όχι μόνο κρύβουν εγγενείς φυσικούς πόρους, όπως πολύτιμα ορυκτά και ακόμη και ορυκτά καύσιμα, αλλά επίσης περικλείουν ένα πλούσιο χρονικό των επιφανειακών περιβαλλόντων της Γης κατά τη διάρκεια της ιστορίας της. Ως εκ τούτου, το καίριο έργο που τίθεται επί τάπητος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό και τη μέτρηση των σχετικών ποσοτήτων και αναλογιών των ανθρακικών ορυκτών που υπάρχουν στις επιφάνειες των πετρωμάτων. Το εγχείρημα αυτό έχει σημαντική σημασία για την εξερεύνηση ορυκτών και την ολοκληρωμένη κατανόηση του γεωλογικού χαρακτηρισμού των πετρελαίων. Τα πετρώματα αποτελούνται από ένα ποικιλόμορφο σύνολο ορυκτών και εγγενώς περίπλοκες γεωλογικές συνθέσεις, που περιλαμβάνουν οικείες αμαλγάματα, διακυμάνσεις στο μέγεθος των κόκκων, αποσαθρωμένα συστατικά και προϊόντα αλλοίωσης (Kruse, Lefkoff and Dietz, 1993). Η παρουσία τέτοιων μιγμάτων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο στη διαδικασία ορυκτολογικής ταυτοποίησης, ειδικά όταν πρόκειται για την εξακρίβωση των ακριβών αναλογιών των μιγμάτων ορυκτών. Οι συμβατικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση των ανθρακικών ορυκτών σε δείγματα πετρωμάτων περιλαμβάνουν μια σειρά μεθοδολογιών, όπως η περίθλαση ακτίνων X (XRD), η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM), η διαφορική θερμική ανάλυση (DTA), η ανάλυση λεπτών τομών, οι τεχνικές χρώσης και διάφορες άλλες προσεγγίσεις (Bishop et al., 2011). Ωστόσο, η πλειονότητα αυτών των μεθοδολογιών συνεπάγεται δαπανηρές διαδικασίες και είναι χρονοβόρες τόσο όσον αφορά την προετοιμασία όσο και την ανάλυση των δειγμάτων (Vincent et al., 2011). Οι τεχνικές φασματοσκοπίας υπερφασματικής απεικόνισης, όπως προτάθηκαν από τους Kato και συν. (2003), παρουσιάζουν μια πολλά υποσχόμενη μεθοδολογία που εμφανίζει αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά, όπως η ταχύτητα, η αποδοτικότητα, η μη καταστροφικότητα και η αυξημένη ακρίβεια στην ταυτοποίηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό μιγμάτων ανθρακικών ορυκτών.

Η εμφάνιση εργαστηριακών αισθητήρων απεικονιστικής φασματομετρίας, συμπεριλαμβανομένων των υπερφασματικών απεικονιστών HyLogging<sup>TM</sup>, HySpex, SisuROCK και SisuCHEMA, έχει επιφέρει σημαντική πρόοδο στον τομέα των τεχνολογιών υπερφασματικών αισθητήρων αερομεταφερόμενης απεικόνισης. Αυτοί οι αισθητήρες συνδυάζουν τις προηγμένες δυνατότητες ψηφιακής απεικόνισης των αερομεταφερόμενων υπερφασματικών αισθητήρων με την εξαιρετική φασματοσκοπική ανάλυση που προσφέρουν τα φασματόμετρα πεδίου και τα εργαστηριακά φασματόμετρα. Κατά συνέπεια, έχει

δημιουργηθεί μια νέα μορφή υπερφασματικής απεικόνισης, η οποία ενέχει μεγάλες δυνατότητες για την ταυτοποίηση των επιφανειακών ορυκτολογικών συνθέσεων σε γεωλογικά μείγματα (Baissa et al., 2011). Τα φασματόμετρα διαθέτουν τη δυνατότητα λήψης υπερφασματικών εικόνων δειγμάτων σε σκόνη ή δείγματα χειρός, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που περιλαμβάνουν χημική απεικόνιση, φαρμακευτική ανάλυση και ορυκτολογική ταυτοποίηση. Η έλευση αυτών των σχετικά πρόσφατων συνόλων δεδομένων άνοιξε νέους δρόμους για την εξέταση και ερμηνεία περίπλοκων συνόλων επιφανειακής ορυκτολογίας. Παρ' όλα αυτά, τα σύνολα δεδομένων δεν έχουν ακόμη εξεταστεί διεξοδικά προκειμένου να εξακριβωθούν οι συνθέσεις των ορυκτών και να εκτιμηθούν με ακρίβεια οι σχετικές αναλογίες των εν λόγω ορυκτών εντός ενός συγκεκριμένου δείγματος πετρώματος ή γεωλογικού δείγματος. Ως εκ τούτου, η αξιοποίηση υπερφασματικών εικόνων με αυξημένη ανάλυση για την εξακρίβωση της ποσοτικοποίησης των φυσικά εμφανιζόμενων συγχωνευμένων ορυκτών σε γεωλογικούς σχηματισμούς παραμένει ένα δύσκολο έργο, όπως διευκρινίζεται από τους και συν. (2012).

Το φασματόμετρο, που αρχικά προοριζόταν για χημική απεικόνιση, χρησιμεύει ως αυτοματοποιημένη συσκευή υπερφασματικής απεικόνισης που χρησιμοποιείται για την ταχεία σάρωση και ανάλυση ποικίλων δειγμάτων σε εργαστηριακό περιβάλλον. Η απόκτηση εικόνων διευκολύνεται με τη χρήση ενός υπερφασματικού αισθητήρα push-broom, ο οποίος καταγράφει φασματικές πληροφορίες του δείγματος που είναι στερεωμένο στο δίσκο απεικόνισής του. Το όργανο έχει τη δυνατότητα να εξοπλιστεί με αισθητήρα που λειτουργεί στο φάσμα του υπέρυθρου μικρού κύματος (SWIR). Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση εικόνων SisuCHEMA με υψηλότερη ανάλυση προσφέρει ένα αυξημένο επίπεδο χωρικής πολυπλοκότητας, βελτιώνοντας έτσι τα φασματικά δεδομένα που αφορούν τα χαρακτηριστικά των επιφανειακών χαρακτηριστικών εντός των μεμονωμένων εικονοστοιχείων της εικόνας. Η χρήση διαφόρων αλγορίθμων φασματικής αναγνώρισης (Kruse et al., 1993) επιτρέπει τη διερεύνηση συνόλων ή μιγμάτων ορυκτών και την εκτίμηση της σχετικής αφθονίας ορυκτών στις επιφάνειες ανθρακικών πετρωμάτων.

Προκειμένου να διακριθούν οι πληροφορίες σύνθεσης της ορυκτολογίας μέσω της ανάλυσης των φασματικών χαρακτηριστικών τους σε δεδομένα υπερφασματικής απεικόνισης, χρησιμοποιούνται συχνά διάφορες καθιερωμένες μεθοδολογίες φασματικής ταξινόμησης. Οι προαναφερθείσες μεθοδολογίες περιλαμβάνουν την ανάλυση θέσης μήκους κύματος, τον

χαρτογράφο φασματικής γωνίας (SAM) και τη γραμμική φασματική ανάμειξη (LSU), όπως περιγράφεται από τους Rodger και συν. (2012). Τα ποικίλα πλεονεκτήματα των αλγορίθμων φασματικής ταξινόμησης είναι εμφανή στις διάφορες προσεγγίσεις τους, οι οποίες περιλαμβάνουν επίσης σχετικά ακριβείς μεθοδολογίες για την ταυτοποίηση ορυκτών με βάση τα φάσματα εικόνας. Οι προαναφερθείσες μεθοδολογίες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως με σκοπό τη χαρτογραφική αναπαράσταση της ορυκτολογικής σύνθεσης των επιφανειών με τη χρήση υπερφασματικών δεδομένων, σε διάφορα γεωλογικά δείγματα ή περιοχές (Murphy et al., 2012). Η προσέγγιση ανάλυσης της θέσης του μήκους κύματος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις μετατοπίσεις της θέσης της ζώνης και στην παρουσία φασματικών αποκρίσεων με υψηλότερα επίπεδα θορύβου. Η ευαισθησία αυτή προσδιορίζεται μέσω της αξιοποίησης μιας πολωνυμικής προσαρμογής που εφαρμόζεται στα φάσματα μετά την αφαίρεση του συνεχούς, όπως περιγράφεται από τους Rodger και συν. στη δημοσίευσή τους το 2012. Το μέτρο φασματικής ομοιότητας SAM, όπως περιγράφεται στην παραπομπή [24], έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζει αναισθησία απέναντι στις μεταβολές του φωτισμού και του albedo, όπως αναλύεται από τους Aspinall και συν. στην εργασία τους που δημοσιεύθηκε το 2002. Το Κρατικό Πανεπιστήμιο της Λουιζιάνα (LSU) προσφέρει μια συναρπαστική και προκλητική εναλλακτική μεθοδολογία για την αντιμετώπιση της πρόκλησης της ανάμειξης φασμάτων εικονοστοιχείων. Ο αλγόριθμος έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει κλασματικές αφθονίες για συγκεκριμένα τελικά μέλη που περιέχονται σε ένα δεδομένο pixel. Ως εκ τούτου, ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης του μήκους κύματος απορρόφησης και του διακριτικού φασματικού σχήματος διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην άμεση διάκριση της ορυκτολογίας της επιφάνειας (Clark et al., 1990).

Τα φάσματα ανάκλασης στην περιοχή του υπέρυθρου βραχέων κυμάτων (SWIR), που εκτείνονται συγκεκριμένα από 1,0 έως 2,5  $\mu\text{m}$ , παρουσιάζουν αξιοσημείωτη αφθονία φασματικών υπογραφών που σχετίζονται με διάφορα ορυκτά. Στη συγκεκριμένη φασματική περιοχή, τα διαγνωστικά χαρακτηριστικά απορρόφησης εξακριβώνονται με βάση την παρουσία μορίων νερού ( $\text{H}_2\text{O}$ ), ομάδων υδροξυλίου ( $\text{OH}$ ), ανθρακικών ιόντων ( $\text{CO}_3$ ) και θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4$ ). Τα χαρακτηριστικά των φασματικών χαρακτηριστικών απορρόφησης των ορυκτών παρουσιάζουν διακυμάνσεις ανάλογα με τη χημική σύνθεση, τη δομική διάταξη και τα χαρακτηριστικά των δεσμών, όπως διευκρινίστηκε από τον Van der Meer το 1995. Ως εκ τούτου, αυτά τα διακριτικά χαρακτηριστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη

διαφοροποίηση ενός ορυκτού από ένα άλλο. Τα ανθρακικά ορυκτά, όπως ο ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ) και ο δολομίτης ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), αποτελούν τα κυρίαρχα συστατικά που απαντώνται στα ανθρακικά πετρώματα. Το εξεταζόμενο αντικείμενο παρουσιάζει ένα ζεύγος αξιοσημείωτων χαρακτηριστικών απορρόφησης εντός του φάσματος υπέρυθρου μικρού μήκους κύματος (SWIR), συγκεκριμένα στα μήκη κύματος που περιλαμβάνουν 2,530-2,541  $\mu\text{m}$  και 2,333-2,340  $\mu\text{m}$ , καθώς και 2,503-2,520  $\mu\text{m}$  και 2,312-2,323  $\mu\text{m}$ , αντίστοιχα (Baissa et al., 2011). Τα χαρακτηριστικά απορρόφησης που παρατηρήθηκαν μπορούν να αποδοθούν στις δονητικές διεργασίες που παρουσιάζουν τα ανθρακικά ιόντα ( $\text{CO}_2$ -3), όπως διευκρινίστηκε από τους Kurz και συν. (2011). Επιπλέον, ο προσδιορισμός των θέσεων των χαρακτηριστικών απορρόφησης στην περιοχή SWIR για τα μείγματα ασβεστίτη-δολομίτη εξαρτήθηκε από την αντίστοιχη περιεκτικότητα σε ασβεστίτη ή δολομίτη που υπάρχει στα ανθρακικά δείγματα. Τα χαρακτηριστικά των χαρακτηριστικών απορρόφησης που παρουσιάζουν αυτά τα ορυκτά επηρεάζονται επίσης από παράγοντες όπως το μέγεθος των σωματιδίων, η υφή, το πορώδες και η παρουσία ορυκτών προσμίξεων. Η ταυτοποίηση αργιλικών ορυκτών σε στενή συσχέτιση με ανθρακικά χαρακτηρίζεται συνήθως από την παρουσία μιας δονητικής κορυφής απορρόφησης στα 2,20  $\mu\text{m}$  και 2,30  $\mu\text{m}$  περίπου. Η απορρόφηση αυτή αποδίδεται στην ταυτόχρονη εμφάνιση της τεντωτικής δόνησης OH με τους τρόπους κάμψης των Al-OH και Mg-OH, αντίστοιχα (Zaini et al., 2012).

## 2 Εθνικά Πάρκα και Δρυμοί

Τα εθνικά πάρκα διέπονται από την εθνική νομοθεσία, όπως προβλέπεται από τον νόμο 996/1971 (ΦΕΚ Α'192) , του προαναφερθέντος νομοθετικού διατάγματος προβλέπει τη δυνατότητα ανακήρυξης εθνικών πάρκων, οι οποίοι, ως περιοχές με ειδικό καθεστώς προστασίας, προορίζονται να ανακηρυχθούν:

- την προστασία της χλωρίδας
- τη βελτίωση και αύξηση της πανίδας,
- τη διατήρηση των γεωμορφολογικών σχηματισμών,
- την προστασία του φυσικού κάλλους,

- την ανάπτυξη του τουρισμού και τη δημιουργία χώρων αναψυχής για το κοινό,
- τη δημιουργία ευκαιριών απασχόλησης μέσω της ανάπτυξης του τουρισμού στην περιοχή και την αναζωογόνηση της περιοχής, και,
- διεξαγωγή επιστημονικής και δασικής έρευνας (Ταμπάκης, 2020).

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο πλαίσιο της Ελλάδας, ο χαρακτηρισμός Εθνικός Δρυμός προτιμάται έναντι του όρου Εθνικό Πάρκο, ο οποίος έχει αποκτήσει εξέχουσα θέση στη διεθνή χρήση. Η απόδοση του γεγονότος αυτού είναι πιθανό να αποδίδεται στα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της χώρας, σε συνδυασμό με τη συγκέντρωση δασών που βρίσκονται κυρίως σε ορεινές περιοχές. Τα Εθνικά Δάση κατέχουν εξέχουσα σημασία ως η κατεξοχήν ταξινόμηση των προστατευόμενων περιοχών εντός των ορίων της Ελλάδας.

Το έτος 1937 δημοσιεύθηκε επίσημα το έγγραφο Α.Ν. 856/1937. Η προαναφερθείσα νομοθεσία χρησιμεύει για τη διακυβέρνηση και την εποπτεία της διαφύλαξης της ανεκτίμητης φυσικής κληρονομιάς της χώρας. Η νομοθεσία διευκόλυνε τη δημιουργία το πολύ πέντε Εθνικών Πάρκων στο σύνολο της ηπειρωτικής χώρας, οριοθετώντας περιοχές εξαιρετικής σημασίας για τη διατήρηση της φύσης που θα έπαιρναν ξεχωριστό καθεστώς ενισχυμένης προστασίας. Ο βασικός στόχος της νομοθεσίας ήταν η προστασία της βοτανικής γης, η ενίσχυση και ο πολλαπλασιασμός της άγριας ζωής, η διατήρηση των γεωμορφολογικών δομών, η διατήρηση της εγγενούς γοητείας του φυσικού περιβάλλοντος, η τόνωση της τουριστικής ανάπτυξης και ο εξορθολογισμός των επιστημονικών και δασικών ερευνών. Η προαναφερθείσα δήλωση αναδεικνύει την εναρκτήρια ίδρυση του θεσμού των προστατευόμενων περιοχών στην Ελλάδα, ο οποίος αναμφίβολα αποτελεί έναν πρωταρχικό μηχανισμό για τη διαφύλαξη και τη διατήρηση της φυσικής κληρονομιάς της χώρας (Ρέλια, 2011).

Η εναρκτήρια ίδρυση του αρχικού Εθνικού Δρυμού, και συγκεκριμένα του Εθνικού Δρυμού Ολύμπου, πραγματοποιήθηκε το έτος 1938, σύμφωνα με την ψήφιση του κυβερνητικού διατάγματος 20/1938, όπως καταγράφεται στο ΦΕΚ Α 248. Το έτος που συμπίπτει με τα προαναφερθέντα γεγονότα, πραγματοποιήθηκε η ίδρυση του Εθνικού Πάρκου Παρνασσού. Ενσωματωμένος στο Δασικό Κώδικα (Ν.Δ. 86/1969 άρθρα 79, 80, 81) και στη συνέχεια τροποποιημένος από το Ν.Δ. 966/1971 (ΦΕΚ 192 Α'), ο Ν.Δ. 856/1937 εξακολουθεί να υφίσταται ως ενεργό νομοθέτημα μέχρι σήμερα. Ο νόμος αυτός δεν περιλαμβάνει μόνο τη

δημιουργία Εθνικών Πάρκων αλλά προσφέρει επίσης τη δυνατότητα να οριστούν δύο επιπλέον κατηγορίες προστατευόμενων περιοχών, δηλαδή τα Αισθητικά Δάση και τα Μνημεία της Φύσης, με στόχο τη διατήρησή τους. Επί του παρόντος, η συλλογή των δέκα Εθνικών Πάρκων στην Ελλάδα περιλαμβάνει τις ακόλουθες τοποθεσίες (Ζάχαρης, 1997):

1. Όλυμπος (Νότια Πιερία), έκτασης 3.988 εκταρίων.
2. Παρνασσός (Φωκίδα), που ιδρύθηκε το 1939, με έκταση 3.513 εκτάρια.
3. Πάρνηθα (Αττική), ιδρύθηκε το 1961, με έκταση 3.812 εκτάρια.
4. Λίνος (Κεφαλονιά), ιδρύθηκε το 1962, με έκταση 2 862 εκτάρια.
5. Σαμαριά (Χανιά), ιδρύθηκε το 1962, με έκταση 4 850 εκτάρια.
6. Οίτη (Φθιώτιδα), ιδρύθηκε το 1966, με έκταση 7 210 εκτάρια.
7. Πίνδος (Γρεβενά), ιδρύθηκε το 1966, με έκταση 6 927 εκταρίων.
8. Βίκου-Αώος (Ιωάννινα), ιδρύθηκε το 1973, με έκταση 12 600 εκτάρια.
9. Πρέσπες (Φλώρινα), που ιδρύθηκε το 1974, με έκταση 19 470 εκτάρια.
10. Σούνιο (Αττική), ιδρύθηκε το 1974, με έκταση 3 500 εκτάρια.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες στον τομέα των διαχειριστικών μελετών, προβλέπεται σημαντική αύξηση της συνολικής έκτασης των πάρκων της χώρας. Η επέκταση αυτή αναμένεται να ανυψώσει τη σημερινή έκταση των 687.320 εκταρίων, η οποία αντιπροσωπεύει μόλις το 0,52% της συνολικής έκτασης της χώρας, σε σημαντικά μεγαλύτερη των 1.967.820 εκταρίων, η οποία αποτελεί περίπου το 1,5% της συνολικής έκτασης της Ελλάδας (Μπεριάτος, 2003).

## 2.1 Εθνικοί Δρυμοί και προστατευόμενες περιοχές

Η ανθρωπογενής παρέμβαση στα φυσικά συστήματα, σε συνδυασμό με την υπερβολική χρήση των φυσικών πόρων, έχει ως αποτέλεσμα τη διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας και την υποβάθμιση τόσο του φυσικού περιβάλλοντος όσο και της ανθρώπινης ευημερίας.

Ο κίνδυνος της εξαφάνισης των ειδών στη σφαίρα της χλωρίδας και της πανίδας, παράλληλα με την εκμηδένιση των ιδιαίτερων φυσικών τοπίων και οικοτόπων, αποτέλεσε ηχηρό σύνθημα για την ανθρωπότητα. Αυτή η συνειδητοποίηση ώθησε την ανθρωπότητα να αναγνωρίσει την επιτακτική ανάγκη εφαρμογής κατάλληλων μέτρων για τη διόρθωση των ολέθριων αποτελεσμάτων που απορρέουν από αυτή την πορεία.

Οι αρχικές συστηματικές προσπάθειες για τη διαφύλαξη των ειδών που κινδυνεύουν με εξαφάνιση εμφανίστηκαν πριν από περίπου 150 χρόνια, κυρίως μέσω της εφαρμογής νομοθετικών μέτρων και απαγορευτικών δράσεων. Ταυτόχρονα, άρχισαν να ορίζονται περιοχές με εξαιρετικό φυσικό μεγαλείο για εθνική προστασία. Η ίδρυση προστατευόμενων περιοχών, που στο εξής θα αναφέρονται ως " PAs ", μπορεί να αναχθεί στις αρχικές προσπάθειες που ανέλαβαν οι εθνικές κυβερνήσεις. Η αρχική προσπάθεια για τη δημιουργία μιας προστατευόμενης περιοχής μπορεί να αποδοθεί σε μια νομοθετική δράση που ανέλαβε το Κογκρέσο των Ηνωμένων Πολιτειών το 1872. Η πράξη αυτή όρισε μια σημαντική έκταση στην περιοχή Yellowstone ως Εθνικό Πάρκο. Αντίθετα, στην Ευρώπη, οι πρώτες προσπάθειες μπορούν να εντοπιστούν στην εποχή του Ναπολέοντα Βοναπάρτη, συγκεκριμένα στο δάσος του Fontainebleau στη Γαλλία (Μπεριάτος, 2003).

