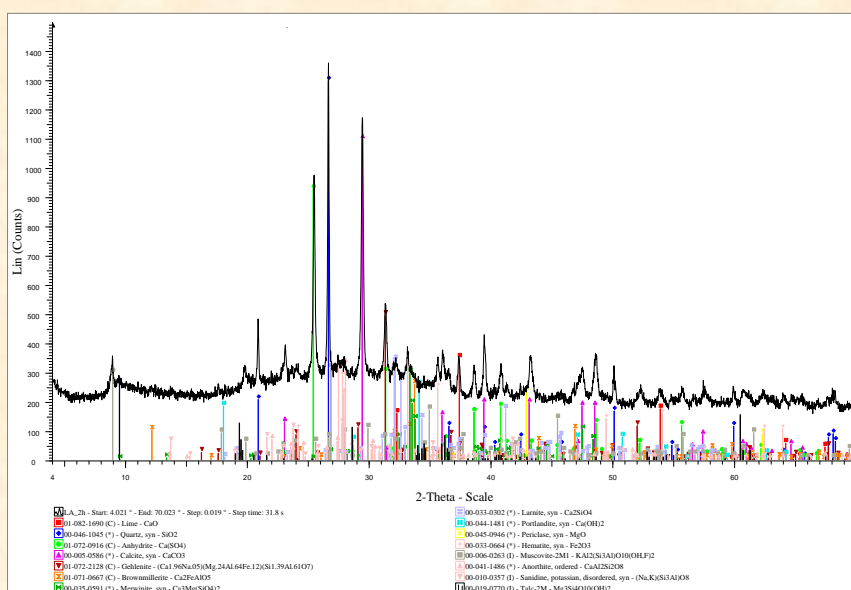




**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

Διδακτορική Διατριβή

**“Εκτίμηση της συμπεριφοράς τήξης των τεφρών των λιγνιτικών  
ατμοηλεκτρικών σταθμών της Βόρειας Ελλάδας με βάση την  
ορυκτολογική τους σύσταση”**



Αντώνιος Στρατάκης  
Διπλ. Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, Μ.Δ.Ε.

Χανιά  
Ιανουάριος 2014

### Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Κωστάκης Γεώργιος, Ομότιμος Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων,  
Πολυτεχνείο Κρήτης (Επιβλέπων)

Φιλιππίδης Ανέστης, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών,  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Γαλετάκης Μιχάλης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων,  
Πολυτεχνείο Κρήτης

### **Εξεταστική Επιτροπή**

Κωστάκης Γεώργιος, Ομότιμος Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων,  
Πολυτεχνείο Κρήτης

Φιλιππίδης Ανέστης, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών,  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Γαλετάκης Μιχάλης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων,  
Πολυτεχνείο Κρήτης

Κακαράς Εμμανουήλ, Καθηγητής, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό  
Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Κομνίτσας Κωνσταντίνος, Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων,  
Πολυτεχνείο Κρήτης

Χρηστίδης Γεώργιος, Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων,  
Πολυτεχνείο Κρήτης

Αλεβίζος Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων,  
Πολυτεχνείο Κρήτης

*Στην οικογένεια μου ...*

Copyright © Αντώνιος Στρατάκης, 2014

**“Η έγκριση της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής από τη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως.” (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ.2)**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει ως στόχο τον προσδιορισμό και την αξιοποίηση των χαρακτηριστικών (σύσταση και ιδιότητες) τόσο των ιπταμένων τεφρών όσο και των εργαστηριακών τεφρών των ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) της Βόρειας Ελλάδας, έτσι ώστε να είναι εφικτή η εκτίμηση της συμπεριφοράς τήξης των τεφρών κατά την καύση του λιγνίτη στο φλογοθάλαμο των ατμοηλεκτρικών σταθμών.

Η μελέτη της συμπεριφοράς τήξης των τεφρών σχετίζεται σε σημαντικό βαθμό με την απόδοση των ατμοηλεκτρικών σταθμών, καθώς μπορεί να βοηθήσει στην εκτίμηση των συνθηκών που αιτιάζονται την εκδήλωση φαινομένων που δημιουργούν προβλήματα στην εύρυθμη λειτουργία των σταθμών, όπως είναι οι επισκωριώσεις και οι επικαθήσεις. Η πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων λειτουργίας των ΑΗΣ μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο κατά το σχεδιασμό των ΑΗΣ όσο και με συστήματα ελέγχου της σύστασης σε πραγματικό χρόνο λειτουργίας, ώστε να προλαμβάνεται η εμφάνιση τέτοιων προβλημάτων και να αντιμετωπίζονται πριν την οριστική διακοπή λειτουργίας για αποκατάσταση.

Η ορυκτολογική σύσταση δύναται να παρουσιάσει αναλυτικότερα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη, σε σχέση με τη χημική σύσταση, και κατ' επέκταση της τέφρας που προκύπτει, ώστε να βοηθήσει στην εκτίμηση πιθανής εμφάνισης προβλημάτων κατά την λειτουργία των ΑΗΣ.

Έτσι, στην παρούσα διατριβή μελετώνται η ορυκτολογική και χημική σύσταση των λιγνιτικών τεφρών των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου σε συνδυασμό με τις θερμοκρασίες αρχική παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής, ώστε να δημιουργηθούν μαθηματικές σχέσεις εκτίμησης της συμπεριφοράς του λιγνίτη κατά την καύση μέσα στο λέβητα των ΑΗΣ. Επίσης, ο συνδυασμός της ορυκτολογικής με τη χημική σύσταση έδωσαν τη δυνατότητα δημιουργίας μαθηματικών σχέσεων εκτίμησης της περιεκτικότητας των αμόρφων στις λιγνιτικές τέφρες με βάση τη χημική σύσταση.

Για την επίτευξη των στόχων της παρούσας διδακτορικής διατριβής, συνέβαλαν πολλοί άνθρωποι τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω. Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Ομότιμο Καθηγητή κ. Γεώργιο Κωστάκη, για την πολύτιμη βοήθεια, την καθοδήγηση και την υπομονή του καθ' όλη τη

διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης τον ευχαριστώ για τη συνεργασία που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας. Ευχαριστώ επίσης θερμά, τα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής τον Καθηγητή κ. Ανέστη Φιλιππίδη για τις χρήσιμες συμβουλές και παρατηρήσεις του, καθώς και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Μιχαήλ Γαλετάκη, για τις παρατηρήσεις του και την ουσιαστική συμβολή του σε καίρια σημεία κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής αυτής.

Θα ήταν παράληψη αν δεν ευχαριστούσα τον αείμνηστο Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καβουρίδη, ο οποίος σε συνεργασία με τον κ. Κωστάκη, συνεισέφερε τα μέγιστα στο σχεδιασμό και την υλοποίηση του προγράμματος δειγματοληψίας. Επίσης θα πρέπει να ευχαριστήσω και το προσωπικό των ΑΗΣ που πραγματοποίησαν τη συλλογή και αποστολή των δειγμάτων στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής τον Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Κομνίτσα, τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Χρηστίδη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Αλεβίζο, για το χρόνο που διέθεσαν στην αξιολόγηση της παρούσας διατριβής.

Ακόμα, ευχαριστώ τα μέλη ΔΕΠ και το προσωπικό των Εργαστηρίων Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας & Οργανικής Πετρογραφίας, Πετρολογίας & Οικονομικής Γεωλογίας, Εμπλουτισμού, καθώς και της Μονάδας Έλεγχος Ποιότητας - Υγιεινή & Ασφάλεια στη Μεταλλευτική της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων για την παραχώρηση και χρήση του εξοπλισμού τους κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Ειδικότερα, ευχαριστώ την κα. Όλγα Παντελάκη για την πραγματοποίηση των κοκκομετρικών αναλύσεων, το Δρ. Δανιήλ Μωραΐτη για τη βοήθεια στην πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων με τη χρήση του φασματοσκοπίου ακτίνων-Χ φθορισμού (XRF) και τη Δρ. Ευτυχία Ρεπούσκου για την εκπαίδευση και χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM), καθώς και όλους τους συναδέλφους που με το δικό τους τρόπο με βοήθησαν στην υλοποίηση της παρούσας διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη συνεχή και αμέριστη ηθική υποστήριξη και υπομονή που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής, χωρίς την οποία δε θα είχε ολοκληρωθεί.

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γένεση - Γεωλογία Ελληνικών λιγνιτών.....	2
1.1.1 Γένεση γαιανθράκων .....	2
1.1.2 Ταξινόμηση γαιανθράκων.....	4
1.1.3 Λιγνίτες περιοχής Βορειοδυτικής Μακεδονίας.....	5
1.2 Καύση γαιανθράκων στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς και δημιουργία τέφρας.....	8
1.3 Λιγνιτικές τέφρες.....	11
1.3.1 Γενικά.....	11
1.3.2 Σύσταση λιγνιτικών τεφρών.....	14
1.3.2.1 Χημική σύσταση.....	14
1.3.2.2 Ορυκτολογική σύσταση.....	17
1.3.3 Κατηγορίες ιπταμένων τεφρών .....	21
1.3.4 Ιδιότητες ιπταμένων τεφρών.....	21
1.3.4.1 Επισκωριώσεις .....	22
1.3.4.2 Επικαθήσεις.....	23
1.3.4.3 Διάβρωση .....	24
1.3.4.4 Οξείδωση.....	25
1.3.4.5 Εξάρτηση των επισκωρίσεων και επικαθήσεων από τη σύσταση του κανσίμου - Συμπεριφορά τήξης.....	25
1.3.4.6 Ποζολανικές και υδραυλικές ιδιότητες των Ι.Τ.....	32
1.3.5 Δυνατότητες αξιοποίησης των Ιπταμένων Τεφρών.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	40
2.1 Επιλογή και προετοιμασία των δειγμάτων των Ι.Τ. και των Ε.Τ. ....	40
2.2 Ορυκτολογικές αναλύσεις.....	43
2.2.1 Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ.....	43
2.2.2 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.....	51
2.3 Χημικές αναλύσεις.....	53
2.4 Συμπεριφορά τήξης.....	56
2.5 Ειδική επιφάνεια .....	60

2.6 Κοκκομετρική κατανομή .....	64
2.7 Στατιστική επεξεργασία .....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	73
3.1 Ορυκτολογική σύσταση .....	73
3.1.1 <i>Ιπτάμενες τέφρες</i> .....	77
3.1.2 <i>Εργαστηριακές τέφρες</i> .....	82
3.1.3 <i>Μορφολογία, ειδική επιφάνεια και κοκκομετρική κατανομή των σωματιδίων των             τεφρών (I.T. και E.T.)</i> .....	89
3.2 Χημική σύσταση .....	98
3.2.1 <i>Ιπτάμενες τέφρες</i> .....	99
3.2.2 <i>Εργαστηριακές τέφρες</i> .....	102
3.2.3 <i>Τάση δημιουργίας επισκωρώσεων και επικαθήσεων με βάση τη χημική σύσταση</i> .....	106
3.3 Συμπεριφορά τήξης .....	108
3.3.1 <i>Ιπτάμενες τέφρες</i> .....	108
3.3.2 <i>Εργαστηριακές τέφρες</i> .....	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	115
4.1 Συσχέτιση της σύστασης των ιπταμένων τεφρών με των εργαστηριακών τεφρών ....	115
4.2 Συσχέτιση της ορυκτολογικής με τη χημική σύσταση των τεφρών .....	119
4.2.1 <i>Περιεκτικότητα σε άμορφα</i> .....	120
4.2.1.1 <i>Ιπτάμενες Τέφρες</i> .....	121
4.2.1.2 <i>Εργαστηριακές Τέφρες</i> .....	124
4.3 Συσχέτιση της χημικής σύστασης με τη συμπεριφορά τήξης .....	127
4.3.1 <i>Ιπτάμενες τέφρες</i> .....	127
4.3.2 <i>Εργαστηριακές τέφρες</i> .....	139
4.4 Συσχέτιση της ορυκτολογικής σύστασης με τη συμπεριφορά τήξης .....	153
4.4.1 <i>Ιπτάμενες τέφρες</i> .....	153
4.4.2 <i>Εργαστηριακές τέφρες</i> .....	169
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	190
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	194
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α .....	208
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β .....	242
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ .....	273
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ .....	305

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διατριβής είναι ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς τήξης των λιγνιτικών τεφρών των ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) της Βόρειας Ελλάδας και η συσχέτιση αυτών με την ορυκτολογική και χημική τους σύσταση. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν τα παρακάτω:

- α) Η ποσοτική ορυκτολογική και χημική σύσταση, καθώς και η συμπεριφορά τήξης (θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής) τόσο εργαστηριακών τεφρών, όσο και ιπταμένων τεφρών των ατμοηλεκτρικών σταθμών Αγίου Δημητρίου, Καρδιάς, ΛΙΠΤΟΛ, Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου.
- β) Η ειδική επιφάνεια (λεπτότητα κατά Blaine) και η κοκκομετρική κατανομή στις ιπτάμενες τέφρες.
- γ) Με βάση τα αποτελέσματα των α και β, έγιναν συσχετισμοί της χημικής και ορυκτολογικής σύστασης με τις θερμοκρασίες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης των τεφρών, προκειμένου να ευρεθούν ποσοτικές σχέσεις οι οποίες θα επιτρέπουν την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων που μπορούν να προκύψουν κατά την καύση του λιγνίτη μέσα στο λέβητα (επισκωριώσεις, επικαθήσεις).

Από τα παραπάνω προέκυψε ότι:

- α) Η διακύμανση της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης των τεφρών που ελήφθησαν με συστηματική δειγματοληψία διάρκειας από δώωρα έως και μηνιαία δείγματα, παρουσιάζει ποσοτικά αυξομειώσεις χωρίς όμως ουσιαστικές διαφοροποιήσεις των ορυκτολογικών φάσεων και των οξειδίων εν γένει.
- β) Οι διαφοροποιήσεις της σύστασης μεταξύ των ΑΗΣ, έδειξαν ότι οι τέφρες των ΑΗΣ του Αγίου Δημητρίου και της Καρδιάς είναι περισσότερο ασβεστούχες από τις υπόλοιπες, ενώ παρουσίασαν και τις υψηλότερες θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής.
- γ) Η συσχέτιση της ποσοτικής ορυκτολογικής σύστασης (όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Rietveld) με τη χημική σύσταση οδήγησε στην εύρεση σχέσεων προσδιορισμού της περιεκτικότητας του αμόρφου των λιγνιτικών τεφρών, με βάση την περιεκτικότητα των κύριων οξειδίων.
- δ) Η συσχέτιση της ορυκτολογικής και της χημικής σύστασης των ιπτάμενων με τις αντίστοιχες εργαστηριακές τέφρες δεν οδήγησε σε σαφείς σχέσεις, προφανώς λόγω

- α) των διαφορετικών συνθηκών καύσης μεταξύ των, β) της διαφοροποίησης της σύστασης του λιγνίτη λόγω χρονικής υστέρησης κατά την λήψη και γ) της διαφοροποίησης της εργοστασιακής τέφρας σε ιπτάμενη και τέφρα δαπέδου.
- ε) Η συσχέτιση της χημικής σύστασης με τη συμπεριφορά τήξης των τεφρών οδήγησε σε σχέσεις εκτίμησης των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης, ενώ, εν μέρει, επιβεβαιώθηκαν και οι γνωστές σχέσεις από τη βιβλιογραφία.
- στ) Η συσχέτιση της ποσοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης με τη συμπεριφορά τήξης των τεφρών οδήγησε στην εύρεση σχέσεων που επιτρέπουν τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας ημισφαιρίου, καθώς και των θερμοκρασιών μαλάκυνσης και ροής κατά προσέγγιση, με βάση την ποσοτική ορυκτολογική σύσταση.

## ABSTRACT

The aim of the present thesis is to study the ashes produced from lignite which feeds the thermal power plant stations (PPS) of Northern Greece and to correlate ash fusion temperatures with their mineralogical and chemical composition. For this purpose, the following issues were investigated:

- a) The quantitative mineralogical and chemical composition, as well as the ash fusion temperatures (initial deformation, softening, hemisphere and flow temperatures) of ashes produced in the laboratory and of fly ashes of the PPS of Agios Dimitrios, Kardias, LIPTOL, Ptolemaidas and Amynteon.
- b) The specific surface area (fineness using Blaine air-permeability apparatus) and the size fraction distribution of the fly ashes.
- c) Correlations between the chemical - mineralogical composition and the ash fusion temperatures, in order to establish quantitative relationships for the estimation and forecasting of potential problems that can appear during the combustion of lignite in the boiler (slagging, fouling).

From the experimental results it was concluded that:

- a) The fluctuation of the mineralogical and chemical composition of ashes that were obtained by systematic sampling with duration of 2 hours up to monthly samples, results in quantitatively fluctuations without however essential differentiations related to mineralogical phases and oxides in general.
- b) The differentiation of the mineralogical and chemical composition of ashes obtained among the PPS showed that the ashes obtained from the PPS of Agios Dimitrios and Kardias were more calcareous than the rest, while they exhibited higher ash fusion temperatures (initial deformation, softening, hemisphere and flow temperature).
- c) The correlation of the quantitative mineralogical composition (based on the Rietveld method) and chemical composition led to the formulation of equations that allow the determination of the content of amorphous matter in lignite ashes, based on the results of the chemical analysis (main elements concentrations expressed as oxides).
- d) The correlation of the fly ashes and ashes produced in the laboratory according to their mineralogical and chemical analysis did not allow the establishment of any statistically significant relationships. This is mainly due to a) the different combustion conditions in

the laboratory and in the power plants, b) the differentiations of the lignite composition because of the time-delay during sampling and c) the differentiation of the ash produced in the PPS into fly ash and bottom ash.

- e) The correlation between the chemical composition and the ash fusion temperatures, using linear regression analysis, allowed the establishment of relationships that estimate the ash fusion temperatures and partially confirm the relationships given in the international literature.
- f) The correlation between the quantitative mineralogical analysis and the ash fusion temperatures, using multiple linear regression analysis, allowed the establishment of relationships that allow the determination of the hemisphere temperature, as well as of the approximate softening and flow temperatures, based on the quantitative mineralogical composition.

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΗΣ : Ατμοηλεκτρικός σταθμός

ΔΕΗ : Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

ΛΚΠ-Α : Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου

Ι.Τ. : Ιπτάμενη Τέφρα

Ε.Τ. : Εργαστηριακή Τέφρα

Τ.Δ. : Τέφρα Δαπέδου

ID : Initial Deformation Temperature (Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης)

ST : Softening Temperature (Θερμοκρασία μαλάκυνσης)

HT : Hemisphere Temperature (Θερμοκρασία ημισφαιρίου)

FT : Fluid Temperature (Θερμοκρασία ροής)

r : Συντελεστής συσχέτισης Pearson

R : Γενικευμένος συντελεστής συσχέτισης

MSE<sub>R</sub> : Relative Mean Square Error (Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα)

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Οι γαιάνθρακες ανήκουν, παγκοσμίως, στις κύριες πηγές ενέργειας. Στην Ελλάδα μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο καθοριστικό ρόλο για την εκβιομηχάνιση και οικονομική ανάπτυξη της χώρας διαδραμάτισε η αξιοποίηση των Ελληνικών λιγνιτών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μια σειρά ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) της ΔΕΗ εγκατεστημένων στην ευρύτερη περιοχή της Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου παράγουν σήμερα το 48% περίπου της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας (ΔΕΗ, 2012), συμβάλλοντας σε σημαντικό βαθμό στην οικονομική ανάπτυξη της γύρω περιοχής αλλά και ολόκληρης της χώρας. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έγινε ένας σημαντικός αριθμός επιστημονικών εργασιών που αφορούσαν τόσο στους λιγνίτες της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου όσο και στην αξιοποίηση των τεφρών που παράγονται κατά την καύση του λιγνίτη στους ΑΗΣ (Παπαδόπουλος κ.α., 1975; Λιάτης, 1984; Φτίκος κ.α., 1985; Κασσελούρη και Παρισάκης, 1988; Τσιτουρίδου και Παπαχρήστου, 1988; Foscolos and Kostakis, 1990; Καβουρίδης κ.α., 1991; Filippidis and Georgakopoulos, 1992; Georgakopoulos et al., 1992; Kassoli-Fournaraki et al., 1993; Filippidis et. al., 1996; Κοκκάλης, 1997; Παπαγιάννη, 1997; Σακελλαρίου κ.α., 1997; Σταματάκης κ.α., 1997; Φιλίππιδης κ.α., 1997; Μουχτάρης κ.α., 2000; Αδαμίδου κ.α., 2005; Skodras et al., 2007; κ.α.). Ανάμεσα στις εργασίες αυτές, ένας αριθμός μελετών που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας (Kostakis et al., 1991; Kostakis et al., 1994; Κωστάκης, 1996; Kostakis, 2000; Κωστάκης, 2004; Δασκαλάκη, 2005; Kostakis and Stratakis, 2005a,b; Thomaidis et al., 2007; Θωμαΐδης, 2007; Stratakis and Kostakis, 2008; Kostakis, 2009; Kostakis, 2011; κ.α.), συνέβαλε σε έναν ικανοποιητικό προσδιορισμό της σύστασης, ορυκτολογικής και χημικής, των ιπταμένων τεφρών του συνόλου των μονάδων που λειτουργούν σήμερα στην αναφερθείσα περιοχή.

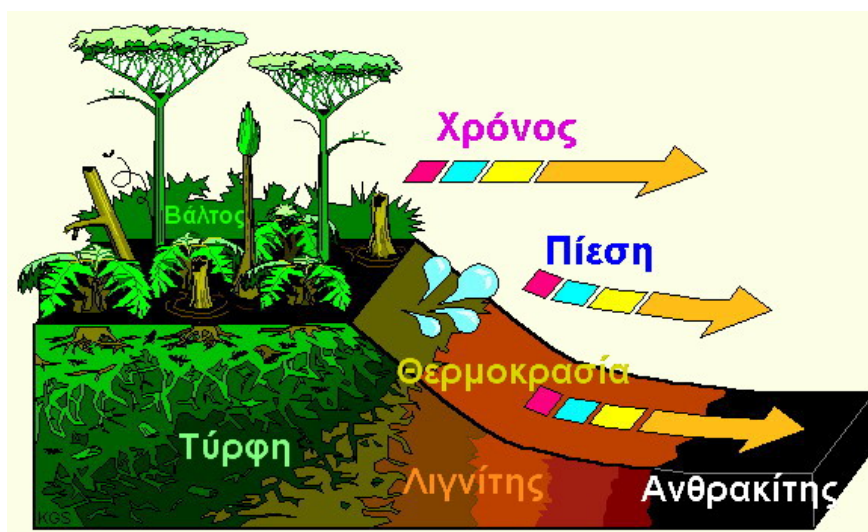
Έτσι δημιουργήθηκαν οι προϋποθέσεις για τη στοχευμένη μελέτη της δυνατότητας της πρόβλεψης της συμπεριφοράς τήξης (θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής) της τέφρας του λιγνιτικού καυσίμου που προέρχεται από τους λιγνίτες της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και κατ' επέκταση τη δημιουργία μαθηματικού(ων) μοντέλου(ων) πρόβλεψης της συμπεριφοράς τήξης των λιγνιτών εν γένει με βάση την ποσοτική ορυκτολογική σύσταση της εργαστηριακής τέφρας, το οποίο είναι πολύ σημαντικό για τη σχεδίαση νέων και τη λειτουργία των σημερινών ΑΗΣ. Δεδομένου ότι η μελέτη αυτή στηρίζεται σε ένα μεγάλο

αριθμό ποσοτικών ορυκτολογικών αναλύσεων και μελέτη της συμπεριφοράς τήξης των αντίστοιχων τεφρών, προέκυψε και η προοπτική της συσχέτισης της ποσοτικής ορυκτολογικής με τη χημική σύσταση των ιπταμένων και των εργαστηριακών τεφρών, μέσω μαθηματικών μεθόδων, προκειμένου να ευρεθεί μια μέθοδος προσδιορισμού του ποσοστού των αμόρφων στις τέφρες.

## 1.1 Γένεση - Γεωλογία Ελληνικών λιγνιτών

### 1.1.1 Γένεση γαιανθράκων

Οι λιγνίτες ανήκουν στις στερεές ορυκτές καύσιμες ύλες με τη γενική ονομασία γαιάνθρακες και αποτελούν μια ειδική περίπτωση ιζηματογενών αποθέσεων που προήλθαν από φυτικά υπολείμματα μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Οι διεργασίες αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Η μετατροπή των φυτών σε τύρφη και η μετάβαση από την τύρφη (αρχικό στάδιο ενανθράκωσης) στον ανθρακίτη (τελικό στάδιο ενανθράκωσης) (Εικόνα 1.1) είναι συνάρτηση της επίδρασης του χρόνου, της θερμοκρασίας και της πίεσης (Γαλετάκης, 1996). Η αύξηση του βαθμού ενανθράκωσης επηρεάζει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γαιανθράκων, όπως είναι η μείωση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο και υδρογόνο, η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα και η μείωση του ποσοστού των πτητικών συστατικών. Ο σχηματισμός γαιάνθρακα αντιπροσωπεύει το τελικό αποτέλεσμα του συνδυασμού διεργασιών οργανισμών, της διάβρωσης, της απόθεσης ιζημάτων και άλλων παραγόντων.



Εικόνα 1.1: Συνθήκες και στάδια ενανθράκωσης (Kentucky Geological Survey, 2012)

Το φυτικό υλικό που παράγεται από τη βλάστηση, αποτελείται κατά ένα μεγάλο μέρος από ενώσεις άνθρακα, υδρογόνου και οξυγόνου. Περιέχει επίσης οργανικές ουσίες και σε μερικές περιπτώσεις μικρό ποσοστό αζώτου. Η κύρια ουσία που συνθέτει το βασικό πλαίσιο σχηματισμού είναι η κυτταρίνη (cellulose), που έχει το χημικό τύπο  $C_6H_{10}O_5$ . Με σκοπό την εξήγηση του σχηματισμού της τύρφης, από την οποία παράγονται όλοι οι άνθρακες, μπορεί να υποτεθεί ότι η οργανική ύλη των φυτών είναι από κυτταρίνη. Όταν ξηρή οργανική φυτική ύλη ή κυτταρίνη καίγεται παρουσία ατμοσφαιρικού αέρα, οξειδώνεται πλήρως προς σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα και νερού. Εάν η καύση πραγματοποιείται με περιορισμένη επάρκεια οξυγόνου, όπως όταν ένα ξύλο καίγεται σε κλίβανο (φούρνο) ή είναι καλυμμένο με χώμα, η οξείδωση είναι ελλιπής. Σε αυτή την περίπτωση, μέρος του άνθρακα και όλο το υδρογόνο και το οξυγόνο φεύγουν από την κυτταρίνη, αφήνοντας τον άνθρακα υπό μορφή ξυλάνθρακα.

Το προϊόν που διαμορφώνεται από την αρχική αποσύνθεση του φυτικού υλικού είναι γνωστό ως τύρφη. Κατά τη διάρκεια του σχηματισμού της τύρφης το ξυλώδες υλικό αλλάζει πολύ και χημικά και ως προς τις φυσικές ιδιότητες. Ο βαθμός στον οποίο θα προχωρήσει η βιοχημική δράση επηρεάζει τη δομή του γαιάνθρακα που τελικά θα διαμορφωθεί από την αρχική τύρφη (Speight, 1994; Κολοβός, 2004).

Το σύνολο των φυσικών και χημικών μετατροπών, οι οποίες, μετά το τέλος των διεργασιών σχηματισμού της τύρφης, θα οδηγήσουν στους γαιάνθρακες διαφόρων βαθμών είναι γνωστό ως «ενανθράκωση». Οι λιγνίτες σχηματίζονται κατά τα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης αμέσως μετά την τύρφη. Για το σχηματισμό ενός κυβικού μέτρου λιγνίτη, έχει υπολογισθεί ότι απαιτείται χρονικό διάστημα 1000 έως 4000 ετών (Trethowan, 1990). Όπως είναι φυσικό κατά το χρονικό αυτό διάστημα συντελούνται σημαντικές μεταβολές τόσο στη σύνθεση της χλωρίδας, από την οποία προκύπτουν τα φυτικά υπολείμματα, όσο και στις συνθήκες απόθεσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία λιγνιτικών στρωμάτων που έχουν τον ίδιο μεν βαθμό ενανθράκωσης, αλλά είναι διαφορετικού τύπου.

Τα κοιτάσματα γαιάνθρακα συνδέονται συχνά με συνεκτικά στρώματα ψαμμίτη, κροκαλοπαγών και ασβεστόλιθου, καθώς και με χαλαρά στρώματα αργίλου και σχιστόλιθου. Όταν εφαρμόζονται πιέσεις σε τέτοια στρώματα, τα πιο χαλαρά παραμορφώνονται, ενώ τα συνεκτικά αντιστέκονται στην παραμόρφωση. Ως αποτέλεσμα, τα στρώματα γαιάνθρακα και τα παρακείμενα ιζηματογενή στρώματα είναι συχνά πτυχωμένα και μικρότερα από τα αρχικά οριζόντια μήκη τους. Οι γαιάνθρακες συμπεριφέρονται ως πλαστική μάζα, ειδικά κατά τη διάρκεια των πρώιμων σταδίων

μετασχηματισμού τους κι έτσι μπορεί να επεκτείνονται σε οποιοδήποτε κενό διάστημα δημιουργείται από την παραμόρφωση των ισχυρότερων στρωμάτων. Κατά συνέπεια τα στρώματα γαιάνθρακα μπορεί να παρουσιάζουν μεγαλύτερο πάχος στο κατώτατο σημείο ενός σύγκλινου ή το λόφο ενός αντίκλινου από ό,τι στα πλευρά του σύγκλινου ή του αντίκλινου (Κολοβός, 2004).

### **1.1.2 Ταξινόμηση γαιανθράκων**

Η κατάταξη των γαιανθράκων «κατά βαθμό ενανθράκωσης» (by rank), σύμφωνα με το Αμερικάνικο πρότυπο (ASTM D-388), είναι:

- Ανθρακίτης,
- Βιτουμενιούχοι ή ασφαλούχοι γαιάνθρακες,
- Υπο-βιτουμενιούχοι ή υπο-ασφαλούχοι γαιάνθρακες,
- Λιγνίτες

Η λέξη «βαθμός» χρησιμοποιείται για να δείξει διαφορές στο γαιάνθρακα, που οφείλονται στην προοδευτική αλλαγή από το λιγνίτη προς ανθρακίτη. Μια τέτοια αλλαγή συνοδεύεται γενικά από μια αύξηση στον περιεχόμενο μόνιμο άνθρακα, το θείο και πιθανώς την τέφρα, αύξηση της πυκνότητας, μείωση του πορώδους και της υγρασίας. Ο βαθμός ενανθράκωσης δείχνει την «ωριμότητα» ενός γαιάνθρακα. Για το διαχωρισμό λιγνιτών και υπο-βιτουμενιούχων (υπο-ασφαλούχων) γαιανθράκων χρησιμοποιούνται κυρίως η υγρασία και η θερμογόνο δύναμη, ενώ για τους βιτουμενιούχους (ασφαλούχους) γαιάνθρακες και τους ανθρακίτες χρησιμοποιείται κυρίως η περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα, πτητικά ή υδρογόνο (Κολοβός, 2004).

Όσο αυξάνεται ο βαθμός ενανθράκωσης, μειώνεται η δυνατότητα να διακριθούν με ευκρίνεια υπολείμματα της αρχικής οργανικής ύλης (φύλλα, ξυλώδης ιστός, κλπ). Τα υπολείμματα που μπορούν να αναγνωριστούν στο μικροσκόπιο χαρακτηρίζονται ως οργανικά δομικά πετρογραφικά συστατικά (macerals) και κατατάσσονται σε τρεις βασικές ομάδες :

- ομάδα του χουμινίτη (σε άνθρακες χαμηλού βαθμού) ή βιτρινίτη (σε άνθρακες υψηλού βαθμού), που περιλαμβάνει τα υπολείμματα ξυλωδών και χουμικών συστατικών,
- ομάδα του λιπτινίτη ή εξινίτη, που περιλαμβάνει τα υπολείμματα τμημάτων των φυτών όπως σπόροι, γύρη, ρητίνες, κηροί ή άλλα εκκρίματα και
- ομάδα του ινερτινίτη, που περιλαμβάνει τα υπολείμματα εύθρυπτων τμημάτων των

φυτών, που βρίσκονται σε όλα τα αρωματικού χαρακτήρα συστατικά των γαιανθράκων.

Στην κατηγορία του λιγνίτη, κατατάσσονται οι γαιάνθρακες με το μικρότερο βαθμό φυσικοχημικών μεταβολών, εμφανίζοντας χρώματα μεταξύ καφέ και καφέ-μαύρο, δημιουργώντας μια υποδιαίρεση της κατηγορίας αυτής στην ομάδα του λιγνίτη και του φαιάνθρακα (brown coal). Η ομάδα των λιγνιτών είναι συμπαγείς, ενώ οι φαιάνθρακες όχι, ενώ στην οικογένεια των λιγνιτών ανήκουν και οι ξυλίτες. Ανάλογα με τη θερμογόνο δύναμη, οι λιγνίτες χωρίζονται σε λιγνίτη τύπου Α που έχουν θερμογόνο δύναμη 3500-4600 kcal/kg (6300-8300 btu/lb) και λιγνίτη τύπου Β με θερμογόνο δύναμη μικρότερη από 3500 kcal/kg (6300 btu/lb). Το θερμιδικό περιεχόμενο των λιγνιτών είναι 3 έως 7 φορές μικρότερο από το θερμιδικό περιεχόμενο του λιθάνθρακα και 5 έως 10 φορές μικρότερο από αυτό του πετρελαίου (Leonard, 1991; Speight, 1994; Κολοβός, 2004).

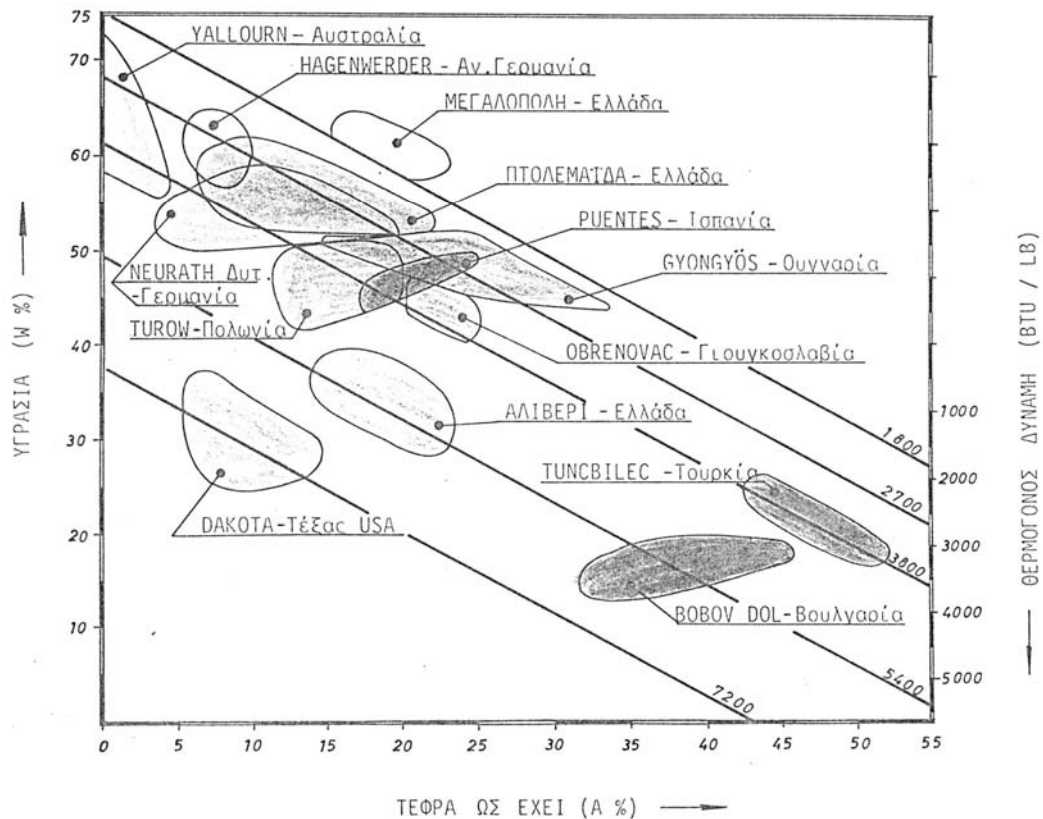
### ***1.1.3 Λιγνίτες περιοχής Βορειοδυτικής Μακεδονίας***

Ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας. Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την ενδέκατη θέση παγκοσμίως (Tsirambidis and Filippidis, 2012). Στα κοιτάσματα των λιγνιτικών πεδίων της Πτολεμαΐδας ανήκει και το κοιτάσμα του Νότιου Πεδίου, το οποίο είναι το μεγαλύτερο «ενιαίο» κοιτάσμα απολήψιμου λιγνίτη, όχι μόνο της περιοχής Πτολεμαΐδας, αλλά ολόκληρου του Ελλαδικού χώρου και από τα μεγαλύτερα της Ευρώπης.

Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη υπολογίζονται σε 6,7 δισεκατομμύρια τόνους. Με βάση τα τεχνικό-οικονομικά δεδομένα, τα απολήψιμα αποθέματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε 3,2 δισεκατομμύρια τόνους και ισοδυναμούν με 450 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου. Σύμφωνα με τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν, τουλάχιστον, για τα επόμενα 45 χρόνια. Μέχρι το 2007 είχαν εξορυχτεί συνολικά 1,3 δισ. τόνοι λιγνίτη (περίπου το 29% των συνολικών αποθεμάτων, με βάση επίσημα στοιχεία της ΔΕΗ, 2012). Το 2011 εξορύχτηκαν συνολικά 59 εκατομμύρια τόνοι εμφανίζοντας αύξηση κατά 6% σε σχέση με το 2010 (World Coal Association, 2012).

Ποιοτικά, οι ελληνικοί λιγνίτες είναι χαμηλής θερμαντικής ικανότητας, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.2, με θερμογόνο δύναμη που κυμαίνεται από 1261 έως 1615

kcal/kg (2270-2910 btu/lb), με μια μέση τιμή περίπου 1400 kcal/kg (2520 btu/lb) για την περιοχή της Πτολεμαΐδας, με μέση υγρασία περίπου 55% και μέση τέφρα ως έχει 15% ή επί ξηρού περίπου 30%. Η μέση περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα επί ξηρού ανέρχεται σε 30%, ενώ τα πτητικά συστατικά επί ξηρού σε 40%. Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο (ΔΕΗ, 2012).

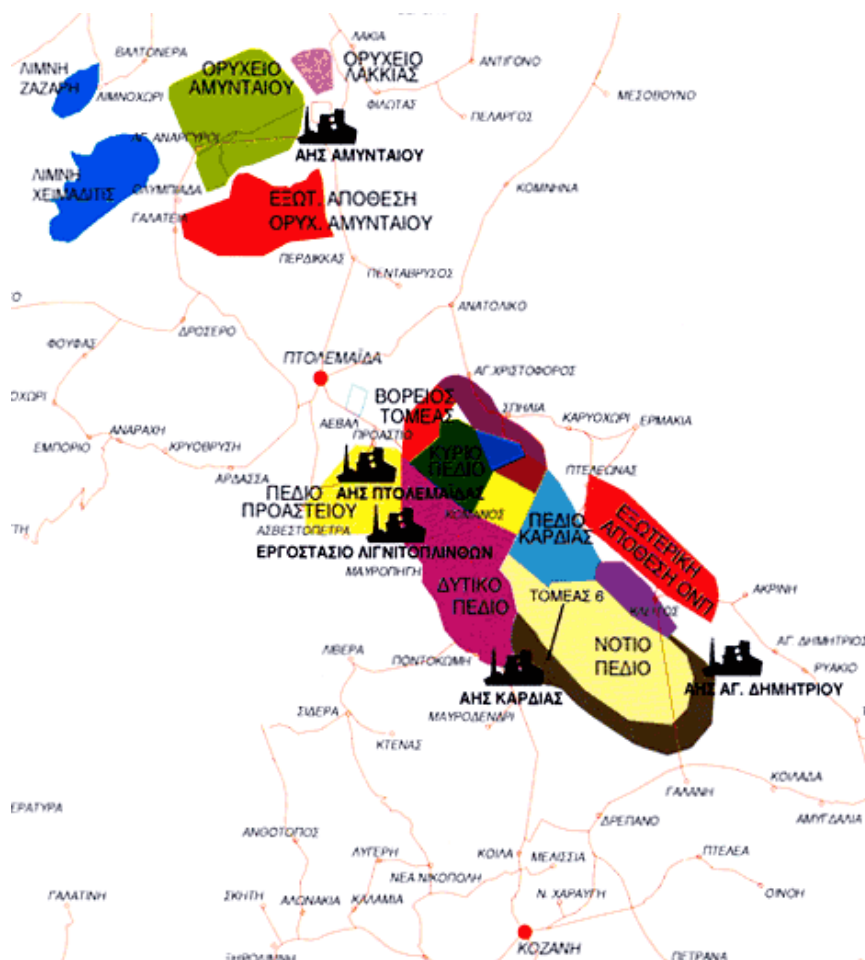


Εικόνα 1.2: Κατάταξη γνωστών λιγνιτικών κοιτασμάτων από όλο τον κόσμο, με βάση τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά (Καβουρίδης κ.α., 1991).

Οι λιγνίτες, που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, έχουν προέλθει από τα λιγνιτικά κοιτάσματα Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. Τα κοιτάσματα αυτά αποτελούν τμήμα της μεγάλης τεκτονικής τάφρου της Δυτικής Μακεδονίας, μήκους μεγαλύτερου των 120 km, που εκτείνεται από το Μοναστήρι (πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας) μέχρι την Ελασσόνα. Οι λιγνίτες της Δυτικής Μακεδονίας εντοπίζονται μέσα σε τριτογενή κυρίως λιμναία ή ποτάμια ιζήματα, όπου στο μεγαλύτερο ποσοστό τους αποτελούνται από μάργες και αργίλους, με κύριο χαρακτηριστικό τον έντονο τεκτονισμό (Κούκουζας, 1979; Κούκουζας κ.α., 1979; Γαλετάκης, 1996).

Τα λιγνιτικά κοιτάσματα της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου είναι της μορφής Zebra, καθώς χαρακτηρίζονται από τις εναλλαγές των στρωμάτων λιγνίτη με λεπτά

Σταδιακά στην περιοχή Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου δημιουργήθηκε ένα από τα

[illegible]

## 1.2 Καύση γαιανθράκων στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς και δημιουργία τέφρας

Η καύση του γαιάνθρακα στους ΑΗΣ συντελείται εξελικτικά σε μία σειρά από στάδια, τα οποία συμπεριλαμβάνουν: α) έκλυση της πτητικής ύλης, η οποία αποτελείται κυρίως από αέρια και ελαφρείς υδρογονάνθρακες, καθώς και ατμούς πίσσας, β) οξείδωση της πτητικής ύλης στην αέρια φάση και γ) καύση του ανθρακούχου υπολείμματος ή εξανθρακώματος. Αυτά τα στάδια, παρότι διακριτά μεταξύ τους, εξελίσσονται εν μέρει παράλληλα, ανάλογα με τις συνθήκες της αντίδρασης. Η έκλυση των πτητικών συστατικών επιτελείται μέσω θερμικής διάσπασης της δομής του γαιάνθρακα, μεταφοράς των πτητικών ουσιών που απελευθερώνονται, καθώς και δευτερογενών αντιδράσεων, ενώ η οξείδωση των πτητικών επιτελείται μέσω απλών αντιδράσεων, οι οποίες επηρεάζουν μόνο τη θερμοκρασία ανάφλεξης του εξανθρακώματος και τη σταθερότητα της φλόγας. Όμως, η καύση του εξανθρακώματος επιτελείται μέσω σύνθετων μηχανισμών αντίδρασης, οι οποίοι εξαρτώνται από το πόσο γρήγορα και αποτελεσματικά προχωρά η διαδικασία της καύσης (Βάμβουκα, 2002).

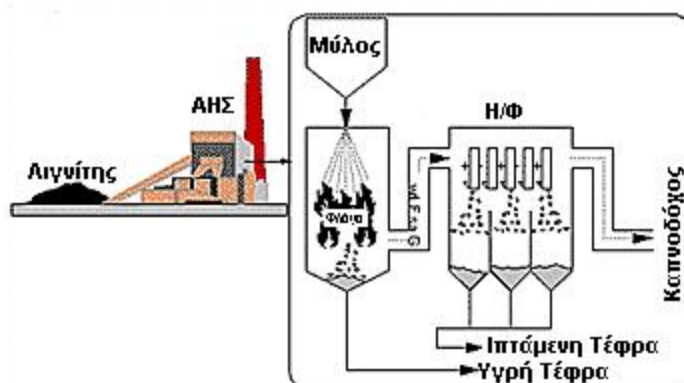
Η τεχνολογία καύσης γαιανθράκων που ακολουθείται στους ΑΗΣ, διακρίνεται ανάλογα τον τύπο του κλιβάνου και σχεδιασμού του σταθμού. Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι καύσης που εφαρμόζονται:

- Σε κλίνη (είναι η παλαιότερη τεχνολογία και η πλέον διαδεδομένη σε χονδρόκοκκο γαιάνθρακα. Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το μικρό μέγεθος που θα πρέπει να έχει ο κλίβανος για να υπάρχει η δυνατότητα να επιτευχθεί πλήρης καύση). Χαρακτηριστική εφαρμογή της καύσης σε κλίνη είναι:
  - Οι εστίες καύσης (ο γαιάνθρακας σε κοκκομετρία <32mm καίγεται σε εσχάρες, οι οποίες διέρχονται πάνω από τη φλόγα, όπου εκλύονται τα πτητικά συστατικά, τα οποία στη συνέχεια καίγονται από ρεύμα αέρα που εισέρχεται για τη διευκόλυνση της καύσης)
- Σε αιώρηση (αποτελεί την τεχνολογία, όπου ο γαιάνθρακας αρχικά κονιοποιείται και στη συνέχεια κατά την είσοδο του στον κλίβανο, αναμειγνύεται με ρεύμα αερίων και καίγεται ενώ αιωρείται). Εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής είναι οι:
  - Κλίβανοι κονιοποιημένου γαιάνθρακα (όπου το μέγεθος του κονιοποιημένου γαιάνθρακα είναι <75μm).
  - Κλίβανοι κυκλώνα (ο γαιάνθρακας κοκκομετρίας <6mm οδηγείται σε οριζόντιο κλίβανο με ταχύτητα ώστε να υπάρχει τυρβώδης ροή και σε συνδυασμό με

υψηλές θερμοκρασίες, τα σωματίδια παρασύρονται και προσκρούουν στα τοιχώματα, όπου μετά την καύση ρεύμα αέρα τα απομακρύνει)

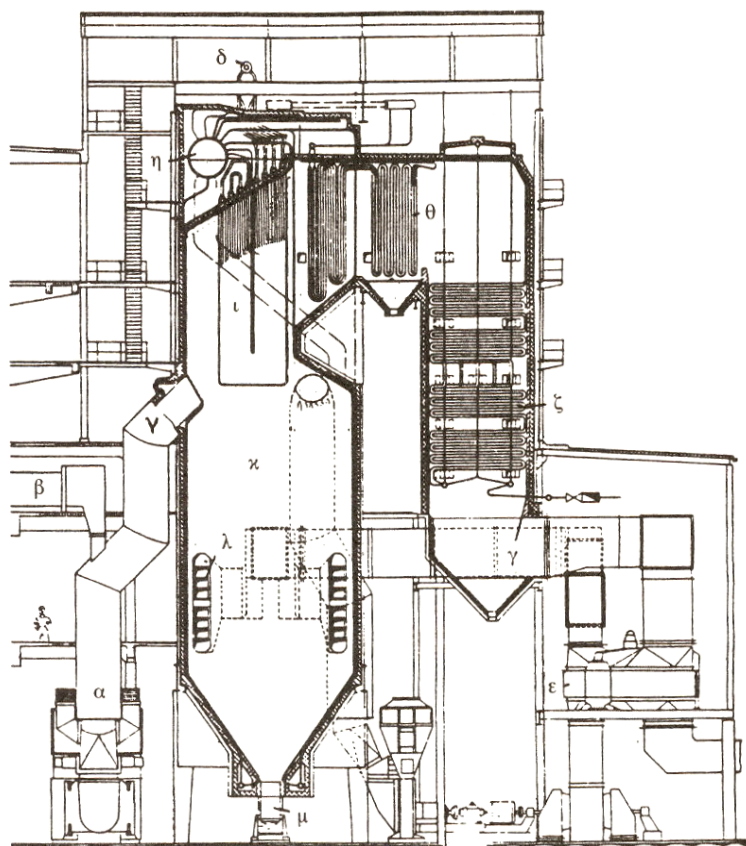
- Κλίβανοι ρευστοστερεάς κλίνης (ο γαιάνθρακας τροφοδοτείται σε κλίνη αδρανών στερεών σωματιδίων, τα οποία αιωρούνται λόγω της τυρβώδους ροής των αερίων της καύσης που παρέχεται από το δάπεδο του κλιβάνου. Τα σωματίδια αυτά λειτουργούν ως απορροφητικά υλικά κυρίως του θείου, όπως είναι δολομίτης, ασβεστόλιθος ή τέφρα γαιάνθρακα. Ο γαιάνθρακας αποτελεί το 1% της μάζας της κλίνης.)

Η τεχνολογία καύσης του λιγνίτη που χρησιμοποιείται στους ΑΗΣ της Δυτικής Μακεδονίας είναι τύπου αιώρησης και ειδικότερα εξαναγκασμένης ροής, συνεχούς ανακυκλοφορίας με εφαιπτομενική καύση του κονιοποιημένου καυσίμου. Η διαδικασία καύσης που ακολουθείται φαίνεται στην εικόνα 1.4. Το καύσιμο (γαιάνθρακας - λιγνίτης), οδηγείται με ταινιοδρόμους στο σιλό των μύλων, και στη συνέχεια με τροφοδότες (coal feeder) καταλήγει στους μύλους όπου αλέθεται, έτσι ώστε να μειωθεί στο επιθυμητό για την καύση μέγεθος τεμαχιδίων (<75μm). Στη συνέχεια ο λιγνίτης αναμιγνύεται με ρεύμα αέρα ή και απαερίων καύσης και εισάγεται μέσω ειδικών καυστήρων στον θάλαμο καύσης με μεγάλη ταχύτητα, ώστε να δημιουργηθεί τυρβώδης ροή για την όσο το δυνατόν ταχύτερη και πληρέστερη καύση των κόκκων. Μέσα στο θάλαμο καύσης (Εικόνα 1.5), ένας κόκκος λιγνίτη διέρχεται από τα στάδια της θέρμανσης, της έκλυσης πτητικών ενώσεων, της καύσης των πτητικών ενώσεων και τέλος της καύσης του στερεού υπολείμματος (κωκ) (Γαλετάκης, 1996).



Εικόνα 1.4: Διαδικασία καύσης λιγνίτη σε ατμοηλεκτρικό σταθμό (RMRC, 2009)

Κατά τη διάρκεια της καύσης τα ανόργανα συστατικά του λιγνιτικού καυσίμου υπόκεινται σε διάφορες φυσικοχημικές διεργασίες, έτσι ώστε στο τέλος της καύσης να παραμένουν μαζί με τα τυχόν άκαυστα οργανικά τμήματα (άκαυστος άνθρακας) και να αποτελούν τα στερεά κατάλοιπα της καύσης, δηλαδή τις λιγνιτικές τέφρες που παράγονται από τους ΑΗΣ.



- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| α. Μύλος κονιοποίησης καυσίμου | η. Τύμπανο                                  |
| β. Σύστημα προσαγωγής καυσίμου | θ. Υπερθερμαντήρας ατμού (επαφής μεταφοράς) |
| γ. Οχετός θερμών καυσαερίων    | ι. Υπερθερμαντήρας ατμού (ακτινοβολίας)     |
| δ. Έξοδος υπέρθερμου ατμού     | κ. Θάλαμος καύσης                           |
| ε. Προθερμαντήρας αέρα         | λ. Καυστήρες                                |
| ζ. Προθερμαντήρας νερού        | μ. Σύστημα απαγωγής καταλοίπων καύσης       |

Εικόνα 1.5: Σχηματική διάταξη Ατμοπαραγωγού (Παπαγεωργίου, 1991)

Η καύση του λιγνίτη επηρεάζεται από ένα πλήθος παραμέτρων που σχετίζονται με τη θερμοδυναμική και την κινητική της αντίδρασης, τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας, κλπ. Οι παράμετροι αυτοί είναι σε άμεση συνάρτηση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και την κοκκομετρία του λιγνίτη τροφοδοσίας. Το μέγεθος της κοκκομετρίας του λιγνίτη τροφοδοσίας θα πρέπει να είναι το 70-80% διερχόμενο των 75μm. Έχει προσδιοριστεί πειραματικά ότι ο χρόνος καύσης ενός κόκκου διαμέτρου

76 $\mu$ m που περιέχει 30-40% πτητικά είναι περίπου 0.3sec (Ward, 1983). Κατά την εξέλιξη της καύσης προχωρεί παράλληλα και η τήξη των περιεχόμενων ορυκτών συστατικών. Η μεταμόρφωση της επιφάνειας του καυσίμου επιτρέπει στα τηγμένα ορυκτά συστατικά (που διαβρέχουν την επιφάνεια του καυσίμου) να συνενώνονται μεταξύ τους και να δημιουργούν διαρκώς αυξανόμενου μεγέθους σωματίδια τέφρας. Καθώς η καύση πλησιάζει στην ολοκλήρωση της, τα τεμαχίδια του καυσίμου εμφανίζουν την τάση να θρυμματισθούν, εξαιτίας ανάφλεξης των εσωτερικά ευρισκόμενων καυσίμων συστατικών.

Τα παραγόμενα σωματίδια, στη συνέχεια, υπόκεινται σε άλλες διεργασίες, όπως είναι η αύξηση (λόγω συγκόλλησης) με άλλα σωματίδια ή η διόγκωση εξαιτίας ελευθέρωσης αερίων από το εξωτερικό ή επιφανειακές αντιδράσεις με εξερωθέντα συστατικά ή επιφανειακή συμπύκνωση στην επιφάνεια των εξερωθέντων συστατικών ή και διαδικασία που συνδυάζει τα προαναφερόμενα (συγκόλληση, επιφανειακή συμπύκνωση, αντίδραση). Με βάση τις διεργασίες αυτές, ερμηνεύεται η κατανομή του μεγέθους κόκκων των ιπταμένων τεφρών σε μεγαλύτερες διαστάσεις σε σύγκριση με τις αντίστοιχες των ορυκτολογικών συστατικών που περιέχονται στο καύσιμο (-2 $\mu$ m). Τα ανόργανα συστατικά του γαιάνθρακα υφίστανται σύνθετες χημικές και φυσικές μετατροπές κατά τη διάρκεια της καύσης και αεριοποίησης, οι οποίες οδηγούν στο σχηματισμό της τέφρας (Benson et al., 1993; Ίτσκος, 1994).

### **1.3 Λιγνιτικές τέφρες**

#### **1.3.1 Γενικά**

Οι λιγνιτικές τέφρες είναι στερεά κατάλοιπα τα οποία παράγονται από την καύση των λιγνιτών στους λιγνιτικούς ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) και διακρίνονται στην ιπτάμενη τέφρα (Ι.Τ.) και στην υγρή τέφρα ή τέφρα δαπέδου (Τ.Δ.).

Η Ι.Τ. είναι ένα πολύ λεπτόκοκκο, χαλαρό υλικό και αποτελεί το στερεό υπόλειμμα που κατακρατείται στους αποκονιωτές των απαερίων του λιγνιτικού καυσίμου των μονάδων καύσης των ΑΗΣ. Η Ι.Τ. αποτελείται από ανόργανα συστατικά και οργανικές ενώσεις που προέρχονται από την καύση κονιοποιημένου γαιάνθρακα στους κλιβάνους των ατμοηλεκτρικών σταθμών, το οποίο παρασύρεται από το μηχανικό ελκυσμό των καυσαερίων και συλλέγεται (σε ηλεκτροστατικά φίλτρα, σε σακκόφίλτρα ή σε κυκλώνες) πριν τη διοχέτευση των καυσαερίων στις καπνοδόχους και στη συνέχεια

αποθηκεύεται σε ειδικά σιλό, διαβρέχεται και τέλος απορρίπτεται. Τα σωματίδια της Ι.Τ. αποτελούνται από ορυκτά του λιγνίτη (πρωτογενείς - αναλλοίωτες κρυσταλλικές φάσεις), νεοσχηματισθείσες κρυσταλλικές φάσεις, υαλώδεις φάσεις και άκαυστο λιγνίτη. Το μέγεθος των σωματιδίων της Ι.Τ. κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 200μm, με το μεγαλύτερο ποσοστό να βρίσκεται μεταξύ 40μm και 125μm, και εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος περισυλλογής και το βαθμό απόδοσης του ΑΗΣ. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα συγκεντρώνουν τέφρα στο μεγαλύτερο ποσοστό λεπτών κλασμάτων σε σχέση με τους κυκλώνες. Τα σακκόφιλτρα συγκεντρώνουν τέφρα περισσότερο ομογενή από εκείνη των ηλεκτροστατικών φίλτρων (Λιάτης, 1984; Chadwick et al., 1987).

Το άκαυστο μέρος του λιγνίτη που δε συλλέγεται και δεν παρασύρεται από τα αέρια σωληνώσεων ως Ι.Τ., κατακρημνίζεται στη σχάρα της εστίας καύσης του λέβητα και είναι γνωστό ως Τ.Δ.. Η Τ.Δ. αποτελείται από χονδρόκοκκα ορυκτά που συνυπάρχουν στο λιγνιτικό καύσιμο, από τετηγμένες φάσεις που σχηματίζονται κατά την καύση, καθώς και από άκαυστους κόκκους λιγνίτη (Κωστάκης, 1996).

Επίσης, τέφρα παράγεται και εργαστηριακά. Η τέφρα που παράγεται στο εργαστήριο, ανάλογα με τη θερμοκρασία καύσης, χαρακτηρίζεται ως εργαστηριακή τέφρα (Ε.Τ.) υψηλής ή χαμηλής θερμοκρασίας. Η εργαστηριακή τέφρα υψηλής θερμοκρασίας προκύπτει από την καύση γαιάνθρακα σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 700 έως 850°C (Tsai, 1982) και παράγεται σε συνθήκες που καθορίζονται από πρότυπα, όπως είναι καύση στους 750°C  $\pm$  10°C κατά το Αμερικάνικο πρότυπο (ASTM D3174, 2002) ή στους 775  $\pm$  25°C ή 815  $\pm$  15°C, ανάλογα τον τύπο του γαιάνθρακα, κατά το Γερμανικό πρότυπο (DIN 51719, 1997), κ.α. Η εργαστηριακή τέφρα χαμηλής θερμοκρασίας παράγεται με τη μέθοδο της οξείδωσης του γαιάνθρακα σε χαμηλή θερμοκρασία (Low Temperature Ashing). Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην απομάκρυνση του οργανικού μέρους του λιγνίτη μέσω πλάσματος οξυγόνου το οποίο δημιουργείται με τη μετατροπή του οξυγόνου σε όζον, ενώ η οξείδωση πραγματοποιείται συνήθως σε θερμοκρασίες 120°C έως 200°C (Ward, 1983). Κατά την παραγωγή της τέφρας με την παραπάνω μέθοδο αποφεύγονται μεταβολές στα ορυκτά που περιέχει ο γαιάνθρακας, με εξαίρεση την περιορισμένης σημασίας αφυδάτωση και οξείδωση λίγων ορυκτών. Εργαστηριακή τέφρα παράγεται επίσης μερικές φορές με καύση περίπου στους 370°C, όπου παραμένει σχετικά περιορισμένος ο αριθμός των ορυκτών που υφίστανται σημαντικές μεταβολές.

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι οι τέφρες των γαιανθράκων που παράγονται στους ΑΗΣ είναι προϊόντα καύσης σε διάφορες, υψηλότερες θερμοκρασίες και διαφορετικών εν

γένει συνθηκών καύσης (χρόνος καύσης, ατμόσφαιρα, κ.α.) από ότι οι εργαστηριακές, έτσι ώστε η ορυκτολογική σύσταση των δύο αυτών ειδών τέφρας ενός και του αυτού γαιάνθρακα να παρουσιάζει αποκλίσεις (Reid, 1984; Κωστάκης, 1996).

Η γνώση και ο έλεγχος της ποιότητας του λιγνίτη, ο οποίος θα οδηγηθεί σε καύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την καλή και αποδοτική λειτουργία του ΑΗΣ, καθώς οποιαδήποτε διαφοροποίηση της σύστασης πέρα των καθορισμένων ορίων λειτουργίας του ΑΗΣ μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τόσο την ομαλή λειτουργία, όσο και τη διάρκεια συνεχούς λειτουργίας και κατ' επέκταση την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο έλεγχος, μπορεί να προλαμβάνει τα κύρια προβλήματα που μπορεί να προκύψουν και να θέσουν τον ΑΗΣ ακόμα και εκτός λειτουργίας. Έτσι, γνωρίζοντας την ποιότητα του λιγνιτικού καυσίμου μπορούν αφενός να μειωθούν τα προβλήματα που πιθανόν να προκύψουν και σχετίζονται με τη φύση της τέφρας, και αφετέρου να βελτιώσουν την απόδοση ενός ΑΗΣ.

Ιδιαίτερα, ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης του ανόργανου μέρους του λιγνίτη και των στείρων που πολλές φορές συνεξορύσσονται με το λιγνίτη, καθώς και της χημικής σύστασης, είναι απαραίτητος για την πρόβλεψη και την αντιμετώπιση των σημαντικότερων προβλημάτων που μπορεί να παρουσιαστούν κατά τη λειτουργία των ΑΗΣ, τα οποία είναι:

- Οι φθορές των μεταλλικών τμημάτων τόσο στο εσωτερικό των μύλων λειοτρίβησης του λιγνίτη όσο και του λέβητα (αποξεστικότητα). Κατά τη διαδικασία καύσης του λιγνίτη παρατηρείται το φαινόμενο της απόξεσης - μηχανικής φθοράς των μεταλλικών τμημάτων στο εσωτερικό των μύλων λειοτρίβησης του λιγνίτη και στις σωληνώσεις του λέβητα, καθώς τα κινούμενα σωματίδια, λόγω παρουσίας ορυκτών με υψηλή σκληρότητα, φθείρουν τα τοιχώματα των σωληνώσεων, όπως κινούνται κατά τη διάρκεια της καύσης αλλά και προς την έξοδο μετά από αυτήν.
- Επισκωριώσεις - Επικαθήσεις. Κατά την καύση του λιγνίτη, λόγω της παρουσίας φάσεων οι οποίες με την άνοδο της θερμοκρασίας διασπώνται, δημιουργούνται νέες ενώσεις, κυρίως θεικών αλάτων των Ca, Na, K, οι οποίες εναποτίθενται είτε στα τοιχώματα και τα μεταλλικά τμήματα του λέβητα που εκτίθενται στην καύση, είτε στα τοιχώματα των σωληνώσεων μεταφοράς των αερίων προς ψυχρότερα μέρη, απομακρυνόμενα από το λέβητα, μειώνοντας, λόγω μείωσης της θερμικής αγωγιμότητας των σωληνώσεων, την απόδοση του λέβητα αλλά και διαβρώνοντάς τον, μειώνοντας τη διάρκεια ζωής και αναγκάζοντας σε συνεχείς διακοπές

λειτουργίας για αποκατάσταση με επακόλουθα οικονομικά και λειτουργικά προβλήματα.

- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, λόγω της διασποράς και απόθεσης ιπτάμενης τέφρας. Η γνώση της σύστασης της τέφρας πέρα από τη σημασία που έχει για τη λειτουργία των ΑΗΣ, είναι σημαντική και για την απόθεση στο περιβάλλον, καθώς και για τη διάθεσή της. Το απόβλητο-παραπροϊόν της καύσης στους ΑΗΣ, δηλαδή η ιπτάμενη τέφρα, μέσω της γνώσης της σύστασής της και των ιδιοτήτων μπορεί πέρα από την απλή απόθεση στο περιβάλλον, να οδηγηθεί σε βιομηχανικές και άλλες εφαρμογές, μειώνοντας την ποσότητα που θα αποθεθεί στο περιβάλλον και κατ' επέκταση τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές συνέπειες-επιπτώσεις.

### **1.3.2 Σύσταση λιγνιτικών τεφρών**

Καθοριστική για τις ιδιότητες των λιγνιτικών τεφρών είναι η χημική και ορυκτολογική τους σύσταση.

Η χημική σύσταση των λιγνιτικών τεφρών εξαρτάται ουσιαστικά μόνο από τη σύσταση του λιγνίτη, ενώ η ορυκτολογική σύσταση εξαρτάται τόσο από τη σύσταση, την ποιότητα του λιγνίτη και το μέγεθος λειοτρίβησης του όσο και από την τεχνολογία καύσης. Η γνώση της χημικής σύστασης του λιγνίτη έχει ιδιαίτερη σημασία κατά τη διεργασία της καύσης του λιγνίτη, επειδή σχετίζεται άμεσα με τα προβλήματα επικαθήσεων, επισκωριώσεων, διάβρωσης των τοιχωμάτων και γενικά των μεταλλικών τμημάτων του λέβητα και μόλυνσης του περιβάλλοντος. Πέρα από τη γνώση της χημικής σύστασης, είναι αναγκαίος και ο ορυκτολογικός προσδιορισμός των ανόργανων συστατικών που απαρτίζουν το λιγνίτη, καθώς και των στείων που συνεξορύσσονται και αποτελούν μέρος των τεφρών, για την πρόβλεψη ή την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως είναι η απόξεση (μηχανική διάβρωση) λόγω της παρουσίας ορυκτών με υψηλή σκληρότητα και οι επισκωριώσεις-επικαθήσεις λόγω της παρουσίας εύτηκτων φάσεων. Η πιθανή εμφάνιση φαινομένων επισκωριώσεων και επικαθήσεων μπορεί να ελέγχεται από τη συμπεριφορά της τέφρας κατά τη θέρμανση (π.χ. σημείο μαλάκυνσης και τήξεως, αποδέσμευση αερίων, σύσταση τέφρας και δέσμευση χημικών στοιχείων σε αυτή, κλπ).

#### **1.3.2.1 Χημική σύσταση**

Οι Ι.Τ. διακρίνονται, σε εκείνες που περιέχουν κυρίως  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  και λίγο  $\text{CaO}$  (πυριτικές) και σε εκείνες με λιγότερο  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  και περισσότερο  $\text{CaO}$  (ασβεστούχες).

Στην περίπτωση των γαιανθράκων χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης, η θερμαντική αξία, η περιεκτικότητα σε υγρασία και η τέφρα αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες. Η χημική σύσταση της τέφρας επηρεάζει όλες τις φάσεις της διεργασίας της καύσης του λιγνίτη, από το στάδιο της άλεσης μέχρι το σχεδιασμό και την απόδοση των καυστήρων και των συστημάτων περιβαλλοντικού ελέγχου, λαμβάνοντας υπόψη την τάση για επισκωριώσεις και επικαθήσεις στην εστία του λέβητα.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η χημική σύσταση της Ι.Τ., έχει προσδιοριστεί από πλήθος αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς, χωρίς όμως να αποτελούν δείγματα μιας συστηματικής δειγματοληψίας, ώστε να μπορεί να υπάρχει μια ολοκληρωμένη εικόνα των διαβαθμίσεων και της ποιότητας της Ι.Τ.. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι διακυμάνσεις της χημικής σύστασης Ι.Τ. από ΑΗΣ διαφόρων χωρών, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Ghosal and Self, 1995; Querol et al, 1999; Querol et al, 2001; κ.α.). Οι Ι.Τ. των ΑΗΣ των διαφόρων χωρών, προέρχονται από βιτουμενιούχο γαιάνθρακα (ΑΗΣ Αυστραλίας), υπο-βιτουμενιούχο γαιάνθρακα ή λιγνίτη.

Πίνακας 1.1: Εύρος χημικών αναλύσεων Ι.Τ. από ΑΗΣ διαφόρων χωρών.

	ΑΗΣ Ισπανίας	ΑΗΣ Μεγ.Βρετανίας	ΑΗΣ Αμερικής	ΑΗΣ Αφρικής	ΑΗΣ Αυστραλίας
SiO <sub>2</sub> (%)	40.1 - 58.4	41.6 - 56.1	43.6 - 61.3	48.6 - 51.2	66.9 - 82.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	23.0 - 37.6	22.7 - 29.2	19.7 - 27.1	28.9 - 31.8	14.3 - 23.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2.8 - 16.6	7.3 - 21.5	5.3 - 18.1	3.9 - 5.8	1.7 - 6.3
CaO (%)	0.9 - 9.0	1.7 - 8.4	1.9 - 7.1	6.4 - 8.6	0.2 - 2.5
MgO (%)	1.0 - 2.7	1.1 - 2.6	0.9 - 3.3	1.8 - 3.2	0.1 - 1.0
SO <sub>3</sub> (%)	0.1 - 0.7	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> O (%)	0.2 - 0.8	0.3 - 1.8	0.3 - 1.2	0.3 - 0.6	0.2 - 0.7
K <sub>2</sub> O (%)	0.7 - 4.3	1.8 - 3.3	1.6 - 2.4	0.8 - 1.1	0.6 - 1.3
TiO <sub>2</sub> (%)	0.7 - 1.5	0.9 - 1,2	1.0 - 1.9	1.6 - 2.2	0.7 - 1.4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.1 - 1.7	-	-	-	-
Α.Π. (%)	0.5 - 2.0	-	-	-	-

#### ***Σύσταση των τεφρών των ΑΗΣ της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου***

Η σύσταση του λιγνίτη που εξορύσσεται στα λιγνιτικά πεδία της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου παρουσιάζει διακυμάνσεις λόγω της ιδιομορφίας του κοιτάσματος. Η λιγνιτοφορία σε πολλά επίπεδα αναπτύσσεται σε στρώματα μικρού ή

ποικίλου πάχους, που εναλλάσσονται με στείρες ενδιάμεσες ενστρώσεις κυμαινόμενης λιθολογικής και πετρογραφικής σύστασης (Εικόνα 1.6). Η ανομοιογένεια και η μεταβολή στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνιτικού καυσίμου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό όχι μόνο από την ίδια την ποιότητα του λιγνίτη που υπάρχει στη λιγνιτοφόρα λεκάνη, αλλά και από την τεχνολογία της εκμετάλλευσης που ακολουθείται, καθώς πολλές φορές μαζί με τα στρώματα του λιγνίτη, συνεξορύσσονται και άγονα ενδιάμεσα στρώματα που παρεμβάλλονται, διαμορφώνοντας την τελική σύσταση του λιγνιτικού καυσίμου που οδηγείται στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς.



Εικόνα 1.6: Μέτωπο εκμετάλλευσης λιγνίτη από ορυχείο του Κύριου πεδίου

Ένα πλήθος αναλύσεων έχουν γίνει για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των τεφρών που παράγεται στους ΑΗΣ του Ελληνικού χώρου τόσο από διάφορους ερευνητές (Filippidis and Georgakopoulos, 1992; Κωστάκης, 1996; Φιλίππιδης κ.α., 1997; Kostakis, 2000; Georgakopoulos, 2003; Fernandez-Turiel et al., 2004; Koukouras et al., 2006; Adamidou et al., 2007; κ.α.), όσο και από τα Εργαστήρια της ΔΕΗ. Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζεται, ενδεικτικά, το εύρος διακύμανσης της περιεκτικότητας των τεφρών των ΑΗΣ της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, Καρδιάς, ΛΠΤΟΛ, Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου) σε κύρια στοιχεία. Οι χημικές αναλύσεις της Ι.Τ. αναφέρονται στα αποτελέσματα από τις ανωτέρω ερευνητικές εργασίες, καθώς και από τα Εργαστήρια της ΔΕΗ σε δείγματα από το 1988 έως το 2002. Οι τιμές της Ε.Τ. αναφέρονται σε δεδομένα από τα Εργαστήρια της ΔΕΗ και περιλαμβάνουν τα μέσα μηνιαία δείγματα των ΑΗΣ τα οποία καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1987-1997 (Δασκαλάκη, 2005), ενώ το εύρος των τιμών της Τ.Δ. αναφέρεται σε σποραδικά δείγματα από το 1990 έως το 1997, που παρουσιάζονται σε εργασίες ερευνητών (Κωστάκης, 1996; Fernandez-Turiel et al., 2004). Το εύρος των τιμών και η διαφοροποίηση μεταξύ των

τεφρών, οφείλεται στη διακύμανση της σύστασης του λιγνιτικού καυσίμου τόσο διαχρονικά όσο και από ΑΗΣ σε ΑΗΣ.

Πίνακας 1.2: Εύρος χημικής σύστασης τεφρών των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου.

	Ιπτάμενη τέφρα	Εργαστηριακή τέφρα	Τέφρα δαπέδου
SiO <sub>2</sub> (%)	22.98 - 44.50	16.21 - 44.91	34.31 - 48.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	7.88 - 18.95	4.62 - 18.81	12.51 - 18.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.07 - 7.97	4.70 - 11.20	7.36 - 10.65
CaO (%)	21.70 - 45.30	21.27 - 49.25	15.89 - 26.07
MgO (%)	2.39 - 6.00	3.12 - 7.50	3.01 - 4.99
SO <sub>3</sub> (%)	3.55 - 8.01	3.82 - 9.90	2.62 - 4.83
Na <sub>2</sub> O (%)	0.26 - 1.37	0.18 - 1.98	0.06 - 0.93
K <sub>2</sub> O (%)	0.67 - 1.80	0.38 - 1.92	0.46 - 1.47
TiO <sub>2</sub> (%)	0.24 - 0.98	0.10 - 1.12	0.37 - 1.31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.19 - 0.68	0.14 - 1.61	0.19 - 0.26
Α.Π. (%)	2.08 - 6.83	2.38 - 11.26	37.51 - 57.66

### 1.3.2.2 Ορυκτολογική σύσταση

Οι χημικές αναλύσεις θα πρέπει να συμπληρώνονται με τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης του ανόργανου μέρους του λιγνίτη και των στείρων. Η γνώση της ορυκτολογικής σύστασης είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη και την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως είναι της μηχανικής διάβρωσης, των επισκωρώσεων - επικαθήσεων και γενικότερα της συμπεριφοράς της τέφρας (Καβουρίδης και Γαλετάκης, 1996).

Επιπρόσθετα, η γνώση της ορυκτολογικής σύστασης της τέφρας, κυρίως η ποσοτική, είναι χρήσιμη για τη βελτιστοποίηση της διάθεσης της τέφρας και για την ερμηνεία των μηχανισμών που προκαλούν επισκωρώσεις και επικαθήσεις στους λέβητες, καθώς και την απόξεση στις σωληνώσεις των λεβήτων και σε άλλα τμήματα των ΑΗΣ. Επίσης, με βάση αποτελέσματα ποσοτικών ορυκτολογικών αναλύσεων μπορεί να γίνει, με τη βοήθεια τριγωνικών διαγραμμάτων, χαρακτηρισμός των ιπταμένων τεφρών αναφορικά με τις υδραυλικές/ποζολανικές τους ιδιότητες (Kostakis, 2009).

Εξαιτίας της σημασίας της γνώσης της ορυκτολογικής σύστασης των λιγνιτικών τεφρών των ΑΗΣ, τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί εργασίες σχετικά με την

παρουσία των κρυσταλλικών φάσεων στις τέφρες. Από τις εργασίες αυτές, προέκυψε η παρουσία παρόμοιων κρυσταλλικών φάσεων στην πλειονότητα των ΑΗΣ που έχουν αντίστοιχη καύσιμη ύλη, εμφανίζοντας όμως διακυμάνσεις στο ποσοστό εμφάνισης των κρυσταλλικών φάσεων.

Από τις έως τώρα μελέτες της ορυκτολογικής σύστασης των λιγνιτικών τεφρών των ΑΗΣ των Λιγνιτικών Κέντρων Δυτικής Μακεδονίας που έγιναν στο πλαίσιο διαφόρων εργασιών στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης (Κωστάκης, 1996; Κωστάκης, 2004; Kostakis and Stratakis, 2005a; Kostakis, 2009), προέκυψε, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.3, η παρουσία κυρίως των φάσεων χαλαζία, ανυδρίτη, άσβεστου, αιματίτη, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, μπραουνμυλλερίτη, αστρίων (πλαγιόκλαστα, καλιούχοι άστριοι) και κρυσταλλογραφικά άμορφης-υαλώδους φάσης, ενώ σε μικρότερη ποσότητα ή ίχνη περίκλαστο, πορτλανδίτης, μοσχοβίτης, μερβινίτης ή/και μαγιενίτης και ασβεστίτης. Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί, ότι έχει παρατηρηθεί η εμφάνιση σε μικρές ποσότητες ή σε ίχνη χαρτρουρίτης, ετρινγκίτης, γύψος, βασσανίτης και τομπερμορίτης (Filippidis and Georgakopoulos, 1992). Η παρουσία μέρους των ορυκτολογικών φάσεων αυτών, έχει παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές για τις λιγνιτικές τέφρες της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (Georgakopoulos et al., 1992; Filippidis et. al., 1996; Kantiranis et al., 2004; Koukouzas et. al., 2006; κ.α.).

Πρέπει να επισημανθεί ότι η παρουσία του πορτλανδίτη αντί της ασβέστου, καθώς επίσης και του ετρινγκίτη, του τομπερμορίτη και πιθανώς του βασσανίτη, μπορεί να οφείλεται στην υγρασία που προσέλαβαν τα δείγματα πριν την ακτινογράφιση (όταν η δειγματοληψία έχει γίνει πριν την διαβροχή στα σιλό απόθεσης) ή κατά τη διαβροχή της Ι.Τ. στα σιλό απόθεσης (αν η δειγματοληψία πραγματοποιηθεί μετά), παρουσιάζοντας έτσι μια μικρή αλλοίωση ως προς την αρχική ορυκτολογική σύσταση. Τα ορυκτά που αντιπροσωπεύουν τα αρχικά συστατικά του λιγνίτη είναι ασβεστίτης, χαλαζίας, καλιούχος άστριος, πλαγιόκλαστα, μοσχοβίτης και πιθανόν αιματίτης. Η παρουσία ανυδρίτη, γκελενίτη ή ακερμανίτη, άσβεστου (ελεύθερο CaO), χαρτρουρίτη, μπραουνμυλλερίτη, περίκλαστου, μερβινίτη και μαγνησιοφερρίτη οφείλεται στη διαδικασία της καύσης του λιγνίτη (Κωστάκης, 1996).

Η διερεύνηση της διαφοροποίησης της ορυκτολογικής σύστασης σε σχέση με τα κοκκομετρικά κλάσματα στα οποία μπορεί να διαχωριστεί η Ι.Τ. σε ένα διευρυμένο χρονικά αριθμό δειγμάτων, ανέδειξε ότι με τη μείωση του μεγέθους κόκκων των Ι.Τ. αυξάνεται η περιεκτικότητα σε ανυδρίτη, καθώς και στις υπόλοιπες κρυσταλλικές φάσεις

οι οποίες είναι πλούσιες σε ασβέστιο, ενώ αντιθέτως μειώνονται τα ποσοστά των αμόρφων όπως και του χαλαζία και των αστρίων (Kassoli-Fournaraki et al., 1993; Αδαμίδου κ.α., 2005; Thomaidis et al., 2007; Θωμαΐδης, 2007).

Η ορυκτολογική σύσταση των λιγνιτικών τεφρών εξαρτάται, όπως αναφέρθηκε, από τη σύσταση του ανόργανου μέρους του λιγνίτη και τις διεργασίες που λαμβάνουν μέρος κατά την καύση. Τα ανόργανα συστατικά από τα οποία αποτελείται ο λιγνίτης μπορεί να είναι αργιλικές φάσεις (καολινίτης, ιλλίτης, σμεκτίτες, μοσχοβίτης, χλωρίτης, κ.α.), ανθρακικές φάσεις (ασβεστίτης, δολομίτης, σιδηρίτης, κ.α.), σουλφίδια (σιδηροπυρίτης, μαρκασίτης, σφαλερίτης, γαληνίτης, κ.α.), οξείδια (χαλαζίας, αιματίτης, μαγνητίτης, κ.α.), καθώς και γύψος, άστριοι (κυρίως καλιούχοι, αλλά και πλαγιόκλαστα), όπως και πιθανόν κάποια υδροξείδια (λειμωνίτης, γκαιτίτης) ή φωσφορικές ενώσεις (φωσφορίτης, απατίτης), κ.α. (Cooper and Ellingson, 1984; Leonard, 1991; Καβουρίδης κ.α., 1991; Kostakis et al., 1991; Benson et al., 1993; Speight, 1994; Kostakis et al., 1994; Vassileva and Vassilev, 2005). Η παρουσία των ορυκτών στην αρχική καύσιμη ύλη (λιγνίτης) εξαρτάται από την περιοχή εξόρυξης καθώς και από την παρουσία αντίστοιχων φάσεων σε γειτονικές περιοχές.

Καθώς το ποσοστό των οργανικών στο λιγνίτη είναι αυξημένο, για να μπορέσει να μελετηθεί η ορυκτολογική σύσταση του λιγνίτη, συνήθως καίγεται ο λιγνίτης και δημιουργείται η εργαστηριακή τέφρα. Κατά την καύση του λιγνίτη για τη δημιουργία της Ε.Τ., κάποιες από τις αρχικές φάσεις παραμένουν αναλλοίωτες, ενώ κάποιες άλλες αντιδρούν είτε μεταξύ τους είτε με το οξυγόνο, όταν η καύση γίνεται σε οξειδωτικό περιβάλλον, σχηματίζοντας τις νέες φάσεις που παρατηρούνται στις τέφρες. Το ποσοστό παρουσίας τους εξαρτάται από το χρόνο αντίδρασης, από το μέγεθος των κόκκων και πόσο κοντά πλησιάζουν οι κόκκοι, ώστε με την επίδραση της θερμοκρασίας να αντιδράσουν είτε στο μικρό χρόνο μερικών δευτερολέπτων, το πολύ 1 λεπτού για την Ι.Τ., όσο και στη διάρκεια των 2 ωρών στην Ε.Τ.. Έτσι, τα αργιλικά ορυκτά π.χ. κατά τη θέρμανση χάνουν το κρυσταλλικό  $H_2O$  και αλλάζει η δομή τους, οι ανθρακικές φάσεις χάνουν το  $CO_2$ , ενώ τα σουλφίδια χάνουν το θείο, το οποίο μετατρέπεται σε  $SO_3$  και είτε εκλύεται στην ατμόσφαιρα είτε αντιδρά με το  $CaO$  δημιουργώντας ανυδρίτη.

Στον πίνακα 1.3 παρουσιάζεται ενδεικτικά η ορυκτολογική σύσταση Ι.Τ. και Ε.Τ. των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, καθώς και ορισμένων λιγνιτικών Ι.Τ. από ΑΗΣ άλλων χωρών (Ισπανία, Ολλανδία, Ιταλία, Βουλγαρία, Τουρκία).

Πίνακας 1.3: Ενδεικτική ορυκτολογική σύσταση Ι.Τ. και Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, καθώς και Ι.Τ. από ΑΗΣ άλλων χωρών.

	Ιπτάμενη τέφρα ΑΗΣ ΛΚΠ-Α*	Εργαστηριακή τέφρα ΑΗΣ ΛΚΠ-Α**	Λιγνιτικές Ι.Τ. ΑΗΣ άλλων χωρών***
Ανυδρίτης	4-11	(++) <sup>+</sup>	0,2-10
Ασβεστος (+ Πορτλανδίτης)	5-13	(+)	0-17
Περίκλαστο	1-3	(ο)	-
Αιματίτης	1-2	(?)	0,4-7
Γκελενίτης	3-9	(ο)	3-7
Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	2-5	-	1-2
Μπραουνμυλερίτης	3-11	(+)	-
Μερβινίτης	1-2	(+)	-
Ασβεστίτης	1-10	(+)	0,5-23
Χαλαζίας	4-12	(++)	3-16
Άστριοι	6-14	(+)	2,5-11
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	1-3	(?)	1-4
Πυρόξενοι	4-7	-	-
Μουλλίτης	-	-	0-28
Άμορφα	33-44	-	38-71

[\* Kostakis, 2009; \*\* Κωστάκης, 1996; \*\*\* Moreno et al., 2005 και Querol et al, 1999]

(<sup>+</sup> όπου (?) η πιθανή παρουσία, (ο) ασθενής εμφάνιση, (+) εμφανίζεται σε αξιόλογα ποσοστά, (++) η παρουσία είναι σημαντική και διακριτή)

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 1.3, η ορυκτολογική σύσταση των περισσότερων ελληνικών τεφρών χαρακτηρίζεται από την παρουσία μεγάλου αριθμού κρυσταλλικών φάσεων, με εντονότερη την παρουσία των ασβεστούχων φάσεων, με εξαίρεση τις τέφρες του ΑΗΣ Μελίτης-Αχλάδας, οι οποίες είναι πλουσιότερες σε SiO<sub>2</sub> και υαλώδη φάση και δεν περιλαμβάνονται στον πίνακα 1.3.

Όπως είναι φυσικό η σύσταση των λιγνιτικών τεφρών και κατ' επέκταση και οι ιδιότητες, ποικίλουν και εξαρτώνται από το είδος και το βαθμό ενανθράκωσης του γαιάνθρακα, τη λιγνιτοφορία και τις ιδιομορφίες που παρουσιάζουν τα κοιτάσματα των γαιανθράκων, καθώς και την τεχνολογία καύσης. Οι διαφοροποιήσεις αυτές εμφανίζονται στα αποτελέσματα πολλών δημοσιεύσεων, όπου οι αποκλίσεις στα ποσοστά μεταξύ λιγνιτικών τεφρών και τεφρών υπο-βιτουμενιούχου γαιάνθρακα ή βιτουμενιούχου ή ανθρακίτη είναι σημαντικές, με τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση να είναι στην παρουσία του άμορφου που μπορεί να φτάσει στο 96% σε υπο-βιτουμενιούχο γαιάνθρακα από τον Καναδά (Goodarzi, 2006).

### **1.3.3 Κατηγορίες ιπταμένων τεφρών**

Στα πλαίσια της προσπάθειας διερεύνησης και χαρακτηρισμού των τεφρών σε σχέση με τις ιδιότητες που εμφανίζουν και λαμβάνοντας υπόψη τη χημική σύσταση των Ι.Τ., την προέλευση τους και την παρουσία των κυρίων οξειδίων, οι τέφρες κατατάσσονται σε κατηγορίες και ως αποτέλεσμα αυτών έχουν προκύψει διεθνή πρότυπα κατάταξης των τεφρών.

Με βάση το ευρωπαϊκό πρότυπο EN197-1 οι Ι.Τ. διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις πυριτικές και τις ασβεστούχες. Οι πυριτικές τέφρες (τύπος V) περιέχουν λιγότερο από 10% CaO, ενώ οι ασβεστούχες τέφρες (τύπος W) περιέχουν 10-35% CaO. Οι τέφρες της πρώτης κατηγορίας παρουσιάζουν ποζολανικές ιδιότητες, ενώ της δεύτερης κατηγορίας έχουν υδραυλικές και/ή ποζολανικές ιδιότητες.

Σύμφωνα με το αμερικάνικο πρότυπο ASTM C618, οι τέφρες διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τις τέφρες τύπου F που παράγονται από την καύση ανθρακίτη ή βιτουμενιούχου γαιάνθρακα με τουλάχιστον 70% SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και εμφανίζουν ποζολανικές ιδιότητες και τις τέφρες τύπου C, που είναι εκείνες που παράγονται από την καύση λιγνίτη και υπό-βιτουμενιούχου γαιάνθρακα και περιέχουν τουλάχιστον 50%, αλλά λιγότερο από 70% SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ενώ εμφανίζουν πέρα από ποζολανικές και υδραυλικές ιδιότητες. Οι τέφρες τύπου F περιέχουν συνήθως λιγότερο από 5% CaO, ενώ οι τέφρες τύπου C περιέχουν μεγάλη ποσότητα CaO (10-35%). Μια επιπλέον διαφοροποίηση είναι ότι η περιεκτικότητα σε αλκάλια και θειικά είναι γενικά μεγαλύτερη στις τέφρες τύπου C, από ότι στις τέφρες τύπου F.

Οι ελληνικές ιπτάμενες τέφρες της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου ανήκουν στην κατηγορία των ασβεστούχων τεφρών (τύπου W) σύμφωνα με το EN197-1 και στην κατηγορία C σύμφωνα με το ASTM C618, λόγω των υψηλών ποσοστών CaO που περιέχουν.

### **1.3.4 Ιδιότητες ιπταμένων τεφρών**

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των Ι.Τ. εξαρτώνται από τη σύσταση τους, (χημική και ορυκτολογική σύσταση), το ποσοστό της υαλώδους φάσης, καθώς επίσης και από παράγοντες όπως είναι η κοκκομετρική κατανομή, το μέγεθος, το σχήμα και η επιφάνεια των κόκκων. Η τέφρα, καθώς αποτελεί το άκαυστο υπόλειμμα του γαιάνθρακα στους λέβητες των ΑΗΣ, είναι ένα σύνθετο υλικό που αποτελείται από διάφορες ανόργανες

κρυσταλλικές φάσεις και άλλα ποικίλα άμορφα συστατικά, τα οποία ενώ μεμονωμένα έχουν κάποιο διακριτό σημείο τήξεως (από 1100°C έως 2500°C), το σημείο αυτό δεν είναι κοινό για όλες τις φάσεις του συσσωματώματος αυτού. Έτσι, οι φάσεις αυτές και τα ανόργανα συστατικά, όταν συνυπάρχουν μαζί σε ένα περιβάλλον όπου υπάρχει άνοδος της θερμοκρασίας, αντιδρούν σύμφωνα με τους νόμους που διέπουν τη φυσική στερεάς κατάστασης και ανάλογα με το ρυθμό ανόδου της θερμοκρασίας, το μέγεθος των κόκκων, καθώς και πόσο κοντά βρίσκονται μεταξύ τους οι κόκκοι του υλικού, εμφανίζουν μια βαθμιαία μετάβαση μέσω της πυροσυσσωμάτωσης, στη συρρίκνωση και τέλος στην τήξη της τέφρας (θερμοκρασία ροής). Τα στάδια αυτά από τα οποία διέρχεται η τέφρα και η συμπεριφορά της, εν γένει, κατά την καύση και τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν, εξαρτώνται τόσο από τη σύσταση (ορυκτολογική και χημική) και την ποιότητα του γαιάνθρακα, όσο και από τις συνθήκες κατά την καύση μέσα στο λέβητα (θερμοκρασία που επικρατεί στην εστία και στις διάφορες περιοχές του λέβητα, ατμόσφαιρα καύσης, διάρκεια παραμονής των σωματιδίων στο λέβητα, σύσταση και ταχύτητα των καυσαερίων, κ.α.) και το σχεδιασμό του ατμοπαραγωγού.

Μια από τις σημαντικότερες ιδιότητες των τεφρών που ελέγχεται πρωτίστως κατά το σχεδιασμό μιας νέας μονάδας ΑΗΣ και σχετίζεται άμεσα με τη λειτουργία του λέβητα είναι η συμπεριφορά τήξης. Με τη συμπεριφορά τήξης μελετώνται οι φυσικοχημικές μεταβολές στις οποίες υπόκεινται οι τέφρες με την άνοδο της θερμοκρασίας, δηλαδή το πόσο εύκολα και σε ποιο θερμοκρασιακό εύρος τήκεται η τέφρα. Από τη μελέτη της συμπεριφοράς τήξης της τέφρας είναι δυνατή η εκτίμηση πιθανής δημιουργίας φαινομένων επισκωριώσεων (slagging) ή/και επικαθήσεων (fouling), καθώς και διάβρωσης (erosion) και οξείδωσης (corrosion) στα τοιχώματα και στις σωληνώσεις του ατμοπαραγωγού κατά την καύση του γαιάνθρακα στους ΑΗΣ.

#### **1.3.4.1 Επισκωριώσεις**

Οι επισκωριώσεις, είναι οι εναποθέσεις τέφρας στο εσωτερικό του κλιβάνου, σε περιοχές που υπάρχει απευθείας έκθεση στη φλόγα και στη θερμική ακτινοβολία, όπως είναι τα τοιχώματα του λέβητα και τα πρώτα τμήματα από τις σωληνώσεις εναλλαγής θερμότητας. Ο σχηματισμός των επισκωριώσεων εξαρτάται από τη σύσταση και την ποιότητα του καυσίμου (βαθμός ενανθράκωσης), την κοκκομετρική κατανομή του καυσίμου και τη θερμοκρασία των τοιχωμάτων του λέβητα, της φλόγας και των αερίων της καύσης. Αυξημένη εναπόθεση επισκωριώσεων συνεπάγεται απώλεια φορτίου λόγω

μειωμένης μεταφοράς θερμότητας. Οι επισκωριώσεις που μπορεί να δημιουργηθούν γενικά είναι, είτε σιδηρούχες λόγω παρουσίας κυρίως σιδηροπυρίτη όπως εμφανίζεται σε ασφαλτούχους ιδίως γαιάνθρακες, είτε ασβεστούχες ή/και νατριούχες που εμφανίζονται σε χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης γαιάνθρακες. Οι επισκωριώσεις είναι δυνατό να απομακρυνθούν από τα τοιχώματα του λέβητα, είτε με συστήματα που εκτοξεύουν ατμό ή αέρα, ή ακόμα και νερό, είτε με μείωση της θερμοκρασίας του λέβητα μειώνοντας το ρυθμό καύσης του γαιάνθρακα. Σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να γίνει πλήρης διακοπή της λειτουργίας του ατμοπαραγωγού και απομάκρυνση των εναποθέσεων με τη χρήση αιχμηρών αντικειμένων με τα χέρια και διοχέτευση ρεύματος νερού, μέθοδος η οποία όμως δεν είναι ευρέως αποδεκτή λόγω της φθοράς που επέρχεται στα τοιχώματα των σωληνώσεων (Couch, 1994; Bryers, 1996). Οι επισκωριώσεις εμφανίζονται στα θερμότερα τμήματα του λέβητα.

#### **1.3.4.2 Επικαθήσεις**

Οι επικαθήσεις είναι οι εναποθέσεις τηγμένων σωματιδίων τέφρας σε περιοχές που δεν υπάρχει απευθείας έκθεση σε θερμική ακτινοβολία, όπως είναι οι σωληνώσεις που μεταφέρουν τα αέρια από το λέβητα. Οι επικαθήσεις χαρακτηρίζονται ως υψηλής θερμοκρασίας και ως χαμηλής θερμοκρασίας. Οι υψηλής θερμοκρασίας επικαθήσεις εμφανίζονται σε περιοχές του υπερθερμαντήρα και αναθερμαντήρα και εξαρτώνται από την παρουσία πυριτικής φύσεως τήγματα. Οι χαμηλής θερμοκρασίας επικαθήσεις εμφανίζονται στις περιοχές του οικονομητήρα (τμήμα ατμοπαραγωγού μετά τον υπερθερμαντήρα και αναθερμαντήρα), όπου οι εναποθέσεις εμφανίζονται όταν τα οξείδια του θείου των αερίων της καύσης αντιδρούν με τα αλκάλια δημιουργώντας θειικά άλατα, τα οποία λειτουργούν ως συγκολλητικό, συνδετικό, υλικό των σωματιδίων της τέφρας. Κατά το σχεδιασμό του ατμοπαραγωγού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στα τμήματα όπου υπάρχει ψύξη των αερίων, είτε τα σωματίδια της τέφρας να διαπερνούν τις σωληνώσεις παρακάμπτοντας τα τοιχώματα, είτε να είναι εφικτή η απομάκρυνση των επικαθήσεων με εκκαπνισμό, δηλαδή με εκτόξευση ατμού πάνω στις επιφάνειες των σωληνώσεων που έχουν δημιουργηθεί επικαθήσεις (Reid, 1984; Couch, 1994; Bryers, 1996). Οι επικαθήσεις εμφανίζονται στα τμήματα όπου τα απαέρια της καύσης και η ιπτάμενη τέφρα χάνουν τη θερμότητα τους και ψύχονται.

### 1.3.4.3 Διάβρωση

Πέρα από την εμφάνιση φαινομένων επισκωρώσεων-επικαθήσεων στους λέβητες είναι δυνατή η εμφάνιση φαινομένων διάβρωσης των σωληνώσεων κυρίως του ατμοπαραγωγού. Η διάβρωση αποτελεί τη μηχανική φθορά τμημάτων των μεταλλικών επιφανειών των σωληνώσεων που οφείλεται στην πρόσκρουση των σωματιδίων των τεφρών. Η διάβρωση ή αλλιώς η απόξεση των τοιχωμάτων του ατμοπαραγωγού, εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα των σωματιδίων, καθώς το φαινόμενο παρατηρείται περισσότερο σε περιοχές όπως είναι ο υπερθερμαντήρας ή ο αναθερμαντήρας, όπου τα αέρια της καύσης με τα σωματίδια κινούνται με πολύ μεγάλες ταχύτητες. Σημαντική συνεισφορά στην εκδήλωση φαινομένων διάβρωσης έχουν το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων που προσπίπτουν πάνω στη μεταλλική επιφάνεια, καθώς και η γωνία πρόσπτωσης. Έχει βρεθεί ότι σωματίδια με μέγεθος κόκκων μέχρι  $10\mu\text{m}$  δεν προξενούν φθορές καθώς παρασύρονται και ακολουθούν το ρεύμα των καυσαερίων. Η αποξεστική δράση των σωματιδίων αυξάνεται μέχρι το μέγεθος των  $100\mu\text{m}$ , ενώ πάνω από το μέγεθος αυτό η φθορά δεν εξαρτάται από το μέγεθος. Τέλος, η φθορά του εξοπλισμού εξαρτάται σημαντικά από την αποξεστικότητα των σωματιδίων των τεφρών, η οποία σχετίζεται με την ορυκτολογική τους σύσταση. Η παρουσία ορυκτών με υψηλή σκληρότητα όπως είναι ο χαλαζίας, οι άστριοι ή ο σιδηροπυρίτης κ.ά. είναι καθοριστική σε συνδυασμό με το μέγεθος και το σχήμα (γωνιώδες ή σφαιρικό) των σωματιδίων (Reid, 1984).

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι η παραγόμενη ιπτάμενη τέφρα απαρτίζεται κυρίως από σφαιρικά υαλώδη σωματίδια, των οποίων η αποξεστική δράση είναι περιορισμένη λόγω του σφαιρικού τους σχήματος και του μικρού τους μεγέθους. Έτσι, η διάβρωση σχετίζεται, κατά κύριο λόγο, με τα αναλλοίωτα σωματίδια χαλαζία και από τα ακανόνιστου σχήματος μεγάλα σωματίδια σιδηροπυριτών. Για την εκτίμηση της αποξεστικότητας, έχουν βρεθεί κάποιοι δείκτες μεταξύ των οποίων είναι ο λόγος  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης τόσο πιο έντονη αποξεστική δράση αναμένεται. Ο λόγος  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  μπορεί να αποτελέσει και μια ένδειξη παρουσίας ελεύθερου χαλαζία όταν λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από 1,6. Ένας άλλος τρόπος εκτίμησης της παρουσίας του χαλαζία αποτελεί η σχέση:  $Q_c = \text{SiO}_2 - 1,5\text{Al}_2\text{O}_3$  (Reid, 1984; Ίτσκος, 1994).

#### 1.3.4.4 Οξείδωση

Το φαινόμενο της οξείδωσης σχετίζεται με τη χημική προσβολή των μεταλλικών τμημάτων του ατμοπαραγωγού και εμφανίζεται κυρίως στις περιοχές σχηματισμού της φλόγας που συνδέονται με την παρουσία επισκωριώσεων. Η δημιουργία οξειδώσεων έχει βρεθεί ότι εμφανίζεται, όταν έχουν καλυφθεί τα μεταλλικά τμήματα των σωληνώσεων με σκωρίες, ως αποτέλεσμα της χημικής δράσης από αλκαλιούχες σιδηρούχες θεικές ενώσεις, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το  $K_3Fe(SO_4)_3$  (Reid, 1984).

#### 1.3.4.5 Εξάρτηση των επισκωριώσεων και επικαθήσεων από τη σύσταση του καυσίμου - Συμπεριφορά τήξης

Οι επισκωριώσεις και οι επικαθήσεις είναι πολύ σύνθετα φαινόμενα τα οποία εξαρτώνται από τους μετασχηματισμούς των ανόργανων συστατικών που υπάρχουν στο καύσιμο υλικό κατά τη θέρμανση και ψύξη.

Με βάση τη χημική σύσταση των γαιανθράκων, η παρουσία των Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na και K συνδέονται εν γένει με τη δημιουργία επισκωριώσεων, ενώ η παρουσία των Fe, Mg, Ca, Na, K και S με τη δημιουργία επικαθήσεων. Γενικά, τα χημικά στοιχεία, υπό μορφή οξειδίων, που υπάρχουν κυρίως στις τέφρες διακρίνονται σε όξινα και βασικά οξείδια. Τα όξινα οξείδια είναι τα  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , τα οποία έχουν υψηλό σημείο τήξης, το οποίο μειώνεται με την παρουσία των βασικών οξειδίων τα οποία είναι τα  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ . Η παρουσία των αλκαλίων και κυρίως του νατρίου συνδέεται με τη συμπεριφορά των τεφρών κατά την καύση, καθώς οι περισσότερες ενώσεις του Na έχουν σημεία τήξης σε θερμοκρασίες πλησίον ή χαμηλότερες των  $950^\circ C$ . Παράλληλα με τις χαμηλές θερμοκρασίες τήξης, μερικές ενώσεις του Na εξατμίζονται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, παρασύρονται από το ρεύμα των καυσαερίων και στη συνέχεια εναποτίθενται στην επιφάνεια των άλλων σωματιδίων τέφρας και τις μεταλλικές επιφάνειες, καθώς απορροφάται η θερμότητά τους και μειώνεται η θερμοκρασία τους. Η παρουσία του  $Na_2O$ , πολλές φορές υπολογίζεται με την ισοδύναμη περιεκτικότητα σε  $Na_2O$  ( $Na_2O_{eq}$ ), η οποία προκύπτει από το άθροισμα της περιεκτικότητας των αλκαλίων ( $Na_2O + 0,6589 \cdot K_2O$ , λαμβάνοντας υπόψη τα ατομικά βάρη των στοιχείων).

Όσον αφορά την ορυκτολογική σύσταση του γαιάνθρακα, έχει βρεθεί ότι η παρουσία των σιδηρούχων φάσεων, όπως είναι για παράδειγμα ο σιδηροπυρίτης, συνεισφέρουν στη δημιουργία επισκωριώσεων ή/και επικαθήσεων, καθώς η παρουσία τους υποβιβάζει το σημείο τήξης του χαλαζία και των αργιλικών φάσεων που υπάρχουν

στους γαιάνθρακες. Επίσης, σημαντικό ρόλο στη δημιουργία επισκωρίσεων ή/και επικαθήσεων εμφανίζουν η άσβεστος, που δημιουργείται από τη διάσπαση του ασβεστίτη και αντιδρά με τα άλλα ορυκτά δημιουργώντας ασβεστούχες φάσεις, ο ανυδρίτης και τα αργιλοπυριτικά ορυκτά τα οποία περιέχουν αλκάλια (άστριοι, ιλλίτης/μοσχοβίτης, καολινίτης, μοντμοριλλονίτης, κ.α.). Γενικά, ο σίδηρος, κυρίως υπό μορφή οξειδίου, αντιδρά με τις αργιλοπυριτικές φάσεις (κυρίως τα αργιλικά ορυκτά) δημιουργώντας σωματίδια χαμηλού σημείου τήξης ή χαμηλού ιξώδους, τα οποία εύκολα προσκολλώνται στα τοιχώματα του λέβητα ή των σωληνώσεων δημιουργώντας σταδιακά μια κρούστα. Σε γαιάνθρακες όπου η παρουσία του σιδήρου δεν είναι έντονη, οι επισκωρίσεις ή οι επικαθήσεις δημιουργούνται από νατριούχες ή/και ασβεστούχες φάσεις. Τα αλκάλια (κυρίως το νάτριο) ή το ασβέστιο υπό μορφή οξειδίου ή υδροξειδίου αντιδρούν με το τριοξείδιο του θείου σχηματίζοντας θειικά άλατα (θεαρντίτης  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ή ανυδρίτης  $\text{CaSO}_4$ ), τα οποία σχηματίζουν λεπτές εναποθέσεις υλικού στα τοιχώματα του λέβητα ή των σωληνώσεων. Καθώς η διαδικασία σχηματισμού των εναποθέσεων υλικού στα τοιχώματα του λέβητα ή των σωληνώσεων προχωράει και αυξάνεται το πάχος της κρούστας, η θερμοκρασία της επιφάνειας ανεβαίνει, λόγω μείωσης της ικανότητας αγωγής της θερμότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πυροσυσσώματωση των εναποθέσεων σε μια ισχυρή τηγμένη μάζα και τη δημιουργία μιας κολλοειδούς επιφάνειας, η οποία λειτουργεί ως υπόστρωμα παγίδευσης κόκκων επί των μεταλλικών επιφανειών, όπου προσκολλάται οποιοδήποτε σωματίδιο βρεθεί πλησίον (Benson et al., 1993; Couch, 1994; Bryers, 1996).

