



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
"ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ"**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Περλιτικά κοιτάσματα στην Ν-ΝΑ Ευρώπη και στην ΒΔ Μ. Ασία.
Κοιτασματολογία, χαρακτηρισμός - ιδιότητες πρώτων υλών και περιβαλλοντικές
εφαρμογές**

Μαριάνθη Σ. Αναστασάτου

Επιβλέπων: Μιχαήλ Σταματάκης, Καθηγητής ΕΚΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2012**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Περλιτικά κοιτάσματα στην Ν-ΝΑ Ευρώπη και στην ΒΔ Μ. Ασία.
Κοιτασματολογία, χαρακτηρισμός - ιδιότητες πρώτων υλών και περιβαλλοντικές
εφαρμογές**

**Μαριάνθη Σ. Αναστασάτου
Α.Μ.: 21023**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Σταματάκης Μιχαήλ, Καθηγητής ΕΚΠΑ

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: Σταματάκης Μιχαήλ, Καθηγητής ΕΚΠΑ
Αριάδνη Αργυράκη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΚΠΑ
Νικόλαος Κούκουζας, Ερευνητής Α΄, ΕΚΕΤΑ**

Νοέμβριος 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα κοιτάσματα περλιτών έχουν απασχολήσει ευρέως την επιστημονική κοινότητα εξαιτίας των μοναδικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζει το καθένα από αυτά και την απήχηση που έχουν στην παγκόσμια οικονομία που σχετίζεται με τα βιομηχανικά ορυκτά. Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιείται μια συγκριτική μελέτη περλιτικών κοιτασμάτων ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες από την Μήλο στην Ελλάδα, τη Σαρδηνία στην Ιταλία, την ευρύτερη περιοχή Kardjali στην Βουλγαρία και την ευρύτερη περιοχή της Περγάμου (Bergama) στην Τουρκία με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων για την διαφοροποιημένη συμπεριφορά των δειγμάτων στις τεχνικές δοκιμές και αναλύσεις, οι οποίες επηρεάζουν την τελική τους χρήση στις διάφορες κατασκευαστικές, βιομηχανικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές.

Τα αντιπροσωπευτικά δείγματα περλιτών εξετάστηκαν ως προς:

- ❖ Την ορυκτολογία τους, με οπτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), περίθλαση ακτίνων Χ (XRD), ποσοτικό προσδιορισμό %κ.β. ολικού χαλαζία και θερμική βαρυτομετρική ανάλυση - διαφορική θερμική ανάλυση (TGA - DTA).
- ❖ Τον χημισμό τους και τις φυσικές τους ιδιότητες, με προσδιορισμό υγρασίας, απώλειας πύρωσης και pH, φθορισμό ακτίνων Χ (XRF), προσδιορισμό ιχνοστοιχείων (με τη μέθοδο ICP-MS) και δ/νων ιόντων Na^+ , K^+ και Cl^- (AAS).
- ❖ Τη διογκωσιμότητα των δειγμάτων, με διόγκωση επί μέρους κλασμάτων σε πρότυπες συνθήκες και προσδιορισμό BMO (Βάρος ανά Μονάδα Όγκου).

Προσδιορίζοντας μέσω των τεχνικών δοκιμών την διογκωσιμότητα των δειγμάτων, προέκυψε πως τα δείγματα της Μήλου, Ελλάδα και της περιοχής Περγάμου, Τουρκία διογκώνονται σχεδόν εξίσου καλά. Κατόπιν μέτρια διόγκωση εμφανίζουν τα δείγματα από τη Σαρδηνία και τέλος κακή διόγκωση τα δείγματα από την περιοχή Kardjali, Βουλγαρία. Το ζητούμενο του διογκωμένου περλίτη είναι σημαντικό στη βιομηχανία λόγω της πληθώρας των περιβαλλοντικών εφαρμογών.

Με τη συγκριτική εκτίμηση και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτει πως οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν τη διογκωσιμότητα είναι η δομή της άμορφης υέλου και η περιεκτικότητα σε κρυστάλλους αλκαλιούχων αστρίων και βιοτίτη. Σημαντικό ρόλο, επίσης, φαίνεται να διαδραματίζει και η εμφάνιση των στοιχείων REE στα δείγματα της Σαρδηνίας, τα οποία αναμενόταν να διογκώνονται εξίσου καλά με αυτά της Μήλου και της Τουρκίας. Εν τέλει, κρίνεται πως ο βαθμός διόγκωσης είναι αλληλένδετος με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν από την προέλευση των περλιτικών κοιτασμάτων καθώς και την ηλικία τους.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: περλίτης, ηφαιστειακή ύελος, διόγκωση, Μήλος, Σαρδηνία, Βουλγαρία, Πέργαμος

ABSTRACT

Perlite deposits are methodically studied by the scientific community because of the unique characteristic its deposit has and due to the impact that perlite has to the global economy of industrial minerals. A comparative study of perlite deposits is performed to their qualitative characteristics. Perlites sampled from Milos Island in Greece, Sardinia Island in Italy, Kardjali region in Bulgaria and Bergama region in Turkey, aiming to draw conclusions about their differential behavior of the materials samples in technical testing and analysis that affect their final implementation in various construction, industrial and environmental applications.

Representative perlite samples were examined for:

- ❖ Mineralogy, with light powered optical and electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD), %wt total quartz content and thermogravimetric – differential thermal analysis (TGA - DTA).
- ❖ Chemistry analysis and physical properties, determining moisture, loss of ignition and Ph, X-ray fluorescence (XRF), trace elements determination (with ICP-MS method) and soluble ions Na^+ , K^+ and Cl^- determination.
- ❖ Samples expandability, with individual fractions expansion in standard conditions and determination of their bulk density.

Determining, through technical tests, the samples expansibility turned out that Milos Isl., Greece and Bergama area, Turkey samples present high expansibility. Samples from Sardinia Isl., Italy show medium expansibility and Bulgarian samples (Kardjali area) have the lowest expansibility degree. The expanded perlite issue is of high priority in the respective industry due to the variety of its environmental applications.

The comparative evaluation and processing of the results indicate that the main parameters that affect expansibility are: the disorder/order form of amorphous glass, the mineral's content in alkali feldspars and biotite. Moreover, REE elements seem to play an important role at Sardinia Isl. Samples, which was expected to expand as well as those from Milos Isl. and Bergama area, Turkey. Ultimately, expansion degree is considered to be inextricable with the qualitative characteristics stem from each area's perlite origin and age volcanism.

KEYWORDS: perlite, volcanic glass, expansion, Milos, Sardinia, Bulgaria, Bergama

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	15
1. Ο ΠΕΡΛΙΤΗΣ	
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΕΡΛΙΤΗ – ΟΡΙΣΜΟΣ.....	17
1.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΕΡΛΙΤΗ – ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ.....	18
1.3 ΤΥΠΟΙ ΠΕΡΛΙΤΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΓΕΝΕΣΗΣ.....	22
1.4 ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΠΕΡΛΙΤΗ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ.....	25
1.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΕΥΣΗΣ – ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΠΕΡΛΙΤΗ.....	27
1.6 ΧΡΗΣΕΙΣ ΠΕΡΛΙΤΗ.....	31
2. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	
2.1 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....	37
2.2 ΝΗΣΟΣ ΜΗΛΟΣ, ΕΛΛΑΔΑ.....	39
2.2.1 Εισαγωγή - Ιστορικά στοιχεία.....	39
2.2.2 Γεωγραφία – Γεωμορφολογία.....	42
2.2.3 Γεωλογία.....	43
2.2.4 Στρωματογραφία.....	46
2.2.5 Τεκτονική.....	49
2.2.6 Ηφαιστειότητα.....	52
2.2.7 Κλιματολογία.....	54
2.2.8 Ο Περλίτης της Μήλου.....	55
2.3 ΝΗΣΟΣ ΣΑΡΔΗΝΙΑ, ΙΤΑΛΙΑ.....	58
2.3.1 Γεωγραφία – Γεωμορφολογία – Κλιματολογία.....	58
2.3.2 Γεωλογία – Τεκτονική.....	59
2.3.3 Στρωματογραφία – Ηφαιστειότητα.....	62
2.3.4 Ο Περλίτης της Σαρδηνίας.....	64

2.4 ΠΕΡΙΟΧΗ KARDJALI, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ.....	69
2.4.1 Γεωτεκτονική – Ηφαιστειότητα.....	69
2.4.2 Ο Περλίτης της περιοχής Ustren, στο Kardjali Βουλγαρίας.....	71
2.5 ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΕΡΓΑΜΟΥ (BERGAMA), ΤΟΥΡΚΙΑ.....	74
2.5.1 Εισαγωγή.....	74
2.5.2 Γεωτεκτονική – Ηφαιστειότητα.....	75
2.5.3 Ο Περλίτης της περιοχής Yundtađi, 20km ΝΑ της πόλης Bergama, Τουρκία.....	77
3. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	
3.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	78
3.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ.....	79
3.2.1 Οπτικό μικροσκόπιο.....	79
3.2.2 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.....	80
3.2.3 Ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων με περίθλαση ακτίνων Χ (XRD).....	83
3.2.4 Ποσοτικός προσδιορισμός % κατά βάρος ολικού χαλαζία (%wt quartz content).....	89
3.2.5 Θερμική βαρυτομετρική ανάλυση – Διαφορική θερμική ανάλυση (TGA - DTA).....	91
3.2.5.1 Αρχές μεθόδων ανάλυσης TGA – DTA.....	91
3.2.5.2 Πειραματική διαδικασία TGA – DTA.....	92
3.3 ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	96
3.3.1 Προσδιορισμός υγρασίας και απώλειας πύρωσης.....	96
3.3.2 Προσδιορισμός Ph.....	100
3.3.3 Χημική ανάλυση των δειγμάτων με την τεχνική του φθορισμού ακτίνων Χ (XRF).....	101
3.3.4 Χημική ανάλυση με τη μέθοδο ICP-MS.....	102
3.3.5 Προσδιορισμός διαλυμένων ιόντων Na ⁺ , K ⁺ και Cl ⁻	107

3.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ – ΔΙΟΓΚΩΣΗ

3.4.1 Διαδικασία προετοιμασίας των κλασμάτων και διόγκωση σε πρότυπες συνθήκες.....	110
3.4.2 Προσδιορισμός Βάρους Μονάδας Όγκου Διογκωμένων Περγλιτών.....	113
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	121
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	132
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	136
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	150

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικ. 1.1. α) Περλιτική δομή πετρώματος, όπου φαίνονται οι κυκλικές ρωγματώσεις (Hatch et al., 1972), β) Περλιτική δομή, εικόνα λεπτής τομής, ενός ρυόλιθου. Ηφαιστειακή ύελος με περλιτική δομή και ταινιωτή διάταξη τριχιτών. Ένθετα φαινοκρύσταλλοι κεροσίλβης και ανδεσίνη (Williams et al., 1982).

Εικ. 1.2. Αναπαράσταση της άμορφης υαλώδους δομής του περλίτη αποτελούμενη από τετράεδρα SiO₄, συνδεδεμένα με κορυφές οξυγόνου (Δεδελούδης, 2006; Πασσά, 2007).

Εικ. 1.3. Διογκωμένος περλίτης.

Εικ. 1.4. Απεικόνιση της εμφάνισης περλίτη στην περιοχή No Agua Peaks στο New Mexico (Whitson, 1982).

Εικ. 1.5. Σχηματική απεικόνιση κάθετου φούρνου διόγκωσης περλίτη (Barker et al., 1990).

Εικ. 1.6. Διάγραμμα ροής επεξεργασίας περλίτη (Καπράλου, 2004).

Εικ. 1.7. Φαινόμενο βάρος ξηρού μίγματος Περλιτοσκυροδέματος kg/m³ (ΠΗΓΗ: www.isocon.gr).

Εικ. 1.8. Εφαρμογές του περλίτη (ΠΗΓΗ:Perlite Institute Inc.).

Εικ. 2.1. Χάρτης με σημειωμένες τις περιοχές δειγματοληψίας.

Εικ. 2.2. Οι δύο κλάδοι του Αλπικού συστήματος της Τηθύος στο χώρο της Μεσογείου (Παπανικολάου, 1986).

Εικ. 2.3. Χάρτης με τα κύρια τεκτονικά στοιχεία στην Ανατολική Μεσόγειο, από τη Μοϊσία έως την Κυρηναϊκή, με σημειωμένη τη θέση της Ν. Μήλου.

Εικ. 2.4. Χάρτης της νήσου Μήλου, με σημειωμένες τις περιοχές όπου απαντώνται τα βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα (ΠΗΓΗ: Οικονομόπουλος, 1998).

Εικ. 2.5 . Δορυφορική εικόνα της Ν. Μήλου (ΠΗΓΗ: Google Earth).

Εικ. 2.6. Χάρτης των τ. πεδίων των Ελληνίδων. (ΠΗΓΗ: Papanikolaou, 1997).

Εικ. 2.7. Γεωλογικός χάρτης της νήσου Μήλου (ΠΗΓΗ: ΙΓΜΕ, 1977).

Εικ. 2.8. Γεωλογική – Στρωματογραφική τομή της Μήλου. (ΠΗΓΗ: Φυτίκας, 1977).

Εικ. 2.9 . Σχηματικός νεοτεκτονικός χάρτης της Νήσου Μήλου. (ΠΗΓΗ: [Papanikolaou et al., 1990](#)).

Εικ. 2.10. Οι ρηξιγενείς ζώνες και οι Νεοτεκτονικές ενότητες της Ανατολικής Μήλου (ΠΗΓΗ: [Papanikolaou et al., 1990](#)).

Εικ. 2.11. Γεωλογικός χάρτης της Μήλου με ευδιάκριτες τις ηφαιστειακές εμφανίσεις. (ΠΗΓΗ: [IGME, 1983](#)).

Εικ. 2.12. Φωτογραφίες από τις περιοχές δειγματοληψίας. α, β) περιοχή ορυχείου Τσιγκράδο και γ) περιοχή Τράχηλα, όπου στο βάθος φαίνεται το λατομείο περλίτη (ΠΗΓΗ: S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.).

Εικ. 2.13 . Δορυφορική εικόνα της Ν. Σαρδηνίας, το δεύτερο μεγαλύτερο νησί στη Μεσόγειο Θάλασσα. (ΠΗΓΗ: [Google Earth](#)).

Εικ. 2.14. Σύνθετος τεκτονικός χάρτης της Ιταλίας και των γύρω περιοχών ([Scrocca et al., 2003](#)).

Εικ. 2.15. Επίκεντρα σεισμών και μηχανισμοί γένεσης. α) Επίκεντρα σεισμών τα οποία καταγράφηκαν από τον ITSN (<http://www.ingv.it>), β) Μηχανισμοί γένεσης διαθέσιμοι στην ευρύτερη περιοχή της Ιταλίας. (<http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>). (ΠΗΓΗ: [Carminati et al., 2010](#)).

Εικ. 2.16. Γεωλογικός χάρτης της Σαρδηνίας ([Palomba et al., 2006](#)).

Εικ. 2.17. Ηφαιστειακή δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της Ιταλίας, σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (65Ma - Σήμερα) ([Carminati et al., 2010](#)).

Εικ. 2.18. Γεωλογικός χάρτης του Monte Arci, Όπου φαίνονται οι θέσεις εμφάνισης του Περλίτη. (ΠΗΓΗ: [Tykot, 1997](#)).

Εικ. 2.19. Λατομείο περλίτη στο Monte Spargau, στη Σαρδηνία, όπου και πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία (ΠΗΓΗ: S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.).

Εικ. 2.20. Γεωτεκτονικός χάρτης των περιοχών που διασχίζονται από τη Γεωτομή VII. (ΠΗΓΗ: [Papanikolaou et al., 2004](#)).

Εικ. 2.21. Χάρτης με την ευρύτερη ηφαιστειακή περιοχή Momchilgrad – Arda, στην ηφαιστειακή περιοχή της Ανατολικής Ροδόπης, Παλαιογενούς ηλικίας. (ΠΗΓΗ: [Yanev, 1998](#)).

Εικ. 2.22. Χάρτης στον οποίο φαίνεται η υπό μελέτη ηφαιστειακή περιοχή Ustren. Calderas. (ΠΗΓΗ: [Yanev et al., 2010](#)).

Εικ. 2.23. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης ηφαιστειακής περιοχής Momchilgrad. (ΠΗΓΗ: [Gerogiev et al., 2003](#)).

Εικ. 2.24. Περιοχή εξόρυξης περλίτη 20km NNA από την περιοχή Kardjali της Βουλγαρίας (ΠΗΓΗ: S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.).

Εικ. 2.25. Δορυφορική εικόνα με σημειωμένη τη θέση μελέτης, περιοχή Bergama, Τουρκία. (ΠΗΓΗ: [Google Earth](#)).

Εικ. 2.26. Τεκτονικός χάρτης της ΒΑ Μεσογείου, όπου φαίνονται οι κύριες γραμμές ραφής. Οι (ΠΗΓΗ: [Okay et al., 2001](#)).

Εικ. 2.27. Απλοποιημένος χάρτης, όπου φαίνονται οι κύριες δομές στην Δυτική Ανατολία. (ΠΗΓΗ: [Bingöl; Bozkurt, 2001; Seyitoğlu, 1997; Yilmaz et al., 2000](#)).

Εικ. 2.28. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Zeytindağ - Maruflar, στην νοτιοανατολική πλευρά του τεκτονικού βυθίσματος Bergama. (ΠΗΓΗ: [Yilmaz et al., 2000](#)).

Εικ. 3.1. Εικόνες οπίσθιας σκέδασης από την Βουλγαρία (α) και την Τουρκία (β) & (γ), όπου είναι εμφανής η περλιτικής δομή [onion skin; (α) και (γ)] και τα perlitic cracks (β) & (δ). Οι εικόνες (α), (β) & (γ) προέρχονται από λεπτές τομές αδιόγκωτου περλίτη και η εικόνα (δ) από αδιόγκωτο περλίτη, στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο (SEM).

Εικ. 3.2. Στις εικόνες οπίσθιας σκέδασης Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου (SEM) φαίνεται α) η υελώδης υφή αδιόγκωτου περλίτη του δείγματος P 10424/2, β) πολύ καλά ανεπτυγμένο πορώδες διογκωμένου περλίτη του δείγματος P 10424/2, γ) καλά ανεπτυγμένο πορώδες σε διογκωμένο κόκκο του δείγματος P 10415 και δ) μεγέθυνση στο καλά ανεπτυγμένο πορώδες διογκωμένου περλίτη του δείγματος P 10424/2.

Εικ. 3.3. Στις εικόνες του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου φαίνεται α), β) διογκωμένοι κόκκοι δείγματος P 10375/1 με χαμηλό πορώδες, γ) διογκωμένο υλικό του δείγματος P 10414/2, στο οποίο φαίνονται αδιόγκωτοι κόκκοι, δ) τομή «γυαλωμένου» δείγματος P 10414/1, όπου φαίνεται η διόγκωση, ε) επιφάνεια «γυαλωμένου» δείγματος P 10414/1 και στ) επιφάνεια «γυαλωμένου» δείγματος P 10414/2.

Εικ. 3.4. Ενδεικτικό ακτινοδιάγραμμα, στο οποίο φαίνεται με γραμμοσκίαση η περιοχή εμβαδομέτρησης.

Εικ. 3.5. Όργανο TG-DTA, όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο σύνολο των δειγμάτων, στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Εικ. 3.6. Ενδεικτικά διαγράμματα TG – DTA των δειγμάτων περλίτη όλως των περιοχών δειγματοληψίας.

Εικ. 3.7. α) Φούρνος ξήρανσης και β) φούρνος πύρωσης, όπου τοποθετήθηκαν τα δείγματα για τον υπολογισμό της φυσικής υγρασίας και του LOI, αντίστοιχα..

Εικ. 3. 8. Συσκευή μέτρησης pH, Metrohm 827 pH Lab Meter, όπου μετρήθηκε το pH των δειγμάτων, στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά.

Εικ. 3.9. Δημιουργία υάλων (πέρλες) στην συσκευή CLAISSE FLUXY. Η διαδικασία γίνεται ανά τρία δείγματα, στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Εικ. 3.10. α) Συσκευή φυγοκέντρισης και β) μαγνητικός αναδευτήρας, όπου πραγματοποιήθηκε η προετοιμασία για τις μετρήσεις των συγκεντρώσεων των διαλυμάτων στον ατομικό απορροφητή, στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Εικ. 3.11. α) Δείγμα θραυσμένου περλίτη από την Μήλο και β) «χονδρό κλάσμα» αδιόγκωτου περλίτη από την Μήλο.

Εικ. 3.12. α) Φούρνος διόγκωσης «ψιλού – μεσαίου κλάσματος» περλίτη και β) φούρνος διόγκωσης «χονδρού κλάσματος» περλίτη, στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Εικ. 3.13. Διογκωμένο «μεσαίο» κλάσμα περλίτη και ογκομετρικός κύλινδρος για την μέτρηση του ΒΜΟ, στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Εικ. 3.14. Θραυσμένος περλίτης – αδιόγκωτο «χονδρό» κλάσμα - διογκωμένο «χονδρό» κλάσμα περλίτη Μήλου.

Εικ. 4.1. Προβολή των συστάσεων των δειγμάτων σε διάγραμμα Th/Hf – La/Ta, ομαδοποιώντας τα δείγματα σύμφωνα με την προέλευση τους.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1.1. Τυπική χημική σύσταση περλίτη ([Harben et al., 1997](#); [Torcu et al., 2007](#)).
- Πίνακας 1.2. Μέση χημική σύσταση περλιτών διαφόρων περιοχών ανά τον κόσμο ([Burriesci, 1984](#); [Δεδελούδης, 2006](#); [Ρούλια, 1996](#)).
- Πίνακας 1.3. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες αδιόγκωτου περλίτη.
- Πίνακας 1.4 . Παγκόσμια παραγωγή και αποθέματα περλίτη ([Bollen, 2011](#))
- Πίνακας 1.5. Παγκόσμια κατανάλωση διογκωμένου περλίτη σε 1000 τόνους ([Kendall, 2000](#)).
- Πίνακας 1.5. Προδιαγραφές του American Society for Testing and Materials (ASTM) για τον περλίτη που χρησιμοποιείται σε κονιάματα ([Chesterman, 1975](#)).
- Πίνακας 3.1. Κωδικοί των δειγμάτων και σημεία δειγματοληψίας.
- Πίνακας 3.2. Ορυκτολογική ανάλυση του συνόλου των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (Εργαστήρια ΕΚΠΑ).
- Πίνακας 3.3. Ορυκτολογική ανάλυση του συνόλου των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (Εργαστήρια S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.).
- Πίνακας 3.4. Εμβαδά τα οποία προέκυψαν από μέτρηση της αναθόλωσης του γυαλιού.
- Πίνακας 3.5. Ποσοτικός προσδιορισμός % κ.β. του περιεχόμενου χαλαζία (SiO₂) στη μάζα του περλίτη κάθε δείγματος.
- Πίνακας 3.6. Αποτελέσματα απώλειας πύρωσης (LOI%), με τη χρήση οργάνου TG-DTA.
- Πίνακας 3.7. Προσδιορισμός των ποσοστών % της φυσικής υγρασίας και της απώλειας βάρους με πύρωση.
- Πίνακας 3.8. Ποσοστά % υγρασίας ανά περιοχή δειγματοληψίας.
- Πίνακας 3.9. Ποσοστά % απώλειας πύρωσης (LOI) ανά περιοχή δειγματοληψίας.
- Πίνακας 3.10. Συγκριτικός πίνακας ποσοστών % απώλειας πύρωσης (LOI) και υγρασίας ανά περιοχή δειγματοληψίας.
- Πίνακας 3.11. Αποτελέσματα μετρήσεων pH.

Πίνακας 3.12. Χημική ανάλυση % κ.β. του συνόλου των αδιόγκωτων δειγμάτων από τις περιοχές δειγματοληψίας.

Πίνακας 3.13. Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων του συνόλου των αδιόγκωτων δειγμάτων από τις περιοχές δειγματοληψίας.

Πίνακας 3.14. Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων του συνόλου των αδιόγκωτων δειγμάτων από τις περιοχές δειγματοληψίας.

Πίνακας 3.15. Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων του συνόλου των αδιόγκωτων δειγμάτων από τις περιοχές δειγματοληψίας.

Πίνακας 3.16. Αποτελέσματα αναλύσεων διαλυμένων ιόντων Na^+ και K^+ στον ατομικό απορροφητή με εξαχνωτή γραφίτη του συνόλου των δειγμάτων.

Πίνακας 3.17. Αποτελέσματα αναλύσεων διαλυμένων ιόντων Cl^- με έκπλυση.

Πίνακας 3.18. Θερμοκρασίες διόγκωσης όλως των κλασμάτων στο σύνολο των δειγμάτων.

Πίνακας 3.19. Μάζα και βάρος ανά μονάδα όγκου του διογκωμένου «ψιλού» κλάσματος (1^η σειρά διογκώσεων) στο σύνολο των δειγμάτων.

Πίνακας 3. 20. Μάζα και βάρος ανά μονάδα όγκου του διογκωμένου «ψιλού» κλάσματος (2^η σειρά διογκώσεων) στο σύνολο των δειγμάτων.

Πίνακας 3. 21. Μάζα και βάρος ανά μονάδα όγκου του διογκωμένου «μεσαίου» κλάσματος του συνόλου των δειγμάτων.

Πίνακας 3.22. Μάζα και βάρος ανά μονάδα όγκου του διογκωμένου «μεσαίου» κλάσματος του συνόλου των δειγμάτων.

Πίνακας 4.1. Συσχετισμός περιοχών δειγματοληψίας, ηλικίας περλιτικών εμφανίσεων και γεωτεκτονικού περιβάλλοντος.

Πίνακας 4.2. Ταξινόμηση πετρωμάτων κατά [Shand, 1949](#).

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4.1. Απεικόνιση διογκωσιμότητας «φιλού» κλάσματος ανά περιοχή δειγματοληψίας.

Σχήμα 4.2. Απεικόνιση διογκωσιμότητας «μεσαίου» κλάσματος ανά περιοχή δειγματοληψίας.

Σχήμα 4.3. Απεικόνιση διογκωσιμότητας «χονδρού» κλάσματος ανά περιοχή δειγματοληψίας.

Σχήμα 4.3. Απεικόνιση διογκωσιμότητας «χονδρού» κλάσματος ανά περιοχή δειγματοληψίας.

Σχήμα 4.5. Συσχέτιση διογκωσιμότητας «χονδρού» κλάσματος και LOI% (Loss of Ignition).

Σχήμα 4.6. Απεικόνιση των συστάσεων (%κ.β.) του συνόλου των δειγμάτων περλίτη, σε διάγραμμα του [Middlemost, 1994](#).

Σχήμα 4.7. Προβολή συστάσεων σε διάγραμμα Nb/Y – Zr/TiO₂ κατά τους [Winchester J. A. and Floyd P. A., 1977](#).

Σχήμα 4.8. Προβολή των συστάσεων α) SiO₂ – K₂O του συνόλου των δειγμάτων περλίτη, σε διάγραμμα των [Pecerillo και Taylor, 1976](#), β) (Na₂O+K₂O) – FeO_t – MgO σε διάγραμμα των [Irvine and Baragar, 1971](#).

Σχήμα. 4.9. Χημική ταξινόμηση και ονοματολογία των δειγμάτων περλίτη με χρήση του διαγράμματος R₁ – R₂ ([De la Roche et al., 1980](#)).

Σχήμα 4.10. Ταξινόμηση δειγμάτων βάσει την περιεκτικότητά τους σε Al₂O₃, Na₂O και K₂O.

Σχήμα 4.10. Ταξινόμηση δειγμάτων βάσει των συστάσεων Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) προς Al₂O₃/(Na₂O+K₂O) (mol. %) κατά [Shand, 1943](#).

Σχήμα 4.11. Διάγραμμα των [Pierce and Norry, 1979](#), όπου φαίνεται το γεωτεκτονικό περιβάλλον γένεσης των δειγμάτων.

Σχήμα 4.13. Διαγράμματα απεικόνισης περιεκτικότητας διαφόρων ιχνοστοιχείων ανά περιοχή δειγματοληψίας. α) Μήλος, Ελλάδα, β) Σαρδηνία, Ιταλία, γ) περιοχή Kardjali, Βουλγαρία και δ) περιοχή Περγάμου, Τουρκία ([Pearce, 1983](#)).

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών της «Εφαρμοσμένης Περιβαλλοντικής Γεωλογίας». Σκοπός της μελέτης είναι ο χαρακτηρισμός περλιτικών κοιτασμάτων από την Ελλάδα, την Ιταλία, την Βουλγαρία και την Τουρκία, η σύγκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων και η σύνδεσή τους με τα περιβάλλοντα γένεσης. Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για την διαφοροποιημένη συμπεριφορά των δειγμάτων στις τεχνικές δοκιμές και αναλύσεις, οι οποίες επηρεάζουν την τελική τους χρήση σε διάφορες περιβαλλοντικές εφαρμογές.

Για την παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία αντιπροσωπευτικών δειγμάτων περλίτη στη Μήλο, Ελλάδα, στη Σαρδηνία, Ιταλία, στην ευρύτερη περιοχή Kardjali, Βουλγαρία και στην ευρύτερη περιοχή της Περγάμου (Bergama), Τουρκία. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε από την εταιρεία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. Τα στάδια των αναλυτικών διαδικασιών και των τεχνικών δοκιμών πραγματοποιήθηκαν τόσο στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε., όσο και στα Εργαστήρια του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Πρωτίστως οφείλω θερμές και ειλικρινείς ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Μιχαήλ Σταματάκη, Καθηγητή και Πρόεδρο του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής. Βέβαια δεν θα παρέλειπα να τον ευχαριστήσω τόσο για τις πολύτιμες συμβουλές του σε επιστημονικό επίπεδο, όσο και για την ουσιαστική του συμβολή στην πορεία των ακαδημαϊκών μου σπουδών, την εμπιστοσύνη που μου δείχνει και τη δυνατότητα που μου παρέχει να εξελίσσομαι τόσο σε ομαδικό όσο και σε ατομικό επίπεδο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Έλενα Υψηλάντη (Applications Technology Executive) για τη συνεργασία και την πολύτιμη καθοδήγηση που μου παρείχε κατά το στάδιο των αναλύσεων και των τεχνικών δοκιμών στα εργαστήρια της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά. Επίσης, κατά την διάρκεια των αναλύσεων και τεχνικών δοκιμών κατά την περίοδο 01/2012 – 03/2012 θα ήθελα να ευχαριστήσω την Προϊσταμένη του Εργαστηρίου Αθήνας και Χημικό Μηχανικό κ. Ράνια Μαργαρίτη για την βοήθεια που μου προσέφερε ώστε να περατωθούν οι εργαστηριακές αναλύσεις και τεχνικές δοκιμές. Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Τεχνικό Εργαστηρίου και Χημικό Μηχανικό κ. Χριστίνα Καπράλου για τις συμβουλές της, την Εργοδηγό Χημείου κ.

Κατερίνα Καλλίνικα για την πραγματικά πολύτιμη βοήθεια της στις αναλύσεις των δειγμάτων, όπως και τον Εργοδηγό Χημείου κ. Θωμά Κόβα για την καθοριστική συμβολή του κατά την διάρκεια των τεχνικών δοκιμών διόγκωσης. Ευχαριστώ τους προαναφερθέντες αλλά και όλους τους υπόλοιπους για το φιλικό κλίμα που δημιούργησαν κατά τη διάρκεια παραμονής μου στην εταιρεία, όπως και την εταιρεία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. για την δυνατότητα πρόσβασης στα εργαστήρια της Αθήνας, καθώς και για τη διάθεση του εργαστηριακού εξοπλισμού της για την πραγματοποίηση μέρους των αναλύσεων. Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω και τον Γιάννη Γιαννακόπουλο (Quality Manager at R&D and Quality Department) του Ομίλου Τιτάν για τη βοήθεια του στις θερμικές αναλύσεις.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον κ. Χαράλαμπο Βασιλάτο για τις σημαντικές του συμβουλές, την πολύτιμη υποστήριξη του και την υπομονή του στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Ευχαριστώ την Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Αριάδνη Αργυράκη για τις πολύτιμες συμβουλές της, τον κ. Σκουνάκη Βασίλη για την προετοιμασία των λεπτών τομών των δειγμάτων, την Υπ. Διδάκτορα κ. Σταυρούλα Καβούρη για τις συμβουλές της και την πολύτιμη καθοδήγηση της στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), όπως και τον Ερευνητή Α΄ του ΕΚΕΤΑ κ. Νικόλαο Κούκουζα για τις παρατηρήσεις του.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους συμφοιτητές μου Νατάσα, Κώστα, Άγγελο και Τάσο, όπως και στους «μεσημεριανούς» μου φίλους Κατερίνα, Στέλιο, Νατάσα, Μάνο, Παναγιώτη και Δάφνη.

Ευχαριστώ τον Κληροδότημα «Αντωνίου Παπαδάκη» του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών για την υποτροφία κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη φίλη μου Αντωνία Τσούτσια γιατί είναι πάντα δίπλα μου και με τη φιλία της η ακαδημαϊκή μου πορεία, και όχι μόνο, μοιάζει πιο εύκολη.

Κλείνοντας θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ σαν ελάχιστο αντάλλαγμα στους γονείς μου και την αδερφή μου για την ουσιαστική τους συμπαράσταση στη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών και την ενθάρρυνση τους σε όλες μου τις επιλογές.

Νοέμβριος, 2012

Μαριάνθη Αναστασάτου

1. Ο ΠΕΡΛΙΤΗΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΕΡΛΙΤΗ - ΟΡΙΣΜΟΣ

Ο όρος περλίτης (perlite ή pearlstone) με τη στενή ορυκτολογική έννοια αποδίδεται σε κάθε όξινο ηφαιστειακό υαλώδες πέτρωμα, το οποίο έχει περιεκτικότητα σε SiO₂ 72-76% και παρουσιάζει χαρακτηριστική περλιτική υφή. Με την εμπορική έννοια, ο όρος περλίτης αφορά σε κάθε ηφαιστειακό πέτρωμα που διογκώνεται όταν θερμανθεί πολύ γρήγορα σε θερμοκρασία 720-1280°C, σχηματίζοντας ένα ελαφρύ αφρώδες υλικό, με όγκο 10-20 φορές μεγαλύτερο από τον αρχικό του όγκο ([Stamatakis et al. 1996](#)). Ο περλίτης πρέπει να αποτελείται κυρίως από άμορφη υαλώδη μάζα και να έχει σχηματιστεί επιφανειακά από απότομη ψύξη ιξώδους λάβας ή μάγματος, παγιδευόντας στη μάζα του 2 - 6% κρυσταλλικό νερό ([Burriesci et al., 1985](#)).

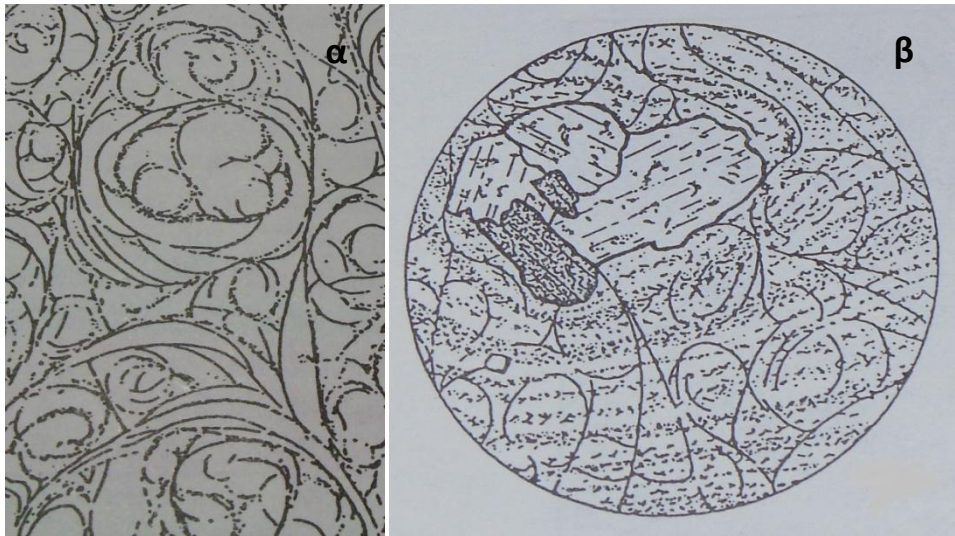
Η ονομασία του περλίτη προήλθε, λόγω των εσωτερικών ανακλάσεων του φωτός που προσδίδουν στον περλίτη μαργαριταρώδη λάμψη, από τη γαλλική λέξη perle ή τη γερμανική perlstein που σημαίνουν μαργαριτάρι ([Περράκη, 1996](#)).

Από την αρχαιότητα ο Θεόφραστος (372 – 287 π.Χ.), σε ένα από τα κείμενα του, στο έργο του «Περί Λίθων» περιγράφει ένα πέτρωμα το οποίο αντιστοιχεί στον περλίτη. Ο Θεόφραστος αναφέρει ένα ηφαιστειογενές πέτρωμα ως «διάβαρον λίθον», το οποίο όταν καίγεται μοιάζει με κίσσηρις και αλλάζει το χρώμα και η πυκνότητα του ([Caley et al., 1956](#)).

Η αξιοποίηση του περλίτη στη σύγχρονη εποχή άρχισε να ξεκινήσει, αν και σήμερα είναι προφανή τα οφέλη της χρήσης του. Η ιστορία της αξιοποίησης του περλίτη ξεκινά το 1941 στην Αριζόνα των Η.Π.Α., όταν κατά τη διάρκεια ερευνών για τη χρήση του πετρώματος ως υλικού εφυάλωσης παρατηρήθηκε η ασυνήθιστη ιδιότητα του να αυξάνει σημαντικά τον όγκο του κατά τη θέρμανση του. Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο συνεχίστηκαν οι δοκιμές του περλίτη με έμφαση στη χρήση του σαν μονωτικό υλικό και ελαφροβαρές πληρωτικό. Το 1949 ιδρύθηκε το Ινστιτούτο Περλίτη (Perlite Institute Inc.) με στόχο την τυποποίηση των προϊόντων και κατά συνέπεια την θέσπιση προδιαγραφών για περαιτέρω έρευνα. Μετά το 1950 η βιομηχανία περλίτη γνωρίζει αλματώδη ανάπτυξη διεθνώς με αποτέλεσμα τον εκτοπισμό του βερμικουλίτη στον τομέα των κατασκευών και της γης διατομών στη διύλιση και διαύγαση υγρών (filter aid material; [Κατερινόπουλος και Σταματάκης, 1995](#)).

1.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΕΡΛΙΤΗ – ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ

Ο περλίτης ταξινομείται στην κατηγορία των πετρωμάτων με έντονα υαλώδη ιστό, όπως και ο οψιδιανός, ο πισσόλιθος, η κίσσηρις (ελαφρόπετρα) και η ηφαιστειακή τέφρα. Οι σχηματισμοί αυτοί ονομάζονται ηφαιστειακές ύελοι (Περράκη, 1996) και είναι μέλη της οικογένειας των ένυδρων φυσικών υάλων. Ο περλίτης, ο οποίος είναι μια ηφαιστειακή ύελος, έχει χαρακτηριστική περλιτική δομή (Κοκκινάκης, 2002). Η περλιτική δομή (Εικ. 1.1)



Εικ.1.1. α) Περλιτική δομή πετρώματος, όπου φαίνονται οι κυκλικές ρωγματώσεις (Hatch et al., 1972), β) Περλιτική δομή, εικόνα λεπτής τομής, ενός ρυόλιθου. Ηφαιστειακή ύελος με περλιτική δομή και ταινιωτή διάταξη τριχιτών. Ένθετα φαινοκρύσταλλοι κεροσίλβης και ανδεσίνη (Williams et al., 1982).

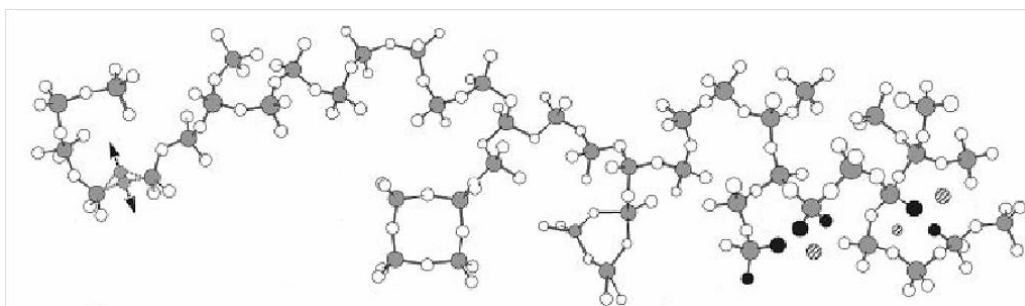
απαντά σε υαλώδη ή μεροκρυσταλλικά ηφαιστειακά πετρώματα (Κοκκινάκης, 2002).. Λόγω συστολής της υέλου κατά την απόψυξη του μάγματος δημιουργούνται πολυάριθμες ομάδες πολλαπλών, λεπτών, συγκεντρικών ρωγμών (από διάμετρο μικρότερη του 1mm μέχρι και αρκετά cm), οι οποίες είναι τοποθετημένες όπως τα χωρίσματα σε ένα κρεμμύδι (onion – skin structure; Κοκκινάκης, 2002). Στο κέντρο αυτών των δομών, οι οποίες περικλείονται από κυρτές επιφάνειες θραυσμού, είναι δυνατόν να αποσπώνται σαν σφαιρικά ή ελαφρώς γωνιώδη τεμάχια, που μοιάζουν με πέρλες (Εικ. 1.1; Κοκκινάκης, 2002).

Ο ιστός του περλίτη εκτός από υαλώδη μπορεί να χαρακτηριστεί και ως ημικρυσταλλικός πορφυριτικός ιστός, που σημαίνει πως στη μάζα του διακρίνονται μεγάλοι κρύσταλλοι που ονομάζονται φαινοκρύσταλλοι (Εικ. 1.1). Οι περλιτικοί ιστοί, όπως είναι γνωστό, παρατηρούνται και σε δακτιτικά πετρώματα αλλά μόνο στους όξινης

ηφαιστειακής προέλευσης περλίτες παρατηρείται το φαινόμενο της διόγκωσης και αποτελούν εμπορικό προϊόν (Περράκη, 1996). Έχει παρατηρηθεί πως η παρουσία φαινοκρυστάλλων σε ποσοστό μεγαλύτερο του 30%, ελαττώνεται η ικανότητα διόγκωσης με θέρμανση κατά 50% (Περράκη, 1996; Φυτρολάκης, 1990; Καπράλου, 2004).

Ανάλογα με την περιοχή προέλευσης του περλίτη τα φυσικά χαρακτηριστικά του διαφέρουν. Τα κυριότερα από αυτά είναι: η υφή, το χρώμα, το ειδικό βάρος, ο δείκτης διάθλασης και η ψαθυρότητα του. Συνήθως οι περλίτες έχουν ανοιχτό γκρι χρώμα έως θολό άσπρο, μερικοί όμως έχουν ακόμα και μαύρο χρώμα, καφέ ή και πράσινο (Chesterman, 1975; Καπράλου, 2004).

Η δομή του περλίτη εφόσον πρόκειται για άμορφο πυριτικό γυαλί είναι όμοια με αυτή του χαλαζία. Σε ένα ποσοστό όμως των τετραέδρων του πυριτίου με δύο πυρίτια, έχει αντικατασταθεί το πυρίτιο με αργίλιο. Όμως, επειδή το αργίλιο είναι τρισθενές, ενώ το πυρίτιο τετρασθενές, έχουμε εμφάνιση αρνητικού φορτίου, το οποίο αντισταθμίζεται από θετικά ιόντα Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ κλπ. (Πασσά, 2007; Δεδελούδης, 2006).



Εικ. 1.2. Αναπαράσταση της άμορφης υαλώδους δομής του περλίτη αποτελούμενη από τετραέδρα SiO_4 , συνδεδεμένα με κορυφές οξυγόνου (Δεδελούδης, 2006; Πασσά, 2007).

Ο περλίτης περιέχει άμορφες πυριτικές ενώσεις με υψηλό ποσοστό SiO_2 , το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 70 – 75%, ενώ σε κάποιους εμπορικούς περλίτες φτάνει και 78%. Ως μετασταθείς φάσεις οι ηφαιστειακές ύελοι είναι ευαίσθητες στις παντός είδους επιδράσεις και στην πραγματικότητα είναι μικρο- ή κρυπτοκρυσταλλικές, αφού με την πάροδο του χρόνου όλες οι ύελοι υπόκεινται σε μια διαδικασία γνωστή ως αφυέλωση. Πετρώματα παλαιότερα του Μειόκαινου περιέχουν στην πλειοψηφία του αφυελωμένη και όχι πραγματική ύελο (Κοκκινάκης, 2002).

Η χημική ανάλυση ενός τυπικού δείγματος ακατέργαστου περλίτη παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1. Το ειδικό βάρος του φυσικού πετρώματος του περλίτη

ποικίλει και κυμαίνεται από $2,8\text{g/cm}^3$ έως $1,2\text{ g/cm}^3$ (Κατερινόπουλος και Σταματάκης, 1995; Chesterman, 1975). Στον Πίνακα 1.2 δίδεται η μέση χημική σύσταση περλιτών από διάφορες θέσεις σε όλο τον κόσμο. Επίσης, η σκληρότητα του περλίτη διαφέρει από κοίτασμα σε κοίτασμα, ξεκινώντας από εξαιρετικά σκληρούς περλίτες έως μαλακούς και φαθρούς. Ενδεικτικά κάποιες φυσικές ιδιότητες περλιτών τόσο στην Ελλάδα, όσο και στον υπόλοιπο κόσμο φαίνονται στον Πίνακα 1.3.

Πίνακας 1.1. Τυπική χημική σύσταση περλίτη (Harben et al., 1997; Torcu et al., 2007).

Οξείδια	Περιεκτικότητα (% κ. β.)
SiO_2	73 - 74
Al_2O_3	12 - 15
Fe_2O_3	0,5 - 1,45
CaO	0,2 - 0,7
MgO	0,03 – 0,5
Na_2O	2,9 - 4,1
K_2O	3,0 - 4,8
TiO_2	0,03 – 0,20
H_2O	2 - 5

Πίνακας 1.2. Μέση χημική σύσταση περλιτών διαφόρων περιοχών ανά τον κόσμο (Burriesci, 1984; Δεδελούδης, 2006; Ρούλια, 1996).

Οξείδια (% κ.β.)	Ιταλία	Τουρκία	Αρμενία	Κίνα	Αμερική	Καναδάς	Μήλος (Τράχηλας)	Μήλος (Τσιγκράδο)	Κως	Γυαλί
SiO_2	70,50	72,00	73,50	71,8	71,4 - 74,4	71.62	74,30	73	75,20	74
Al_2O_3	14,28	13,80	12,90	12,5	12,4 - 14	12.78	12,90	13	12,30	12,70
Fe_2O_3	0,75	1,10	0,60	0,8	0,5 - 1,4	1.15	0,80	0,8	0,70	1,1
CaO	1	1,00	0,90	1	0,5 - 0,9	0.87	0,70	1,40	0,70	0,80
MgO	0,49	0,30	0,20	0,3	0,1 - 0,2	0.14	0,30	0,60	0,20	0,50
Na_2O	3,62	2,90	3,90	3,9	2,9 - 4,1	3.13	3,50	3,80	3,70	3,60
K_2O	5,28	5,20	4,30	4,8	4,1 - 5	5.3	4,5	3	4,10	4,60
TiO_2	0	0,00	0,10	0	0 - 0,1	0.23	0,10	0,20	0,10	0,10
H_2O	2,96	3,70	3,40	4,6	3,3 - 4,9	4.15	2,8	2,70	3	2,50

Πίνακας 1.3. Φυσικές και οπτικές ιδιότητες αδιόγκωτου περλίτη.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ
<u>Δείκτης διάθλασης</u>	1,49 - 1,61 (<i>Lefond, 1977; Chesterman, 1975</i>)
<u>pH</u>	6,5 - 8,0
<u>Σκληρότητα (κλίμακα Mohs)</u>	5,5 - 7,0 (<i>Chesterman, 1975</i>)
<u>Ειδικό βάρος</u>	2,3 - 2,8 (<i>Chesterman, 1975</i>)
<u>Σημείο Τήξης (°C)</u>	760 - 1320 (<i>Chesterman, 1975</i>)
<u>Ειδική θερμότητα (cal/g°C)</u>	0,2

Επιπλέον, ο περλίτης παρουσιάζει φυσική σταθερότητα, χημική αδράνεια, καθαρότητα και απουσία οσμών, ουδέτερο pH και χαμηλό ειδικό βάρος. Σημαντικά, επίσης, χαρακτηριστικά του περλίτη είναι: οι θερμομονωτικές του ιδιότητες, η ηχομόνωση που προσδίδει, η ασφάλεια και η ευκολία στη χρήση, ο βέλτιστος αερισμός του υλικού καθώς και η διατήρηση της υγρασίας του και η φιλική του συμπεριφορά προς το περιβάλλον. Όλες αυτές οι ιδιότητες αποτελούν εφελτήριο για την ευρεία γκάμα των εφαρμογών του περλίτη.

Ένα από τα σημαντικότερα και πιο χαρακτηριστικά συστατικά του περλίτη είναι το νερό, που περιέχεται στον σχηματισμό σε ποσοστά 2-5%. Όπως είναι ήδη γνωστό σε αυτή τη μελέτη, ο περλίτης είναι ένα ηφαιστειακό γυαλί το οποίο κατά την απότομη ψύξη της λάβας παγίδευσε ένα ποσοστό νερού στη μάζα του, το οποίο δεν πρόλαβε να διαφύγει ([Burriesci et al., 1985](#)). Το περιεχόμενο νερό του περλίτη διακρίνεται στο νερό της φυσικής υγρασίας και το κρυσταλλικό νερό. Η αναλογία των μορφών του περιεχόμενου νερού στον περλίτη διαφέρει ανάλογα με τον τρόπο γένεσης του περλίτη. Ως φυσική υγρασία αναφέρεται το νερό, το οποίο είναι παγιδευμένο στους πόρους, να είναι διαφόρων διαστάσεων και να συνδέεται με την εξωτερική επιφάνεια των κόκκων. Το κρυσταλλικό νερό (δεσμευμένη υγρασία) μπορεί να είναι νερό που έχει μετατραπεί σε υδροξείδιο, επειδή κάποιο κατιόν στο πλέγμα έχει αντικατασταθεί από ένα άλλο κατιόν μικρότερου φορτίου (π.χ. Si⁴⁺ από Al³⁺) και η ελάττωση του θετικού φορτίου πρέπει, σύμφωνα με την αρχή της ηλεκτρο-ουδετερότητας, να αντισταθμιστεί από ελάττωση του αρνητικού, που στην προκειμένη περίπτωση γίνεται με την μετατροπή των O²⁻ σε OH⁻. Επίσης, το κρυσταλλικό νερό μπορεί να είναι νερό συντάξως

αντισταθμιστικών κατιόντων π.χ. Fe (II) ή (III) και νερό συνδεδεμένο επιφανειακά, με το αργιλλοπυριτικό πλέγμα με δεσμούς υδρογόνου Έχει αναφερθεί πως τα ποσοστά MgO και CaO επηρεάζουν τον ρυθμό ενυδάτωσης του σχηματισμού (Ρούλια, 1996). Τέλος, εκτός από την άμορφη υελώδη μάζα ο περλίτης περιέχει και ένα μικρό σχετικά ποσοστό φαινοκρυστάλλων από ορυκτά όπως χαλαζίας, πλαγιόκλαστα, καλιούχους άστριους, βιοτίτης, αλβίτης, σανίδινο, αμφίβολοι, πυρόξενοι και άλλα επουσιώδη ορυκτά (Κατερινόπουλος και , 1995; Πασσά, 2007; Καπράλου, 2004; Chesterman, 1975).

1.3 ΤΥΠΟΙ ΠΕΡΛΙΤΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΓΕΝΕΣΗΣ

Οι περλίτες εμφανίζονται με μια ποικιλία ιστολογικών και λιθολογικών χαρακτηριστικών, παρ' όλα αυτά υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα οποία ξεχωρίζουν του περλίτες από τις υπόλοιπες φυσικές ένυδρες υέλους, τα οποία είναι οι περλιτικές ρωγμές, η χαρακτηριστική λάμψη και το περιεχόμενο κρυσταλλικό νερό (Harben et al, 1997).

Οι πιο χαρακτηριστικοί τύποι περλίτη παγκοσμίως είναι οι εξής (Carr, 1994):

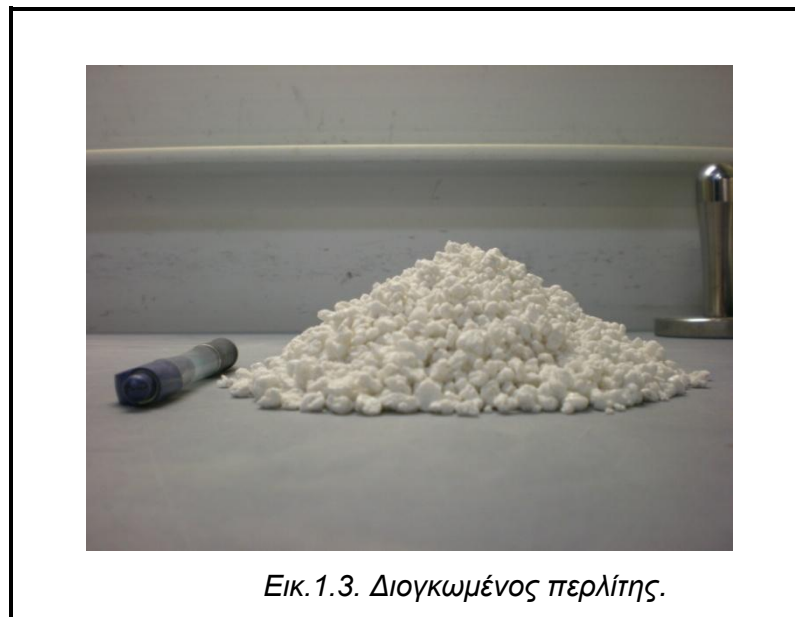
Κλασσικός περλίτης, ο οποίος παρουσιάζει την χαρακτηριστική περλιτική υφή. Το χρώμα του κυμαίνεται από σκούρο γκρι έως μαύρο. Είναι συνηθισμένη η παρουσία εγκλεισμάτων οψιδιανού, γεγονός που ενισχύει την θεωρία περί γένεσης του περλίτη από την ενυδάτωση οψιδιανού, υπό την μορφή μεμονωμένων κόκκων ή φλεβών διαφόρων μεγεθών (Harben et al., 1997). Στην κατηγορία αυτή εμπίπτει ο περλίτης της νησίδας Γυαλί. Εκτεταμένες μελέτες λεπτών τομών έδειξαν πως η εσωτερική του δομή είναι κυψελοειδής και πως υπάρχει μεγάλη ποικιλία ανάλογα με την προέλευση του δείγματος (Κατερινόπουλος και Σταματάκης, 1995).

Κοκκώδης περλίτης, ο οποίος έχει ζαχαρώδη εμφάνιση και συχνά εμφανίζει ρευστικές δομές. Το χρώμα του είναι κίτρινο έως γκρι και καφέ και στον Ελλαδικό χώρο συναντάται στη Μήλο (Koukouzas, 1994). Αυτός ο τύπος περλίτη είναι εμπορικά ικανοποιητικός.

Κισσηρώδης περλίτης, ο οποίος συναντάται κοντά στην επιφάνεια, στα όρια του κοιτάσματος. Είναι χαρακτηριστικά ελαφρύς, αφρώδης, με μικρό ειδικό βάρος και μεγάλο αριθμό ανοιχτών πόρων. Το χρώμα αυτού του τύπου ποικίλει από ανοιχτό γκρι έως κίτρινο. Κατά μήκος των ροών λάβας οι φυσαλίδες επιμηκύνονται, ενώ κατά βάθος εμφανίζονται πιο επίπεδες. Παρ' ότι η ευθρυπτότητα του διευκολύνει την εξόρυξη του

υλικού, λόγω αυτής δημιουργούνται προβλήματα τόσο κατά την εξόρυξη όσο και κατά την κονιοποίηση αυτού του τύπου περλίτη, αφού το προϊόν έχει μικρού μεγέθους κόκκους, οι οποίοι δεν είναι κατάλληλοι για διόγκωση (Harben et al., 1997).

Ο περλίτης, όπως έχει προαναφερθεί, ανήκει στην οικογένεια των φυσικών ύελων. Ο σημαντικότερος παράγοντας διαφοροποίησης μεταξύ των μελών αυτής της οικογένειας είναι το περιεχόμενο νερό. Ο πισσόλιθος είναι ηφαιστειακή ύελος με περιεχόμενο H₂O μεταξύ 4 – 10% και έχει μάλλον κηρώδη παρά υελώδη λάμψη. Ο οψιδιανός περιέχει λιγότερο από 1%, δεσμευμένο στο κρυσταλλικό πλέγμα και έχει τυπική υαλώδη λάμψη (Κοκκινάκης, 2002; Harben et al., 1997). Και οι τρεις αυτές φυσικές ύελοι μπορούν να διογκωθούν σημαντικά σε σχέση με τον αρχικό του όγκο. Όμως ο πισσόλιθος και ο οψιδιανός διογκώνονται 2-3 φορές σε σχέση με τον αρχικό του όγκο, ενώ ο περλίτης μπορεί να διογκωθεί μέχρι και 20 φορές. Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα περλίτη είναι πως κατά τη διόγκωση του αποκτά ένα καθαρό και έντονα λευκό χρώμα (Εικ. 1.3).



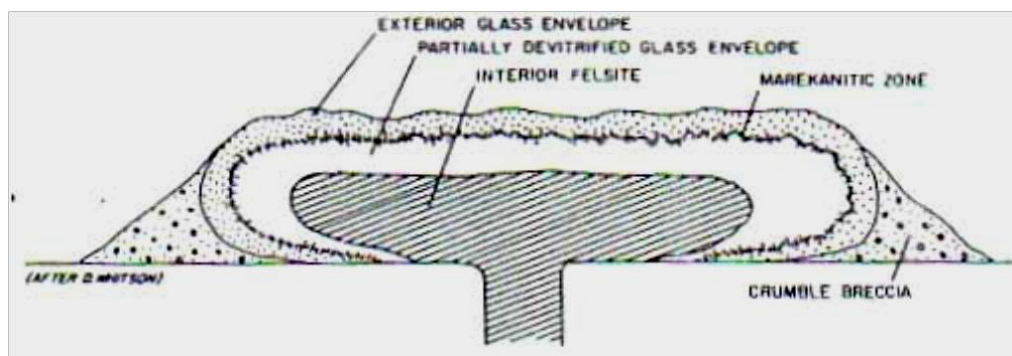
Όσον αφορά στη γένεση του περλίτη υπάρχουν δύο κύριες θεωρίες:

Η πρώτη θεωρία υποστηρίζει πως κατά την έκρηξη του ηφαιστείου το μάγμα το οποίο εξέρχεται απότομα, ψύχεται και σε θερμοκρασίες 920 – 1200°C σχηματίζει υαλώδεις μάζες περλίτη μικρής σχετικά έκτασης. Η λάβα αυτή είναι πλούσια σε αέρια, μεταξύ των οποίων και νερό, τα οποία είχαν συσσωρευτεί στο ανώτερο τμήμα του ηφαιστειακού πόρου. Σε λάβες μικρότερης θερμοκρασίας και ιδιαίτερα το τελευταίο

τμήμα της λάβας το οποίο είναι φτωχό σε αέρια σχηματίζει οψιδιανό, ρυόλιθο ή κάποιο άλλο ρυοδακτικικής σύστασης ηφαιστειακό πέτρωμα (Ρούλια, 1996; Πασσά, 2007).

Η δεύτερη και επικρατέστερη θεωρία είναι αυτή του σχηματισμού του περλίτη από την ενυδάτωση του οψιδιανού ή άλλης ηφαιστειακής υέλου. Η ενυδάτωση αυτή προέρχεται από διάφορες πηγές νερού, όπως είναι αυτό της βροχής, του χιονιού, το εδαφικό νερό ή το θαλασσινό νερό το οποίο εισέρχεται στην ύελο σταδιακά από την επιφάνεια προς τα εσωτερικότερα τμήμα δημιουργώντας έτσι την περλιτική υφή (perlitic cracks; [Chesterman, 1975](#); [Jezec et al., 1978](#)). Μελέτες, οι οποίες ενισχύουν αυτή τη θεωρία, δείχνουν ότι η προέλευση του περιεχόμενου νερού του οψιδιανού είναι μαγματική, σε αντίθεση με το νερό του περλίτη το οποίο έχει σύνθεση όμοια με αυτή του εδαφικού νερού. Μια επιπλέον παράμετρος, η οποία ενισχύει αυτή τη θεωρία είναι το γεγονός πως ο περλίτης συχνά περικλείει εμφανίσεις οψιδιανού, οι οποίες σχηματίζουν μικρά κυκλικά σωματίδια μαύρου γυαλιού, γνωστά σαν marekanites ή Apache tear drops ([Chesterman, 1975](#); [Harben et al., 1997](#)).

Τα περλιτικά κοιτάσματα εμφανίζονται ως ζώνες στερεοποιημένης λάβας αλλά και με τη μορφή φλεβών, στρωμάτων και φακών. Επίσης, τα περλιτικά κοιτάσματα εμφανίζονται μαζί με υαλώδη τέφρα και τις υαλώδεις ζώνες συγκολλημένων τόφφων από ροές τέφρας, στα περιθώρια των πυριτικών δόμων και των ροών λάβας, που έχει ψυχθεί απότομα ([Chesterman, 1975](#); [Harben et al., 1997](#)). Μια χαρακτηριστική διάθρωση, η οποία έχει παρατηρηθεί σε πολλές πυριτικές ροές είναι ο διαχωρισμός σε ζώνες, όπου η εξωτερική ενότητα του γυαλιού περιβάλλει τα εσωτερικά αφυδατωμένα γυαλιά και τον φελσιτικό πυρήνα. Στην Εικόνα 1.4 φαίνεται η γεωλογική τομή ενός ρυολιθικού κοιτάσματος μορφής φακού στην περιοχή No Agua του Νέου Μεξικού.



Εικ.1.4. Απεικόνιση της εμφάνισης περλίτη στην περιοχή No Agua Peaks στο New Mexico ([Whitson, 1982](#)).

Αυτή η διάταξη δημιουργείται από την απότομη ψύξη της εξωτερική επιφάνεια και την σταδιακή προς το εσωτερικό κρυστάλλωση. Το ηφαιστειακό γυαλί το οποίο απαντάται στα εξωτερικά μέρη της ομόκεντρης αυτής διάθρωσης είναι κισσηρώδες και προς το εσωτερικό η υαλώδης μάζα έχει πυκνότερη διάταξη, οδεύοντας προς την εμφάνιση του οψιδιανού. Τα ηφαιστειακά γυαλιά τα οποία βρίσκονται εκτεθειμένα στις διαδικασίες ενυδάτωσης, οι οποίες έχουν αναφερθεί παραπάνω κατά τη διατύπωση της δεύτερης θεωρίας γένεσης του περλίτη, μετατρέπονται σταδιακά σε περλίτη και λαμβάνουν την χαρακτηριστική περλιτική υφή επικαλύπτοντας τα αρχικά ιστολογικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού. Μεταβαίνοντας προς το εσωτερικότερο τμήμα της εξωτερικής ζώνης αυτής της εμφάνισης ξεχωρίζουν οι διαφορετικές ποικιλίες των τύπων του περλίτη (από έξω προς τα μέσα κισσηρώδης, κοκκώδης και κλασσικός περλίτης). Κάτω από την εμπορικά σημαντική ζώνη του περλίτη διακρίνεται η ανολοκλήρωτη ενυδάτωση του οψιδιανού και είναι εμφανής η «μαρεκανιτική ζώνη» (marekanitic zone). Σε αυτή τη ζώνη αρχίζουν να εμφανίζονται κόνδυλοι οψιδιανού, οι οποίοι εμφανίζονται ως διαβαθμισμένη ζώνη στο εξωτερικό μέρος του εσωτερικού πυρήνα, από αφυελωμένο γυαλί, που περικλείει τον φελσιτικό πυρήνα. Αυτές οι ζώνες, όπως γίνεται κατανοητό αποτελούν δείκτες για τον εντοπισμό κοιτασμάτων προς εκμετάλλευση (Breese et al., 1994). Οι περλιτικές εκχύσεις δεν είναι πολύ εκτεταμένες (επιφανειακές εκτάσεις μερικών km²) και αυτό οφείλεται στο γεγονός του ότι οι περλίτες είναι όξινα ηφαιστειακά πετρώματα και άρα έχουν μεγάλο ιξώδες.

Ένας σημαντικός παράγοντας για τα κοιτάσματα περλίτη είναι η ηλικία. Τα περισσότερα κοιτάσματα περλίτη είναι γενικά μικρής γεωλογικής ηλικίας και είναι σπάνια πριν το Τριτογενές, καθώς όπως έχει αναφερθεί ο περλίτης είναι μια ηφαιστειακή ύελος, η οποία με την πάροδο του χρόνου τείνει να αφυελωθεί και μετατραπεί σε ένα μικροκρυσταλλικό συνονθύλευμα χαλαζία, αστρίων και άλλων ορυκτών. Παρά ταύτα ο περλίτης χρειάζεται ένα εύλογο γεωλογικό χρονικό διάστημα για να μετατραπεί από οψιδιανός μέσω της ενυδάτωσης. Οπότε τα κοιτάσματα που συναντάμε δεν είναι μικρότερης από Μέσο Τεταρτογενούς ηλικίας (Chesterman, 1975).

1.4 ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΠΕΡΛΙΤΗ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Η φύση του περλίτη, ως ηφαιστειακή ύελος, είναι ασταθής, οπότε υπάρχει περιορισμός εμφανίσεων σε κοιτάσματα ηλικίας Τριτογενούς έως Μέσο Τεταρτογενούς. Οι εμφανίσεις περλίτη ανά τον κόσμο συνδέονται με την ηφαιστειότητα αυτής της ηλικίας

και βρίσκονται στην Σαρδηνία, την Αρμενία, την Ισλανδία, την Σκωτία, την Βόρεια Ιρλανδία, τη Γεωργία, την Ουγγαρία, τη Σλοβακία, τη Βουλγαρία, τη Ρουμανία, τα Σκόπια, την Ουκρανία και την Ελλάδα, όσον αφορά στον ευρωπαϊκό χώρο. Σε παγκόσμια κλίμακα κοιτάσματα περλίτη εμφανίζονται στην Τουρκία, τις Η.Π.Α., το Μεξικό, την Κίνα, τον Μαρόκο, την Ιαπωνία, την Χιλή, την Αργεντινή, την Ινδία, τις Φιλιππίνες, τη Νέα Ζηλανδία, την Αυστραλία, την Υεμένη, το Ιράκ και τη Σομαλία. Επίσης, ένα σημαντικό κοιτάσμα περλίτη έχει εντοπιστεί σε περιοχή της πρώην Σοβιετικής Ένωσης (Chesterman, 1975).