Η αντίληψη για την προστασία της φύσης μέσω των Προστατευόμενων Περιοχών πέρασε από διάφορες φάσεις/αντιλήψεις κατά τη διάρκεια του ενάμιση περίπου αιώνα που γεννήθηκε και άνθισε η περιβαλλοντική συνείδηση στη βιομηχανική εποχή και μπορεί να συνοψιστεί στις ακόλουθες κύριες τάσεις:

- η αντίληψη της απόλυτης προστασίας με αποκλειστικό ιδεολογικό στόχο τη διάσωση της φύσης με κάθε τίμημα και κόστος (όχι μόνο οικονομικό),
- η αντίληψη της προστασίας που βασίζεται σε μια υποδειγματική βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων με κύριο και πρωταρχικό στόχο τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος, το οποίο εξακολουθεί να παραμένει εκτός της παραγωγικής διαδικασίας, αλλά με κατανόηση των άλλων ανθρώπινων αναγκών

- την έννοια της ενσωμάτωσης της προστασίας στο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης αειφόρου διαχείρισης και σχεδιασμού του χώρου και του περιβάλλοντος (χωρική ανάπτυξη), όπου τα FPs αποτελούν οργανικά στοιχεία της οικονομικής, κοινωνικής και πολιτιστικής ανάπτυξης και εξέλιξης των ανθρώπινων κοινωνιών (Μπεριάτος, 2003).

Στο εξής, σύμφωνα με το επιστημονικό έργο του Μπεριάτου (2003), η νέα αντίληψη θέτει τις προστατευόμενες περιοχές (PAs) ως τομείς "ολοκληρωμένης βιώσιμης διακυβέρνησης" που δεν εξυπηρετούν μόνο τον στόχο της προστασίας του περιβάλλοντος, αλλά περιλαμβάνουν επίσης όλες τις άλλες σχετικές κοινωνικές, οικονομικές και πολιτιστικές απαιτήσεις, κυρίως εκείνες του ντόπιου πληθυσμού και στη συνέχεια εκείνες των επισκεπτών που προέρχονται από το ευρύτερο εθνικό και διεθνές περιβάλλον. Ως εκ τούτου, στο πλαίσιο αυτού του εννοιολογικού παραδείγματος, καθίσταται επιτακτική ανάγκη να λαμβάνονται δεόντως υπόψη οι τοπικές και περιφερειακές συνθήκες και ιδιαιτερότητες κατά την άσκηση της διαχείρισης. Σύμφωνα με το επιστημονικό έργο του Μπεριάτου (2003), η ενσωμάτωση μέτρων προστασίας ως αναπόσπαστο στοιχείο της ορθολογικής αξιοποίησης των φυσικών πόρων στις περιοχές αυτές έχει τη δυνατότητα να αυξήσει σημαντικά τις δυνατότητές τους, περιλαμβάνοντας τόσο τις συμβατικές όσο και τις σύγχρονες ανθρώπινες προσπάθειες. Η διακοπή αυτών των δραστηριοτήτων δεν θα στερούνταν απλώς προστατευτικών ιδιοτήτων, αλλά θα προκαλούσε μάλλον βλάβη στα προστατευόμενα στοιχεία. Σύμφωνα με την οδηγία Natura 2000 που θέσπισε η Κοινότητα, υπάρχει μια διαλεκτική αλληλεπίδραση μεταξύ των πεδίων της προστασίας, της διαχείρισης και της χρήσης. Είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι η ορθή διαχείριση μιας περιοχής αποτελεί προϋπόθεση για την προστασία της, ενώ ταυτόχρονα αναγνωρίζεται ότι η χρήση και η εκμετάλλευση της εν λόγω περιοχής καθιστούν αναγκαία τη διαφύλαξή της.

Οι προστατευόμενες περιοχές, όπως ορίζονται από τον Κασιούμη (1993), αναφέρονται σε καθορισμένες χερσαίες ή υδάτινες περιοχές που διαθέτουν διακριτά οικολογικά ή τοπικά χαρακτηριστικά. Οι περιοχές αυτές προστατεύονται από νομικά πλαίσια που θεσπίζουν ένα μοναδικό καθεστώς διαχείρισης, με στόχο τη διατήρηση των εξαιρετικών αξιών τους τόσο για τις σημερινές όσο και για τις μελλοντικές γενιές. Επιπλέον, οι προστατευόμενες περιοχές προσπαθούν επίσης να ικανοποιήσουν τις σύγχρονες κοινωνικές απαιτήσεις. Σύμφωνα με τον ορισμό της Διεθνούς Ένωσης για τη Διατήρηση της Φύσης (IUCN), μια προστατευόμενη περιοχή μπορεί να περιγραφεί ως μια σαφώς οριοθετημένη γεωγραφική περιοχή που έχει

εντοπιστεί, οριστεί και διαχειριστεί μέσω νομικών ή άλλων αποτελεσματικών μέτρων. Πρωταρχικός στόχος των μέτρων αυτών είναι να διασφαλιστεί η διαρκής προστασία των φυσικών πόρων, ενώ ταυτόχρονα να διατηρηθεί η εγγενής αξία των οικοσυστημάτων και της πολιτιστικής κληρονομιάς (Καραχάλιος, 2007).

## 2.2 Το νομικό πλαίσιο και η διαχείριση των εθνικών δρυμών

Το ΝΔ 86/1969, όπως τροποποιήθηκε με το ΝΔ 996/1971 (ΦΕΚ Α'192) διέπει τη λειτουργία των εθνικών δρυμών. Σημασία έχει να αναφερθεί ότι κάθε εθνικός δρυμός, σύμφωνα με το άρθρο 79 του ΝΔ 86/1969, όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 5 του ΝΔ 996/1971, αποτελείται από τις εξής ζώνες (Ρέλια, 2011):

α) τον πυρήνα, που απολαμβάνει απόλυτη προστασία, έκτασης τουλάχιστον 1500 εκταρίων, ενώ εξαιρούνται όσοι δρυμοί ιδρύονται στα νησιά, που μπορούν να έχουν μικρότερη έκταση, και

β) την περιφερειακή ζώνη, έκτασης τουλάχιστον ίσης με τον πυρήνα, η εκμετάλλευση της οποίας οργανώνεται με τρόπο που συμβάλλει στην εκπλήρωση των σκοπών που επιδιώκονται από τον πυρήνα του Εθνικού Δρυμού.

Επίσης το άρθρο 6 του ΝΔ 996/1971 αντικαθιστώντας το άρθρο 80 του ΝΔ 86/1969, καθόρισε τις ενέργειες και δραστηριότητες που επιτρέπονται και αντιστοίχως αυτές που απαγορεύονται στον πυρήνα και στην περιφερειακή ζώνη του δρυμού. Ειδικότερα όλες οι μορφές χρήσεως στον πυρήνα του δρυμού καθώς και τα εμπράγματα δικαιώματα τους που δεν ανήκουν στο δημόσιο, απαλλοτριώνονται αναγκαστικά υπέρ του δημοσίου για να εκπληρωθούν οι σκοποί ίδρυσης του δρυμού. Επίσης στον πυρήνα είναι απαγορευμένη, με ποινή απόλυτης ακυρότητας, κάθε μορφή παραχώρησης, προς φυσικά ή νομικά πρόσωπα, δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου, όπως επίσης και σε δημόσιες υπηρεσίες προς επιδίωξη σκοπών διαφορετικών από τους σκοπούς που επιδιώκονται με την ίδρυση του δρυμού (Ρέλια, 2011).

Στην περιφερειακή ζώνη, που σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελεί ζώνη περιορισμένης προστασίας, όλες οι δραστηριότητες τελούν υπό τον έλεγχο των αρμόδιων υπηρεσιών, ώστε να διαφυλαχθεί ο πυρήνας από τυχόν αρνητικές επιπτώσεις. Προβλέπεται: α) η προστασία και αύξηση της άγριας πανίδας και χλωρίδας, β) η διατήρηση των γεωμορφικών σχηματισμών και η προστασία τοπίων φυσικού κάλλους, γ) η λήψη προληπτικών και κατασταλτικών μέτρων με σκοπό την προστασία του εθνικού δρυμού, δ) η ίδρυση εκτροφείων θηραμάτων, ε) η κατασκευή οδικού δικτύου και αναγκαίων δασικών εγκαταστάσεων, στ) η ίδρυση θερινών και χειμερινών εγκαταστάσεων για δραστηριότητες όπως κατασκήνωση, ορειβασία, τουρισμός, αθλητισμός και ζ) η συλλογή φυτικών και ζωικών ειδών για την εξυπηρέτηση επιστημονικών σκοπών (Ρέλια, 2011).

Ο Μπεριάτος (1999) παρατηρεί ότι οι δρυμοί που λειτουργούν στην Ελλάδα, καλύπτουν έκταση 687,320 στρ., με τα 344.780 στρ. να αποτελούν τους πυρήνες και τα λοιπά 342.540 στρ. να αποτελούν τις περιφερειακές ζώνες. Προκειμένου το επίπεδο προστασίας, οργάνωσης και λειτουργίας των Εθνικών Δρυμών να αναχθεί στα κρατούντα διεθνή πρότυπα, το Τμήμα Δασικού Περιβάλλοντος, Εθνικών Δρυμών και Δασικής Αναψυχής του Υπουργείου Γεωργίας, ανέθεσε, κατά τη δεκαετία του '80, την εκπόνηση ολοκληρωμένων «Σχεδίων Διαχείρισης» και για τους 10 Εθνικούς Δρυμούς της Ελλάδας (Μπεριάτος, 2003).

Επίσης ο ίδιος συγγραφέας επισημαίνει ότι θεμελιώδη ρόλο στην συγκρότηση ενός οργανωτικού και λειτουργικού πλαισίου μπορούν να διαδραματίσουν οι ειδικοί φορείς διαχείρισης, οι οποίοι αποτελούν τον καταλύτη για την ικανοποίηση των οικονομικών, κοινωνικο-πολιτικών και τεχνογνωστικών παραμέτρων μιας αποτελεσματικής πολιτικής προστασίας της φύσης στις Προστατευόμενες Περιοχές (Μπεριάτος 2003).

Η διαχείριση των Προστατευόμενων Περιοχών, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται κατά τα παραπάνω και οι Εθνικοί Δρυμοί, δεν ήταν εύκολη υπόθεση θεσμικά και νομικά, καθώς απαιτούσε ευελιξία στην επιλογή των νομικών εργαλείων, κυρίως ως προς την επιλογή του κατάλληλου τύπου Φορέα Διαχείρισης, ανάλογα με την ιδιαιτερότητα και σπουδαιότητα της κάθε Προστατευόμενης Περιοχής (ΠΠ). Σε σχέση με τους φορείς διαχείρισης (ΦΔ) των ΠΠ σημειώνεται (Μπεριάτος, 2003) ότι ο νόμος 1650/86, με το άρθρο 21 παρ. 2, δεν προέβλεπε την σύσταση τους με τρόπο σαφή, δηλαδή υπό τη μορφή νομικού προσώπου, που αποτελεί

τον κανόνα διεθνώς, αλλά αναφερόταν ασαφώς στη δυνατότητα «να συνιστώνται ειδικές υπηρεσίες».

Ιδιαίτερα σημαντική για την σύσταση των Φορέων Διαχείρισης ΠΠ υπήρξε η ψήφιση του νόμου 2742/1999 (ΦΕΚ Α΄ 207). Στις σχετικές διατάξεις για τη Διοίκηση και διαχείριση προστατευόμενων περιοχών και ειδικότερα στο άρθρο 15 προβλέπονται οι διαδικασίες συγκρότησης και λειτουργίας των ΦΔ που είναι πλέον νομικά πρόσωπα ιδιωτικού δικαίου εποπτευόμενα από το ΥΠΕΧΩΔΕ (νυν Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας) με συμβούλιο αποτελούμενο από εκπροσώπους των συναρμοδίων υπουργείων της περιφερειακής διοίκησης, της τοπικής αυτοδιοίκησης α΄ και β΄ βαθμού καθώς και των Μη Κυβερνητικών Οργανώσεων.

Καίριας σημασίας ζητήματα που σχετίζονταν με την επακριβή οριοθέτηση των ΠΠ στις οποίες θα ασκούσαν οι αρμοδιότητες των ΦΔ και παρακώλυαν την εφαρμογή του ανωτέρω νόμου 2742/1999, επιλύθηκαν με την ψήφιση και θέση σε ισχύ του άρθρου 13 του νόμου 3044/2002 (ΦΕΚ Α΄197), με το οποίο ιδρύθηκαν 25 φορείς διαχείρισης, μεταξύ των οποίων και του Εθνικού Δρυμού Σαμαριάς, ενώ ταυτόχρονα επιλύθηκε το κρίσιμο πρόβλημα του αρχικού διοικητικού, νομικού και εδαφικού καθορισμού της περιοχής, καθώς καθορίστηκε σε επίσημα επικυρωμένο τοπογραφικό διάγραμμα η περιοχή αρμοδιότητάς τους, ώστε να υπάρχει και η απαραίτητη εδαφική επικράτεια του κάθε ΦΔ ως νομικού προσώπου. Στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων του κάθε Φορέα Διαχείρισης εντάσσεται και η εκπόνηση Διαχειριστικού Σχεδίου, ενός δηλαδή σχεδίου που θέτει τους βασικούς στόχους, τους άξονες δράσης και τα πεδία παρέμβασης (Καψάλης, 2020).

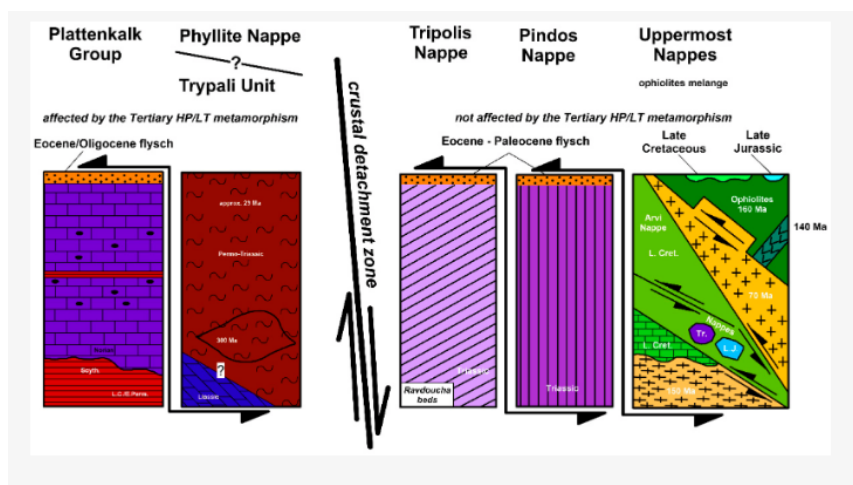
## 3 Εθνικός δρυμός Σαμαριάς

### 3.1 Γεωλογία της Κρήτης

Το νησί της Κρήτης βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από την ενεργή ζώνη καταβύθισης όπου η αφρικανική πλάκα συγκλίνει με την ευρασιατική πλάκα. Αυτό το γεωλογικό περιβάλλον έχει οδηγήσει στην προοδευτική ανύψωση της Κρήτης στο σύνολό της, η οποία

χαρακτηρίζεται από περίπλοκες και δυναμικές τεκτονικές διεργασίες, όπως διευκρινίζεται από τους Jolivet και συν. (2018). Το τεκτονοστρωματογραφικό καθεστώς στην περιοχή των Άλπεων επιδεικνύει υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας, όπως αποδεικνύεται από την παρουσία πολλαπλών ενοτήτων και λιθολογικών σχηματισμών που επηρεάζονται από συμπιεστικές τεκτονικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένων των πτυχώσεων και των επωθήσεων (Fassoulas et al., 1994). Οι κύριες τεκτονικές ενότητες της Κρήτης, τοποθετημένες σε στρωματογραφική ακολουθία από το κατώτερο προς το ανώτερο, περιλαμβάνουν τις ακόλουθες οντότητες (Papanikolaou & Vassilakis, 2010):

- (i) Ομάδα Plattenkalk (παρααντόχθονα)
- (ii) Φυλλιτικό κάλυμμα (Phyllite Nappe)
- (iii) Κάλυμμα της Τρίπολης
- (iv) Κάλυμμα της Πίνδου
- (v) Ανώτατο Κάλυμμα

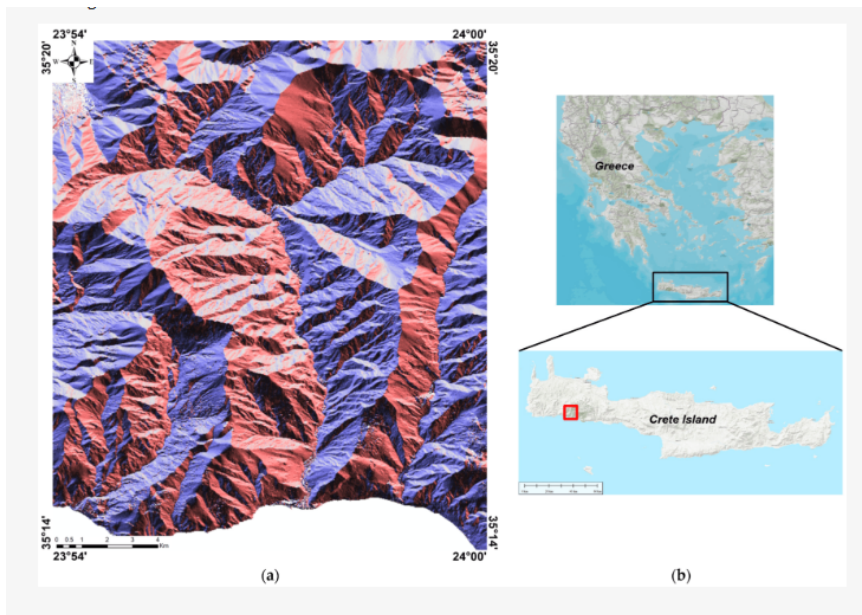


Εικόνα 1 Τεκτονική μετατόπιση των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων και των παρειών της Κρήτης (Manoutsoglou et al., 2022)

### 3.2 Γεωλογία Εθνικού Δρυμού Λευκών Ορέων (Σαμαριάς)

Το φαράγγι της Σαμαριάς βρίσκεται εντός του ορεινού όγκου των Λευκών Ορέων, συγκεκριμένα στη νοτιοδυτική περιοχή της Κρήτης. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατέχει τη διάκριση να χαρακτηρίζεται ως ένας από τους αξιόλογους Εθνικούς Δρυμούς της Ελλάδας, καθεστώς που απέκτησε το έτος 1962. Η προαναφερθείσα γεωμορφολογική δομή κατέχει μεγάλη σημασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς αναγνωρίζεται ευρέως ως ένα από τα πιο αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά της. Εκτείνεται σε απόσταση περίπου 13 χιλιομέτρων και έχει προσανατολισμό βορρά-νότου. Η παγκόσμια αναγνώριση που αποδίδεται στο φαράγγι της Σαμαριάς τεκμηριώνεται από πληθώρα διεθνών διακρίσεων.

- UNESCO, Ο άνθρωπος και το αποθεματικό της βιόσφαιρας
- Ευρωπαϊκό Δίπλωμα Προστατευόμενων Περιοχών, που απονέμεται από το Συμβούλιο της Ευρώπης
- Ευρωπαϊκό βιογενετικό απόθεμα του Συμβουλίου της Ευρώπης
- Σημαντικές περιοχές για τα πουλιά από τη Birdlife International
- Προστατευόμενη περιοχή NATURA 2000 με κωδικό GR4340014 (Ζώνη Ειδικής Προστασίας: ZSP) και θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους γεωτόπους της Ελλάδας. Επιπλέον, η ευρύτερη περιοχή των Λευκών Ορέων ανήκει στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Προστατευόμενων Περιοχών Natura 2000, με κωδικό GR4340008H, και έχει πιστοποιηθεί ως Τόπος Παγκόσμιας Σημασίας (PUI).



*Manoutsoglou et al., 2022*

*Εικόνα 2 Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου του φαράγγιού της Σαμαριάς και η θέση του στην Ελλάδα*

Τα Λευκά Όρη αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο τεκτονικό παράθυρο που δημιουργήθηκε από διεργασίες ανύψωσης, οι οποίες συνδέονται με την ανάδυση των κατώτερων τεκτονικών καλυμμάτων, και συγκεκριμένα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων και της Ενότητας Τρυπαλίου (Pavlaki et al., 2013). Τα βουνά αποτελούνται από ανθρακικά και ρωγμωμένα (fractured) πετρώματα, η λιθολογία των οποίων, σε συνδυασμό με τις τεκτονικές διεργασίες (κυρίως την ανύψωση) και τις υψηλές βροχοπτώσεις, έχουν συμβάλει στην ευρεία καρστική ανάπτυξη. Αποτελέσματα της καρστικοποίησης των βουνών είναι μία εντυπωσιακή ποικιλία από καρστικές γεωδομές, όπως σπήλαια, φαράγγια, οροπέδια, κοιλάτες (potholes) και μεγάλους υδροφορείς (Pavlaki et al., 2013).

Τα ανθρακικά πετρώματα που δομούν τα Λευκά Όρη καταγράφουν χαμηλότερες θερμοκρασίες μεταμόρφωσης (περίπου 270°C; Rahl et al., 2005) σε σχέση με τους Πλακώδεις Ασβεστόλιθους της Κεντρικής Κρήτης, οι οποίες μειώνονται από βορρά προς νότο (Soujon and Jacobshagen, 2001).

Τα βουνά οριοθετούνται από τα κανονικά ρήγματα F1, F4 με διεύθυνση Α-Δ και F2, F3 με διεύθυνση Β-Ν (Pavlaki et al., 2013). Η γεωμετρία και η μορφοτεκτονική τους ανάπτυξη υποδεικνύει ότι δημιουργήθηκαν ως δομές παραμόρφωσης, κατά τη διάρκεια των επωθητικών γεγονότων του Ύστερου Ολιγόκαινου – Πρώιμου Μειόκαινου. Τα ρήγματα επανενεργοποιήθηκαν σε όλες τις επακόλουθες φάσεις ώστε να ανυψωθούν τα βουνά (Pavlaki et al., 2013).