Οι γαιάνθρακες χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης (π.χ. λιγνίτης) διαφέρουν ως προς τη δημιουργία επισκωρίσεων ή/και επικαθήσεων σε σχέση με τους γαιάνθρακες υψηλού βαθμού ενανθράκωσης (π.χ. ασφατούχους γαιάνθρακες), λόγω κυρίως της υψηλότερης περιεκτικότητας ασβεστίου και νατρίου σε σχέση με αυτή του σιδήρου. Η παρουσία των αλκαλίων και του ασβεστίου στους γαιάνθρακες χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης ευνοεί, περισσότερο, τη δημιουργία επικαθήσεων, ενώ σε γαιάνθρακες υψηλότερου βαθμού ενανθράκωσης, λόγω της παρουσίας σιδήρου, ευνοούνται οι επισκωρίσεις.

Σε μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί σε δείγματα επισκωρίσεων και επικαθήσεων από τον ΑΗΣ Καρδιάς, έχει βρεθεί ότι στα δείγματα των εναποθέσεων από την περιοχή του καυστήρα, καθώς και του υπερθερμαντήρα και αναθερμαντήρα, οι κύριες φάσεις που υπήρχαν ήταν τα άμορφα, ο ανυδρίτης και ο αιματίτης. Σε μικρότερα ποσοστά παρατηρήθηκαν πυριτικό διασβέστιο, ανορθίτης, χαλαζίας, γκελενίτης και

διοψίδιος. Σε πολύ μικρά ποσοστά ή ίχνη υπήρχαν μπραουνμυλλερίτης και θεναρντίτης. Σε δείγματα από διάφορα σημεία του λέβητα, παρατηρήθηκε κυρίως η εμφάνιση σε άμορφα, ανυδρίτη, διοψίδιο, γκελενίτη και ψευδοβολλαστονίτη, ενώ σε μικρότερα ποσοστά ήταν ανυδρίτης και μουλλίτης, καθώς οι φάσεις του πυριτικού διασβεστίου, χαλαζία, αιματίτη και θεναρντίτη ήταν σε ίχνη (Kostakis, 2011).

Σε μελέτη σε δείγματα επισκωρώσεων και επικαθήσεων από τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, έχουν βρεθεί κυρίως οι φάσεις των αμόρφων και ανυδρίτη, ενώ σε μικρότερα ποσοστά παρατηρήθηκε ανορθίτης, γκελενίτης, χαλαζίας και ασβεστίτης (Fernandez-Turiel et al., 2004). Σε αντίστοιχες μελέτες από δείγματα επισκωρώσεων και επικαθήσεων σε ΑΗΣ από άλλες περιοχές του κόσμου οι φάσεις που κυρίως έχουν παρατηρηθεί είναι του ανυδρίτη, γκελενίτη, πλαγιοκλάστων, βολλαστονίτη, διοψιδίου, θεναρντίτη, αιματίτη ή/και μαγνητίτη και αμόρφων (υαλώδη φάση), καθώς και πυριτικού διασβεστίου, μπραουνμυλλερίτη, χαλαζία, ασβεστίτη, μουλλίτη, σπινέλλιου και χριστοβαλίτη (Unsworth et al., 1988; Bryers, 1996; Song et al., 2009).

Με βάση την περιεκτικότητα σε οξείδια της τέφρας, έχουν προταθεί εμπειρικοί δείκτες (Πίνακας 1.4) πρόβλεψης της συμπεριφοράς της τέφρας κατά τη διάρκεια της καύσης μέσα στις εστίες των ΑΗΣ (Gumz et al., 1958; Schmidt, 1976; Skorupska, 1993; Καβουρίδης και Γαλετάκης, 1996).

Πίνακας 1.4 : Εμπειρικοί δείκτες πρόβλεψης της τάσης δημιουργίας επισκωρώσεων και επικαθήσεων από την τέφρα.

Παράμετρος	Τύπος υπολογισμού
Λόγος βασικών-όξινων οξειδίων (Base to Acid Ratio, B/A):	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2}$
Δείκτης πυριτίου (Silica ratio, SR):	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}$
Λόγος πυριτίου-αργιλίου:	$\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$
Λόγος σιδήρου-ασβεστίου:	$\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{CaO}$
Δείκτης επισκωρώσεων (Slagging Index, SI):	$\text{B/A} \cdot \text{S}_{\text{dry}}$
Δείκτης επικαθήσεων (Fouling Index, FI):	$\text{B/A} \cdot \text{Na}_2\text{O}$
Δείκτης αλκαλικότητας, A	$\text{Na}_2\text{O} + 0,659 \text{ K}_2\text{O}$
Δείκτης Teune ( $K_T$ ):	$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}$
Δείκτης Nicholls and Selvig ( $K_{NS}$ ):	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}$
Δείκτης Schaeffer ( $K_S$ ):	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)}{\text{SiO}_2[\text{FeO} + 0.6(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]}$

Για τους εμπειρικούς αυτούς δείκτες, έχουν βρεθεί κάποια όρια που καθορίζουν το βαθμό της τάσης εμφάνισης των φαινομένων (Skorupska, 1993; Agraniotis et al., 2009), όπως φαίνεται στον πίνακα 1.5. Έτσι, έχει βρεθεί ότι η τάση δημιουργίας επισκωριώσεων-επικαθήσεων είναι υψηλή για τιμές του λόγου βασικών-όξινων οξειδίων  $>1.0$ , του δείκτη πυριτίου  $< 0.65$ , καθώς και του δείκτη επισκωριώσεων  $>2.0$  και του δείκτη επικαθήσεων  $>0.5$ . Αντίστοιχα η τάση δημιουργίας επισκωριώσεων-επικαθήσεων είναι σημαντικά μικρότερη όταν ο λόγος βασικών-όξινων οξειδίων έχει τιμές  $<0.5$ , ο δείκτης πυριτίου  $> 0.72$ , ο δείκτης επισκωριώσεων  $<0.6$  και ο δείκτης επικαθήσεων  $<0.2$ . Για το δείκτη αλκαλικότητας ή αλλιώς ισοδύναμη περιεκτικότητα σε  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $\text{Na}_2\text{Oeq}$ ), έχουν βρεθεί διαφορετικά όρια για λιγνιτικές τέφρες και διαφορετικά για υψηλότερου βαθμού ενανθράκωσης γαιάνθρακες, καθώς η παρουσία του Na διαφοροποιείται ανάλογα με το βαθμό ενανθράκωσης. Έτσι, για λιγνιτικές τέφρες με τιμές του δείκτη αλκαλικότητας  $<2$  δεν παρουσιάζονται προβλήματα επικαθήσεων, ενώ για τιμές  $>6$  ευνοείται η τάση δημιουργίας φαινομένων επικαθήσεων, όταν για βιτουμενιούχες τέφρες με τιμές του δείκτη  $<0.5$  δεν προκύπτουν προβλήματα, τα οποία όμως εμφανίζονται όταν οι τιμές είναι  $>1.0$ . Λαμβάνοντας υπόψη στον υπολογισμό της περιεκτικότητας των αλκαλίων (δείκτης αλκαλικότητας) και το ποσοστό της τέφρας που περιέχει ο γαιάνθρακας  $[(\text{Na}_2\text{O}+0,6589\cdot\text{K}_2\text{O}) \cdot \%\text{τέφρας}/100]$ , έχει βρεθεί ότι για τιμές  $<0.30$  δεν προκύπτουν προβλήματα εμφάνισης επικαθήσεων τα οποία γίνονται σημαντικά όταν οι τιμές είναι  $>0.45$  (Couch, 1994; Bryers, 1996).

Πίνακας 1.5: Χαρακτηρισμός της τάσης συμπεριφοράς της τέφρας για δημιουργία φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων σύμφωνα με τους εμπειρικούς δείκτες που βασίζονται στη χημική σύσταση.

Παράμετρος	Τύπος υπολογισμού	Τάση δημιουργίας φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων			
		Μικρή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή
Λόγος βασικών-όξινων οξειδίων (B/A):	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2}$	$<0,5$	0,5-1,0	1,0-1,75	$>1,75$
Δείκτης πυριτίου (SR):	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}$	$>0,72$	0,65-0,72	$<0,65$	
Λόγος πυριτίου-αργιλίου:	$\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$	$<1,4$	1,4-2,8	$>2,8$	
Λόγος σιδήρου-ασβεστίου:	$\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{CaO}$	$<0,31$ ή $>3,00$	0,31-3,00		
Δείκτης επισκωριώσεων (SI):	$\text{B/A} \cdot \text{S}_{\text{dry}}$	$<0,6$	0,6-2,0	2,0-2,6	$>2,6$
Δείκτης επικαθήσεων (FI):	$\text{B/A} \cdot \text{Na}_2\text{O}$	$<0,2$	0,2-0,5	0,5-1,0	$>1,0$
Δείκτης αλκαλικότητας (A):	$\text{Na}_2\text{O} + 0,659 \text{ K}_2\text{O}$	$<2,0$	2,0-6,0	6,0-8,0	$>8,0$

Για τους δείκτες Teune ( $K_T$ ), Nicholls and Selvig ( $K_{NS}$ ) και Schaeffer ( $K_S$ ), δεν έχουν βρεθεί κάποια όρια, καθώς αποτελούν μια ένδειξη για την ευτηκτική συμπεριφορά της τέφρας. Έχει αποδειχθεί πειραματικά (Nicholls and Selvig, 1932) σε δείγματα γαιανθράκων υψηλού βαθμού ενανθράκωσης (βιτουμενιούχους κυρίως γαιάνθρακες), ότι όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές των δεικτών, τόσο υψηλότερες είναι οι θερμοκρασίες εμφάνισης πυροσυσσωμάτωσης και τήξης των τεφρών.

Από τους δείκτες για την τάση της συμπεριφοράς των τεφρών κατά την καύση που φαίνονται στον πίνακα 1.4, ο λόγος βασικών-όξινων οξειδίων ( $B/A$ ) και ο λόγος πυριτίου-αργιλίου ( $SiO_2/Al_2O_3$ ) είναι οι περισσότερο σημαντικοί δείκτες με βάση τη χημική σύσταση, για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς τήξης. Ο λόγος βασικών-όξινων οξειδίων χαρακτηρίζει την τάση δημιουργίας εύτηκτων ενώσεων, ενώ ο λόγος πυριτίου-αργιλίου μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικά με τα αναμενόμενα σημεία τήξης. Το  $SiO_2$  σχηματίζει περισσότερο εύτηκτες ενώσεις με βασικά οξείδια, σε σχέση με το  $Al_2O_3$ . Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι σε μια τέφρα η περιεκτικότητα του  $Al_2O_3$  και μικρότερος ο λόγος  $SiO_2/Al_2O_3$ , τόσο μεγαλύτερες θα είναι οι θερμοκρασίες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης των τεφρών. Η παρουσία ή η προσθήκη πριν την καύση βασικών ορυκτών, όπως είναι ο σιδηροπυρίτης, σιδηρίτης, ασβεστίτης ή δολομίτης μειώνουν τις θερμοκρασίες της συμπεριφοράς τήξης των τεφρών, εκτός αν ο γαιάνθρακας είναι πολύ πλούσιος σε  $Al_2O_3$ . Επομένως, όσο αυξάνεται ο λόγος βασικών-όξινων οξειδίων μειώνονται εν γένει οι θερμοκρασίες της συμπεριφοράς τήξης των τεφρών, ενώ για δύο γαιάνθρακες με ίσους λόγους  $B/A$ , αυτός με το υψηλότερο  $SiO_2/Al_2O_3$  αναμένεται να έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες τήξης (Reid, 1984; Pipatmanomai et al., 2009).

Οι δείκτες της συμπεριφοράς της τέφρας κατά την καύση, αποτελούν μια ένδειξη για τη δημιουργία φαινομένων επισκωριάσεων ή/και επικαθήσεων, καθώς δεν προβλέπουν τη συμπεριφορά των ορυκτολογικών συστατικών. Κατά τη διαδικασία της κονιοποίησης του γαιάνθρακα στους μύλους, οι κόκκοι θραύονται έτσι ώστε να γίνεται πιθανός εμπλουτισμός ορισμένων κοκκομετρικών κλασμάτων σε ορισμένα ορυκτά. Όταν ένα σωματίδιο θραύεται, τα σωματίδια που προκύπτουν μπορεί να έχουν διαφορετική σύσταση σε σχέση με τη σύσταση που είχε αρχικά το καύσιμο. Έτσι, για παράδειγμα, ο σίδηρος του οποίου η παρουσία είναι σημαντική στα φαινόμενα των επισκωριάσεων ή/και επικαθήσεων, δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένος στη μάζα του καυσίμου και εξαρτάται από τη μορφή με την οποία βρίσκεται (σιδηροπυρίτης, σιδηρίτης, Fe-χλωρίτης, αιματίτης, κ.α.). Ο σίδηρος υπό μορφή σιδηροπυρίτη εμφανίζεται στα μεγαλύτερου ειδικού βάρους κλάσματα του καυσίμου σε αντίθεση με το

σιδηρίτη που δεν φαίνεται να παρουσιάζει ουσιαστικές διαφοροποιήσεις στα διάφορα κλάσματα (Byers, 1996).

Για τη μελέτη της συμπεριφοράς τήξης της τέφρας έχουν θεσπιστεί και ακολουθούνται κάποια πρότυπα τα οποία ανανεώνονται ανά χρονικά διαστήματα, όπως είναι το DIN51730 (1998), το ASTM D1857 (2000) ή το CEN/TS 15370 (2006). Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών θερμοκρασιών μελέτης της συμπεριφοράς τήξης πραγματοποιείται συνήθως με τη βοήθεια ενός θερμαινόμενου μικροσκοπίου οριζόντιου άξονα, όπου παρατηρούνται και καταγράφονται οι μεταβολές του σχήματος που υφίσταται ένα δοκίμιο δείγματος, το οποίο έχει μορφή κύβου, κυλίνδρου ή κώνου κατά την άνοδο της θερμοκρασίας. Τα στάδια των μεταβολών μέσα από τα οποία διέρχεται το δοκίμιο του δείγματος τέφρας είναι της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης, της θερμοκρασίας μαλάκυνσης, της θερμοκρασίας ημισφαιρίου και της θερμοκρασίας ροής.

Σύμφωνα με τη Skorupska (1993), έχει προσδιοριστεί ένας εμπειρικός δείκτης επισκωριώσεων (Slagging factor, Rs) από τις θερμοκρασίες που προκύπτουν κατά τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς τήξης, σύμφωνα με τη σχέση:

$$Rs (^{\circ}C) = (Maximum\ HT + 4 \cdot Minimum\ ID)/5. \quad (1.1)$$

Στην εξίσωση 1.1, ως Maximum HT είναι η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας ημισφαιρίου και ως Minimum ID είναι η μικρότερη θερμοκρασία που παρατηρείται έναρξη μεταβολών και παραμόρφωσης του δοκιμίου, τόσο σε οξειδωτικές όσο και σε αναγωγικές συνθήκες.

Η τάση δημιουργίας επισκωριώσεων χαρακτηρίζεται ως:

μικρή για  $Rs > 1343\ ^{\circ}C$ ,  
μέτρια για  $Rs = 1232-1343\ ^{\circ}C$ ,  
υψηλή για  $Rs = 1149-1232\ ^{\circ}C$  και  
πολύ υψηλή για  $Rs < 1149\ ^{\circ}C$ .

Ένα χαρακτηριστικό που σχετίζεται με το βαθμό και την εμφάνιση φαινομένων επισκωριώσεων ή/και επικαθήσεων αποτελεί η διαφορά των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης και κυρίως της θερμοκρασίας ροής με τη θερμοκρασία της αρχικής παραμόρφωσης, στην οποία στηρίζονται και οι κατασκευαστές ατμοπαραγωγών. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά των θερμοκρασιών αυτών, τόσο μικρότερος είναι ο ρυθμός δημιουργίας επικαθήσεων λόγω αύξησης των πόρων μεταξύ των εναποθέσεων και της μεταλλικής επιφάνειας, καθιστώντας ευκολότερη την απομάκρυνση με εκκαπνισμό ή ακόμα και πτώση λόγω βάρους, ενώ όσο μικρότερη είναι η διαφορά, δημιουργούνται

λεπτές εναποθέσεις με ισχυρή πρόσφυση, αυξάνοντας το βαθμό δυσκολίας απομάκρυνσης της με εκκαπνισμό. Γενικά, για την αποφυγή φαινομένων επισκωριώσεων ή/και επικαθήσεων, κατά το σχεδιασμό των ατμοπαραγωγών, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι οι θερμοκρασίες που θα επικρατούν θα πρέπει να είναι μικρότερες ή οριακά να πλησιάζουν τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης ή κατά περίπτωση τη θερμοκρασία μαλάκυνσης του γαιάνθρακα (λιγνιτικού καυσίμου) και κυρίως στην περιοχή εξόδου των αερίων και της τέφρας από το λέβητα (Reid, 1984; Bryers, 1996).

Η συμπεριφορά των ορυκτών που εμπεριέχονται στους γαιάνθρακες με την άνοδο της θερμοκρασίας και η συμπεριφορά τήξης έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές διεθνώς (Mitchell and Gluskoter, 1976; Huffman et al., 1981; Gray, 1987; Hatt, 1990; Wall, 1992; Vassilev et al., 1995; Bryers, 1996; Vassilev et al., 2005; Vassileva and Vassilev, 2005; Vassilev and Vassileva, 2007; Van Dyk et al., 2009; Song et al., 2010; Liu et al., 2013; Wang and Massoudi, 2013; κ.α.). Από τις μελέτες αυτές έχει προκύψει ότι οι γαιάνθρακες με υψηλά ποσοστά σε  $\text{SiO}_2$  κατά την καύση παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά σε άμορφα, ενώ στους γαιάνθρακες με υψηλά ποσοστά σε  $\text{CaO}$ , η παρουσία των αμόρφων είναι μικρότερη. Αντίστοιχα, έχει μελετηθεί η συμπεριφορά των ορυκτών στους Ελληνικούς γαιάνθρακες (λιγνίτη) με την άνοδο της θερμοκρασίας, όπου παρατηρείται κατά την καύση του λιγνίτη, η δημιουργία ασβεστούχων κυρίως φάσεων, όπως είναι άσβεστος, γκελενίτης, ανυδρίτης, μπραουνμυλλερίτης, μερβινίτης, πυριτικό διασβέστιο, κ.α. (Filippidis et al., 1992; Kassoli-Fournaraki et al., 1992; Filippidis et al., 1996; Agraniotis et al., 2009). Επίσης, έχει γίνει προσπάθεια συσχέτισης των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης των τεφρών με τη χημική σύσταση, σε δείγματα τεφρών, κυρίως πυριτικής σύστασης (Lloyd et al., 1993; Alastuey et al., 2001; Jak, 2002; Lolja et al., 2002; Goni et al., 2003; Seggiani and Pannocchia, 2003; Liu et al., 2007; Vassilev and Vassileva, 2007; Pipatmanomai et al., 2009; Song et al., 2009). Από τις συσχετίσεις αυτές, έχει διαφανεί ότι υπάρχει κάποια σχέση εξάρτησης των θερμοκρασιών από τη χημική σύσταση των γαιανθράκων. Σε πυριτικές τέφρες, οι θερμοκρασίες της συμπεριφοράς τήξης και ιδίως η θερμοκρασία ροής, μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού του  $\text{CaO}$  μέχρι περιεκτικότητα περίπου 20%, ενώ σε ασβεστούχες τέφρες (ιδίως για περιεκτικότητες σε  $\text{CaO} > 25\%$ ) η θερμοκρασία αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας του  $\text{CaO}$ . Αντίστοιχα για τα  $\text{SiO}_2$  και  $\text{Al}_2\text{O}_3$  υπάρχει αύξηση των θερμοκρασιών με την αύξηση της περιεκτικότητάς τους σε πυριτικές τέφρες, ενώ υπάρχει μείωση των θερμοκρασιών με την αύξηση της περιεκτικότητάς τους σε

ασβεστούχες τέφρες. Όσον αφορά τα  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  και  $\text{SO}_3$ , δεν υπάρχει κάποια σαφής τάση τόσο στις πυριτικές όσο και στις ασβεστούχες τέφρες. Η συσχέτιση της ορυκτολογίας με τις θερμοκρασίες της συμπεριφοράς τήξης των τεφρών, δεν έχει πραγματοποιηθεί σε μεγάλο εύρος αναλύσεων. Οι ενδείξεις από τη συσχέτιση του χαλαζία με τις θερμοκρασίες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφοράς τήξης έδειξαν ότι με την αύξηση της περιεκτικότητάς του, υπάρχει σχετική μείωση των θερμοκρασιών, κυρίως οι θερμοκρασίες ημισφαιρίου και ροής, ενώ τα αντίθετα αποτελέσματα προκύπτουν για τη σχέση του αθροίσματος των ασβεστούχων φάσεων με τις θερμοκρασίες στις ασβεστούχες λιγνιτικές τέφρες του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (Stratakis and Kostakis, 2008). Αντίστοιχες συσχετίσεις της ορυκτολογικής σύστασης με τη θερμοκρασία ροής έχουν πραγματοποιηθεί και από άλλους ερευνητές σε περιορισμένο βαθμό και σε δείγματα τεφρών, κυρίως από βιτουμενιούχους γαιάνθρακες πυριτικής σύστασης, από όπου δεν προέκυψαν κάποια σαφή συμπεράσματα (Vassilev and Vassileva, 2007).

#### **1.3.4.6 Ποζολανικές και υδραυλικές ιδιότητες των Ι.Τ.**

Μια σημαντική επίσης ιδιότητα της Ι.Τ. είναι η δραστικότητα που εμφανίζει όταν έρθει σε επαφή με υδάτινα διαλύματα και καθορίζεται κατά κύριο λόγο από εκείνα τα ορυκτολογικά συστατικά που αντιδρούν με τα υδάτινα διαλύματα. Επίσης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν η έκπλυση και η απορρόφηση ή προσρόφηση χημικών ουσιών.

Εξαιτίας της ορυκτολογικής τους σύστασης, οι Ι.Τ. παρουσιάζουν μεγάλη απορροφητικότητα έναντι των υγρών και ιδιαίτερα του νερού, εμφανίζοντας υδραυλικές ή/και ποζολανικές ιδιότητες. Οι υδραυλικές ιδιότητες ενός υλικού, όπως π.χ. το τσιμέντο Portland, οφείλονται στο σχηματισμό, υπό την επίδραση νερού, σταθερών ελάχιστα υδατοδιαλυτών ένυδρων ενώσεων, με μεγάλη μεταξύ αυτών και των αδρανών συνάφεια, οι οποίες με την πάροδο του χρόνου δημιουργούν από ένα πολτό ένα συμπαγές συσσωμάτωμα. Ως ποζολάνη ορίζεται, ένα λεπτόκοκκο υλικό που από μόνο του δεν έχει υδραυλικές ιδιότητες, το οποίο όμως σε λεπτό κατακερματισμό και παρουσία νερού αντιδρά με υδράσβεστο, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, σχηματίζοντας ενώσεις με υδραυλικές ιδιότητες. Οι υδραυλικές και οι ποζολανικές ιδιότητες της Ι.Τ. είναι εκείνες που καθορίζουν τις δυνατότητες αξιοποίησης της τέφρας στην παραγωγή τσιμέντου, την οδοποιία, την οικοδομική και σε άλλους τομείς (Κωστάκης, 1996).

Έχει βρεθεί ένας εμπειρικός δείκτης προσδιορισμού του χαρακτήρα των Ι.Τ. με βάση τη χημική σύσταση σύμφωνα με τη σχέση 1.2 (Ψευτογιάννης και Παπαγεωργίου, 1997).

$$\text{Δείκτης ποζολανικότητας : } k = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} \quad (1.2)$$

όπου:  $0,05 < k < 0,20$  : ποζολανικός χαρακτήρας,

$0,20 < k < 1,00$  : ποζολανικές και υδραυλικές ιδιότητες ταυτόχρονα,

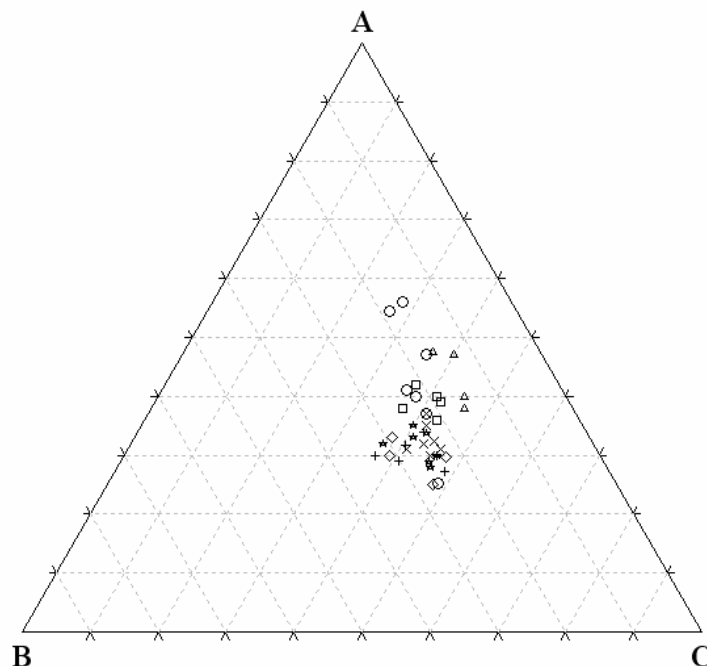
$1,00 < k < 2,00$  : υδραυλικός χαρακτήρας.

Η δραστικότητα της Ι.Τ. καθορίζεται κατά κύριο λόγο από εκείνα τα ορυκτολογικά συστατικά που αντιδρούν με τα υδάτινα διαλύματα, καθώς και από την κατανομή στην υφή της μάζας της Ι.Τ.. Η ικανότητα της Ι.Τ. να αντιδρά είναι διαφορετική σε διάφορα περιβάλλοντα (σημασία έχουν τόσο οι ιδιότητες των σωματιδίων, όσο και οι ιδιότητες των μειγμάτων). Έτσι, για παράδειγμα η δραστικότητα της Ι.Τ. στο σκυρόδεμα οφείλεται στην αντίδραση του μη κρυσταλλικού (άμορφου, υαλώδους) μέρους των συστατικών της με το  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  που παράγεται από την ενυδάτωση του τσιμέντου (ποζολανική δράση) και το σχηματισμό προϊόντων με υδραυλικές ιδιότητες. Η δραστικότητα των κυριότερων ορυκτολογικών συστατικών της Ι.Τ. παρουσιάζεται στον πίνακα 1.6.

Πίνακας 1.6: Δραστικότητα ορυκτολογικών συστατικών που απαντώνται σε Ι.Τ. (Bambauer, 1993).

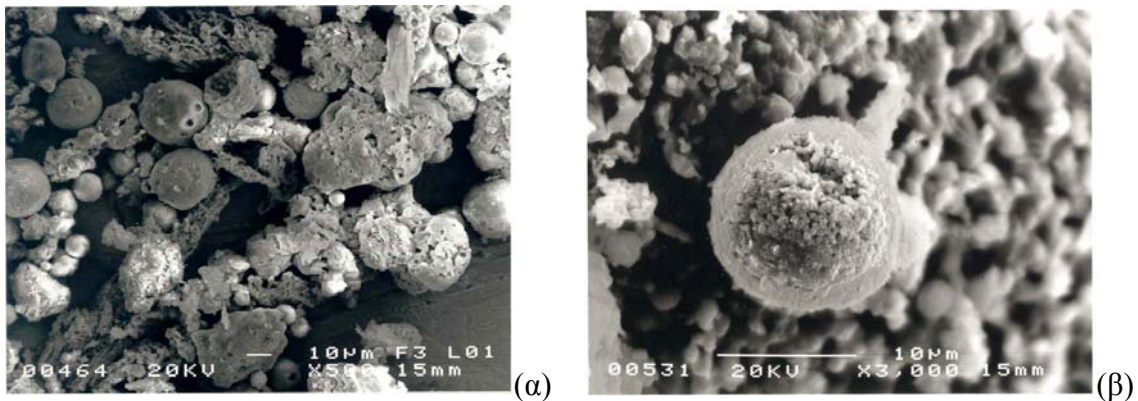
<u>Υψηλή «υδραυλική» δραστικότητα:</u>	% Μάζας
Ελεύθερο $\text{CaO}$	<1-20
Ανυδρίτης	4-24
$\text{Ca}_2\text{SiO}_5$ , Μπραουνμυλλερίτης	<10
Οξύτητα του Al με Mg, Ca	Μικρό έως πολύ μικρό ποσοστό
Περίκλαστο	Αμελητέο ποσοστό
Οξείδιο του Ba	Μικρό έως πολύ μικρό ποσοστό
Πυριτικά του Ca	Δεν έχει προσδιοριστεί
<u>Λανθάνουσα «υδραυλική» δραστικότητα:</u>	
Σωματίδια υάλου (δραστική ύαλος)	11-51
<u>«Ποζολανική» ασθενής δραστικότητα:</u>	
Σωματίδια υάλου (αδρανής ύαλος)	5-15
Μετακαολίνης	3-15
<u>Αδρανής:</u>	
Χαλαζίας	4-50
Οξείδια του Fe	3-15
Σωματίδια κωκ, πορώδη	<1-7
Μουλίτης, συχνά σε γυαλί	Αμελητέο ποσοστό
Αστριοί, Ρουτίλιο	Μικρό έως πολύ μικρό ποσοστό

Από τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης, έχει προταθεί ένας τρόπος εκτίμησης των υδραυλικών ή/και ποζολανικών ιδιοτήτων των τεφρών με τη βοήθεια τριγωνικών διαγραμμάτων (Kostakis and Stratakis, 2005a; Kostakis and Stratakis, 2005b; Kostakis, 2009). Καθώς κάθε ορυκτολογική φάση που εμπεριέχεται στις Ι.Τ. εμφανίζει υδραυλική, ποζολανική ή αδρανή συμπεριφορά, δημιουργήθηκαν τρεις ομάδες ορυκτών. Η πρώτη ομάδα, περιλαμβάνει το άθροισμα των ορυκτών με υδραυλικές ιδιότητες, οι οποίες είναι ο ανυδρίτης, η άσβεστος(+πορτλανδίτης), το περίκλαστο, ο γκελενίτης, το πυριτικό διασβέστιο, ο μπραουνμυλλερίτης και ο μερβινίτης/μαγιενίτης. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει το άθροισμα των αδρανών ορυκτών που αποτελείται από το χαλαζία, τον ασβεστίτη, τον αιματίτη, τους αστρίους και το μοσχοβίτη/ιλλίτη. Τέλος, η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει την περιεκτικότητα των αμόρφων φάσεων (κυρίως υαλώδεις φάσεις και υπολείμματα αποσυντιθέμενων αργιλικών ορυκτών του λιγνίτη κατά την καύση). Στην εικόνα 1.7, αποτυπώνεται το τριγωνικό διάγραμμα εκτίμησης των ιδιοτήτων των Ι.Τ. του ΛΚΠ-Α. Από την εικόνα αυτή, προκύπτει ότι η παρουσία υψηλού ποσοστού σε άσβεστο και των άλλων φάσεων με υδραυλική συμπεριφορά στις Ι.Τ. των ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, Καρδιάς, Πτολεμαΐδας, ΛΙΠΤΟΛ και Αμυνταίου, καθορίζουν ότι οι Ι.Τ. αυτές εμφανίζουν υδραυλικές ιδιότητες (Kostakis, 2009).



Εικόνα 1.7: Ορυκτολογική ανάλυση εβδομαδιαίων δειγμάτων Ι.Τ. των ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου ( $\square$ ), Καρδιάς ( $\triangle$ ), Πτολεμαΐδας (Μονάδες I(+), II(x), και IV( $\star$ )), ΛΙΠΤΟΛ (o) και Αμυνταίου ( $\diamond$ ). A= ανυδρίτης + άσβεστος(+πορτλανδίτης) + περίκλαστο + γκελενίτης +  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  + μπραουνμυλλερίτης + μερβινίτης/μαγιενίτης. B= χαλαζίας + ασβεστίτης + αιματίτης + αστριοί + μοσχοβίτη/ιλλίτης. C= άμορφα (Kostakis, 2009).

Ιδιαίτερη σημασία, κυρίως για περιβαλλοντικούς λόγους (από την επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό και την έκπλυση, ενδεχομένως, τοξικών συστατικών κατά την επαφή με υγρά), έχει η ορυκτολογική σύσταση και το σχήμα των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας. Τα σχήματα των σωματιδίων της Ι.Τ. μπορεί να είναι ωσειδή και σφαιρικά, σφαιροειδή, κυψελοειδές, ακανόνιστα, κ.α., ενώ το μέγεθος των σωματιδίων ποικίλλει (Εικόνα 1.8). Σύμφωνα με ερευνητές, έχει παρατηρηθεί ότι, οι Ι.Τ. της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου περιέχουν περίπου 0.8% οργανικού υλικού και τουλάχιστον 3-4% άκαυστο λιγνίτη (Georgakopoulos et al., 1992). Σε εξέταση δειγμάτων Ι.Τ. με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, προέκυψε ότι τα σωματίδια της τέφρας εμφανίζονται τόσο σε ακανόνιστο, όσο και σε ωσειδές ή σφαιρικό σχήμα μεγέθους από 1 έως και άνω των 100μm. Τα ωσειδή και σφαιρικά σωματίδια μπορεί να είναι κενά (σφαιρίδια με κοιλότητες - κενόσφαιρες (cenospheres)) να εμπεριέχουν άλλα μικρότερα σωματίδια (πληρόσφαιρες (plerospheres)), να αποτελούνται από υαλώδη φάση ή να είναι υπό μορφή σφαιρόλιθων (Georgakopoulos et al., 1994; Kostakis, 2009).



Εικόνα 1.8: Μορφή και σχήμα σωματιδίων Ι.Τ. όπως φαίνονται σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. α: Σωματίδια Ι.Τ. και β: Σφαιροειδή συσσωματώματα σωματιδίων (Kostakis, 2009).

Τέλος, έχει βρεθεί ότι η ειδική επιφάνεια (λεπτότητα κατά Blaine) των Ι.Τ. της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου κυμαίνεται μεταξύ 2500 και 5500 cm<sup>2</sup>/g, αλλά μπορεί να φτάσει και στα 8000 cm<sup>2</sup>/g (συγκριτικά, το κοινό τσιμέντο Portland έχει 3200 cm<sup>2</sup>/g). Το ειδικό βάρος των Ι.Τ. ποικίλλει μεταξύ 1,9 και 2,7 g/cm<sup>3</sup> (Λιάτης, 1984; EPRI, 1987; Σακελλαρίου κ.α., 1997).

### 1.3.5 Δυνατότητες αξιοποίησης των Ιπταμένων Τεφρών

Τα παραπροϊόντα των βιομηχανικών δραστηριοτήτων όπως είναι η Ι.Τ., αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης για τη δυνατότητα αξιοποίησής τους, λόγω κυρίως των σοβαρών προβλημάτων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργούνται από την απόρριψή τους. Οι προσπάθειες για την αξιοποίηση της Ι.Τ. άρχισαν κατά τη δεκαετία του 1950 και οδήγησαν σε ένα μεγάλο αριθμό προτάσεων για χρήσεις της, πολλές από τις οποίες ήταν οικονομικά ασύμφορες (λόγω κόστους μεταφοράς, επεξεργασίας, κ.α.) ή περιορισμένου ενδιαφέροντος, καθώς μπορούσαν να αφομοιώσουν μόνο ένα μικρό μέρος της παραγόμενης ποσότητας Ι.Τ.. Με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε από τις μελέτες, λόγω των φυσικών ιδιοτήτων που παρουσιάζει η Ι.Τ., ως καλύτερη δυνατότητα αξιοποίησης της Ι.Τ. είναι η χρησιμοποίηση στον τομέα της οικοδομικής και της βιομηχανίας των δομικών υλικών (εν μέρει υποκατάστατα του τσιμέντου σε κατασκευές σκυροδέματος, οδοποιία, σκληρυνμένα σε ατμό ασβεστοπυριτικά δομικά υλικά, οπτόπλινθοι με Ι.Τ., αφροποιημένα κονιάματα, σκληρά αδρανή). Τις τελευταίες δεκαετίες πραγματοποιείται μια έντονη επιστημονική έρευνα γύρω από τη διερεύνηση χρήσεων των Ι.Τ. και ακολουθεί μια εκθετική ανάπτυξη με επίκεντρο τις χώρες οι οποίες παράγουν και καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες γαιανθράκων και ταυτόχρονα είναι τεχνολογικά ανεπτυγμένες (Η.Π.Α., Γερμανία, Αγγλία, Γαλλία, χώρες πρώην Σοβ. Ένωσης). Στην Ελλάδα, οι προσπάθειες επικεντρώθηκαν στη χρήση στη τσιμεντοβιομηχανία ως ποζολανικό υλικό. Το 1966 η ΔΕΗ, έκανε την πρώτη προσπάθεια με προσθήκη αυτούσιας Ι.Τ. ως αντικαταστάτη μέρους του τσιμέντου στον αναμικτήρα σκυροδέματος (Κωστάκης, 1996).

Η παγκόσμια παραγωγή της Ι.Τ. είναι περίπου 370 εκατ. τόνοι, ενώ η αξιοποίησή της στις διάφορες εφαρμογές αγγίζει το 40% περίπου. Η συνολική παραγωγή της Ι.Τ. στην Ευρώπη (Ε.Ε. των 15) το 2009, ήταν 35 εκατ. τόνοι, ενώ στην Αμερική για το 2010, ήταν 68 εκατ. τόνοι περίπου, από τα οποία αξιοποιήθηκαν στην Ευρώπη τα 15 εκατ. και στην Αμερική τα 26 εκατ. (πηγή: ECOBA - European Coal Combustion Products Association και ACAA - American Coal Ash Association). Αντίστοιχα δεδομένα για την Ελλάδα, δεν υπάρχουν πλήρως διαθέσιμα, εκτός από αυτά που αφορούν στην παραγωγή της Ι.Τ. από το σύνολο των ΑΗΣ της χώρας, η οποία κυμαίνεται 9-10 εκατ. τόνους ετησίως. Οι κυριότεροι τομείς αξιοποίησης της Ι.Τ. και οι ποσότητες στην Ευρώπη (Ε.Ε. των 15) για το 2009 και στην Αμερική για το 2010 παρουσιάζονται στον πίνακα 1.7.

Οι κυριότεροι τομείς διάθεσης της τέφρας, όπως προκύπτει και από τον πίνακα 1.7, είναι στην παραγωγή τσιμέντου, στην παραγωγή σκυροδέματος, στη σταθεροποίηση και πλήρωση κενών, καθώς και στην ανάπλαση εδαφών και αποκατάσταση χώρων εκσκαφών γαιανθράκων.

Μια έμμεση εφαρμογή και μια πρώτη αξιοποίηση της Ι.Τ. λαμβάνει χώρα κατά την παραγωγή της μέσα στο λέβητα καύσης και αφορά στη διεργασία απορρύπανσης, δηλαδή στη διεργασία φυσικής αποθείωσης των καυσαερίων, όταν βέβαια η σύσταση της τέφρας είναι τέτοια που να βοηθάει προς αυτή την κατεύθυνση. Άλλες χρήσεις της Ι.Τ. μέσα στους χώρους παραγωγής της, αφορούν ενδεικτικά, στην πλήρωση των ορυγμάτων και στην οδοποιία μέσα στα ορυχεία, συμβάλλοντας έτσι στην προστασία και αποκατάσταση του περιβάλλοντος, καθώς και στην οικονομία της παραγωγικής διαδικασίας.

Πίνακας 1.7: Αξιοποίηση της τέφρας στη Ευρώπη και στην Αμερική.

	Ευρώπη	Αμερική
Παραγωγή τέφρας (χιλ. τόνοι)	35.038	67.700
Αξιοποίηση τέφρας (χιλ. τόνοι):	15.443	25.724
1. Παραγωγή τσιμέντου	5.064	2.046
2. Σκυρόδεμα	6.178	11.016
3. Οδοποιία	439	378
4. Σταθεροποίηση, στεγανοποίηση και πλήρωση κενών χώρων	3.080	5.464
5. Δομικά υλικά	71	87
6. Ανάπλαση εδαφών - Αποκατάσταση λιγνιτοφόρων περιοχών	428	5.659
7. Λοιπές χρήσεις	185	1.074
Βαθμός αξιοποίησης (%)	44	38

Η αξιοποίηση της Ι.Τ. σε διάφορες εφαρμογές είτε σε βιομηχανικό επίπεδο είτε σε πειραματικό και ερευνητικό επίπεδο είναι (Παπαδόπουλος κ.α., 1975; Λιάτης, 1984; Φτίκος κ.α., 1985; Κασσελούρη και Παρισάκης, 1988; Μαρσέλλος κ.α., 1988; Παπαγιάννη, 1988; Τσιτουρίδου και Παπαχρήστου, 1988; Γεωργακόπουλος κ.α., 1992; Sampathkumar et al., 1995; Κωστάκης, 1996; Manz, 1997; Queral et al., 1997; Κοκκάλης, 1997; Παπαγιάννη, 1997; Παπαδάκης και Pedersen, 1997; Σακελλαρίου κ.α., 1997; Σταματάκης κ.α., 1997; Ilic et al., 2003; Mouhtar et al., 2003; Matjie et al., 2005; Goren R. et al., 2006; Kantiranis et al., 2006; Skodras et al., 2007; ΕΚΕΤΑ/ΙΤΕΣΚ, 2007;

RMRC, 2009; Guo et al., 2010; ACAA, 2012; Blissett and Rowson, 2012; ECOBA, 2012; Van Deventer et al., 2012; WCA, 2012):

1. Στην τσιμεντοβιομηχανία ως πρόσθετο του τσιμέντου σε ποσοστό μέχρι 15-20% και σαν πρώτη ύλη στην φαρίνα του κλίνκερ σε ποσοστό 5%.
2. Σε έργα οδοποιίας, όπως είναι οι επιχωματώσεις και σταθεροποιήσεις οδών, στις διαστρώσεις των οδοστρωμάτων, στο σκυρόδεμα που χρησιμοποιούνται σε έργα οδοποιίας, στην κατασκευή βάσεων και υποβάσεων οδοστρωμάτων, κ.α.
3. Στην πύκνωση των ασφαλικών και πισσούχων προϊόντων, που χρησιμοποιούνται για στεγανοποιήσεις.
4. Ως αδρανές φορτίσεως σε γυψοκατασκευές, λιπάσματα, χρώματα, στόκο, κλπ.
5. Στην κατασκευή τεχνητών πλακών αντοχής (μαζί με τσιμέντο, γύψο, σκόνη οξειδίων αργιλίου και ασβεστίου).
6. Στην κατασκευή ελαφροβαρών τσιμεντολίθων και αδρανών, με πολύ καλές θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες
7. Στην κατασκευή δομικών υλικών από αφρομπετόν, με εξαιρετική ελαφρότητα και καλή θερμομόνωση.
8. Στην παρασκευή ασφαλομπετόν
9. Ως άμμος χυτηρίων για τους πυρήνες των εκτύπων (κενά).
10. Στην κατασκευή φίλτρων για τη διήθηση ακαθάρτων νερών και άλλων υγρών.
11. Ως υλικό πληρώσεως κενών σε διάφορα έργα
12. Στη σταθεροποίηση, στεγανοποίηση και πλήρωση κενών χώρων (τσιμεντενέσεις)
13. Στην εξυγίανση βιομηχανικών αποβλήτων, για την επίλυση πολλών προβλημάτων προστασίας του περιβάλλοντος, καθώς και στην αποκατάσταση εδαφών και κατασκευή χώρων υγειονομικής ταφής.
14. Στην γεωργία για την εξουδετέρωση όξινων εδαφών, για την μείωση της αντιστάσεως στο όργωμα, για τη βελτίωση γενικά της καλλιέργειας, της υδατοχωρητικότητας και καλύτερης απόδοσης του εδάφους.
15. Στην κατασκευή κεραμικών (τούβλων, πλακιδίων, κ.α.), ως ισχυραντικό της χρησιμοποιούμενης αργίλου
16. Στην παρασκευή καταλυτικών φορέων ή προσροφητικών μέσων, όπως π.χ. σε μίγμα με CaO, που δεσμεύει το SO<sub>2</sub>.
17. Στη μεταλλουργία για ανάκτηση μετάλλων.
18. Στην κατασκευή γυαλιού και ορυκτοβάμβακα

19. Σαν υλικό αμμοβολής χυτοσιδήρων και χυτοχαλύβδινων αντικειμένων.
20. Στην παραγωγή συνθετικών ζεολίθων.
21. Στην παραγωγή υλικών γεωπολυμερισμού.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή για την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν, περιλαμβάνει τα στάδια α) της επιλογής και προετοιμασίας των δειγμάτων για τον εργαστηριακό προσδιορισμό της σύστασης και των ιδιοτήτων των ιπτάμενων και εργαστηριακών τεφρών, β) τη διεξαγωγή των ορυκτολογικών αναλύσεων με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X και της παρατήρησης της μορφολογίας των Ι.Τ. και των Ε.Τ. με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, γ) των χημικών αναλύσεων με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού, δ) του προσδιορισμού των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης, ε) του προσδιορισμού της ειδικής επιφάνειας (λεπτότητα κατά Blaine) και της κοκκομετρικής κατανομής και στ) της στατιστικής επεξεργασίας και συσχέτισης των αποτελεσμάτων των αναλύσεων.

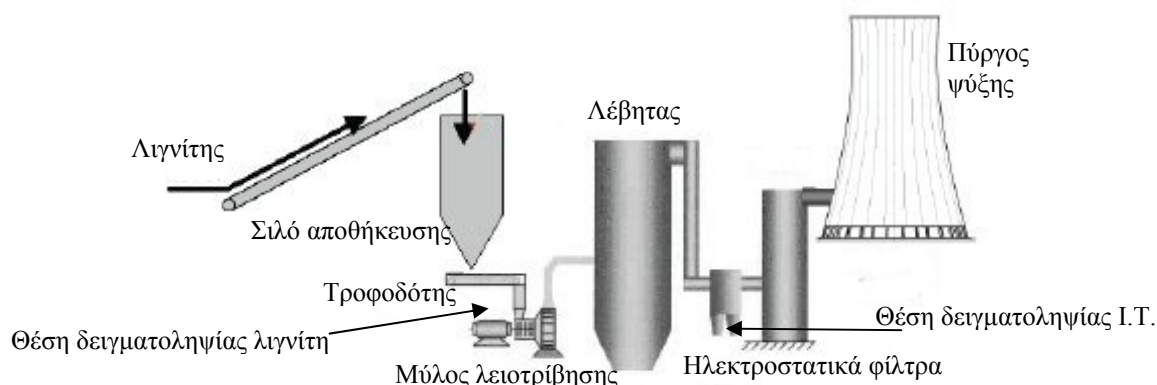
**2.1 Επιλογή και προετοιμασία των δειγμάτων των Ι.Τ. και των Ε.Τ.**

Τα δείγματα των τεφρών και των λιγνιτών τροφοδοσίας συλλέχθηκαν κατά το παρελθόν στο πλαίσιο συνεργασίας του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας με τη ΔΕΗ, μετά από συστηματική δειγματοληψία στους ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α). Πρόκειται περί ιπταμένων τεφρών και εργαστηριακών τεφρών του λιγνίτη τροφοδοσίας από τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, καθώς και εργαστηριακών τεφρών από τους ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, Καρδιάς, ΛΠΤΟΛ, Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου, όπως προέκυψαν από δυο διαφορετικές χρονικές περιόδους δειγματοληψίας. Από έναν μεγάλο αριθμό δειγμάτων επελέγησαν δείγματα τα οποία κάλυπταν όλο το φάσμα των διακυμάνσεων της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης των τεφρών των λιγνιτών που τροφοδότησαν τους ΑΗΣ κατά τις περιόδους δειγματοληψίας.

Η πρώτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτυπωθούν σε χρονικό διάστημα ενός ημερολογιακού έτους οι διαφοροποιήσεις από τη διακύμανση της σύστασης του λιγνίτη λόγω της εξέλιξης του μετώπου της εκμετάλλευσης. Για το λόγο αυτό συλλέχθηκαν μηνιαία δείγματα Ι.Τ. και λιγνίτη για ένα έτος (Οκτώβριος 1998-Σεπτέμβριος 1999). Η συλλογή δειγμάτων Ι.Τ. και

λιγνίτη την ίδια χρονική περίοδο, αποσκοπούσε στη διερεύνηση της συσχέτισης των μεταξύ τους αποτελεσμάτων, δηλαδή αν υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ της σύστασης των ανόργανων συστατικών στο λιγνίτη και αυτών της Ι.Τ.. Ο λιγνίτης τροφοδοσίας που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των Ε.Τ. συλλέχθηκε την ίδια χρονική περίοδο κατά την οποία από το λιγνίτη αυτό προέκυψε η Ι.Τ..

Τα δείγματα από τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου προήλθαν από τις θέσεις που παρουσιάζονται σχηματικά στην εικόνα 2.1. Ο μεν λιγνίτης συλλέχθηκε, από τους τροφοδότες των μονάδων πριν την είσοδο στους μύλους λειοτρίβησης, η δε Ι.Τ. στην έξοδο των ηλεκτροστατικών φίλτρων και πριν οδηγηθεί στους ταινιόδρομους απομάκρυνσης προς τα σιλό απόθεσης. Τα δείγματα της Ι.Τ., αμέσως μετά τη συλλογή τους, συσκευάστηκαν αεροστεγώς για να αποφευχθούν φαινόμενα αλλοίωσης των αρχικών φάσεων λόγω της υγρασίας του περιβάλλοντος.



Εικόνα 2.1: Θέσεις δειγματοληψίας από τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου

Συγκεντρωτικά, τα δείγματα που λήφθηκαν από τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου από τα οποία ένα μέρος χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή είναι:

- Δείγματα λιγνίτη τροφοδοσίας ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου
  - ανά 2 ώρες για δύο ημέρες από μονάδα Ι (24 δείγματα)
  - ημερήσια από μονάδες Ι, ΙΙ, ΙΙΙ, ΙV και V (150 δείγματα)
  - μηνιαία από μονάδες Ι, ΙΙ, ΙΙΙ, ΙV, V και μέσο δείγμα από το σταθμό (68 δείγματα)
- Δείγματα Ι.Τ. από ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου
  - ανά 2 ώρες για μία ημέρα από μονάδα Ι (12 δείγματα)
  - ημερήσια από μονάδες Ι, ΙΙ, ΙΙΙ και ΙV (120 δείγματα)
  - μηνιαία από μονάδες Ι, ΙΙ, ΙΙΙ, ΙV και μέσο δείγμα από το σταθμό (58 δείγματα)

Από το σύνολο των παραπάνω δειγμάτων, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής μελετήθηκαν τα δίωρα και τα μηνιαία δείγματα στο σύνολό τους, καθώς και ένας μικρός αριθμός ημερήσιων δειγμάτων.

Η δεύτερη δειγματοληψία έγινε από τη ΔΕΗ στα πλαίσια Ερευνητικού Προγράμματος που είχε ανατεθεί στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας, από τους ΑΗΣ της Β.Δ. Μακεδονίας κατά το χρονικό διάστημα Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2002, όπου προέκυψαν νέα δείγματα ιπτάμενης και εργαστηριακής τέφρας. Τα δείγματα της Ε.Τ. παρασκευάστηκαν από τα εργαστήρια της ΔΕΗ σύμφωνα με το πρότυπο που ακολουθεί η ΔΕΗ (ASTM D3174). Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν μέσα εβδομαδιαία δείγματα από τους ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, Καρδιάς, ΛΙΠΤΟΛ και Αμυνταίου, καθώς και δείγματα των τεφρών από τις μονάδες Ι, ΙΙ και ΙV του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, κατά το χρονικό διάστημα Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2002.

Συγκεντρωτικά, τα δείγματα από τη δεύτερη δειγματοληψία στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος, είναι τα παρακάτω:

- Τα εβδομαδιαία δείγματα Ι.Τ. είναι:
  - ο 5 δείγματα από ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου,
  - ο 4 δείγματα από ΑΗΣ Καρδιάς,
  - ο 7 δείγματα από ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ,
  - ο 7 δείγματα από ΑΗΣ Πτολεμαΐδας μονάδα Ι,
  - ο 7 δείγματα από ΑΗΣ Πτολεμαΐδας μονάδα ΙΙ,
  - ο 7 δείγματα από ΑΗΣ Πτολεμαΐδας μονάδα ΙV,
  - ο 4 δείγματα από ΑΗΣ Αμυνταίου.
- Τα εβδομαδιαία δείγματα Ε.Τ. είναι:
  - ο 5 δείγματα από ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου,
  - ο 4 δείγματα από ΑΗΣ Καρδιάς,
  - ο 4 δείγματα από ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ,
  - ο 7 δείγματα από ΑΗΣ Πτολεμαΐδας μονάδα Ι,
  - ο 7 δείγματα από ΑΗΣ Πτολεμαΐδας μονάδα ΙΙ,
  - ο 5 δείγματα από ΑΗΣ Πτολεμαΐδας μονάδα ΙV,
  - ο 4 δείγματα από ΑΗΣ Αμυνταίου.

Θα πρέπει να διευκρινιστεί, ότι τα δείγματα της Ι.Τ. αξιολογήθηκαν, όσον αφορά την ορυκτολογική σύσταση, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος και

παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα στην έκθεσή του (Κωστάκης, 2004), ενώ δημοσιεύτηκαν και σε εργασία σε διεθνές περιοδικό (Kostakis, 2009). Συνεπώς, για την παρούσα διατριβή, τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής σύστασης της Ι.Τ. αποτελούν βιβλιογραφικά δεδομένα.

Επομένως, από τη δεύτερη αυτή δειγματοληψία, προσδιορίστηκε η ορυκτολογική σύσταση της Ε.Τ., ενώ έγινε προσδιορισμός της χημικής σύστασης της εργαστηριακής και της ιπτάμενης τέφρας και διερευνήθηκε η συμπεριφορά τήξης αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εργαστηριακής και ιπτάμενης τέφρας προκειμένου να συγκριθούν με τις αναλύσεις των δειγμάτων της προηγούμενης δειγματοληψίας, αλλά και να συσχετιστούν με την ήδη ευρεθείσα ορυκτολογική σύσταση.

Για τις Ε.Τ. που παρήχθησαν στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας από την καύση των δειγμάτων του λιγνίτη τροφοδοσίας, ακολουθήθηκε η διαδικασία που όπως αναφέρθηκε εφαρμόζεται και στη ΔΕΗ σύμφωνα με το πρότυπο κατά ASTM D3174, ώστε να υπάρχει αντιστοίχιση των δειγμάτων των Ε.Τ. που παρήχθησαν στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας, με αυτά που παρήχθησαν στα Εργαστήρια της ΔΕΗ. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν αρχικά ξήρανση των δειγμάτων στους 105 °C για 24 ώρες και στη συνέχεια πύρωση στον εργαστηριακό κλίβανο με σταδιακό ρυθμό ανόδου, από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία έως τους 500 °C σε 1 ώρα, στη συνέχεια από τους 500 °C ως τους 750 °C σε δύο ώρες και τέλος παραμονή στους 750 °C έως σταθεροποίηση του βάρους (περίπου 1-2 ώρες).

## **2.2 Ορυκτολογικές αναλύσεις**

### **2.2.1 Περιθλασιμετρία ακτίνων-X**

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης των τεφρών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD). Για την εφαρμογή της μεθόδου, χρησιμοποιήθηκαν τα περιθλασίμετρα ακτίνων-X τύπου D500 της εταιρείας Siemens και τύπου D8 Advance της εταιρείας BrukerAXS, που βρίσκονται εγκατεστημένα στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2: Περιθλασίμετρα ακτίνων-X τύπου D5000 (αριστερά) και D8 Advance (δεξιά) του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας.

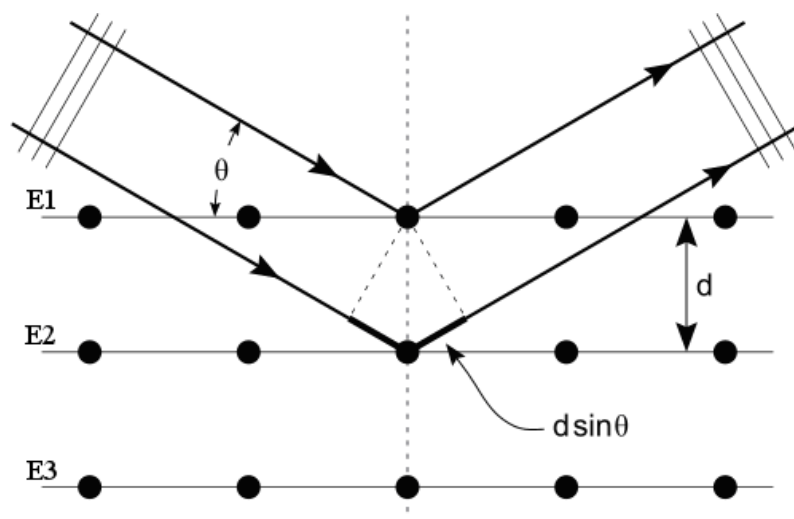
Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X, χρησιμοποιείται για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό της σύστασης υλικών τα οποία απαρτίζονται από κρυσταλλικές ουσίες, όπως είναι ορυκτά, πετρώματα, ιζήματα, κ.α., το βαθμό κρυσταλλικότητας, καθώς και έμμεσα την παρουσία άμορφης κρυσταλλογραφικά φάσης.

Το φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων-X πάνω στους κρυστάλλους οφείλεται στην αλληλεπίδρασή τους με τα ηλεκτρόνια των ατόμων των κρυστάλλων και έχει ως αποτέλεσμα τη σκέδαση των ακτίνων-X. Η περίθλαση των ακτίνων-X σε ένα κρύσταλλο, εμφανίζεται όταν ισχύει η εξίσωση του Bragg και ερμηνεύεται ως ανάκλαση των ακτίνων-X, οι οποίες προσπίπτουν υπό γωνία στα πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου (Εικόνα 2.3), (Klug and Alexander, 1974; Cullity, 1978).

Συμφώνα με την εξίσωση του Bragg, αν θεωρηθεί ότι το πλέγμα ενός κρυστάλλου αποτελείται από ομάδες πλεγματικών επιπέδων ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ) τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διαδέχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση  $d$ , πάνω στα οποία προσπίπτουν οι ακτίνες-X με μήκος κύματος  $\lambda$  και γωνία πρόσπτωσης  $\theta$ , τότε ισχύει:

$$n\lambda = 2d \sin\theta, \quad (2.1)$$

όπου  $n$ : ένας ακέραιος αριθμός ο οποίος χαρακτηρίζει την τάξη της ανάκλασης στην οποία προκύπτει θετική συμβολή.



Εικόνα 2.3. Περίθλαση των ακτίνων- $X$  στα πλεγμικά επίπεδα ενός κρυστάλλου, σύμφωνα με την εξίσωση του Bragg.

Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων- $X$ , είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων- $X$  που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως (Klug and Alexander, 1974; Κωστάκης, 2005).

Ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων- $X$  αποτελείται από τη μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης, δηλαδή μια γεννήτρια δημιουργίας υψηλής τάσης μεταξύ του νήματος του σωλήνα παραγωγής ακτίνων- $X$  και του μεταλλικού τεμαχιδίου (χαλκού, σιδήρου, κοβαλτίου, κ.τ.λ.) που χαρακτηρίζει την ακτινοβολία που εκπέμπεται, τη λυχνία ακτίνων- $X$ , το γωνιόμετρο, τον απαριθμητή των ακτίνων- $X$  με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και τη μονάδα του υπολογιστή όπου χρησιμοποιείται στον έλεγχο, την καταγραφή και αξιολόγηση των δεδομένων που προκύπτουν από την εξέταση των δειγμάτων.

Το παρασκεύασμα με το δείγμα υπό μορφή σκόνης, τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων- $X$ , έτσι ώστε, το επίπεδο του παρασκευάσματος να είναι πάντα στο κέντρο του κύκλου και κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, ο απαριθμητής κινείται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα  $2\theta/\text{min}$  και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα  $\theta/\text{min}$  ίση προς το ήμισυ εκείνης του απαριθμητή, έτσι ώστε με τη σύγχρονη αυτή μετατόπιση απαριθμητή και δείγματος, η γωνία που σχηματίζει το επίπεδο του δείγματος με την έξοδο των ακτίνων- $X$  στη λυχνία και με τον απαριθμητή να είναι ίδια και ίση με το μισό της συνολικής γωνίας περίθλασης.

Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων-X, ώστε να πληρείται για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων  $hkl$  η εξίσωση του Bragg. Κατά την περιφορά του απαριθμητή των ακτίνων-X με σταθερή ταχύτητα είναι δυνατό να καταγραφούν οι ανακλάσεις και οι εντάσεις που προέρχονται από πλεγματικά επίπεδα διαφόρων  $d$  (Klug and Alexander, 1974; Cullity, 1978).

Ως πλεονεκτήματα της μεθόδου της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X είναι η μικρή ποσότητα υλικού που χρειάζεται, η επανάκτηση του υλικού χωρίς να έχει καταστραφεί, ενώ υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού του κρυσταλλικού τύπου ενός υλικού όταν αυτό παρουσιάζει το φαινόμενο του πολυμορφισμού. Παράλληλα, όπως όλες οι μέθοδοι ανάλυσης, έτσι και η περιθλασιμετρία ακτίνων-X έχει κάποιους περιορισμούς κατά την εφαρμογή της. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατό να γίνει ταυτοποίηση υλικών στις περιπτώσεις όπου πρόκειται για κρυσταλλογραφικά άμορφα συστατικά ή φάσεις που βρίσκονται μέσα σε ένα μείγμα σε πολύ μικρή περιεκτικότητα, καθώς και φάσεις για τις οποίες δεν είναι γνωστή η δομή και δεν περιλαμβάνονται στις βάσεις δεδομένων. Επίσης ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται κατά την ταυτοποίηση όταν πρόκειται για πολυφασικά μείγματα, λόγω της αλληλοεπικάλυψης των ανακλάσεων, καθώς και της παρουσίας φάσεων που παρουσιάζουν εκλεκτικό προσανατολισμό, ατέλειες δομής ή εμφανίζουν ανακλάσεις σε πολύ μικρές γωνίες (Whiston, 1987; Στεργίου, 2003).

Ο αριθμός των κρυσταλλικών φάσεων που περιέχονται στα δείγματα των Ι.Τ. είναι εντούτοις πολύ μεγάλος, ενώ οι περισσότερες κρυσταλλικές φάσεις δίδουν, η κάθε μία από μόνη της, ένα μεγάλο αριθμό ανακλάσεων των ακτίνων-X. Έτσι, η αλληλοεπικάλυψη μέρους των ανακλάσεων μιας κρυσταλλικής φάσης με ανακλάσεις άλλων φάσεων ήταν αναπόφευκτη. Αυτό σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες δυσχεραίνει τόσο στην ανιχνευσιμότητα των φάσεων, όσο και στην ακρίβεια του ποσοτικού προσδιορισμού.

Η παρουσία υψηλού, ποσοστού ακτινογραφικά άμορφων συστατικών στα δείγματα της Ι.Τ. των ΑΗΣ της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, σε συνδυασμό με το μεγάλο αριθμό των κρυσταλλικών φάσεων καθιστά πρακτικά ως μόνη μέθοδο ποσοτικής αξιολόγησης των ακτινογραφημάτων του περιθλασιμέτρου ακτίνων-X την χρησιμοποίηση εσωτερικού προτύπου και λογισμικού  $H/Y$  βασιζόμενου στη μέθοδο Rietveld.

Η εφαρμογή της μεθόδου Rietveld προϋποθέτει πρωταρχικά τον μονοσήμαντο προσδιορισμό όλων των εμπεριεχομένων σε ένα δείγμα κρυσταλλικών φάσεων. Επίσης, είναι αναγκαία η όσο το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση, των μοριακών αναλογιών των συστατικών των μεικτών κρυστάλλων, που συγκαταλέγονται στις κρυσταλλικές φάσεις δειγμάτων Ι.Τ., η οποία είναι πρακτικά δύσκολη. Η παρουσία περισσότερων παραλλαγών μεικτών κρυστάλλων, σε ένα δείγμα, αποτελεί μια επί πλέον σημαντική πηγή σφαλμάτων. Επίσης, τόσο οι διακυμάνσεις των κοκκομετρικών μεγεθών, όσο και του προσανατολισμού των κόκκων των κρυσταλλικών φάσεων αποτελούν περαιτέρω παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά την ακρίβεια των ποσοτικών ορυκτολογικών αναλύσεων.

Η βασική αρχή της μεθόδου Rietveld είναι ότι κάθε σημείο μέτρησης αποτελεί μια ανεξάρτητη παρατήρηση. Με βάση αυτήν την αρχή, επιλύεται το πρόβλημα της αλληλοεπικάλυψης ανακλάσεων στην ίδια θέση γωνίας  $2\theta$  στο ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας. Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, για κάθε σημείο  $2\theta$ , υπολογίζεται μια ένταση μέσω της εκλέπτυνσης των παραμέτρων της κρυσταλλικής δομής, του θορύβου και των παραμέτρων της μορφής των ανακλάσεων, έως ότου το υπολογισμένο ακτινοδιάγραμμα, με βάση ένα μοντέλο δομής, ταυτιστεί πλήρως με το πειραματικά μετρούμενο ακτινοδιάγραμμα.

Η μετρούμενη ένταση μιας ανάκλασης ισούται με το άθροισμα των τμημάτων των εντάσεων όλων των αλληλεπικαλυπτόμενων ανακλάσεων συν την ένταση του υποβάθρου. Η συνιστώσα της έντασης σε ένα σημείο που προέρχεται από μια ανάκλαση, εξαρτάται από διαφόρους συντελεστές, όπως είναι ο παράγοντας δομής, το ποσοστό της φάσης και η συνάρτηση μορφής της ανάκλασης, ενώ λαμβάνει υπόψη παραμέτρους του συστήματος του περιθλασιμέτρου, όπως είναι η γεωμετρία της πηγής και η απόκλιση των ακτίνων-Χ. Επίσης, η μη ορθή ευθυγράμμιση του περιθλασιμέτρου μπορεί να επηρεάσει τη θέση και την ένταση της ανάκλασης, καθώς και ιδιαιτερότητες του εξεταζόμενου δείγματος, όπως είναι γεωμετρικοί παράγοντες, η επίπεδη επιφάνεια και η διαπερατότητα του δείγματος.

Για την περιγραφή των αιχμών των ανακλάσεων χρησιμοποιούνται διάφορες συναρτήσεις (Gauss (G), Lorentz (L), pseudo-Voigt (pV), και Pearson-VII ), οι οποίες τροποποιούν τις ανακλάσεις, ώστε να ανταποκρίνονται με αξιοπιστία στην περιγραφή του πειραματικού ακτινοδιαγράμματος.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων είναι το βήμα και ο χρόνος μέτρησης των γωνιών και εντάσεων.

Η εκλέπτυνση της δομής γίνεται με βάση το αρχικό μοντέλο (περιλαμβάνει τις θέσεις των ατόμων στο κρυσταλλικό πλέγμα και το ποσοστό κάλυψής τους, τις σταθερές της κυψελίδας κ.ά.) και τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, ώστε το θεωρητικό μοντέλο της κρυσταλλικής δομής κάθε φάσης του δείγματος να προσαρμόζεται στο ακτινογράφημα του περιθλασιμέτρου (Young, 1993; Giacovazzo et al., 2002; Στεργίου, 2003; Massa, 2004).

Ο υπολογισμός του ποσοστού κάθε κρυσταλλικής φάσης γίνεται από την σχέση (Hill and Howard, 1987):

$$W_p = \frac{S_p (ZMV)_p}{\sum_{i=1}^n S_i (ZMV)_i} \quad (2.2)$$

όπου:  $W_p$ : η περιεκτικότητα της φάσης  $p$  στο δείγμα

$S_p$ : συντελεστής προσαρμογής (scale factor)

$Z$ : ο αριθμός των χημικών μονάδων της φάσης ανά κυψελίδα

$M$ : το μοριακό βάρος

$V$ : ο όγκος της κυψελίδας της φάσης

$p$ : η τιμή του  $i$  που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη φάση σε ένα σύνολο  $n$  φάσεων

Εφόσον προστεθεί στο δείγμα ένα εσωτερικό πρότυπο μπορεί να υπολογιστεί το ποσοστό των άμορφων ( $A$ ) σύμφωνα με τη σχέση (De La Torre et al., 2001):

$$A(\%) = \frac{1 - W_s / R_s}{100 - W_s} \times 10^4 \quad (2.3)$$

όπου  $W_s$ : το ποσοστό του εσωτερικού προτύπου που προστέθηκε,

$R_s$ : το ποσοστό του εσωτερικού προτύπου υπολογισμένο με την μέθοδο Rietveld.

Τα πλεονεκτήματα της ποσοτικής ανάλυσης με τη μέθοδο Rietveld είναι τα ακόλουθα:

- Η εκλέπτυνση και κατ' επέκταση η ποσοτική ανάλυση γίνεται με μοντέλο που ανταποκρίνεται στον πραγματικό χημισμό, τις σταθερές πλέγματος, το εύρος των ανακλάσεων και άλλων σταθερών κάθε κρυσταλλικής φάσης.
- Στο μοντέλο επίλυσης συμμετέχουν όλες οι ανακλάσεις, ανεξάρτητα από αλληλοεπικαλύψεις ή όχι.
- Οι επιδράσεις από επιλεκτικό προσανατολισμό και απορρόφηση επιλύονται, αφού συνυπολογίζονται όλα τα είδη των ανακλάσεων.

Τα δείγματα των τεφρών που μελετήθηκαν για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X, μετά το αρχικό στάδιο της λειοτρίβησης σε μέγεθος κόκκων  $<40\ \mu\text{m}$ , αναμείχθηκαν με συγκεκριμένη ποσότητα εσωτερικού προτύπου. Ως εσωτερικό πρότυπο επιλέχθηκε το κορούνδιο ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), και η ποσότητα που προστέθηκε ήταν τόση, ώστε να αντιστοιχεί σε 15-20% κατά βάρος του συνολικού παρασκευάσματος. Το πρότυπο αναμείχθηκε προσεκτικά με το προς ανάλυση δείγμα, έτσι ώστε να παραχθεί μια ομοιογενής σκόνη, η οποία τοποθετείται με τον ίδιο τρόπο και σε περίπου ίδιες ποσότητες στους ειδικούς δειγματοφορείς του συστήματος περιθλασιμετρίας ακτίνων-X. Όλοι οι δειγματοφορείς παρέμειναν πριν την ακτινοσκόπησή τους σε γυάλινο ξηραντήρα, ώστε να αποφευχθεί η απορρόφηση υγρασίας από την ατμόσφαιρα.

Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε και με τα δυο συστήματα περιθλασιμέτρων ακτίνων-X που διαθέτει το Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας. Για το σύστημα περιθλασιμετρίας D500, η ακτινοσκόπηση πραγματοποιήθηκε με λυχνία Cu, μονοχρωματιστή γραφίτη, τάση  $U=35\text{kV}$  και ένταση  $I=35\text{mA}$  και συνθήκες μέτρησης, εύρος γωνιών  $2\theta\ 7\text{-}70^\circ$ , βήμα (step)  $0,02^\circ$  και χρόνο/βήμα (time/step) 15sec. Για το σύστημα περιθλασιμετρίας D8 Advance η ακτινοσκόπηση έγινε με λυχνία Cu, με καταμετρητή LyxnEye και φίλτρο Ni, τάση  $U=35\text{kV}$  και ένταση  $I=35\text{mA}$  και συνθήκες μέτρησης από  $4\text{-}70^\circ$ , βήμα (step)  $0,02^\circ$  και χρόνο/βήμα (time/step) 0.4sec ή  $1^\circ/\text{min}$ .

Η ποιοτική αξιολόγηση των ακτινοδιαγραμμάτων που προέκυψαν από τη μέτρηση με το περιθλασίμετρο, ώστε να υπάρξει μια πλήρη διερεύνηση των φάσεων που απαρτίζουν τις λιγνιτικές τέφρες, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού ποιοτικής αξιολόγησης EVA Diffrac plus της εταιρείας Socabim - BrukerAXS, χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων PDF-2. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των φάσεων που απαρτίζουν τα δείγματα των τεφρών (ιπτάμενης και εργαστηριακής) πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια των λογισμικών α) Rayflex Autoquan 2.6 της εταιρείας Seifert και β) Topas 4.2 της εταιρείας BrukerAXS που βασίζονται στη μέθοδο Rietveld.

Θα πρέπει να τονιστεί η δυσκολία του προσδιορισμού της ορυκτολογικής σύστασης των Ι.Τ., αφού όπως έχει αποδειχθεί από τις μέχρι τώρα εργασίες, αποτελείται από έναν αρκετά μεγάλο αριθμό κρυσταλλικών φάσεων (περίπου 14-16 φάσεις), πέρα από την άμορφη-υαλώδη φάση, η παρουσία της οποίας στις τέφρες Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου έχει βρεθεί ότι είναι μέχρι 55% (Koukouzas et al., 2006; Kostakis, 2009). Εξαιτίας του πλήθους των κρυσταλλικών φάσεων που συνυπάρχουν, καθίσταται

δύσκολος ο μονοσήμαντος ποιοτικός προσδιορισμός των φάσεων, ιδιαίτερα όταν βρίσκονται σε μικρή περιεκτικότητα στο δείγμα και μάλιστα όταν οι περισσότερες ανήκουν σε κρυσταλλικά συστήματα χαμηλής συμμετρίας (τρικλινές, μονοκλινές, ρομβικό) με μεγάλο αριθμό ανακλάσεων και πιθανές αλληλεπικαλύψεις. Εξάλλου ο επιλεκτικός προσανατολισμός, μπορεί να δώσει την εσφαλμένη εντύπωση υψηλότερης περιεκτικότητας της φάσης ή ακόμα και ψευδή εντύπωση παρουσίας πρόσθετης φάσης, όταν υπάρχει αλληλοεπικάλυψη με άλλη φάση. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την προσεκτική παρασκευή των δειγμάτων, χωρίς να πιέζεται κατά την τοποθέτηση στο δειγματοφορέα. Επίσης, η παρουσία του αμόρφου επηρεάζει το υπόβαθρο στις μικρές γωνίες 10-30°, δημιουργώντας πολλές φορές λανθασμένη εκτίμηση για το ύψος ή την ύπαρξη αιχμής, όπως συμβαίνει και από την παρουσία έντονου υποβάθρου (background).

Οι δυσκολίες αυτές κατά τον ποιοτικό προσδιορισμό των φάσεων, είναι δυνατόν να επιβαρύνουν επιπρόσθετα τον ποσοτικό προσδιορισμό. Επιπλέον, για τον ποσοτικό προσδιορισμό, θα πρέπει να γίνεται η προσθήκη του προτύπου με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει ομοιογένεια στο τελικό παρασκεύασμα που θα τοποθετηθεί στο δειγματοφορέα του περιθλασιμέτρου. Η ομοιογένεια του δείγματος είναι σημαντική, καθώς κατά τον ποσοτικό προσδιορισμό των φάσεων, λαμβάνεται υπόψη η περιεκτικότητα του προτύπου που έχει προστεθεί στο δείγμα, και κατ' επέκταση δύναται να επηρεάζει το αποτέλεσμα στην περιεκτικότητα των φάσεων. Έτσι, τα αποτελέσματα του ποσοτικού προσδιορισμού που προκύπτουν είναι πολλές φορές δύσκολο να έχουν μεγάλη ακρίβεια.

Με βάση τις δυσκολίες που αναφέρθηκαν για τον ποσοτικό προσδιορισμό των φάσεων των δειγμάτων των λιγνιτικών τεφρών και για να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια των αποτελεσμάτων, πέρα από τη σχολαστική προετοιμασία των δειγμάτων για την ποσοτική ανάλυση, επιλέχθηκε και έγινε συνδυασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα δυο λογισμικά. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν να υπολογίζεται η περιεκτικότητα σε κάθε λογισμικό με τις φάσεις που προσδιορίστηκαν με βεβαιότητα από τον ποιοτικό προσδιορισμό, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πιθανές και εφικτές διαφοροποιήσεις των φάσεων. Μελετώντας διάφορους συνδυασμούς των δομών των φάσεων που εμφάνιζαν αποκλίσεις μεταξύ των δυο λογισμικών, όπως ήταν κυρίως οι φάσεις μεικτής δομής και λαμβάνοντας υπόψη τους δείκτες αξιοπιστίας που εμφάνιζαν (κυρίως το δείκτη  $R_{wp}$  ή το GOF-Good of Fitting), προέκυψε σύμπτωση των αποτελεσμάτων της περιεκτικότητας των φάσεων, ανάμεσα στα δυο λογισμικά με ακρίβεια ενός δεκαδικού. Σε δείγματα που υπήρξε αμφιβολία για τα αποτελέσματα που προέκυψαν, δημιουργήθηκαν και νέα παρασκευάσματα, όπου

επιβεβαιώθηκαν εκ νέου τα ίδια αποτελέσματα (διαφοροποιήσεις στο όριο του σφάλματος) και η ορθότητα του τρόπου παρασκευής των αρχικών δειγμάτων.

Η εκτίμηση του σχετικού σφάλματος των αποτελεσμάτων σε πρότυπα δείγματα I.T. του Διεθνούς Ινστιτούτου Προτύπων (National Institute of Standards and Technologies, SRM 1633b, SRM 2689, SRM 2690, SRM 2691) με τη μέθοδο Rietveld, έχει μελετηθεί από τους Windburn et al. (2000). Από τη μελέτη αυτή προέκυψε ότι για περιεκτικότητες κρυσταλλικών φάσεων <1% το σχετικό σφάλμα ανάλογα τη φάση είναι 25-30%, για περιεκτικότητες 1-5% το σφάλμα εκτιμάται σε 15 έως 25%, ενώ για περιεκτικότητες κρυσταλλικών φάσεων >5% το σφάλμα είναι 10-15%. Στην παρούσα διατριβή, τα σφάλματα που υπολογίστηκαν παρουσιάζουν παρόμοιες ή και μεγαλύτερες τιμές, καθώς η παρουσία μεγαλύτερου αριθμού κρυσταλλικών φάσεων σε σχέση με τα πρότυπα δυσχεραίνει την ακρίβεια. Στα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων, παρουσιάζονται οι περιεκτικότητες των φάσεων με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου, καθώς και το απόλυτο σφάλμα για κάθε τιμή.

### **2.2.2 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης**

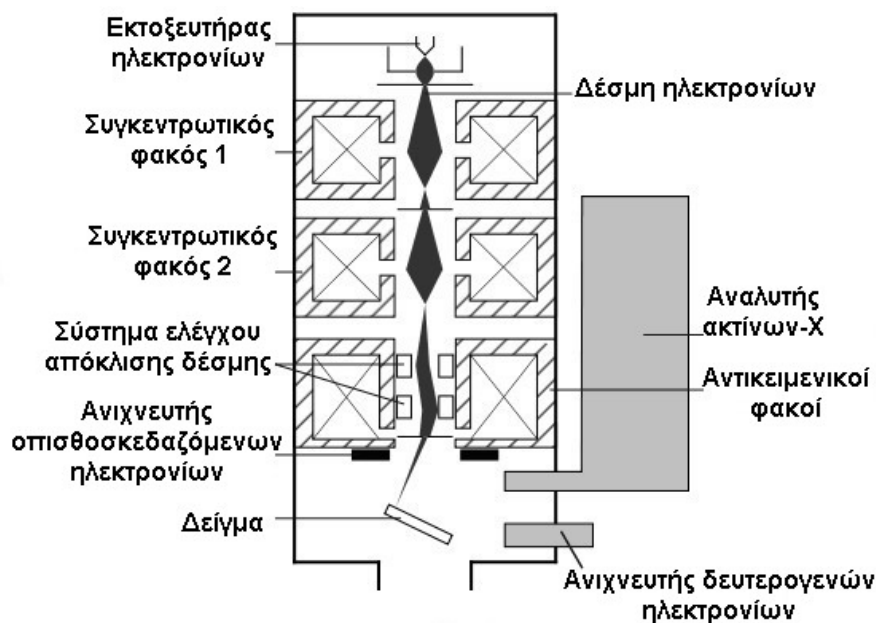
Για τη μελέτη της μορφολογίας των τεφρών, χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) τύπου JEOL JSM 5400 του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το συγκεκριμένου τύπου μικροσκόπιο είναι εξοπλισμένο με σύστημα στοιχειακής ανάλυσης ακτίνων-X διασποράς ενέργειας (EDS, Oxford Energy Dispersive X-ray, τύπου INCA energy 300).

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης είναι μια μέθοδος μελέτης της μορφολογίας των υλικών με υψηλή διακριτική ανάλυση, η οποία χρησιμοποιεί ηλεκτρόνια, όπως το οπτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιεί ορατό φως.

Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης στηρίζεται στην ανάλυση των εκπεμπόμενων δευτερογενών ή οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων από την μελετώμενη επιφάνεια του υλικού, όταν αυτή σαρώνεται από καλά εστιασμένη προσπίπτουσα δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας (1-40 KeV). Η δέσμη των ηλεκτρονίων εστιάζεται στο δείγμα με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών φακών. Ο βομβαρδισμός με ηλεκτρόνια προκαλεί τη διέγερση των ατόμων στην περιοχή εστίασης και την επακόλουθη εκπομπή δευτερογενών ηλεκτρονίων χαμηλής ενέργειας και

ακτίνων-X. Ειδικά συστήματα επιτρέπουν την κίνηση της δέσμης αλλά και του δείγματος (Goldstein et al., 1992; Gill, 1997).

Τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελείται το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Εικόνα 2.4) είναι το νήμα εκπομπής ηλεκτρονίων, οι συγκεντρωτικοί φακοί, οι αντικειμενικοί φακοί, η τράπεζα που τοποθετείται το δείγμα και οι ανιχνευτές ηλεκτρονίων.



Εικόνα 2.4: Σχηματική απεικόνιση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM).

Για την παραγωγή της δέσμης ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται νήμα βολφραμίου, στο οποίο εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο τάσης 5-30 kV. Η δέσμη των ηλεκτρονίων που παράγεται έχει μεγάλη διάμετρο, η οποία για να περιοριστεί και να μπορέσει να εστιαστεί πάνω στην επιφάνεια του δείγματος χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότεροι ηλεκτρομαγνητικοί (συγκεντρωτικοί) φακοί. Με τη βοήθεια των φακών αυτών καθώς και των αντικειμενικών φακών, η δέσμη των ηλεκτρονίων μπορεί να εστιαστεί σε μια επιφάνεια διαμέτρου μικρότερη από 10nm και σε ένα βάθος δείγματος περίπου 1μm. Τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από την επιφάνεια του δείγματος διακρίνονται σε δευτερογενή και οπισθοσκεδαζόμενα. Τα δευτερογενή διακρίνονται από τα οπισθοσκεδαζόμενα, καθώς έχουν μικρότερη ενέργεια και χρησιμοποιούνται για τη λήψη της εικόνας της επιφάνειας του δείγματος. Τα οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια είναι συνάρτηση του ατομικού αριθμού των στοιχείων που τα εκπέμπουν και δίνουν

πληροφορίες σχετικά με τη χημική σύσταση του δείγματος (Goldstein et al., 1992; Reed, 1996).

Για να μπορέσει να επιτευχθεί η διαδικασία μελέτης με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, η επιφάνεια του δείγματος θα πρέπει να είναι αγωγήμη. Επειδή η πλειονότητα των δειγμάτων αποτελείται από μη μεταλλικές φάσεις και ορυκτά που είναι κακοί ηλεκτρικοί αγωγοί, απαιτείται η επικάλυψη των δειγμάτων με άνθρακα (γραφίτη) ή χρυσό κατά περίπτωση, ώστε να γίνουν αγωγήμη.

Τα πλεονεκτήματα της μελέτης ενός δείγματος με τη μέθοδο του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης οφείλονται στη μεγάλη μεγέθυνση (έως 100.000x), καθώς και η μικρή ποσότητα δείγματος που απαιτείται για την παρατήρηση.

Η διαδικασία παρασκευής των δειγμάτων που ακολουθήθηκε ήταν σχετικά απλή, καθώς τοποθετήθηκε δείγμα σε μορφή σκόνης πάνω σε ειδικούς μεταλλικούς δειγματοφορείς με τη βοήθεια συγκολλητικής ουσίας και στη συνέχεια επικαλύφθηκε με γραφίτη, ώστε να καταστεί αγωγήμη η επιφάνεια της τέφρας.

### 2.3 Χημικές αναλύσεις

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού (XRF). Για να επιτευχθεί ο προσδιορισμός, χρησιμοποιήθηκε το φασματοσκόπιο τύπου διασποράς ενέργειας ED-XRF, S2 Ranger της εταιρείας BrukerAXS (Εικόνα 2.5), του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

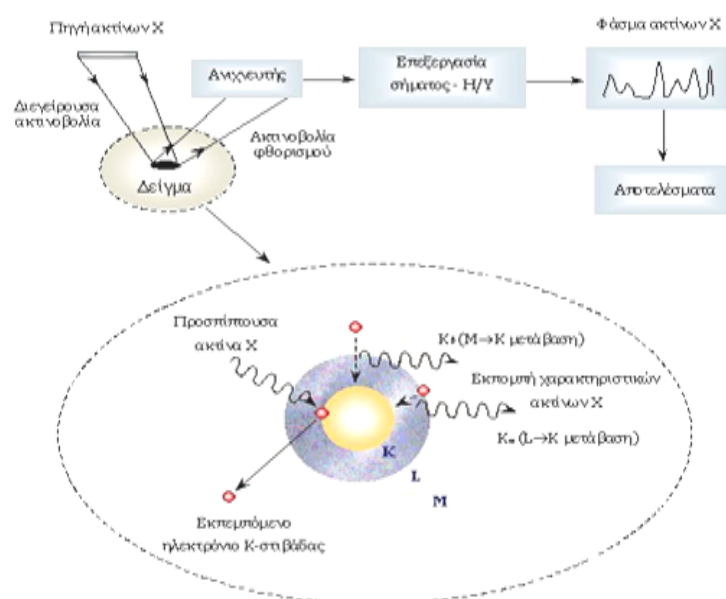


Εικόνα 2.5: Φασματοσκόπιο ακτίνων-X φθορισμού τύπου S2 Ranger.

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού βασίζεται στην εκπομπή της ακτίνων-X που προκύπτουν από τη διέγερση ενός ατόμου (Εικόνα 2.6). Συγκεκριμένα, όταν ένα στοιχειώδες σωματίδιο (ηλεκτρόνιο ή φωτόνιο ακτίνων-X) που έχει μεγαλύτερη ενέργεια προσκρούσει σε ένα ηλεκτρόνιο μιας εσωτερικής στοιβάδας του ατόμου, το εξοστρακίζει από τη θέση του δημιουργώντας κενές θέσεις ηλεκτρονίων. Οι κενές θέσεις αυτές καλύπτονται από ηλεκτρόνια που μεταπίπτουν στις θέσεις αυτές από τις εξωτερικές στοιβάδες, ενώ παράλληλα υπάρχει εκπομπή χαρακτηριστικών ακτίνων-X (φθορισμός). Η διέγερση του δείγματος για εκπομπή ακτίνων-X γίνεται με ειδικές λυχνίες ακτίνων-X, ενέργειας πολλαπλάσιας της επιθυμητής για διέγερση. Η δέσμη των εκπεμπόμενων ακτίνων-X φθορισμού από το δείγμα καταγράφεται από τον ανιχνευτή. Ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης των εκπεμπόμενων ακτίνων-X φθορισμού, οι διατάξεις φασματομετρίας διακρίνονται σε διατάξεις διασποράς μήκους κύματος ή WD-XRF (ο διαχωρισμός των ακτίνων-X γίνεται με βάση το μήκος κύματος), και διατάξεις διασποράς ενέργειας ή ED-XRF (ο διαχωρισμός των ακτίνων-X γίνεται με βάση την ενέργειά τους).

Ένα φασματοσκόπιο ED-XRF, αποτελείται από (Εικόνα 2.6):

- τη λυχνία παραγωγής της πρωτογενούς ακτινοβολίας X (πηγή ακτίνων-X),
- το δειγματοφόρο,
- τον ανιχνευτή (κυρίως ημιαγωγοί Si(Li), οι οποίοι λειτουργούν σε θερμοκρασία υγρού αζώτου και παρουσιάζουν υψηλή διακριτική ικανότητα) και
- το ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης και καταγραφής των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 2.6: Η αρχή λειτουργίας και η τυπική διάταξη φασματοσκοπίας ED-XRF.

Από το μήκος κύματος των ακτίνων-X προσδιορίζεται το είδος των στοιχείων του δείγματος (ποιοτική ανάλυση), ενώ από την έντασή τους η σύσταση (ποσοτική ανάλυση). Για την ποσοτική ανάλυση με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού, απαιτείται η βαθμονόμηση του συστήματος με πρότυπα δείγματα, γνωστής περιεκτικότητας, καλύπτοντας το εύρος συγκεντρώσεων του υπό εξέταση δείγματος. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την επίδραση της μήτρας του δείγματος (matrix effect), από τη στοιχειακή σύσταση του δείγματος, η οποία πρέπει να συμπίπτει κατά το δυνατόν με εκείνη του προτύπου βαθμονόμησης, από την απορρόφηση των ακτίνων-X λόγω δευτερογενούς δημιουργίας ακτινοβολίας φθορισμού, καθώς και από την αλληλοεπικάλυψη χαρακτηριστικών μηκών κυμάτων των στοιχείων που περιλαμβάνονται στο δείγμα. Είναι σημαντικό, κατά την παρασκευή του δείγματος, όπως και των προτύπων της καμπύλης αναφοράς, να επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα λόγω ανομοιομορφίας του μεγέθους των κόκκων, της υφής της επιφάνειας και προσανατολισμού των κόκκων. Οι ελάχιστες συγκεντρώσεις που είναι δυνατόν να προσδιοριστούν μέσω της φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού, καθορίζονται τόσο από τα όρια ανίχνευσης του συστήματος όσο και από τα όρια ανίχνευσης της αναλυτικής μεθόδου (π.χ. προετοιμασία του δείγματος, χρονική διάρκεια της μέτρησης, κλπ.). Τα στοιχεία που συνήθως αναλύονται με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού είναι από το στοιχείο με ατομικό αριθμό 11 (Na) έως 92 (U) και περιεκτικότητες που μπορεί να είναι από περίπου 1 ppm για τα πιο βαριά στοιχεία (Bertin, 1975; Whiston C, 1987).

Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων των τεφρών πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Pd. Οι συνθήκες μέτρησης των δειγμάτων, ήταν για τα βαριά στοιχεία (Fe, Mn, Ti, Ca, K) τάση 40 kV με φίλτρο Al (500μm) και ένταση 250μΑ, ενώ για τα ελαφριά στοιχεία (P, Si, Al, Mg, Na, S) τάση 20 kV και ένταση 250μΑ. Τέλος, για τα ιχνοστοιχεία που μετρήθηκαν (Ba, Sr, Zn, Cr) η τάση ήταν 40 kV με φίλτρο Al (500μm) και ένταση 250μΑ.

Τα δείγματα, αρχικά λειοτριβήθηκαν ώστε να διέρχονται από το κόσκινο των 75 μm και στη συνέχεια ξηράθηκαν στους 105 °C για 2 ώρες ώστε να απομακρυνθεί η υπάρχουσα υγρασία. Κατόπιν, τοποθετήθηκαν σε κλίβανο στους 1050 °C για δύο ώρες, ώστε να προσδιοριστεί η απώλεια πύρωσης. Τέλος, τα δείγματα που προέκυψαν από την απώλεια πύρωσης, μορφοποιήθηκαν σε δισκία για τη μέτρηση στο φασματοσκόπιο ακτίνων-X φθορισμού. Τα δισκία που δημιουργήθηκαν ήταν είτε πεπιεσμένα κυλινδρικά δισκία (pressed pellets), είτε τετηγμένα δισκία (fused beads). Τα δείγματα των I.T.

μορφοποιήθηκαν ως επί το πλείστον σε πεπιεσμένα κυλινδρικά δισκία, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα των I.T. καθώς και στο σύνολο των δειγμάτων των E.T. μορφοποιήθηκαν σε τετηγμένα δισκία. Για την παρασκευή των πεπιεσμένων κυλινδρικών δισκίων, πραγματοποιήθηκε ανάμειξη των δειγμάτων με συνδετικό υλικό (WAX-C). Τα μείγματα δείγματος - συνδετικού υλικού, τοποθετήθηκαν στην ειδική μήτρα, περιβλήθηκαν από βορικό οξύ για τη δημιουργία ανθεκτικών δισκίων και μορφοποιήθηκαν σε δισκία σε υδραυλική πρέσα με πίεση 150 atm. Για τα τετηγμένα δισκία, τα δείγματα αναμείχθηκαν με μείγμα Li-tetraborate 80% και Li-metaborate 20% ως συνδετικό υλικό. Τα δείγματα με το συνδετικό υλικό τοποθετούνται σε ειδική κάψα από λευκόχρυσο και οδηγούνται σε ειδική συσκευή δημιουργίας τετηγμένων δισκίων. Εναλλακτικά, μπορούν να τοποθετηθούν σε εργαστηριακό κλίβανο σε θερμοκρασία 950°C για 15 λεπτά και κατόπιν να απομακρυνθούν και το τηγμένο υλικό να μπει σε ειδικό καλούπι, ώστε με την ταχεία ψύξη να δημιουργηθούν τα τετηγμένα δισκία.

Τα δισκία των δειγμάτων που προέκυψαν τοποθετήθηκαν στις κατάλληλες υποδοχές του φασματοσκοπίου ακτίνων-X φθορισμού. Για τον προσδιορισμό των χημικών στοιχείων, έχουν δημιουργηθεί καμπύλες αναφοράς, τόσο για δείγματα που είναι σε μορφή πεπιεσμένων δισκίων όσο και για τετηγμένα δισκία, με πιστοποιημένα πρότυπα αναφοράς τεφρών, τσιμέντων και σκωριών από το διεθνές ινστιτούτο προτύπων ελέγχου υλικών (National International Standard Tests - NIST). Τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα SRM634a, SRM 688, SRM 1633a, SRM1881a, SRM1882a, SRM2690, SRM 2691.

## 2.4 Συμπεριφορά τήξης

Ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς τήξης δειγμάτων των λιγνιτικών τεφρών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του θερμαινόμενου μικροσκοπίου οριζόντιου άξονα της εταιρείας Leitz Wetzlar που βρίσκεται στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Το θερμαινόμενο μικροσκόπιο οριζόντιου άξονα (Εικόνα 2.7) αποτελείται από τρία βασικά τμήματα:

- Μια πηγή φωτός (Εικόνα 2.7, 1a), η οποία είναι ένα σύστημα με λάμπα 12V-60W, κεντραρισμένη στη θέση του φούρνου, ώστε να μπορεί να γίνει η παρατήρηση, η

οποία είναι συνδεδεμένη με μια μικρή πηγή ρεύματος (Εικόνα 2.7, 1b) όπου τροφοδοτείται με ρεύμα 220-240V.

- Ένα ηλεκτρικό κλίβανο (Εικόνα 2.7, 2), ο οποίος αποτελείται από ένα θερμοστοιχείο πλατίνας-ιριδίου το οποίο μπορεί να καταγράψει θερμοκρασία μέχρι 1600°C, το οποίο βρίσκεται στο εσωτερικό ενός κυλινδρικού κλιβάνου. Τόσο στην μπροστινή πλευρά όσο και στην πίσω ο φούρνος καλύπτεται με κυκλικούς δίσκους χαλαζία ώστε να αποτρέπουν την κίνηση του αέρα και φαινόμενα στροβιλισμού στο θάλαμο του φούρνου κατά τη θέρμανση. Επιπλέον, στα δυο άκρα του φούρνου όσο και στα υπόλοιπα τμήματα που αναπτύσσεται υψηλή θερμοκρασία, γίνεται ψύξη με τη βοήθεια κυκλώματος διερχόμενου νερού. Το δείγμα παρασκευάζεται μέσα σε ειδική μήτρα είτε σε κυλινδρική μορφή με ύψος 3mm και διάμετρο 3mm, είτε σε κυβική μορφή με τις τρεις διαστάσεις 3mm. Κατόπιν, τοποθετείται σε ένα μικρό κεραμικό δισκίο από  $Al_2O_3$  και στη συνέχεια στην ειδική υποδοχή, πάνω στο κυλινδρικό στήριγμα, μέσα στο φούρνο που περιέχει και τα θερμοστοιχεία. Ο κλίβανος τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μέσω ενός μετασχηματιστή οπότε, μεταβάλλοντας την ένταση του ρεύματος, αυξάνεται η θερμοκρασία του κλιβάνου.
- Σύστημα παρατήρησης και λήψης φωτογραφιών (φωτομικροσκόπιο). Το σύστημα παρατήρησης αποτελείται από μια μικροοθόνη (Εικόνα 2.7, 3a) όπου προβάλλεται η εικόνα του δείγματος μέσα στο φούρνο ώστε να είναι εφικτή η διάκριση των μεταβολών που υφίσταται το δείγμα. Στο φωτομικροσκόπιο (Εικόνα 2.7, 3b), υπάρχει ένας μοχλός για την εστίαση καθώς και ένας διακόπτης ρύθμισης ελέγχου των φακών μεγέθυνσης της εικόνας, όπου συνήθως επιλέγεται η μικρότερη μεγέθυνση (3.5x). Στο τέλος του μικροσκοπίου είναι συνδεδεμένο ένα γαλβανόμετρο (Εικόνα 2.7, 3c) για την καταγραφή της θερμοκρασίας ως τους 1600°C. Πάνω στο σύστημα παρακολούθησης μπορεί να τοποθετηθεί μια φωτογραφική μηχανή (Εικόνα 2.7, 3a) η οποία απεικονίζει στο φιλμ σε μεγέθυνση που φτάνει ως και 20x, τις μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά τη θέρμανση του δείγματος.



Εικόνα 2.7: Θερμαινόμενο μικροσκόπιο οριζόντιου άξονα του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας.

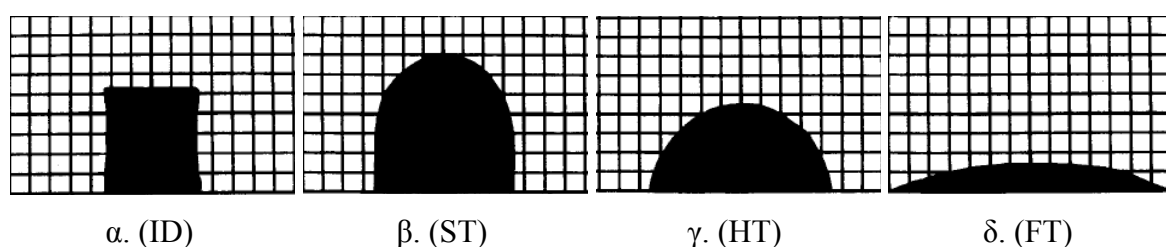
Με το θερμαινόμενο μικροσκόπιο προσδιορίζονται οι θερμοκρασίες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης δειγμάτων τέφρας, σκωριών (slag), κεραμικών κ.ά., κατά την άνοδο της θερμοκρασίας. Οι παραπάνω ενώσεις είναι σύνθετα υλικά και αποτελούνται από ποικίλα ανόργανα κυρίως συστατικά (κρυσταλλικές φάσεις ή άμορφες-υαλώδεις φάσεις). Ως ετερογενή συστατικά, κάθε ένα έχει συγκεκριμένο σημείο τήξεως, αλλά ως συσσωμάτωμα όλων αυτών των φάσεων, δεν υπάρχει κάποιο διακριτό τέτοιο σημείο. Έτσι, τα υλικά αυτά, συρρικνώνονται και τήκονται όσο θερμαίνονται σε ένα εύρος θερμοκρασιών που εξαρτάται από τη σύστασή τους έως ότου φτάσουν τελικά στη ρευστή κατάσταση. Έτσι, ενώ οι κρυσταλλικές φάσεις που απαρτίζουν για παράδειγμα μια τέφρα, έχουν σημεία τήξης από τους 1100 έως τους 2500 °C, η θερμοκρασία ροής των τεφρών αντιστοιχεί σε θερμοκρασία που μπορεί να ποικίλλει από τους 1200 °C έως και θερμοκρασίες >1500 °C (συνήθως η μέγιστη θερμοκρασία καταγραφής με το θερμαινόμενο μικροσκόπιο οριζόντιου άξονα).

Για να προσδιορισθεί η συμπεριφορά τήξεως ενός δείγματος υλικού, αρχικά μορφοποιείται σε συγκεκριμένο σχήμα (κύλινδρο, κύβο ή κώνο) και στη συνέχεια εισάγεται μέσα στο φούρνο όπου καταγράφονται οι μεταβολές του σχήματος καθώς αυτό θερμαίνεται. Μέσω της μικροοθόνης παρατηρείται η εικόνα του δοκιμίου-δείγματος, που είναι τοποθετημένο στο φούρνο, ενώ γίνεται φωτογράφιση, κατά προσέγγιση, των χαρακτηριστικών θερμοκρασιών όπου παρατηρούνται οι μεταβολές. Έτσι παρακολουθείται ο συνολικός κύκλος και η σειρά των φωτογραφιών απεικονίζει οπτικά τη συμπεριφορά του υλικού. Με τη διαδικασία αυτή παρατηρούνται οι θερμοκρασίες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης, σύμφωνα με το Γερμανικό πρότυπο DIN51730. Όλες αυτές οι μεταβολές, οι οποίες αντιστοιχούν στη θερμοκρασιακή συμπεριφορά του υλικού, μπορούν να διαγνωστούν και να καταμετρηθούν, με συνεχή

παρακολούθηση, κρατώντας σταθερό το ρυθμό ανόδου της θερμοκρασίας ( $\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ ), σε οξειδωτικό ή αναγωγικό περιβάλλον.

Τα σχετικώς διακριτά στάδια της συμπεριφοράς τήξης των υλικών (π.χ. τεφρών) παρουσιάζονται στην εικόνα 2.8:

- Έναρξη της πυροσυσσωμάτωσης ή θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (Initial Deformation Temperature, ID).
- Θερμοκρασία μαλάκυνσης (Softening Temperature, ST).
- Θερμοκρασία ημισφαιρίου (Hemisphere Temperature, HT).
- Θερμοκρασία ροής (Fluid Temperature, FT).



Εικόνα 2.8 : Απεικόνιση των διακριτών σταδίων της συμπεριφοράς τήξης (DIN51730).

Το πρώτο στάδιο, που παρατηρείται κατά τη μελέτη της συμπεριφοράς τήξης ενός υλικού, είναι της έναρξης της πυροσυσσωμάτωσης ή θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID), όπου το δείγμα μεταβάλλει ελαφρώς τις αρχικές του διαστάσεις (συνήθως συρρικνώνεται). Στο στάδιο αυτό τα σωματίδια της τέφρας αρχίζουν να αντιδρούν και να ενώνονται μεταξύ τους. Το δεύτερο στάδιο είναι της θερμοκρασίας μαλάκυνσης (ST), όπου το δείγμα εμφανίζει τα πρώτα σημάδια μαλάκυνσης, δηλαδή παρατηρείται η πλήρης στρογγύλευση των άκρων του δοκιμίου (ιδανικά παρατηρείται η μορφή της εικόνας 2.8β). Στο στάδιο αυτό, τα σωματίδια της τέφρας αντιδρούν μεταξύ τους, ενώ αρχίζει η τήξη κάποιων από τις φάσεις που υπάρχουν στο υλικό. Το στάδιο, το οποίο αναφέρεται και ως σημείο σφαιροποίησης, προσδιορίζεται οπτικά παρατηρώντας την εικόνα του δοκιμίου όπου το ύψος είναι ίσο με τη βάση του. Το τρίτο στάδιο της θερμοκρασίας ημισφαιρίου (HT), δίνει τη θερμοκρασία όπου οι φάσεις του δείγματος έχουν αρχίσει να τήκονται και το δείγμα προσεγγίζει τη μορφή ενός ημισφαιρίου. Στην εικόνα που παρατηρείται από την μικροσκόπηση, το ύψος του μερικώς τηγμένου δείγματος είναι περίπου το μισό της βάσης του δοκιμίου. Τέλος, προσδιορίζεται η θερμοκρασία ροής (FT). Στη θερμοκρασία αυτή το ύψος του δοκιμίου ελαττώνεται στο  $1/3$  του ύψους που είχε κατά το προηγούμενο στάδιο (θερμοκρασία ημισφαιρίου), καθώς τα συστατικά

του δείγματος έχουν υποστεί πλήρη τήξη (Huggins et al., 1981; Huffman et al., 1981; Reid, 1984; Leitz, 1990; Bryers, 1996; DIN 51730, 1998).

Για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς τήξης, σύμφωνα με το αναφερθέν πρότυπο, παρατηρήθηκαν οι μεταβολές που υφίσταντο κυλινδρικά δοκίμια δείγματος, διαμέτρου 3 mm και ύψους 3 mm. Η μελέτη της συμπεριφοράς τήξης πραγματοποιήθηκε σε οξειδωτικό περιβάλλον, ενώ ο ρυθμός ανόδου της θερμοκρασίας από την έναρξη έως τους 500-550°C ήταν 15-20 °C/min και από τους 600 °C έως το τέλος (σημείο ροής), ο ρυθμός ήταν 10°C/min  $\pm$  1°C/min. Καθώς ο προσδιορισμός, κυρίως, της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης είναι δύσκολο να αναγνωρισθεί, πολλές φορές χρειάστηκε σε δείγματα να επαναληφθεί η διαδικασία ώστε να επιβεβαιωθούν οι θερμοκρασίες των σταδίων της συμπεριφοράς τήξης. Τα όρια τους σφάλματος των προσδιορισθέντων θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής, προσδιορίστηκαν πειραματικά με την επανάληψη δυο ή τρεις φορές του πειράματος σε μέρος των δειγμάτων. Εν γένει, τα αποτελέσματα, όπου επαναλήφθηκε η διαδικασία μελέτης της συμπεριφοράς τήξης, δεν παρουσίασαν σημαντικές αποκλίσεις των τιμών των θερμοκρασιών και ήταν στα όρια του σχετικού σφάλματος.