Αναφορικά στις Η.Π.Α. το 80% της παραγωγής περλίτη προέρχεται από το Νέο Μεξικό. Οι Η.Π.Α αποτελούν τον μεγαλύτερο με διαφορά παραγωγό περλίτη ανά τον κόσμο και η παραγωγή τους αντιστοιχεί στο 32% της παγκόσμιας παραγωγής με 500.000 τόνους/ έτος. Στην Κίνα η εικόνα για την παραγωγή του περλίτη, καθώς και των άλλων βιομηχανικών ορυκτών, είναι ασαφής. Οι εμφανίσεις είναι διεσπαρμένες και δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία. Η Τουρκία έχει μεγάλα κοιτάσματα περλίτη Τριτογενούς ηλικίας και η παραγωγή τους αντιστοιχεί στο 10% της παγκόσμιας παραγωγής.

Πίνακας 1.4 . Παγκόσμια παραγωγή και αποθέματα περλίτη (Bollen, 2011).

COUNTRIES	2009 PRODUCTION	2010 PRODUCTION*	RESERVES
United States	348	375	50
Greece	525	500	50
Hungary	65	65	3
Japan	220	220	incl. 'other countries'
Mexico	54	50	incl. 'other countries'
Turkey	230	220	incl. 'other countries'
Other countries	209	230	600
World total (rounded)	1650	1700	700.000

Στην Ελλάδα οι περλίτες εμφανίζονται υπό την μορφή αναβλημάτων διαφόρων διαστάσεων σε ηφαιστειακούς τόφους. Τα κοιτάσματα εντοπίζονται στην Μήλο, στην Κίμωλο (Ξαπλοβούνι), την Κω (χερσόνησος Κεφάλου), την Αντίπαρο, τη νησίδα Γυαλί, τη Λέσβο, στη Μυτιλήνη καθώς και στην Ανατολική Θράκη. Στην Ελλάδα το κύριο εξορυκτικό κέντρο είναι η Μήλος.

Η Ελλάδα ήταν για χρόνια η δεύτερη μεγαλύτερη παραγωγός χώρα περλίτη στον κόσμο με παραγωγή που αντιστοιχούσε στο 22% της παγκόσμια παραγωγής. Σήμερα όμως, σύμφωνα με επίσημα στοιχεία καταλαμβάνει την πρώτη θέση στην

παγκόσμια παραγωγή περλίτη. Τα τελευταία χρόνια η αγορά του περλίτη ισχυροποιείται, έχοντας ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 4-5%. Η παγκόσμια κατανάλωση περλίτη φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, επιτρέποντας στην ελληνική παραγωγή περλίτη να διεισδύσει σε ξένες αγορές και ιδιαίτερα σε αυτή των Η.Π.Α.

Πίνακας 1.5 . Παγκόσμια κατανάλωση διογκωμένου περλίτη σε 1000 τόνους ([Kendall, 2000](#)).

ΧΩΡΕΣ	1999
Η.Π.Α & Καναδάς	900
Ευρώπη	700
Ασία* (εκτός Κίνας)	380-430
Υπόλοιπες χώρες	100-150
Συνολικά (εκτός Κίνας)	2080-2180
Κίνα*	350-550
Παγκόσμια παραγωγή συνολικά	2430-2730

*Η Ιαπωνία αντιστοιχεί περίπου στο 50% της Ασιατικής αγοράς.

1.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΕΥΣΗΣ – ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΠΕΡΛΙΤΗ

Τα περλιτικά κοιτάσματα παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών, ανάλογα με την τοποθεσία προέλευσης τους, όπως το πορώδες και το χρώμα. Γενικά όμως σε ένα κοίτασμα υπάρχει σχετική ομοιομορφία χαρακτηριστικών ([Chesterman, 1975](#)). Οι περλίτες, οι οποίοι προέρχονται από διαφορετικές περιοχές έχουν σημαντικές διαφορές στις χημικές τους ιδιότητες, γεγονός που τους διαφοροποιεί σημαντικά στις βιομηχανικές τους χρήσεις.

Ο περλίτης είναι ένα επιφανειακό πέτρωμα, όπως προκύπτει και από τη διαδικασία γένεσης του, γι' αυτό και σχεδόν η μόνη οικονομικά συμφέρουσα μέθοδος εξόρυξης είναι η επιφανειακή εξόρυξη, με τη μέθοδο εκσκαφής χοανοειδούς μορφής (open pit mining). Βέβαια υπάρχουν και ορυχεία υπόγειας εκμετάλλευσης, όπως αυτό στο Caliente, Lincoln Country στη Νεβάδα ([Harben et al., 1997](#)).

Στον κισσηρώδη τύπο περλίτη η εξόρυξη γίνεται σχετικά εύκολα με σκαπτικά μηχανήματα και μπουλντόζες, στους υπόλοιπους τύπους γίνεται ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών. Την διαδικασία της εξόρυξης την ακολουθεί η θραύση του πετρώματος, η οποία γίνεται με αυστηρή ταξινόμηση σε κλάσματα και έχει την μεγάλη πρόκληση της ελαχιστοποίησης του πολύ λεπτομερούς υλικού, το οποίο αναπόφευκτα παράγεται κατά

την θραύση και αποτελεί απόρριμμα. Μετά την θραύση ακολουθεί συνήθως ξήρανση σε περιστρεφόμενα ξηραντήρια και κατόπιν γίνεται κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού, με σκοπό συνήθως την διόγκωση του περλίτη.

Οι βιομηχανίες κατανάλωσης του περλίτη ορίζουν αυστηρές προδιαγραφές για τις επιμέρους χρήσεις του διογκωμένου περλίτη. Η κοκκομετρική διαβάθμιση που ικανοποιεί την αγορά αντιστοιχεί στα παρακάτω κλάσματα ([Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος, 1979](#)):

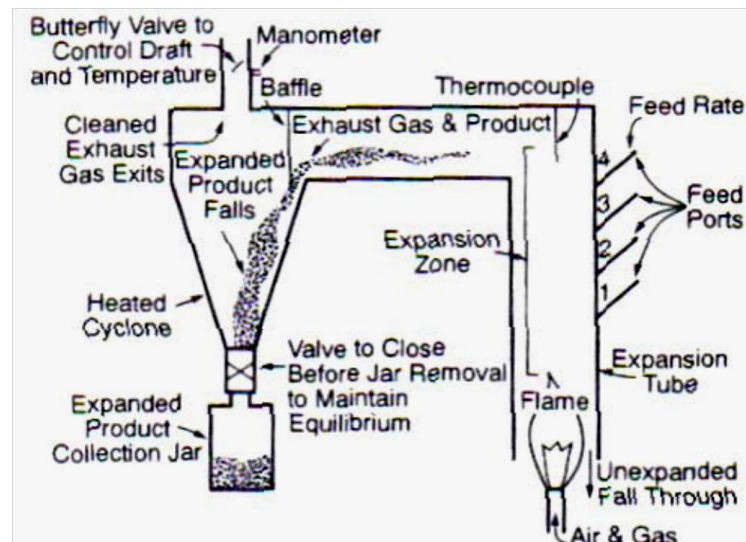
- Χονδρή κοκκομετρία: 1,2-3 mm
- Μεσαία κοκκομετρία: 0,6-1,2 mm
- Λεπτή κοκκομετρία: 0,3-0,6 mm
- Υπέρλεπτη κοκκομετρία: 0,05-0,3 mm.

Οι προδιαγραφές των διαδικασιών και των πρότυπων δοκιμών συχνά καλύπτονται από τους Perlite Institute, American Society for Testing and Materials (ASTM), the International Congress of Building Officials και American Society for Testing & Materials ([Harben et al., 1997](#)).

Πίνακας 1.5. Προδιαγραφές του American Society for Testing and Materials (ASTM) για τον περλίτη που χρησιμοποιείται σε κονιάματα ([Chesterman, 1975](#)).

ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	% παραμένον κατ' όγκο	
	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ
No. 4 (4760 μm)	0	-
No. 8 (2380 μm)	5	0
No. 16 (1190 μm)	60	5
No. 30 (590 μm)	95	45
No. 50 (297 μm)	98	75
No. 100 (149 μm)	100	88

Στη συνέχεια, ο περλίτης διογκώνεται σε έναν από τους δύο βασικούς τύπους καμίνων: στην οριζόντια περιστροφική κάμινο και κατά κύριο λόγο στην κάθετη στατική κάμινο (υψικάμινο), η οποία έχει πλεονεκτήματα έναντι της πρώτης, όπως την υψηλή παραγωγικότητα, την μικρότερες απαιτήσεις χώρου και δυνατότητα διόγκωσης όλων των κλασμάτων. Και οι δύο τύποι βέβαια έχουν συστήματα για τη συλλογή του δείγματος και τον έλεγχο της παραγόμενης σκόνης ([Harben et al., 1997](#)). Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται σε σχήμα η κάθετη στατική κάμινος.



Εικ. 1.5. Σχηματική απεικόνιση κάθετου φούρνου διόγκωσης περλίτη (Barker et al., 1990).

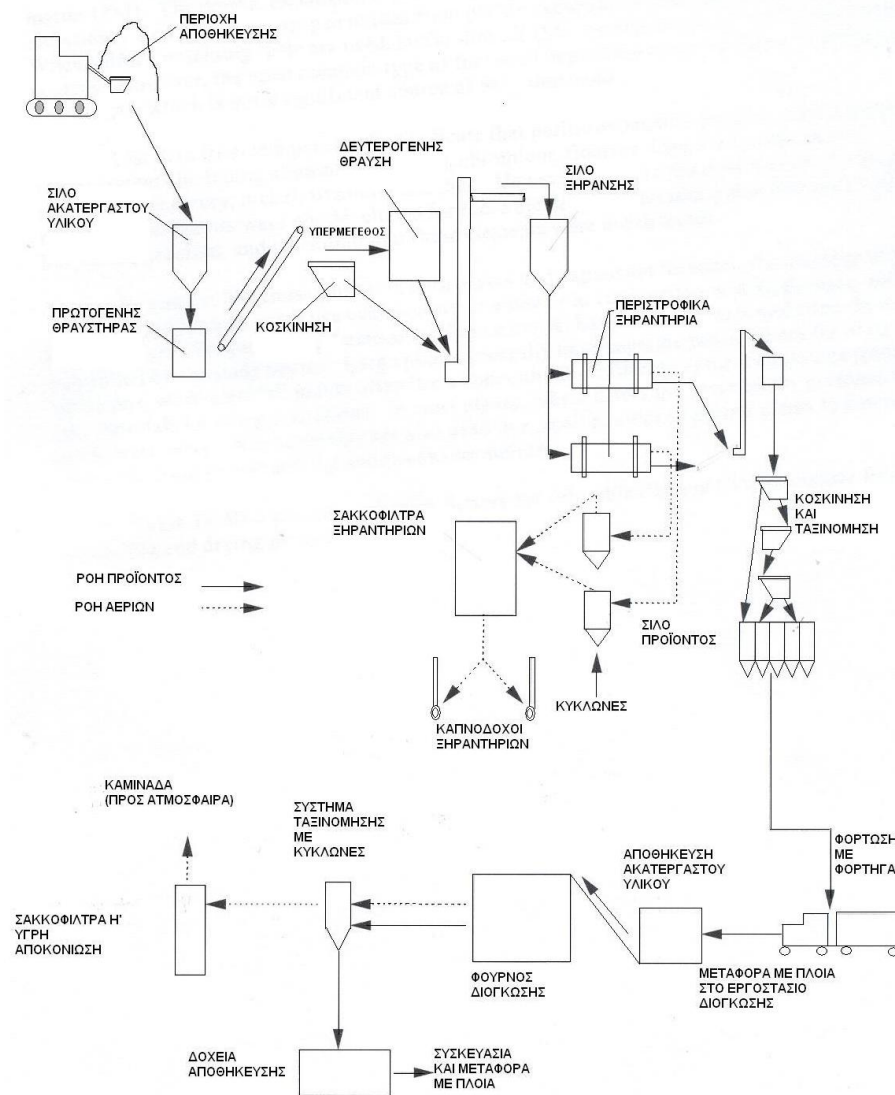
Σε γενικές γραμμές ο βαθμός διόγκωσης εξαρτάται από τις ροές μίγματος καυσίμου – αέρα (βαθμό πύρωσης), η θερμοκρασία αλλά και η προθέρμανση της καμίνου, η φύση και η κοκκομετρία του ακατέργαστου υλικού, ο ρυθμός τροφοδοσίας του υλικού αλλά και η έμφυτη τάση του προς διόγκωση. Στόχος κάθε βιομηχανίας ανεξάρτητα από την προέλευση του περλίτη είναι η επίτευξη της μεγαλύτερης και ανθεκτικότερης παραγωγή με την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

Τα συνήθη όρια της θερμοκρασίας της διόγκωσης κυμαίνονται από 750 – 1000°C (Carr, 1994). Η διόγκωση ξεκινά όταν το πέτρωμα φθάνει σε φάση πλαστικότητας. Το υλικό τήκεται, φράζει τους εξωτερικούς πόρους με αποτέλεσμα οι ατμοί του νερού που βρίσκονται στο εσωτερικό του περλίτη να παγιδεύονται, πιέζοντας από μέσα προς τα έξω και να προκαλείται διόγκωση. Τα ορυκτά, τα οποία απαντώνται στη μάζα του περλίτη ως φαινοκρύσταλλοι είναι πιθανόν να περιέχουν νερό στο κρυσταλλικό του πλέγμα, αλλά λαμβάνονται ως αδιόγκωτο υλικό κατά τη διαδικασία της διόγκωσης.

Ερευνητές αναφέρουν πως περλίτες με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο (>74%) και αργίλιο (>12%) και χαμηλή σε αλκάλια (<5%) παρουσιάζουν μειωμένη διογκωσιμότητα. Αντίθετα, όταν το πυρίτιο κυμαίνεται στο ~70%, το αργίλιο είναι μικρότερο του 14% και τα αλκάλια παρουσιάζονται αυξημένα (>8%), ο περλίτης παρουσιάζει αυξημένη διογκωσιμότητα (Περράκη – Λοϊσίου, 2007).

Ο διογκωμένος περλίτης, αν και ελαφρύς, καταλαμβάνει μεγάλο όγκο, γεγονός που καθιστά δαπανηρή τη μεταφορά του, με αποτέλεσμα την κατασκευή ενός δικτύου

εξόρυξης, κατεργασίας, μεταφοράς, διόγκωσης και μεταφοράς στους καταναλωτές με στόχο τη μείωση των μεταφορών του υλικού προς όλα τα στάδια επεξεργασίας του και άρα της μείωση του κόστους.



Εικ. 1.6. Διάγραμμα ροής επεξεργασίας περλίτη (Καπράλου, 2004).

Ο διογκωμένος περλίτης δεν ήταν γνωστός μέχρι το 1928, όπου και τυχαία ανακαλύφθηκε αυτή η ιδιότητα του υλικού. Αυτή του ιδιότητα έμεινε παροπλισμένη μέχρι και το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, όπου και σημειώθηκε οικοδομική έξαρση (Bolen, 2000). Η σημαντικότητα του φαινομένου της διόγκωσης έγκειται στο γεγονός πως ο διογκωμένος περλίτης έχει ένα πλήθος εφαρμογών. Το ευρύ πεδίο των εφαρμογών αυτών οφείλεται στις ιδιότητες του διογκωμένου περλίτη, οι οποίες είναι: η πολύ χαμηλή φαινόμενη πυκνότητα ($0,08 - 0,20 \text{ gr/cm}^3$) και η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, δηλαδή μικρή τιμή του συντελεστή K που κυμαίνεται μεταξύ $0,034$ και $0,048 \text{ kcal/h.m.}^\circ\text{C}$ (Chesterman,

1975). Το τελικό προϊόν έχει υψηλή αντοχή στη θέρμανση και πυρασφάλεια, μεγάλο συντελεστή ηχοαπορρόφησης, χημική ουδετερότητα και υψηλή ικανότητα απορρόφησης της υγρασίας (Chesterman, 1975; Harben et al., 1997).

Τέλος, αναφορικά με τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από τον περλίτη και τα προϊόντα του, σύμφωνα με εκτεταμένες μελέτες που έχουν γίνει από το Ινστιτούτο Περλίτη (Perlite Institute Inc.) αλλά και από διάφορες επιστημονικές και κυβερνητικές ερευνητικές οργανώσεις, καμία δεν υποδεικνύει κίνδυνο στην υγεία από τον περλίτη ή τα προϊόντα του. Παρ' όλα αυτά η διαχείριση των απορριμμάτων περλίτη (λεπτομερή) παρουσιάζει προβλήματα, τα οποία αναγνωρίζονται από την βιομηχανία και γίνονται συνεχείς κινήσεις για την εξάλειψή τους ή έστω την ελαχιστοποίηση τους.

1.6 ΧΡΗΣΕΙΣ ΠΕΡΛΙΤΗ

Ο περλίτης έχει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, το οποίο ολοένα και διευρύνεται. Περίπου τα τρία τέταρτα του ετήσιου παραγόμενου περλίτη χρησιμοποιείται στην κατασκευαστική βιομηχανία. Όμως βρίσκει εφαρμογές σε αγροτικές και κηπευτικές δραστηριότητες, σε πληθώρα βιομηχανικών εφαρμογών καθώς βέβαια και στην αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Ακολούθως αναπτύσσονται οι χρήσεις του περλίτη στις κυριότερες μέχρι σήμερα περιβαλλοντικές εφαρμογές του.

i) Κατασκευαστικές Εφαρμογές

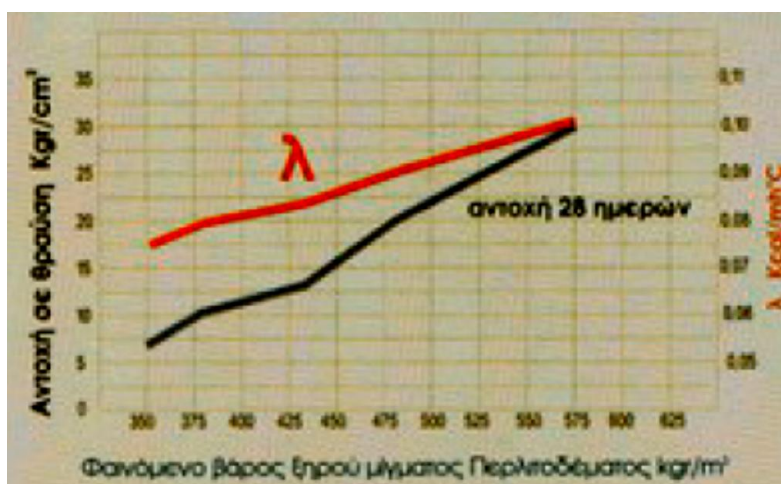
Όπως έχει προαναφερθεί, το 70% της παγκόσμιας παραγωγής περλίτη αξιοποιείται στις κατασκευαστικές εφαρμογές. Ο περλίτης λόγω της χαμηλής του πυκνότητας, του πορώδους και του μικρού βάρους εμφανίζει άριστες ηχομονωτικές και θερμομονωτικές ιδιότητες. Οι πολυάριθμες φυσαλίδες αέρα που βρίσκονται απομονωμένες στην ύαλο προκαλούν μείωση της θερμικής αγωγιμότητας και καθιστούν τον περλίτη έναν άριστο μονωτή. Σημαντική συμβολή στις θερμομονωτικές ιδιότητες του διογκωμένου περλίτη έχει η πυκνότητα του υλικού, το μέγεθος και η κατανομή των τεμαχίων καθώς και η ειδική επιφάνεια (Harben et al., 1997). Οι κυριότερες εφαρμογές του περλίτη στον κατασκευαστικό τομέα είναι οι εξής (Δεδελούδης, 2006):

- Μορφοποιημένα ελαφροβαρή μονωτικά προϊόντα, όπως: πλακίδια ηχοθερμομόνωσης, πλακίδια οροφής, κελύφη για θερμομόνωση βιομηχανικών σωλήνων μεταφοράς υγρών και πλάκες από τσιμέντο, γύψο, χαλαζιακή άμμο, βολλαστονίτη και διογκωμένο περλίτη (10-15 %).

- Θερμομονωτικά πλακίδια οροφής, τα οποία κατασκευάζονται από ορυκτοβάμβακα, ίνες κυτταρίνης, άμυλο από πατάτες ή αραβόσιτου, άργιλο, ίνες υάλου και διογκωμένο περλίτη. Η αναλογία περλίτη μπορεί να διαφοροποιείται σε μεγάλο βαθμό, 5-50% w/w, αναλόγως προς τις επιδιωκόμενες ιδιότητες του τελικού προϊόντος (www.sandb.com).

- Μη μορφοποιημένα ελαφροβαρή προϊόντα, σοβάδες, κονιάματα, που περιέχουν 15-25 % περλίτη και χρησιμοποιούνται λόγω της χαμηλής πυκνότητας τους. Ελαφροβαρές σκυρόδεμα με διογκωμένο περλίτη, όπως και διογκωμένος αποχεόμενος περλίτης σε άδειες κοιλότητες «τσιμεντομπλόκ» (Πασσά, 2007). Επίσης, χρησιμοποιείται για επιχρίσματα, τα οποία αποτελούνται από περλίτη και γύψο ή περλίτη και τσιμέντο, και εμφανίζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παλαιότερα επιχρίσματα, όπως γρηγορότερο στέγνωμα, μικρότερος συντελεστής γραμμικής διαστολής και μεγαλύτερη ελαστικότητα (περιορισμός ρωγμών και μεγαλύτερη καλυπτικότητα).

- Περλιτοσκυρόδεμα (Perlobeton), το οποίο είναι ένα ελαφροβαρές σκυρόδεμα, όπου αντί για την αδρανών υλικών περιέχει περλίτη (σε αναλογίες τσιμέντο προς περλίτη, 1:4 – 1:6). Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα που δίνει είναι η ισχυρή τελική επιφάνεια για απευθείας επικόλληση πλακιδίων και ασφαλτόπανων (www.isocon.gr).



Εικ. 1.7. Φαινόμενο βάρος ξηρού μίγματος Περλιτοσκυροδέματος kg/m³ (ΠΗΓΗ: www.isocon.gr).

Συνολικά, τα πλεονεκτήματα αυτών των υλικών που προκύπτουν από τη χρήση αδιόγκωτου και διογκωμένου περλίτη είναι η ήχο - θερμομόνωση, η αντοχή στη φωτιά, η ελαστικότητα, η ανάκλαση του φωτός, η υποστήριξη κατασκευών, η αισθητική και το μικρότερο σχετικά κόστος (Kendall, 2000).

ii) Υδροπονία, αγροτικές και κηπευτικές δραστηριότητες

Στην γεωργία, η παρουσία διογκωμένου περλίτη είναι σημαντική για την βελτίωση εδαφών εξαιτίας του μεγάλου πορώδους, το οποίο διευκολύνει τον αερισμό, την παροχή νερού και παρεμποδίζει την ξήρανση, τη δημιουργία ρωγμών και συσσωματωμάτων στην επιφάνεια του εδάφους (Ρούλια, 1996).

Στην υδροπονία, η χρήση περλίτη είναι σημαντική εξαιτίας της ισχυρής τριχοειδούς δράσης και της διατήρησης καλής αποστραγγιστικής ικανότητας. Το γεγονός αυτό επιτρέπει στα φυτά να αντλούν την ποσότητα του νερού και των θρεπτικών που χρειάζονται καθώς μεγαλώνουν, από μια δεξαμενή, μέσω του περλίτη, χωρίς να είναι πλημμυρισμένη από νερό η περιοχή των ριζών, το οποίο ενισχύει και την αντιμετώπιση των προβλημάτων υπερύδρευσης (Kendall, 2000). Έρευνες έχουν δείξει πως τα υδροπονικά συστήματα που είναι βασισμένα σε περλίτη έχουν εξαιρετικές αποδόσεις (Δεδελούδης, 2006).

Στις κηπευτικές δραστηριότητες, ο περλίτης χρησιμοποιείται ευρέως ως συστατικό για ειδικά μείγματα χώματος, κυρίως με τύρφη για τη δημιουργία του κατάλληλου υποστρώματος ανάπτυξης των φυλλωδών και ανθοφόρων καλλωπιστικών φυτών σε γλάστρες.

iii) Βιομηχανικές εφαρμογές

Ο περλίτης έχει, επίσης, ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στον τομέα των βιομηχανικών εφαρμογών. Οι σημαντικότερες εξ αυτών είναι:

- Διήθηση υγρών - βοηθητικά φίλτρων

Ο διογκωμένος περλίτης είναι ένα φθινό και αποτελεσματικό μέσο διήθησης, το οποίο έχει μεγάλο πορώδες, είναι αδρανές, αδιάλυτο και χημικά καθαρό. Ο περλίτης χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση στερεών σωματιδίων από υγρά ($\geq 1\mu\text{m}$) και ρυθμίζοντας την κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων και την πυκνότητα, ο ρυθμός ροής και η συμπεριφορά στη διήθηση θεωρείται πως πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές (Kendall, 2000). Ο περλίτης, αν και συναγωνίζεται άλλα μέσα διήθησης, όπως είναι ο διατομίτης, η γη διατόμων και η κυτταρίνη, τα έχει τα εκτοπίσει σε κάποιες εφαρμογές λόγω των εξής πλεονεκτημάτων: ταχεία διήθηση υγρών με υψηλό ιξώδες, κατανομή μεγέθους των τεμαχίων, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγχεται ο ρυθμός διήθησης, υψηλή ειδική επιφάνεια των τεμαχίων, αδράνεια σε πολλά ορυκτά και

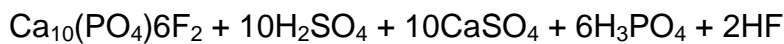
οργανικά οξέα, χαμηλή πυκνότητα σε σχέση με άλλα μέσα διήθησης και είναι σχετικά οικονομικό μέσο διήθησης (Kendall, 2000).

Ο περλίτης σαν διηθητικό υγρών και βοηθητικό φίλτρων έχει τις εξής χρήσεις (Δεδελούδης, 2006):

- Διηθητικό τροφίμων (χυμών φρούτων, ελαίων, κρασιών, μπύρας, ζάχαρης, κιτρικού οξέος, κ.λ.π.).
- Φαρμακευτικά προϊόντα (ενζύμων, πενικιλίνης, στρεπτομυκίνης, καθαρτικών αλάτων, κ.λ.π.).
- Βιομηχανικά ρευστά (νερού, διαλυτών, λιπαντικών, κ.λ.π.).
- Χημικά προϊόντα (ρητίνες, πολυμερή, H₂SO₄, TiO₂, πολυαιθυλένιο, κ.λ.π.).
- Καθαρισμός αερίων (bag house operations) από στερεά σωματίδια (μεταλλουργία, χρωματοουργία, χημική βιομηχανία).

- Χημική Βιομηχανία

Ο αδιόγκωτος διαβαθμισμένος περλίτης χρησιμοποιείται συχνά σε μονάδες παραγωγής φωσφορικού οξέος ως καταλυτικό πρόσθετο καλής κρυστάλλωσης της φωσφογύψου, γεγονός που αυξάνει την απόδοση του εργοστασίου (www.sandb.com). Για τη παραγωγή φωσφορικού οξέος πραγματοποιείται η αντίδραση:



Ο περλίτης έχει την ικανότητα να δεσμεύει το παραγόμενο HF, πριν αυτό απομακρυνθεί στην ατμόσφαιρα. Επίσης, ο αδιόγκωτος περλίτης είναι σημαντικό πρόσθετο στην παραγωγή H₃PO₄ (λιπάσματα) από φωσφάτα (Ca₃(PO₄)₂), στη βιομηχανία συνθετικών μονωτικών (Sodium Silicates) με προορισμό τις μονώσεις υψηλών απαιτήσεων και σε πυρίμαχα τούβλα και 'blocks' (< 1100 °C), για βελτίωση των μονωτικών ιδιοτήτων τους (Δεδελούδης, 2006).

- Λειτουργικά πληρωτικά υλικά

Ο ψιλόκοκκος διογκωμένος περλίτης χρησιμοποιείται ως αδρανές ελαφροβαρές υλικό πλήρωσης και έχει πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Πρέπει να τονιστεί ο διαχωρισμός των σφαιριδίων διογκωμένου περλίτη και του περλίτη που παράγεται από λειοτρίβηση. Οι μικροσφαίρες περλίτη είναι ελαφροβαρή σφαιρίδια (διαστάσεων 45-200 μm) που χρησιμοποιούνται ως λειτουργικά πληρωτικά για να μειώσουν την πυκνότητα και για να βελτιώσουν την μηχανική συμπεριφορά των τελικών προϊόντων

(www.sandb.com). Ο κάθε τύπος προσφέρει διαφορετικές ιδιότητες στους κατασκευαστές που παράγουν μίγματα με βάση τη σιλικόνη (κόλλες, στεγανοποιητικά υλικά, υλικά επικάλυψης κ.τ.λ.; [Kendall, 2000](#)).

- Μόνωση υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών

Σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας ο περλίτης χρησιμοποιείται σε χυτήρια και στη χαλυβουργία. Ο διογκωμένος περλίτης χρησιμοποιείται ως μονωτικό συστατικό επιχρισμάτων για υψηλής ποιότητας χύτευση. Επίσης, χρησιμοποιείται σαν μόνωση των τύπων χύτευσης, ώστε να ελαττώνει τη συρρίκνωση κατά τη στερεοποίηση και σαν θρομβωτικό στη σκουριά ([Harben et al., 1997](#)). Ο περλίτης χρησιμοποιείται σε μια ποικιλία μονωτικών πλίνθων και ενώσεων ([Kendall, 2000](#)).

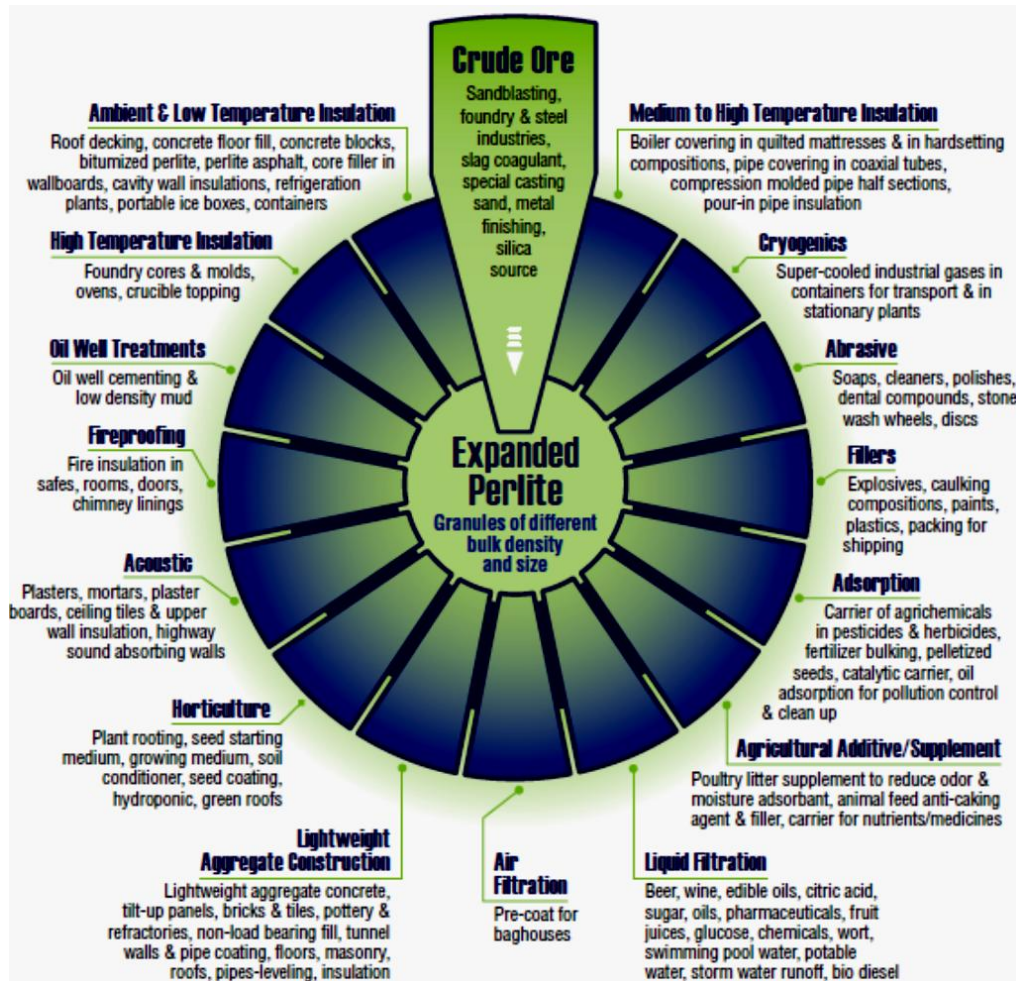
Στην κρυογενική (δηλαδή σε θερμοκρασία μικρότερη από 100°C) ή γενικά σε χρήσεις πολύ χαμηλών θερμοκρασιών, ο περλίτης χρησιμοποιείται για να μονώνει τα δοχεία αποθήκευσης και μεταφοράς πολύ ψυχρών υγρών (όπως είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο; [Καπράλου, 2004](#)). Ο περλίτης είναι ιδανικός για μονώσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες (-4°C έως -100°C) και για κρυογενικές εφαρμογές, δηλαδή σε δεξαμενές που χρησιμοποιούνται στη μεταφορά ή την αποθήκευση υγρών σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (-100°C). Οι αποθηκευτικές δεξαμενές είναι συνήθως κυλινδρικές ή σφαιρικές, με διπλά τοιχώματα όπου μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού τοιχώματος δημιουργείται κενό και παράλληλα διοχετεύεται διογκωμένος περλίτης (www.sandb.com).

iv) Περιβαλλοντικές Εφαρμογές

Η συμβολή του περλίτη στο φυσικό περιβάλλον έχει αρχίσει τις τελευταίες δεκαετίες να γίνεται ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης του. Η χρήση του περλίτη οδηγεί σε «φυσικές» περιβαλλοντικές λύσεις, όπως η μετατροπή των απεκκριμάτων σε λιπάσματα, η χρήση του, στην Ευρώπη, ως υποκατάστατου τύρφης (καθώς οι συνέπειες εξαγωγής της είναι μεγάλες) και άλλες παρόμοιες εφαρμογές ([Kendall, 2000](#)).

Η σημαντικότερη όμως συμβολή του περλίτη στην προστασία του περιβάλλοντος επικεντρώνεται στην απομάκρυνση πετρελαιοκηλίδων από την επιφάνεια της θάλασσας. Έχει διαπιστωθεί πως ο διογκωμένος περλίτης προσροφά δύο τύπους αργού πετρελαίου ([Alihosseini et al., 2010](#)). Κατά τη διαδικασία αυτή γίνεται κατάλληλη ρίψη του περλίτη, ώστε να καλύψει την πετρελαιοκηλίδα και κατόπιν

προσροφάται με ταχύτητα ο εμποτισμένος με πετρέλαιο περλίτης μέσω αντλιών. Γενικά όμως, ο περλίτης ως κοκκώδης ή σφαιροποιημένο απορροφητικό υλικό βρίσκει εφαρμογή στον έλεγχο και τον καθαρισμό διαρροών από την βιομηχανία (Δεδελούδης, 2006).

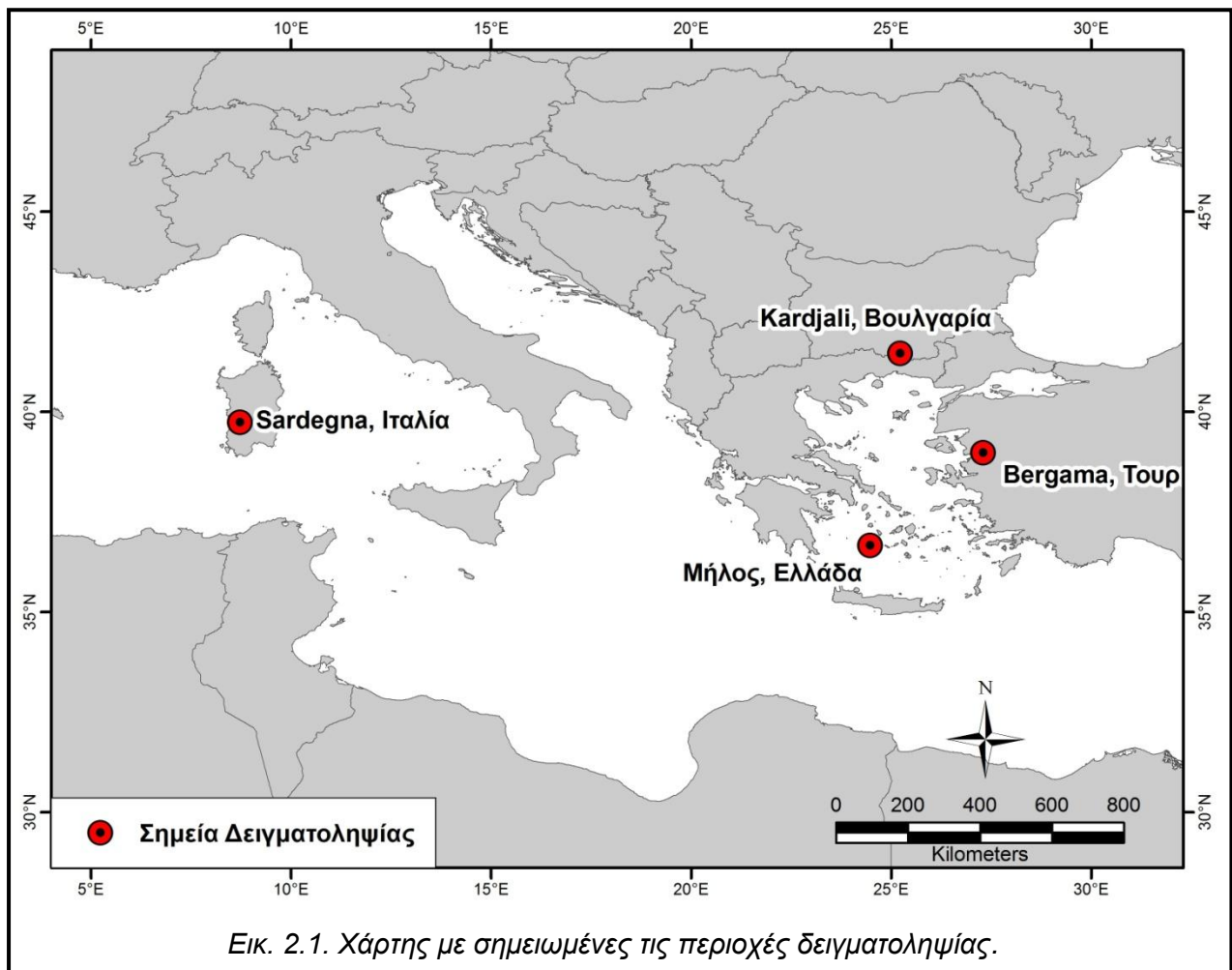


Εικ. 1.8. Εφαρμογές του περλίτη (ΠΗΓΗ: Perlite Institute Inc.).

2. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Οι περιοχές μελέτης και δειγματοληψίας είναι στη Μήλο, Ελλάδα, στη Σαρδηνία, Ιταλία, στο Kardjali, Βουλγαρία και στη Πέργαμο (Bergama), Τουρκία. Οι περιοχές δειγματοληψίας φαίνονται στον παρακάτω χάρτη, ο οποίος κατασκευάστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος ArcGIS, έκδοση 9.3.



Είναι σημαντικό να τονισθεί η γεωτεκτονική θέση των περιοχών δειγματοληψίας στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, καθώς συνδέεται άμεσα με την γένεση των κοιτασμάτων και άρα την προέλευση των περλιτών. Όλες οι περιοχές ανήκουν στο αλπικό ορογενετικό σύστημα της Τηθύος, όπου έχουμε σύγκλιση και σύγκρουση πλακών με ηπειρωτικό φλοιό (Robertson et al., 2006). Κατά μήκος του ορογενετικού συστήματος της Τηθύος υπάρχει μια διάκριση εγκάρσια προς το ορογενετικό σύστημα σε δύο κλάδους. Από την σημερινή γεωγραφική διάταξη η

διάκριση σε έναν βόρειο και ένα νότιο κλάδο (Papanikolaou et al., 1997). Ο βόρειος κλάδος (ευρωπαϊκό ηπειρωτικό περιθώριο) περιλαμβάνει κύρια τις Βετικές οροσειρές στην Ιβηρική χερσόνησο, τα Πυρηναία, τις Άλπεις (κυρίως το βόρειο τμήμα τους με τις Ελβετίδες), τα Καρπάθια, τις Βαλκανίδες, τις Ποντίδες, τον Καύκασο και στην συνέχεια άλλες οροσειρές ανατολικότερα προς τα Ιμαλάια. Ο νότιος κλάδος (γκοντβανικό ηπειρωτικό περιθώριο) περιλαμβάνει κυρίως τα Απέννινα, τις Νότιες Άλπεις, τις Δειναρίδες, τις Ελληνίδες, τις Ταυρίδες, τις Ιρανίδες και στη συνέχεια τμήματα άλλων οροσειρών έως τα Ιμαλάια (Papanikolaou et al., 1997).



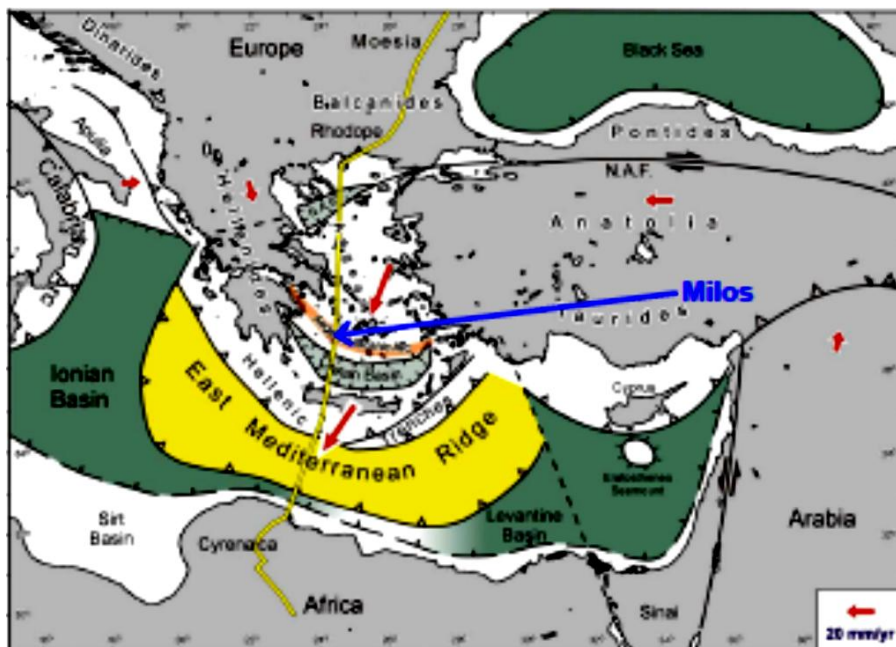
Εικ. 2.2. Οι δύο κλάδοι του Αλπικού συστήματος της Τηθύος στο χώρο της Μεσογείου (Παπανικολάου, 1986).

2.2 ΝΗΣΟΣ ΜΗΛΟΣ, ΕΛΛΑΔΑ

2.2.1 Εισαγωγή - Ιστορικά στοιχεία

Η Μήλος ανήκει στο σύγχρονο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου (Εικ. 2.3), το οποίο εκτείνεται από τη δυτική Αττική (Σουσάκι, Μέθανα, Αίγινα), το νότιο όριο των Κυκλάδων (Μήλος, Θήρα) έως τα Δωδεκάνησα (Κως, Νίσυρος).

Το νησί της Μήλου είχε πάντα στρατηγική σημασία για την παραγωγή αγαθών, για το εμπόριο αλλά και για στρατιωτικές επιχειρήσεις. Το νησί της Μήλου έχει ευρύ ορυκτό πλούτο, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με την ηφαιστειακή δραστηριότητα του. Οι πιο γνωστοί από αυτούς τους σχηματισμούς είναι ο περλίτης, ο οφιδιανός, ο μπεντονίτης, το θείο, ο τραχίτης, ο καολίνης, η κίσσηρις, ο αλλουνίτης, η βαρυτίνη και η ποζολάνη. Η θέση της Μήλου μεταξύ της ηπειρωτικής Ελλάδας και της Κρήτης, καθώς και η ύπαρξη του οφιδιανού είχαν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός σημαντικού κέντρου, του πρώιμου Αιγαιοπελαγίτικου πολιτισμού. Στην Ελλάδα έχουν βρεθεί και χρονολογηθεί ποσότητες οφιδιανού περίπου στον 11^ο αιώνα π.Χ. και στον 7^ο αιώνα π.Χ., και θεωρείται πως έχουν προέλθει από Ν. Μήλο.



Εικ. 2.3. Χάρτης με τα κύρια τεκτονικά στοιχεία στην Ανατολική Μεσόγειο, από τη Μοΐσια έως την Κυρηναϊκή, με σημειωμένη τη θέση της Ν. Μήλου. NAF: ρ.ζ. Βόρειας Ανατολίας. NAB: λεκάνη Βορείου Αιγαίου. Τα βέλη αντιστοιχούν σε ανύσματα κίνησης όπως προκύπτουν από τις μετρήσεις GPS (ΠΗΓΗ: [Papanikolaou et al., 2004](#)).

Ο πρώτος χάρτης που εμφανίζει γεωλογικές πληροφορίες και εντοπίζει τα γνωστά κοιτάσματα ορυκτών παρουσιάστηκε στο Βρετανικό Συμβούλιο το 1893. Μετά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο έγινε γεωλογική αποτύπωση των νησιών Μήλου, Κιμώλου και Πολυαίγου από τον Richard Sonder, το 1923, με βάση βαθυμετρικούς και τοπογραφικούς χάρτες του Βρετανικού Ναυαρχείου. Αυτή ήταν η πρώτη συστηματική προσπάθεια να κατανοηθεί η πολύ ενδιαφέρουσα γεωλογική ιστορία της Μήλου. Εκδόθηκε χάρτης με τον τίτλο Γεωλογικός Χάρτης του Νησιωτικού Συμπλέγματος Μήλου (Geologische Karte der Inselgruppe Milos) υπό κλίμακα 1:75.200 και ο Sonder μπόρεσε να αναγνωρίσει μια αλληλουχία ηφαιστειακών πετρωμάτων πάνω από ένα υπόβαθρο. Μια νέα φάση γεωλογικής χαρτογράφησης το 1977 κατέληξε σε έναν ενημερωμένο χάρτη – μια αναθεώρηση της εργασίας του Sonder. Τέλος, μια Τρίτη φάση πολύ λεπτομερούς γεωλογικής χαρτογράφησης υπό κλίμακας 1:10.000, 1:50.000 και 1:1.000 πραγματοποιήθηκε από ερευνητικές εταιρείες κατά την δεκαετία του 1990.

Σήμερα, η Μήλος εκτός από τον οφιδιανό επιδεικνύει πολυάριθμα χρήσιμα υλικά, τα οποία αποτελούσαν και αποτελούν το αντικείμενο της μεταλλευτικής εξόρυξης. Ορισμένες εκμεταλλεύσεις, όπως του αλουμίτη, θείου, των οξειδίων του μαγγανίου του Ακρωτηρίου Βάνι και του βαρύτη της περιοχής Τριάδες έχουν σταματήσει. Σήμερα, η μεταλλευτική δραστηριότητα επικεντρώνεται κυρίως στην εξόρυξη περλίτη, μπεντονίτη και ποζολάνης.

Από το 1930 η Μήλος, μαζί με όλες τις Κυκλάδες περιλήφθηκε στο νεοσύστατο ελληνικό κράτος, το οποίο αργότερα στην προσπάθεια αξιοποίησης του ορυκτού πλούτου της χώρας δημοσίευσε τον πρώτο νόμο «Περί μεταλλείων, λατομείων και ορυχείων» (24.8.1962). Μέσα στο ίδιο έτος πραγματοποιείται η πρώτη παραχώρηση μεταλλείου στην Ελλάδα προς εκμετάλλευση θείου στη Μήλο, οπότε ουσιαστικά αρχίζει η νεότερη μεταλλευτική ιστορία της Μήλου με τη σύσταση και εγκατάσταση πολλών εταιριών εξόρυξης και εμπορίας βιομηχανικών κυρίως ορυκτών (θείου, καολίνη, βαρυτίνης, μπεντονίτη, περλίτη, ποζολάνης, πυριτικών, κλπ.), αλλά και μεταλλευμάτων μαγγανίου και μολύβδου. Η μεταλλευτική ιστορία της Μήλου συνοπτικά κατά τον Οικονομόπουλο (1998) είναι:

Από το 1890 τα θειωρυχεία της Μήλου βρίσκονταν σε πλήρη παραγωγή, περίπου 15.000 τόνων ετησίως, καθώς τότε άρχισε και η εκμετάλλευση κοιτάσματος μαγγανίου (πυρολουσίτη) στη θέση Βάνι. Η παραγωγή διεκόπη το 1905. Το 1886 η εταιρεία “Σίφνος - Εύβοια” εξορύσσει μετάλλευμα γαληνίτη και αργυρούχου μολύβδου

στην περιοχή Τριάδες. Επίσης, το 1899 διαπιστώθηκε η σπουδαιότητα των καολινών της Μήλου.

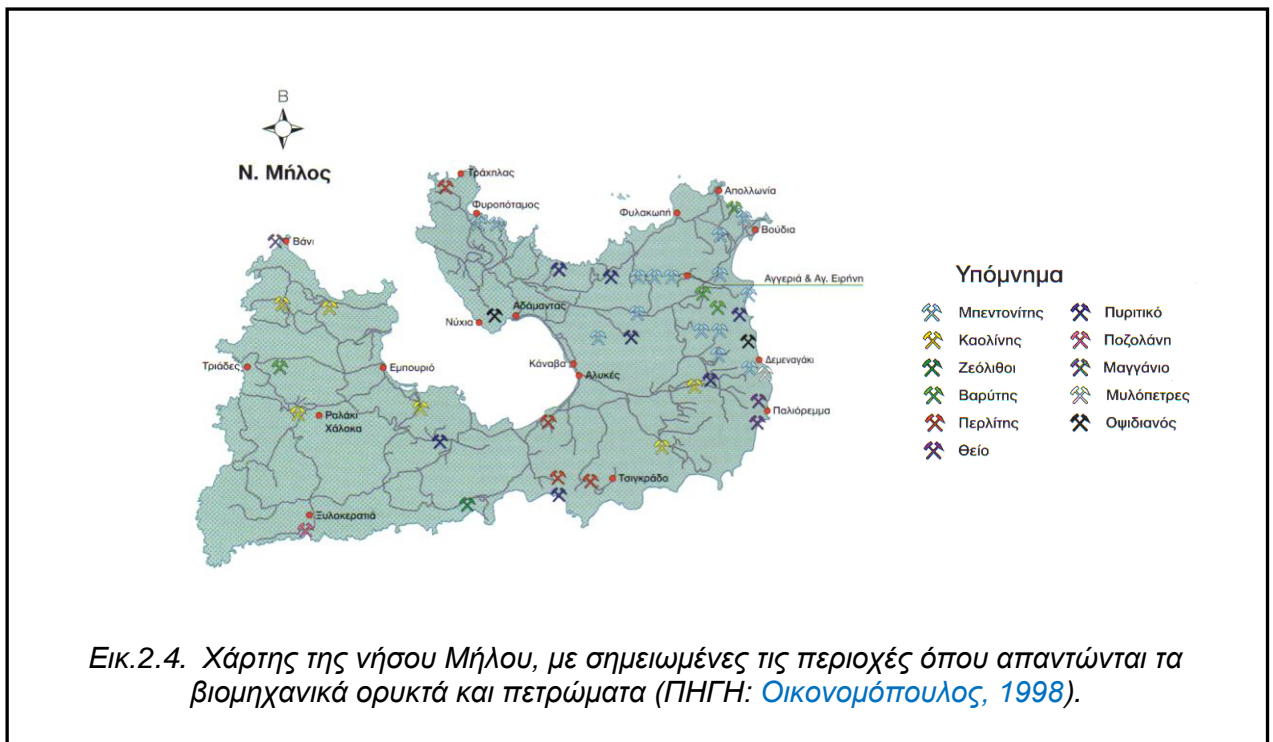
Το 1934 η Α.Ε.Ε. Αργυρομεταλλευμάτων & Βαρυτίνης αποκτά τα δικαιώματα εξόρυξης της βαρυτίνης και εγκαθίσταται στη Μήλο, στην περιοχή Βούδια. Το 1952 η εταιρεία Γ. Μπούρλος εγκαθίσταται στη Μήλο και ασχολείται με την εξόρυξη και εμπορία καολίνη και μπεντονίτη.

Το 1958 η Α.Ε. Θειωρυχεία Μήλου κηρύχθηκε σε πτώχευση και λίγο αργότερα η Α.Ε. Μεταλλεία Βωξίται Ελευσίνος του συγκροτήματος Σκαλιστήρη αγόρασε τα Θειωρυχεία Μήλου (1961) τα οποία αργότερα περιήλθαν στην Α.Ε. Επιχειρήσεων Μ.Β.Ν. (1978). Στη συνέχεια, το 1984 η εταιρεία ΕΛΜΕ, θυγατρική της ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΤΙΤΑΝ Α.Ε., άρχισε εξόρυξη ποζολάνης στην περιοχή Ξυλοκερατιά.

Το 1992 η Α.Ε.Ε. Αργυρομεταλλευμάτων & Βαρυτίνης, κατόπιν διεθνούς πλειοδοτικού διαγωνισμού, αποκτά τα σχετικά μεταλλευτικά δικαιώματα και αρχίζει στη Μήλο τις έρευνες για τον εντοπισμό κοιτασμάτων επιθερμικού χρυσού.

Τέλος, για την ιστορία θα πρέπει να αναφερθούν και οι προσπάθειες της ΔΕΗ προς εκμετάλλευση της ενθαλπίας του υπεδάφους, δηλαδή της γεωθερμικής ενέργειας.

Το 1993 μετά από διαρροή στις εγκαταστάσεις του γεωθερμικού πεδίου και τα προβλήματα που προέκυψαν, οι σχετικές εργασίες, οι οποίες είχαν αρχίσει λίγα χρόνια πριν με τη συνεργασία της Ιαπωνικής εταιρείας MITSUBISHI, αναστάλησαν επ' αόριστον, ενώ οι Αλυκές Μήλου, που αποτελούσαν κρατική επιχείρηση και μονοπώλιο



από Τουρκοκρατίας, παραχωρήθηκαν το 1985 προς εκμετάλλευση στην Α.Ε. Ελληνικές Αλυκές.

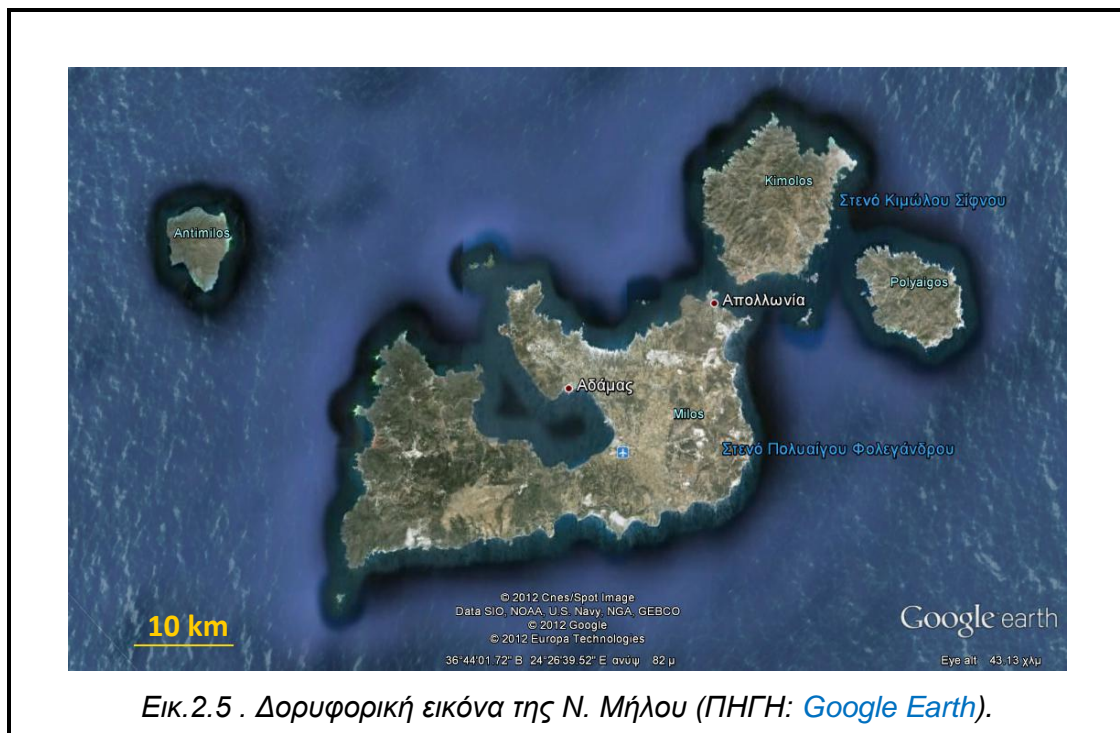
Η Μήλος είναι σήμερα το μεγαλύτερο κέντρο παραγωγής και επεξεργασίας μπεντονίτη και περλίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Παράλληλα πραγματοποιούνται εξαγωγές πρώτων υλών για την τσιμεντοβιομηχανία, όπως είναι ο καολίνης, η ποζολάνη και το πυριτικό άλευρο. Μεγάλες μεταλλευτικές εταιρείες είναι εγκατεστημένες στο νησί της Μήλου, που συμβάλλουν στην οικονομική ευρωστία του νησιού, καθώς απασχολούν ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού του. Η θετική συμβολή της μεταλλευτικής δραστηριότητας γίνεται αντιληπτή και από το γεγονός ότι ενώ από το 1920 και μετά ο συνολικός πληθυσμός των Κυκλάδων μειώθηκε κατά 38%, στη Μήλο η μείωση αυτή δεν ξεπέρασε το 12%. Στη Ν. Μήλο 700.000 τόνοι μπεντονίτη και 450.000 τόνοι περλίτη εξορύσσονται και υφίστανται την πρώτη επεξεργασία στη Μήλο και στη συνέχεια εξάγονται στο εξωτερικό, σε ποσοστό που υπερβαίνει το 90%.

Η Μήλος εκτός από τα προαναφερθέντα διαθέτει και ένα ενεργό γεωθερμικό σύστημα, του οποίου οι πολυάριθμες εκδηλώσεις (φουμαρόλες, θερμές πηγές, υποθαλάσσιες εκδηλώσεις, θερμά σημεία) παρουσιάζονται στην επιφάνεια στο ανατολικό τμήμα του νησιού. Γεωθερμικές μελέτες βάθους στην περιοχή της Ζεφυρίας έδειξαν την ύπαρξη ενός βεβαιωμένου γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας έκτασης 50km, θερμοκρασίας 280°C – 320°C και πίεσης 11 – 29 ATM (IFME).

2.2.2 Γεωγραφία – Γεωμορφολογία

Η Μήλος βρίσκεται στη νοτιοδυτική άκρη των Κυκλάδων, 120km ανατολικά των ακτών της Λακωνίας, και είναι το 5^ο σε μέγεθος νησί των Κυκλάδων. Από τα ανατολικά προς τα δυτικά έχει πλάτος 23km, από Βορρά σε Νότο 13km και η επιφάνεια της εκτιμάται στα 151km². Ο Άδαμας είναι το βασικό λιμάνι του νησιού και η πρωτεύουσα του είναι η Πλάκα. Η Μήλος έχει γενικά ομαλό ανάγλυφο, εμφανίζοντας μεγαλύτερες κλίσεις στο δυτικό μέρος του νησιού. Το ψηλότερο βουνό είναι ο Προφήτης Ηλίας (748m) και ακολουθεί στο δυτικό μέρος του νησιού το Χονδρό Βουνό (636m).

Το μήκος της ακτογραμμής της Μήλου είναι 125km , έχει σχήμα πετάλου και στο κεντρικό μέρος του νησιού βρίσκεται ο κόλπος που είναι ένα φυσικό λιμάνι (Εικ. 2.5). Η ακτογραμμή της Μήλου είναι πολυσχιδής, με επιμέρους κολπίσκους και όρμους απότομων κλίσεων στις ανατολικές, δυτικές και νότιες ακτές και πιο ομαλές κλίσεις στις βόρειες ακτές και τις ακτές στο εσωτερικό μέρος του κόλπου του νησιού (Ανδρής, 2008).



Εικ.2.5 . Δορυφορική εικόνα της Ν. Μήλου (ΠΗΓΗ: [Google Earth](#)).

2.2.3 Γεωλογία

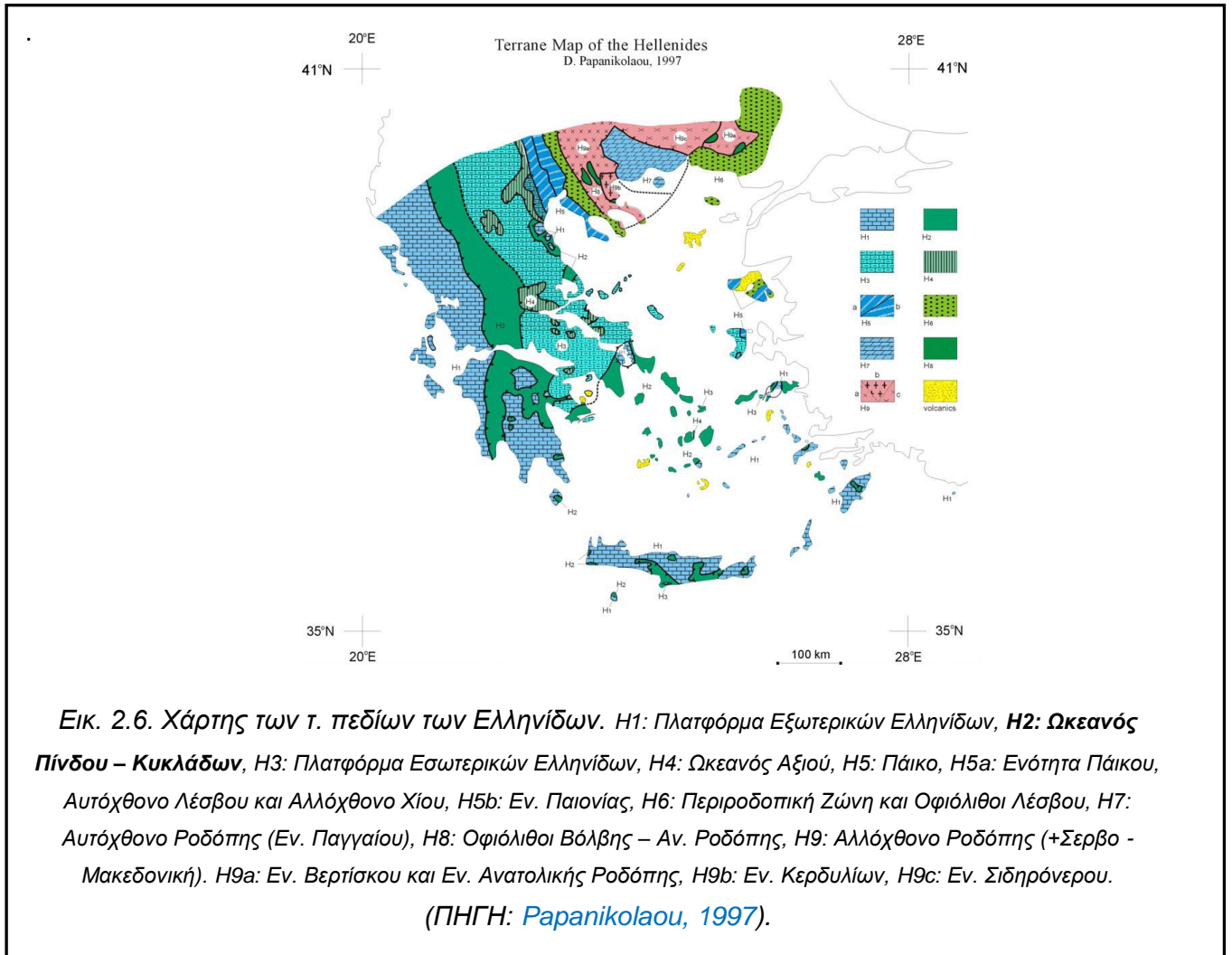
Το νησί της Μήλου είναι κυρίως ηφαιστειακό νησί, το οποίο ανήκει στο κεντρικό – νότιο τμήμα του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου. Το τόξο αυτό ξεκινάει από την

περιοχή της Κρομμυωνίδας (Κορινθίας) και περνώντας από την Αίγινα, τα Μέθανα, τη Μήλο, τη Σαντορίνη και τη Νίσυρο καταλήγει στην Μ. Ασία (Εικ. 2.3).

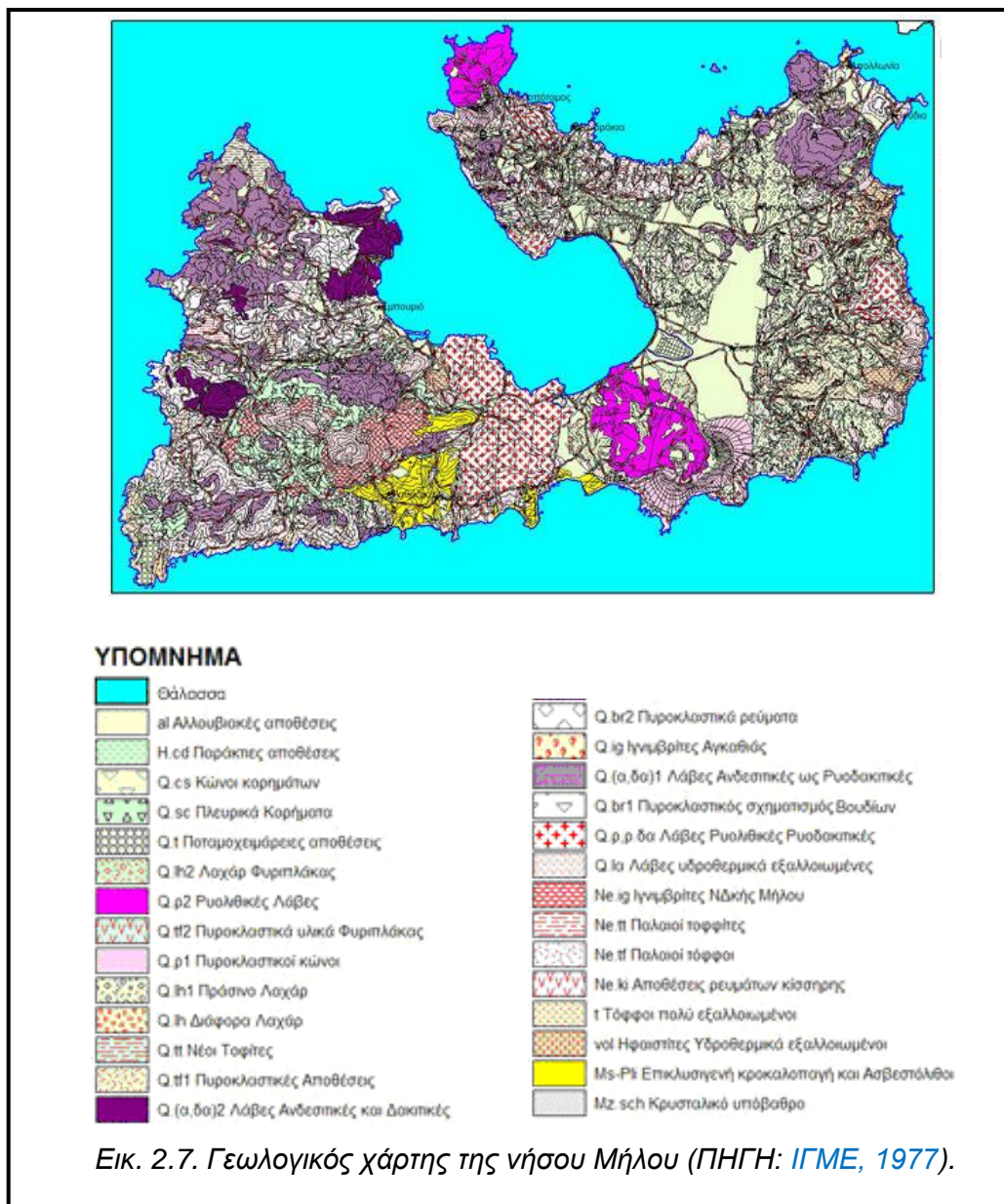
Το ηφαιστειακό τόξο, στο οποίο ανήκει η Μήλος, εντάσσεται στο ορογενετικό σύστημα των Ελληνίδων, το οποίο αποτελεί τμήμα του Νότιου κλάδου του αλπικού ορογενετικού συστήματος της Τηθύος.