Η τεκτονική της περιοχής των Λευκών Ορέων χαρακτηρίζεται πολύπλοκη, με τις πτυχώσεις να επικρατούν έναντι των ρηγμάτων (Τάταρης και Χριστοδούλου, 1965). Οι πτυχές διακρίνονται σε εκείνες που έχουν άξονα διεύθυνσης Α-Δ και σε εκείνες με άξονα Β-Ν, με αποκλίσεις διευθύνσεως ΑΒΑ-ΔΝΔ και ΒΒΑ-ΝΝΔ. Η περιοχή αυτή αποτελεί ένα τεράστιο αντικλινό, του οποίου η αξονική γραμμή φαίνεται στο σχήμα 3. Το πλάτος του αντικλίνου είναι μεγαλύτερο των 1000m. Στον περιβάλλοντα χώρο του μεγάλου καρστικού κοιλώματος του Ομαλού, το μεγαλύτερο μέρος του ΒΔ σκέλους (limb) του αντικλίνου επικαλύπτεται τεκτονικά από πετρώματα της Ενότητας Τρυπαλίου (Manutsoglu et al., 2003). Ο πυρήνας του αντικλίνου δομείται από στρωματολιθικούς δολομίτες και ασβεστιτικά μάρμαρα του σχηματισμού Μανρί (Soujon et al., 1998). Στα νότια, αυτά τα μάρμαρα περιορίζονται από μία απότομη, θραυστιγενή τεκτονική επαφή, η οποία εντοπίζεται σε μήκος αρκετών χιλιομέτρων. Το ΝΑ σκέλος του αντικλίνου διακόπτεται από το φαράγγι της Σαμαριάς (Manutsoglu et al., 2003).

Επίσης, οι διευθύνσεις των ρηγμάτων στη περιοχή είναι κυρίως παράλληλες με τους άξονες των πτυχών. Εκτός αυτού, παρατηρήθηκαν ορισμένες κάμψεις των νεογενών στρωμάτων με τη διεύθυνση του άξονα να είναι Β 60° Δ, οι οποίες οφείλονται είτε στην επίδραση νεότερων μεταλικών πτυχωσιγενών δυνάμεων είτε στην επίδραση μετα-πλειοκαινικών ρηγμάτων αυτής της διεύθυνσης (Τάταρης και Χριστοδούλου, 1965). Τέλος, στο δυτικό τμήμα των Λευκών Ορέων, στο δυτικό πρηνές της κορυφής του Βολακιά, η Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων είναι πτυχωμένη με τους υπερκείμενους ασβεστόλιθους της Ενότητας Τρυπαλίου.

Η ύπαρξη αναβαθμίδων επιβεβαιώνει τις κινήσεις της περιοχής κατά την Τεταρτογενή περίοδο (Τάταρης και Χριστοδούλου, 1965). Διακρίνονται σε παλαιότερες και νεότερες της συγκεκριμένης περιόδου. Οι παλαιότερες αναβαθμίδες παρατηρούνται κυρίως εντός των κοιλάδων και κοντά στις νότιες ακτές της Κρήτης και είναι χειμαρρώδους προέλευσης. Η πιο παλιά αναβαθμίδα βρίσκεται στην περιοχή της Αγίας Ρούμελης και κοντά στην έξοδο του φαραγγιού του Κλάδου, με το ύψος της να φτάνει τα 30-40m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ρήγματα νεότερης ηλικίας, γενικής διεύθυνσης Α-Δ, επηρέασαν τις παλαιότερες αναβαθμίδες (Τάταρης και Χριστοδούλου, 1965).

### 3.3 Το κλίμα της περιοχής

Η Κρήτη παρουσιάζει ένα εύκρατο μεσογειακό κλίμα, γνωστό για την ηπιότητα και την υγιεινή του, που την καθιστά ως μία από τις πιο ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες στην Ευρώπη. Ο ορεινός όγκος των Λευκών Ορέων, που υψώνεται σε υψόμετρο 2.453 μέτρων, ασκεί επιβλητική παρουσία στην τοπογραφία της δυτικής Κρήτης. Η περιοχή αυτή ξεχωρίζει ως η πιο υπερυψωμένη και ξηρή περιοχή του νησιού, που χαρακτηρίζεται από ρηχά, άγονα, βραχώδη και απόκρημνα εδάφη. Παρά τις δύσκολες αυτές εδαφικές συνθήκες, αυτά ακριβώς τα υποστρώματα χρησιμεύουν ως η κύρια πηγή συλλογής νερού στην περιφερειακή ενότητα Χανίων, τροφοδοτώντας τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Η ετήσια εκτίμηση για τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στις υπερυψωμένες περιοχές ξεπερνά τα 3.000 mm. Επιπλέον, η παραμονή του χιονιού μέχρι τα μέσα Ιουνίου στα μεγάλα υψόμετρα μπορεί να αποδοθεί στις χαμηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούν στις ορεινές περιοχές (Καλογεράκη et al., 2015).

Στις τοπογραφικά υπερυψωμένες και χιονισμένες περιοχές εντός των ορίων του Εθνικού Πάρκου, οι επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες εκδηλώνονται ως ψυχρές κατά τη χειμερινή περίοδο και μέτρια εύκρατες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η εμφάνιση χιονοπτώσεων παρατηρείται κατά τη χρονική περίοδο από τον Νοέμβριο έως τον Μάιο, με τη διασπορά τους να παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με τις ποικίλες υψομετρικές κλίσεις. Στα όρια του φαραγγιού της Σαμαριάς, μιας περιοχής που χαρακτηρίζεται από άφθονη και πυκνοκατοικημένη βλάστηση, τα ατμοσφαιρικά ρεύματα που προέρχονται από την κοντινή θάλασσα ασκούν αισθητή επίδραση στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Το

φαινόμενο αυτό δημιουργεί ένα εύκρατο κλίμα κατά τους χειμερινούς μήνες και ένα ευχάριστα δροσερό κλίμα κατά τη θερινή περίοδο, ιδίως όσο πλησιάζει κανείς στην έξοδο του φαραγγιού (Καλογεράκη et al., 2015).

Με βάση τα ευρήματα του Πέννα (1977), μπορεί να συναχθεί ότι υπάρχει μια διακριτή διαφορά θερμοκρασίας της τάξης του 1°C μεταξύ της νότιας παράκτιας ζώνης και της βόρειας ακτής. Επιπλέον, η νότια παράκτια ζώνη της Κρήτης παρουσιάζει ένα εξαιρετικό επίπεδο ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο συγκαταλέγεται μεταξύ των υψηλότερων που έχουν καταγραφεί στο νησί. Σε σχέση με τη βροχύπτωση, έχει σημειωθεί ότι με βάση τους υπολογισμούς που πραγματοποίησε ο N. Rosenan το 1965, όπως παραθέτει η Καλογεράκη το 2015, η ετήσια βροχύπτωση στη δυτική Κρήτη, που περιλαμβάνει την έκταση του Εθνικού Πάρκου, παρουσιάζει μια διακύμανση από 550 mm στην παράκτια περιοχή έως 2.750 mm στις υπερυψωμένες ορεινές περιοχές που ξεπερνούν τα 2.000 m.

Κατά τις περιόδους χειμώνα, άνοιξη και φθινόπωρο, οι άνεμοι στην περιοχή που περιλαμβάνει την Κρήτη και την ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου παρουσιάζουν έλλειψη σταθερότητας και παρουσιάζουν ακανόνιστα μοτίβα. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποδοθεί στις διακυμάνσεις των βαρομετρικών συστημάτων κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων. Αντίθετα, η θερινή περίοδος χαρακτηρίζεται από την επικράτηση σχετικά σταθερών ανέμων, λόγω των σχεδόν σταθερών βαρομετρικών συνθηκών που συνήθως επικρατούν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου του έτους. Οι βόρειοι άνεμοι, οι οποίοι επικρατούν κατά τη θερινή περίοδο, παρουσιάζουν ενίσχυση της έντασής τους καθώς κατεβαίνουν από το εξέχον γεωγραφικό στοιχείο που είναι γνωστό ως όρος Τρύπαλι, και τελικά επιτυγχάνουν αξιοσημείωτες ταχύτητες στην περιοχή του Φραγκοκάστελλου. Οι επικρατούντες δυτικοί άνεμοι παρουσιάζουν συνήθως μέτρια ένταση, η οποία ενισχύεται κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, παρατηρείται μια αξιοσημείωτη αύξηση της κίνησης των οχημάτων, η οποία, σε συνδυασμό με την επίδραση περιφερειακών παραγόντων, δημιουργεί ένα πρότυπο ανέμων πάνω από το νησί της Κρήτης που παρουσιάζει διαρκείς διακυμάνσεις τόσο στον προσανατολισμό όσο και στο μέγεθός του (Καλογεράκη et al., 2015)

### 3.4 Το τοπίο και η γεωμορφολογία του

Σύμφωνα με τον Zacharis (1997), η περιοχή που περιλαμβάνει το Εθνικό Πάρκο Λευκών Ορέων/Σαμαριάς παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα γεωμορφολογικών σχηματισμών. Οι σχηματισμοί αυτοί δημιουργούν ιδιόμορφα και ασυνήθιστα τοπία, που χαρακτηρίζονται από πολυάριθμες αντιθέσεις, άτακτα χάσματα και απότομες βραχώδεις πλαγιές. Συλλογικά, τα στοιχεία αυτά συμβάλλουν σε μια ξεχωριστή οντότητα που ενσαρκώνει την αδάμαστη άγρια φύση, τη μεγαλοπρέπεια και το μεγαλείο, προκαλώντας βαθύ δέος και θαυμασμό σε όσους την επισκέπτονται. Τα Λευκά Όρη, γνωστά και ως Μαδάρες, καλύπτουν ένα σημαντικό τμήμα του νομού Χανίων, εκτεινόμενα από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Αυτή η οροσειρά καλύπτει περίπου το 40% της συνολικής έκτασης του νομού. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατέχει τη διάκριση του δυτικότερου και πιο τρομερού από άποψη μεγέθους και όγκου μεταξύ των οροσειρών της Κρήτης. Χαρακτηριζόμενα από ψηλές κορυφές και πολυάριθμα φαράγγια, τα Λευκά Όρη αποτελούν εξέχον χαρακτηριστικό του κρητικού τοπίου.

Συγκεκριμένα, εκτείνεται από τη δυτική περιοχή της επαρχίας Σελίνου, περιλαμβάνοντας τμήματα των επαρχιών Αποκορώνου και Κυδωνίας, καθώς και το σύνολο της επαρχίας Σφακίων, φτάνοντας μέχρι τα όρια του νομού Ρεθύμνου. Η πρωταρχική έκταση των Λευκών Ορέων, που περιλαμβάνει υψόμετρα που υπερβαίνουν τα 800 μέτρα, εκτείνεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών  $23^{\circ} 44' 19''$  και  $24^{\circ} 17' 54''$ , καθώς και των γεωγραφικών μηκών  $35^{\circ} 11' 25''$  και  $35^{\circ} 27' 00''$ . Η περιοχή αυτή έχει μήκος περίπου 50 χιλιόμετρα από το δυτικότερο σημείο της έως το ανατολικότερο σημείο της, ενώ το πλάτος της εκτείνεται περίπου 25 χιλιόμετρα από το βορειότερο σημείο της έως το νοτιότερο σημείο της.

Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψόμετρο άνω των 800 μέτρων έχουν συνολική έκταση 510,28 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Ωστόσο, αν ληφθούν υπόψη οι τοπογραφικές ιδιαιτερότητες που ενυπάρχουν στην περιοχή, η αντίστοιχη έκταση επεκτείνεται σε 591,40 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Μεταξύ αυτών των στοιχείων, οι αντίστοιχες εκτάσεις 37,51 km<sup>2</sup> ή 41,96 km<sup>2</sup> αφορούν περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψόμετρο που υπερβαίνει το όριο των 2.000 μέτρων. Η κορυφή της Πάχνης, που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από την κεντρική περιοχή των Λευκών Ορέων, φτάνει σε υψόμετρο 2.453 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Αυτή η αξιοσημείωτη κορυφή είναι η δεύτερη ψηλότερη κορυφή

στο νησί της Κρήτης, ακολουθώντας μόνο την Ίδη (Ψηλορείτης) με την κορυφή της γνωστή ως Τίμιος Σταυρός, η οποία φτάνει σε ελαφρώς μεγαλύτερο υψόμετρο των 2.456 μέτρων.

Η τοπογραφία των Λευκών Ορέων παρουσιάζει αξιοσημείωτες αντιπαραθέσεις και ξεχωριστά χαρακτηριστικά, όπως μεγαλοπρεπείς κορυφές, βαθιές χαράδρες, υπερυψωμένα οροπέδια, απόκρημνα βράχια, θαλάσσια σπήλαια και κατά διαστήματα ειδυλλιακούς αμμόδεις όρμους. Όσον αφορά τα φαράγγια συγκεκριμένα, αξίζει να σημειωθεί ότι αποτελούν σημαντικό τοπογραφικό χαρακτηριστικό της περιοχής, καθώς διατρέχουν τη νότια πλευρά των Λευκών Ορέων με κατεύθυνση από βορρά προς νότο. Η παρουσία διακριτών βιοκλιματικών συνθηκών στην περιοχή οδηγεί στο σχηματισμό αυτών των φαραγγιών, τα οποία με τη σειρά τους λειτουργούν ως μοναδικά κλιματικά και εδαφικά μικροπεριβάλλοντα. Κατά συνέπεια, τα φαράγγια αυτά λειτουργούν ως αποθήκες βιογενετικών αποθεμάτων στην περιοχή.

Σύμφωνα με την Χατζημαρκάκη (2008: 64-65), το φαράγγι της Σαμαριάς βρίσκεται ανάμεσα σε δύο υπερυψωμένες πηγές, που προέρχονται από τις κορυφές του Στρεφομαδίου (με υψόμετρο 1.921 μέτρα) και της Μελίνδου (με υψόμετρο 2.133 μέτρα) εντός των Λευκών Ορέων, καταλήγοντας τελικά στο Λιβυκό Πέλαγος. Η κεντρική περιοχή του φαραγγιού, που συνήθως αναφέρεται ως φαράγγι της Σαμαριάς, ξεκινά από το Ξυλόσκαλο, που βρίσκεται σε υψόμετρο 1.227 μέτρων, εντός του νοτιοανατολικού τομέα του οροπεδίου του Ομαλού. Κορυφώνεται στο Λιβυκό Πέλαγος, σε κοντινή απόσταση από το χωριό Αγία Ρουμέλη.

Όσον αφορά την πρόσβαση και τη διάσχιση του φαραγγιού, αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχουν δύο κύριες εισοδοί. Η πρώτη είναι γνωστή ως Ξυλόσκαλο, η οποία δημιουργήθηκε κατά την οθωμανική εποχή και βρίσκεται στην πλευρά του Ομαλού, συγκεκριμένα στα βόρεια. Η δεύτερη είσοδος, η Αγία Ρουμέλη, βρίσκεται στη νότια πλευρά, δίπλα στο Λιβυκό Πέλαγος (Manousakis, 1980). Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι πριν από τη δεκαετία του 1960, ο τοπικός πληθυσμός εκμεταλλευόταν επίσης το πέρασμα που προερχόταν από την περιοχή της Ποριάς, η οποία βρίσκεται ανατολικά της Ξυλόσκαλας. Η παρουσία εναλλακτικών περασμάτων και μονοπατιών διευκολύνει την είσοδο μέσα από ξεχωριστές χαράδρες, αν και οι εν λόγω διαδρομές παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις και παραμένουν άγνωστες στον ευρύτερο πληθυσμό.

Η συμβατική διαδρομή για τη διάσχιση του φαραγγιού περιλαμβάνει την κατάβαση κατά μήκος της φυσικής κλίσης του εδάφους, ξεκινώντας από το Ξυλόσκαλο, που βρίσκεται σε υψόμετρο 1227 μέτρων, και καταλήγοντας στην Αγία Ρουμέλη, η οποία βρίσκεται στο επίπεδο της θάλασσας. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι ιστορικά, η επικρατούσα πρακτική περιελάμβανε τη διάσχιση του φαραγγιού προς την αντίθετη κατεύθυνση, λόγω της μεγαλύτερης ευκολίας πρόσβασης στη νότια ακτογραμμή μέσω θαλάσσιων μέσων.

Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, το κύριο μονοπάτι που διασχίζει την περιοχή του Δρυμού, συγκεκριμένα από το Ξυλόσκαλο προς την Αγία Ρουμέλη, συναντά τρομερά εμπόδια με τη μορφή γρήγορων χειμάρρων και βραχωδών εμποδίων, καθιστώντας έτσι τη διάσχιση επίπονη και δύσκολη. Η διαδρομή που εκτείνεται από το Ξυλόσκαλο στο Λακκί υπέστη μια διαδικασία επέκτασης κατά την περίοδο της γερμανικής κατοχής, με πρωταρχικό στόχο τη δημιουργία της αρχικής οδού. Πριν από τη δημιουργία αυτής της οδικής σύνδεσης, η μεταφορά αγαθών και ατόμων προς τα Χανιά βασιζόταν σε μεγάλο βαθμό σε ζωικά μέσα, κυρίως με τη χρήση μουλαριών. Αυτό το επίπονο ταξίδι προς την πόλη των Χανίων διαρκούσε συχνά έως και δύο ημέρες, με αποτέλεσμα να απαιτείται διανυκτέρευση στα ενδιάμεσα χωριά κατά μήκος της διαδρομής.

Η Αγία Ρουμέλη, με την υποτυπώδη λιμενική υποδομή της, διέθετε ένα πορθμείο που διευκόλυνε τη μεταφορά σε διάφορους οικισμούς κατά μήκος της νότιας ακτής της Κρήτης. Ειδικότερα, το φημισμένο πλοίο Αρκάδι έπαιξε εξέχοντα ρόλο στη σύνδεση της Αγίας Ρουμέλης με αυτούς τους άλλους τόπους. Η κατασκευή των σημερινών λιμενικών εγκαταστάσεων ξεκίνησε κατά τη δεκαετία του 1960 και περιλαμβάνει δύο προβλήτες. Η πρώτη προβλήτα βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τον οικισμό, ενώ η δεύτερη προβλήτα βρίσκεται στη Μάσχαλη, στα δυτικά του χωριού. Αυτές οι προβλήτες είναι ειδικά σχεδιασμένες για την εξυπηρέτηση των επιβατηγών οχηματαγωγών πλοίων που εκτελούν δρομολόγια κατά μήκος των νότιων ακτοπολικών γραμμών. Η χερσαία σύνδεση μεταξύ της Αγίας Ρουμέλης και της Αράδαινας και της Ανώπολης Σφακίων εξακολουθεί να βασίζεται σε μονοπάτια, καθώς το τοπογραφικά τραχύ και απόκρημνο τοπίο αποκλείει τη δημιουργία οδικού δικτύου (Kalogeraki, 2015).

Το περιβάλλον γύρω από το Φαράγγι είναι επίσης ορεινό με τις γύρω κορυφές να είναι οι εξής:

- Στρεφομάδι (υψόμετρο 1.921 μ.),
- Γκίγκιλος (υψόμετρο 2.005 μ.),
- Βολάκιας (υψόμετρο 2.116 μ.),
- Ψυρίστρα (υψόμετρο 1 485 μ.),
- Κεφάλα (υψόμετρο 1 454 μ.),
- Κατσόπρινος (υψόμετρο 922 μ.),
- Κουβάρα (υψόμετρο 1 186 μ.),
- Μαύρο Δάσος (υψόμετρο 1 419 μ.),
- Αλεμονάρια (υψόμετρο 1 760 μ.),
- Βορίνο (υψόμετρο 1 806 μ.),
- Αλιμόνακας (υψόμετρο 1 843 μ.),
- Πάχνη (2 453 μ.), η υψηλότερη κορυφή των Λευκών Ορέων,
- Μελίνταου (υψόμετρο 2.133 μ.) και
- Παλιάρε (υψόμετρο 1 624 μ.)

Το πρωταρχικό φαράγγι της περιοχής, που συνήθως αναφέρεται ως φαράγγι της Σαμαριάς, χαρακτηρίζεται από το λεπτό του ανάγλυφο, που εκτείνεται σε μήκος 18 χιλιομέτρων και φτάνει σε πλάτος έως και 300 μέτρα. Το περιβάλλον έδαφος χαρακτηρίζεται από απότομες και τραχιές κλίσεις, με υψόμετρα που κυμαίνονται από 200 έως 1.000 μέτρα. Το φαράγγι συρρικνώνεται προοδευτικά καθώς διασχίζει κανείς το μονοπάτι, παρουσιάζοντας ολοένα και μικρότερο πλάτος και αυξημένη κλίση των πλαγιών. Το πιο στενό τμήμα, γνωστό ως "Πόρτες" ή "Σιδερόπορτες", έχει πλάτος μόλις 3 μέτρα περίπου, ενώ οι βραχώδεις γκρεμοί φτάνουν σε εντυπωσιακό υψόμετρο 600 μέτρων. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, παρατηρείται ένα φαινόμενο κατά το οποίο το νερό συσσωρεύεται σε αυτή τη στενή περιοχή, καθιστώντας τη διάσχιση του φαραγγιού ανυπέρβλητο έργο.

Στο μέσο περίπου της διαδρομής του φαραγγιού που ξεκινάει από το Ξυλόσκαλο, παρατηρείται η σύγκλιση διαφόρων χειμάρρων, με αξιοσημείωτη σημασία που αποδίδεται στα εξής: α) ο χείμαρρος του Στρεφομαδίου, β) οι χείμαρροι της Ποτιστίριας, γ) οι χείμαρροι Γέρμα-Καλοκάμπου-Αβλιμόβακα, δ) ο χείμαρρος του Βολακιά και ε) ο χείμαρρος του Πρινιά.

Αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό είναι η παρουσία πηγών στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου, καθώς ορισμένες από αυτές διατηρούν σταθερή ροή νερού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι πηγές που κατέχουν ύψιστη σημασία στο πλαίσιο αυτό περιλαμβάνουν το Λινοσέλι, το Νερούτσικο, το Φιδόνερο, τη Συκιά Ρίζα, τη Φουρνού, το Τσιμπιδίου, το Ντάπια, τα Πάνω Ποτιστήρια, τη Βρουλιά, τη Βρύση Καλύβακα, τις Σκαφές, τη Βρύση Καλοκάμπου, την Τσιλονέρα, το Ετακάρι, το Μυτατούλι, τις Μυρτιές, την Πέρδικα, το Καβούσι, τη Σιδεροπούλου και τη Λουτσοπηγή ( Chatzimakaki, 2008: 65).