## 2.5 Ειδική επιφάνεια

Η ειδική επιφάνεια αναφέρεται στη συνολική επιφάνεια των κόκκων που αποτελούν το σύνολο ενός υλικού. Η ειδική επιφάνεια καθορίζεται πάντα μέσω της μεθόδου μέτρησης και είναι αναγκαία η αναφορά της μεθόδου που έχει χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της, όπως είναι η μέθοδος κατά Blaine (αέρας) ή Brunauer-Emmett-Teller (B.E.T., άζωτο).

Για τον προσδιορισμό της ειδικής επιφάνειας σύμφωνα με τη λεπτότητα κατά Blaine, χρησιμοποιήθηκε η συσκευή τύπου Controls 62-L0041/A, που βρίσκεται εγκατεστημένη στην Ερευνητική Μονάδα «Έλεγχος Ποιότητας - Υγιεινή και Ασφάλεια στη Μεταλλευτική» του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η διάταξη της μεθόδου διαπερατότητας με αέρα (Blaine) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό λεπτομερών υλικών, όπως είναι για παράδειγμα το τσιμέντο Portland, η ιπτάμενη τέφρα, κ.α.. Οι μονάδες μέτρησης είναι αντίστοιχες με της ειδικής επιφάνειας εκφρασμένης σε τετραγωνικά εκατοστά (cm<sup>2</sup>) ανά γραμμάριο (g) λεπτόκοκκου υλικού (π.χ. τσιμέντου).

Η διάταξη που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει (Εικόνα 2.9):

- Κελί διαπερατότητας Blaine με έμβολο και διάτρητο δίσκο
- Μανόμετρο και θερμόμετρο ενδείξεων από  $-10^{\circ}$  έως  $+50^{\circ}\text{C}$
- Ζυγαριά και χρονόμετρο
- Πρότυπο τσιμέντο σύμφωνα με το EN 196.06



Εικόνα 2.9: Διάταξη συσκευής προσδιορισμού ειδικής επιφάνειας με τη μέθοδο διαπερατότητας με αέρα (λεπτότητα κατά Blaine).

Η διαδικασία μέτρησης της ειδικής επιφάνειας που ακολουθείται σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C204 στηρίζεται στον προσδιορισμό του χρόνου που απαιτείται για να διέλθει μια συγκεκριμένη ποσότητα αέρα μέσα από το στρώμα του δείγματος που έχει συγκεκριμένες διαστάσεις και πορώδες. Υπό κανονικές συνθήκες η ειδική επιφάνεια ενός υλικού είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του απαιτούμενου χρόνου για να περάσει μια δεδομένη ποσότητα αέρα μέσα από το στρώμα του δείγματος.

Η απαιτούμενη ποσότητα του υλικού (στην παρούσα διατριβή, η τέφρα) που χρειάζεται να εισαχθεί στο κελί ώστε να υπάρχει πορώδες 50%, προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$m = \rho \cdot V \cdot (1 - e), \quad (2.4)$$

όπου:  $m$  = η μάζα της τέφρας σε g,

$\rho$  = η πυκνότητα των δειγμάτων της τέφρας σε  $\text{g/cm}^3$ ,

$V$  = ο συνολικός όγκος του στρώματος της τέφρας στο κελί  $\text{cm}^3$ ,

$e = 0.5$ , το πορώδες που δημιουργείται μέσα στο κελί.

Έτσι, για παράδειγμα, η ποσότητα του τσιμέντου αναφοράς που απαιτείται για τον προσδιορισμό της ειδικής επιφάνειας αναφοράς, γνωρίζοντας ότι η πυκνότητα του τσιμέντου αναφοράς είναι:  $\rho_c = 3.15 \text{ g/cm}^3$  και ο συνολικός όγκος που καταλαμβάνει το τσιμέντο στο κελί είναι:  $V = 1.899 \text{ cm}^3$ , προκύπτει από τη σχέση:  $m_c = 0.5 \cdot \rho_c \cdot V$  και είναι  $m_c = 0.5 \cdot 3.15 \text{ g/cm}^3 \cdot 1.899 \text{ cm}^3 = 2.99 \text{ g}$ .

Η ποσότητα του υλικού που προκύπτει από τη σχέση, τοποθετείται στο κελί διαπερατότητας και κλείνεται με ένα έμβολο, ακολουθώντας τη διαδικασία σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C204 (2000). Κατόπιν, το κελί τοποθετείται στο άνω τμήμα του μανόμετρου και αφού σταθεροποιηθεί το μανομετρικό υγρό, ανοίγει η παροχή του αέρα μέσω του στρώματος του δείγματος του υλικού αφαιρώντας το έμβολο, ενώ ταυτόχρονα αρχίζει να κατεβαίνει το μανομετρικό υγρό μέσα στο σωλήνα. Ο χρόνος που θα περάσει μέχρι να κατέβει το μανομετρικό μεταξύ δύο καθορισμένων χαραγμένων γραμμών στο σωλήνα αποτελεί τη χρονική ένδειξη σύμφωνα με την οποία θα υπολογιστεί η ειδική επιφάνεια του υλικού. Ο χρόνος καταγράφεται με ακρίβεια 0.2sec και η θερμοκρασία με ακρίβεια 1°C. Η δοκιμή αυτή, επαναλαμβάνεται δυο ή τρεις φορές για κάθε δείγμα, έτσι ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ακρίβεια.

Για τον προσδιορισμό της ειδικής επιφάνειας (S) λεπτόκοκκων υλικών πλην τσιμέντου χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση (ASTM C204):

$$S = \frac{S_o \cdot \rho_o \cdot (1 - e_o) \cdot \sqrt{e^3} \cdot \sqrt{\eta_o} \cdot \sqrt{t}}{\rho \cdot (1 - e) \cdot \sqrt{e_o^3} \cdot \sqrt{\eta} \cdot \sqrt{t_o}} \quad (\text{cm}^2/\text{g}) \quad (2.5)$$

όπου: S = η ειδική επιφάνεια του δείγματος σε  $\text{cm}^2/\text{g}$

$S_o = 3774 \text{ cm}^2/\text{g}$  είναι η ειδική επιφάνεια του τσιμέντου αναφοράς

$\rho$ : είναι η πυκνότητα του δείγματος σε  $\text{g/cm}^3$

$\rho_o = 3.15 \text{ g/cm}^3$  είναι η πυκνότητα του τσιμέντου αναφοράς

$e = 0.5$  είναι το πορώδες του πεπιεσμένου δείγματος στο κελί

$e_o = 0.5$  είναι το πορώδες του πεπιεσμένου τσιμέντου αναφοράς στο κελί

t: είναι ο χρόνος (σε s) που χρειάζεται να διέλθει ο αέρας μέσα από το πεπιεσμένο δείγμα στο κελί (λαμβάνεται ο μέσος όρος των 2-3 επαναλαμβανόμενων μετρήσεων για το κάθε δείγμα της δοκιμής με μέγιστη απόκλιση χρόνου τα 2 δευτερόλεπτα)

$t_o$ : είναι ο μέσος όρος του χρόνου (σε s) των 2-3 επαναλήψεων για το τσιμέντο αναφοράς

η: είναι το ιξώδες του αέρα (σε  $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) στη θερμοκρασία διεξαγωγής του πειράματος  
 η<sub>0</sub>: είναι το ιξώδες του αέρα (σε  $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) του μέσου όρου των θερμοκρασιών μέτρησης του τσιμέντου αναφοράς.

Οι τιμές για το ιξώδες δίνονται από πίνακα στο πρότυπο ASTM C204.

Στον προσδιορισμό της ειδικής επιφάνειας, είναι απαραίτητη η γνώση της πυκνότητας του υλικού (τέφρα) που θα μελετηθεί. Μια από τις πιο άμεσα εφαρμόσιμες μεθόδους προσδιορισμού της πυκνότητας είναι η μέθοδος του πυκνόμετρου ή ληκύθου. Το πυκνόμετρο είναι ένα μικρό φιαλίδιο, που έχει όγκο 2 έως 20  $\text{cm}^3$  και ένα πώμα με τριχοειδή οπή. Οι κόκκοι του κρυστάλλου μετά από ζύγιση τους στον αέρα τοποθετούνται σε ένα υγρό (συνήθως νερό ή κάποιο οργανικό υγρό). Η πυκνότητα προκύπτει από τη σχέση:

$$\rho = \frac{B_u}{B_u + B_x + B_y} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (2.6)$$

όπου  $B_u$  το βάρος του κρυστάλλου,  $B_x$  το βάρος του πυκνόμετρου, όταν είναι γεμάτο με το υγρό και  $B_y$  το βάρος του πυκνόμετρου όταν περιέχει τους κόκκους του κρυστάλλου και είναι συμπληρωμένο με το υγρό. Η μέθοδος αυτή, εφόσον η θερμοκρασία του υγρού και του δείγματος διατηρείται κατά τη ζύγιση και εφόσον απομακρύνονται οι φυσαλίδες του αέρα που ευρίσκονται επί των κόκκων ή ανάμεσα σε αυτούς, επιτρέπει τον προσδιορισμό της πυκνότητας με μεγάλη ακρίβεια (Κωστάκης, 2003).

Για τον προσδιορισμό της ειδικής επιφάνειας των δειγμάτων Ι.Τ., ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται στο πρότυπο ASTM C204. Έτσι, αρχικά προσδιορίστηκε η πυκνότητα των δειγμάτων, ώστε να υπολογιστεί το βάρος του υλικού που θα πρέπει να τοποθετηθεί στην ειδική υποδοχή (κελί) καταλαμβάνοντας τον απαιτούμενο όγκο για την εύρεση της ειδικής επιφάνειας, έτσι ώστε να υπάρχει πορώδες 50%. Κατόπιν, μετρήθηκε ο χρόνος που χρειάστηκε να διέλθει ο αέρας από το στρώμα του δείγματος της Ι.Τ. στο κελί. Η μέτρηση κάθε δείγματος επαναλήφθηκε 3 φορές, ώστε να υπάρξουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Η θερμοκρασία διεξαγωγής του πειράματος ήταν 26 °C.

## 2.6 Κοκκομετρική κατανομή

Για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής κατανομής των δειγμάτων των Ι.Τ. χρησιμοποιήθηκε ο κοκκομετρικός αναλυτής Laser τύπου Mastersizer S της Malvern του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εικόνα 2.10).

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στην εκτροπή ακτίνων Laser από την ευθεία πορεία τους, όταν αυτές προσπίπτουν σε κόκκους. Η γωνία εκτροπής εξαρτάται από το μέγεθος του κόκκου και συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος, τόσο μικρότερη είναι η γωνία εκτροπής και αντίστροφα.



Εικόνα 2.10: Κοκκομετρικός αναλυτής Laser.

Οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ο αναλυτής αυτός (Εικόνα 2.10) είναι:

1. Οπτική μονάδα μέτρησης (optical measurement unit, 1):

Η οπτική μονάδα μέτρησης του αναλυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

- Πομπό (transmitter, 1a), που περιλαμβάνει τη μονάδα του Laser.
- Δέκτη (receiver, 1b), που περιλαμβάνει τη μονάδα του ανιχνευτή.
- Το κελί μέτρησης (1c).
- Φακό (range lens, 3). Ο φακός που συνήθως χρησιμοποιείται αναλύει κόκκους με μέγεθος 0,5-880 $\mu\text{m}$ .

2. Μονάδα αιώρησης του δείγματος (sample suspension unit, 2 ή 5): Στην μονάδα αυτή διασπείρεται το προς εξέταση υλικό μέσα σε αλκοόλη. Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει,

επίσης, ένα σύστημα υπερήχων και ανάδευσης για τη διασπορά των συνεκτικών υλικών και για την αποφυγή της κροκίδωσης των κόκκων. Κατά τη διαδικασία της μέτρησης το αιώρημα με τη βοήθεια μιας αντλίας, κυκλοφορεί συνεχώς μεταξύ του κελιού μέτρησης και της δεξαμενής.

3. Σύστημα υπολογιστή: Ο αναλυτής Laser περιλαμβάνει, ένα σύστημα υπολογιστή (4a) στον οποίο έχει εγκατασταθεί το λογισμικό της Malvern, για τον έλεγχο της λειτουργίας του κοκκομετρικού αναλυτή Mastersizer και λήψης των δεδομένων, καθώς και ενός εκτυπωτή (4b) για την εκτύπωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Για να έχουμε ασφαλέστερα αποτελέσματα, καθώς η I.T. είναι ένα λεπτόκοκκο υλικό και αποτελείται από φάσεις οι οποίες αντιδρούν με το νερό δημιουργώντας συσσωματώματα, επιλέχθηκε οι αναλύσεις να πραγματοποιηθούν σε περιβάλλον αλκοόλης καθαρότητας  $\geq 97.5 \%$ .

## **2.7 Στατιστική επεξεργασία**

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών αναλύσεων που έγιναν, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Statgraphics Plus version 5 της εταιρείας Manugistics, το οποίο παραχωρήθηκε από τη Μονάδα Έλεγχος Ποιότητας - Υγιεινή και Ασφάλεια στη Μεταλλευτική του Πολυτεχνείου Κρήτης.

### **Βασικά στατιστικά μεγέθη**

Η στατιστική επεξεργασία, πέρα από τα βασικά στατιστικά μεγέθη που μελετήθηκαν (μέση τιμή ( $\bar{X}$ ), τυπική απόκλιση (s), συντελεστής μεταβλητότητας (cv), ελάχιστη και μέγιστη τιμή), περιλάμβανε και τη δημιουργία θηκογραμμάτων (διαγράμματα Box and Whisker), τις συσχετίσεις των αποτελεσμάτων με τη βοήθεια των συντελεστών συσχέτισης Pearson (r) και τη δημιουργία μοντέλων απλής ή πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ελέγχθηκαν με τη βοήθεια των διαγραμμάτων συσχέτισης μετρημένων-εκτιμώμενων τιμών και με τον έλεγχο της κατανομής των υπολοίπων καθώς και των τυποποιημένων υπολοίπων (μορφή της κατανομής και συσχέτιση με τις εκτιμώμενες τιμές των μεταβλητών).

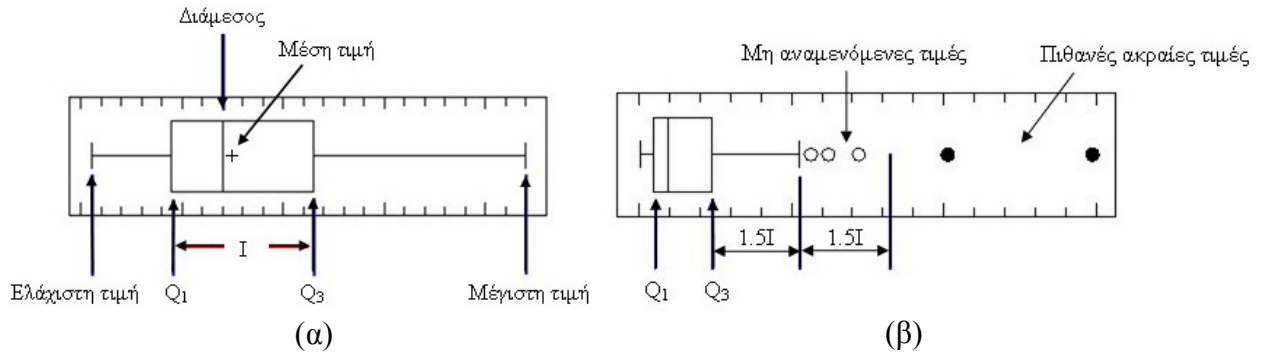
Ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variation)  $cv = \frac{s}{\bar{X}}$  και η τυπική

απόκλιση  $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$  ενός μεγέθους, αποτελούν μέτρα της απόκλισης των τιμών

από τη μέση τιμή  $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$  του μελετώμενου μεγέθους, ενώ το εύρος διακύμανσης αποτελεί ένα στατιστικό μέγεθος που δίνει το εύρος που καλύπτουν οι τιμές (μέγιστη τιμή μείον ελάχιστη τιμή).

### **Απεικόνιση κατανομής-έλεγχος ακραίων τιμών**

Το θηκόγραμμα (διάγραμμα Box and Whisker) απεικονίζει παραστατικά την κατανομή των δεδομένων μέσω επιλεγμένων ποσοστιαίων σημείων. Στο θηκόγραμμα απεικονίζονται το πρώτο τεταρτημόριο  $Q_1$  (τιμή όπου το 25% των τιμών βρίσκονται αριστερά της θέσης αυτής - αρχή του ορθογώνιου), το τρίτο τεταρτημόριο  $Q_3$  (τιμή όπου το 75% των τιμών βρίσκονται αριστερά της θέσης αυτής -τέλος του ορθογώνιου), η διάμεσος, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των δεδομένων (Εικόνα 2.11α). Στο διάγραμμα, η έκταση του ορθογώνιου (Box), η οποία ορίζεται από τη διαφορά του  $Q_3 - Q_1$ , καλύπτει το ενδοτεταρτομοριακό εύρος  $I$ , το οποίο περιλαμβάνει το 50% των δεδομένων. Το  $I$  είναι ένα άλλο μέτρο διασποράς των δεδομένων πιο εύρωστο από το εύρος τιμών της διακύμανσης ή διασποράς, καθώς δεν επηρεάζεται από τις ακραίες τιμές. Το θηκόγραμμα αποτελείται από ένα ορθογώνιο (Box) με μήκος ίσο με  $I$ , ενώ από τις πλευρές του ξεκινούν ευθύγραμμα τμήματα (Whisker) που προεκτείνονται μέχρι την ελάχιστη και μέγιστη τιμή. Τα ευθύγραμμα τμήματα μπορεί να μην επεκταθούν έως τη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή αν αυτή απέχει απόσταση μεγαλύτερη από  $1.5I$  από το  $Q_1$  και το  $Q_3$  αντίστοιχα. Στην περίπτωση αυτή το ευθύγραμμο τμήμα προεκτείνεται έως  $1.5I$  και οι τιμές που εκτείνονται πέρα από το όριο αυτό χαρακτηρίζονται μη αναμενόμενες ή ως πιθανά ακραίες τιμές (Εικόνα 2.11β). Τα θηκογράμματα είναι χρήσιμα για την απεικόνιση της κατανομής των τιμών και τον εντοπισμό μη αναμενόμενων ή ακραίων τιμών (Κολυβά-Μαχαίρα και Μπόρα-Σέντα, 1998; Γαλετάκης, 2012).



Εικόνα 2.11: Θηκογράμματα

### Συσχέτιση-Γραμμική παλινδρόμηση

Κατά τη στατιστική ανάλυση δυο μεταβλητών  $X$  και  $Y$ , διερευνάται αν οι μεταβλητές συνδέονται μεταξύ τους και σε ποιο βαθμό. Από τη στατιστική επεξεργασία και τον προσδιορισμό της μέσης τιμής των μεταβλητών  $\bar{X}$  και  $\bar{Y}$ , καθώς και από την τυπική απόκλιση  $s_x$  και  $s_y$ , δεν προκύπτει κάποια πληροφορία για τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Έτσι, για να ελεγχθεί αν οι μεταβλητές συνδέονται μεταξύ τους υπολογίζεται η συνδιακύμανση ή συνδιασπορά  $s_{xy}$ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$s_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n - 1} \quad (2.7)$$

Με τη συνδιακύμανση ή συνδιασπορά, παρατηρείται πως μεταβάλλονται οι μεταβλητές μεταξύ τους, δηλαδή ποια είναι η τάση μεταβολής του ζεύγους των σημείων  $X_i, Y_i$ . Διαιρώντας τη συνδιακύμανση  $s_{xy}$  με το γινόμενο  $s_x s_y$ , προκύπτει ο συντελεστής συσχέτισης Pearson  $r = s_{xy}/s_x s_y$ , ο οποίος δεν εξαρτάται από τις μονάδες μέτρησης των μεταβλητών και κυμαίνεται από  $-1$  έως  $1$ . Όταν οι τιμές είναι  $r = \pm 1$  υπάρχει τέλεια συσχέτιση, ενώ όταν λαμβάνει τιμές  $r = 0$  δεν υπάρχει καμία γραμμική συσχέτιση. Όταν οι τιμές έχουν θετικό πρόσημο τότε υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των δυο μεταβλητών, ενώ αντίστοιχα με αρνητικό πρόσημο υπάρχει αρνητική συσχέτιση. Στην παρούσα εργασία, η συσχέτιση χαρακτηρίστηκε με βάση τα όρια του συντελεστή συσχέτισης Pearson ως εξής: για τιμές  $0 \leq |r| \leq 0.30$  δεν υπάρχει συσχέτιση ή είναι ασήμαντη, για τιμές  $0.30 < |r| \leq 0.50$  χαρακτηρίζεται ως ασθενής συσχέτιση, για τιμές  $0.50 < |r| \leq 0.70$  χαρακτηρίζεται ως μέτρια συσχέτιση, για τιμές  $0.70 < |r| \leq 0.80$  χαρακτηρίζεται ως ισχυρή συσχέτιση και τέλος για τιμές  $0.80 < |r| < 1.00$  θεωρείται ότι υπάρχει πολύ ισχυρή συσχέτιση (Τζιαφέτας, 1980; Ζαχαροπούλου, 1995).

Όπως αναφέρθηκε, στην περίπτωση που  $r=0$ , δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών  $X$  και  $Y$ . Η διαπίστωση αυτή όμως δεν αποκλείει την πιθανότητα να συνδέονται οι  $X$  και  $Y$  μέσω κάποιας άλλης συναρτησιακής μορφής εξάρτησης. Για το σκοπό αυτό, αντίστοιχα προς τον συντελεστή συσχέτισης χρησιμοποιείται ο γενικευμένος συντελεστής συσχέτισης  $R$ , ο οποίος υπολογίζει τη συσχέτιση των τιμών των εκτιμηθέντων τιμών από το μοντέλο που επιλέχθηκε με τις μετρηθείσες τιμές, όπως φαίνεται από τη σχέση:

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.8)$$

όπου:  $\hat{Y}_i$  = εκτιμηθείσες τιμές από το επιλεγμένο μοντέλο,

$Y_i$  = πραγματικές (μετρηθείσες) τιμές,

$\bar{Y}$  = μέση τιμή.

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι στην περίπτωση των γραμμικά εξαρτημένων μεταβλητών ( $Y=\alpha+\beta X$ ), τα αποτελέσματα του συντελεστή συσχέτισης Pearson ( $r$ ) και του γενικευμένου συντελεστή συσχέτισης ( $R$ ) συμπίπτουν (Τζιαφέτας, 1980).

Με τη γραμμική παλινδρόμηση επιτυγχάνεται η εκτίμηση της εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  από άλλες μεταβλητές  $X_i$  οι οποίες ονομάζονται ανεξάρτητες. Όταν εξετάζεται η γραμμική σχέση της εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  από μια ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$ , τότε δημιουργείται ένα μοντέλο απλής γραμμικής παλινδρόμησης και περιγράφεται από τη σχέση:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i \quad (2.9)$$

όπου  $Y_i$  και  $X_i$ : το ζεύγος των τιμών των μεταβλητών  $Y$  και  $X$  ( $i=1, \dots, n$ ),

$\alpha$ : η τιμή του  $Y$  όταν  $X_i=0$ ,

$\beta$ : η κλίση της ευθείας παλινδρόμησης ή συντελεστής παλινδρόμησης,

$\varepsilon_i$ : σφάλμα που αποτελεί τη διαφορά της παρατηρούμενης τιμής  $Y$  για κάποιο  $X_i$ , από τη θεωρητική τιμή  $Y_i$  (συνήθως θεωρείται ότι τα σφάλματα είναι τυχαία και έχουν μέση τιμή ίση με 0).

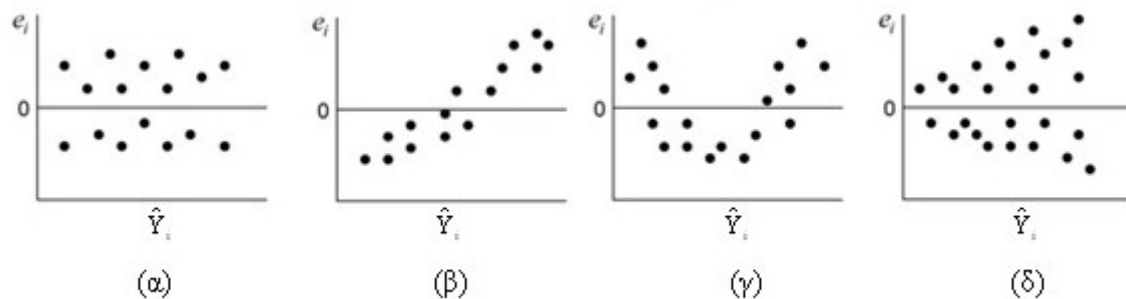
Για την εκτίμηση των παραμέτρων  $\alpha$  και  $\beta$ , χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων αναζητείται η ευθεία παλινδρόμησης με τιμές των παραμέτρων  $\alpha$  και  $\beta$ , όπου το άθροισμα των τετραγώνων

των αποστάσεων των σημείων από την ευθεία θα είναι το ελάχιστο, δηλαδή ισχύει η

$$\text{σχέση: } \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \alpha - \beta X_i)^2. \quad (2.10)$$

Για κάθε τιμή  $X_i$ , η εκτιμώμενη τιμή  $\hat{Y}_i$  που προκύπτει, είναι συνήθως διαφορετική από την πραγματική τιμή  $Y_i$ . Οι διαφορές των τιμών  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ , αποτελούν εκτίμηση του σφάλματος προσδιορισμού της ευθείας παλινδρόμησης και ονομάζονται υπόλοιπα (residual), ενώ λαμβάνοντας υπόψη τη μέση τιμή των υπολοίπων και την τυπική απόκλιση τους, προκύπτουν τα τυποποιημένα υπόλοιπα (studentized residual).

Ο έλεγχος του μοντέλου της απλής γραμμικής παλινδρόμησης που προσδιορίζεται κάθε φορά, πραγματοποιείται με την κατασκευή των διαγραμμάτων των υπολοίπων ή των τυποποιημένων υπολοίπων συναρτήσει της εκτιμώμενης τιμής της μεταβλητής  $\hat{Y}_i$ . Σε ένα τέτοιο διάγραμμα ελέγχεται αν υπάρχει τυχαία διασπορά του ζεύγους τιμών (υπόλοιπα  $e_i$ -εκτιμώμενη τιμή  $\hat{Y}_i$ ) γύρω από την ευθεία της τιμής  $e_i=0$  σε όλο το εύρος, που είναι και το επιθυμητό (Εικόνα 2.12α), ή αν υπάρχει κάποια τάση γραμμικής ή άλλου είδους καμπύλης (Εικόνα 2.12 β, γ) και εμφάνισης ανομοιογένειας στη διασπορά των τιμών (Εικόνα 2.12δ).



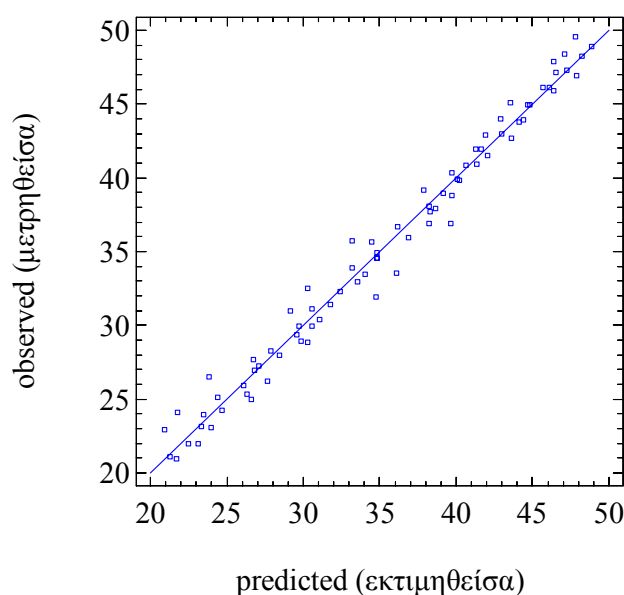
Εικόνα 2.12: Περιπτώσεις διαγραμμάτων υπολοίπων συναρτήσει εκτιμώμενης τιμής της μεταβλητής  $\hat{Y}_i$ : (α) τυχαία κατανομή, (β) γραμμική τάση των τιμών, (γ) τιμές με μορφή καμπύλης U, (δ) διασπορά των σφαλμάτων ανομοιογενής.

Για την εκτίμηση της εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  με ένα πλήθος  $n$  ανεξάρτητων μεταβλητών  $X_1, \dots, X_k, \dots, X_n$ , το μοντέλο που περιγράφει τη σχέση αυτή είναι της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, που δίνεται από τη σχέση:

$$Y = \alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \varepsilon \quad \text{ή} \quad Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (2.11)$$

Η τιμή της παραμέτρου  $\alpha$  προκύπτει όταν  $X_1=X_2=\dots=X_n=0$ , ενώ οι παράμετροι  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  ονομάζονται συντελεστές παλινδρόμησης και η τιμή τους προκύπτει όταν για κάθε τιμή  $X_i$  που μεταβάλλεται διατηρούνται όλες οι υπόλοιπες τιμές  $X$  σταθερές. Η παράμετρος  $\varepsilon$ , όπως και στο μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης αποτελεί τα σφάλματα της παλινδρόμησης που θεωρείται ότι είναι τυχαία έχοντας μέση τιμή  $\varepsilon=0$  (Montgomery and Peck, 1992; Ζαχαροπούλου, 1995; Draper and Smith, 1998; Κολυβά-Μαχαίρα και Μπόρα-Σέντα, 1998).

Αντίστοιχα προς το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, ο έλεγχος του μοντέλου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης επιτυγχάνεται με την κατασκευή των διαγραμμάτων συσχέτισης υπολοίπων ή τυποποιημένων υπολοίπων συναρτήσει των εκτιμώμενων τιμών της μεταβλητής  $\hat{Y}_i$ . Επιπρόσθετα, ο έλεγχος του μοντέλου που δημιουργείται γίνεται και με τα διαγράμματα των πραγματικών (πειραματικών) τιμών συναρτήσει των εκτιμώμενων τιμών (όπως προσδιορίστηκαν από το μοντέλο), (observed vs predicted plot), όπου απεικονίζεται το ζεύγος των τιμών σε ένα διάγραμμα και ελέγχεται πόσο πλησιάζουν τη θεωρητική ευθεία συσχέτισης (Εικόνα 2.13).



Εικόνα 2.13: Διάγραμμα συσχέτισης μετρηθείσες και εκτιμηθείσες τιμές που προκύπτουν με το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.

Τέλος, ο έλεγχος της ακρίβειας εκτίμησης του μοντέλου που δημιουργήθηκε με τη γραμμική παλινδρόμηση επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό του σφάλματος εκτίμησης (Μέσο τετραγωνικό σφάλμα - Mean Square Error, MSE) ή το σχετικό μέσο τετραγωνικό

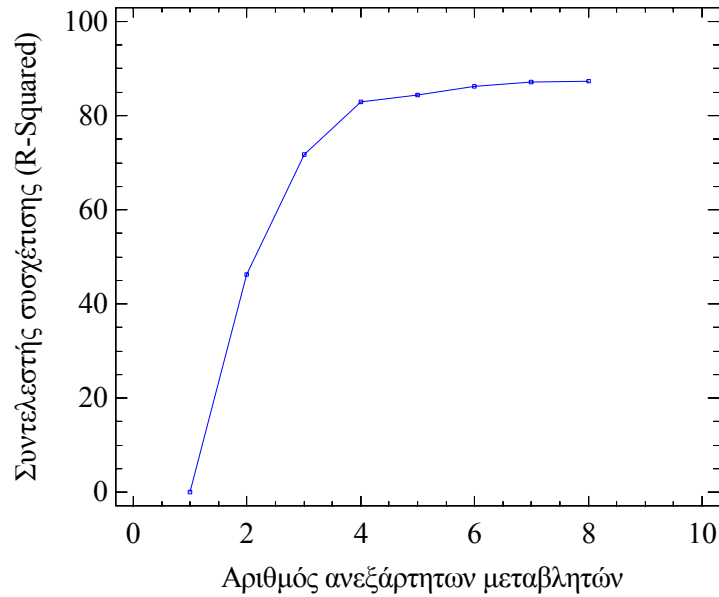
σφάλμα (Relative Mean Square Error,  $MSE_R$ ). Το σφάλμα εκτίμησης προσδιορίζεται με τη σχέση:

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-1}}, \quad (2.12)$$

ενώ διαιρώντας με τη μέση τιμή της μετρηθείσας μεταβλητής προκύπτει το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $MSE_R = MSE/\bar{Y}$ ).

Η δημιουργία ενός μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με δοκιμές από το χρήστη διαφόρων συνδυασμών των ανεξάρτητων μεταβλητών είτε με τη βοήθεια της διαδικασίας επιλογής μοντέλου παλινδρόμησης (Regression Model Selection). Με τη διαδικασία επιλογής μοντέλου παλινδρόμησης, εξετάζονται όλα τα δυνατά μοντέλα παλινδρόμησης (διαφορετικοί συνδυασμοί των ανεξάρτητων μεταβλητών), λαμβάνοντας υπόψη και τον πιθανό περιορισμό στο μέγιστο αριθμό των μεταβλητών. Τα αποτελέσματα κάθε μοντέλου, ελέγχονται και συγκρίνονται μεταξύ τους, με κριτήριο τον γενικευμένο συντελεστή συσχέτισης ( $R$ ) ή τον προσαρμοσμένο συντελεστή συσχέτισης ( $R$ -adjusted) ή/και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $MSE$ ). Ο προσαρμοσμένος συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει υπόψη του, τόσο τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο όσο και τον αριθμό των δειγμάτων που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση (Manugistics, 2000).

Στην παρούσα εργασία για την εύρεση των μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, πραγματοποιήθηκαν τόσο συνδυασμοί των ανεξάρτητων μεταβλητών από το χρήστη, όσο και μελέτη των δυνατών μοντέλων από τη διαδικασία επιλογής μοντέλων παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα των μοντέλων, ελέγχθησαν όσον αφορά την αξιοπιστία, την αμεροληψία και την ακρίβεια του με βάση το γενικευμένο συντελεστή συσχέτισης ( $R$ ), τον προσαρμοσμένο συντελεστή συσχέτισης ( $R$ -adjusted), το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $MSE$ ), καθώς και τα διαγράμματα συσχέτισης τυποποιημένων υπολοίπων και εκτιμηθείσας τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής. Στην εικόνα 2.14 απεικονίζεται τυπικό διάγραμμα μεταβολής του γενικευμένου συντελεστή συσχέτισης σε σχέση με τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών που λαμβάνουν μέρος για τη δημιουργία του μοντέλου.



Εικόνα 2.14: Διάγραμμα μεταβολής του γενικευμένου συντελεστή συσχέτισης (R-Squared) με τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών

Οι μεταβολές του γενικευμένου συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ) που απεικονίζονται στην εικόνα 2.14, δείχνουν ότι η αύξηση του πλήθους των ανεξάρτητων μεταβλητών  $X_i$  πέρα από ένα αριθμό (4 στην περίπτωση της εικόνας 2.14), δεν συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση του μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Με βάση την παρατήρηση αυτή, τα μοντέλα που επιλέχθηκαν ήταν τα απλούστερα που ικανοποιούσαν ταυτόχρονα τις απαιτήσεις της ακρίβειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

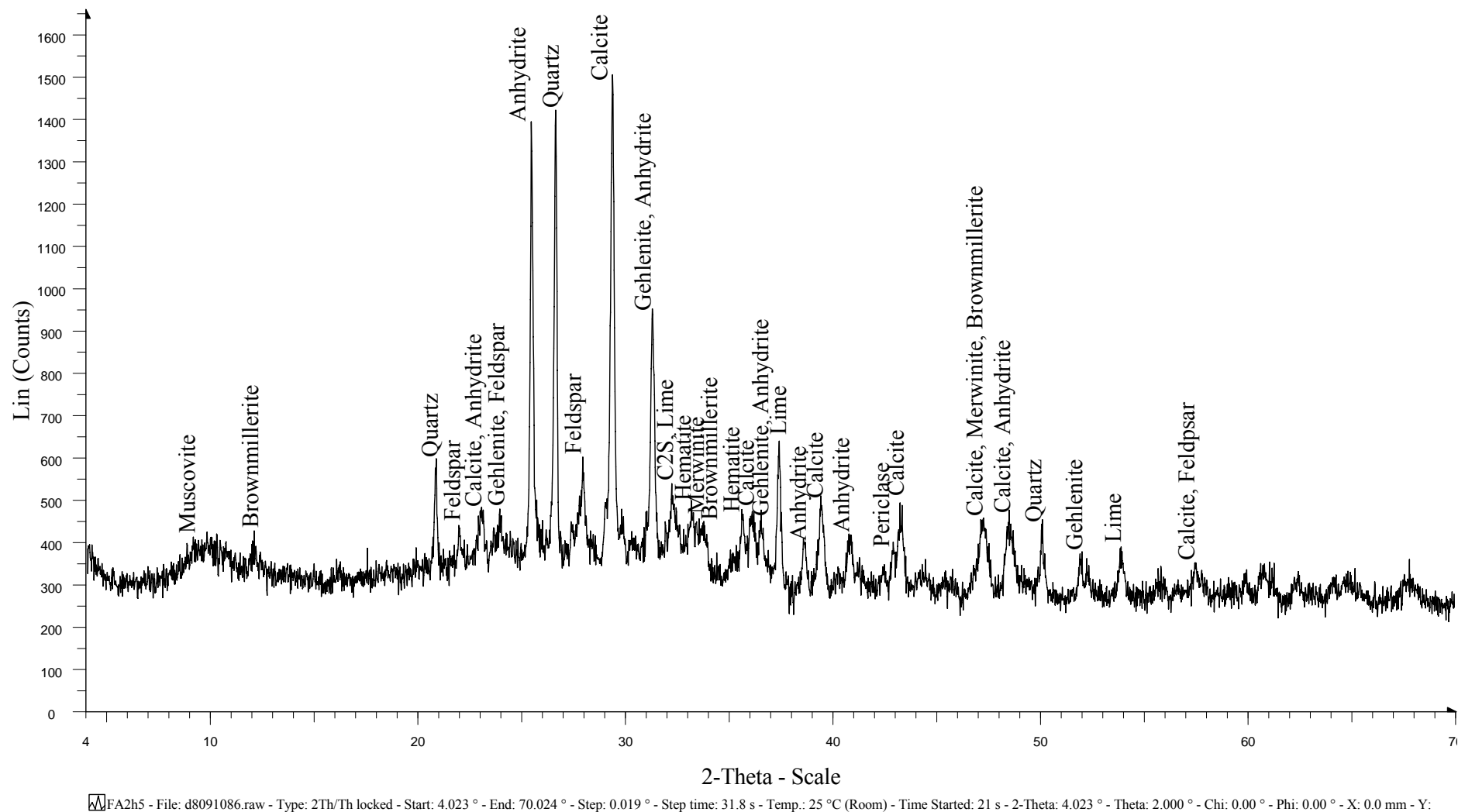
Στα δείγματα των λιγνιτικών τεφρών (Ι.Τ. και Ε.Τ.) των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, προσδιορίστηκε, όπως αναφέρθηκε, η ορυκτολογική και χημική σύσταση των τεφρών και μελετήθηκαν η συμπεριφορά τήξης, η ειδική επιφάνεια, η μορφολογία των κόκκων και η κοκκομετρική κατανομή. Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αυτών αναλύσεων, καθώς και η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

### 3.1 Ορυκτολογική σύσταση

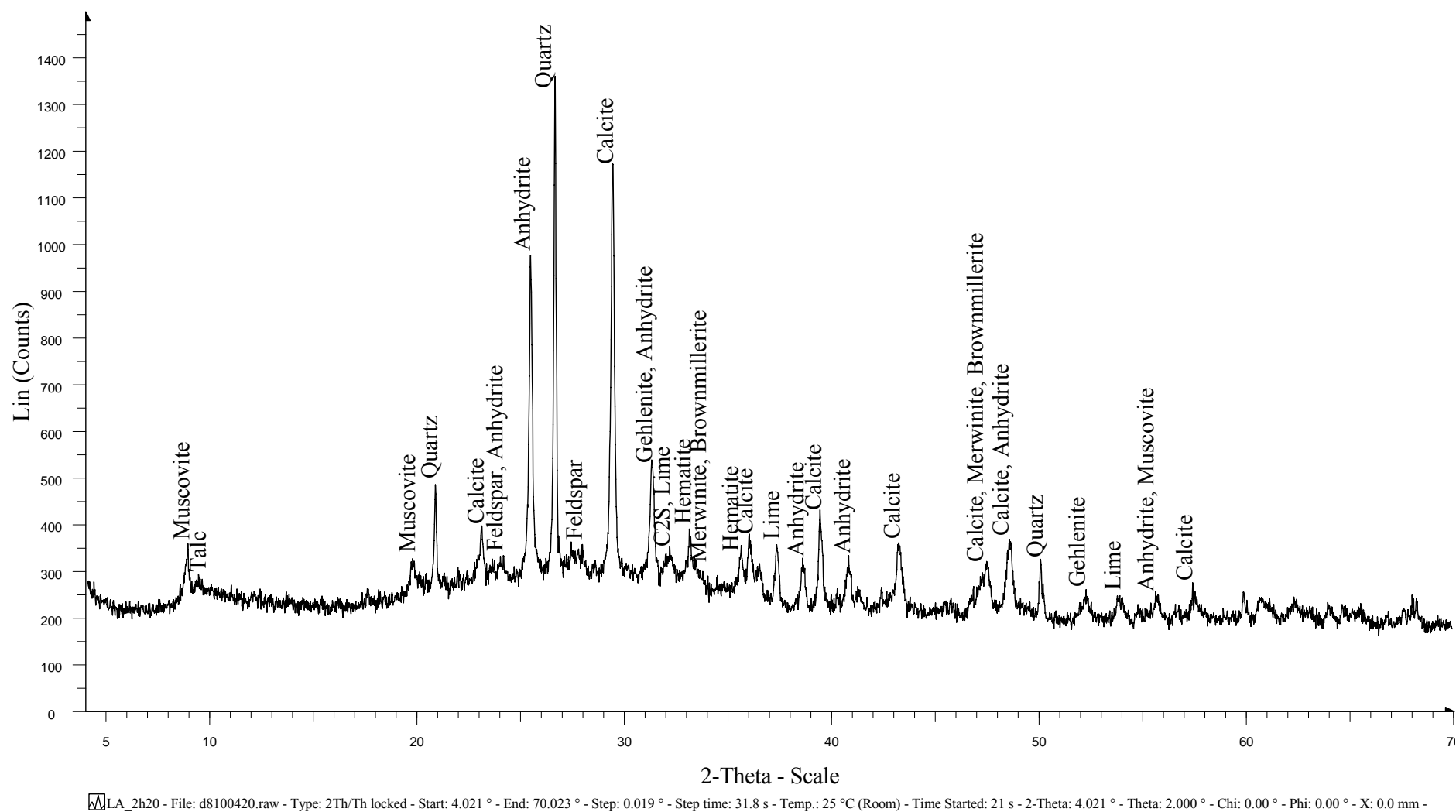
Η ορυκτολογική σύσταση των τεφρών (Ι.Τ. και Ε.Τ.) προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.2.1.

Όπως προέκυψε από τη μελέτη των ακτινοδιαγραμμάτων, οι φάσεις που αναγνωρίζονται είναι: άσβεστος ( $\text{CaO}$ ), χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ), ανυδρίτης ( $\text{CaSO}_4$ ), πυριτικό διασβέστιο ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), γκελενίτης ( $((\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Fe},\text{Mg})(\text{AlSiO}_7))$ ), μπραουνμυλλερίτης ( $\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})_2\text{O}_5$ ), άστριοι (πλαγιόκλαστα  $(\text{Ca},\text{Na})[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8]$ ), καλιούχοι άστριοι ( $(\text{K},\text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ ), μερβινίτης ( $\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$ ), ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), πορτλανδίτης ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), αιματίτης ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), περίκλαστο  $\text{MgO}$  και μοσχοβίτης ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$ ) ή ιλλίτης ( $((\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2[(\text{OH},\text{F})_2/(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}])$ ). Ενδεικτικά στις εικόνες 3.1 και 3.2, φαίνονται τα αξιολογημένα ακτινοδιαγράμματα ποιοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης, από δείγματα Ι.Τ. και Ε.Τ. Επίσης, όπως παρατηρείται από την εικόνα 3.2, στα δείγματα της Ε.Τ. παρατηρήθηκε τάλκης ( $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ), ο οποίος αποτελεί φάση που περιέχεται στο ανόργανο μέρος του λιγνίτη και εμφανίζεται, καθώς δεν έχει χάσει στο σύνολο του το κρυσταλλικό νερό, ώστε να διασπαστεί, στη θερμοκρασία καύσης των  $750^\circ\text{C}$ .

Στο Παράρτημα Α απεικονίζονται, ενδεικτικά, ακτινοδιαγράμματα ποσοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων των λιγνιτικών τεφρών (Ι.Τ., εικόνες Α.1-Α.32 και Ε.Τ., εικόνες Α.33-Α.66) των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α. Στα ακτινοδιαγράμματα αυτά, καθώς αντιστοιχούν σε παρασκευάσματα για ποσοτικό προσδιορισμό, παρατηρείται η παρουσία του κορουνδίου ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) που οφείλεται στο εσωτερικό πρότυπο που έχει προστεθεί για τον ποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων και της κρυσταλλογραφικά άμορφης-υαλώδους φάσης (άμορφο).



Εικόνα 3.1: Τυπικό ακτινοδιάγραμμα Ιπτάμενης Τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



Εικόνα 3.2: Τυπικό ακτινοδιάγραμμα Εργαστηριακής Τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου

Η άσβεστος προέρχεται από τη διάσπαση του ασβεστίτη ή του δολομίτη που υπάρχει στο λιγνίτη, ενώ ο ανυδρίτης προκύπτει είτε από την αφυδάτωση της γύψου, είτε από την αντίδραση της ασβέστου (ελεύθερο  $\text{CaO}$ ) με τριοξείδιο του θείου που προέκυψε από τη διάσπαση των σουλφιδίων που υπάρχουν στην καύσιμη ύλη. Ο χαλαζίας αποτελεί συστατικό του ανόργανου μέρους του λιγνίτη, ενώ οι άστριοι μπορεί να αποτελούν συστατικά του λιγνίτη, αλλά ταυτόχρονα είναι δυνατόν να δημιουργηθούν κατά την καύση, ως προϊόντα διάσπασης και αντιδράσεων των αργιλοπυριτικών φάσεων (καολινίτη, ιλλίτη, κ.α.) του λιγνίτη. Ο μοσχοβίτης είναι φάση του αρχικού λιγνίτη, ο οποίος δεν έχει επίσης απομακρυνθεί κατά την καύση, ενώ ο πορτλανδίτης είναι δευτερογενώς σχηματιζόμενη φάση από την άσβεστο με πρόσληψη υγρασίας από το περιβάλλον. Επομένως, καθώς ο πορτλανδίτης είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την άσβεστο, τόσο στα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια, όσο και στη στατιστική επεξεργασία, όταν αναφέρεται άσβεστος εννοείται το άθροισμα της ασβέστου και του πορτλανδίτη. Ο ασβεστίτης είναι είτε πρωτογενής φάση του λιγνίτη που δεν έχει διασπαστεί πλήρως, είτε έχει δημιουργηθεί δευτερογενώς από τη μετατροπή της ασβέστου σε πορτλανδίτη και στη συνέχεια υπό την επίδραση του  $\text{CO}_2$  της ατμόσφαιρας σε ασβεστίτη. Οι φάσεις του πυριτικού διασβεστίου, του γκελενίτη, του μπραουνμυλλερίτη, του μερβινίτη και του περίκλαστου αποτελούν φάσεις οι οποίες δημιουργούνται κατά την καύση του λιγνίτη, είτε στους ΑΗΣ, είτε σε εργαστηριακό κλίβανο.

Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι είναι πιθανή η εμφάνιση και άλλων φάσεων, πέρα από αυτές που ήδη αναφέρθηκαν, όπως πυρόξενος (διοψίδιος ή εδενβεργίτης), μαγνησιοφερρίτης ή ερκυνίτης. Η παρουσία όμως των φάσεων αυτών δε μπόρεσε να πιστοποιηθεί με βεβαιότητα, καθώς παρατηρήθηκαν αρκετές αλληλεπικαλύψεις και μικρές εντάσεις των αιχμών, κατά την αξιολόγηση των ακτινοδιαγραμμάτων. Επίσης, κατά τον ποσοτικό προσδιορισμό, δεν επιβεβαιώθηκε η παρουσία τους σε σημαντικά ποσοστά, αλλά μόνο σε ίχνη. Έτσι, οι φάσεις αυτές, εκτός από τους πυρόξενους ( $\text{Ca(Mg,Fe)Si}_2\text{O}_6$ ), δεν λαμβάνονται υπόψη στην αναγνώριση και τον ποσοτικό προσδιορισμό των φάσεων που απαρτίζουν τις τέφρες, ώστε να αποφευχθεί πρόσθετο σφάλμα στην υπολογιζόμενη τιμή της περιεκτικότητας σε άμορφο. Η παρουσία των πυροξένων αναγνωρίζεται στον ΑΗΣ Αμυνταίου και καθώς έχει πιστοποιηθεί βιβλιογραφικά (Κωστάκης, 2004) για το συγκεκριμένο ΑΗΣ, χρησιμοποιείται στον ποσοτικό προσδιορισμό.

Το πλήθος των δειγμάτων στα οποία προσδιορίστηκε η ορυκτολογική σύσταση στην παρούσα εργασία είναι 227. Από αυτά, τα 91 αφορούν τα δείγματα της Ι.Τ. και τα 136 της Ε.Τ. Επιπλέον, στη συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων καθώς και στη στατιστική επεξεργασία και τις συσχετίσεις για τα δείγματα των Ι.Τ., παρουσιάζονται και χρησιμοποιούνται επιπροσθέτως τα αποτελέσματα από 41 δείγματα Ι.Τ., των οποίων η ορυκτολογική σύσταση έχει προσδιοριστεί στο παρελθόν στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος και έχουν δημοσιευθεί τόσο στην έκθεση του προγράμματος όσο και σε εργασία σε διεθνές περιοδικό (Κωστάκης, 2004; Kostakis, 2009). Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων, αρχικά των δειγμάτων των Ι.Τ. και κατόπιν των δειγμάτων των Ε.Τ.

### ***3.1.1 Ιπτάμενες τέφρες***

Τα αποτελέσματα του ποσοτικού προσδιορισμού των φάσεων των δειγμάτων των Ι.Τ., παρουσιάζονται συνοπτικά στους πίνακες 3.1 και 3.2, ενώ τα πλήρη αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β (Πίνακες Β.1-Β.7). Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (μέση τιμή με την τυπική απόκλιση) των ορυκτολογικών αναλύσεων του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, όπου έγινε δειγματοληψία σε διαφορετικές κατηγορίες δειγμάτων (δίωρα, ημερήσια, εβδομαδιαία και μηνιαία). Εντός της παρένθεσης είναι ο αριθμός των δειγμάτων που μελετήθηκε σε κάθε κατηγορία. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζεται η ορυκτολογική σύσταση (μέση τιμή με την τυπική απόκλιση της περιεκτικότητας κάθε φάσης) των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α (εντός παρένθεσης είναι ο αριθμός των δειγμάτων κάθε ΑΗΣ). Τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων των εβδομαδιαίων δειγμάτων του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου του πίνακα 3.1 (5 δείγματα), καθώς και τα δείγματα από τους υπόλοιπους ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α πλην του Αγ. Δημητρίου, χρησιμοποιούνται ως βιβλιογραφικά δεδομένα στη στατιστική επεξεργασία, καθώς πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος, όπως ήδη αναφέρθηκε (Κωστάκης, 2004; Kostakis, 2009).

Πίνακας 3.1: Περιεκτικότητα των ορυκτολογικών φάσεων (% κ.β., μέση τιμή και τυπική απόκλιση 96 δειγμάτων) ανά κατηγορία δείγματος των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Φάσεις	Δείγματα			
	Δίωρα (12)	Ημερήσια (21)	Εβδομαδιαία (5)	Μηνιαία (58)
Άμορφα	37.0 ± 8.1	37.3 ± 6.7	39.3 ± 2.2	33.5 ± 6.3
Ανυδρίτης	8.8 ± 1.5	7.1 ± 1.2	5.1 ± 0.2	7.3 ± 1.0
Γκελενίτης	7.7 ± 1.5	8.4 ± 0.8	7.8 ± 0.5	9.5 ± 1.3
Πυριτικό διασβέστιο	4.0 ± 1.5	3.8 ± 0.9	4.1 ± 0.8	5.2 ± 1.5
Μπραουνμυλλερίτης	5.2 ± 1.5	5.6 ± 1.2	6.4 ± 0.4	6.5 ± 1.1
Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	3.8 ± 2.3	3.5 ± 0.8	12.7 ± 1.5	6.5 ± 2.9
Ασβεστίτης	13.0 ± 4.9	14.6 ± 3.2	3.5 ± 0.2	12.1 ± 6.4
Αιματίτης	1.4 ± 0.2	1.1 ± 0.1	0.8 ± 0.1	1.1 ± 0.2
Μερβινίτης	1.7 ± 0.7	1.4 ± 0.4	1.3 ± 0.4	1.7 ± 0.5
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	1.8 ± 0.5	1.7 ± 0.5	2.6 ± 0.5	1.8 ± 0.5
Περίκλαστο	1.6 ± 0.3	1.7 ± 0.2	2.0 ± 0.2	1.8 ± 0.2
Άστριοι	7.7 ± 1.4	8.2 ± 1.7	9.8 ± 1.3	8.8 ± 1.5
Χαλαζίας	6.4 ± 1.3	5.7 ± 1.3	4.6 ± 0.8	4.4 ± 1.0

Με βάση τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων ανά κατηγορία δείγματος με βάση τη δειγματοληψία (Πίνακας 3.1), προέκυψε ότι στα δίωρα και τα ημερήσια δείγματα παρατηρείται μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άμορφα με μεγαλύτερη διακύμανση (τυπική απόκλιση), ενώ τα μηνιαία περιέχουν μικρότερο ποσοστό αμόρφων. Τα εβδομαδιαία εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές αμόρφων και τη μικρότερη διακύμανση (τυπική απόκλιση). Παρουσιάζουν επίσης μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άσβεστο και μικρότερη σε ασβεστίτη σε σχέση με τα δείγματα των υπόλοιπων κατηγοριών. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί να εξηγηθεί από το ότι δεν πρόλαβε να υπάρξει μετατροπή της ασβέστου σε ασβεστίτη, καθώς τα δείγματα αυτά αντιστοιχούν στη δεύτερη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε και αναλύθηκαν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα από τη δειγματοληψία τους σε σχέση με τα υπόλοιπα. Επιπλέον, υπάρχει και η διαφοροποίηση του λιγνιτικού καυσίμου λόγω της προόδου εκμετάλλευσης του λιγνιτωρυχείου τροφοδοσίας του ΑΗΣ, που οφείλεται στη χρονική απόκλιση μεταξύ των δυο δειγματοληψιών. Οι υπόλοιπες φάσεις, εν γένει, δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των κατηγοριών της δειγματοληψίας.

Πίνακας 3.2: Περιεκτικότητα των ορυκτολογικών φάσεων (% κ.β., μέση τιμή και τυπική απόκλιση 132 δειγμάτων) των Ι.Τ. ανά ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

	ΑΗΣ Αγ.Δημητρίου (96)	ΑΗΣ Καρδιάς (4)	ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (7)	ΑΗΣ Πτολεμαΐδας (21)	ΑΗΣ Αμυνταίου (4)
Άμορφα	35.0 ± 6.7	41.6 ± 4.4	36.0 ± 7.6	42.9 ± 2.6	44.2 ± 4.6
Ανυδρίτης	7.3 ± 1.3	6.5 ± 0.7	11.0 ± 2.4	8.7 ± 1.0	6.0 ± 0.6
Γκελενίτης	9.0 ± 1.4	7.8 ± 0.7	6.2 ± 2.4	5.2 ± 1.2	6.9 ± 1.5
Πυριτικό διασβέστιο	4.7 ± 1.5	3.6 ± 1.1	4.2 ± 1.3	2.2 ± 0.7	3.0 ± 0.8
Μπραουνμυλλερίτης	6.1 ± 1.2	8.7 ± 0.8	8.0 ± 3.0	5.0 ± 0.8	3.5 ± 0.5
Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	5.8 ± 3.2	12.7 ± 2.2	8.7 ± 2.2	7.8 ± 1.5	5.4 ± 1.4
Ασβεστίτης	12.3 ± 5.9	2.7 ± 0.9	5.0 ± 1.9	8.7 ± 2.6	1.2 ± 0.2
Αιματίτης	1.1 ± 0.2	1.1 ± 0.3	1.0 ± 0.2	1.0 ± 0.1	1.1 ± 0.2
Μερβινίτης	1.6 ± 0.5	1.5 ± 0.5	1.4 ± 0.7	1.0 ± 0.2	1.1 ± 0.4
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	1.8 ± 0.6	1.1 ± 0.2	1.5 ± 0.5	2.9 ± 0.6	1.0 ± 0.3
Περίκλαστο	1.7 ± 0.3	2.1 ± 0.2	3.1 ± 0.7	1.3 ± 0.1	1.2 ± 0.2
Άστριοι	8.6 ± 1.6	6.9 ± 1.2	7.7 ± 1.2	7.5 ± 1.5	14.2 ± 0.7
Χαλαζία	4.9 ± 1.3	3.9 ± 0.4	6.2 ± 2.6	6.0 ± 0.8	5.9 ± 0.4
Πυρόξενοι	-	-	-	-	5.3 ± 0.8

Από τον πίνακα 3.2, προκύπτει ότι ο ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου εμφανίζει τη μικρότερη περιεκτικότητα σε άμορφα και τη μεγαλύτερη σε γκελενίτη, πυριτικό διασβέστιο, ασβεστίτη και μερβινίτη. Ο ΑΗΣ Καρδιάς εμφανίζει τα υψηλότερα ποσοστά σε μπραουνμυλλερίτη και άσβεστο, ενώ παρουσιάζει τα μικρότερα ποσοστά σε αστρίους και χαλαζία. Ο ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ έχει τη μεγαλύτερη μέση τιμή όσον αφορά τον ανυδρίτη, το περίκλαστο και το χαλαζία, ενώ ο ΑΗΣ Πτολεμαΐδας παρουσιάζει τις μικρότερες μέσες τιμές σε γκελενίτη, πυριτικό διασβέστιο και μερβινίτη και τη μεγαλύτερη σε μοσχοβίτη/ιλλίτη. Τέλος ο ΑΗΣ Αμυνταίου παρουσιάζει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άμορφα και αστρίους και τη μικρότερη σε ανυδρίτη, μπραουνμυλλερίτη, άσβεστο, ασβεστίτη, μοσχοβίτη και περίκλαστο, ενώ είναι και ο μόνος ΑΗΣ που εμφανίζονται πυρόξενοι. Ο αιματίτης εμφανίζει παρόμοιες τιμές σε όλους τους ΑΗΣ.

Από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκε, υπολογίστηκαν τα βασικά στατιστικά μεγέθη, τα οποία φαίνονται στον πίνακα 3.3 για το σύνολο των δειγμάτων των Ι.Τ. (132 δείγματα). Τα στατιστικά μεγέθη που παρουσιάζονται είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση, καθώς και ο συντελεστής μεταβλητότητας κάθε φάσης, όπως και η ελάχιστη και μέγιστη τιμή κάθε φάσης. Στον πίνακα 3.4 δίνονται οι συντελεστές συσχέτισης Pearson των ορυκτολογικών φάσεων μεταξύ τους, ενώ στην εικόνα 3.3 παρουσιάζονται τα θηκογράμματα (διαγράμματα Box and Whisker) του συνόλου των δειγμάτων Ι.Τ., όπου εμφανίζεται το εύρος διακύμανσης, τα ποσοστιαία σημεία και επισημαίνονται οι μη αναμενόμενες ή πιθανά ακραίες τιμές. Στο Παράρτημα Γ, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα

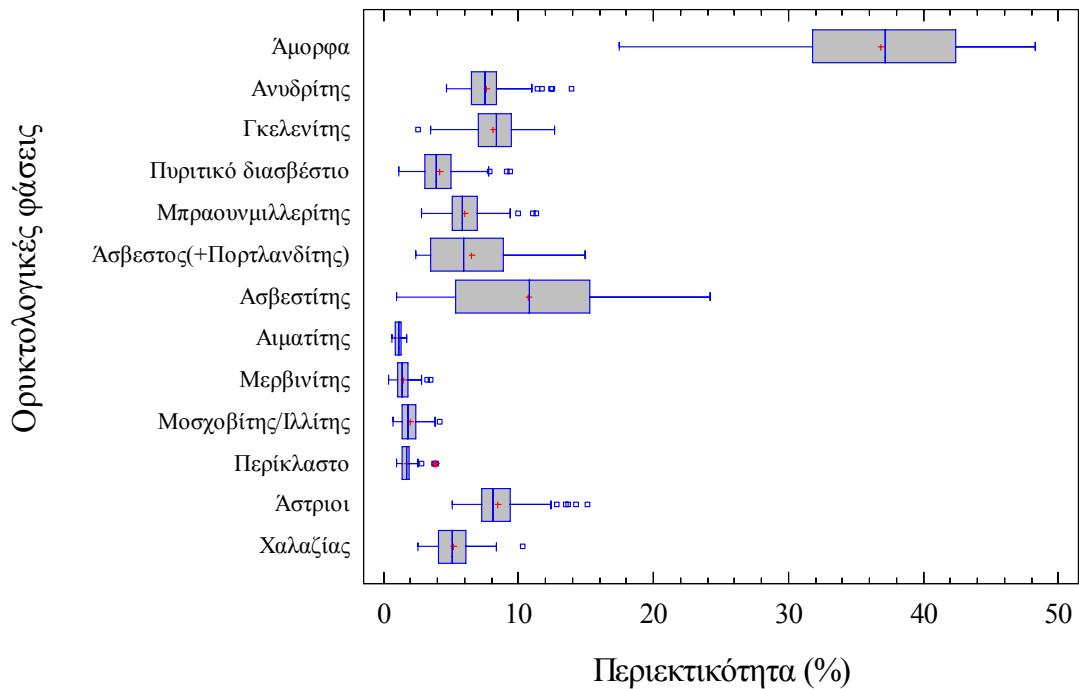
στατιστικά μεγέθη (Πίνακες Γ.1 - Γ.4), καθώς και τα θηκογράμματα (Εικόνες Γ.1 - Γ.4) ανά κατηγορία δειγμάτων, καθώς και ανά ΑΗΣ (Πίνακες Γ.5 - Γ.9, Εικόνες Γ.5 - Γ.9).

Πίνακας 3.3: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων 132 δειγμάτων των ιπταμένων τεφρών (I.T.) των ΑΗΣ, συνολικά, του ΛΚΠ-Α.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεστίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
Μέση τιμή (%)	36.8	7.6	8.1	4.2	6.0	6.5	10.7	1.1	1.5	1.9	1.7	8.5	5.2
Τυπική απόκλιση (%)	6.9	1.6	2.0	1.6	1.6	3.2	6.0	0.2	0.5	0.7	0.5	1.9	1.4
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	18.8	21.5	25.2	39.0	25.9	49.3	55.7	20.0	37.4	36.9	27.2	22.2	27.0
Ελάχιστη τιμή (%)	17.5	4.7	2.6	1.1	2.8	2.4	1.0	0.6	0.4	0.7	1.0	5.1	2.6
Μέγιστη τιμή (%)	48.3	13.9	12.7	9.4	11.3	14.9	24.2	1.7	3.5	4.2	3.9	15.1	10.3

Από τον πίνακα 3.3 προκύπτει ότι, ενώ το εύρος των τιμών (μέγιστη-ελάχιστη τιμή) είναι σχετικά μεγάλο, η διακύμανση των δειγμάτων των I.T. είναι σχετικά μικρή, όπως αποτυπώνεται και από τους συντελεστές μεταβλητότητας. Η ερμηνεία του γεγονότος αυτού είναι ότι, η περιεκτικότητα των ορυκτολογικών φάσεων κυμαίνεται πλησίον της μέσης τιμής, χωρίς να υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις. Η διαπίστωση αυτή επαληθεύεται και από την εικόνα 3.3, όπου απεικονίζονται οι τιμές της περιεκτικότητας των ορυκτολογικών φάσεων για το σύνολο των δειγμάτων των I.T. με τη βοήθεια θηκογραμμάτων, χωρίς να εμφανίζονται μη αναμενόμενες τιμές.

Από την παραστατική απεικόνιση της κατανομής των ορυκτολογικών φάσεων (Εικόνα 3.3) με τη βοήθεια θηκογραμμάτων, παρατηρείται ότι γενικά η μέση τιμή (σταυρός), συμπίπτει με τη διάμεσο, δηλαδή οι τιμές βρίσκονται εκατέρωθεν της μέσης τιμής σε σχετικά αντίστοιχες αποστάσεις με μικρές αποκλίσεις. Σημαντικά μεγαλύτερο εύρος διασποράς εμφανίζουν τα άμορφα και ο ασβεστίτης, ενώ δεν εμφανίζουν μη αναμενόμενες τιμές ή πιθανά ακραίες τιμές. Από τις υπόλοιπες φάσεις ο ανυδρίτης και οι άστριοι παρουσιάζουν ένα μικρό αριθμό μη αναμενόμενων τιμών, όπως συμβαίνει και για το μπραουνμυλλερίτη, το περίκλαστο και το πυριτικό διασβέστιο. Τα δείγματα που εμφανίζουν απόκλιση σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα, προέρχονται από τον ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ. Πιθανή αιτία της απόκλισης αυτής είναι η διαφοροποίηση του λιγνιτικού καυσίμου στον εν λόγω ΑΗΣ.



Εικόνα 3.3: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης όλων των δειγμάτων Ι.Τ. των ΑΗΣ, συνολικά, του ΛΚΠ-Α με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.

Πέρα από τα βασικά στατιστικά μεγέθη και την απεικόνισή τους σε θηκογράμματα, υπολογίστηκαν και οι συντελεστές συσχέτισης Pearson ( $r$ ) των ορυκτολογικών φάσεων μεταξύ τους για τα δείγματα των Ι.Τ., όπως φαίνεται στον πίνακα 3.4. Η συσχέτιση των ορυκτολογικών φάσεων των Ι.Τ. μεταξύ τους, έδειξε ότι υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση του γκελενίτη με το πυριτικό διασβέστιο ( $r=0.73$ ), ενώ μέτρια αρνητική συσχέτιση για τα άμορφα με το πυριτικό διασβέστιο ( $r=-0.70$ ), το γκελενίτη ( $r=-0.68$ ) και τον μπραουνμυλλερίτη ( $r=-0.58$ ). Μέτρια θετική συσχέτιση υπάρχει για το μερβινίτη με το γκελενίτη ( $r=0.55$ ) και το πυριτικό διασβέστιο ( $r=0.51$ ), όπως και για το μπραουνμυλλερίτη με το περίκλαστο ( $r=0.70$ ). Επίσης, ισχυρή αρνητική συσχέτιση εμφανίζει ο ασβεστίτης με την άσβεστο ( $r=-0.71$ ), ενώ αρνητική συσχέτιση μέτριου βαθμού εμφανίζει ο χαλαζίας με το γκελενίτη ( $r=-0.52$ ). Οι υπόλοιποι συνδυασμοί οδηγούν σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει συσχέτιση ή είναι ασθενής.

Πίνακας 3.4: Συντελεστές συσχέτισης (r) των ορυκτολογικών φάσεων μεταξύ τους για το σύνολο των δειγμάτων των Ι.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
Άμορφα	1												
Ανυδρίτης	-0.34	1											
Γκελενίτης	-0.68	-0.22	1										
Πυριτικό διασβέστιο	-0.70	0.01	0.73	1									
Μπραουνμυλλερίτης	-0.58	0.28	0.48	0.44	1								
Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	-0.10	0.14	0.05	0.27	0.48	1							
Ασβεσίτης	-0.42	0.04	0.18	-0.01	-0.06	-0.71	1						
Αιματίτης	-0.08	0.11	0.23	0.20	0.05	-0.07	-0.09	1					
Μερβινίτης	-0.46	0.06	0.55	0.51	0.39	0.24	-0.14	0.33	1				
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	0.18	0.12	-0.38	-0.30	-0.28	0.14	-0.08	-0.13	-0.20	1			
Περίκλαστο	-0.38	0.31	0.27	0.33	0.70	0.36	-0.17	-0.02	0.38	-0.36	1		
Άστριοι	-0.17	-0.24	0.22	0.25	-0.20	0.08	-0.30	-0.08	0.11	-0.12	-0.12	1	
Χαλαζίας	0.22	0.24	-0.52	-0.30	-0.49	-0.19	-0.13	0.06	-0.26	0.22	-0.21	0.18	1

### 3.1.2 Εργαστηριακές τέφρες

Τα αποτελέσματα του ποσοτικού προσδιορισμού των ορυκτολογικών φάσεων των δειγμάτων της Ε.Τ., παρουσιάζονται συνοπτικά στους πίνακες 3.5 και 3.6. Τα αναλυτικά αποτελέσματα των περιεκτικοτήτων των ορυκτολογικών φάσεων και το απόλυτο σφάλμα των τιμών, του συνόλου των δειγμάτων των Ε.Τ. παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β (Πίνακες Β.8-Β.16). Στον πίνακα 3.5 παρουσιάζεται η μέση τιμή με την τυπική απόκλιση των ορυκτολογικών φάσεων των δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου ανά κατηγορία δειγματοληψίας (σε παρένθεση ο αριθμός των δειγμάτων ανά κατηγορία), ενώ στον πίνακα 3.6 παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα (μέση τιμή και τυπική απόκλιση) των ορυκτολογικών φάσεων ανά ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α (σε παρένθεση ο αριθμός των δειγμάτων ανά ΑΗΣ).

Πίνακας 3.5: Περιεκτικότητα των ορυκτολογικών φάσεων (% κ.β., μέση τιμή και τυπική απόκλιση 105 δειγμάτων) ανά κατηγορία δείγματος των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Φάσεις	Δείγματα			
	Δίωρα (24)	Ημερήσια (8)	Εβδομαδιαία (5)	Μηνιαία (68)
Άμορφα	29.2 ± 11.4	25.6 ± 6.3	19.8 ± 3.4	22.7 ± 9.2
Ανυδρίτης	9.3 ± 2.1	9.1 ± 1.9	8.0 ± 0.3	7.5 ± 1.1
Γκελενίτης	3.4 ± 2.4	-	8.9 ± 2.1	3.2 ± 1.7
Πυριτικό διασβέστιο	8.2 ± 2.5	7.8 ± 2.5	8.3 ± 0.7	8.5 ± 2.2
Μπραουνμυλλερίτης	7.2 ± 3.6	5.7 ± 3.1	8.3 ± 0.7	8.1 ± 2.3
Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	13.8 ± 6.6	12.0 ± 4.4	15.7 ± 2.8	9.4 ± 4.7
Ασβεστίτης	2.5 ± 0.9	2.7 ± 0.5	3.1 ± 0.7	12.1 ± 12.7
Αιματίτης	2.3 ± 0.7	2.6 ± 0.5	1.9 ± 0.1	2.2 ± 0.4
Μερβινίτης	1.6 ± 0.8	1.3 ± 0.3	3.8 ± 0.5	1.7 ± 0.4
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	4.3 ± 1.1	6.5 ± 1.4	3.6 ± 0.4	5.1 ± 1.3
Περίκλαστο	1.8 ± 0.2	1.8 ± 0.3	2.1 ± 0.2	2.0 ± 0.3
Άστριοι	6.5 ± 3.2	8.8 ± 1.6	9.4 ± 1.6	9.4 ± 2.4
Χαλαζία	8.0 ± 2.0	11.0 ± 2.8	6.9 ± 1.4	7.1 ± 1.3
Τάλκης	3.3 ± 1.1	5.2 ± 2.0	-	2.5 ± 1.1

Από τον πίνακα 3.5 παρατηρείται ότι στα εβδομαδιαία δείγματα, η περιεκτικότητα του γκελενίτη και του μερβινίτη είναι υψηλότερη σε σχέση με τα δίωρα, ημερήσια και μηνιαία δείγματα, ενώ επίσης δεν εμφανίζεται τάλκης. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι τα δείγματα της Ε.Τ. αυτά έχουν παραχθεί στα εργαστήρια της ΔΕΗ, οδηγεί στην εκτίμηση ότι υπάρχει η πιθανότητα να μην έχουν καεί στη θερμοκρασία των 750 °C, όπως τα υπόλοιπα του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας, αλλά σε υψηλότερη. Επιπλέον, στον πίνακα 3.5, παρατηρείται ότι η τυπική απόκλιση του ασβεστίτη στα μηνιαία δείγματα είναι μεγαλύτερη από την μέση τιμή, το οποίο οφείλεται στο μεγάλο εύρος που καλύπτει η περιεκτικότητά του στα δείγματα αυτά.

Στον πίνακα 3.6, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό σε άμορφα εμφανίζεται στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό γκελενίτη, αστρίων και χαλαζία στον ΑΗΣ Αμυνταίου. Οι υπόλοιπες φάσεις παρουσιάζουν παραπλήσια αποτελέσματα μεταξύ των ΑΗΣ. Αξιοσημείωτο είναι ότι στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, η περιεκτικότητα του ασβεστίτη εμφανίζει πολύ μεγάλη διακύμανση, καθώς η τυπική απόκλιση έχει τιμή μεγαλύτερη από τη μέση τιμή, το οποίο οφείλεται στα μηνιαία δείγματα από τον ΑΗΣ, όπως φάνηκε από τον πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.6: Περιεκτικότητα των ορυκτολογικών φάσεων (% κ.β., μέση τιμή και τυπική απόκλιση 136 δειγμάτων) των Ε.Τ. ανά ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

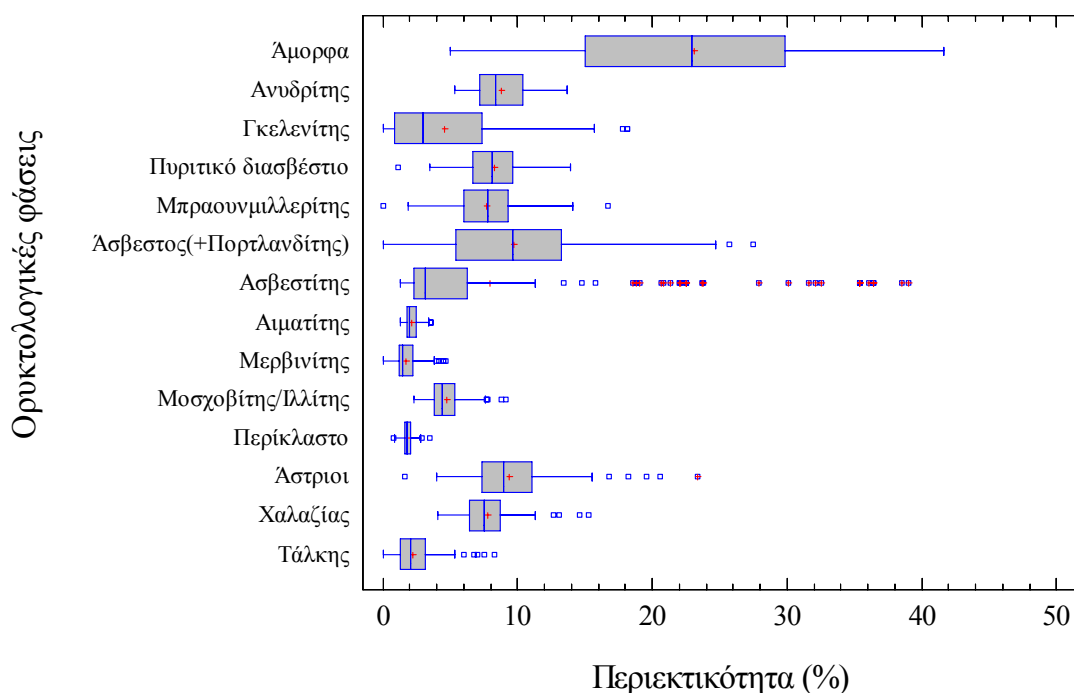
	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (105)	ΑΗΣ Καρδιάς (4)	ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (4)	ΑΗΣ Πτολεμαΐδας (19)	ΑΗΣ Αμυνταίου (4)
Άμορφα	24.3 ± 9.7	19.6 ± 4.4	20.7 ± 7.6	18.6 ± 4.3	18.7 ± 7.4
Ανυδρίτης	8.1 ± 1.6	8.0 ± 0.9	12.5 ± 0.5	11.3 ± 1.0	12.6 ± 1.0
Γκελενίτης	3.6 ± 2.4	10.8 ± 4.4	9.2 ± 2.5	11.7 ± 2.4	14.1 ± 4.6
Πυριτικό διασβέστιο	8.4 ± 2.3	8.1 ± 2.0	8.3 ± 1.6	8.3 ± 2.0	6.4 ± 3.9
Μπραουνμυλλερίτης	7.7 ± 2.7	10.9 ± 1.6	9.5 ± 2.0	7.5 ± 1.4	4.2 ± 1.6
Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	10.9 ± 5.5	11.9 ± 3.6	7.0 ± 2.7	5.2 ± 2.9	1.8 ± 1.0
Άσβεσίτης	8.7 ± 11.2	4.5 ± 1.1	4.5 ± 1.2	5.9 ± 3.5	3.2 ± 1.8
Αιματίτης	2.2 ± 0.5	2.0 ± 0.1	1.9 ± 0.1	1.7 ± 0.2	2.5 ± 0.6
Μερβινίτης	1.7 ± 0.7	2.9 ± 0.9	2.5 ± 1.0	2.7 ± 0.9	1.5 ± 0.7
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	4.9 ± 1.4	3.2 ± 0.8	3.6 ± 1.0	4.3 ± 0.8	4.7 ± 0.8
Περίκλαστο	1.9 ± 0.3	2.4 ± 0.3	2.8 ± 0.5	1.2 ± 0.2	1.2 ± 0.4
Άστριοι	8.7 ± 2.8	8.1 ± 0.9	9.3 ± 4.1	11.3 ± 2.2	18.6 ± 4.4
Χαλαζίας	7.6 ± 1.9	7.1 ± 1.0	8.6 ± 1.5	8.6 ± 1.2	9.3 ± 1.3
Τάλκης	3.0 ± 1.4	-	-	1.8 ± 0.6	-
Πυρόξενος	-	-	-	-	3.3 ± 1.5

Από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του ποσοτικού προσδιορισμού των ορυκτολογικών φάσεων των δειγμάτων των Ε.Τ., υπολογίστηκαν τα βασικά στατιστικά μεγέθη των ορυκτολογικών φάσεων, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 3.7. Στην εικόνα 3.4 απεικονίζονται τα θηκογράμματα, όπου εμφανίζεται το εύρος διακύμανσης, τα ποσοστιαία σημεία και επισημαίνονται οι μη αναμενόμενες ή πιθανά ακραίες τιμές, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση των δειγμάτων των Ε.Τ. Τα βασικά στατιστικά μεγέθη ανά κατηγορία δειγμάτων, καθώς και ανά ΑΗΣ, όπως και τα θηκογράμματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ (Πίνακες Γ.10-Γ.18 και Εικόνες Γ.10- Γ.18).

Πίνακας 3.7: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων 136 δειγμάτων Ε.Τ. των ΑΗΣ, συνολικά, του ΛΚΠ-Α

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
Μέση τιμή (%)	23.2	8.8	4.6	8.3	7.7	9.7	7.9	2.1	1.7	4.7	1.8	9.4	7.8	2.2
Τυπική απόκλιση (%)	9.1	2.1	4.7	2.1	2.7	5.6	10.0	0.5	1.0	1.3	0.5	3.3	1.8	1.6
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	39.4	23.7	102.5	26.9	35.3	57.5	126.4	23.7	58.9	28.2	24.9	35.2	23.5	72.9
Ελάχιστη τιμή (%)	5.0	5.3	0.0	1.1	0.0	0.0	1.3	1.3	0.0	2.3	0.8	1.6	4.1	0.0
Μέγιστη τιμή (%)	41.6	13.7	18.1	13.9	16.7	27.5	39	3.6	4.7	9.1	3.5	23.4	15.3	8.3

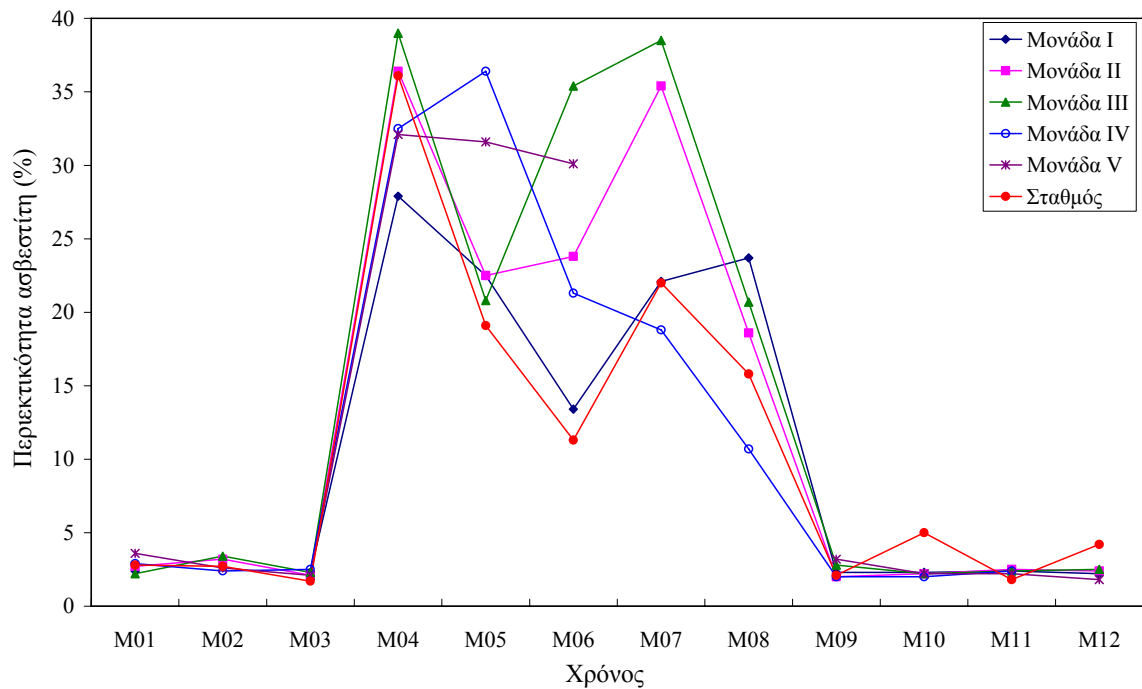
Από τον πίνακα 3.7, φαίνεται ότι οι εργαστηριακές τέφρες παρουσιάζουν πολύ έντονες διακυμάνσεις, σύμφωνα με το συντελεστή μεταβλητότητας, όσον αφορά τον ασβεστίτη και τον γκελενίτη, ενώ χαρακτηρίζονται από μέτριες διακυμάνσεις των φάσεων του τάλκη, της ασβέστου και του μερβινίτη. Η έντονη διακύμανση στα ποσοστά του ασβεστίτη αποτυπώνεται και στο θηκόγραμμα (Εικόνα 3.4), όπου εμφανίζονται αρκετές πιθανές ακραίες τιμές (μεγαλύτερες από τις μη αναμενόμενες).



Εικόνα 3.4: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής σύστασης όλων των δειγμάτων των Ε.Τ. που προέρχονται τους ΑΗΣ, συνολικά, του ΛΚΠ-Α, σε θηκογράμματα.

Μελετώντας τα αποτελέσματα των αναλύσεων, σε συνδυασμό με το χρόνο λήψης των δειγμάτων, παρατηρήθηκε ότι η παρουσία υψηλού ποσοστού ασβεστίτη στα δείγματα των Ε.Τ. εμφανίζεται στα μηνιαία δείγματα του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, όπως φαίνεται από το συντελεστή διακύμανσης και τα θηκογράμματα (Παράρτημα Γ, Πίνακας Γ.13, Εικόνα Γ.13). Παρατηρώντας αναλυτικότερα τα μηνιαία δείγματα του ΑΗΣ, προέκυψε ότι τα δείγματα της ίδιας χρονικής περιόδου (μηνιαία δείγματα του ίδιου μήνα), που προέρχονται από όλες τις μονάδες του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδες I, II, III, IV, V), όπως και το μέσο μηνιαίο δείγμα του σταθμού, εμφάνιζαν σχετικά υψηλότερες τιμές. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνεται και από το διάγραμμα της περιεκτικότητας του ασβεστίτη συναρτήσει του χρόνου (μήνας) δειγματοληψίας για κάθε μονάδα και για το μέσο δείγμα του σταθμού (Εικόνα 3.5). Η έντονη αυτή απόκλιση των τιμών της

περιεκτικότητας του ασβεστίτη, κατά μεγάλη πιθανότητα οφείλεται στο λιγνιτικό καύσιμο που τροφοδότησε τον ΑΗΣ τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Αντίστοιχος έλεγχος έγινε και για τις υπόλοιπες ορυκτολογικές φάσεις, όπου δεν υπήρχαν έντονες αποκλίσεις μεταξύ των δειγμάτων.



Εικόνα 3.5: Διάγραμμα απεικόνισης της μεταβολής της περιεκτικότητας του ασβεστίτη, χρονικά, για τα μηνιαία δείγματα του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

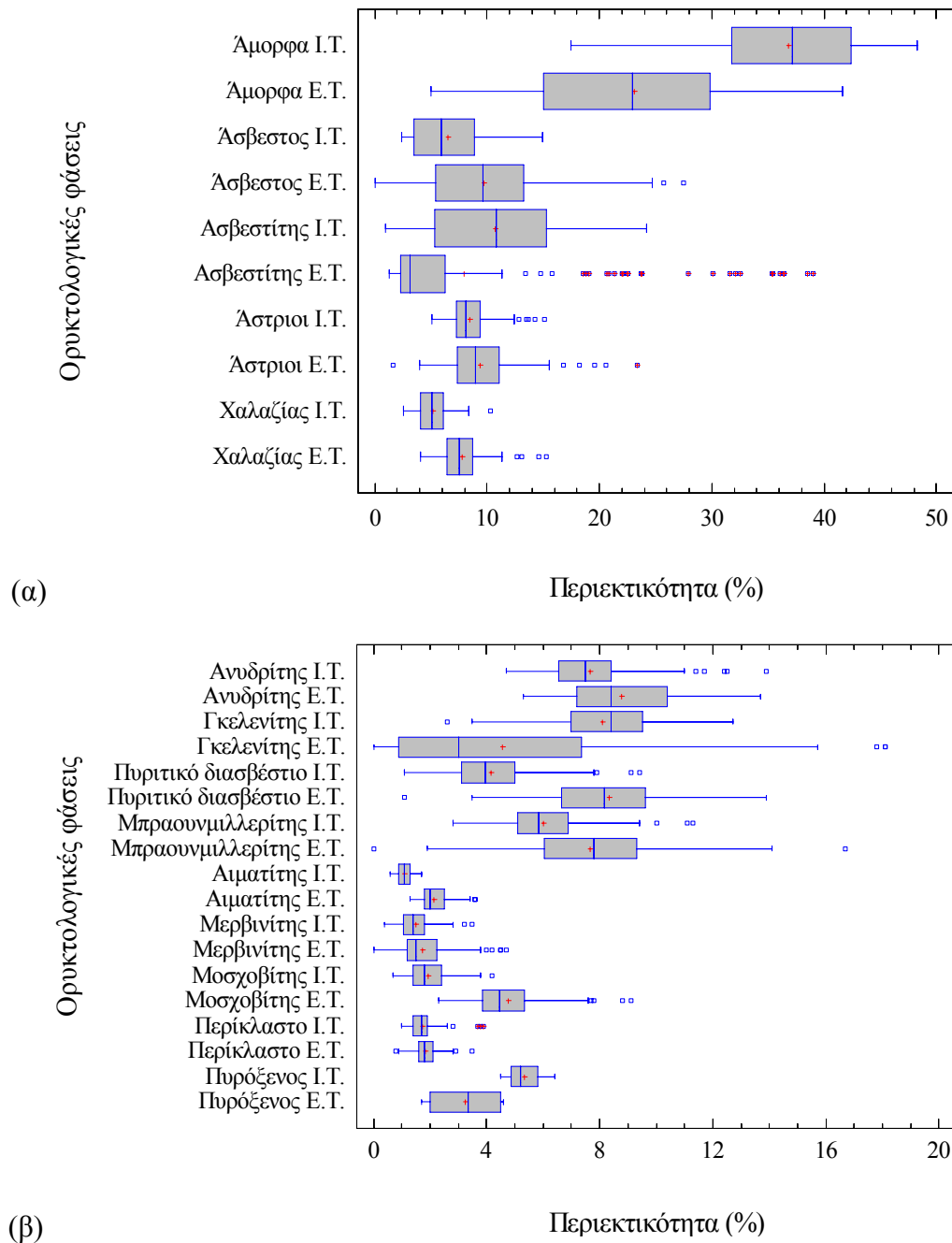
Στον πίνακα 3.8 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης Pearson των ορυκτολογικών φάσεων μεταξύ τους, όπως υπολογίστηκαν για τα δείγματα των Ε.Τ. Σύμφωνα με τον πίνακα 3.8 δεν προκύπτει κάποια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των ορυκτολογικών φάσεων των δειγμάτων των Ε.Τ. Μέτριες συσχετίσεις εμφανίζονται στο συνδυασμό των άμορφων με το πυριτικό διασβέστιο ( $r=-0.61$ ) και τον ασβεστίτη ( $r=-0.56$ ), του ανυδρίτη με το γκελενίτη ( $r=-0.56$ ), του μπραουνμυλλερίτη με το πυριτικό διασβέστιο ( $r=0.59$ ) και το μοσχοβίτη ( $r=-0.51$ ), του τάλκη με το γκελενίτη ( $r=-0.56$ ) και το μοσχοβίτη ( $r=0.58$ ), όπως και της άσβεστου(+πορτλανδίτη) με τον ασβεστίτη ( $r=-0.52$ ). Οι υπόλοιποι συνδυασμοί είτε δεν εμφανίζουν συσχέτιση είτε η συσχέτιση είναι ασθενής.

Πίνακας 3.8: Συντελεστές συσχέτισης (r) των ορυκτολογικών φάσεων μεταξύ τους για όλα τα δείγματα των Ε.Τ. των ΑΗΣ, συνολικά, του ΛΚΠ-Α.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
Άμορφα	1													
Ανυδρίτης	-0.21	1												
Γκελενίτης	-0.47	0.56	1											
Πυριτικό διασβέστιο	-0.61	-0.05	0.11	1										
Μπραουνμυλλερίτης	-0.49	-0.10	0.19	0.59	1									
Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	0.15	-0.21	-0.35	0.08	0.30	1								
Ασβεσίτης	-0.56	-0.26	-0.07	0.31	0.05	-0.52	1							
Αιματίτης	0.23	0.10	-0.34	-0.13	0.02	0.31	-0.38	1						
Μερβινίτης	-0.33	0.16	0.48	0.25	0.37	0.14	-0.15	-0.13	1					
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	0.35	-0.18	-0.46	-0.43	-0.51	0.12	-0.22	0.30	-0.36	1				
Περίκλαστο	-0.06	-0.36	-0.30	0.16	0.26	0.14	0.24	0.02	0.01	-0.15	1			
Άστριοι	-0.14	0.24	0.41	-0.24	-0.22	-0.44	-0.08	-0.11	0.02	0.11	-0.33	1		
Χαλαζίας	0.17	0.42	0.05	-0.33	-0.45	-0.09	-0.37	0.26	-0.16	0.45	-0.35	0.16	1	
Τάλκης	0.42	-0.12	-0.56	-0.28	-0.40	0.34	-0.33	0.41	-0.30	0.58	-0.13	-0.29	0.44	1

Όπως προκύπτει από τους πίνακες των ορυκτολογικών αναλύσεων και τη στατιστική ανάλυση του συνόλου των δειγμάτων των λιγνιτικών τεφρών, οι τιμές των ορυκτολογικών φάσεων παρουσιάζουν μέτριες διακυμάνσεις. Η διαφοροποίηση των ορυκτολογικών φάσεων και του άμορφου μεταξύ των δειγμάτων των Ι.Τ. με τα δείγματα των Ε.Τ., παρουσιάζεται στην εικόνα 3.6 (α και β).

Το ποσοστό του άμορφου στην Ι.Τ. είναι αυξημένο σε σχέση με το αντίστοιχο της Ε.Τ., το οποίο οφείλεται κατά μεγάλο ποσοστό στη διαδικασία δημιουργίας κάθε μορφής τέφρας (διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και διάρκειας καύσης, κ.α.). Η περιεκτικότητα του γκελενίτη στα δείγματα της Ε.Τ. είναι γενικά μικρότερη από την αντίστοιχη της Ι.Τ., με εξαίρεση κάποια δείγματα από τους ΑΗΣ Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου, τα οποία εμφανίζουν αρκετά υψηλές τιμές. Η παρουσία του γκελενίτη, θεωρητικά, δεν θα έπρεπε να είναι εμφανής σε σημαντικά ποσοστά στα δείγματα των Ε.Τ. λόγω θερμοκρασίας καύσης, καθώς ο γκελενίτης δημιουργείται σε θερμοκρασίες άνω των 850 °C, αλλά λόγω της παρουσίας και των άλλων κρυσταλλικών φάσεων που συνυπάρχουν, η κινητική της αντίδρασης διαφοροποιείται.



Εικόνα 3.6: Συγκριτική απεικόνιση των ορυκτολογικών φάσεων μεταξύ των δειγμάτων των I.T. και των E.T., με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.

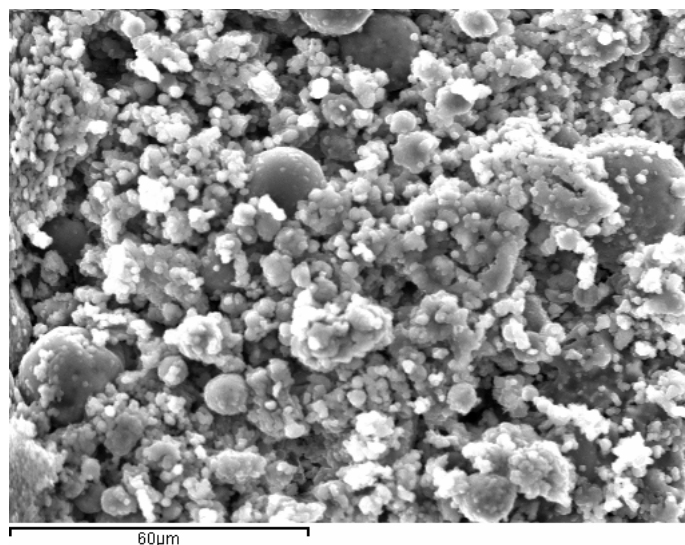
Η παρουσία του ασβεστίτη, η οποία είναι αυξημένη στα δείγματα της I.T. σε σχέση με της E.T. είναι θεωρητικά μη αναμενόμενη. Η ερμηνεία όμως αυτού του γεγονότος, είναι ότι, τα μεν δείγματα της I.T. αναλύθηκαν μετά την πάροδο μεγάλου χρονικού διαστήματος (κάποιων ετών) από τη δειγματοληψία, ενώ τα δείγματα της E.T. αναλύθηκαν από μερικές ώρες μέχρι κάποιες ελάχιστες μέρες έπειτα από την καύση στο εργαστήριο, ώστε να μην έχουν προλάβει να αλλοιωθούν, καθώς και από το διαφορετικό τρόπο δημιουργίας της κάθε τέφρας. Η χρονική αυτή διαφορά είχε ως αποτέλεσμα τα

δείγματα της Ι.Τ. τα οποία κατά την καύση είχαν υψηλά ποσοστά σε ελεύθερο  $\text{CaO}$  (άσβεστο), να προσροφήσουν υγρασία από το περιβάλλον και να αντιδράσουν ώστε να δημιουργηθεί ένυδρη άσβεστος (πορτλανδίτης,  $\text{Ca(OH)}_2$ ) και στη συνέχεια ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ). Η αντίδραση αυτή είναι αναπόφευκτη, σε διάρκεια κάποιων μηνών έως ετών, παρόλο που είχε προβλεφθεί η φύλαξη σε “αεροστεγή” συσκευασία κατά τη δειγματοληψία. Για τα δείγματα της Ε.Τ., η μόνη αντίδραση που σε κάποια από τα δείγματα εμφανίστηκε ήταν η δημιουργία πορτλανδίτη. Αυτός είναι και ο λόγος που παρουσιάζονται μαζί στα αποτελέσματα. Ομοίως, είναι εμφανής και η αυξημένη παρουσία του μοσχοβίτη/ιλλίτη στην Ε.Τ. σε σχέση με την Ι.Τ. Επιπροσθέτως, σε αρκετά δείγματα των Ε.Τ. εμφανίζεται τάλκης, καθώς η θεωρητική θερμοκρασία που αρχίζει να αποσυντίθεται προς ενστατίτη και άμορφο  $\text{SiO}_2$ , σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, αρχίζει στους  $800^\circ\text{C}$ , η οποία όμως μειώνεται λόγω συνύπαρξης με τις άλλες φάσεις.

### ***3.1.3 Μορφολογία, ειδική επιφάνεια και κοκκομετρική κατανομή των σωματιδίων των τεφρών (Ι.Τ. και Ε.Τ.).***

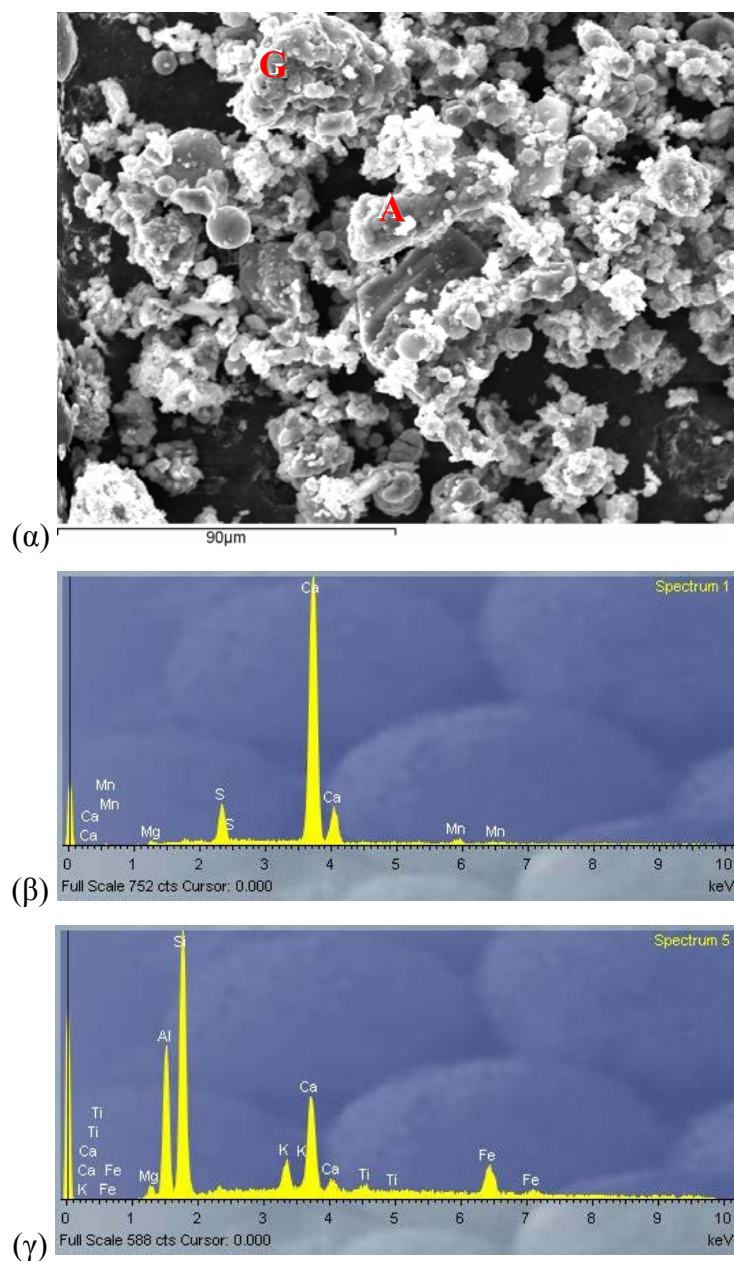
#### ***Α. Μορφολογία***

Η παρατήρηση της μορφολογίας των σωματιδίων των λιγνιτικών τεφρών με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, πραγματοποιήθηκε κυρίως σε δείγματα Ι.Τ. και δευτερευόντως σε δείγματα Ε.Τ.. Από τη μελέτη για τα δείγματα των Ι.Τ., όπως φαίνεται και από τις εικόνες του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης που παρουσιάζονται ενδεικτικά (Εικόνες 3.7 - 3.13), προέκυψε ότι ως επί το πλείστον, οι τέφρες αποτελούνται



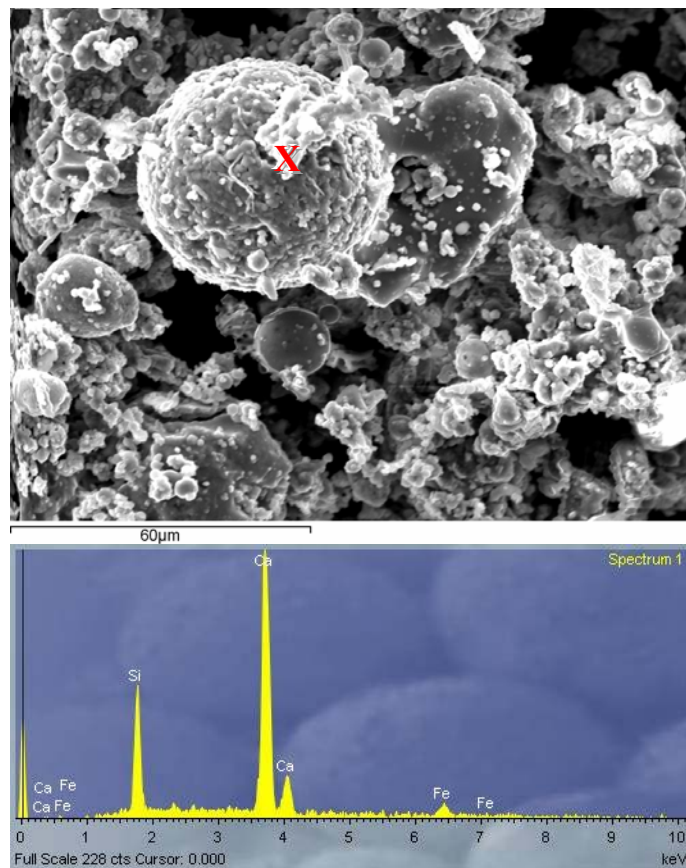
Εικόνα 3.7: Μέγεθος και μορφή σωματιδίων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

από σφαιρικά, σφαιροειδή ή ακανόνιστου σχήματος σωματίδια τα οποία πολλές φορές έχουν συγκολλημένα πάνω τους άλλα σωματίδια πολύ μικρότερου μεγέθους  $\ll 1\mu\text{m}$ . Η μορφή και το μέγεθος των σωματιδίων των δειγμάτων Ι.Τ. από τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου απεικονίζεται στην εικόνα 3.7.



Εικόνα 3.8: Σωματίδια Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (α). Σημείο Α: Κόκκος ανυδρίτη σύμφωνα με το φάσμα στοιχειακής ανάλυσης (β), Περιοχή G: Αργιλοπυριτικές φάσεις και υαλώδη φάση σύμφωνα με το φάσμα στοιχειακής ανάλυσης (γ).