Οι [Sauvage \(1846\)](#) και [Ehrenburg \(1889\)](#) μας έδωσαν ορισμένα στοιχεία για τη γεωλογία του νησιού, τα οποία έχουν πια αναθεωρηθεί. Το 1924 ο [Sonder](#) έγραψε μια εκτεταμένη χημικό – πετρογραφική μελέτη για τα κυριότερα ηφαιστειακά πετρώματα του νησιού, περιγράφοντας το κρυσταλλικό υπόβαθρο και τους ιζηματογενείς σχηματισμούς χωρίς λεπτομέρειες. Ο Μαρίνος κάνει μια γεωλογική αναγνώριση των κοιτασμάτων καολίνη της ΒΔ Μήλου (1995), μελετά τα θειωρυχεία Παλιορέμματος (1956) και το ηφαίστειο της Αντιμήλου (1960). Τέλος, η πιο ολοκληρωμένη μελέτη της Μήλου πραγματοποιήθηκε από τον [Φυτίκα \(1977\)](#), όπου δημοσίευσε την γεωλογική και γεωθερμική μελέτη της Μήλου.

Η Μήλος ανήκει γεωλογικά στο νοτιοδυτικό άκρο του νησιωτικού συμπλέγματος των Κυκλάδων, το οποίο ανήκει γεωλογικά στην ενδιάμεση τεκτονο-μεταμορφική ζώνη Πελαγονική – Κυκλάδες (Εικ. 2.6). Το νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων, στο οποίο ανήκει η Μήλος, μαζί με την Αττική και την νότια Εύβοια αποτελούν την πρώην Αττικοκυκλαδική μάζα. Ο χώρος της πρώην Αττικοκυκλαδικής θεωρείται μια μάζα θεωρείται ως μια ετερογενής κρυσταλλική μάζα που αποτελείται από μια πολύπλοκη σειρά, διακριτών, κυρίως Μεσοζωικών, τεκτονικών καλυμμάτων ([Καταγός, 2001](#)).



Στη διεθνή βιβλιογραφία ο χώρος της Αττικοκυκλαδικής Ζώνης αναφέρεται ως κλασσικό παράδειγμα "μεταμορφικού συμπλέγματος διαστολής". Η διαστολή αυτή έχει σήμερα διεύθυνση από Β-N έως ΒΑ-ΝΔ και είναι το αποτέλεσμα της συνδυασμένης κίνησης των τεμαχών του φλοιού αφενός μεν της Τουρκίας προς δυσμάς εξαιτίας της κίνησης τη Αραβίας προς βορρά, αφετέρου δε της κίνησης του νοτίου Αιγαίου προς τα νοτιοδυτικά.



2.2.4 Στρωματογραφία

Στρωματογραφικά, το κρυσταλλικό υπόβαθρο του νησιού αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα, τα οποία είναι και τα αρχαιότερα. Η γένεση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του κρυσταλλικού υποβάθρου της Μήλου θεωρείται ότι έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια δυο μεταμορφικών γεγονότων. Το παλαιότερο, ηλικίας 64 Ma, στο όριο του Ανώτερου Κρητιδικού και Παλαιογενούς, χαρακτηρίζεται από συνθήκες υψηλής πίεσης και εκπροσωπείται κυρίως από γλαυκονιτικούς σχιστόλιθους, ενώ το νεότερο, ηλικίας 33 Ma, μεταξύ κατώτερου και Μέσου Ολιγοκαίνου, χαρακτηρίζεται από συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας ανάλογες της πρασινοσχιστολιθικής φάσης (Fytikas et al., 1976). Μία τρίτη κατηγορία μεταμορφωμένων πετρωμάτων, που απαντάται, είναι οι εκλογίτες, οι οποίοι

εντοπίστηκαν στη περιοχή της Παλαιοχώρας ως ξενόλιθοι (Kornprobst et al., 1979) και στη περιοχή Νύχια ΒΔ του Αδάμαντα (Liakopoulos, 1978).

Η στρωματογραφική εικόνα (Εικ. 2.8) του νησιού από κάτω προς είναι: κρυσταλλικό υπόβαθρο, νεογενή ιζήματα, παλιοί ηφαιστειακοί τόφφοι και τοφφίτες, ιγνιμβρίτες, παλιές ρυολιθικές εκχύσεις και αναβλήματα, νεότερες αποθέσεις (Φύτικας, 1977).

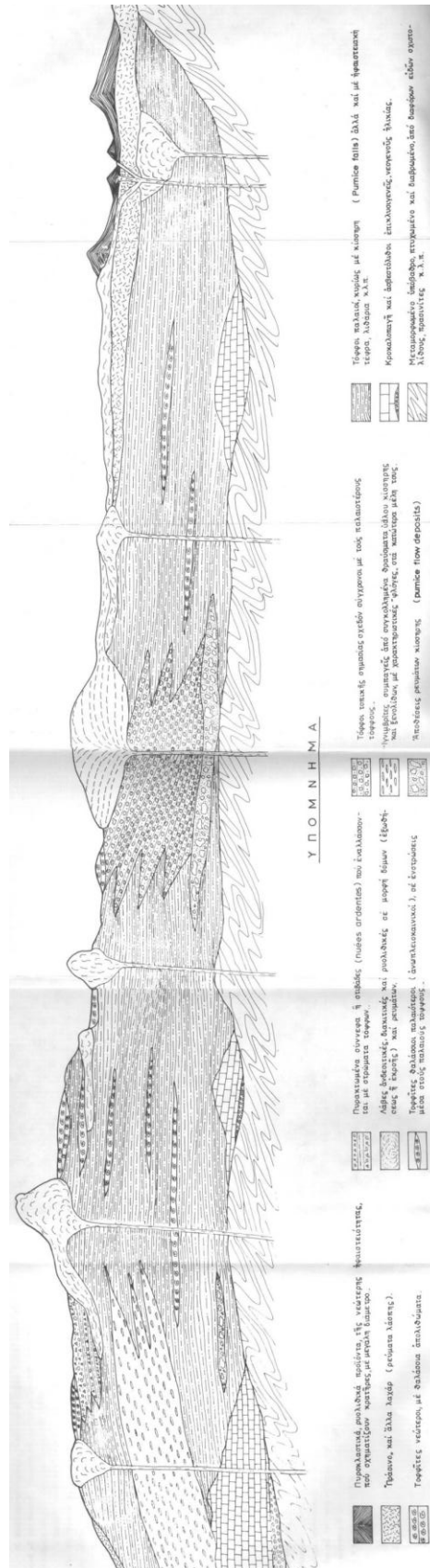
- ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Το κρυσταλλικό υπόβαθρο έχει περιορισμένη έκταση και αποτελείται από επιζωνικά παρά- και όρθο-μεταμορφωμένα πετρώματα. Κατά τον Φύτικα το 1977, η μεταμορφωμένη σειρά ανήκει πιθανώς σε φλυσχοειδή σχηματισμό με οφιόλιθους και τμήματα ασβεστολίθων από άλλο τόπο. Η μεταμόρφωση της σειράς έγινε σε δύο διαφορετικά περιβάλλοντα: σε περιβάλλον υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας (κυανοσχιστόλιθοι) και αντίστροφα σε περιβάλλον χαμηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας (πρασινοσχιστόλιθοι).

Κατά τον Φυτίκα (1977) προσδιορίστηκε η ηλικία των δύο μεταμορφώσεων, η οποία είναι 64 και 33 Ma και αναπαραστάθηκε η γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής ως εξής:

- παλιά ζώνη σύγκλισης και βύθισης, κατά το τέλος του Κρητιδικού στο ύψος της Μήλου
- ηπειρωτική σύγκρουση, κατά το Ολιγόκαινο (τέλος βύθισης)
- αλπικής ηλικίας μεταμόρφωση, που αποκλείει την κρητιδική – Ηωκαινική ηλικία για τους ασβεστόλιθους της Μήλου, που αποτέθηκαν μετά την αλπική ορογένεση

Μετά τη σύγκρουση (Κατ. – Μέσο Ολιγόκαινο) των πλακών στο ύψος της Μήλου και την ορογενετική φάση μέχρι το Αν. Μειόκαινο, το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της περιοχής διαβρώθηκε, ταπεινώθηκε γεωλογικά και κατέληξε υποθαλάσσια. Μετά άρχισε η ιζηματογένεση του Νεογενούς, σε διάφορα περιβάλλοντα.



Εικ.2.8. Γεωλογική – Στρωματογραφική τομή της Μήλου. (ΠΗΓΗ: Φυτίκας, 1977).

- ΝΕΟΓΕΝΗΣ ΣΕΙΡΑ

Η παλαιότερη νεογενής σειρά (Αν. Μειόκαινο – Κατ. Πλειόκαινο) εμφανίζεται σποραδικά στη νότια Μήλο, έχει στη βάση κροκαλοπαγές από επίκλυση και από πάνω ασβεστόλιθους με μακρο-απολιθώματα που έχουν πάθει μικρή διαγένεση. Νεώτερα ιζήματα και τόφφοι αναπτύσσονται στο νοτιοδυτικό, βόρειο και κεντρικό τμήμα του νησιού. Η ηλικία της νεώτερης σειράς έχει προσδιοριστεί στο Πλειόκαινο-Πλειστόκαινο (Φυτίκας 1977; Stamatakis et al., 2010; Calvo et al. 2012).

2.2.5 Τεκτονική

Κατά τον Παπανικολάου (1990), η προκύπτουσα συνολική τεκτονική δομή χαρακτηρίζεται σαν μια πολύπλοκη δομή από νεοτεκτονικές ενότητες που διαδέχονται στο χώρο μορφές τεκτονικών τάφρων – κεράτων – περιστροφών. Κυρίαρχη είναι η τάφος του όρμου Μήλου – Φυριπλάκας, με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ, που διακόπτει τη συνέχεια των δομών της δυτικής και ανατολικής Μήλου (Papanikolaou et al., 1990).

Το νησιωτικό σύμπλεγμα της Μήλου και η Μήλος τοποθετείται στο νοτιοδυτικό τμήμα του σύγχρονου ενεργειακού ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονη τεκτονική δραστηριότητα ως αποτέλεσμα της γεωδυναμικά εξελισσόμενης μετανάστευσης του ηφαιστειακού τόξου προς Νότο και την άνοδο προς την επιφάνεια θερμών μαγματικών μαζών (Παπανικολάου, 1986).

Σύμφωνα με τον ερευνητή Φυτίκα (1977) στη Ν. Μήλο λαμβάνουν χώρα τέσσερα κύρια συστήματα ρηγμάτων τα οποία είναι:

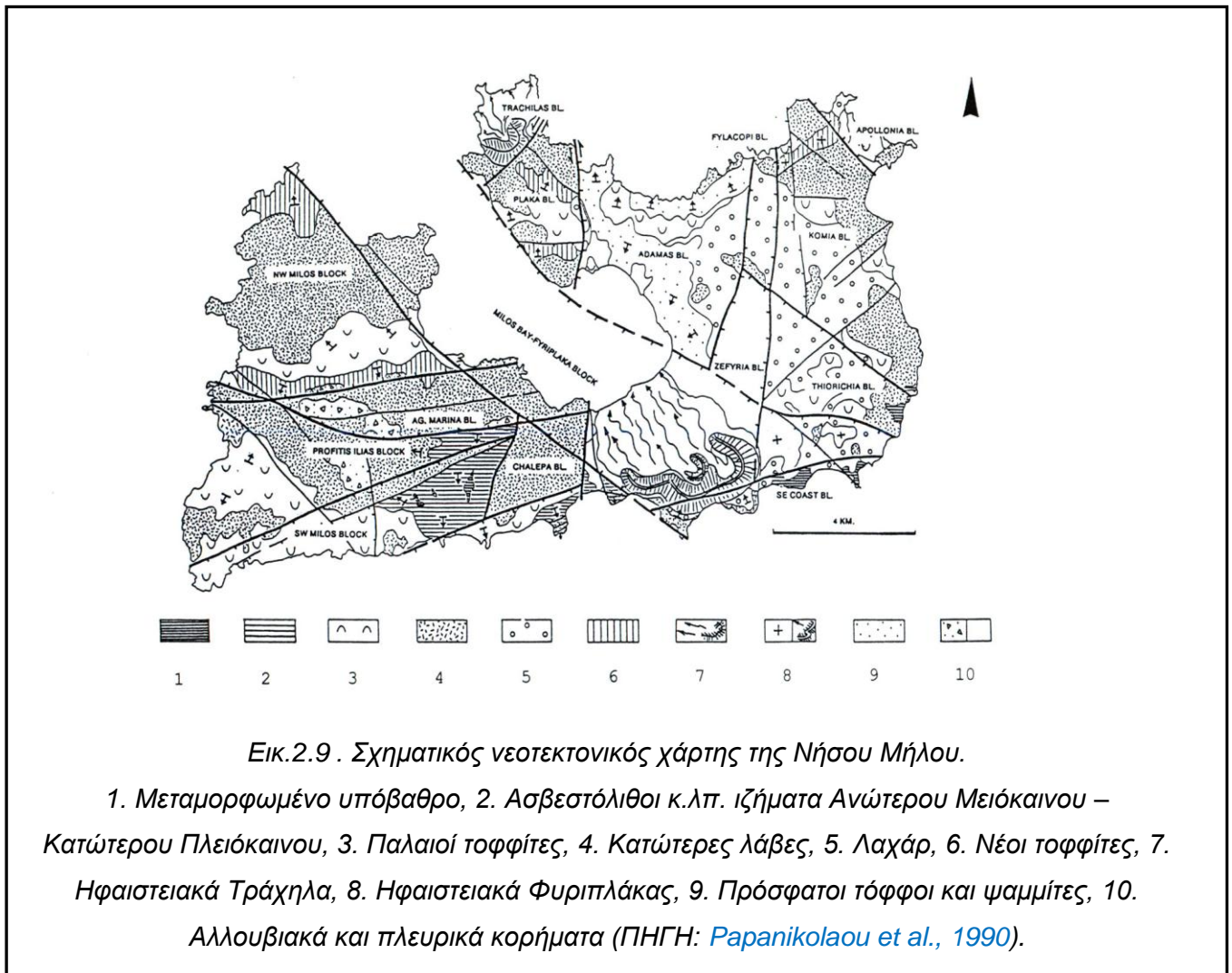
α) Το πρώτο σύστημα περιλαμβάνει ρήγματα με διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ, τα οποία είναι ευδιάκριτα στο νότιο τμήμα του νησιού, έχουν επηρεάσει κυρίως το μεταμορφωμένο υπόβαθρο και είναι παράλληλα προς το ηφαιστειακό τόξο. Πρόκειται πιθανότατα για το αρχαιότερο σύστημα ρηγμάτων το οποίο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία των διαδοχικών «τάφρων» και «κεράτων» του υποβάθρου.

β) Το δεύτερο σύστημα περιλαμβάνει ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ περίπου, τα οποία είναι αρχαιότερα από την περίοδο που άρχισε η ηφαιστειακή δράση.

γ) Το τρίτο σύστημα περιλαμβάνει ρήγματα με διεύθυνση Β-Ν. Απαντούν με μεγάλη συχνότητα σχεδόν σε όλο το νησί, είναι υπεύθυνα για την άνοδο των μαγματικών υλικών, καθώς επίσης και για τη δημιουργία των δύο τεκτονικών βυθισμάτων της

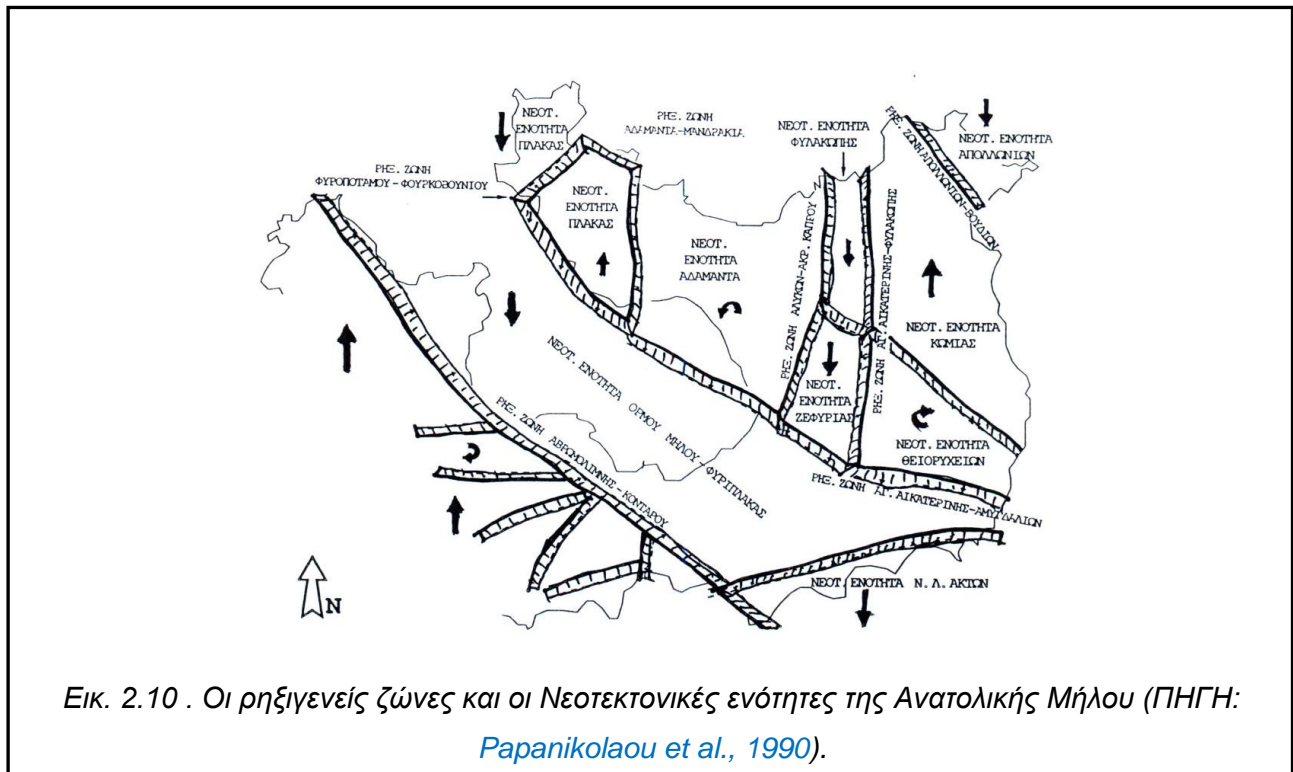
Ζεφυριάς και του Προβατά – Χιβαδολίμνης. Το σύστημα αυτό έχει επηρεάσει – όπως διαπιστώθηκε από τα γεωφυσικά δεδομένα- και το μη ηφαιστειακό υπόβαθρο.

δ) Το τέταρτο σύστημα ρηγμάτων περιλαμβάνει ρήγματα με διεύθυνση $B60^{\circ}A$ – $N60^{\circ}Δ$, τα οποία οφείλονται σε επαναδραστηριοποίηση παλαιών ρηγμάτων του υποβάθρου ή σε τοπική διευθέτηση επιφανειακών όγκων πάνω σε υποκείμενες πλαστικές μάζες.



Στη συνέχεια, σύμφωνα με τους Papanikolaou et al. (1990), το επικρατούν πρώτο σύστημα ρηγμάτων έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ (130° – 130°) και περιλαμβάνει περίπου το 29% του συνόλου των ρηγμάτων. Το επόμενο δεύτερο σύστημα ρηγμάτων έχει διεύθυνση Α – Δ (90° – 270°) και περιλαμβάνει περίπου το 19%. Το τρίτο σύστημα ρηγμάτων έχει διεύθυνση Ν – Σ (0° – 180°) και περιλαμβάνει περίπου το 18%, ενώ το τέταρτο σύστημα έχει διεύθυνση ΒΑΑ – ΝΔΔ (60° – 240°) και περιλαμβάνει περίπου το

16% (Εικ. 2.9). Έτσι κατά τους Papanikolaou et al., 1990 διαμορφώνονται εννέα (9) ρηξιγενείς ζώνες, οι οποίες φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Η περιγραφή των κύριων ρηγμάτων, τα οποία οριοθετούν τους σχηματισμούς της Μήλου, δείχνει τα όρια των σχετικά ενιαίων ρηξιτεμαχών. Το είδος της κίνησης σε κάθε νεοτεκτονική ενότητα, εφόσον η κίνηση παρέμενε σταθερή τα 3-4 εκατ. χρόνια, την αποκλειστική ύπαρξη ή έλλειψη κάποιου σχηματισμού (Papanikolaou et al., 1990). Σύμφωνα με τους Papanikolaou et al. (1990), κάθε νεοτεκτονική ενότητα χαρακτηρίζεται από κάποιο συγκεκριμένο σχηματισμό ή συνδυασμό σχηματισμών (Εικ. 2.10) και διακρίνουν οκτώ (8) ενότητες. Οι ενότητες που αφορούν στις περιοχές δειγματοληψίας είναι: η ενότητα Όρμου Μήλου – Φυριπλάκας, η οποία χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη των ηφαιστειακών πετρωμάτων Φυριπλάκας που καλύπτουν τις λάβες και το μεταμορφωμένο υπόβαθρο, ενώ λείπουν οι υπόλοιποι σχηματισμοί και ιδιαίτερα τα ιζήματα του Ανώτερου Μειοκαίνου και η ενότητα Τράχηλα, η οποία χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη σχεδόν αποκλειστικά των ηφαιστειακών πετρωμάτων του Τράχηλα.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι κάθε νεοτεκτονική ενότητα έχει τη δική της ιδιαίτερη εξέλιξη. Η προκύπτουσα συνολική τεκτονική δομή της Μήλου μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μια περίπλοκη δομή από ρηξιτεμάχη που διαδέχονται στο χώρο μορφές τεκτονικών τάφρων – κεράτων – διπόλων. Η περιγραφή της συνολικής δομής

δεν μπορεί να γίνει σε μια τομή, διότι ο προσανατολισμός των τεκτονικών δομών δεν είναι σταθερός μια και τα κύρια ρήγματα που οριοθετούν τα ρηξιτεμάχη διευθύνονται προς όλες τις διευθύνσεις, δηλαδή και Α – Δ και Β – Ν και ΒΔ – ΝΑ και ΒΑ – ΝΔ (Papanikolaou et al., 1990).

2.2.6 Ηφαιστειότητα

Στη νήσο Μήλο και στην ευρύτερη περιοχή παρατηρείται μια εκτεταμένη ηφαιστειακή δραστηριότητα, η οποία άρχισε από το μέσον του Ανώτερου Πλειόκαινου, με αποθέσεις διαδοχικά σε χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον. Κατά τον Φυτίκα (1977), το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι ολόκληρο το νησί υπέστη αλληπάλληλες ανυψώσεις και καταβυθίσεις κατά τη διάρκεια του ανώτερου Πλειόκαινου και του Πλειστόκαινου. Σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή, ολόκληρο το νησί έγινε χέρσο μετά την ολοκλήρωση της ηφαιστειακής δραστηριότητας, πριν από 480.000 χρόνια περίπου. Η θεώρηση αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι πολλές τέφρες ηφαιστειακής προέλευσης αποτέθηκαν τότε σε θαλάσσιο περιβάλλον.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα έδωσε κατά τον Φυτίκα (1977) τις εξής ηφαιστειακές ενότητες:

- Πυροκλαστικά προϊόντα (Μέσο – Άνω Πλειόκαινο), τα οποία κυριαρχούν και προέρχονται από ποικίλα κέντρα, πιθανώς και έξω από τη Μήλο. Η ηφαιστειο-ιζηματογενής σειρά έχει σημαντική εξάπλωση και διακρίνεται:

i. Στην παλαιά σειρά, που αποτέθηκε κυρίως πριν από το σχηματισμό δόμων. Αποτελείται από εναλλαγές τόφφων με κυρίαρχο υλικό την κίσηρη, τόφφων τέφρας, αποθέσεις ρευμάτων κίσηρης και 3-4 ενδιάμεσους ορίζοντες τοφφικών ρηχής θάλασσας, με άφθονα μάκρο- και μικρο-απολιθώματα. Ο σχηματισμός των ρευμάτων κίσηρης είναι πολύ χαρακτηριστικός και αποτελείται από κισσήρεις χωρίς διαβάθμιση.

ii. Στις ενδιάμεσες αποθέσεις, που έχουν τοπική σημασία, είναι κυρίως ιγνιμβρίτες, πυρακτωμένα σύννεφα, πυροκλαστίτες και αδρομερείς τόφφοι, που βρίσκονται κοντά σε διάφορα ηφαιστειακά κέντρα.

iii. Στους νεότερους τόφφους και τοφφίτες, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ποικιλία σύστασης, πάχους, έκτασης και απαντώνται σποραδικά σε διάφορες περιοχές του νησιού.

- Σύμπλεγμα δόμων και ρωών λάβας (Άνω Πλειόκαινο). Μετά την υποθαλάσσια εκρηκτική δραστηριότητα το δυτικό τμήμα της Μήλου επηρεάστηκε από μία φάση υποαέριας ηφαιστειότητας, που χαρακτηρίζεται από την δημιουργία διαφόρων δόμων και ρωών λάβας που έχουν καλύψει σχεδόν εξ' ολοκλήρου τα προηγούμενα προϊόντα. Οι μεγαλύτεροι δόμοι τοποθετήθηκαν με φορά Β, ΒΑ ή ΝΑ.

- Πυροκλαστικές σειρές και δόμοι λάβας (Α. Πλειόκαινο - Πλειστόκαινο). Στο τέλος του Πλειοκαίνου και στην αρχή του Πλειστοκαίνου σχηματίστηκε υποθαλάσσια πυροκλαστική ακολουθία σε συνδυασμό με ρυολιθικούς δόμους, τόσο στο ανατολικό όσο και στο βόρειο μέρος της Μήλου. Ο ηφαιστειακός κύκλος πιθανόν ολοκληρώθηκε με τη δημιουργία ενός μεγάλου συμπλέγματος από δόμους και ροές όξινης λάβας στο κεντρικό μέρος του νησιού. Τα πυροκλαστικά προϊόντα εμφανίζονται κυρίως μεταξύ των περιοχών Πούντες και Πολλώνια, με μικρές εμφανίσεις να παρατηρούνται διασκορπισμένες στην περιοχή μεταξύ Αδάμαντα και Ζεφυρίων.

- Όξινο σύμπλεγμα της Φυριπλάκας και του Τράχηλα (Άνω Πλειστόκαινο). Η τελευταία ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι ρυολιθική και δημιούργησε δύο μεγάλους κρατήρες, της Φυρίπλακας στο νότιο μέρος του νησιού και του Τράχηλα στο βόρειο τμήμα της Μήλου.

Στο ηφαιστειακό κέντρο του Τράχηλα τα ρεύματα λάβας, εκτός από όξινα, είναι πλούσια σε νερό και η γρήγορη αποβολή αερίων και η ψύξη δημιούργησε θρυμματισμό, σχεδόν κισσηρώδη και περλιτική δομή. Οι αρχικές αποθέσεις των πυροκλαστικών υλικών έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό του κύριου κώνου, με έναν σχετικά πλατύ βασικό δακτύλιο. Στη συνέχεια, παρατηρούμε διαβάθμιση των προϊόντων από τα αρχικά ογκώδη αποθέματα σε τεμάχια (blocks) σε ροές λάβας.

Το ηφαιστειακό κέντρο της Φυρίπλακας συνίσταται από έναν παλαιότερο δακτύλιο τόφφων, υπόλοιπα του οποίου εμφανίζονται ανατολικά του Προβατά. Ο δακτύλιος αυτός καλύπτεται από ένα πυροκλαστικό κώνο αποτελούμενο από τεμαχισμένη λάβα (lava blocks) και λιθάρια (lapilli). Λήξη της δραστηριότητας αυτής της παλαιότερης ηφαιστειακής φάσης επήλθε πιθανόν με έκχυση της λάβας. Στη συνέχεια έλαβε χώρα μια εκτεταμένη φάση φρεατικών εκρήξεων, οι οποίες έφεραν στη επιφάνεια τεμάχη από τη μεταμορφωμένη βάση με τα τελευταία να αποτίθενται ως πράσινο λαχάρ (green lahar). Τα φρεατικά αποθέματα καλυπτόμενα από ένα παλαιοέδαφος αποδεικνύουν το τέλος της παραπάνω εκρηκτικής δραστηριότητας (Καραλής, 2009).

- Προϊόντα φρεατικής δραστηριότητας (Πλειστόκαινο - σήμερα)

Στο ανατολικό τμήμα της Μήλου, βρίσκονται διασκορπισμένα σχηματοποιημένοι από φρεατικές εκρήξεις κρατήρες, με διάμετρο σπάνια μεγαλύτερη του 1km. Το ονομαζόμενο «πράσινο λαχάρ» περιλαμβάνεται στα προϊόντα της φρεατικής δραστηριότητας, το οποίο προκύπτει ως αποτέλεσμα φρεατικών καταπτώσεων, ενώ το πάχος του τείνει να αυξάνει κοντά σε κρατήρες εκρήξεων (Καραλής, 2009). Στο νότιο τμήμα του νησιού ωστόσο, μερικοί σχηματισμοί φρεατικής προέλευσης καλύπτονται από νεότερα πυροκλαστικά προϊόντα του ηφαιστειακού συστήματος της Φυριπλάκας (Κυριακόπουλος, 2005).

2.2.7 Κλιματολογία

Τα στοιχεία αυτά μελετήθηκαν διότι σύμφωνες με διάφορες θεωρίες τα ομόκεντρα ή τοξοειδή σπασίματα (perlitic cracks) που χαρακτηρίζουν τη δομή του περλίτη προέρχονται από την αργή και προοδευτική ενυδάτωση του από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, πόσω μάλλον στη Μήλο, όπου οι περλιτικές εμφανίσεις είναι παράκτιες ή σχεδόν παράκτιες. Η ενυδάτωση του αρχικού λεπτού στρώματος του αρχικού πετρώματος (οψιδιανός), προκαλεί θραύση από το μη ενυδατωμένο εσωτερικό στρώμα. Η επανάληψη αυτής της διαδικασίας οδηγεί στην γνωστή περλιτική υφή, η οποία δημιουργείται από έξω προς τα μέσα λόγω της πίεσης που ασκείται κατά την ενυδάτωση του γυαλιού και άρα την αύξηση του όγκου του (Jezec et al., 1978).

Ανεμολογικό Καθεστώς

Η Μήλος σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και κατά την περίοδο 1995 – 2001 φαίνεται σε ετήσια συχνότητα να έχει Βόρειους επικρατούντες ανέμους με συχνότητα 37%, ακολουθούν οι ΝΔ με συχνότητα 13% και το ποσοστό νηνεμίας να είναι 7%. Κατά τους θερινούς μήνες αυξάνεται η επικράτηση των Β ανέμων με συχνότητα 44% και ακολουθούν οι ΒΔ με συχνότητα 16% και το ποσοστό της νηνεμίας να είναι 8%. Η μέγιστη ένταση των ανέμων είναι 10 Beaufort και ανήκει σε Β (0,036%), ΒΑ (0,018%), ΝΔ (0,001%), Δ (0,003%) και ΒΔ (0,004%) ανέμους και εμφανίζεται κυρίως κατά τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Απρίλιο και λιγότερο τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο (Ανδρής, 2008).

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία εμφανίζει μέγιστη τιμή κατά τον μήνα Ιούλιο με μέγιστη θερμοκρασία τους 25,7°C. Τις μικρότερες θερμοκρασίες έχουμε κατά το μήνα Ιανουάριο με μέγιστη τιμή του 10,4°C (Ανδρής, 2008).

Βροχόπτωση

Σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό της Μήλου κατά την περίοδο 1980 – 2001, οι μέγιστες τιμές βροχόπτωσης σημειώνονται κατά τους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο, με συνολικό ύψος βροχής 90mm και 70,3mm αντίστοιχα, ενώ ελάχιστες τιμές κατά τους θερινούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο με συνολικό ύψος βροχής 0mm και 0,3mm. Το συνολικό ύψος βροχής στη Μήλο είναι από τα μικρότερα στην Ελλάδα (Ανδρής, 2008).

Σχετική υγρασία

Για την περίοδο 1980 – 2001 η σχετική υγρασία φαίνεται να σημειώνει μέγιστες τιμές κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Νοέμβριο με σχετική υγρασία 74,7% και 73,7% αντίστοιχα, ενώ ελάχιστες τιμές σημειώνονται κατά τους θερινούς μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, με συνολικό ύψος βροχής 53,6% και 55,1% (Ανδρής, 2008).

2.2.8 Ο Περλίτης της Μήλου

Ο περλίτης της Μήλου συνδέεται με ρυολιθικά πετρώματα και παράχθηκε κατά το τελευταίο ηφαιστειακό επεισόδιο στο νησί. Στη Μήλο ο περλίτης εμφανίζεται στις ευρύτερες περιοχές Προβατά – Τσιγκράδο – Φυριπλάκας και Τράχηλα και ο σχηματισμός του εντοπίζεται σε στρώματα και στο σχηματισμό του πράσινου λαχάρ (Koukouzas et al., 1998).

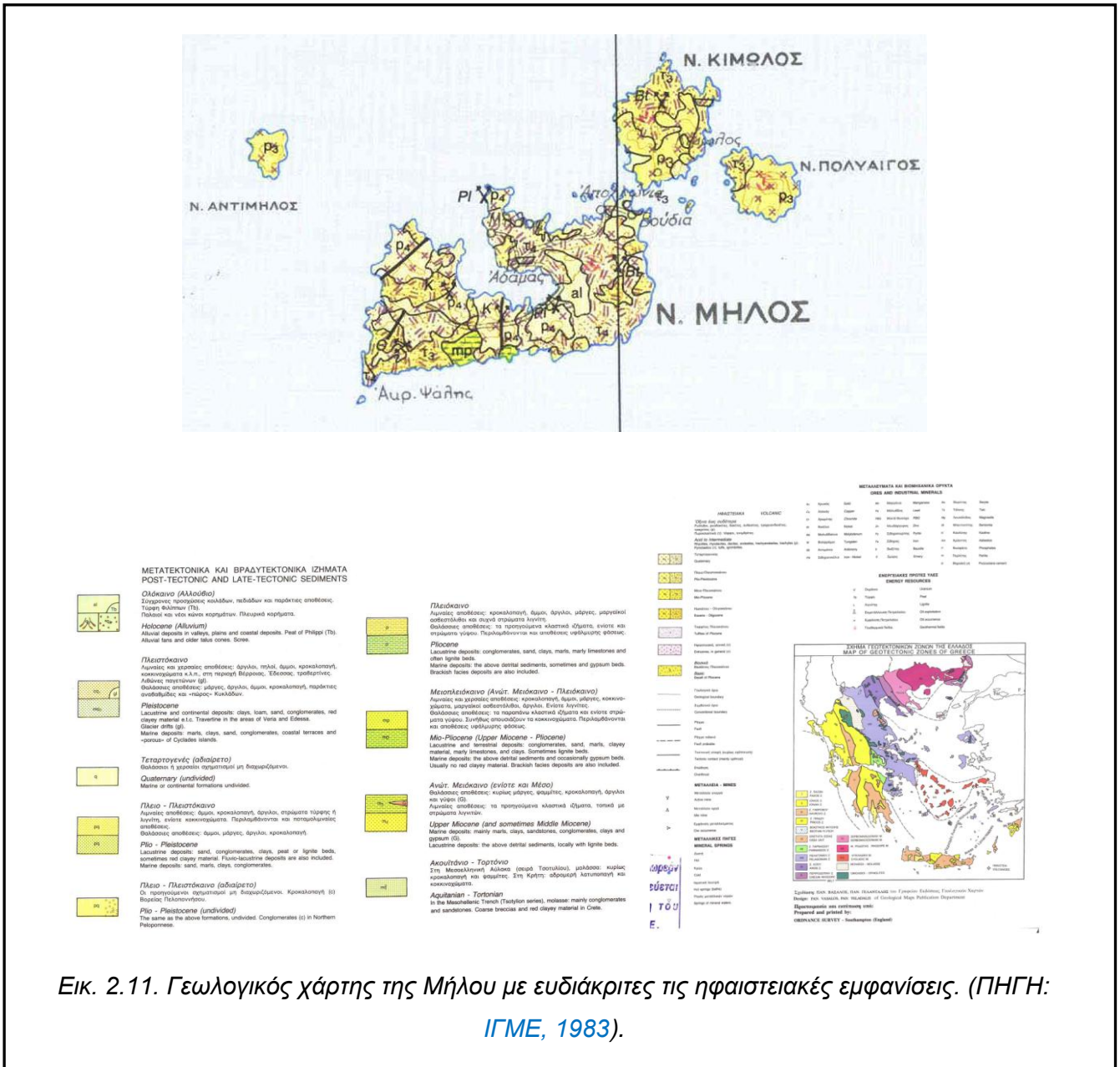
Στη Μήλο, σύμφωνα με τους Koukouzas et al., 1998 βρέθηκαν οι εξής περλιτικές δομές:

Συμπανής ή κοκκώδης περλίτης, το διακριτικό χαρακτηριστικό του οποίου είναι η πολύ πυκνή δομή του, η οποία υποδεικνύεται και από την απουσία κυστιδίων. Επίσης, σπάνια εμφανίζονται ρωγμές (perlitic cracks).

Κλασσικός περλίτης, ο οποίος εμφανίζει μια τυπική περλιτική υφή, δηλαδή έχει μια καλά ανεπτυγμένη δομή φλοιού «κρεμμυδιού» (onion - skin). Επίσης, παρατηρούνται κάποιες φουσαλίδες. Εάν δεν υπάρχει καλή ανάπτυξη των περλιτικών δομών, τότε παράγεται

υελώδης υφή, κατά την οποία υπάρχει μια ενδιάμεση ανάπτυξη των περλιτικών ρωγμών, κυμαίνοντας ανάμεσα στην συμπαγή και την κλασσική υφή.

Κισσηρώδης περλίτης, ο οποίος χαρακτηρίζεται από το μεγάλο ποσοστό φυσαλίδων, το οποίο υπάρχει στην βασική μάζα και απουσία οποιασδήποτε περλιτικής ρωγμής. Κάποιες φορές είναι δυνατόν δύο ή τρεις δομές να παρατηρηθούν σε μια λεπτή τομή, υποδεικνύοντας ότι η εκρηκτική διαδικασία έγινε γρήγορα (Koukouzas et al., 1998).



Εικ. 2.11. Γεωλογικός χάρτης της Μήλου με ευδιάκριτες τις ηφαιστειακές εμφανίσεις. (ΠΗΓΗ: ΙΓΜΕ, 1983).

Κατά τον Koukouza, 1994 στην περιοχή του Προβατά αναγνωρίστηκαν πέντε κατηγορίες περλίτη και μία ρυόλιθου. Οι κατηγορίες περλίτη είναι ο συμπαγής περλίτης, ο κλασσικός περλίτης, το περλιτικό λαχάρ, ο κισσηρώδης περλίτης και οι περλιτικοί

δόμοι. Αντίστοιχες δομές περλιτών παρατηρήθηκαν και στην περιοχή του Τράχηλα, όπου τα μέλη του ηφαιστειακό σύμπλεγμα παρουσιάζουν περισσότερες επιφανειακές εμφανίσεις.



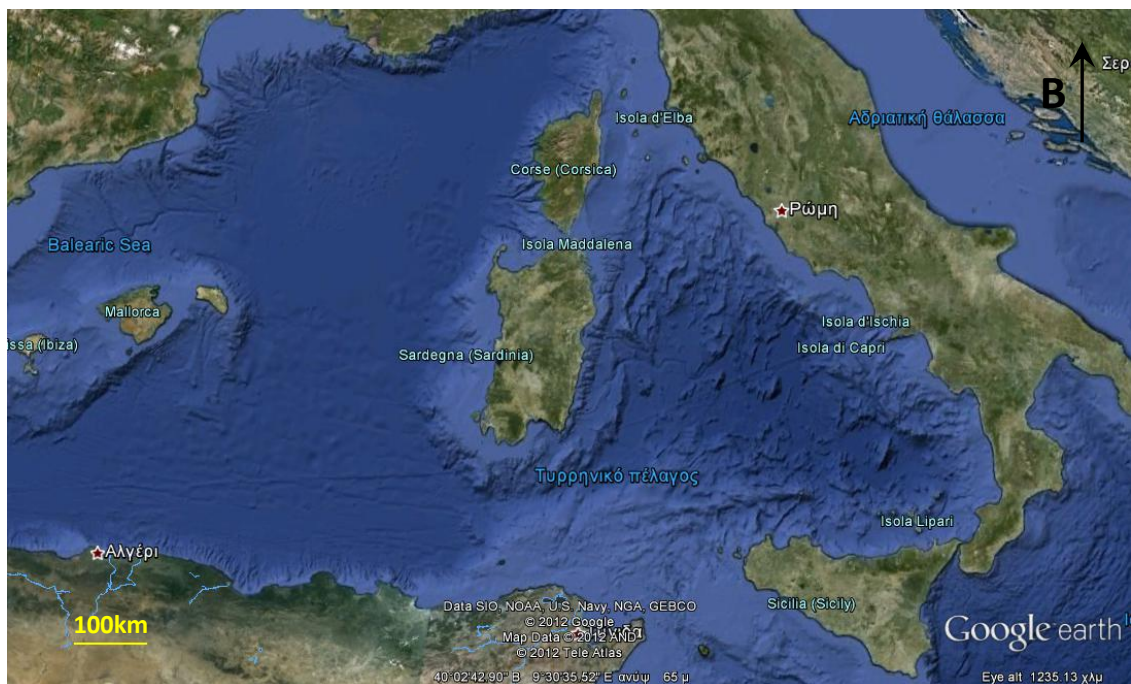
Εικ. 2.12. Φωτογραφίες από τις περιοχές δειγματοληψίας. α, β) περιοχή ορυχείου Τσιγκράδο και γ) περιοχή Τράχηλα, όπου στο βάθος φαίνεται το λατομείο περλίτη (ΠΗΓΗ: S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.)

2.3 ΝΗΣΟΣ ΣΑΡΔΗΝΙΑ, ΙΤΑΛΙΑ

2.3.1 Γεωγραφία – Γεωμορφολογία - Κλιματολογία

Η Σαρδηνία είναι το δεύτερο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου, μετά τη Σικελία, με έκταση 23,821 km². Βρίσκεται νοτιοδυτικά της Ιταλίας, κάτω από την Κορσική, που αντίστοιχα ανήκει στη Γαλλία. Οι συντεταγμένες της δίνονται από 38° 51' έως 41° 15' γεωγραφικό πλάτος και 8° 8' έως 9° 50' γεωγραφικό μήκος. Δυτικά της Νήσου Σαρδηνίας βρίσκεται η Θάλασσα της Σαρδηνίας και στα ανατολικά της Σαρδηνίας το Τυρρηνικό Πέλαγος, όπου και οι δύο θαλάσσιοι χώροι ανήκουν στη Μεσόγειο Θάλασσα (Hogan, 2011).

Οι ακτές της Σαρδηνίας (Εικ. 2.13) έχουν μήκος 1.849km, έχουν γενικά μεγάλο υψόμετρο και είναι βραχώδεις. Τα ποτάμια και τα ρέματα είναι λίγα σε αριθμό, ενώ υπάρχει μόνο μια λίμνη γλυκού νερού, η Lago di Baratz. Τα πέντε κυριότερα είναι Coghinas, Tirso, Flumendosa, Mannu, και Cedrino (Setzer, 2004).



Εικ. 2.13 . Δορυφορική εικόνα της Ν. Σαρδηνίας, το δεύτερο μεγαλύτερο νησί στη Μεσόγειο Θάλασσα. (ΠΗΓΗ: Google Earth).

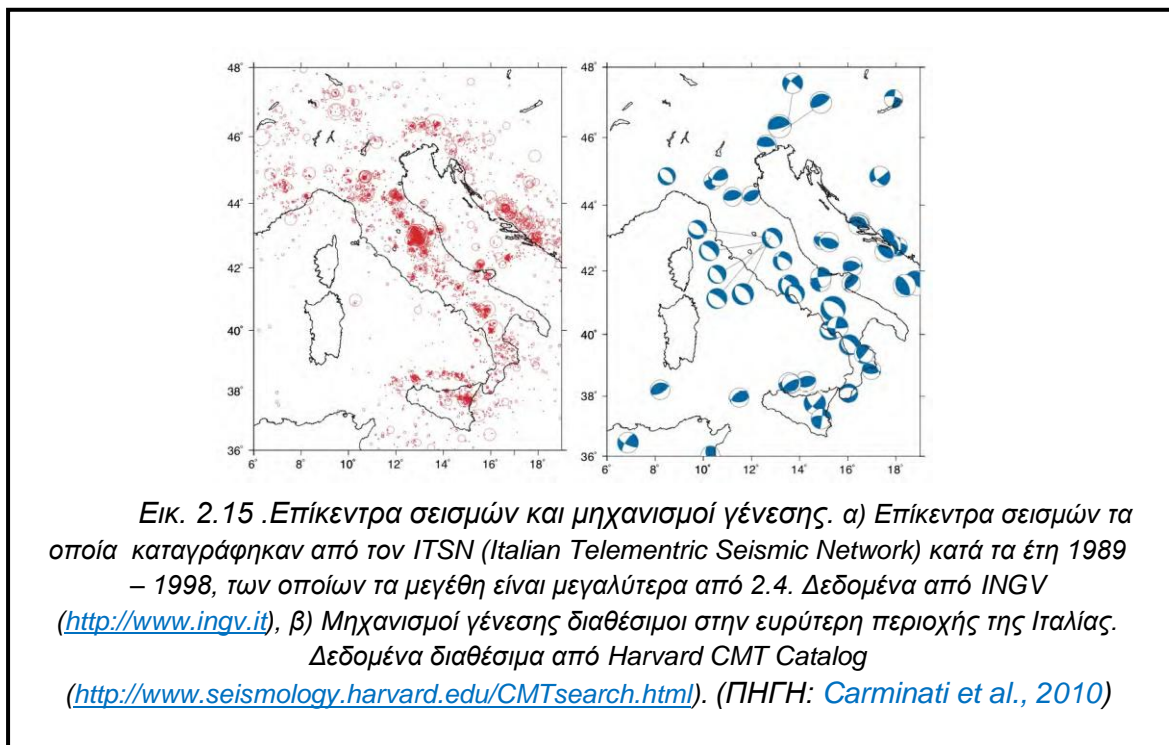
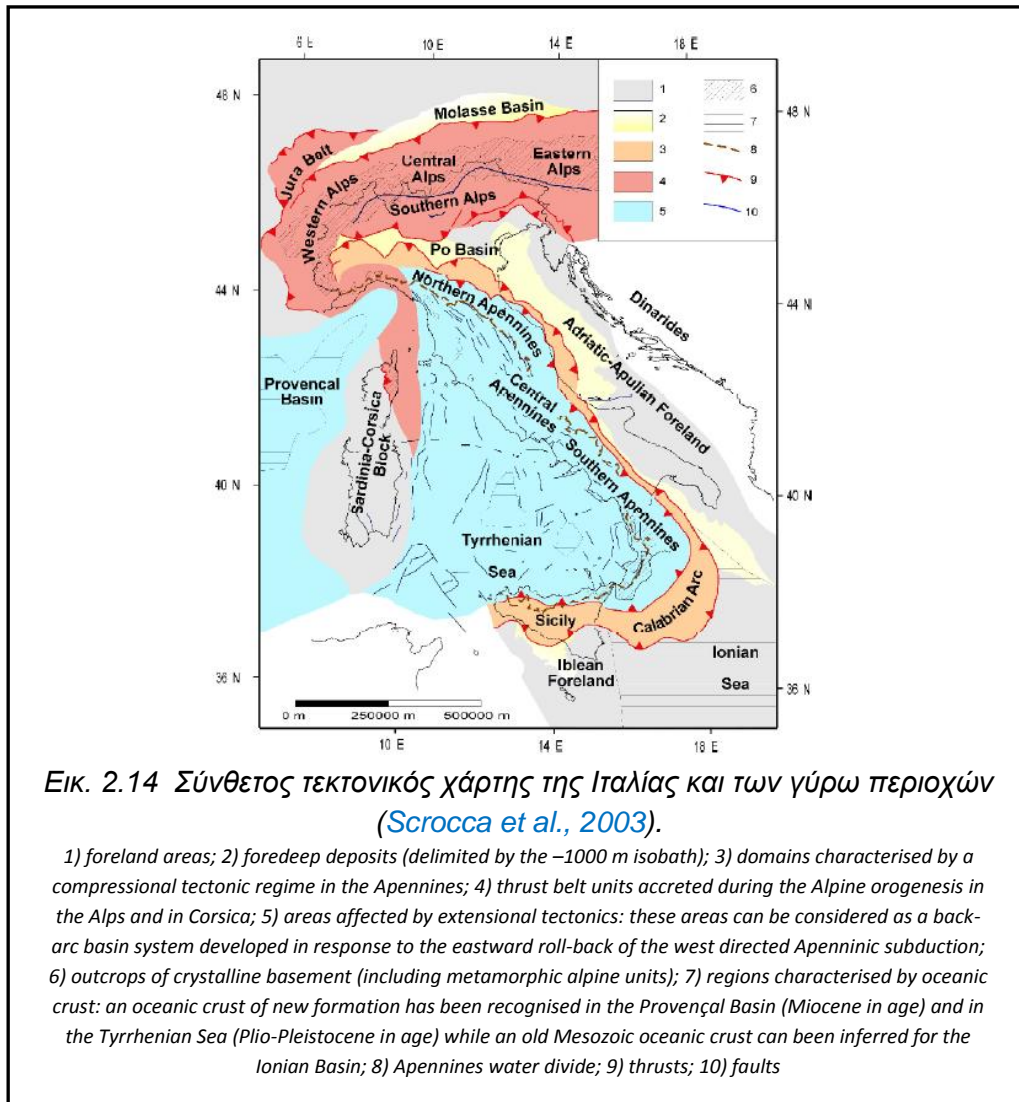
Το νησί της Σαρδηνίας σε αντίθεση με την ηπειρωτική Ιταλία και τη Σικελία δεν αποτελεί μια σεισμογενή περιοχή. Λόγω της μεγάλης διάβρωσης τα υψίπεδα του νησιού, τα οποία αποτελούνται από γρανίτη, σχιστόλιθο, τραχείτη, βασάλτη (ο οποίος ονομάζεται “jaras” ή “golei”), ψαμμίτη και δολομιτικό ασβεστόλιθο (ο οποίος ονομάζεται “tonneri” ή “heels”), έχουν υψόμετρο μεταξύ 300m και 1.000m. Η ψηλότερη κορυφή είναι το όρος Punta la Marmora (1.834m), η οποία αποτελεί μέρος του ορεινού όγκου Gennargentu στο κέντρο του νησιού (Raimondi et al, 1995).

Το νησί έχει ένα τυπικό, μεσογειακό κλίμα. Οι θερινοί μήνες στη Σαρδηνία είναι ζεστοί και ξηροί, ενώ οι χειμώνες είναι δροσεροί. Κατά τη διάρκεια του έτους υπάρχουν περίπου 135 ημέρες ηλιοφάνειας. Η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 11°C – 17°C (Raimondi et al, 1995).

2.3.2 Γεωλογία – Τεκτονική

Η Καινοζωική γεωλογική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής της Ιταλίας χαρακτηρίζεται από τον σχηματισμό των δύο μεγάλων οροσειρών, των Άλπεων στα βόρεια και των Απεννίνων σε όλη την Ιταλική Χερσόνησο (Εικ. 2.14), όπως και από το άνοιγμα δύο ωκεάνιων λεκανών (Λιγουρίας – Προβηγκίας και Τυρρηνικό Πέλαγος) (Carminati et al., 2010). Επίσης, αναπτύχθηκε μια έντονη, ογκώδης και χημικά πολύπλοκη μαγματική δραστηριότητα, η οποία συνδέεται με τον σχηματισμών των προηγούμενων δύο ορογενετικών ζωνών (Carminati et al., 2010). Οι Αλπική ζώνη και οι Απεννίνες είναι δύο ζώνες οι οποίες έχουν αναπτυχθεί από το κλείσιμο των Μεσοζωικών λεκανών της Τηθύος στη Μεσόγειο (Carminati et al., 2004).

Η Ιταλία είναι τεκτονικά και μαγματικά μια ενεργή περιοχή, όπως αποδεικνύεται από κατανομή των σεισμών (Εικ. 2.15) και την ηφαιστειακή δραστηριότητα (Εικ. 2.17). Ο μαγματισμός πιθανώς ελέγχεται από ασυνέχειες λιθοσφαιρικής κλίμακας, όπως σαφώς αποδεικνύεται από την γραμμική ευθυγράμμιση των Καινοζωικών πυριγενών πετρωμάτων των Άλπεων και από τις ενεργές γεωδυναμικές διεργασίες, όπως αυτές που παρατηρούνται στη Σαρδηνία, στη Σικελία, κατά μήκος της Ιταλικής Χερσονήσου και στο κανάλι της Σικελίας (Carminati et al., 2010).



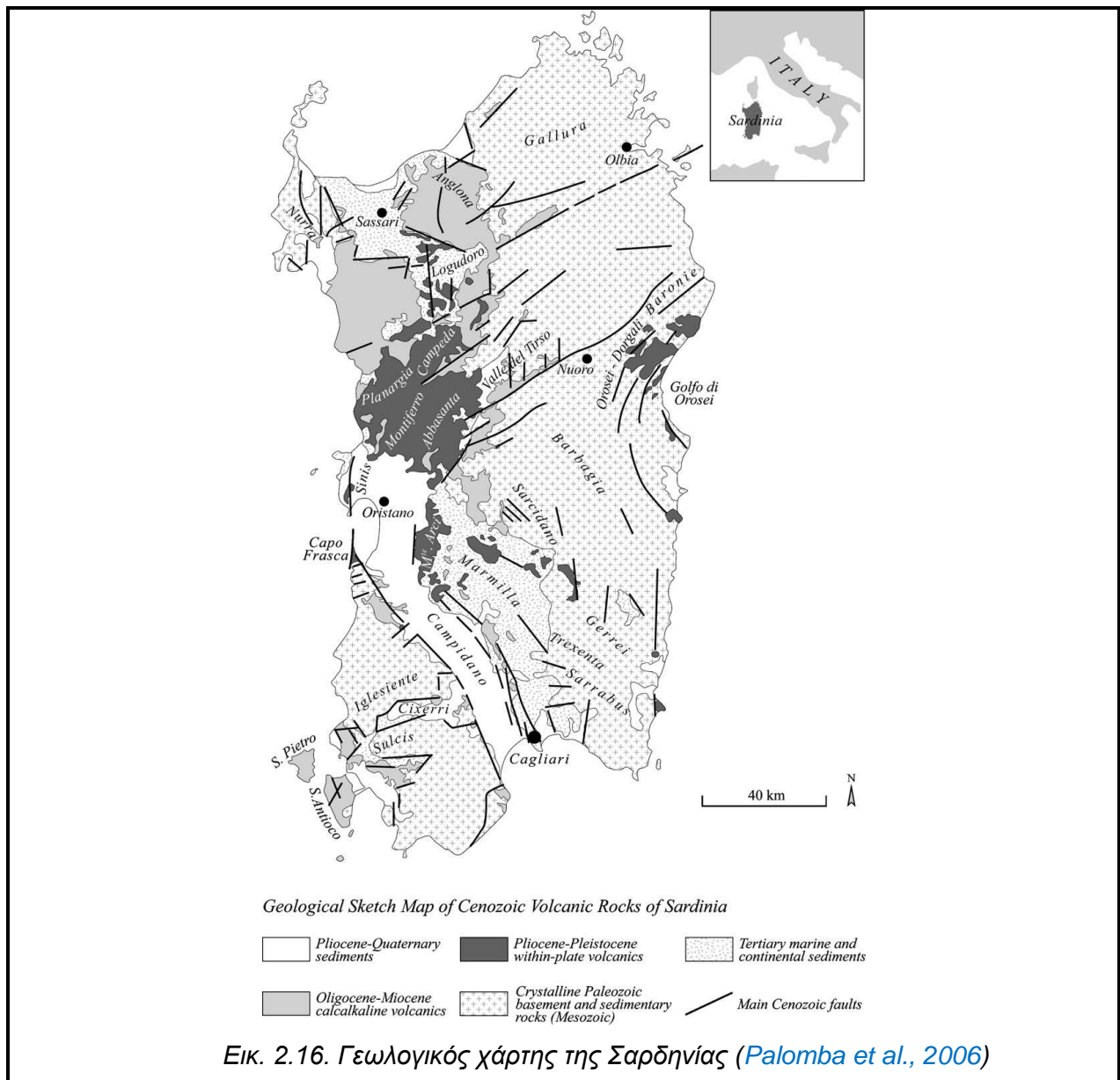
Στις βόρειες Απεννίνες – Σαρδηνία – Κορσική ορογενετικό τόξο αναγνωρίζονται τεκτονικές μονάδες από την Αφρικανική ηπειρωτική πλάκα, απ' το ευρωπαϊκό περιθώριο και υπολείμματα του ωκεάνιου φλοιού της Τηθύος (Carmignani et al., 2004). Σήμερα το ευρωπαϊκό περιθώριο εμφανίζεται στην Σαρδηνία και την Κορσική και αποτελείται από υπόβαθρο Βαρίσκιας ηλικίας, τοπικά καλυμμένο από ηπειρωτικές αποθέσεις ηλικίας Λιθανθρακοφόρο – Πέρμιο και από Τριαδικά ανθρακικά ιζήματα (Carmignani et al., 2004).

Κατά το Αν. Ολιγόκαινο – Κατ. Μειόκαινο η σύγκρουση της μικροπλάκας της Briançonnais με το ηπειρωτικό περιθώριο της Απουλίας οδήγησε, μεταξύ άλλων, σε ρήγματα πλάγιας ολίσθησης στην Σαρδηνία και στην ΝΔ Κορσική (Carmignani et al., 2004).

Το block της Σαρδηνίας – Κορσικής είναι μια μικροπλάκα, η οποία τοποθετείται μεταξύ βαθιάς θάλασσας και μεγάλων ωκεάνιων λεκανών (Δ. Μεσόγειος και Τυρρηνικό Πέλαγος). Έχει ηπειρωτικό φλοιό πάχους περίπου 30 – 35km και είναι σχεδόν ασεισμική (Palomba et al., 2006). Αντιπροσωπεύει ένα τμήμα του Αλπικού ορογενετικού τόξου, το οποίο μετακινήθηκε από την αρχική του θέση και απομονώθηκε κατά το, Ολιγοκαινικής – Μειοκαινικής ηλικίας, άνοιγμα της λεκάνης της Δυτικής Μεσογείου (Sartori, 2001). Κατά τους Dieni and Massari, 1965; Amaudric du Chaffaut, 1973; Alvarez and Coccoza, 1974; Egal, 1992; Carmignani et al., 1992; 1994; 1995; Oggiano et al., 1995; Pasci, 1997; Funedda et al., 2000; Carmignani et al., 2001, η ηλικία της τεκτονικής συμπίεσης του block Σαρδηνίας – Κορσικής προκύπτει πως είναι το Αν. Ολιγόκαινο (Μετά - Λουτήσιο) – Κατ. Μειόκαινο (Προ - Βουρδιγάλιο). Η σύγκρουση επιβεβαιώνεται και με την δυτικόστροφη υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού, όπως επιβεβαιώνεται από την εκτεταμένη και διασπαρμένη ασβεσταλκαλική ηφαιστειότητα ηλικίας Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου, στην κεντρική και νότια Σαρδηνία (Carmignani et al., 2004).

Η περιστροφή του block Σαρδηνίας – Κορσικής κατά 30° αντίθετα από τη φορά του ρολογιού, οδήγησε στο άνοιγμα της λεκάνης Αλγερίας – Προβηγκίας . Η περιστροφή ολοκληρώθηκε κατά το Μέσο – Βουρδιγάλιο (18-19Ma) ή πιθανώς το Λάγγιο (15Ma) (De Jong et al., 1969; Alvarez, 1972; Edel and Lortsher, 1977; Montigny and Edel, 1981; Rehault et al., 1984; Van der Voo, 1993; Vigliotti and Lanfenheim, 1995; Speranza, 1999; Deino et al., 2001; Speranza et al., 2002). Αυτή η περιστροφή οδήγησε το block Σαρδηνίας – Κορσικής σε ένα επεκτατικό καθεστώς. Ο τεκτονισμός

αυτός εξελίσσεται μέχρι το Τεταρτογενές με ανάπτυξη του στην κεντρική και νότια Σαρδηνία, με ρήγματα Β –Ν διεύθυνσης και κλίσης προς ανατολάς (Carmignani et al., 2004).



2.3.3 Στρωματογραφία – Ηφαιστειότητα

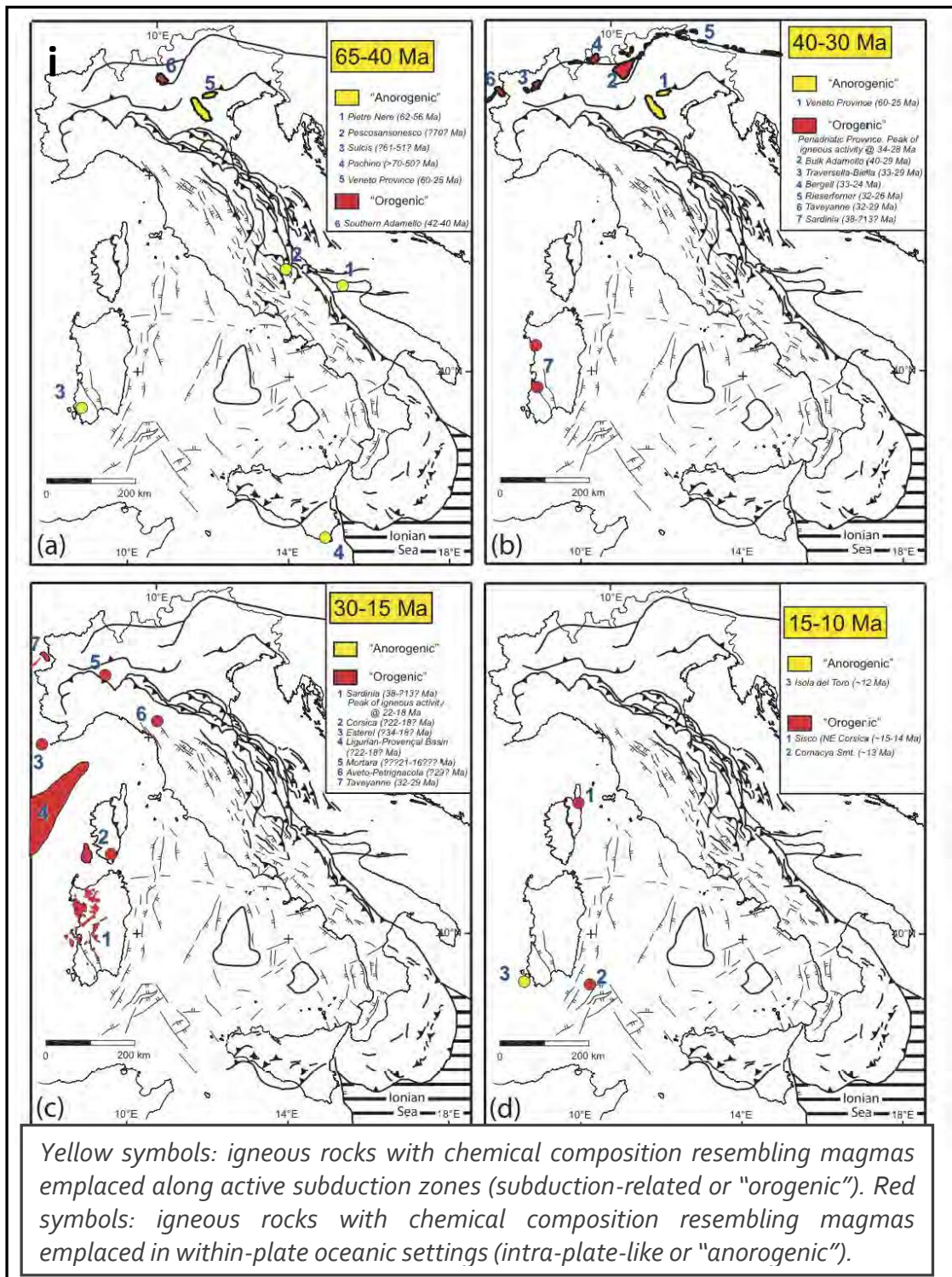
Εκείνη την περίοδο πρώτα αποτέθηκαν ασβεστόλιθοι, το περιβάλλον των οποίων μετατράπηκε σε lagoon και μετά εβαποριτικοί ασβεστόλιθοι (Pietra Cantone, Tramezzario, Pietra Forte, Calauri Superiori). Αυτή η εξέλιξη αντικατοπτρίζει την κρίση αλμυρότητας της Μεσογείου Θάλασσας κατά το Μεσσήνιο. Μετά την απόσυρση της θάλασσας κατά το Μεσσήνιο, στο Κατ. Πλειόκαινο εμφανίζονται αποθέσεις κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και μαργών – αργίλων (Carmignani et al, 2004). Μεγάλου

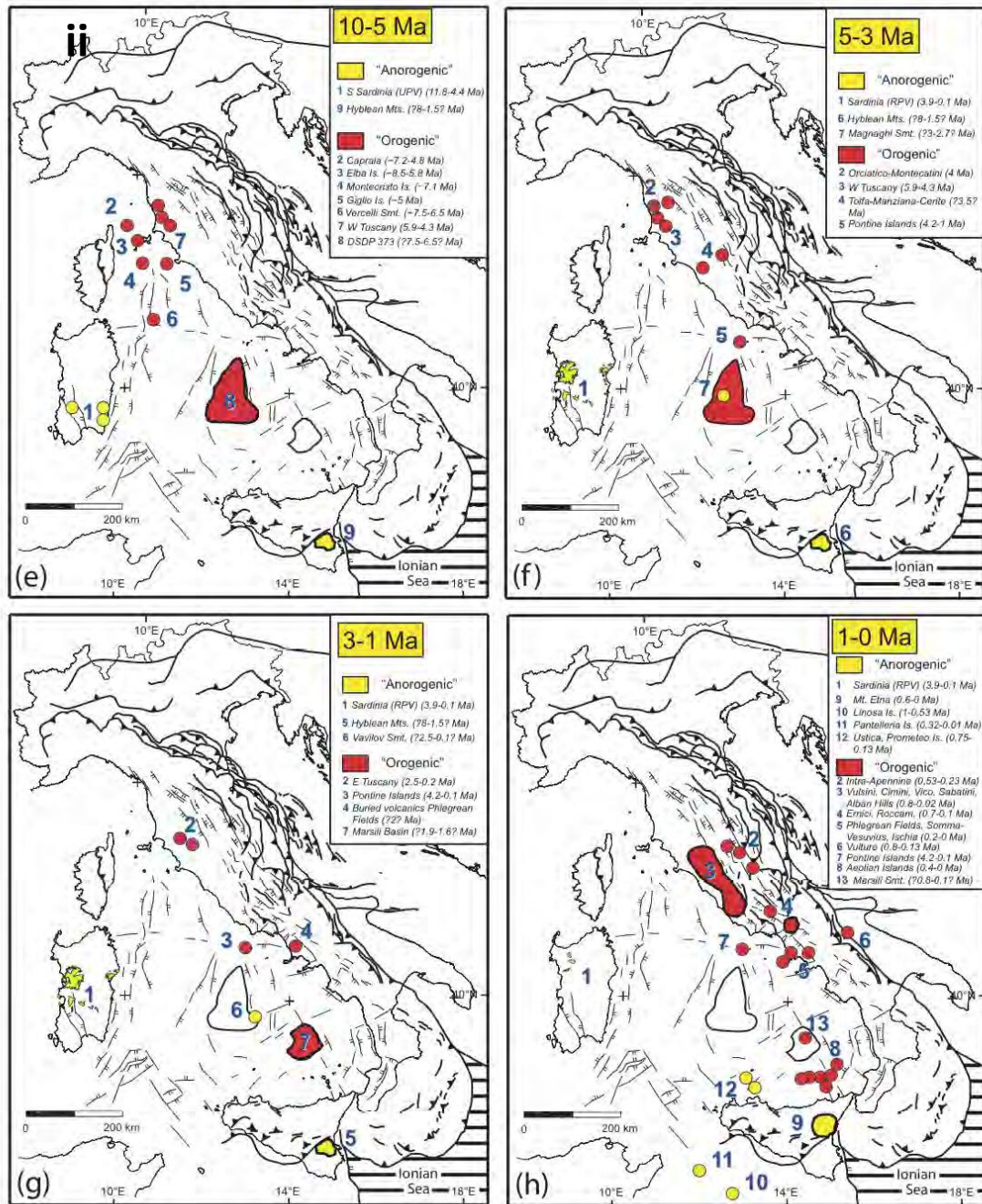
πάχους ηπειρωτικές αποθέσεις (Samassi) ηλικίας Πλειοκαίνου – Τεταρτογενούς ολοκληρώνουν την ακολουθία. Επειδή οι αποθέσεις της ακολουθίας του Αν. Τορτονίου – Τεταρτογενούς είναι ταυτόχρονες με την επεκτατική τεκτονική, γωνιώδεις ασυμφωνίες χαρακτηρίζουν την ακολουθία, μαζί με εξαπλωμένη ηφαιστειακή δραστηριότητα αλκαλικής, μεταβατικής και υπο-αλκαλικής προέλευσης (Caro Ferrato, Monte Arci, Montiferro, Logudoro, Campeda, Abbasanta, Marmilla και Orosei) (Carmignani et al., 2004).