Η περιοχή φημίζεται επιπλέον για τα υπόγεια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της, όπου το καρστικό υπόστρωμα γεννά πληθώρα σπηλαίων, ορισμένα από τα οποία, ιδιαίτερα μικροσκοπικά σε μέγεθος, χρησιμεύουν ως καταφύγια για τα αιγοπρόβατα, δηλαδή τις κατσίκες Κρι Κρι. Τα σπήλαια έχουν αποκτήσει σημαντική φήμη στους επιστημονικούς κύκλους. Οι προαναφερθείσες τοποθεσίες περιλαμβάνουν το Δαιμονοσπήλιο, την υπόγεια κοιλάδα που βρίσκεται στην περιοχή του Τζανίου, τον Αζερομούρη, τον Άγιο Αντώνιο, τον Βολάκια, τον Δασκαλογιάννη, τον Πήγασο, τον Κανήνιο, την Περιστέρα και τη Φοινικιά (Chatzimakaki, 2008: 65).

### 3.5 Γεωμορφολογική εξέλιξη του φαράγγιού της Σαμαριάς



Εικόνα 3 Οι κύριοι λιθολογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στο φαράγγι της Σαμαριάς: (α) σχηματισμός Γκίγκιλος (β) σχηματισμός Plattenkalk,

Στο πλαίσιο της διαπερατότητας των υπόγειων υδάτων, είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι ο σχηματισμός Γκίγκιλος έχει αναγνωριστεί ευρέως για τα αδιαπέρατα χαρακτηριστικά του.

Αυτό αποδίδεται κυρίως στην παρουσία στεγανών οριζόντων που αποτελούνται από πυριτόλιθους και σχιστόλιθους, οι οποίοι εμποδίζουν αποτελεσματικά την κατακόρυφη διήθηση του νερού εντός του σχηματισμού. Ως εκ τούτου, η περιορισμένη διαπερατότητα και η αυξημένη επιφανειακή αποστράγγιση δημιουργούν αυξημένο συντελεστή απορροής, επηρεάζοντας έτσι το γεωμορφολογικό ανάγλυφο. Επιπλέον, η λιθολογική αλληλεπίδραση μεταξύ της μετακλαστικής και της μετακαρβονικής λιθολογίας, σε συνδυασμό με την εκτεταμένη ρωγμάτωση, διευκολύνει την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων με περιορισμένη αποθηκευτική ικανότητα, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από πηγές με χαμηλούς ρυθμούς εκροής. Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένες πηγές που βρίσκονται στα στρώματα του Γκίγκιλου παρουσιάζουν αξιοσημείωτες τιμές εκροής. Για παράδειγμα, η πηγή Μυτατούλι παρουσιάζει ρυθμό εκροής 5,9 m<sup>3</sup>/h, ενώ η πηγή Ποτιστήρια παρουσιάζει ρυθμό εκροής 5,3 m<sup>3</sup>/h (Manoutsoglou et al., 2022). Αξίζει να αναφερθεί ότι η διαπερατότητα του σχηματισμού Γκίγκιλος παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερη τιμή σε σχέση με αυτή της μονάδας Τρύπαλη. Σε σχέση με τη σειρά Plattenkalk, περιλαμβάνει σημαντική κατακόρυφη έκταση κρυσταλλικών ασβεστόλιθων και δολομιτών, που διανθίζονται με αδιαπέρατα στρώματα πυριτόλιθου και σχιστόλιθου. Οι προαναφερόμενοι ορίζοντες επιβάλλουν περιορισμούς στην κατακόρυφη μετατόπιση του νερού και ασκούν σημαντική επίδραση στην κίνηση και τη συσσώρευσή του εντός του υπερκείμενου ανθρακικού στρώματος της ενότητας Τρυπαλίου. Η διαπερατότητα των ανθρακικών σχηματισμών του Τρυπαλίου παρουσιάζει ένα εύρος που εκτείνεται από 0,1 έως 1 τετραγωνικό μέτρο ανά δευτερόλεπτο, αντιστοιχώντας έτσι σε ένα εύρος διαπερατότητας από 10 στη δύναμη του αρνητικού 3 έως 10 στη δύναμη του αρνητικού 2 μέτρα ανά δευτερόλεπτο (Steiakakis et al., 2011).

## 4 Μέθοδοι ανάλυσης των πετρωμάτων

Προκειμένου να διεξαχθεί μια ολοκληρωμένη εξέταση της ορυκτολογίας και της χημικής σύστασης ενός ανθρακικού πετρώματος, κυρίως χρησιμοποιούνται μια σειρά από καθιερωμένες αναλυτικές τεχνικές. Αυτές περιλαμβάνουν χρώση, πετρογραφική μικροσκοπική ανάλυση με χρήση λεπτών τομών, ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM), ανάλυση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (EMPA), περίθλαση ακτίνων X (XRD) και φθορισμό ακτίνων X (XRF).

*Η παρούσα μελέτη ωστόσο επικεντρώθηκε στην περίθλαση ακτίνων X (XRD) και τον φθορισμό ακτίνων X (XRF)*

### 4.1 Χρώση

Η χρώση χρησιμεύει ως μια ρεαλιστική τεχνική που χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό της ορυκτολογίας που αφορά ανθρακικά πετρώματα μέσω της εφαρμογής στοχευμένων χημικών διαλυμάτων (Friedman, 1959). Η προαναφερθείσα τεχνική, όπως διευκρινίστηκε από τους Parbhakar-Fox και συν. (2017), αποτελεί μια βολική, ταχεία και οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για την εξαγωγή δεδομένων σύνθεσης που αφορούν ανθρακικά ορυκτά, με ιδιαίτερη έμφαση στα συστατικά ασβεστίτη, αραγωνίτη και δολομίτη εντός ενός ανθρακικού πετρώματος. Πολλαπλά χημικά διαλύματα χρησιμοποιούνται συνήθως για τον σκοπό της χρώσης ανθρακικών πετρωμάτων, συμπεριλαμβανομένων του κόκκινου Alizarin S, του σιδηροκυανιούχου καλίου και του κίτρινου τιτανίου, όπως τεκμηριώνεται από τους Brasier και συν. (2013). Τα προαναφερθέντα διαλύματα χρώσης διαθέτουν την ικανότητα να προσδίδουν μια ξεχωριστή απόχρωση στα ανθρακικά ορυκτά, διευκολύνοντας έτσι την ταυτοποίηση των εν λόγω ορυκτών σε πλήθος γεωλογικών δειγμάτων (Parbhakar-Fox et al., 2017).

## 4.2 Πετρογραφική μικροσκοπία

Η χρήση της πετρογραφικής μικροσκοπίας στην ανάλυση λεπτών τομών έχει αναγνωριστεί ευρέως ως μια εξαιρετικά πολύτιμη τεχνική για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών συνθέσεων, των κρυσταλλικών δομών, των μορφολογιών των κόκκων, των κατανομών των απολιθωμάτων και των διαγενετικών συστατικών εντός ανθρακικών σχηματισμών πετρωμάτων (Johansson et al., 2017). Η επιτυχής εκτέλεση αυτής της μεθοδολογίας απαιτεί την τεχνογνωσία ενός ικανού επαγγελματία στους τομείς της προετοιμασίας και της ανάλυσης των δειγμάτων. Η ενσωμάτωση του πετρογραφικού μικροσκοπίου με μια μονάδα καθοδοφωταύγειας επιτρέπει την ολοκληρωμένη αξιολόγηση των συστατικών που υπάρχουν σε δείγματα ανθρακικών πετρωμάτων. Η μελέτη αυτή διευκρινίζει τις ορυκτολογικές συνθέσεις διαφόρων περιοχών, οι οποίες εκδηλώνονται μέσω διακριτών φωσφορίζουσών αποχρώσεων. Παρ' όλα αυτά, η μεθοδολογία αυτή αδυνατεί να διακρίνει αποτελεσματικά τα συστατικά των πετρωμάτων χρησιμοποιώντας διάφορους δείκτες φωταύγειας.

### 4.3 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM)

Η αξιοποίηση της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) είναι επιβεβλημένη για την απόκτηση μιας εικόνας υψηλής ανάλυσης και μεγέθυνσης μέσω της σάρωσης μιας συγκεκριμένης περιοχής στην επιφάνεια ενός πετρώματος με τη χρήση μιας συγκεντρωμένης δέσμης ηλεκτρονίων (Goldstein et al., 2003). Η δέσμη ηλεκτρονίων, η οποία παράγεται από ένα πυροβόλο ηλεκτρονίων, προσκρούει στην επιφάνεια του πετρώματος προκειμένου να δημιουργηθεί μια μονοχρωματική εικόνα. Η εικόνα αυτή εξυπηρετεί τον σκοπό της παροχής πολύτιμων πληροφοριών σχετικά με τις κρυσταλλογραφικές, τοπογραφικές και συνθετικές ιδιότητες της επιφάνειας. Κατά συνέπεια, βοηθά στην ταυτοποίηση των ορυκτών (Reed, 2005). Η προαναφερθείσα τεχνική χαρακτηρίζεται από σημαντική δαπάνη χρόνου κατά τη διαδικασία προετοιμασίας του δείγματος, η οποία περιλαμβάνει την εφαρμογή επιφανειακής επίστρωσης-χρώματος που αποτελείται από μεταλλική ουσία, προκειμένου να ενισχυθεί η αγωγιμότητα των ηλεκτρονίων.

Η αξιοποίηση της τεχνικής της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) είναι διαδεδομένη στην εξέταση ανθρακικών πετρωμάτων, όπως αποδεικνύεται από την έρευνα που διεξήχθη από τους Kaplan et al. (2013). Η αξιοποίηση της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) είναι ιδιαίτερα πλεονεκτική στη μικροσκοπική απεικόνιση διαφόρων χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, των μικροαπολιθωμάτων, των μικροβίων, των ζωνών ανάπτυξης του τσιμέντου και των μεταβολών της υφής σε μικροκλίμακα στα ανθρακικά πετρώματα. Αυτά τα χαρακτηριστικά συχνά παραμένουν μη αναγνωρίσιμα όταν παρατηρούνται αποκλειστικά μέσω ενός οπτικού μικροσκοπίου, αναδεικνύοντας έτσι τη σημασία του SEM στην παροχή βελτιωμένων γνώσεων (James & Jones, 2015). Η αξιοσημείωτη πρόοδος στην τεχνολογία της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) δημιούργησε την ευκαιρία για τον χημικό χαρακτηρισμό του εξεταζόμενου δείγματος μέσω της χρήσης μιας βοηθητικής συσκευής, όπως η φασματοσκοπία ακτίνων X ενεργειακής διασποράς (EDX ή EDS). Ο αναλυτής EDS είναι μια ημιποσοτική μέθοδος που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) για την εξέταση της στοιχειακής σύνθεσης εντοπισμένων περιοχών εντός στερεών υλικών (Reed,

2005). Η αξιοποίηση των δεδομένων EDS, σε συνδυασμό με την ανάλυση κρυστάλλων, επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης ανθρακικών πετρωμάτων εντός της συγκεκριμένης περιοχής που εξετάζεται, όπως αποδεικνύεται από την έρευνα που διεξήχθη από τους Johansson και συν. το 2017.

#### 4.4 Ανάλυση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (EMPA)

Η ανάλυση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (EMPA) είναι μια ποσοτική τεχνική μικροανάλυσης που χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση των χημικών συνθέσεων από μικροσκοπικές μετρήσεις στερεών υλικών, όπως διευκρινίστηκε από τον Reed (2005). Το όργανο χρησιμοποιεί μια εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων, που χρησιμεύει ως ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), για τον αποτελεσματικό χαρακτηρισμό των στοιχειακών συστατικών που υπάρχουν σε περιορισμένες αναλυόμενες περιοχές του δείγματος. Η ακρίβεια της ανάλυσης της στοιχειακής συγκέντρωσης που επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (EMPA) ξεπερνά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της επισυναπτόμενης φασματοσκοπίας ακτίνων-X ενεργειακής διασποράς (EDS) που λαμβάνονται από ένα ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ανάλυση της εικόνας του EMPA είναι συγκριτικά χαμηλότερη από εκείνη της εικόνας του SEM. Η προαναφερθείσα τεχνική χαρακτηρίζεται από τον εγγενή χρονοβόρο χαρακτήρα της, ιδίως σε σχέση με την προπαρασκευαστική φάση που περιλαμβάνει τη σχολαστική δημιουργία γυαλισμένων λεπτών τομών και την επακόλουθη επίστρωση άνθρακα, η οποία είναι απαραίτητη για την επακόλουθη ανάλυση. Η χρήση της τεχνικής του μικροσκοπίου έχει χρησιμοποιηθεί στο πεδίο των χημικών αναλύσεων που αφορούν ανθρακικά πετρώματα και ορυκτά. Η αξιοποίηση της τεχνικής μικροανιχνευτή διευκολύνει την ολοκληρωμένη ανάλυση των στοιχειακών συνθέσεων, των χαρακτηριστικών των υφασμάτων και των ζωνικών κρυσταλλικών δομών που ενυπάρχουν στα ανθρακικά πετρώματα (James & Jones, 2015).

#### 4.5 Περίθλαση ακτινών X σε σκόνη (XRD)

Η περίθλαση ακτινών X σε σκόνη (XRD) είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη και σκόπιμη αναλυτική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ορυκτολογίας σε υλικά που διαθέτουν κρυσταλλικές δομές (Waseda et al., 2011). Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία, οι κατευθυνόμενες ακτίνες-X κατευθύνονται σκόπιμα προς την επιφάνεια του δείγματος σε σκόνη. Οι κορυφές ανάκλασης που προκύπτουν από την εποικοδομητική παρεμβολή των ατόμων εντός μιας κρυσταλλικής δομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύνθεσης. Η προαναφερθείσα μεθοδολογία χρησιμοποιείται εκτενώς για τον έλεγχο της σύνθεσης ανθρακικών ιζημάτων ή πετρωμάτων, όπως τεκμηριώνεται από τους Sdiri και συν. (2010). Η τεχνική χαρακτηρισμού λεπτόκοκκων ανθρακικών πετρωμάτων έχει τεράστια αξία. Τα μοτίβα περίθλασης ακτίνων X (XRD) παρέχουν ευδιάκριτες πληροφορίες για τη χημική σύνθεση των ανθρακικών ορυκτών, τις σχετικές ποσότητες και διακυμάνσεις των ανθρακικών ορυκτών και τη δομική διάταξη των κρυστάλλων δολομίτη που αποτελούν τα ανθρακικά πετρώματα (James & Jones, 2015). Η περίθλαση ακτίνων-X (XRD) παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, συμπεριλαμβανομένης της πιθανότητας χρονικής επικάλυψης των θέσεων των κορυφών, η οποία μπορεί να εισάγει ασάφειες στην ταυτοποίηση των ορυκτών. Επιπλέον, η ακρίβειά της μειώνεται κατά τη μέτρηση μικρών κρυσταλλικών δομών και μπορεί να μην ανιχνεύσει μικροσκοπικές δομές που υπάρχουν σε ίχνη (Bishop et al., 2011).

#### 4.6 Φθορισμός ακτίνων X (XRF)

Ο φθορισμός ακτίνων X (XRF) είναι μια χημική αναλυτική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται με σκοπό την εξακρίβωση της στοιχειακής σύνθεσης, που περιλαμβάνει τόσο τα κύρια όσο και τα ιχνοστοιχεία, διαφόρων γεωλογικών δειγμάτων, όπως πετρώματα, ορυκτά και ιζήματα (Fitton, 2014). Η αρχή λειτουργίας αυτού του φασματομέτρου περιλαμβάνει τη χρήση δέσμης ακτίνων X υψηλής ενέργειας για την υποβολή ενός δείγματος σε ακτινοβολία. Η προκύπτουσα εκπομπή χαρακτηριστικών ακτίνων-X, οι οποίες

προκαλούνται από το δείγμα, εξαρτάται από τις χημικές συνθέσεις του εν λόγω δείγματος (Forbes et al., 2010). Η αξιοποίηση της εκπομπής ακτίνων-X φθορισμού παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες στον τομέα της αναλυτικής χημείας, καθώς επιτρέπει την ολοκληρωμένη διερεύνηση της στοιχειακής σύνθεσης ενός δείγματος. Η αξιοποίηση της τεχνικής φθορισμού ακτίνων X (XRF) έχει χρησιμοποιηθεί με σκοπό την εξέταση των αναλογικών ποσοτήτων τόσο των κύριων όσο και των δευτερευόντων συστατικών εντός ανθρακικών σχηματισμών, όπως τεκμηριώνεται από τους Brasier και συν. Οι στοιχειακές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τις ιστορικές πληροφορίες που αφορούν τις ιζηματογενείς και διαγενετικές διεργασίες των ανθρακικών πετρωμάτων. Ωστόσο, η προαναφερθείσα μεθοδολογία χαρακτηρίζεται από σημαντική χρονική επένδυση στη φάση προετοιμασίας των δειγμάτων, με αποτέλεσμα τη λιγότερο ακριβή ανάλυση ελαφρών στοιχείων που διαθέτουν συγκεκριμένο ατομικό αριθμό (e.g.,  $Z < 11$ ) (Lai et al., 2015).

#### 4.7 Μεθοδολογία συλλογής δειγμάτων

Προκειμένου να συλλεχθούν τα απαραίτητα δείγματα, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες από την περιοχή του Λινοσελίου και της Σαμαριάς. Η δειγματοληψία έγινε συνολικά σε τέσσερις μέρες (μία μέρα στο Λινοσέλι και τρεις στη Σαμαριά).

Τα δείγματα εφ' όσον κρίθηκαν κατάλληλα με βάση γεωλογικής εκτίμησης (απο τον γεωλόγο κ. Ηλία Λάζο, PhD), και την χρήση γεωλογικού σφυριού συλλέχθηκε αρκετή ποσότητα δείγματος. Εφόσον η ποσότητα χαρακτηρίστηκε επαρκής για τις απαραίτητες αναλύσεις τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευασία και απαριθμήθηκαν.

Στη συνέχεια τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου και έγινε η κονιορτοποίηση τους με τη χρήση πλανητικού μύλου. Τέλος, μετά την επεξεργασία ακολούθησε ανάλυση μέσω των μηχανήματα περίθλασης ακτίνων X (XRD) και φθορισμό ακτίνων X (XRF) (SPECTRO X-LabPro).

## 5 Αποτελέσματα

Όλα τα δείγματα έπειτα την συλλογή και την διαδικασία κονιορτοποίησης αναλυθήκαν με την μέθοδο του φθορισμό ακτίνων X (XRF) και της περίθλαση ακτίνων X (XRD) .

Η ανάλυση αυτή βασίζεται στη σύγκριση των ορυκτολογικών δεδομένων των τριών ομάδων δειγμάτων "ΛΙΝΟΣΕΛΙ" (LIN01-LIN06), "ΣΑΜΑΡΙΑ" (SAM01-SAM20) και "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0" (NSAM01-NSAM21) που προέρχονται από τα αρχεία XRD\_AS.csv και Geochemical Analyses TOTAL XRF\_VALUES\_GRAPHS (2).csv.

### 5.1 Γεωχημική Ανάλυση XRF

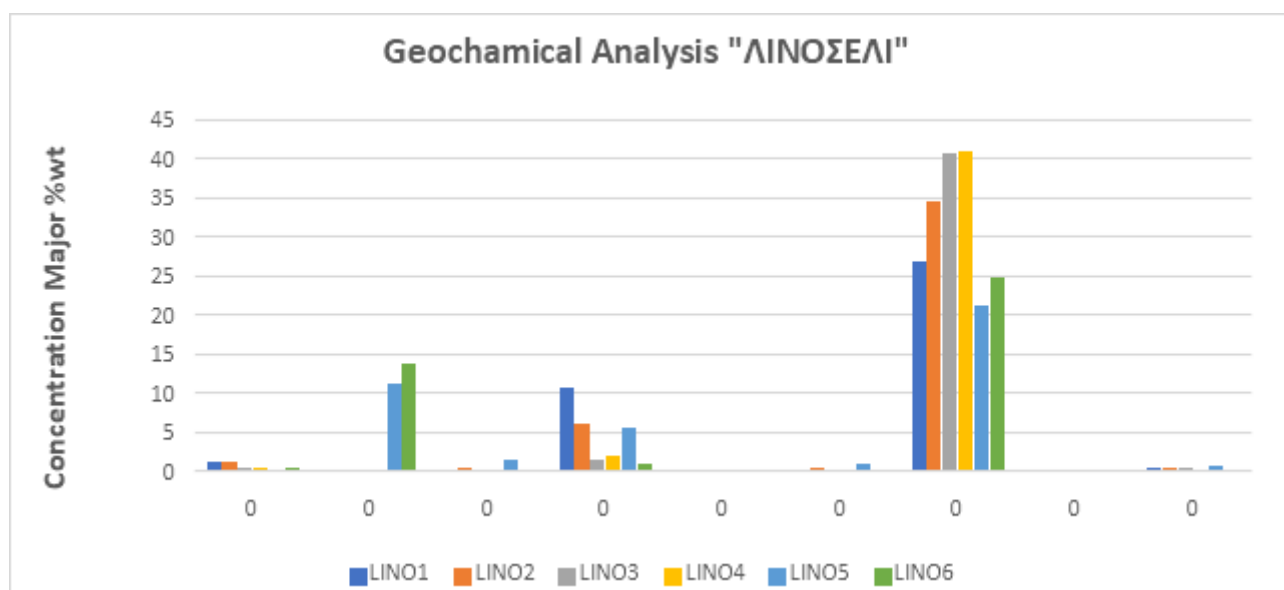
Η ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού SPECTRO X-LabPro.

\*Όσον αφορά τις τιμές των αρχικών μετρήσεων των ιχνοστοιχείων (Πίνακας 2,4,6) αφαιρέθηκαν όλες οι τιμές ίσες και μικρότερες από 10 ppm.