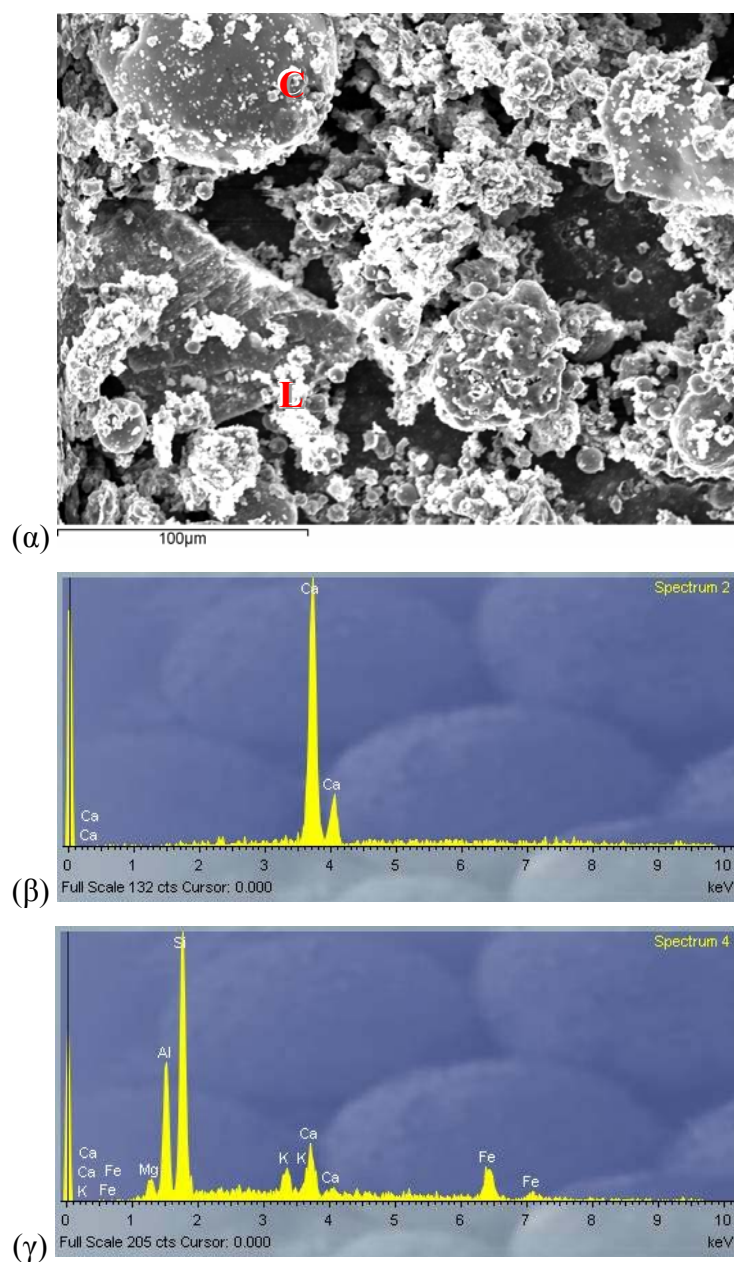
Επίσης, παρατηρήθηκαν σωματίδια με επιμήκη, πεπλατυσμένα ή πρισματικά σχήματα (Εικόνα 3.8), που αντιστοιχούν, για παράδειγμα, στις ορυκτολογικές φάσεις του ανυδρίτη και του χαλαζία. Τα συσσωματώματα ακανόνιστων ή σφαιροειδών σωματιδίων πολλές φορές αντιστοιχούσαν σε άσβεστο. Τα περισσότερα από τα σφαιρικά ή σφαιροειδή σωματίδια, περιλάμβαναν τα χημικά στοιχεία Ca, Si, Al, K, Mg και Fe, σύμφωνα με τη στοιχειακή ανάλυση που έγινε. Επιπλέον, παρατηρούνται συσσωματώματα κόκκων, οι οποίοι έχουν ως κύριο συστατικό το ασβέστιο, αφού σύμφωνα με τη στοιχειακή ανάλυση, προκύπτουν θειο-ασβεστούχες φάσεις (ανυδρίτης), ασβεστο-αργιλοπυριτικές φάσεις και ασβεστοπυριτικές φάσεις (π.χ. πυριτικό διασβέστιο, εικόνα 3.9 ή γκελενίτης και άστριοι, εικόνα 3.10).



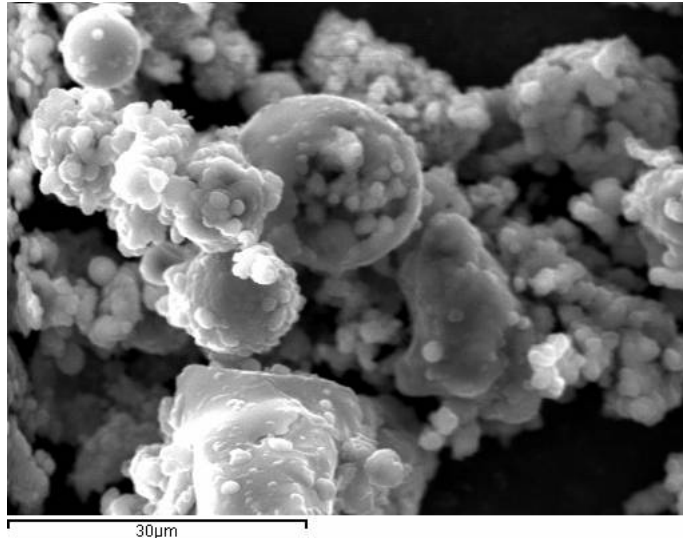
Εικόνα 3.9: Πυριτικό διασβέστιο (X, Ca:Si=2:1) πάνω σε σφαιρόλιθο, από δείγμα Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Τα ακανόνιστου σχήματος τετηγμένα σωματίδια, όπως και τα περισσότερα σφαιρικά ή σφαιροειδή αντιστοιχούν σε υαλώδη φάση (άμορφα), τα οποία μπορεί να είναι είτε κενά (κενόσφαιρες), είτε να εμπεριέχουν άλλα μικρότερου μεγέθους σωματίδια

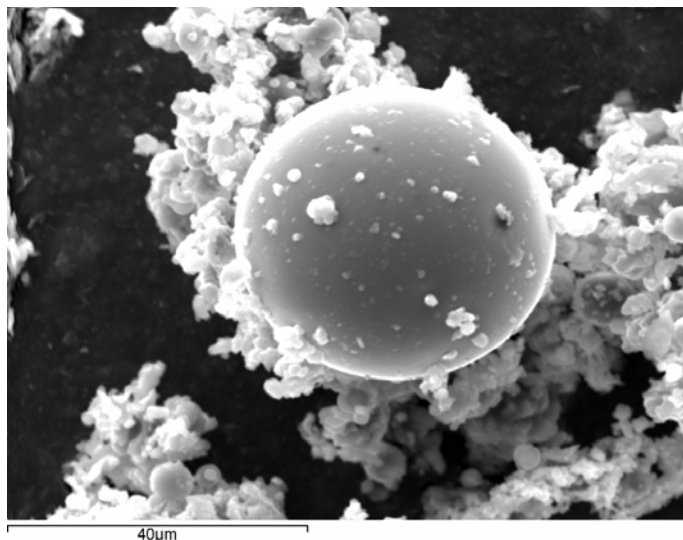
(πληρόσφαιρες, εικόνες 3.11 και 3.13). Τα συσσωματώματα, καθώς και τα σφαιρικά ή σφαιροειδή σωματίδια εμφανίζονται υπό μορφή σφαιρόλιθων (Εικόνες 3.9 και 3.12).



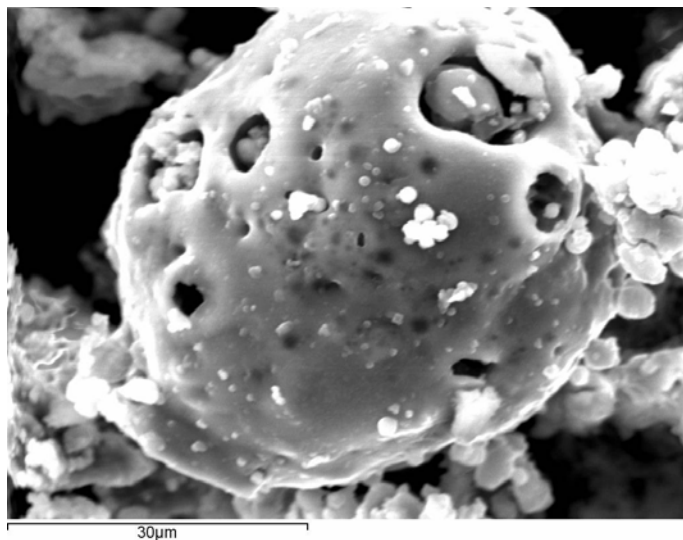
Εικόνα 3.10: Κρύσταλλοι ασβέστου (L) από δείγμα I.T. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (α), σε συνύπαρξη με φάσεις αργιλοπυριτικής σύστασης (C, π.χ. γκελενίτης, άστριοι) και υαλώδη φάση σύμφωνα με τα φάσματα της στοιχειακής ανάλυσης (β, γ).



Εικόνα 3.11: Πληρόσφαιρα σε Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

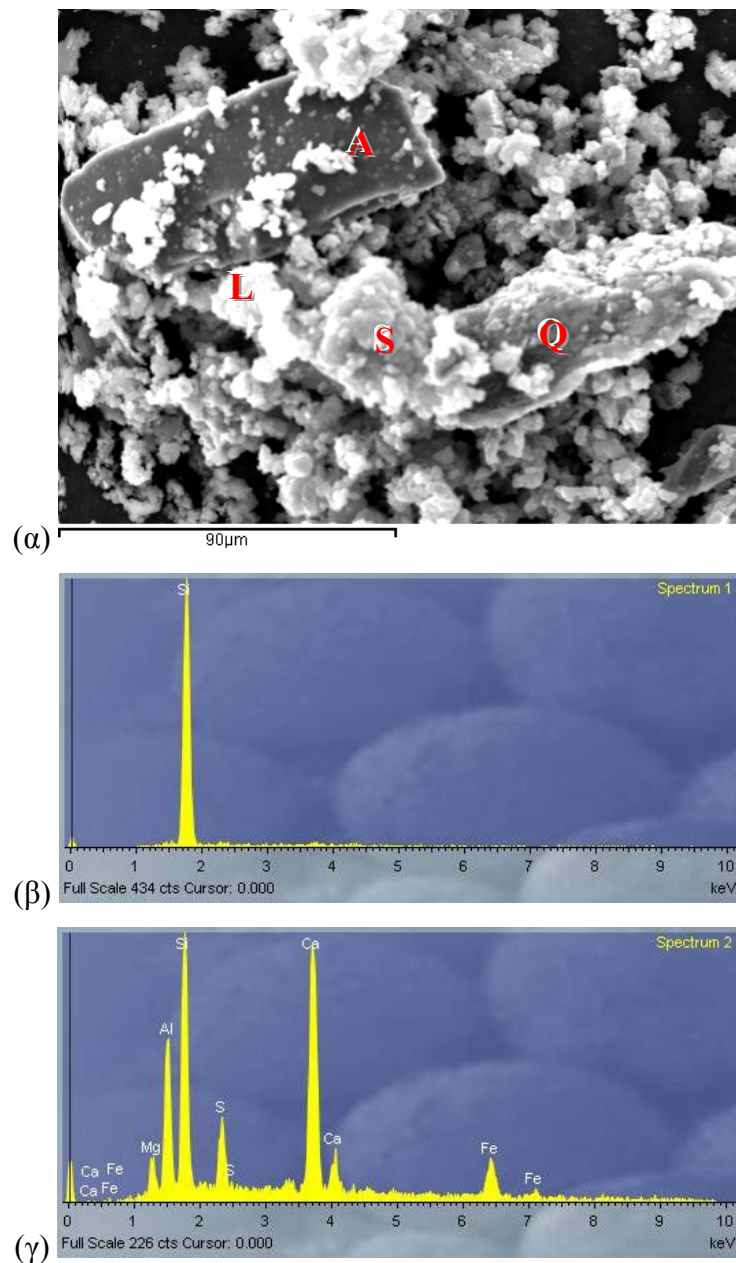


Εικόνα 3.12: Σφαιρόλιθος υαλώδους φάσης από δείγμα Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.



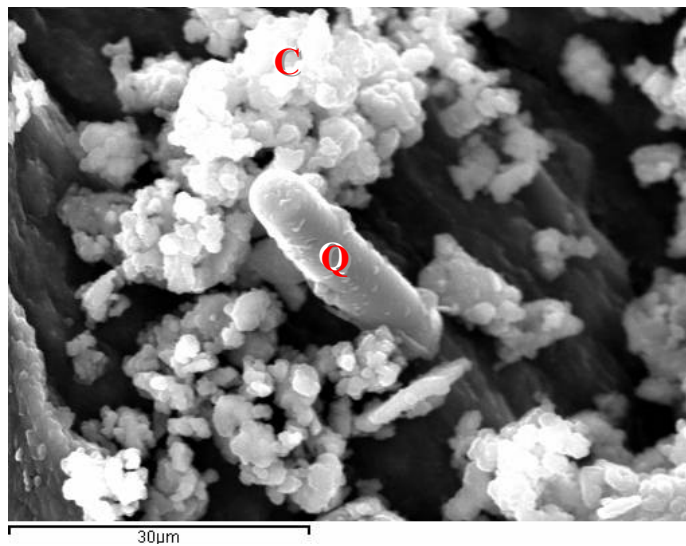
Εικόνα 3.13: Τηγμένο υλικό με εγκλωβισμένα σωματίδια στο εσωτερικό του από δείγμα Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Τα σωματίδια των δειγμάτων των Ε.Τ. που μελετήθηκαν είχαν σφαιροειδή, επίμηκες, πεπλατυσμένο ή ακανόνιστο σχήμα (Εικόνες 3.14 - 3.15), ενώ υπήρχαν και συσσωματώματα κόκκων. Από τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης προέκυψε ότι, τα σφαιροειδή σωματίδια αντιστοιχούσαν κυρίως σε άσβεστο, τα επιμήκη σε χαλαζία, ενώ τα πεπλατυσμένα σε ανυδρίτη ή άστριο (Εικόνα 3.14 α και β).



Εικόνα 3.14: Κόκκοι χαλαζία (Q) σύμφωνα με το φάσμα στοιχειακής ανάλυσης (β), ανυδρίτη (A) και αργιλοπυριτικών φάσεων (S) όπως αστρίων και γκελενίτη σύμφωνα με το φάσμα στοιχειακής ανάλυσης (γ), καθώς και ασβέστου (L) σε δείγμα Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Στα δείγματα των Ε.Τ., δεν παρατηρήθηκαν ή δεν ήταν διακριτοί όπως στα αντίστοιχα των Ι.Τ., κόκκοι σφαιρικοί ή ακανόνιστοι οι οποίοι να αντιστοιχούν σε υαλώδη φάση ή σε τηγμένο υλικό. Με βάση την παρατήρηση αυτή, μπορεί να προκύψει το συμπέρασμα ότι το άμορφο που αποτελεί μέρος των τεφρών, δεν είναι μόνο η υαλώδης τετηγμένη φάση που προκύπτει κατά την καύση και ταχεία ψύξη, αλλά μέρος της ονομαζόμενης άμορφης κρυσταλλικά φάσης, αποτελεί ο άκαυστος άνθρακας, καθώς και τα σωματίδια της τέφρας τα οποία είναι κρυπτοκρυσταλλικά σε μέγεθος  $\ll 1\mu\text{m}$ . Έτσι, οι παραπάνω φάσεις συνυπολογίζονται στην άμορφη κρυσταλλικά φάση, κατά τη διερεύνηση με τη βοήθεια της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ.



Εικόνα 3.15: Κόκκοι χαλαζία (Q) και κόκκοι ασβέστου (C) από δείγμα Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

### *Β. Ειδική επιφάνεια*

Η ειδική επιφάνεια κατά Blaine μελετήθηκε σε επιλεγμένα δείγματα Ι.Τ. Για τον προσδιορισμό της ειδικής επιφάνειας, απαιτήθηκε αρχικά ο προσδιορισμός της πυκνότητας των δειγμάτων Ι.Τ., ο οποίος έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο της ληκύθου. Η πυκνότητα των δειγμάτων των Ι.Τ. που μετρήθηκε, κυμαίνεται μεταξύ 2,18 και 2,63 g/cm<sup>3</sup>.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση προσδιορισμού της ειδικής επιφάνειας σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C204, όπου μετρήθηκε ο χρόνος που απαιτήθηκε να διέλθει ο αέρας από το στρώμα της Ι.Τ. στο κελί της συσκευής προσδιορισμού, μελετήθηκε η ειδική επιφάνεια σε 22 δείγματα Ι.Τ. Σε κάθε δείγμα, πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις

μέτρησης του χρόνου, όπου χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των τιμών για τον προσδιορισμό της ειδικής επιφάνειας σύμφωνα με το πρότυπο, ενώ το σφάλμα που προσδιορίστηκε αφορά τις αποκλίσεις μεταξύ των ακραίων (από τις μετρήσεις χρόνου) τιμών της ειδικής επιφάνειας. Τα αποτελέσματα της ειδικής επιφάνειας (λεπτότητα κατά Blaine) φαίνονται στον πίνακα 3.9.

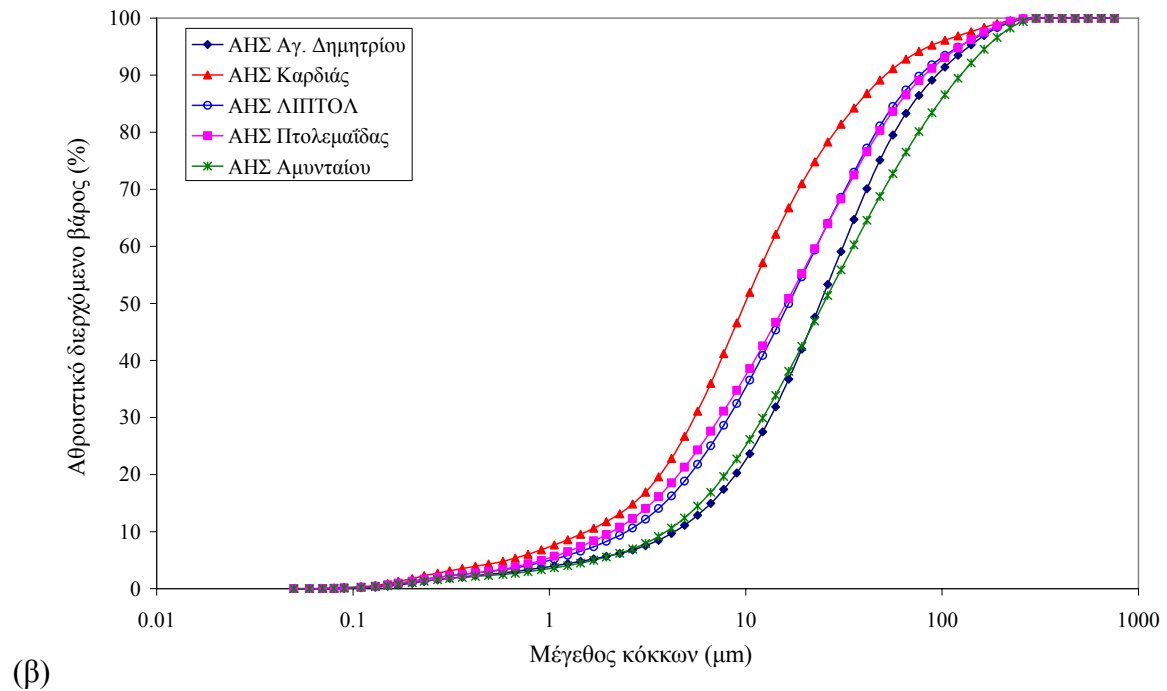
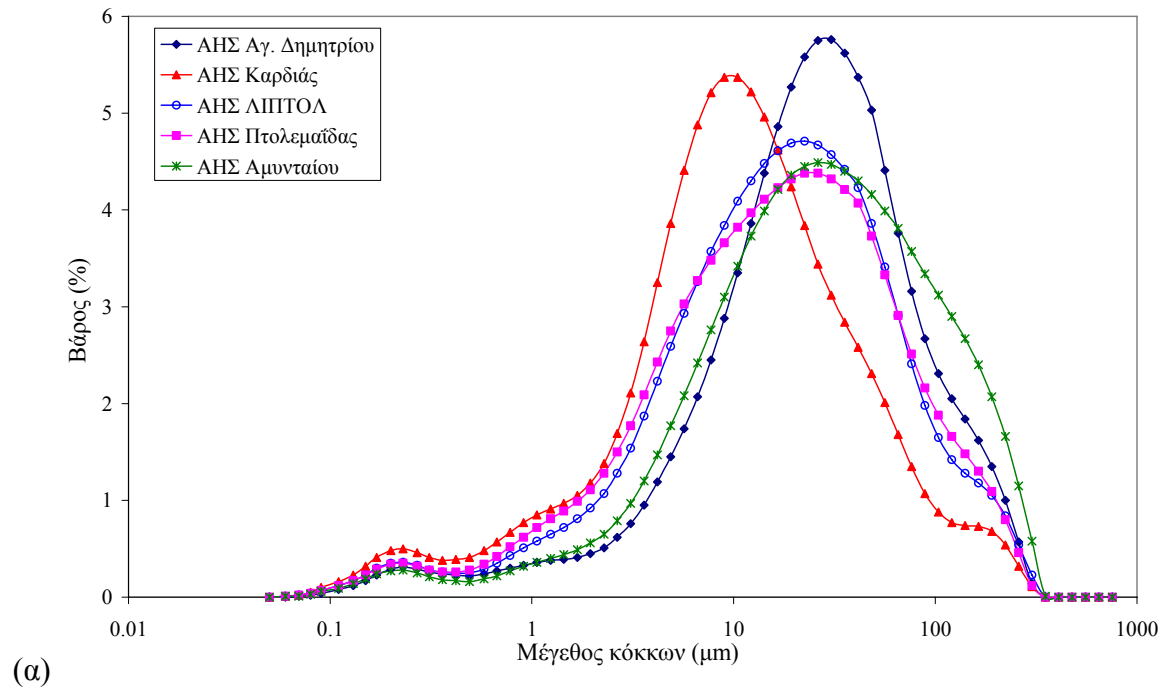
Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα προσδιορισμού της ειδικής επιφάνειας (λεπτότητα κατά Blaine), σε δείγματα Ι.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

ΑΗΣ	Δείγμα	S (cm <sup>2</sup> /g)
Αγ. Δημητρίου	FA_2h04	3028 ± 33
	FA_2h08	2768 ± 30
	FA_2h12	3100 ± 34
	FA_dI2	2513 ± 28
	FA_dII2	3469 ± 38
	FA_dIV1	3179 ± 35
	FA_mI01	2798 ± 31
	FA_mI06	3141 ± 34
	FA_mI07	2879 ± 32
	FA_mI10	2676 ± 29
	FA_mII04	2477 ± 27
	FA_mII11	2743 ± 30
	FA_mII12	2986 ± 33
	FA_ms01	2707 ± 30
	FA_ms11	2915 ± 32
	FAd_AD4	3580 ± 39
Καρδιάς	FAd_K3	5174 ± 57
ΛΙΠΤΟΛ	FAd_L3	4687 ± 51
Πτολεμαΐδας	FAd_PTII4	4263 ± 47
	FAd_PTII4	4548 ± 49
	FAd_PTIV2	4814 ± 53
Αμυνταίου	FAd_AM4	3335 ± 37

Από τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της ειδικής επιφάνειας, προκύπτει ότι οι Ι.Τ. των ΑΗΣ της Δυτικής Μακεδονίας, εμφανίζουν αυξημένες τιμές που σε μερικές περιπτώσεις πλησιάζουν τις αντίστοιχες του τσιμέντου (για το τσιμέντο τύπου Portland είναι 3200-3500 cm<sup>2</sup>/g.). Έτσι, παρατηρείται ότι όσον αφορά τους ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου και Αμυνταίου οι τιμές της ειδικής επιφάνειας κυμαίνονται μεταξύ 2477 και 3580 cm<sup>2</sup>/g, οι ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ και Πτολεμαΐδας εμφανίζουν τιμές > 4263 cm<sup>2</sup>/g, φτάνοντας στον ΑΗΣ Καρδιάς στα 5174 cm<sup>2</sup>/g.

### Γ. Κοκκομετρική κατανομή

Η κοκκομετρική κατανομή μελετήθηκε επίσης σε δείγματα Ι.Τ., καθώς σχετίζεται με τις πιθανές χρήσεις των Ι.Τ., καθώς και για περιβαλλοντικούς λόγους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται, ενδεικτικά από κάθε ΑΗΣ, τα διαγράμματα κοκκομετρικής κατανομής και αθροιστικώς διερχόμενου των δειγμάτων Ι.Τ., που προέκυψαν (Εικόνα 3.16 α, β).



Εικόνα 3.16: Κοκκομετρική κατανομή (α) και αθροιστικώς διερχόμενο (β) δειγμάτων Ι.Τ. από τους ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, Καρδιάς, ΛΙΠΤΟΛ, Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου.

Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει, ότι οι Ι.Τ. που παράγεται στους ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, είναι κατά το μεγαλύτερο ποσοστό λεπτόκοκκες, καθώς στα περισσότερα δείγματα που μελετήθηκαν, το 90% του υλικού είχε μέγεθος κόκκων  $< 120\mu\text{m}$ . Γενικά, στα δείγματα του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου το 90% του βάρους είχε μέγεθος μικρότερο από  $90\mu\text{m}$ , ενώ η κατανομή των δειγμάτων του ΑΗΣ Καρδιάς έδειξε ότι, η Ι.Τ. που προκύπτει από τον ΑΗΣ έχει μέσο μέγεθος κόκκων περίπου  $10\mu\text{m}$  και το 90% του βάρους  $< 60\mu\text{m}$ . Τα δείγματα του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ και Πτολεμαΐδας έχουν παρόμοια κατανομή και το 90% του μεγέθους κόκκων ήταν μικρότερο από  $90\mu\text{m}$ , ενώ τα δείγματα του ΑΗΣ Αμυνταίου εμφανίζουν τη μεγαλύτερου εύρους κατανομή με το 90% του μεγέθους των κόκκων να είναι  $< 130\mu\text{m}$ .

Επιπρόσθετα, ελέγχοντας την κατανομή του μεγέθους των κόκκων των δειγμάτων Ι.Τ. των ΑΗΣ σε σύγκριση με την ειδική επιφάνεια, που προσδιορίστηκε, παρατηρείται ότι, στον ΑΗΣ Καρδιάς που υπάρχει το μικρότερο μέγεθος κόκκων, είχαμε τη μεγαλύτερη τιμή στην ειδική επιφάνεια, ενώ οι υπόλοιποι ΑΗΣ, οι οποίοι έχουν μικρότερες τιμές ειδικής επιφάνειας, παρουσιάζουν αυξομειώσεις ανάλογα τη συνολική κατανομή του μεγέθους των κόκκων.

### 3.2 Χημική σύσταση

Με τη βοήθεια του φασματοσκοπίου ακτίνων-Χ φθορισμού και τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.3, προσδιορίστηκαν τα κύρια στοιχεία (υπό μορφή οξειδίων)  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ , όπως και τα ιχνοστοιχεία (υπό μορφή οξειδίων)  $\text{BaO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SrO}$ . Επίσης, προσδιορίστηκε η απώλεια πύρωσης (LOI) των δειγμάτων. Από τα οξείδια αυτά, σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά της τέφρας εμφανίζουν των κύριων στοιχείων και πιο συγκεκριμένα τα  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  και  $\text{TiO}_2$ , τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν κατά τη στατιστική ανάλυση των δειγμάτων των λιγνιτικών τεφρών.

Τα δείγματα στα οποία προσδιορίστηκε η χημική σύσταση είναι τα ίδια για τα οποία προσδιορίστηκε και η ορυκτολογική σύσταση (τα δείγματα και από τις δυο δειγματοληψίες) και το πλήθος τους ήταν 268. Από αυτά, τα 132 αφορούν τα δείγματα της Ι.Τ και τα 136 της Ε.Τ. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, αρχικά των δειγμάτων των Ι.Τ. και κατόπιν των δειγμάτων των Ε.Τ.

### 3.2.1. Ιπτάμενες τέφρες

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. παρουσιάζονται συνοπτικά στους πίνακες 3.10 και 3.11, ενώ τα αναλυτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β (Πίνακες Β.17 - Β.24). Στον πίνακα 3.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (μέση τιμή με τυπική απόκλιση) των χημικών αναλύσεων του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, όπου υπήρξε δειγματοληψία σε διαφορετικές κατηγορίες δειγμάτων (δύωρα, ημερήσια, εβδομαδιαία και μηνιαία, όπου σε παρένθεση είναι ο αριθμός των δειγμάτων ανά κατηγορία). Στον πίνακα 3.11 παρουσιάζεται η διαφοροποίηση της περιεκτικότητας (μέση τιμή με την τυπική απόκλιση) της χημικής σύστασης μεταξύ των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α (σε παρένθεση είναι ο αριθμός των δειγμάτων κάθε ΑΗΣ). Η στατιστική ανάλυση των χημικών αναλύσεων για το σύνολο των δειγμάτων των Ι.Τ., φαίνεται στον πίνακα 3.12, όπου παρουσιάζονται τα βασικά στατιστικά μεγέθη, δηλαδή η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, ο συντελεστής μεταβλητότητας κάθε οξειδίου, όπως και η ελάχιστη και μέγιστη τιμή κάθε οξειδίου. Στον πίνακα 3.13 δίνονται οι συντελεστές συσχέτισης που υπολογίστηκαν μεταξύ των οξειδίων για τα δείγματα των Ι.Τ. Τέλος, στην εικόνα 3.17 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης της περιεκτικότητας των οξειδίων των δειγμάτων Ι.Τ., με τη βοήθεια των θηκογραμμάτων (διαγράμματα Box and Whisker).

Πίνακας 3.10: Περιεκτικότητα των οξειδίων (% κ.β., μέση τιμή και τυπική απόκλιση 96 δειγμάτων) ανά κατηγορία δείγματος των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Οξείδια	Δείγματα			
	Δύωρα (12)	Ημερήσια (21)	Εβδομαδιαία (41)	Μηνιαία (58)
SiO <sub>2</sub>	24.89 ± 3.10	23.56 ± 2.46	27.46 ± 1.95	21.79 ± 1.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.04 ± 1.01	10.28 ± 0.76	11.45 ± 0.81	9.73 ± 0.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.57 ± 0.54	8.33 ± 0.79	6.36 ± 0.46	7.78 ± 0.57
CaO	32.16 ± 4.21	34.40 ± 2.65	37.49 ± 2.25	36.32 ± 1.65
MgO	5.32 ± 0.49	4.95 ± 0.39	4.61 ± 0.41	4.59 ± 0.30
SO <sub>3</sub>	6.85 ± 0.71	6.09 ± 0.70	3.85 ± 0.16	5.68 ± 0.37
Na <sub>2</sub> O	0.96 ± 0.35	1.06 ± 0.15	1.08 ± 0.13	1.04 ± 0.14
K <sub>2</sub> O	0.73 ± 0.12	0.74 ± 0.07	1.07 ± 0.15	0.72 ± 0.05
TiO <sub>2</sub>	0.54 ± 0.07	0.51 ± 0.05	0.52 ± 0.03	0.44 ± 0.03
MnO	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.04 ± 0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.59 ± 0.10	0.52 ± 0.09	0.56 ± 0.04	0.46 ± 0.05
LOI	8.03 ± 1.37	9.28 ± 1.64	5.10 ± 0.33	11.25 ± 1.77

Από τον πίνακα 3.10, προκύπτει ότι τα εβδομαδιαία δείγματα εμφανίζουν τη μεγαλύτερη σχετικά περιεκτικότητα σε SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και τη μικρότερη σε Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

SO<sub>3</sub>, LOI. Από την άλλη, τα μηνιαία δείγματα εμφανίζουν τη μικρότερη περιεκτικότητα σε SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και τη μεγαλύτερη σε LOI. Τέλος, στα δίωρα δείγματα εμφανίζεται η μικρότερη περιεκτικότητα σε CaO, αλλά και η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>. Στα υπόλοιπα οξείδια δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι, τα εβδομαδιαία δείγματα αντιστοιχούν στη νεότερη δειγματοληψία, ενώ τα δίωρα, ημερήσια και μηνιαία στην παλαιότερη, ερμηνεύοντας την εν μέρει διαφοροποίηση της σύστασης του λιγνιτικού καυσίμου μεταξύ των δυο δειγματοληψιών.

Πίνακας 3.11: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση κύριων οξειδίων των χημικών στοιχείων των 132 δειγμάτων των Ι.Τ., συνολικά, ανά ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

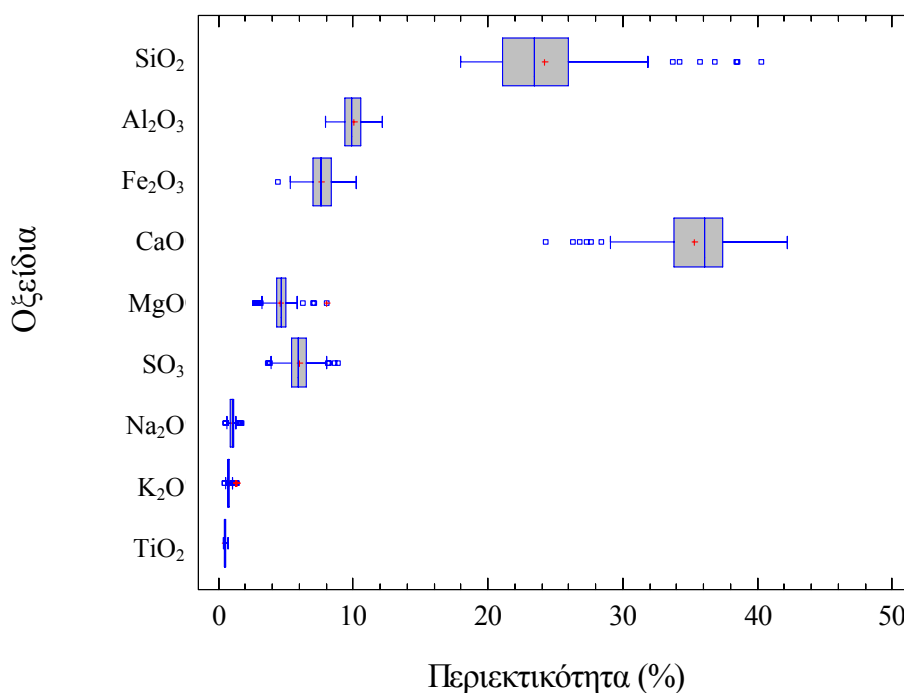
	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (96)	ΑΗΣ Καρδιάς (4)	ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (7)	ΑΗΣ Πτολεμαΐδας (21)	ΑΗΣ Αμυνταίου (4)
SiO <sub>2</sub> (%)	22.86 ± 2.47	27.52 ± 0.55	25.73 ± 6.72	26.36 ± 3.72	38.49 ± 1.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	10.11 ± 0.82	10.40 ± 0.26	9.23 ± 0.70	9.52 ± 0.91	11.41 ± 0.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	7.92 ± 0.77	6.55 ± 0.32	7.61 ± 1.23	6.67 ± 1.28	6.27 ± 0.80
CaO (%)	35.44 ± 2.77	34.56 ± 1.31	35.68 ± 3.22	36.16 ± 2.72	26.86 ± 2.12
MgO (%)	4.76 ± 0.43	3.31 ± 0.26	6.46 ± 0.97	3.43 ± 0.77	4.41 ± 0.30
SO <sub>3</sub> (%)	5.82 ± 0.78	6.38 ± 0.71	7.28 ± 1.06	6.83 ± 1.20	4.75 ± 0.70
Na <sub>2</sub> O (%)	1.04 ± 0.18	0.96 ± 0.05	0.84 ± 0.21	0.85 ± 0.18	1.63 ± 0.06
K <sub>2</sub> O (%)	0.74 ± 0.10	0.99 ± 0.05	0.73 ± 0.23	1.01 ± 0.24	1.06 ± 0.09
TiO <sub>2</sub> (%)	0.47 ± 0.06	0.57 ± 0.06	0.49 ± 0.11	0.56 ± 0.04	0.56 ± 0.06
MnO (%)	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.49 ± 0.08	0.61 ± 0.06	0.52 ± 0.12	0.61 ± 0.05	0.60 ± 0.06
LOI (%)	10.10 ± 2.34	7.68 ± 1.69	5.21 ± 1.40	7.66 ± 1.48	3.44 ± 0.67

Από τον πίνακα 3.11, προκύπτει ότι ο ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου εμφανίζει το μικρότερο ποσοστό σε SiO<sub>2</sub>, ενώ ο ΑΗΣ Αμυνταίου το μεγαλύτερο. Η περιεκτικότητα σε CaO είναι υψηλή με αυξομειώσεις στους ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, Καρδιάς, ΛΙΠΤΟΛ και Πτολεμαΐδας, ενώ είναι αρκετά μικρότερη στον ΑΗΣ Αμυνταίου. Επίσης ο ΑΗΣ Αμυνταίου εμφανίζει ελαφρώς μεγαλύτερη μέση τιμή σε Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O και K<sub>2</sub>O συγκριτικά με τους άλλους ΑΗΣ και τη μικρότερη σε Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Για τα οξείδια αυτά, οι αποκλίσεις μεταξύ των άλλων ΑΗΣ είναι μικρές. Τα υπόλοιπα χημικά στοιχεία εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές μεταξύ των ΑΗΣ. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται μεταξύ των δειγμάτων των ΑΗΣ οφείλονται στην διαφοροποίηση του λιγνιτικού καυσίμου με το οποίο τροφοδοτείται κάθε σταθμός.

Πίνακας 3.12: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ., συνολικά, όλων των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
Μέση τιμή (%)	24.18	10.02	7.62	35.28	4.58	6.04	1.01	0.80	0.49
Τυπική απόκλιση (%)	4.18	0.88	1.04	3.11	0.87	1.00	0.22	0.18	0.07
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	17.27	8.81	13.60	8.80	18.89	16.59	21.54	22.36	14.12
Ελάχιστη τιμή (%)	17.95	7.97	4.42	24.25	2.71	3.63	0.50	0.46	0.34
Μέγιστη τιμή (%)	40.24	12.14	10.24	42.23	8.02	8.92	1.69	1.37	0.68

Από τον πίνακα 3.12, προκύπτει ότι η διακύμανση των τιμών ανά οξείδιο είναι μικρή, σύμφωνα με το συντελεστή μεταβλητότητας, παρόλο που καλύπτουν ένα σχετικά μεγάλο εύρος τιμών (μέγιστη-ελάχιστη τιμή). Αντίστοιχα στην εικόνα 3.17 παρατηρείται ότι τα οξείδια CaO και SiO<sub>2</sub>, εμφανίζουν το μεγαλύτερο εύρος τιμών, καθώς παρουσιάζουν μη αναμενόμενες τιμές όπου είναι για το μεν SiO<sub>2</sub> ως προς τη μέγιστη τιμή, ενώ για το CaO ως προς την ελάχιστη τιμή. Μελετώντας τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ., παρατηρείται ότι, οι μη αναμενόμενες αυτές τιμές, αντιστοιχούν στα δείγματα του ΑΗΣ Αμυνταίου, του οποίου η σύσταση ελαφρώς διαφέρει, καθώς εμφανίζει μεγαλύτερα ποσοστά SiO<sub>2</sub> και μικρότερα σε CaO, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.11.



Εικόνα 3.17: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. όλων των ΑΗΣ, συνολικά, του ΛΚΠ-Α, σε θηκογράμματα.

Στον πίνακα 3.13 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης των κύριων οξειδίων που απαντώνται στην Ι.Τ., από τον οποίο προκύπτει ότι το  $\text{SiO}_2$  εμφανίζει ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το  $\text{CaO}$  ( $r=-0.74$ ), ενώ ισχυρή θετική συσχέτιση με το  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r=0.78$ ) και το  $\text{TiO}_2$  ( $0.74$ ). Η συσχέτιση είναι μέτρια αρνητική για το  $\text{CaO}$  με το  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $r=-0.61$ ), το  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $r=-0.51$ ) και το  $\text{TiO}_2$  ( $r=-0.57$ ), όπως είναι μέτρια και για το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  με το  $\text{MgO}$  ( $r=0.61$ ) και το  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r=-0.69$ ), για το  $\text{MgO}$  με το  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r=-0.56$ ) και για το  $\text{K}_2\text{O}$  με το  $\text{TiO}_2$  ( $r=0.66$ ).

Πίνακας 3.13: Συντελεστές συσχέτισης ( $r$ ) των οξειδίων μεταξύ τους, των δειγμάτων των Ι.Τ. όλων των ΑΗΣ, συνολικά, του ΛΚΠ-Α.

	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$
$\text{SiO}_2$	1								
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.45	1							
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	-0.47	0.22	1						
$\text{CaO}$	-0.74	-0.61	-0.01	1					
$\text{MgO}$	-0.18	0.31	0.61	-0.16	1				
$\text{SO}_3$	-0.03	-0.31	-0.01	-0.06	-0.03	1			
$\text{Na}_2\text{O}$	0.40	0.34	-0.07	-0.51	-0.02	-0.37	1		
$\text{K}_2\text{O}$	0.78	0.20	-0.69	-0.39	-0.56	0.08	0.20	1	
$\text{TiO}_2$	0.74	0.39	-0.20	-0.57	-0.17	0.23	0.06	0.66	1

### 3.2.2 Εργαστηριακές τέφρες

Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της χημικής σύστασης των δειγμάτων Ε.Τ., παρουσιάζονται συνοπτικά στους πίνακες 3.14 και 3.15. Στον πίνακα 3.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (μέση τιμή-τυπική απόκλιση) των δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου ανά κατηγορία δειγματοληψίας (εντός παρένθεσης ο αριθμός των δειγμάτων που αναλύθηκε ανά κατηγορία), ενώ στον πίνακα 3.15 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων (μέση τιμή με την τυπική απόκλιση) των δειγμάτων Ε.Τ. ανά ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α (σε παρένθεση ο αριθμός των δειγμάτων κάθε ΑΗΣ), ώστε να αναδειχθούν οι πιθανές διαφοροποιήσεις τους. Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β (Πίνακες Β.25-Β.33). Τα βασικά στατιστικά μεγέθη (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, συντελεστής μεταβλητότητας, ελάχιστη και μέγιστη τιμή) που απορρέουν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της χημικής σύστασης του συνόλου των δειγμάτων των Ε.Τ. παρουσιάζονται στον πίνακα 3.16.

Πίνακας 3.14: Περιεκτικότητα των οξειδίων (% κ.β., μέση τιμή και τυπική απόκλιση 105 δειγμάτων) ανά κατηγορία δείγματος, των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Οξείδια	Δείγματα			
	Δίωρα (24)	Ημερήσια (8)	Εβδομαδιαία (36)	Μηνιαία (68)
SiO <sub>2</sub>	26.09 ± 4.41	28.31 ± 2.97	28.92 ± 2.10	28.09 ± 2.86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.81 ± 2.11	12.73 ± 1.07	11.27 ± 1.14	11.57 ± 0.93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.54 ± 1.14	8.44 ± 0.81	4.70 ± 0.61	6.69 ± 1.15
CaO	32.57 ± 7.33	29.79 ± 5.10	34.77 ± 1.96	33.52 ± 2.72
MgO	5.14 ± 0.94	5.33 ± 0.72	4.25 ± 0.52	4.40 ± 0.78
SO <sub>3</sub>	6.08 ± 1.03	5.72 ± 1.12	5.51 ± 0.96	6.31 ± 0.95
Na <sub>2</sub> O	0.69 ± 0.36	0.71 ± 0.30	0.39 ± 0.08	0.36 ± 0.27
K <sub>2</sub> O	0.70 ± 0.13	0.78 ± 0.08	1.06 ± 0.12	0.99 ± 0.14
TiO <sub>2</sub>	0.47 ± 0.07	0.51 ± 0.05	0.52 ± 0.07	0.49 ± 0.04
MnO	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.06 ± 0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.56 ± 0.17	0.65 ± 0.13	0.27 ± 0.03	0.31 ± 0.16
LOI	7.28 ± 1.72	6.97 ± 2.06	8.50 ± 1.69	7.26 ± 2.95

Από τον πίνακα 3.14, προκύπτει ότι για τα οξείδια του SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> και MnO, δεν παρατηρούνται διαφοροποιήσεις μεταξύ των κατηγοριών των δειγμάτων. Όσον αφορά το CaO, εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές στα εβδομαδιαία και τις μικρότερες τιμές στα ημερήσια, αν και στα δίωρα δείγματα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση που σημαίνει ότι καλύπτει μεγαλύτερο εύρος τιμών. Τέλος, τα οξείδια του Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα δίωρα και ημερήσια δείγματα σε σχέση με τα εβδομαδιαία και μηνιαία. Γενικά, όσο μεγαλώνει το εύρος της χρονικής διάρκειας που αντιστοιχούν τα δείγματα, είναι αναμενόμενο να παρατηρείται μείωση του εύρους που καλύπτουν οι τιμές των αναλύσεων, όπως εν μέρει συμβαίνει και στην παρούσα εργασία. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι πιθανές διαφοροποιήσεις των εβδομαδιαίων δειγμάτων σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα μπορεί να οφείλονται στο λιγνιτικό καύσιμο, καθώς αντιστοιχούν στο λιγνίτη που συλλέχθηκε κατά τη δεύτερη δειγματοληψία. Επίσης, τα δείγματα αυτά, έχουν καεί για την παραγωγή Ε.Τ. στα εργαστήρια της ΔΕΗ, ενώ τα υπόλοιπα στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας.

Πίνακας 3.15: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των χημικών στοιχείων των 136 δειγμάτων των Ε.Τ., συνολικά, ανά ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

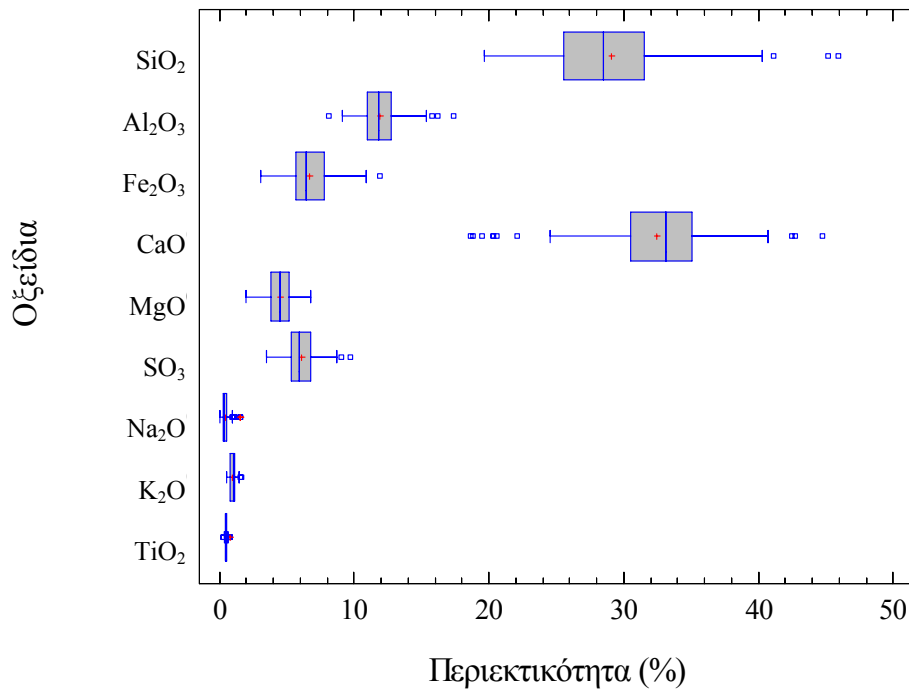
	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (105)	ΑΗΣ Καρδιάς (4)	ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (4)	ΑΗΣ Πτολεμαΐδας (19)	ΑΗΣ Αμυνταίου (4)
SiO <sub>2</sub> (%)	27.69 ± 3.34	28.16 ± 2.53	28.56 ± 5.98	34.25 ± 4.03	42.28 ± 4.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	11.70 ± 1.33	10.46 ± 0.79	11.34 ± 1.41	13.05 ± 1.58	13.83 ± 1.71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	7.15 ± 1.48	5.66 ± 0.41	5.42 ± 0.41	5.03 ± 0.77	5.38 ± 1.74
CaO (%)	33.08 ± 4.44	35.50 ± 2.37	30.81 ± 4.95	31.07 ± 2.98	22.44 ± 4.42
MgO (%)	4.63 ± 0.88	4.11 ± 0.79	5.17 ± 0.43	3.79 ± 0.96	3.43 ± 0.95
SO <sub>3</sub> (%)	6.17 ± 0.99	5.68 ± 0.25	8.93 ± 0.58	5.24 ± 0.89	6.95 ± 1.10
Na <sub>2</sub> O (%)	0.46 ± 0.32	0.42 ± 0.11	0.54 ± 0.28	0.45 ± 0.11	0.62 ± 0.17
K <sub>2</sub> O (%)	0.91 ± 0.19	1.03 ± 0.08	1.04 ± 0.13	1.19 ± 0.24	1.43 ± 0.10
TiO <sub>2</sub> (%)	0.49 ± 0.05	0.51 ± 0.05	0.55 ± 0.08	0.55 ± 0.14	0.61 ± 0.25
MnO (%)	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.05 ± 0.01	0.06 ± 0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.39 ± 0.20	0.28 ± 0.02	0.29 ± 0.03	0.25 ± 0.06	0.16 ± 0.09
LOI (%)	7.30 ± 2.59	8.38 ± 1.76	7.44 ± 1.79	4.84 ± 2.41	2.71 ± 1.23

Από τον πίνακα 3.15, προκύπτει η μικρή περιεκτικότητα σε SiO<sub>2</sub> στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου σε σχέση με του άλλους ΑΗΣ και κυρίως με τον ΑΗΣ Αμυνταίου που εμφανίζει αρκετά υψηλότερη τιμή. Η μέση τιμή του CaO είναι παραπλήσια για τους ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, Καρδιάς, ΛΙΠΤΟΛ και Πτολεμαΐδας, ενώ είναι σημαντικά μικρότερη στον ΑΗΣ Αμυνταίου. Τέλος, ο ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου εμφανίζει τη μεγαλύτερη μέση τιμή σε Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ενώ στον ΑΗΣ Αμυνταίου είναι οι σχετικά μεγαλύτερες μέσες τιμές σε Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O και K<sub>2</sub>O. Τα υπόλοιπα οξείδια δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των ΑΗΣ.

Πίνακας 3.16: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης όλων των δειγμάτων των Ε.Τ. των ΑΗΣ, συνολικά, του ΛΚΠ-Α

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
Μέση τιμή (%)	29.07	11.90	6.71	32.48	4.48	6.13	0.47	0.97	0.50
Τυπική απόκλιση (%)	4.74	1.49	1.59	4.62	0.94	1.13	0.29	0.23	0.08
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	16.32	12.51	23.72	14.23	21.05	18.39	63.09	23.16	16.82
Ελάχιστη τιμή (%)	19.64	8.09	3.08	18.68	2.01	3.47	0.01	0.50	0.25
Μέγιστη τιμή (%)	45.95	17.40	11.92	44.72	6.73	9.70	1.54	1.68	0.81

Από τον πίνακα 3.16 προκύπτει ότι τα κύρια οξείδια των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, με βάση τα δείγματα που αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία, εμφανίζουν μικρή διακύμανση σύμφωνα με το συντελεστή μεταβλητότητας. Εκτός από τα βασικά στατιστικά μεγέθη, κατασκευάστηκαν και τα θηκογράμματα (Εικόνα 3.18), όπου εμφανίζεται ίδια απεικόνιση όσον αφορά το CaO και το SiO<sub>2</sub>, όπως και στα δείγματα των Ι.Τ. Επίσης και για τα δείγματα των Ε.Τ., οι ακραίες τιμές όσον αφορά τα δυο αυτά οξείδια αντιστοιχούν στον ΑΗΣ Αμυνταίου.



Εικόνα 3.18: Απεικόνιση της χημικής σύστασης όλων των δειγμάτων των Ε.Τ. των ΑΗΣ, συνολικά, του ΛΚΠ-Α σε θηκογράμματα.

Η συσχέτιση των οξειδίων για τα δείγματα Ε.Τ., φαίνεται στον πίνακα 3.17. Όπως προκύπτει από τον πίνακα, για τα περισσότερα οξείδια δεν υπάρχει συσχέτιση ή είναι ασθενής. Το  $\text{SiO}_2$  εμφανίζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $r=0.71$ ) και ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το  $\text{CaO}$  ( $r=-0.76$ ), καθώς και το  $\text{Al}_2\text{O}_3$  παρουσιάζει ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το  $\text{CaO}$  ( $r=-0.75$ ). Μέτρια θετική συσχέτιση εμφανίζει το  $\text{SiO}_2$  με το  $\text{TiO}_2$  ( $r=0.58$ ), όπως μέτρια θετική συσχέτιση παρουσιάζει το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  με το  $\text{MgO}$  ( $r=0.52$ ) και μέτρια αρνητική το  $\text{TiO}_2$  με το  $\text{CaO}$  ( $r=-0.54$ ). Τέλος, το  $\text{K}_2\text{O}$  εμφανίζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το  $\text{SiO}_2$  ( $r=0.74$ ) και ισχυρή αρνητική με το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $r=-0.76$ ).

Πίνακας 3.17: Συσχέτιση των οξειδίων μεταξύ τους, για το σύνολο των δειγμάτων των Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, συνολικά.

	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$
$\text{SiO}_2$	1								
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.71	1							
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	-0.43	-0.12	1						
$\text{CaO}$	-0.76	-0.75	0.02	1					
$\text{MgO}$	-0.16	0.09	0.52	-0.26	1				
$\text{SO}_3$	0.01	-0.13	-0.04	-0.16	-0.09	1			
$\text{Na}_2\text{O}$	0.24	0.43	0.33	-0.44	0.36	-0.08	1		
$\text{K}_2\text{O}$	0.74	0.39	-0.76	-0.39	-0.47	0.16	-0.21	1	
$\text{TiO}_2$	0.58	0.35	-0.10	-0.54	0.19	0.12	0.12	0.43	1

Από τους πίνακες των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων προκύπτει ότι η χημική σύσταση των τεφρών παρουσιάζει διακυμάνσεις, οι οποίες όμως έχουν πολύ μικρές αποκλίσεις μεταξύ των δύο μορφών τεφρών (ιπτάμενη και εργαστηριακή). Έτσι, με ένα ακόμα τρόπο επιβεβαιώνεται ότι η χημική σύσταση της τέφρας εξαρτάται από την καύσιμη ύλη (λιγνίτη) που θα χρησιμοποιηθεί και όχι από τους διαδικασίες καύσης.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης τόσο της Ι.Τ. όσο και της Ε.Τ., προκύπτει ο ασβεστούχος χαρακτήρας των τεφρών των ΑΗΣ του ΑΚΠ-Α, καθώς παρουσιάζεται αρκετά αυξημένο το ποσοστό του  $\text{CaO}$ , στην πλειονότητα των δειγμάτων, ενώ εμφανίζονται παραπλήσιες διακυμάνσεις των ποσοστών στα επιμέρους οξείδια. Επιπρόσθετα, η αυξημένη παρουσία του  $\text{SiO}_2$ , καθώς και των  $\text{Al}_2\text{O}_3$  και  $\text{SO}_3$ , συνδέονται με τα αυξημένα ποσοστά στις ασβεστο-αργίλο-πυριτικές ορυκτές φάσεις και την έντονη παρουσία του ανυδρίτη. Οι διακυμάνσεις των οξειδίων ποικίλλουν μεταξύ των ΑΗΣ, αλλά από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, προκύπτει ότι η χημική σύσταση των δειγμάτων που μελετήθηκαν από τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για το λιγνιτικό κέντρο. Εξάιρεση αποτελούν, εν μέρει, τα δείγματα από τον ΑΗΣ Αμυνταίου, τα οποία εμφανίζουν κάποιες αποκλίσεις, οι οποίες οφείλονται στην τροφοδοσία του ΑΗΣ από ελαφρώς περισσότερο πυριτικού και λιγότερο ασβεστούχου χαρακτήρα καύσιμο. Θα πρέπει βέβαια να διευκρινιστεί ότι, για τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου πραγματοποιήθηκε πολλαπλάσιος αριθμός αναλύσεων λόγω των δειγμάτων που υπήρχαν διαθέσιμα από τον εν λόγω ΑΗΣ σε σχέση με τους υπόλοιπους.

### ***3.2.3 Τάση δημιουργίας επισκωριώσεων και επικαθήσεων με βάση τη χημική σύσταση***

Η τάση δημιουργίας επισκωριώσεων και επικαθήσεων που προέκυψε από τη χημική σύσταση των δειγμάτων των τεφρών που αναφέρονται στην παρούσα εργασία, σύμφωνα με τα όρια που έχουν βρεθεί για τους εμπειρικούς δείκτες πρόβλεψης της τάσης δημιουργίας επισκωριώσεων και επικαθήσεων από τις τέφρες, παρουσιάζεται στον πίνακα 3.18. Στον πίνακα εμφανίζονται η μέση τιμή, το εύρος τιμών και ο χαρακτηρισμός της τάσης συμπεριφοράς των δειγμάτων Ι.Τ. και Ε.Τ. που μελετήθηκαν.

Πίνακας 3.18: Χαρακτηρισμός της τάσης εκδήλωσης φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων των δειγμάτων I.T. και E.T. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α που μελετήθηκαν.

Παράμετρος	Δείγματα I.T.		Δείγματα E.T.	
	Μέση τιμή (Εύρος τιμών)	Τάση	Μέση τιμή (Εύρος τιμών)	Τάση
Λόγος βασικών-όξινων οξειδίων (B/A):	1,45 (0,73-2,10)	Μέτρια έως πολύ υψηλή	1,12 (0,53-2,17)	Μέτρια έως πολύ υψηλή
Δείκτης πυριτίου (SR):	0,34 (0,25-0,53)	Υψηλή	0,40 (0,25-0,61)	Υψηλή
Λόγος πυριτίου-αργιλίου:	2,42 (1,93-4,02)	Μέτρια έως υψηλή	2,44 (1,81-3,67)	Μέτρια έως υψηλή
Λόγος σιδήρου-ασβεστίου:	0,22 (0,14-0,35)	Μικρή έως μέτρια	0,21 (0,11-0,43)	Μικρή έως μέτρια
Δείκτης επισκωριώσεων (SI):	3,52 (1,27-6,69)	Μέτρια έως πολύ υψηλή	2,75 (1,21-5,72)	Μέτρια έως πολύ υψηλή
Δείκτης επικαθήσεων (FI):	1,45 (0,69-2,08)	Υψηλή έως πολύ υψηλή	0,50 (0,01-1,78)	Μικρή έως πολύ υψηλή
Δείκτης αλκαλικότητας (A):	1,54 (0,85-2,47)	Μικρή έως μέτρια	1,11 (0,56-2,93)	Μικρή έως μέτρια

Από τον πίνακα 3.18, προκύπτει ότι τα δείγματα των I.T. και των E.T. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, παρουσιάζουν γενικά μέτρια έως υψηλή τάση δημιουργίας φαινομένων επισκωριώσεων και επικαθήσεων σύμφωνα με τη χημική τους σύσταση. Μελετώντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών των δεικτών, προέκυψε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό τόσο των δειγμάτων των I.T., όσο και των δειγμάτων των E.T. κατατάσσεται, γενικά, στην κατηγορία της υψηλής τάσης δημιουργίας φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων, όσον αφορά το λόγο βασικών-όξινων οξειδίων και το δείκτη πυριτίου, ενώ για το δείκτη επισκωριώσεων το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων βρίσκεται στην περιοχή της πολύ υψηλής τάσης. Αντίστοιχα, για το δείκτη επικαθήσεων η πλειονότητα των δειγμάτων των I.T. βρίσκεται στην πολύ υψηλή τάση, ενώ για τα δείγματα των E.T. τα αποτελέσματα είναι κατανομημένα σε όλο το εύρος τάσεων με το μεγαλύτερο ποσοστό να εμφανίζει μέτρια τάση δημιουργίας επικαθήσεων. Για το λόγο σιδήρου-ασβεστίου το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων είναι στην περιοχή της μικρής τάσης, ενώ για το λόγο πυριτίου-αργιλίου στη μέτρια. Τέλος, ο δείκτης αλκαλικότητας με εξαίρεση έξι δείγματα της I.T. και δυο της E.T., τα οποία εμφανίζουν μέτρια τάση για τα υπόλοιπα προέκυψε ότι παρουσιάζουν μικρή τάση, σύμφωνα με τους υπολογιζόμενους δείκτες από τη χημική σύσταση.

Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από μελέτες κατά καιρούς σε δείγματα λιγνίτη από την περιοχή της Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (Vamvuka et al., 2001; Papanicolaou et al., 2005; Agraniotis et al., 2009; Vamvuka and Kakaras, 2011).

### **3.3 Συμπεριφορά τήξης**

Η συμπεριφορά τήξης των λιγνιτικών τεφρών των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, μελετήθηκε με τη βοήθεια του θερμαινόμενου μικροσκοπίου οριζόντιου άξονα, όπως αναφέρθηκε στη μεθοδολογία (παράγραφος 2.4). Από το σύνολο των δειγμάτων Ι.Τ. και Ε.Τ. που προσδιορίστηκε η σύστασή τους, επιλέχθηκαν δείγματα τα οποία καλύπτουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος της διακύμανσης, τόσο των ορυκτολογικών όσο και των χημικών αναλύσεων. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκαν οι θερμοκρασίες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης σε 43 δείγματα Ι.Τ. και 37 δείγματα Ε.Τ.

#### **3.3.1. Ιπτάμενες τέφρες**

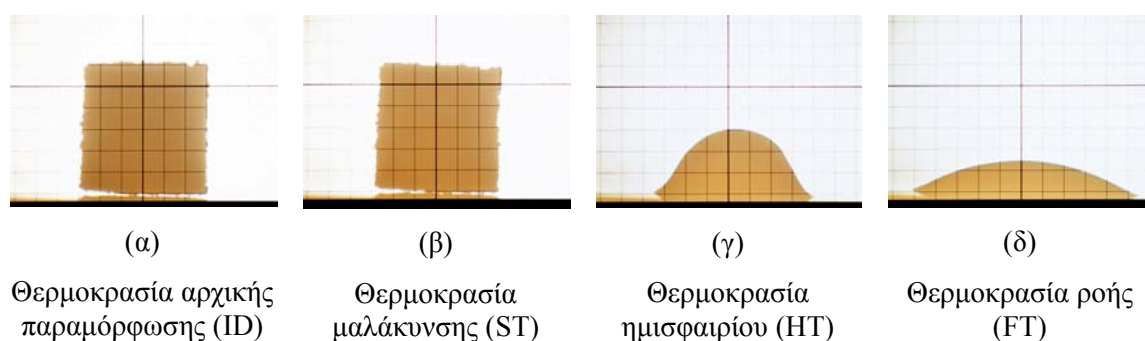
Ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς τήξης των δειγμάτων των Ι.Τ., πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εκμάθησης του προσδιορισμού των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης, καθώς και για τον έλεγχο της δημιουργίας των κατάλληλων μοντέλων προσδιορισμού των θερμοκρασιών σύμφωνα με τη σύσταση των τεφρών. Επίσης, η γνώση της συμπεριφοράς τήξης της Ι.Τ. μπορεί να είναι απαραίτητη σε πιθανές εφαρμογές της. Τα αποτελέσματα των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης (θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής) των δειγμάτων των Ι.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, καθώς και το απόλυτο σφάλμα έκαστης θερμοκρασίας, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.19.

Από τον πίνακα 3.19 προκύπτει, ότι το εύρος των θερμοκρασιών στα εξετασθέντα δείγματα Ι.Τ. είναι, για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID) από 1197 έως 1336 °C, τη θερμοκρασία μαλάκυνσης (ST) 1210-1378 °C, τη θερμοκρασία ημισφαιρίου (HT) 1217-1400 °C και τη θερμοκρασία ροής (FT) 1221-1451 °C.

Πίνακας 3.19: Θερμοκρασίες ( $\pm$  σφάλμα) αρχικής παραμόρφωσης (ID), μαλάκυνσης (ST), ημισφαιρίου (HT) και ροής (FT) των δειγμάτων των Ι.Τ., που προέρχονται από τους ΑΗΣ του ΛΚΠΙ-Α.

ΑΗΣ	Δείγμα	ID (°C)	ST (°C)	HT (°C)	FT (°C)
Αγ. Δημητρίου	FA_2h00	1207 $\pm$ 16	1338 $\pm$ 10	1359 $\pm$ 9	1366 $\pm$ 4
	FA_2h02	1225 $\pm$ 13	1333 $\pm$ 8	1361 $\pm$ 5	1369 $\pm$ 4
	FA_2h04	1234 $\pm$ 15	1246 $\pm$ 8	1251 $\pm$ 6	1276 $\pm$ 4
	FA_2h06	1226 $\pm$ 12	1238 $\pm$ 9	1243 $\pm$ 6	1246 $\pm$ 4
	FA_2h08	1212 $\pm$ 15	1239 $\pm$ 10	1244 $\pm$ 9	1250 $\pm$ 3
	FA_2h10	1227 $\pm$ 12	1244 $\pm$ 8	1247 $\pm$ 6	1256 $\pm$ 4
	FA_2h12	1222 $\pm$ 17	1264 $\pm$ 11	1299 $\pm$ 9	1328 $\pm$ 5
	FA_2h14	1228 $\pm$ 13	1240 $\pm$ 8	1246 $\pm$ 6	1251 $\pm$ 4
	FA_2h16	1218 $\pm$ 18	1239 $\pm$ 9	1245 $\pm$ 6	1250 $\pm$ 4
	FA_2h18	1232 $\pm$ 16	1279 $\pm$ 9	1315 $\pm$ 7	1334 $\pm$ 4
	FA_2h20	1228 $\pm$ 18	1242 $\pm$ 9	1248 $\pm$ 6	1262 $\pm$ 4
	FA_2h22	1236 $\pm$ 16	1299 $\pm$ 10	1322 $\pm$ 8	1341 $\pm$ 4
	FA_dI0	1241 $\pm$ 12	1253 $\pm$ 10	1260 $\pm$ 6	1267 $\pm$ 4
	FA_dI1	1231 $\pm$ 18	1245 $\pm$ 10	1249 $\pm$ 9	1280 $\pm$ 4
	FA_dI2	1214 $\pm$ 17	1287 $\pm$ 12	1318 $\pm$ 11	1351 $\pm$ 5
	FA_dI3	1230 $\pm$ 14	1274 $\pm$ 11	1299 $\pm$ 9	1316 $\pm$ 5
	FA_dI5	1227 $\pm$ 11	1242 $\pm$ 8	1248 $\pm$ 5	1256 $\pm$ 3
	FA_dI8	1236 $\pm$ 18	1248 $\pm$ 11	1255 $\pm$ 8	1271 $\pm$ 4
	FA_dII2	1230 $\pm$ 16	1338 $\pm$ 9	1365 $\pm$ 7	1392 $\pm$ 4
	FA_dII3	1221 $\pm$ 17	1260 $\pm$ 11	1274 $\pm$ 9	1296 $\pm$ 4
	FA_dIV1	1336 $\pm$ 18	1362 $\pm$ 11	1377 $\pm$ 8	1409 $\pm$ 6
	FA_mI01	1223 $\pm$ 14	1279 $\pm$ 10	1306 $\pm$ 9	1325 $\pm$ 4
	FA_mI03	1241 $\pm$ 14	1274 $\pm$ 9	1304 $\pm$ 7	1319 $\pm$ 4
	FA_mI05	1262 $\pm$ 19	1337 $\pm$ 13	1357 $\pm$ 8	1378 $\pm$ 5
	FA_mI06	1228 $\pm$ 18	1346 $\pm$ 9	1366 $\pm$ 9	1379 $\pm$ 5
	FA_mI07	1229 $\pm$ 18	1258 $\pm$ 10	1290 $\pm$ 8	1328 $\pm$ 4
	FA_mI09	1251 $\pm$ 17	1328 $\pm$ 11	1349 $\pm$ 7	1362 $\pm$ 4
	FA_mI10	1239 $\pm$ 16	1340 $\pm$ 9	1363 $\pm$ 7	1377 $\pm$ 4
	FA_mII02	1223 $\pm$ 16	1305 $\pm$ 11	1330 $\pm$ 9	1346 $\pm$ 4
	FA_mII04	1221 $\pm$ 19	1347 $\pm$ 13	1365 $\pm$ 8	1394 $\pm$ 5
	FA_mII07	1231 $\pm$ 16	1266 $\pm$ 9	1296 $\pm$ 7	1304 $\pm$ 4
	FA_mII11	1263 $\pm$ 19	1339 $\pm$ 12	1362 $\pm$ 8	1388 $\pm$ 4
	FA_mII12	1216 $\pm$ 16	1260 $\pm$ 9	1286 $\pm$ 8	1299 $\pm$ 4
	FA_ms01	1227 $\pm$ 14	1299 $\pm$ 9	1323 $\pm$ 7	1341 $\pm$ 4
	FA_ms08	1239 $\pm$ 15	1344 $\pm$ 10	1367 $\pm$ 8	1391 $\pm$ 4
	FA_ms11	1268 $\pm$ 19	1347 $\pm$ 13	1376 $\pm$ 10	1408 $\pm$ 5
Καρδιάς	FAd_K1	1267 $\pm$ 17	1302 $\pm$ 10	1346 $\pm$ 9	1356 $\pm$ 4
	FAd_K3	1245 $\pm$ 16	1364 $\pm$ 8	1400 $\pm$ 6	1451 $\pm$ 4
ΛΙΠΤΟΛ	FAd_L2	1242 $\pm$ 13	1378 $\pm$ 10	1395 $\pm$ 7	1425 $\pm$ 5
	FAd_L4	1199 $\pm$ 14	1231 $\pm$ 9	1243 $\pm$ 6	1248 $\pm$ 3
Πτολεμαΐδας	FAd_PTIV1	1212 $\pm$ 16	1228 $\pm$ 10	1233 $\pm$ 8	1244 $\pm$ 4
Αμυνταίου	FAd_AM2	1197 $\pm$ 19	1210 $\pm$ 11	1217 $\pm$ 7	1241 $\pm$ 5
	FAd_AM3	1201 $\pm$ 14	1215 $\pm$ 10	1217 $\pm$ 9	1221 $\pm$ 5

Στην εικόνα 3.19 (α-δ) απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές θερμοκρασίες από δείγμα Ι.Τ., που μελετήθηκαν με το θερμαινόμενο μικροσκόπιο οριζόντιου άξονα, ενώ στο παράρτημα Δ παρουσιάζονται οι εικόνες των χαρακτηριστικών θερμοκρασιών δειγμάτων Ι.Τ. και Ε.Τ..



Εικόνα 3.19: Χαρακτηριστικές εικόνες των σταδίων της συμπεριφοράς τήξης ενός δείγματος I.T. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Στον πίνακα 3.20 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης (ID), μαλάκυνσης (ST), ημισφαιρίου (HT) και ροής (FT) μεταξύ τους, για τα δείγματα των I.T., ενώ στο Παράρτημα Γ (Εικόνα Γ.37) απεικονίζονται τα θερμογράμματα που προέκυψαν από τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς τήξης.

Πίνακας 3.20: Συντελεστές συσχέτισης των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης (ID), μαλάκυνσης (ST), ημισφαιρίου (HT) και ροής (FT) μεταξύ τους, των δειγμάτων των I.T. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

	Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID)	Θερμοκρασία μαλάκυνσης (ST)	Θερμοκρασία ημισφαιρίου (HT)	Θερμοκρασία ροής (FT)
Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID)	1			
Θερμοκρασία μαλάκυνσης (ST)	0.56	1		
Θερμοκρασία ημισφαιρίου (HT)	0.54	0.98	1	
Θερμοκρασία ροής (FT)	0.55	0.97	0.99	1

Από τον πίνακα των συντελεστών συσχέτισης προκύπτει ότι, οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής παρουσιάζουν πολύ ισχυρή έως τέλεια συσχέτιση μεταξύ τους, ενώ η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης εμφανίζει μέτρια συσχέτιση. Για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι, υπεισέρχονται στον προσδιορισμό της και τα σφάλματα λόγω δυσκολίας προσδιορισμού της ακριβούς θερμοκρασίας οπτικής παρατήρησης.

### 3.3.2 Εργαστηριακές τέφρες

Τα αποτελέσματα των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης των δειγμάτων Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.21. Σύμφωνα με τον πίνακα 3.21, η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID) των δειγμάτων Ε.Τ. κυμάνθηκε από 1193 έως 1247°C, η θερμοκρασία μαλάκυνσης (ST) από 1223 έως 1366°C, η θερμοκρασία ημισφαιρίου (HT) από 1239 έως 1414°C και η θερμοκρασία ροής (FT) από 1264 έως 1476°C.

Πίνακας 3.21: Θερμοκρασίες ( $\pm$  σφάλμα) αρχικής παραμόρφωσης (ID), μαλάκυνσης (ST), ημισφαιρίου (HT) και ροής (FT) των δειγμάτων Ε.Τ., που προέρχονται από τους ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

ΑΗΣ	Δείγμα	ID (°C)	ST (°C)	HT (°C)	FT (°C)
Αγ. Δημητρίου	LA_2h06	1195 $\pm$ 24	1248 $\pm$ 9	1295 $\pm$ 6	1328 $\pm$ 4
	LA_2h28	1207 $\pm$ 12	1227 $\pm$ 9	1256 $\pm$ 6	1301 $\pm$ 4
	LA_2h38	1208 $\pm$ 11	1266 $\pm$ 10	1365 $\pm$ 8	1397 $\pm$ 4
	LA_2h46	1196 $\pm$ 12	1345 $\pm$ 9	1396 $\pm$ 7	1476 $\pm$ 5
	LA_dI0a	1194 $\pm$ 13	1300 $\pm$ 9	1382 $\pm$ 6	1394 $\pm$ 4
	LA_dI0b	1209 $\pm$ 11	1245 $\pm$ 8	1270 $\pm$ 7	1302 $\pm$ 4
	LA_dI1	1194 $\pm$ 11	1243 $\pm$ 8	1322 $\pm$ 6	1344 $\pm$ 4
	LA_dI4	1202 $\pm$ 11	1226 $\pm$ 8	1239 $\pm$ 5	1264 $\pm$ 4
	LA_dII2	1213 $\pm$ 20	1256 $\pm$ 9	1323 $\pm$ 8	1356 $\pm$ 5
	LA_mI01	1221 $\pm$ 16	1241 $\pm$ 11	1267 $\pm$ 7	1325 $\pm$ 4
	LA_mI05	1201 $\pm$ 19	1331 $\pm$ 12	1397 $\pm$ 9	1414 $\pm$ 5
	LA_mI12	1214 $\pm$ 10	1236 $\pm$ 7	1254 $\pm$ 6	1302 $\pm$ 4
	LA_mII02	1200 $\pm$ 19	1289 $\pm$ 10	1377 $\pm$ 6	1398 $\pm$ 4
	LA_mII04	1206 $\pm$ 18	1323 $\pm$ 11	1393 $\pm$ 8	1416 $\pm$ 4
	LA_mII11	1193 $\pm$ 13	1286 $\pm$ 9	1368 $\pm$ 8	1395 $\pm$ 4
	LA_mIII04	1212 $\pm$ 23	1329 $\pm$ 11	1391 $\pm$ 8	1418 $\pm$ 4
	LA_ms01	1208 $\pm$ 13	1244 $\pm$ 8	1291 $\pm$ 6	1326 $\pm$ 4
	LA_ms02	1202 $\pm$ 18	1272 $\pm$ 10	1339 $\pm$ 7	1353 $\pm$ 4
	LA_ms03	1225 $\pm$ 18	1264 $\pm$ 11	1348 $\pm$ 8	1368 $\pm$ 4
	LA_ms04	1247 $\pm$ 27	1335 $\pm$ 11	1393 $\pm$ 8	1412 $\pm$ 5
	LA_ms05	1228 $\pm$ 15	1337 $\pm$ 13	1394 $\pm$ 9	1428 $\pm$ 4
	LA_ms06	1237 $\pm$ 20	1349 $\pm$ 11	1389 $\pm$ 8	1403 $\pm$ 4
	LA_ms07	1222 $\pm$ 19	1302 $\pm$ 11	1369 $\pm$ 7	1380 $\pm$ 4
	LA_ms08	1215 $\pm$ 26	1273 $\pm$ 8	1359 $\pm$ 6	1377 $\pm$ 4
	LA_ms09	1196 $\pm$ 18	1274 $\pm$ 11	1344 $\pm$ 8	1368 $\pm$ 4
	LA_ms10	1211 $\pm$ 18	1304 $\pm$ 11	1352 $\pm$ 7	1396 $\pm$ 4
	LA_ms11	1207 $\pm$ 18	1279 $\pm$ 11	1359 $\pm$ 7	1388 $\pm$ 4
	LA_ms12	1197 $\pm$ 16	1223 $\pm$ 9	1273 $\pm$ 7	1314 $\pm$ 4
	LAd_AD1	1228 $\pm$ 24	1306 $\pm$ 12	1341 $\pm$ 8	1356 $\pm$ 4
	LAd_AD3	1221 $\pm$ 28	1366 $\pm$ 11	1414 $\pm$ 9	1441 $\pm$ 5
Καρδιάς	LAd_K1	1201 $\pm$ 14	1351 $\pm$ 13	1375 $\pm$ 10	1399 $\pm$ 4
	LAd_K2	1199 $\pm$ 22	1357 $\pm$ 16	1393 $\pm$ 10	1406 $\pm$ 5
ΛΙΠΤΟΛ	LAd_L1	1205 $\pm$ 14	1253 $\pm$ 8	1272 $\pm$ 6	1284 $\pm$ 4
	LAd_L4	1204 $\pm$ 29	1281 $\pm$ 10	1390 $\pm$ 8	1400 $\pm$ 6
Πτολεμαΐδας	LAd_PTII2	1219 $\pm$ 26	1318 $\pm$ 9	1363 $\pm$ 8	1397 $\pm$ 4
	LAd_PTIV1	1214 $\pm$ 20	1343 $\pm$ 9	1393 $\pm$ 8	1425 $\pm$ 4
Αμυνταίου	LAd_AM2	1198 $\pm$ 12	1229 $\pm$ 12	1243 $\pm$ 8	1314 $\pm$ 5

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της συμπεριφοράς τήξης για τα δείγματα των Ε.Τ., στον πίνακα 3.22 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης των θερμοκρασιών μεταξύ τους, ενώ στο Παράρτημα Γ (Εικόνα Γ.38) απεικονίζονται τα θηκογράμματα που προέκυψαν από τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς τήξης.

Από τον πίνακα 3.22 προκύπτει ότι η συσχέτιση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής μεταξύ τους, παρουσιάζουν πολύ ισχυρή συσχέτιση ( $r > 0.80$ ). Η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης εμφανίζει έλλειψη συσχέτισης ή ασθενή συσχέτιση με τις άλλες θερμοκρασίες, επιβεβαιώνοντας τη δυσκολία στον προσδιορισμό της εν λόγω θερμοκρασίας.

Πίνακας 3.22: Συντελεστές συσχέτισης των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης (ID), μαλάκυνσης (ST), ημισφαιρίου (HT) και ροής (FT) μεταξύ τους, των δειγμάτων των Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

	Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID)	Θερμοκρασία μαλάκυνσης (ST)	Θερμοκρασία ημισφαιρίου (HT)	Θερμοκρασία ροής (FT)
Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID)	1			
Θερμοκρασία μαλάκυνσης (ST)	0.34	1		
Θερμοκρασία ημισφαιρίου (HT)	0.23	0.88	1	
Θερμοκρασία ροής (FT)	0.20	0.87	0.95	1

Από τον εμπειρικό δείκτη εκτίμησης της τάσης επισκωρίωσης κατά Skorupska (εξίσωση 1.1), το εύρος του δείκτη επισκωρίωσης που προέκυψε για τα μελετηθέντα δείγματα των Ι.Τ. ανά ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, παρουσιάζεται στον πίνακα 3.23, ενώ για τα δείγματα των Ε.Τ. παρουσιάζονται στον πίνακα 3.24 (σε παρένθεση ο αριθμός δειγμάτων που μελετήθηκε ανά ΑΗΣ).

Πίνακας 3.23: Εύρος του δείκτη επισκωρίωσης και χαρακτηρισμός της τάσης δημιουργίας επισκωρίωσης των δειγμάτων των Ι.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

ΑΗΣ	Rs (°C)	Τάση δημιουργίας επισκωρίωσης
Αγ. Δημητρίου (36)	1218-1344	Υψηλή έως μέτρια
Καρδιάς (2)	1276-1283	Μέτρια
ΛΙΠΤΟΛ (2)	1208-1273	Υψηλή έως μέτρια
Πτολεμαΐδας (1)	1216	Υψηλή
Αμυνταίου (2)	1201-1204	Υψηλή

Πίνακας 3.24: Εύρος του δείκτη επισκωρώσεων και χαρακτηρισμός της τάσης δημιουργίας επισκωρώσεων των δειγμάτων των Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

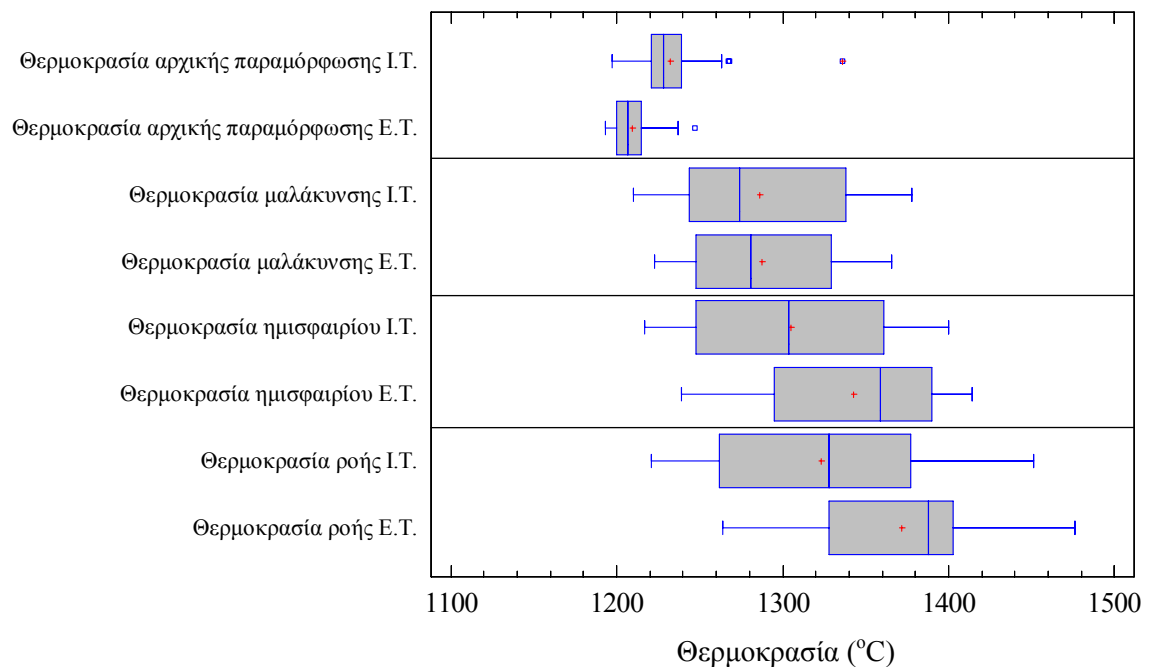
ΑΗΣ	Rs (°C)	Τάση δημιουργίας επισκωρώσεων
Αγ. Δημητρίου (30)	1209-1287	Υψηλή έως μέτρια
Καρδιάς (2)	1236-1238	Μέτρια
ΛΙΠΤΟΛ (2)	1219-1241	Υψηλή έως μέτρια
Πτολεμαΐδας (2)	1248-1250	Μέτρια
Αμυνταίου (1)	1207	Υψηλή

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τους πίνακες 3.23 και 3.24, προκύπτει ότι οι τέφρες των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α παρουσιάζουν κυρίως μέτρια έως υψηλή τάση δημιουργίας επισκωρώσεων, με την πλειονότητα των δειγμάτων να εμφανίζει μέτρια τάση. Αναλυτικότερα, για τα δείγματα των Ι.Τ. (Πίνακας 3.23), στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, όπου μελετήθηκε ένας μεγάλος αριθμός δειγμάτων η μέση τιμή ήταν 1237 °C που αντιστοιχεί σε μέτρια τάση δημιουργίας επισκωρώσεων και ειδικότερα, από το σύνολο των δειγμάτων τα 30 δείγματα εμφανίζουν μέτρια τάση με την πλειονότητα να έχουν τιμές κοντά στα όρια με την περιοχή της υψηλής τάσης, 5 δείγματα εμφανίζουν υψηλή τάση ενώ υπάρχει και ένα δείγμα το οποίο παρουσιάζει οριακά μικρή τάση. Τα δείγματα του ΑΗΣ Καρδιάς εμφανίζουν μέτρια τάση, ενώ του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ ένα δείγμα εμφανίζει μέτρια και ένα υψηλή τάση. Τέλος τα δείγματα από τους ΑΗΣ Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου εμφανίζουν υψηλή τάση δημιουργίας επισκωρώσεων. Αντίστοιχα, για τα δείγματα των Ε.Τ. (Πίνακας 3.24), στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου η μέση τιμή ήταν 1249 °C που αντιστοιχεί σε μέτρια τάση, ενώ τα 17 δείγματα εμφάνισαν μέτρια τάση δημιουργίας επισκωρώσεων και τα 13 δείγματα υψηλή τάση. Ο ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ εμφανίζει σε ένα δείγμα μέτρια τάση και σε ένα υψηλή, ενώ τα δείγματα των Ε.Τ. από τους ΑΗΣ Καρδιάς και Πτολεμαΐδας εμφανίζουν μέτρια τάση. Τέλος, το δείγμα που μελετήθηκε από τον ΑΗΣ Αμυνταίου εμφανίζει υψηλή τάση για δημιουργία επισκωρώσεων.

Επιπλέον, όπως ήδη έχει αναφερθεί στις ιδιότητες των τεφρών, η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας ροής (FT) και της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης (ID), αποτελεί ένα πρόσθετο δείκτη για την πιθανότητα εμφάνισης φαινομένων κυρίως επικαθήσεων και το είδος της επικάθησης. Έτσι, η διαφορά FT-ID του συνόλου των δειγμάτων, ήταν από 20 έως 296 °C, με τα μισά περίπου δείγματα να έχουν τιμές < 100 °C και οι υπόλοιπες να εκτείνονται σε όλο το υπόλοιπο εύρος. Αν εξεταστούν χωριστά οι

δυο μορφές τεφρών, για τα δείγματα Ι.Τ το εύρος ήταν από 20 έως 206 °C με περίπου τα 2/3 των δειγμάτων να έχουν διαφορά θερμοκρασίας < 100 °C, ενώ για τα δείγματα Ε.Τ. το εύρος ήταν από 62 έως 296 °C, με το μεγαλύτερο όμως μέρος των δειγμάτων να έχει τιμές > 100 °C. Ως αποτέλεσμα γενικά, προκύπτει ότι τα δείγματα έχουν τάση δημιουργίας επικαθήσεων ενδιάμεσης κυρίως πρόσφυσης που πιθανόν να δύναται να απομακρυνθεί με εκκαπνισμό.

Τέλος, σε μια σύγκριση των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης μεταξύ των δειγμάτων Ι.Τ. και Ε.Τ., προέκυψε ότι οι Ε.Τ. εμφανίζουν μικρότερες θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης, παραπλήσιες θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ενώ οι θερμοκρασίες ημισφαιρίου και ροής είναι γενικά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των Ι.Τ., όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.20.



Εικόνα 3.20: Συγκριτική απεικόνιση μέσω θηκογραμμάτων του εύρους των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης των δειγμάτων των Ι.Τ. και των Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Μελετώντας τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής και χημικής ανάλυσης των δειγμάτων των λιγνιτικών τεφρών, αλλά και τη συμπεριφορά τήξης των, προέκυψαν πληροφορίες όσον αφορά στην κατανομή των φάσεων και τα χαρακτηριστικά τόσο των Ι.Τ. όσο και των Ε.Τ. Από τα αποτελέσματα αυτά έγινε διερεύνηση της σχέσης που μπορεί να εμφανίσουν τα δείγματα της Ι.Τ. με τα αντίστοιχης χρονικής περιόδου λήψης δείγματα λιγνίτη (Ε.Τ.), αν η ορυκτολογική σύσταση των τεφρών (Ι.Τ. ή Ε.Τ.) μπορεί να συσχετισθεί με τη χημική σύσταση των αντίστοιχων δειγμάτων και πως η σύσταση των τεφρών, κυρίως η ορυκτολογική και δευτερευόντως η χημική, μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά τήξης όσον αφορά ιδιαιτέρως στα δείγματα των Ε.Τ. αλλά και για τα δείγματα των Ι.Τ.

Η διερεύνηση της συσχέτισης της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης των δειγμάτων των τεφρών (Ι.Τ. και Ε.Τ.), καθώς και της ορυκτολογικής με τη χημική σύσταση των τεφρών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μοντέλων απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Επίσης, διερευνήθηκε η πιθανότητα εκτίμησης της περιεκτικότητας του αμόρφου από τη χημική σύσταση, χρησιμοποιώντας συνδυασμό των οξειδίων, με απλή και πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Στις περιπτώσεις της συσχέτισης των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφοράς τήξης με τη σύσταση των τεφρών (ορυκτολογική και χημική), χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα τόσο της απλής όσο και της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.

**4.1 Συσχέτιση της σύστασης των ιταμένων τεφρών με των εργαστηριακών τεφρών**

Κατά το σχεδιασμό της δειγματοληψίας, τέθηκε το ερώτημα αν ο λιγνίτης που λαμβάνεται για τον έλεγχο της ποιότητας από τους ΑΗΣ πριν από την είσοδο στους μύλους λειοτρίβησης και στη συνέχεια στους λέβητες, εμφανίζει αντιστοιχία με την Ι.Τ. που προκύπτει κατά την καύση. Έτσι, στα πλαίσια ενός τέτοιου ελέγχου, πραγματοποιήθηκε μια εκτεταμένη συστηματική δειγματοληψία λιγνίτη και Ι.Τ., ταυτόχρονα, ώστε να μπορέσουν να βρεθούν και να αποτυπωθούν, οι πιθανές σχέσεις που συνδέουν την Ε.Τ. (λιγνίτης) με την Ι.Τ.

Από το σύνολο των δειγμάτων που έγινε προσδιορισμός τόσο της ορυκτολογικής όσο και της χημικής σύστασης, στα 100 δείγματα της Ι.Τ. που είχε προσδιοριστεί η σύσταση, υπήρχαν και τα αντίστοιχα δείγματα Ε.Τ. (λιγνίτη).

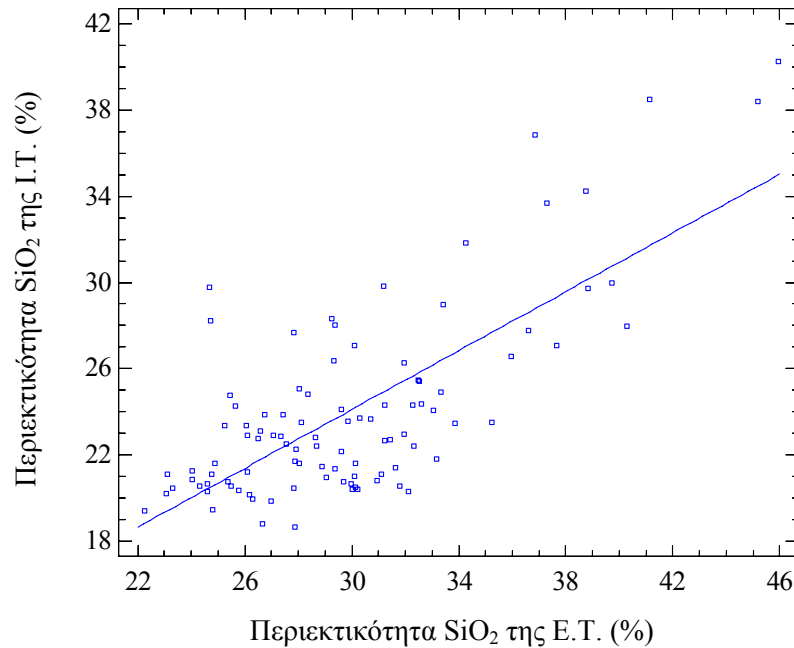
#### Α. Χημική σύσταση

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων όσον αφορά στη χημική σύσταση και την αντιστοιχία των ίδιων οξειδίων μεταξύ των δύο ειδών τέφρας (Πίνακας 4.1), εμφανίζεται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των οξειδίων των δειγμάτων της Ι.Τ. και της Ε.Τ. για το  $\text{SiO}_2$  ( $r=0.73$ ), ενώ μέτρια συσχέτιση υπάρχει για το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $r=0.60$ ) και το  $\text{CaO}$  ( $r=0.68$ ).

Πίνακας 4.1: Συντελεστές συσχέτισης ( $r$ ) των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των δειγμάτων των Ι.Τ. με τα αντίστοιχα των δειγμάτων των Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΑΚΠ-Α.

		Ιπτάμενη τέφρα								
		$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$
Εργαστηριακή τέφρα	$\text{SiO}_2$	0.73	0.17	-0.56	-0.58	-0.41	0.14	0.28	0.68	0.58
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.47	0.17	-0.31	-0.39	-0.31	0.14	0.18	0.46	0.47
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	-0.35	0.10	0.60	-0.04	0.39	-0.12	0.14	-0.50	-0.30
	$\text{CaO}$	-0.62	-0.25	0.19	0.68	0.06	-0.13	-0.39	-0.42	-0.48
	$\text{MgO}$	-0.26	0.04	0.41	0.14	0.47	-0.07	-0.14	-0.40	-0.12
	$\text{SO}_3$	0.08	-0.07	0.12	-0.27	0.40	0.11	0.18	-0.12	-0.16
	$\text{Na}_2\text{O}$	0.28	0.23	-0.09	-0.32	0.14	0.20	0.03	0.21	0.36
	$\text{K}_2\text{O}$	0.34	0.01	-0.36	-0.28	-0.21	0.08	0.19	0.37	0.18
	$\text{TiO}_2$	0.22	0.11	-0.07	-0.27	0.04	0.00	0.16	0.14	0.11

Η συσχέτιση για τα υπόλοιπα οξείδια ήταν ασθενής, ενώ σε συνδυασμούς διαφορετικών οξειδίων μεταξύ των Ι.Τ. και των Ε.Τ. υπάρχει μέτρια συσχέτιση μεταξύ του  $\text{SiO}_2$  της Ι.Τ. και του  $\text{CaO}$  της Ε.Τ. ( $r=0.62$ ), όπως και του  $\text{SiO}_2$  της Ε.Τ. με το  $\text{CaO}$  της Ι.Τ. ( $r=-0.58$ ) και το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  της Ι.Τ. ( $r=-0.56$ ). Στην εικόνα 4.1 απεικονίζεται ενδεικτικά, το διάγραμμα της περιεκτικότητας του  $\text{SiO}_2$  της Ι.Τ. συναρτήσει της περιεκτικότητας του  $\text{SiO}_2$  της Ε.Τ., που εμφάνισε ισχυρή θετική συσχέτιση, σύμφωνα με το συντελεστή συσχέτισης και εν γένει γραμμική τάση με διασπορά των δειγμάτων γύρω από την ευθεία συσχέτισης.



Εικόνα 4.1: Διάγραμμα συσχέτισης της περιεκτικότητας του  $\text{SiO}_2$  της I.T. με την αντίστοιχη περιεκτικότητα  $\text{SiO}_2$  της E.T.

### ***B. Ορυκτολογική σύσταση***

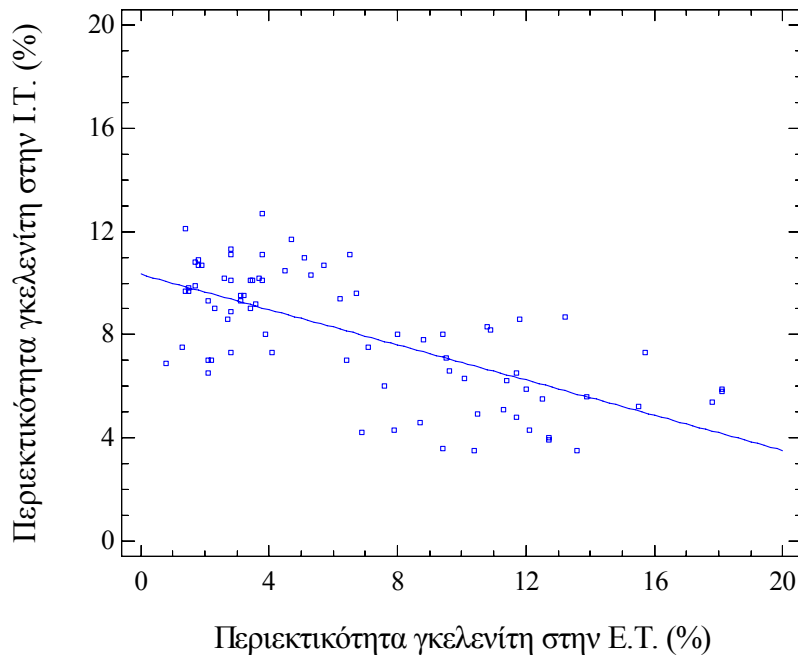
Οι συντελεστές συσχέτισης των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής σύστασης της I.T. με την αντίστοιχη σύσταση της E.T., παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2. Από τον πίνακα αυτό, προέκυψε κυρίως ότι δεν υπάρχει συσχέτιση ή είναι ασθενής μεταξύ των φάσεων των I.T. με τις αντίστοιχες των E.T., με εξαίρεση το γκελενίτη ( $r=-0.68$ ), το περίκλαστο ( $r=0.64$ ) και το χαλαζία ( $r=0.51$ ), όπου παρατηρείται μέτρια συσχέτιση. Στην εικόνα 4.2, παρουσιάζεται το διάγραμμα συσχέτισης της περιεκτικότητας του γκελενίτη της I.T. με την περιεκτικότητα του γκελενίτη στη E.T.

Από τις συσχετίσεις μεταξύ διαφορετικών φάσεων των δειγμάτων I.T. και E.T., παρατηρείται μέτρια συσχέτιση μεταξύ του ανυδρίτη της E.T. με τον γκελενίτη ( $r=-0.67$ ) και τον χαλαζία ( $r=0.57$ ) της I.T., του γκελενίτη της E.T. με τα άμορφα ( $r=0.55$ ) και του ασβεστίτη ( $r=-0.51$ ) της I.T., καθώς και του μπραουνμυλλερίτη της I.T. με το περίκλαστο της E.T. ( $r=0.57$ ).

Πίνακας 4.2: Συντελεστές συσχέτισης των ορυκτολογικών φάσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. με τα αντίστοιχα δείγματα των Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

		Ιπτάμενη τέφρα												
		Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
Εργαστηριακή τέφρα	Άμορφα	-0.12	-0.15	0.10	0.02	-0.02	-0.29	0.23	-0.12	-0.07	-0.21	0.12	0.10	0.01
	Ανυδρίτης	0.48	0.42	-0.67	-0.47	-0.47	0.09	-0.35	-0.03	-0.34	0.28	-0.20	0.08	0.57
	Γκελενίτης	0.55	0.21	-0.68	-0.48	-0.34	0.40	-0.51	-0.14	-0.41	0.40	-0.27	0.06	0.38
	Πυριτικό διασβέστιο	-0.20	0.05	0.18	0.17	0.21	0.14	0.07	0.20	0.19	0.04	-0.01	-0.20	-0.23
	Μπραουνμυλλερίτης	-0.30	0.10	0.19	0.22	0.43	0.30	0.07	0.08	0.09	-0.01	0.27	-0.25	-0.30
	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	-0.18	-0.22	0.18	0.11	0.35	0.08	0.14	-0.23	0.15	-0.19	0.41	-0.17	-0.23
	Άσβεσίτης	-0.26	0.04	0.32	0.31	0.13	0.02	0.06	0.24	0.29	0.02	-0.06	-0.02	-0.20
	Αιματίτης	-0.20	-0.25	0.28	0.14	0.06	-0.24	0.20	0.23	0.13	-0.32	0.09	0.22	-0.16
	Μερβινίτης	0.27	0.07	-0.41	-0.35	0.05	0.42	-0.21	-0.23	-0.32	0.33	0.06	-0.25	0.10
	Μοσχοβίτης	-0.04	-0.16	0.10	0.05	-0.11	-0.46	0.28	-0.06	0.07	-0.11	-0.04	0.04	-0.03
	Περίκλαστο	-0.35	-0.04	0.40	0.37	0.57	0.12	0.01	0.24	0.25	-0.44	0.64	-0.05	-0.24
	Άστριοι	0.32	-0.07	-0.23	-0.22	-0.44	-0.11	-0.20	-0.05	-0.20	0.09	-0.36	0.38	0.18
	Χαλαζίας	0.34	0.10	-0.40	-0.34	-0.40	-0.28	-0.06	-0.08	-0.24	0.10	-0.15	0.10	0.51

Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2, η περιεκτικότητα του γκελενίτη στα δείγματα των Ι.Τ. συναρτήσκει της περιεκτικότητας του γκελενίτη στα δείγματα των Ε.Τ. παρουσιάζει μια αρνητική γραμμική συσχέτιση, όπου αρκετά δείγματα εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις από την ευθεία.



Εικόνα 4.2: Διάγραμμα συσχέτισης της περιεκτικότητας του γκελενίτη στα δείγματα της Ι.Τ. με την αντίστοιχη περιεκτικότητα γκελενίτη στα δείγματα της Ε.Τ.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προέκυψε ότι δεν υπάρχει κάποια σαφής ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της σύστασης, κυρίως της ορυκτολογικής αλλά και της χημικής, της Ι.Τ. με την Ε.Τ. για τους ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α. Η ερμηνεία του αποτελέσματος αυτού, είναι ότι πέρα από τις διαφορετικές συνθήκες δημιουργίας των δυο αυτών ειδών των τεφρών, τα δείγματα των Ι.Τ. που θεωρητικά ελήφθησαν την ίδια χρονική στιγμή με τα αντίστοιχα των Ε.Τ., παρουσιάζουν αποκλίσεις που οφείλονται στη χρονική υστέρηση που υπάρχει κατά τη διέλευση του καυσίμου από τα σιλό αποθήκευσης και τους μύλους μέχρι τη δειγματοληψία της Ι.Τ., καθώς και από το γεγονός ότι η τέφρα που δημιουργείται κατά την καύση του λιγνίτη στους ΑΗΣ διαφοροποιείται σε ιπτάμενη τέφρα και τέφρα δαπέδου.

#### 4.2 Συσχέτιση της ορυκτολογικής με τη χημική σύσταση των τεφρών

Από την ορυκτολογική και τη χημική σύσταση των τεφρών των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, προσδιορίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης της ορυκτολογικής με τη χημική σύσταση α) για τα δείγματα των Ι.Τ. (Πίνακας 4.3) και β) για τα δείγματα των Ε.Τ. (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.3: Συντελεστές συσχέτισης (r) της ορυκτολογικής σύστασης με τη χημική σύσταση για τα δείγματα των Ι.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
Αμορφα	0.55	0.24	-0.10	-0.39	-0.19	0.09	0.04	0.52	0.69
Ανυδρίτης	-0.15	-0.31	0.01	0.10	0.19	0.65	-0.40	-0.16	-0.08
Γκελενίτης	-0.53	-0.05	0.30	0.29	0.15	-0.39	0.14	-0.51	-0.69
Πυριτικό διασβέστιο	-0.43	-0.23	0.10	0.31	0.15	-0.28	0.02	-0.45	-0.61
Μπραουνμυλερίτης	-0.50	-0.33	0.05	0.54	0.12	0.07	-0.30	-0.36	-0.56
Άσβεστος (+πορτλανδίτης)	0.01	-0.16	-0.41	0.37	-0.26	-0.10	-0.20	0.23	-0.09
Άσβεστίτης	-0.44	-0.12	0.29	0.13	0.11	0.06	0.01	-0.41	-0.30
Αιματίτης	-0.06	0.06	0.38	-0.22	0.13	0.13	-0.01	-0.23	0.03
Μερβινίτης	-0.36	-0.03	0.19	0.26	0.18	-0.11	-0.04	-0.36	-0.45
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	0.09	-0.08	-0.25	0.12	-0.33	0.15	-0.20	0.37	0.28
Περίκλαστο	-0.28	-0.14	0.11	0.29	0.54	0.09	-0.22	-0.33	-0.39
Άστριοι	0.32	0.32	-0.19	-0.29	0.05	-0.44	0.44	0.13	-0.03
Χαλαζίας	0.50	0.23	-0.07	-0.49	0.12	0.25	0.05	0.30	0.62

Από τη συσχέτιση της ορυκτολογικής σύστασης με τη χημική για τα δείγματα των Ι.Τ. (Πίνακας 4.3), παρατηρείται ότι εμφανίζουν μέτριες θετικές συσχετίσεις οι συνδυασμοί των αμόρφων με το SiO<sub>2</sub> (r=0.55), το K<sub>2</sub>O (r=0.52) και το TiO<sub>2</sub> (r=0.69), ο ανυδρίτης με το SO<sub>3</sub> (r=0.65), το περίκλαστο με το MgO (r=0.54), ο χαλαζίας με το SiO<sub>2</sub>

( $r=0.50$ ) και το  $\text{TiO}_2$  ( $r=0.62$ ) και ο μπραουνμυλλερίτης με το  $\text{CaO}$  ( $r=0.54$ ). Από την άλλη μέτρια αρνητική συσχέτιση εμφανίζουν ο γκελενίτης με το  $\text{SiO}_2$  ( $r=-0.53$ ), το  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r=-0.51$ ) και το  $\text{TiO}_2$  ( $r=-0.69$ ), το πυριτικό διασβέστιο με το  $\text{TiO}_2$  ( $r=-0.61$ ) και ο μπραουνμυλλερίτης με το  $\text{SiO}_2$  ( $r=-0.50$ ) και το  $\text{TiO}_2$  ( $r=-0.56$ ).

Πίνακας 4.4: Συντελεστές συσχέτισης ( $r$ ) της ορυκτολογικής σύστασης με τη χημική σύσταση για τα δείγματα των Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΑΚΠ-Α.