Τα ηφαιστεια αυτής της μαγματικής δραστηριότητας δείχνουν ότι η Σαρδηνία έχει μεταβεί από ένα ηλικίας Ολιγόκαινο – Κατ. Μειόκαινο, με ένα μαγματικό τόξο, καθεστώς συμπίεσης σε ένα ενδοηπειρωτικό, παθητικό περιθώριο (Εικ. 2.14 & 2.17i,ii). Η Σαρδηνία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μεταναστευτικό ηφαιστειακό τόξο, το οποίο επηρεάζεται από την διάνοιξη και το σχηματισμό του παθητικού ηπειρωτικού περιθωρίου προς τη Δυτική Μεσογειακή λεκάνη (Rehault et al., 1986). Στις περιοχές υπό διάνοιξη, άφθονα ηφαιστειακά προϊόντα, περιλαμβανομένων ανδεσιτών, ασβεστοαλκαλικών ιγνιμβριτών και λάβα εκχύνονταν από 30 έως 13Ma (Ολιγόκαινο έως Σεραβάλλιο). Αυτά τα προϊόντα προκύπτουν από το ηφαιστειακό τόξο της αντίστοιχης υποβύθισης της ωκεάνιας λιθόσφαιρας, κατά μήκος της ζώνης Benioff, B-BΔ διεύθυνσης (Savelli, 1988).

Το νότιο τμήμα της Ολιγοκαινικής – Μειοκαινικής διάνοιξης επαναδραστηριοποιήθηκε κατά το μέσο Πλειόκαινο. Μια νέα τάφρος (Campdano), ΒΔ – ΝΑ κλίσης σχηματίστηκε. Αυτής της παραμορφωτικής φάσης προηγήθηκε και ακολούθησε μια μαγματική δραστηριότητα, η οποία παρήγαγε μεγάλες ποσότητες αλκαλικών βασαλτών και ηφαιστιτών (Sartori, 2001). Αυτά τα προϊόντα εμφανίζονται σε όλο το νησί, είναι κυμαινόμενης ηλικίας από 5Ma έως 1 Ma και υποδεικνύει πως ο ρόλος της Σαρδηνίας μετατράπηκε από ηφαιστειακό τόξο σε ένα παθητικό περιθώριο (Savelli, 1988).

Εν κατακλείδι, στη Σαρδηνία η ηφαιστειακή δραστηριότητα άρχισε πριν από 32Ma, με τοπικές εμφανίσεις βασαλτικών – ανδεσιτικών λάβων, κατά μήκος της δυτικής τάφρου του νησιού (Beccaluva, 2004). Μεγάλες εκρήξεις ρυοδακιτικών ιγνιμβριτών λαμβάνουν χώρα πριν από 23Ma και εναλλάσσονται με βασαλτικές – ανδεσιτικές λάβες μέχρι πριν από 13Ma, μια ηλικία, η οποία σηματοδοτεί το τέλος της ορογενετικής ηφαιστειότητας στη Σαρδηνία (Beccaluva et al., 1985).

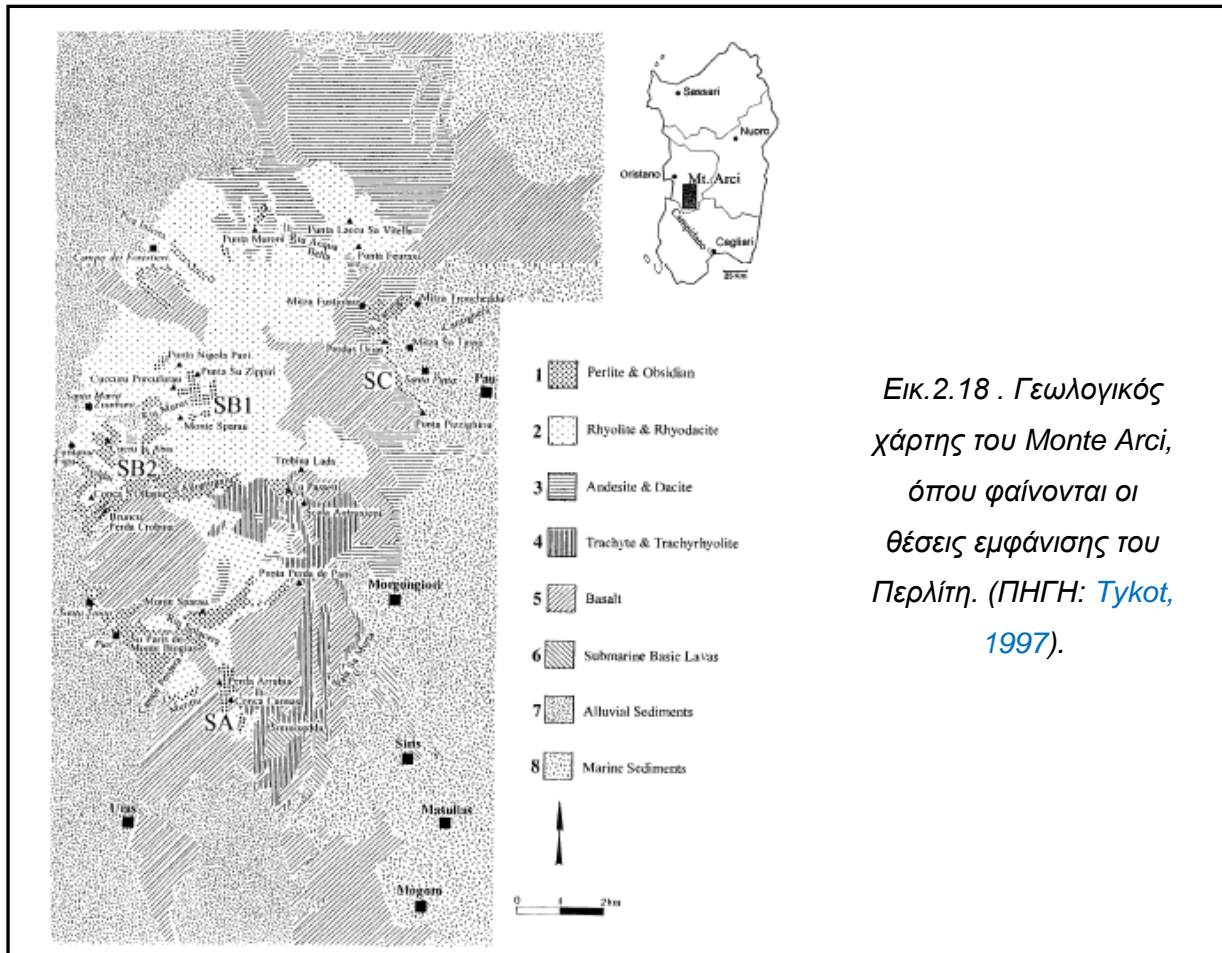




Εικ. 2.17. I, ii) Ηφαιστειακή δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της Ιταλίας, σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (65Ma - Σήμερα) (Carminati et al., 2010).

Στην Σαρδηνία ενδοπλακώδης, ανορογενετική ηφαιστειακή δραστηριότητα εμφανίζεται κατά το Πλειόκαινο – Τεταρτογενές (5 έως <0,2Ma; Beccaluva et al., 1985), η οποία προκαλείται από τεκτονικές εφελκυσμού, όπου συμπεριλαμβάνεται και η περιοχή του Τυρρηνικού Πελάγους, με παραγωγή προϊόντων αλκαλικών έως υπαλκαλικών λάβων και άλλων διαφοροποιημένων προϊόντων (Beccaluva et al., 1977;

1983; 1989; Macciotta et al. 1978). Αλκαλικές, μεταβατικές και υποαλκαλικές διαφοροποιημένες σειρές παρατηρούνται σε τρία διαφορετικά ηφαιστειακά συμπλέγματα: από αλκαλι-/βασαλτών/ τραχειβασαλτών και βασανιτών σε Qz – τραχειτών στο Capo Ferrato και στο Mt Arci και από υποαλκαλικούς βασάλτες σε ρυόλιθους στο Mt Arci (Beccaluva et al., 1989; 2004). Ο σχηματισμός του περλίτη φιλοξενείται κυρίως στο Monte Arci (ΝΔ Σαρδηνία; Εικ. 2.18).



Εικ.2.18 . Γεωλογικός χάρτης του Monte Arci, όπου φαίνονται οι θέσεις εμφάνισης του Περλίτη. (ΠΗΓΗ: Tykot, 1997).

2.3.4 Ο Περλίτης της Σαρδηνίας

Η γεωλογική έρευνα και ο τεχνικός χαρακτηρισμός ων βιομηχανικών ορυκτών έχουν επεκταθεί αρκετά από το 1950 στην Σαρδηνία. Τα σημαντικότερα βιομηχανικά ορυκτά φιλοξενούνται σε διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων, ηλικίας από το Παλαιοζωικό έως το Τεταρτογενές, αν και η πλειοψηφία των πιο σημαντικών βιομηχανικών ορυκτών της Σαρδηνίας προέρχεται από την Καινοζωική ηφαιστειότητα (Palomba et al., 2006). Παρ' όλο που παλαιότερες εξορύξεις περλίτη

πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες θέσεις, νεότερες έρευνες πεδίου διαπίστωσαν την ύπαρξη νέων εξορύξιμων αποθέσεων (Palomba et al., 2006). Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα του Mt Arci φιλοξενεί την μοναδική γνωστή έως τώρα απόθεση περλιτών στη Σαρδηνία (Assorgia et al., 1976; 1997; Cioni et al., 1982; 2001; Carcangiu et al., 1994; Marchi et al., 2002; Palomba et al., 2003). Οι περλίτες αντιπροσωπεύουν περίπου το 25% - 30% του συνόλου επί των ρυολιθικών λαβών του ηφαιστειακού συμπλέγματος του Mt Arci (Palomba et al., 2006).



Εικ. 2.19. Λατομείο περλίτη στο Monte Sparau, στη Σαρδηνία, όπου και πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία (ΠΗΓΗ: S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.).

Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα του Mt Arci εμφανίζεται επιφανειακά ανατολικά της με B-N κλίσης και δυτικής υποβύθισης του ρήγματος Campidano. Εκτός από τις εκχύσεις λάβας, περιλαμβάνει και μικρές εμφανίσεις πυροκλασπιτών. Το σύμπλεγμα αυτό (περίπου 150km² επιφανειακή εμφάνιση) αποτελείται από υποαλκαλική ακολουθία, η οποία περιλαμβάνει από υποαλκαλικό βασάλτη έως ρυόλιθο (Palomba et al., 2006). Οι ρυολιθικές λάβες του ηφαιστειακού συμπλέγματος του Mt Arci αντιπροσωπεύουν τα πιο σύγχρονα μέλη της πλήρους υποαλκαλικής σειράς (Cioni et al., 1982).

Ο σχηματισμός του περλίτη φιλοξενείται σε πλούσιους σε οψιδιανό ρυόλιθους και βρίσκεται κοντά σε διακλάσεις ψύξης του πετρώματος. Ο περλίτης αυτός μακροσκοπικά εμφανίζει τα χαρακτηριστικά μια χαρακτηριστικής περλιτικής δομής. Οι ρυόλιθοι εμφανίζουν τυπική κατακόρυφη ζώνωση, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως το πιο σημαντικό κριτήριο για εκμετάλλευση. Από την βάση έως την κορυφή, πλούσια σε οψιδιανό με προοδευτική μείωση του περιεχόμενου οψιδιανού, πλούσια σε περλίτη και υελώδεις ρυόλιθοι μπορούν να αναγνωριστούν. Οι πλούσιες σε περλίτη εμφανίσεις δείχνουν τυπική ζώνωση από τον πυρήνα έως το εξωτερικό περιθώριο, το οποίο έχει ψυχθεί ([Palomba et al., 2006](#)).

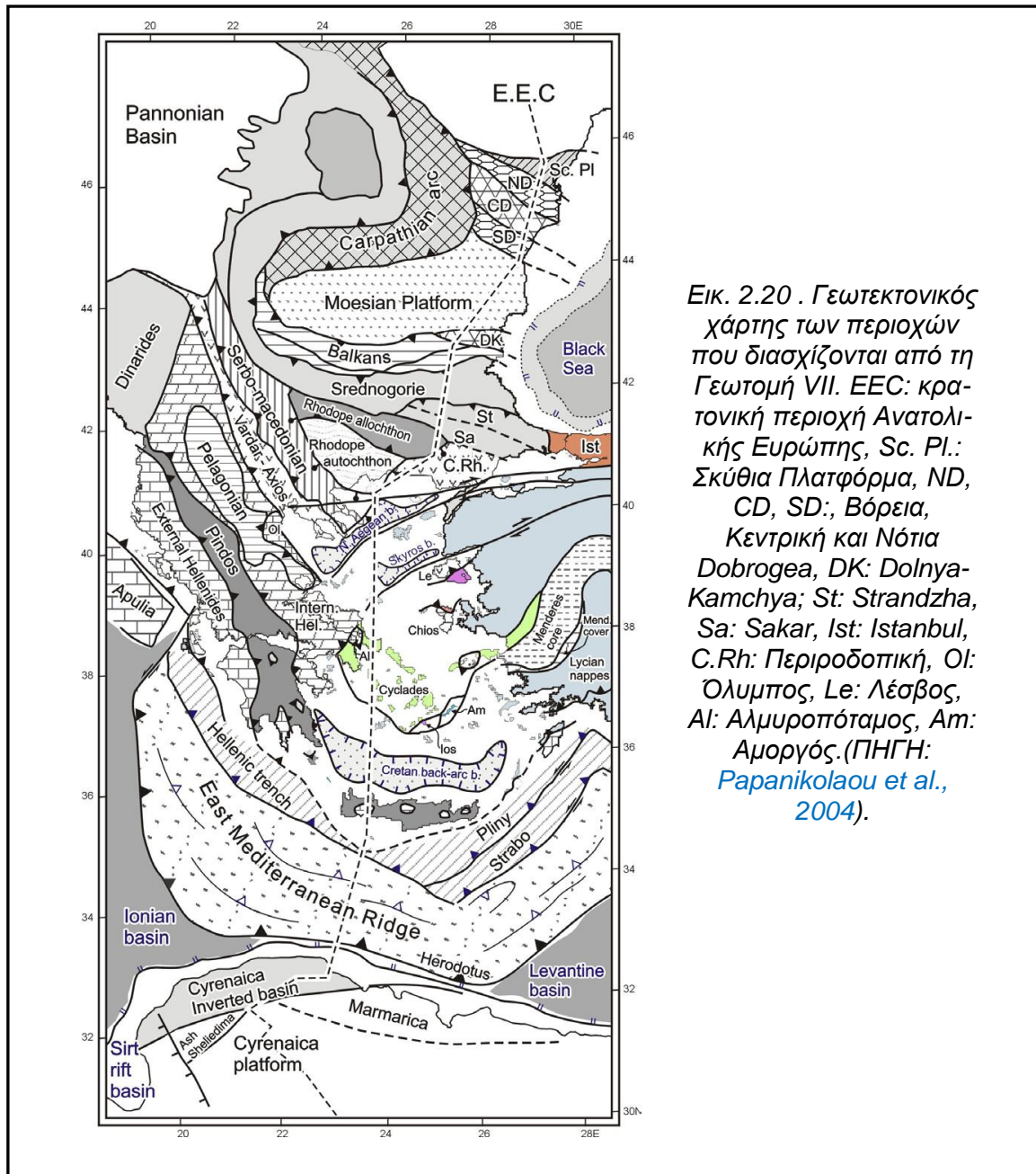
Γεωλογικά, γεωχημικά και ιστοτοπικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι οι κύριες διαδικασίες που συμμετέχουν στον σχηματισμό του περλίτη του Mt Argi αποδίδονται στην επίδραση των καιρικών συνθηκών. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των μη ενυδατωμένων ηφαιστειακών υέλων (οψιδιανός) με το μετεωρικό νερό, το οποίο θερμάνθηκε καθώς κατήλθε δια μέσου των υελωδών ροών λάβας, σχημάτισε τις ενυδατωμένες υέλους (περλίτες; [Palomba et al., 2006](#)).

2.4 ΠΕΡΙΟΧΗ KARDJALI, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ

Στην Βουλγαρία υπάρχουν μερικά περλιτικά κοιτάσματα, τα οποία έχουν υπάρξει αντικείμενο έρευνας τη δεκαετία του '70 και του '80. Όμως, εξαιτίας της υψηλής πυκνότητας και της υψηλής περιεκτικότητας του σχηματισμού σε Fe δεν έχουν εξορυχθεί (Yanev, 2003).

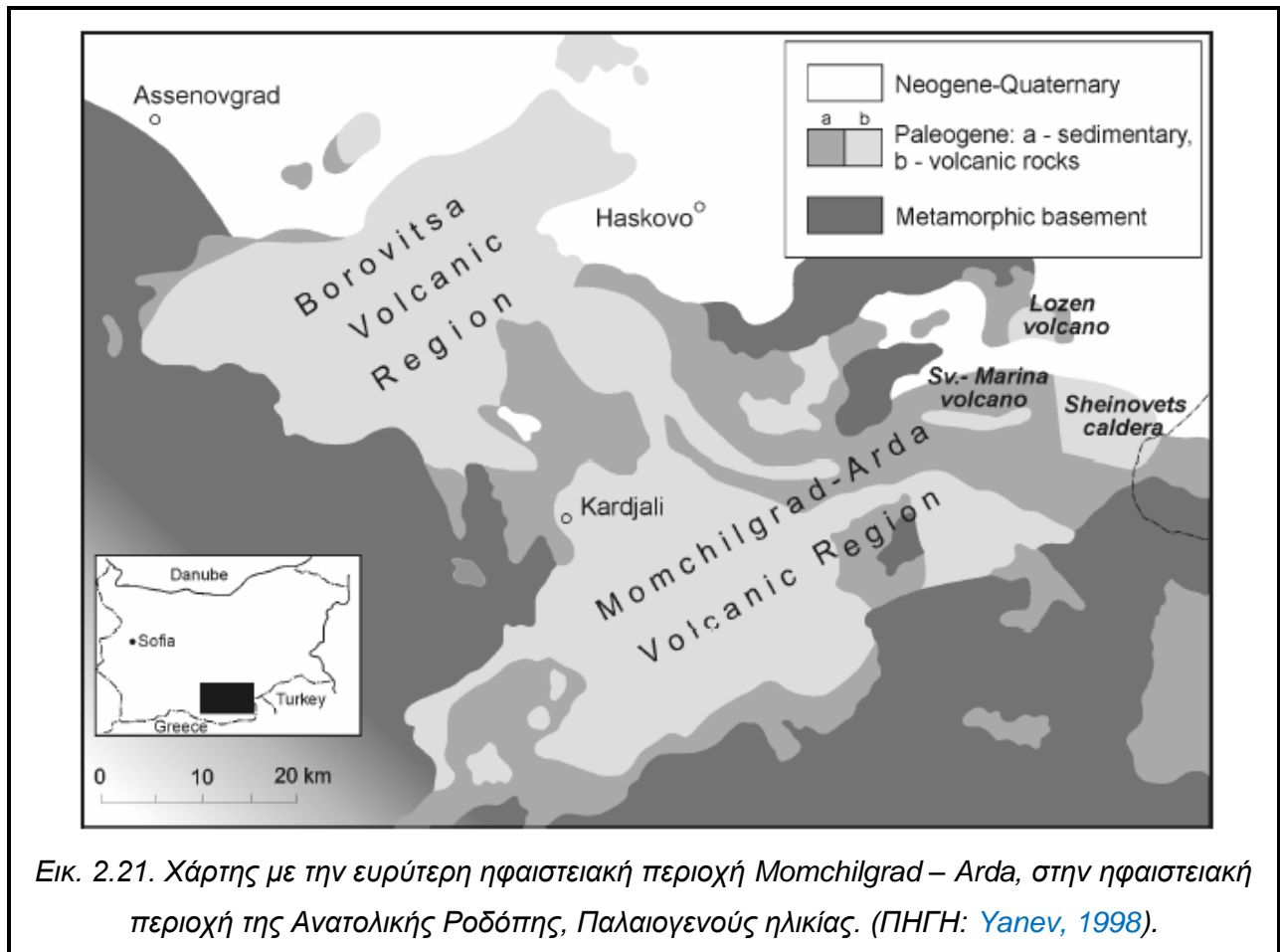
2.4.1 Γεωτεκτονική - Ηφαιστειότητα

Κατά την αλπική περίοδο η ζώνη των Βαλκανίδων διατάχτηκε σημαντικά στο Κρητιδικό – Ηώκαινο με την προς Β προώθηση και ενσωμάτωσης στο νότιο ευρωπαϊκό περιθώριο της μικροπλάκας/ terrane της Ροδόπης, όπου πρόκειται για ένα block γκοντβανικής προέλευσης (Σίδερης, 2004). Έτσι, ο χώρος των Βαλκανίδων, που μέχρι το Ανωτ. Ιουρασικό/ Κατ. Κρητιδικό ήταν ήρεμο παθητικό περιθώριο, μετέβη σε καθεστώσ συμπίεσης – σύγκρουσης με εκδηλώσεις ηφαιστειακού τόξου στη ζώνη *Srednogorie* και γρανιτικές διεισδύσεις στο βάθος. Τα ανωκρητιδικά ηφαιστειακά του τόξου της *Srednogorie* δείχνουν την προς βορρά υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού της Τηθύος στις Ελληνίδες την περίοδο αυτή (Papanikolaou et al., 2004). Κατά το Κρητιδικό – Ηώκαινο υπάρχει τεκτονική αναταραχή στις Βαλκανίδες, με παραμόρφωση στρωμάτων και δημιουργία δομών ελαφράς αλλοχθονίας της ζώνης *Srednogorie* προς Β (Moores et al., 1997). Μετά το Ηώκαινο, η Μάζα της Ροδόπης εντάσσεται στη λογική των Ελληνίδων (εσωτερική τεκτονομεταμορφική ζώνη/terrane). Κατόπιν, το ηφαιστειακό τόξο του Κρητιδικού της *Srednogorie* (Εικ. 2.20) μετακινήθηκε στη συνέχεια προς Νότο, με σημερινή έκφρασή στο ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου (Moores et al., 1997).



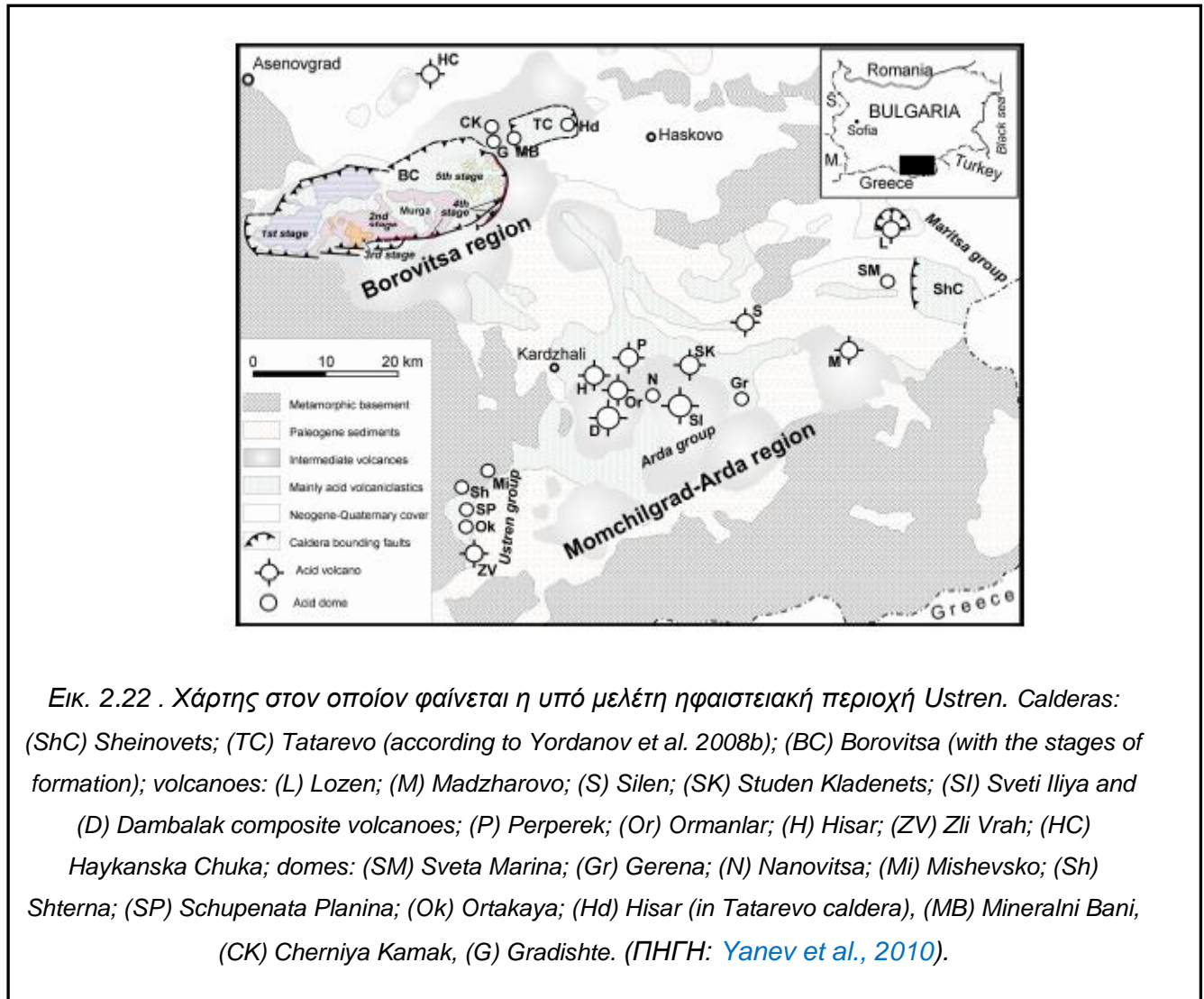
Εικ. 2.20 . Γεωτεκτονικός χάρτης των περιοχών που διασχίζονται από τη Γεωτομή VII. E.E.C: κρατοική περιοχή Ανατολικής Ευρώπης, Sc. Pl.: Σκύθια Πλατφόρμα, ND, CD, SD: Βόρεια, Κεντρική και Νότια Dobrogea, DK: Dolnya-Kamchya; St: Strandzha, Sa: Sakar, Ist: Istanbul, C.Rh: Περιροδοπική, Ol: Όλυμπος, Le: Λέσβος, Al: Αλμυροπόταμος, Am: Αμοργός. (ΠΗΓΗ: [Papanikolaou et al., 2004](#)).

Στην Ανατολική Ροδόπη διακρίνονται τρεις ηφαιστειακές περιοχές ([Yanev et al., 2010](#)). Στην ηφαιστειακή περιοχή Momchilgrad – Arda διακρίνονται τρεις ομάδες ηφαιστειότητας: Maritsa, Arda και Ustren, οι οποίες έχουν διαφορετική σύνθεση και είναι νεότεροι σχηματισμοί από τα ΒΑ προς τα ΒΔ ([Yanev et al., 1983](#)). Η ηφαιστειακή περιοχή Momchilgrad – Arda, η οποία είναι και η ευρύτερη περιοχή μελέτης, εντοπίζεται στην Ανατολική Ροδόπη, μεταξύ της κεντρικής Ροδόπης, της περιοχής Byla Reka και της περιοχής Kessebir ([Georgiev et al., 2004](#); Εικ. 2.21).

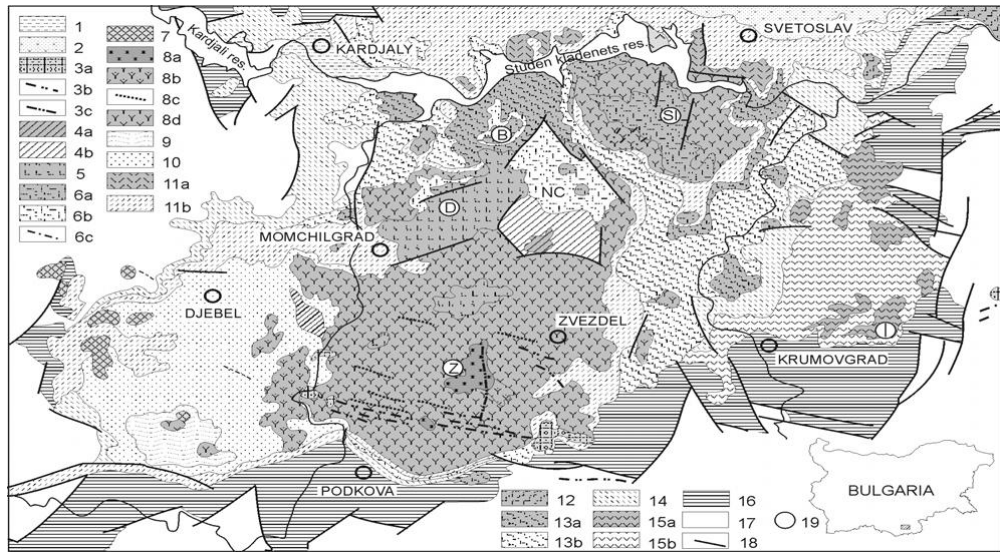


2.4.2 Ο Περλίτης της περιοχής Ustren, στο Kardjali Βουλγαρίας

Η ηφαιστειακή περιοχή Ustren, η οποία είναι και η περιοχή δειγματοληψίας στη Βουλγαρία, περιλαμβάνει το σύμπλεγμα δόμων Ustra (Εικ. 2.22), κάποιους ξεχωριστούς δόμους και το ηφαίστειο Zli Vrah, το οποίο σχηματίστηκε κατά την 3^η και 4^η όξινη φάση ηφαιστειότητας, ηλικίας Ρουπελίου ([Yanev et al., 2010](#)).



Το ηφαιστειακό ρυολιθικό σύμπλεγμα (Εικ. 2.23) Ustren πήρε την ονομασία του από το χωριό Ustren, στην περιοχή Djebel. Εκτείνεται ανάμεσα στις περιοχές των οικισμών Mishevsko, Ustren και Stomantsi και καταλαμβάνει έκταση μεγαλύτερη των 10km² (Georgiev et al., 2003). Τα χαρακτηριστικά του σχηματισμού είναι πορφυριτικοί ρυόλιθοι με περλίτες, οι οποίοι περιέχουν φαινοκρυστάλλους πλαγιοκλάστων, Κ–ούχων αστρίων, χαλαζία και βιοτίτη. Η χρονολόγηση με Κ – Αr έδειξε ηλικία 31 – 31.5 Ma. Η σχετική χρονολόγηση με γειτονικά λιθοστρωματογραφικά στρώματα υπέδειξε ηλικία Ρουπελίου. (Georgiev et al., 2003).



Εικ. 2.23. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης ηφαιστειακής περιοχής Momchilgrad.

1 - Quaternary; Oligocene Miocene: 2 - Valche Pole unit; Oligocene 3 - Pcheloyad dyke complex - rhyolite bodies (a), rhyolite dykes (b), and latite dykes (c); 4 - Raven rhyolite complex - bodies (a), tuffs and tuffaceous limestones (b); 5 - Momchilgrad trachydacite complex]; 6 – Sveti Ilija trachyrhyodacite complex - bodies (a), tuffs and tuffaceous limestones (b), dykes (c); 7 - Ustren rhyolite complex; 8 - Zvezdel basaltic-andesite complex - monzonitoid intrusion (a), subvolcanic bodies (b), dykes (c) epiclastites, lavas and tuffs (d,); 9 - Stomantsi rhyolite complex - tuffs and tuffaceous limestones; 10 - Djebel Formation; 11 - Perperek trahyrhyolite complex - bodies (a), tuffs and tuffaceous limestones (b); 12 - Madjarovo latite complex - bodies; 13 - Rabovo latite-andesite complex - lava flows (a), epiclastites, tuffs and tuffaceous limestones (b); Eocene-Oligocene: 14 - Beli-Plast rhyodacite complex - tuffs and tuffaceous limestones; Eocene: 15 - Kalabak andesite complex - lava flows (a) epiclastites, tuffs and tuffaceous limestones (b); 16 – Eocene Paleocene – sedimentary rocks; 17 - pre-Paleogene basement; 18 - fault; 19 - volcanic vents: Z - Zvezdel volcano, D - Dambala volcano, B - Bivoliane volcano, SI - Sveti-Ilija volcano, I - Iran-Tepe volcano. (ΠΗΓΗ:

Gerogiev et al., 2003).



Εικ. 2.24. Περιοχή εξόρυξης περλίτη 20km NNA από την περιοχή Kardjali της Βουλγαρίας (ΠΗΓΗ: S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.).

2.5 ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΕΡΓΑΜΟΥ (Bergama), ΤΟΥΡΚΙΑ

2.5.1 Εισαγωγή

Η Πέργαμος ανήκει στην επαρχία της Σμύρνης, η οποία είναι επαρχία της δυτικής Τουρκίας (Εικ. 2.25). Με εξαίρεση την πόλη της Σμύρνης, είναι η πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή στην επαρχία της Σμύρνης, με το ποσοστό αστικοποίησης να φτάνει το 53,6%.

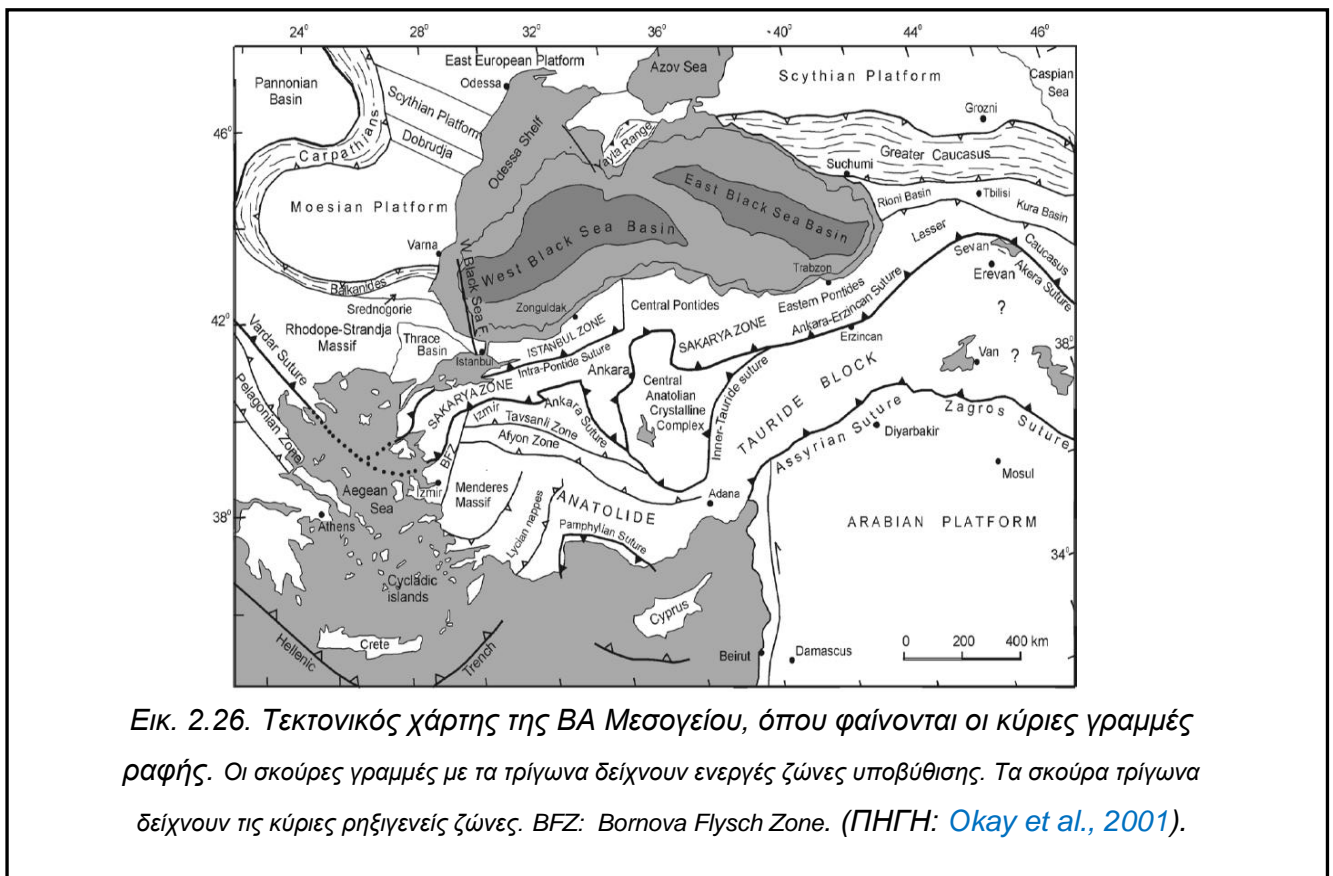


Η σημερινή Bergama ήταν μια γνωστή πόλη στην Μικρά Ασία με την ονομασία Πέργαμος. Η ιστορία της Πόλης αρχίζει στις αρχές του 4^{ου} αι. π.Χ., τον 7^ο αι. έγινε βυζαντινή επαρχία και η τελική της καταστροφή πραγματοποιήθηκε το 1401 από τον Ταμερλάνο. Ο σημερινός οικισμός διατηρεί παραφρασμένα την αρχαία ονομασία που λέγεται *Bergama* και έχει πληθυσμό περίπου 55.000 κατοίκων. Το χρονικό των Ανασκαφών της Περγάμου 1871-1886 του E. Schulte έρχεται να συμπληρώσει τον πρώτο τόμο που κυκλοφόρησε στις 4 Οκτωβρίου 1959, όταν άνοιγε ξανά, για πρώτη

φορά μετά τον πόλεμο, το περίφημο «Μουσείο της Περγάμου» στο Βερολίνο, όπου και βρίσκεται ο μεγάλος περγαμηνός Βωμός (Humman et al., 1963).

2.5.2 Γεωτεκτονική – Ηφαιστειότητα

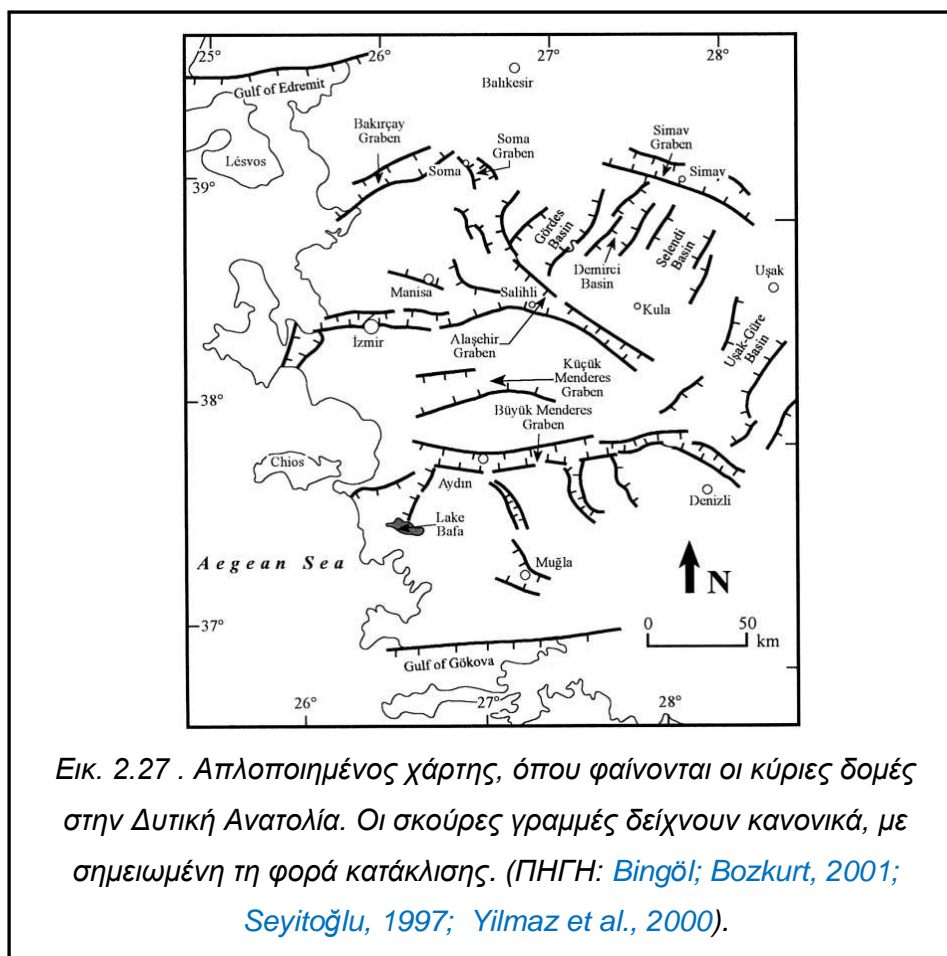
Η γεωλογική δομή της Μικράς Ασίας (Ανατολία) εμπεριέχει τόσο τμήματα του Βόρειου (Ποντίδες), όσο και τμήματα του Νότιου (Ταυρίδες) κλάδου του αλπικού ορογενετικού συστήματος της Τηθύος (Σίδερης, 2004). Η Τουρκία γεωλογικά χωρίζεται σε τρεις βασικές γεωτεκτονικές ενότητες: στις Ποντίδες, στις Ανατολίδες – Ταυρίδες και στην Αραβική πλατφόρμα (Ketin, 1966). Οι Ποντίδες αποτελούνται από τρία terranes, τα οποία έχουν διαφορετική γεωλογική εξέλιξη. Οι ζώνες αυτές (Εικ. 2.26) είναι: η ζώνη Strandja, η ζώνη Κωνσταντινούπολης (Istanbul) και η ζώνη Sakarya, στην οποία ανήκει η περιοχή μελέτης (Okay A., 2008).



Η ηφαιστειότητα στη Δυτική Ανατολία είναι μια πλήρης καταγραφή του μαγματισμού στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, όπου μαγματικά πετρώματα, Ηωκαίνου έως Τεταρτογενούς ηλικίας, εκτίθενται στην επιφάνεια (Dilek et al., 2007). Η

πρώτη φάση μαγματισμού εκδηλώθηκε κατά το Ηώκαινο και Ολιγόκαινο - Μειόκαινο. Η δεύτερη φάση μαγματισμού εμφανίστηκε κατά το Μέσο Μειόκαινο (16 - 14Ma) και η τρίτη φάση μαγματισμού ξεκίνησε πριν από περίπου 12Ma και συνεχίστηκε έως και προς τα τέλη του Τεταρτογενούς (Dilek et al., 2007).

Η Δυτική Ανατολία αποτελεί μια από τις πιο ενεργές σεισμικά περιοχές στον κόσμο (Jackson et al, 1992). Τα τεκτονικά βυθίσματα διεύθυνσης Α - Δ, καθώς και τα ενεργά, κανονικά ρήγματα οριοθέτησης της λεκάνης είναι οι πιο σημαντικοί νεοτεκτονικοί σχηματισμοί της Δυτικής Τουρκίας (Bozkurt, 2001; Εικ. 2.27).

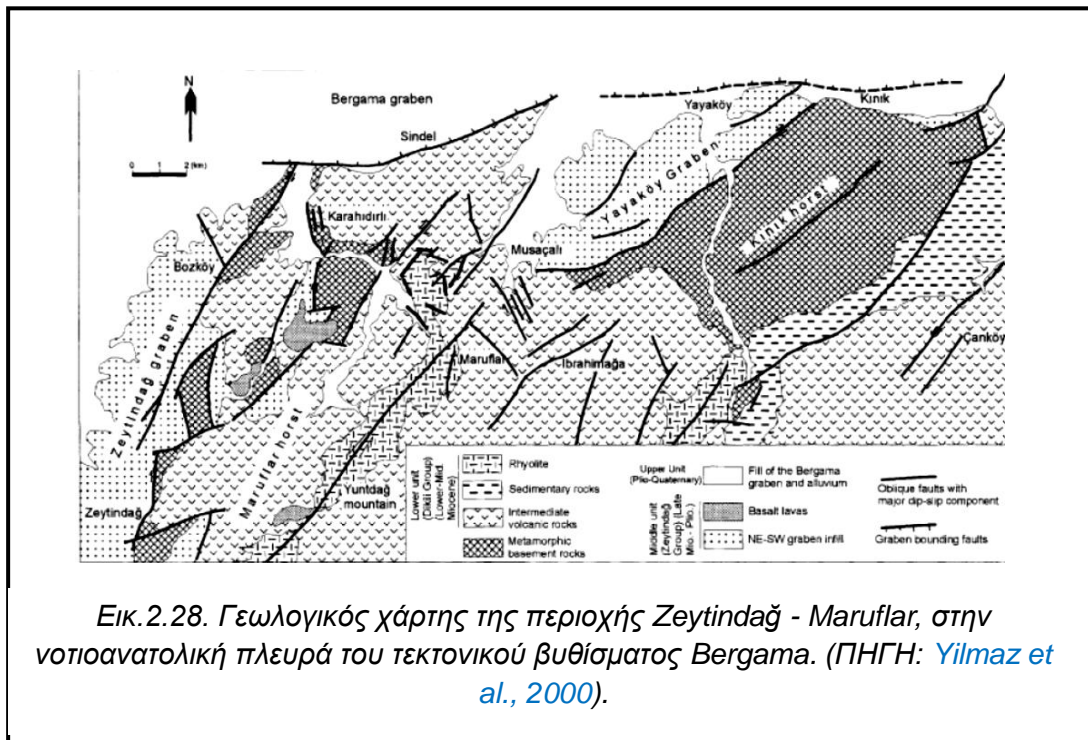


Το τεκτονικό βύθισμα Bergama ή Bakırçay είναι μια από τις κυριότερες τάφρους στη Δυτική Τουρκία. Έχει μήκος 60km και πλάτος 5km. Ο ποταμός Bakırçay ρέει προς τη Δύση. Η τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής εμφανίζει ασυμμετρία, καθώς έχει πιο έντονο ανάγλυφο και πιο απότομες κλίσεις προς τη βόρεια πλευρά της τάφρου, από την νότια πλευρά. Στη βόρεια πλευρά βρίσκεται το όρος Kozak, του οποίου το απόλυτο

υψόμετρο είναι πάνω από 900m. Επίσης, παρατηρείται πως τα ρήγματα εκατέρωθεν της τάφρου είναι κανονικά (Yilmaz et al., 2000).

2.5.3 Ο Περίλιθος της περιοχής Yundtađı, 20km ΝΑ της Περγάμου (Bergama), Τουρκία

Η γεωλογία νότια της τάφρου Bergama ή Bakırçay, μπορεί να διαχωριστεί σε ΒΑ και ΝΔ διεύθυνσης κέρατα και βυθίσματα (Yilmaz et al., 2000; Εικ. 2.28). Νοτιοδυτικά της τάφρου, βρίσκεται η ηφαιστειακή περιοχή Yundtađı, με χαρακτηριστικά ήπιο ανάγλυφο. Στην ευρύτερη περιοχή εμφανίζονται ρυολιθικοί δόμοι και συνδεόμενοι με αυτούς ιγνιμβρίτες κατανέμονται κατά μήκος μικρών ρηγμάτων, τα οποία και οριοθετούν τους ιγνιμβρίτες (Yilmaz et al., 2000).



3. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία περλίτη στις περιοχές πρόσφατης ηφαιστειότητας (περιοχή Τράχηλα και Φυριπλάκας) της νήσου Μήλου στην Ελλάδα, στην περιοχή του όρους Sparau στη Σαρδηνία της Ιταλίας, στην ευρύτερη περιοχή Kardjali στην Νότια Βουλγαρία (20-25 km NNA της πόλης Kardjali) και, τέλος, 20 km NNA της πόλης Bergama (Πέργαμος) στην ΒΑ Τουρκία. Πιο συγκεκριμένα ελήφθησαν συνολικά 14 δείγματα βάρους 5 έως 10 kg το καθένα, από τα ορυχεία περλίτη της S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. στην Ελλάδα, την Ιταλία, την Βουλγαρία και την Τουρκία. Οι περιοχές δειγματοληψίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.1 . Κωδικοί των δειγμάτων και σημεία δειγματοληψίας.

Α/Α ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ
P 10415	Νήσος Μήλος , <u>Ελλάδα</u> , νότιο τμήμα, ορυχείο <i>Τσιγκράδο</i>
P 10416	Νήσος Μήλος , <u>Ελλάδα</u> , νότιο τμήμα
P 10417	Νήσος Μήλος , <u>Ελλάδα</u> , νότιο τμήμα, ορυχείο <i>Τσιγκράδο</i>
P 10418	Νήσος Μήλος , <u>Ελλάδα</u> , νότιο τμήμα
P 10419	Νήσος Μήλος , <u>Ελλάδα</u> , βόρειο τμήμα, ορυχείο <i>Τράχηλα</i>
P 10420	Νήσος Μήλος , <u>Ελλάδα</u> , βόρειο τμήμα, ορυχείο <i>Τράχηλα</i>
P 10375/1	Νήσος Σαρδηνία , <u>Ιταλία</u> , <i>Monte Sparau</i>
P 10375/2	Νήσος Σαρδηνία , <u>Ιταλία</u> , <i>Monte Sparau</i>
P 10375/3	Νήσος Σαρδηνία , <u>Ιταλία</u> , <i>Monte Sparau</i>
P 10375/4	Νήσος Σαρδηνία , <u>Ιταλία</u> , <i>Monte Sparau</i>
P 10414/1	Νότια <u>Βουλγαρία</u> , 20-25km NNA της περιοχής <i>Kardjali</i>
P 10414/2	Νότια <u>Βουλγαρία</u> , 20-25km NNA της περιοχής <i>Kardjali</i>
P 10424/1	Δυτική <u>Τουρκία</u> , 20km NNA της πόλης <i>Bergama</i>
P 10424/2	Δυτική <u>Τουρκία</u> , 20km NNA της πόλης <i>Bergama</i>

Η επεξεργασία των δειγμάτων ξεκίνησε λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μεθόδους επεξεργασίας και ανάλυσης του υλικού. Για την πλειοψηφία των αναλύσεων προηγήθηκε θραύση των δειγμάτων του περλίτη σε σιαγονωτό σπαστήρα BB100 (για ROM δείγματα) και ακολούθησε ο διαχωρισμός ικανής και αντιπροσωπευτικής ποσότητας για την κάθε ανάλυση με τη μέθοδο της τεταρτητόμησης (σταυρός), στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

3.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ

3.2.1 Οπτικό μικροσκόπιο

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν μια σειρά διεργασιών, σε 14 δείγματα από τις περιοχές δειγματοληψίας. Στα δείγματα αυτά πραγματοποιήθηκε κοπή στο ειδικό μηχάνημα DISCOPLAN στα εργαστήρια του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών. Ακολούθησε αδροποίηση 3 αντικειμενοφόρων (ειδικά τζαμάκια συγκεκριμένου μεγέθους) χρησιμοποιώντας ανθρακοπυρίτιο N^o 600. Κατόπιν, για την λείανση των, ήδη, κομμένων δειγμάτων χρειάστηκαν 2 στάδια: στο 1^ο στάδιο χρησιμοποιήσαμε ανθρακοπυρίτιο N^o 400, με το οποίο τρίψαμε την μια πλευρά του κάθε δείγματος και στο 2^ο στάδιο χρησιμοποιήσαμε ανθρακοπυρίτιο N^o 600, με τον ίδιο τρόπο. Ύστερα, επικολλήσαμε στις αδροποιημένες πλευρές των αντικειμενοφόρων, τις λειασμένες πλευρές των δειγμάτων χρησιμοποιώντας ρητίνη ARALDITE, αποτελούμενη από 2 συστατικά με μηδενικό δείκτη διάθλασης, σε θερμοκρασία δωματίου. Στο ειδικό μηχάνημα DISCOPLAN, πραγματοποιήθηκε λείανση, στην οποία επιτυγχάνεται ύψος του παρασκευάσματος της τάξης των 70-80μm. Τέλος, ακολουθεί τρίψιμο του παρασκευάσματος με ανθρακοπυρίτιο N^o 600, μέχρι την επίτευξη πάχους περίπου 40μm. Εν συνεχεία, τα δείγματα αυτά παρατηρήθηκαν στο οπτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός.

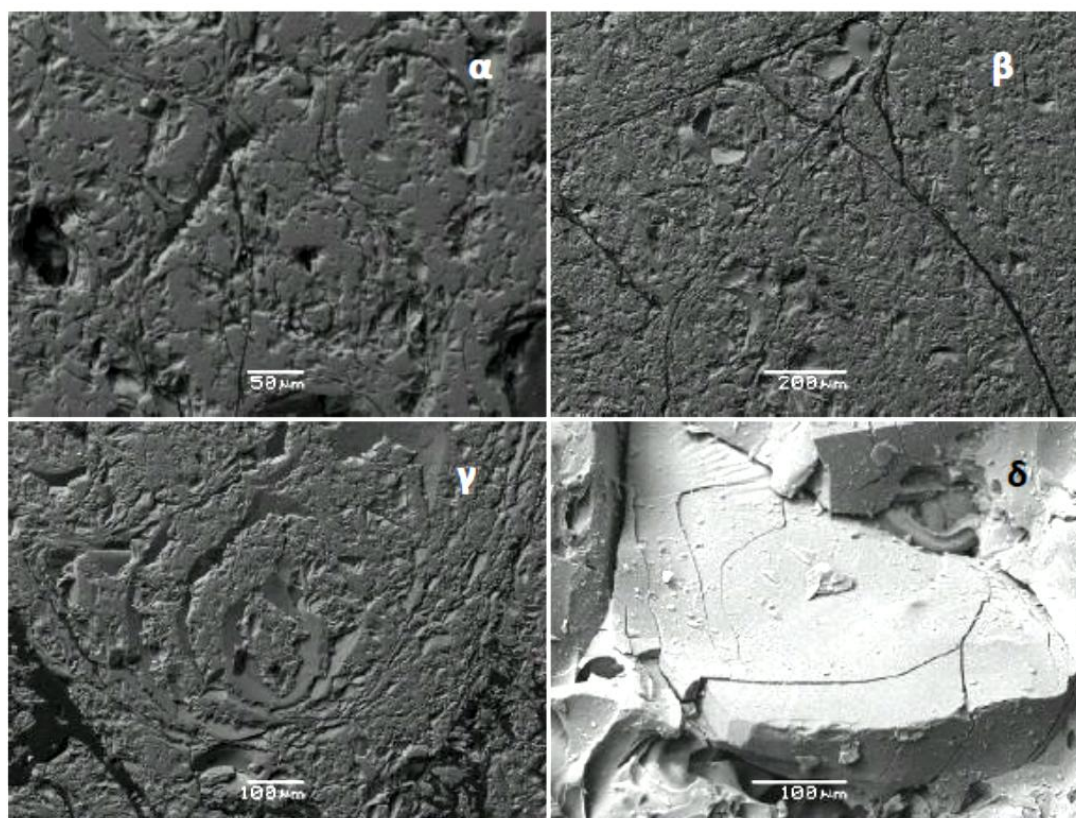
Στο σύνολο των δειγμάτων οι φαινοκρύσταλλοι που απαντώνται εντός της υαλώδους μάζας είναι κυρίως χαλαζίας, οι οποίοι συνήθως εμφανίζονται αλλοτριόμορφοι και χωρίς σχιστότητα. Επίσης, σε όλα τα δείγματα ως φαινοκρύσταλλοι εμφανίζονται και οι άστριοι.

Τα δείγματα του περλίτη της Μήλου αποτελούνται από μια άμορφη μάζα, υαλώδη με μικρόλιθους εντός αυτής. Ο ιστός των δειγμάτων του περλίτη είναι υποκρυσταλλικός, υαλοφυρικός.

3.2.2 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Δείγματα τόσο αδιόγκωτου όσο και διογκωμένου περλίτη μελετήθηκαν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Scanning Electron Microscope, SEM) στα εργαστήρια του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

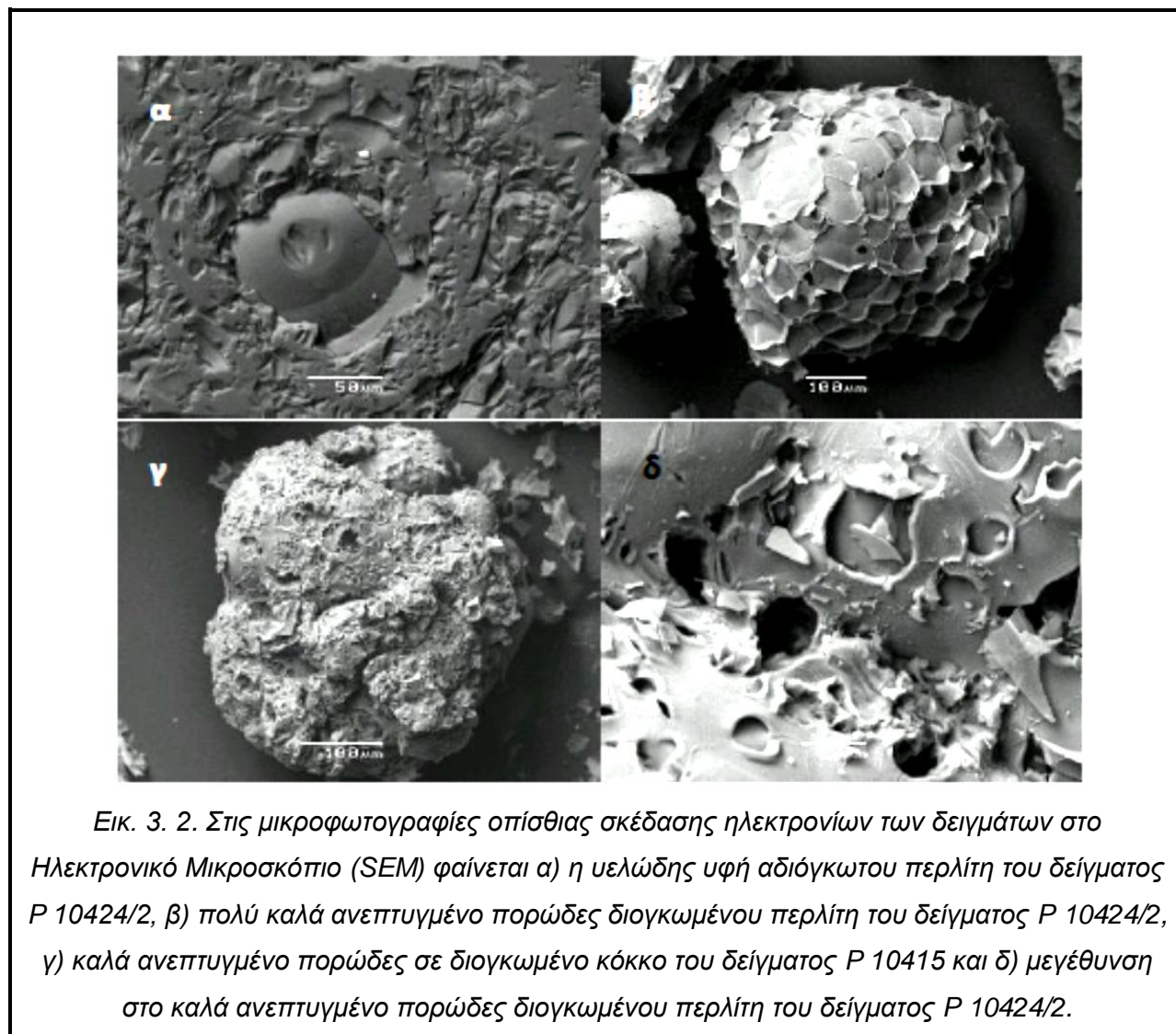
Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, όπως είναι ήδη γνωστό, ο περλίτης είναι ένα όξινο υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα, το οποίο εμφανίζει χαρακτηριστική περλιτική υφή, με έντονη παρουσία των 'perlitic cracks'. Αυτά τα 'perlitic cracks' (Εικ. 3.1β,δ) διακρίνονται εμφανώς στις μικρο-φωτογραφίες που ελήφθησαν κατά την Ηλεκτρονική Μικροσκοπία, καθώς και η ρωγμές που υπάρχουν πέριξ της περλιτικής δομής (Εικ. 3.1α,γ). Επίσης η ηλεκτρονική μικροσκοπία επιβεβαίωσε την ύπαρξη φαινοκρυστάλλων



Εικ. 3. 1 . Μικροφωτογραφίες οπίσθιας σκέδασης ηλεκτρονίων δειγμάτων από την Βουλγαρία (α) και την Τουρκία (β) & (γ), όπου είναι εμφανής η περλιτικής δομή [οπίον skin; (α) και (γ)] και τα perlitic cracks (β) & (δ). Οι εικόνες (α), (β) & (γ) προέρχονται από λεπτές τομές αδιόγκωτου περλίτη και η εικόνα (δ) από αδιόγκωτο περλίτη, στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο (SEM).

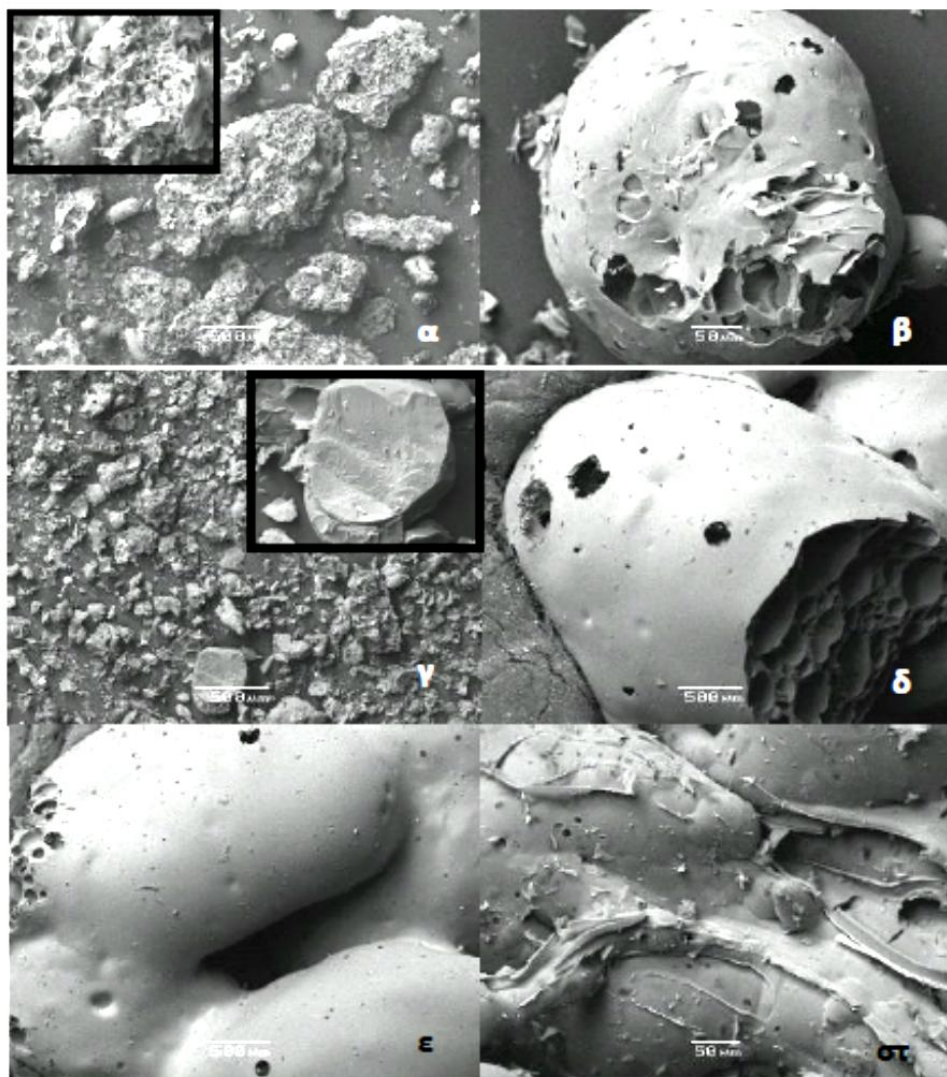
χαλαζία, αστριών, μαρμαρυγιών και μεταλλικών ορυκτών εντός της άμορφης υαλώδους μάζας των δειγμάτων, παρατηρήσεις οι οποίες συμπίπτουν με αυτές της Οπτικής Μικροσκοπίας καθώς και της Περιθλασιμετρίας Ακτίνων Χ.