### 5.1.1 Γεωχημική ανάλυση XRF δειγμάτων από «ΛΙΝΟΣΕΛΙ»

Geochemical Analysis			Concentration Major %wt					
z	Symbol	Element	LIN01	LIN02	LIN03	LIN04	LIN05	LIN06
11	Na <sub>2</sub> O	Sodium	1,12	1,17	0,46	0,46	0,17	0,30
12	Mg	Magnesium	0,00	0,03	0,06	0,24	11,11	13,59
13	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminum	0,23	0,38	0,08	0,05	1,40	0,13
14	SiO <sub>2</sub>	Silicon	10,58	5,95	1,46	1,82	5,52	0,87
15	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphorus	0,13	0,13	0,04	0,01	0,01	0,01
19	K <sub>2</sub> O	Potassium	0,22	0,36	0,00	0,00	0,85	0,01
20	CaO	Calcium	26,79	34,43	40,69	40,73	21,24	24,80
25	Mn	Manganese	0,03	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01
26	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Iron	0,31	0,30	0,27	0,01	0,57	0,10

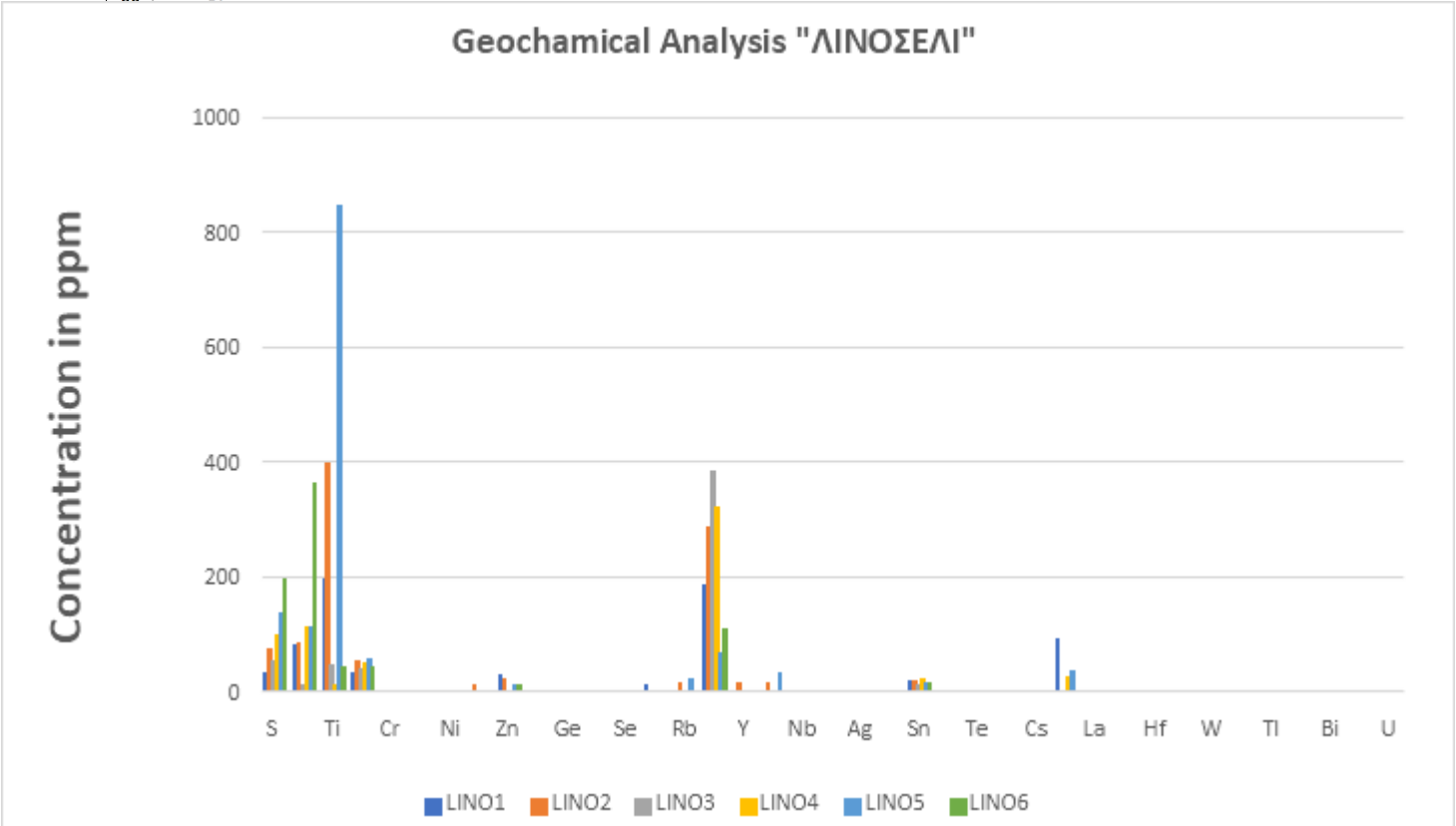
Πίνακας 1 Ποσοτική κατανομή κύριων στοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία:Λινοσέλι)



Διάγραμμα 1 Γραφική παράσταση των κύριων στοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία:Λινοσέλι)

*Πίνακας 2 Ποσοτική κατανομή ιχνοστοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία: Αινοσέλι)*

Geochemic	
z	Symbol
16	S
17	Cl
22	Ti
23	V
24	Cr
27	Co
28	Ni
29	Cu
30	Zn
31	Ga
32	Ge
33	As
34	Se
35	Br
37	Rb
38	SrO
39	Y
40	Zr
41	Nb
42	Mo
47	Ag
48	Cd
50	Sn
51	Sb
52	Te
53	I
55	Cs
56	Ba
57	La
58	Ce
72	Hf
73	Ta
74	W
80	Hg
81	Tl
82	Pb
83	Bi



Διάγραμμα 2 Γραφική παράσταση των ιχνοστοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία: Λινοσέλι)

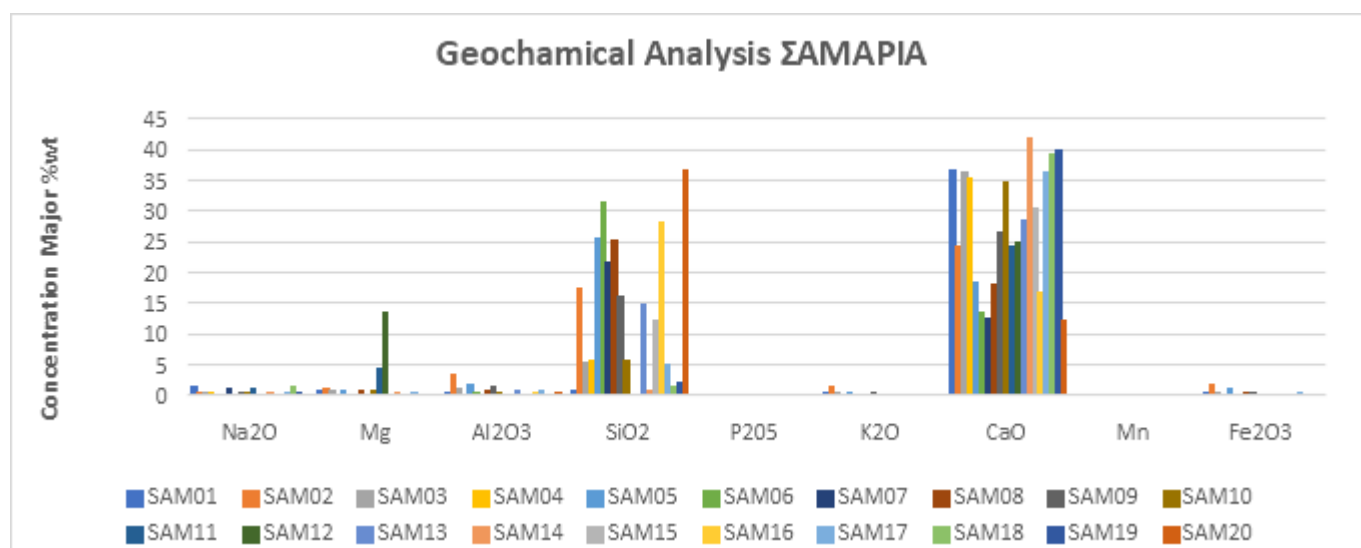
### 5.1.2 Γεωχημική ανάλυση XRF δειγμάτων από «ΣΑΜΑΡΙΑ»

Geochemical Analysis			Concentration Major %wt									
z	Symbol	Element	SAM01	SAM02	SAM03	SAM04	SAM05	SAM06	SAM07	SAM08	SAM09	SAM10
11	Na <sub>2</sub> O	Sodium	1,32	0,51	0,38	0,43	0,09	0,03	1,18	0,08	0,54	0,38
12	Mg	Magnesium	0,69	1,11	0,72	0,18	0,86	0,00	0,00	0,95	0,29	0,83
13	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminum	0,31	3,28	1,27	0,31	1,82	0,34	0,20	0,83	1,33	0,33
14	SiO <sub>2</sub>	Silicon	0,92	17,33	5,39	5,73	25,52	31,42	21,56	25,25	16,04	5,63
15	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphorus	0,03	0,01	0,02	0,02	0,00	0,02	0,18	0,02	0,02	0,01
19	K <sub>2</sub> O	Potassium	0,31	1,35	0,55	0,06	0,56	0,00	0,04	0,14	0,36	0,10
20	CaO	Calcium	36,65	24,35	36,21	35,26	18,42	13,44	12,62	17,97	26,58	34,84
25	Mn	Manganese	0,02	0,13	0,04	0,09	0,07	0,02	0,03	0,04	0,03	0,01
26	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Iron	0,43	1,70	0,52	0,21	0,99	0,06	0,11	0,37	0,58	0,16

Geochemical Analysis			Concentration Major %wt									
z	Symbol	Element	SAM11	SAM12	SAM13	SAM14	SAM15	SAM16	SAM17	SAM18	SAM19	SAM20
11	Na <sub>2</sub> O	Sodium	1,15	0,30	0,22	0,51	0,30	0,09	0,42	1,31	0,47	0,01
12	Mg	Magnesium	4,38	13,57	0,25	0,33	0,03	0,11	0,37	0,01	0,14	0,08
13	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminum	0,00	0,04	0,70	0,23	0,15	0,61	0,68	0,05	0,28	0,48
14	SiO <sub>2</sub>	Silicon	0,11	0,09	14,80	0,84	12,10	28,34	5,01	1,49	2,06	36,56
15	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphorus	0,10	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,03	0,10	0,01	0,02
19	K <sub>2</sub> O	Potassium	0,00	0,00	0,17	0,05	0,00	0,10	0,18	0,00	0,09	0,01
20	CaO	Calcium	24,22	24,85	28,37	41,72	30,47	16,72	36,19	39,36	39,82	12,13
25	Mn	Manganese	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
26	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Iron	0,02	0,00	0,29	0,16	0,11	0,16	0,40	0,11	0,11	0,15

Πίνακας 3 Ποσοτική κατανομή κύριων στοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία:Σαμαριά)



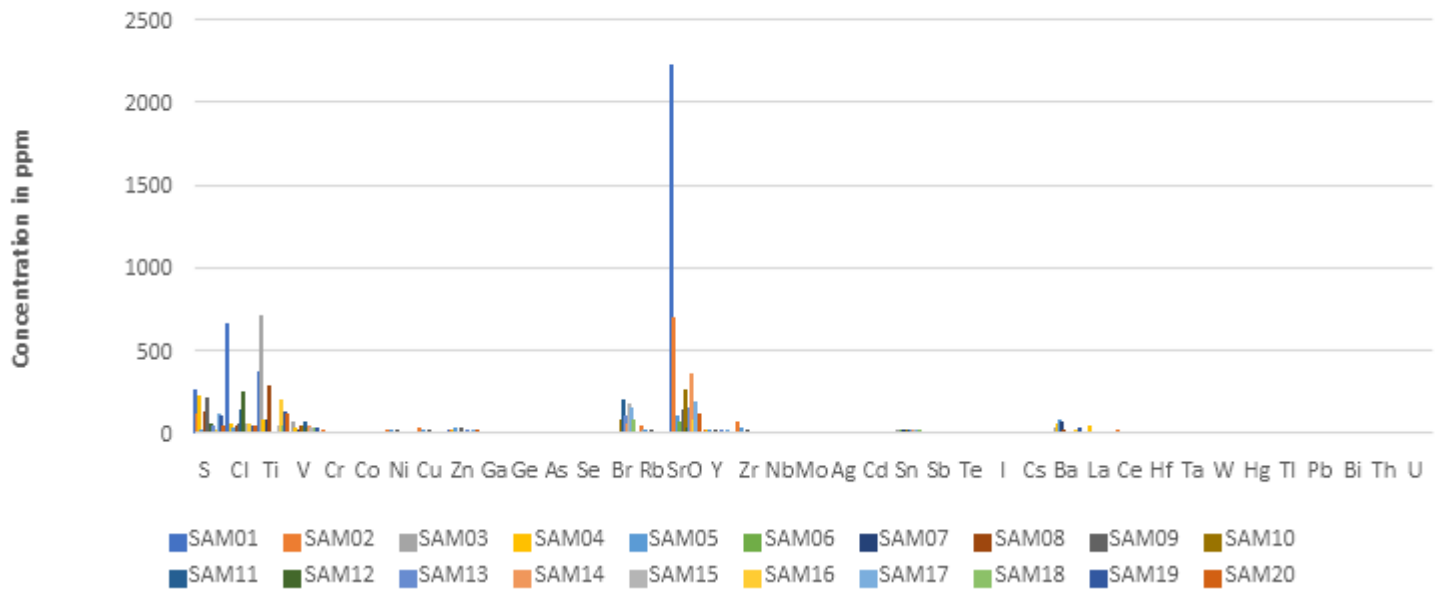
Διάγραμμα 3 Γραφική παράσταση των κύριων στοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία:Σαμαριά)

Geochemical Analysis			Concentration Trace in ppm									
z	Symbol	Element	SAM01	SAM02	SAM03	SAM04	SAM05	SAM06	SAM07	SAM08	SAM09	SAM10
16	S	Sulfur	259	116	55	227	13	0	11	131	208	619
17	Cl	Chlorine	655	47	38	47	28	34	97	41	53	61
22	Ti	Titanium	367	2089	710	80	572	76	75	287	499	199
23	V	Vanadium	62	50	64	33	35	27	17	43	35	40
24	Cr	Chromium	0	11	0	0	0	0	0	43	0	0
27	Co	Cobalt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Ni	Nickel	0	10	0	0	21	0	0	46	16	0
29	Cu	Copper	0	26	13	0	18	0	0	11	16	0
30	Zn	Zinc	12	20	17	14	23	12	0	0	27	0
31	Ga	Gallium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	Ge	Germanium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	As	Arsenic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Se	Selenium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	Br	Bromine	0	0	0	0	0	0	0	0	71	73
37	Rb	Rubidium	11	41	18	0	21	0	0	0	16	0
38	SrO	Strontium	2222	699	476	161	96	64	0	124	132	259
39	Y	Yttrium	0	13	0	13	14	0	0	0	13	0
40	Zr	Zirconium	0	69	21	0	23	0	0	0	18	0
41	Nb	Niobium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	Mo	Molybdenum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	Ag	Silver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	Cd	Cadmium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	Sn	Tin	0	0	15	15	14	14	0	20	12	18
51	Sb	Antimony	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	Te	Tellurium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	I	Iodine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	Cs	Cesium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	Ba	Barium	0	89	28	53	78	45	0	20	51	19
57	La	Lanthanum	0	0	0	41	0	20	0	0	0	0
58	Ce	Cerium	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0
72	Hf	Hafnium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	Ta	Tantalum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	W	Tungsten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Hg	Mercury	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	Tl	Thallium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	Pb	Lead	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	Bi	Bismuth	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	Th	Thorium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	U	Uranium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Geochemical Analysis			Concentration Trace in ppm									
z	Symbol	Element	SAM11	SAM12	SAM13	SAM14	SAM15	SAM16	SAM17	SAM18	SAM19	SAM20
16	S	Sulfur	103	49	36	68	174	16	118	68	97	46
17	Cl	Chlorine	142	244	29	76	47	54	27	134	42	41
22	Ti	Titanium	0	0	317	66	37	204	317	45	131	115
23	V	Vanadium	60	24	46	46	27	35	46	34	27	31
24	Cr	Chromium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	Co	Cobalt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Ni	Nickel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Cu	Copper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Zn	Zinc	0	0	10	0	0	0	22	12	0	12
31	Ga	Gallium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	Ge	Germanium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	As	Arsenic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Se	Selenium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	Br	Bromine	193	119	102	50	171	133	144	81	0	11
37	Rb	Rubidium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	SrO	Strontium	92	33	149	353	138	81	188	210	319	116
39	Y	Yttrium	0	0	12	0	0	0	17	0	0	0
40	Zr	Zirconium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	Nb	Niobium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	Mo	Molybdenum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	Ag	Silver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	Cd	Cadmium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	Sn	Tin	11	12	15	14	13	12	14	11	11	11
51	Sb	Antimony	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	Te	Tellurium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	I	Iodine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	Cs	Cesium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	Ba	Barium	0	0	17	29	0	17	25	0	31	0
57	La	Lanthanum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	Ce	Cerium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	Hf	Hafnium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	Ta	Tantalum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	W	Tungsten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Hg	Mercury	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	Tl	Thallium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	Pb	Lead	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	Bi	Bismuth	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	Th	Thorium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	U	Uranium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 4 Ποσοτική κατανομή ιχνοστοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Το-ποθεσία:Σαμαρια)

### Geochemical Analysis ΣΑΜΑΡΙΑ



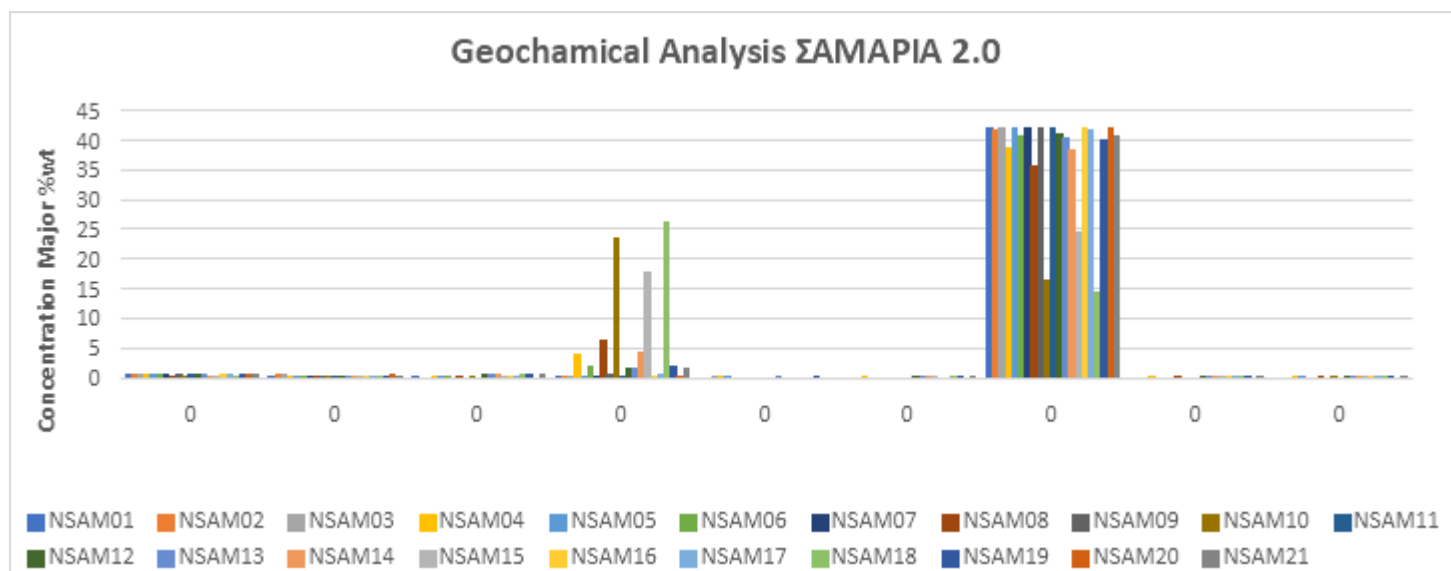
Διάγραμμα 4 Γραφική παράσταση των ιχνοστοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία: Σαμαριά)

### 5.1.3 Γεωχημική ανάλυση XRF δειγμάτων από «ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0»

Geochemical Analysis			Concentration Major %wt									
z	Symbol	Element	NSAM01	NSAM02	NSAM03	NSAM04	NSAM05	NSAM06	NSAM07	NSAM08	NSAM09	NSAM10
11	Na <sub>2</sub> O	Sodium	0,54	0,60	0,55	0,43	0,63	0,55	0,60	0,34	0,66	0,11
12	Mg	Magnesium	0,29	0,44	0,43	0,16	0,29	0,21	0,13	0,10	0,19	0,12
13	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminum	0,03	0,02	0,02	0,30	0,05	0,04	0,00	0,11	0,00	0,20
14	SiO <sub>2</sub>	Silicon	0,34	0,13	0,14	3,80	0,32	1,77	0,17	6,11	0,48	23,46
15	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphorus	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02
19	K <sub>2</sub> O	Potassium	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
20	CaO	Calcium	41,92	41,64	42,03	38,80	42,11	40,63	42,15	35,55	42,01	16,35
25	Mn	Manganese	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01
26	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Iron	0,00	0,01	0,00	0,14	0,04	0,00	0,00	0,07	0,00	0,06

Geochemical Analysis			Concentration Major %wt										
z	Symbol	Element	NSAM11	NSAM12	NSAM13	NSAM14	NSAM15	NSAM16	NSAM17	NSAM18	NSAM19	NSAM20	NSAM21
11	Na <sub>2</sub> O	Sodium	0,52	0,53	0,50	0,33	0,16	0,58	0,57	0,13	0,58	0,54	0,52
12	Mg	Magnesium	0,30	0,22	0,28	0,22	0,04	0,25	0,15	0,11	0,33	0,48	0,22
13	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminum	0,02	0,45	0,44	0,37	0,24	0,07	0,13	0,68	0,42	0,01	0,46
14	SiO <sub>2</sub>	Silicon	0,35	1,41	1,60	4,09	17,65	0,26	0,62	26,12	2,02	0,13	1,40
15	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphorus	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
19	K <sub>2</sub> O	Potassium	0,00	0,17	0,23	0,18	0,05	0,00	0,01	0,13	0,18	0,00	0,17
20	CaO	Calcium	41,97	40,94	40,47	38,41	24,62	42,07	41,84	14,40	39,95	42,05	40,61
25	Mn	Manganese	0,02	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	0,07	0,02	0,05	0,00	0,03
26	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Iron	0,00	0,23	0,27	0,20	0,11	0,04	0,11	0,18	0,21	0,00	0,23

Πίνακας 5 Ποσοτική κατανομή κύριων στοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία: Σαμαριά)