	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$
Άμορφα	0.17	0.30	0.32	-0.35	0.49	-0.04	0.39	-0.20	0.22
Ανυδρίτης	0.40	0.30	-0.14	-0.37	-0.04	0.28	0.21	0.21	0.23
Γκελενίτης	0.52	0.23	-0.58	-0.15	-0.44	-0.06	-0.05	0.55	0.24
Πυριτικό διασβέστιο	-0.34	-0.36	-0.05	0.49	-0.34	-0.08	-0.30	-0.09	-0.42
Μπραουνμυλλερίτης	-0.37	-0.47	-0.12	0.64	-0.29	0.03	-0.31	-0.06	-0.24
Άσβεστος (+πορτλανδίτης)	-0.43	-0.27	0.43	0.44	0.18	-0.16	0.30	-0.58	-0.26
Άσβεστίτης	-0.32	-0.35	-0.22	0.21	-0.28	0.10	-0.57	0.12	-0.23
Αιματίτης	-0.04	-0.08	0.50	-0.06	0.13	0.25	0.17	-0.26	0.01
Μερβινίτης	0.04	-0.14	-0.34	0.22	-0.25	-0.15	-0.07	0.18	-0.04
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	0.13	0.28	0.31	-0.29	0.34	-0.07	0.27	-0.11	0.09
Περίκλαστο	-0.49	-0.42	0.09	0.29	0.11	0.28	-0.16	-0.22	-0.18
Άστριοι	0.58	0.45	-0.42	-0.39	-0.13	0.05	-0.03	0.59	0.33
Χαλαζίας	0.42	0.43	0.19	-0.53	0.27	0.05	0.45	0.02	0.30
Τάλκης	-0.08	0.21	0.63	-0.20	0.44	-0.20	0.47	-0.45	-0.02

Μελετώντας τη συσχέτιση της ορυκτολογικής σύστασης με τη χημική στα δείγματα των Ε.Τ. (Πίνακας 4.4), προέκυψε ότι οι συσχετίσεις είναι εν γένει ασθενείς, ενώ μέτριες παρουσιάζουν ο γκελενίτης με το  $\text{SiO}_2$  ( $r=0.52$ ), το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $r=-0.58$ ) και το  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r=0.55$ ), ο μπραουνμυλλερίτης με το  $\text{CaO}$  ( $r=0.64$ ), η άσβεστος με το  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r=-0.58$ ), ο ασβεστίτης με το  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $r=-0.57$ ), ο αιματίτης με το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $r=0.50$ ), οι άστριοι με το  $\text{SiO}_2$  ( $r=0.58$ ) και το  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r=0.59$ ), ο χαλαζίας με το  $\text{CaO}$  ( $r=-0.53$ ) και ο τάλκης με το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $r=0.63$ ).

Από τα αποτελέσματα των συσχετίσεων, προκύπτει ότι είναι δύσκολη η εύρεση κάποιας σχέσης που να συνδέει την ορυκτολογική με τη χημική σύσταση. Αυτό βέβαια, είναι εν μέρει αναμενόμενο, αφού η παρουσία του αμόρφου επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τη σύσταση, καθώς δεν έχει συγκεκριμένη χημική σύνθεση.

#### 4.2.1 Περιεκτικότητα σε άμορφα

Προκειμένου να διερευνηθεί περαιτέρω η σχέση μεταξύ της ορυκτολογικής και της χημικής σύστασης στις Ι.Τ. και τις Ε.Τ., έγινε προσπάθεια εύρεσης μιας μαθηματικής σχέσης προσδιορισμού της περιεκτικότητας του αμόρφου, γνωρίζοντας τη χημική

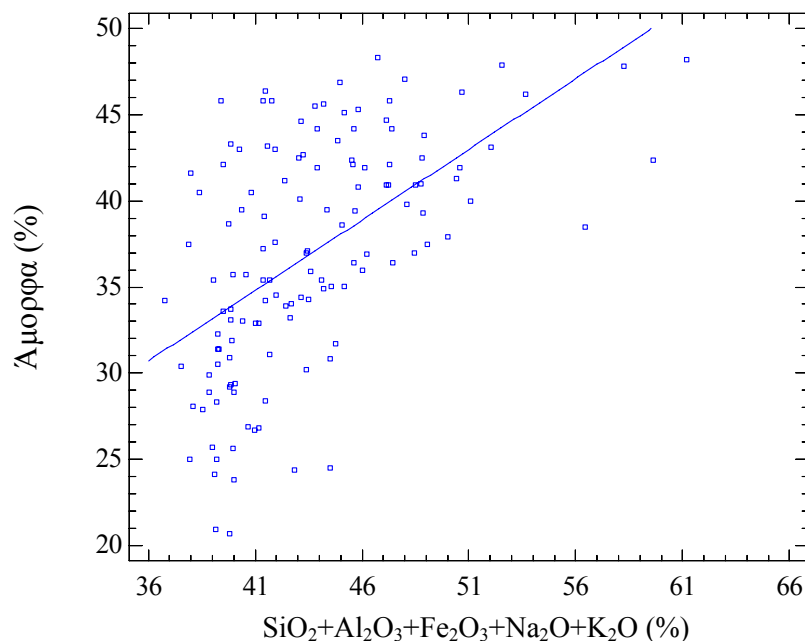
σύσταση των Ι.Τ. και των Ε.Τ. Για την εύρεση μιας σχέσης, διερευνήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί των οξειδίων με έμφαση στα οξείδια που η παρουσία τους σχετίζεται με τα φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων, καθώς έχουν τάση να συμμετέχουν στις τηγμένες-υαλώδεις φάσεις, όπου μέρος του αμόρφου αποτελείται από αυτές. Οι συνδυασμοί που έγιναν με βάση την απλή γραμμική παλινδρόμηση ήταν μεταξύ του αμόρφου και αθροίσματος οξειδίων, καθώς με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση ήταν μεταξύ του αμόρφου και συνδυασμού οξειδίων.

#### 4.2.1.1 Ιπτάμενες Τέφρες

Για τα δείγματα των Ι.Τ., από την εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, η καλύτερη συσχέτιση (συντελεστής συσχέτισης,  $R=0.56$ ) προέκυψε μεταξύ των αμόρφων και του αθροίσματος των οξειδίων  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , η οποία περιγράφεται από τη σχέση:

$$\text{Αμορφα (\%)} = 1.2 + 0.8 \cdot (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}),$$

ενώ το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $\text{MSE}_R$ ) από την εκτίμηση με τη σχέση αυτή είναι 16%. Το διάγραμμα που περιγράφει τη σχέση εκτίμησης του αμόρφου φαίνεται στην εικόνα 4.3, από το οποίο προκύπτει ότι υπάρχει εν μέρει γραμμική προσέγγιση των τιμών, με αποκλίσεις όμως ενός σημαντικού αριθμού τιμών.

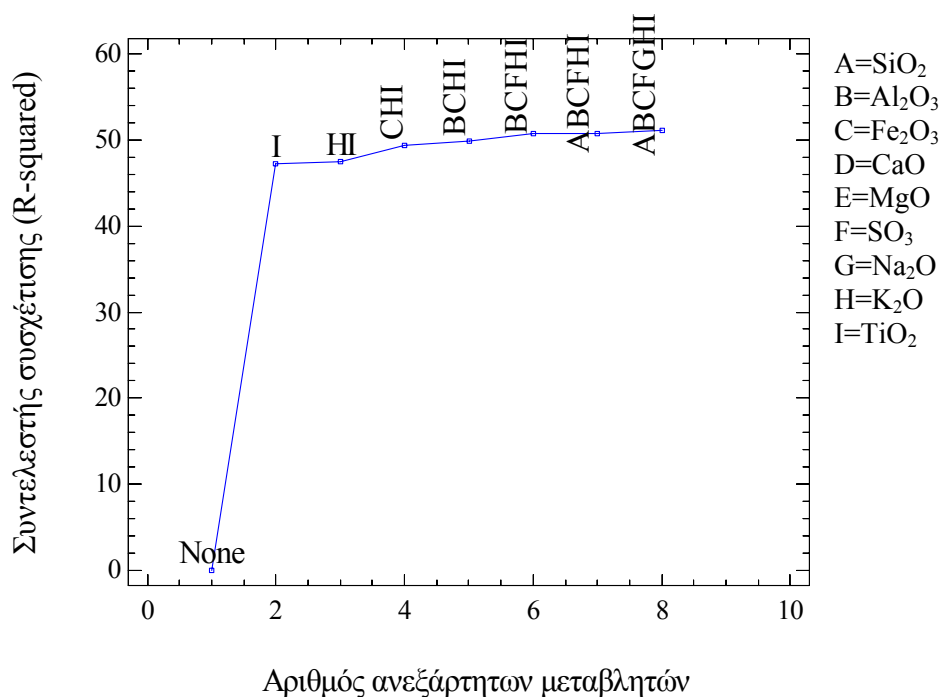


Εικόνα 4.3: Διάγραμμα συσχέτισης της περιεκτικότητας των αμόρφων συναρτήσει του αθροίσματος οξειδίων ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) σε δείγματα Ι.Τ.

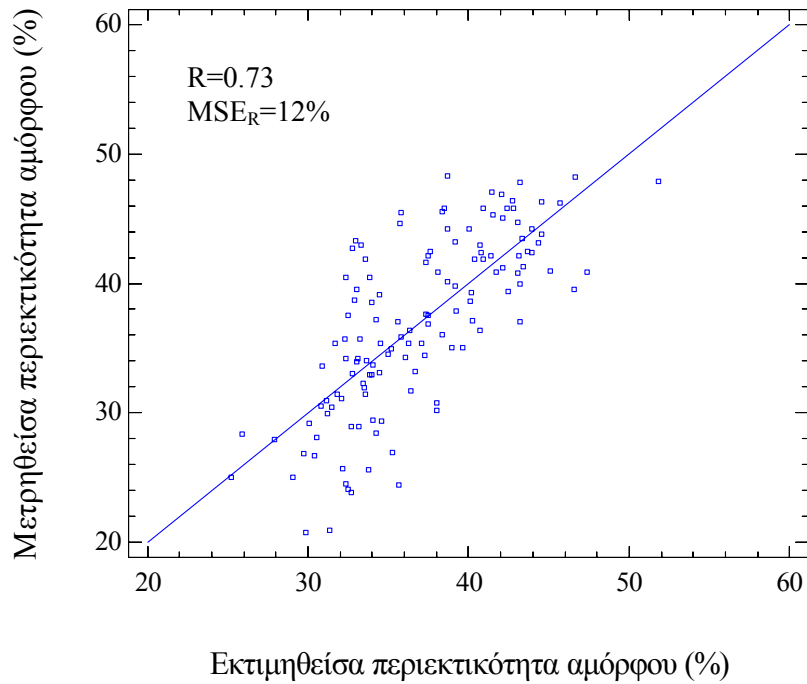
Χρησιμοποιώντας την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για την εύρεση της περιεκτικότητας του αμόρφου στα δείγματα των Ι.Τ. σύμφωνα με τη χημική σύσταση, η καλύτερη συσχέτιση με το μικρότερο αριθμό ανεξάρτητων μεταβλητών επιτεύχθηκε με το συνδυασμό των οξειδίων  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  και  $\text{TiO}_2$ , όπως φαίνεται από τη διαδικασία επιλογής μοντέλου παλινδρόμησης (Εικόνα 4.4) και από τη σχέση που προέκυψε:

$$\text{Αμόρφα (\%)} = -0.7 - 1.5 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 2.2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 - 0.9 \cdot \text{SO}_3 + 15.5 \cdot \text{K}_2\text{O} + 58.0 \cdot \text{TiO}_2,$$

όπου ο συντελεστής συσχέτισης είναι  $R=0.73$  και το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα  $\text{MSE}_R=12\%$ . Η αξιοπιστία της παραπάνω σχέσης ελέγχθηκε με το διάγραμμα της μετρηθείσας πειραματικά περιεκτικότητας του αμόρφου με τη μέθοδο Rietveld συναρτήσει της εκτιμηθείσας τιμής (οι τιμές που προσδιορίστηκαν από τη σχέση) της περιεκτικότητας του αμόρφου (observed vs predicted plot), καθώς και από το διάγραμμα συσχέτισης των υπολοίπων και της εκτιμηθείσας τιμής του αμόρφου (residual vs predicted plot). Τα διαγράμματα αυτά απεικονίζονται στις εικόνες 4.5 και 4.6.

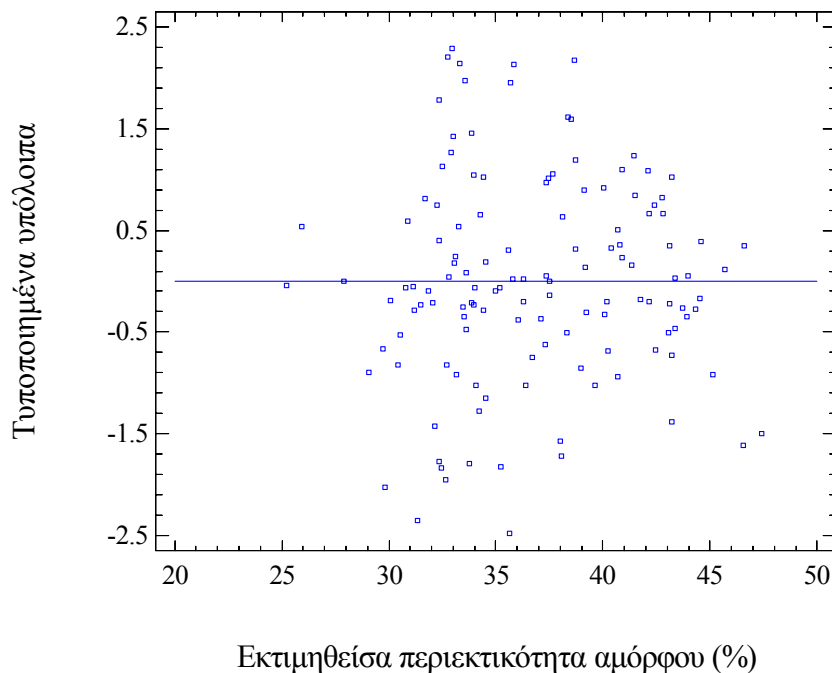


Εικόνα 4.4: Διάγραμμα επιλογής ανεξάρτητων μεταβλητών μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την εκτίμηση του ποσοστού αμόρφου στα δείγματα των Ι.Τ.



Εικόνα 4.5: Διάγραμμα ελέγχου της απόκλισης των πειραματικά μετρηθέντων τιμών της περιεκτικότητας του αμόρφου συναρτήσει των υπολογισθέντων από το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης σε δείγματα Ι.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης,  $MSE_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Όπως φαίνεται από την εικόνα 4.5, η εκτίμηση των τιμών με βάση τη σχέση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι ικανοποιητική, καθώς η πλειονότητα των τιμών προσεγγίζει την ευθεία γραμμή, με εξαίρεση ενός μικρού αριθμού δειγμάτων.



Εικόνα 4.6: Διάγραμμα των τυποποιημένων υπολοίπων συναρτήσει της εκτιμηθείσας από το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης περιεκτικότητας του αμόρφου για τα δείγματα των Ι.Τ.

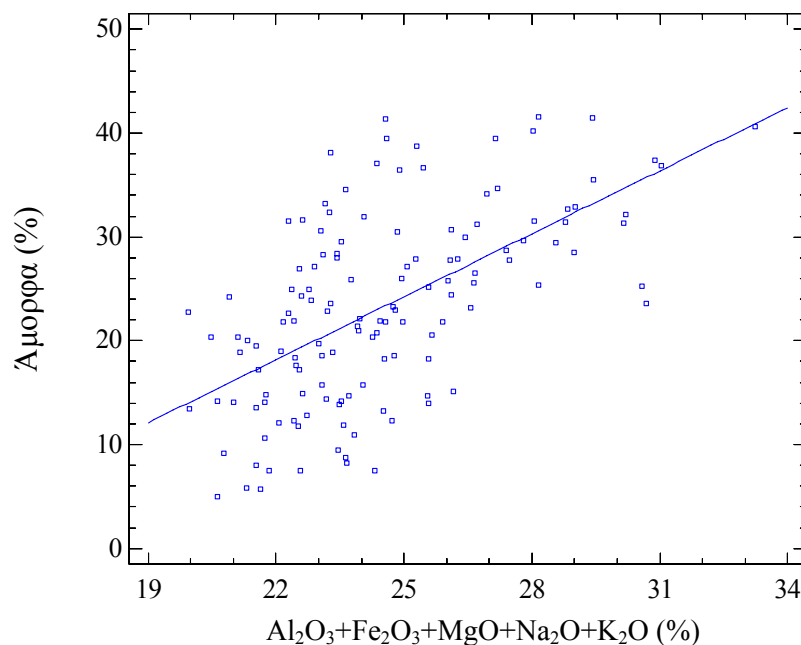
Από την εικόνα 4.6, προκύπτει ότι τα υπόλοιπα είναι κατανεμημένα τυχαία, χωρίς να υπάρχει εμφάνιση κάποιας τάσης, εξασφαλίζοντας έτσι την αμεροληψία των αποτελεσμάτων της εκτίμησης της περιεκτικότητας του αμόρφου.

#### 4.2.1.2 Εργαστηριακές Τέφρες

Για τα δείγματα των Ε.Τ., από την εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, η καλύτερη συσχέτιση επιτεύχθηκε για την περιεκτικότητα των αμόρφων με το άθροισμα των οξειδίων  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{Αμορφα (\%)} = -26.4 + 2.0 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}),$$

όπου ο συντελεστής συσχέτισης είναι  $R=0.59$  και το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα  $\text{MSE}_R=28\%$ . Το διάγραμμα της συσχέτισης της περιεκτικότητας του αμόρφου στα δείγματα των Ε.Τ. με το άθροισμα των οξειδίων απεικονίζεται στην εικόνα 4.7, όπου παρατηρείται ότι ένα πλήθος τιμών προσεγγίζει την ευθεία γραμμή, ενώ υπάρχουν αρκετές τιμές που εμφανίζουν σημαντική απόκλιση.

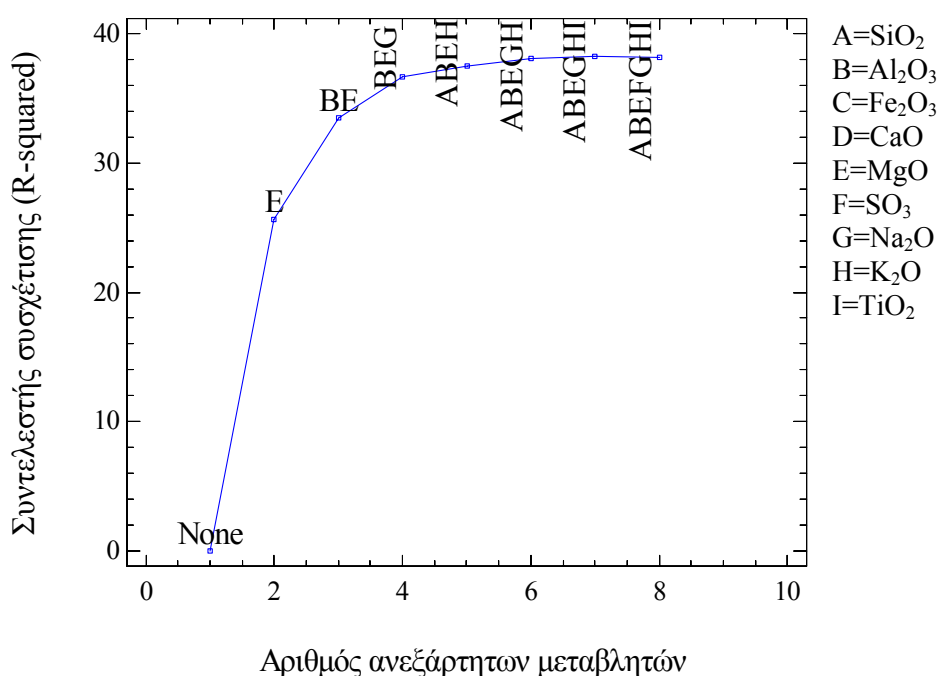


Εικόνα 4.7: Διάγραμμα συσχέτισης της περιεκτικότητας των αμόρφων συναρτήσει του αθροίσματος οξειδίων ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) σε δείγματα Ε.Τ.

Από την εφαρμογή της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, η σχέση εκτίμησης του αμόρφου στα δείγματα των Ε.Τ., σύμφωνα και με τη διαδικασία επιλογή μοντέλου παλινδρόμησης (Εικόνα 4.8), είναι:

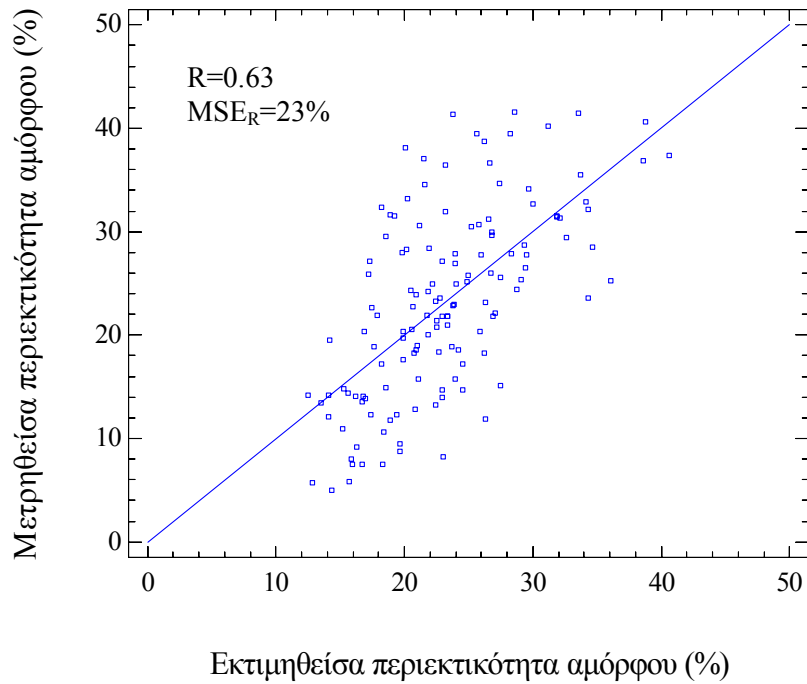
$$\text{Αμορφα (\%)} = -10.7 + 0.6 \cdot \text{SiO}_2 + 1.0 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 3.5 \cdot \text{MgO} + 4.2 \cdot \text{Na}_2\text{O} - 12.1 \cdot \text{K}_2\text{O},$$

όπου ο συντελεστής συσχέτισης είναι  $R=0.63$  και το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα  $\text{MSE}_R=23\%$ . Το διάγραμμα της μετρηθείσας πειραματικά περιεκτικότητας αμόρφου με τη μέθοδο Rietveld συναρτήσει της εκτιμηθείσας (όπως προκύπτει από τη σχέση) απεικονίζεται στην εικόνα 4.9, ενώ το διάγραμμα υπολοίπων-εκτιμηθείσα τιμή αμόρφου, όπου ελέγχεται η αξιοπιστία (αμεροληψία) της σχέσης, φαίνεται στην εικόνα 4.10.



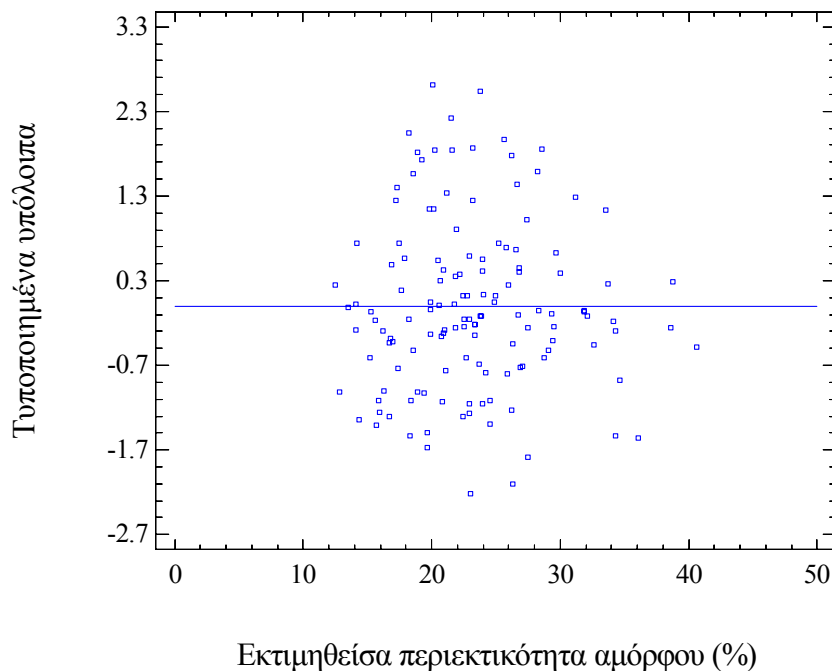
Εικόνα 4.8: Διάγραμμα επιλογής ανεξάρτητων μεταβλητών μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την εκτίμηση του ποσοστού αμόρφου στα δείγματα των Ε.Τ.

Όπως φαίνεται από την εικόνα 4.9, η εκτίμηση της περιεκτικότητας του αμόρφου με βάση τη σχέση που προέκυψε από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση εμφανίζει μια εν γένει γραμμική τάση, με εξαίρεση κάποιων δειγμάτων που παρουσιάζουν αποκλίσεις από την ευθεία παλινδρόμησης.



Εικόνα 4.9: Διάγραμμα ελέγχου της απόκλισης των πειραματικά μετρηθέντων τιμών της περιεκτικότητας του αμόρφου συναρτήσει των υπολογισθέντων από το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης σε δείγματα E.T. (R: συντελεστής συσχέτισης,  $MSE_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Από την εικόνα 4.10, προκύπτει ότι υπάρχει τυχαία διασπορά των υπολοίπων συναρτήσει της εκτιμηθείσας περιεκτικότητας αμόρφου, εξασφαλίζοντας έτσι την αξιοπιστία (αμεροληψία) της εκτίμησης της περιεκτικότητας του αμόρφου.



Εικόνα 4.10: Διάγραμμα των τυποποιημένων υπολοίπων συναρτήσει της εκτιμηθείσας από το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης περιεκτικότητας του αμόρφου για τα δείγματα των E.T.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η περιεκτικότητα του αμόρφου, όπως προέκυψε λοιπόν στην παρούσα εργασία, είναι δυνατό να εκτιμηθεί με βάση τη χημική σύσταση, κυρίως με το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, σε δείγματα Ι.Τ. με σχετικό σφάλμα 12% και σε δείγματα Ε.Τ. με σχετικό σφάλμα 23%, καθώς το σχετικό σφάλμα του εργαστηριακού προσδιορισμού του αμόρφου ήταν για τις Ι.Τ. περίπου 11%, ενώ για τις Ε.Τ. περίπου 21%.

#### 4.3 Συσχέτιση της χημικής σύστασης με τη συμπεριφορά τήξης

Όπως προέκυψε από τις εμπειρικές σχέσεις πρόβλεψης της τάσης συμπεριφοράς των τεφρών κατά την καύση με βάση τη χημική σύσταση (Πίνακας 3.18), τα δείγματα των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α που προσδιορίστηκε η χημική τους σύσταση εμφανίζουν εν γένει μέτρια έως ισχυρή τάση εκδήλωσης φαινομένων επισκωριάσεων-επικαθήσεων, ενώ υπάρχουν δείγματα, τα οποία με βάση τις τιμές των δεικτών χαρακτηρίζονται να έχουν μικρή ή πολύ υψηλή τάση. Έτσι, αντίστοιχα για τα δείγματα των Ι.Τ. και των Ε.Τ. που προσδιορίστηκε η συμπεριφορά τήξης έγινε διερεύνηση της σχέσης που μπορεί να συνδέει τις θερμοκρασίες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με τη χημική σύσταση, με στόχο την πιθανή εύρεση σχέσης εκτίμησης των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής. Για το σκοπό αυτό, αρχικά έγινε συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει των οξειδίων, καθώς και των εμπειρικών σχέσεων πρόβλεψης της τάσης συμπεριφοράς των τεφρών. Με βάση τα αποτελέσματα από τις συσχετίσεις αυτές, διερευνήθηκαν με τη βοήθεια μοντέλων απλής και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, συσχετίσεις των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης (θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής) συναρτήσει αθροισμάτων των οξειδίων ή συνδυασμού των οξειδίων προσπαθώντας να βρεθούν σχέσεις προσδιορισμού των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με βάση τη χημική σύσταση.

##### 4.3.1 *Ιπτάμενες τέφρες*

Οι συντελεστές συσχέτισης Pearson των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει των οξειδίων, καθώς και των εμπειρικών

σχέσεων πρόβλεψης της τάσης συμπεριφοράς των τεφρών κατά την καύση, για τα δείγματα των Ι.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5: Συντελεστές συσχέτισης ( $r$ ) των θερμοκρασιών συμπεριφοράς τήξης με τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης και τους εμπειρικούς δείκτες πρόβλεψης της τάσης δημιουργίας επισκωριάσεων για τα δείγματα των Ι.Τ.

	Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID)	Θερμοκρασία μαλάκυνσης (ST)	Θερμοκρασία ημισφαιρίου (HT)	Θερμοκρασία ροής (FT)
SiO <sub>2</sub>	-0.48	-0.70	-0.70	-0.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.33	-0.67	-0.66	-0.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	-0.07	-0.10	-0.09
CaO	0.50	0.76	0.78	0.75
MgO	-0.22	-0.20	-0.24	-0.23
SO <sub>3</sub>	-0.03	0.04	0.03	0.04
Na <sub>2</sub> O	-0.26	-0.32	-0.31	-0.32
K <sub>2</sub> O	-0.32	-0.58	-0.56	-0.54
TiO <sub>2</sub>	-0.46	-0.73	-0.73	-0.70
Λόγος βασικών-όξινων οξειδίων	0.53	0.78	0.77	0.75
Δείκτης πυριτίου	-0.49	-0.73	-0.73	-0.70
Λόγος πυριτίου-αργιλίου	-0.40	-0.47	-0.47	-0.46
Λόγος σιδήρου-ασβεστίου	-0.20	-0.55	-0.59	-0.56
Δείκτης επισκωριάσεων	0.35	0.61	0.59	0.58
Δείκτης επικαθήσεων	0.21	0.34	0.36	0.32
Δείκτης αλκαλικότητας	-0.32	-0.44	-0.43	-0.43
Δείκτης Teune	-0.48	-0.71	-0.71	-0.69
Δείκτης Nicholls and Selvig	-0.48	-0.71	-0.72	-0.69
Δείκτης Schaeffer	-0.37	-0.68	-0.68	-0.66

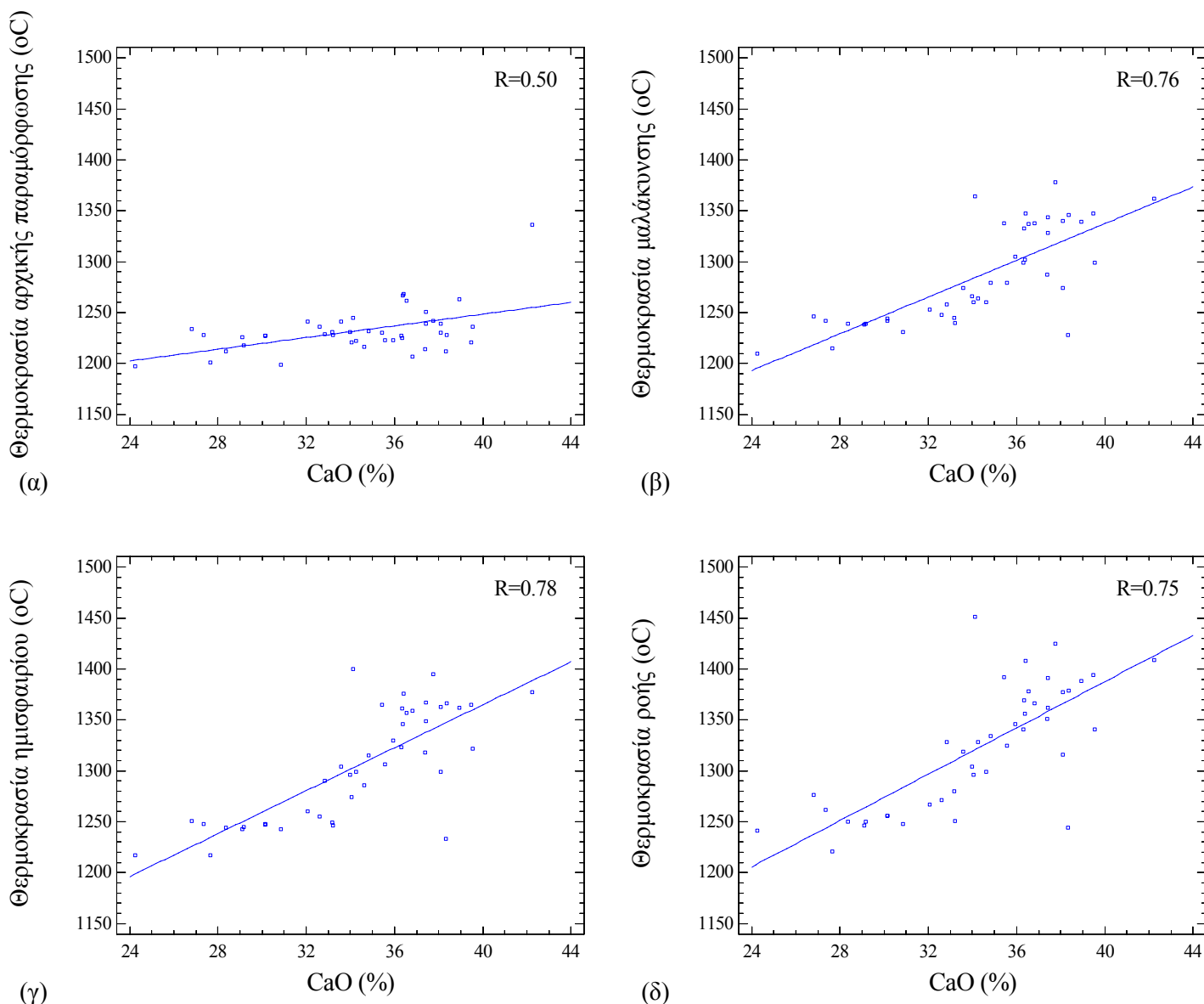
Από τον πίνακα 4.5, προκύπτει ότι για τα δείγματα των Ι.Τ., οι τιμές των συντελεστών συσχέτισης αναδεικνύουν την ύπαρξη ισχυρής συσχέτισης για τη θερμοκρασία μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το CaO ( $r=0.76$ ,  $r=0.78$ ,  $r=0.75$ ), το λόγο βασικών-όξινων οξειδίων ( $r=0.78$ ,  $r=0.77$ ,  $r=0.75$ ) και το δείκτη πυριτίου ( $r=-0.73$ ,  $r=-0.73$ ,  $r=-0.70$ ). Μέτρια συσχέτιση παρουσιάζουν οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης ημισφαιρίου και ροής με το SiO<sub>2</sub> ( $r=-0.70$ ,  $r=-0.70$ ,  $r=-0.68$ ), το Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $r=-0.67$ ,  $r=-0.66$ ,  $r=-0.64$ ), καθώς και για τους δείκτες Teune ( $r=-0.71$ ,  $r=-0.71$ ,  $r=-0.69$ ), Nicholls and Selvig ( $r=-0.71$ ,  $r=-0.72$ ,  $r=-0.69$ ) και Schaeffer ( $r=-0.68$ ,  $r=-0.68$ ,  $r=-0.66$ ). Επίσης μέτρια συσχέτιση εμφανίζεται μεταξύ των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με το λόγο σιδήρου-ασβεστίου και το δείκτη επισκωριάσεων. Οι υπόλοιποι συνδυασμοί των θερμοκρασιών μαλάκυνσης ημισφαιρίου και ροής είτε δεν εμφανίζουν συσχέτιση είτε αυτή είναι ασθενής. Η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης δεν εμφανίζει συσχέτιση ή είναι ασθενής, με εξαίρεση τη σχέση με το CaO που είναι μέτρια ( $r=0.50$ ), όπως και με το λόγο βασικών-όξινων οξειδίων ( $r=0.53$ ).

Από τη βιβλιογραφία δεν υπάρχει κάποια διαθέσιμη αντίστοιχη μελέτη συσχέτισης των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με τη χημική σύσταση, σε δείγματα Ι.Τ. Οπότε, στην παρούσα εργασία μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα βιβλιογραφικά δεδομένα, όσον αφορά την παρουσία των οξειδίων που επηρεάζουν την εμφάνιση φαινομένων επισκωρώσεων-επικαθήσεων σε σχέση με τις θερμοκρασίες που έχουν μελετηθεί Ι.Τ. για πιθανές εφαρμογές ή από μελέτες για επισκωρώσεις (Bryers, 1996; Kostakis, 2011). Έτσι, έχει βρεθεί ότι, σε μελέτη δειγμάτων σε διάφορες θερμοκρασίες με τέφρες υψηλής ή χαμηλής περιεκτικότητας σε CaO (Pipatmanomai et al., 2009; Song et al., 2009), οι τέφρες με CaO άνω του 25%, παρουσιάζουν αύξηση των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης με την αύξηση της περιεκτικότητας σε CaO και αντίστοιχη μείωση της περιεκτικότητας σε SiO<sub>2</sub> και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Στην παρούσα εργασία επιβεβαιώνονται εν μέρει οι παρατηρήσεις αυτές, καθώς το CaO εμφανίζει ισχυρή θετική συσχέτιση με τις θερμοκρασίες της συμπεριφοράς τήξης, ενώ τα SiO<sub>2</sub> και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> παρουσιάζουν μέτρια αρνητική συσχέτιση. Από τα υπόλοιπα οξείδια που επηρεάζουν την εμφάνιση φαινομένων επισκωρώσεων-επικαθήσεων, μόνο το K<sub>2</sub>O εμφανίζει μέτρια αρνητική συσχέτιση με τις θερμοκρασίες της συμπεριφοράς τήξης, ενώ τα Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O δεν εμφανίζουν κάποια συσχέτιση.

Με βάση τους συντελεστές συσχέτισης που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 4.5, ενδεικτικά οι συσχετίσεις και τα διαγράμματα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, δηλαδή υψηλούς συντελεστές συσχέτισης, είναι οι παρακάτω:

#### *A. CaO*

Τα διαγράμματα των συσχετίσεων των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει της περιεκτικότητας του CaO παρουσιάζονται στην εικόνα 4.11, όπου παρατηρείται ότι υπάρχει μια γραμμική θετική εξάρτηση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν την τήξη από την περιεκτικότητα των Ι.Τ. σε CaO. Ειδικότερα, στην εικόνα 4.11α, παρατηρείται ότι η εξάρτηση της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης από την περιεκτικότητα του CaO στα δείγματα των Ι.Τ., εμφανίζει μια μέτρια θετική γραμμική συσχέτιση, με αρκετά δείγματα να αποκλίνουν από την ευθεία. Η απόκλιση των δειγμάτων αυτών, κατά μεγάλο ποσοστό, οφείλεται στη δυσκολία προσδιορισμού της εν λόγω θερμοκρασίας.



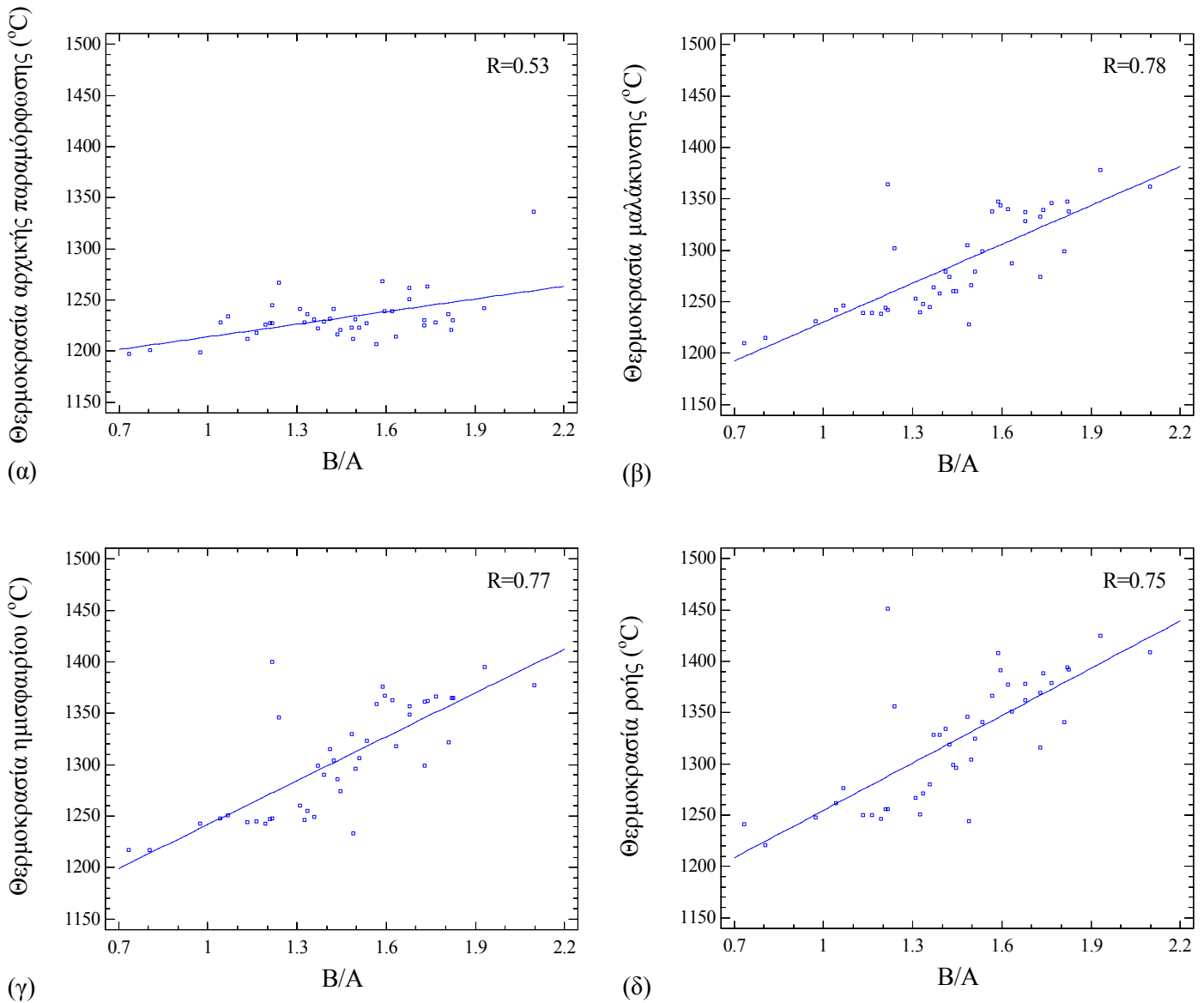
Εικόνα 4.11: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την περιεκτικότητα του CaO σε δείγματα I.T. (R: συντελεστής συσχέτισης).

Αντίστοιχα, η εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από την περιεκτικότητα του CaO στα δείγματα των I.T. παρουσιάζει ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση (Εικόνα 4.11β-δ), με την πλειονότητα των δειγμάτων να προσεγγίζει την ευθεία και ένας μικρός αριθμός δειγμάτων να αποκλίνει. Τα δείγματα που εμφανίζουν έντονη απόκλιση από την ευθεία, στα διαγράμματα των θερμοκρασιών αυτών, είναι από τους ΑΗΣ Καρδιάς και Πτολεμαΐδας, που κατά μεγάλη πιθανότητα οφείλονται σε σφάλμα του προσδιορισμού της περιεκτικότητας του CaO.

*B. Λόγος βασικών-όξινων οξειδίων (B/A)*

Στην εικόνα 4.12 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των συσχετίσεων των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει του λόγου

$$\text{βασικών-όξινων οξειδίων (B/A} = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2} \text{)}.$$



Εικόνα 4.12: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με το λόγο βασικών-όξινων οξειδίων σε δείγματα I.T. (R: συντελεστής συσχέτισης).

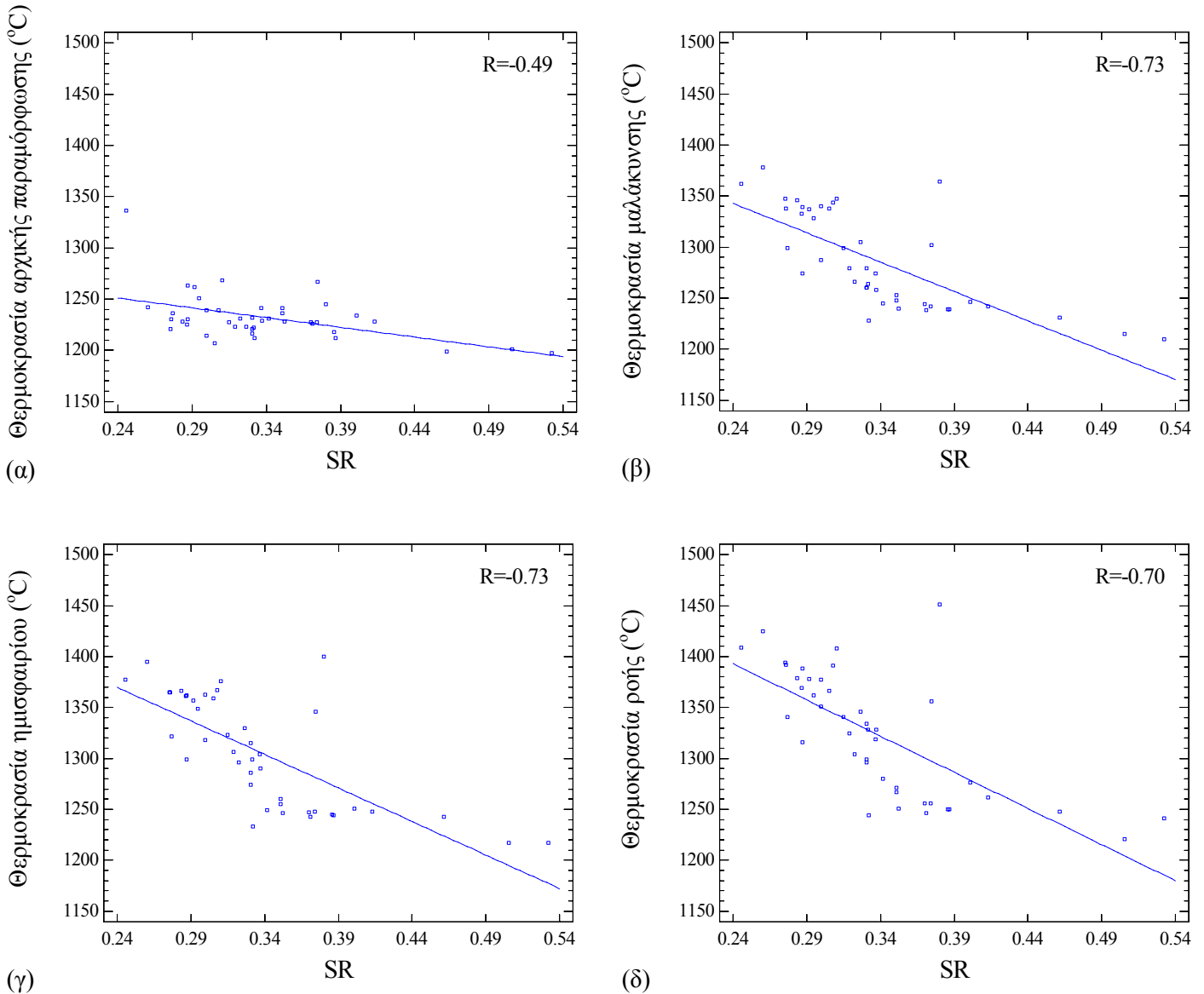
Όπως προκύπτει από την εικόνα 4.12α, η συσχέτιση της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης με το λόγο βασικών-όξινων οξειδίων είναι μέτρια γραμμική, καθώς οι τιμές συσσωρεύονται πλησίον της θεωρητικής ευθείας συσχέτισης, καλύπτοντας ένα

μικρό εύρος θερμοκρασιών. Η εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από το λόγο βασικών-όξινων οξειδίων παρουσιάζει ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση (Εικόνα 4.12β-δ), όπου υπάρχει συγκέντρωση των δειγμάτων γύρω από την ευθεία και ένα μικρό αριθμό δειγμάτων να αποκλίνουν. Τα δείγματα που εμφανίζουν μεγάλη απόκλιση στα διαγράμματα των θερμοκρασιών αυτών, προέρχονται από τους ΑΗΣ Καρδιάς και Πτολεμαΐδας.

#### Γ. Δείκτης πυριτίου (*Silica ratio, SR*)

Στην εικόνα 4.13 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των συσχετίσεων των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει του δείκτη πυριτίου ( $SR = \frac{SiO_2}{SiO_2 + Fe_2O_3 + CaO + MgO}$ ).

Τα διαγράμματα της εικόνας 4.13 παρουσιάζουν μια εν γένει εξάρτηση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης από το δείκτη πυριτίου (SR). Στην εικόνα 4.13α παρατηρείται ότι η συσχέτιση της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης με το δείκτη πυριτίου (SR) είναι μέτρια αρνητική γραμμική, καθώς οι τιμές συσσωρεύονται πλησίον της θεωρητικής ευθείας συσχέτισης με μικρή απόκλιση των τιμών, καλύπτοντας ένα μικρό εύρος θερμοκρασιών. Από τα διαγράμματα β και γ της εικόνας 4.13, προκύπτει ότι η εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης και ημισφαιρίου από το δείκτη πυριτίου (SR) είναι εν γένει ισχυρή αρνητική γραμμική, ενώ η θερμοκρασία ροής εμφανίζει μέτρια αρνητική συσχέτιση (Εικόνα 4.13δ), με αρκετά δείγματα να αποκλίνουν από την ευθεία. Τα δείγματα που εμφανίζουν μεγάλη απόκλιση προέρχονται από τους ΑΗΣ Καρδιάς και Πτολεμαΐδας.



Εικόνα 4.13: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με το δείκτη πυριτίου (SR) σε δείγματα I.T. (R: συντελεστής συσχέτισης).

Οι συσχετίσεις των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με τα μεμονωμένα οξείδια ή τους δείκτες πρόβλεψης της τάσης δημιουργίας φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων, όπως φάνηκε από τον πίνακα 4.5 και τις εικόνες 4.11-4.13, ήταν αρκετά ικανοποιητικές σε κάποιες περιπτώσεις. Έτσι, από τα αποτελέσματα των συσχετίσεων αυτών θα μπορούσε να αναφερθεί ότι εν μέρει είναι πιθανή η εκτίμηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από την περιεκτικότητα του CaO ή το λόγο βασικών-όξινων οξειδίων.

Καθώς όμως η εξάρτηση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης από τα οξείδια ή τους δείκτες πρόβλεψης της τάσης δημιουργίας φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων, δεν εμφανίζει σε κάποια περίπτωση πολύ ισχυρή συσχέτιση ( $r > 0.80$ ), ενώ υπήρχαν και δείγματα τα οποία εμφάνιζαν αποκλίσεις από την ευθεία, έγιναν προσπάθειες εύρεσης πιο σύνθετων συνδυασμών.

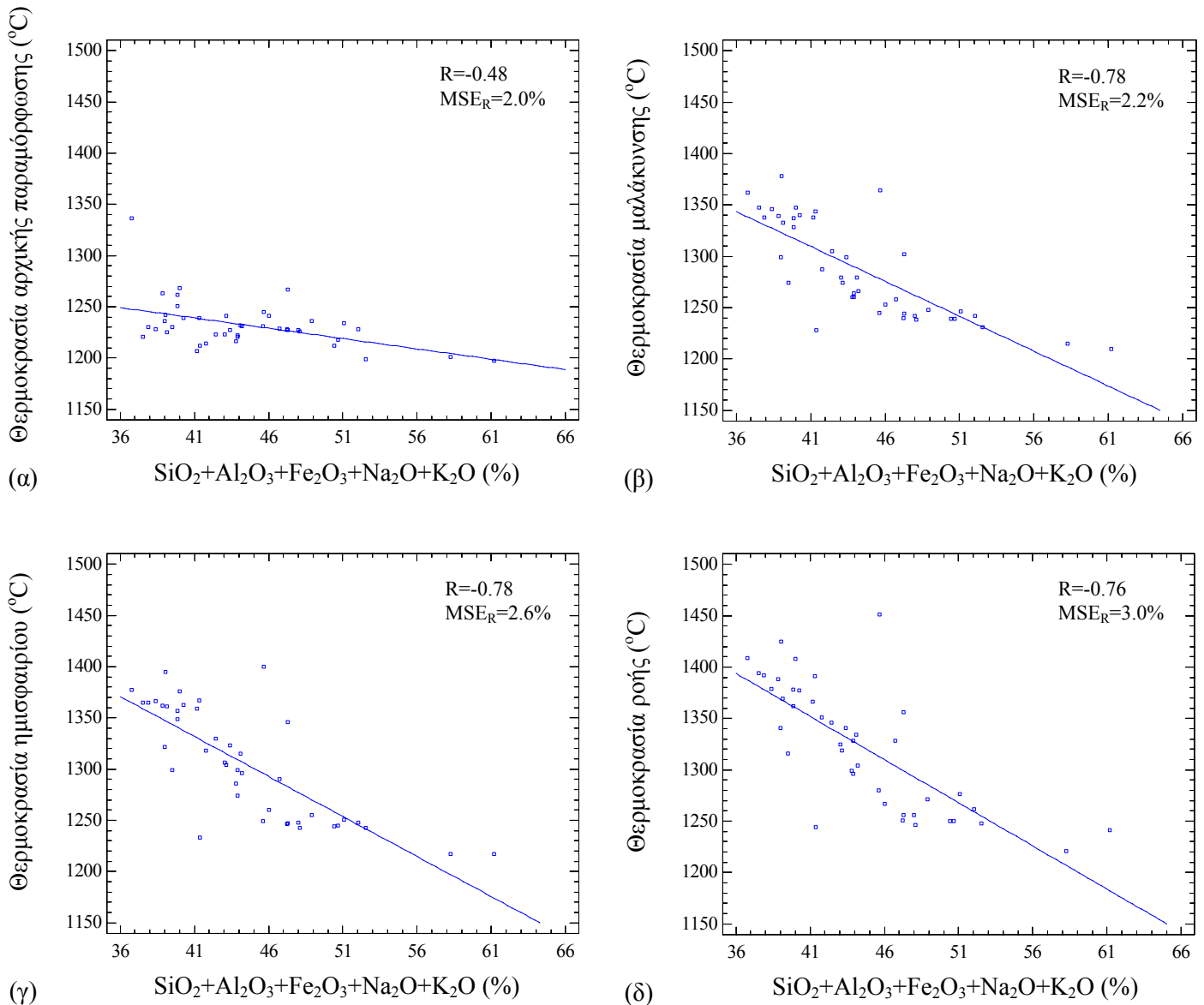
Έτσι, έγιναν προσπάθειες συσχέτισης των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τη χημική σύσταση των τεφρών μέσω των αθροισμάτων οξειδίων με απλή γραμμική συσχέτιση. Από τους συνδυασμούς που ελέγχθησαν, προέκυψαν κυρίως ασθενείς και μέτριες συσχετίσεις, ενώ ισχυρή συσχέτιση παρουσιάστηκε σε ελάχιστες περιπτώσεις για τις θερμοκρασίες μαλάκυνσης και ημισφαιρίου.

Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζονται, ενδεικτικά, οι σχέσεις, το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα και οι συντελεστές συσχέτισης που προέκυψαν από τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης (θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου, ροής) συναρτήσει του αθροίσματος των οξειδίων  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  και  $\text{K}_2\text{O}$  των δειγμάτων των Ι.Τ., που εμφάνισαν ισχυρή συσχέτιση για τις θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου, ροής με μικρό σχετικό σφάλμα. Τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις συσχετίσεις αυτές παρουσιάζονται στην εικόνα 4.14.

Πίνακας 4.6: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των Ι.Τ.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης (r)	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $\text{MSE}_R$ , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1322 - 2.02 \cdot (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$	-0.48	2.0
Μαλάκυνσης (ST)	$1588 - 6.80 \cdot (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$	-0.78	2.2
Ημισφαιρίου (HT)	$1653 - 7.82 \cdot (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$	-0.78	2.6
Ροής (FT)	$1697 - 8.41 \cdot (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$	-0.76	3.0

Όπως παρατηρείται στην εικόνα 4.14α, η εξάρτηση της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης από το άθροισμα των οξειδίων  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , παρουσιάζει ασθενή αρνητική γραμμική συσχέτιση, καθώς η συσσώρευση των δειγμάτων και η διασπορά τους γύρω από την ευθεία είναι σε ένα μικρό εύρος θερμοκρασιών.



Εικόνα 4.14: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με το άθροισμα οξειδίων ( $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) σε δείγματα Ι.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης,  $\text{MSE}_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Στην εικόνα 4.14β φαίνεται η εξάρτηση της θερμοκρασίας μαλάκυνσης από το άθροισμα των οξειδίων  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , παρουσιάζει ισχυρή αρνητική συσχέτιση, ενώ ένας μικρός αριθμός δειγμάτων αποκλίνει από την ευθεία. Ομοίως και η εξάρτηση των θερμοκρασιών ημισφαιρίου και ροής από το άθροισμα των οξειδίων  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , παρουσιάζει ισχυρή αρνητική συσχέτιση (Εικόνα 4.14γ-δ), με εξαίρεση ενός μικρού αριθμού δειγμάτων που η απόκλιση τους από την ευθεία είναι μεγάλη.

Επομένως, όπως προκύπτει από την εικόνα 4.14, η ύπαρξη ισχυρής γραμμικής συσχέτισης των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου, ροής με το άθροισμα των οξειδίων  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  και  $\text{K}_2\text{O}$  των δειγμάτων των Ι.Τ., καθιστά εν μέρει πιθανή την εκτίμηση των εν λόγω θερμοκρασιών σύμφωνα με τις σχέσεις που αποτυπώνονται στον πίνακα 4.6, λαμβάνοντας υπόψη και τα αντίστοιχα σχετικά σφάλματα.

Πέρα από τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με τα μεμονωμένα οξείδια ή τους εμπειρικούς δείκτες πρόβλεψης της τάσης δημιουργίας φαινομένων επισκωρίωσης-επικαθήσεων, καθώς και αθροισμάτων οξειδίων με τη χρήση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τα δείγματα των Ι.Τ., πραγματοποιήθηκαν και συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με συνδυασμό οξειδίων με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Από τους συνδυασμούς που ελέγχθησαν, είτε με διάφορες δοκιμές, είτε με τη βοήθεια της διαδικασίας επιλογής μοντέλου παλινδρόμησης, οι σχέσεις που εμφάνισαν τους υψηλότερους δείκτες των συντελεστών συσχέτισης σε συνδυασμό με τις μικρότερες τιμές του σχετικού σφάλματος, περιλάμβαναν εν μέρει διαφορετική σύνθεση οξειδίων για κάθε θερμοκρασία. Έτσι οι συσχετίσεις ήταν:

- α) θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης με συνδυασμό των οξειδίων  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  και  $\text{K}_2\text{O}$ ,
- β) θερμοκρασία μαλάκυνσης με συνδυασμό των οξειδίων  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  και  $\text{K}_2\text{O}$ ,
- γ) θερμοκρασία ημισφαιρίου με συνδυασμό των οξειδίων  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  και  $\text{TiO}_2$ ,
- δ) θερμοκρασία ροής με συνδυασμό των οξειδίων  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  και  $\text{TiO}_2$ .

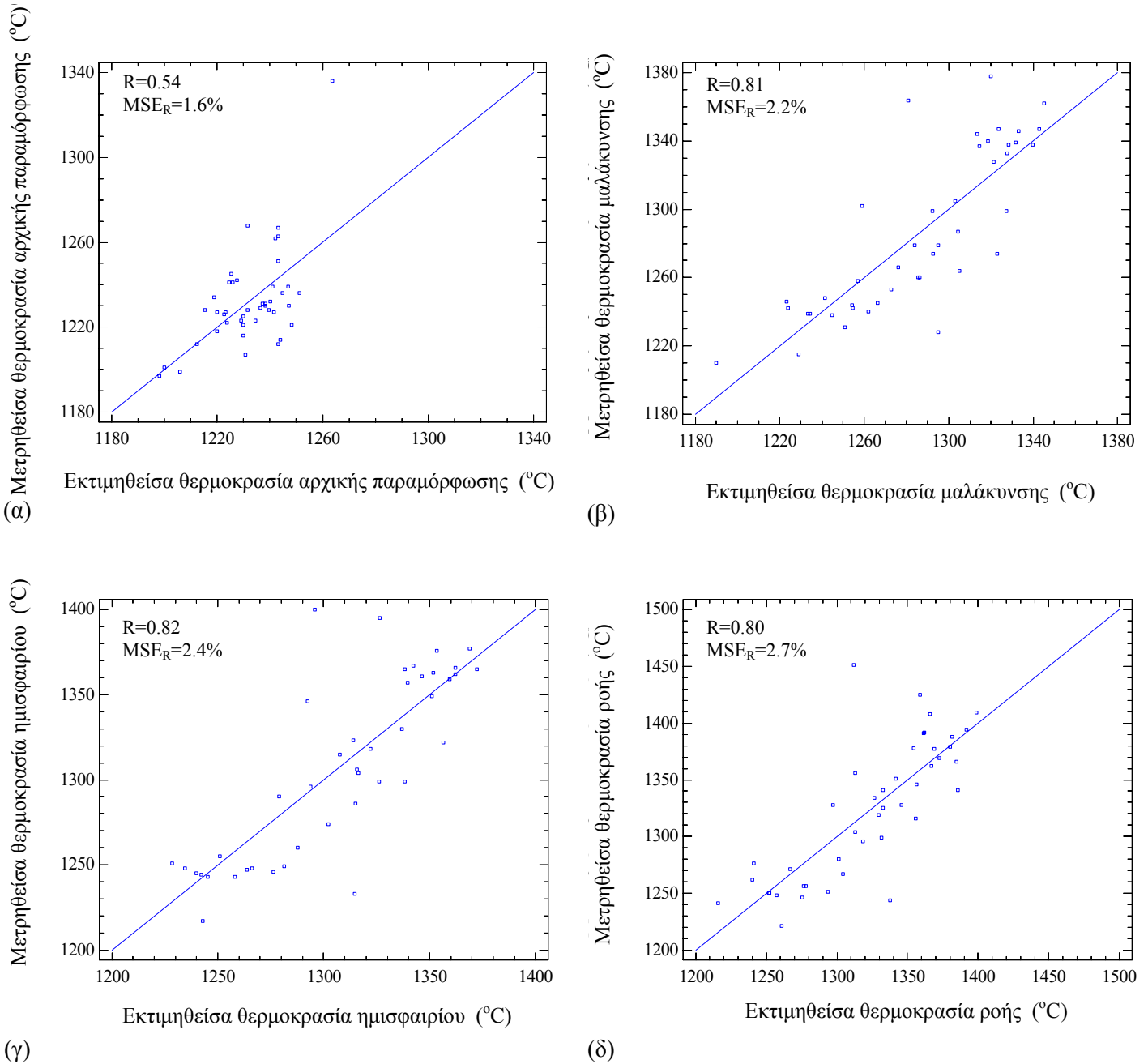
Οι σχέσεις εκτίμησης των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης, το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα και οι συντελεστές συσχέτισης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.7. Η αξιοπιστία των σχέσεων ελέγχθηκε, όπως είναι καθιερωμένο στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, με τα διαγράμματα της πειραματικά μετρηθείσας συναρτήσεως της εκτιμηθείσας από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση θερμοκρασίας (Εικόνα 4.15).

Πίνακας 4.7: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των Ι.Τ.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης (r)	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE <sub>R</sub> , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1106 + 9.73 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2.74 \cdot \text{CaO} - 6.07 \cdot \text{MgO} - 3.38 \cdot \text{SO}_3 - 11.98 \cdot \text{Na}_2\text{O} + 21.53 \cdot \text{K}_2\text{O}$	0.54	1.6
Μαλάκυνσης (ST)	$1594 - 2.11 \cdot \text{SiO}_2 - 10.96 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 13.82 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 1.86 \cdot \text{CaO} - 123.71 \cdot \text{K}_2\text{O}$	0.81	2.2
Ημισφαιρίου (HT)	$1554 - 2.98 \cdot \text{SiO}_2 - 18.50 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3.33 \cdot \text{CaO} - 81.17 \cdot \text{K}_2\text{O} - 152.82 \cdot \text{TiO}_2$	0.82	2.4
Ροής (FT)	$1394 - 15.57 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 5.99 \cdot \text{CaO} + 5.00 \cdot \text{SO}_3 - 103.99 \cdot \text{K}_2\text{O} - 198.49 \cdot \text{TiO}_2$	0.80	2.7

Από τον πίνακα 4.7 φαίνεται ότι οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης και ημισφαιρίου σύμφωνα με το συντελεστή συσχέτισης εμφανίζουν πολύ ισχυρή συσχέτιση με το συνδυασμό των οξειδίων, ενώ η θερμοκρασία ροής παρουσιάζει οριακά ισχυρή συσχέτιση και η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης μέτρια.

Το διάγραμμα της μετρηθείσας θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης με την εκτιμηθείσα, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των οξειδίων  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  και  $\text{K}_2\text{O}$ , όπως περιγράφεται από τη σχέση του πίνακα 4.7, επιβεβαιώνει τη μέτρια συσχέτιση, καθώς παρουσιάζονται αποκλίσεις των τιμών από την ευθεία παλινδρόμησης (Εικόνα 4.15α). Αντίστοιχα, στην εικόνα 4.15β παρατηρείται ότι, η συσχέτιση της μετρηθείσας θερμοκρασίας μαλάκυνσης με την εκτιμηθείσα, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των οξειδίων  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  και  $\text{K}_2\text{O}$ , που περιγράφεται από τη σχέση του πίνακα 4.7, είναι πολύ ισχυρή, καθώς η πλειονότητα των δειγμάτων παρουσιάζει μικρή απόκλιση από την ευθεία παλινδρόμησης. Ομοίως, η συσχέτιση της μετρηθείσας θερμοκρασίας ημισφαιρίου με την εκτιμηθείσα (Εικόνα 4.15γ) για το συνδυασμό των οξειδίων  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  και  $\text{TiO}_2$ , όπως και η συσχέτιση της μετρηθείσας θερμοκρασίας ροής με την εκτιμηθείσα (Εικόνα 4.15δ) για το συνδυασμό των οξειδίων  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  και  $\text{K}_2\text{O}$ , που περιγράφονται από τις σχέσεις του πίνακα 4.7 είναι πολύ ισχυρές, με τα δείγματα να προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό την ευθεία παλινδρόμησης και εξαίρεση να αποτελεί ένας πολύ μικρός αριθμός δειγμάτων που αποκλίνουν σημαντικά.



Εικόνα 4.15: Διαγράμματα συσχέτισης της μετρηθείσας θερμοκρασίας (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την εκτιμηθείσα από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για το συνδυασμό οξειδίων σύμφωνα με τις σχέσεις του πίνακα 4.7 σε δείγματα I.T. (R: συντελεστής συσχέτισης, MSE<sub>R</sub>: σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Συνολικά, από την εικόνα 4.15 προκύπτει ότι οι θερμοκρασίες κυρίως ημισφαιρίου, αλλά και οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης και ροής μπορούν να εκτιμηθούν από τις σχέσεις που περιγράφησαν στον πίνακα 4.7, λαμβάνοντας υπόψη και το σχετικό σφάλμα. Για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι δύσκολη η εκτίμηση, καθώς

οι τιμές είναι συσσωρευμένες σε μια μικρή περιοχή θερμοκρασιών και παρουσιάζουν έντονη διασπορά.

#### 4.3.2 Εργαστηριακές τέφρες

Από τη συσχέτιση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με τη χημική σύσταση (οξείδια) των δειγμάτων των Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, καθώς και με τους εμπειρικούς δείκτες πρόβλεψης της τάσης της συμπεριφοράς της τέφρας κατά την καύση, προέκυψαν οι συντελεστές συσχέτισης που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8.

Πίνακας 4.8: Συντελεστές συσχέτισης ( $r$ ) των θερμοκρασιών συμπεριφοράς τήξης με τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης και τους εμπειρικούς δείκτες πρόβλεψης της τάσης δημιουργίας επισκωρίσεων για τα δείγματα των Ε.Τ.

	Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID)	Θερμοκρασία μαλάκυνσης (ST)	Θερμοκρασία ημισφαιρίου (HT)	Θερμοκρασία ροής (FT)
SiO <sub>2</sub>	-0.12	-0.39	-0.49	-0.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.26	-0.69	-0.75	-0.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.38	-0.53	-0.42	-0.37
CaO	0.16	0.63	0.70	0.71
MgO	-0.10	-0.48	-0.46	-0.48
SO <sub>3</sub>	0.06	-0.14	-0.02	-0.08
Na <sub>2</sub> O	-0.43	-0.58	-0.57	-0.48
K <sub>2</sub> O	0.15	0.18	0.04	-0.01
TiO <sub>2</sub>	-0.23	-0.52	-0.62	-0.61
Λόγος βασικών-όξινων οξειδίων	0.08	0.45	0.56	0.59
Δείκτης πυριτίου	-0.09	-0.38	-0.52	-0.50
Λόγος πυριτίου-αργιλίου	0.06	0.11	-0.06	-0.01
Λόγος σιδήρου-ασβεστίου	-0.35	-0.72	-0.73	-0.67
Δείκτης επισκωρίσεων	0.13	0.29	0.46	0.43
Δείκτης επικαθήσεων	-0.42	-0.40	-0.35	-0.24
Δείκτης αλκαλικότητας	-0.42	-0.58	-0.63	-0.55
Δείκτης Teune	-0.12	-0.41	-0.55	-0.50
Δείκτης Nicholls and Selvig	-0.10	-0.40	-0.54	-0.50
Δείκτης Schaeffer	-0.16	-0.61	-0.70	-0.69

Αντίστοιχα με τα δείγματα των Ι.Τ. και στα δείγματα των Ε.Τ. εμφανίζεται συσχέτιση της συμπεριφοράς τήξης με τη χημική σύσταση και τους δείκτες, αλλά σε μικρότερο βαθμό, όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.8. Συγκεκριμένα, οι συντελεστές συσχέτισης των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης, φανερώνουν ισχυρή συσχέτιση της θερμοκρασίας ημισφαιρίου και ροής με το Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $r=-0.75$ ,  $r=-0.75$ ), καθώς και της θερμοκρασίας μαλάκυνσης και ημισφαιρίου με το λόγο σιδήρου-ασβεστίου ( $r=-0.72$ ,  $r=-0.73$ ) και της θερμοκρασίας ροής με το CaO ( $r=0.71$ ). Μέτρια συσχέτιση εμφανίζεται για

τη θερμοκρασία μαλάκυνσης με το  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $r=-0.69$ ), το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $r=-0.53$ ), το  $\text{CaO}$  ( $r=0.63$ ), το  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $r=-0.58$ ), το δείκτη αλκαλικότητας ( $r=-0.58$ ) και το δείκτη Schaeffer ( $r=-0.61$ ). Η θερμοκρασία ημισφαιρίου εμφανίζει μέτρια συσχέτιση με το  $\text{CaO}$  ( $r=0.70$ ), το  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $r=-0.57$ ), το λόγο βασικών-όξινων οξειδίων ( $r=0.56$ ), το δείκτη πυριτίου ( $r=-0.52$ ), το δείκτη αλκαλικότητας ( $r=-0.63$ ), το δείκτη Teune ( $r=-0.55$ ), το δείκτη Nicholls and Selvig ( $r=-0.54$ ) και το δείκτη Schaeffer ( $r=-0.70$ ), ενώ για τη θερμοκρασία ροής μέτρια συσχέτιση υπάρχει με το λόγο βασικών-όξινων οξειδίων ( $r=0.59$ ), το λόγο σιδήρου-ασβεστίου ( $r=-0.67$ ), το δείκτη αλκαλικότητας ( $r=-0.55$ ), το δείκτη Teune ( $r=-0.50$ ), το δείκτη Nicholls and Selvig ( $r=-0.50$ ) και το δείκτη Schaeffer ( $r=-0.69$ ). Για τις θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης υπάρχει έλλειψη συσχέτισης ή σε κάποιες περιπτώσεις εμφανίζεται ασθενής συσχέτιση.

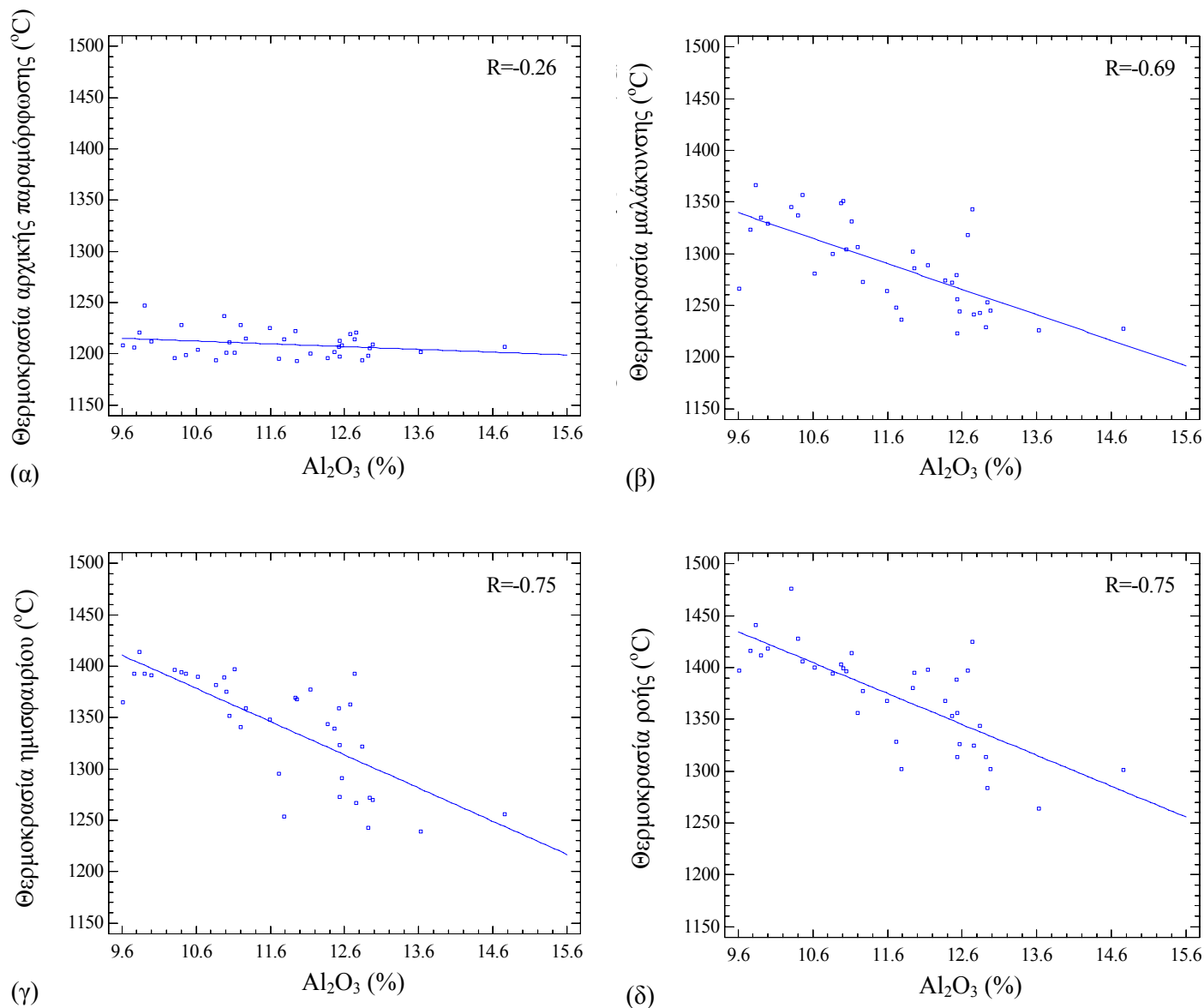
Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με τη χημική σύσταση στα δείγματα E.T., επιβεβαιώνουν τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τους λιγνίτες της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (Vamvuka et al., 2001; Vamvuka and Kakaras, 2011). Έτσι, εμφανίζεται αύξηση των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης με την αύξηση της περιεκτικότητας σε  $\text{CaO}$  (μέτρια έως ισχυρή θετική συσχέτιση), ενώ παρατηρείται μείωση της περιεκτικότητας σε  $\text{SiO}_2$  και  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (μέτρια έως ισχυρή αρνητική συσχέτιση). Η συσχέτιση των θερμοκρασιών με τα οξείδια που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των τεφρών στη δημιουργία φαινομένων επισκωρίωσης-επικαθήσεων ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  και  $\text{K}_2\text{O}$ ), παρουσιάζει μια μέτρια αρνητική συσχέτιση όσον αφορά τα  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  και  $\text{Na}_2\text{O}$ , ενώ για τα  $\text{SO}_3$  και  $\text{K}_2\text{O}$  υπάρχει έλλειψη συσχέτισης.

Από τις τιμές των συντελεστών συσχέτισης, παρατηρείται ότι οι πιο σαφείς (ισχυρές) συσχετίσεις εμφανίζονται κυρίως για τη θερμοκρασία ημισφαιρίου και σε μικρότερο βαθμό για τις θερμοκρασίες μαλάκυνσης και ροής. Για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι, υπεισέρχονται στον προσδιορισμό της και τα σφάλματα λόγω δυσκολίας προσδιορισμού της ακριβούς θερμοκρασίας παρατήρησης.

Με βάση τους συντελεστές συσχέτισης που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 4.8, ενδεικτικά οι συσχετίσεις και τα διαγράμματα των δειγμάτων E.T. που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, δηλαδή υψηλούς συντελεστές συσχέτισης, είναι οι παρακάτω:

### A. $Al_2O_3$

Στην εικόνα 4.16 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των συσχετίσεων των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει της περιεκτικότητας του  $Al_2O_3$ .



Εικόνα 4.16: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την περιεκτικότητα του  $Al_2O_3$  σε δείγματα Ε.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης).

Όπως προκύπτει από την εικόνα 4.16α, η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης δεν παρουσιάζει κάποια εξάρτηση από την περιεκτικότητα του  $Al_2O_3$  στα δείγματα των Ε.Τ., καθώς παρατηρείται διασπορά των δειγμάτων γύρω από την ευθεία σε ένα μικρό

εύρος θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης. Η εξάρτηση της θερμοκρασίας μαλάκυνσης από την περιεκτικότητα του  $\text{Al}_2\text{O}_3$  παρουσιάζει μέτρια αρνητική γραμμική συσχέτιση (Εικόνα 4.16β), καθώς υπάρχουν αρκετά δείγματα, τα οποία αποκλίνουν από την ευθεία, ενώ οι θερμοκρασίες ημισφαιρίου και ροής εμφανίζουν ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση με την περιεκτικότητα του  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Εικόνα 4.16γ-δ), ενώ υπάρχει ένας μικρός αριθμός δειγμάτων που εμφανίζει απόκλιση από την ευθεία.

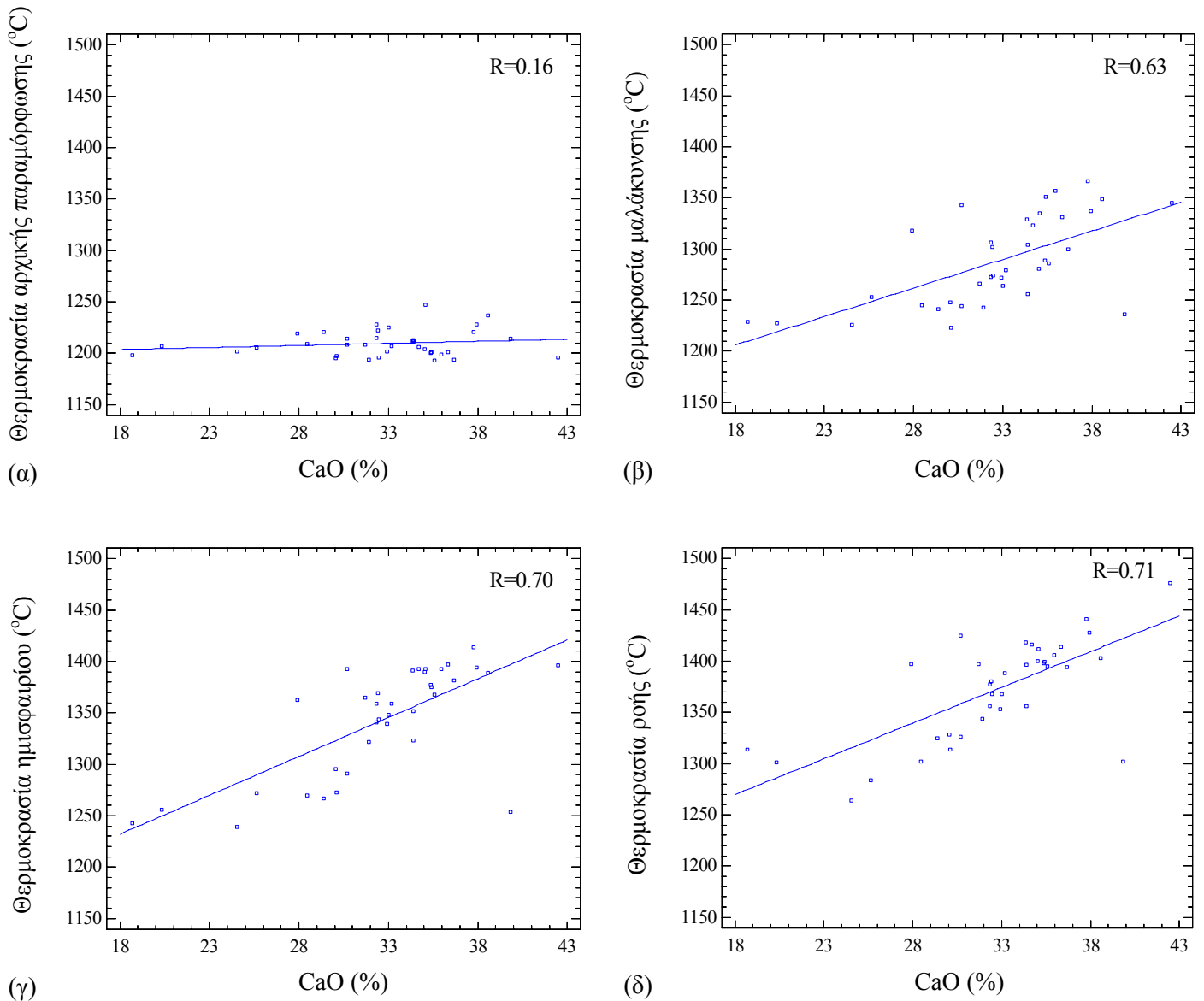
Τα δείγματα που εμφανίζουν έντονη απόκλιση από την ευθεία προέρχονται από τον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, πιθανόν να οφείλονται σε πειραματικό σφάλμα ή διαφοροποίηση του λιγνίτη κατά το χρόνο δειγματοληψίας των εν λόγω δειγμάτων, ενώ τα δείγματα από τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου που αποκλίνουν αντιστοιχούν σε δώρα με έντονες διακυμάνσεις.

### *B. CaO*

Τα διαγράμματα των συσχετίσεων των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει της περιεκτικότητας του  $\text{CaO}$  παρουσιάζονται στην εικόνα 4.17.

Όπως παρατηρείται στην εικόνα 4.17α, η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι ανεξάρτητη από την περιεκτικότητα του  $\text{CaO}$  στα δείγματα Ε.Τ., όπως ισχύει και για το  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , καθώς τα δείγματα καλύπτουν ένα μεγάλο σχετικά εύρος της περιεκτικότητας του  $\text{CaO}$  σε ένα μικρό εύρος θερμοκρασιών, ενώ παρουσιάζουν και αποκλίσεις από την ευθεία. Η εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από την περιεκτικότητα του  $\text{CaO}$  παρουσιάζει μια μέτρια θετική γραμμική συσχέτιση όπως φαίνεται στα αντίστοιχα διαγράμματα (Εικόνα 4.17β-δ), όπου το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων προσεγγίζει την ευθεία, ενώ ένας μικρός αριθμός εμφανίζει σημαντικές αποκλίσεις.

Τα δείγματα που εμφανίζουν έντονη απόκλιση από την ευθεία προέρχονται από τον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας και ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, τα οποία πιθανόν να οφείλονται σε πειραματικό σφάλμα ή διαφοροποίηση του λιγνίτη κατά το χρόνο δειγματοληψίας των εν λόγω δειγμάτων.

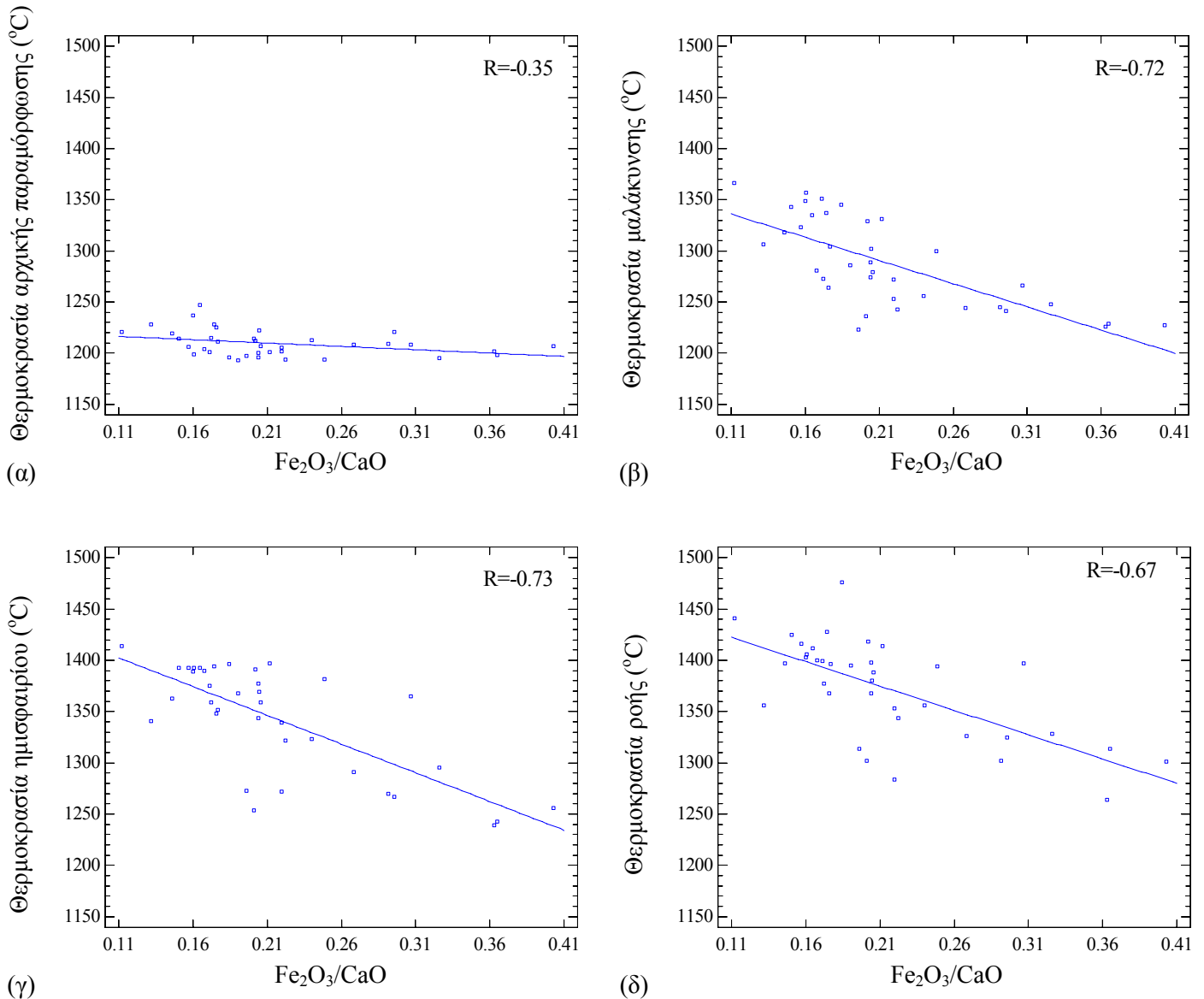


Εικόνα 4.17: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την περιεκτικότητα του CaO σε δείγματα Ε.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης).

#### Γ. Λόγος σιδήρου-ασβεστίου ( $Fe_2O_3/CaO$ )

Στην εικόνα 4.18 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των συσχετίσεων των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει του λόγου σιδήρου-ασβεστίου ( $Fe_2O_3/CaO$ ).

Στην εικόνα 4.18α παρατηρείται ότι, η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι ανεξάρτητη από το λόγο σιδήρου-ασβεστίου ( $Fe_2O_3/CaO$ ), καθώς παρατηρείται έντονη διασπορά των δειγμάτων όσον αφορά το λόγο σιδήρου-ασβεστίου ( $Fe_2O_3/CaO$ ) σε μικρό εύρος θερμοκρασιών.



Εικόνα 4.18: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με το λόγο σιδήρου-ασβεστίου ( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ ) σε δείγματα E.T. (R: συντελεστής συσχέτισης).

Η εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης και ημισφαιρίου από το λόγο σιδήρου-ασβεστίου ( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ ) παρουσιάζει ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση, όπου ένας μικρός αριθμός δειγμάτων αποκλίνουν από την ευθεία (Εικόνα 4.18β-γ). Αντίστοιχα και στην εικόνα 4.18δ, η εξάρτηση της θερμοκρασίας ροής από το λόγο σιδήρου-ασβεστίου ( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ ) παρουσιάζει μέτρια αρνητική γραμμική συσχέτιση, καθώς υπάρχουν αρκετά δείγματα που αποκλίνουν από την ευθεία. Τα δείγματα που αποκλίνουν από την ευθεία προέρχονται από τους ΑΗΣ Πτολεμαΐδας και Αγ. Δημητρίου

και οφείλονται είτε σε πειραματικό σφάλμα, είτε σε διαφοροποίηση του λιγνιτικού καυσίμου που τροφοδοτεί τους εν λόγω σταθμούς.

Συνολικά από τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με τα μεμονωμένα οξείδια ή τους δείκτες πρόβλεψης της τάσης δημιουργίας φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων, όπως φάνηκε από τον πίνακα 4.8 και τις εικόνες 4.16-4.18, προκύπτει ότι πρωτίστως η θερμοκρασία ημισφαιρίου και δευτερευόντως οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης και ροής εμφανίζουν μια ικανοποιητική γραμμική συσχέτιση. Οι συσχετίσεις όμως αυτές είναι κυρίως ασθενείς και μέτριες, καθιστώντας δύσκολη την εκτίμηση των εν λόγω θερμοκρασιών. Η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι ανεξάρτητη από τα οξείδια ή τους δείκτες πρόβλεψης σε όλες τις περιπτώσεις και ως εκ τούτου είναι αδύνατη η εκτίμησή της.

Έτσι, αντίστοιχα με τα δείγματα των Ι.Τ. και στα δείγματα των Ε.Τ., έγιναν προσπάθειες εύρεσης πιο σύνθετων συνδυασμών από τη συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τη χημική σύσταση των τεφρών μέσω των αθροισμάτων οξειδίων με απλή γραμμική συσχέτιση. Οι συσχετίσεις αυτές παρουσίασαν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις προηγούμενες, εμφανίζοντας όμως πάλι κυρίως μέτριες και σε πολύ περιορισμένες περιπτώσεις ισχυρές συσχετίσεις για τις θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής, ενώ ήταν ασθενείς για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης.

Από τους συνδυασμούς που έγιναν, οι συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου, ροής με το άθροισμα των οξειδίων  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  και  $TiO_2$  για τα δείγματα των Ε.Τ. είχαν τις υψηλότερες τιμές των συντελεστών συσχέτισης και το μικρότερο σχετικό σφάλμα. Οι σχέσεις που περιγράφουν την εκτίμηση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου, ροής, τα σχετικά μέσα τετραγωνικά σφάλματα και οι συντελεστές συσχέτισης, των συσχετίσεων αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.9, ενώ τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις συσχετίσεις αυτές, στην εικόνα 4.19.

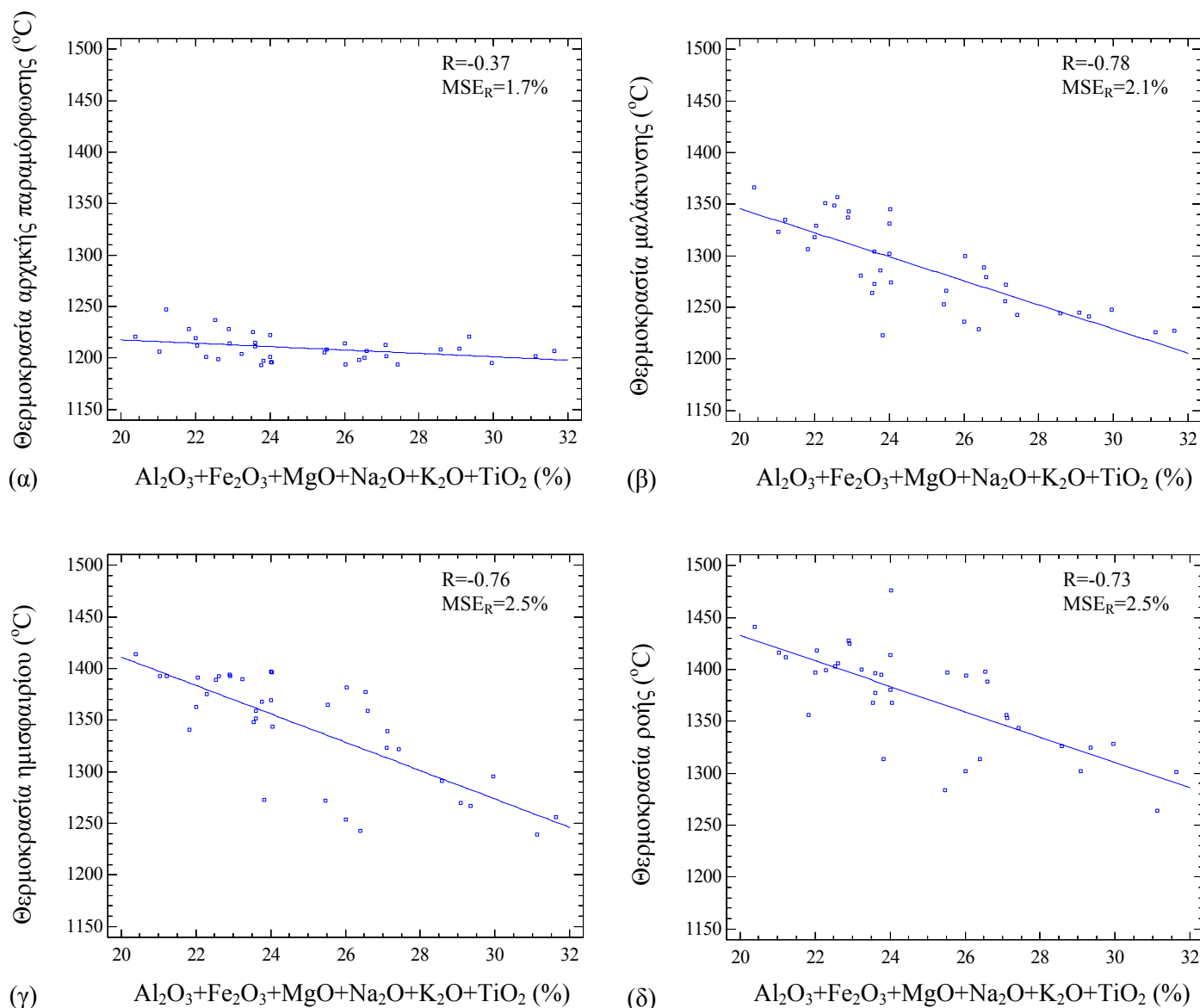
Πίνακας 4.9: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των Ι.Τ.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης (r)	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE <sub>R</sub> , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1251 - 1.64 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{TiO}_2)$	-0.37	1.7
Μαλάκυνσης (ST)	$1579 - 11.68 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{TiO}_2)$	-0.78	2.1
Ημισφαιρίου (HT)	$1687 - 13.78 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{TiO}_2)$	-0.76	2.5
Ροής (FT)	$1678 - 12.26 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{TiO}_2)$	-0.73	2.5

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 4.9, υπάρχει ισχυρή συσχέτιση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το άθροισμα των οξειδίων  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  και  $\text{TiO}_2$ . Για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης η συσχέτιση με το άθροισμα των οξειδίων είναι ασθενής, σύμφωνα με το συντελεστή συσχέτισης, ενώ όπως παρατηρείται στην εικόνα 4.19α, δεν υπάρχει εξάρτηση της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης από το άθροισμα των οξειδίων, αφού η διασπορά των τιμών γύρω από την ευθεία γίνεται σε ένα μικρό εύρος θερμοκρασιών.

Η εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από το άθροισμα των οξειδίων  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  και  $\text{TiO}_2$  παρουσιάζει ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση, όπως παρατηρείται από την εικόνα 4.19(β-δ), με ένα μικρό αριθμό δειγμάτων να εμφανίζει έντονες αποκλίσεις από την ευθεία.

Έτσι, από τα διαγράμματα της εικόνας 4.19 προκύπτει ότι η συσχέτιση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το άθροισμα των οξειδίων  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  και  $\text{TiO}_2$  είναι ισχυρή, το οποίο καθιστά, εν μέρει, δυνατή την εκτίμηση των θερμοκρασιών αυτών. Οι έντονες αποκλίσεις δειγμάτων από την ευθεία συσχέτισης, οφείλονται είτε σε πειραματικό σφάλμα, είτε σε διαφοροποίηση του λιγνιτικού καυσίμου.



Εικόνα 4.19: Διαγράμματα συσχέτιση των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με το άθροισμα οξειδίων ( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{TiO}_2$ ) σε δείγματα Ε.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης,  $\text{MSE}_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Αντίστοιχα με τα δείγματα των Ι.Τ., πέρα από τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης με τα οξείδια και τις εμπειρικές σχέσεις πρόβλεψης της τάσης δημιουργίας φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων, καθώς και των αθροισμάτων οξειδίων με απλή γραμμική παλινδρόμηση, πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με συνδυασμούς οξειδίων χρησιμοποιώντας πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για τα δείγματα των Ε.Τ.

Εφαρμόζοντας το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για τα δείγματα των Ε.Τ., προέκυψαν διάφοροι συνδυασμοί οξειδίων σε κάθε θερμοκρασία, από τους οποίους στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας από τους πιο ικανοποιητικούς συνδυασμούς (υψηλότερη τιμή συντελεστή συσχέτισης με μικρότερο σχετικό σφάλμα). Έτσι, στον πίνακα 4.10 παρουσιάζονται οι σχέσεις εκτίμησης των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης, οι συντελεστές συσχέτισης ( $r$ ) και τα σχετικά μέσα τετραγωνικά σφάλματα ( $MSE_R$ ), όπως προέκυψαν από τη συσχέτιση της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης (ID) συναρτήσεως του συνδυασμού των οξειδίων  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  και  $TiO_2$ , καθώς και των θερμοκρασιών μαλάκυνσης (ST), ημισφαιρίου (HT) και ροής (FT) συναρτήσεως του συνδυασμού των οξειδίων  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  και  $TiO_2$ .

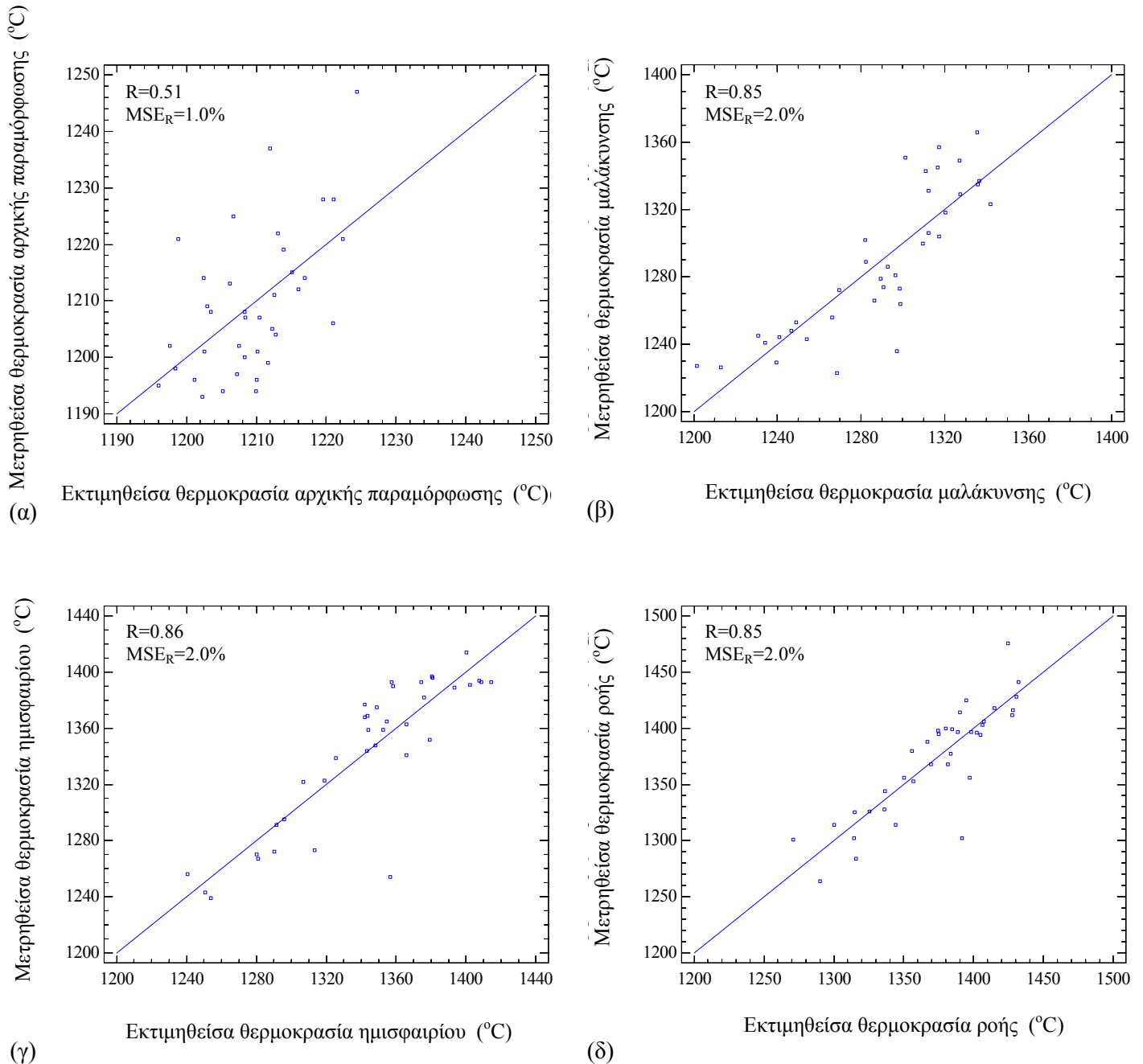
Πίνακας 4.10: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των Ε.Τ.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης ( $r$ )	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $MSE_R$ , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1326 - 3.76 \cdot Fe_2O_3 - 1.00 \cdot CaO - 19.01 \cdot Na_2O - 26.07 \cdot K_2O - 48.12 \cdot TiO_2$	0.51	1.0
Μαλάκυνσης (ST)	$1361 + 4.50 \cdot SiO_2 - 16.07 \cdot Al_2O_3 + 3.25 \cdot CaO - 33.92 \cdot Na_2O + 9.43 \cdot K_2O - 224.44 \cdot TiO_2$	0.85	2.0
Ημισφαιρίου (HT)	$1518 + 2.98 \cdot SiO_2 - 16.33 \cdot Al_2O_3 + 2.92 \cdot CaO - 47.09 \cdot Na_2O + 9.40 \cdot K_2O - 300.38 \cdot TiO_2$	0.86	2.0
Ροής (FT)	$1513 + 5.95 \cdot SiO_2 - 21.45 \cdot Al_2O_3 + 3.68 \cdot CaO - 30.47 \cdot Na_2O - 25.80 \cdot K_2O - 281.94 \cdot TiO_2$	0.85	2.0

Η αξιοπιστία των σχέσεων ελέγχθηκε με τα διαγράμματα της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας συναρτήσεως της εκτιμηθείσας από τη σχέση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (Εικόνα 4.20).

Όπως παρατηρείται από την εικόνα 4.20α, η πειραματικά μετρηθείσα θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης συναρτήσεως της εκτιμηθείσας, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.10, παρουσιάζει μέτρια συσχέτιση, καθώς αρκετά δείγματα εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις από την ευθεία παλινδρόμησης. Αντίθετα, στα διαγράμματα β-δ της εικόνας 4.20 παρατηρείται ότι, οι πειραματικά μετρηθείσες θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσεως των εκτιμηθέντων, βάσει της πολλαπλής

γραμμικής παλινδρόμησης που περιγράφονται στις αντίστοιχες σχέσεις του πίνακα 4.10 παρουσιάζουν πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση, καθώς το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων προσεγγίζουν την ευθεία και εξαίρεση αποτελεί ένας πολύ μικρός αριθμός δειγμάτων που εμφανίζει μικρές αποκλίσεις.



Εικόνα 4.20: Διαγράμματα συσχέτισης της μετρηθείσας θερμοκρασίας (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την εκτιμηθείσα από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για το συνδυασμό οξειδίων σύμφωνα με τις σχέσεις του πίνακα 4.10 σε δείγματα E.T. ( $R$ : συντελεστής συσχέτισης,  $MSE_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Έτσι, η εκτίμηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής σύμφωνα με τις σχέσεις που περιγράφονται στον πίνακα 4.10 είναι εφικτή σε ικανοποιητικό βαθμό, όπως παρατηρείται και από την εικόνα 4.20.