Στην Εικόνα 3.2α φαίνεται η υελώδης υφή του δείγματος P 10424/2 της Τουρκίας, η οποία υφή παρατηρείται ευρέως και στις τομές των δειγμάτων της Μήλου και απουσιάζει κυρίως από αυτές τις Βουλγαρίας, αλλά και της Σαρδηνίας. Η Εικόνα 3.2β του δείγματος P 10424/1 παρουσιάζει ένα καλά ανεπτυγμένο πορώδες, όπου φαίνεται ένα τυπικό οκταγωνικό σχήμα πόρων, το οποίο δείχνει καλή διόγκωση. Η Εικόνα 3.2γ παρουσιάζει ένα σφαιρικό (ωοειδή) κόκκο με μέγιστη διάμετρο περίπου 0,5mm, με υψηλό πορώδες, όπου η διάμετρος των πόρων παρουσιάζει τα 20μm. Το δείγμα αυτό προέρχεται από το διογκωμένο χονδρό κλάσμα περλίτη της Μήλου (P 10415).



Στην Εικόνα 3.2δ παρουσιάζεται με λεπτομέρεια το καλά ανεπτυγμένο πορώδες ενός διογκωμένου κόκκου του δείγματος P 10424/1. Αντίθετα, στην Εικόνα 3.3β φαίνεται ένας κόκκος του δείγματος P 10375/1, σχεδόν σφαιρικός, μεγέθους 0,35mm, ο οποίος παρουσιάζει διόγκωση αλλά δεν έχει αναπτύξει μεγάλο πορώδες. Κατόπιν, στην Εικόνα 3.3α του δείγματος P 10375/1 παρατηρείται στον ίδιο κόκκο η ίδια διόγκωση (χαμηλό πορώδες) και δίπλα ακριβώς το υλικό παρουσιάζεται θρυμματισμένο. Το γεγονός αυτό πιθανώς να οφείλεται στην απότομη θέρμανση. Στην Εικόνα 3.3γ, η οποία προέρχεται από τον δείγμα P 10414/2 (Βουλγαρία), φαίνεται πως δεν υπάρχει καθόλου καλή διόγκωση και πως κάποιοι κόκκοι εμφανίζονται σχεδόν αδιόγκωτοι. Τέλος στις Εικόνες 3. 3δ,ε&στ φαίνεται πως διογκωμένο υλικό των δειγμάτων P 10414/1-2 έχει λιώσει κατά την διόγκωση και κατόπιν στερεοποιήθηκε σχηματίζοντας συσσωματώματα, τα οποία μοιάζουν μακροσκοπικά με γυαλί, γι' αυτό και στη βιομηχανία καλείται «γυαλώμα». Ιδιαίτερα, στην εικόνα 3.3δ βλέπουμε το εσωτερικό του «γυαλωμένου» υλικού, το οποίο παρουσιάζεται διογκωμένο.

Συμπερασματικά, παρατηρείται πως τα δείγματα που προέρχονται από την Πέργαμο της Τουρκίας και την Μήλο παρουσιάζουν καλή διόγκωση με καλό πορώδες, αν και θα πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω το ποσοστό των λεπτομερών υλικών στα διογκούμενα κλάσματα ανά περιοχή δειγματοληψίας. Στη συνέχεια, τα διογκωμένα δείγματα από την Σαρδηνία παρουσιάζουν θρυμματισμό κατά την διόγκωση, ο οποίος μειώνεται βαθμιαία από το «ψιλό» προς το «χονδρό» κλάσμα. Τέλος, τα δείγματα από την περιοχή Kardjali της Βουλγαρίας παρουσιάζουν μεγάλο ποσοστό αδιόγκωτων υλικών σε συνδυασμό με το αυξημένο ποσοστό «γυαλώματος» του υλικού.



Εικ. 3. 3. Στις εικόνες του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου φαίνεται α), β) διογκωμένοι κόκκοι δείγματος P 10375/1 με χαμηλό πορώδες, γ) διογκωμένο υλικό του δείγματος P 10414/2, στο οποίο φαίνονται αδιόγκωτοι κόκκοι, δ) τομή «γυαλωμένου» δείγματος P 10414/1, όπου φαίνεται οι διόγκωση, ε) επιφάνεια «γυαλωμένου» δείγματος P 10414/1 και στ) επιφάνεια «γυαλωμένου» δείγματος P 10414/2.

3.2.3 Ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων με περίθλαση ακτίνων Χ (XRD)

Η ορυκτολογική ανάλυση του συνόλου των δειγμάτων με περιθλασίμετρο ακτίνων – Χ πραγματοποιήθηκε στα Εργαστήρια του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (XRD, Siemens 5000), ενώ η ορυκτολογική ανάλυση μερικών δειγμάτων έγινε στα Εργαστήρια

Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. (XRD X'Pert, Panalytical), με στόχο τη δυνατότητα διασταύρωσης των αποτελεσμάτων.

Εργαστήρια του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α.

Τα δείγματα του πετρώματος τοποθετήθηκαν στον σπαστήρα των εργαστηρίων του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α., όπου και πραγματοποιήθηκε θραύση του πετρώματος. Στη συνέχεια ακολούθησε λειοτρίβηση του υλικού ώστε να χρησιμοποιηθεί για τις αναλύσεις XRD.

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με περιθλασίμετρο ακτίνων – Χ (XRD, Siemens 5005) στα εργαστήρια του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών. Το περιθλασίμετρο ακτίνων Χ (X – Ray Diffractometer) είναι ένα όργανο που προσδιορίζει ποσοτικά την ορυκτολογική σύσταση των υλικών. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην ιδιότητα της περίθλασης των ακτίνων Χ από το κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών. Κάθε ορυκτό έχει μια συγκεκριμένη γωνία περίθλασης που αντιστοιχεί σε μια κορυφή στο διάγραμμα που προκύπτει.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε έχει εύρος ανίχνευσης 5 έως 65 μοίρες και ταχύτητα 1,2 μοίρες ανά δευτερόλεπτο. Το δείγμα τοποθετείται σε ειδική υποδοχή του οργάνου και περιστρέφεται υπό γωνία φ και 2φ μοίρες. Κάθε γωνία αντιστοιχεί σε κάποιο ορυκτό. Υπάρχουν κύριες και δευτερεύουσες γωνίες, οπότε για την εξακρίβωση ενός ορυκτού από την ύπαρξη μιας κύριας γωνίας σε κάποια κορυφή του διαγράμματος, είναι απαραίτητες και κάποιες δευτερεύουσες γωνίες για τη διασταύρωση της ύπαρξης του ορυκτού στο κρυσταλλικό πλέγμα του δείγματος. Η ακτίνα προσπίπτει στο δείγμα και αφού υποστεί περίθλαση, καταλήγει στον καταγραφέα (μονοχρωμάτορα), ο οποίος μετράει παλμούς (counts). Αυτή η πληροφορία μεταφέρεται σε ειδικό software του οργάνου και αφού γίνει επεξεργασία της, απεικονίζεται σε διάγραμμα, όπου φαίνονται οι κορυφές των διαφόρων ορυκτών. Οι γωνίες που ανήκουν στις κορυφές των ορυκτών υπάρχουν σε ειδικούς πίνακες.

Η ακτινογραφική μελέτη των κονιοποιημένων δειγμάτων, με στόχο την ορυκτολογική ταυτοποίηση των συστατικών τους, γίνεται με περιθλασίμετρο ακτίνων Χ (XR Diffractometer) Siemens D5005, πλήρως computerized με χρήση του προγράμματος diffac^{plus} της Siemens, σε περιβάλλον Windows. Η αποτίμηση των

ακτινοδιαγραμμάτων που προκύπτουν. Γίνεται με τη χρήση του προγράμματος Evn 10.0 που ανήκει στο πακέτο diffac^{plus}.

Με βάση τα διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD) προσδιορίστηκαν οι κρυσταλλικές φάσεις που υπάρχουν στα εξεταζόμενα δείγματα περλίτη. Τα διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD) παρατίθενται στο *Παράρτημα Ι*, ενώ οι ορυκτολογικές φάσεις που υπάρχουν στο κάθε δείγμα παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα:

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πίνακας 3.2. Ορυκτολογική ανάλυση του συνόλου των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (Εργαστήρια ΕΚΠΑ).

Κρυστ/κές φάσεις Α/Α Δειγμάτων	Χαλαζίας (SiO ₂)	Οπάλιος (SiO ₂)	Αλβίτης ((Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈)	Τριδυ- μίτης (SiO ₂)	Χριστοβαλίτης (SiO ₂)	Αлк/ούχος Αστριος [1.Ανορθόκλαστο/((Na,K)AlSi ₃ O ₈)/ 2.Σανίδιο K(Si ₃ Al) ₄ O ₈ / 3.Ορθόκλαστο KAlSi ₃ O ₈]	Ολιγό- κλαστο (Na,Ca)Al(Al,Si)Si ₂ O ₈	Βιοτίτης KMg ₃ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	Άμορ- φη Υγελος
P 10415 (M)	✓		✓						✓
P 10416 (M)	✓		✓					✓	✓
P 10417 (M)	✓		✓			✓	✓		✓
P 10418 (M)	✓	✓	✓						✓
P 10419 (M)	✓					✓	✓		✓
P 10420 (M)	✓					✓	✓		✓
P 10375/1 (Σ)	✓					✓		✓	✓
P 10375/2 (Σ)	✓					✓	✓		✓
P 10375/3 (Σ)	✓	✓						✓	✓
P 10375/4 (Σ)	✓					✓			✓
P 10414/1 (B)	✓	✓				✓			✓
P 10414/2 (B)	✓			✓	✓	✓			✓
P 10424/1 (T)	✓	✓							✓
P 10424/2 (T)	✓	✓						✓	✓

* Όπου Μ: Μήλος, Ελλάδα, Σ: Σαρδηνία, Ιταλία, Β: περιοχή Kardjali, Βουλγαρία και Τ: περιοχή Περγάμου, Τουρκία.

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Τα δείγματα του περλίτη τοποθετήθηκαν στον σιαγονωτό σπαστήρα BB100 (για ROM δείγματα) στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. Με τη μέθοδο της τεταρτητόμησης (σταυρός), έγινε ο διαχωρισμός ικανής και αντιπροσωπευτικής ποσότητας κάθε δείγματος, η οποία κονιοποιήθηκε, ώστε να χρησιμοποιηθεί στις αναλύσεις XRD.

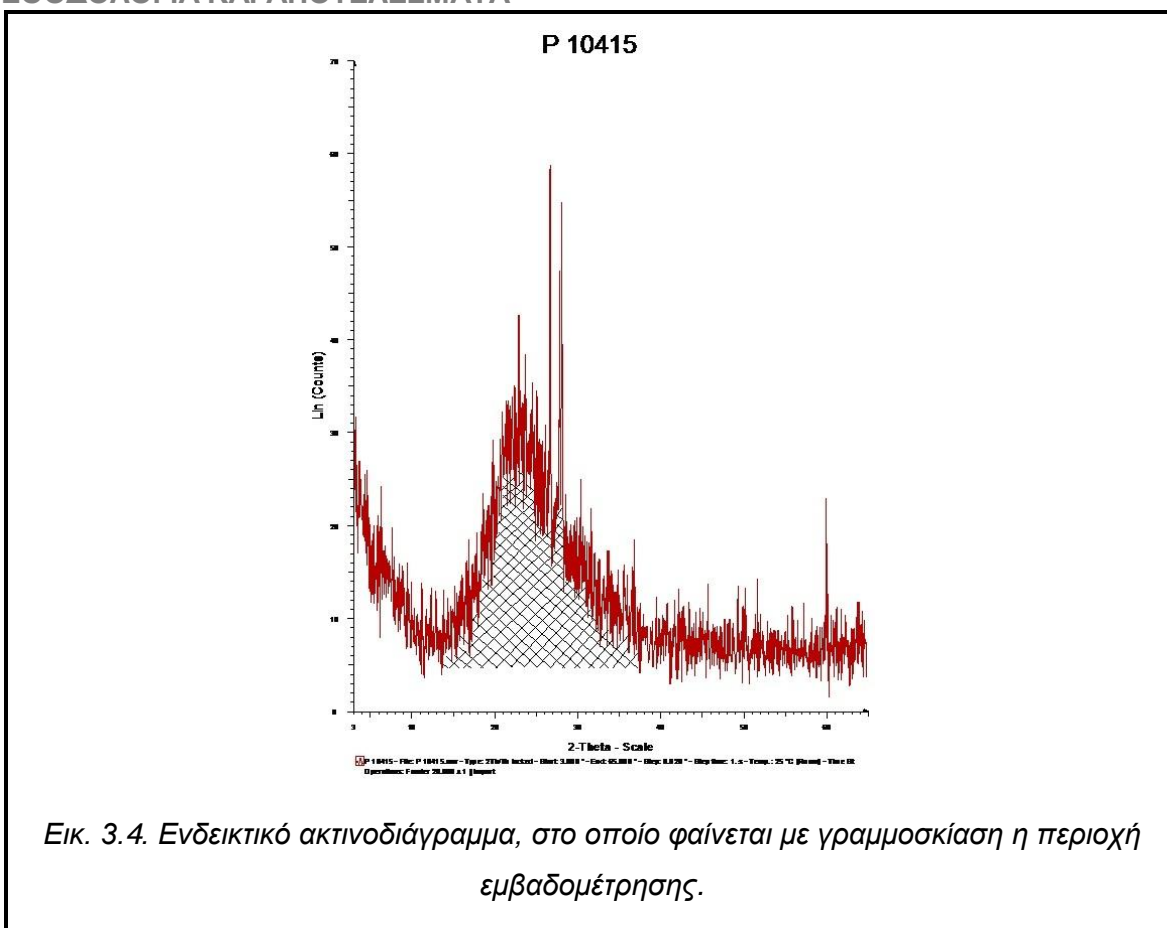
Για την ακτινογραφική μελέτη των δειγμάτων περλίτη χρησιμοποιήθηκε το περιθλασίμετρο ακτίνων Χ XRD X'Pert της εταιρείας Panalytical με H/Y και software. Τα διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD) παρατίθενται στο *Παράρτημα Ι*, ενώ οι ορυκτολογικές φάσεις που υπάρχουν στο κάθε δείγμα παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα:

Πίνακας 3.3. Ορυκτολογική ανάλυση του συνόλου των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (Εργαστήρια S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.).

Κρυστικές Φάσεις Α/Α Δειγμάτων	Χαλα- ζίας (SiO ₂)	Αλβίτης (Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈)	Κ-ούχος Αστριος [Ξανίδινο K(Si ₃ Al) ₄ O ₈ / Ορθόκλαστο KAISi ₃ O ₈	Χριστο- βαλίτης (SiO ₂)	Βιοτίτης KMg ₃ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	Άμορφη Υελος
P 10415 (M)	✓	✓				✓
P 10375/1 (Σ)					✓	✓
P 10414/1 (B)	✓	✓	✓	✓		✓
P 10414/2 (B)	✓	✓	✓	✓		✓

* Όπου Μ: Μήλος, Ελλάδα, Σ: Σαρδηνία, Ιταλία και Β: περιοχή Kardjali, Βουλγαρία

Από την επεξεργασία των ακτινοδιαγραμμάτων XRD, τα οποία προέκυψαν από τις αναλύσεις στο Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος μπορέσαμε να υπολογίζουμε το εμβαδόν που προκύπτει στο ακτινοδιάγραμμα και τις μετρήσεις του άξονα y και τον άξονα x, όπως φαίνεται ενδεικτικά στο παρακάτω σχήμα. Ο υπολογισμός αυτός έγινε ανάγοντας όλους τους άξονες των ακτινοδιαγραμμάτων στην ίδια κλίμακα.



Εικ. 3.4. Ενδεικτικό ακτινοδιάγραμμα, στο οποίο φαίνεται με γραμμοσκίαση η περιοχή εμβαδομέτρησης.

Ύστερα από τις εμβαδομετρήσεις προέκυψε ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 3.4. Εμβαδά τα οποία προέκυψαν από μέτρηση της αναθλώσης του γυαλιού.

A/A	Cm ²
P 10415	5,1
P 10416	6,7
P 10417	5,2
P 10418	5,8
P 10419	4,5
P 10420	4,6
P 10375/1	6,2
P 10375/2	5,2
P 10375/3	4,7
P 10375/4	4,5
P 10414/1	4,2
P 10414/2	4,7
P 10424/1	5,0
P 10424/2	4,7
MILOS ST EXP	4,0
P 10414/2 EXP	3,6
P 10375/1 EXP	3,1
P 10375/2 EXP G	4,7

Παρατηρώντας τις τιμές του πίνακα βλέπουμε πως η Μήλος εμφανίζει ελαφρώς υψηλότερες τιμές εμβαδών. Παρ' όλα αυτά ακολουθούν τα δείγματα από την Σαρδηνία με αποτέλεσμα να μην εξάγεται συμπέρασμα για την συσχέτιση τους με την διογκωσιμότητα του υλικού. Βλέποντας όμως τα ακτινοδιαγράμματα (Παράρτημα I & V) γίνεται προφανές πως αυτά της Μήλου έχουν μετατοπισμένη την καμπύλη της αναθόλωσης του γυαλιού περίπου 2° προς τα αριστερά σε σχέση με τα διαγράμματα των δειγμάτων της Σαρδηνίας. Στη συνέχεια το ίδιο παρατηρείται και στα διαγράμματα των δειγμάτων της Τουρκίας. Τέλος, στα διαγράμματα των δειγμάτων βλέπουμε αυτήν την καμπύλη μετατοπισμένη $1^\circ - 2^\circ$ πιο δεξιά από τα διαγράμματα των δειγμάτων της Σαρδηνίας. Επίσης, στα ακτινοδιαγράμματα παρατηρούμε πως αυτά των δειγμάτων της Μήλου και Τουρκίας οι κορυφές είναι λιγότερο οξύληκτες από αυτές των δειγμάτων της Σαρδηνίας και ιδιαίτερα από αυτές των ακτινοδιαγραμμάτων της Βουλγαρίας. Το γεγονός αυτό ίσως οφείλεται στο ότι τα περιεχόμενα ορυκτά στην μάζα του περλίτη της Μήλου και της Τουρκίας δεν έχουν τόσο ανεπτυγμένη κρυσταλλικότητα, όσο αυτά στην Σαρδηνία και την Βουλγαρία.

3.2.4 Ποσοτικός προσδιορισμός % κατά βάρους ολικού χαλαζία (%wt quartz content)

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό χαλαζία στα δείγματα περλίτη προηγήθηκε η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων όπως περιγράφεται στην §3.1. Ακολούθησε λειοτρίβηση του δείγματος σε λεπτή σκόνη και ξήρανση του δείγματος για 24 ώρες σε ξηραντήριο με θερμοκρασία λειτουργίας 90°C . Κατόπιν ζυγίζουμε 5g δείγματος περλίτη και 0,25g ZnO pro analysi, σε ζυγό ακριβείας $\pm 0,0001\text{g}$. Ομογενοποιούμε το μίγμα στη συσκευή τριψίματος Spex CertiPrep 8000-D MIXER MILL για 3 λεπτά. Τέλος, μορφοποιήθηκε το δείγμα μέσα στο δειγματοφορέα και τοποθετήθηκε στη συσκευή XRD X'Pert της εταιρείας Panalytical με H/Y και software, στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, ώστε να προσδιοριστεί ποσοτικά ο περιεχόμενος ολικός χαλαζίας (Quartz) του κάθε δείγματος, γίνεται συσχετισμός της κορυφής του περιεχόμενου χαλαζία, η οποία βρίσκεται στο $26,2-2\theta$, και της κορυφής του αντιδραστηρίου ZnO, η οποία βρίσκεται στο $36,2-2\theta$. Η εξίσωση υπολογισμού του ολικού χαλαζία στα δείγματα περλίτη είναι:

$$\% \text{quartz} = 6.25 \cdot H_q / H_{ZnO[36.2]^\circ}, \text{ όπου } H_q = \text{Height(cts) quartz και}$$

$$H_{ZnO[36.2]^\circ} = \text{Height(cts) ZnO}$$

Τα αποτελέσματα βρίσκονται στον κάτωθι πίνακα:

Πίνακας 3.5. Ποσοτικός προσδιορισμός % κ.β. του περιεχόμενου χαλαζία (SiO₂) στη μάζα του περλίτη κάθε δείγματος.

A/A ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΧΑΛΑΖΙΑΣ (% κ.β.)
P 10415	4,77
P 10416	4,78
P 10417	4,36
P 10418	3,59
P 10419	3,06
P 10420	2,96
P10375/1	1,02
P10375/2	0,63
P10375/3	0,79
P10375/4	1,04
P 10414/1	4,02
P 10414/2	3,87
P 10424/1	1,09
P 10424/2	1,06

Από τον Πίνακα 3.5 είναι εμφανές πως το χαμηλότερο ποσοστό κατά βάρος περιεχόμενου χαλαζία εμφανίζεται στο δείγμα P 10375/2 (0,63%), το οποίο προέρχεται από τη Σαρδηνία της Ιταλίας. Επίσης προφανές είναι πως το υψηλότερο % κ.β. περιεχόμενου χαλαζία εμφανίζεται στο δείγμα P 10416 (4,78%), το οποίο προέρχεται από τη Μήλο, στην Ελλάδα. Γενικότερα, θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε πως ο υψηλότερος μέσος όρος % κ.β. περιεχόμενου χαλαζία είναι αυτός των δειγμάτων της Βουλγαρίας (P 10414/1-2), ο οποίος είναι 3,945%. Ακολουθεί με μικρή διαφορά ο Μ.Ο. των δειγμάτων της Μήλου (P 10415-20), ο οποίος είναι 3,920%, στη συνέχεια βρίσκεται με μεγάλη διαφορά ο Μ.Ο. των δειγμάτων της Τουρκίας (P 10424/1-2) με ποσοστό 1,075% και τέλος βλέπουμε τον χαμηλότερο Μ.Ο. των δειγμάτων της Σαρδηνίας (P 10375/1-4) με ποσοστό 0,870%. Η διαφοροποίηση αυτής της περιεκτικότητας σε χαλαζία πιθανά οφείλεται στην ηλικία του ηφαιστείου αλλά και στην ταχύτητα ψύξης του μάγματος στην επιφάνεια της γης.. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί την υψηλή

περιεκτικότητα % σε χαλαζία των δειγμάτων από την Βουλγαρία, λόγω της παλαιότερης ηλικίας τους σχετικά με τις υπόλοιπες περιοχές. Με την ίδια λογική ακολουθούν τα δείγματα της Τουρκίας και τέλος της Σαρδηνίας, τα οποία είναι και τα πιο πρόσφατα. Τα δείγματα της Μήλου διαφοροποιούνται εμφανίζοντας υψηλό ποσοστό χαλαζία αν και έχουν σχετικά πρόσφατη ηλικία (παρόμοια με αυτή της Σαρδηνίας; Πιν. 4.1). Πιθανώς αυτό να εξηγείται εξαιτίας της μικρότερης ταχύτητας ψύξης του μάγματος στη Μήλο.

3.2.5 Θερμική βαρυτομετρική ανάλυση – Διαφορική θερμική ανάλυση (TGA - DTA)

3.2.5.1 Αρχές Μεθόδων Ανάλυσης TGA – DTA

Θερμική βαρυτομετρική ανάλυση (Thermogravimetric Analysis, TGA)

Η θερμική βαρυτομετρική ανάλυση (ή θερμοσταθμική ανάλυση) στηρίζεται στην παρακολούθηση της μεταβολής της μάζας μιας ουσίας όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία της (Λιοδάκης Σ., 2001). Η τεχνική αυτή ανάλυσης εφαρμόζεται σε αναλύσεις στερεών δειγμάτων, τα οποία κατά τη θέρμανση τους παρουσιάζουν μεταβολές βάρους λόγω φυσικών ή χημικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα π.χ. εξάτμιση, θερμική διάσπαση ή ακόμα και οξειδωση (Λιοδάκης Σ., 2001).

Η θερμοσταθμική ανάλυση γίνεται με το θερμοζυγό (thermobalance), ο οποίος επινοήθηκε από τον Κ. Honda το 1915. Ο θερμοζυγός αποτελείται από τον φούρνο πύρωσης, το σύστημα ρύθμισης και ελέγχου της λειτουργίας του φούρνου και το ηλεκτρονικό σύστημα επεξεργασίας των αποτελεσμάτων ανάλυσης (Λιοδάκης Σ., 2001). Ο φούρνος είναι μεγάλης ακριβείας με μέγιστη θερμοκρασία περίπου 1500°C και το δείγμα εισάγεται μέσω ενός υποδοχέα που συνδέεται με αναλυτικό ζυγό μεγάλης ευαισθησίας (Λιοδάκης Σ., 2001). Το θερμογράφημα που τελικά προκύπτει είναι μια κλιμακωτή γραμμή που συσχετίζει τη μάζα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του δείγματος (Λιοδάκης Σ., 2001). Το μειονέκτημα της μεθόδου TGA είναι πως συχνά η τήξη ή οι μεταβολές κρυσταλλικής φάσης δεν ανιχνεύονται (Λιοδάκης Σ., 2001).

Διαφορική θερμική ανάλυση (Differential Thermal Analysis, DTA)

Η διαφορική θερμική ανάλυση είναι η αρχαιότερη μέθοδος θερμικής ανάλυσης και εισήχθη το 1887 από τον Le Chatelier (Λιοδάκης Σ., 2001). Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην καταγραφή της διαφοράς θερμοκρασίας (ΔT) μεταξύ του προς ανάλυση

δείγματος (T_S) και της ουσίας αναφοράς (T_R), όταν δείγμα αναφοράς και ουσίας θερμαίνονται ομοιόμορφα σε μια θερμοπρογραμματισμένη διεργασία, κάτω από τις ίδιες συνθήκες (Λιοδάκης Σ., 2001). Ως δείγμα αναφοράς επιλέγεται μια ουσία στην οποία καμία φυσική ή χημική μεταβολή δεν λαμβάνει χώρα στη θερμοκρασιακή περιοχή που μελετάμε. Στο πλαίσιο των αναλύσεων για τα δείγματα περλίτη χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα αναφοράς η αλουμίνα (Al_2O_3), η οποία θεωρείται κατάλληλο δείγμα αναφοράς σε περιπτώσεις αναλύσεων ανόργανων ουσιών.

Το διάγραμμα που τελικά λαμβάνεται μεταξύ της $\Delta T = T_S - T_R$ σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία T_R (που είναι πρακτικά η θερμοκρασία του φούρνου), ονομάζεται διαφορική θερμική καμπύλη, η οποία αποτελείται από μια σειρά κορυφών (Λιοδάκης Σ., 2001). Κατά σύμβαση, τις περισσότερες φορές θεωρείται πως κάθε εξώθερμη μεταβολή έχει θετική κορυφή, ενώ κάθε ενδόθερμη μεταβολή αρνητική κορυφή (Λιοδάκης Σ., 2001).

Κάθε ουσία δίνει μια χαρακτηριστική καμπύλη DTA, μέσω της οποίας μπορεί να ταυτοποιηθεί, ενώ το δε ύψος ή το εμβαδόν της κορυφής, που είναι ανάλογο της θερμότητας που αναπτύσσεται στην αντίστοιχη φυσική ή χημική μεταβολή, αποτελεί τη βάση για την ποσοτική ανάλυση (Λιοδάκης Σ., 2001). Τέλος, τα προβλήματα θερμικής αγωγής περιορίζονται όταν χρησιμοποιούνται μικρά δείγματα, όπως και στην περίπτωση του TG.

3.2.5.2 Πειραματική διαδικασία TGA – DTA

Η θερμική μελέτη όλων των δειγμάτων έγινε σε όργανο TG-DTA της εταιρείας Perkin Elmer Instruments, μοντέλο Diamond TG/DTA (Εικ. 3.5) στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. Τα δείγματα μελετήθηκαν σε μορφή σκόνης (λειοτρίβηση δειγμάτων σε προηγούμενο στάδιο), η οποία τοποθετήθηκε σε καψάκια αλουμίνας (Al_2O_3) που τοποθετήθηκαν στο θερμικό όργανο. Η αύξηση της θερμοκρασίας έγινε με συγκεκριμένες συνθήκες (ρυθμό, τελική θερμοκρασία, ατμόσφαιρα θέρμανσης).



*Εικ.3.5. Όργανο TG-DTA,
όπου
πραγματοποιήθηκαν
μετρήσεις στο σύνολο των
δειγμάτων, στα
Εργαστήρια Ανάπτυξης
Ορυκτών και Υλικών της
εταιρείας S&B
Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.*

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με αρχική θέρμανση του δείγματος έως τους 100°C, στη συνέχεια με σταδιακή άνοδο της θερμοκρασίας 5°C/min έως τους 1150°C και τέλος επαναφορά της θερμοκρασίας του δείγματος σε θερμοκρασία δωματίου (περίπου 40°C) σε διάστημα μιας ώρας. Η διάρκεια του πειράματος για κάθε δείγμα είναι 3,5h και 1h η επαναφορά του οργάνου σε θερμοκρασία δωματίου. Κατά την πειραματική διαδικασία τοποθετήθηκε τυφλό δείγμα αλουμίνας, ώστε να μην φαίνεται ο «θόρυβος» του οργάνου.

Τα διαγράμματα TG – DTA των δειγμάτων περλίτη παρατίθενται στο Παράρτημα II και ενδεικτικά κάποια διαγράμματα TG-DTA στην Εικόνα 3.6. Η απώλεια βάρους % από τους περίπου 25°C έως τους 1150°C των δειγμάτων περλίτη παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

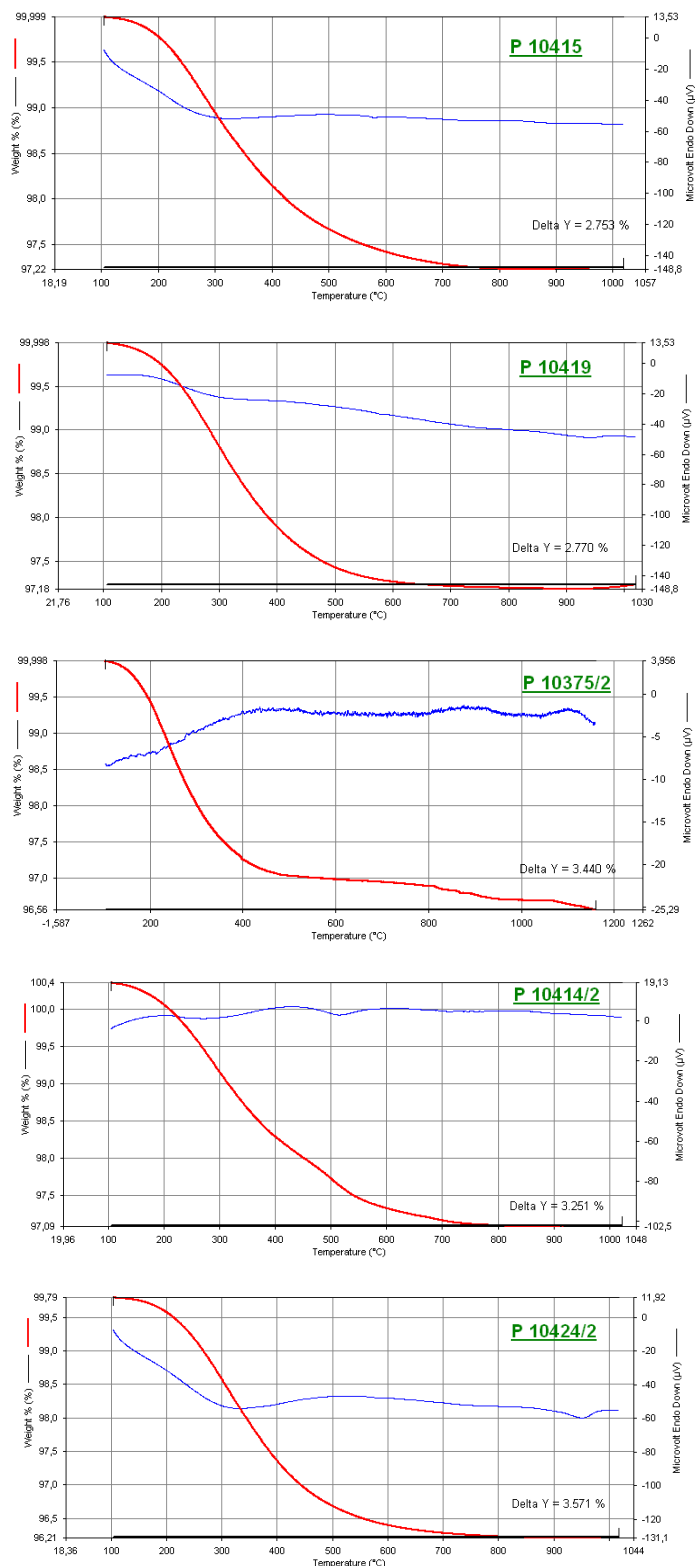
Πίνακας 3.6. Αποτελέσματα απώλειας πύρωσης (LOI%), με τη χρήση οργάνου TG-DTA.

A/A	LOI Determination (wt%)
P 10415	2,753
P 10416	2,675
P 10417	2,814
P 10418	2,409
P 10419	2,770
P 10420	2,762
P 10375/1	2,964
P 10375/2	3,440
P 10375/3	3,174
P 10375/4	2,851
P 10414/1	3,217
P 10414/2	3,251
P 10424/1	3,975
P 10424/2	3,571

Παρατηρώντας τα διαγράμματα (Παράρτημα II) φαίνεται πως στα διαγράμματα από τα δείγματα της Μήλου έχουμε σχεδόν ίδια απώλεια, με μια έναν ελαφρώς μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης του βάρους στα δείγματα P 10419 και P 10420, τα οποία δείγματα προέρχονται από το ορυχείο του Τράχηλα (νεαρότερης ηλικίας από αυτό της Φυριπλάκας). Συνεχίζοντας, την αμέσως μεγαλύτερη απώλεια βάρους εμφανίζουν τα δείγματα της Σαρδηνίας (P 10375/1-4). Παρατηρείται πως στα διαγράμματα της Σαρδηνίας ο ρυθμός μείωσης του βάρους είναι πιο έντονος από αυτόν όλων των υπόλοιπων περιοχών (Εικ. 3.6), αποβάλλει δηλαδή το κρυσταλλικό νερό πιο εύκολα. Στη συνέχεια, με αύξουσα σειρά, τα δείγματα από την ευρύτερη περιοχή Kardjali, της Βουλγαρίας (P 10414/1-2) έχουν το επόμενο μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας βάρους. Φαίνεται από τα διαγράμματα (Εικ. 3.6) πως ο ρυθμός μείωσης του βάρους είναι πιο σταθερός όλων των περιοχών. Τέλος, το μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας βάρους εμφανίζουν τα δείγματα από τη Bergama της Τουρκίας (P 10424/1-2).

Τα δείγματα, κατά την προετοιμασία τους υπέστησαν λειοτρίβηση σε λεπτή σκόνη, κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Παρ' όλα αυτά λόγω της διαφορετικής προέλευσης των δειγμάτων πιθανώς να διαφέρει η κοκκομετρία τους. Το γεγονός αυτό πιθανώς να συντελεί στην αύξηση του ρυθμού μείωσης του βάρους, καθώς τα πιο λεπτομερή τεμάχια ελευθερώνουν τα μόρια του κρυσταλλικού νερού με μεγαλύτερη ευκολία, λόγω φαινομένων διάχυσης (Burriesci et al., 1985).

Η παρουσία του χημικά δεσμευμένου νερού, το οποίο αποβάλλεται σταδιακά με τη θέρμανση έως τους 1100°C, είναι αποτέλεσμα του τρόπου γένεσης του περλίτη και πιθανώς να συνδέεται με την ταχεία αύξηση του ιξώδους της λάβας ή του μάγματος (ταχεία ψύξη; [Burriesci et al., 1985](#); [Καπράλου, 2004](#)).



Εικ.3.6. Ενδεικτικά διαγράμματα TG – DTA των δειγμάτων περλίτη όλως των περιοχών δειγματοληψίας.

3.3 ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

3.3.1 Προσδιορισμός υγρασίας και απώλειας πύρωσης

Για την πραγματοποίηση του προσδιορισμού υγρασίας και απώλειας πύρωσης, αφού έχουμε ήδη λειοτριβήσει τα δείγματα σε μορφή λεπτής πούδρας, ζυγίζουμε περίπου 2g (με ακρίβεια $\approx 0.001g$) τριμμένου δείγματος, το βάζουμε στο προζυγισμένο χωνευτήριο πορσελάνης και το ξηραίνουμε στους $110^{\circ}C$ για 24h ώρες (Εικ. 3.7). Έπειτα ζυγίζουμε το χωνευτήριο και από τη διαφορά βάρους υπολογίζουμε την υγρασία (Πιν. 3.7).



Εικ. 3.7. α) Φούρνος ξήρανσης και β) φούρνος πύρωσης, όπου τοποθετήθηκαν τα δείγματα για τον υπολογισμό της φυσικής υγρασίας και του LOI, αντίστοιχα.

Στη συνέχεια επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία ζυγίζοντας περίπου 1g τριμμένου δείγματος. Τοποθετούμε το χωνευτήριο με την ξηρά ουσία σε κρύο φούρνο και θερμαίνουμε μέχρι τους $1050^{\circ}C$. Αφήνουμε μείνει 20 λεπτά σε αυτή την θερμοκρασία. Κατόπιν, βγάζουμε το χωνευτήριο από τον φούρνο πύρωσης, αφήνουμε πρώτα αποκτήσει θερμοκρασία δωματία και στη συνέχεια υπολογίζουμε την απώλεια πύρωσης (Πιν 3.6). Οι διαδικασία υπολογισμού τόσο της υγρασίας, όσο και της απώλειας πύρωσης γίνεται ως εξής:

Έστω,

- | | | |
|---|--|----------------|
| ➤ | Βάρος δείγματος | α |
| ➤ | Βάρος χωνευτηρίου και δείγματος | β |
| ➤ | Βάρος χωνευτηρίου και δείγματος
μετά την ξήρανση | γ |
| ➤ | Βάρος υγρασίας δείγματος
(απώλειας βάρους) | β-γ |
| ➤ | Βάρος χωνευτηρίου και δείγματος
μετά την ξήρανση (1100°C) | δ |
| ➤ | Βάρος ξηρού δείγματος | α-(β-γ) |

Οπότε, **Υγρασία (%) = $\frac{\beta-\gamma}{\alpha} * 100$** και **Απώλεια πύρωσης(%)= $\frac{\beta-\gamma}{\alpha-(\beta-\gamma)} * 100$**

Τα αποτελέσματα του ποσοστού επί τοις εκατό της υγρασίας και της απώλειας πύρωσης όλων των δειγμάτων φαίνονται στον Πίνακα 3.7:

Πίνακας 3.7. Προσδιορισμός των ποσοστών % της φυσικής υγρασίας και της απώλειας βάρους με πύρωση

Α/Α ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΥΓΡΑΣΙΑ					ΛΟΙ				
	Βάρος Κάψας (g)	Μάζα Δείγματος (g)	Συνολικό βάρος μετά την ξήρανση	Απώλεια Βάρους (g)	Υγρασία (%)	Μάζα Δείγματος (g)	Πριν την πύρωση (g)	Μετά την πύρωση (g)	Απώλεια Βάρους (g)	ΛΟΙ(%)
P-10415	19,095	1,9935	21,0885	0,0055	0,28	0,9972	21,0885	21,0312	0,0573	2,87
P-10416	19,9594	1,9846	21,944	0,0048	0,24	0,9975	21,944	21,888	0,056	2,82
P-10417	19,338	1,9894	21,3274	0,0051	0,26	0,9974	21,3274	21,2667	0,0607	3,05
P-10418	21,4737	2,002	23,4757	0,0037	0,18	0,9981	23,4757	23,4218	0,0539	2,69
P-10419	20,411	1,9987	22,4097	0,0063	0,32	0,9968	22,4097	22,3515	0,0582	2,91
P-10420	20,4777	1,9935	22,4712	0,006	0,30	0,9969	22,4712	22,4136	0,0576	2,89
P-	20,8417	1,9972	22,8389	0,0058	0,29	0,9971	22,8389	22,73	0,1089	5,45
P-	22,0404	1,9941	24,0345	0,0065	0,33	0,9967	24,0345	23,9658	0,0687	3,45
P-	17,7717	1,9955	19,7672	0,0056	0,28	0,9972	19,7672	19,7033	0,0639	3,20
P-	18,9718	1,99	20,9618	0,0131	0,66	0,9934	20,9618	20,8978	0,064	3,22
P-	20,5928	1,992	22,5848	0,007	0,35	0,9964	22,5848	22,5149	0,0699	3,51
P-	20,1166	2,0436	22,1602	0,0071	0,35	0,9965	22,1602	22,0861	0,0741	3,63
P-	19,9225	1,9983	21,9208	0,0073	0,37	0,9963	21,9208	21,8352	0,0856	4,28
P-	19,9832	1,9956	21,9788	0,0059	0,30	0,9970	21,9788	21,9027	0,0761	3,81

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα υπολογίσουμε τις μέσες τιμές και την τυπική απόκλιση αυτών (Πίν. 3.8) και παρατηρούμε πως τα δείγματα της Μήλου παρουσιάζουν χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας ($0,26\% \pm 0,05\%$) από τις υπόλοιπες περιοχές. Ακολουθούν τα δείγματα της Bergama, Τουρκία ($0,33\% \pm 0,05\%$), μετά με μικρή διαφορά ακολουθούν τα δείγματα της περιοχής Kardjali, Βουλγαρία (0.35%) και τέλος την περισσότερη φυσική υγρασία φαίνεται να έχουν τα δείγματα της Σαρδηνίας ($0,39\% \pm 0,18\%$).

Πίνακας 3.8. Ποσοστά % υγρασίας ανά περιοχή δειγματοληψίας

	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)			
	Μήλος, Ελλάδα	Σαρδηνία, Ιταλία	Kardjali, Βουλγαρία	Bergama, Τουρκία
Μέση τιμή	0,26	0,39	0,35	0,33
Τυπική απόκλιση	0,05	0,18	0,00	0,05

Ομοίως, παρατηρούμε πως η απώλεια βάρους που έχει προκύψει από την τοποθέτηση των δειγμάτων σε φούρνο πύρωσης (Πίν. 3.9), θερμοκρασίας 1050°C είναι πολύ μικρότερη στη Μήλο από τις υπόλοιπες περιοχές, όπως παρατηρήσαμε και στην υγρασία. Όμως, για τις υπόλοιπες περιοχές τα ποσοστά LOI (Loss On Ignition) είναι σημαντικά πιο χαμηλά. Το αμέσως μικρότερο ποσοστό LOI το εμφανίζουν τα δείγματα της Βουλγαρίας, ακολουθούν τα δείγματα της Σαρδηνίας και τέλος της μεγαλύτερη απώλεια πύρωσης εμφανίζουν τα δείγματα της Τουρκίας. Τα ποσοστά κυρίως του νερού που περιέχονται στους περλίτες και συσχετίζονται με την απώλεια πύρωσης, και όχι με την φυσική υγρασία, προέρχονται από την ταχύτητα ψύξης της λάβας. Ένα ποσοστό του νερού κατά την απότομη ψύξη της λάβας δεν πρόλαβε να εξατμιστεί και παγιδεύτηκε στη μάζα της υέλου (Ρούλια, 1996).

Πίνακας 3.9. Ποσοστά % απώλειας πύρωσης (LOI) ανά περιοχή δειγματοληψίας

	LOI (%)			
	Μήλος, Ελλάδα	Σαρδηνία, Ιταλία	Kardjali, Βουλγαρία	Bergama, Τουρκία
Μέση τιμή	2,87	3,83	3,57	4,05
Τυπική απόκλιση	0,12	1,09	0,08	0,33

Τέλος, συγκρίνοντας του δύο παραπάνω πίνακες θα μπορούσαμε να δούμε πως αν αφαιρέσουμε από το ποσοστό του LOI (Loss On Ignition) την υγρασία το περιεχόμενο κρυσταλλικό νερό ακολουθεί την ίδια διαβάθμιση με αυτή του LOI (Πίν. 3.10). Το περιεχόμενο κρυσταλλικό νερό είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην ικανότητα διόγκωσης του περλίτη, καθώς οι χαμηλότερες τιμές ειδικού βάρους και δείκτη διάθλασης ενός φυσικού γυαλιού συσχετίζονται με υψηλότερο περιεχόμενο σε κρυσταλλικό νερό και μεγαλύτερη δυνατότητα διόγκωσης (Chesterman, 1975).

Πίνακας 3.10. Συγκριτικός πίνακας ποσοστών % απώλειας πύρωσης (LOI) και υγρασίας ανά περιοχή δειγματοληψίας

	LOI (%) - ΥΓΡΑΣΙΑ (%)			
	Μήλος, Ελλάδα	Σαρδηνία, Ιταλία	Kardjali, Βουλγαρία	Bergama, Τουρκία
Μέση τιμή	2,61	3,44	3,22	3,72
Τυπική απόκλιση	0,07	0,91	0,08	0,28

3.3.2 Προσδιορισμός pH (Soil and waste pH, Method 9045C, SW846, U.S. EPA, 1996)

Για τον προσδιορισμό pH των δειγμάτων περλίτη βράζουμε απιονισμένο νερό, ώστε να απομακρυνθεί το CO₂. Το αφήνουμε να κρυώσει στους 32°C. Κατόπιν αναδεύουμε για 1min 10g δείγματος αφού έχουμε ήδη λειοτριβήσει τα δείγματα σε μορφή λεπτής πούδρας, με 200ml προβρασμένο απιονισμένο νερό στους 32°C. Κατόπιν διηθούμε και ψύχουμε στους 25°C και μετράμε το pH στο pH – μετρο. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το Metrohm 827 pH Lab Meter (Εικ. 3.8). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα:

Πίνακας 3.11. Αποτελέσματα μετρήσεων pH.

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ pH
P-10415	7,41
P-10416	7,19
P-10417	6,87
P-10418	6,64
P-10419	6,33
P-10420	6,34
P-10375/1	7,23
P-10375/2	6,13
P-10375/3	6,16
P-10375/4	6,21
P-10414/1	7,14
P-10414/2	5,60
P-10424/1	6,04
P-10424/2	6,30
Απιονισμένο	5,60
Νερό βρύσης	7,41



Εικ. 3. 8. Συσκευή μέτρησης pH, Metrohm 827 pH Lab Meter, όπου μετρήθηκε το pH των δειγμάτων, στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά. Α.Ε.

3.3.3 Χημική ανάλυση με την τεχνική του φθορισμού ακτίνων X (XRF)

Το αντικείμενο της διαδικασίας που αφορά στη χημική ανάλυση των 14 δειγμάτων περλίτη αφορά στη χημική ανάλυση σε μορφή υάλου (πέρλας) με την τεχνική του φθορισμού ακτίνων X. Τα στοιχεία που αναλύονται με αυτή τη διαδικασία είναι τα οξείδια του πυριτίου, αργιλίου, τιτανίου, σιδήρου, ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου και καλίου. Η ανάλυση όλων των δειγμάτων έγινε σε συσκευή XRF PW 2400 της Philips στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.



Εικ. 3.9. Δημιουργία υάλων (πέρλες) στην συσκευή CLAISSE FLUXY. Η διαδικασία γίνεται ανά τρία δείγματα, στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Κατά την προετοιμασία των δειγμάτων, αφού έχει πραγματοποιηθεί λειοτρίβηση τους σε λεπτή σκόνη, τοποθετούνται σε ένα χωνευτήριο και ζυγίζονται (ζυγός ακριβείας $\pm 0,0001\text{g}$) οι εξής ποσότητες: 1,4g δείγματος και 7g αντιδραστηρίου Lithium Tetraborate. Κατόπιν, το μίγμα ομογενοποιείται προσεκτικά σε ειδική συσκευή. Στη συνέχεια τα χωνευτήρια με το μίγμα τοποθετούνται στη συσκευή CLAISSE FLUXY για τη δημιουργία υάλων (Εικ. 3.9). Τέλος, οι έτοιμες πέρλες τοποθετούνται στη συσκευή XRF PW 2400 της Philips. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.12. Χημική ανάλυση % κ.β. του συνόλου των αδιόγκωτων δειγμάτων από τις περιοχές δειγματοληψίας.

A/A ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	LOI (%)	Total
P-10415	75.34	12.01	0.14	1.07	0.13	1.21	4.18	3.05	2.87	100.00
P-10416	75.45	12.05	0.14	1.05	0.12	1.12	4.15	3.11	2.82	100.00
P-10417	75.13	12.10	0.14	1.03	0.12	1.15	4.18	3.12	3.05	100.00
P-10418	75.31	12.16	0.14	1.08	0.14	1.15	4.16	3.18	2.69	100.00
P-10419	75.33	11.92	0.09	0.85	0.07	0.65	3.58	4.60	2.91	100.00
P-10420	75.40	11.80	0.08	0.80	0.02	0.66	3.66	4.68	2.89	100.00
P-10375/1	71.31	12.32	0.18	1.43	0.06	0.61	3.19	5.45	5.45	100.00
P-10375/2	72.84	12.55	0.18	1.48	0.07	0.64	3.19	5.60	3.45	100.00
P-10375/3	72.89	12.65	0.18	1.47	0.06	0.63	3.26	5.66	3.20	100.00
P-10375/4	72.93	12.64	0.18	1.48	0.06	0.62	3.29	5.58	3.22	100.00
P-10414/1	75.49	12.07	0.07	0.53	0.00	0.36	3.01	5.00	3.47	100.00
P-10414/2	74.57	13.04	0.08	0.55	0.00	0.38	2.92	4.87	3.59	100.00
P-10424/1	74.04	12.32	0.11	0.71	0.08	0.60	2.95	4.91	4.28	100.00
P-10424/2	74.72	12.13	0.11	0.70	0.00	0.60	3.47	4.46	3.81	100.00

3.3.4 Χημική ανάλυση με τη μέθοδο ICP-MS

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις με τη μέθοδο ICPMS, στα αναλυτικά εργαστήρια της εταιρείας ALS Global, ALS Minerals, στα εργαστήρια OMAC Minerals Lab στην Ιρλανδία, στα 14 δείγματα από τις περιοχές

της Ν. Μήλου, Ελλάδα, της Ν. Σαρδηνία, Ιταλία, της περιοχής Kardjali, Βουλγαρία και της περιοχής Bergama, Τουρκία. Σκοπός των χημικών αναλύσεων είναι ο προσδιορισμός κάποιων ιχνοστοιχείων που περιέχονται στα υπό μελέτη δείγματα. Τα δείγματα εστάλησαν σε μορφή λεπτής πούδρας.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται στους κάτωθι πίνακες:

A/A ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Fe %	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	K %
P 10415	0,01	6,07	1,5	490	1,07	0,08	0,87	0,04	43	11,7	<1	2,59	3,50	0,75	11,70	0,06	2,10	0,02	2,39
P 10416	0,01	6,22	2,1	550	1,08	0,08	0,85	0,03	46	16,2	<1	2,78	0,50	0,74	12,35	<0,05	2,30	0,02	2,48
P 10417	0,02	6,20	2,6	510	1,21	0,09	0,86	0,03	43	24,4	<1	2,77	0,60	0,75	12,25	<0,05	2,20	0,02	2,48
P 10418	0,01	6,15	1,6	500	1,14	0,09	0,84	0,02	44	12,9	<1	2,67	3,40	0,75	11,95	<0,05	2,30	0,02	2,46
P 10419	0,01	6,11	3,4	480	1,64	0,19	0,55	0,04	55	8,7	<1	4,60	3,30	0,61	12,45	0,05	2,60	0,02	3,60
P 10420	0,01	6,24	4,5	470	1,55	0,14	0,54	0,02	49	14,2	<1	4,53	0,70	0,62	12,00	0,07	2,50	0,02	3,62
P 10375/1	0,09	6,61	2,3	190	4,30	0,06	0,55	0,26	138	8,8	<1	2,46	5,20	1,10	22,30	0,18	6,10	0,08	4,39
P 10375/2	0,08	6,56	4,2	190	4,32	0,08	0,54	0,23	135	23,8	<1	2,42	27,40	1,11	22,70	0,14	5,80	0,07	4,34
P 10375/3	0,06	6,53	1,9	190	4,31	0,08	0,54	0,19	136	10,0	<1	2,33	4,60	1,10	22,70	0,16	5,10	0,07	4,30
P 10375/4	0,05	6,48	2,3	190	4,42	0,06	0,53	0,22	138	16,7	<1	2,41	17,20	1,09	23,00	0,14	5,30	0,08	4,26
P 10414/1	<0,01	6,19	5,5	10	6,37	0,53	0,35	0,02	42	15,6	<1	16,05	16,05	0,41	16,80	0,05	3,50	0,04	3,89
P 10414/2	<0,01	6,43	5,0	<10	7,00	0,53	0,36	0,02	41	10,2	<1	15,35	15,35	0,41	17,40	0,07	3,80	0,05	4,02
P 10424/1	<0,04	6,39	11,5	1880	2,22	0,28	0,53	0,09	59	16,2	<1	3,63	3,63	0,55	13,70	<0,05	2,60	0,03	3,78
P 10424/2	<0,03	6,29	11,9	1920	2,17	0,27	0,52	0,06	56	10,4	<1	3,80	3,80	0,55	13,75	0,08	2,60	0,02	3,42

Πίνακας 3.13. Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων του συνόλου των αδιόγκωτων δειγμάτων από τις περιοχές δειγματοληψίας.

Πίνακας 3.14. Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων του συνόλου των αδιόγκωτων δειγμάτων από τις περιοχές δειγματοληψίας.

Α/Α ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	La ppm	Li pp	Mg %	Mn pp	Mo ppm	Na %	Nb ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	Rb ppm	Re ppm	S %	Sb ppm	Sc ppm	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm
P 10415	21,6	33,4	0,12	421	1,27	2,67	7,4	<0,02	110	8,4	88,8	0,006	<0,01	0,15	3,00	1	0,6	69,8	1,30
P 10416	23,5	32,9	0,12	438	1,25	2,73	7,7	<0,02	120	8,6	94,4	0,003	<0,01	0,18	3,10	1	0,8	70,8	1,19
P 10417	22,4	33,2	0,11	433	1,35	2,74	7,6	<0,02	120	8,9	91,1	0,004	<0,01	0,16	3,00	<1	0,7	69,0	1,33
P 10418	22,5	34,3	0,12	431	1,25	2,72	7,4	<0,02	110	8,5	87,6	0,007	<0,01	0,15	3,00	<1	0,8	65,4	1,37
P 10419	27,6	47,2	0,06	630	1,82	2,39	12,3	<0,02	60	12,8	143,0	0,005	<0,01	0,28	4,40	1	1,4	28,7	2,01
P 10420	23,4	31,0	0,06	638	1,72	2,37	12,1	<0,02	50	14,0	138,0	0,007	<0,01	0,28	4,20	1	1,5	27,0	1,94
P 10375/1	67,7	20,2	0,09	376	3,19	2,14	40,8	<0,02	250	32,9	152,0	0,012	<0,01	<0,05	4,40	1	1,7	24,9	3,41
P 10375/2	65,7	21,7	0,09	376	3,42	2,06	41,0	<0,02	240	34,7	143,0	0,012	<0,01	0,23	4,50	1	1,5	24,6	3,76
P 10375/3	64,7	21,8	0,09	375	3,18	2,12	41,1	<0,02	250	33,0	169,5	0,005	<0,01	0,18	4,60	1	1,7	25,6	3,56
P 10375/4	63,7	17,5	0,09	369	3,54	2,10	41,6	<0,02	240	32,1	169,5	0,003	<0,01	0,13	4,80	1	1,7	26,0	4,12
P 10414/1	18,3	3,7	0,04	871	2,26	1,89	28,3	<0,02	20	49,1	423,0	0,006	<0,01	0,28	4,00	1	4,8	3,5	3,00
P 10414/2	19,2	3,1	0,04	905	2,25	1,67	29,3	<0,02	20	47,7	426,0	0,004	<0,01	0,27	4,40	1	5,0	3,8	3,14
P 10424/1	27,5	8,0	0,10	367	2,86	2,01	11,0	<0,02	80	43,0	136,5	0,005	<0,01	0,90	2,60	1	1,3	105,0	1,27
P 10424/2	28,1	9,1	0,06	378	2,84	2,23	11,1	<0,02	80	40,8	134,0	<0,002	<0,01	0,86	2,60	<1	1,4	105,0	1,06

Πίνακας 3.15. Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων του συνόλου των αδιάγκωτων δειγμάτων από τις περιοχές δειγματοληψίας.

Α/Α ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Te ppm	Th ppm	Ti ppm	Tl ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm
P 10415	<0,05	11,3	0,079	0,44	2,5	7	335	16,3	22	52,1
P 10416	<0,05	12,1	0,075	0,42	2,7	6	214	17,4	22	53,8
P 10417	<0,05	11,8	0,077	0,45	2,6	7	294	17,1	22	55,2
P 10418	<0,05	12,0	0,077	0,41	2,6	7	345	16,8	22	54,2
P 10419	<0,05	19,2	0,046	0,66	4,6	4	251	34,0	18	59,8
P 10420	<0,05	19,3	0,047	0,61	4,7	3	198	31,8	19	56,0
P 10375/1	<0,05	26,2	0,110	0,80	3,9	2	304	33,1	80	147,0
P 10375/2	<0,05	25,6	0,108	0,75	3,8	2	830	32,6	81	147,5
P 10375/3	<0,05	26,0	0,108	0,76	3,5	2	328	31,6	77	145,0
P 10375/4	<0,05	25,5	0,108	0,78	3,5	2	680	31,6	78	147,0
P 10414/1	<0,05	29,7	0,108	3,20	12,6	1	245	35,1	31	60,7
P 10414/2	<0,05	29,5	0,045	3,24	12,0	1	148	39,1	29	66,8
P 10424/1	<0,05	20,7	0,046	0,85	4,4	1	304	18,8	35	60,0
P 10424/2	<0,05	19,5	0,063	0,84	4,3	1	134	19,3	32	58,1

Όπως έχει προαναφερθεί, ο περλίτης είναι ένα όξινο και ενυδατωμένο ηφαιστειακό γυαλί, το οποίο σύμφωνα με τη θερμοδυναμική, με την πάροδο του γεωλογικού χρόνου τείνει να αφυελωθεί και να οδηγηθεί σε πιο κρυσταλλικές συνθήκες.

Από την βιβλιογραφία είναι γνωστό πως κάποια ιχνοστοιχεία κατά το στάδιο της κρυστάλλωσης εμφανίζουν αυξημένη κινητικότητα. Ιχνοστοιχεία όπως τα αλογόνα (F, Cl, Br, I; Noble et al., 1967; Lipman et al., 1969), το λίθιο (Zielinski et al., 1977), το ρουβίδιο (Zielinski et al., 1977), το ουράνιο (Rosholt et al., 1971; Shatkov et al., 1970), το μολυβδαίνιο (Haffty and Noble, 1972), το βηρύλλιο (Shatkov et al., 1970) και το κέσιο (Shatkov, 1971) έχει καταγραφεί να εμφανίζουν μειωμένες συγκεντρώσεις στους πιο κρυσταλλικούς ρυόλιθους εν αντιθέσει με τους πιο υελώδεις. Αντίθετα, και το στρόντιο (Noble and Hedge, 1969) παρουσιάζει αυξημένες συγκεντρώσεις στους πιο κρυσταλλικούς ρυόλιθους. Τέλος, η ενυδάτωση προκαλεί οξειδωση του σιδήρου, απώλεια νατρίου και αύξηση του καλίου (Lipman, 1965; Aramaki and Lipman, 1965; Truesdell, 1966; Noble, 1967).

Παρατηρούμε πως το Ba, το Li και ο P παρουσιάζουν χαμηλές τιμές στα δείγματα της Βουλγαρίας, πιθανά λόγω της παλαιότητας του περλίτη. Επίσης, παρατηρείται ένας εμπλουτισμός στο Cs, το Th και το U το οποίο πιθανώς οφείλεται σε έναν δευτερογενή εμπλουτισμό, καθώς γενικά παρατηρείται ένας εμπλουτισμός στα ραδιενεργά στοιχεία. Στα δείγματα της Σαρδηνίας παρατηρούμε ιδιαίτερα αυξημένες τιμές στα στοιχεία των σπανίων γαιών, όπως το Sc, το Y, το La, το και το Ce. Κατόπιν παρατηρούμε αυξημένες τιμές στο Ga, στο Hf, στο In, στο Mo, στο Nb, στο P και στο Zr. Στα δείγματα της Τουρκίας παρατηρούνται αυξημένες τιμές στο As και στο Ba, πιθανά λόγω κοντινής μεταλλοφορίας στις γύρω περιοχές. Επίσης, παρουσιάζει αυξημένες τιμές και στο Sr. Τέλος, τα δείγματα της Μήλου εμφανίζουν αυξημένες τιμές στο Li και σχετικά αυξημένες τιμές στο Sr, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με την βιβλιογραφία, η οποία αναφέρει αυξημένες τιμές Sr στους πιο κρυσταλλικούς ρυόλιθους.

3.3.5 Προσδιορισμός διαλυμένων ιόντων Na⁺, K⁺ και Cl⁻

Προσδιορισμός διαλυμένων ιόντων Na⁺ και K⁺

Για τον προσδιορισμό των διαλυμένων ιόντων Na και K βάλαμε 5g δείγματος, αφού έχουμε ήδη λειοτριβήσει τα δείγματα σε μορφή λεπτής πούδρας, και 100ml απεσταγμένου νερού σε πλαστικά δοχεία. Μετά τοποθετήσαμε τα δοχεία αυτά στον

μαγνητικό αναδευτήρα για 30΄ και στη συνέχεια τα υποβάλαμε σε διαδικασία φυγοκέντρισης για 10΄. Κατόπιν αφήσαμε 24h τα δοχεία σε ηρεμία και με ένα σιφώνιο πήραμε ικανές ποσότητες, τις οποίες τις τοποθετήσαμε σε ποτηράκια ζέσεως. Το διάλυμα που προέκυψε ήταν διαυγές και δεν παρέστη ανάγκη χρήσης ιθμού. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με την τεχνική της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (Perkin Elmer) στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.16. Αποτελέσματα αναλύσεων διαλυμένων ιόντων Na⁺ και K⁺ στον ατομικό απορροφητή με εξαχνωτή γραφίτη του συνόλου των δειγμάτων.

AAS		
A/A ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Na (ppm)	K (ppm)
P 10415	13,85	1,30
P 10416	13,31	1,17
P 10417	12,51	1,11
P 10418	13,49	1,30
P 10419	10,70	1,76
P 10420	12,72	2,31
P10375/1	10,40	3,76
P10375/2	10,72	3,83
P10375/3	9,85	3,73
P10375/4	10,41	4,60
P 10414/1	9,65	4,44
P 10414/2	7,00	4,31
P 10424/1	9,90	3,80
P 10424/2	11,05	1,99
BLANK 1	0,03	0,00
BLANK 2	0,04	0,02
BLANK 3	0,04	0,02

Παρατηρείται πως τα δείγματα της Μήλου (P 10415-20) παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Na (ppm). Ακολουθούν με φθίνουσα σειρά τα δείγματα της Τουρκίας (P 10424/1-2), τα δείγματα της Σαρδηνίας (P 10375/1-4) και τέλος τις μικρότερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τα δείγματα της Βουλγαρίας (P 10414/1-2).

Οι συγκεντρώσεις του Κ (ppm) εμφανίζονται με ακριβώς, αντίθετη σειρά. Παρατηρείται πως τα δείγματα της Μήλου (P 10415-20) παρουσιάζουν τις μικρότερες συγκεντρώσεις Κ (ppm). Ακολουθούν με αύξουσα σειρά τα δείγματα της Τουρκίας (P 10424/1-2), τα δείγματα της Σαρδηνίας (P 10375/1-4) και τέλος τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τα δείγματα της Βουλγαρίας (P 10414/1-2).

Όπως έχει αναφερθεί η ενυδάτωση προκαλεί απώλεια του νατρίου και αύξηση καλίου (Lipman, 1965; Aramaki and Lipman, 1965; Truesdell, 1966; Noble, 1967).



Εικ. 3.10. α) Συσκευή φυγοκέντρισης και β) μαγνητικός αναδευτήρας, όπου πραγματοποιήθηκε η προετοιμασία για τις μετρήσεις των συγκεντρώσεων των διαλυμάτων στον ατομικό απορροφητή, στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Προσδιορισμός διαλυμένων ιόντων Cl^-

Για τον προσδιορισμό των διαλυμένων ιόντων Cl^- εφαρμόζεται η μέθοδος του Mohr, η οποία παρατίθεται αναλυτικά στο Παράρτημα III.

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.17. Αποτελέσματα αναλύσεων διαλυμένων ιόντων Cl⁻ με έκπλυση.

ΕΚΠΛΥΣΗ Cl ⁻		
Α/Α ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Cl ⁻ %	Cl ⁻ (ppm)
P 10415	0,001	12
P 10416	0,012	118
P 10417	0,002	24
P 10418	0,002	24
P 10419	0,004	36
P 10420	0,006	59
P10375/1	0,005	47
P10375/2	0,001	12
P10375/3	0,004	36
P10375/4	0,002	24
P 10414/1	0,001	12
P 10414/2	0,000	0
P 10424/1	0,004	36
P 10424/2	0,001	12

Παρατηρούμε πως οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων της Μήλου, της Σαρδηνίας και της Τουρκίας κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με εξαίρεση το δείγμα P 10416 της Μήλου, το οποίο εμφανίζει υψηλή συγκέντρωση Cl⁻. Επίσης, βλέπουμε πως στα δείγματα της Βουλγαρίας οι συγκεντρώσεις Cl⁻ είναι χαμηλές.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα αλογόνα παρουσιάζουν μειωμένες συγκεντρώσεις στους πιο κρυσταλλικούς ρυόλιθους (Noble et al., 1967; Lipman et al., 1969).