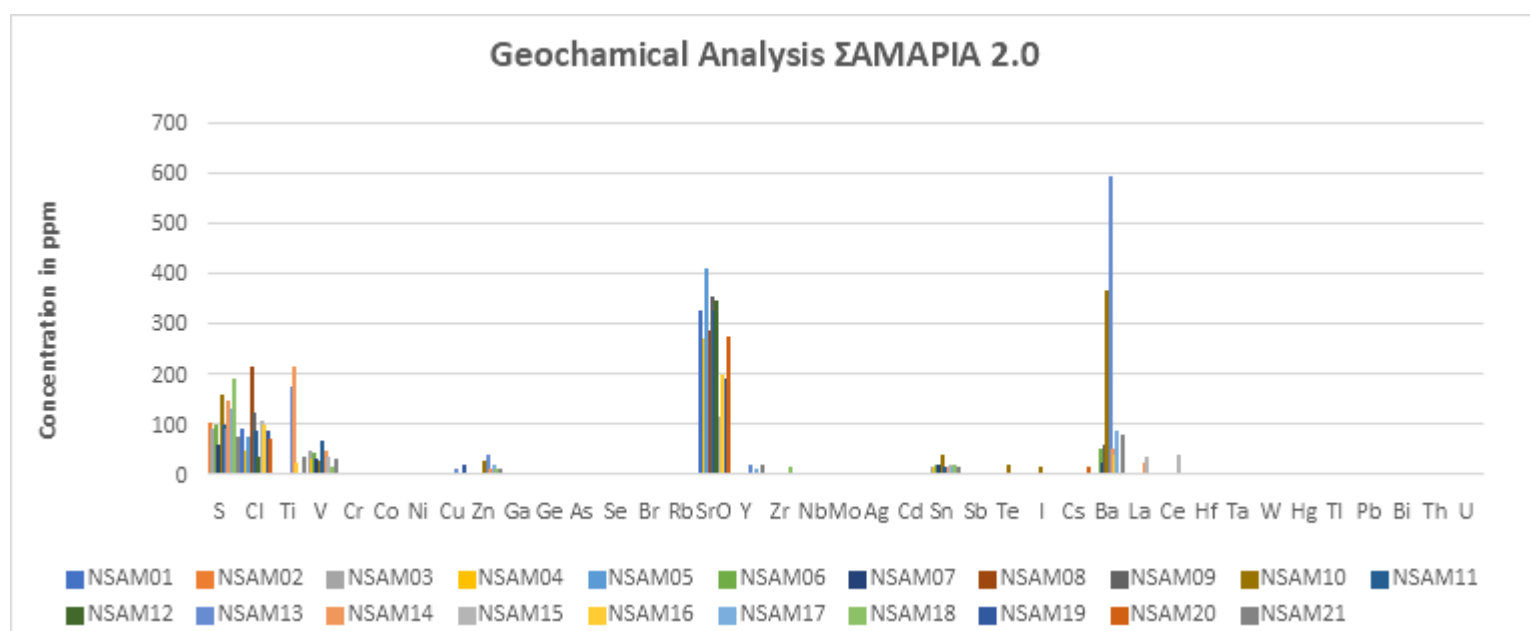


Διάγραμμα 5 Γραφική παράσταση των κύριων στοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία: Σαμαριά)

Geochemical Analysis			Concentration Trace in ppm									
z	Symbol	Element	NSAM01	NSAM02	NSAM03	NSAM04	NSAM05	NSAM06	NSAM07	NSAM08	NSAM09	NSAM10
16	S	Sulfur	100	102	90	77	112	98	56	194	128	155
17	Cl	Chlorine	87	118	71	45	72	113	98	214	121	345
22	Ti	Titanium	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0
23	V	Vanadium	67	42	44	28	42	40	29	28	42	26
24	Cr	Chromium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	Co	Cobalt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Ni	Nickel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Cu	Copper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Zn	Zinc	0	0	0	12	0	0	0	15	0	25
31	Ga	Gallium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	Ge	Germanium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	As	Arsenic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Se	Selenium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	Br	Bromine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	Rb	Rubidium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	SrO	Strontium	326	272	236	268	409	318	305	286	353	78
39	Y	Yttrium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	Zr	Zirconium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	Nb	Niobium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	Mo	Molybdenum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	Ag	Silver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	Cd	Cadmium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	Sn	Tin	15	18	15	12	10	18	15	13	18	36
51	Sb	Antimony	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
52	Te	Tellurium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
53	I	Iodine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
55	Cs	Cesium	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0
56	Ba	Barium	115	0	0	109	27	47	19	245	57	362
57	La	Lanthanum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	Ce	Cerium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	Hf	Hafnium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	Ta	Tantalum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	W	Tungsten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Hg	Mercury	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	Tl	Thallium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	Pb	Lead	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	Bi	Bismuth	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	Th	Thorium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	U	Uranium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Geochemical Analysis			Concentration Trace in ppm										
z	Symbol	Element	NSAM11	NSAM12	NSAM13	NSAM14	NSAM15	NSAM16	NSAM17	NSAM18	NSAM19	NSAM20	NSAM21
16	S	Sulfur	96	62	89	144	98	117	131	189	101	78	72
17	Cl	Chlorine	83	34	35	50	104	98	93	115	83	69	72
22	Ti	Titanium	0	52	172	211	98	19	0	122	116	0	32
23	V	Vanadium	65	31	45	43	34	28	35	14	24	45	29
24	Cr	Chromium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	Co	Cobalt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Ni	Nickel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Cu	Copper	0	0	10	0	0	0	0	13	15	0	0
30	Zn	Zinc	0	11	37	11	11	0	18	10	22	0	11
31	Ga	Gallium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	Ge	Germanium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	As	Arsenic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Se	Selenium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	Br	Bromine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	Rb	Rubidium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	SrO	Strontium	324	345	381	362	111	198	184	106	189	271	344
39	Y	Yttrium	0	18	16	0	0	0	10	0	11	0	17
40	Zr	Zirconium	0	0	12	0	0	0	0	13	0	0	0
41	Nb	Niobium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	Mo	Molybdenum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	Ag	Silver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	Cd	Cadmium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	Sn	Tin	12	17	0	14	17	14	14	17	17	15	14
51	Sb	Antimony	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	Te	Tellurium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	I	Iodine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	Cs	Cesium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
56	Ba	Barium	130	77	591	48	46	36	86	128	151	0	78
57	La	Lanthanum	0	0	0	22	33	0	0	0	0	0	0
58	Ce	Cerium	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0
72	Hf	Hafnium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	Ta	Tantalum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	W	Tungsten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Hg	Mercury	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	Tl	Thallium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	Pb	Lead	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	Bi	Bismuth	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	Th	Thorium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	U	Uranium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 6 Ποσοτική κατανομή ιχνοστοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία:Σαμαρία)



Διάγραμμα 6 Γραφική παράσταση των ιχνοστοιχείων εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRF (Τοποθεσία: Σαμαριά)

## 5.2 Ορυκτολογική Ανάλυση XRD

Για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων των δειγμάτων από πετρώματα που ελήφθησαν κατά μήκος του μονοπατιού στο φαράγγι της Σαμαρίας επιλέχθηκε για την ορυκτολογική ανάλυση η μέθοδος περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Η μέθοδος αυτή είναι ημιποσοτική και για αυτό καλό είναι να μην παρουσιάζονται νούμερα αλλά ημιποσοτικοί χαρακτηρισμοί (\*=abundant, =moderate, \*=minor, tr=trace).

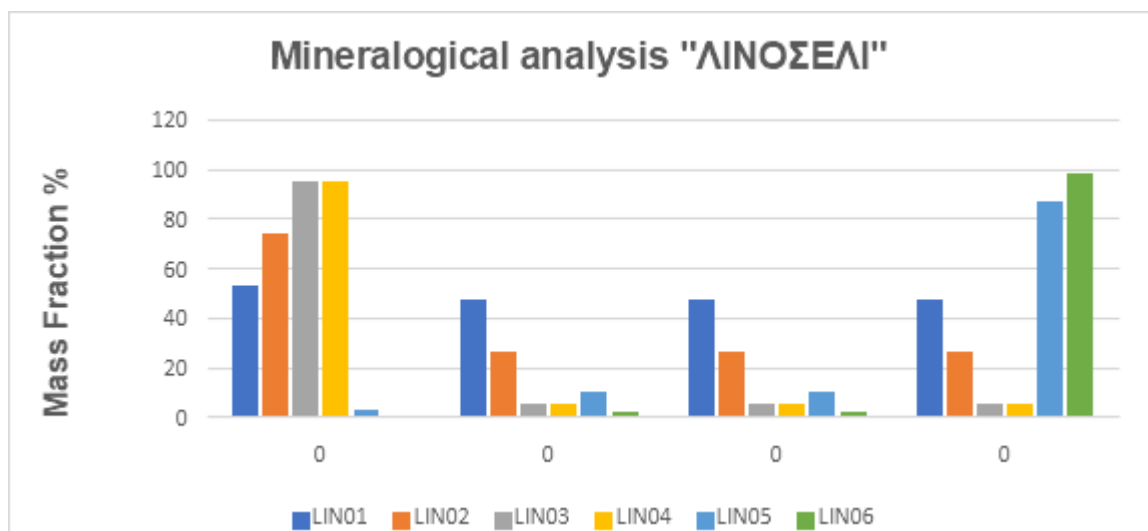
Σε σχετικά όμως ομοιογενή δείγματα θα μπορούσαν για λόγους εποπτείας να διατηρηθούν οι σχετικές περιεκτικότητες των κυρίων ορυκτολογικών φάσεων που απαντώνται στα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων.

Οι ποιοτικές και ποσοτικές αναλύσεις με περίθλαση ακτίνων X σε κονιορτοποιημένα δείγματα παρατίθενται στους πίνακες 7-9. Για την ημιποσοτική ανάλυση των ορυκτών που ακολούθησε χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα DIFFRAC.EVA (Bruker).

### 5.2.1 Ορυκτολογική ανάλυση XRD δειγμάτων από «ΛΙΝΟΣΕΛΙ»

<i>Mineralogical Analysis</i>	MINERALS "ΛΙΝΟΣΕΛΙ"			
SAMPLES	Calcite	Quartz	Muscovite	Dolomite
LIN01	52,9	47,1		
LIN02	73,5	26,5		
LIN03	94,9	5,1		
LIN04	94,7	5,3		
LIN05	3	9,8		87,2
LIN06		2,1		97,9

Πίνακας 7 Ποσοστό περιεκτικότητας σε ορυκτά των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRD (Τοποθεσία: Λινοσέλι)

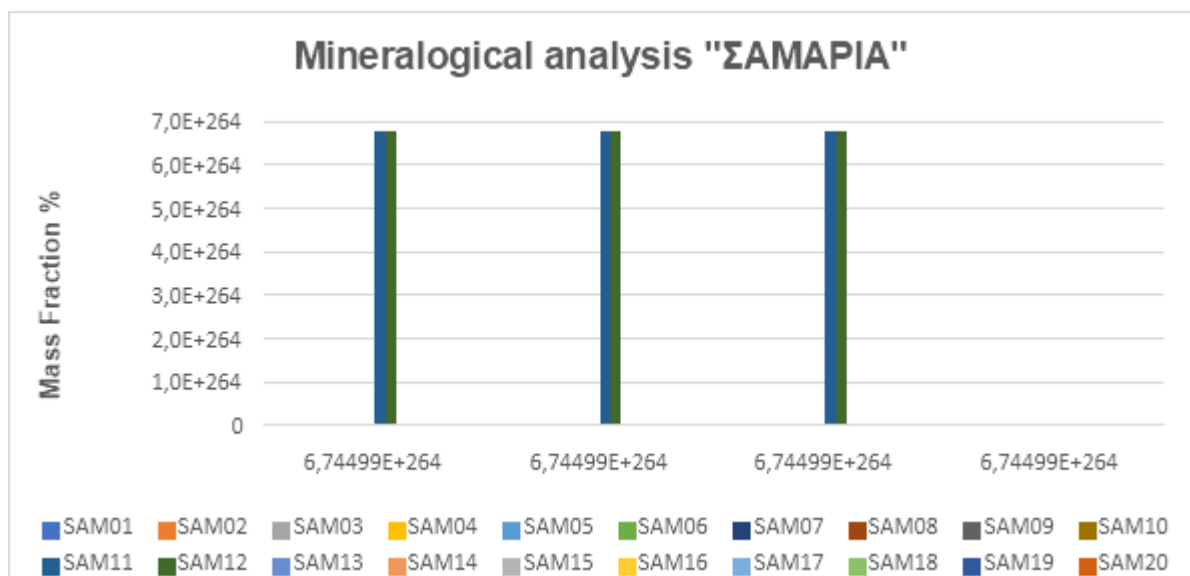


Διάγραμμα 7 Γραφική παράσταση της περιεκτικότητας των ορυκτών των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRD (Τοποθεσία: Λινοσέλι)

### 5.2.2 Ορυκτολογική ανάλυση XRD δειγμάτων από «ΣΑΜΑΡΙΑ»

<i>Mineralogical Analysis</i>	MINERALS "ΣΑΜΑΡΙΑ"			
SAMPLES	Calcite	Quartz	Muscovite	Dolomite
SAM01	78,7		7,3	14,1
SAM02	49,3	31,6	19,1	
SAM03	7,5	10,4	12,1	
SAM04	79,1	20,9		
SAM05	25,1	51,6	23,3	
SAM06	16,4	83,6		
SAM07	17,3	82,7		
SAM08	33,7	66,3		
SAM09	55,7	44,3		
SAM10	79,7	20,3		
SAM11				100
SAM12				100
SAM13	50,3	49,7		
SAM14	98,1	1,9		
SAM15	49,5	50,5		
SAM16	31,9	68,1		
SAM17	90,4	9,6		
SAM18	90,6	9,4		
SAM19	80,9	19,1		
SAM20	18,4	81,6		

Πίνακας 8 Ποσοστό περιεκτικότητας σε ορυκτά των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRD (Τοποθεσία: Σαμαρία)

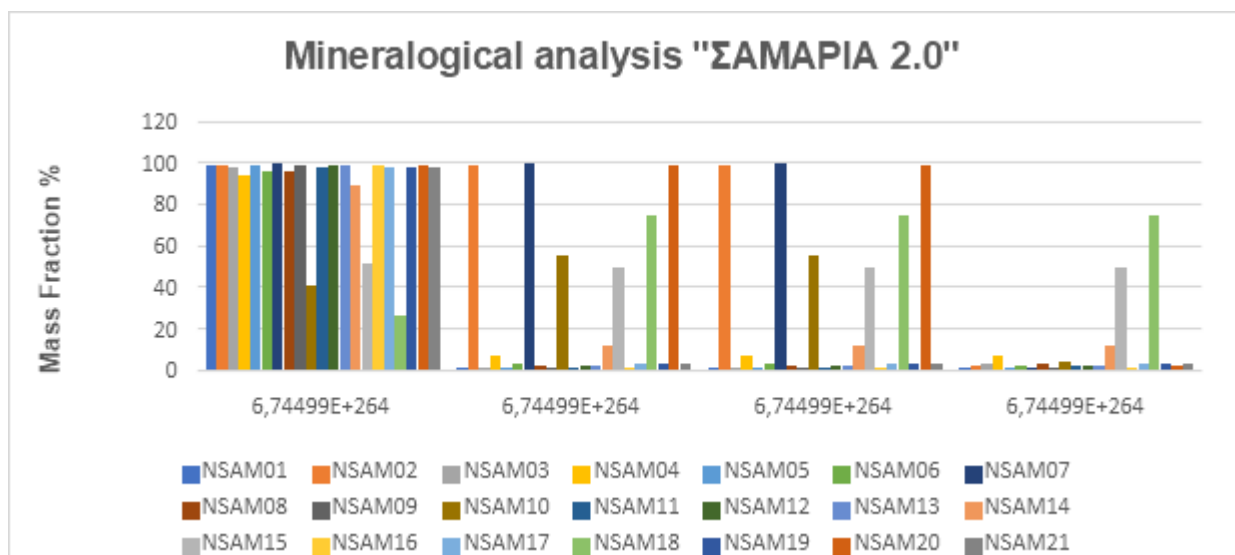


Διάγραμμα 8 Γραφική παράσταση της περιεκτικότητας των ορυκτών των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRD (Τοποθεσία: Σαμαριά)

### 5.2.3 Ορυκτολογική ανάλυση XRD δειγμάτων από «ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0»

<i>Mineralogical Analysis</i>	MINERALS "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0"			
SAMPLES	Calcite	Quartz	Muscovite	Dolomite
NSAM01	98,2	0,6		1,2
NSAM02	98,7			1,3
NSAM03	97,1	0,7		2,2
NSAM04	93,8	6,2		
NSAM05	98,7	0,5		0,8
NSAM06	95,8	2,9		1,3
NSAM07	99,1			0,9
NSAM08	95,2	2,1		2,7
NSAM09	98,6	0,3		1
NSAM10	40,8	55,2		4
NSAM11	97,8	0,9		1,3
NSAM12	98,7	1,3		
NSAM13	97,9	2,1		
NSAM14	89,1	10,9		
NSAM15	51,3	48,7		
NSAM16	98,8	0,4		0,9
NSAM17	97,3	2,7		
NSAM18	25,8	74,2		
NSAM19	97,4	2,6		
NSAM20	98,3			1,7
NSAM21	97,7	2,3		

Πίνακας 9 Ποσοστό περιεκτικότητας σε ορυκτά των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRD (Τοποθεσία: Σαμαρία)



Διάγραμμα 9 Γραφική παράσταση της περιεκτικότητας των ορυκτών των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την μέθοδο XRD (Τοποθεσία: Σαμαριά)

*Από την ανάλυση και μετά από σύγκριση των τριών ομάδων δειγμάτων εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:*

### 5.3 Γενική επισκόπηση δειγμάτων

Το αρχείο περιέχει γεωχημικές αναλύσεις τριών διαφορετικών ομάδων ορυκτών:

- 1 "ΛΙΝΟΣΕΛΙ" (δείγματα LIN01-LIN06)
- 2 "ΣΑΜΑΡΙΑ" (δείγματα SAM01-SAM20)
- 3 "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0" (δείγματα NSAM01-NSAM21)

Κάθε δείγμα αναλύθηκε για την περιεκτικότητά του σε τέσσερα ορυκτά: Ασβεστίτη (Calcite), Χαλαζία (Quartz), Μοσχοβίτη (Muscovite) και Δολομίτη (Dolomite).

### 5.4 Συγκριτική ανάλυση

Η ομάδα στη περιοχή "ΛΙΝΟΣΕΛΙ" χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία του ασβεστίτη στα περισσότερα δείγματα (LIN01-LIN04), με περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 52,9% έως 94,9%. Ωστόσο, τα δείγματα LIN05 και LIN06 εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε δολομίτη (87,2-97,9%). Ο χαλαζίας είναι παρών σε όλα τα δείγματα εκτός από το LIN06, με ποσοστά από 2,1% έως 47,1%, ενώ ο μοσχοβίτης απουσιάζει πλήρως.

Η περιοχή "ΣΑΜΑΡΙΑ" παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ποικιλομορφία στη σύστασή της, με ασβεστίτη σε ποσοστά 7,5-98,1% και χαλαζία σε 1,9-83,6%. Ο μοσχοβίτης εντοπίζεται σε πέντε δείγματα, με περιεκτικότητα από 7,3% έως 23,3%. Δύο δείγματα (SAM11 και SAM12) αποτελούνται αποκλειστικά από δολομίτη (100%), διαφοροποιώντας τα από τα υπόλοιπα

Τέλος, η ομάδα "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0" περιλαμβάνει δείγματα με εξαιρετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη (89,1-99,1%), με εξαίρεση τα NSAM10 (40,8%), NSAM18 (25,8%) και NSAM15 (51,3%). Ο χαλαζίας εμφανίζεται σε ποικίλα ποσοστά (0,3-74,2%), με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις στα NSAM10, NSAM15 και NSAM18. Ο δολομίτης ανιχνεύεται σε χαμηλά ποσοστά (0,8-4%) σε αρκετά δείγματα, ενώ ο μοσχοβίτης απουσιάζει εντελώς.

### 5.4.1 Κύρια συμπεράσματα

Τα κύρια συμπεράσματα από την ανάλυση των τριών ομάδων ορυκτών είναι τα εξής:

Οι ομάδες "ΛΙΝΟΣΕΛΙ" και "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0" είναι πλούσιες σε ασβεστίτη, ενώ η ομάδα "ΣΑΜΑΡΙΑ" παρουσιάζει μεγαλύτερη ποικιλία στη σύσταση. Ο μοσχοβίτης εντοπίζεται μόνο στην ομάδα "ΣΑΜΑΡΙΑ" και απουσιάζει από τις άλλες δύο ομάδες. Ο δολομίτης εμφανίζεται και στις τρεις ομάδες, αλλά με διαφορετικά πρότυπα: στο "ΛΙΝΟΣΕΛΙ" είτε κυριαρχεί (πάνω από 87%) είτε απουσιάζει τελείως, στο "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0" εμφανίζεται σε χαμηλά ποσοστά (κάτω από 5%) και στο "ΣΑΜΑΡΙΑ" είτε κυριαρχεί (100%) σε δύο δείγματα είτε εμφανίζεται σε ένα μόνο δείγμα (14,1%). Ο χαλαζίας είναι παρών σε ποικίλα ποσοστά και στις τρεις ομάδες, αλλά με διαφορετική κατανομή.

Αυτά τα δεδομένα υποδεικνύουν διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες ή προέλευση για τις τρεις ομάδες ορυκτών.