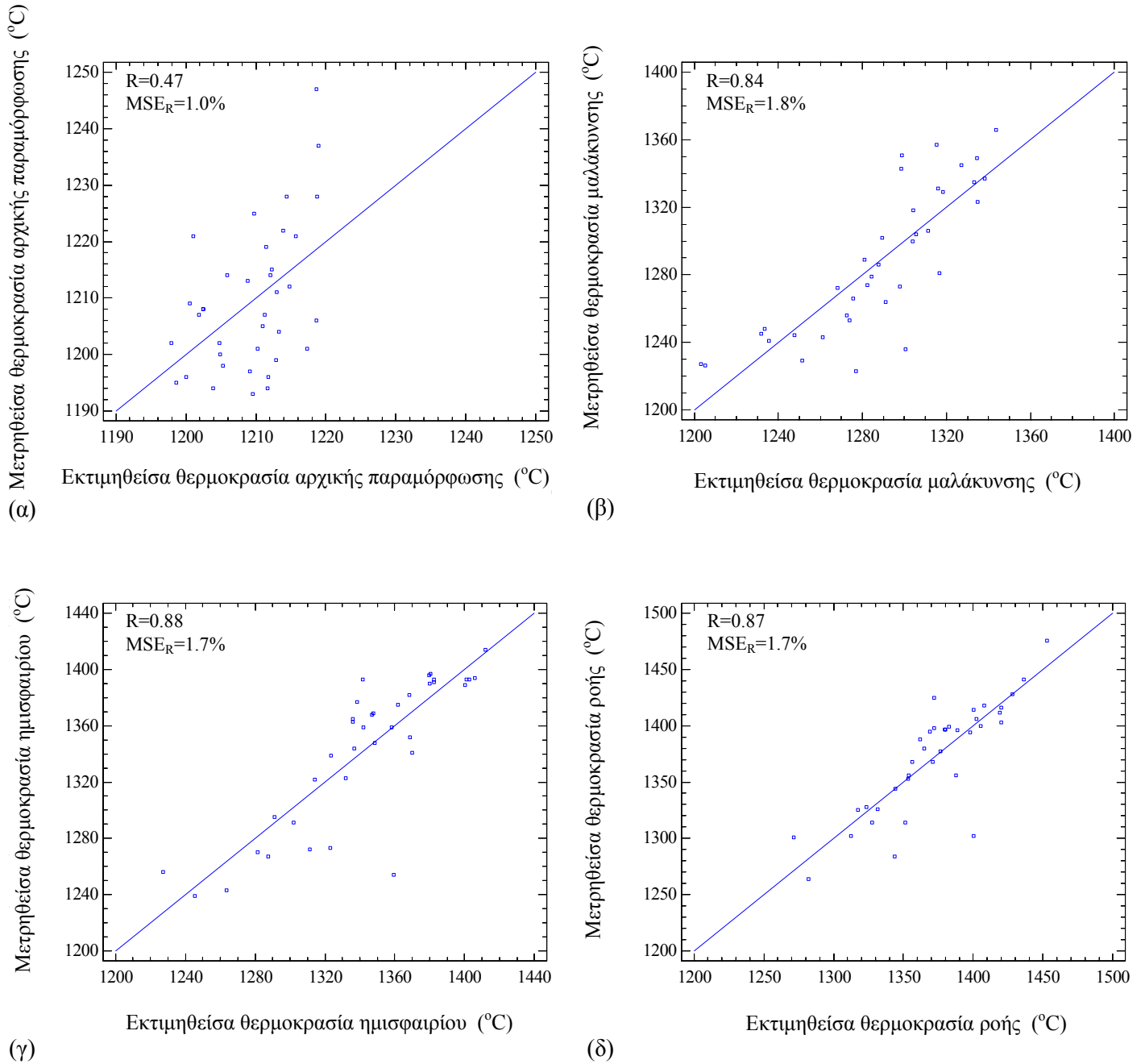
Επιπρόσθετα, στα δείγματα των Ε.Τ. έγινε διερεύνηση με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης με τους εμπειρικούς δείκτες πρόβλεψης της εμφάνισης φαινομένων επισκωρίσεων-επικαθήσεων. Από τους συνδυασμούς που ελέχθησαν, κυρίως με τη διαδικασία επιλογής μοντέλου παλινδρόμησης, προέκυψαν οι σχέσεις που περιγράφονται στον πίνακα 4.11. Οι συντελεστές συσχέτισης και το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα των σχέσεων που προσδιορίστηκαν παρουσιάζονται επίσης στον πίνακα 4.11, ενώ τα διαγράμματα που περιγράφουν τις σχέσεις αυτές φαίνονται στην εικόνα 4.21.

Πίνακας 4.11: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των Ε.Τ.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης (r)	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE <sub>R</sub> , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1217 + 5.73 \cdot B/A - 33.60 \cdot Fe/Ca - 11.44 \cdot FI$	0.47	1.0
Μαλάκυνσης (ST)	$764 + 267.11 \cdot B/A + 777.01 \cdot SR - 338.97 \cdot Fe/Ca - 21.82 \cdot FI$	0.84	1.8
Ημισφαιρίου (HT)	$1190 + 141.04 \cdot B/A + 33.84 \cdot Si/Al - 347.65 \cdot Fe/Ca - 21.86 \cdot FI$	0.88	1.7
Ροής (FT)	$570 + 389.62 \cdot B/A + 1116 \cdot SR - 352.77 \cdot Fe/Ca - 8.829 \cdot FI$	0.87	1.7

όπου: B/A = λόγος βασικών-όξινων οξειδίων, Fe/Ca = λόγος Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CaO, Si/Al = λόγος SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SR = δείκτης πυριτίου, FI = δείκτης επικαθήσεων.

Από τον πίνακα 4.11 προκύπτει ότι οι συνδυασμοί των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με κάποιους από τους δείκτες πρόβλεψης εκδήλωσης φαινομένων επισκωρίσεων-επικαθήσεων εμφανίζουν πολύ ισχυρή συσχέτιση. Η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης εμφανίζει ασθενή συσχέτιση, η οποία οφείλεται στη δυσκολία προσδιορισμού μέσω της οπτικής παρατήρησης της εν λόγω θερμοκρασίας.



Εικόνα 4.21: Διαγράμματα συσχέτισης της μετρηθείσας θερμοκρασίας (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την εκτιμηθείσα από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για το συνδυασμό των δεικτών πρόβλεψης εμφάνισης φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων σύμφωνα με τις σχέσεις του πίνακα 4.11 των δειγμάτων Ε.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης,  $MSE_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Από την εικόνα 4.21α προκύπτει ότι η πειραματικά μετρηθείσα θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης συναρτίζεται της εκτιμηθείσας από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση που περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.11 εμφανίζει

έντονη διασπορά των τιμών και πλήθος δειγμάτων εμφανίζουν αποκλίσεις από την ευθεία παλινδρόμησης, επιβεβαιώνοντας την ασθενή συσχέτιση για την εν λόγω θερμοκρασία σύμφωνα με το συντελεστή συσχέτισης. Αντιθέτως, οι πειραματικά μετρηθείσες θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει των εκτιμηθέντων από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση που περιγράφεται στις αντίστοιχες σχέσεις του πίνακα 4.11 εμφανίζουν πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση, καθώς το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων προσεγγίζουν ικανοποιητικά την ευθεία (Εικόνα 4.21β-δ), με πολύ μικρές αποκλίσεις δειγμάτων.

Έτσι, από την εικόνα 4.21 προκύπτει ότι είναι εφικτή σε ικανοποιητικό βαθμό η εκτίμηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από συνδυασμό δεικτών πρόβλεψης εκδήλωσης φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων, σύμφωνα με τις σχέσεις του πίνακα 4.11.

Από το σύνολο των συσχετίσεων μεταξύ των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης συναρτήσει της χημικής σύστασης των Ι.Τ. και των Ε.Τ., παρατηρείται ότι ο βαθμός που σχετίζονται ποικίλλει, ενώ τα καλύτερα αποτελέσματα (ισχυρή έως πολύ ισχυρή) εμφανίζονται στις συσχετίσεις με τη θερμοκρασία ημισφαιρίου. Οι συσχετίσεις για τις θερμοκρασίες μαλάκυνσης και ροής είναι κυρίως ισχυρές, ενώ για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης η συσχέτιση είναι ασθενής έως οριακά μέτρια. Γενικά, οι σχέσεις που περιγράφουν αντιπροσωπευτικά τις παραπάνω συσχετίσεις είναι γραμμικές, ενώ οποιαδήποτε άλλη μορφή αυξάνει την πολυπλοκότητα και την ερμηνεία των συναρτήσεων προσδιορισμού των αποτελεσμάτων, χωρίς ωστόσο να βελτιώνει σημαντικά τα αποτελέσματα. Θα πρέπει, βέβαια, να διευκρινιστεί ότι οι συσχετίσεις των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με τους δείκτες πρόβλεψης εμφάνισης φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων μέσω πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, αποτελούν μια έμμεση μη γραμμική συσχέτιση των θερμοκρασιών με τη χημική σύσταση.

#### 4.4 Συσχέτιση της ορυκτολογικής σύστασης με τη συμπεριφορά τήξης

Ο κυριότερος στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της σχέσης που συνδέει την ορυκτολογική σύσταση των λιγνιτικών τεφρών με τη συμπεριφορά τήξης (θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής). Έτσι, πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τις μεμονωμένες ορυκτολογικές φάσεις, τόσο για τα δείγματα των Ι.Τ. όσο και των Ε.Τ., καθώς και συσχετίσεις με τη βοήθεια μοντέλων απλής και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των θερμοκρασιών συναρτήσει αθροισμάτων των ορυκτολογικών φάσεων ή συνδυασμού των φάσεων, ώστε να βρεθεί η καλύτερη δυνατή σχέση που να μπορεί να προβλέψει την τάση δημιουργίας επισκωριώσεων και επικαθήσεων στους ΑΗΣ γνωρίζοντας την ορυκτολογική σύσταση.

##### 4.4.1 Ιπτάμενες τέφρες

Από τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τις μεμονωμένες ορυκτολογικές φάσεις για τα δείγματα των Ι.Τ., προέκυψαν οι συντελεστές συσχέτισης που φαίνονται στον πίνακα 4.12.

Πίνακας 4.12: Συντελεστές συσχέτισης των θερμοκρασιών συμπεριφοράς τήξης με τις ορυκτολογικές φάσεις των δειγμάτων των Ι.Τ.

	Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID)	Θερμοκρασία μαλάκυνσης (ST)	Θερμοκρασία ημισφαιρίου (HT)	Θερμοκρασία ροής (FT)
Άμορφα	-0.32	-0.65	-0.62	-0.59
Ανυδρίτης	0.03	0.28	0.23	0.21
Γκελενίτης	0.42	0.56	0.54	0.54
Πυριτικό διασβέστιο	0.24	0.49	0.45	0.45
Μπραουνμυλλερίτης	0.59	0.87	0.86	0.86
Άσβεστος (+πορτλανδίτης)	0.26	0.51	0.51	0.52
Άσβεστίτης	0.18	0.31	0.34	0.29
Αιματίτης	-0.16	-0.11	-0.15	-0.13
Μερβινίτης	0.25	0.44	0.43	0.40
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	-0.15	-0.24	-0.26	-0.23
Περίκλαστο	0.30	0.70	0.68	0.67
Άστριοι	-0.31	-0.46	-0.49	-0.49
Χαλαζία	-0.41	-0.61	-0.65	-0.66

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.12, στα δείγματα των Ι.Τ. εμφανίζεται πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση για τις θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τον μπραουνμυλλερίτη ( $r=0.87$ ,  $r=0.86$ ,  $r=0.86$ , αντίστοιχα), ενώ ήταν μέτρια για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης ( $r=0.59$ ). Μέτρια συσχέτιση παρουσιάζουν οι

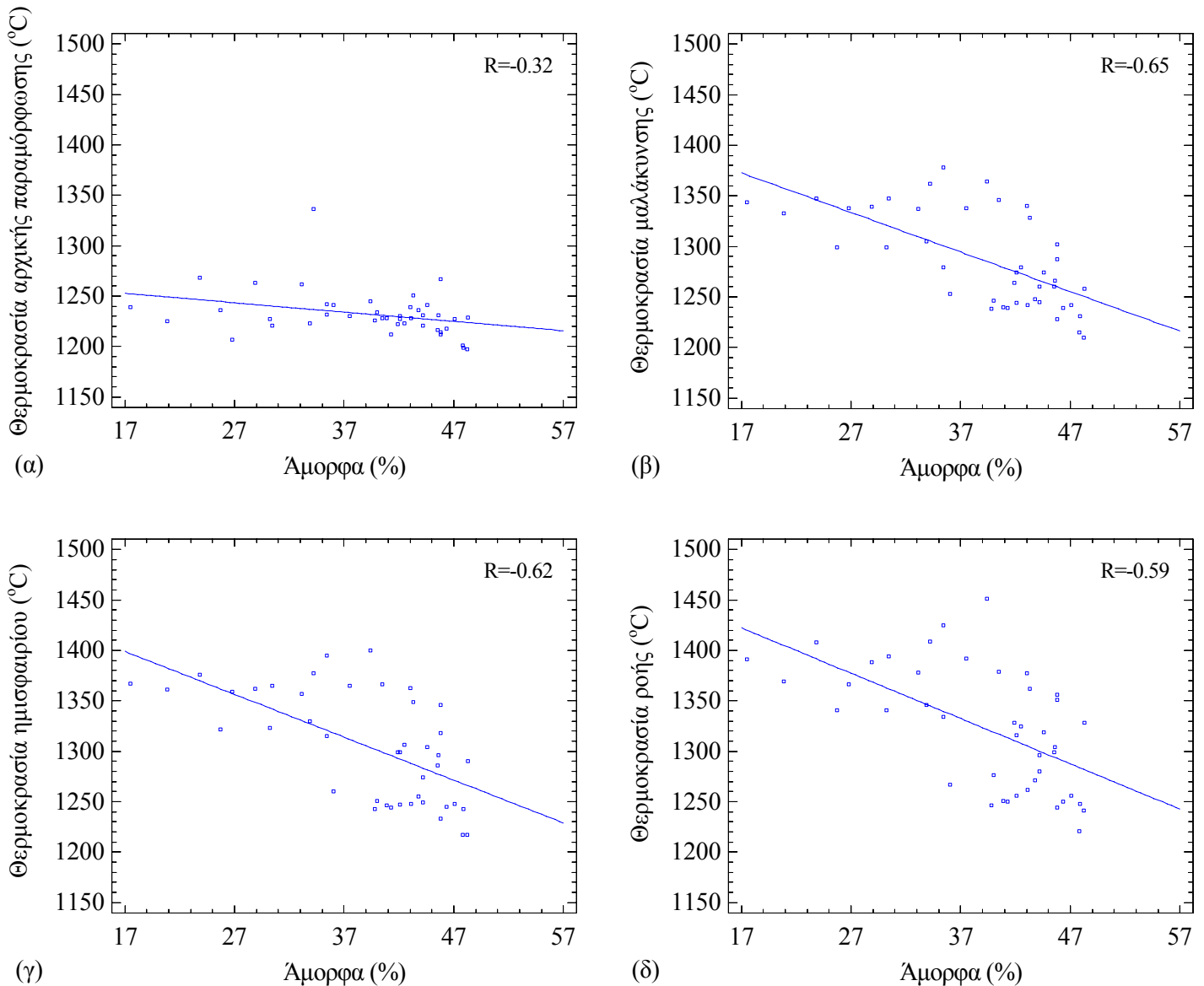
θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τα άμορφα ( $r=-0.65$ ,  $r=-0.62$ ,  $r=-0.59$ ), το γκελενίτη ( $r=0.56$ ,  $r=0.54$ ,  $r=0.54$ ), την άσβεστο ( $r=0.51$ ,  $r=0.51$ ,  $r=0.52$ ), το περίκλαστο ( $r=0.70$ ,  $r=0.68$ ,  $r=0.67$ ) και το χαλαζία ( $r=-0.61$ ,  $r=-0.65$ ,  $r=-0.66$ ). Στους υπόλοιπους συνδυασμούς προέκυψε έλλειψη συσχετίσεων ή η συσχέτιση ήταν ασθενής.

Καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμες μελέτες που να συνδέουν τις θερμοκρασίες της συμπεριφοράς τήξης με την ορυκτολογική σύσταση σε δείγματα Ι.Τ., οι παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν στα αποτελέσματα που αποτυπώθηκαν στον πίνακα 4.12, αφορούν στη συσχέτιση της παρουσίας των φάσεων με την τάση δημιουργίας φαινομένων επισκωριώσεων-επικαθήσεων, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Byers, 1996). Έτσι, η αύξηση της περιεκτικότητας των ασβεστούχων φάσεων αυξάνει τις θερμοκρασίες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης των τεφρών (θετική συσχέτιση), ενώ αντίθετα οι αργλικές φάσεις (μοσχοβίτης/ιλλίτης), ο αιματίτης, ο χαλαζίας και οι άστριοι οδηγούν σε μείωση των θερμοκρασιών (αρνητική συσχέτιση). Επίσης η αύξηση της περιεκτικότητας των αμόρφων επηρεάζει αρνητικά τις θερμοκρασίες (αρνητική συσχέτιση), καθώς αποτελούνται κυρίως από εύτηκτες φάσεις. Οι επισημάνσεις αυτές, ενισχύονται και από τις μελέτες σε δείγματα από επισκωριώσεις-επικαθήσεις των ΑΗΣ της Δυτικής Μακεδονίας (Fernandez-Turiel et al., 2004; Kostakis, 2011), όπου έχουν βρεθεί άμορφα, αιματίτης, ανορθίτης (άστριοι) και χαλαζίας, καθώς και ανυδρίτης, γκελενίτης και πυριτικό διασβέστιο, ενώ ο μπραουνμυλλερίτης εμφανίζεται πιθανόν σε ίχνη. Σύμφωνα με τον πίνακα 4.12, οι φάσεις που έχουν εντοπιστεί στα δείγματα επισκωριώσεων-επικαθήσεων των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, στην παρούσα εργασία εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση, ενώ ο μπραουνμυλλερίτης που ήταν πιθανόν σε ίχνη παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση.

Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 4.12, οι συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τις μεμονωμένες ορυκτολογικές φάσεις που εμφάνισαν ενδιαφέρον (υψηλότερες τιμές συντελεστή συσχέτισης) ήταν οι παρακάτω:

#### *Α. Άμορφα*

Στην εικόνα 4.22 απεικονίζονται τα διαγράμματα από τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει της περιεκτικότητας των αμόρφων.



Εικόνα 4.22: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την περιεκτικότητα σε άμορφα σε δείγματα I.T. (R: συντελεστής συσχέτισης).

Όπως προκύπτει από την εικόνα 4.22α, η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης δεν εμφανίζει εξάρτηση από την περιεκτικότητα σε άμορφα, καθώς η διασπορά των τιμών σε μικρό θερμοκρασιακό εύρος γύρω από την ευθεία, δεν ερμηνεύει τη μεταβολή της θερμοκρασίας με βάση την περιεκτικότητα σε άμορφα. Η εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από την περιεκτικότητα σε άμορφα ακολουθεί μια μέτρια αρνητική γραμμική συσχέτιση (μείωση της θερμοκρασίας με αύξηση της περιεκτικότητας σε άμορφα), όπου αρκετά δείγματα αποκλίνουν σημαντικά από την ευθεία, όπως απεικονίζεται στα αντίστοιχα διαγράμματα (Εικόνα 4.22β-δ).

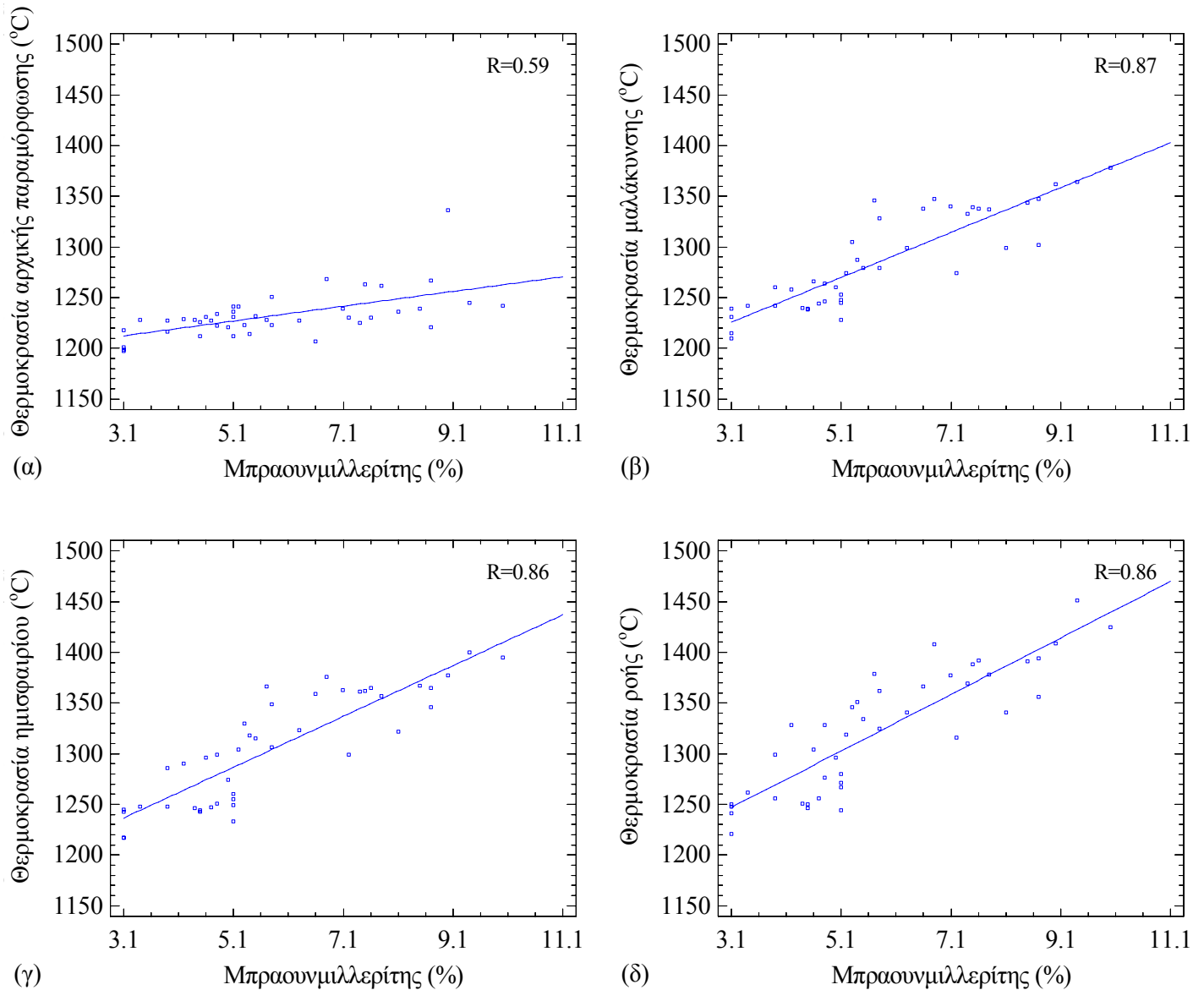
Έτσι, από την εικόνα 4.22 προκύπτει ότι είναι δύσκολη η εκτίμηση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από την περιεκτικότητα σε άμορφα στα δείγματα των Ι.Τ. Η απόκλιση δειγμάτων, τα οποία προέρχονται από τους ΑΗΣ Καρδιάς και Αγ. Δημητρίου πιθανόν να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα ή διαφοροποίησης του λιγνίτη.

#### *Β. Μπραουνμιλλερίτης*

Στην εικόνα 4.23 απεικονίζονται τα διαγράμματα των συσχετίσεων των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει της περιεκτικότητας του μπραουνμιλλερίτη.

Στην εικόνα 4.23α παρατηρείται ότι η εξάρτηση της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης από την περιεκτικότητα σε μπραουνμιλλερίτη είναι δύσκολο να περιγραφεί, καθώς υπάρχει μικρή απόκλιση των τιμών γύρω από την ευθεία συσχέτισης σε ένα μικρό εύρος θερμοκρασιών για διαφορετικές τιμές της περιεκτικότητας σε μπραουνμιλλερίτη.

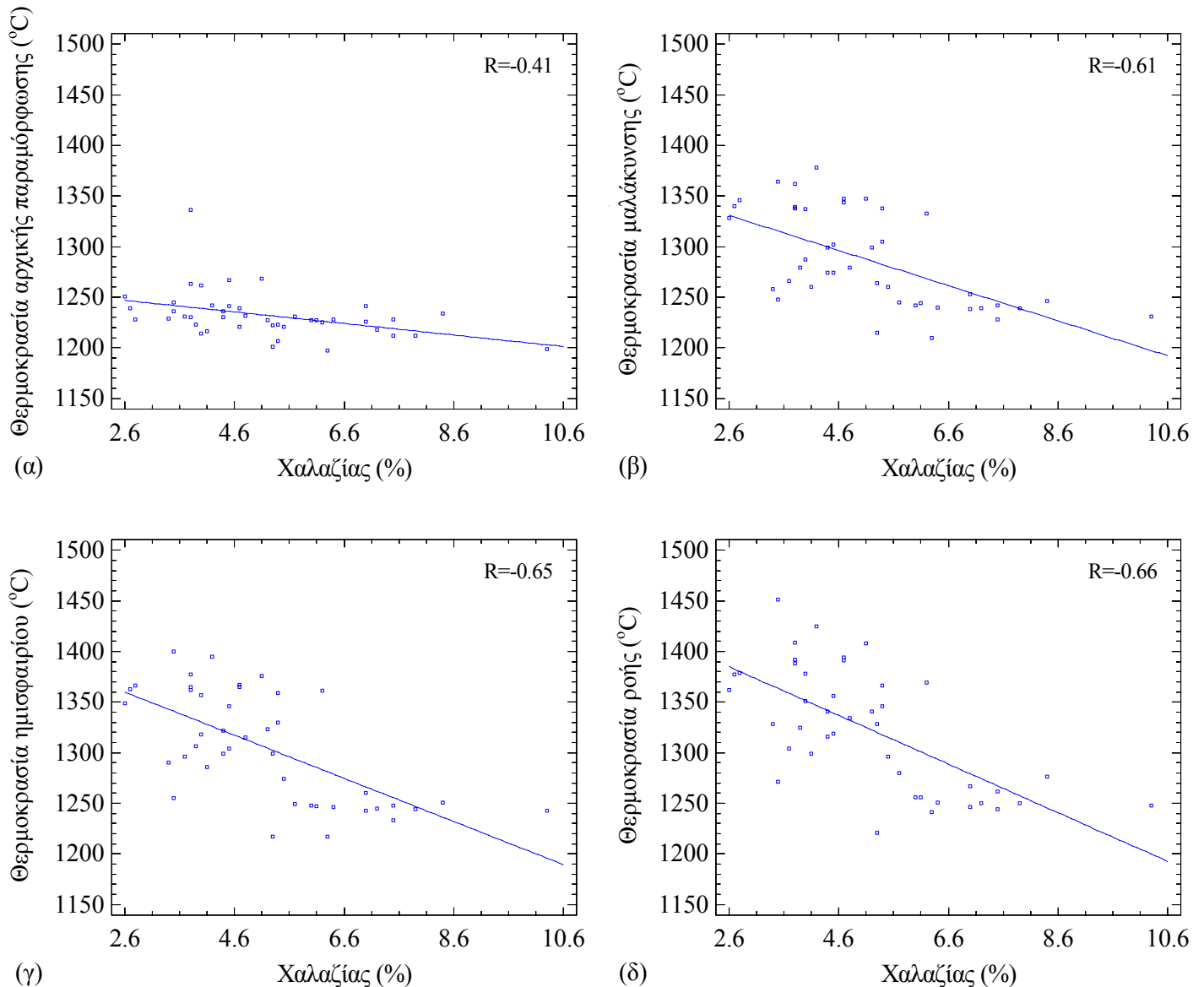
Όπως προκύπτει από την εικόνα 4.23, η εξάρτηση της θερμοκρασίας μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από την περιεκτικότητα σε μπραουνμιλλερίτη παρουσιάζει μια πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση (αύξηση της θερμοκρασίας με την αύξηση της περιεκτικότητας του μπραουνμιλλερίτη) με εξαίρεση ενός πολύ μικρού αριθμού δειγμάτων που εμφανίζουν απόκλιση από την ευθεία (Εικόνα 4.23β-δ). Σύμφωνα με τη διαπίστωση αυτή, είναι εν γένει δυνατή η εκτίμηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής τους με βάση την παρουσία του μπραουνμιλλερίτη σε δείγματα Ι.Τ.



Εικόνα 4.23: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την περιεκτικότητα σε μπραουνμυλλερίτη σε δείγματα Ι.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης).

#### Γ. Χαλαζίας

Στην εικόνα 4.24 απεικονίζονται οι συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει της περιεκτικότητας του χαλαζία.



Εικόνα 4.24: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την περιεκτικότητα σε χαλαζία σε δείγματα Ι.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης).

Όπως προκύπτει από την εικόνα 4.24α, η εξάρτηση της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης από την περιεκτικότητα σε χαλαζία παρουσιάζει μια γραμμική τάση, η οποία όμως δεν μπορεί να περιγραφεί από κάποια σχέση, καθώς υπάρχει διασπορά των τιμών γύρω από την ευθεία συσχέτισης σε ένα μικρό εύρος θερμοκρασιών.

Τα διαγράμματα β, γ, δ στην εικόνα 4.24 απεικονίζουν τη μέτρια γραμμική αρνητική συσχέτιση που εμφανίζουν οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με την περιεκτικότητα σε χαλαζία, όπου υπάρχει ένας αριθμός δειγμάτων που εμφανίζει σημαντική απόκλιση από την ευθεία. Έτσι, από την εικόνα 4.24 προκύπτει ότι είναι

δύσκολο να γίνει εκτίμηση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με βάση την περιεκτικότητα του χαλαζία σε δείγματα I.T. Οι έντονες αποκλίσεις από την ευθεία προέρχονται από δείγματα των ΑΗΣ Αμυνταίου και Πτολεμαΐδας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 4.12 και από τις εικόνες 4.22-4.24, υπάρχουν ενδείξεις για συσχέτιση μεταξύ των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής των I.T. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α με την ορυκτολογική τους σύσταση. Από τους συνδυασμούς των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης συναρτήσει των επιμέρους ορυκτολογικών φάσεων προέκυψε ότι μπορεί να γίνει εκτίμηση των θερμοκρασιών με βάση την περιεκτικότητα του μπραουνμυλλερίτη σε δείγματα I.T. (πολύ ισχυρή συσχέτιση), η ύπαρξη όμως ενός συνδυασμού φάσεων μπορεί να δώσει ικανοποιητικότερα αποτελέσματα. Έτσι, σε περαιτέρω έλεγχο με απλή γραμμική παλινδρόμηση συνδυασμών των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης με τις ορυκτολογικές φάσεις ομαδοποιημένες σύμφωνα με συνάφεια που εμφανίζουν (π.χ. χημική συγγένεια, παραπλήσια σημεία τήξης, κ.α.), καθώς και των φάσεων που συνδέονται με τα φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων, προέκυψαν οι συσχετίσεις που έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα (υψηλότερες τιμές συντελεστή συσχέτισης με μικρότερο σχετικό σφάλμα), οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια. Οι συσχετίσεις με απλή γραμμική παλινδρόμηση ήταν μεταξύ των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης (αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής) συναρτήσει:

- α) του αθροίσματος των ασβεστούχων φάσεων ( $CP = \text{άσβεστος} + \text{πυριτικό διασβέστιο} + \text{μπραουνμυλλερίτης} + \text{γκελενίτης} + \text{ασβεστίτης} + \text{μερβινίτης}$ ),
- β) του αθροίσματος των ορυκτολογικών φάσεων που σχετίζονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων ( $SFP = \text{άμορφα} + \text{ανυδρίτης} + \text{αιματίτης} + \text{μοσχοβίτης/ιλλίτης} + \text{άστριοι} + \text{χαλαζίας}$ ).

#### *Α. Συσχέτιση των θερμοκρασιών συμπεριφοράς τήξης με το άθροισμα των ασβεστούχων φάσεων*

Οι σχέσεις, τα σχετικά μέσα τετραγωνικά σφάλματα και οι συντελεστές συσχέτισης, για τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το άθροισμα των ασβεστούχων φάσεων (άσβεστος, πυριτικό διασβέστιο,

μπραουνμιλλερίτης, γκελενίτης, ασβεστίτης, μερβινίτης) των Ι.Τ. παρουσιάζονται στον πίνακα 4.13, ενώ τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις συσχετίσεις στην εικόνα 4.25.

Πίνακας 4.13: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των Ι.Τ.

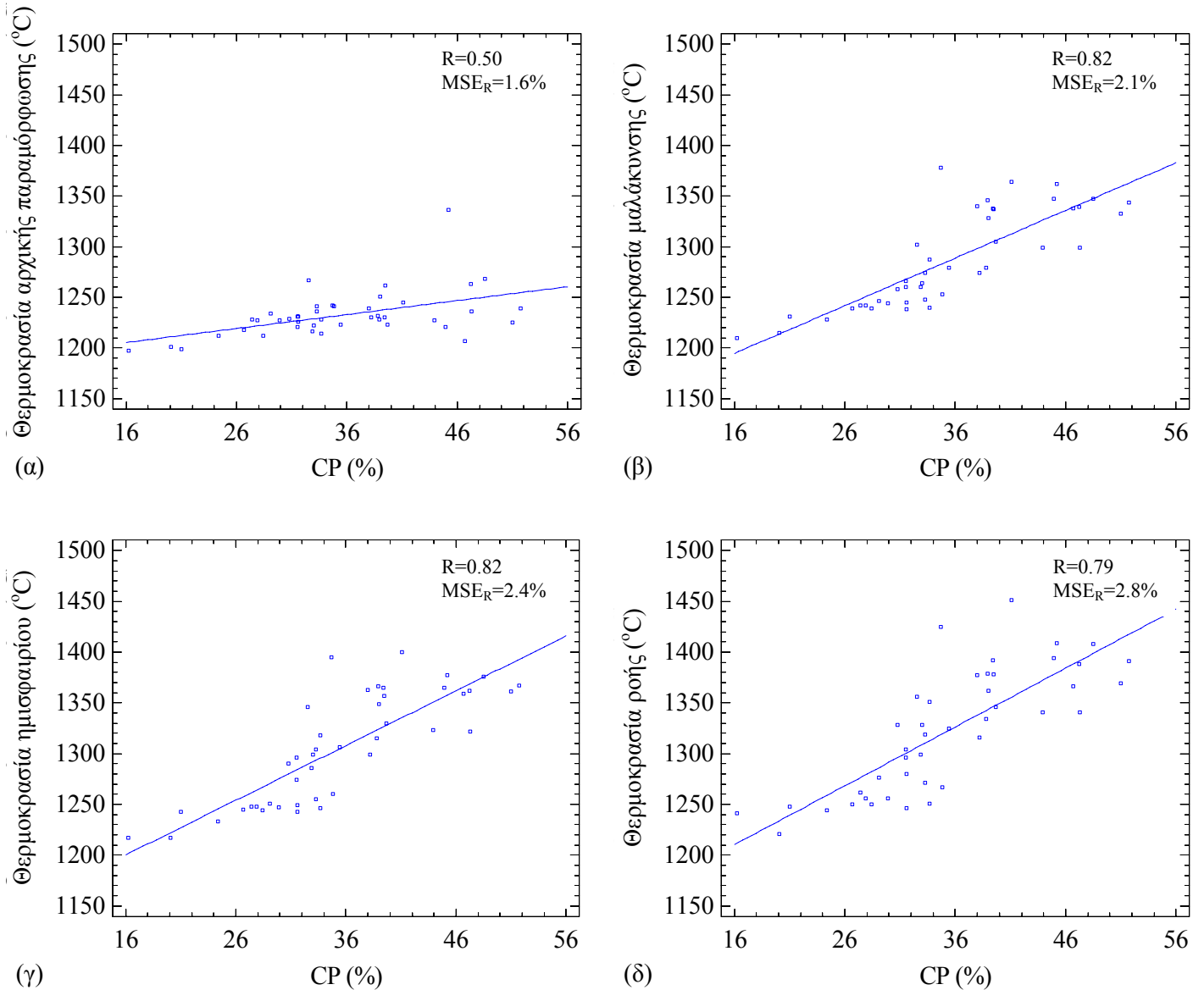
Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης (r)	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE <sub>R</sub> , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1183 + 1.4 \cdot CP$	0.50	1.6
Μαλάκυνσης (ST)	$1119 + 4.7 \cdot CP$	0.82	2.1
Ημισφαιρίου (HT)	$1114 + 5.4 \cdot CP$	0.82	2.4
Ροής (FT)	$1117 + 5.8 \cdot CP$	0.79	2.8

όπου: CP = άσβεστος + πυριτικό διασβέστιο + μπραουνμιλλερίτης + γκελενίτης + ασβεστίτης + μερβινίτης.

Από τον πίνακα 4.13 φαίνεται ότι η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης εμφανίζει μέτρια θετική συσχέτιση με το άθροισμα των ασβεστούχων φάσεων, ενώ οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης και ημισφαιρίου εμφανίζουν πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση και η θερμοκρασία ροής ισχυρή θετική συσχέτιση, σύμφωνα με τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης.

Στην εικόνα 4.25α αποτυπώνεται η θετική γραμμική συσχέτιση της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης με το άθροισμα της περιεκτικότητας σε ασβεστούχες φάσεις, η οποία όμως δεν μπορεί να ερμηνεύσει τη μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει του εν λόγω αθροίσματος, καθώς υπάρχει συγκέντρωση αρκετών δειγμάτων με διαφορετικά αθροίσματα σε μικρό εύρος θερμοκρασιών.

Ο συνδυασμός της θερμοκρασίας μαλάκυνσης με το άθροισμα της περιεκτικότητας σε ασβεστούχες φάσεις παρουσιάζει πολύ ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση (Εικόνα 4.25β), όπως συμβαίνει και για τη θερμοκρασία ημισφαιρίου (Εικόνα 4.25γ) με εξαίρεση ενός μικρού αριθμού δειγμάτων που εμφανίζουν απόκλιση από την ευθεία παλινδρόμησης. Η θερμοκρασία ροής εμφανίζει ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση με το άθροισμα της περιεκτικότητας σε ασβεστούχες φάσεις (Εικόνα 4.25δ), καθώς υπάρχει ελαφρώς πιο έντονη διασπορά των τιμών γύρω από τη ευθεία συσχέτισης σε σχέση με τις άλλες θερμοκρασίες.



Εικόνα 4.25: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με το άθροισμα ασβεστούχων φάσεων (CP = άσβεστος + πυριτικό διασβέστιο + μπραουνμυλλερίτης + γκελενίτης + ασβεστίτης + μερβινίτης) σε δείγματα Ι.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης,  $MSE_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Από τον πίνακα 4.13 και την εικόνα 4.25 προκύπτει ότι είναι πιθανώς εφικτή η εκτίμηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με βάση το άθροισμα της περιεκτικότητας των ασβεστούχων φάσεων. Οι έντονες αποκλίσεις δειγμάτων που προέρχονται από τους ΑΗΣ Αμυνταίου και ΛΙΠΤΟΛ, οφείλεται κυρίως σε διαφοροποίηση του λιγνίτη τροφοδοσίας των ΑΗΣ.

*B. Συσχέτιση των θερμοκρασιών συμπεριφοράς τήξης με το άθροισμα των ορυκτολογικών φάσεων που σχετίζονται με φαινόμενα επισκωριάσεων-επικαθήσεων*

Οι σχέσεις, τα σχετικά μέσα τετραγωνικά σφάλματα και οι συντελεστές συσχέτισης για τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το άθροισμα των ορυκτολογικών φάσεων που σχετίζονται με φαινόμενα επισκωριάσεων-επικαθήσεων (SFP) στα δείγματα των I.T. (άμορφα, ανυδρίτης, αιματίτης, μοσχοβίτης/ιλλίτης, άστριοι και χαλαζίας) των I.T. παρουσιάζονται στον πίνακα 4.14, ενώ τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις συσχετίσεις στην εικόνα 4.26.

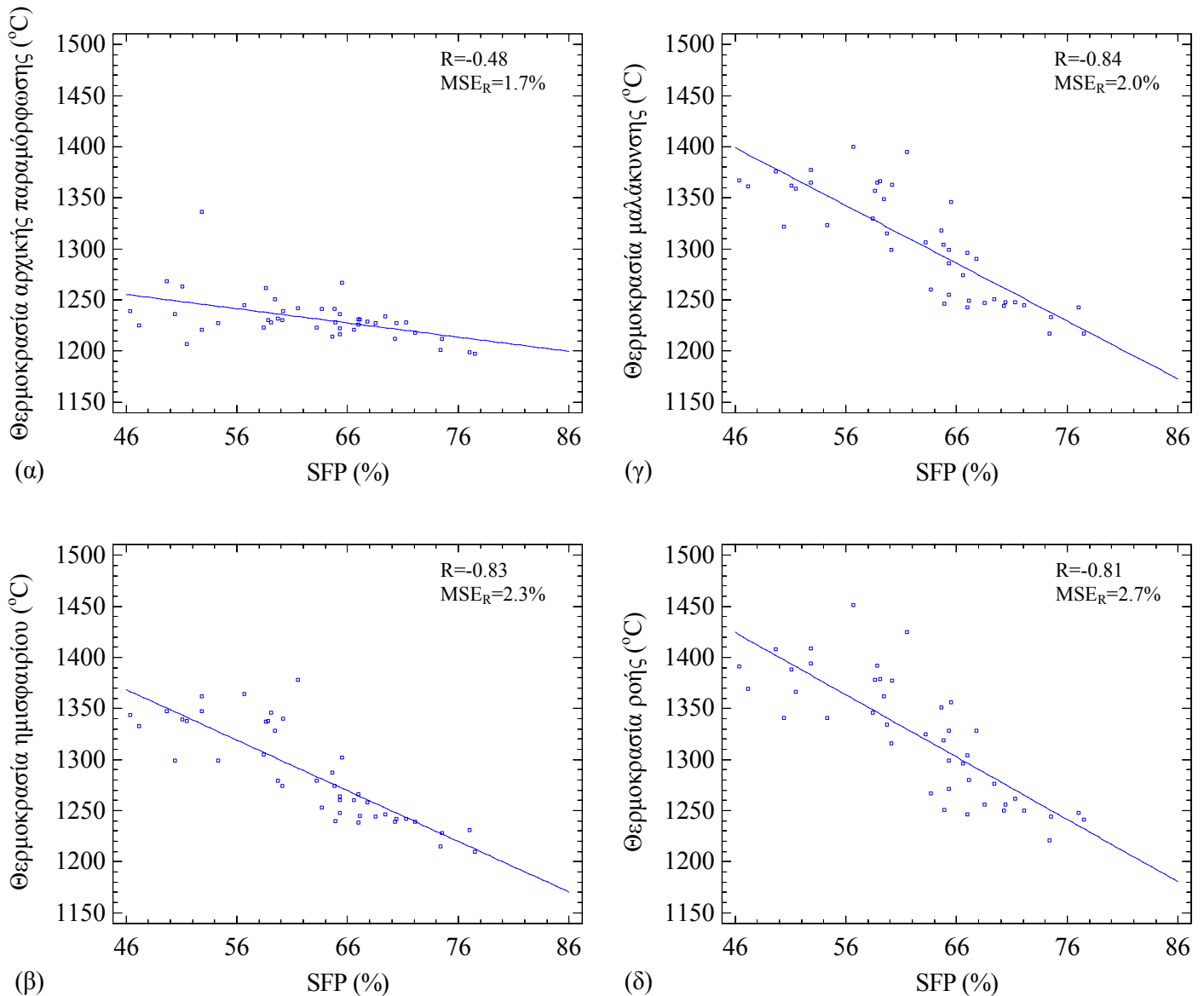
Πίνακας 4.14: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των I.T.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης (r)	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE <sub>R</sub> , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	1319 - 1.4·SFP	-0.48	1.7
Μαλάκυνσης (ST)	1597 - 5.0·SFP	-0.84	2.0
Ημισφαιρίου (HT)	1659 - 5.7·SFP	-0.83	2.3
Ροής (FT)	1706 - 6.1·SFP	-0.81	2.7

όπου: SFP = άμορφα + ανυδρίτης + αιματίτης + μοσχοβίτης/ιλλίτης + άστριοι + χαλαζίας

Από τον πίνακα 4.14 προκύπτει ότι οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής εμφανίζουν πολύ ισχυρή αρνητική συσχέτιση με άθροισμα της περιεκτικότητας των ορυκτολογικών φάσεων που συνδέονται με φαινόμενα επισκωριάσεων-επικαθήσεων (SFP) σύμφωνα με τους συντελεστές συσχέτισης, ενώ η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης εμφανίζει μέτρια αρνητική συσχέτιση.

Όπως παρατηρείται στην εικόνα 4.26α, η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης δεν εμφανίζει κάποια σαφής εξάρτηση από το άθροισμα της περιεκτικότητας των ορυκτολογικών φάσεων που συνδέονται με φαινόμενα επισκωριάσεων-επικαθήσεων (SFP), καθώς υπάρχει συσσώρευση δειγμάτων με διαφορετικά αθροίσματα σε μικρό εύρος θερμοκρασιών, επιβεβαιώνοντας την ασθενή αρνητική γραμμική συσχέτιση. Αντιθέτως όμως, η εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από το άθροισμα της περιεκτικότητας των ορυκτολογικών φάσεων που συνδέονται με φαινόμενα επισκωριάσεων-επικαθήσεων (SFP) παρουσιάζει μια πολύ ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση (Εικόνα 4.26β-δ), καθώς η πλειονότητα των δειγμάτων προσεγγίζουν την ευθεία συσχέτισης και ένας πολύ μικρός αριθμός αποκλίνει.



Εικόνα 4.26: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με το άθροισμα των φάσεων που συνδέονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων (SFP = άμορφα + ανυδρίτης + αιματίτης + μοσχοβίτης/ιλλίτης + άστριοι + χαλαζίας) σε δείγματα I.T. (R: συντελεστής συσχέτισης,  $MSE_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Έτσι, από την εικόνα 4.26 προκύπτει ότι είναι εφικτή η εκτίμηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με βάση το άθροισμα της περιεκτικότητας των φάσεων που συνδέονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων (SFP) στα δείγματα των I.T. Τα δείγματα από τον ΑΗΣ Καρδιάς, αλλά και ΛΠΤΟΛ, εμφανίζουν αποκλίσεις από την ευθεία, οι οποίες πιθανόν οφείλονται είτε σε διαφοροποίηση του λιγνίτη, είτε σε πειραματικό σφάλμα.

Πέρα από τη συσχέτιση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με κάθε μια από τις φάσεις και διάφορους συνδυασμούς αθροισμάτων των φάσεων των Ι.Τ. που περιγράφησαν στα προηγούμενα, πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τις ορυκτολογικές φάσεις χρησιμοποιώντας το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση διερευνήθηκαν συσχετίσεις των θερμοκρασιών με συνδυασμούς των φάσεων λαμβάνονταν υπόψη την παρουσία των αμόρφων, αλλά και με συνδυασμούς όπου λαμβανόταν υπόψη η παρουσία μόνο των κρυσταλλικών φάσεων.

Από το σύνολο των τελευταίων αυτών συσχετισμών σε ικανοποιητική νομοτέλεια οδήγησαν οι συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το συνδυασμό των ίδιων φάσεων σε όλες τις θερμοκρασίες όταν λαμβάνονταν υπόψη η παρουσία των αμόρφων, ενώ οι συσχετίσεις των θερμοκρασιών με διαφορετικό συνδυασμό ορυκτολογικών φάσεων σε κάθε θερμοκρασία όταν λαμβάνονταν υπόψη μόνο οι κρυσταλλικές, όπως περιγράφονται παρακάτω:

- A. Συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, ανυδρίτη, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, ασβεστίτη και χαλαζία,
- B. Συσχέτιση α) της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης με συνδυασμό μεταξύ των ανυδρίτη, μπραουνμυλλερίτη, ασβέστου, μερβινίτη, περικλάστου και χαλαζία, β) της θερμοκρασίας μαλάκυνσης με συνδυασμό μεταξύ των μπραουνμυλλερίτη, ασβέστου, ασβεστίτη, περικλάστου, αστρίων και χαλαζία, γ) της θερμοκρασίας ημισφαιρίου με συνδυασμό μεταξύ των μπραουνμυλλερίτη, ασβέστου, ασβεστίτη, μερβινίτη, περικλάστου και χαλαζία, και δ) της θερμοκρασίας ροής με συνδυασμό μεταξύ των μπραουνμυλλερίτη, ασβέστου, ασβεστίτη, μερβινίτη, περικλάστου και χαλαζία.

*A. Συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, ανυδρίτη, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, ασβεστίτη και χαλαζία.*

Οι σχέσεις εκτίμησης των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από τη συσχέτισή τους με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, ανυδρίτη, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, ασβεστίτη και χαλαζία, οι

συντελεστές συσχέτισης ( $r$ ) και τα σχετικά μέσα τετραγωνικά σφάλματα ( $MSE_R$ ) των εκτιμηθέντων θερμοκρασιών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.15. Η αξιοπιστία ελέγχθηκε με τα διαγράμματα της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας συναρτήσει της εκτιμηθείσας θερμοκρασίας (Εικόνα 4.27).

Πίνακας 4.15: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των Ι.Τ.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης ( $r$ )	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $MSE_R$ , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1102 + 1.0 \cdot Am - 2.1 \cdot Anh + 2.5 \cdot Gehl + 10.3 \cdot Brml + 1.3 \cdot Cc + 2.5 \cdot Q$	0.62	1.5
Μαλάκυνσης (ST)	$1423 - 2.8 \cdot Am - 4.5 \cdot Anh - 8.9 \cdot Gehl + 17.3 \cdot Brml + 1.4 \cdot Cc - 8.1 \cdot Q$	0.93	1.4
Ημισφαιρίου (HT)	$1491 - 3.2 \cdot Am - 6.5 \cdot Anh - 11.8 \cdot Gehl + 19.9 \cdot Brml + 1.9 \cdot Cc - 10.9 \cdot Q$	0.94	1.4
Ροής (FT)	$1515 - 3.3 \cdot Am - 7.0 \cdot Anh - 12.3 \cdot Gehl + 22.4 \cdot Brml + 1.7 \cdot Cc - 12.5 \cdot Q$	0.93	1.6

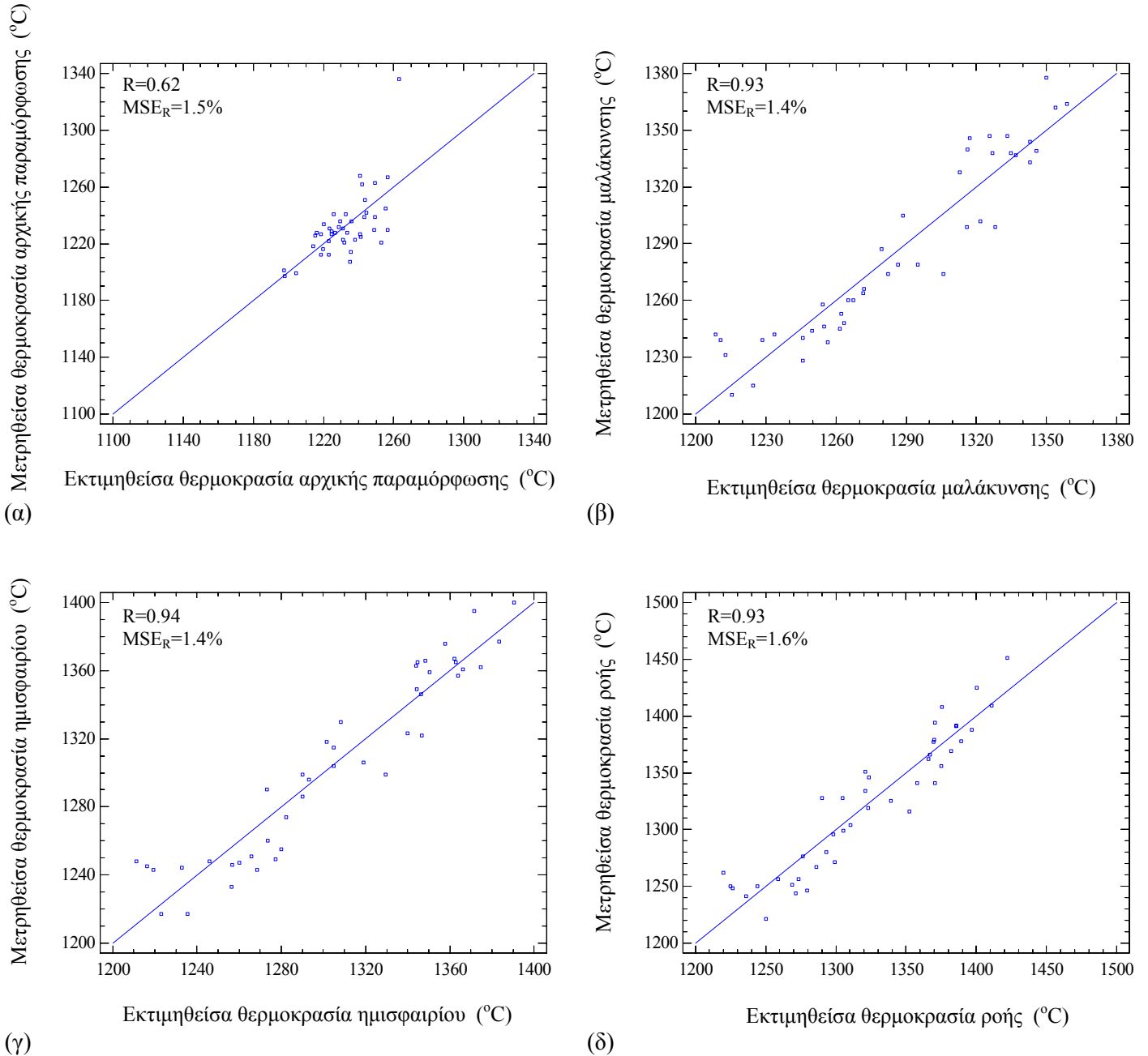
όπου: Am=άμορφα, Anh=ανυδρίτης, Gehl=γκελενίτης, Brml=μπραουνμυλλερίτης, Cc=ασβεστίτης και Q=χαλαζία.

Από τον πίνακα 4.15 προκύπτει ότι η συσχέτιση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, ανυδρίτη, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, ασβεστίτη και χαλαζία, σύμφωνα με τους συντελεστές συσχέτισης είναι πολύ ισχυρή, ενώ για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι μέτρια.

Όπως παρατηρείται στην εικόνα 4.27α, η συσχέτιση της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης με την εκτιμηθείσα, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, ανυδρίτη, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, ασβεστίτη και χαλαζία που περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.15 είναι μέτρια, καθώς τα δείγματα είναι συσσωρευμένα σε ένα μικρό εύρος θερμοκρασιών και υπάρχουν αρκετά δείγματα που αποκλίνουν από την ευθεία εκτίμησης της θερμοκρασίας. Η απόκλιση των δειγμάτων οφείλεται στη δυσκολία προσδιορισμού των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης μέσω της οπτικής παρατήρησης.

Από τα διαγράμματα β, γ, δ της εικόνας 4.27 προκύπτει ότι η συσχέτιση της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με την εκτιμηθείσα, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, ανυδρίτη, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, ασβεστίτη και χαλαζία που

περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.15 είναι πολύ ισχυρή, καθώς η πλειονότητα των τιμών προσεγγίζει την ευθεία εκτίμησης της θερμοκρασίας, με εξαίρεση ενός πολύ μικρού αριθμού δειγμάτων.



Εικόνα 4.27: Διαγράμματα συσχέτισης της μετρηθείσας θερμοκρασίας (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την εκτιμηθείσα από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για το συνδυασμό ορυκτολογικών φάσεων σύμφωνα με τις σχέσεις του πίνακα 4.15 σε δείγματα I.T. ( $R$ : συντελεστής συσχέτισης,  $MSE_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Συνοψίζοντας από τον πίνακα 4.15 και την εικόνα 4.27, προκύπτει ότι είναι εφικτή σε ικανοποιητικό βαθμό η εκτίμηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής σε δείγματα I.T., από το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, ανυδρίτη, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, ασβεστίτη και χαλαζία με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Η απόκλιση δειγμάτων από τις ευθείες παλινδρόμησης μπορεί να σχετίζονται με κάποιο σφάλμα κατά τον ποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων, καθώς οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στις συσχετίσεις, είναι οι απόλυτες που προέκυψαν, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το πειραματικό σφάλμα.

*B. Συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων ανυδρίτη, μπραουνμυλλερίτη, άσβεστο, ασβεστίτη, μερβινίτη, περίκλαστο, αστρίους και χαλαζία.*

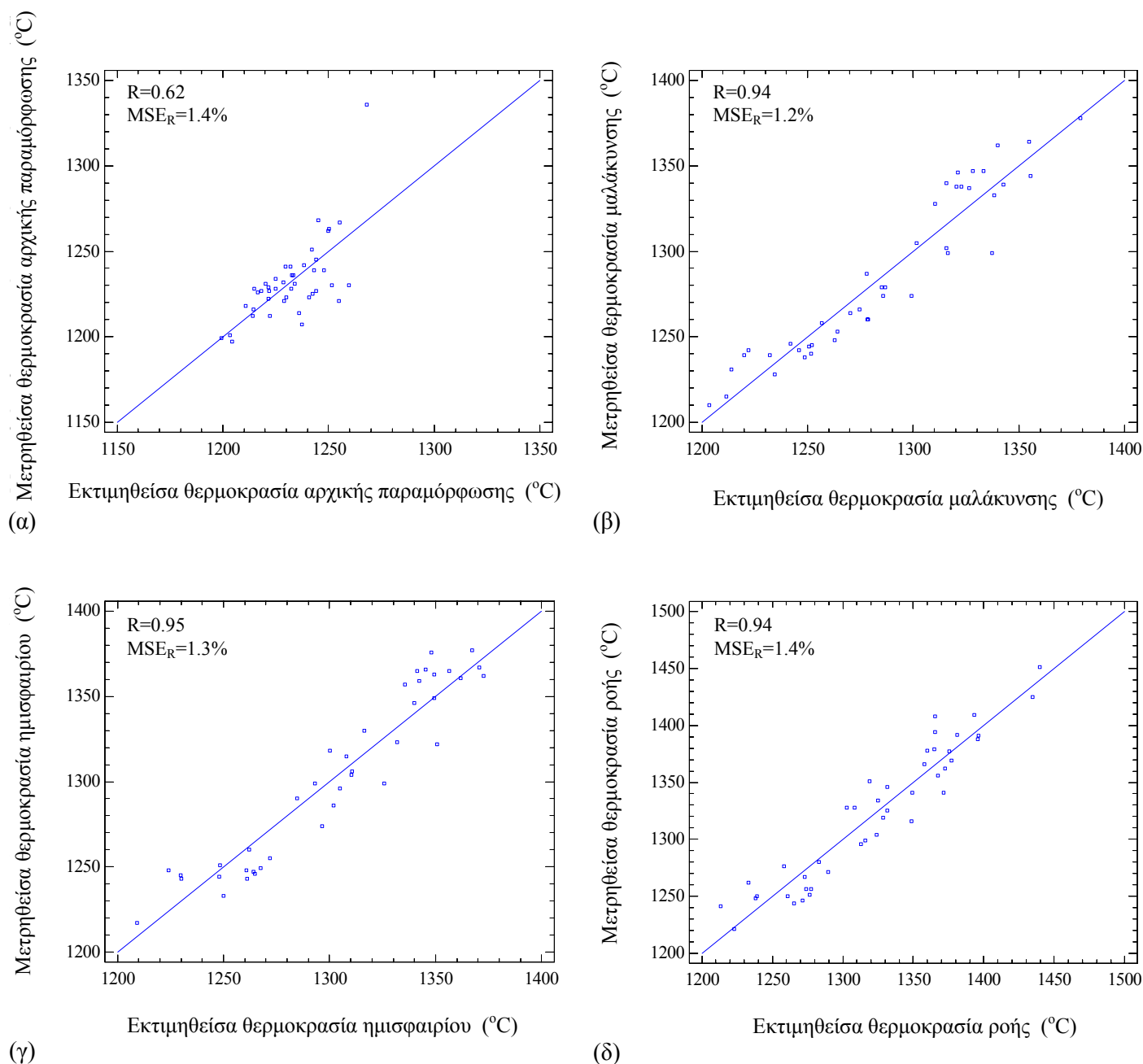
Οι σχέσεις εκτίμησης των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με συνδυασμό των ορυκτολογικών φάσεων ανυδρίτη, μπραουνμυλλερίτη, άσβεστο, ασβεστίτη, μερβινίτη, περίκλαστο, αστρίους και χαλαζία, ανά θερμοκρασία, οι συντελεστές συσχέτισης και τα σχετικά μέσα τετραγωνικά σφάλματα των εκτιμηθέντων θερμοκρασιών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.16. Η αξιοπιστία ελέγχθηκε με τα διαγράμματα των πειραματικά μετρηθέντων θερμοκρασιών συναρτήσει των εκτιμηθέντων θερμοκρασιών (Εικόνα 4.28).

Πίνακας 4.16: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των I.T.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης (r)	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE <sub>R</sub> , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1194 - 3.8 \cdot \text{Anh} + 13.7 \cdot \text{Brml} - 3.5 \cdot \text{Lm} + 1.9 \cdot \text{Merw} - 5.3 \cdot \text{Per} + 1.8 \cdot \text{Q}$	0.62	1.4
Μαλάκυνσης (ST)	$1103 + 10.9 \cdot \text{Brml} + 4.9 \cdot \text{Lm} + 4.2 \cdot \text{Cc} + 28.2 \cdot \text{Per} + 3.3 \cdot \text{Feld} - 5.3 \cdot \text{Q}$	0.94	1.2
Ημισφαιρίου (HT)	$1160 + 7.9 \cdot \text{Brml} + 9.7 \cdot \text{Lm} + 5.7 \cdot \text{Cc} - 11.2 \cdot \text{Merw} + 26.0 \cdot \text{Per} - 7.9 \cdot \text{Q}$	0.95	1.3
Ροής (FT)	$1178 + 9.9 \cdot \text{Brml} + 10.1 \cdot \text{Lm} + 5.6 \cdot \text{Cc} - 14.1 \cdot \text{Merw} + 26.6 \cdot \text{Per} - 9.6 \cdot \text{Q}$	0.94	1.4

όπου: Anh=ανυδρίτης, Brml=μπραουνμυλλερίτης, Lm=άσβεστος, Cc=ασβεστίτης, Merw=μερβινίτης, Per=περίκλαστο, Feld=άστριοι και Q=χαλαζίας.

Από τον πίνακα 4.16 προκύπτει ότι η συσχέτιση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, ανυδρίτη, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, ασβεστίτη και χαλαζία, σύμφωνα με τους συντελεστές συσχέτισης είναι πολύ ισχυρή, ενώ για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι μέτρια.



Εικόνα 4.28: Διαγράμματα συσχέτισης της μετρηθείσας θερμοκρασίας (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την εκτιμηθείσα από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για το συνδυασμό ορυκτολογικών φάσεων σύμφωνα με τις σχέσεις του πίνακα 4.16 σε δείγματα Ι.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης,  $MSE_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Στην εικόνα 4.28α αποτυπώνεται η μέτρια συσχέτιση της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης με την εκτιμηθείσα, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων ανυδρίτη, μπραουνμιλλερίτη, ασβέστου, μερβινίτη, περικλάστου και χαλαζία όπως περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.16, καθώς υπάρχουν αρκετά δείγματα που αποκλίνουν από την ευθεία εκτίμησης της θερμοκρασίας.

Η συσχέτιση της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας μαλάκυνσης με την εκτιμηθείσα, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων μπραουνμιλλερίτη, ασβέστου, ασβεστίτη, περίκλαστου, αστρίων και χαλαζία που περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.16 είναι πολύ ισχυρή (Εικόνα 4.28β), καθώς η πλειονότητα των τιμών προσεγγίζει την ευθεία εκτίμησης της θερμοκρασίας, με εξαίρεση ενός πολύ μικρού αριθμού δειγμάτων. Ομοίως και η συσχέτιση των πειραματικά μετρηθέντων θερμοκρασιών ημισφαιρίου και ροής με των εκτιμηθέντων, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων μπραουνμιλλερίτη, ασβέστου, ασβεστίτη, μερβινίτη, περίκλαστου και χαλαζία που περιγράφεται στις αντίστοιχες σχέσεις του πίνακα 4.16 είναι πολύ ισχυρή (Εικόνα 4.28γ-δ), καθώς η πλειονότητα των τιμών προσεγγίζει την ευθεία εκτίμησης της θερμοκρασίας, με εξαίρεση ενός πολύ μικρού αριθμού δειγμάτων.

Συνοψίζοντας από τον πίνακα 4.16 και την εικόνα 4.28, προκύπτει ότι είναι εφικτή σε ικανοποιητικό βαθμό με την εφαρμογή πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης σε δείγματα I.T., η εκτίμηση της θερμοκρασίας μαλάκυνσης από το συνδυασμό των φάσεων των μπραουνμιλλερίτη, ασβέστου, ασβεστίτη, περίκλαστου, αστρίων και χαλαζία, ενώ των θερμοκρασιών ημισφαιρίου και ροής από το συνδυασμό των φάσεων των μπραουνμιλλερίτη, ασβέστου, ασβεστίτη, μερβινίτη, περίκλαστου και χαλαζία.

#### **4.4.2 Εργαστηριακές τέφρες**

Οι συντελεστές συσχέτισης των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης (αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής) και των μεμονωμένων ορυκτολογικών φάσεων, για τα δείγματα των E.T., φαίνονται στον πίνακα 4.17.

Πίνακας 4.17: Συντελεστές συσχέτισης των θερμοκρασιών συμπεριφοράς τήξης με τις ορυκτολογικές φάσεις των δειγμάτων των Ε.Τ.

	Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (ID)	Θερμοκρασία μαλάκυνσης (ST)	Θερμοκρασία ημισφαιρίου (HT)	Θερμοκρασία ροής (FT)
Άμορφα	-0.32	-0.70	-0.65	-0.65
Ανυδρίτης	0.02	-0.12	-0.14	-0.11
Γκελενίτης	0.01	0.41	0.21	0.25
Πυριτικό διασβέστιο	0.19	0.75	0.76	0.70
Μπραουνμυλλερίτης	0.12	0.70	0.78	0.72
Άσβεστος (+πορτλανδίτης)	-0.12	0.09	0.15	0.25
Ασβεστίτης	0.40	0.44	0.43	0.39
Αιματίτης	-0.24	-0.42	-0.38	-0.31
Μερβινίτης	0.32	0.62	0.52	0.47
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	-0.12	-0.69	-0.65	-0.62
Περίκλαστο	0.07	0.35	0.38	0.26
Άστριοι	-0.19	-0.33	-0.34	-0.32
Χαλαζία	-0.15	-0.65	-0.72	-0.76
Τάλκης	-0.27	-0.60	-0.58	-0.52

Από τα αποτελέσματα της συσχέτισης των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με τις ορυκτολογικές φάσεις για τα δείγματα των Ε.Τ., όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4.17, προκύπτει ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση για τη θερμοκρασία ημισφαιρίου με το πυριτικό διασβέστιο ( $r=0.76$ ), με το μπραουνμυλλερίτη ( $r=0.78$ ) και το χαλαζία ( $r=-0.72$ ), καθώς και της θερμοκρασίας μαλάκυνσης με το πυριτικό διασβέστιο ( $r=0.75$ ), όπως και της θερμοκρασίας ροής με το μπραουνμυλλερίτη ( $r=0.72$ ) και το χαλαζία ( $r=-0.76$ ). Μέτρια συσχέτιση εμφανίζεται μεταξύ της θερμοκρασίας μαλάκυνσης με το μπραουνμυλλερίτη ( $r=0.70$ ) και το χαλαζία ( $r=-0.65$ ), της θερμοκρασίας ροής με το πυριτικό διασβέστιο ( $r=0.70$ ), όπως και μεταξύ των θερμοκρασιών μαλάκυνσης και ημισφαιρίου με το μερβινίτη ( $r=0.62$ ,  $r=0.52$ ), των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει των αμόρφων ( $r=-0.70$ ,  $r=-0.65$ ,  $r=-0.65$ ), του μοσχοβίτη/ιλλίτη ( $r=-0.69$ ,  $r=-0.65$ ,  $r=-0.62$ ) και του τάλκη ( $r=-0.60$ ,  $r=-0.58$ ,  $r=-0.52$ ). Οι υπόλοιποι συνδυασμοί των θερμοκρασιών με τις ορυκτολογικές φάσεις, είτε δεν εμφανίζουν συσχέτιση είτε η συσχέτιση είναι ασθενής.

Από τις μελέτες για τη μετατροπή των φάσεων κατά την καύση του λιγνίτη και πως επηρεάζουν τη συμπεριφορά τήξης, που έχουν πραγματοποιηθεί σε δείγματα λιγνίτη (Bryers, 1996) και ιδιαιτέρως της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (Filippidis et al., 1996; Vamvuka et al., 2001; Vamvuka et al., 2011), επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα των συσχετίσεων των ορυκτολογικών φάσεων σε δείγματα Ε.Τ., όπως αποτυπώθηκαν στον πίνακα 4.17. Έτσι, η αύξηση της περιεκτικότητας των ασβεστούχων φάσεων αυξάνει τις θερμοκρασίες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης των τεφρών (θετική

συσχέτιση), ενώ αντίθετα οι φάσεις του μοσχοβίτη/ιλλίτη, αιματίτη, χαλαζίας και αστρίων οδηγούν σε μείωση των θερμοκρασιών (αρνητική συσχέτιση). Επίσης, η παρουσία του ανυδρίτη καθώς και των αμόρφων επηρεάζει αρνητικά τις θερμοκρασίες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης (αρνητική συσχέτιση). Οι επισημάνσεις αυτές, όπως και για τα δείγματα των Ι.Τ., ενισχύονται από μελέτες σε δείγματα επισκωριώσεων-επικαθήσεων των ΑΗΣ της Δυτικής Μακεδονίας (Kostakis, 2011), όπου έχουν βρεθεί άμορφα, ανυδρίτης, αιματίτης, ανορθίτης (άστριοι) και χαλαζίας (αρνητική συσχέτιση).

Από τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με τις ορυκτολογικές φάσεις στα δείγματα Ε.Τ., ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι παρακάτω περιπτώσεις (εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση στη θερμοκρασία μαλάκυνσης ή/και ημισφαιρίου ή/και ροής):

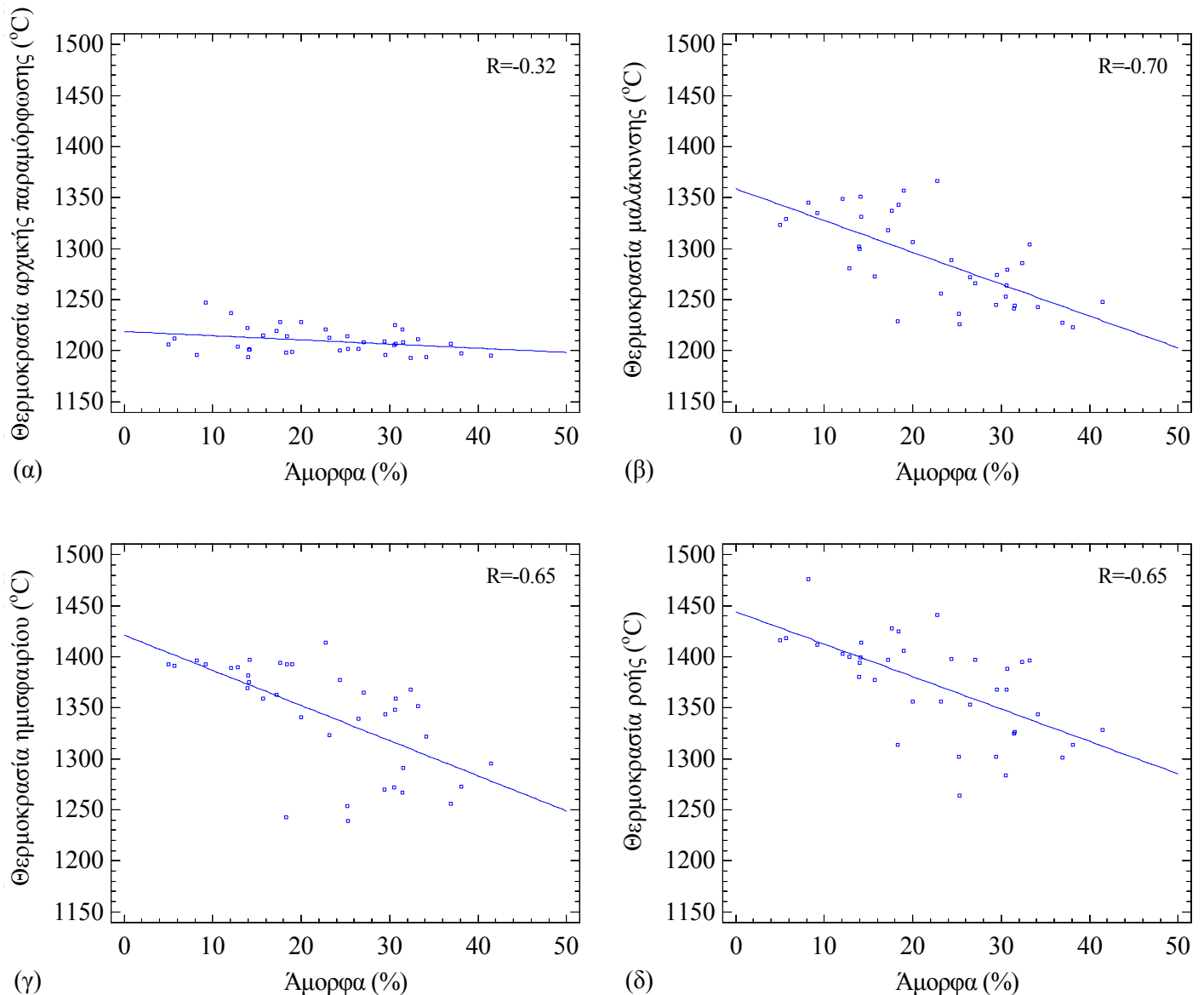
#### *Α. Άμορφα*

Τα διαγράμματα που προέκυψαν από τη συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου, ροής με τα άμορφα απεικονίζεται στην εικόνα 4.29.

Όπως προκύπτει από την εικόνα 4.29α, η εξάρτηση της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης από την περιεκτικότητα σε άμορφα επιβεβαιώνει την ασθενή γραμμική μεταξύ τους συσχέτιση, καθώς η διασπορά των τιμών σε μικρό θερμοκρασιακό εύρος γύρω από την ευθεία, δεν ερμηνεύει τη μεταβολή της θερμοκρασίας με βάση την περιεκτικότητα σε άμορφα.

Η εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από την περιεκτικότητα σε άμορφα επιβεβαιώνει τη μέτρια αρνητική γραμμική συσχέτιση (μείωση της θερμοκρασίας με αύξηση της περιεκτικότητας σε άμορφα), καθώς υπάρχουν αρκετά δείγματα όπου η απόκλιση τους από την ευθεία συσχέτισης είναι μεγάλη (Εικόνα 4.29β-δ).

Έτσι, από την εικόνα 4.29 προκύπτει ότι, εν γένει, είναι δύσκολη η εκτίμηση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από την περιεκτικότητα σε άμορφα στα δείγματα των Ε.Τ.



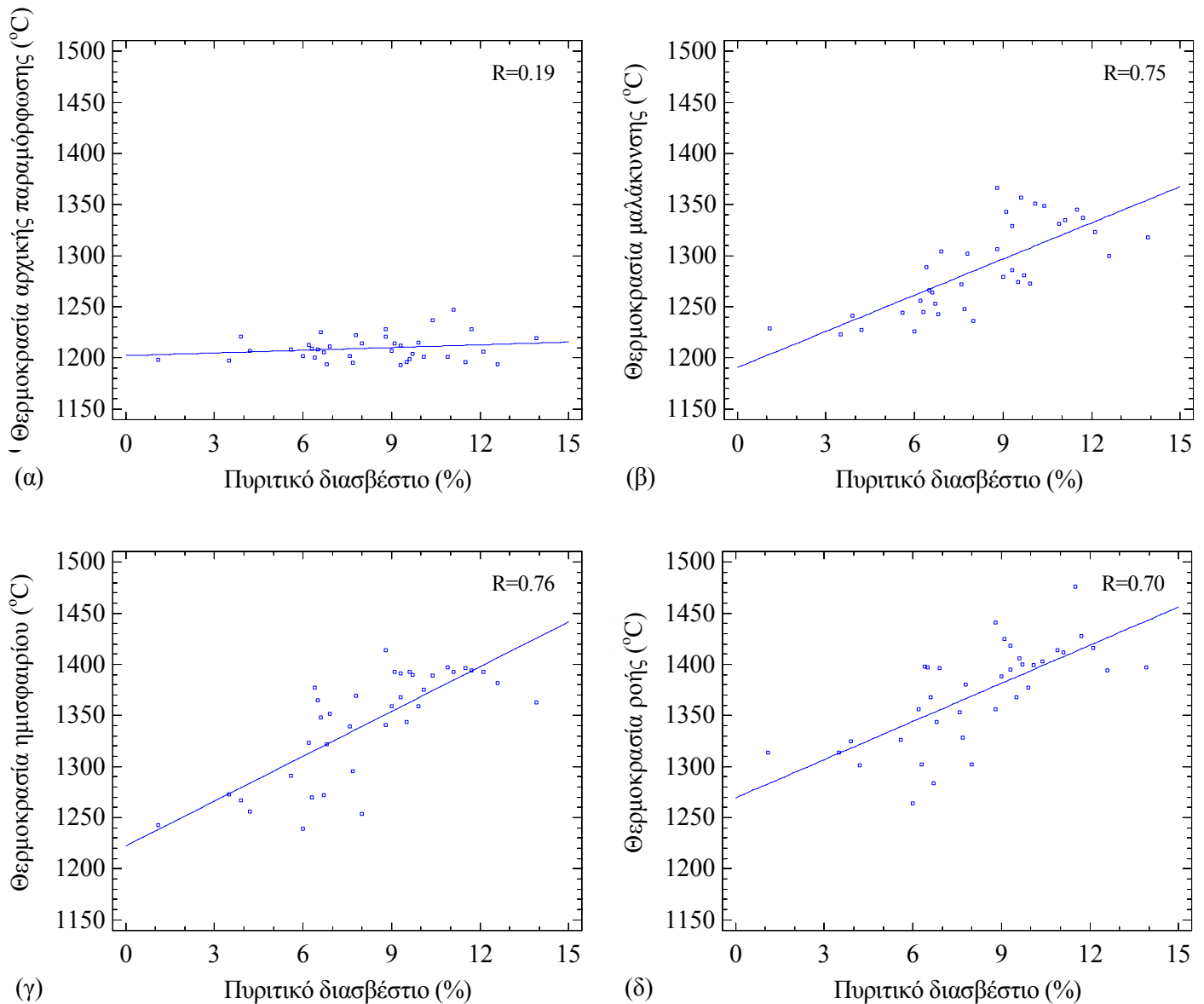
Εικόνα 4.29: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την περιεκτικότητα σε άμορφα σε δείγματα E.T. (R: συντελεστής συσχέτισης).

#### B. Πυριτικό διασβέστιο

Η συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου, ροής με το πυριτικό διασβέστιο απεικονίζεται στην εικόνα 4.30.

Όπως προκύπτει από την εικόνα 4.30α, η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι ανεξάρτητη από την περιεκτικότητα σε πυριτικό διασβέστιο, επιβεβαιώνοντας την έλλειψη συσχέτισης, καθώς για την πλειονότητα των δειγμάτων με διαφορετικές περιεκτικότητες δε μεταβάλλεται αντίστοιχα η θερμοκρασία.

Τα διαγράμματα β, γ, δ της εικόνας 4.30 αποτυπώνουν την εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής από την περιεκτικότητα σε πυριτικό διασβέστιο σε δείγματα E.T., καθώς οι τιμές εμφανίζουν μια κανονικότητα (ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση), με εξαίρεση ενός μικρού αριθμού δειγμάτων που αποκλίνουν από την ευθεία.



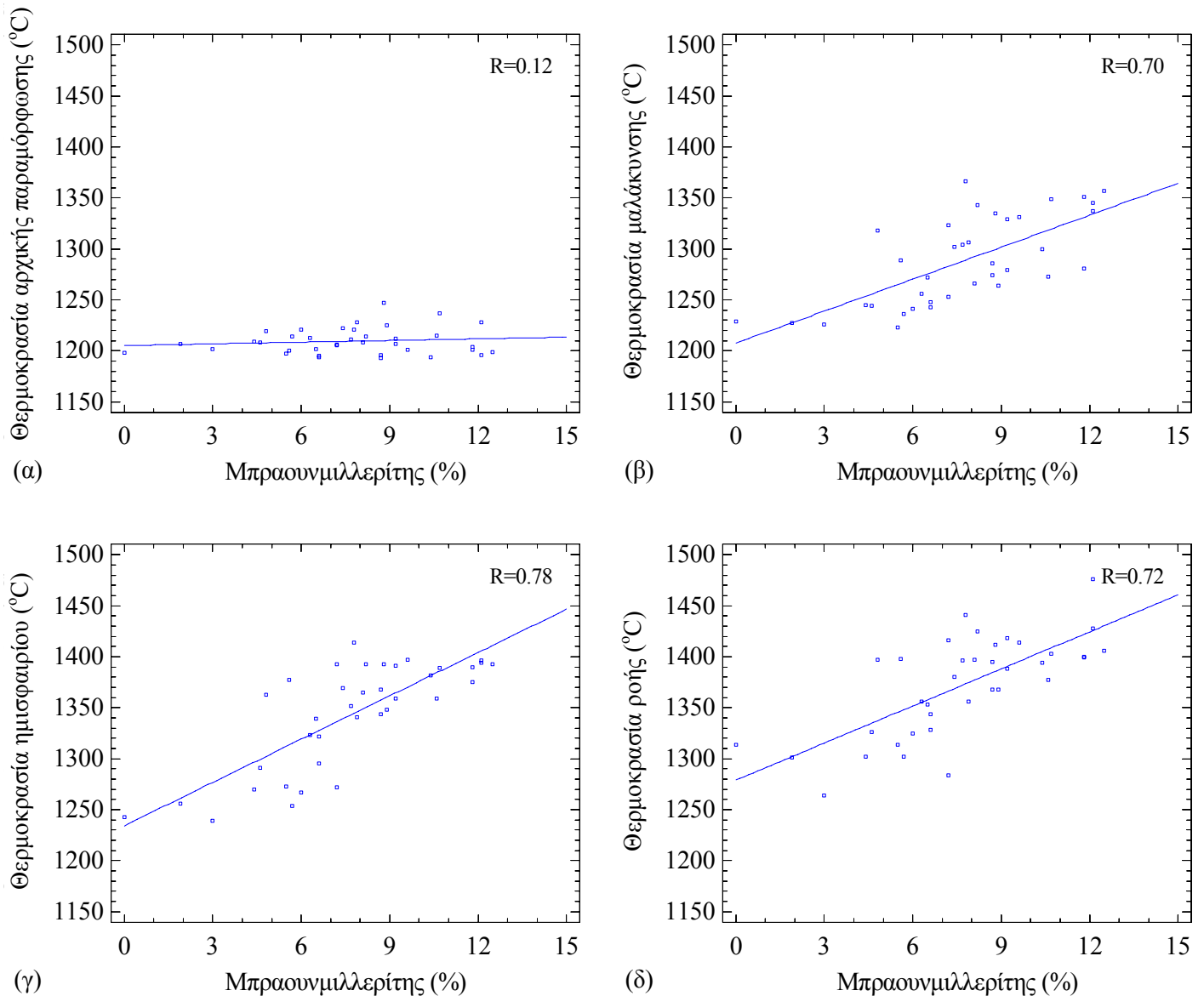
Εικόνα 4.30: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την περιεκτικότητα σε πυριτικό διασβέστιο σε δείγματα E.T. (R: συντελεστής συσχέτισης).

Από την εικόνα 4.30, προκύπτει ότι οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτῆσαι της περιεκτικότητας σε πυριτικό διασβέστιο σε δείγματα E.T.

παρουσιάζουν μια γραμμική συσχέτιση, το οποίο καθιστά, εν γένει, δυνατή την εκτίμησή τους με βάση την παρουσία του πυριτικού διασβεστίου.

#### Γ. Μπραουνμυλλερίτης

Η συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου, ροής με τον μπραουνμυλλερίτη απεικονίζεται στην εικόνα 4.31.



Εικόνα 4.31: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την περιεκτικότητα σε μπραουνμυλλερίτη σε δείγματα Ε.Τ. (R: συντελεστής συσχέτισης).

Από την εικόνα 4.31α προκύπτει ότι η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι ανεξάρτητη της περιεκτικότητας σε μπραουνμιλλερίτη, καθώς η πλειονότητα των δειγμάτων εμφανίζει παρόμοιες θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης ενώ κυμαίνεται σε ένα σχετικά μεγάλο εύρος περιεκτικότητας. Αντιθέτως, οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής εμφανίζουν εξάρτηση από την περιεκτικότητα σε μπραουνμιλλερίτη (ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση), παρόλο που υπάρχουν αρκετά δείγματα που αποκλίνουν από την ευθεία (Εικόνα 4.31β-δ).

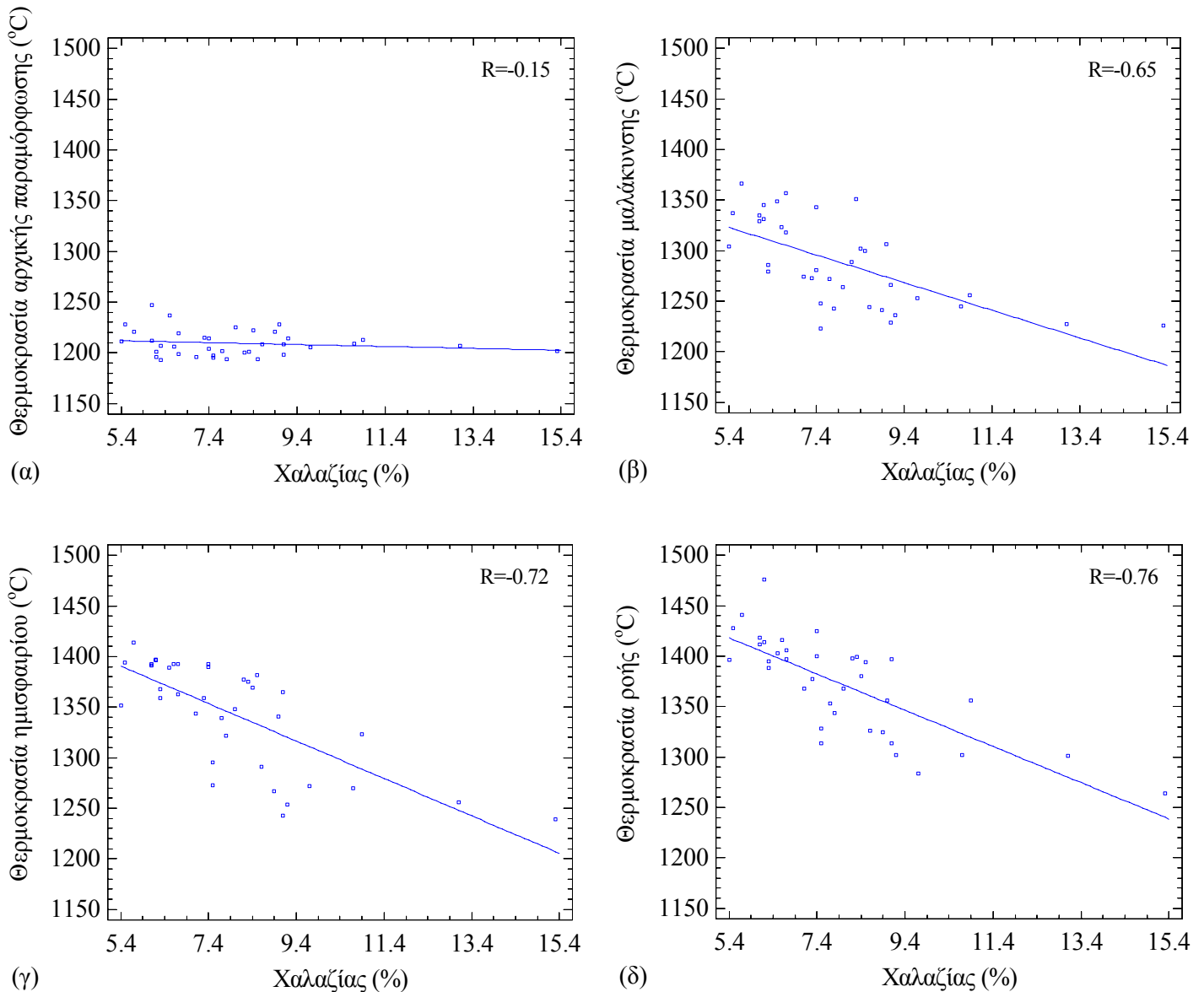
Συνολικά από την εικόνα 4.31 προκύπτει ότι η ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση που εμφανίζουν οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει της περιεκτικότητας σε μπραουνμιλλερίτη σε δείγματα E.T. καθιστά, εν γένει, δυνατή την εκτίμηση των εν λόγω θερμοκρασιών με βάση την παρουσία του μπραουνμιλλερίτη.

#### *Δ. Χαλαζία*

Η συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου, ροής με το χαλαζία απεικονίζεται στην εικόνα 4.32.

Όπως παρατηρείται στην εικόνα 4.32α, η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι ανεξάρτητη από την περιεκτικότητα σε χαλαζία σε δείγματα E.T., καθώς στην πλειονότητα των δειγμάτων με διαφορετικές περιεκτικότητες δεν μεταβάλλεται αντίστοιχα η θερμοκρασία. Η θερμοκρασία μαλάκυνσης παρουσιάζει μέτρια αρνητική γραμμική συσχέτιση με την περιεκτικότητα σε χαλαζία (Εικόνα 4.32β), ενώ υπάρχουν αρκετά δείγματα που εμφανίζουν σημαντική απόκλιση από την ευθεία. Ομοίως, η θερμοκρασίες ημισφαιρίου και ροής εμφανίζουν ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση με την περιεκτικότητα σε χαλαζία (Εικόνα 4.32γ, δ), όπου υπάρχει ένας μικρός αριθμός δειγμάτων που εμφανίζει απόκλιση από την ευθεία.

Από την εικόνα 4.32 προκύπτει ότι είναι δύσκολο να γίνει εκτίμηση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με βάση την περιεκτικότητα του χαλαζία, με πιθανή εξαίρεση τις θερμοκρασίες ημισφαιρίου και ροής.



Εικόνα 4.32: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την περιεκτικότητα σε χαλαζία σε δείγματα E.T. (R: συντελεστής συσχέτισης).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 4.17 και στις εικόνες 4.29-4.32, παρατηρείται μια εν γένει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης και την ορυκτολογική σύσταση των E.T. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α. Από τις συσχετίσεις αυτές προέκυψε η ύπαρξη ισχυρής συσχέτισης, αλλά όχι πολύ ισχυρής σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί μια αξιόπιστη εκτίμηση των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης. Ως εκ τούτου, η διερεύνηση ενός σύνθετου συνδυασμού φάσεων μπορεί να δώσει ικανοποιητικότερα αποτελέσματα. Έτσι, σε περαιτέρω έλεγχο συσχετίσεων με απλή

γραμμική παλινδρόμηση των θερμοκρασιών της συμπεριφοράς τήξης με συνδυασμούς των ορυκτολογικών φάσεων, ως άθροισμα των περιεκτικοτήτων επιλεγμένων φάσεων, ομαδοποιημένων με κάποια συνάφεια που εμφανίζουν (π.χ. χημική συγγένεια, παραπλήσια σημεία τήξης, κ.α.), καθώς και των φάσεων που συνδέονται με τα φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων, προέκυψαν συσχετίσεις με ικανοποιητικά αποτελέσματα (υψηλές τιμές συντελεστή συσχέτισης με μικρό σχετικό σφάλμα). Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συσχετίσεων με απλή γραμμική παλινδρόμηση, μεταξύ των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει:

- α) του αθροίσματος των ασβεστούχων φάσεων ( $CP = \text{άσβεστος} + \text{πυριτικό διασβέστιο} + \text{μπραουνμυλλερίτης} + \text{γκελενίτης} + \text{ασβεστίτης} + \text{μερβινίτης}$ ),
- β) του αθροίσματος των ορυκτολογικών φάσεων που σχετίζονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων ( $SFP = \text{άμορφα} + \text{ανυδρίτης} + \text{αιματίτης} + \text{μοσχοβίτης/ιλλίτης} + \text{άστριοι} + \text{χαλαζίας}$ ).

*Α. Συσχέτιση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με το άθροισμα των ασβεστούχων φάσεων.*

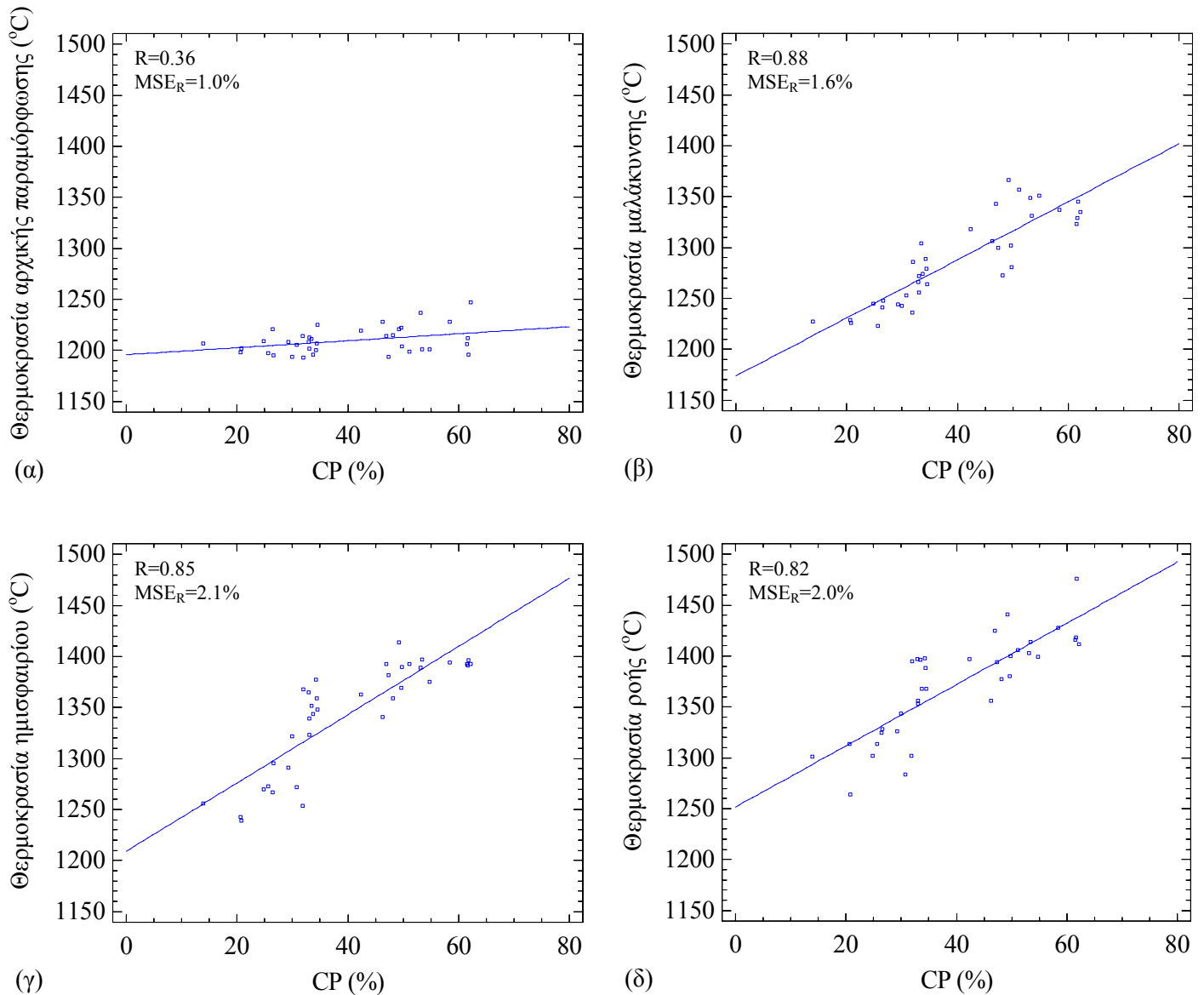
Οι σχέσεις, οι συντελεστές συσχέτισης και τα σχετικά μέσα τετραγωνικά σφάλματα για τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το άθροισμα των ασβεστούχων φάσεων (άσβεστος, πυριτικό διασβέστιο, μπραουνμυλλερίτης, γκελενίτης, ασβεστίτης, μερβινίτης) των Ε.Τ., παρουσιάζονται στον πίνακα 4.18, ενώ τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις συσχετίσεις αυτές στην εικόνα 4.33.

Πίνακας 4.18: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των Ε.Τ.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης (r)	Σχετικό Μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $MSE_R$ , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1196 + 0.3 \cdot CP$	0.36	1.0
Μαλάκυνσης (ST)	$1174 + 2.9 \cdot CP$	0.88	1.6
Ημισφαιρίου (HT)	$1209 + 3.4 \cdot CP$	0.85	2.1
Ροής (FT)	$1251 + 3.0 \cdot CP$	0.82	2.0

όπου:  $CP = \text{άσβεστος} + \text{πυριτικό διασβέστιο} + \text{μπραουνμυλλερίτης} + \text{γκελενίτης} + \text{ασβεστίτης} + \text{μερβινίτης}$

Από τον πίνακα 4.18 προκύπτει σύμφωνα με τους συντελεστές συσχέτισης η πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει του αθροίσματος των ασβεστούχων φάσεων (CP), ενώ για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης η συσχέτιση είναι ασθενής.



Εικόνα 4.33: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με το άθροισμα ασβεστούχων φάσεων (CP = άσβεστος + πυριτικό διασβέστιο + μπραουνμυλλερίτης + γκελενίτης + ασβεστίτης + μερβινίτης) σε δείγματα E.T. (R: συντελεστής συσχέτισης, MSE<sub>R</sub>: σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Από την εικόνα 4.33α προκύπτει ότι η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι ανεξάρτητη από το άθροισμα της περιεκτικότητας σε ασβεστούχες φάσεις, καθώς υπάρχει συγκέντρωση αρκετών δειγμάτων με διαφορετικά αθροίσματα σε παραπλήσιες θερμοκρασίες. Αντιθέτως, η εξάρτηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης ημισφαιρίου και ροής από το άθροισμα της περιεκτικότητας σε ασβεστούχες φάσεις παρουσιάζει πολύ ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση, όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα β, γ, δ της εικόνας 4.33, με ένα μικρό αριθμό δειγμάτων να αποκλίνουν από την ευθεία.

Οπότε, από την εικόνα 4.33 επαληθεύεται εν γένει, η πολύ ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει του αθροίσματος των ασβεστούχων φάσεων (CP), επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα του πίνακα 4.17 και καθιστώντας εφικτή την εκτίμηση των εν λόγω θερμοκρασιών, λαμβάνοντας υπόψη και το σχετικό σφάλμα. Για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης η συσχέτιση είναι ασθενής και ως εκ τούτου δεν μπορεί να εκτιμηθεί η εν λόγω θερμοκρασία από το άθροισμα των ασβεστούχων φάσεων στα δείγματα E.T. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

*B. Συσχέτιση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με το άθροισμα των ορυκτολογικών φάσεων που σχετίζονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων.*

Από τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το άθροισμα των ορυκτολογικών φάσεων που σχετίζονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων (SFP) στα δείγματα των E.T. (άμορφα, ανυδρίτης, αιματίτης, μοσχοβίτης/ιλλίτης, άστριοι και χαλαζίας), προέκυψαν οι σχέσεις, οι συντελεστές συσχέτισης και τα σχετικά μέσα τετραγωνικά σφάλματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.19, καθώς και τα διαγράμματα που απεικονίζουν στην εικόνα 4.34.

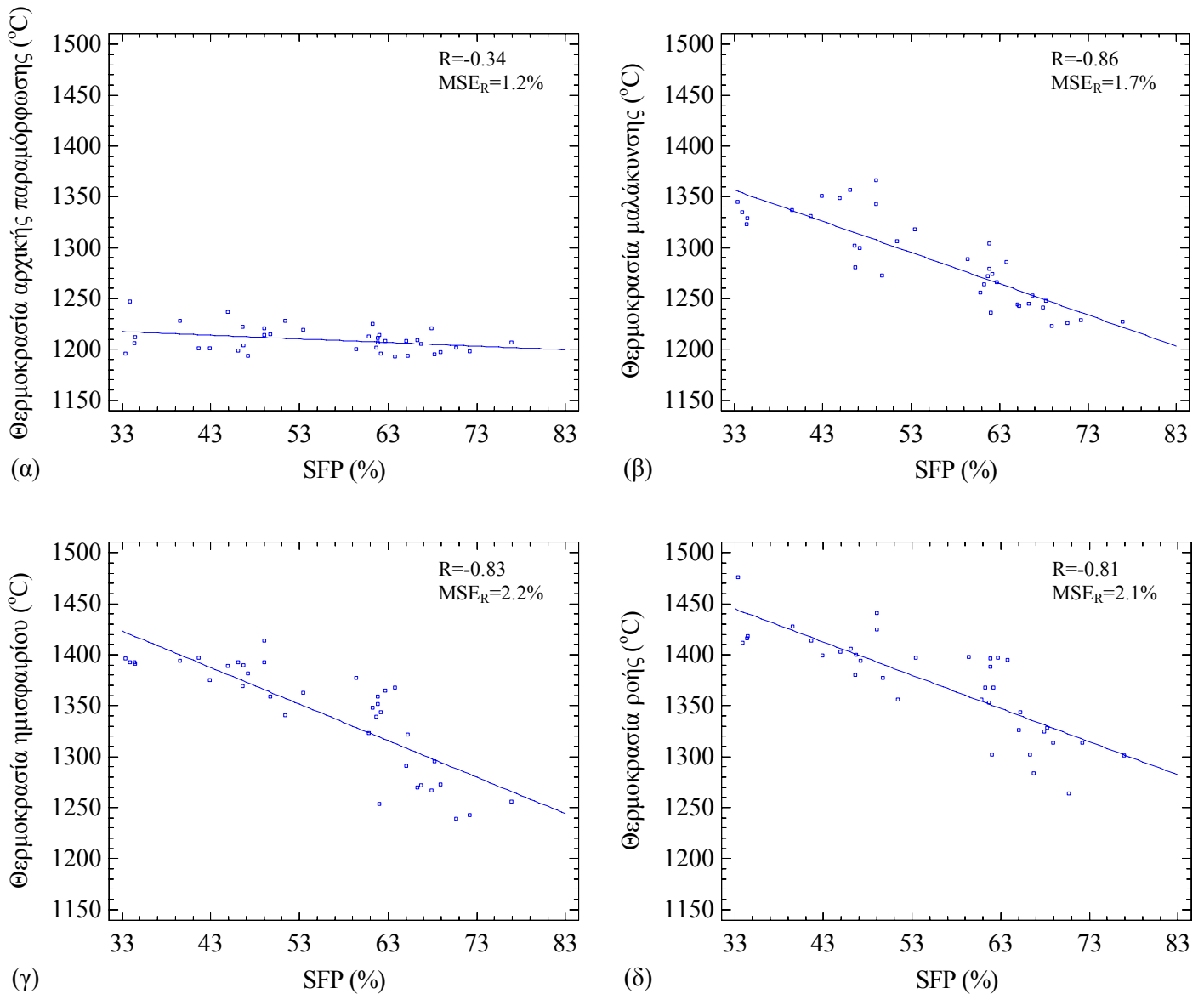
Πίνακας 4.19: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των Ε.Τ.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης (r)	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE <sub>R</sub> , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	1229 - 0.4*SFP	-0.34	1.2
Μαλάκυνσης (ST)	1452 - 2.8*SFP	-0.86	1.7
Ημισφαιρίου (HT)	1542 - 3.6*SFP	-0.83	2.2
Ροής (FT)	1553 - 3.3*SFP	-0.81	2.1

όπου: SFP = άμορφα + ανυδρίτης + αιματίτης + μοσχοβίτης/ιλλίτης + άστριοι + χαλαζία

Από τον πίνακα 4.19 προκύπτει σύμφωνα με τους συντελεστές συσχέτισης η πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσει του αθροίσματος των φάσεων που σχετίζονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων (SFP), ενώ για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης η συσχέτιση είναι ασθενής.