3.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ - ΔΙΟΓΚΩΣΗ

3.4.1 Διαδικασία προετοιμασίας των κλασμάτων και διόγκωση σε πρότυπες συνθήκες

Η προετοιμασία των δειγμάτων ξεκίνησε λαμβάνοντας περίπου ποσότητα 2kg από το κάθε ένα από τα 14 δείγματα σε σύνολο. Ακολούθησε θραύση του υλικού σε σιαγονωτό σπαστήρα (για ROM δείγματα). Κατόπιν ακολούθησε τοποθέτηση των δειγμάτων σε φούρνο θερμοκρασίας 105°C και παραμονής τους για 20h, ώστε να φύγει η φυσική τους υγρασία. Στη συνέχεια βγήκαν τα δείγματα από τον φούρνο και παρέμειναν περίπου 30', ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου.

Με τη μέθοδο της τεταρτητόμησης λαμβάνουμε αντιπροσωπευτικές ποσότητες κάθε δείγματος για τη δημιουργία τριών κλασμάτων ξεχωριστά. Το σύνολο των διαδικασιών για τη διόγκωση των περλιτών πραγματοποιήθηκε στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. Τα κλάσματα που θα παρασκευαστούν είναι:

- Το κλάσμα 0,5/0,075, το οποίο αντιστοιχεί στον βιομηχανικό όρο «ψιλό κλάσμα» (fine perlite) ή πρότυπο κλάσμα
- Το κλάσμα 1,2/0,5, το οποίο τεχνητό μίγμα αντιστοιχεί στον βιομηχανικό όρο «μεσαίο κλάσμα» (medium perlite) και
- Το κλάσμα 2,5/1,18, το οποίο τεχνητό μίγμα αντιστοιχεί στον βιομηχανικό όρο «χονδρό κλάσμα» (coarse perlite).

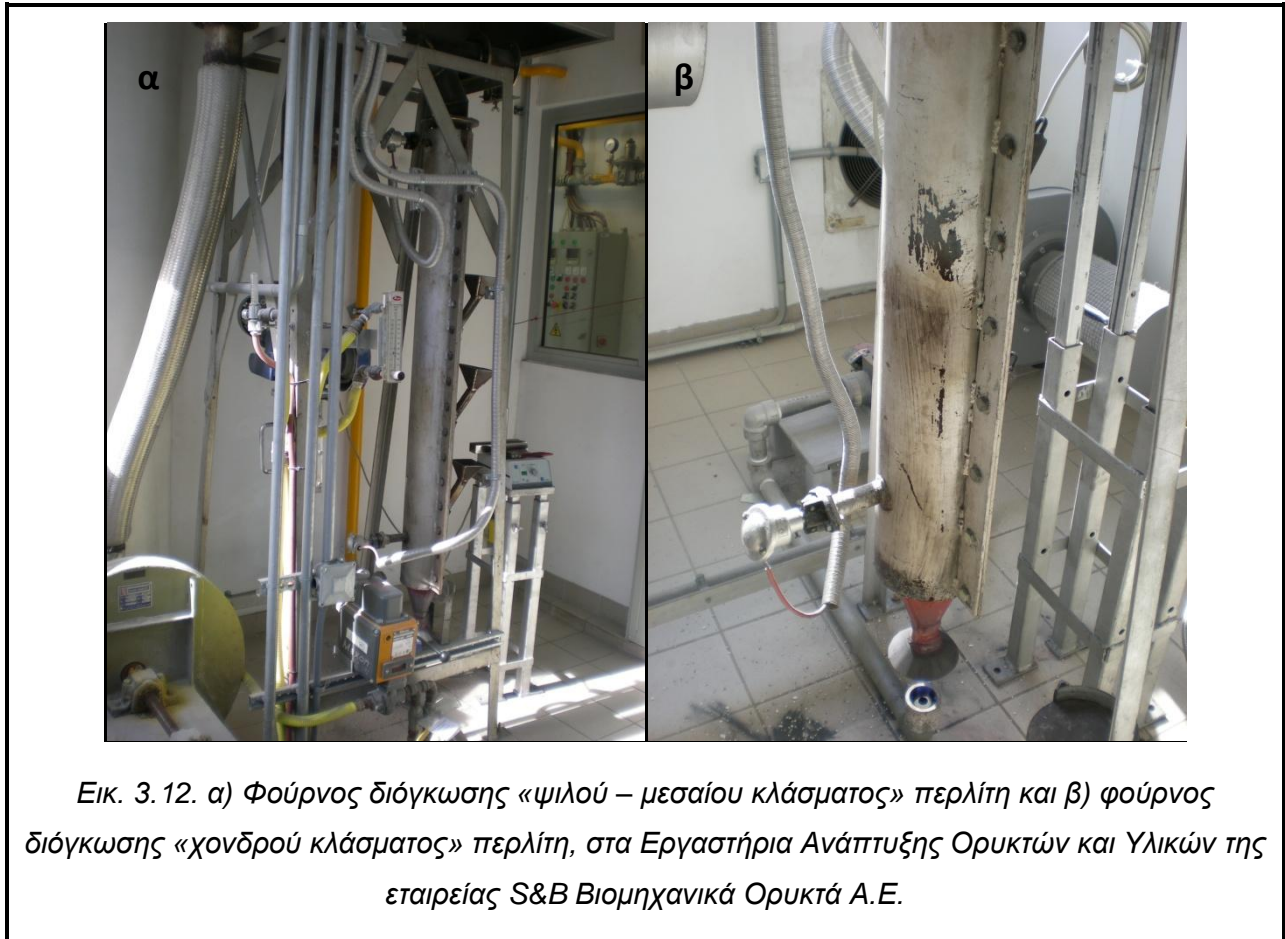
Για την παρασκευή του «ψιλού κλάσματος» ελήφθησαν 100g υλικού από το κάθε δείγμα. Αντίστοιχα για την παρασκευή του «μεσαίου κλάσματος» ελήφθησαν 400g από το κάθε δείγμα και για την Παρασκευή του «χονδρού κλάσματος» επίσης 400g από το κάθε δείγμα. Τέλος ακολουθήθηκε μια τυποποιημένη διαδικασία για την Παρασκευή των τριών κλασμάτων στα 14 δείγματα.



Τα κλάσματα που προέκυψαν υπέστησαν διόγκωση σε κατακόρυφο εργαστηριακό φούρνο διόγκωσης πραγματοποιήθηκε στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. στην Αθήνα. Η διαδικασία διόγκωσης για το «ψιλό» και το «μεσαίο» κλάσμα πραγματοποιήθηκε σε διαφορετικό φούρνο από αυτήν του «χονδρού» κλάσματος. Η θέρμανση του φούρνου

έγινε με λύχνο, στον οποίο υπήρχε σταθερή παροχή γκαζιού. Πριν από την έναρξη της λειτουργίας τίθεται σε λειτουργία η αναρρόφηση και ο κυκλώνας (airlock).

Το «ψιλό κλάσμα» κάθε δείγματος διογκώθηκε, ανά 20 gr, σε θερμοκρασία T1 μετρημένη με θερμοστοιχείο που απείχε από το κάτω μέρος της φλόγας 170 cm και T2



μετρημένη με θερμοστοιχείο που απείχε 45 cm. Για το «ψιλό κλάσμα» πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές διογκώσεων όλων των δειγμάτων, με σκοπό την εξαγωγή ασφαλέστερων αποτελεσμάτων. Το «μεσαίο κλάσμα» κάθε δείγματος διογκώθηκε, ανά 40 gr, σε θερμοκρασία T1 μετρημένη με θερμοστοιχείο που απείχε από το κάτω μέρος της φλόγας 170 cm και T2 μετρημένη με θερμοστοιχείο που απείχε 45 cm. Αντίστοιχα, το «χονδρό κλάσμα» κάθε δείγματος διογκώθηκε, ανά 40 gr, σε θερμοκρασία T1 μετρημένη με θερμοστοιχείο που απείχε από το κάτω μέρος της φλόγας 170 cm και T2 μετρημένη με θερμοστοιχείο που απείχε 45 cm. Οι θερμοκρασίες διόγκωσης των τριών κλασμάτων όλων των δειγμάτων φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 3.18. Θερμοκρασίες διόγκωσης όλως των κλασμάτων στο σύνολο των δειγμάτων.

Α/Α ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Διόγκωση σε 0,5/0,075 κλάσμα (1η σειρά διογκώσεων)		Διόγκωση σε 0,5/0,075 κλάσμα (2η σειρά διογκώσεων)		Διόγκωση σε 1,2/0,5 τεχνητού μίγματος		Διόγκωση σε 2,5/01,18 τεχνητού μίγματος	
	T1 (°C)	T2 (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T1 °C	T2 °C	T1 °C	T2 °C
P-10415	637	458	635	455	651	480	656	1685
P-10416	637	457	634	453	655	482	655	1690
P-10417	636	455	634	453	650	480	657	1695
P-10418	636	453	634	451	650	480	657	1684
P-10419	637	457	635	454	650	481	661	1692
P-10420	637	457	635	453	650	481	659	1688
P-10375/1	640	461	635	450	654	488	672	1735
P-10375/2	641	461	635	449	653	486	672	1735
P-10375/3	641	461	635	449	654	484	672	1730
P-10375/4	639	461	635	449	654	482	670	1742
P-10414/1	638	457	634	449	654	486	659	1696
P-10414/2	639	457	635	449	655	486	671	1748
P-10424/1	637	457	635	451	650	481	672	1744
P-10424/2	637	544	635	451	650	480	672	1750

3.4.2 Προσδιορισμός Βάρους Μονάδας Όγκου Διογκωμένων Περλιτών

Ο περλίτης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι ένα ηφαιστειακό υαλώδες πέτρωμα. Χαρακτηριστική του ιδιότητα είναι πως όταν θερμανθεί απότομα αλλά ελεγχόμενα (κυμαινόμενη θερμοκρασία ανάλογα με το είδος και την προέλευση του περλίτη) αυξάνει τον αρχικό φαινόμενο όγκο του 4-20 φορές, με αντίστοιχη ελάττωση του ειδικού του βάρους. Η φαινόμενη πυκνότητα του αδιόγκωτου περλίτη κυμαίνεται περίπου στο 1,1 gr/cm³, ενώ του διογκωμένου από 0,04-0,15 gr/cm³ (Ρούλια, 1995). Το βάρος ανά μονάδα όγκου ΒΜΟ αντιστοιχεί στην ασυμπιεστή ή χαλαρή φαινόμενη πυκνότητα του υλικού, δηλαδή στην φαινόμενη πυκνότητα του υλικού εφ' όσον αυτό δεν έχει διαταραχθεί και δεν έχει επέλθει συμπίεσή του. Το βάρος ανά μονάδα όγκου (φαινόμενη πυκνότητα) του διογκωμένου περλίτη υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{BMO} = 100 * \frac{\text{Βάρος (g)}}{\text{Όγκος (ml)}}$$

Στα διογκωμένα κλάσματα των δειγμάτων περλίτη ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία σε όλα τα test διόγκωσης, με τη χρήση ενός ογκομετρικού κυλίνδρου 1

λίτρου και ενός εργαστηριακού ζυγού ακριβείας $\approx 0,001\text{g}$, πραγματοποιήθηκε στα Εργαστήρια Ανάπτυξης Ορυκτών και Υλικών της εταιρείας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. στην Αθήνα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: συλλογή της ποσότητας του διογκωμένου υλικού και ρίψη με τη βοήθεια πλαστικού ή χάρτινου χωνιού σε ογκομετρικό κύλινδρο των 1000ml, που είναι τοποθετημένος στο ζυγό ακριβείας. Μέτρηση του όγκου του υλικού, με ακρίβεια 3-5ml, και καταγραφή της ένδειξης. Θα πρέπει να σημειωθεί πως υπολογίζουμε την αρχική ποσότητα του αδιόγκωτου δείγματος, η οποία για το «ψιλό» κλάσμα είναι 20g και για τα υπόλοιπα 40g. Επίσης, κατά τη διόγκωση του «μεσαίου» και του «χονδρού» κλάσματος συλλέγονται και τα μη διογκούμενα συστατικά των δειγμάτων (drops).

Στους πίνακες που παρατίθενται παρακάτω υπολογίζεται η τιμή BMO διορθωμένη, η οποία υπολογίζεται ως εξής: Ορίζουμε σαν assigned value του στάνταρ δείγματος τα 30kg/m^3 . Τότε η διορθωμένη τιμή BMO του δείγματος θα είναι:

$$\text{BMO}_{\text{διορθωμένο}} = \text{BMO}_{\text{αρχικό}} * \frac{30}{\text{BMO}_{\text{στανταρ}}}$$

Ως τιμή στάνταρ στον τύπο υπολογίζουμε τη μέτρηση ενός πρότυπο υλικού, το οποίο είναι καθορισμένο σε κάθε τεχνητό μίγμα και το αποτέλεσμα της κάθε μέτρησης γίνεται αποδεκτό μόνο ένα είναι ανάμεσα στα προκαθορισμένα όρια. Τα όρια αυτά για το «ψιλό» κλάσμα είναι $29\text{-}31\text{kg/m}^3$, για το «μεσαίο» κλάσμα είναι $83\text{-}87\text{ kg/m}^3$ και για το «χονδρό» κλάσμα είναι $88\text{-}92,5\text{ kg/m}^3$.

Επιπλέον, στις διογκώσεις των χονδρών κλασμάτων μετά από κάθε διόγκωση καταγράφουμε το βάρος των drops-out. Ύστερα ογκομετρούμε το διογκωμένο υλικό και στη συνέχεια το αποχέουμε σε κόσκινο $0,85\text{mm}$ και αφού κοσκινίσουμε το δείγμα μετράμε και καταγράφουμε το BMO και το βάρος του κλάσματος $+0,85\text{mm}$.

Εάν το δείγμα «γυαλώνει» επαναλαμβάνεται η διόγκωση με αυξημένη αναρρόφηση. Εάν και πάλι «γυαλώσει» το δείγμα θεωρείται ακατάλληλο για διόγκωση υπό τις δοκιμασθείσες συνθήκες. Οι πίνακες με τις διογκώσεις όλων των κλασμάτων και όλων των δειγμάτων παρατίθενται παρακάτω και περιλαμβάνουν όλα όσα έχουν προαναφερθεί.

• «ΨΙΛΟ» ΚΛΑΣΜΑ

Πίνακας 3.19. Μάζα και βάρος ανά μονάδα όγκου του διογκωμένου «ψιλού» κλάσματος(1^η σειρά διογκώσεων) στο σύνολο των δειγμάτων.

Διόγκωση σε 0,5/0,075 κλάσμα (1η σειρά διογκώσεων)					
A/A ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΑΖΑ (g)	BMO (kg/m ³)	assigned value(kg/m ³)	BMO std (kg/m ³)	BMO διορθ (kg/m ³)
STD	17,3	28,8	29	28,8	29,00
P-10415	18,2	41,4	29	28,8	41,69
P-10416	18,3	45,55	29	28,8	45,87
P-10417	17,7	36,9	29	28,8	37,16
P-10418	18,7	51,9	29	28,8	52,26
STD	17,4	29,5	29	29,5	29,00
P-10419	17	28,8	29	29,5	28,31
P-10420	17,8	35,2	29	29,5	34,60
P-10424/1	15,3	48	29	29,5	47,19
P-10424/2	16,2	30,6	29	29,5	30,08
STD	17,7	29,5	29	29,5	29,00
P-10414/1	16,9	80,5	29	29,5	79,14
P-10414/2	17,6	97,8	29	29,5	96,14
STD	17,5	29,2	29	29,2	29,00
P-10375/1	18,2	46,7	29	29,2	46,38
P-10375/2	18,1	42,1	29	29,2	41,81
P-10375/3	18,6	48,9	29	29,2	48,57
P-10375/4	18,2	46,7	29	29,2	46,38

Πίνακας 3. 20. Μάζα και βάρος ανά μονάδα όγκου του διογκωμένου «ψιλού» κλάσματος (2^η σειρά διογκώσεων) στο σύνολο των δειγμάτων.

Διόγκωση σε 0,5/0,075 κλάσμα (2 ^η σειρά διογκώσεων)					
A/A ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΑΖΑ (g)	BMO (kg/m ³)	assigned value (kg/m ³)	BMO std (kg/m ³)	BMO διορθ (kg/m ³)
STD	17,5	29,2	29	29,2	29,00
P-10415	18	40,9	29	29,2	40,62
P-10416	17,8	41,4	29	29,2	41,12
P-10417	17,7	36,5	29	29,2	36,25
P-10418	18,6	47,7	29	29,2	47,37
STD	17,3	29,3	29	29,3	29,00
P-10419	16,9	26,4	29	29,3	26,13
P-10420	18	33,4	29	29,3	33,06
P-10424/1	15,2	41,1	29	29,3	40,68
P-10424/2	16	32	29	29,3	31,67
STD	17,4	29,7	29	29,7	29,00
P-10375/1	17,9	47,1	29	29,7	45,99
P-10375/2	17,9	43,65	29	29,7	42,62
P-10375/3	18,5	50	29	29,7	48,82
P-10375/4	18,3	46,3	29	29,7	45,21
STD	17,4	30	29	30	29,00
P-10414/1	17,2	81,9	29	30	79,17
P-10414/2	17,4	96,7	29	30	93,48
STD	17,7	30	29	30	29,00
P-10416	18,1	43,1	29	30	41,66
P-10418	18,7	48,6	29	30	46,98
P-10424/1	15,4	42,7	29	30	41,28

Από τα αποτελέσματα της 1^{ης} σειράς διογκώσεων του «ψιλού» κλάσματος βλέπουμε πως την καλύτερη διόγκωση την παρουσιάζει το δείγμα P 10419 από την Μήλο, ενώ την χειρότερη διόγκωση την παρουσιάζει το δείγμα P 10414/2 από την Βουλγαρία. Γενικά, πολύ καλή διογκωσιμότητα παρουσιάζουν τα δείγματα από την Τουρκία και την Μήλο (P 10415-20). Μέτρια διόγκωση παρουσιάζουν τα δείγματα από τη Σαρδηνία (P 10375/1-4), ενώ κακή διόγκωση παρουσιάζουν τα δείγματα από την

Βουλγαρία (P 10414/1-2). Ακριβώς την ίδια εικόνα παρουσιάζει και η 2^η σειρά διογκώσεων του «ψιλού» κλάσματος.

- «ΜΕΣΑΙΟ» ΚΛΑΣΜΑ

Πίνακας 3. 21. Μάζα και βάρος ανά μονάδα όγκου του διογκωμένου «μεσαίου» κλάσματος του συνόλου των δειγμάτων.

Διόγκωση σε 1,2/0,5 τεχνητού μίγματος						
A/A ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΑΖΑ ΩΣ ΕΧΕΙ (g)	ΒΜΟ ΩΣ ΕΧΕΙ (kg/m ³)	ΜΑΖΑ drops (g)	assigned value (kg/m ³)	bmo std (kg/m ³)	bmo διορθ ως εχει (kg/m ³)
STD	35,4	95,7	1,2	95	95,7	95,00
P-10415	36,3	85,4	0,5	95	95,7	84,78
P-10416	36,5	81,1	0,5	95	95,7	80,51
P-10417	35,5	79,8	0,2	95	95,7	79,22
P-10418	37,2	80,9	0,3	95	95,7	80,31
STD	35,7	94	1,1	95	94	95,00
P-10419	34,8	79,1	0,1	95	94	79,94
P-10420	36,4	98,4	0,3	95	94	99,45
P-10424/1	34,6	115,3	0,4	95	94	116,53
P-10424/2	34,3	84,7	0,1	95	94	85,60
STD	36	96,5	1,1	95	96,5	95,00
P-10375/1	34,2	120	2,9	95	96,5	118,13
P-10375/2	35,7	106,5	1,6	95	96,5	104,84
P-10375/3	37	104,2	1,2	95	96,5	102,58
P-10375/4	35,6	107,9	2,3	95	96,5	106,22
STD	36	97	1,1	95	97	95,00
P-10414/1	33,6	160	3,4	95	97	156,70
P-10414/2	30,7	191,9	6,4	95	97	187,94

Στη σειρά διογκώσεων του «μεσαίου» κλάσματος βλέπουμε πως την καλύτερη διόγκωση την παρουσιάζει το δείγμα P 10417 της Μήλου, ενώ την χειρότερη διόγκωση την παρουσιάζει και πάλι το δείγμα P 10414/2 από την περιοχή Kardjali της Βουλγαρίας. Γενικά. Παρατηρούμε πως στο «μεσαίο» κλάσμα διόγκωσης καλύτερη διογκωσιμότητα παρουσιάζουν τα δείγματα της Μήλου. Τα δείγματα της Τουρκίας παρουσιάζουν καλή προς μέτρια διόγκωση, τα δείγματα της Σαρδηνίας μέτρια διόγκωση και τέλος τα δείγματα της Βουλγαρίας παρουσιάζουν πολύ κακή διόγκωση.

• «ΧΟΝΔΡΟ» ΚΛΑΣΜΑ

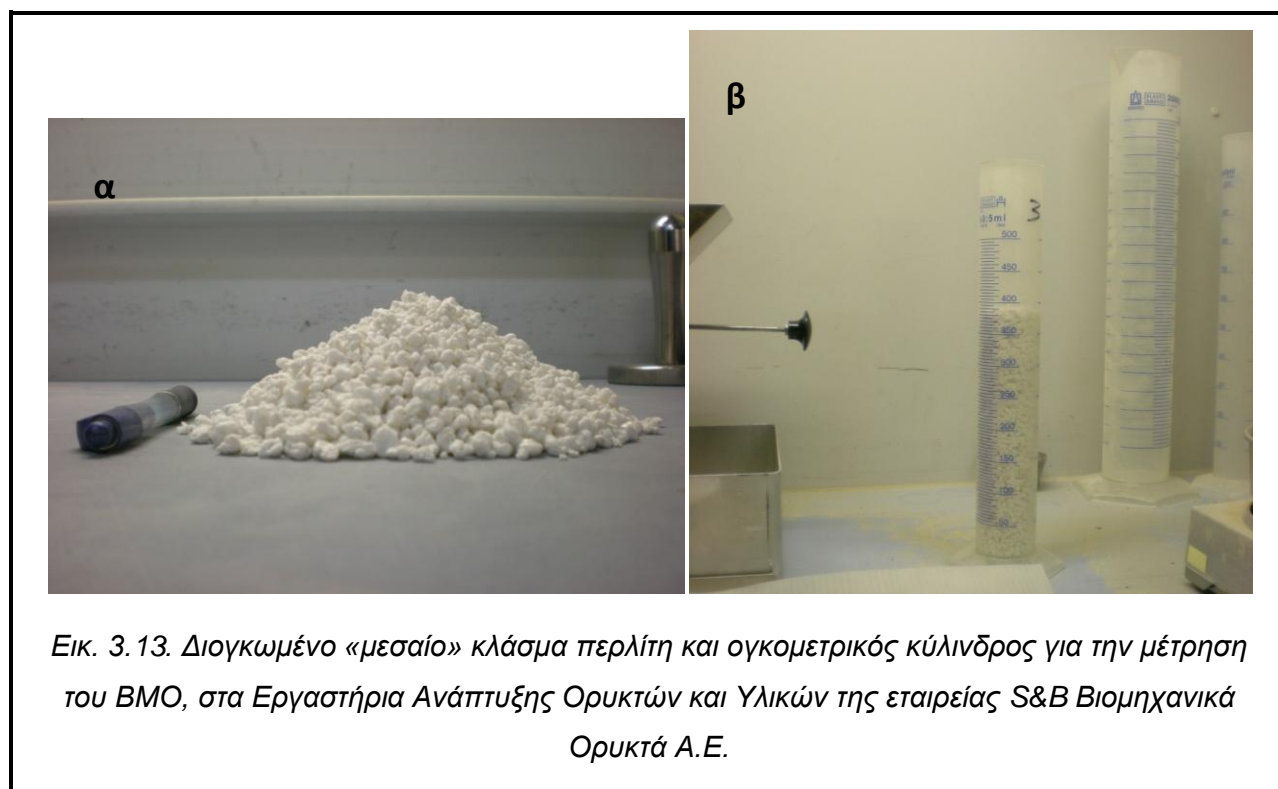
Πίνακας 3.22. Μάζα και βάρος ανά μονάδα όγκου του διογκωμένου «μεσαίου» κλάσματος του συνόλου των δειγμάτων.

Διόγκωση σε 2,5/01,18 τεχνητού μίγματος									
A/A ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΑΖΑ ΩΣ ΕΧΕΙ (g)	ΒΜΟ ΩΣ ΕΧΕΙ (kg/m ³)	ΒΜΟ (kg/m ³)+0,85	ΜΑΖΑ (kg/m ³)+0,85	ΜΑΖΑ drops (g)	assigned value (kg/m ³)	bmo std (kg/m ³)	bmo διορθ ως χει (kg/m ³)	bmo διορθ (kg/m ³) +0,85
STD	35,1	92,3	79,4	28,6	1,4	90	92,3	90,00	77,42
P-10415	36,8	92	84,7	32,2	0,6	90	92,3	89,71	82,59
P-10416	36,6	83,2	76,5	30,6	0,8	90	92,3	81,13	74,59
P-10417	37	92,5	78	23,8	0,3	90	92,3	90,20	76,06
P-10418	36,1	81,1	76,6	33,3	1,7	90	92,3	79,08	74,69
STD	34,8	92,5	81,4	28,4	1,7	90	92,5	90,00	79,20
P-10419	38,1	86,6	62,3	8,1	0,15	90	92,5	84,26	60,62
P-10420	35,5	89,9	84,3	29,5	1,5	90	92,5	87,47	82,02
P-10414/1	26,6	161,2	135,7	21,7	8,3	90	92,5	156,84	132,03
STD	34,6	92,3	81,4	28,5	1,6	90	92,3	90,00	79,37
P-10424/1	35,1	121	105,6	22,7	0,3	90	92,3	117,98	102,97
P-10424/2	36	90	81,6	20,8	0,2	90	92,3	87,76	79,57
P-10375/1	23,1	110	105	21,2	13,6	90	92,3	107,26	102,38
P-10375/2	23,4	108,9	110,7	22,7	ΓΥΑΛΩΣΕ	90	92,3	106,19	107,94
STD	34,9	92	80	28,8	1,6	90	92	90,00	78,26
P-10375/3	28,2	108,4	106,7	25,6	9,3	90	92	106,04	104,38
STD	34,7	91,3	78	28,1	1,5	90	91,3	90,00	76,89
P-10375/4	20	111,1	106,3	18,6	ΓΥΑΛΩΣΕ	90	91,3	109,52	104,79
STD	34,8	92,5	80	28	1,8	90	92,5	90,00	77,84
P-10414/2	25,7	171	169,6	21,2	10,9	90	92,5	166,38	165,02

Τέλος, στη σειρά διογκώσεων του «χονδρού» κλάσματος την καλύτερη διόγκωση την παρουσιάζει το δείγμα P 10419 της Μήλου, ενώ την χειρότερη διόγκωση την παρουσιάζει και πάλι το δείγμα P 10414/2 της Βουλγαρίας. Η γενική εικόνα των διογκώσεων του «χονδρού» κλάσματος είναι ίδια με αυτή του «μεσαίου» κλάσματος, δηλαδή καλύτερη διογκωσιμότητα παρουσιάζουν τα δείγματα της Μήλου, τα δείγματα της Τουρκίας παρουσιάζουν καλή προς μέτρια διόγκωση, τα δείγματα της Σαρδηνίας

μέτρια διόγκωση και τέλος τα δείγματα της Βουλγαρίας παρουσιάζουν πολύ κακή διόγκωση.

Η εικόνα της διογκωσιμότητας στο «μεσαίο» και το «χονδρό» κλάσμα συνάδει και με την ποσότητα του αδιόγκωτου υλικού (drops). Στα δείγματα της Βουλγαρίας (P 10414/1-2), τόσο κατά την διόγκωση του «μεσαίου», όσο και του «χονδρού» κλάσματος βλέπουμε την παρουσία της μεγαλύτερης ποσότητας drops σε αντιστοιχία με την συνολικά χειρότερη διογκωσιμότητα υλικού. Στα δείγματα της διόγκωσης του «χονδρού» κλάσματος της Σαρδηνίας (P 10375/1-4) βλέπουμε εξίσου μεγάλη ποσότητα drops με αυτή της Βουλγαρίας, με τη διαφορά πως σε δυο από αυτά η ποσότητα του αδιόγκωτου υλικού (drops) εμφανίζεται με τη μορφή ενός γυάλινου συσσωματώματος. Κατά τη σειρά διογκώσεων του «χονδρού» κλάσματος κάποιων δειγμάτων της Σαρδηνίας και της Βουλγαρίας παρουσιάστηκε «γυάλωμα» του συνολικού δείγματος, με αποτέλεσμα την επανάληψη της πειραματικής διαδικασίας διόγκωσης των εν λόγω δειγμάτων.





Εικ. 3.14. Θραυσμένος περλίτης – αδιόγκωτο «χονδρό» κλάσμα - διογκωμένο «χονδρό» κλάσμα περλίτη Μήλου.

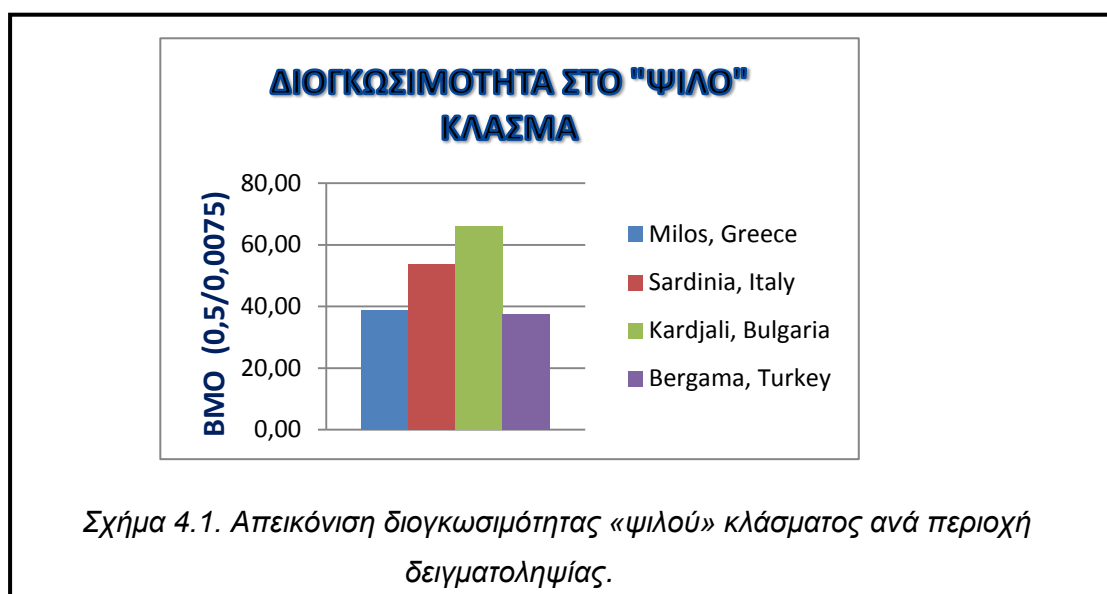
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 2, φτιάχτηκε ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος συνοψίζει τις ηλικίες της ηφαιστειότητας σε κάθε περιοχή αντίστοιχα, καθώς και το περιβάλλον γένεσης των περλιτικών εμφανίσεων σε κάθε περιοχή.

Πίνακας 4.1. Συσχετισμός περιοχών δειγματοληψίας, ηλικίας περλιτικών εμφανίσεων και γεωτεκτονικού περιβάλλοντος.

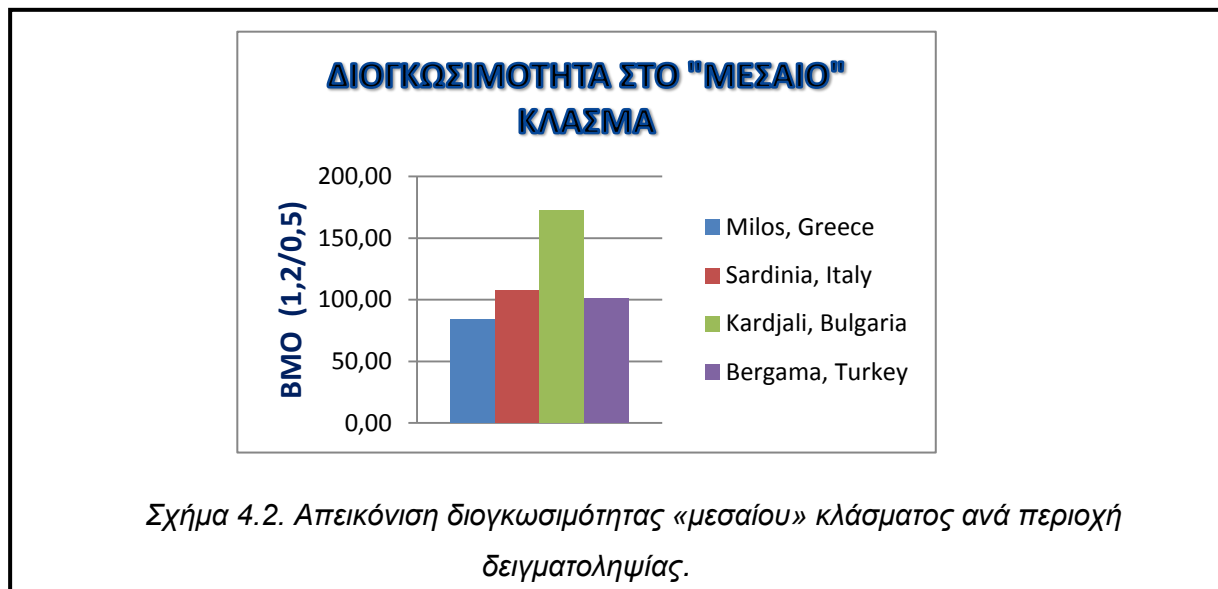
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΗΛΙΚΙΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑΣ	ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑ)
ΜΗΛΟΣ, ΕΛΛΑΔΑ	ΑΝΩΤ. ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ - ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ	ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ
ΣΑΡΔΗΝΙΑ, ΙΤΑΛΙΑ	ΑΝΩΤ. ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ - ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ	CONTINENTAL RIFT
ΚΑΡΔΙΑΛΙ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΚΑΤ. ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟ (2Η ΦΑΣΗ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ	ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ (Back-arc)
BERGAMA, ΤΟΥΡΚΙΑ	ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟ - Μ. ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ (2Η ΦΑΣΗ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑΣ)	ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ

Κατόπιν, βάσει του Κεφαλαίου 3 §3.5 κατασκευάστηκαν τα παρακάτω διαγράμματα, τα οποία απεικονίζουν την διογκωσιμότητα του κάθε κλάσματος ανά περιοχή δειγματοληψίας.

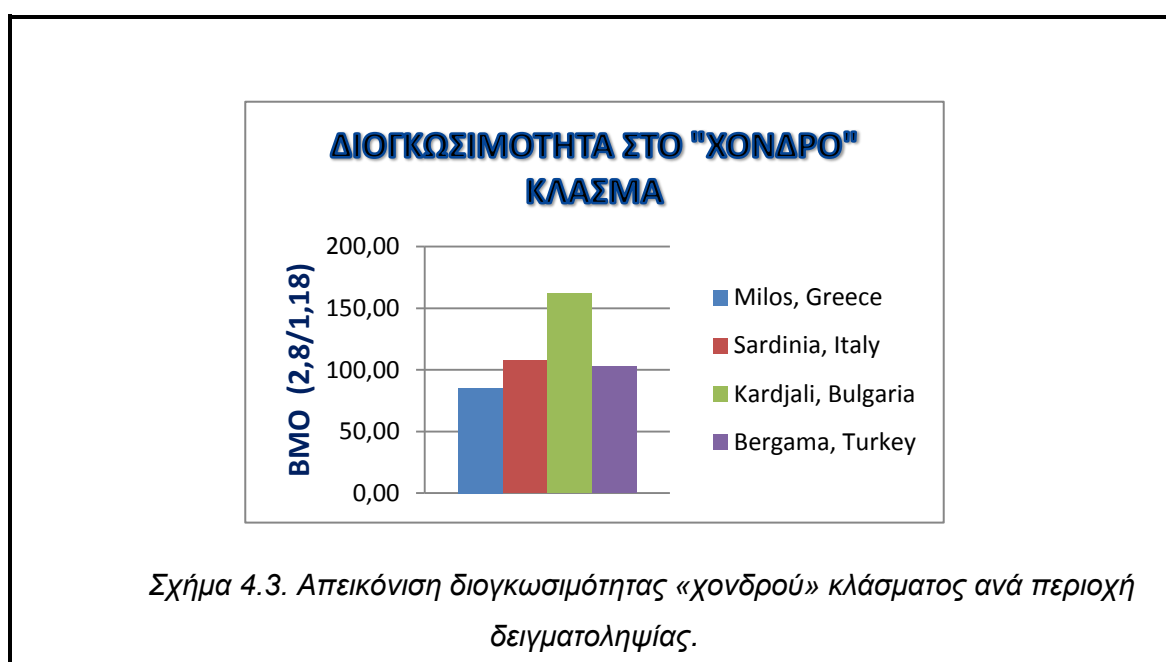


Στο σχήμα 4.1 παρατηρούμε πως την καλύτερη διογκωσιμότητα στο «ψιλό» κλάσμα την παρουσιάζουν οριακά τα δείγματα από την Πέργαμο (Bergama) της Τουρκίας. Αμέσως μετά με σχεδόν ίδια ποιότητα διόγκωσης ακολουθούν τα δείγματα

από την Ν. Μήλος στην Ελλάδα. Κατόπιν, με αρκετά μεγάλη διαφορά ακολουθούν τα δείγματα της Σαρδηνίας, Ιταλία και τέλος με πολύ κακή ποιότητα διόγκωσης βρίσκονται τα δείγματα από την περιοχή Kardjali της Βουλγαρίας.



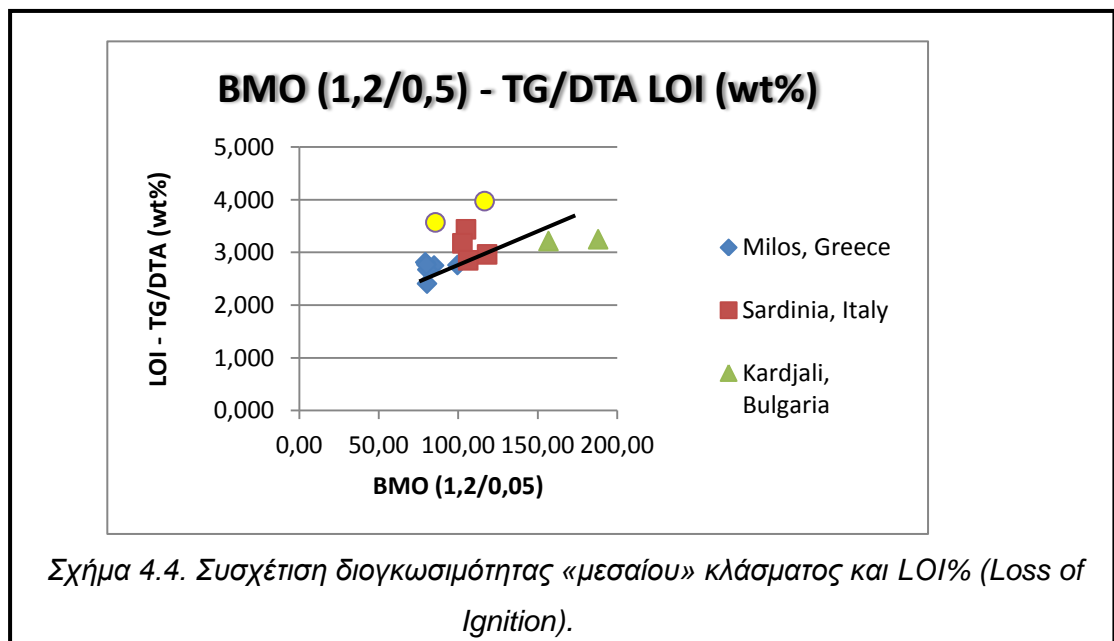
Στο σχήμα 4.2 βλέπουμε πως την καλύτερη διογκωσιμότητα στο «μεσαίο» κλάσμα την παρουσιάζουν τα δείγματα από την περιοχή της Ν. Μήλου και αμέσως μετά ακολουθούν τα δείγματα από την περιοχή της Περγάμου (Bergama) της Τουρκίας. Κατόπιν, ακολουθούν με οριακή διαφορά τα δείγματα από την Σαρδηνία, τα οποία αντιστοιχούν σε μέτρια διογκωσιμότητα και τέλος τα δείγματα από την περιοχή Kardjali της Βουλγαρίας, τα οποία και πάλι παρουσιάζουν πολύ κακή διογκωσιμότητα.

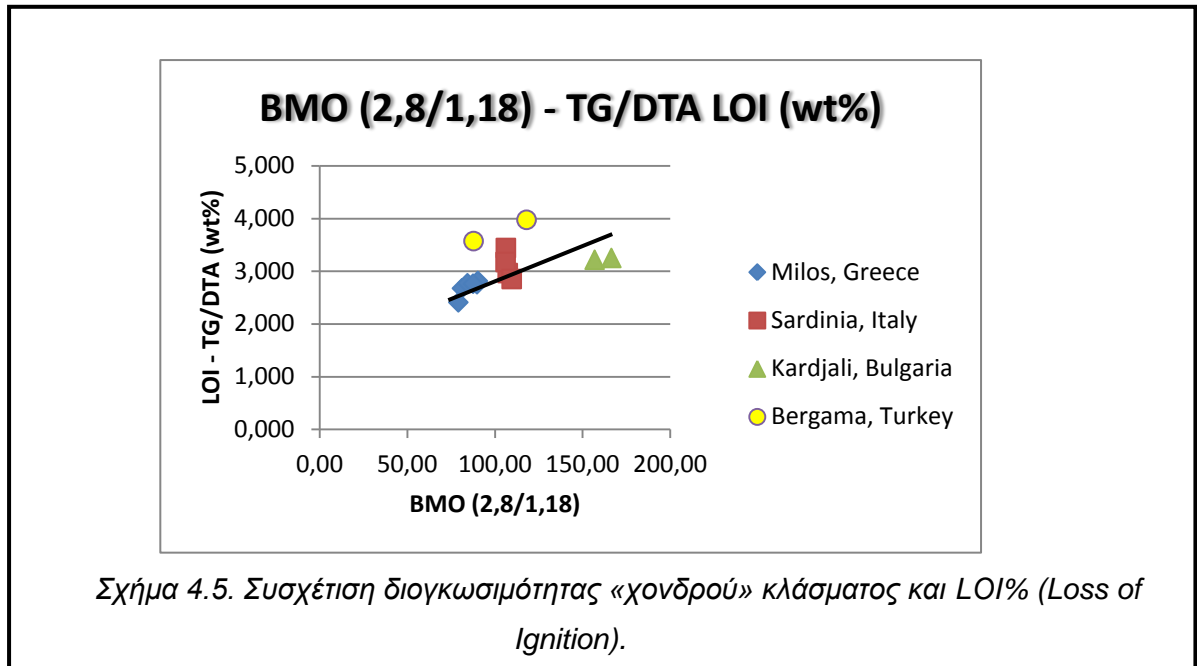


Στο σχήμα 4.3, στο οποίο απεικονίζεται η διογκωσιμότητα του «χονδρού» κλάσματος, βλέπουμε τις ίδιες αντιστοιχίες διογκωσιμότητας με το «μεσαίο» κλάσμα.

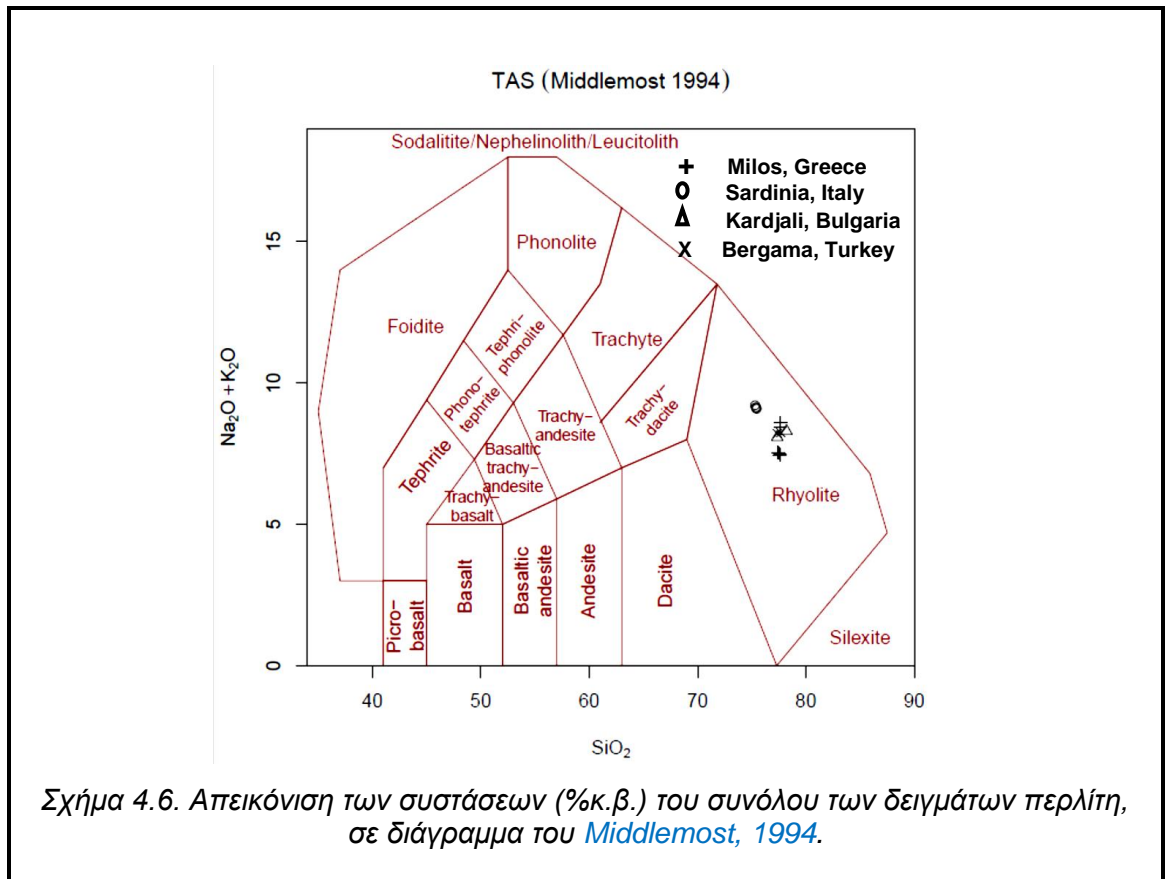
Συνοψίζοντας, την χειρότερη και σε γενικές γραμμές πολύ κακή διογκωσιμότητα παρουσιάζουν τα δείγματα της Βουλγαρίας. Τα δείγματα της Σαρδηνίας εμφανίζουν μέτρια διογκωσιμότητα με τη διαφορά πως στο «ψιλό» κλάσμα διογκώνονται λίγο χειρότερα. Τα δείγματα της Μήλου και της Bergama, Τουρκία διογκώνονται πολύ καλά με οριακές διαφορές μεταξύ τους. Αυτά της Μήλου διογκώνονται καλύτερα στο «μεσαίο» και το «χονδρό» κλάσμα, ενώ στο «ψιλό» κλάσμα έχουμε μια οριακή αντιστροφή.

Από τα διαγράμματα συσχετισμού του BMO με τον % περιεχόμενο χαλαζία (Παράρτημα IV.A.) δεν παρατηρείται κάποια συσχέτιση. Όπως επίσης και από τα διαγράμματα συσχετισμού του «ψιλού» κλάσματος διόγκωσης με το LOI% (Παράρτημα IV.B.). Αντίθετα βλέπουμε πως για το «μεσαίο» και το «χονδρό» κλάσμα υπάρχει μια σταδιακή μείωση της διογκωσιμότητας με την αύξηση του LOI% (Σχήμα 4.4, 4.5), γνωρίζοντας πάντα πως μελετάμε ένυδρες ηφαιστειακές υέλους. Αυτό το γεγονός δεν συμβαδίζει με τις βιβλιογραφικές αναφορές που συσχετίζουν το περιεχόμενο κρυσταλλικό νερό με την μεγαλύτερη δυνατότητα διόγκωσης (Chesterman, 1975). Αυτή η τάση πιθανώς να παρατηρείται μόνο στο εύρος τιμών του περιεχόμενου νερού των συγκεκριμένων δειγμάτων και σε μικρότερες τιμές περιεχόμενου νερού αυτή η τάση να αντιστρέφεται.





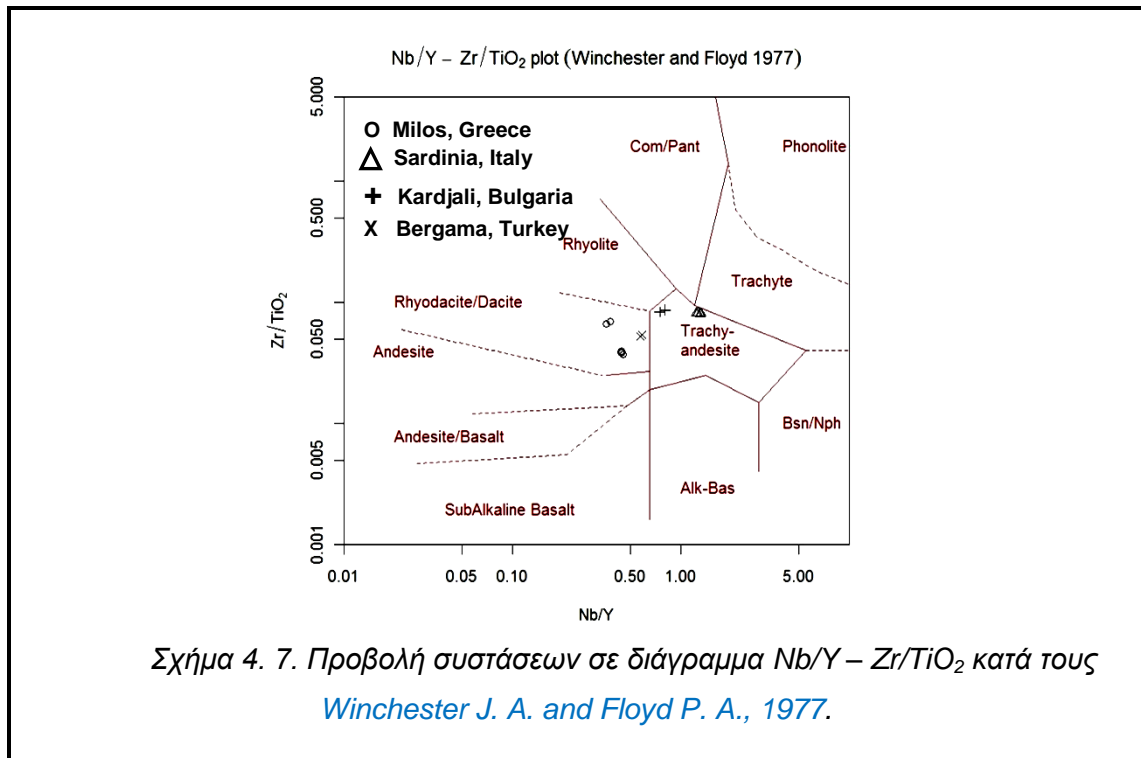
Στη συνέχεια, βάσει του χημικών αναλύσεων με την τεχνική φθορισμού ακτίνων Χ (XRF) και των χημικών αναλύσεων με τη μέθοδο ICP MS, έγινε επεξεργασία του με το λογισμικό Geochemical Data Toolkit for Windows R Console.



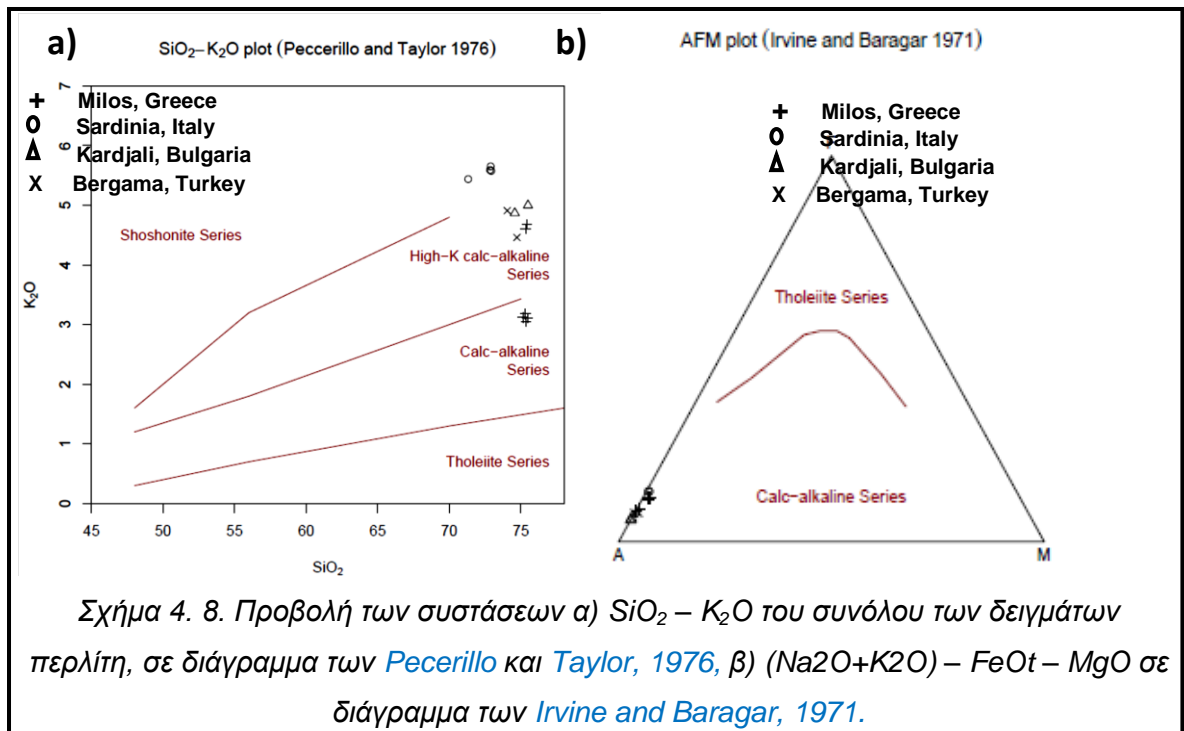
Η προβολή των συστάσεων στο διάγραμμα $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ - SiO_2 του *Middlemost, 1994* (Εικόνα 4.6) υποδεικνύει ότι το σύνολο των δειγμάτων περλίτη έχουν

ρυολιθική σύσταση. Βάση της εν λόγω συστηματικής κατάταξης είναι η χημική ανάλυση του πετρώματος σε ποσοστό%, αφού αφαιρεθούν οι τιμές των πτητικών συστατικών (H₂O, CO₂ κτλ.; [Κοκκινάκης, 2002](#)).

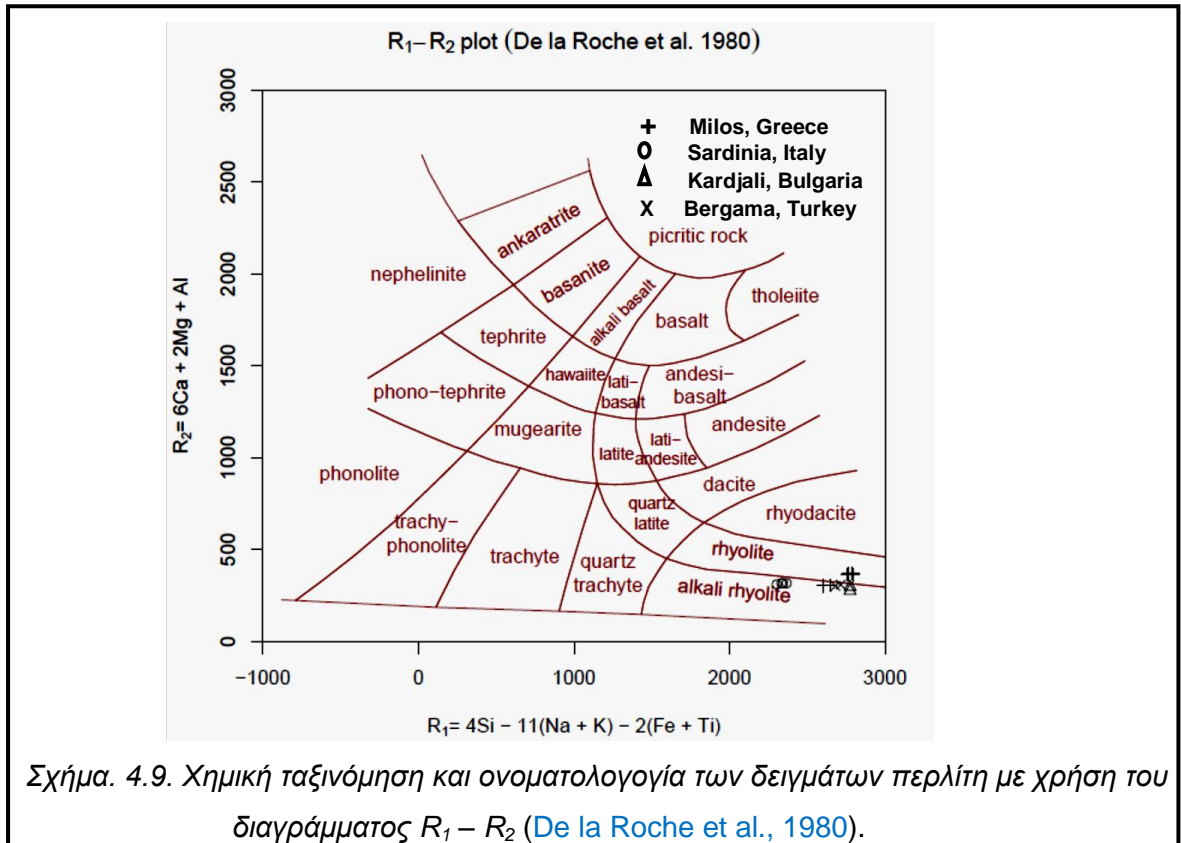
Θα πρέπει να αναφερθεί βέβαια πως βάσει της ταξινόμησης του διαγράμματος κατά [Winchester J. A. and Floyd P. A., 1977](#) (Σχήμα 4. 7) τα δείγματα από τη Σαρδηνία και από την Βουλγαρία προβάλλονται στο πεδίο των τραχιτών και τα δείγματα από την Μήλο και την Τουρκία στο πεδίο των ρυοδακίτων.



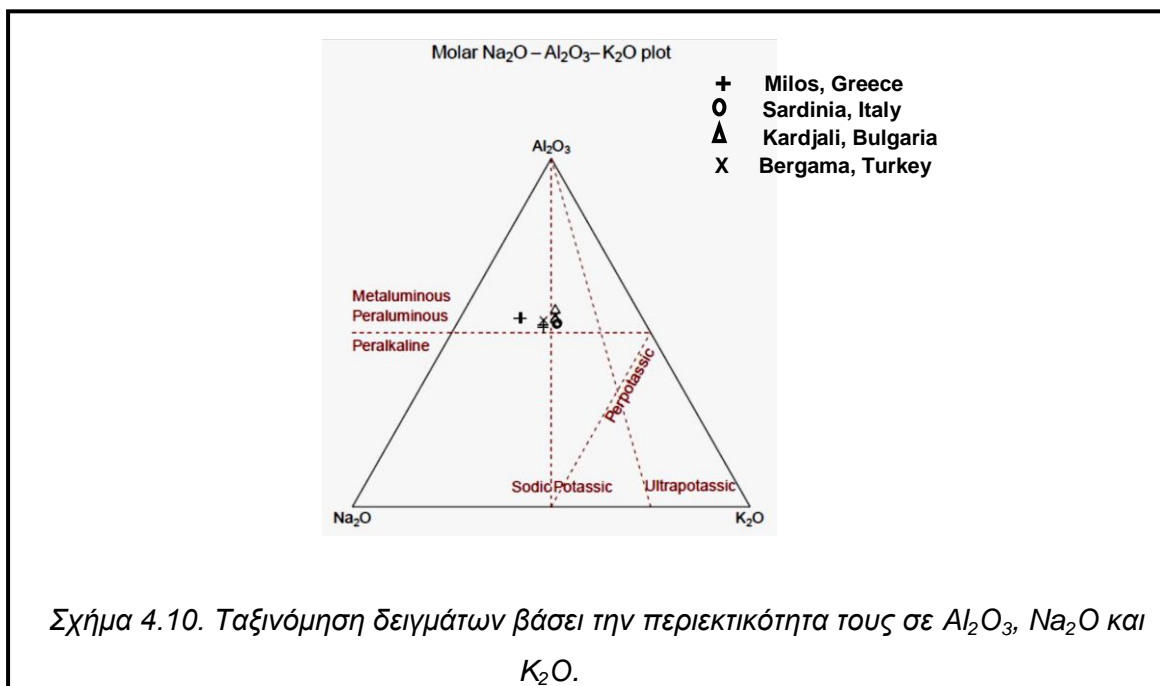
Σύμφωνα με την ταξινόμηση SiO₂ – K₂O σε διάγραμμα των [Pecerillo και Taylor, 1976](#), βλέπουμε πως τα δείγματα της Μήλου προβάλλονται στο ασβεσταλκαλικό πεδίο, με εξαίρεση τα δείγματα της Μήλου από την περιοχή του Τράχηλα, τα οποία προβάλλονται στην υψηλού K ασβεσταλκαλική σειρά (Σχήμα 4.8α). Σε αυτό το πεδίο προβάλλονται και όλα τα δείγματα από την Bergama της Τουρκίας και την περιοχή Kardjali, της Βουλγαρίας. Τέλος, σημαντική παρατήρηση αποτελεί η προβολή των δειγμάτων της Σαρδηνίας στην σοσσονιτική σειρά. Σύμφωνα, με το διάγραμμα των [Irvine and Baragar, 1971](#) το σύνολο των δειγμάτων κατατάσσονται στην ασβεσταλκαλική σειρά (Σχήμα 4.8β).



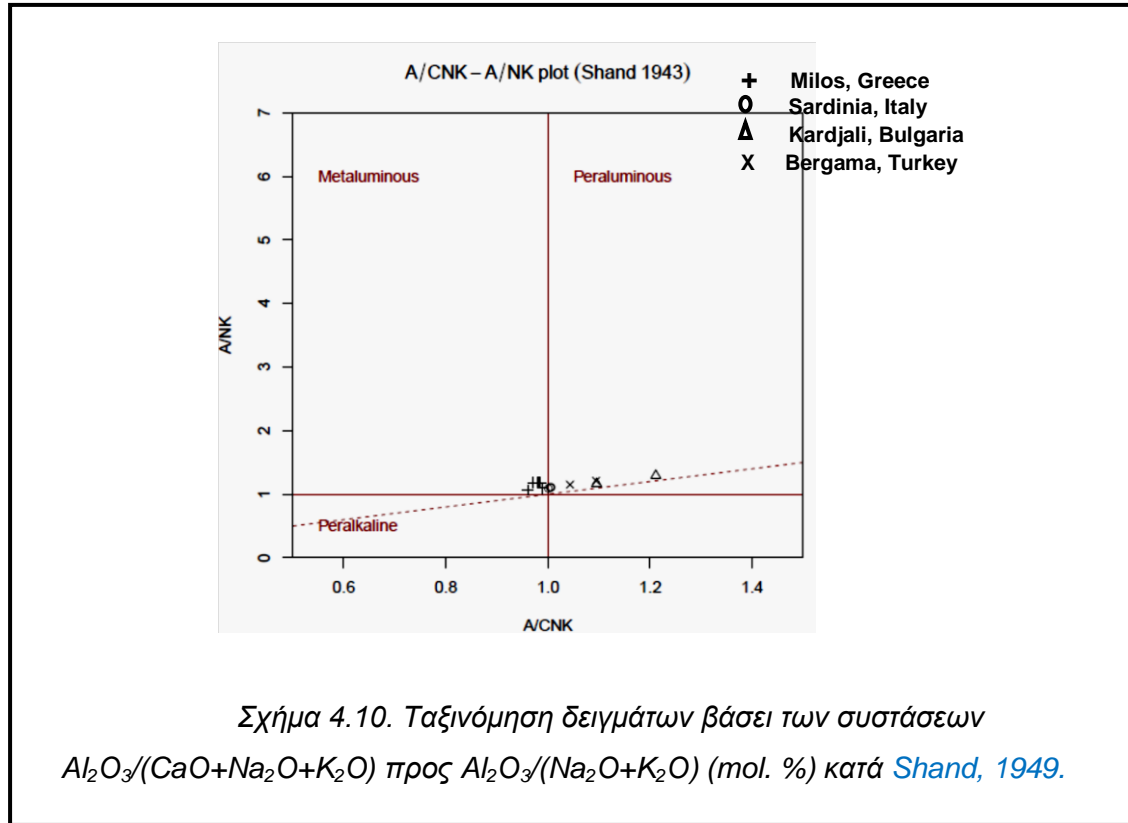
Η προβολή των συστάσεων στο διάγραμμα των *De la Roche et al., 1980* ταξινομεί τα δείγματα και προβάλλει τα δείγματα της Μήλου P 10415 - P10418 στο πεδίο των ρυόλιθων και τα δείγματα P 10419 & P 10420 οριακά στο πεδίο των αλκαλικών ρυόλιθων. Οριακά στο ίδιο πεδίο (αλκαλικοί ρυόλιθοι) προβάλλονται και τα δείγματα της Τουρκίας και της Βουλγαρίας. Βλέπουμε μόνο μια διαφοροποίηση ως προς τα δείγματα της Σαρδηνίας, τα οποία προβάλλονται καθαρά στο πεδίο των αλκαλικών ρυόλιθων. Οι αλκαλικοί ρυόλιθοι γενικά μοιάζουν με τη δομή του ρυόλιθου και διαφέρουν ως προς την μικρή συμμετοχή ή την απουσία πλαγιόκλαστου και ως προς την παρουσία αλκαλικών αμφίβολων και αλκαλικών πυρόξενων (*Κοκκινάκης, 2002*).



Η προβολή των διαγραμμάτων σε ένα διάγραμμα απεικόνισης (Σχήμα 4.10) της σχέσης (σε μοριακά ισοδύναμους αριθμούς) του Al₂O₃ προς Na₂O και K₂O απεικονίζει τα δείγματα να προβάλλονται στο πεδίο των υπεραργιλικών - μεταργιλικών πετρωμάτων. Σύμφωνα με τον πίνακα 4.2 φαίνεται πως όλα τα δείγματα είναι υπεραργιλικά (Al₂O₃ > Na₂O + K₂O + CaO) .