## 5.5 Συγκριτική Γεωχημική και Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων

### *Μεθοδολογία Ανάλυσης*

Συγκρίθηκαν:

1. Η ορυκτολογική σύσταση (XRD ανάλυση)
2. Η χημική σύσταση κύριων στοιχείων (XRF ανάλυση, % κ.β.)
3. Η χημική σύσταση ιχνοστοιχείων (XRF ανάλυση, ppm)

#### 5.5.1 Ορυκτολογική Σύσταση

##### *Ομάδα "ΛΙΝΟΣΕΛΙ"*

- **Ασβεστίτης (Calcite):** Κυρίαρχο ορυκτό στα LIN01-LIN04 (52,9-94,9%)
- **Δολομίτης (Dolomite):** Κυρίαρχο ορυκτό στα LIN05-LIN06 (87,2-97,9%)
- **Χαλαζίας (Quartz):** Παρών σε όλα τα δείγματα εκτός από το LIN06 (2,1-47,1%)
- **Μοσχοβίτης (Muscovite):** Απουσιάζει από όλα τα δείγματα

##### *Ομάδα "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0"*

- **Ασβεστίτης:** Εξαιρετικά υψηλή περιεκτικότητα στα περισσότερα δείγματα (89,1-99,1%)
- **Χαλαζίας:** Ποικίλα ποσοστά (0,3-74,2%), με υψηλότερα στα NSAM10, NSAM15 και NSAM18
- **Δολομίτης:** Χαμηλά ποσοστά (0,8-4%) σε αρκετά δείγματα
- **Μοσχοβίτης:** Απουσιάζει από όλα τα δείγματα

##### *Ομάδα "ΣΑΜΑΡΙΑ"*

- **Ασβεστίτης:** Ποσοστά 7,5-98,1%
- **Χαλαζίας:** Ποσοστά 1,9-83,6%
- **Μοσχοβίτης:** Εντοπίζεται σε 5 δείγματα (7,3-23,3%)
- **Δολομίτης:** Αποκλειστικό ορυκτό (100%) σε δύο δείγματα (SAM11, SAM12)

### 5.5.2 Χημική Σύσταση Κύριων Στοιχείων (% κ.β.)

#### ΑΣΒΕΣΤΙΟ (CaO)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 21,24-40,73% (μέσος όρος ~31,4%)
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 12,13-41,72% (μέσος όρος ~28,8%)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 14,4-42,15% (μέσος όρος ~39,2%)

#### ΠΥΡΙΤΙΟ (SiO<sub>2</sub>)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 0,8711-10,58% (υψηλότερο στο LIN01)
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 0,0884-36,56% (υψηλότερο στο SAM20)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 0,1271-26,12% (υψηλότερο στο NSAM18)

#### ΜΑΓΝΗΣΙΟ (Mg)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 0-13,59% (υψηλότερο στα LIN05-LIN06)
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 0-13,57% (υψηλότερο στο SAM12)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 0,0419-0,4775% (χαμηλότερο εύρος τιμών)

#### ΑΡΓΙΛΙΟ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 0,0461-1,398% (υψηλότερο στο LIN05)
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 0-3,275% (υψηλότερο στο SAM02)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 0-0,6849% (χαμηλότερες τιμές συγκριτικά)

#### ΣΙΔΗΡΟΣ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 0,00612-0,5685% (υψηλότερο στο LIN05)
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 0,0027-1,703% (υψηλότερο στο SAM02)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 0-0,2746% (χαμηλότερες τιμές συγκριτικά)

#### ΚΑΛΙΟ (K<sub>2</sub>O)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 0-0,8477% (υψηλότερο στο LIN05)
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 0-1,353% (υψηλότερο στο SAM02)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 0-0,2296% (χαμηλότερες τιμές συγκριτικά)

#### ΝΑΤΡΙΟ (Na<sub>2</sub>O)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 0,172-1,166% (υψηλότερο στο LIN02)
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 0-1,315% (υψηλότερο στο SAM01)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 0-0,662% (χαμηλότερες τιμές συγκριτικά)

### 5.5.3 Χημική Σύσταση Ιχνοστοιχείων (ppm)

#### ΣΤΡΟΝΤΙΟ (SR)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 68-382 ppm
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 33-2222 ppm (εξαιρετικά υψηλό στο SAM01)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 78-409 ppm

#### ΒΑΡΙΟ (BA)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 0-93 ppm
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 0-89 ppm
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 0-591 ppm (υψηλότερο στο NSAM13)

#### ΤΙΤΑΝΙΟ (Ti)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 12-847 ppm (υψηλότερο στο LIN05)
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 0-2089 ppm (υψηλότερο στο SAM02)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 0-211 ppm (χαμηλότερες τιμές συγκριτικά)

#### ΧΛΩΡΙΟ (CL)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 10-364 ppm
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 27-655 ppm (υψηλότερο στο SAM01)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 34-345 ppm

#### ΘΕΙΟ (S)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 31-196 ppm
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 0-619 ppm (υψηλότερο στο SAM10)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 56-194 ppm

## ΒΡΩΜΙΟ (BR)

- ΛΙΝΟΣΕΛΙ: 0-11 ppm
- ΣΑΜΑΡΙΑ: 0-193 ppm (υψηλότερο στο SAM11)
- ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0: 0 ppm (απουσιάζει)

## 5.6 Συγκριτικά Συμπεράσματα

### 5.6.1 Ορυκτολογική Σύσταση

1. Η ομάδα "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0" παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ομοιογένεια με κυρίαρχο ορυκτό τον ασβεστίτη.
2. Η ομάδα "ΛΙΝΟΣΕΛΙ" διακρίνεται σε δύο υποομάδες: μία πλούσια σε ασβεστίτη και μία πλούσια σε δολομίτη.
3. Η ομάδα "ΣΑΜΑΡΙΑ" παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ποικιλομορφία, και είναι η μόνη που περιέχει μοσχοβίτη.

### 5.6.2 Χημική Σύσταση

#### *1. Κύρια Στοιχεία:*

- Τα δείγματα "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0" έχουν κατά μέσο όρο υψηλότερη περιεκτικότητα σε CaO, υποδηλώνοντας την κυριαρχία του ασβεστίτη.
- Τα δείγματα "ΛΙΝΟΣΕΛΙ" (LIN05-LIN06) και "ΣΑΜΑΡΙΑ" (SAM12) παρουσιάζουν υψηλές τιμές Mg, σε συμφωνία με την υψηλή περιεκτικότητα σε δολομίτη.
- Τα δείγματα "ΣΑΜΑΡΙΑ" παρουσιάζουν γενικά υψηλότερες τιμές  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  και  $K_2O$ , που σχετίζονται με την παρουσία αργιλικών ορυκτών και μοσχοβίτη.

#### *2. Ιχνοστοιχεία:*

- Το SAM01 έχει εξαιρετικά υψηλή συγκέντρωση Sr (2222 ppm), πολύ υψηλότερη από όλα τα άλλα δείγματα.

- Το Ba είναι ιδιαίτερα υψηλό σε ορισμένα δείγματα "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0" (έως 591 ppm).
- Το Ti είναι υψηλότερο στο SAM02 (2089 ppm), υποδηλώνοντας πιθανή παρουσία τιτανούχων ορυκτών.
- Το Br εμφανίζεται κυρίως στα δείγματα "ΣΑΜΑΡΙΑ" και απουσιάζει από τα "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0".

## 5.7 Πιθανά Συμπεράσματα και Προτάσεις

### Γεωλογική Προέλευση

Η ομάδα "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0" φαίνεται να προέρχεται από ένα περιβάλλον πλούσιο σε ασβεστίτη με μικρές διαφοροποιήσεις, πιθανώς ασβεστολιθικό πέτρωμα με μικρές προσμίξεις. Αντίθετα, η ομάδα "ΛΙΝΟΣΕΛΙ" παρουσιάζει δύο διακριτές υποομάδες, οι οποίες υποδηλώνουν είτε διαφορετικά περιβάλλοντα προέλευσης, ένα ασβεστολιθικό και ένα δολομιτικό, είτε διαφορετικούς βαθμούς δολομιτίωσης του ίδιου πετρώματος. Παράλληλα, η ομάδα "ΣΑΜΑΡΙΑ" εμφανίζει μεγαλύτερη ποικιλία στη σύσταση, γεγονός που υποδηλώνει ένα πιο σύνθετο γεωλογικό περιβάλλον προέλευσης με πιθανή ανάμειξη υλικών από διαφορετικές πηγές και την παρουσία αργιλοπυριτικών ορυκτών, όπως ο μοσχοβίτης, που δείχνει την επίδραση ιζηματογενών διεργασιών με προσμίξεις αργιλικών υλικών.

### Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

Οι υψηλές συγκεντρώσεις Sr στο SAM01 και Ba σε ορισμένα δείγματα "ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0" ενδέχεται να αντανακλούν ιδιαίτερες γεωχημικές συνθήκες κατά το σχηματισμό τους.

Ενώ ταυτόχρονα, η παρουσία Br κυρίως στα δείγματα "ΣΑΜΑΡΙΑ" θα μπορούσε να υποδηλώνει επίδραση θαλάσσιου περιβάλλοντος ή άλμης.

### Συσχετισμός Ορυκτολογικής και Χημικής Σύστασης

Υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ορυκτολογικής σύστασης (XRD) και της χημικής σύστασης (XRF) των δειγμάτων:

- Υψηλό CaO συσχετίζεται με υψηλή περιεκτικότητα ασβεστίτη
- Υψηλό Mg συσχετίζεται με υψηλή περιεκτικότητα δολομίτη
- Υψηλό SiO<sub>2</sub> συσχετίζεται με υψηλή περιεκτικότητα χαλαζία
- Υψηλές τιμές Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και K<sub>2</sub>O συσχετίζονται με την παρουσία μοσχοβίτη

Γενικότερα, από την ανάλυση των γραφημάτων των δειγμάτων του Λινοσελίου, προκύπτουν αυξημένες συγκεντρώσεις οξειδίων του ασβεστίου. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στη συνεχή διάβρωση του εδάφους, καθώς και στην παρουσία ασβεστολιθικών σχηματισμών που κυριαρχούν στην περιοχή. Παράλληλα, στα διαγράμματα των ιχνοστοιχείων παρατηρείται έντονα αυξημένη περιεκτικότητα στροντίου (Sr). Το στρόντιο δύναται να ενσωματωθεί στις ασβεστολιθικές πέτρες, αντικαθιστώντας το ασβέστιο στην κρυσταλλική τους δομή. Επιπλέον, η συγκέντρωση του στροντίου παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του σχηματισμού αυτών των πετρωμάτων, όπως η ηλικία τους, καθώς και οι συνθήκες που επικρατούσαν σε αρχαία θαλάσσια ή λιμναία περιβάλλοντα.

Αντίστοιχα, στα γραφήματα των δειγμάτων της Σαμαριάς καταγράφεται αυξημένη περιεκτικότητα στροντίου, καθώς και αυξημένη συγκέντρωση πυριτίου (Si). Το πυρίτιο εμφανίζεται στα ασβεστολιθικά πετρώματα κυρίως με τη μορφή χαλαζία, ενώ τα ανθρακικά πετρώματα δύναται να περιέχουν υδροξείδιο του πυριτίου. Η παρουσία πυριτίου στα εν λόγω πετρώματα θεωρείται καθοριστική για διάφορες γεωλογικές και βιολογικές διεργασίες, όπως η διαμόρφωση και σταθεροποίηση του εδάφους, καθώς και η γεωχημική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα στην περιοχή της Σαμαριάς.

Επιπλέον, διαπιστώνεται έντονη παρουσία θείου (S), στοιχείου που απαντάται κυρίως σε ιζηματογενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Η σημασία του θείου είναι ιδιαίτερα μεγάλη στη μελέτη γεωλογικών διεργασιών, όπως η οξείδωση, η διάβρωση και η σχηματοποίηση ορυκτών. Η παρουσία του συμβάλλει στην κατανόηση των διαδικασιών σχηματισμού πετρωμάτων, των μεταλλευτικών κοιτασμάτων, καθώς και των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά τον σχηματισμό τους.

Παρατηρείται επίσης αυξημένη συγκέντρωση χλωρίου (Cl) , το οποίο εντοπίζεται σε ορισμένα ιζηματογενή πετρώματα, κυρίως υπό τη μορφή χλωριούχων αλάτων. Η παρουσία του είναι εντονότερη σε περιοχές με υψηλά ποσοστά εξάτμισης, όπως οι θαλάσσιες περιοχές. Παρόλο που το χλώριο δεν είναι τόσο κοινό όσο άλλες χημικές ενώσεις στα πετρώματα, η ύπαρξή του προσφέρει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις γεωλογικές συνθήκες και τις διεργασίες που επηρέασαν τη διαμόρφωση συγκεκριμένων περιοχών.

Ταυτόχρονα, οι συγκεντρώσεις νατρίου και μαγνησίου παρουσιάζουν διακυμάνσεις μεταξύ των δειγμάτων, υποδεικνύοντας διαφορές στη σύνθεση των στοιχείων αυτών. Οι συγκεντρώσεις αργιλίου παρουσιάζουν αξιοσημείωτες διαφορές, οι οποίες κυμαίνονται από μικρές ποσότητες έως υψηλά ποσοστά. Το πυρίτιο είναι σταθερά υπαρκτό σε σημαντικές ποσότητες σε όλα τα δείγματα, γεγονός που υποδηλώνει μια κοινή πηγή ή μήτρα για αυτά τα υλικά. Οι συγκεντρώσεις φωσφόρου ποικίλλουν και ο ρόλος του στη σύνθεση ενδέχεται να εξαρτάται από το υλικό.

Τέλος, καταγράφεται σημαντική περιεκτικότητα βρωμίου (Br), το οποίο απαντάται κυρίως σε ιζηματογενή πετρώματα που σχηματίστηκαν λόγω εξάτμισης. Το βρώμιο ανιχνεύεται συνήθως σε μορφή βρωμιούχων αλάτων ή ορυκτών και είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο σε περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων, όπως τα θαλάσσια περιβάλλοντα. Συχνά ανιχνεύεται σε πετρώματα που σχηματίστηκαν από την εξάτμιση θαλασσινού νερού ή σε περιοχές με περιοδικά υψηλά ποσοστά εξάτμισης. Αν και δεν είναι τόσο διαδεδομένο όσο άλλες χημικές ενώσεις, η παρουσία του είναι σημαντική για την κατανόηση των περιβαλλοντικών συνθηκών σχηματισμού αυτών των πετρωμάτων.

## 6 Συμπεράσματα και Συζήτηση

Η διερεύνηση των μεταμορφωμένων ανθρακικών σχηματισμών εντός των ορίων του Εθνικού Πάρκου Σαμαριάς απέδωσε σημαντικές αποκαλύψεις σχετικά με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά αυτού του ιδιαίτερου οικολογικού περιβάλλοντος. Η έρευνα ξεκίνησε με τη διενέργεια εκτεταμένης εξέτασης των ανθρακικών πετρωμάτων, η οποία περιελάμβανε ανάλυση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών, της χημικής σύνθεσης και των εγγενών ιδιοτήτων τους. Η εξέταση του ευρύτερου πλαισίου των εθνικών πάρκων και των προστατευόμενων περιοχών, που περιελάμβανε ανάλυση του νομικού πλαισίου και των στρατηγικών διαχείρισης, χρησίμευσε για την πλαισίωση του Εθνικού Πάρκου Σαμαριάς στο ευρύτερο τοπίο της προστασίας. Παράλληλα, η μελέτη των γεωγραφικών και κλιματικών χαρακτηριστικών της Κρήτης και της περιοχής του φαραγγιού συνέβαλε στη διαμόρφωση του γεωλογικού πλαισίου της έρευνας.

Η ανάλυση των δειγμάτων από τις περιοχές «ΛΙΝΟΣΕΛΙ», «ΣΑΜΑΡΙΑ» και «ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0» αποκάλυψε σημαντικές διαφοροποιήσεις στη σύσταση και τις γεωχημικές τους ιδιότητες. Η ομάδα «ΛΙΝΟΣΕΛΙ» χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία του ασβεστίτη στα περισσότερα δείγματα (52,9-94,9%), με εξαίρεση τα LIN05 και LIN06, που εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε δολομίτη (87,2-97,9%). Ο χαλαζίας είναι παρών σε όλα τα δείγματα, εκτός από το LIN06 (2,1-47,1%), ενώ ο μοσχοβίτης απουσιάζει. Αντίστοιχα, η ομάδα «ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0» παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη (89,1-99,1%), με χαμηλότερες τιμές σε τρία δείγματα (NSAM10, NSAM15, NSAM18), όπου καταγράφεται και η μεγαλύτερη συγκέντρωση χαλαζία (0,3-74,2%). Ο δολομίτης εμφανίζεται σε χαμηλά ποσοστά (0,8-4%), ενώ ο μοσχοβίτης απουσιάζει. Η ομάδα «ΣΑΜΑΡΙΑ» είναι η πιο ποικιλόμορφη, με ασβεστίτη (7,5-98,1%), χαλαζία (1,9-83,6%) και μοσχοβίτη σε πέντε δείγματα (7,3-23,3%), ενώ δύο δείγματα (SAM11, SAM12) αποτελούνται αποκλειστικά από δολομίτη (100%).

Αναφορικά με τη χημική σύσταση, τα δείγματα της «ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0» εμφανίζουν κατά μέσο όρο υψηλότερη συγκέντρωση CaO, υποδεικνύοντας την κυριαρχία του ασβεστίτη. Αντίθετα, τα δείγματα «ΛΙΝΟΣΕΛΙ» και «ΣΑΜΑΡΙΑ» με υψηλή περιεκτικότητα σε δολομίτη εμφανίζουν αυξημένες τιμές Mg. Τα δείγματα «ΣΑΜΑΡΙΑ» διακρίνονται από υψηλότερες

συγκεντρώσεις  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  και  $\text{K}_2\text{O}$ , υποδηλώνοντας την παρουσία αργιλικών ορυκτών και μοσχοβίτη. Η ανάλυση των ιχνοστοιχείων ανέδειξε σημαντικές διαφοροποιήσεις: Το δείγμα SAM01 έχει εξαιρετικά υψηλή συγκέντρωση Sr (2222 ppm), ενώ το Ba είναι ιδιαίτερα αυξημένο σε ορισμένα δείγματα της «ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0». Η παρουσία Ti στο SAM02 (2089 ppm) υποδηλώνει πιθανή παρουσία τιτανούχων ορυκτών, ενώ το Br εντοπίζεται κυρίως στα δείγματα της «ΣΑΜΑΡΙΑ», απουσιάζοντας από τη «ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0».

Τα αποτελέσματα της μελέτης υποδεικνύουν ότι η «ΣΑΜΑΡΙΑ 2.0» προέρχεται από περιβάλλον πλούσιο σε ασβεστίτη, πιθανώς ασβεστολιθικό πέτρωμα με μικρές διαφοροποιήσεις. Η «ΛΙΝΟΣΕΛΙ» παρουσιάζει δύο υποομάδες, μία ασβεστιτική και μία δολομιτική, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί είτε σε διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες είτε σε ποικίλους βαθμούς δολομιτίωσης. Η «ΣΑΜΑΡΙΑ» παρουσιάζει την πιο σύνθετη γεωχημική εικόνα, με πιθανή ανάμειξη υλικών και έντονη παρουσία αργιλοπυριτικών ορυκτών. Οι διαφοροποιήσεις στις συγκεντρώσεις Sr, Ba και Br υποδεικνύουν διαφοροποιημένες γεωχημικές συνθήκες κατά τον σχηματισμό των δειγμάτων, ενώ η παρουσία Br στην «ΣΑΜΑΡΙΑ» πιθανώς σχετίζεται με επιδράσεις θαλάσσιου περιβάλλοντος ή άλμης.

Η μελέτη αυτή όχι μόνο συμβάλλει στην πρόοδο της κατανόησης των μεταμορφωμένων ανθρακικών πετρωμάτων, αλλά εμπλουτίζει και την ευρύτερη κατανόηση της γεωλογικής πολυπλοκότητας του Εθνικού Πάρκου Σαμαριάς. Τα ευρήματα που παρουσιάζονται εδώ αποτελούν πολύτιμη συμβολή στην υπάρχουσα επιστημονική βιβλιογραφία, δημιουργώντας έτσι μια στέρεη βάση για μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες και πρωτοβουλίες διατήρησης εντός αυτού του οικολογικά σημαντικού και γεωλογικά γοητευτικού φυσικού καταφυγίου.

## 7 Βιβλιογραφία

- Ahr, W. M. (2011). *Geology of Carbonate Reservoirs: The Identification, Description and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks*. In *Google Books*. John Wiley & Sons. <https://books.google.com/books?hl=el&lr=&id=ziT902O4k-UC&oi=fnd&pg=PT5&dq=Carbonate+rocks&ots=vwbhLZYh1v&sig=8umsJfRkncQlBMs6-BnhXNZs4zk>
- Aspinall, R. J., Marcus, W. A., & Boardman, J. W. (2002). Considerations in collecting, processing, and analysing high spatial resolution hyperspectral data for environmental investigations. *Journal of Geographical Systems*, 4(1), 15–29. <https://doi.org/10.1007/s101090100071>
- Baissa, R., Labbassi, K., Launeau, P., Gaudin, A., & Ouajhain, B. (2011). Using HySpex SWIR-320m hyperspectral data for the identification and mapping of minerals in hand specimens of carbonate rocks from the Ankloute Formation (Agadir Basin, Western Morocco). *Journal of African Earth Sciences*, 61(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2011.04.003>
- Bishop, J. L., Schelble, R. T., McKay, C. P., Brown, A. J., & Perry, K. A. (2011). Carbonate rocks in the Mojave Desert as an analogue for Martian carbonates. *International Journal of Astrobiology*, 10(4), 349-358.
- Brasier, A. T., Martin, A. P., Melezhik, V. A., Prave, A. R., Condon, D. J., & Fallick, A. E. (2013). Earth's earliest global glaciation? Carbonate geochemistry and geochronology of the Polisarka Sedimentary Formation, Kola Peninsula, Russia. *Precambrian Research*, 235, 278-294.
- Clark, R. N., King, T. V. V., Klejwa, M., Swayze, G. A., & Vergo, N. (1990). High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. *Journal of Geophysical Research*, 95(B8), 12653. <https://doi.org/10.1029/jb095ib08p12653>
- Fassoulas, C., Kiliyas, A., & Mountrakis, D. (1994). Postnappe stacking extension and exhumation of high-pressure/low-temperature rocks in the island of Crete, Greece. *Tectonics*, 13(1), 127–138. <https://doi.org/10.1029/93tc01955>
- Fitton, G. (2014). X-ray fluorescence spectrometry. In R. Gill (Ed.), *Modern Analytical Geochemistry: An Introduction to Quantitative Chemical Analysis Techniques for Earth, Environmental and Materials Scientists* (pp. 87-115). New York, USA: Routledge.
- Flügel, E. (2010). Microfacies of Carbonate Rocks. In *Springer eBooks*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03796-2>
- Forbes, M., Vogwill, R., & Onton, K. (2010). A characterisation of the coastal tufa deposits of south-west Western Australia. *Sedimentary Geology*, 232(1-2), 52-65.
- Freas, R.C., Hayden, J.S. & Pryor JR, C.A., 2006. Limestone and Dolomite. In: J.E. KOGEL, N.C. TRIVEDI, J.M. BARKER & S.T. KRUKOWSKI (eds) “Industrial Minerals

and Rocks. Commodities, Markets, and Uses”, 7<sup>th</sup> Edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 581- 597.