Στην εικόνα 4.34α παρατηρείται ότι, η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης είναι ανεξάρτητη από το άθροισμα της περιεκτικότητας των ορυκτολογικών φάσεων που συνδέονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων (SFP), καθώς υπάρχει συσσώρευση δειγμάτων με διαφορετικά αθροίσματα σε μικρό εύρος θερμοκρασιών. Οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής εμφανίζουν πολύ ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση με το άθροισμα της περιεκτικότητας των ορυκτολογικών φάσεων που συνδέονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων (SFP), όπως φαίνεται και από την εικόνα 4.34(β-δ), ενώ ένας πολύ μικρός αριθμός δειγμάτων αποκλίνει από την ευθεία.



Εικόνα 4.34: Διαγράμματα συσχέτισης των θερμοκρασιών (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με το άθροισμα των φάσεων που συνδέονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων (SFP = άμορφα + ανυδρίτης + αιματίτης + μοσχοβίτης/ιλλίτης + άστριοι + χαλαζίας) σε δείγματα E.T. (R: συντελεστής συσχέτισης, MSE<sub>R</sub>: σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Από την εικόνα 4.34 επαληθεύεται εν γένει, η πολύ ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής συναρτήσεως του αθροίσματος των φάσεων που συνδέονται με φαινόμενα επισκωριώσεων-επικαθήσεων (SFP) στα δείγματα των E.T., επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα του πίνακα 4.19 και καθιστώντας εφικτή την εκτίμηση των εν λόγω θερμοκρασιών, λαμβάνοντας υπόψη και το σχετικό σφάλμα. Για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης η συσχέτιση είναι

ασθενής και ως εκ τούτου δεν μπορεί να εκτιμηθεί από το άθροισμα των φάσεων που συνδέονται με φαινόμενα επισκωρώσεων-επικαθήσεων (SFP) στα δείγματα Ε.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α.

Αντίστοιχα με τα δείγματα των Ι.Τ., πέρα από τη συσχέτιση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης με κάθε μια από τις φάσεις και διάφορους συνδυασμούς αθροισμάτων των φάσεων των Ε.Τ. που περιγράφησαν στα προηγούμενα, πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τις ορυκτολογικές φάσεις χρησιμοποιώντας το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση διερευνήθηκαν συσχετίσεις των θερμοκρασιών με συνδυασμούς των φάσεων λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία των αμόρφων, αλλά και με συνδυασμούς όπου λαμβανόταν υπόψη η παρουσία μόνο των κρυσταλλικών φάσεων.

Από το σύνολο των τελευταίων αυτών συσχετισμών, σε ικανοποιητική νομοτέλεια οδήγησαν οι συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το συνδυασμό των ίδιων φάσεων σε όλες τις θερμοκρασίες όταν λαμβανόταν υπόψη μόνο οι κρυσταλλικές φάσεις, ενώ οι συσχετίσεις των θερμοκρασιών με διαφορετικό συνδυασμό ορυκτολογικών φάσεων σε κάθε θερμοκρασία όταν λαμβανόταν υπόψη η παρουσία των αμόρφων, όπως περιγράφονται παρακάτω:

- A. Συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων ασβέστου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβεστίτη, αστρίων και χαλαζία,
- B. Συσχέτιση α) της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης με συνδυασμό μεταξύ αμόρφου, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, μοσχοβίτη/ιλλίτη, αστρίων και τάλκη, β) της θερμοκρασίας μαλάκυνσης με συνδυασμό μεταξύ αμόρφου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβέστου, ασβεστίτη και αιματίτη, γ) της θερμοκρασίας ημισφαιρίου με συνδυασμό μεταξύ αμόρφου, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, αιματίτη, μερβινίτη και χαλαζία, και δ) της θερμοκρασίας ροής με συνδυασμό μεταξύ αμόρφου, ασβέστου, αιματίτη, αστρίων και χαλαζία.

*A. Συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων ασβέστου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβεστίτη, αστρίων και χαλαζία.*

Οι σχέσεις εκτίμησης που περιγράφουν τις συσχετίσεις των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων ασβέστου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβεστίτη, αστρίων και χαλαζία, οι συντελεστές συσχέτισης ( $r$ ) και το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $MSE_R$ ) των εκτιμηθέντων θερμοκρασιών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.20. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων ελέγχθησαν για την αξιοπιστία των σχέσεων με τα διαγράμματα της πειραματικά μετρηθείσας συναρτήσεως της εκτιμηθείσας θερμοκρασίας (σύμφωνα με τις σχέσεις), όπως παρουσιάζονται στην εικόνα 4.35.

Πίνακας 4.20: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των E.T.

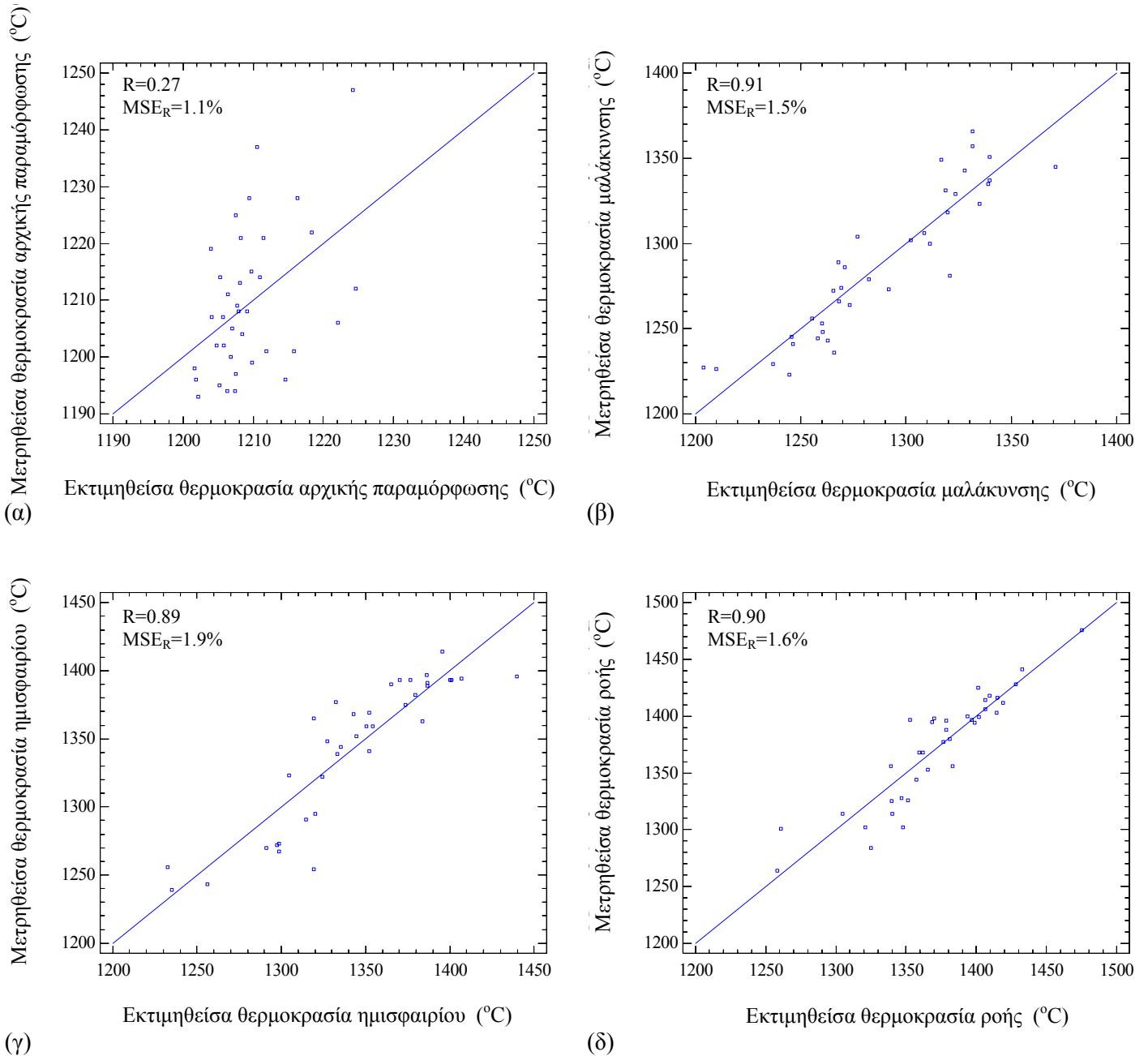
Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης ( $r$ )	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $MSE_R$ , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1204 + 0.4 \cdot Lm - 0.5 \cdot C_2S + 0.4 \cdot Gehl + 0.7 \cdot Cc - 0.6 \cdot Feld + 0.3 \cdot Q$	0.27	1.1
Μαλάκυνσης (ST)	$1229 + 3.2 \cdot Lm + 4.8 \cdot C_2S + 4.5 \cdot Gehl + 2.0 \cdot Cc - 2.0 \cdot Feld - 3.9 \cdot Q$	0.91	1.5
Ημισφαιρίου (HT)	$1304 + 3.6 \cdot Lm + 6.6 \cdot C_2S + 2.6 \cdot Gehl + 1.9 \cdot Cc - 1.2 \cdot Feld - 8.6 \cdot Q$	0.89	1.9
Ροής (FT)	$1354 + 4.4 \cdot Lm + 3.6 \cdot C_2S + 3.2 \cdot Gehl + 2.1 \cdot Cc - 1.1 \cdot Feld - 9.6 \cdot Q$	0.90	1.6

όπου:  $Lm$ =άσβεστος,  $Gehl$ =γκελενίτης,  $C_2S$ =πυριτικό διασβέστιο,  $Cc$ =ασβεστίτης,  $Feld$ =άστριοι και  $Q$ =χαλαζίας.

Από τον πίνακα 4.20 προκύπτει ότι η συσχέτιση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το συνδυασμό μεταξύ των φάσεων ασβέστου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβεστίτη, αστρίων και χαλαζία, σύμφωνα με τους συντελεστές συσχέτισης είναι πολύ ισχυρή. Για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης δεν υπάρχει κάποια εμφανής γραμμική συσχέτιση για το συνδυασμό των ίδιων φάσεων.

Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνεται και από την εικόνα 4.35α, όπου δεν φαίνεται να υπάρχει γραμμική συσχέτιση της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης με την εκτιμηθείσα, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων ασβέστου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβεστίτη,

αστρίων και χαλαζία που περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.20, καθώς παρατηρείται έντονη διασπορά των τιμών.



Εικόνα 4.35: Διαγράμματα συσχέτισης της μετρηθείσας θερμοκρασίας (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την εκτιμηθείσα από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για το συνδυασμό ορυκτολογικών φάσεων σύμφωνα με τις σχέσεις του πίνακα 4.20 σε δείγματα E.T. (R: συντελεστής συσχέτισης,  $MSE_R$ : σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Η συσχέτιση των πειραματικά μετρηθέντων θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με των εκτιμηθέντων, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων ασβέστου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβεστίτη, αστρίων και χαλαζία που περιγράφονται στις αντίστοιχες σχέσεις του πίνακα 4.20 είναι πολύ ισχυρή, καθώς η πλειονότητα των τιμών προσεγγίζει την ευθεία εκτίμησης της θερμοκρασίας, με εξαίρεση ενός πολύ μικρού αριθμού δειγμάτων (Εικόνα 4.35β-δ).

Συνοψίζοντας από τον πίνακα 4.20 και την εικόνα 4.35, προκύπτει ότι είναι εφικτή σε ικανοποιητικό βαθμό η εκτίμηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής σε δείγματα E.T., από το συνδυασμό των φάσεων ασβέστου, πυριτικού διασβεστίου, γκελενίτη, ασβεστίτη, αστρίων και χαλαζία με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.

*B. Συσχέτιση των θερμοκρασιών αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβέστου, ασβεστίτη, μερβινίτη, αιματίτη, μοσχοβίτη/ιλλίτη, αστρίων, χαλαζία και τάλκη.*

Η σχέση εκτίμησης της θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης από το συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, μοσχοβίτη/ιλλίτη, αστρίων και τάλκη, της θερμοκρασίας μαλάκυνσης από το συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβέστου, ασβεστίτη και αιματίτη, της θερμοκρασίας ημισφαιρίου από το συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, αιματίτη, μερβινίτη και χαλαζία, και της θερμοκρασίας ροής από το συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, ασβέστου, αιματίτη, αστρίων και χαλαζία, καθώς και οι συντελεστές συσχέτισης ( $r$ ) και το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $MSE_R$ ) παρουσιάζονται στον πίνακα 4.21. Στην εικόνα 4.36 απεικονίζονται τα διαγράμματα της πειραματικά μετρηθείσας συναρτήσεως της εκτιμηθείσας θερμοκρασίας, όπως προέκυψαν από τις σχέσεις αυτές.

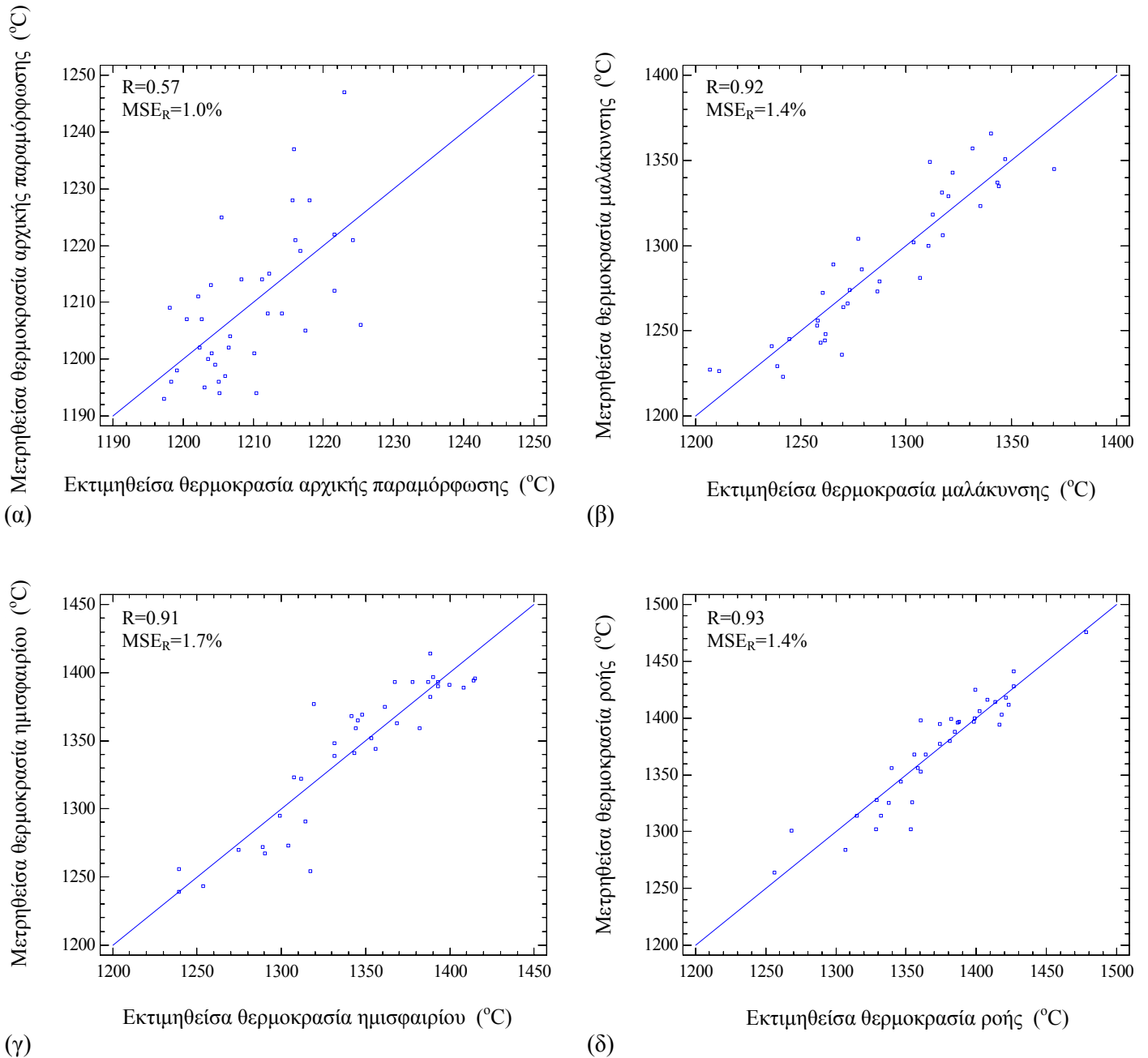
Πίνακας 4.21: Σχέσεις των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς τήξης των Ε.Τ.

Θερμοκρασία (°C)	Σχέση	Συντελεστής συσχέτισης (r)	Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE <sub>R</sub> , %)
Αρχικής παραμόρφωσης (ID)	$1275 - 0.6 \cdot Am - 0.6 \cdot Gehl - 3.1 \cdot Brml + 2.6 \cdot Musc - 2.5 \cdot Feld - 6.1 \cdot Tlc$	0.57	1.0
Μαλάκυνσης (ST)	$1000 + 2.6 \cdot Am + 7.7 \cdot Gehl + 8.2 \cdot C_2S + 6.2 \cdot Lm + 4.8 \cdot Cc + 12.1 \cdot Hem$	0.92	1.4
Ημισφαιρίου (HT)	$1387 - 1.9 \cdot Am - 2.1 \cdot Gehl + 6.2 \cdot Brml + 13.5 \cdot Hem + 12.0 \cdot Merw - 11.2 \cdot Q$	0.91	1.7
Ροής (FT)	$1523 - 2.6 \cdot Am + 1.9 \cdot Lm + 18.3 \cdot Hem - 3.2 \cdot Feld - 15.4 \cdot Q$	0.93	1.4

όπου: Am = άμορφα, Gehl = γκελενίτης, Brml = μπραουνμυλλερίτης, C<sub>2</sub>S = πυριτικό διασβέστιο, Lm = άσβεστος, Cc = ασβεστίτης, Hem = αιματίτης, Merw = μερβινίτης, Musc = μοσχοβίτης/ιλλίτης, Feld = άστριοι, Q = χαλαζίας και Tlc = τάλκης.

Από τον πίνακα 4.21 προκύπτει ότι η συσχέτιση της θερμοκρασίας μαλάκυνσης με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβέστου, ασβεστίτη και αιματίτη, της θερμοκρασίας ημισφαιρίου με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, αιματίτη, μερβινίτη και χαλαζία, και της θερμοκρασίας ροής με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, ασβέστου, αιματίτη, αστρίων και χαλαζία, των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, ανυδρίτη, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, ασβεστίτη και χαλαζία, σύμφωνα με τους συντελεστές συσχέτισης είναι πολύ ισχυρή, ενώ για τη θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης με συνδυασμό μεταξύ των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, μοσχοβίτη/ιλλίτη, αστρίων και τάλκη είναι μέτρια.

Όπως προκύπτει από την εικόνα 4.36α, η συσχέτιση της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας αρχικής παραμόρφωσης με την εκτιμηθείσα, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, μοσχοβίτη/ιλλίτη, αστρίων και τάλκη που περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.21 είναι μέτρια, καθώς υπάρχουν αρκετά δείγματα που αποκλίνουν από την ευθεία εκτίμησης της θερμοκρασίας.



Εικόνα 4.36: Διαγράμματα συσχέτισης της μετρηθείσας θερμοκρασίας (α) αρχικής παραμόρφωσης, (β) μαλάκυνσης, (γ) ημισφαιρίου και (δ) ροής με την εκτιμηθείσα από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για το συνδυασμό ορυκτολογικών φάσεων σύμφωνα με τις σχέσεις του πίνακα 4.21 σε δείγματα E.T. (R: συντελεστής συσχέτισης, MSE<sub>R</sub>: σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

Η συσχέτιση της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας μαλάκυνσης με την εκτιμηθείσα βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβέστου, ασβεστίτη και αιματίτη που περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.21 είναι πολύ ισχυρή, καθώς η

πλειονότητα των τιμών προσεγγίζει την ευθεία εκτίμησης της θερμοκρασίας, με εξαίρεση ενός πολύ μικρού αριθμού δειγμάτων (Εικόνα 4.36β). Ομοίως στην εικόνα 4.36γ παρατηρείται ότι η συσχέτιση της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας ημισφαιρίου με την εκτιμηθείσα βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, αιματίτη, μερβινίτη και χαλαζία που περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.21 είναι πολύ ισχυρή, όπως και η συσχέτιση της πειραματικά μετρηθείσας θερμοκρασίας ροής με την εκτιμηθείσα, βάσει της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, ασβέστου, αιματίτη, αστρίων και χαλαζία που περιγράφεται στην αντίστοιχη σχέση του πίνακα 4.21 είναι πολύ ισχυρή (Εικόνα 4.36δ), καθώς η πλειονότητα των τιμών προσεγγίζει την ευθεία εκτίμησης της θερμοκρασίας, με εξαίρεση ενός πολύ μικρού αριθμού δειγμάτων.

Συνοψίζοντας από τον πίνακα 4.21 και την εικόνα 4.36 προκύπτει ότι είναι εφικτή σε ικανοποιητικό βαθμό, με την εφαρμογή πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης σε δείγματα Ε.Τ., η εκτίμηση της θερμοκρασίας μαλάκυνσης από το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβέστου, ασβεστίτη και αιματίτη, της θερμοκρασίας ημισφαιρίου από το συνδυασμό των φάσεων αμόρφου, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, αιματίτη, μερβινίτη και χαλαζία, ενώ της θερμοκρασίας ροής από το συνδυασμό μεταξύ αμόρφου, ασβέστου, αιματίτη, αστρίων και χαλαζία. Τα δείγματα που αποκλίνουν από την ευθεία, προέρχονται από τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου και αντιστοιχούν στα μηνιαία δείγματα Ε.Τ., των οποίων οι περιεκτικότητες σε ασβεστίτη εμφάνισαν έντονες αποκλίσεις κατά τον ποσοτικό προσδιορισμό, όπως έχει αποτυπωθεί στις εικόνες 3.4 και 3.5.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των συσχετίσεων, παρατηρείται ότι υπάρχει μια σαφής σχέση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με ορισμένες από τις επιμέρους ορυκτολογικές φάσεις ή αθροίσματα φάσεων για απλή γραμμική παλινδρόμηση, ενώ η συσχέτιση των θερμοκρασιών με τις φάσεις που προσδιορίστηκαν από τις ορυκτολογικές αναλύσεις με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, έδωσε ακόμα ικανοποιητικότερες συσχετίσεις. Οι συσχετίσεις που προέκυψαν είναι πολύ ισχυρές, κυρίως για την εκτίμηση της θερμοκρασίας ημισφαιρίου, ενώ εξίσου ισχυρές έως πολύ ισχυρές ήταν και για την εκτίμηση της θερμοκρασίας μαλάκυνσης και ροής. Για τις θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης παρατηρήθηκε εν γένει, μέτρια ή ασθενής συσχέτιση. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

ελέγχθηκε σε όλες τις περιπτώσεις με τα διαγράμματα μετρηθείσας-εκτιμηθείσας θερμοκρασίας. Το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα στις περιπτώσεις που υπήρχε ισχυρή έως πολύ ισχυρή συσχέτιση, ήταν μικρότερο του 2%.

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι από τη διερεύνηση της συσχέτισης των φάσεων με τη συμπεριφορά τήξης μέσω μιας μη γραμμικής πολυωνυμικής-υπερβολικής καμπύλης, δεν προέκυψαν βελτιωμένα αποτελέσματα, αν ληφθεί υπόψη και η αύξηση της πολυπλοκότητας της προσέγγισης του μοντέλου.

Ο στόχος λοιπόν της δημιουργίας ενός μοντέλου εκτίμησης της συμπεριφοράς τήξης των Ε.Τ. κατά κύριο λόγο και γενικότερα των λιγνιτικών τεφρών, το οποίο θα βασίζεται στην ποσοτική ορυκτολογική σύσταση των τεφρών του λιγνιτικού καυσίμου προσεγγίστηκε σε ικανοποιητικό βαθμό. Από τις συσχετίσεις που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψαν σχέσεις όπου μπορούν να εκτιμηθούν οι θερμοκρασίες μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με ακρίβεια 25-35°C, σύμφωνα με το σχετικό σφάλμα που υπολογίστηκε, όταν σύμφωνα με το πρότυπο DIN51730, η ακρίβεια των μετρήσεων είναι περίπου 10-15°C και η επαναληψιμότητα της μεθόδου, ανάλογα το εργαστήριο και τους παρατηρητές, ποικίλει από 30 έως 50°C σε οξειδωτικό περιβάλλον.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εξέταση δίωνων, ημερήσιων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων δειγμάτων ιπταμένων και εργαστηριακών τεφρών των ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, Καρδιάς, ΛΙΠΤΟΛ, Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου, έδειξε τα παρακάτω:

1. Η ορυκτολογική σύσταση των τεφρών σε όλους τους ΑΗΣ παρουσίασε σχεδόν τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά, τόσο στις ιπτάμενες, όσο και στις εργαστηριακές τέφρες. Κυρίαρχη ήταν η παρουσία των πλούσιων σε ασβέστιο ορυκτών, καθώς και των αμόρφων. Οι κύριες φάσεις που παρατηρήθηκαν ήταν άμορφα, άσβεστος, χαλαζίας, ανυδρίτης, γκελενίτης, μπραουνμυλλερίτης, πυριτικό διασβέστιο, άστριοι και ασβεστίτης. Σε μικρότερα ποσοστά (<4%) ή σε ίχνη εμφανίστηκαν κυρίως μερβινίτης, αιματίτης, περίκλαστο και μοσχοβίτης/ιλλίτης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων της παρούσας εργασίας, καθώς και πλήθος χημικών αναλύσεων των εργαστηρίων της ΔΕΗ και άλλες βιβλιογραφικές αναφορές, οι τέφρες χαρακτηρίζονται ως ασβεστούχες, τύπου C (κατά ASTM) ή W (κατά EN).

Από τη χρησιμοποίηση της χημικής σύστασης των τεφρών σε συνδυασμό με τους δείκτες πρόβλεψης για τη συμπεριφορά της τέφρας κατά την καύση, που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, προέκυψε ότι τα δείγματα των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α παρουσιάζουν κυρίως **μέτρια έως υψηλή τάση δημιουργίας επισκωριώσεων-επικαθήσεων**.

2. Η συσχέτιση της χημικής σύστασης των Ι.Τ. και των Ε.Τ. με τα ποσοστά των αμόρφων, τα οποία προσδιορίστηκαν με βάση τη μέθοδο Rietveld, οδήγησε σε ένα νέο τρόπο προσδιορισμού του ποσοστού των αμόρφων ενός δείγματος, κατά τον οποίο χρησιμοποιείται το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Για τα δείγματα των Ι.Τ. των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, η εκτίμηση της περιεκτικότητας του αμόρφου με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{Άμορφα (\%)} = -0.7 - 1.5 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 2.2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 - 0.9 \cdot \text{SO}_3 + 15.5 \cdot \text{K}_2\text{O} + 58.0 \cdot \text{TiO}_2,$$

όπου η συσχέτιση είναι ισχυρή ( $r=0.73$ ) και το σχετικό σφάλμα  $\text{MSE}_R = 12\%$ .

Για τα δείγματα των Ε.Τ. των ιδίων λιγνιτών αντίστοιχα, μπορεί να επιτευχθεί εκτίμηση σύμφωνα με την σχέση:

$$\text{Άμορφα (\%)} = -10.7 + 0.6 \cdot \text{SiO}_2 + 1.0 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 3.5 \cdot \text{MgO} + 4.2 \cdot \text{Na}_2\text{O} - 12.1 \cdot \text{K}_2\text{O},$$

όπου η συσχέτιση είναι μέτρια ( $r=0.63$ ) και το σχετικό σφάλμα  $\text{MSE}_R=23\%$ .

3. Από τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς τήξης των τεφρών που εξετάστηκαν προέκυψε ότι:

- α) Η **θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης** των Ε.Τ. κυμάνθηκε από 1193 έως 1247°C και των Ι.Τ. από 1197 έως 1336°C,
- β) η **θερμοκρασία μαλάκυνσης** των Ε.Τ. κυμάνθηκε από 1223 έως 1366°C και των Ι.Τ. από 1210 έως 1378°C,
- γ) η **θερμοκρασία ημισφαιρίου** των Ε.Τ. κυμάνθηκε από 1239 έως 1414°C και των Ι.Τ. από 1217 έως 1400°C και
- δ) η **θερμοκρασία ροής** των Ε.Τ. κυμάνθηκε από 1264 έως 1476°C και των Ι.Τ. από 1221 έως 1451°C.

Σύμφωνα με τον εμπειρικό δείκτη της τάσης επισκωρώσεων με βάση τις θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης και ημισφαιρίου (δείκτης Skorupska), τόσο οι Ε.Τ. όσο και οι Ι.Τ. στην πλειονότητά τους εμφανίζουν μέτρια έως υψηλή τάση δημιουργίας επισκωρώσεων.

4. Από τις συσχετίσεις της ορυκτολογικής σύστασης των Ε.Τ. με τις θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τα μοντέλα της απλής και της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης προέκυψαν τα παρακάτω:

- α) Η **θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης** δεν οδήγησε σε κάποια νομοτέλεια (σε όλες τις περιπτώσεις  $r < 0.57$ ).
- β) Η **θερμοκρασία μαλάκυνσης** μπορεί να εκτιμηθεί από το συνδυασμό των φάσεων αμόρφων, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, ασβέστου, ασβεστίτη και αιματίτη, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{ST (}^\circ\text{C)} = 1000 + 2.6 \cdot \text{Άμορφα} + 7.7 \cdot \text{Γκελενίτη} + 8.2 \cdot \text{Πυριτικό διασβέστιο} + 6.2 \cdot \text{Άσβεστο} + 4.8 \cdot \text{Ασβεστίτη} + 12.1 \cdot \text{Αιματίτη},$$

όπου η συσχέτιση είναι πολύ ισχυρή ( $r=0.92$ ) και το σχετικό σφάλμα  $MSE_R=1.4\%$ .

γ) Η **θερμοκρασία ημισφαιρίου** μπορεί να εκτιμηθεί από το συνδυασμό των φάσεων αμόρφων, γκελενίτη, μπραουνμυλλερίτη, αιματίτη, μερβινίτη και χαλαζία, σύμφωνα με τη σχέση:

$$HT (^{\circ}C) = 1387 - 1.9 \cdot \text{Άμορφα} - 2.1 \cdot \text{Γκελενίτη} + 6.2 \cdot \text{Μπραουνμυλλερίτη} + 13.5 \cdot \text{Αιματίτη} + 12.0 \cdot \text{Μερβινίτη} - 11.2 \cdot \text{Χαλαζία},$$

όπου η συσχέτιση είναι πολύ ισχυρή ( $r=0.91$ ) και το σχετικό σφάλμα  $MSE_R=1.7\%$ .

δ) Η **θερμοκρασία ροής** μπορεί να εκτιμηθεί από το συνδυασμό των φάσεων αμόρφων, ασβέστου, αιματίτη, αστρίων και χαλαζία, σύμφωνα με τη σχέση:

$$FT (^{\circ}C) = 1523 - 2.6 \cdot \text{Άμορφα} + 1.9 \cdot \text{Ασβέστο} + 18.3 \cdot \text{Αιματίτη} - 3.2 \cdot \text{Αστριοι} - 15.4 \cdot \text{Χαλαζία},$$

όπου η συσχέτιση είναι πολύ ισχυρή ( $r=0.93$ ) και το σχετικό σφάλμα  $MSE_R=1.4\%$ .

Αντίστοιχες σχέσεις ευρέθησαν και για τις Ι.Τ.

5. Από τις συσχετίσεις της χημικής σύστασης των Ε.Τ. με τις θερμοκρασίες αρχικής παραμόρφωσης, μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής με τα μοντέλα της απλής και της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης προέκυψαν τα παρακάτω:

α) Η **θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης** δεν οδήγησε σε κάποια νομοτέλεια, δεδομένου ότι οι συντελεστές συσχέτισης ήταν σε όλες τις περιπτώσεις  $< 0.51$ .

β) Η **θερμοκρασία μαλάκυνσης** μπορεί να εκτιμηθεί από το συνδυασμό των  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  και  $TiO_2$ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$ST (^{\circ}C) = 1361 + 4.5 \cdot SiO_2 - 16.1 \cdot Al_2O_3 + 3.3 \cdot CaO - 33.9 \cdot Na_2O + 9.4 \cdot K_2O - 224.4 \cdot TiO_2,$$

όπου η συσχέτιση είναι πολύ ισχυρή ( $r=0.85$ ) και το σχετικό σφάλμα  $MSE_R=2.0\%$ .

γ) Η **θερμοκρασία ημισφαιρίου** μπορεί να εκτιμηθεί από το συνδυασμό των  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  και  $TiO_2$ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$HT (^{\circ}C) = 1518 + 3.0 \cdot SiO_2 - 16.3 \cdot Al_2O_3 + 2.9 \cdot CaO - 47.1 \cdot Na_2O + 9.4 \cdot K_2O - 300.4 \cdot TiO_2,$$

όπου η συσχέτιση είναι πολύ ισχυρή ( $r=0.86$ ) και το σχετικό σφάλμα  $MSE_R=2.0\%$ .

δ) Η **θερμοκρασία ροής** μπορεί να εκτιμηθεί από το συνδυασμό των  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  και  $TiO_2$ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$FT (^{\circ}C) = 1513 + 6.0 \cdot SiO_2 - 21.5 \cdot Al_2O_3 + 3.7 \cdot CaO - 30.5 \cdot Na_2O - 25.8 \cdot K_2O - 281.9 \cdot TiO_2,$$

όπου η συσχέτιση είναι πολύ ισχυρή ( $r=0.85$ ) και το σχετικό σφάλμα  $MSE_R=2.0\%$ .

Αντίστοιχες σχέσεις ευρέθησαν και για τις I.T.

**Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:**

- α) Με βάση τον ποσοτικό προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης των εργαστηριακών λιγνιτικών τεφρών είναι δυνατή, κυρίως μέσω μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, να γίνει εκτίμηση των θερμοκρασιών μαλάκυνσης, ημισφαιρίου και ροής των τεφρών, η οποία είναι λεπτομερέστερη από τις προβλέψεις της τάσης δημιουργίας επισκωριώσεων και επικαθήσεων, που γίνονται με βάση εμπειρικές σχέσεις που χρησιμοποιούν τη χημική σύσταση των τεφρών. Προκειμένου να γενικευθεί η χρησιμοποίηση αυτής της μεθόδου, θα πρέπει να εξεταστούν εργαστηριακές τέφρες ενός ευρύτερου φάσματος ορυκτολογικής σύστασης.
- β) Η συσχέτιση της χημικής σύστασης των τεφρών οδήγησε επίσης σε σχέσεις εκτίμησης της συμπεριφοράς τήξης, του ιδίου περίπου βαθμού συσχέτισης, όπως και με τη χρησιμοποίηση της ορυκτολογικής σύστασης.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενόγλωσση

1. Adamidou K., Kassoli-Fournaraki A., Filippidis A., Christanis K., Amanatidou E., Tsikritzis L., Patrikaki O. (2007): “Chemical investigation of lignite samples and their ashing products from Kardias lignite field of Ptolemais, Northern Greece”, *Fuel*, vol. 86, pp. 2502-2508.
2. Agraniotis M., Grammelis P., Papapavlou Ch., Kakaras E. (2009): “Experimental investigation on combustion behaviour of pre-dried Greek lignite”, *Fuel Processing Technology*, vol. 90, issue 9, pp. 1071–1079.
3. Alastuey A., Jiménez A., Plana F., Querol X., Suárez-Ruiz I. (2001): “Geochemistry, mineralogy and technological properties of main Stephanian (Carboniferous) coal seams from the Puertollano Basin, Spain”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 45, pp. 247-265.
4. ASTM D1857 (2000): “Standard Test Method for Fusibility of Coal and Coke Ash”, *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 05.06.
5. ASTM C204 (2000): “Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus”, *Annual Book of ASTM Standards*, vol 04.01.
6. ASTM C618 (2000): “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete”, *Annual Book of ASTM Standards*, vol 04.02.
7. ASTM D388 (1999): “Standard Classification of Coals by Rank”, *Annual Book of ASTM Standards*, vol 05.06.
8. ASTM D3174 (2002): “Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal”, *Annual Book of ASTM Standards*, vol 05.06.
9. Bambauer H.U. (1993): “Braunkohlenflugaschen (BFA): Stoffbestand und Reaktivität-Grundvoraussetzungen für jegliche Verwertung”, Umweltbundesamt (Eds): *Verwertung von Braunkohlenflugaschen in den neuen Bundesländern*, Berlin, pp.11-20; In Κωστάκης Γ. (1996): “Σύσταση και τεχνολογικές χρήσεις των λιγνιτικών τερφρών των ΑΗΣ της ΔΕΗ της περιοχής Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου”, Τεχνική Έκθεση του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας, Πολυτεχνείο Κρήτης.

10. Benson S.A., Jones M.L. and Harb J.N. (1993): "Ash formation and deposition, in: L.D. Smoot (Ed.), *Fundamentals of Coal Combustion for Clean and Efficient Use*", Elsevier, Amsterdam, pp. 299-373.
11. Bertin E.P. (1975): "Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis", Plenum Press, New York.
12. Blissett R.S., Rowson N.A. (2012): "A review of the multi-component utilisation of coal fly ash", *Fuel*, vol. 97, pp. 1-23.
13. Bryers R.W. (1996): "Fireside slagging, fouling, and high temperature corrosion of heat-transfer surface due to impurities in steam-raising fuels", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 22, pp. 29-120.
14. CEN/TS 15370 (2006): "Solid biofuels - Method for the determination of ash melting behaviour - Part 1: Characteristic temperatures method", European Committee for Standardization (CEN).
15. Chadwick M.J., Highton N.M., Lindman N. (1987): "Environmental Impacts of Coal Mining and Utilization", Pergamon Press, Oxford.
16. Cooper B.R. and Ellingson W.A. (1984): "The science and technology of coal and coal utilization", Plenum Press, New York.
17. Couch G. (1994): "Understanding slagging and fouling during PF combustion", IEA Coal Research, London.
18. Cullity B.D. (1978): "Elements of X-Ray Diffraction", Addison-Wesley Publishing Company Inc, Reading, Massachusetts.
19. De La Torre A.G., Bruque S., Aranda M.A.G. (2001): "Rietveld quantitative amorphous content analysis", *Journal of Applied Crystallography*, vol. 34, pp. 196-202.
20. DIN 51719 (1997): "Determination of ash in solid mineral fuels", German Institute for Standardization (Deutsches Institut für Normung - DIN).
21. DIN 51730 (1998): "Testing of solid fuels - Determination of fusibility of fuel ash", German Institute for Standardization (Deutsches Institut für Normung - DIN).
22. Draper N.P., Smith H. (1998): "Applied regression analysis", John Wiley and Sons, New York.
23. EN197-1 (2000): "Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements", European Committee for Standardization (CEN).

24. Electric Power Research Institute - EPRI (1987): "Classification of fly ash for use in cement and concrete", CS-5116, Project 2422-10.
25. Fernandez-Turiel J.L., Georgakopoulos A., Gimeno D., Papastergios G. and Kolovos N. (2004): "Ash Deposition in a Pulverized Coal-Fired Power Plant after High-Calcium Lignite Combustion", *Energy & Fuels*, vol. 18, pp. 1512-1518.
26. Filippidis A. and Georgakopoulos A. (1992): "Mineralogical and chemical investigation of fly ash from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Greece", *Fuel*, vol. 71, pp. 373-376.
27. Filippidis A., Georgakopoulos A., Kassoli-Fournaraki, A. (1992): "Mineralogical components from ashing at 600°C to 1000°C of the Ptolemais lignite, Greece", *Trends in Mineralogy*, 1, pp. 295-300.
28. Filippidis A., Georgakopoulos A. and Kassoli-Fournaraki A. (1996): "Mineralogical components of some thermally decomposed lignite and lignite ash from the Ptolemais basin, Greece", *International Journal of Coal Geology*, vol. 30, pp. 303-314.
29. Foscolos A., Kostakis G. (1990): "On the nature of lignite in the wider Ptolemais basin", Technical Report, Library Public Power Corporation of Greece.
30. Georgakopoulos A., Kassoli-Fournaraki A., Filippidis A. (1992): "Morphology, mineralogy and chemistry of fly ash from the Ptolemais lignite basin (Greece) in relation to some problem in human health", *Trends in Mineralogy*, 1, pp. 301-305.
31. Georgakopoulos A., Filippidis A. and Kassoli-Fournaraki A. (1994): "Morphology and trace element contents of the fly ash from main and Northern lignite fields, Ptolemais, Greece", *Fuel*, vol. 73, pp. 1802-1804.
32. Georgakopoulos A. (2003): "Chemistry and morphology of fly ash samples from the main lignite power stations of Northern Greece", *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology*, Lemnos, Greece, pp. 256-263.
33. Ghosal S. & Self S. (1995): "Particle size-density relation and cenosphere content of coal fly ash", *Fuel*, vol. 74, pp. 522-529.
34. Giacovazzo C., Monaco H.L., Artioli G., Viterbo D., Ferraris G., Gilli G., Zanotti G., Catti M. (2002): "Fundamentals of Crystallography", *IUCr Texts on Crystallography* 7, Oxford University Press.

35. Gill R. (1997): "Modern analytical geochemistry: an introduction to quantitative chemical analysis for earth, environmental, and materials scientists", Harlow, Essex, England.
36. Goldstein J., Newbury D.E., Echlin P., Joy D.C., Romig Jr. A.D., Lyman C.E., Fiori C., Lifshin E. (1992): "Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: A Text for Biologists, Materials Scientists, and Geologists", Plenum Press, New York.
37. Goni C., Helle S., Garcia X., Gordon A., Parra R., Kelm U., Jimenez R., Alfaro G. (2003): "Coal blend combustion: fusibility ranking from mineral matter composition", *Fuel*, vol. 82, pp. 2087–2095.
38. Goodarzi F. (2006): "Characteristics and composition of fly ash from Canadian coal-fired power plants", *Fuel*, vol. 85, pp. 1418-1427.
39. Goren R., Ozgur C., H. Gocmez (2006): "The preparation of cordierite from talc, fly ash, fused silica and alumina mixtures", *Ceramics International*, vol. 32, pp. 53–56.
40. Gray V.R. (1987): "Prediction of ash fusion temperature from ash composition for some New Zealand coals", *Fuel*, vol. 66, pp. 1230-1239.
41. Gumz W., Kirsch H. and Mackowsky M.T. (1958): "Schlackenkunde", Springer-Verlag, Berlin.
42. Guo X., Shi H., Dick W.A. (2010): "Compressive strength and microstructural characteristics of class C fly ash geopolymer", *Cement & Concrete Composites*, vol. 32, pp. 142-147.
43. Hatt R.M. (1990): "Fireside deposits in coal-fired utility boilers", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 16, pp. 235-241.
44. Hill R.J., Howard C.J. (1987): "Quantitative phase analysis from neutron powder diffraction data using the Rietveld method", *Journal of Applied Crystallography*, vol. 20, pp. 467-474.
45. Huffman G.P., Huggins F.E., Dunmyre G.R. (1981): "Investigation of the high-temperature behavior of coal ash in reducing and oxidizing atmospheres", *Fuel*, vol. 60, pp. 585-597.
46. Huggins F.E., Kosmack D.A., Huffman G.P. (1981): "Correlation between ash-fusion temperatures and ternary equilibrium phase diagrams", *Fuel*, vol. 60, pp. 577-584.
47. Ilic M., Cheeseman C., Sollars C., Knight J. (2003): "Mineralogy and microstructure of sintered lignite coal fly ash", *Fuel*, vol. 82, pp. 331–336.

48. Jak E. (2002): "Prediction of coal ash fusion temperatures with the F\*A\*C\*T thermodynamic computer package", *Fuel*, vol. 81, pp. 1655-1668.
49. Kantiranis N., Georgakopoulos A., Filippidis A. and Drakoulis A (2004): "Mineralogy and organic matter content of bottom ash samples from Agios Dimitrios Power Plant, Greece", *Proceedings of 10<sup>th</sup> Intern. Congress of Geological Society of Greece*, vol XXXVI, pp. 320-326.
50. Kantiranis N., Filippidis A., Mouhtaris Th., Paraskevopoulos K.M., Zorba T., Squires C., Charistos D. (2006): "EPI-type zeolite synthesis from Greek sulphocalcic fly ashes promoted by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions", *Fuel*, vol. 85, pp. 360–366.
51. Kassoli-Fournaraki A., Georgakopoulos A. and Filippidis A. (1992): "Heating experiments of the Ptolemais lignite in the temperature range of 100°C to 500°C", *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Monatshefte*, 11, pp. 487-493.
52. Kassoli-Fournaraki A., Georgakopoulos A., Michailidis K. and Filippidis A. (1993): "Morphology, mineralogy and chemistry of the respirable-size (<5µm), fly-ash fraction from the main and northern lignite fields in Ptolemais, Macedonia, Greece", *Proceedings of Second Biennial SGA Meeting, Granada*, pp. 727-730.
53. Klug H.P. & Alexander L.E. (1974): "X-ray diffraction procedures", John Wiley and Sons, New York.
54. Kostakis G., Foscolos A., Mistakidou E. (1991): "Beitrag zur Mineralogie der Lignitlagerstötten bei Ptolemaes und Amyntaeon, Griechenland", *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft Beihefte zum European Journal of Mineralogy*, vol.3, p.153.
55. Kostakis G., Mistakidou E., Galetakis M., Alevizos G. (1994): "Mineral matter of lignite used in the P.P.C. Briquetting Plant at Ptolemaes (Greece)", *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft Beihefte zum European Journal of Mineralogy*, vol. 6, p. 151.
56. Kostakis G. (2000): "Mineralogisch-chemische Untersuchung von Lignitaschen von Kraftwerken des Ptolemaes–Amyntaeon Reviers (Griechenland)", *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft Beihefte zum European Journal of Mineralogy*, vol. 12, p. 104.
57. Kostakis G. and Stratakis A. (2005a): "Mineralogische Untersuchung von Lignitaschen der Kraftwerke von Ag. Dimitrios und Achlada - Meliti (Griechenland)", *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft Beihefte zum European Journal of Mineralogy*, vol.17, p.73.

58. Kostakis G. and Stratakis A. (2005b): “Mineralogische Untersuchung von Aschen aus den Lignitlagerstätten von Drama und Ellassona (Griechenland)”, *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft Beihefte zum European Journal of Mineralogy*, vol.17, p.74.
59. Kostakis G. (2009): “Characterization of the fly ashes from the lignite burning power plants of northern Greece based on their quantitative mineralogical composition”, *Journal of Hazardous Materials*, vol.166, pp.972-977.
60. Kostakis G. (2011): “Mineralogical composition of boiler fouling and slagging deposits and their relation to fly ashes: The case of Kardina power plant”, *Journal of Hazardous Materials*, vol.185, pp.1012-1018.
61. Koukouzas N., Zeng R., Perdikatsis V., Xu W., Kakaras E. (2006): “Mineralogy and geochemistry of Greek and Chinese coal fly ash”, *Fuel*, vol.85, pp.2301-2309.
62. Leitz Wetzlar Ltd (1990): “Manual of Leitz Heating Microscopes for determining the thermal behaviour of fuel ashes, slags, glass, glazes, enamels, ceramics, etc.”, Ernst Leitz Wetzlar GMBH.
63. Leonard J.W. III (1991): “Coal Preparation”, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc, Maryland, United States of America.
64. Liu B., He Q., Jiang Z., Xu R., Hu B. (2013): “Relationship between coal ash composition and ash fusion temperatures”, *Fuel*, vol. 105, pp.293-300.
65. Liu Y.P., Wu M.G., Qian J.X. (2007): “Predicting coal ash fusion temperature based on its chemical composition using ACO-BP neural network”, *Thermochimica Acta*, vol. 454, pp.64-68.
66. Lloyd W.G., Riley J.T., Zhou S, Risen M.A. and Tibbitts R.L. (1993): “Ash fusion temperatures under oxidizing conditions”, *Energy & Fuels*, vol.7, pp.490-494.
67. Lolja S.A., Haxhi H., Dhimitri R., Drushku S., Malja A. (2002): “Correlation between ash fusion temperatures and chemical composition in Albanian coal ashes”, *Fuel*, vol. 81, pp.2257–2261.
68. Manugistics Products (2000): “Users manual of StatGraphics Plus v.5”, Manugistics Inc.
69. Manz O. E. (1997): “Worldwide production of coal ash and utilization in concrete and other products”, *Fuel*, vol.76, pp.691-696.
70. Massa W. (2004): “Crystal Structure Determination”, Springer, Berlin.

71. Matjie R.H., Bunt J.R., van Heerden J.H.P. (2005): "Extraction of alumina from coal fly ash generated from a selected low rank bituminous South African coal", *Minerals Engineering*, vol.18, pp.299–310.
72. Mitchell R. and Gluskoter H. (1976): "Mineralogy of ash of some American coals: variations with temperature and source", *Fuel*, vol. 55, pp.90-96.
73. Montgomery D. & Peck E. (1992): "Introduction to linear regression analysis", John Wiley and Sons, New York.
74. Moreno N., Querol X., Andres J.M., Stanton K., Towler M., Nugteren H., Janssen-Jurkovicova M. and Jones R. (2005): "Physico-chemical characteristics of European pulverized coal combustion fly ashes", *Fuel*, vol.84, pp.1351-1363.
75. Mouhtaris Th., Charistos D., Kantiranis N., Filippidis A., Kassoli-Fournaraki A., Tsirambidis A. (2003): "GIS-type zeolite synthesis from Greek lignite sulphocalcic fly ashes promoted by NaOH solutions", *Microporous and Mesoporous Materials*, vol.61, pp.57–67.
76. Nicholls P. and Selvig W.A. (appendix Ricketts E.B.) (1932): "Clinker Formation as Related to the Fusibility of Coal Ash", U.S. Department of Commerce, Bureau of Mines, Bulletin 364, Washington.
77. Papanicolaou C., Galetakis M. and Foscolos A.E. (2005): "Quality characteristics of Greek brown coals and their relation to the applied exploitation and utilisation methods", *Energy & Fuels*, vol.19, pp.230-239.
78. Pipatmanomai S., Fungtammasan B., Bhattacharya S. (2009): "Characteristics and composition of lignites and boiler ashes and their relation to slagging: The case of Mae Moh PCC boilers", *Fuel*, vol.88, pp. 116-123.
79. Oueralt I., Querol X., Lopez-Soler A. and Plana F. (1997): "Use of coal fly ash for ceramics: a case study for a large Spanish power station", *Fuel*, vol.76, pp.787-791.
80. Querol X., Umana J.C., Alastuey A., Lopez-Soler A., Plana F., Bertrana C. (1999): "Physico-chemical characterisation of Spanish fly ashes", *Energy Sources*, vol. 21, issue 10, pp.883-898.
81. Querol X., Umana J.C., Alastuey A., Ayora C., Lopez-Soler A., Plana F. (2001): "Extraction of soluble major and trace elements from fly ash in open and closed leaching systems", *Fuel*, vol.80, pp.801-813.
82. Reed S.J.B. (1996): "Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology", Cambridge University Press.

83. Reid W.T. (1984): "The relation of mineral composition to slagging, fouling and erosion during and after combustion", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol.10, pp.159-175.
84. Sampathkumar N.N., Umarji A.M. and Chandrasekhar B.K. (1995): "Synthesis of  $\alpha$ -Cordierite (Indialite) from fly ash", *Materials Research Bulletin*, vol.30, pp.1107-1114.
85. Schmidt R.A. (1976): "Consumer coal criteria as a guide to coal exploration", Miller Freeman, San Francisco.
86. Seggiani M., Pannocchia G. (2003): "Predication of coal ash thermal properties using partial least-squares regression", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 42, pp. 4919-4926.
87. Skodras G., Grammelis P., Kakaras E., Karangelos D., Anagnostakis M., Hiniš E. (2007): "Quality characteristics of Greek fly ashes and potential uses", *Fuel Processing Technology*, vol.88, pp.77-85.
88. Skorupska N.M. (1993): "Coal specifications - impact on power station performance", IEA Coal Research, London; In Couch G. (1994): "Understanding slagging and fouling during PF combustion", IEA Coal Research, London.
89. Song W., Tang L., Zhu X., Wu Y., Rong Y., Zhu Z., Koyama S. (2009): "Fusibility and flow properties of coal ash and slag", *Fuel*, vol.88, pp.297-304.
90. Song W., Tang L., Zhu X., Wu Y., Zhu Z. and Koyama Sh. (2010): "Effect of Coal Ash Composition on Ash Fusion Temperatures", *Energy Fuels*, vol. 24, issue 1, pp. 182-189.
91. Speight J.G. (1994): "The chemistry and technology of coal", Marcel Dekker Inc, New York, United States of America.
92. Stratakis A. & Kostakis G. (2008): "Erweichungsverhalten von Flugaschen des Lignitkraftwerkes von Agios Dimitrios (Griechenland)", 86th Annual Meeting of the German Mineralogical Society - DMG, Abs. No 23, S16.
93. Thomaidis S., Kostakis G. & Stratakis A.(2007): "Mineralogical investigation of fly ashes of the electricity power stations of the Ptolemais - Amynteon district (Greece)", Goldschmidt 2007, CD-ROM Proceedings of the Goldschmidt Conference 2007, Cologne, p.A1017.
94. Trethowan J. (1990): "The chemistry of brown coal", SEC Fuel Department, Victoria, Australia, pp. 4-32; In Γαλετάκης Μ. (1996): "Προσδιορισμός ποιότητας λιγνίτη που εξορύσσεται με τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης από πολυστρωματικά

- κοιτάσματα”, Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
95. Tsai Ch.Sh. (1982): “Fundamentals of coal beneficiation and utilization”, Coal science and technology 2, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, Oxford, New York.
  96. Tsirambides A. and Filippidis A. (2012): “Energy Mineral Resources of Greece”, Journal of Environmental Science and Engineering, vol. B1, pp. 709-719.
  97. Unsworth J.F., Barratt D.J., Park D. and Titchener K.J. (1988): “Ash formation during pulverized coal combustion: 2. The significance of crystalline anorthite in boiler deposits”, Fuel, vol. 67, pp.632-641.
  98. Vamvuka D., Mistakidou E., Drakonaki S., Foskolos A. and Kavouridis K. (2001): “Ash quality of beneficiated lignite from Ptolemais basin, Northern Greece”, Energy & Fuels, vol.15, pp.1181-1185.
  99. Vamvuka D., Kakaras E. (2011): “Ash properties and environmental impact of various biomass and coal fuels and their blends”, Fuel Processing Technology, vol.92, pp.570-581.
  100. Van Deventer J.S.J., Provis J.L., Duxson P. (2012): “Technical and commercial progress in the adoption of geopolymers”, Minerals Engineering, vol. 29, pp. 89-104.
  101. Van Dyk J.C., Benson S.A., Laumb M.L., Waanders B. (2009):, “Coal and coal ash characteristics to understand mineral transformations and slag formation”, Fuel, vol. 88, pp. 1057-1063.
  102. Vassilev S.V., Kitano K., Takeda S., Tsurue T. (1995): “Influence of mineral and chemical composition of coal ashes on their fusibility”, Fuel Processing Technology, vol.45, pp.27-51.
  103. Vassilev S.V., Vassileva C.G., Karayigit A.I., Bulut Y., Alastuey A. and Querol X. (2005): “Phase-mineral and chemical composition of composite samples from feed coals, bottom ashes and fly ashes at the Soma power station, Turkey”, International Journal of Coal Geology, vol.61, pp.35-63.
  104. Vassilev S.V. and Vassileva C.G. (2007): “A new approach for the classification of coal fly ashes based on their origin, composition, properties, and behaviour”, Fuel, vol.86, pp.1490-1512.

105. Vassileva C.G., Vassilev S.V. (2005): "Behaviour of inorganic matter during heating of Bulgarian coals 1. Lignites", *Fuel Processing Technology*, vol.86, pp.1297-1333.
106. Wall T.F. (1992): "Mineral matter transformations and ash deposition in pulverized coal combustion", *Proceedings of 24<sup>th</sup> International Combustion Symposium*, The Combustion Institute, pp.1119-1126.
107. Wang P. and Massoudi M. (2013):, "Slag Behavior in Gasifiers. Part I: Influence of Coal Properties and Gasification Conditions", *Energies*, vol. 6, no. 2, pp. 784-806.
108. Ward R.C. (1983): "Coal geology and coal technology", Blackwall scientific publications, Melbourne, Oxford, London.
109. Whiston C. (1987): "X-Ray Methods", John Wiley & Sons, Chischester, New York, Toronto
110. Winburn R.S., Grier D.G, McCarthy G.J. and Peterson R.B. (2000): "Rietveld quantitative X-ray diffraction analysis of NIST fly ash standard reference materials", *Powder Diffraction*, vol.15, pp.163-172.
111. Young R.A. (1993): "The Rietveld Method", IUCr Monographs on Crystallography 5, Oxford University Press.

### Ελληνική

1. Αδαμίδου Κ., Γεωργακόπουλος Α., Αμανατίδου Ε. και Τσικριτζής Λ. (2005): "Μελέτη της μορφολογίας και ορυκτολογίας της ιπτάμενης τέφρας των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας", *Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Συνεδρίου Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας*, σελ.1-8.
2. Βάμβουκα Δ. (2002): "Αντιρυπογόνος χρήσις γαιανθράκων. Τεχνολογίες αξιοποίησης γαιανθράκων χαμηλής τάξης", *Εκδόσεις ΙΩΝ*.
3. Γαλετάκης Μ. (1996): "Προσδιορισμός ποιότητας λιγνίτη που εξορύσσεται με τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης από πολυστρωματικά κοιτάσματα", *Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων*.
4. Γαλετάκης Μ. (2012): "Έλεγχος ποιότητας ορυκτών πρώτων υλών", *Σημειώσεις του μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης*.
5. Γεωργακόπουλος Α., Φυλλιπίδης Α. & Κασώλη-Φουρναράκη Α. (1992): "Ορυκτολογία, χημεία και μορφολογία τέφρας από εργαστηριακή καύση σε 1000°C και ιπτάμενης τέφρας του λιγνίτη Πτολεμαΐδας - Αξιοποίηση και περιβάλλον",

- Δημερίδα ΤΕΕ/Τ.Δ.Μ.: Λιγνίτης και Ενεργειακό ισοζύγιο - Σημερινή κατάσταση - Προοπτικές, Κοζάνη 2-3 Οκτωβρίου 1992.
6. Δασκαλάκη Μ. (2005): “Διακύμανση της σύστασης και των θερμοκρασιών ευτηξίας της λιγνιτικής τέφρας του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου κατά την περίοδο Σεπτέμβριος 1998 - Σεπτέμβριος 1999”, Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
  7. Ζαχαροπούλου Χ. (1995): “Παλινδρόμηση-συσχέτιση. Θεωρία και πράξη”, Θεσσαλονίκη.
  8. Θωμαΐδης Ε. (2007): “Διαφοροποίηση της σύστασης στα κοκκομετρικά κλάσματα ιπτάμενων τεφρών των ΑΗΣ Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
  9. Ίτσκος Σ. (1994): “Επίδραση στη συμπεριφορά της τέφρας λιγνίτη στο φλογοθάλαμο κατά τη χρήση CaO σαν αποθειωτικό μέσο”, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
  10. Καβουρίδης Κ., Κωστάκης Γ., Φώσκολος Α. (1991): “Σημασία της ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη στη λειτουργία των θερμοηλεκτρικών σταθμών”, Ημερίδα: Λιγνιτορυχεία - Πορεία, προβλήματα, προοπτικές, ΔΕΗ/Γενική Διεύθυνση Ορυχείων, Αθήνα.
  11. Καβουρίδης Κ. & Γαλετάκης Μ. (1996): “Προσδιορισμός της ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη στην περιοχή Πτολεμαΐδας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας”, Ορυκτός Πλούτος 98/1996, σ.25-41.
  12. Κασσελούρη Β., Παρισάκης Γ. (1988): “Βιομηχανική αξιοποίηση των Ελληνικών Ιπταμένων Τεφρών”, Πρακτικά ημερίδας Τ.Ε.Ε.: Η αξιοποίηση των Ελληνικών ιπταμένων τεφρών, Αθήνα 29 Νοεμβρίου 1988.
  13. Κοκκάλης, Αλ. (1997), “Ιπτάμενη τέφρα και οδοστρωσία: Υφιστάμενη κατάσταση, δυνατότητες και προοπτικές”, Δημερίδα ΚΤΕΣΚ: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη 3-4 Οκτωβρίου 1997.
  14. Κολοβός Χρ. (2004): “Τεχνολογία εκμετάλλευσης γαιανθράκων”, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
  15. Κολυβά-Μαχαίρα Φ., Μπόρα-Σέντα Ε. (1998): “Στατιστική: Θεωρία και εφαρμογές”, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
  16. Κούκουζας Κ. (1979): “Γεωλογική-κοιτασματολογική μελέτη λιγνιτικού κοιτάσματος Νότιου Πεδίου”, Ι.Γ.Μ.Ε.

17. Κούκουζας Κ., Κώτης Θ., Πλουμίδης Μ. και Μεταξάς Α. (1979): “Γεωλογική-Κοιτασματολογική μελέτη λιγνιτικού κοιτάσματος Αναργύρων-Αμυνταίου, Ι.Γ.Μ.Ε. τόμος 9.
18. Κωστάκης Γ. (1996): “Σύσταση και τεχνολογικές χρήσεις των λιγνιτικών τεφρών των ΑΗΣ της ΔΕΗ της περιοχής Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου”, Τεχνική Έκθεση του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
19. Κωστάκης Γ. (2003): “Συστηματική Ορυκτολογία - Φυσικές ιδιότητες των ορυκτών”, Σημειώσεις μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης
20. Κωστάκης Γ. (2004): “Μελέτη της σύστασης της τέφρας λιγνιτικών ΑΗΣ της ΔΕΗ”, Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
21. Κωστάκης Γ. (2005): “Γενική Ορυκτολογία”, Σημειώσεις μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
22. Λιάτης Θ.Σ. (1984): “Η ιπτάμενη τέφρα και οι δυνατότητες αξιοποίησής της”, Θ’ Πανελλήνιο Χημικό Συνέδριο “Χημεία και Βιομηχανία”, Αθήνα Νοέμβριος 1984.
23. Μαρσέλλος Ν., Χριστούλας Σ., Κόλιας Σ. (1988): “ Χρήση της ιπτάμενης τέφρας στην οδοποιία”, Πρακτικά ημερίδας Τ.Ε.Ε.: Η αξιοποίηση των Ελληνικών ιπταμένων τεφρών, Αθήνα 29 Νοεμβρίου 1988.
24. Μουχτάρης Θ., Φιλίππιδης Α., Κασσώλη-Φουρναράκη Α., Χαριστός Δ. (2000): “Σύνθεση ζεόλιθου από ιπτάμενη τέφρα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με επίδραση διαλυμάτων NaOH”, Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Συνεδρίου της Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας, σελ. 308-318.
25. Παπαγεωργίου Ν. (1991): “Ατμοπαραγωγοί Ι - Γενικές Αρχές”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
26. Παπαγιάννη Ι. (1988): “Αξιολόγηση της Ιπτάμενης Τέφρας της περιοχής Πτολεμαΐδας-Καρδιάς. Δυνατότητες αξιοποίησης στο χώρο των δομικών υλικών”, Πρακτικά ημερίδας Τ.Ε.Ε.: Η αξιοποίηση των Ελληνικών ιπταμένων τεφρών, Αθήνα 29 Νοεμβρίου 1988.
27. Παπαγιάννη Ι. (1997): “Αξιολόγηση της ΙΤ ως δομικής κονιάς”, Δημερίδα ΚΤΕΣΚ: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη 3-4 Οκτωβρίου 1997.

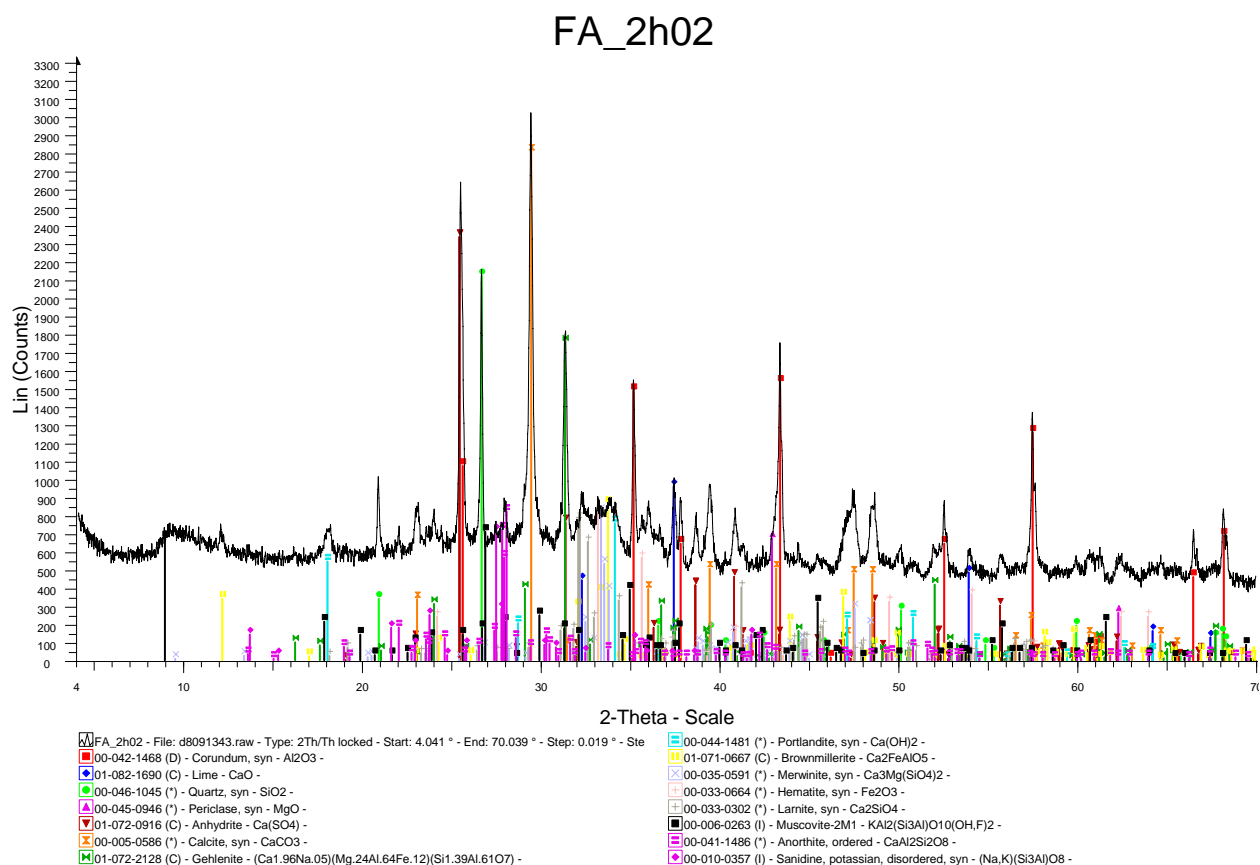
28. Παπαδάκης Ε.Γ. & Pedersen E.J. (1997): “Παραγωγή, αξιολόγηση και χρήση ιπτάμενης τέφρας στις κατασκευές στη Δανία”, Πρακτικά διημερίδας ΚΤΕΣΚ: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη 3-4 Οκτωβρίου 1997.
29. Παπαδόπουλος Α., Δογάνης Ε., Ζλατάνος Β. (1975): “Έρευνα επί της αξιοποιήσεως της ιπτάμενης τέφρας ατμοηλεκτρικού σταθμού Πτολεμαΐδος”, ΔΕΗ/Διεύθυνσις Ορυχείων, Αθήνα.
30. Σακελλαρίου Α., Παπαθανασίου Α., Τσίφλας Κ. (1997): “Συμβολή του εργαστηρίου σκυροδέματος του ΚΔΕΠ/ΔΕΗ στις διεργαστηριακές δοκιμές για την αξιοποίηση των Ελληνικών ιπτάμενων τεφρών”, Διημερίδα ΚΤΕΣΚ: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη 3-4 Οκτωβρίου 1997.
31. Σταματάκης Μ., Φραγκούλης Δ. & Παπαγεωργίου Α. (1997): “Η διακύμανση της ποιότητας της Ελληνικής Ιπτάμενης Τέφρας και η επίδραση της στην παραγωγή τεφροτσιμέντου”, Διημερίδα ΚΤΕΣΚ: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη 3-4 Οκτωβρίου 1997.
32. Στεργίου Α.Χ. (2003): “Μέθοδοι Κρυσταλλοδομής - Από τον Laue στον Rietveld”, Εκδόσεις Ζήτη.
33. Τζιαφέτας Γ. (1980): “Εισαγωγικά μαθήματα στατιστικής αναλύσεως”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
34. Τσιτουρίδου Ρ., Παπαχρήστου Ε. (1988): “Ιπτάμενη τέφρα, ένα ανακυκλούμενο παραπροϊόν στην επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων”, Πρακτικά ημερίδας Τ.Ε.Ε.: Η αξιοποίηση των Ελληνικών ιπταμένων τεφρών, Αθήνα 29 Νοεμβρίου 1988.
35. Φιλιππίδης Α., Κασώλη-Φουρναράκη Α. & Γεωργακόπουλος Α. (1997): “Ορυκτολογία, κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία ιπτάμενων τεφρών των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου”, Διημερίδα ΚΤΕΣΚ: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη 3-4 Οκτωβρίου 1997.
36. Φτίκος Χ., Τσίμας Σ., Μαρσέλλος Β., Καλός Γ., Μπατζιάς Φ., Ιορδάνης Π. (1985): “Μελέτη των δυνατοτήτων αξιοποίησης των Ελληνικών Ιπταμένων Τεφρών”, Επιστημονική Επιτροπή Δομικών Υλικών και Στοιχείων Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
37. Ψευτογιάννης Ν., Παπαγεωργίου Α. (1997): “Προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης της ανομοιογένειας της ιπτάμενης τέφρας”, Διημερίδα ΚΤΕΣΚ: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη 3-4 Οκτωβρίου 1997.

### Ηλεκτρονική

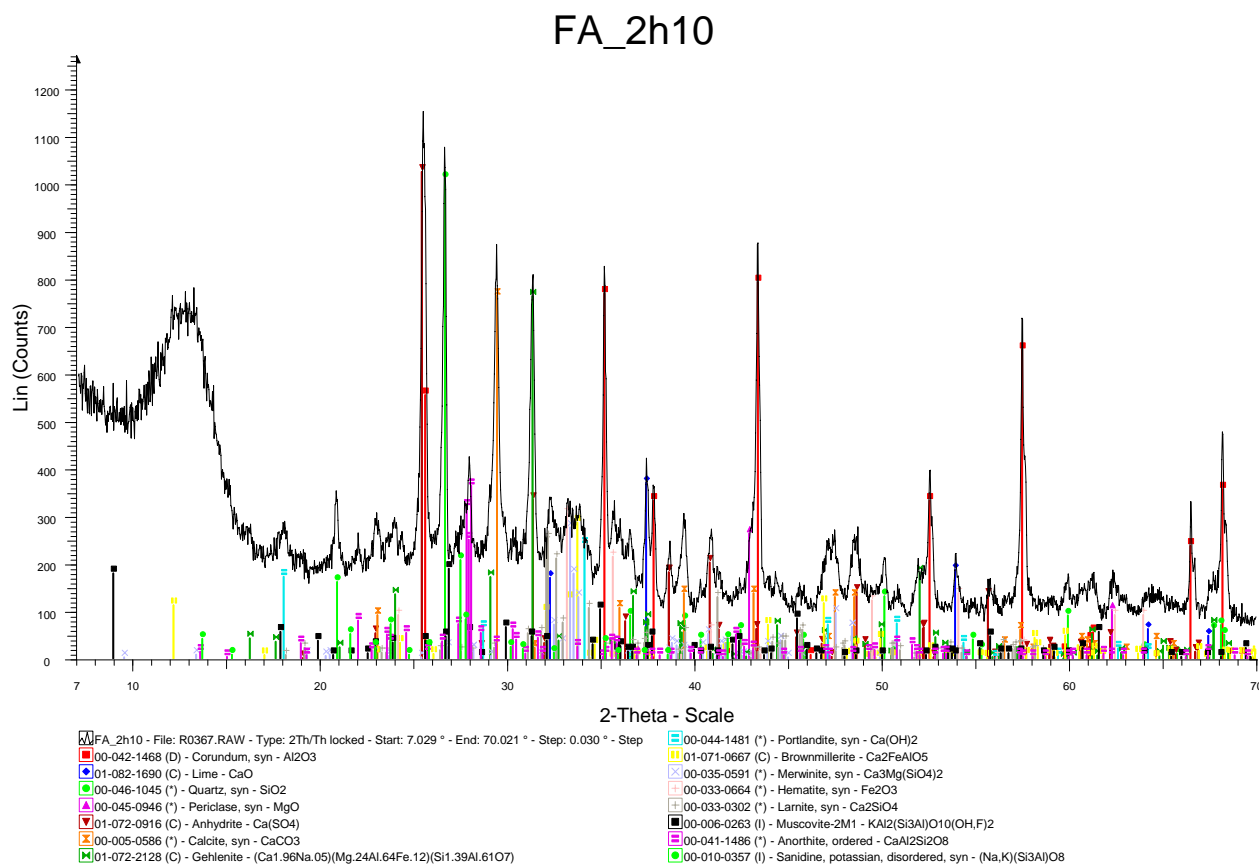
1. <http://www.aaa-usa.org/>, (AAA - American Ash Association, πρόσβαση 31/8/2012).
2. <http://www.dei.gr/>, (επίσημη ιστοσελίδα της ΔΕΗ, πρόσβαση 27/3/2007, 23/9/2012)
3. <http://www.ecoba.com> (ECOBA - European Coal Combustion Products Association, πρόσβαση 28/8/2010, 31/8/2012).
4. <http://www.flyash.gr/>, (Ερευνητικό πρόγραμμα: “k-clusters - Ανάπτυξη νέων προϊόντων με τη χρήση ιπτάμενης τέφρας στην Δυτική Μακεδονία”, Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) και Ινστιτούτο Τεχνολογίας & Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (ΙΤΕΣΚ), πρόσβαση 10/3/2007).
5. <http://rmrc.wisc.edu/coal-fly-ash/>, (RMRC - Recycled Materials Resource Center, πρόσβαση 3/10/2009).
6. <http://www.uky.edu/KGS/coal/>, (Kentucky Geological Survey, University of Kentucky, πρόσβαση 7/3/2012).
7. <http://www.worldcoal.org/resources/coal-statistics/>, Report of Coal Statistics for 2011 by World Coal Association (WCA), (Δημοσίευση αποτελεσμάτων 6/8/2012).

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

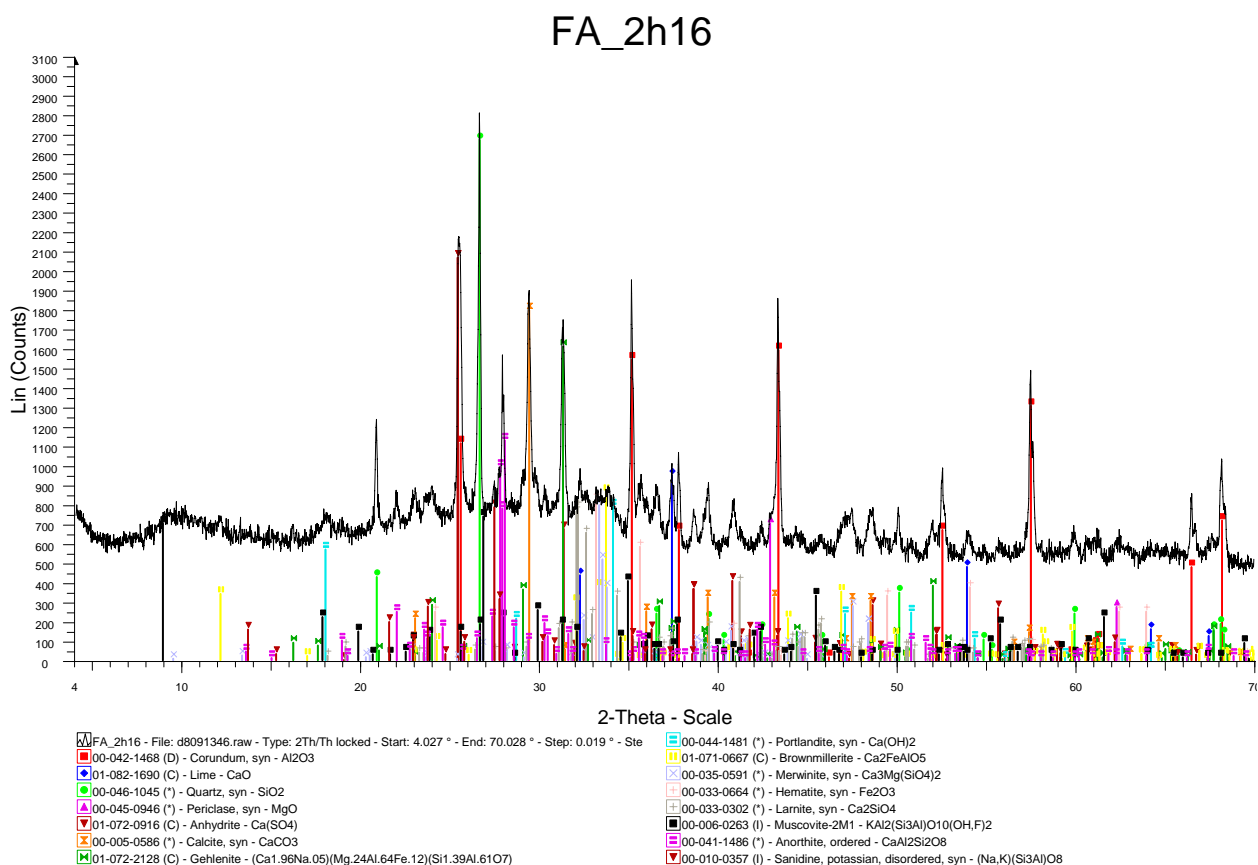
**Ενδεικτικά ακτινοδιαγράμματα των δειγμάτων των Ι.Τ. και των Ε.Τ.**



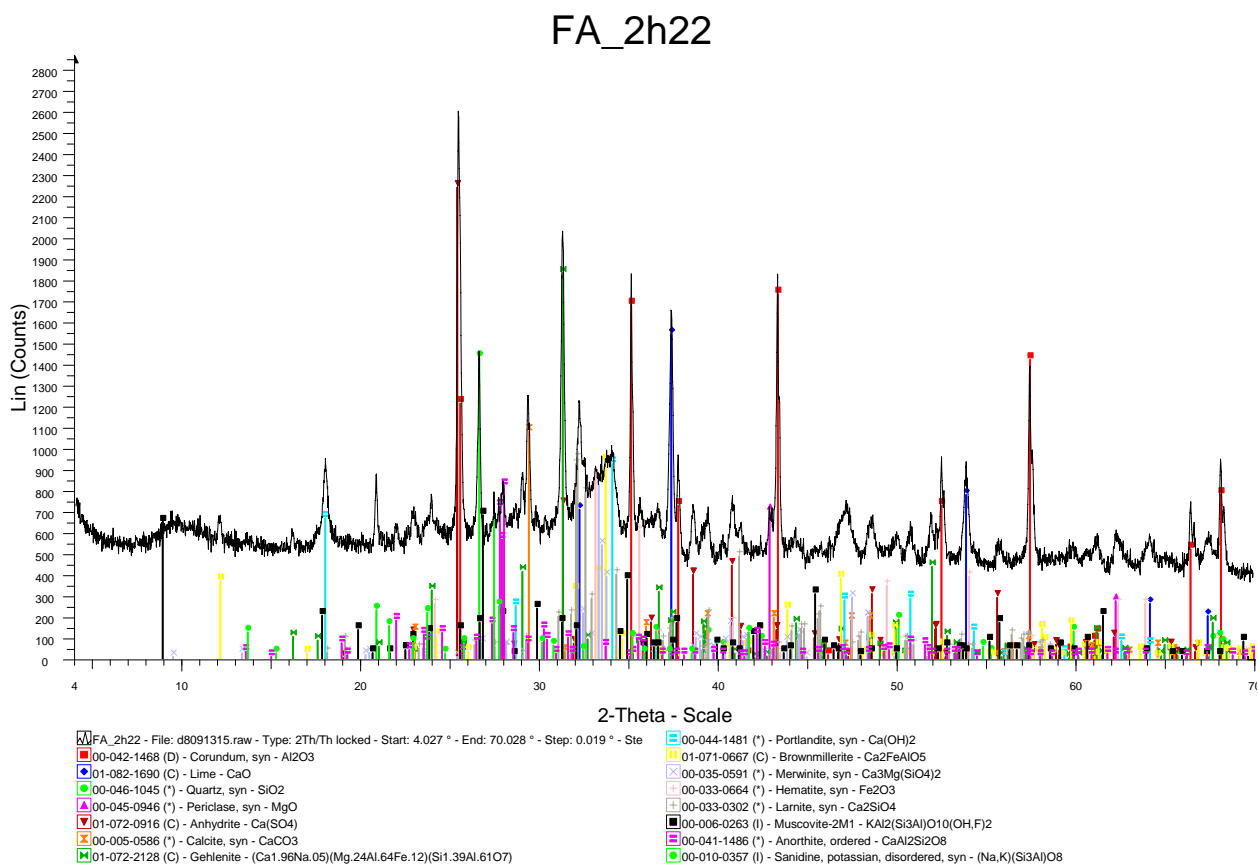
Εικόνα Α.1: Ακτινοδιάγραμμα δίωρου δείγματος Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



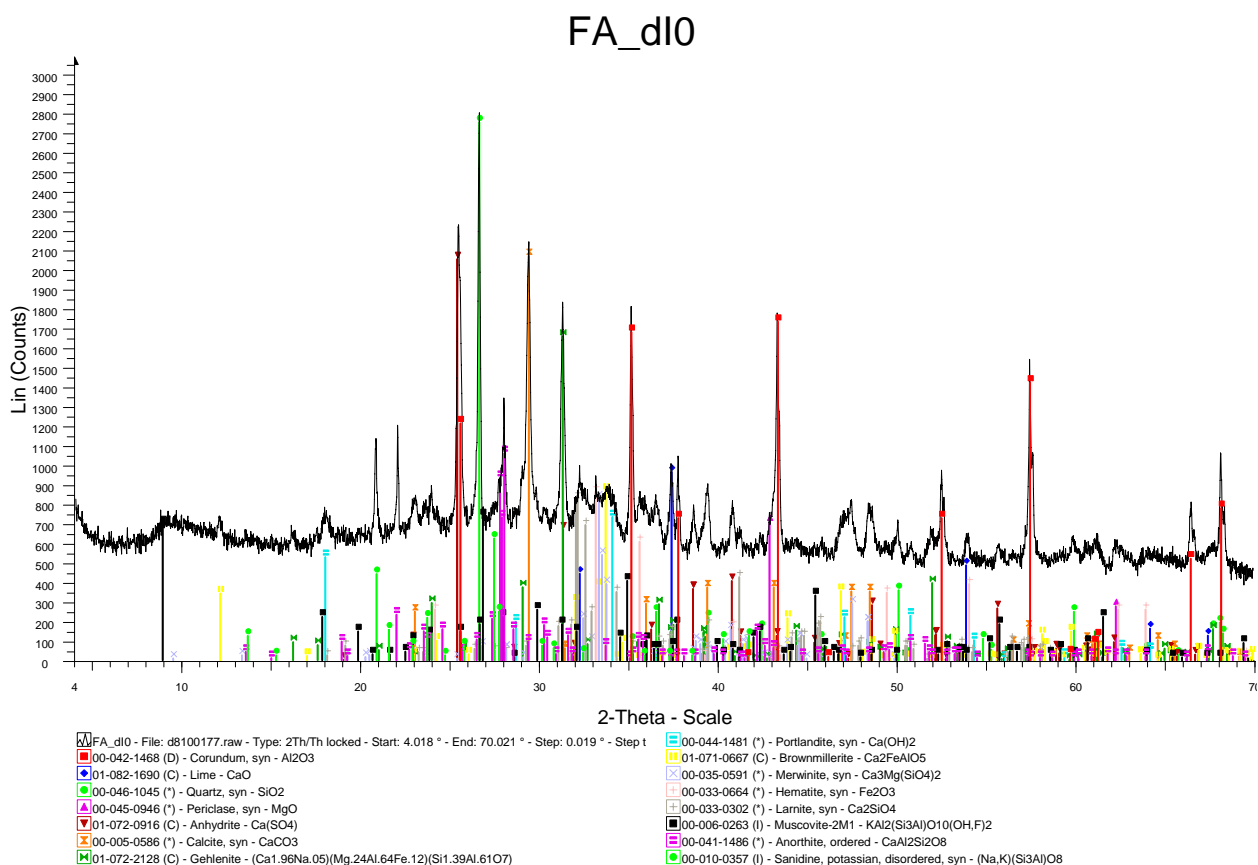
Εικόνα Α.2: Ακτινοδιάγραμμα δίωρου δείγματος Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



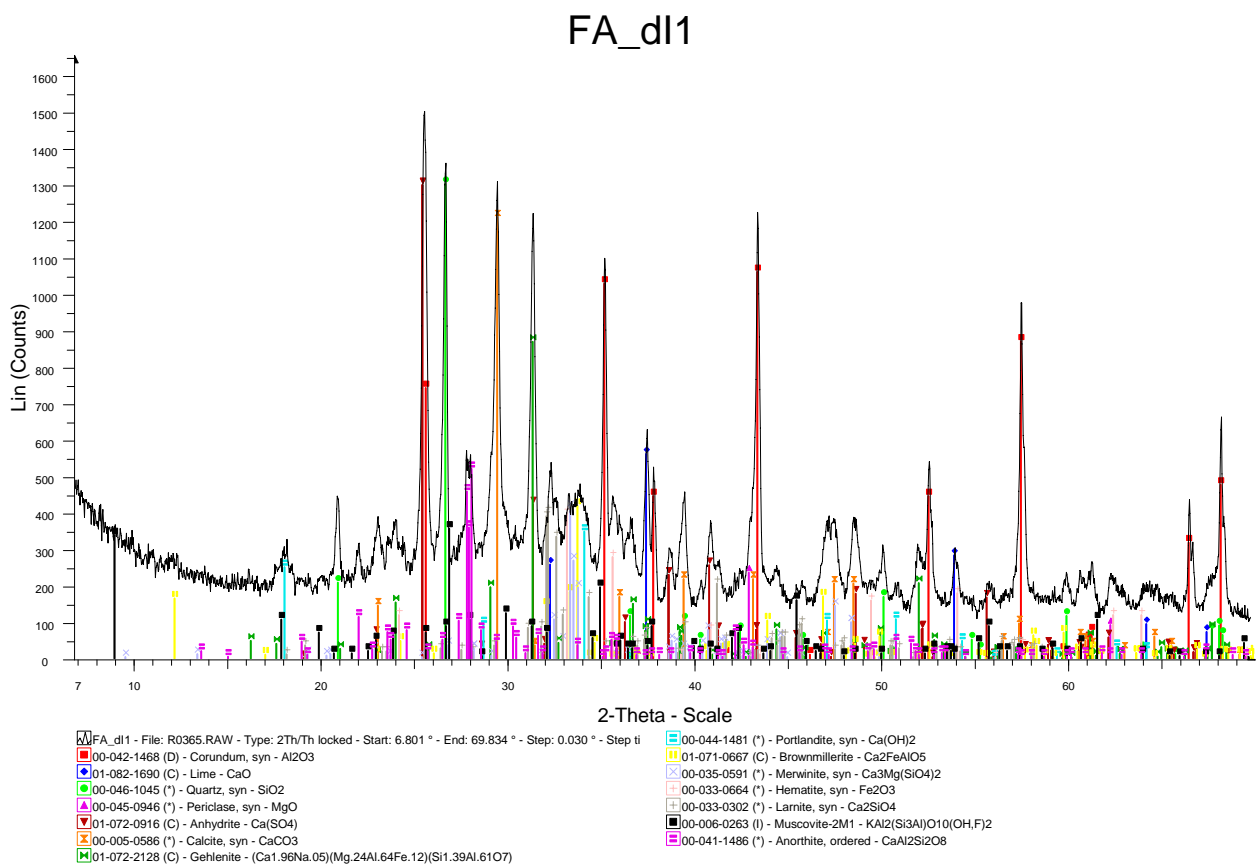
Εικόνα Α.3: Ακτινοδιάγραμμα δίωρου δείγματος Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



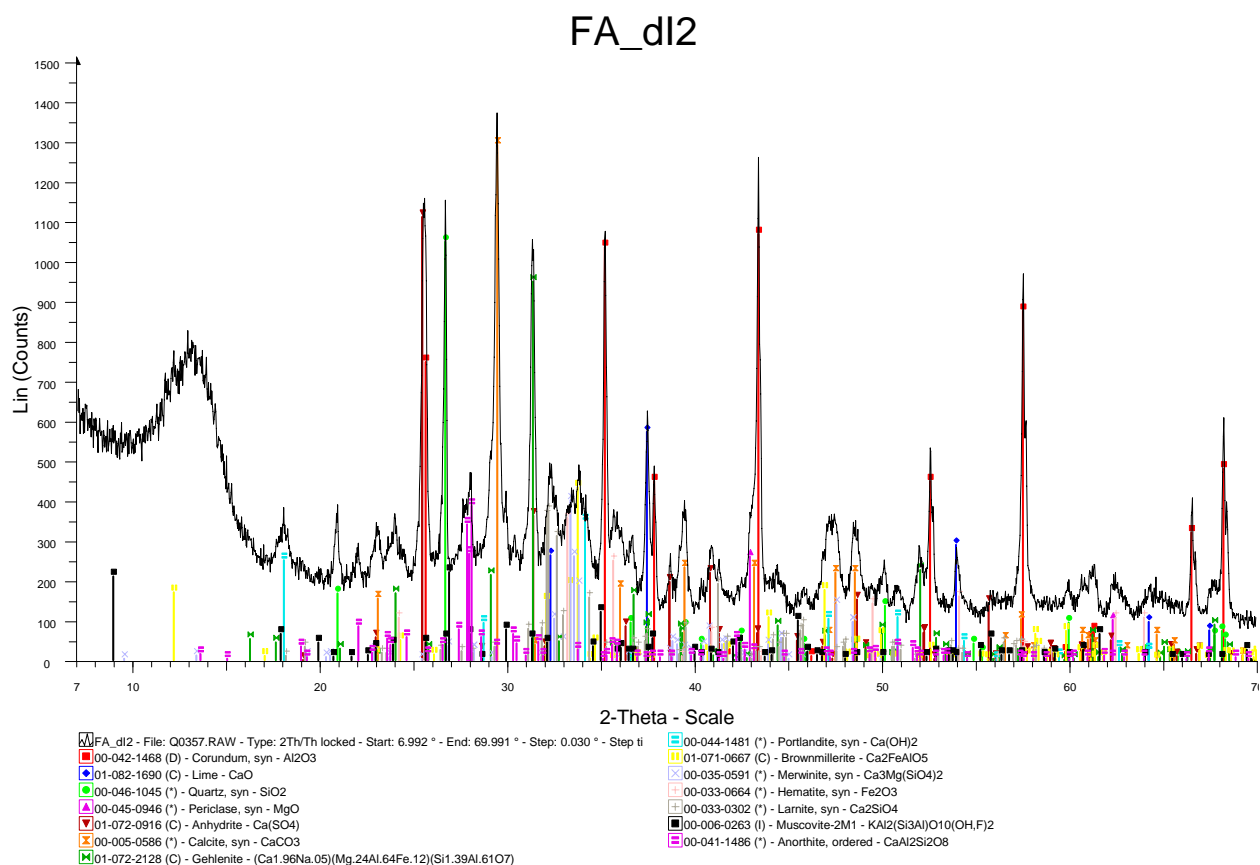
Εικόνα Α.4: Ακτινοδιάγραμμα δίωρου δείγματος Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



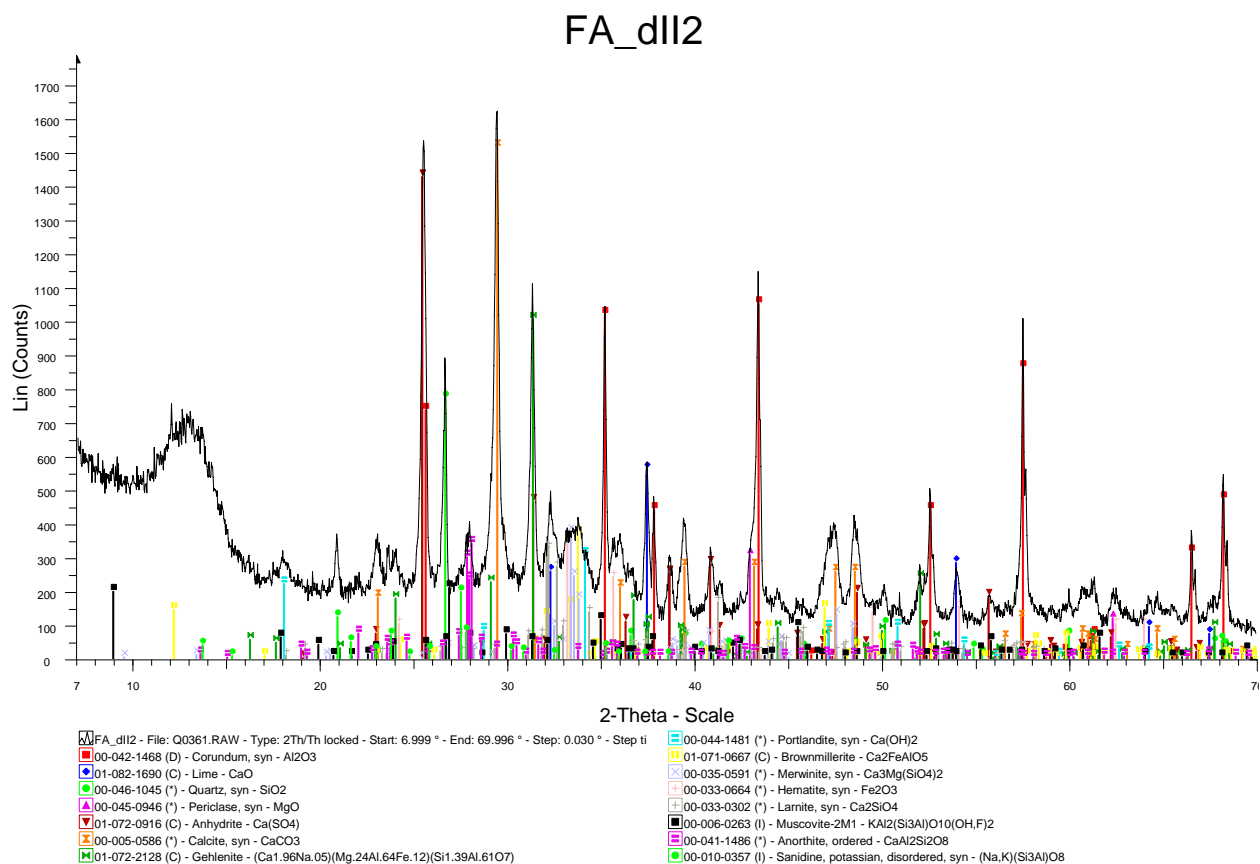
Εικόνα Α.5: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



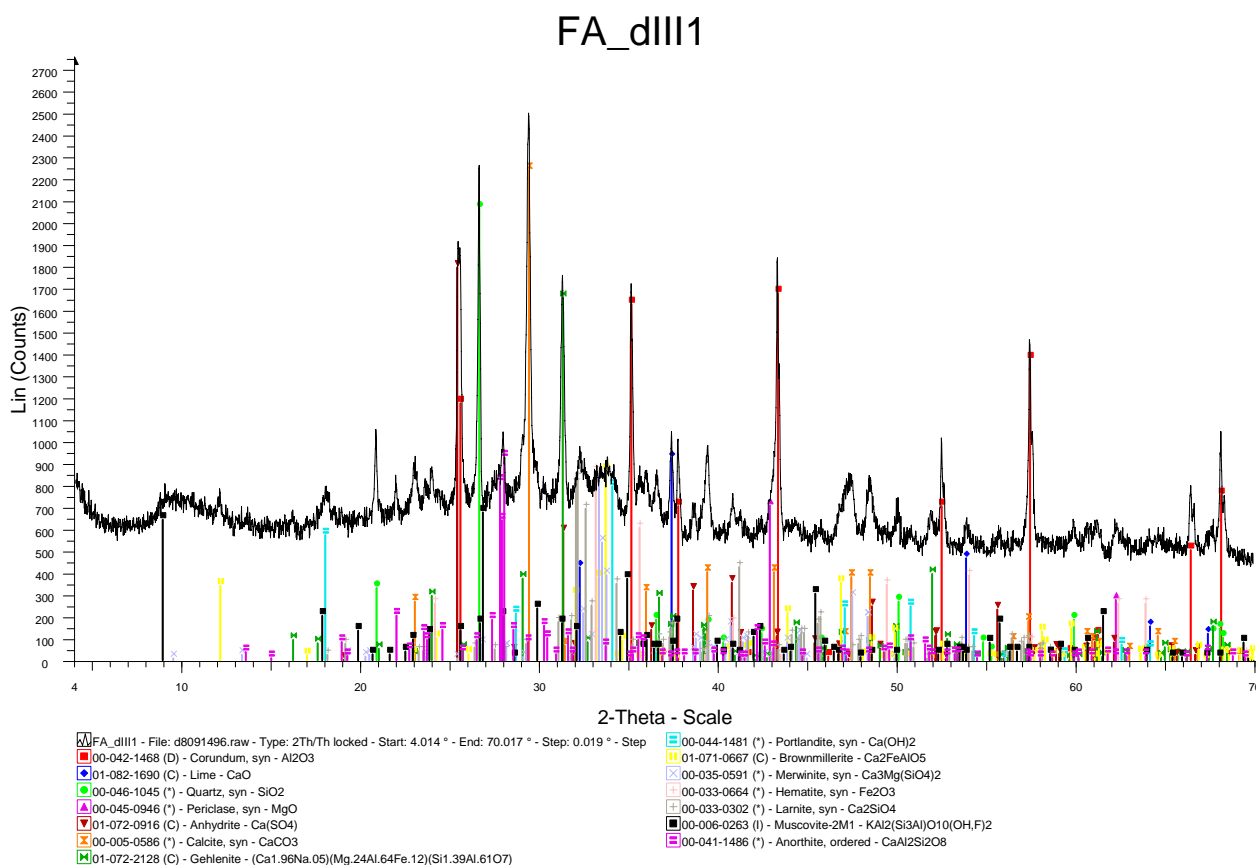
Εικόνα Α.6: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



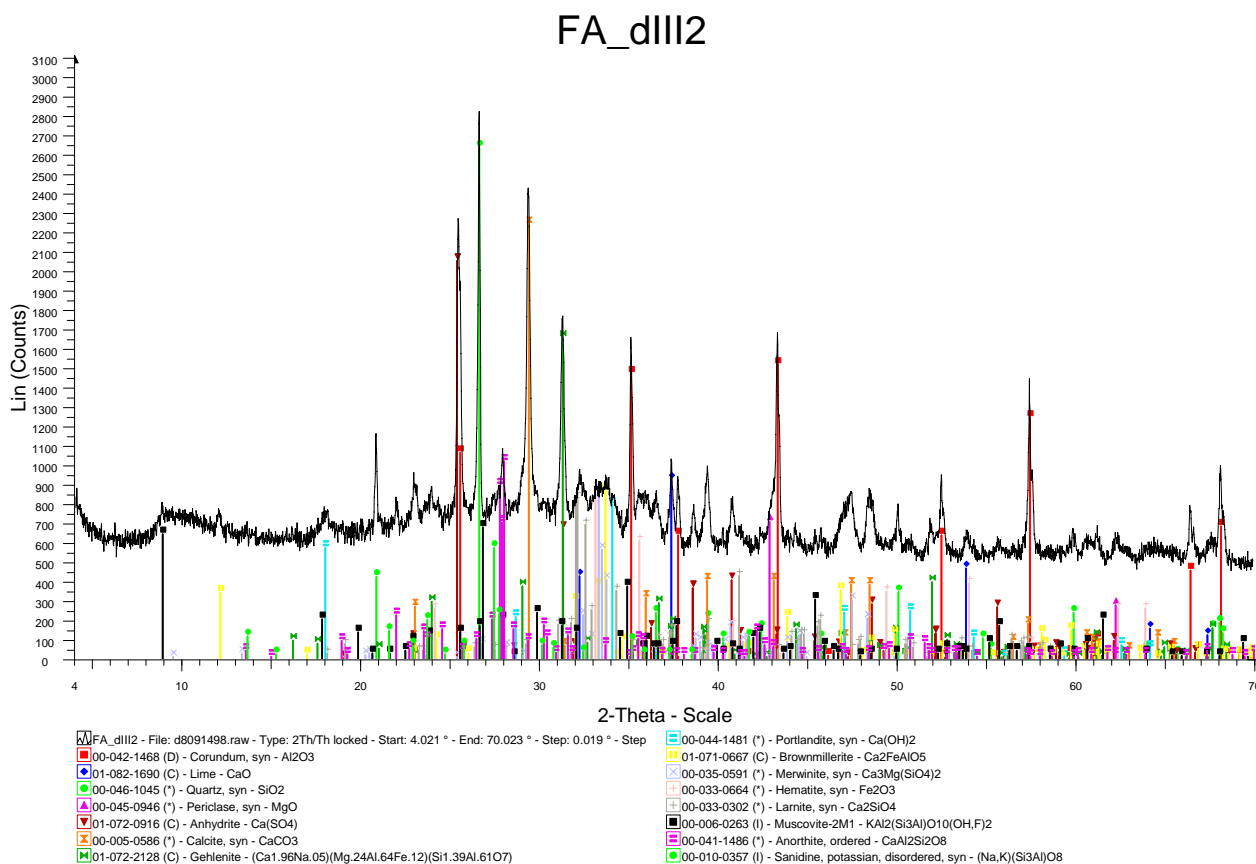
Εικόνα Α.7: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



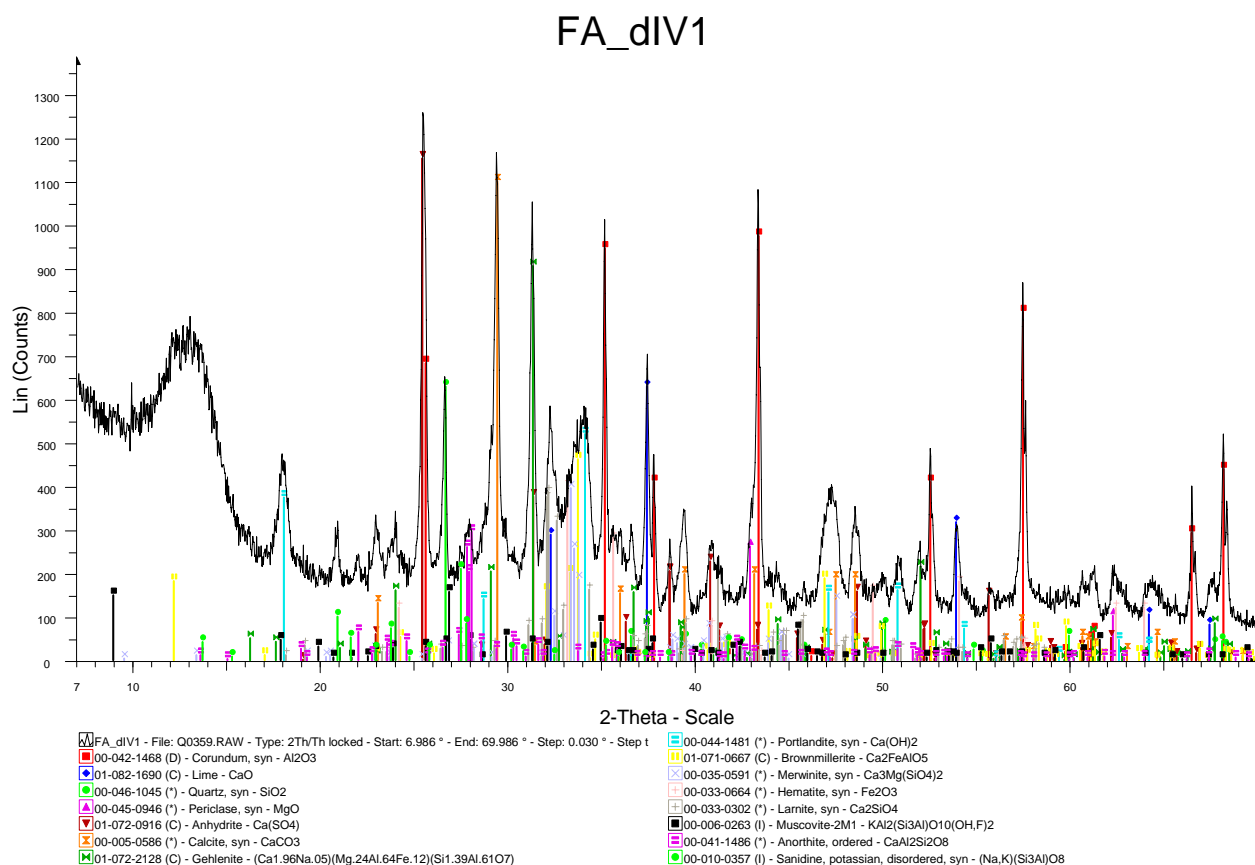
Εικόνα Α.8: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