Στη συνέχεια, η προβολή των συστάσεων στο διάγραμμα του [Shand, 1949](#) (Σχήμα 4.10) δείχνει πως τα δείγματα που προέρχονται από τη Μήλο είναι στο σύνολο τους μεταργιλικά, τα δείγματα από τη Σαρδηνία βρίσκονται στο όριο μεταργιλικών – υπεραργιλικών και τα δείγματα από την Τουρκία και την Βουλγαρία είναι υπεραργιλικά.

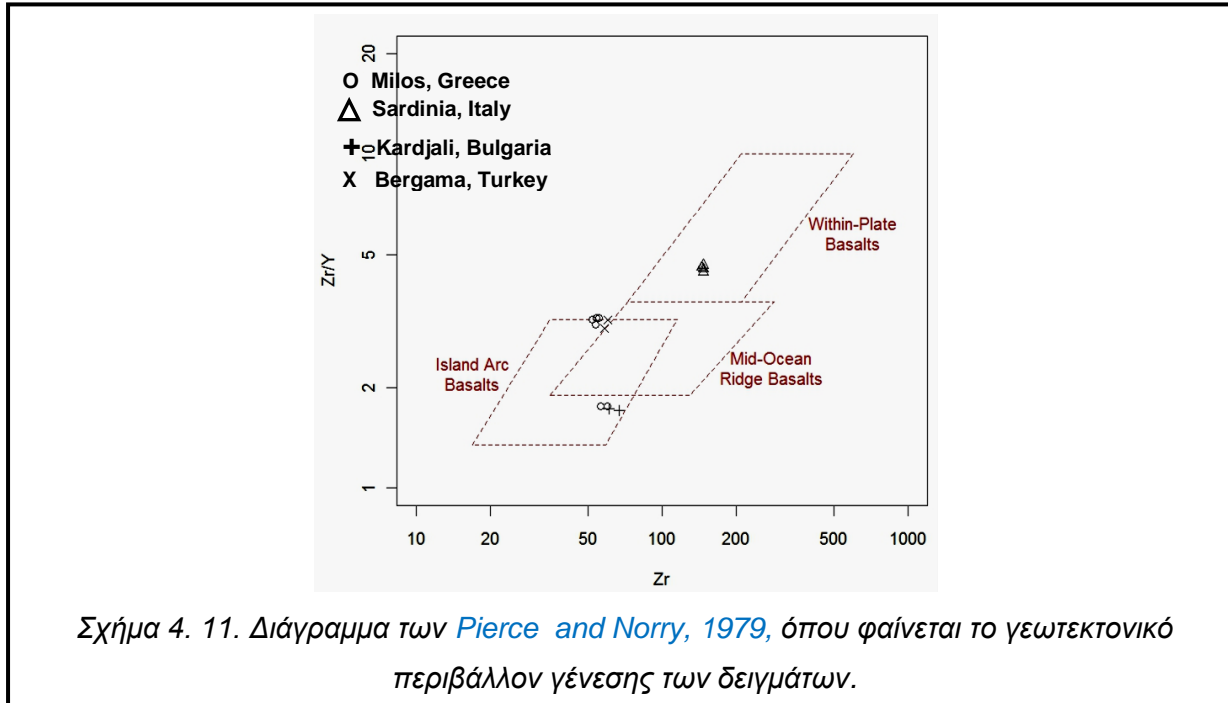


Πίνακας 4.2. Ταξινόμηση πετρωμάτων κατά [Shand, 1949](#).

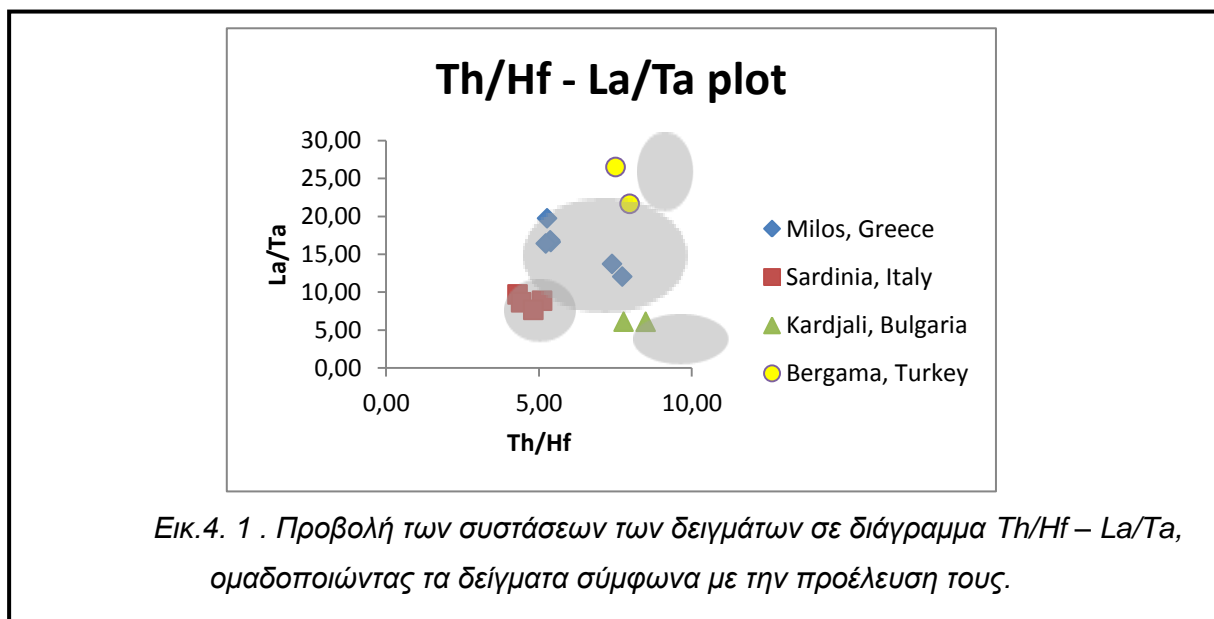
A/A ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Al_2O_3 (%)	Na_2O (%) + K_2O (%) + CaO (%)
P 10415	12,01	8,44
P 10416	12,05	8,38
P 10417	12,10	8,45
P 10418	12,16	8,49
P 10419	11,92	8,83
P 10420	11,80	9,00
P10375/1	12,32	9,25
P10375/2	12,55	9,43
P10375/3	12,65	9,55
P10375/4	12,64	9,49
P 10414/1	12,07	8,37
P 10414/2	13,04	8,17
P 10424/1	12,32	8,46
P 10424/2	12,13	8,53

Ένα από τα σημαντικότερα διαγράμματα που προκύπτουν από την προβολή των συστάσεων Zr – Zr/Y σε ένα διάγραμμα των [Pierce and Norry, 1979](#) δείχνει τα

γεωτεκτονικά περιβάλλοντα γένεσης των δειγμάτων. Όπως παρατηρούμε τα δείγματα από τη Μήλο, την περιοχή της Περγάμου στην Τουρκία και της περιοχής Kardjali στην Βουλγαρία προβάλλονται στο πεδίο των βασαλτών - ρυόλιθων ηφαιστειακού τόξου, ενώ τα δείγματα από τη Σαρδηνία προβάλλονται στο πεδίο των ενδοπλακωδών ρυόλιθων.

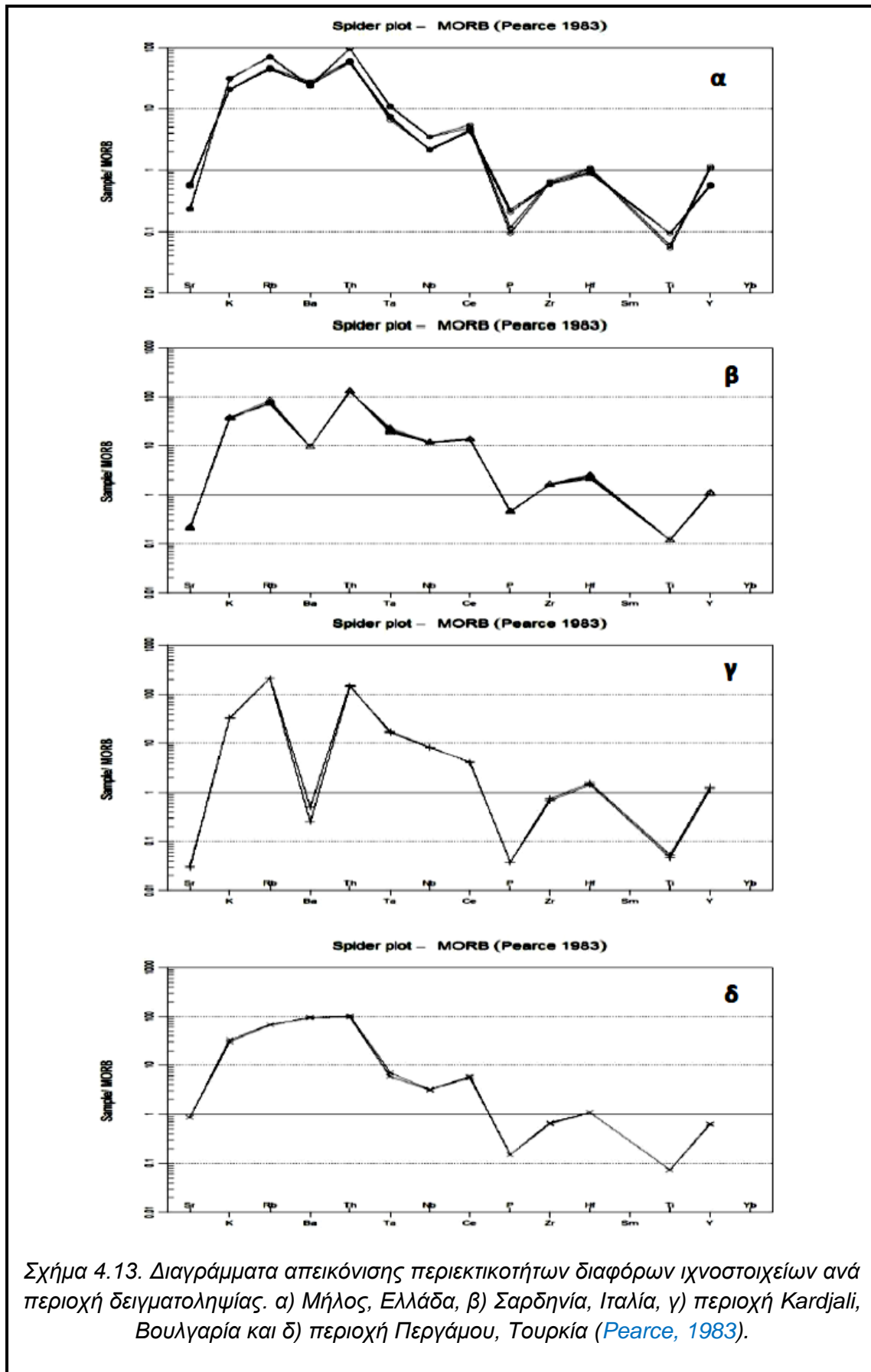


Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, όπως *Sterba et al., 2009*, κατασκευάστηκε ένα παρεμφερές διάγραμμα προβολής των συστάσεων $\text{Th}/\text{Hf} - \text{La}/\text{Ta}$, όπου ομαδοποιούνται τα δείγματα σύμφωνα με την προέλευση τους και βλέπουμε πως η ομαδοποίηση αντιστοιχεί στο βαθμό διογκωσιμότητας ιδιαίτερα του «ψιλού» κλάσματος, με μείωση του BMO από τις υψηλότερες τιμές La/Ta προς τις χαμηλότερες.



Παρατηρώντας σε αντιπαράθεση τα διαγράμματα κάποιων ιχνοστοιχείων (Σχήμα 4.13; [Pearce, 1983](#)) από όλες τις περιοχές των δειγμάτων αλλά και από τους πίνακες 3.13-3. 15 βλέπουμε πως τα στοιχεία τα οποία θεωρούνται μαγματόφιλα, όπως είναι ο Fe, ο Mo, το Sn, ο P, το Y, το Zr και το Hf έχουν αυξημένα περιεκτικότητα στα δείγματα της Σαρδηνίας. Επίσης, υπάρχουν αυξημένες περιεκτικότητες Zr. Βέβαια, παράλληλα θα πρέπει να επισημανθεί πως τα ίδια δείγματα εμφανίζουν έναν ιδιαίτερο εμπλουτισμό στα στοιχεία των Σπανίων Γαιών (REE), όπως La, Li, Ce, Sc και Y. Οι χαμηλές περιεκτικότητες Ba και Y, όπως και οι σχετικά υψηλές περιεκτικότητες Rb, Nb και Hf θεωρούνται τυπικές της όξινης ηφαιστειότητας στην Ανατολική Ροδόπη ([Yanev, 1998](#)). Τα υψηλά ποσοστά Ba στα δείγματα της Μήλου και της Τουρκίας συνδέονται από την παρουσία βιοτίτη και σανιδίνου (Πιν. 3.2), καθώς και υψηλές περιεκτικότητες Sr οφείλονται στην παρουσία πλαγιόκλαστων ([Plummer et al., 2011](#)).

Από τους πίνακες 3.2, 3.3 & 4.1-3, βλέπουμε πως η ύπαρξη των αλκαλιούχων αστρίων στην μάζα του περλίτη είναι αρνητικός παράγοντας όσο αφορά στη διογκωσιμότητα. Όπως, επίσης, φαίνεται πως ο τριδυμίτης και ο χριστοβαλίτης παρουσιάζονται σε περλίτες με κακή διόγκωση.



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διογκωσιμότητα της περλιτικής λάβας παρουσιάζει ουσιαστικές διαφοροποιήσεις ανά περιοχή δειγματοληψίας. Τα περλιτικά δείγματα από την Μήλο και την περιοχή της Περγάμου στην Τουρκία παρουσιάζουν πολύ καλή διογκωσιμότητα, τα δείγματα από την Σαρδηνία μέτρια διογκωσιμότητα και τα δείγματα από την περιοχή Kardjali της Βουλγαρίας κακή διογκωσιμότητα. Κοινή διαπίστωση σε όλα τα δείγματα είναι πως το «ψιλό κλάσμα» διογκώνεται καλύτερα από τα υπόλοιπα, ίσως λόγω της μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας.

Τα δείγματα της Ν. Μήλου παρουσιάζουν χαμηλά ποσοστά υγρασίας, LOI (Loss On Ignition) και κατ' επέκταση χαμηλά ποσοστά κρυσταλλικού νερού. Αντίθετα τα δείγματα της Bergama στην Τουρκία παρουσιάζουν τα υψηλότερα ποσοστά. Όσον αφορά στους περλίτες της Ν. Σαρδηνίας παρατηρείται πως το περιεχόμενο κρυσταλλικό νερό είναι το δεύτερο μεγαλύτερο, μετά το ποσοστό των δειγμάτων της Bergama στην Τουρκία. Το ποσοστό του περιεχόμενου κρυσταλλικού νερού στον περλίτη, όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την καλή διόγκωση του υλικού. Οπότε, η παράμετρος αυτή συντελεί στη πολύ καλή διόγκωση του περλίτη της Τουρκίας. Η έλλειψη ενός καλού ποσοστού κρυσταλλικού νερού στους περλίτες της Ν. Μήλου αντισταθμίζονται από την νεαρότερη ηλικία της ηφαιστειακής δραστηριότητας της περιοχής σε σχέση με τους περλίτες της Bergama, Τουρκίας. Το γεγονός αυτό αντιστοιχεί στο υψηλότερο περιεχόμενο ποσοστό της άμορφης υαλώδους μάζας που παρατηρούνται στους περλίτες της Ν. Μήλου σε σχέση με την περιοχή της Bergama στην Τουρκία και την περιοχή Kardjali της Βουλγαρίας (όπου παρατηρείται προχωρημένο στάδιο αφύελωσης).

Παρατηρώντας τα διαγράμματα (Παράρτημα Ι) που προκύπτουν από την ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων με περίθλαση ακτίνων Χ (XRD), παρατηρούμε ότι η καμπύλη του ακτινοδιαγράμματος, η οποία αντιστοιχεί στην αναθόλωση του γυαλιού, βρίσκεται πιο αριστερά στο διάγραμμα στα δείγματα που παρουσιάζουν καλή διόγκωση σε σχέση με τα δείγματα που παρουσιάζουν χειρότερη διόγκωση (Παράρτημα V). Πιο συγκεκριμένα στα δείγματα της Μήλου και της Τουρκίας η καμπύλη συμπίπτει στις ίδιες μοίρες (~22°), στα δείγματα της Σαρδηνίας βρίσκεται λίγο πιο δεξιά (~23°), ενώ, τέλος, στα δείγματα της Βουλγαρίας βρίσκεται πιο δεξιά από τις υπόλοιπες περιοχές (~24°). Αυτό υποδηλώνει μια αταξία στη δομή των άμορφων φάσεων, σε αντιστοιχία με τη συμπεριφορά της αμόρφου κρυσταλλικής πυριτίας $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Οι

άτακτες φάσεις (disorder forms) βρίσκονται πιο κοντά στις 21°, ενώ ξεπερνώντας τις 22°, έχουμε ήδη μεταβεί σε πιο τακτικές δομές (order forms), με αποτέλεσμα να έχουμε φτωχά ταξινομημένο οπάλιο (opal CT) και τελικά πλήρως ταξινομημένο χριστοβαλίτη (opal C; [Stamatakis et al, 1991](#)). Το συμπέρασμα αυτό συμβαδίζει και με τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης.

Κάτι που φαίνεται να έχει σημασία, είναι πως ο περιεχόμενος χαλαζίας, άρα και η ύπαρξη κρυστάλλων χαλαζία και αλβίτη δεν επηρεάζουν τόσο τη διογκωσιμότητα. Αυτό συμβαίνει ίσως γιατί κρύσταλλοι και μικρόλιθοι κυρίως χαλαζία και αλβίτη συχνά παρασύρονται με τον διογκωμένο περλίτη, καθώς ιδιαίτερα οι κρύσταλλοι χαλαζία βρίσκονται σε σύμφυση με την ύελο. Αντίθετα, σημαντική είναι η παρουσία κρυστάλλων βιοτίτη και αλκαλιούχων αστρίων, οι οποίοι μειώνουν το βαθμό διόγκωσης του περλίτη. Γενικά, η παρουσία Κ-ούχων αστρίων συνδέεται τόσο βιβλιογραφικά, όσο και στην παρούσα μελέτη με χαμηλή διογκωσιμότητα, καθώς παρατηρήθηκε πως τα δείγματα που περιείχαν μεγαλύτερο ποσοστό Κ-ούχων αστρίων παρουσίαζαν αντίστοιχα και χαμηλότερο ποσοστό διόγκωσης.

Το pH του συνόλου των δειγμάτων κυμαίνεται από 5,60 – 7,41 και δεν φαίνεται να συνιστά παράγοντα διαφοροποίησης ως προς τη διογκωσιμότητα.

Τα δείγματα της Μήλου είναι πιο πυριτικά ($\text{SiO}_2 \sim 75\%$), ακολουθούν τα δείγματα της Βουλγαρίας ($\text{SiO}_2 \sim 75\%$), τα δείγματα της Τουρκίας ($\text{SiO}_2 \sim 74\%$) και τέλος με διαφορά τα λιγότερο πυριτικά είναι τα δείγματα της Σαρδηνίας ($\text{SiO}_2 \sim 72\%$). Το γεγονός σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της άμορφης ύελου δείχνει πως οι πιο όξινοι περλίτες διογκώνονται καλύτερα. Τέλος, τα δείγματα της Μήλου είναι μεταργιλικά, της Σαρδηνίας μεταργιλικά – υπεραργιλικά, της Τουρκίας υπεραργιλικά και της Βουλγαρίας ακόμη πιο υπεραργιλικά. Ο παράγοντας αυτός φαίνεται να μην επηρεάζει ιδιαίτερα την διογκωσιμότητα.

Στα δείγματα της Μήλου παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση Na σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές, ενώ στα δείγματα από την περιοχή Kardjali της Βουλγαρίας παρατηρείται η χαμηλότερη συγκέντρωση. Αντίθετα είναι το K φαίνεται αυξημένο στα δείγματα της Σαρδηνίας και της Βουλγαρίας, η παρουσία του οποίου φαίνεται πως είναι αρνητικός παράγοντας όσον αφορά στη διογκωσιμότητα. Η παρουσία αυξημένου K σε αυτά τα δείγματα μπορεί να οφείλεται εν μέρει και στην ύπαρξη αλκαλιούχων αστρίων και βιοτίτη.

Εν συνεχεία, τα δείγματα της Σαρδηνίας εμφανίζουν εμπλουτισμό στις REE (La, Li, Y, Ce, Sc), στο Zr γεγονός το οποίο χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση καθώς όπως φαίνεται συντελούν στη μείωση της διογκωσιμότητας. Επίσης, παρατηρείται ένας σχετικός εμπλουτισμός ραδιενεργών στοιχείων (Th, U), πιθανά δευτερογενής, στα δείγματα της Βουλγαρίας. Οι σημαντικές περιεκτικότητες σε αυτά τα στοιχεία θα πρέπει να μελετηθεί κατά πόσο επιδρούν αρνητικά στη διογκωσιμότητα των περλιτών, καθώς δεν υπάρχει προφανής συσχέτιση με αυτά της Βουλγαρίας καθώς εκ των πραγμάτων παρουσιάζουν κακή διόγκωση (αφυέλωση λόγω ηλικίας). Τέλος, ο εμπλουτισμός σε Ba και As στα δείγματα της Τουρκίας φαίνεται να μην έχουν κάποια επίπτωση στην διόγκωση. Σε γενικές γραμμές, όσον αφορά στα υπόλοιπα κύρια στοιχεία – ιχνοστοιχεία δεν υπάρχει κάποια τάση συσχέτισης των περιεκτικότητων με το βαθμό διογκωσιμότητας των δειγμάτων.

Συμπερασματικά, τα δείγματα από την Ν. Μήλο, Ελλάδα παρουσιάζουν πολύ καλή σχέση ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών. Στο γεγονός αυτό συντελεί πρωτίστως η νεαρή γεωλογικά ηλικία της ηφαιστειότητας στην οποία οφείλει το σχηματισμό του ο περλίτης της περιοχής. Το γεγονός αυτό είναι η αιτία του χαμηλού βαθμού κρυσταλλικών φάσεων στην άμορφη υελώδη μάζα του σχηματισμού. Επίσης, το ποιοτικό χαρακτηριστικό της απώλειας πύρωσης δείχνει μια ομαλή πορεία απώλειας βάρους μέχρι τους 1050°C και βοηθά στην απότομη διόγκωση σε θερμοκρασίες άνω των 450°C.

Τα δείγματα της περιοχής Περγάμου της Τουρκίας παρουσιάζουν και αυτά πολύ καλή σχέση ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών. Αν και έχουν παλαιότερη ηλικία από αυτή των δειγμάτων της Μήλου, η άμορφη μάζα δεν έχει ενδείξεις αφυέλιξης.

Τα δείγματα του περλίτη της περιοχής ΝΝΔ από το Kardjali της Βουλγαρίας έχουν εμφανώς κακά ποιοτικά χαρακτηριστικά και θεωρούνται ακατάλληλα προς διόγκωση. Το γεγονός αυτό ισοδυναμεί με την παλαιότερη γεωλογικά ηλικία της ηφαιστειότητας που σχημάτισε τον περλίτη και την κατ' επακόλουθη αφυέλωση του σχηματισμού. Πιθανά, λόγω του γεωτεκτονικού περιβάλλοντος γένεσης του περλίτη, ένα ο σχηματισμός αυτός ήταν νεαρότερης ηλικίας να ήταν κατάλληλός για εκμετάλλευση.

Τα δείγματα της Σαρδηνίας, στην Ιταλία παρουσιάζουν μέτρια διόγκωση. Κατά τις θερμικές αναλύσεις διαφοροποιούνται ως προς την καμπύλη διαφορικής θερμικής ανάλυσης (DTA) σε θερμοκρασία 300 – 400°C, γεγονός που δυσχεραίνει την διόγκωση του υλικού, η οποία αρχίζει από μεγαλύτερη θερμοκρασία. Επίσης, η ηλικία της

ηφαιστειακής δραστηριότητας της περιοχής είναι εξίσου νεαρή με την ηφαιστειακή δραστηριότητα της Ν. Μήλου, οπότε θα πρέπει να εστιάσουμε στην προέλευση του περλίτη (continental rift), η οποία προέλευση μας ερμηνεύει και τις μεγάλες αποκλίσεις στις χημικές αναλύσεις (XRF, ICP-MS).

Θα πρέπει να δοθεί περαιτέρω έμφαση στο συσχετισμό της προέλευσης των περλιτών (γεωτεκτονικό περιβάλλον και γένεση) με τα αποτελέσματα των ιχνοστοιχείων. Θα ήταν ενδιαφέρον επίσης, αν υπήρχε λεπτομερής χαρτογράφηση τομών ικανού αριθμού δειγμάτων ανά περιοχή στο μικροσκόπιο (ηλεκτρονικό και πολωτικό). Προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου του σημειομετρητή (Point Counter) στο Οπτικό Μικροσκόπιο σε αντιπροσωπευτικό αριθμό δειγμάτων, ώστε να γίνει μια ποσοτική εκτίμηση των περιεχόμενων ορυκτών και κατόπιν σύνδεση των ποσοστών με το βαθμό διόγκωσης των δειγμάτων.

Στη συνέχεια προτείνεται να γίνει ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση (XRD) στα διογκωμένα δείγματα περλίτη, ώστε να βρεθούν ορυκτολογικές διαφορές με το αρχικό πέτρωμα. Επίσης, θα έχει ενδιαφέρον να προσδιοριστεί η απώλεια νερού (LOI) στα διογκωμένα δείγματα, ώστε να βρεθεί το νερό που παραμένει σε αυτά μετά την διόγκωση.

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω η κοκκομετρία των δειγμάτων για να διαπιστωθεί εάν η διαφοροποίηση στο ρυθμό μείωσης του βάρους οφείλεται σε αυτή (Burriesci et al., 1985). Όπως, επίσης θα είχε ενδιαφέρον να πραγματοποιηθούν δοκιμές αντοχής – θλίψης σε ογκώδη δείγματα, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σε σχέση με τη διογκωσιμότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρής Π., 2008. Παράκτια ωκεανογραφική και περιβαλλοντική μελέτη των παραλιών της νήσου Μήλου. Μεταπτυχιακή διατριβή, ΕΚΠΑ.

Δεδελούδης Χ., 2006. «Ο περλίτης και οι εφαρμογές του», Ομιλία από εκπαιδευτική παρουσίαση στις εγκαταστάσεις της S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. στη Μήλο, στις 24-26/07/2006.

Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος, 1979. «Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων», σελ.566-575, Αθήνα.

ΙΓΜΕ, 1977. «Γεωλογικός Χάρτης της νήσου Μήλου, κλίμακα: 1:25000». Διεύθυνση Γενικής Γεωλογίας και Χαρτογραφίσεων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Αθήνα.

Καπράλου Χ., 2004. Υδροθερμική σύνθεση ενώσεων πυριτικού ασβεστίου από περλίτη Διπλωματική εργασία, Τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας υλικών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π.

Καραλής Β., 2009. Η ηφαιστειότητα στη νήσο Μήλο και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α.

Καταγός Χ., 2001. "Πετρολογία Μεταμορφωμένων Πετρωμάτων", Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Κατερινόπουλος Α. και Σταματάκης Μ., 1995. Εφαρμοσμένη Ορυκτολογία- Πετρολογία: Τα Βιομηχανικά Ορυκτά και Πετρώματα και οι Χρήσεις τους. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Κοκκινάκης Α., 2002. Μαγματικά πετρώματα. Τομέας Ορυκτολογίας και Πετρολογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Κυριακόπουλος Κ., 2005. Ηφαιστειολογία, Εκδόσεις του ΕΚΠΑ, Αθήνα.

Λιοδάκης Σ., 2001. Αναλυτική Χημεία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

- Μαρίνος, 1955.** Γεωλογική αναγνώρισις κοιτασμάτων καολίνου της ΒΔ/κης Μήλου. Ι.Γ.Μ.Ε. "Έκθεσις υπ' αρ. 404 Α, Αθήναι.
- Μαρίνος, 1958.** Περί θειορυχείου Παληορεύματος Μήλου. Ι.Γ.Μ.Ε. "Έκθεσις υπ'αρ. 632', Αθήναι.
- Μαρίνος, 1960.** Το ηφαίστειον της Αντιμήλου. Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ., Τομ. IV, τ. 1, σ. 38-50.
- Οικονομόπουλος Ι., 1998.** «Η μεταλλευτική ιστορία της Μήλου», Ομιλία από τα εγκαίνια του Μεταλλευτικού Μουσείου Μήλου στις 23 Μαΐου 1998, υπό την αιγίδα της S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.
- Παπανικολάου Δ., 1986.** Γεωλογία της Ελλάδας, Εκδόσεις Επτάλοφος, σελ. 15, 240.
- Πασσά Κ.-Σ., 2007.** Βιομηχανικά ορυκτά για περιβαλλοντικές χρήσεις: Μελέτη φυσικών, χημικών και ορυκτολογικών ιδιοτήτων του περλίτη της Νήσου Μήλου. Διπλωματική εργασία ειδίκευσης, Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Περράκη Θ., 1996.** Βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα (σημειώσεις), Περλίτης, σελ. 89-97, Αθήνα.
- Περράκη-Λοϊσίου Θ., 2007.** «Βιομηχανικά Ορυκτά και Πετρώματα (Σημειώσεις)», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθηνών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών.
- Ρούλια Μ., 1996.** "Περλίτης: ένα βιομηχανικό ορυκτό κάτω από το βλέμμα ενός χημικού", Χημικά Χρονικά, τευχ.5, σελ. 458-460.
- Σίδερης Χ., 2004.** Γεωλογία Ευρώπης, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής – Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, ΕΚΠΑ.
- Φύτικας Μ.,1977.** Γεωλογική και γεωθερμική μελέτη της Νήσου Μήλου. Ι.Γ.Μ.Ε., Τομ. XVIII, τευχ. 1.
- Φυτρολάκης Ν., 1990.** Γενική Γεωλογία, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Χατζηδής Σ., 2006. Τοφφικά υπερκείμενα μπεντονιτικών κοιτασμάτων και λεπτόκοκκος περλίτης για την παραγωγή ελαφροβαρών αδρανών. Μεταπτυχιακή διατριβή, ΕΚΠΑ.

Χατζηιωάννου Π.Θ., Κούππαρης Α.Μ., 2010. Ενόργανη Ανάλυση, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Alihosseini A., Taghikhani V., Safekordi A. and Bastani D., 2010. Equilibrium sorption of crude oil by expanded perlite using different adsorption isotherms at 298.15 K. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 7 (3), p. 591 – 598.

Alvarez W., 1972. Rotation of the Corsica – Sardinia microplate. *Nature*, 235, 25-36.

Alvarez W. and Coccozza T., 1974. The tectonics of central-eastern Sardinia and the possible continuation of the Alpine Chain to the south of Corsica. In: Cherchi Pomesano A. Ed. 'Paleogeografia del Terziario sardo nell'ambito del Mediterraneo occidentale', Cagliari, 23-27 Luglio 1973. *Rendiconti del Seminario della Facoltà di Scienze dell'Università di Cagliari*, 43, 5-34. Cagliari.

Amaudric du Chaffaut S., 1973. Les relations entre Schistes lustrés et Flysch autochtones dans le Sud de la Corse alpine. *Géologie Alpine*, 49, 5-12.

Assorgia A., Beccaluva L., di Paola G.M., Maccioni L., Macciotta, G., Puxeddu M., Santacroce R. and Venturelli G., 1976. Geo-petrographic map of Monte Arci volcanic complex (Sardinia). Scale 1:50,000. Grafiche STEP, 48100 Parma, Moletolo, Italy.

Assorgia A., Barca S. and Spano C., 1997. A synthesis on the Cenozoic stratigraphic, tectonic and volcanic evolution in Sardinia (Italy). *Bollettino della Società Geologica Italiana* 116, 407–420.

Barker J.M. and Harris M.J., 1990. 'Practice and problems of perlite expansion and testing at the New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Socorro, New Mexico'. *Industrial Rocks and Minerals of the Pacific Northwest*, Geitgey R.P. and Vogt B.F. (eds), Oregon Department of Geology and Mineral Industries, Special Paper:23, p.63-68.

Beccaluva L., Deriu M., Macciotta G., Savelli C. and Venturelli G., 1977. Geochronology and magmatic character of the Pliocene – Pleistocene volcanism in Sardinia (Italy). *Bull. Volcanol.*, 40-3, 1-16.

Becalluva L., Campredon R., Feraud G. and Macciotta G., 1983. Etude des relations entre volcanisme plio – quaternaire et tectonique en Sardaigne à l'aide de l'analyse structural des dykes. *Bull. Volcanol.*, 43, 365-379.

Beccaluva L., Civetta L., Macciotta G. and Ricci C.A., 1985. Geochronology in Sardinia: results and problems. *Rend. Soc. It. Min. Petr.*, 40, 57-72.

Beccaluva L., Brotzu P., Macciotta G., Morbidelli L., Serri G. and Traversa G., 1989. Cenozoic tectonomagmatic evolution and inferred mantle in the Sardo – Tyrrhenian area. *Advances in Earth Sciences Reserch – Accad. Naz. Lincei*, 80, 229-248.

Beccaluva L., Bianchini G. and Siena F., 2004a. Tertiary – Quaternary volcanism and tectono – magmatic evolution in Italy, p. 153-160. *Geology of Italy, Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC 32 Florence.*

Beccaluva L., Bianchini G., Bonadiman C., Coltorti M., Macciotta G., Siena F. and Vaccaro C., 2004b. Within – plate Cenozoic volcanism and lithospheric mantle evolution in the western – central Mediterranean area. In Finetti I. (ed) Elsevier Science Volume 'CROP deep seismic exploration of the Mediterranean region', in press.

Bingöl E. Geological map of Turkey at 1:2000000 scale. Mineral Research and Exploration Institute of Turkey Publications, Ankara.

Bolen W., 2000. Perlite, U.S. Geological Survey Publications.

Bolen W., 2011. Perlite, U.S. Geological Survey Publications.

Bozkurt E., 2000. Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications, in: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), *Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area*, Geological Society Special Publication no. 173, Geological Society, London, pp. 385–403.

Bozkurt E., 2001. Neotectonics of Turkey - A synthesis. *Geodinamica Acta* 14 (2001) 3–30

Breese R.O.Y. and Barker J. M., 1994. 'Perlite in Carr'. Ed. Industrial Minerals and Rocks, 6th ed. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Littleton, Colorado, p.735-749.

Burriesci N., Arcoraci C., Antonucci P. and Polizzotti G., 1985. Physico-chemical characterization of perlite of various origins, Materials Letters, vol.3 no.3, p. 103-110.

Caley E.R. and Richards J.F.C., 1956. 'Theophrastus on stones', Introduction, Greek text, English translation and commentary, Columbus, Ohio State University.

Calvo J., Triantafyllou M., Regueiro M. and Stamatakis M., 2012. Alternating diatomaceous and volcanoclastic deposits in Milos Island, Greece. A contribution to the upper Pliocene-lower Pleistocene stratigraphy of the Aegean Sea. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v.321-322, p. 24-41.

Carcangiu G., Fiori M., Grillo S.M., Maccioni L., Marcello A., Marchi M., Padalino G., Palomba M., Pretti S., Tamanini M. and Uras I., 1994. Tertiary volcanic rocks and related mineralizations in Sardinia, Italy. Proceedings of the International Volcanological Congress, Sept.12–16, Ankara, Turkey, Middle East Technical University Department of Geological Engineering, Special Publ., vol. 2.

Carmognani L., Carosi R., Disperati L., Funedda A., Musumeci G., Pasci S., Pertusati P.C., 1992. Tertiary transpressional tectonics in NE Sardinia, Italy. In: Carmignani L., & Sassi F.P. Eds., Contributions to the Geology of Italy with Special Regard to the Paleozoic basement. Boll. Geof. Teor. Appl., 36, 45-62.

Carmignani L., Barca C., Disperati L., Fantozzi P., Funedda A., Oggiano G. and Pasci S., 1994. Tertiary compression and extension in the Sardinian basement. Boll. Geof. Teor. Appl., 36, 45-62.

Carmignani L., Decandia F.A., Disperati L., Fantozzi P.L., Lazzarotto A., Liotta D. and Oggiano G., 1995. Relationship between the Tertiary structural evolution of the Sardinia-Corsica-Provençal Domain and the Northern Apennines. Terra Nova, 7, 128-137.

Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Salvadori I., Eltrudis A., Funedda A. and Pasci S., 2001. Geologia della Sardegna, pp. 283, Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 60, Roma.

Carmignani L., Conti P., Cornamusini G. and Meccheri M., 2004. The internal northern Apennines, the northern Tyrrhenian Sea and the Sardinia – Corsica block, p.59 – 77. Geology of Italy, Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC 32 Florence.

Carminati E., Doglioni C., Scrocca D., 2004. Alps Vs Apennines, p. 141 – 160. Geology of Italy, Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC 32 Florence.

Carminati E., Lustrino M., Cuffaro M. and Doglioni C., 2010. Tectonics, magmatism and geodynamics of Italy: What we know and what we imagine. Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition, ISSN 1441-8142, volume 36, paper 9. In: (Eds.) Marco Beltrando, Angelo Peccerillo, Massimo Mattei, Sandro Conticelli, and Carlo Doglioni, The Geology of Italy: tectonics and life along plate margins.

Carr D., 1994. Industrial minerals and rocks. 6th edition. Soc. of Mining, Metallurgy and Exploration, Littleton, Colorado, 1196 pp.

Chesterman C., 1975. Perlite, Industrial minerals and rocks, 4th edition, LEFOND, p. 927-934.

Cioni R., Clocchiatti R., di Paola G.M., Santacroce R. and Tonarini S., 1982. Miocene calc-alkaline heritage in the Pliocene post-collisional volcanism of Monte Arci (Sardinia, Italy). Journal of Volcanology and Geothermal Research 14, 133– 167.

Cioni R., Macciotta G., Marchi M., Padalino G., Palomba M. and Simeone R., 2001. Water–rock interaction in genesis of perlite at Monte Arci volcanic complex (west Sardinia, Italy). In: Cidu, R. (Ed.), Tenth Int. Symp. on Water

De Jong K.A., Manzoni M. and Lazzarotto A., 1980. La ‘Serie ridotta’ nel quadro dell’evoluzione geologica della Toscana meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 49, 181-191.

Deino A., Gattacceca J., Rizzo R. and Montanari A., 2001. 40 Ar/ 39 Ar dating and paleomagnetism of the Miocene volcanic succession of Monte Furrù (Western Sardinia): implications for the rotation history of the Corsica – Sardinia microplate . Geophys. Res. Lett., 28, 3373-3376.

De La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., and Marchal M., 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major element analyses--Its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, v. 29, p. 183-210.

Dieni I., Massari F., 1965. Precisazioni sull'età di alcuni conglomerati affioranti presso Siniscola, Orosei e Dorgali (Sardegna Orientale). *Rediconti della Accademia Nazionale Lincei*, 40, 205-211.

Dilek Y. and Altunkaynak S., 2007. Cenozoic Crustal Evolution and Mantle Dynamics of Post-Collisional Magmatism in Western Anatolia. *International Geology Review*, Vol. 49, 2007, p. 431–453.

Edel J.B. and Lortsher A., 1977. Paléomagnétisme du volcanisme tertiaire de la Sardaigne. Nouveaux resultants and synthèse. *Bull. Soc. Géol. France*, 19, 815-824.

Egal E., 1992. Structures and tectonic evolution of the external zone of Alpine Corsica. *J. Struct. Geol.*, 14, 1215-1228.

Ehrenburg K., 1889. Die Inselgruppe Milos. Dissertation.

Funedda A., Oggiano G. and Pasci S., 2000. The Logudoro basin: a key area for the tertiary tectono-sedimentary evolution of North Sardinia. *Boll. Soc. Geol. It.*, 119, 31-38.

Fytikas M., Giuliani O., Innocenti F., Marinelli G. and Mazzuoli R., 1976. Geochronological data on recent magmatism of aegean sea. *Tectonophysics*, v.31, T.29 – T.34.

Fytikas M., Innocenti F., Kolios N., Manetti P., Mazzuoli R., Poli G., Rita F. and Villari L., 1986. "Volcanology and Petrology of Volcanic products from the Island of Milos and Neighbouring Islets", *Journ. Volc. and Geoth., Res.*28, p.297-317.

Georgiev V. and Milovanov P., 2003. Migmatic complexes in the Momchilgrad depression (Eastern Rhodopes). 50 years University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski". Annual, vol. 46, part I, Geology and Geophysics, Sofia, 2003, pp.37-42

Georgiev V. and Milovanov P., 2004. Petrochemical features of the Late Alpine late extensional magmatism in the Eastern Rhodopes, Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски” Годишник, том 47, свитък I, Геология и геофизика, София, 2004, стр. 63-67.

Harben W.P. and Kužvart M., 1997. Industrials Minerals: a global geology. Industrial Minerals Information Ltd.

Hatch F.H., Wells A.K. and Wells M.K., 1972. Petrology of the Igneous rocks, 13 ed., pp. 551, Murby & Co, London.

Hogan M., 2011. Balearic Sea. Encyclopedia of Earth. Eds. P. Saundry & C.J. Cleveland. National Council for Science and the Environment, Washigton DC.

Humann C., Schulte E. and Humann-Kreis, 1963. Chronik der Ausgrabung von Pergamon, 1871-1886; aus Berichten und Briefen des Humann-Kreises. Carl Humann zum Gedächtnis. [Hrsg. und bearb. von Eduard Schulte].

Irvine T. N. and Baragar W. R. A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8, 523–548.

Jackson J.A., King G., Vita-Finzi C., 1992. The neotectonics of the Aegean: an alternative view, Earth Planet. Sci. Lett. 61, 303–318.

Jezek P.A. and Noble D.C., 1978. ‘Natural hydration and ion exchange of obsidian: An electron microprobe study’, American Mineralogist, Vol.63, p.226-273.

Kendall T., 2000. No sign of the bubble bursting, Perlite uses and markets, Industrial Minerals, p. 51-59.

Ketin İ.,1966. Tectonic units of Anatolia. *Maden Tetkik ve Arama Bulletin*, 66, 23-34.

Kornprobst J., Kienast J.-R. and Vilminot J.-C., 1979. The high-pressure assemblages at Milos, Greece: A contribution to the basement of the Cyclades archipelago. *Contrib. Miner. Petrol.*, v.69, p.49-63.

Koukouzas N., 1994. Geology, mineralogy and geochemistry of Greek perlites: Industrial applications. PhD Thesis, Department of Geology, University of Leicester.

Koukouzas N. and Dunham A., 1998. Glass composition of perlites from Milos, Kimolos and Kos Islands (Greece). Bull. Geol. Soc. Greece, vol. XXXII/3, 303-312. Proceedings of the 8th International Congress, Patras.

Liakopoulos A., 1987. Hydrothermalisme et Mineralisations Metalliferes de l' île de Milos (Cyclades Greece). PhD Thesis, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, VI.

Lipman P., Christiansen R. and Van Alstine R., 1969. Retention of alkalis by calcalkalic rhyolites during crystallization and hydration, American Mineralogist, vol. 54, p. 286-291.

Lefond S.J., 1977. Edt. 'Industrial minerals and rocks', 4th ed. New York: Am Inst Mining, Metallurg Petrol Eng.

Macciotta G., Venturelli G. and Beccaluva L., 1978. Geochemistry of mafic Cainozoic volcanic rocks from Sardinia (Western Mediterranean). Bull., Volcanol., 41, 56-78.

Marchi M., Macciotta G. and Garau A.M., 2002. Cainozoic magmatism in Sardinia and its geodynamic significance. Rendiconti della Societa` Paleontologica Italiana 1, 343–348.

Middlemost A.K., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. Earth-Sci. Reviews 37, 215–224.

Montigny R. and Edel J.B., 1981. Oligo – Miocene rotation of Sardinia: K-Ar ages and paleomagnetic data of Tertiary volcanic. Earth Planet. Sci. Lett., 54, 261 – 271.

Moore E. and Fairbridge R., 1997. Encyclopedia of European and Asian Regional Geology, Publications Chapman & Hall, pp. 103-108.

Noble D.C., Smith V.C. and Peck L.C., 1967. Loss of halogens from crystallized and glassy silicic volcanic rocks, Geochim, Cosmochim. Acta, v. 31, p. 215-223.

Noble D.C. and Hedge C.E., 1969. Sr87/Sr86 variations within individual ash flows sheets, U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., v. 650-C, p. 133-139.

Oggiano G., Pasci S. and Funedda A., 1995. Il bacino di Chilivani – Berchidda: un esempio di struttura trastensiva. Possibili relazioni con la geodinamica cenozoica del Mediterraneo occidentale. Boll. Soc. Geol. It., 114, 465-475.

Okay A.I., Satir M., Tüysüz O., Akyüz S. and Chen F., 2001. The tectonics of the Strandja Massif: Variscan and mid - Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean. *International Journal of Earth Sciences*, 90, 217-233.

Okay A., 2008. Geology of Turkey: A synopsis. *Anschmitt*, 21, 19-42.

Palomba M., Padalino G. and Marchi M., 2003. Industrial Mineral occurrences related to Cenozoic volcanic rocks of Sardinia (Italy). In: Eliopoulos, D.G., et al., (Eds.), *Mineral Exploration and Sustainable Development*. Millpress, Rotterdam, pp. 919–922.

Palomba M., Padalino G., Marchi M., 2006. Industrial mineral occurrences associated with Cenozoic volcanic rocks of Sardinia (Italy): Geological, mineralogical, geochemical features and genetic implications. *Ore Geology Previews* 29 (2006), p.118 – 145.

Papanikolaou D., Barghathi H., Dabovski C., Dimitriou R., El - Hawat A., Ioane D., Kranis H., Obeidi H., Oaie G., Seghedi A., Zagochev I., 2004. The Transmed Atlas, the Mediterranean Region from Crustle to Mantle. Transect VII: East European Craton – Scythian Platform Dobrogea – Balkanides – Rhodope Massif – Hellenides – East Mediterranean – Cyrenaica, *32nd International Geological Congress*.

Papanikolaou D., Lekkas E., Syskakis D., 1990. Tectonic analysis of the Milos geothermal field. *Bull. of the Geological Society of Greece*, Vol. XXIV, p. 27-46.

Papanikolaou D. and Ebner F., 1997. Introduction to the Terrane Descriptions of the Alpine Tethyan Belt. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 37, 195-197.

Pasci S., 1997. Tertiary trascurrent tectonics of North-Central Sardinia. *Bull. Soc. Géol France*, 168, 301-312.

Pearce J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins, in Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J., eds., *Continental Basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich, p. 230-249.

Peccerillo A., Taylor S.R., 1976. Geochemistry of Eocene Calcalkaline volcanic rocks from Katsamonu Area, northern Turkey. *Contrib Mineral Petrol* 68:63–81.

Pearce J.A. and Norry, M. J., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 69, 33–47.

Plimer I., 2000. Μήλος, η γεωλογική ιστορία. Εκδόσεις ΚΟΑΝ.

Plummer C. L., Bachmann O., Deering C. D., 2011. The origin of mafic fiamme in the late-erupted Carpenter Ridge Tuff, CO: Insights into the construction of a zoned magma chamber. American Geophysical Union, abstract #V41F-06.

Raimondi S., Baldaccini P. and Mardau S., 1995. Il clima e il pedoclima dei suoli della Sardegna durante gli anni 1951-80. *Atti del Convegno annuale S.I.S.S. Il Ruolo della Pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio*, Cagliari 6-7 giugno 1995, pp. 299-308.

Rehault J.P., Boillot G. and Mauffret A., 1984. The Western Mediterranean basin geological evolution. *Marine geology*, 55, 447 – 477.

Rehault J.P., Mascle J. and Boillot G., 1986. Evolution geodynamique de la Méditerranée depuis l'Oligocène. *Memorie Societa Geologica Italiana*, 27, 85-96.

Robertson A.H.F. and Mountrakis D., 2006. Tectonic development of the Eastern Mediterranean region: an introduction. *Tectonic development of the Eastern Mediterranean Region*, Geological Society of London, Special publication 260, eds Robertson A.H.F. and Mountrakis D., pp. 1-9.

Rosholt J.N., Prijana and Noble D.C., 1971. Mobility of uranium and thorium in glassy and crystallized silicic volcanic rocks, *Econ. Geol.*, v. 66, p. 1061-1069.

Sartori R., 2001. Corsica – Sardinia block and the Tyrrhenian Sea. Vai B.G. and Martini P.I. (eds), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and the Adjacent Mediterranean Basins*, p. 367 – 374, Kluwer Academic Publishers.

Savelli C., 1988. Late Oligocene to recent episodes of magmatism in and around the Tyrrhenian Sea: implications for the processes of opening in a young intra – arc basin of intra – orogenic (Mediterranean) type. *Tectonophysics*, 146, 163 – 181.

Scrocca D., 2003. Thrust front segmentation induced by differential slab retreat in the Apennines (Italy). *Terra Nova* 18, 154-161.

Setzer T., 2004. Use – Wear Experiments with Sardinian Obsidian: Determining its Function in the Neolithic. Master of Arts Thesis, Department of Anthropology, College of Arts and Sciences, University of South Florida.

Seyitoğlu G., 1997. Late Cenozoic tectono–sedimentary development of the Selendi and Uşak–Güre basins: a contribution to the discussion on the development of E–W and north trending basins in western Turkey, *Geol. Mag.* 134, 163–175.

Shand S.J., 1949. *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite.* New York: John Wiley & Sons.

Shatkov G.A., Shatkova L.N. and Guschin E.N., 1970. The distribution of uranium, thorium, fluorine, chlorine, molybdenum and niobium in liparites and volcanic glasses, *Geochem. Int.*, v. 7, p. 1051-1063.

Shatkov G.A., 1971. "The mode of occurrence of cesium in felsic volcanic glasses", *Geochem. Int.*, v.8, p.553-556.

Sonder, 1924. Zur Geologie und Petrographie den Inselgruppe von Milos. *Zeitschrift fur Vulkanologie.* Band 8, 1924-25. Berlin.

Speranza F., 1999. Paleomagnetism and the Corsica – Sardinia rotation: a short review. *Boll. Soc. Geol. It.*, 118, 537-543.

Speranza F., Villa I.M., Sagnotti L., Florindo F., Cosentino D., Cipollari P. and Mattei M., 2002. Age of the Corsica – Sardinia rotation and Liguro – Provençal basin spreading: New paleomagnetic and Ar/ Ar evidence. *Tectonophysics*, 347, 231 – 251.

Stamatakis M., Kanaris-Sotirou R. and Spears D.A., 1991. Authigenic silica polymorphs and the geochemistry of Pliocene siliceous swamp sediments of the Aridea volcanic province, Greece. *Canadian Mineralogist*, v. 29, p. 587-598.

Stamatakis M.G., Lutat U., Regueiro E. and Calvo J.P., 1996. Milos: The mineral Island. *Industrial Minerals* 341, p. 57-61.

Stamatakis M.G., Fragoulis D., Antonopoulou D.S., Stamatakis G., 2010. The opaline silica rich sedimentary rocks of Milos Island, Greece and their behavior as pozzolanas in the manufacture of cement, *Advances in Cement Research* 22 (3), 171-183.

Sterba J., Foster K., Steinhauser G. and Bichle M., 2009. New light on old pumice: the origins of Mediterranean volcanic material from ancient Egypt . *Journal of Archaeological Science*, Volume 36, Issue 8, Pages 1738-1744

Topçu I. and Işıkdag B., 2007. Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite. *Building and Environment* 42, 3540–3546.

Tykot R., 1997. Characterization of Monte Arci (Sardinia) Obsidian Sources. *Journal of Archaeological Science*, 24, 467 – 479.

Van der Voo R., 1993. Paleomagnetism of Atlantic, Thethys and Iapetus Ocean, pp. 411, Cambridge University Press, Cambridge.

Vigliotti L. and Langenheim V.E., 1995. When did Sardinia stop rotating? New paleomagnetic results. *Terra Nova*, 7, 424-435.

Williams H., Turner F.J. and Gilbert C.M., 1982. Petrography. 2nd ed., pp. 626, San Francisco & Oxford (Freeman & Co).

Winchester J. A. and Floyd P. A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20, 325 – 343.

Whitson D., 1982. 'Geology of the Perlite Deposit at No Aqua Peaks, New Mexico'. *Industrial Rocks and Minerals of the Southwest*, Circular 182, New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, p.89-95.

Yanev Y., Harkovska A., Mavroudchiev B., Velchev Tz., Nojarov P. and Damianov D., 1975. Lozen Paleogene volcano and its relationship with the deep structure. *Geochemistry, Mineralogy and Petrology*, 2, 90–101 (in Russian with an English abstract).

Yanev Y., 1998. Petrology of the Eastern Rhodopes Paleogene acid volcanism, Bulgaria. *Acta Vulcanol.*, 10, 265-277.

Yanev Y., 2003. Petrology of Golobradovo perlite deposit, Eastern Rodopes. Geochemistry, Mineralogy and Petrology, Bulgarian Academy of Sciences, 40, Sofia.

Yanev Y. and Ivanova R., 2010. Mineral chemistry of the collision – related acid Paleogene volcanic rocks of the Eastern Rhodopes, Bulgaria. Geochemistry, Mineralogy and Petrology, 48, 39 – 65, Sofia.

Yilmaz Y., Genç C., Gurer F., Boscu M., Yilmaz K., Karacik Z., Altunkayanak S. and Elmas A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? Tectonism and magmatism in Turkey and the Surrounding area. Geological Society, London, Special Publications, 173, 353 - 384.

Zielinski R., Lipman P. and Millard H., 1977. Minor-element abundances in obsidian, perlite and felsite of calc-alkalic rhyolites, American Mineralogist, Vol. 62, p. 426-437.

<http://el.wikipedia.org>

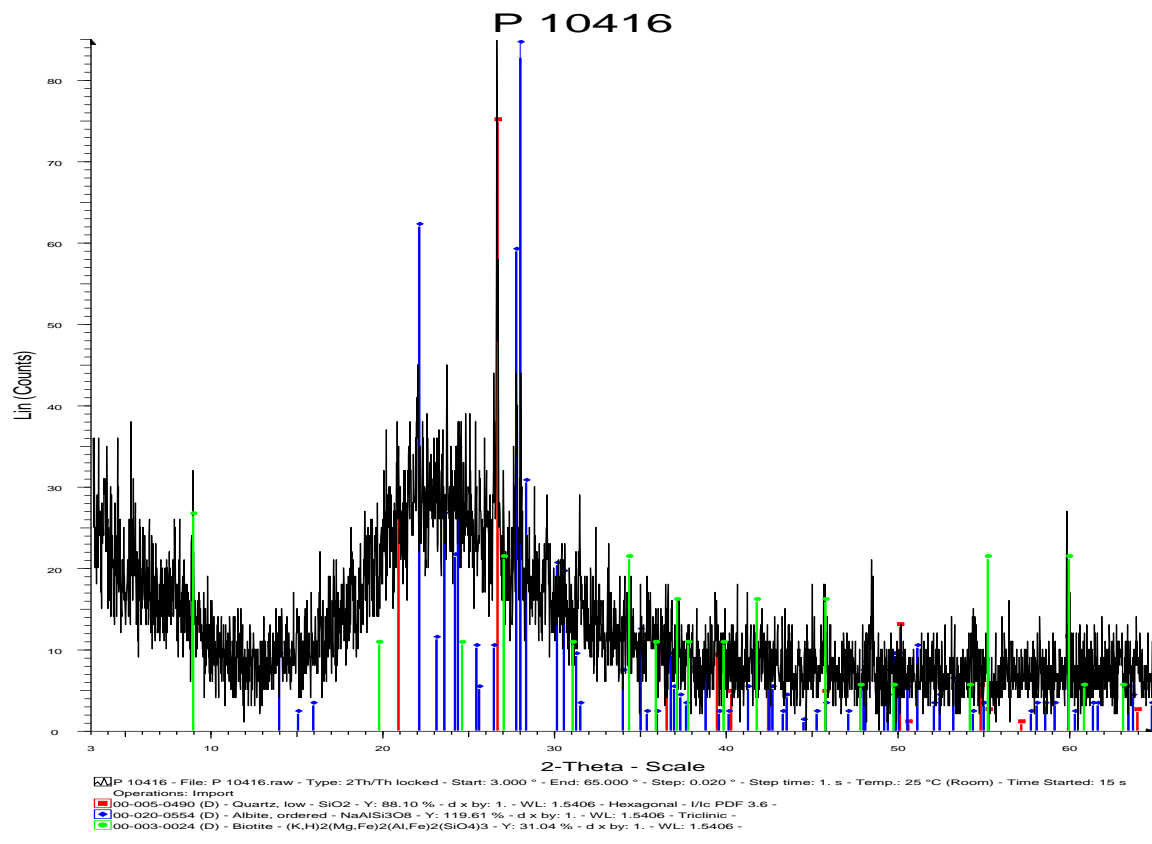
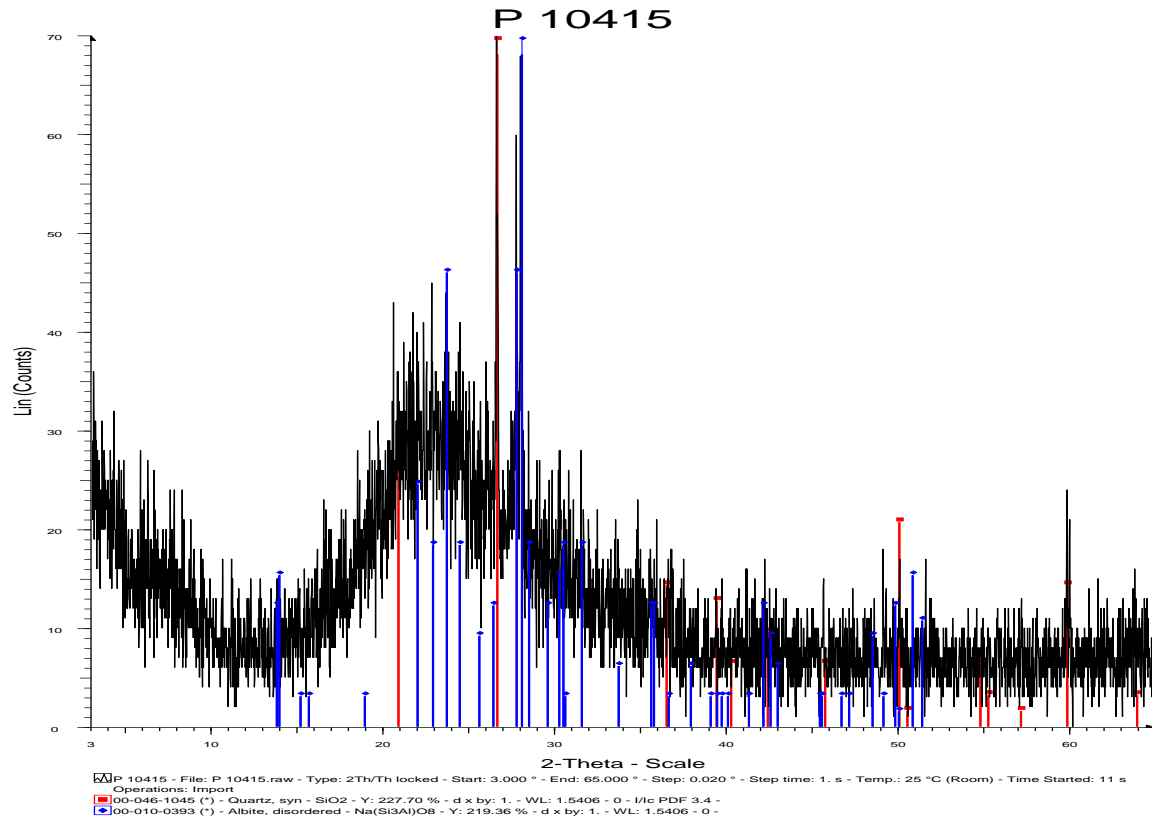
<http://www.britannica.com>

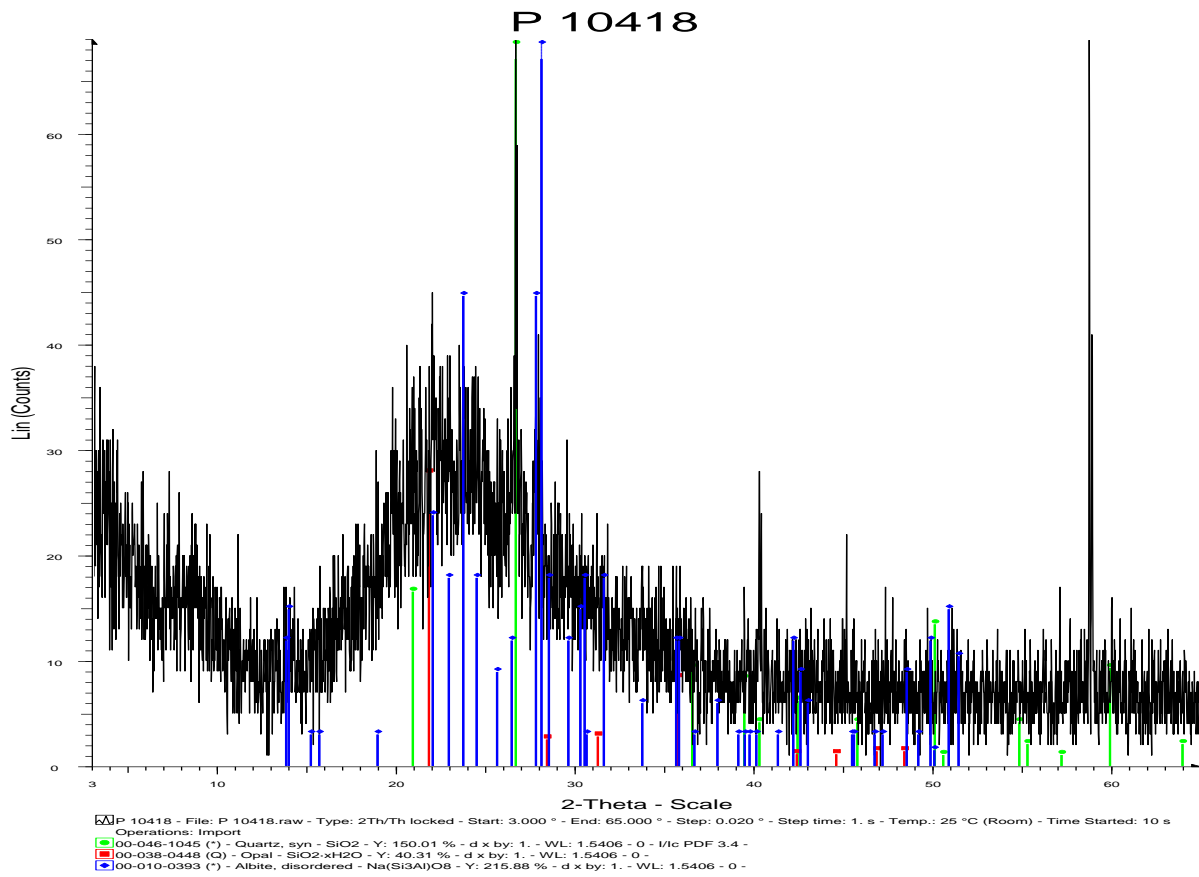
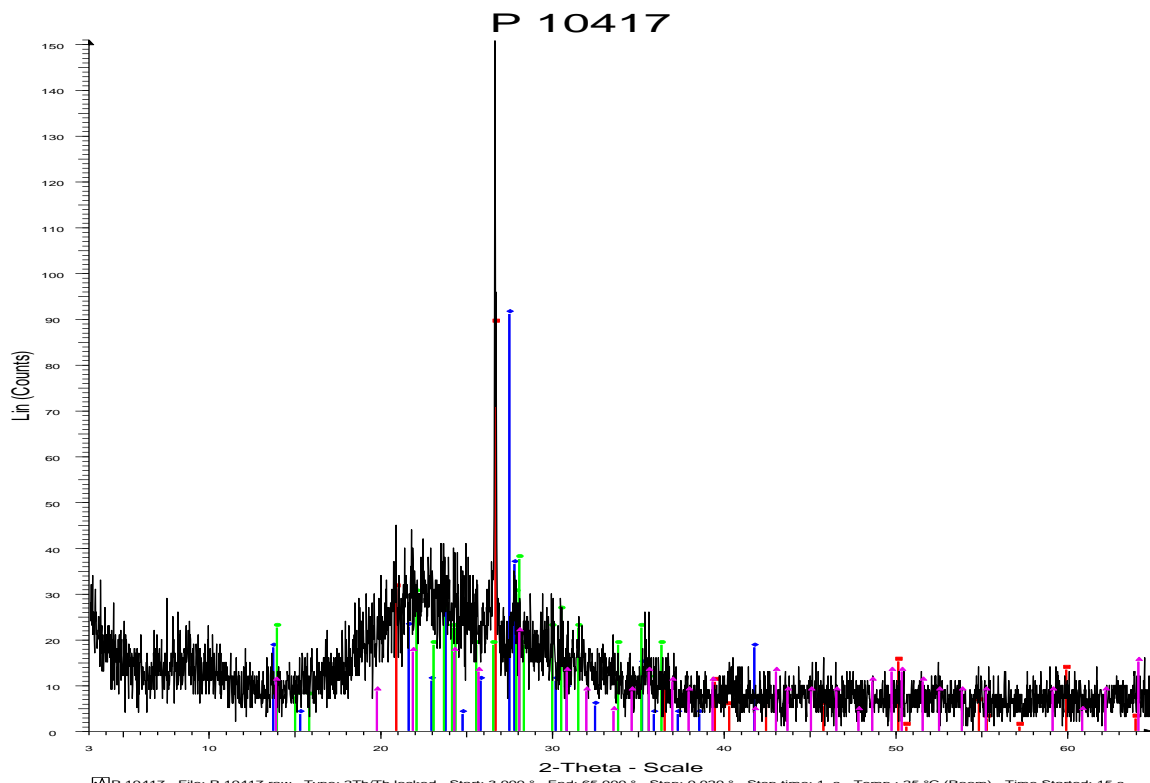
<http://www.milosminingmuseum.com/>