Friedman, G. M. (1959). Identification of carbonate minerals by staining methods. *Journal of Sedimentary Research*, 29(1), 87-97.

Goldstein, J., Newbury, D. E., Joy, D. C., Lyman, C. E., Echlin, P., Lifshin, E., Sawyer, L., & Michael, J. R. (2003). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis* (3rd ed., p. 361). New York, USA: Springer.

Harisson, D.J., INGLETHORPE S.D.J., MITCELL C.J., KEMP S.J., CHAODUMRONG P. & CHARUSRIBANDHU M., 1998. Procedures for the rapid assessment of limestone resources. Techn. Rep. WC/ 98/1, BGS.

Hosseinzadeh, B., Bazargan, M., Rostami, B., & Ayatollahi, S. (2017). Modeling of Wormhole Propagation in Carbonate Rocks by Use of In-Situ-Gelled Acids. *SPE Journal*, 22(06), 2032–2048. <https://doi.org/10.2118/186101-pa>

James, N. P., & Jones, B. (2015). Analytical methods. In *Origin of Carbonate Sedimentary Rocks* (pp. 286-296). West Sussex, UK: John Wiley and Sons.

Johansson, S., Sparrenbom, C., Fiandaca, G., Lindskog, A., Olsson, P.-I., Dahlin, T., & Rosqvist, H. (2017). Investigations of a Cretaceous limestone with spectral induced polarization and scanning electron microscopy. *Geophysical Journal International*, 208(2), 954-972.

Jolivet, L., Menant, A., Clerc, C., Sternai, P., Bellahsen, N., Leroy, S., Pik, R., Stab, M., Faccenna, C., & Gorini, C. (2018). Extensional crustal tectonics and crust-mantle coupling, a view from the geological record. *Earth-Science Reviews*, 185, 1187–1209. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.09.010>

Kaplan, M. Y., Eren, M., Kadir, S., & Kapur, S. (2013). Mineralogical, geochemical and isotopic characteristics of quaternary calcretes in the Adana region, Southern Turkey: Implications on their origin. *Catena*, 101, 164-177.

Kato, K., Wada, H., & Fujioka, K. (2003). The application of chemical staining to separate calcite and aragonite minerals for micro-scale isotopic analyses. *GEOCHEMICAL JOURNAL*, 37(2), 291–297. <https://doi.org/10.2343/geochemj.37.291>

Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., & Dietz, J. B. (1993). Expert system-based mineral mapping in northern death valley, California/Nevada, using the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). *Remote Sensing of Environment*, 44(2-3), 309–336. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90024-r](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90024-r)

Kurz, T. H., Dewit, J., Buckley, S. J., Thurmond, J. B., Hunt, D. W., & Swennen, R. (2011). Hyperspectral image analysis of different carbonate lithologies (limestone, karst and hydrothermal dolomites): the Pozalagua Quarry case study (Cantabria, North-west Spain). *Sedimentology*, 59(2), 623–645. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2011.01269.x>

Κάτη, Μ., 1999. Απόθεση, διαγένεση και εξέλιξη πορώδους των Ηωκαινικών σχηματισμών της Προαπούλιας ζώνης στη νήσο Ζάκυνθο. Διδακτορική Διατριβή, ΕΚΠΑ, 294 σελ.

- Lai, P., Moulton, K., & Krevor, S. (2015). Pore-scale heterogeneity in the mineral distribution and reactive surface area of porous rocks. *Chemical Geology*, 411, 260- 273.
- Manoutsoglou, E., Lazos, I., Steiakakis, E., & Vafeidis, A. (2022). The Geomorphological and Geological Structure of the Samaria Gorge, Crete, Greece—Geological Models Comprehensive Review and the Link with the Geomorphological Evolution. *Applied Sciences*, 12(20), 10670. <https://doi.org/10.3390/app122010670>
- Manutsoglu, E., Jacobshagen, V., Spyridonos, E., & Skala, W. (1999). Geologische 3D-Modellierung der Plattenkalk-Gruppe West-Kretas (Erste Ergebnisse). *Mathematische Geologie*, 4, 73-79.
- Manutsoglu, E., Soujon, A. and Jacobshagen, V. (2003). Tectonic structure and fabric development of the Plattenkalk unit around the Samaria gorge, Western Crete, Greece. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 154(1), pp.85–100.
- Murphy, R. J., Monteiro, S. T., & Schneider, S. (2012). *Evaluating Classification Techniques for Mapping Vertical Geology Using Field-Based Hyperspectral Sensors*. [ieeexplore.ieee.org](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6144724/). <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6144724/>
- Oates, J.A.H., 1998. Lime and Limestone. Chemistry and Techology, Production and Uses. Wiley-VCH, pp. 455.
- Papanikolaou, D., & Vassilakis, E. (2010). Thrust faults and extensional detachment faults in Cretan tectono-stratigraphy: Implications for Middle Miocene extension. *Tectonophysics*, 488(1-4), 233–247. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.06.024>
- Parbhakar-Fox, A., Fox, N., Moltzen, J., & Lottermoser, B. (2017). Chemical staining techniques for drill core characterization. In B. Lottermoser (Ed.), *Environmental Indicators in Metal Mining* (pp. 97-114). Switzerland: Springer International Publishing.
- Pavlaki, A., Meladiotis, I. and Pavlakis, P. (2013). Applicability of the "Lefka Ori" Western Crete region "GeoFactors" Interaction Matrix (GFIM) as a key to understanding the engineering geological condtions. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 47(4), 1820-1833. doi:10.12681/bgsg.11061.
- Rahl, J.M., Anderson, K.M., Brandon, M.T. and Fassoulas, C., (2005). Raman spectroscopic carbonaceous material thermometry of low-grade metamorphic rocks: Calibration and application to tectonic exhumation in Crete, Greece. *Earth and Planetary Science Letters*, 240(2), pp.339–354. doi:10.1016/j.epsl.2005.09.055.
- Reed, S. J. B. (2005). *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology* (2nd ed., p. 232). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Rodger, A., Laukamp, C., Haest, M., & Cudahy, T. (2012). A simple quadratic method of absorption feature wavelength estimation in continuum removed spectra. *Remote Sensing of Environment*, 118, 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.025>

Sdiri, A., Higashi, T., Hatta, T., Jamoussi, F., & Tase, N. (2010). Mineralogical and spectroscopic characterization, and potential environmental use of limestone from the Abiod formation, Tunisia. *Environmental Earth Sciences*, 61(6), 1275-1287.

Soujon, A. and Jacobshagen, V. (2001). Subduction of continental crust in the Hellenic arc – mid-Tertiary metamorphism of the Plattenkalk unit, Crete island, Greece. *Schriftenreihe der deutschen geologischen Gesellschaft*, 14, 201-202.

Soujon, A., Jacobshagen, V., & Μανουτσόγλου, Ε. (1998). A lithostratigraphic correlation of the Plattenkalak occurrences of Crete (Greece). *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 32(1), 41–48. <http://geolib.geo.auth.gr/digeo/index.php/bgsg/article/view/1825>

Tataris, A., & Christodoulou, C. (1965). The geological structure of Leuca Mountains. *Bull Geol Soc Greece*, 6, 319-347.

Tetteh, J. T., Brady, P. V., & Barati Ghahfarokhi, R. (2020). Review of low salinity waterflooding in carbonate rocks: mechanisms, investigation techniques, and future directions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 284, 102253. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102253>

Tucker, M.E. & WRIGHT, V.P., 1990. Carbonate Sedimentology, Oxford, Blackwell Scientific Publications. pp.482.

Tucker M.E., 2001. Sedimentary Petrology (3<sup>rd</sup> edition). Blackwell Science Ltd, Oxford, pp. 262.

Van der Meer, F. (1995). Spectral reflectance of carbonate mineral mixtures and bidirectional reflectance theory: Quantitative analysis techniques for application in remote sensing. *Remote Sensing Reviews*, 13(1-2), 67–94. <https://doi.org/10.1080/02757259509532297>

Vincent, B., Fleury, M., Santerre, Y., & Brigaud, B. (2011). NMR relaxation of neritic carbonates: An integrated petrophysical and petrographical approach. *Journal of Applied Geophysics*, 74(1), 38–58. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2011.03.002>

Waseda, Y., Matsubara, E., & Shinoda, K. (2011). Diffraction from polycrystalline samples and determination of crystal structure. In *X-Ray Diffraction Crystallography: Introduction, Examples and Solved Problems* (pp. 107-167). Berlin, Germany: Springer.

Zaini, N., van der Meer, F., & van der Werff, H. (2012). Effect of Grain Size and Mineral Mixing on Carbonate Absorption Features in the SWIR and TIR Wavelength Regions. *Remote Sensing*, 4(4), 987–1003. <https://doi.org/10.3390/rs4040987>

Ζάχαρης, Α., Σ. (1997). Εθνικός Δρυμός. Το Φαράγγι της Σαμαριάς. Γεωγραφία - Οικολογία - Ιστορία – Τουρισμός. Εκδόσεις Μπάστας-Πλέσσας.

Καλογεράκη, Μ. (2015). ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΤΟ ΦΑΡΑΓΓΙ ΤΗΣ ΣΑΜΑΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

Καλογεράκη, Μ. (2015). Στατιστική ανάλυση υδρο-μετεωρολογικών δεδομένων της νήσου Κρήτης. Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Καραχάλιος, Μ. (2007). Η διαχείριση των εθνικών δρυμών: η περίπτωση της Πάρνηθας (Doctoral dissertation).

Κασιούμης, Κ. (1993). Εθνικοί Δρυμοί και προστατευόμενες περιοχές. Ορισμός, σημασία και διαχείριση. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 4(1), 101-108.

Καψάλης, Θ. Β. (2020). Οι δράσεις των περιβαλλοντικών πάρκων και φορέων διαχείρισης για την αειφορία και το περιβάλλον: η περίπτωση του Εθνικού Δρυμού της Οίτης (Master's thesis).

Λασκαρίδης, Κ. & Πατρώνης, Μ., 2005. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των φυσικών διακοσμητικών πετρωμάτων και η χρήση τους κατά την απόδοση σήμανσης CE. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Συνεδρίου Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, σελ. 179-187.

Μανουτσογλου, Ε., Σπυριδωνος, Ε., Soujon, Α., & Jacobshagen, V. (2001). Revision of the geological map and 3D modelling of the geological structure of the Samaria Gorge Region, W. Crete. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 34(1), 29. <https://doi.org/10.12681/bgsg.16940>

Μπεριάτος, Η. (2003). Σχεδιασμός και Διαχείριση Προστατευομένων Περιοχών στην Ελλάδα: Θεσμικές Εξελίξεις. Προβλήματα και Προοπτικές, Αειχώρος, Τόμος 2.

Ρέλια, Θ. Σ. (2011). Νομικά πλαίσιο εθνικού δρυμού Πάρνηθας: τρόποι βελτίωσής του.



## Παραρτήμα



*ΕΙΚΟΝΑ 1 Θέση 1 Lino 1 Μπλε μάρμαρα που παρουσιάζουν μια καθαρή στρώση, παρουσιάζουν και μια κλίση ΝΔ E:00491924 N:03906691 Με ακρίβεια 13feet 1501m υψόμετρο*



*ΕΙΚΟΝΑ 2 Θέση 2 Lino 2 Σχηματισμός μεταφλυσχης, λεπτά στρώματα λεπτές ενστρώσεις, ανθρακικές καταθέσεις, εμφανίσεις SiO2 Δεν αποκλείεται η πιθανότητα να είναι διαφορετικού βαθμού μεταμορφώσης μπλε μαρμάρων E:00491743 N:03906458 Ακρίβεια 20 feet Ύψος: 1499m*



*ΕΙΚΟΝΑ 3 Θέση 3 Λινοσελι Βλέπουμε ανθρακικό μεταμορφωμένο σχηματισμό πιθανότατα μάρμαρο χωρίς εμφανείς στρώσεις-μαζωδής μαύρου χρώματος, κυψελοειδή υφή, μικροκρυσταλλικό, περιέχει άστριους E:00491710 N:03906160 Ακρίβεια 90feet Ύψος 1536m*



*ΕΙΚΟΝΑ 4 Θέση 2 Σαμαριά Αργιλοσχιστολιθος, από τα στρώματα του Γκιγκιλου E:00493214 N:03906862 Ακρίβεια 75 feet Ύψος: 1241m*



*ΕΙΚΟΝΑ 5 Θέση 1 Σαμαριά Ανθρακικές σχηματισμός- πιθανότατα ασβεστόλιθος Ανήκει στα στρώματα του Γκιγκιλου (Τρυπαλι Πλακωδων ασβεστόλιθων Στρώματα Γκιγκιλου) E:00492411 N:03906824 Ακρίβεια 26feet Ύψος:1142Μ*



*ΕΙΚΟΝΑ 6 Θέση 3 Σαμάρια Ανθρακικός σχηματισμός, ασβεστοφυλλιτες έχουν μαρμαρυγια και μεγάλα ποσοστά ανθρακικού ασβεστίου ,παρουσιάζουν στρώση κυριαρχεί ο ασβεστίτης E:00493207 N:03906832 Ακρίβεια 35feet Ύψος:917μ*



*ΕΙΚΟΝΑ 7 Θέση 4-5 Σαμαριά έχουμε μπροστά μας μια επαφή. Αρα θέση επαφής μεταξύ του ασβεστιτικού φύλλιτη και ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου. Ο ασβεστιτικός φύλλιτης της παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά με την δειγματοληψία της προηγούμενης θέσης. Ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος δείγμα 4 παρουσιάζει κατακόρυφα στρώματα και στο ενδιάμεσο του μεσολαβούν ενστρώσεις διοξειδίου του πυριτίου επίσης κατακόρυφες E:00493670 N:03906749 Ακρίβεια 30feet Ύψος 698m E:3024.000000 N:4032.000000 E:3024.000000 N:4032.000000. Το δείγμα 5 είναι ασβεστιτικός φύλλιτης με έντονη παρουσία αργίλου μικρότερη παρουσία ασβεστιτικού (πρασινότεφρος). Το δείγμα 4 είναι μαύρο χρώμα και έχει φλέβες διοξειδίου του πυριτίου.*



*ΕΙΚΟΝΑ 8 Θέση 6 Σαμαριά. Ξεκάθαρα ανθρακικούς σχηματισμούς ανακρυσταλλωμενοι ασβεστόλιθοι-μάρμαρα πιθανότατα υποκείμενα του Γκιγκιλον, ενδιαστρώσεις διοξειδίου του πυριτίου και πολύ έντονα πτυχωμενα. Όσον αναφορά το δείγμα sam 06 έχει γκριζο χρώμα. E:00493730 N:03906750 Ακρίβεια 35 feet Ύψος 705 m*



*ΕΙΚΟΝΑ 9 Θέση 7 Σαμαριά Μετανθρακικός σχηματισμός ,τεφρος με λευκές στρώσεις διοξειδίου του πυριτίου και έντονη παρουσία ασβεστίτη E:00493830 N:03906865 Ακρίβεια 46feet Ύψος:661m*



*ΕΙΚΟΝΑ 10 Θέση 8 Σαμαριά. Μαύρος μετανθρακικός σχηματισμός με παρουσία διοξειδίου του πυριτίου και οξείδιο του σιδήρου (κόκκινο κίτρινα) E:00494377 N:03906611 Ακρίβεια 60feet Ύψος:605m*



*ΕΙΚΟΝΑ 11 Θέση 9 Σαμαριά. Μετανθρακικός σχηματισμός γκριζός, παρουσιάζει κυψελωδη υφή, μικροκρυσταλλικός ιστός, τύπου μάρμαρο στα όρια με ασβεστόλιθο. E:00494617 N:03906399 Ακρίβεια 40feet Ύψος:580m*



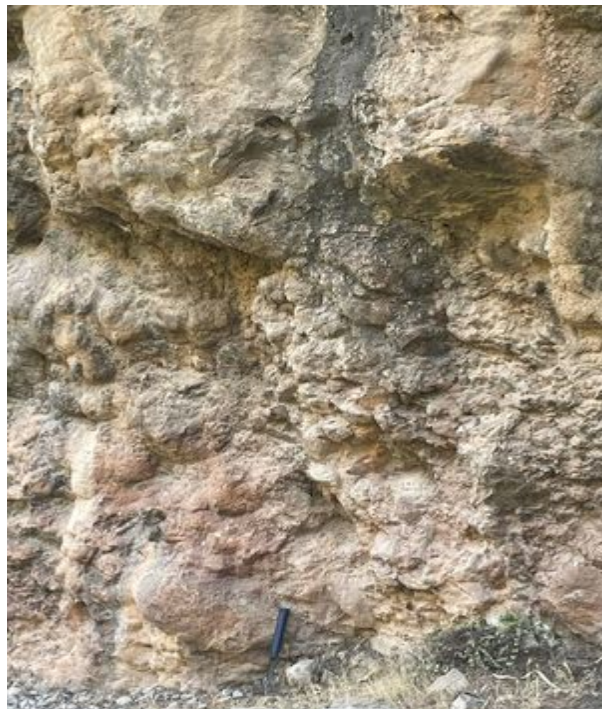
*ΕΙΚΟΝΑ 12* Θέση 10 Σαμαριά. Μαύρος αδροκρυσταλλικός μετανθρακικός σχηματισμός ο οποίος παρουσιάζει φαινόμενα καρστικοποίησης. E:00494706 N:03906295 Ακρίβεια 28 Ύψος 554m



*ΕΙΚΟΝΑ 13* Θέση 11 Σαμαριά. Μάρμαρο γκριζο μετανθρακικό περιέχει ασβεστίτη ,μικροκρυσταλλικός ιστός. E:00495172 N:03905934 ακρίβεια 34m Ύψος 468 M



*ΕΙΚΟΝΑ 14 Θέση 12 Σαμαριά. Γκριζολευκό μάρμαρο με έντονα φαινόμενα καρστικοποίησης E:00495550 N:03905618  
Ακρίβεια 25 Ύψος 445μ*



*ΕΙΚΟΝΑ 15 Θέση 13 Σαμαριά. Μαζωδής ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος χωρίς στρώση παρουσιάζει κίτρινα και ερυθρά  
τμήματα αλλά κατά κύριο λόγο με γκρι. E:00495951 N:03905316 Ακρίβεια 20 Ύψος:351μ*



*ΕΙΚΟΝΑ 16 Θέση 14 Σαμαριά. Μεγάλοι όγκοι ανακρυσταλλωμένων ασβεστόλιθων μαζώδης μικροκρυσταλλικοί γκρίζου χρώματος με μεγάλους κερατολιθικούς βολβούς. Ε:00496240 Ν:03904310 Ακρίβεια 60 Ύψος 309*



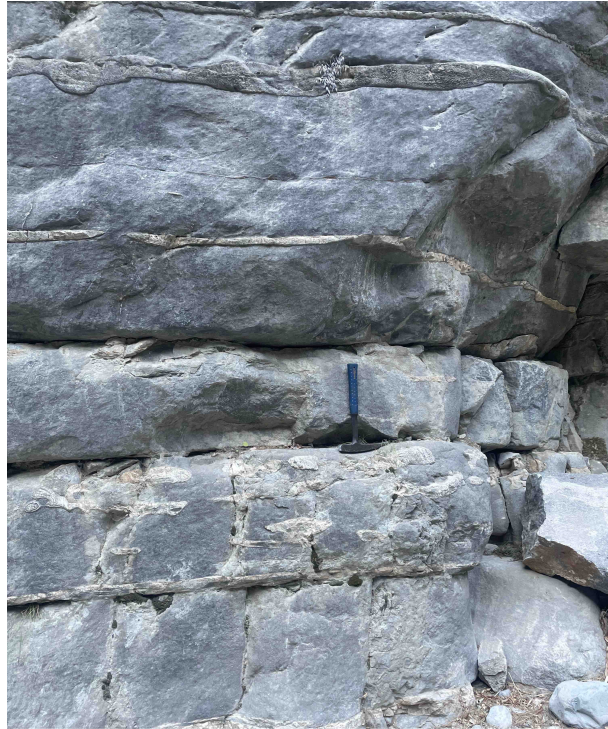
*ΕΙΚΟΝΑ 17 Θέση 15 Σαμαριά. Γκρίζο αδροκρυσταλλικό μάρμαρο έντονα καρστικοποιημένο. Ε:00496461 Ν:03903882 Ακρίβεια 36 Ύψος 294*



*ΕΙΚΟΝΑ 18 Θέση 16 Σαμαριά. Μάρμαρο λεπτόστρωματοδη έντονα πτυχωμένα με κερατολιθικές ενστρώσεις που παρουσιάζει σαφή στρώση με κλίση προς τον νότο μικροκρυσταλλικό E:00496486 N:03903906 Ακρίβεια 100 Ύψος:335*



*ΕΙΚΟΝΑ 19 Θέση 17 Σαμαριά. Μαύρο όλο κρυσταλλικό μάρμαρο με κερατολιθικές ενστρώσεις με κλίση προς τον νότο. E:00496405 N:03903707 Ακρίβεια 70 Ύψος 335*



*ΕΙΚΟΝΑ 20 Θέση 18 Σαμαριά., Τυπικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι με στρώματα μεγάλου πάχους με ενδιαστρώσεις και βολβούς κέρατολιθων, E:00496449, N:03903287, Ακρίβεια 85, Ύψος 343*



*ΕΙΚΟΝΑ 21 Θέση 19 Σαμαριά. Μαύρο μάρμαρο εμφανίζονται στρώσεις οι οποίες είναι οριζόντιες και έχει στο ενδιάμεσο βολβούς κι ενδιαστρώσεις πυριτίου E:00496311 N:03902902 Ακρίβεια 100 Ύψος 348*



*ΕΙΚΟΝΑ 22 Θέση 20 Σαμαριά. Μαζωδής μαύρα μάρμαρα που καταθέσεις εμφανίζουν και με μορφή στρωμάτων στο εσωτερικό διακρίνονται στρώματα πυριτικά και καταθέσεις βολβοί. Ε:00496991 Ν:03901025, Ακρίβεια 138, Ύψος 243*