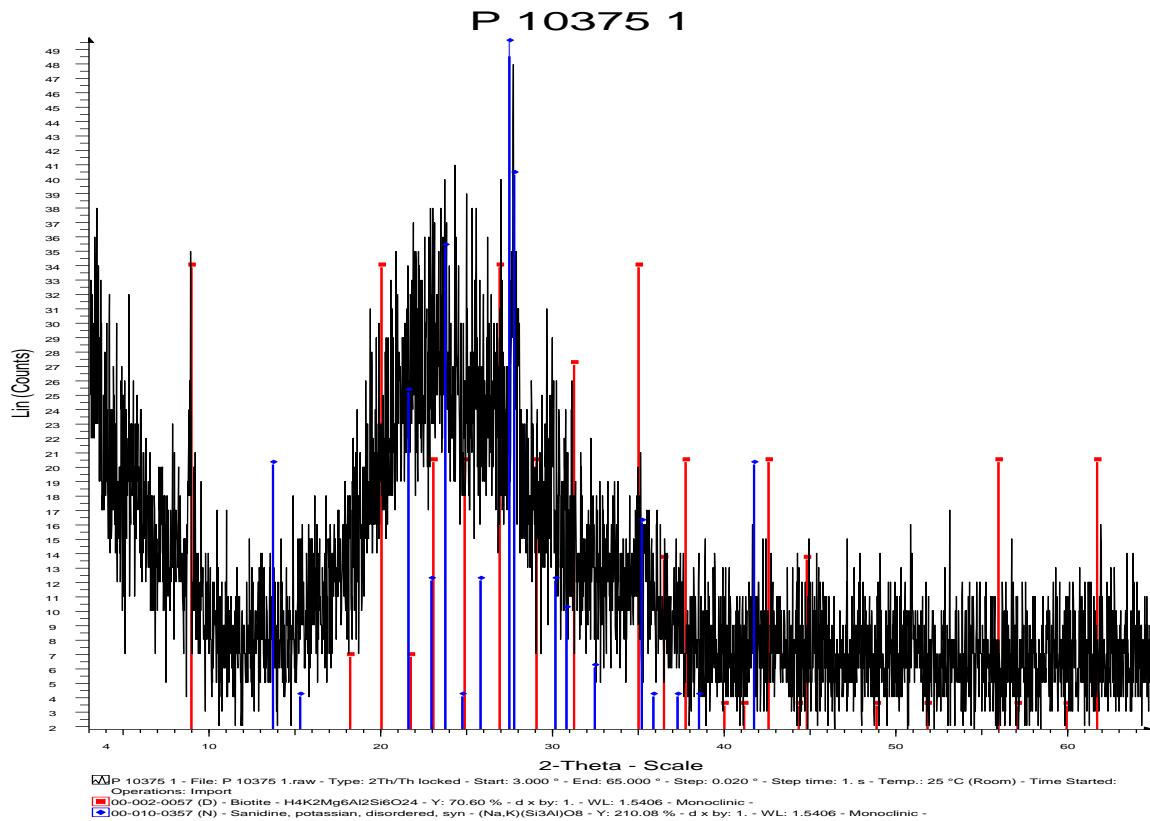
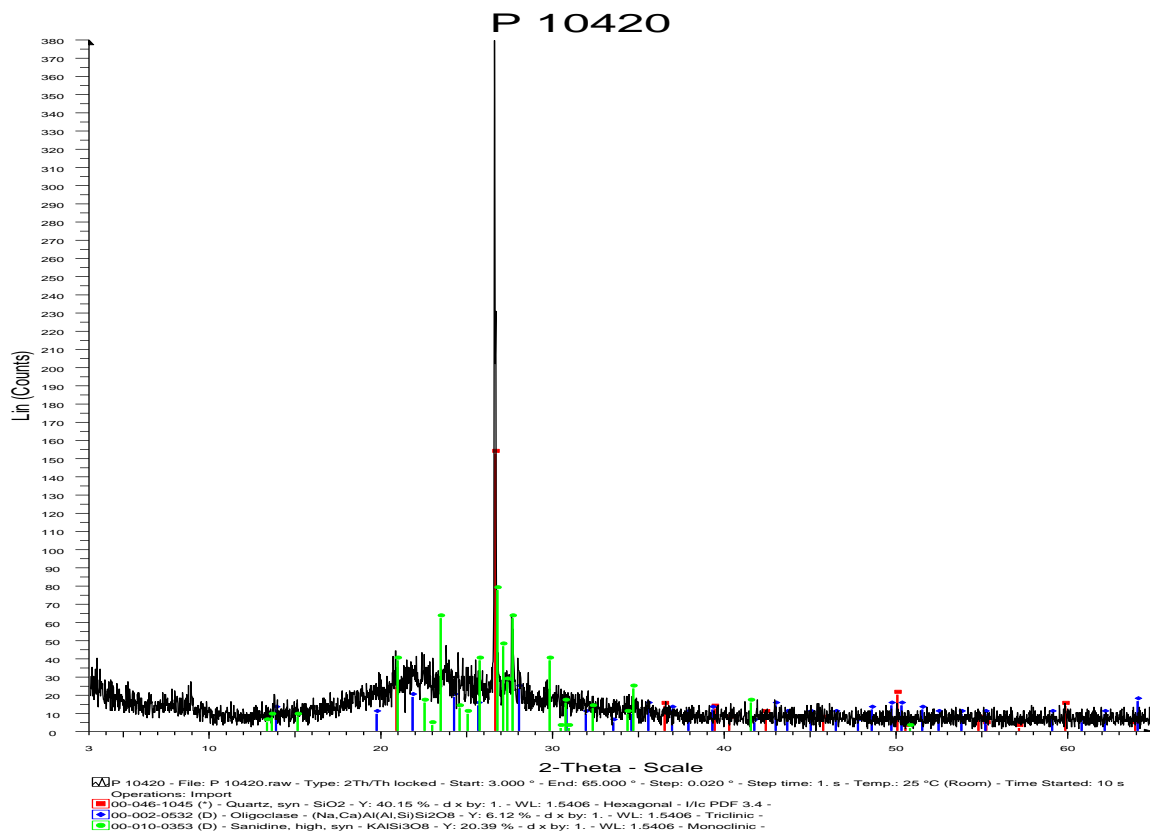
<http://www.sandb.com>

<http://www.isocon.gr>

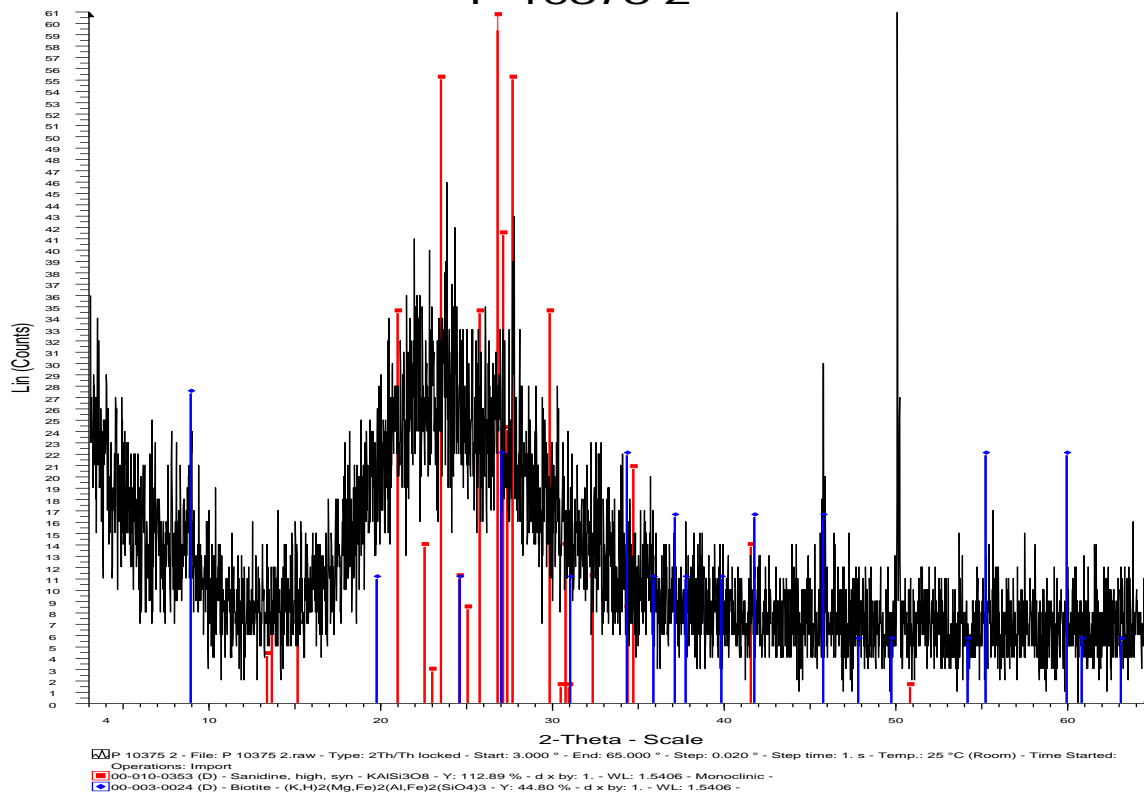
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ



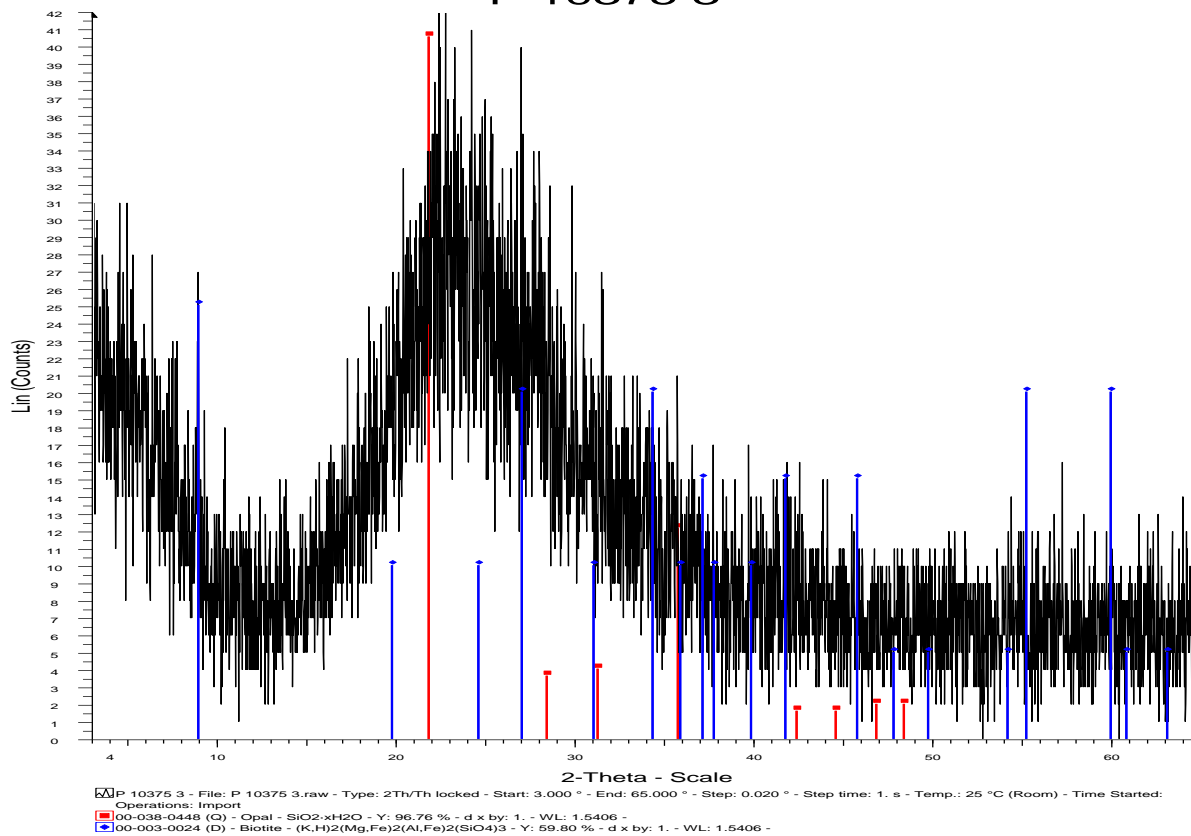




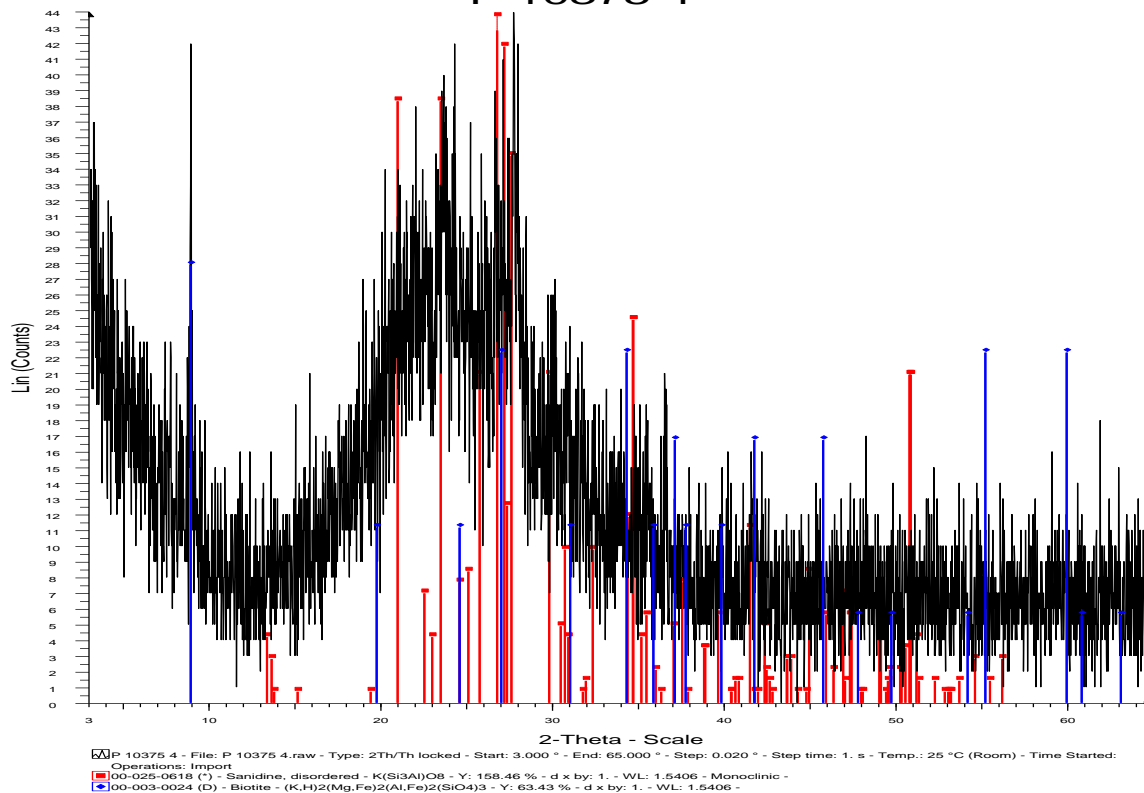
P 10375 2



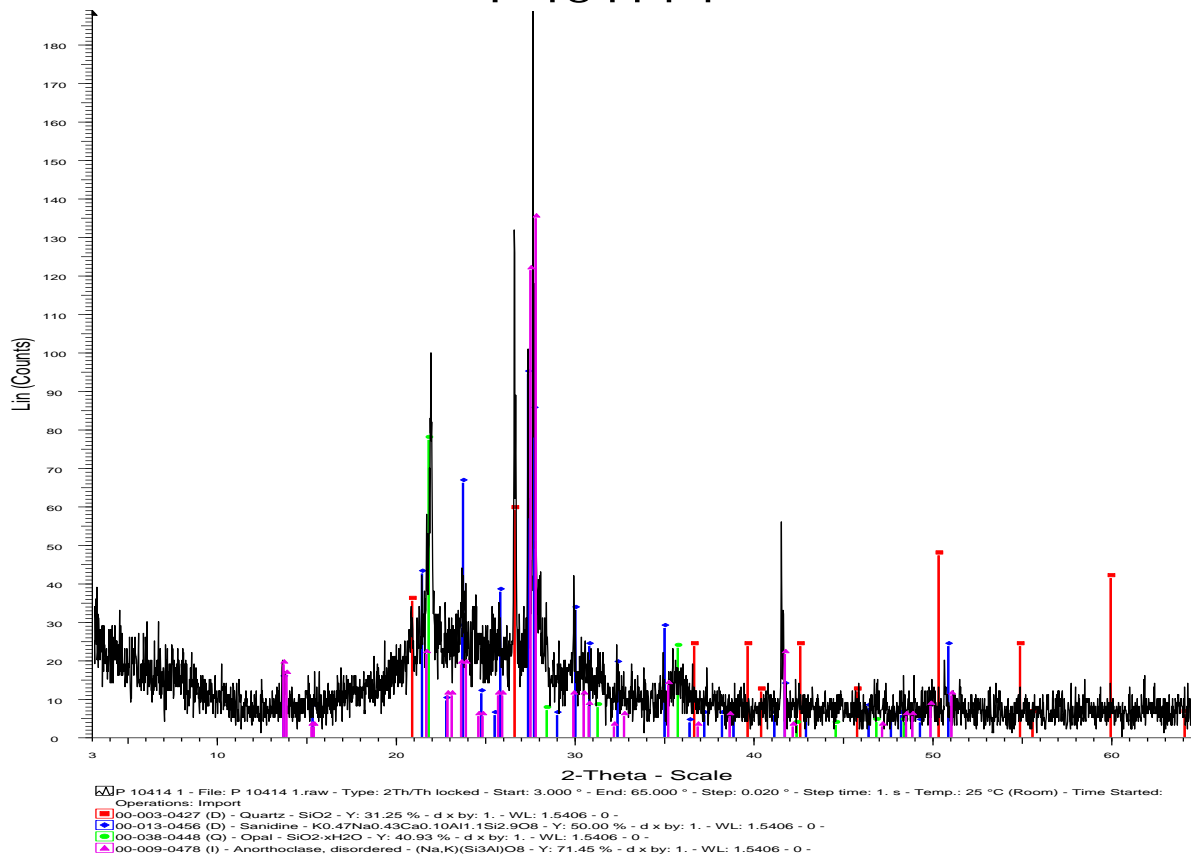
P 10375 3



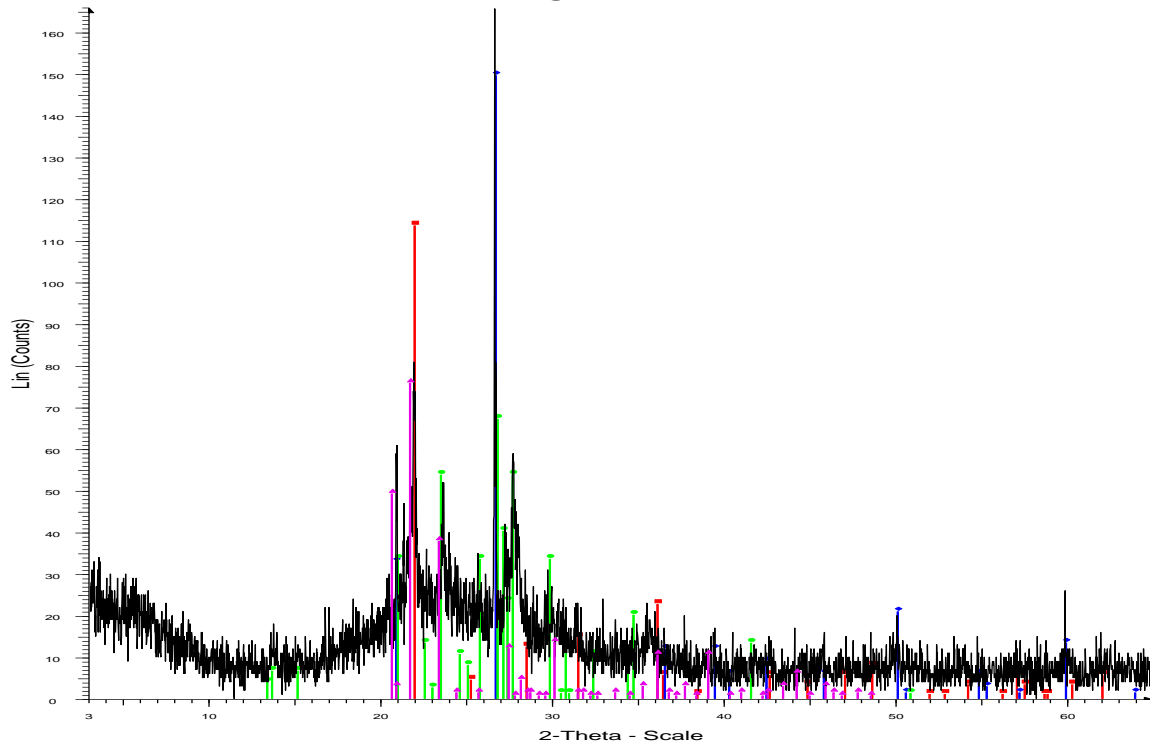
P 10375 4



P 10414 1

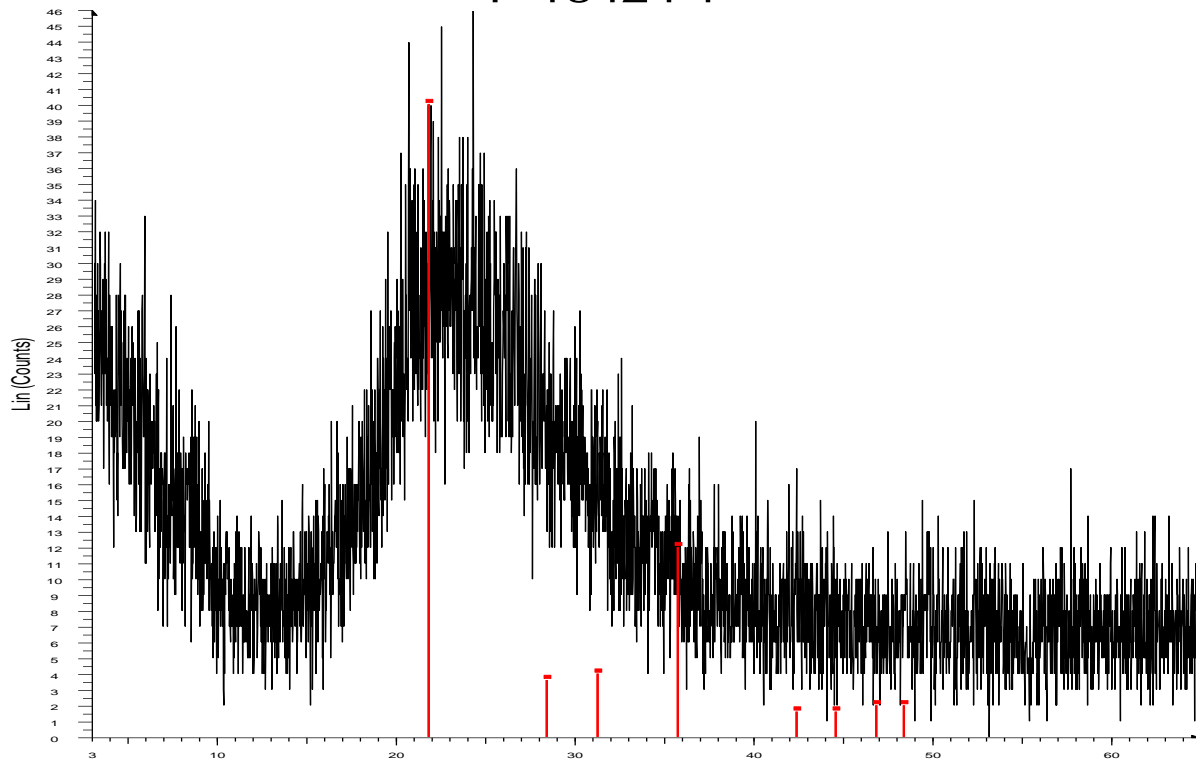


P 10414 2



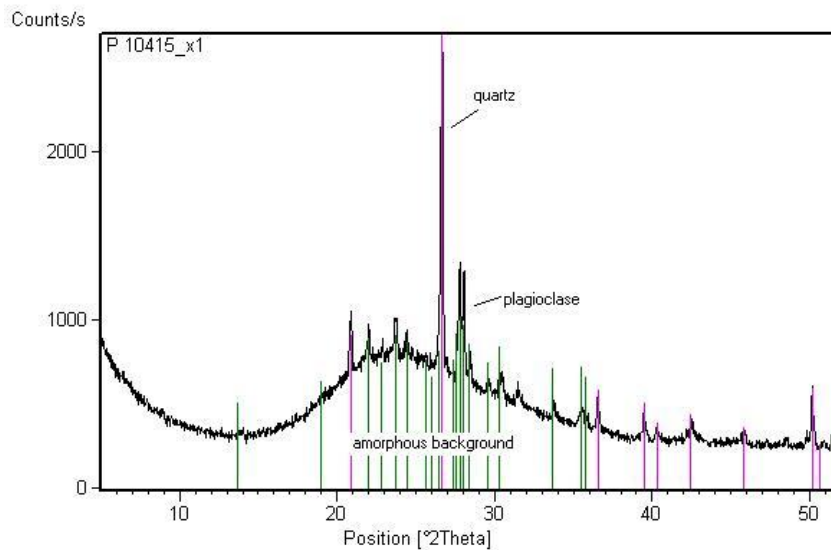
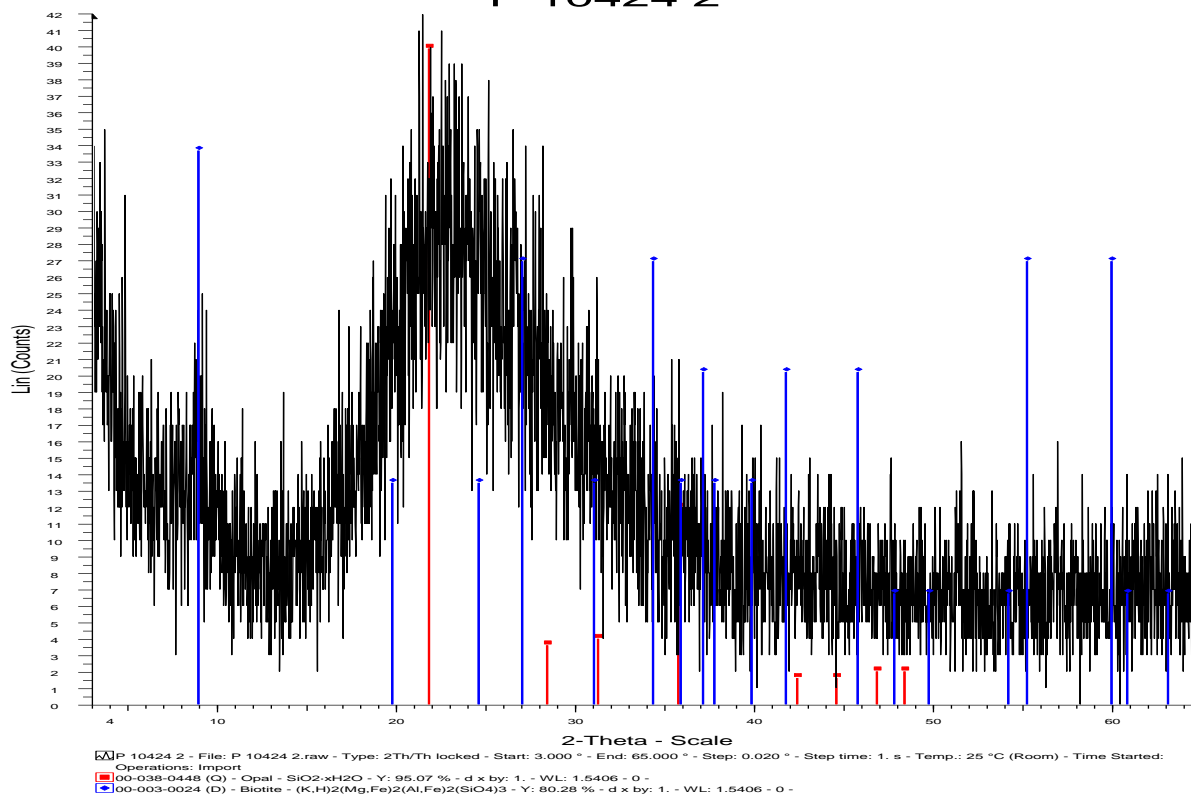
☒ P 10414 2 - File: P 10414 2.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started:
Operations: Import
■ 00-011-0695 (D) - Cristobalite, syn - SiO₂ - Y: 68.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal -
■ 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 90.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/c PDF 3.6 -
■ 00-010-0353 (D) - Sanidine, high, syn - KAlSi₃O₈ - Y: 40.58 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -
■ 00-016-0152 (D) - Tridymite - SiO₂ - Y: 45.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal -

P 10424 1



☒ P 10424 1 - File: P 10424 1.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started:
Operations: Import
■ 00-038-0448 (O) - Opal - SiO₂·xH₂O - Y: 87.20 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - O -

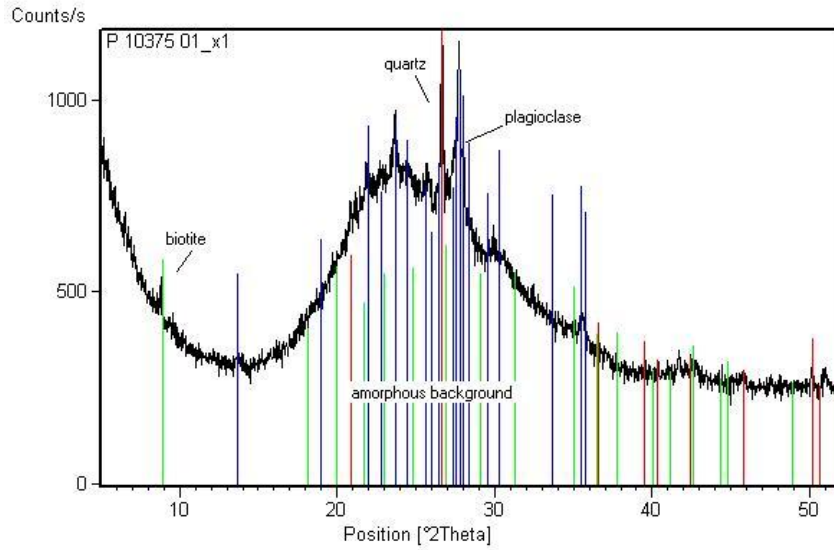
P 10424 2



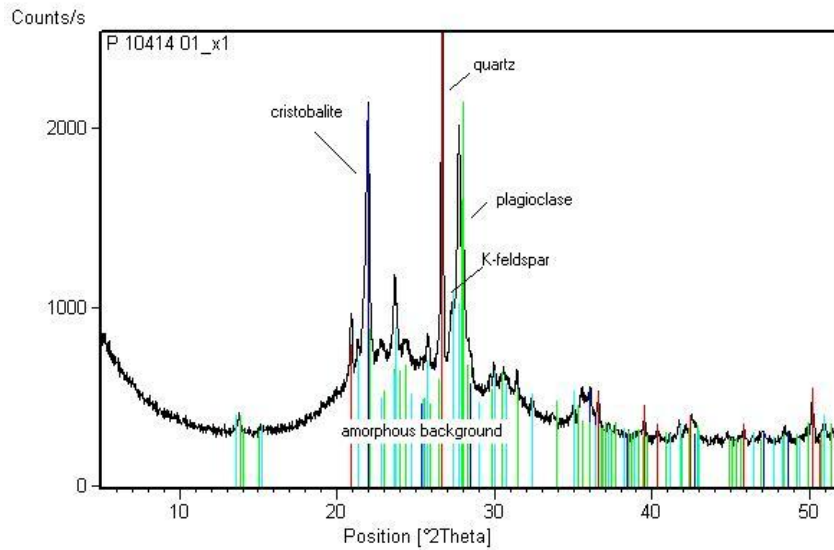
quartz SiO₂, **plagioclase feldspar** [albite (Na,Ca)(Si,Al)₄O₈ / anorthite (Ca,Na)(Si,Al)₄O₈]

(Main peak of each mineralogical phase is marked by the corresponding name. All peaks marked by the same colour belong to the same phase.)

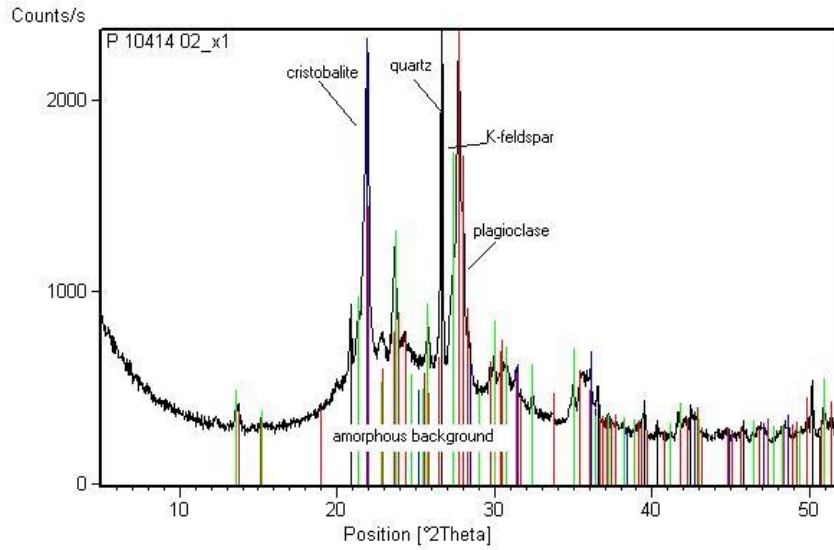
Chemical formulae of phases identified are only general formulae and do not represent the exact composition of the phases present)



quartz SiO_2 , **plagioclase feldspar** [albite $(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$ / anorthite $(\text{Ca,Na})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$], **biotite** $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

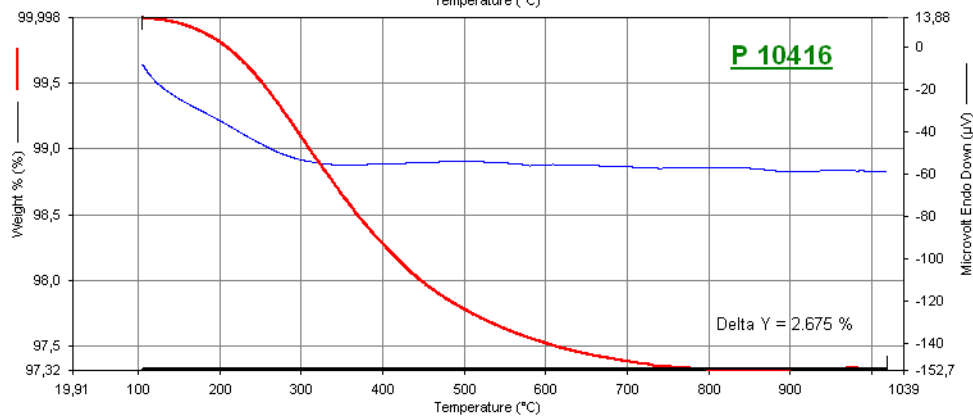
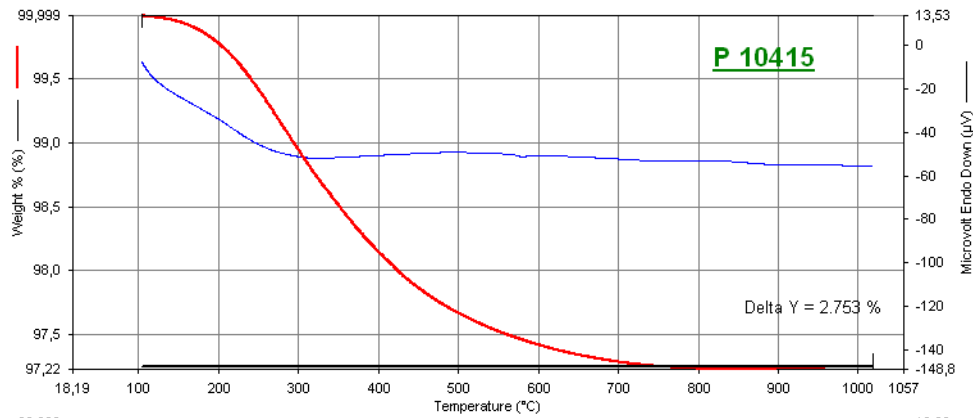


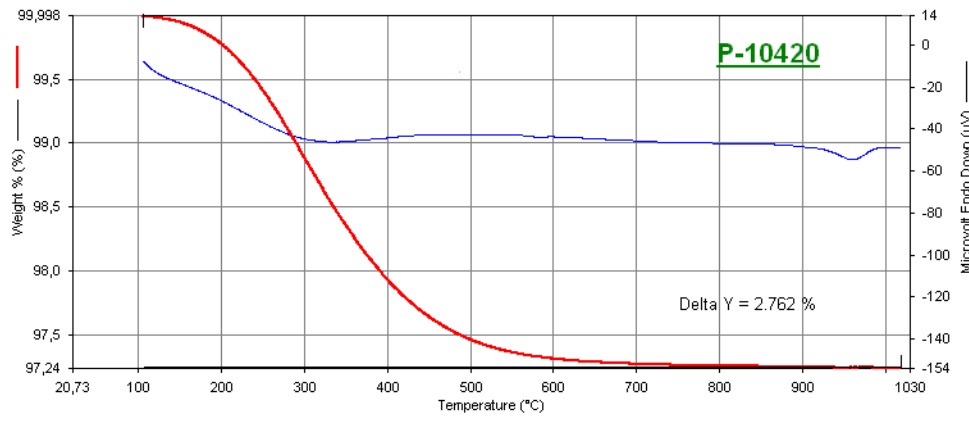
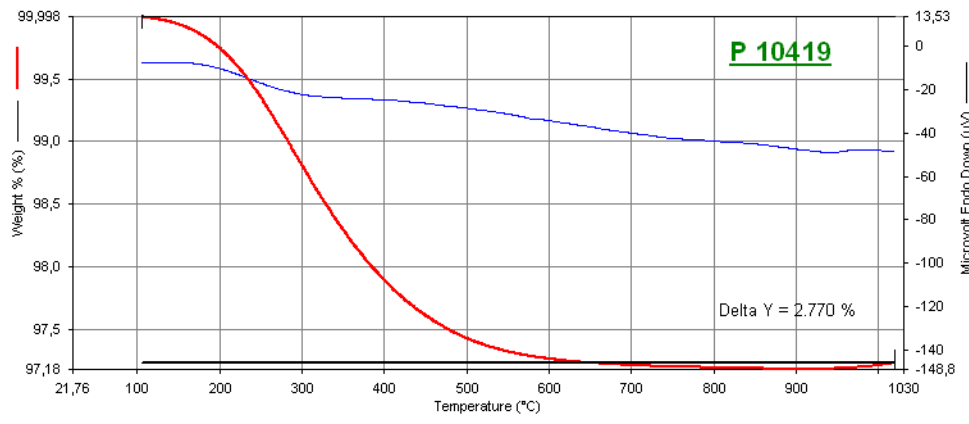
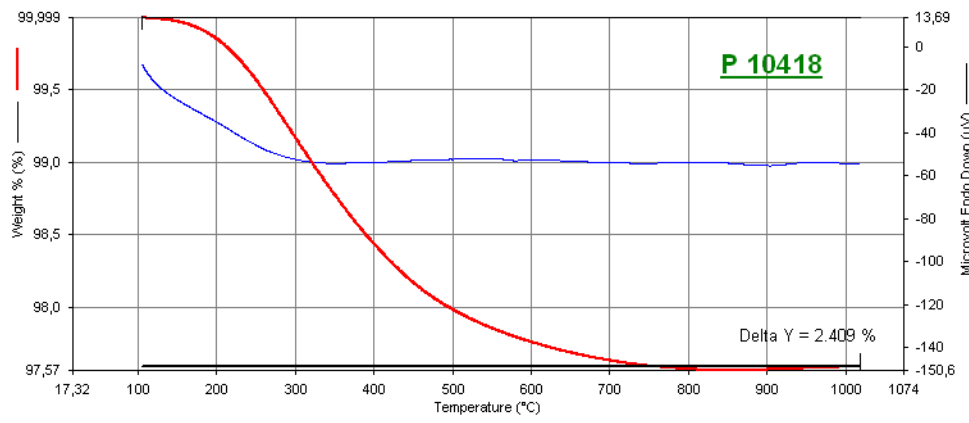
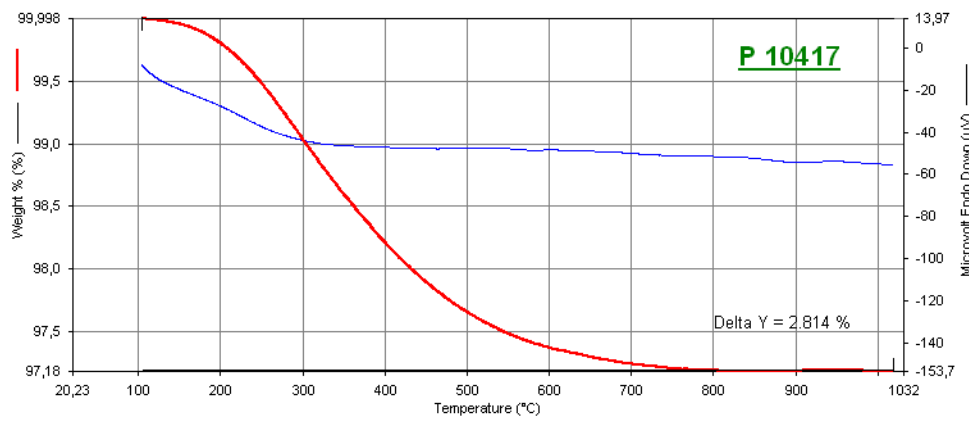
quartz SiO_2 , **cristobalite** SiO_2 , **plagioclase feldspar** [albite $(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$ / anorthite $(\text{Ca,Na})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$], **K-feldspar** [sanidine $\text{K}(\text{Si}_3\text{Al})_4\text{O}_8$ / orthoclase KAlSi_3O_8]

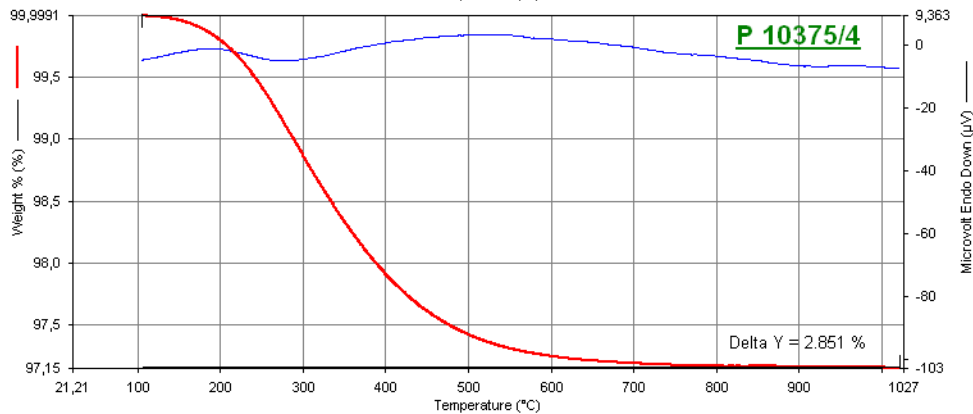
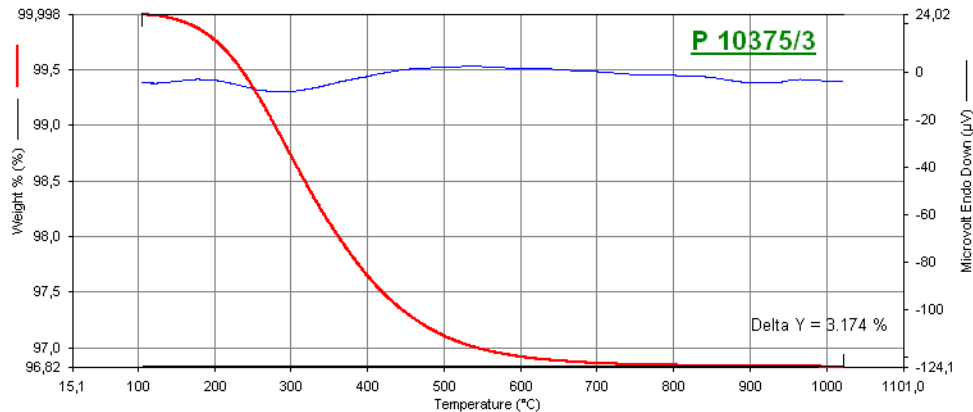
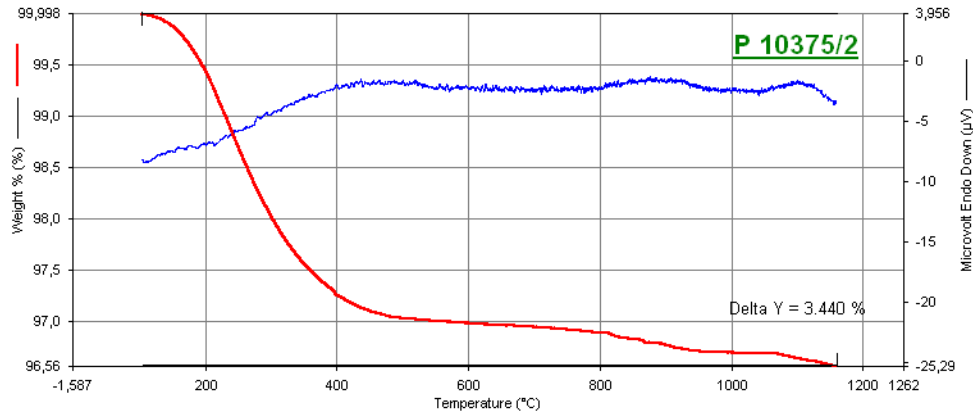
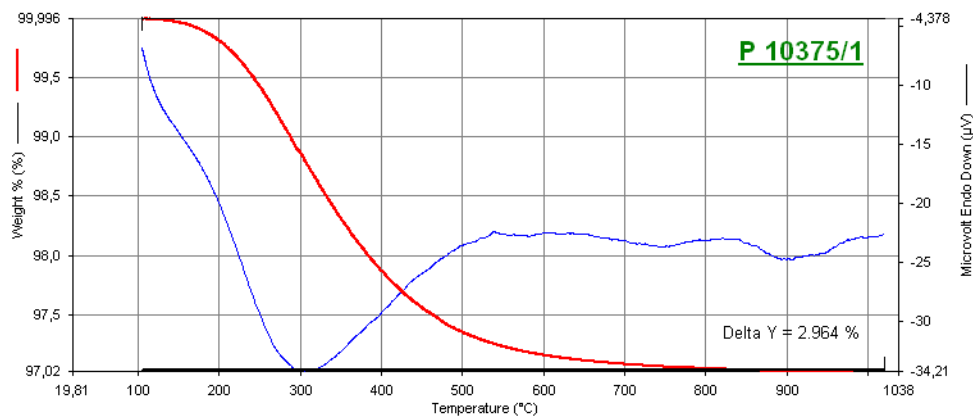


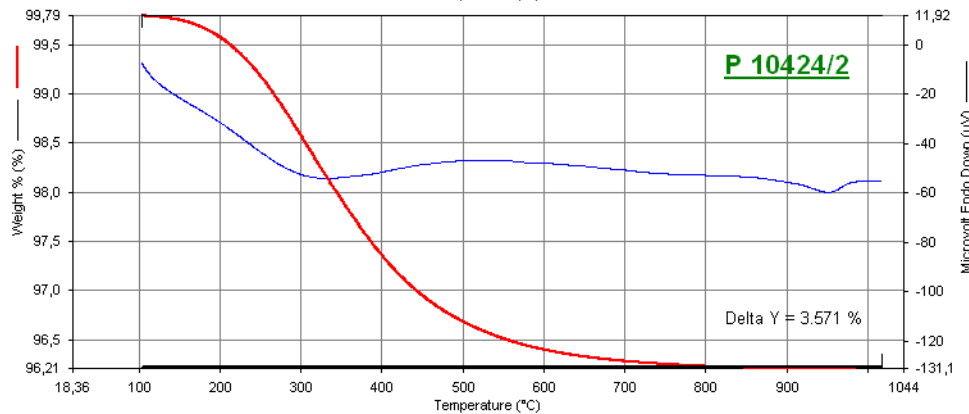
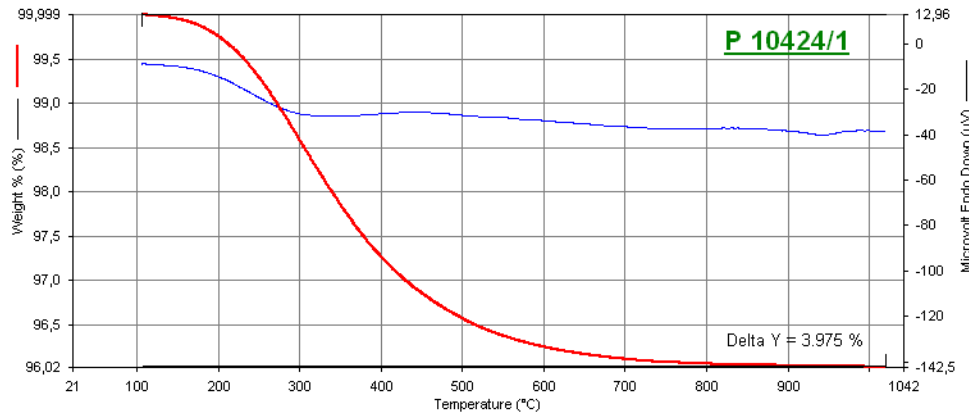
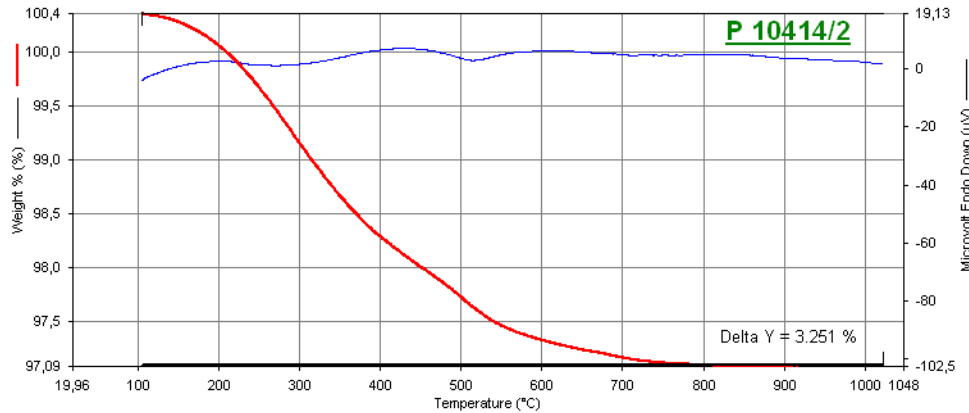
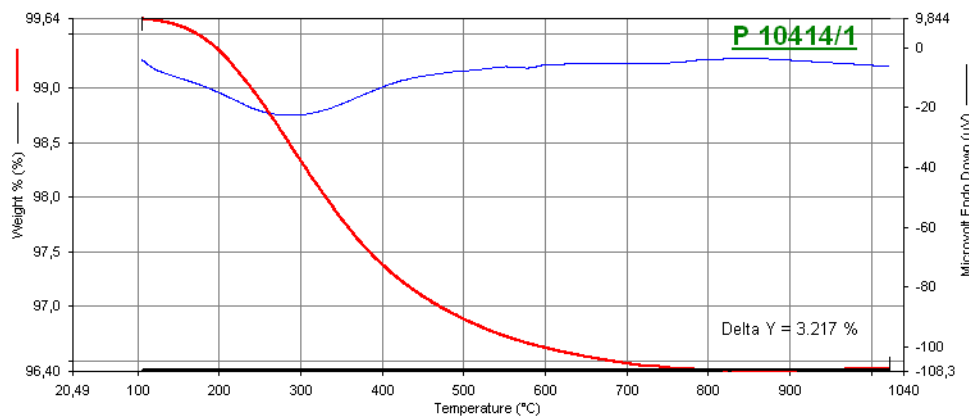
quartz SiO_2 , **plagioclase feldspar** [albite $(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$ / anorthite $(\text{Ca,Na})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$], **cristobalite** SiO_2 , **K-feldspar** [sanidine $\text{K}(\text{Si}_3\text{Al})_4\text{O}_8$ / orthoclase KAlSi_3O_8]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: Διαγράμματα TG – DTA



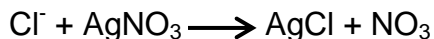






ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: Προσδιορισμός Cl⁻ σε βιομηχανικά ορυκτά

Εφαρμόζεται η μέθοδος του Mohr, δηλ. γίνεται ογκομέτρηση των ιόντων χλωρίου, εκχυλίσματος περλίτη με νερό (π.χ. 1:5, δηλ. π.χ. 5g περλίτη+100ml απιονισμένου νερού) σε ελαφρώς αλκαλικό περιβάλλον (pH≈8.2) με διάλυμα AgNO₃ 0.1N, παρουσία δείκτη χρωμικών ιόντων (CrO₄²⁻). Λαμβάνει χώρα η αντίδραση:



Υλικά και όργανα

- Φιάλη ανακινήσεως 200ml
- Συσκευή φυγοκεντρήσεως
- Κωνική φιάλη 200ml
- Προχοϊδα 10ml
- Μαγνητικός αναδευτήρας

Αντιδραστήρια

- 0,1N H₂SO₄
- 0.1N Na₂CO₃
- 0.1N AgNO₃ (16.988g AgNO₃ διαλύονται σε νερό, συμπληρούται στο 1L και φυλάσσεται στη φιάλη σκοτεινού χρώματος)
- Διαλύουμε 0,1N NaCl (διάλυση 5,846g NaCl σε απεσταγμένο νερό και συμπλήρωση του όγκου στο 1L)
- Δείκτης χρωμικού καλίου ≈5%
- Φαινολφθαλείνη (0,5g φαινολφθ. +50ml αιθυλική αλκόολη +50ml H₂O, καλή ανάδευση) και διήθηση

Εκτέλεση προσδιορισμού

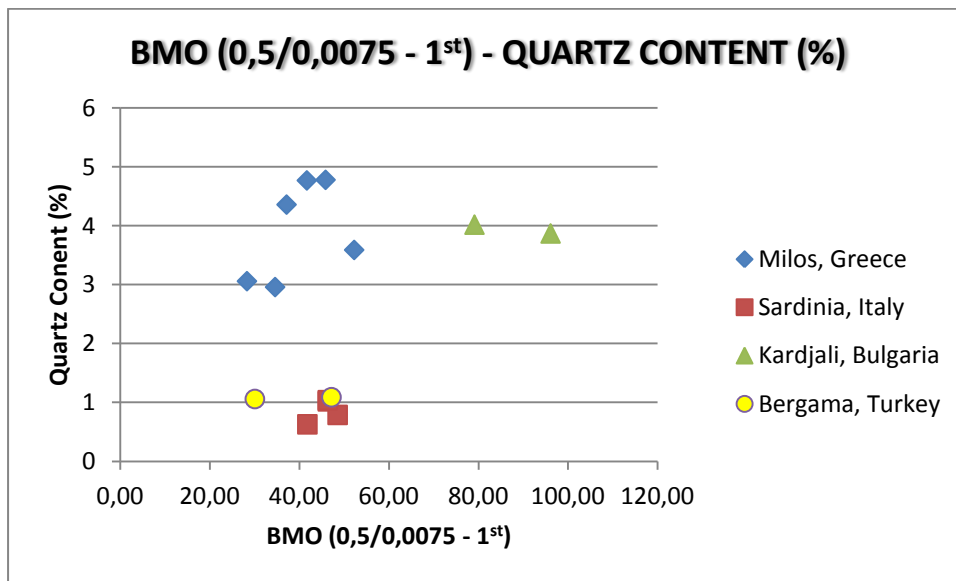
5g δείγματος τίθενται σε φιάλη ανακινήσεως 200ml με 100ml απεσταγμένου νερού. Εκτελείται καλή ανακίνηση (σε συσκευή ανακινήσεως) για τουλάχιστον μισή ώρα.

Φυγοκεντρείται. Το διαυγές υγρό τίθεται σε κωνική φιάλη 200ml και ρυθμίζεται το pH δια χρησιμοποίησεως διαλύματος 0,1N H₂SO₄ ή 0,1N Na₂CO₃ στο 8,2. Το pH τούτο δίδεται υπό μίας σταγόνας 0,1 NH₂SO₄ εις το σημείο αποχρωματισμού του δείκτη φαινολφθαλεΐνης.

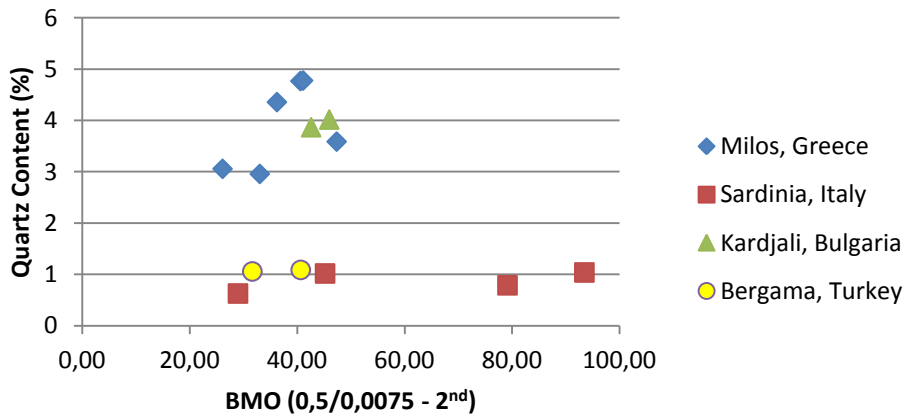
Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται προσθήκη μιας σταγόνας διαλύματος 0,1N NaCO₃, η οποία πρέπει να επαναφέρει το ρόδινο χρωματισμό του δείκτη και του διαλύματος. Μετά προστίθενται 3 σταγόνες δείκτη χρωμικού καλίου και ογκομετρείται η ποσότητα των ιόντων Cl⁻ δια διαλύματος 0,1N AgNO₃. Η ογκομέτρηση λαμβάνει χώρα υπό ανάδευση, με τη βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα. Περαιτώνεται υπό της εμφάνισης κεραμοχρού χροιάς. Γίνεται λευκός προσδιορισμό. Τελικώς για 5g περλίτη έστω ότι καταναλώθηκαν a ml AgNO₃ 0.1N. Τότε,

$$\underline{\%Cl^- = a \cdot 0.071}$$

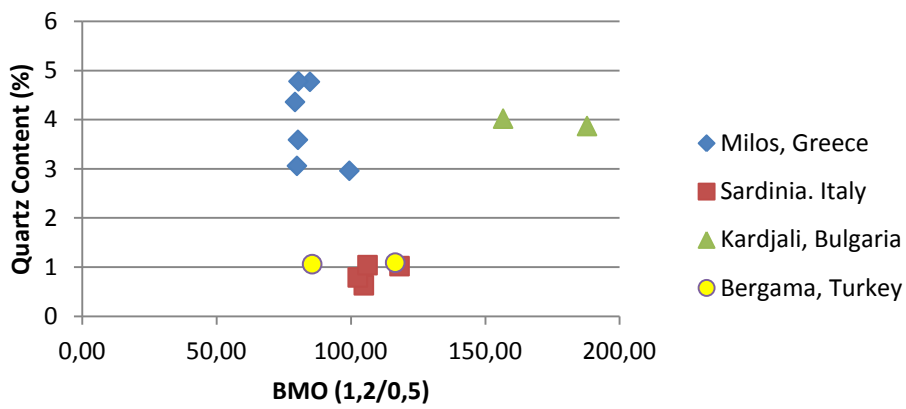
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙVΑ. Διαγράμματα περιεχόμενου χαλαζία

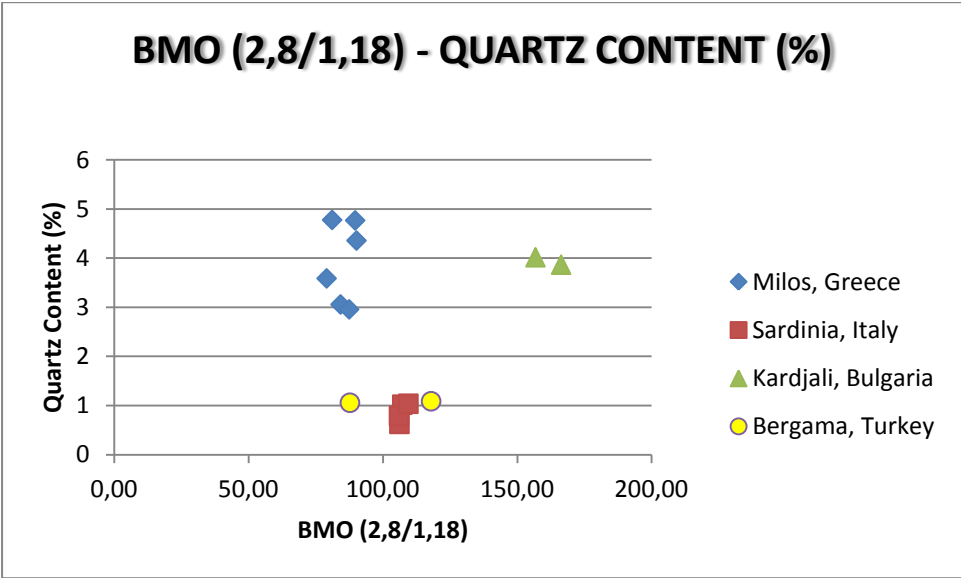


BMO (0,5/0,0075 - 2nd) - QUARTZ CONTENT (%)

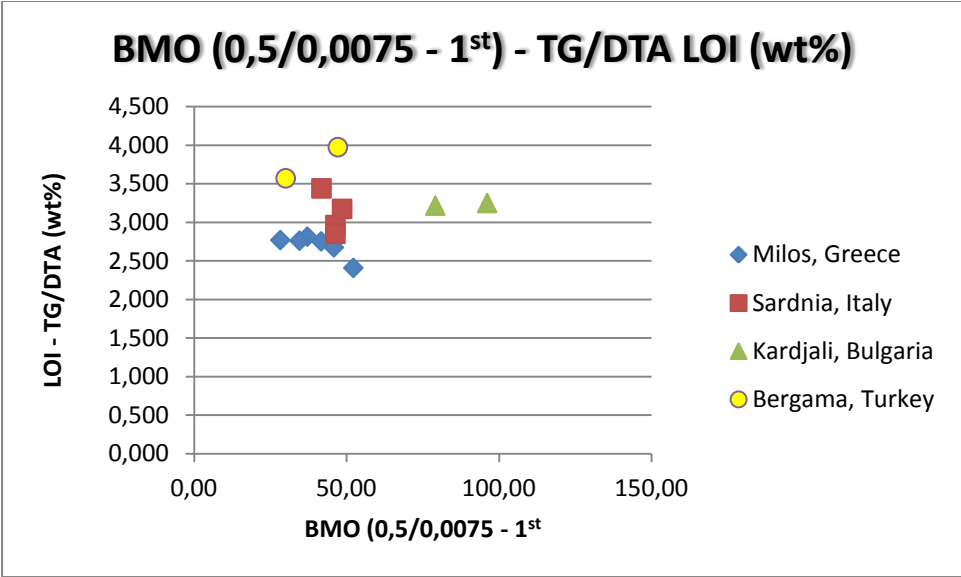


BMO (1,2/0,5) - QUARTZ CONTENT (%)

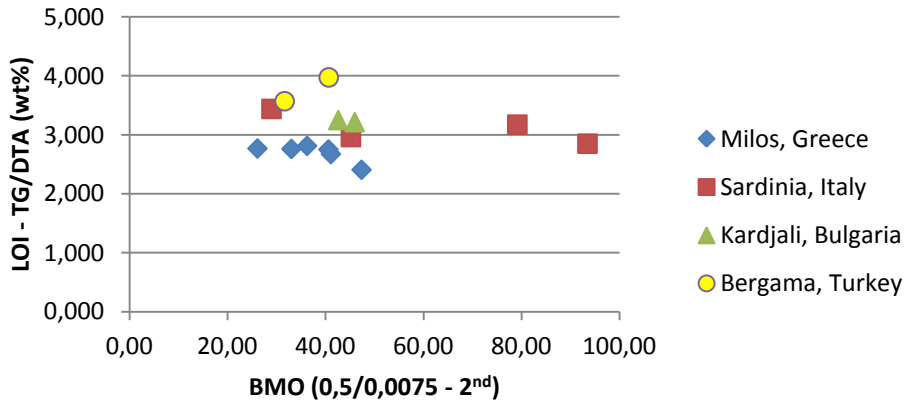




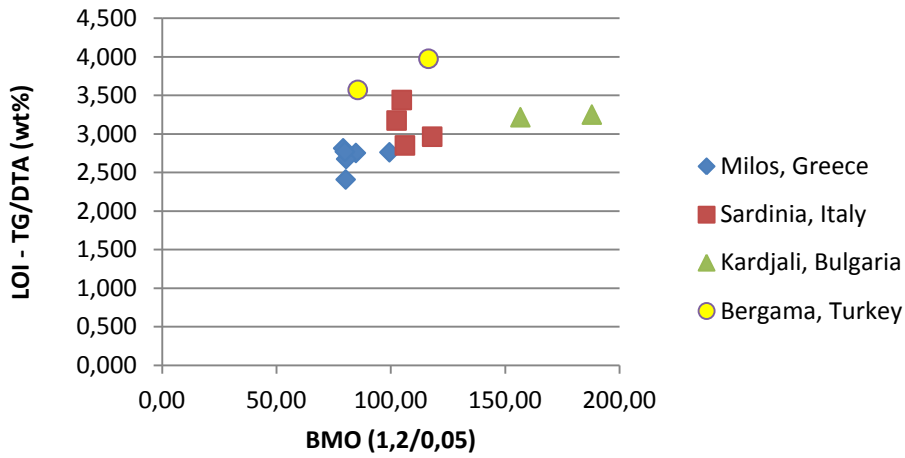
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV .B. Διαγράμματα BMO – LOI



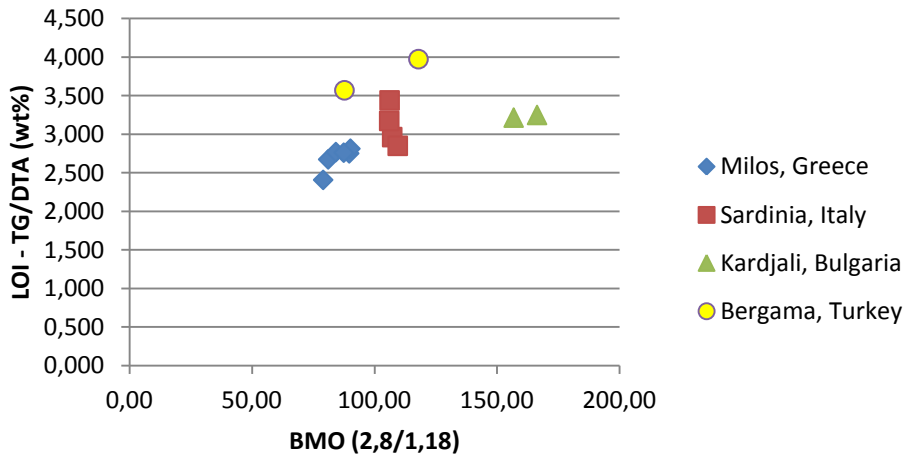
BMO (0,5/0,0075 - 2nd) - TG/DTA LOI (wt%)



BMO (1,2/0,5) - TG/DTA LOI (wt%)



BMO (2,8/1,18) - TG/DTA LOI (wt%)



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V. Ακτινοδιαγράμματα με εμφανή τη μετατόπιση της καμπύλης αναθόλωσης