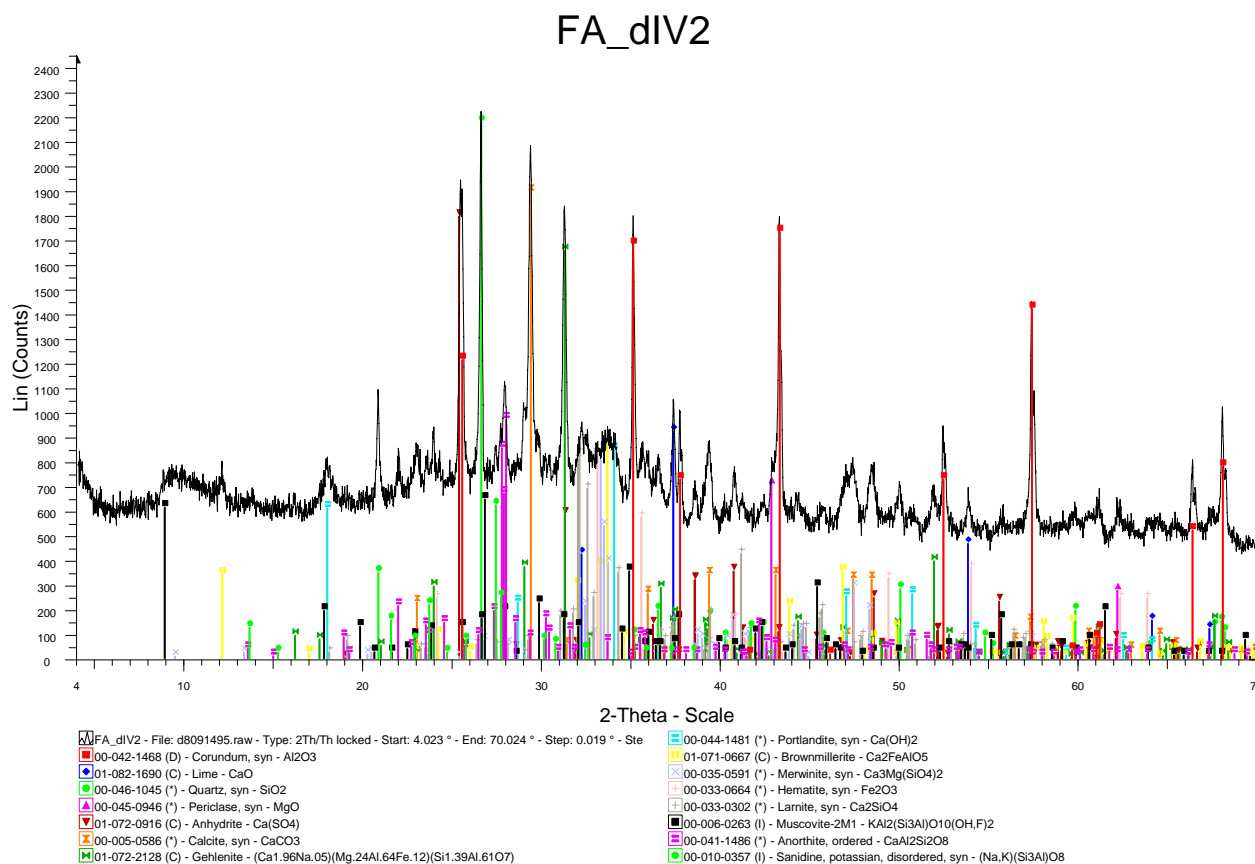
Εικόνα Α.9: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



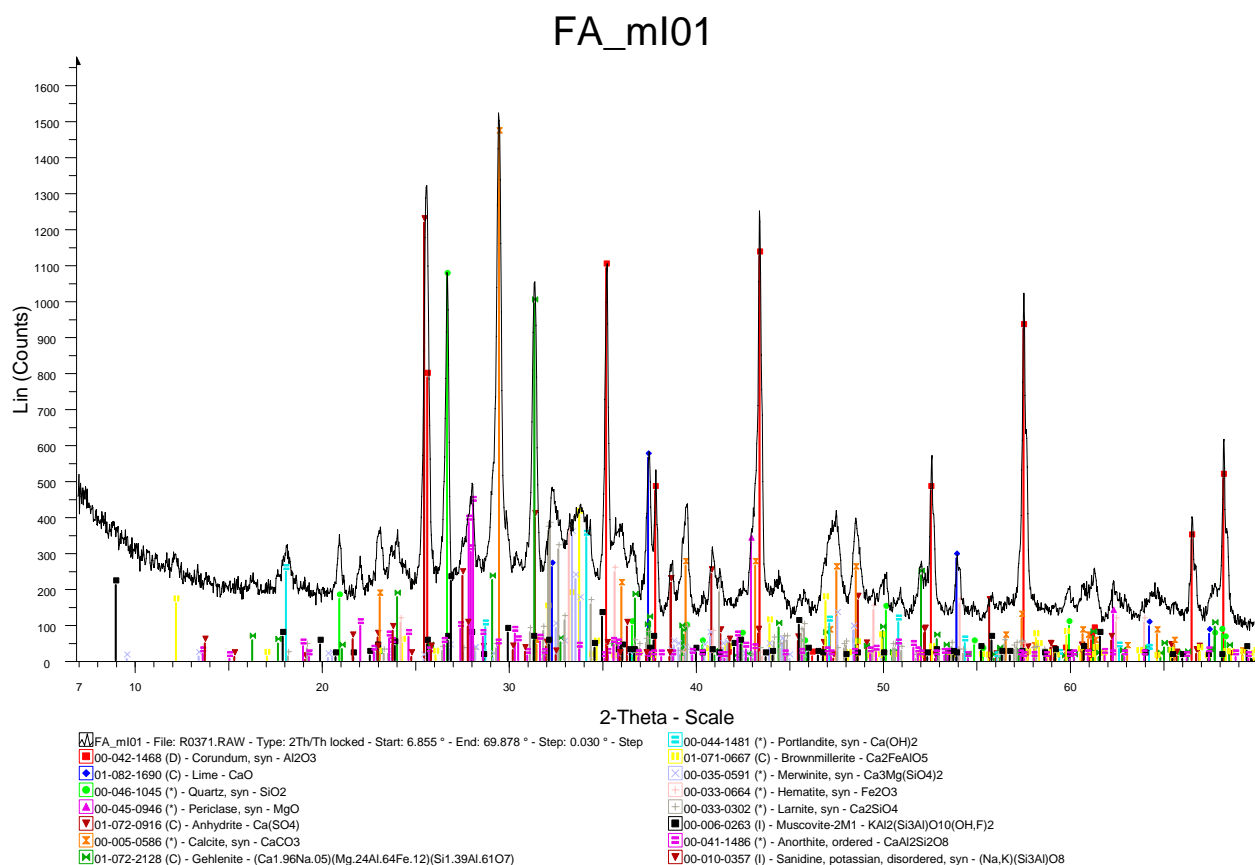
Εικόνα Α.10: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



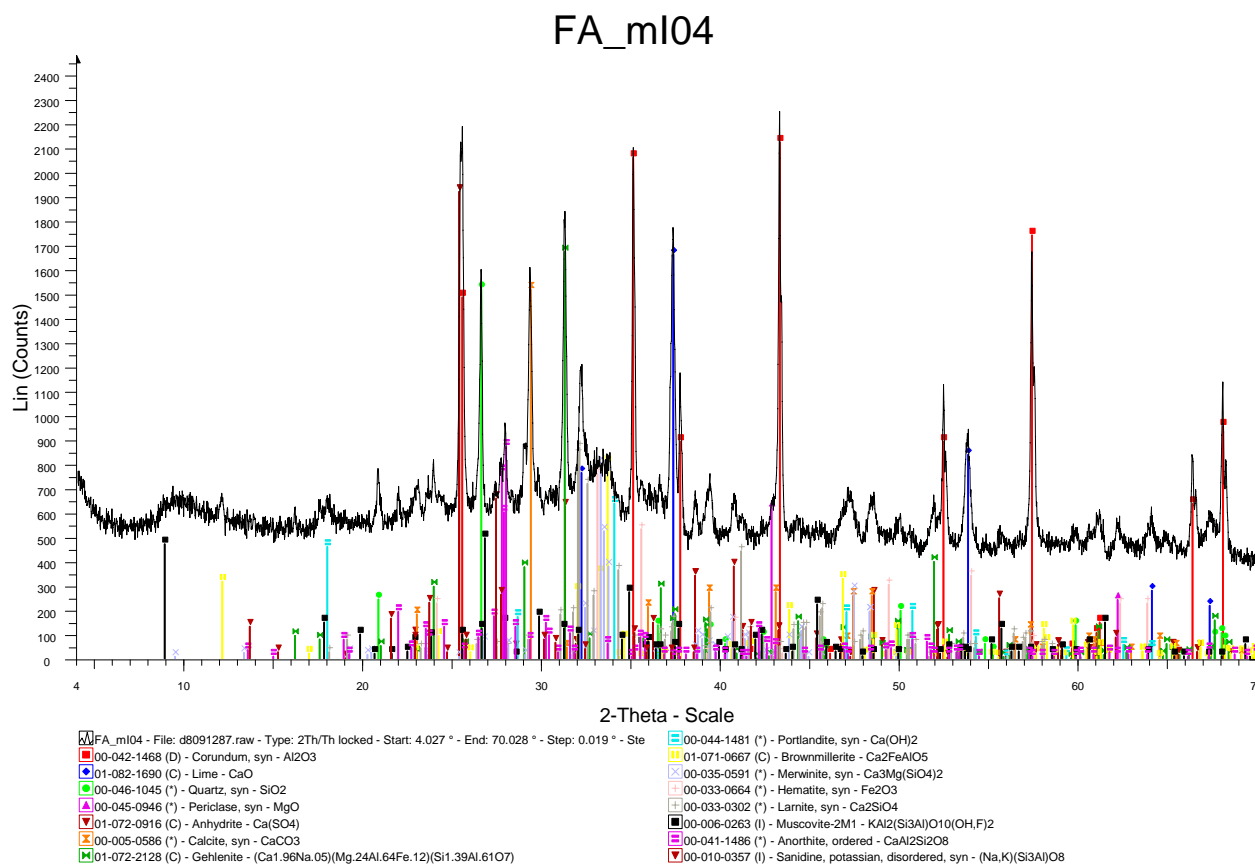
Εικόνα Α.11: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας IV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



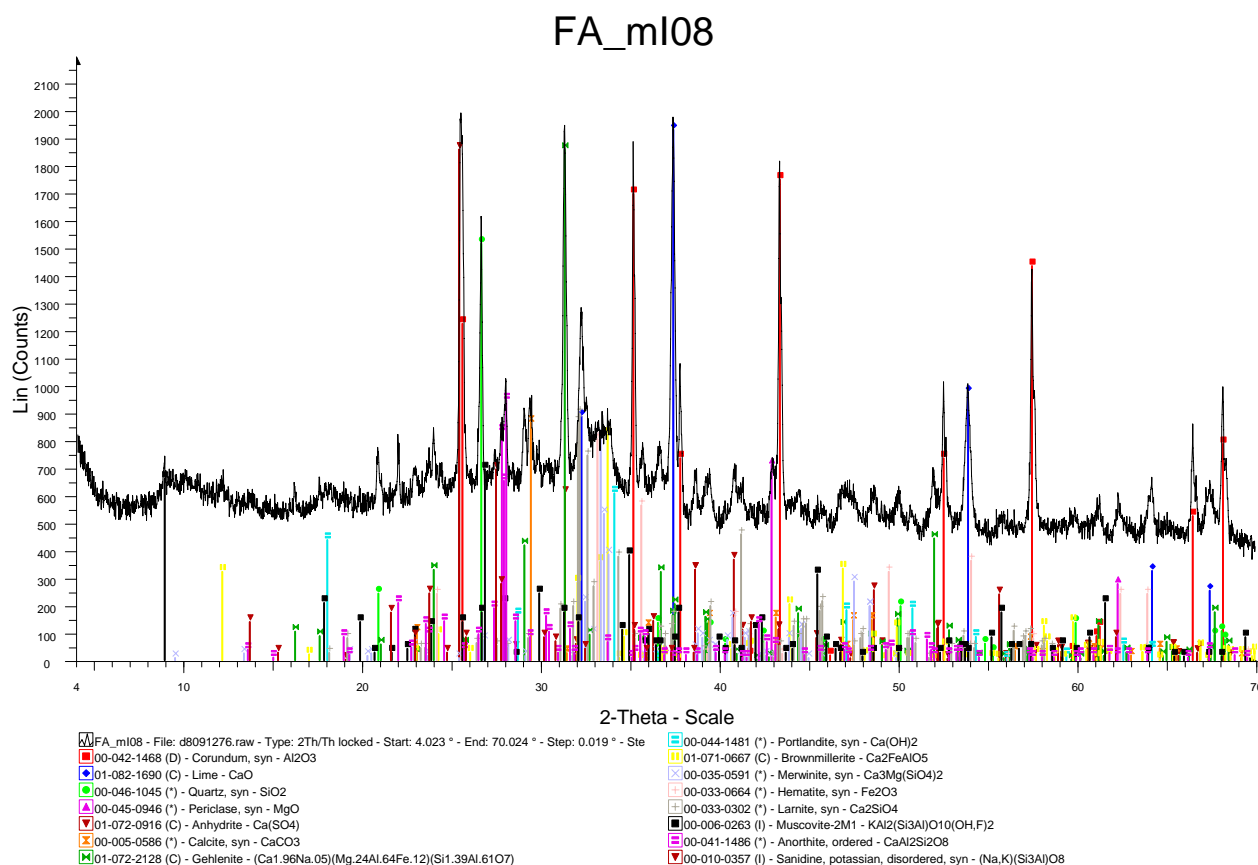
Εικόνα Α.12: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας IV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



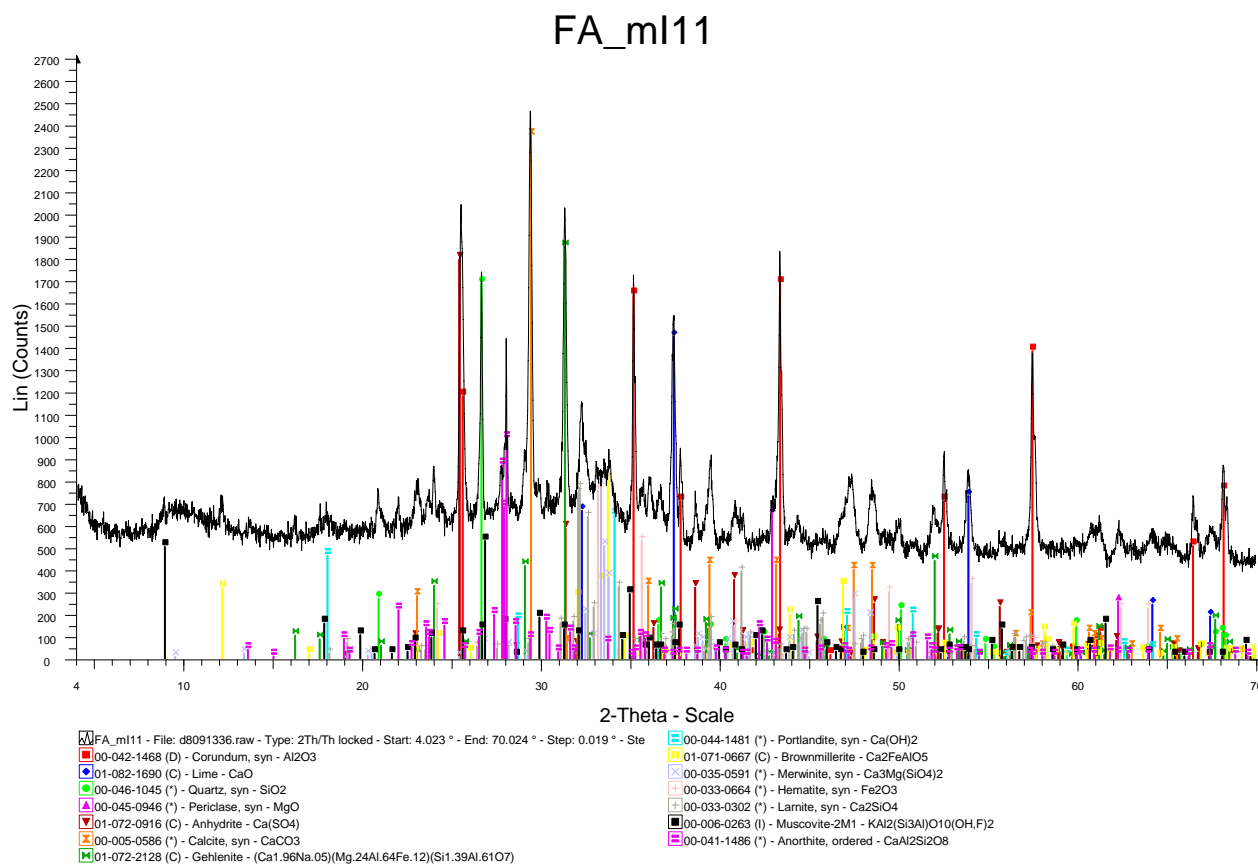
Εικόνα Α.13: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



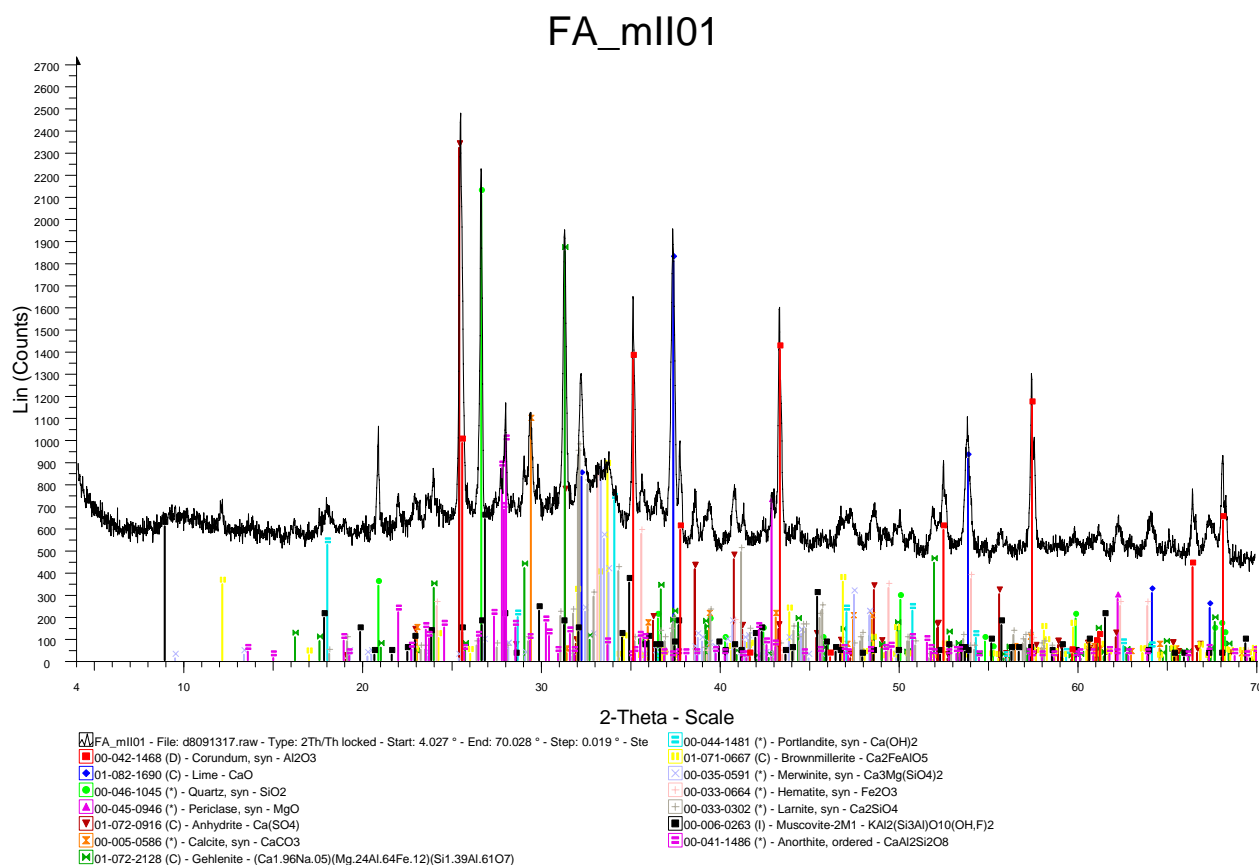
Εικόνα Α.14: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



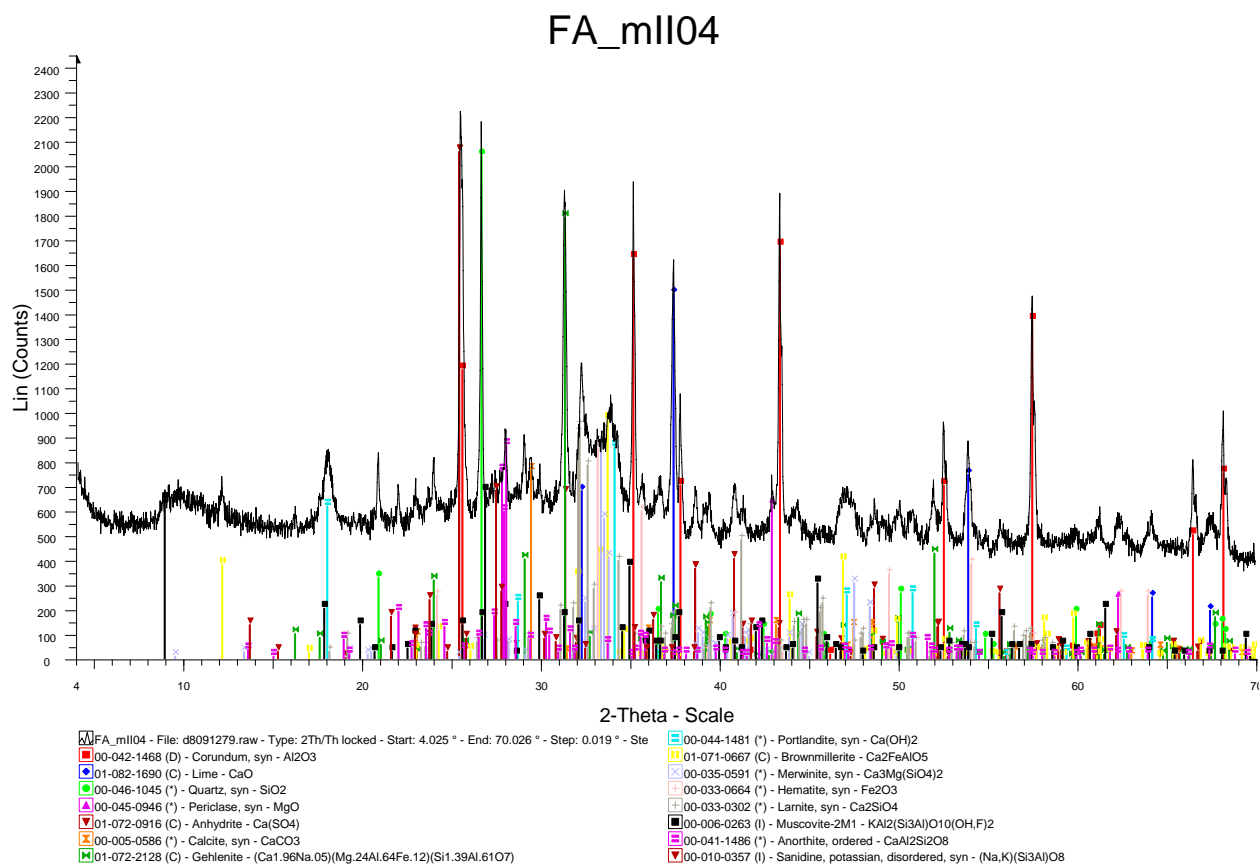
Εικόνα Α.15: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



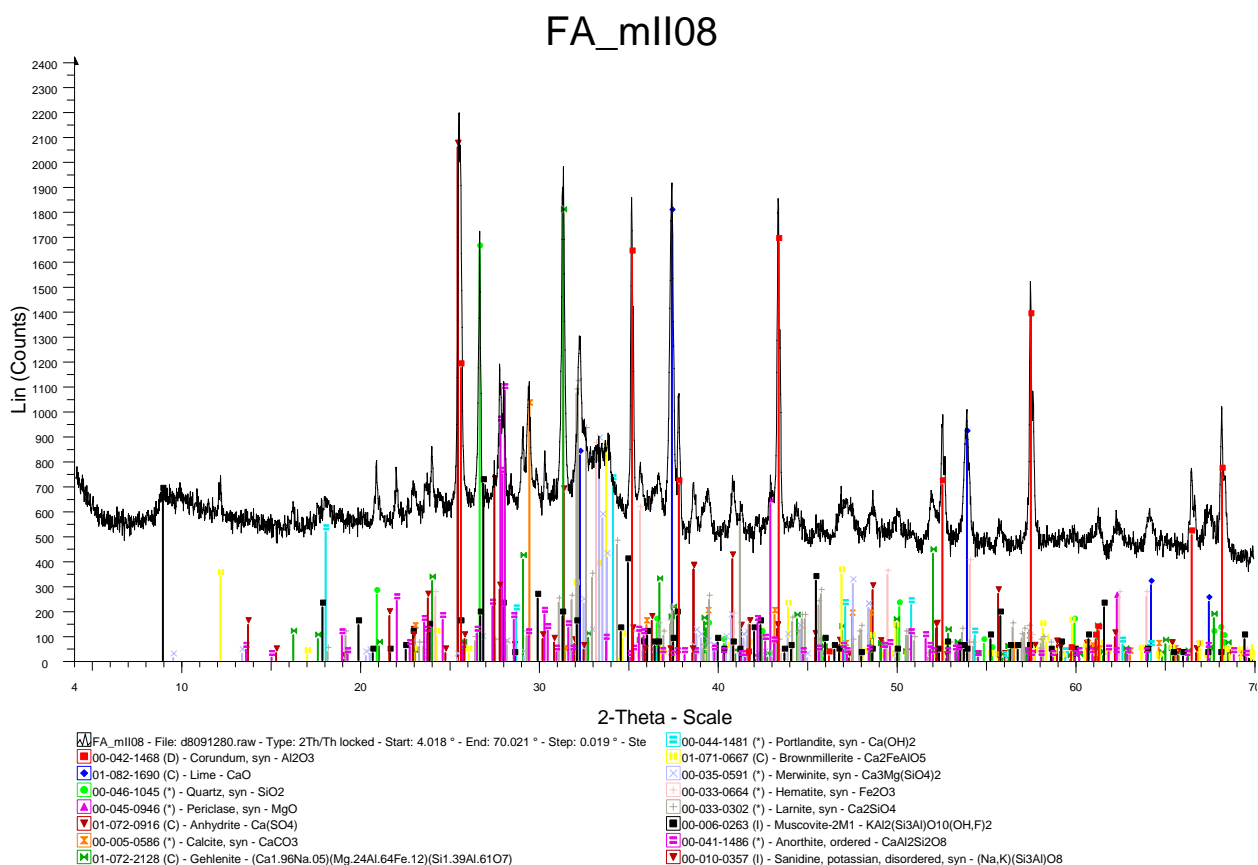
Εικόνα Α.16: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



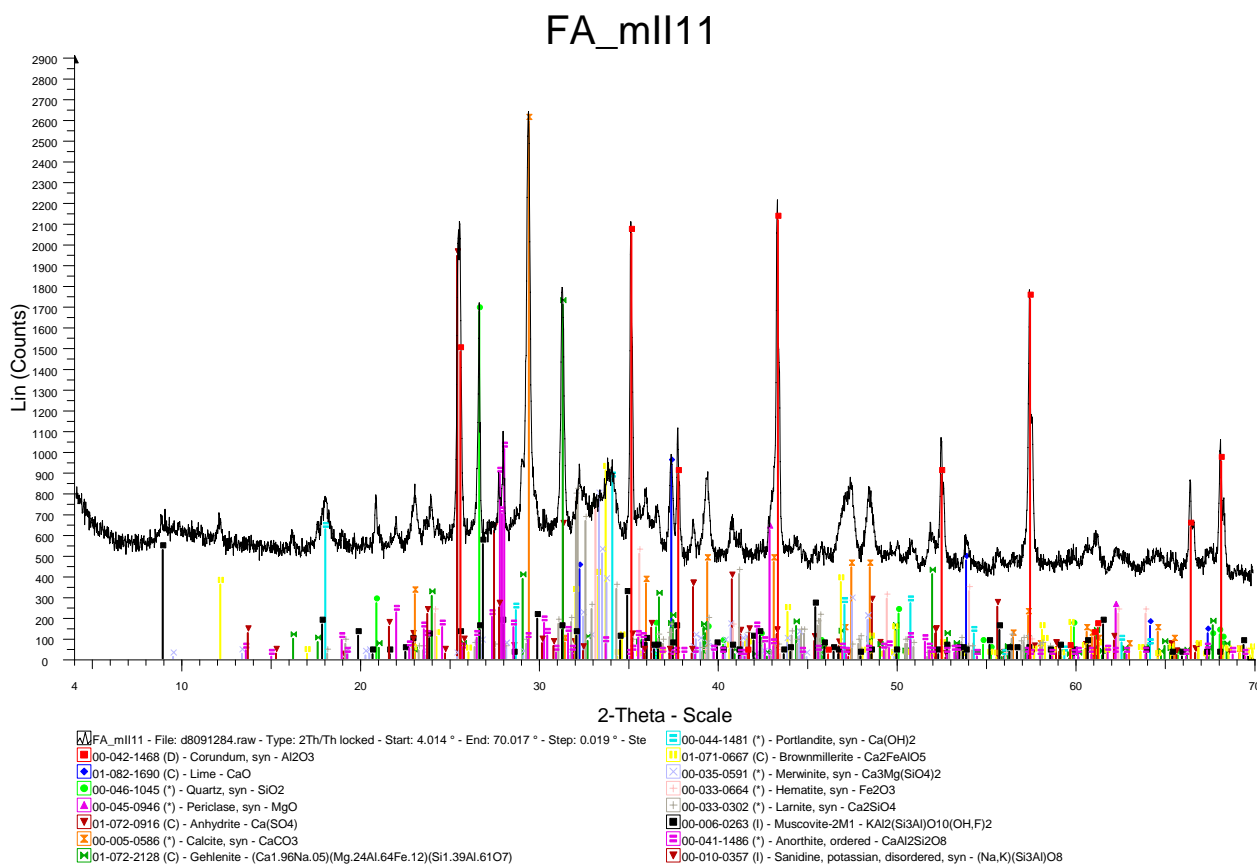
Εικόνα Α.17: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



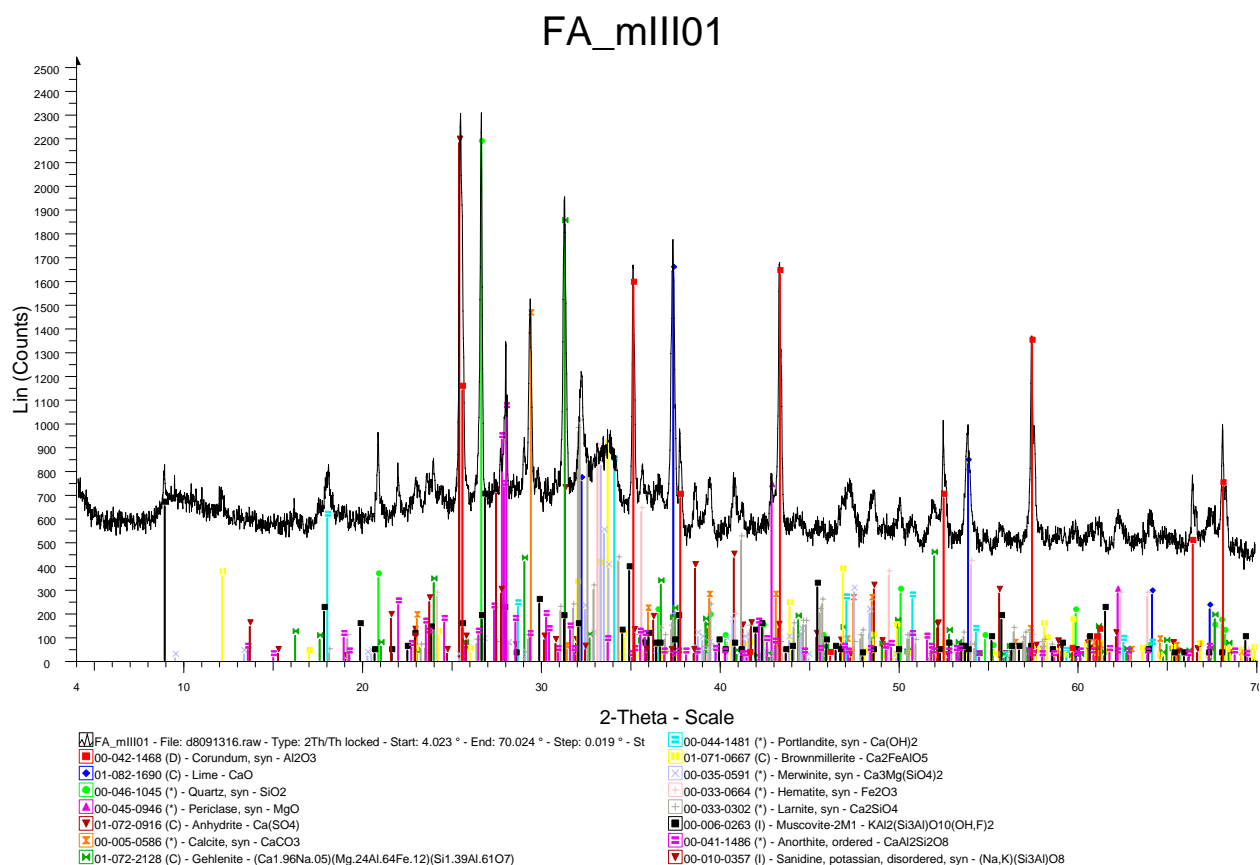
Εικόνα Α.18: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



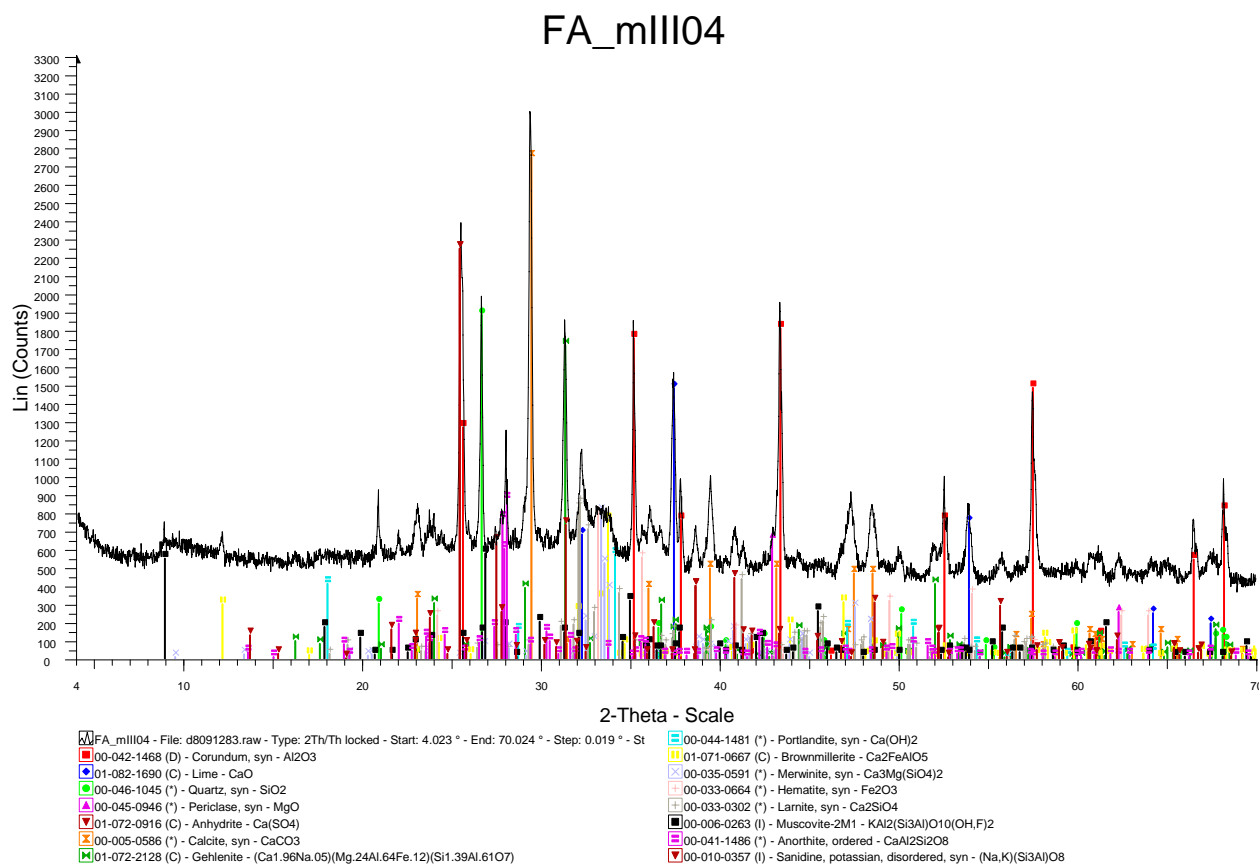
Εικόνα Α.19: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



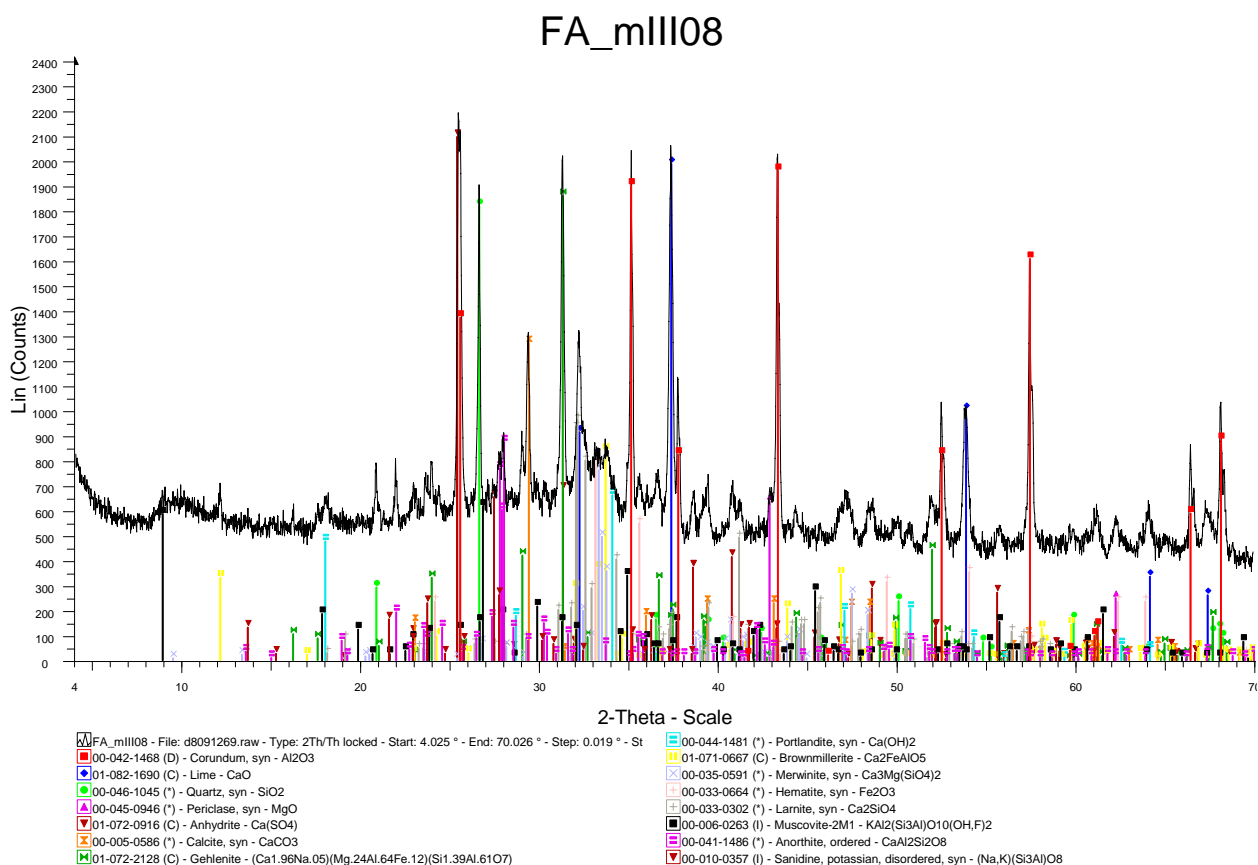
Εικόνα Α.20: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



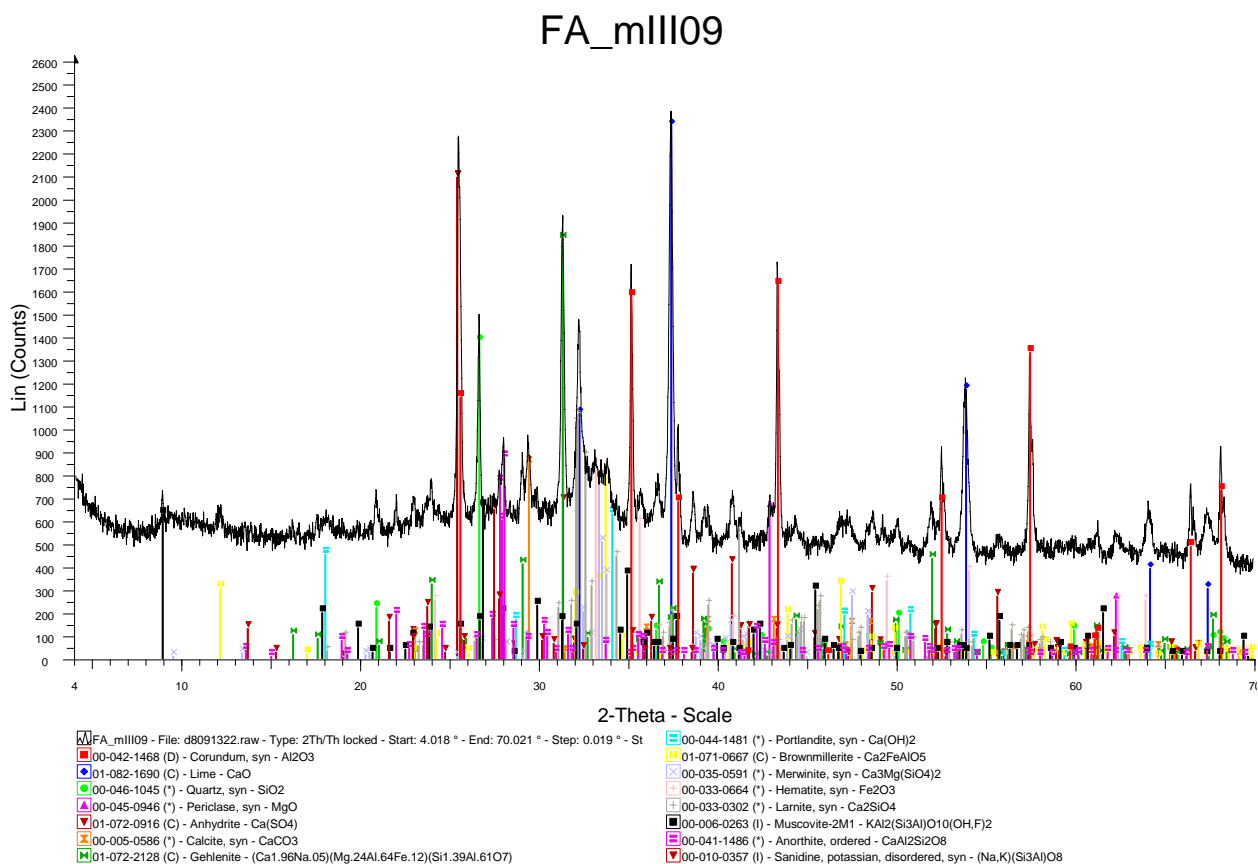
Εικόνα Α.21: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



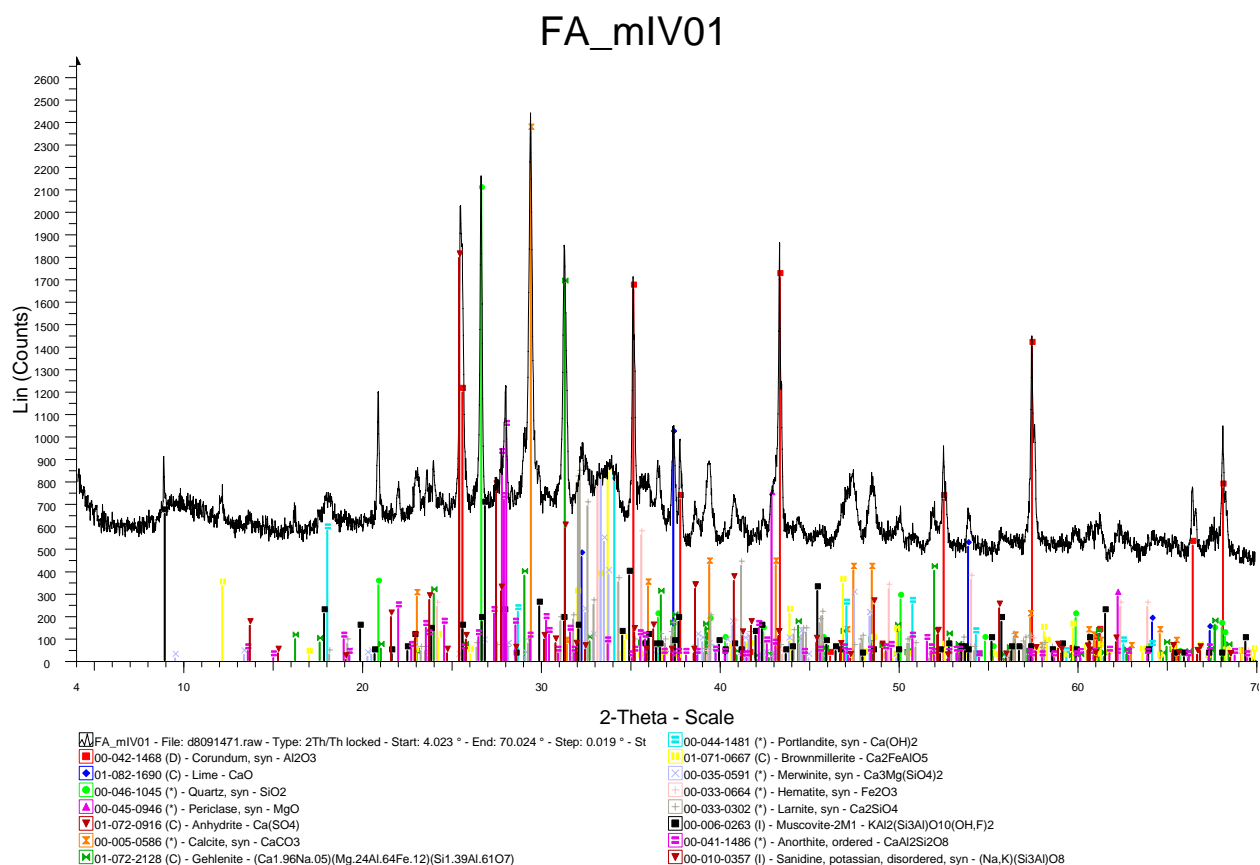
Εικόνα Α.22: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



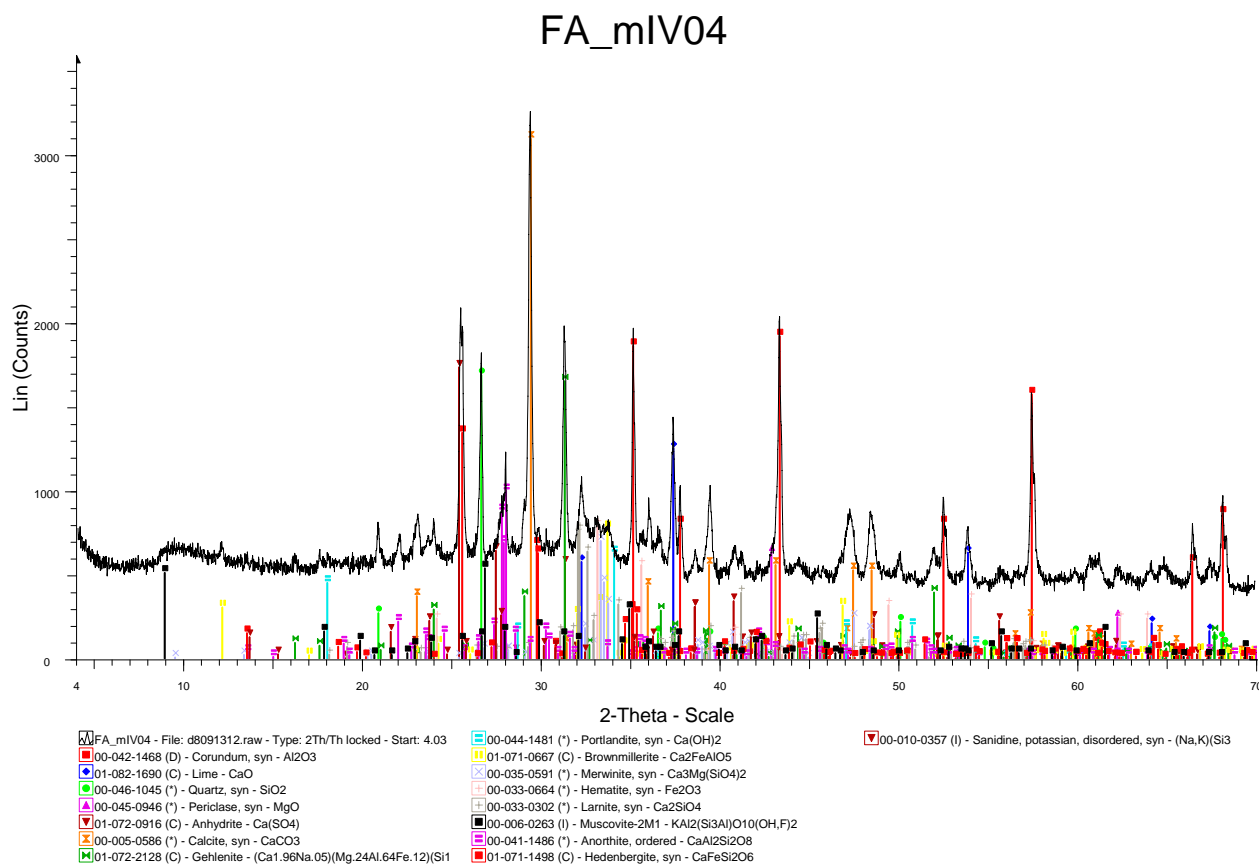
Εικόνα Α.23: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



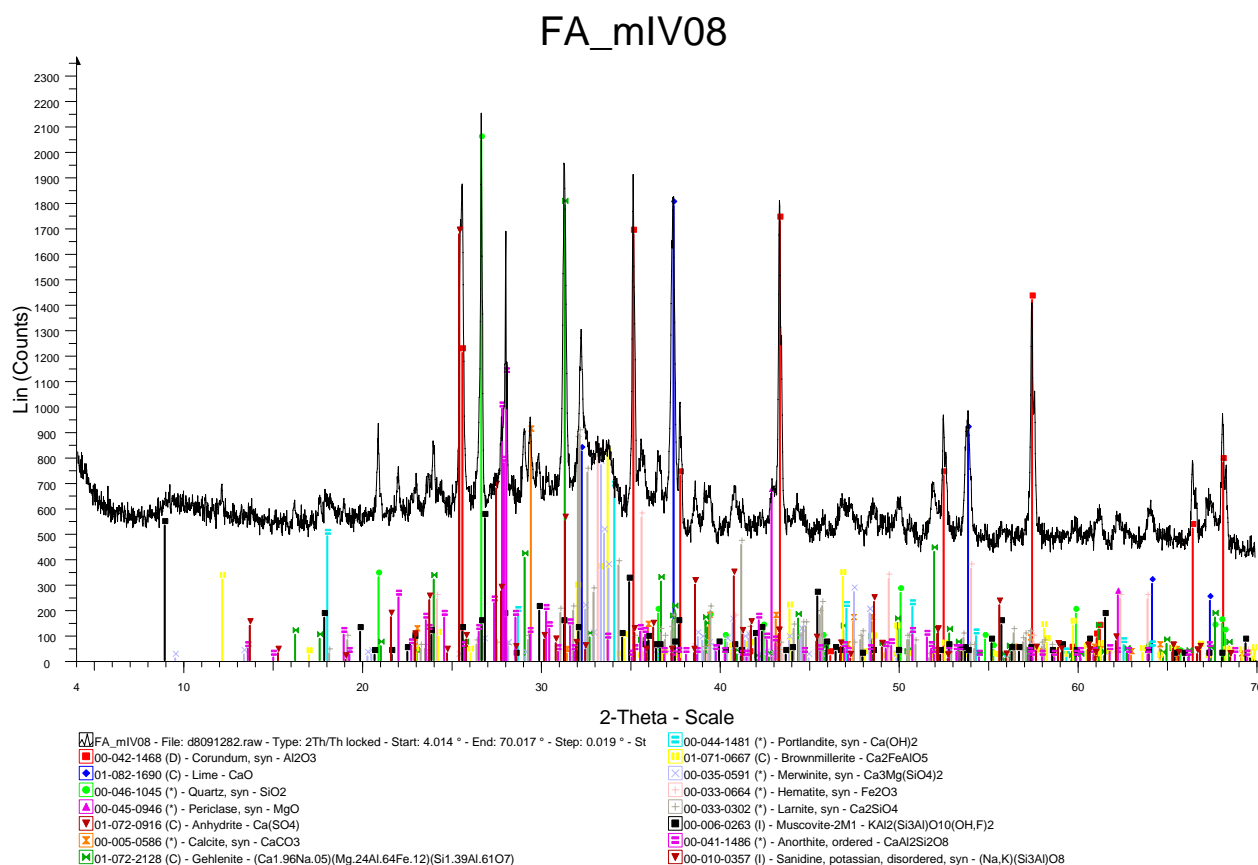
Εικόνα Α.24: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας ΙΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



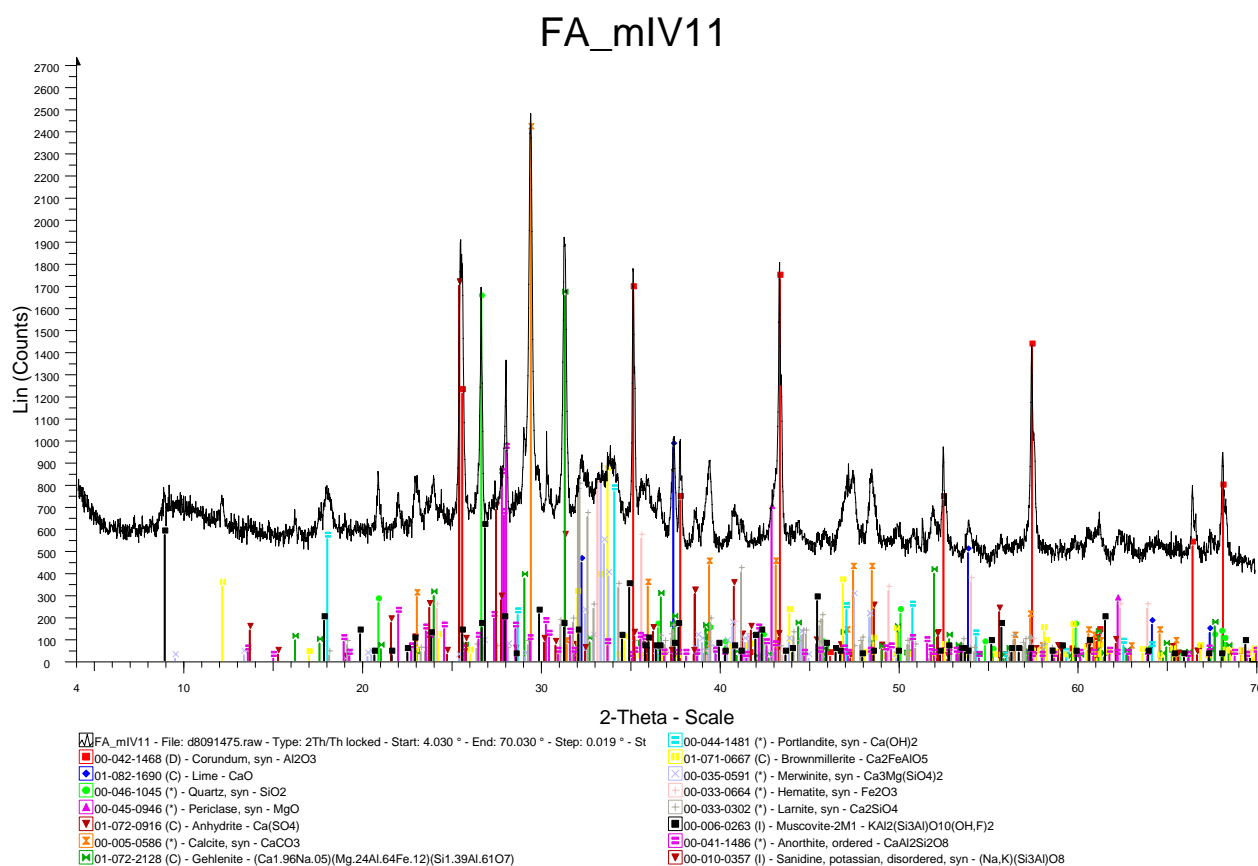
Εικόνα Α.25: Ακτινοδιάγραμμα μνηιαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας IV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



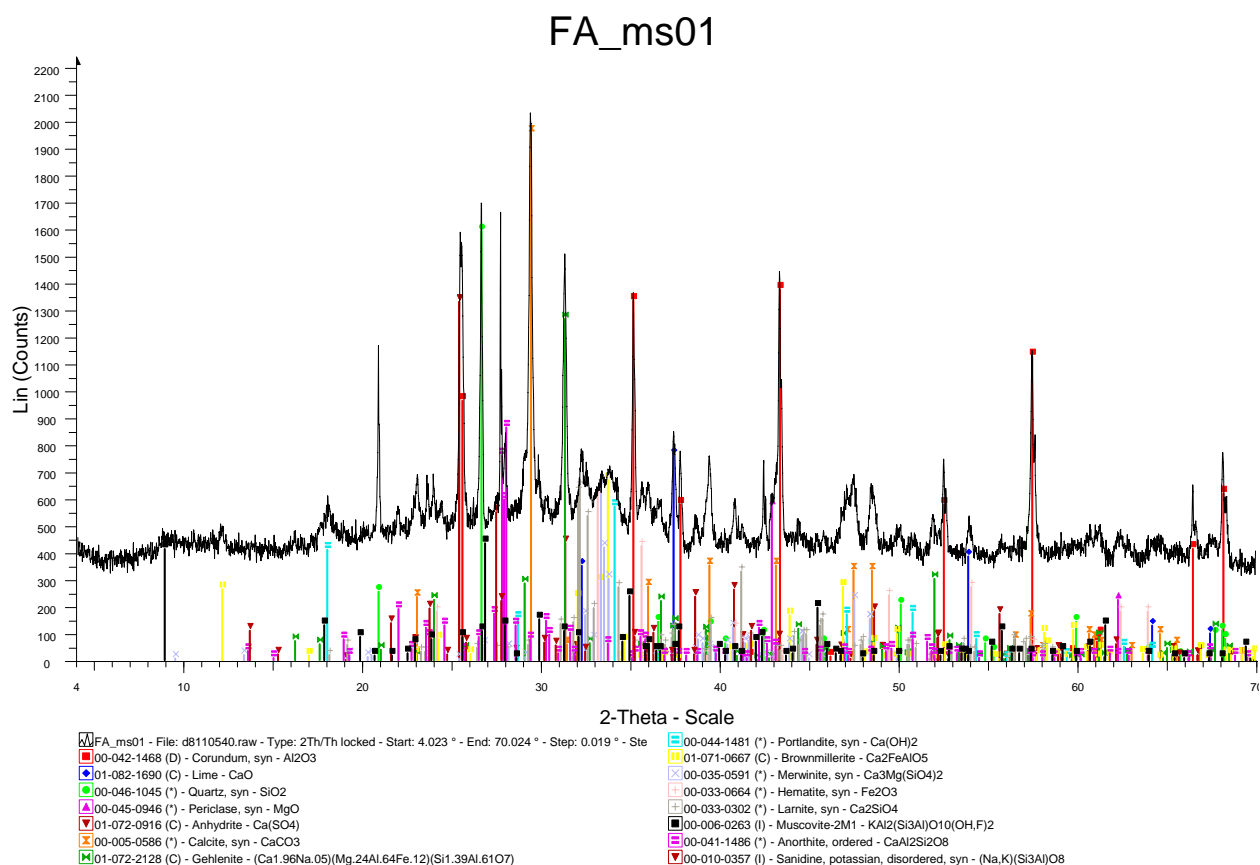
Εικόνα Α.26: Ακτινοδιάγραμμα μνηιαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας IV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



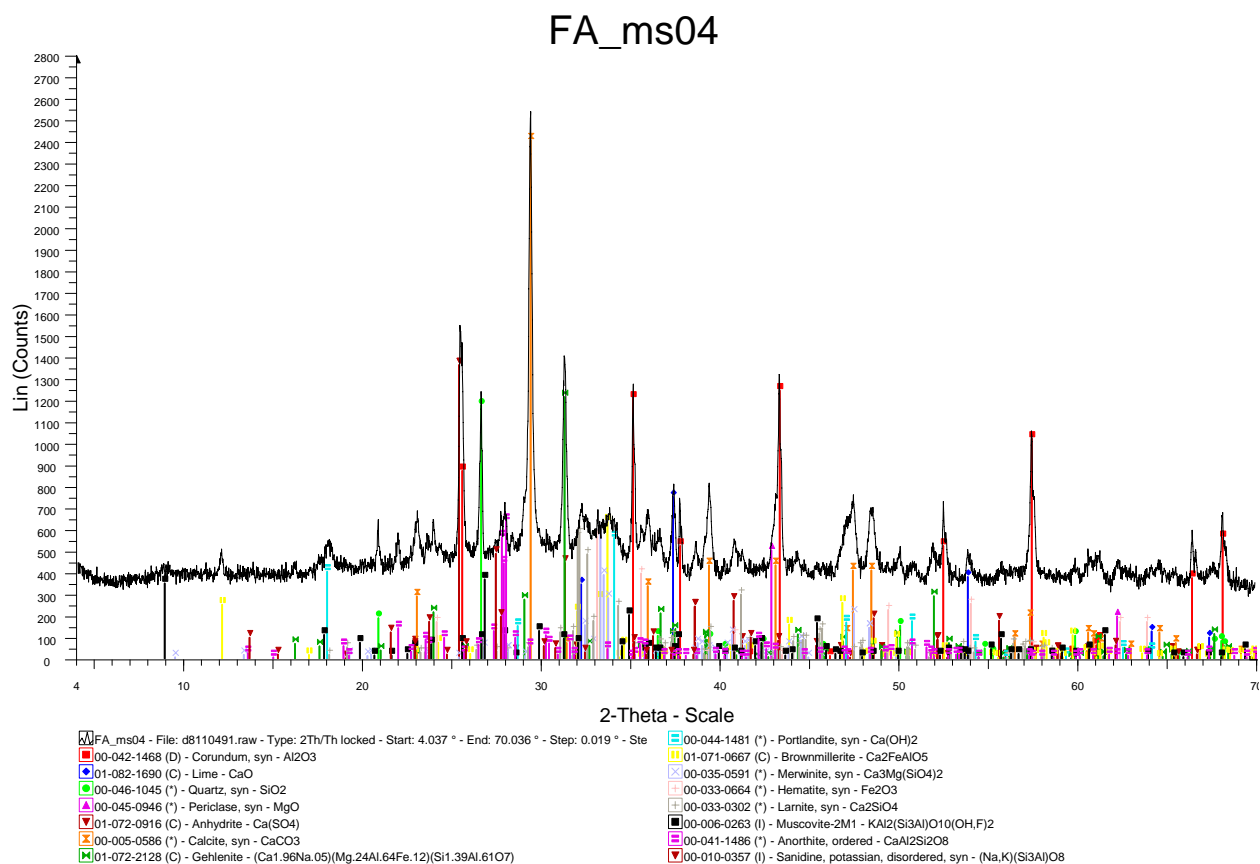
Εικόνα Α.27: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας IV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



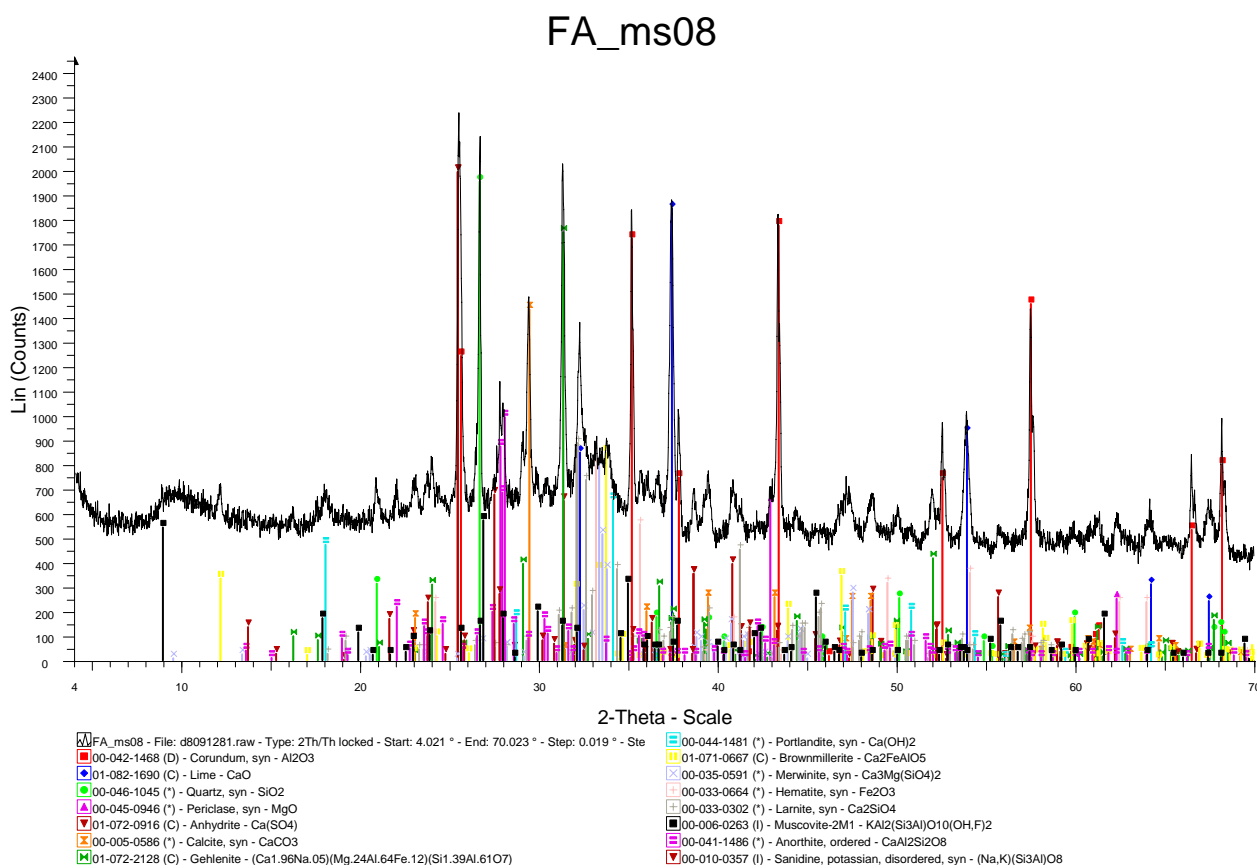
Εικόνα Α.28: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ι.Τ. της μονάδας IV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



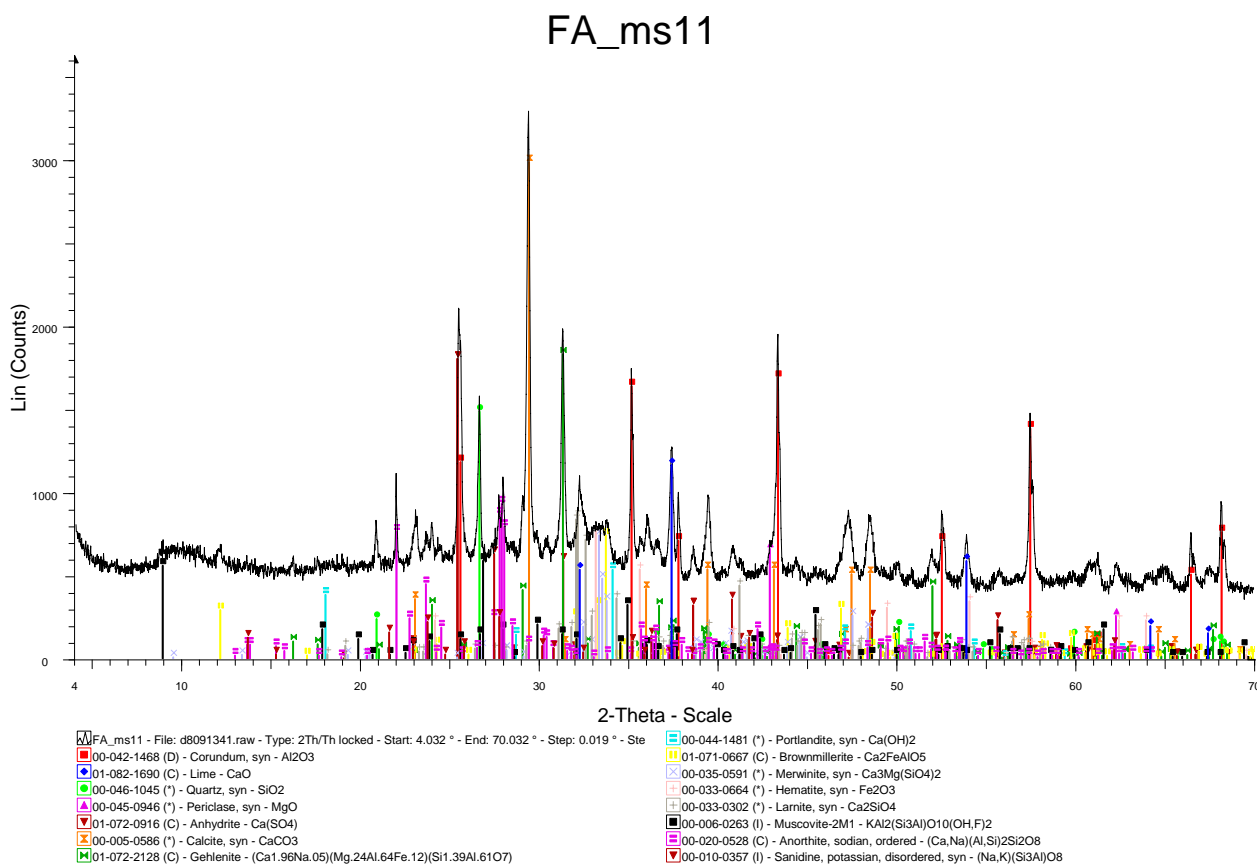
Εικόνα Α.29: Ακτινοδιάγραμμα μέσου μηνιαίου δείγματος Ι.Τ. του σταθμού του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



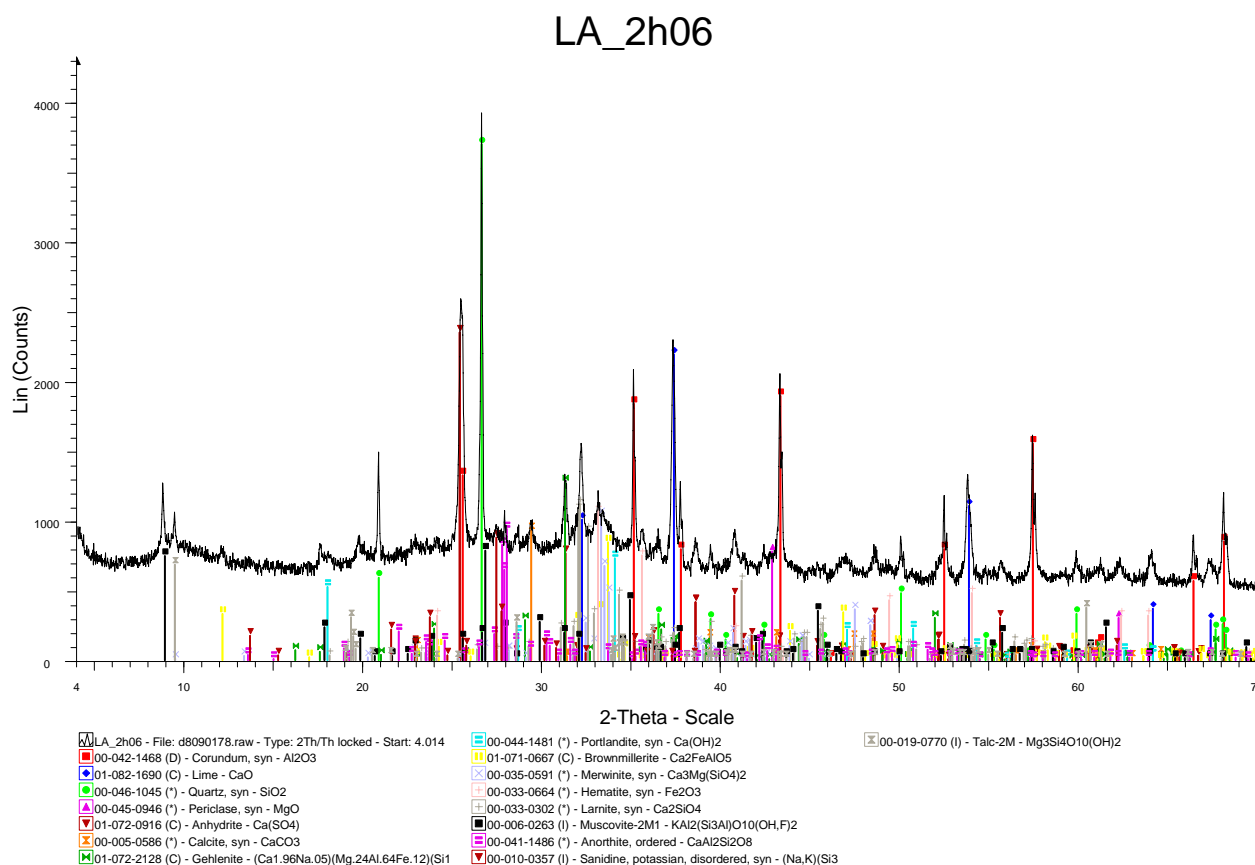
Εικόνα Α.30: Ακτινοδιάγραμμα μέσου μηνιαίου δείγματος Ι.Τ. του σταθμού του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



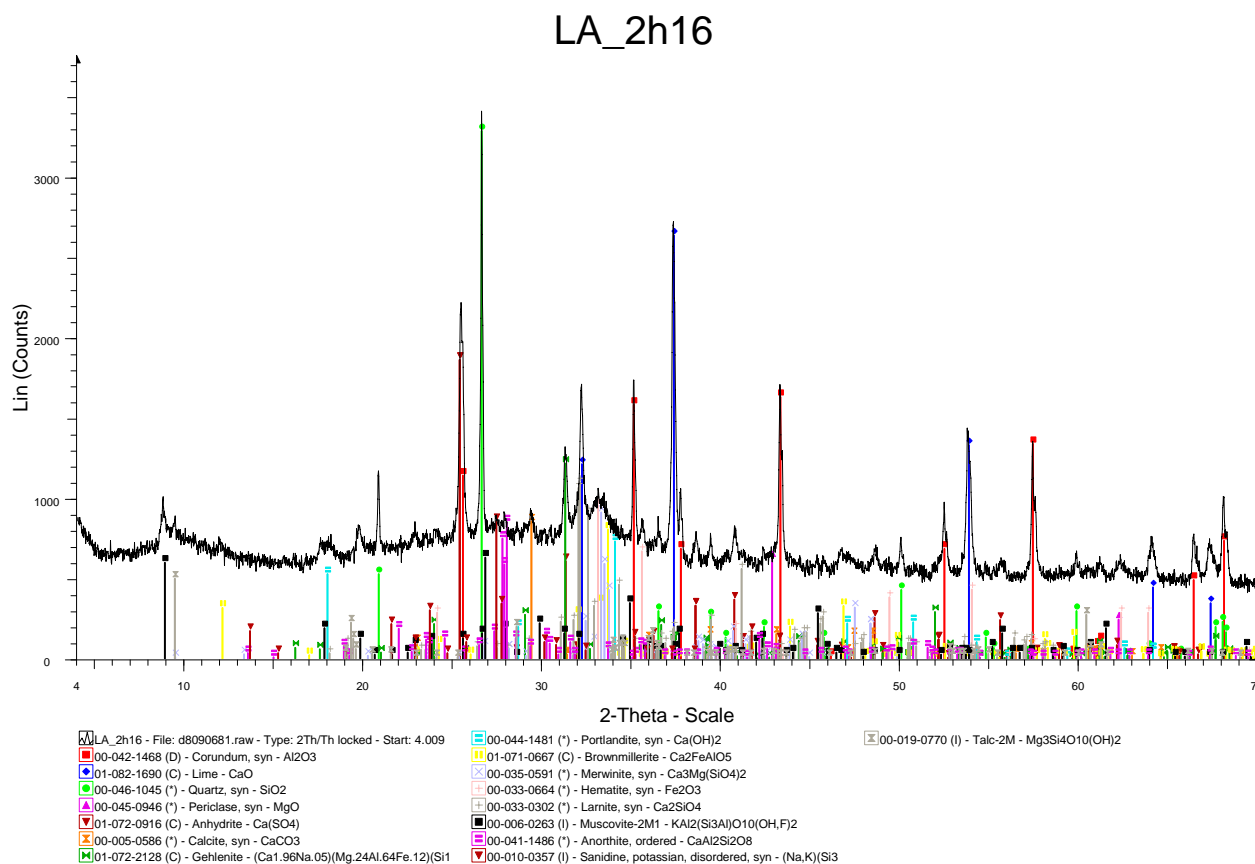
Εικόνα Α.31: Ακτινοδιάγραμμα μέσου μηνιαίου δείγματος Ι.Τ. του σταθμού του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



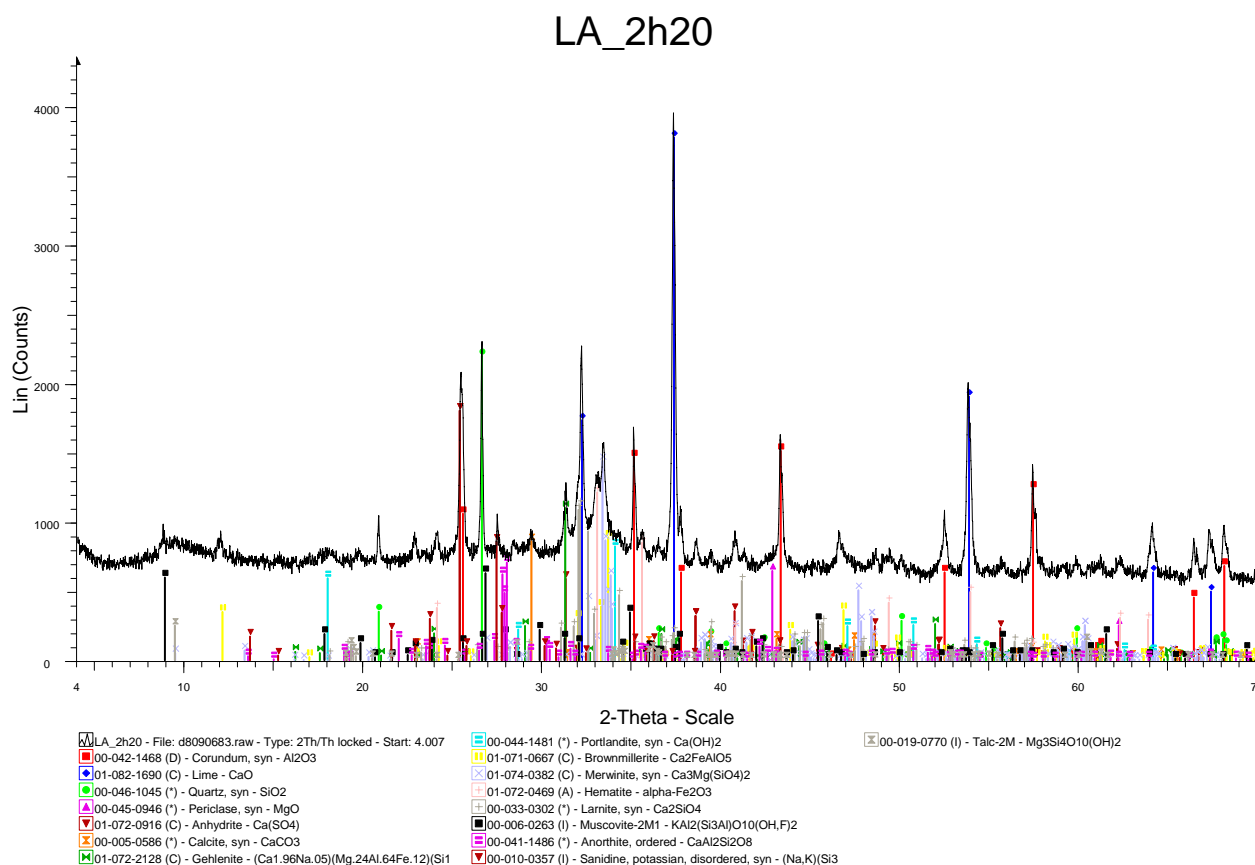
Εικόνα Α.32: Ακτινοδιάγραμμα μέσου μηνιαίου δείγματος Ι.Τ. του σταθμού του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



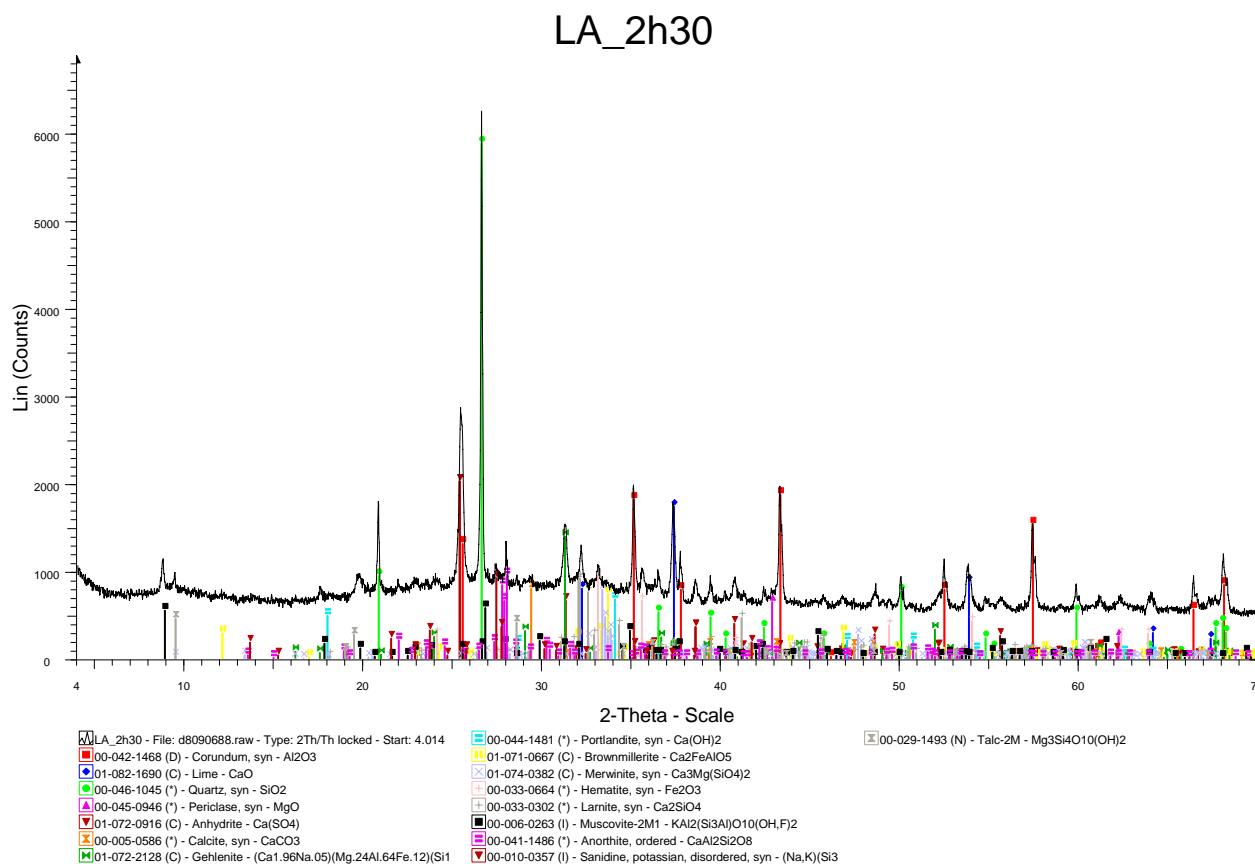
Εικόνα Α.33: Ακτινοδιάγραμμα δίωρου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



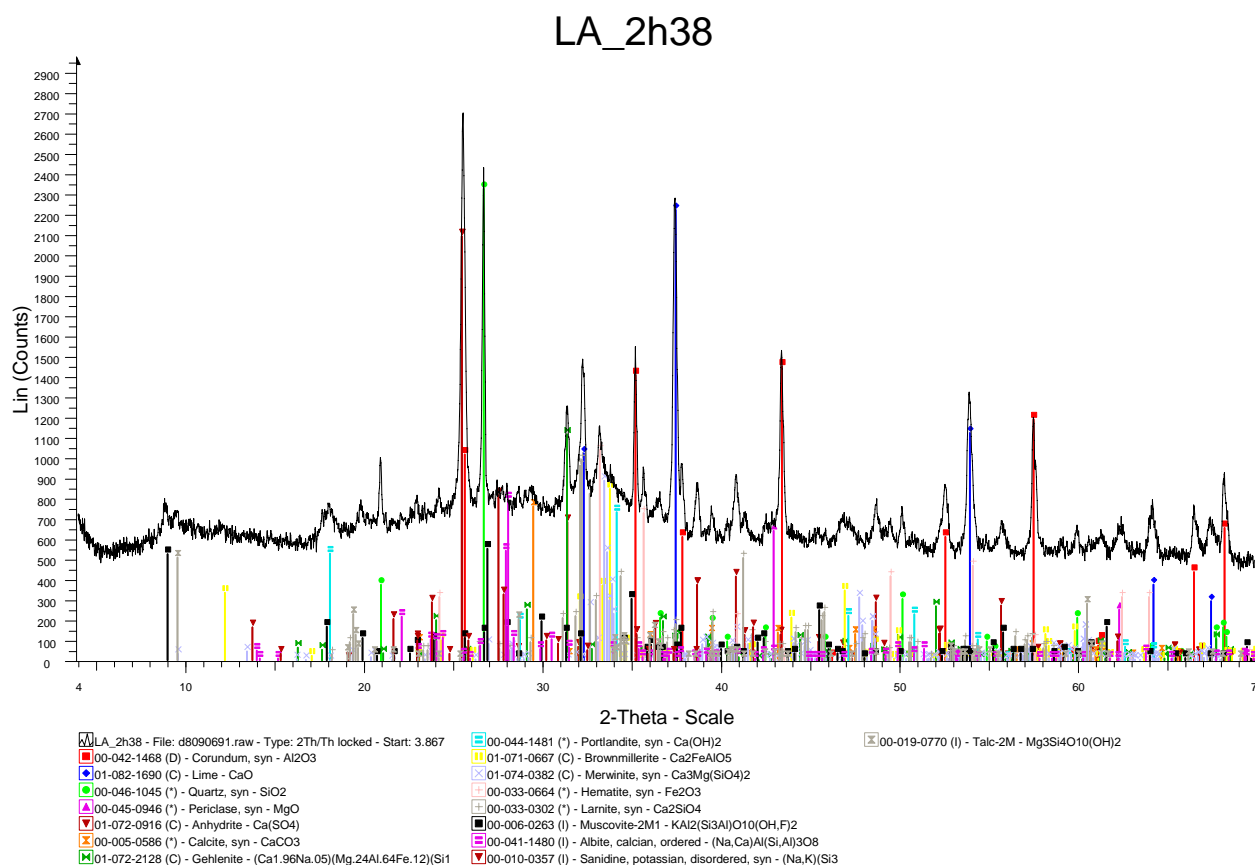
Εικόνα Α.34: Ακτινοδιάγραμμα δίωρου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



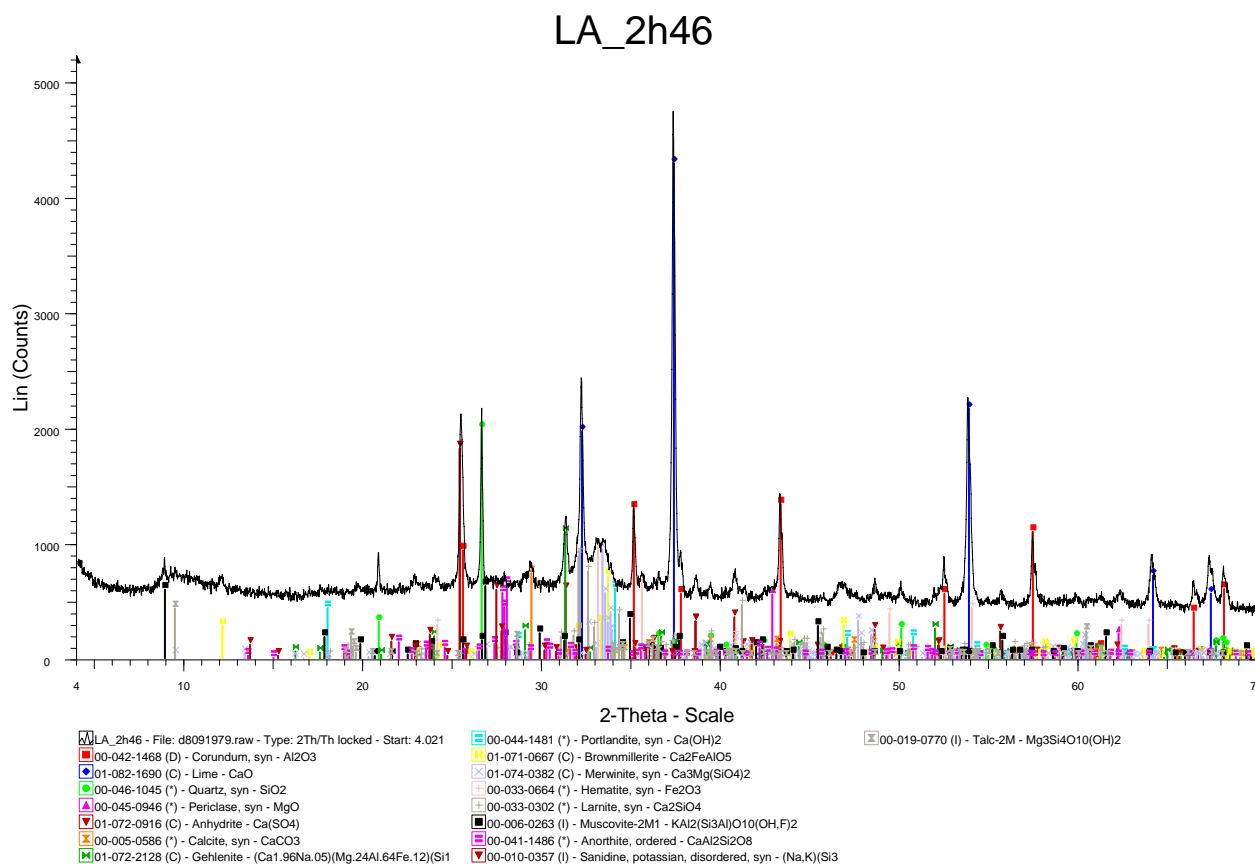
Εικόνα Α.35: Ακτινοδιάγραμμα δίωρου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



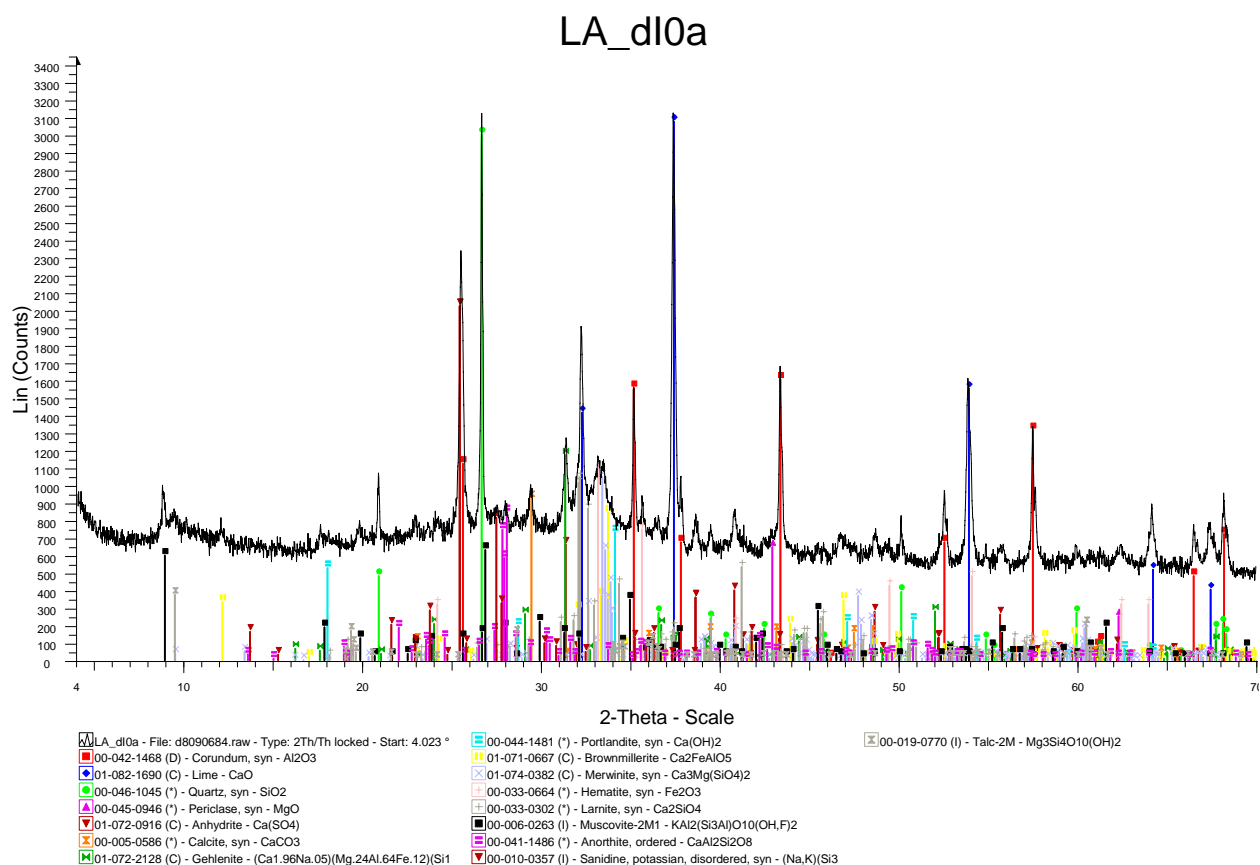
Εικόνα Α.36: Ακτινοδιάγραμμα δίωρου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



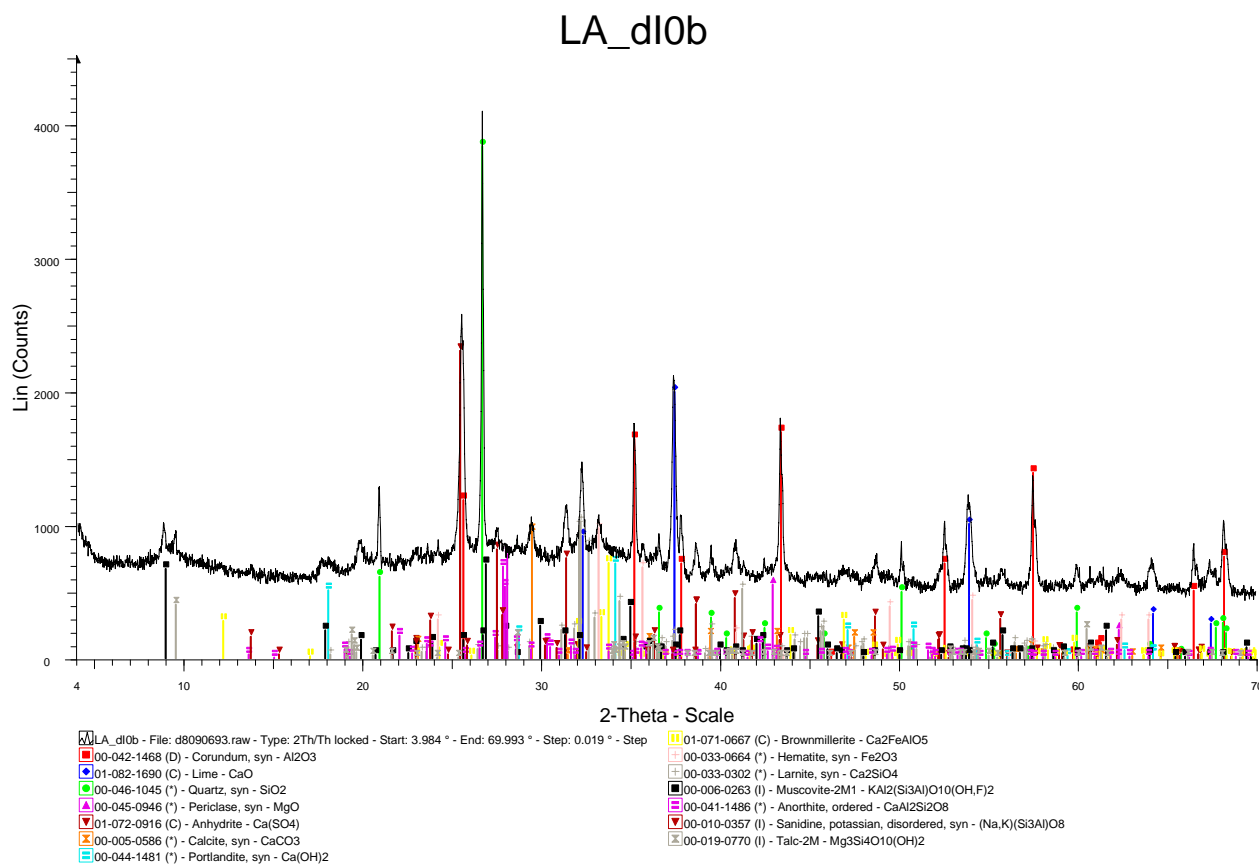
Εικόνα Α.37: Ακτινοδιάγραμμα δίωρου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



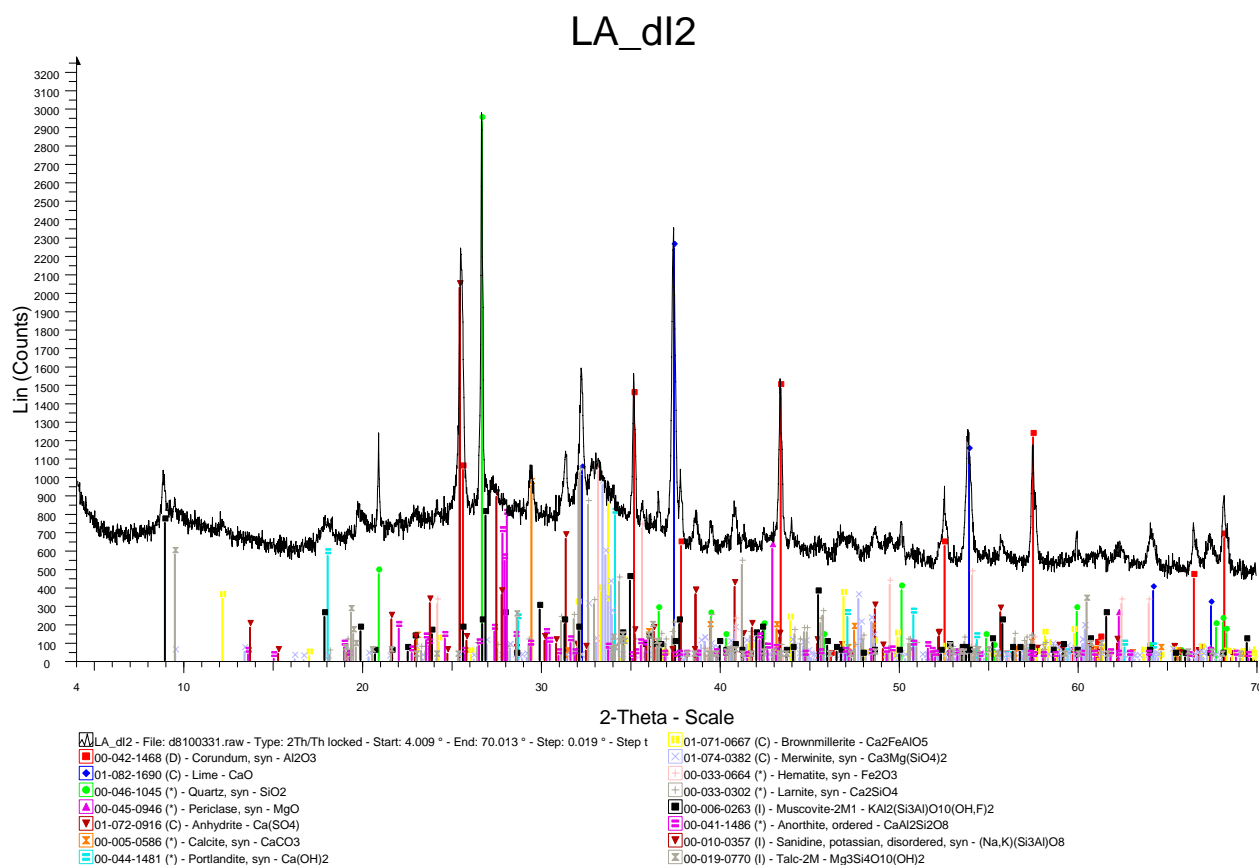
Εικόνα Α.38: Ακτινοδιάγραμμα δίωρου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



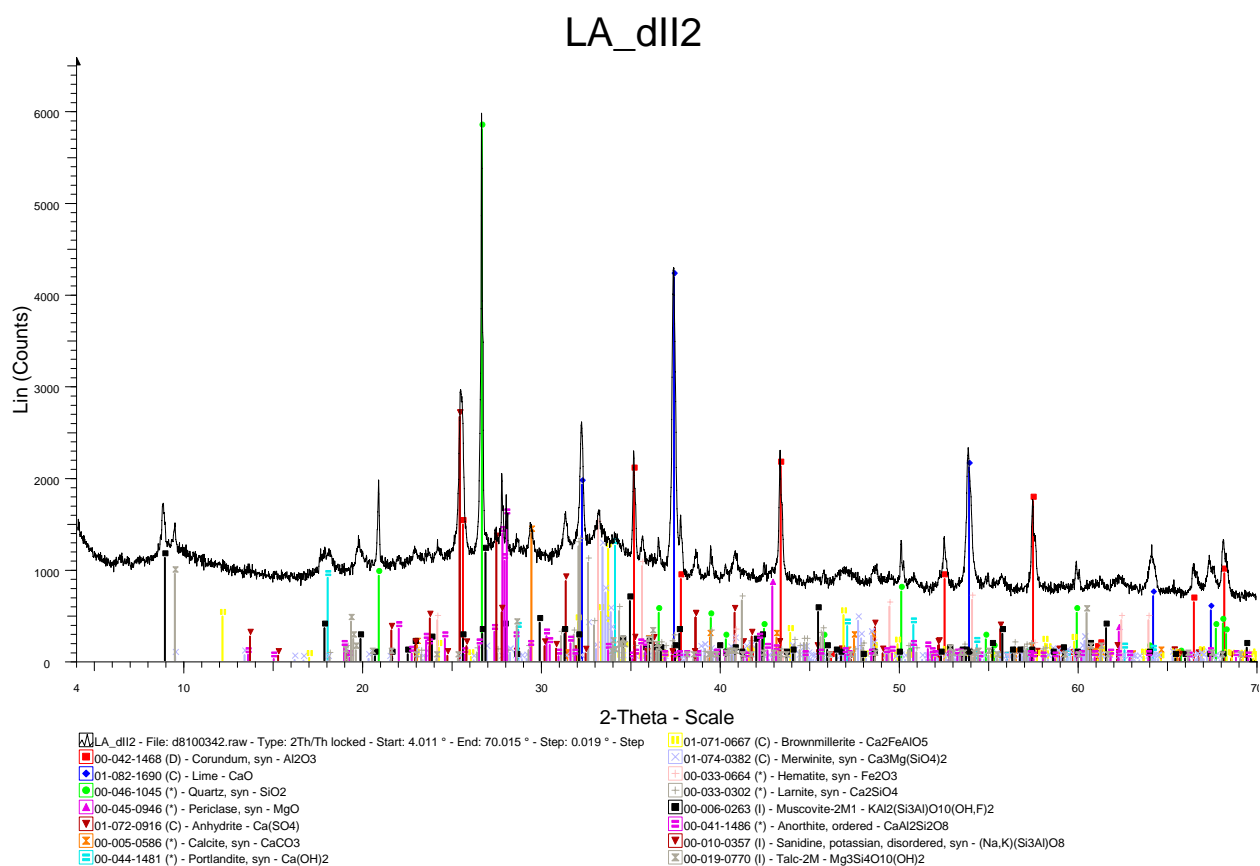
Εικόνα Α.39: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



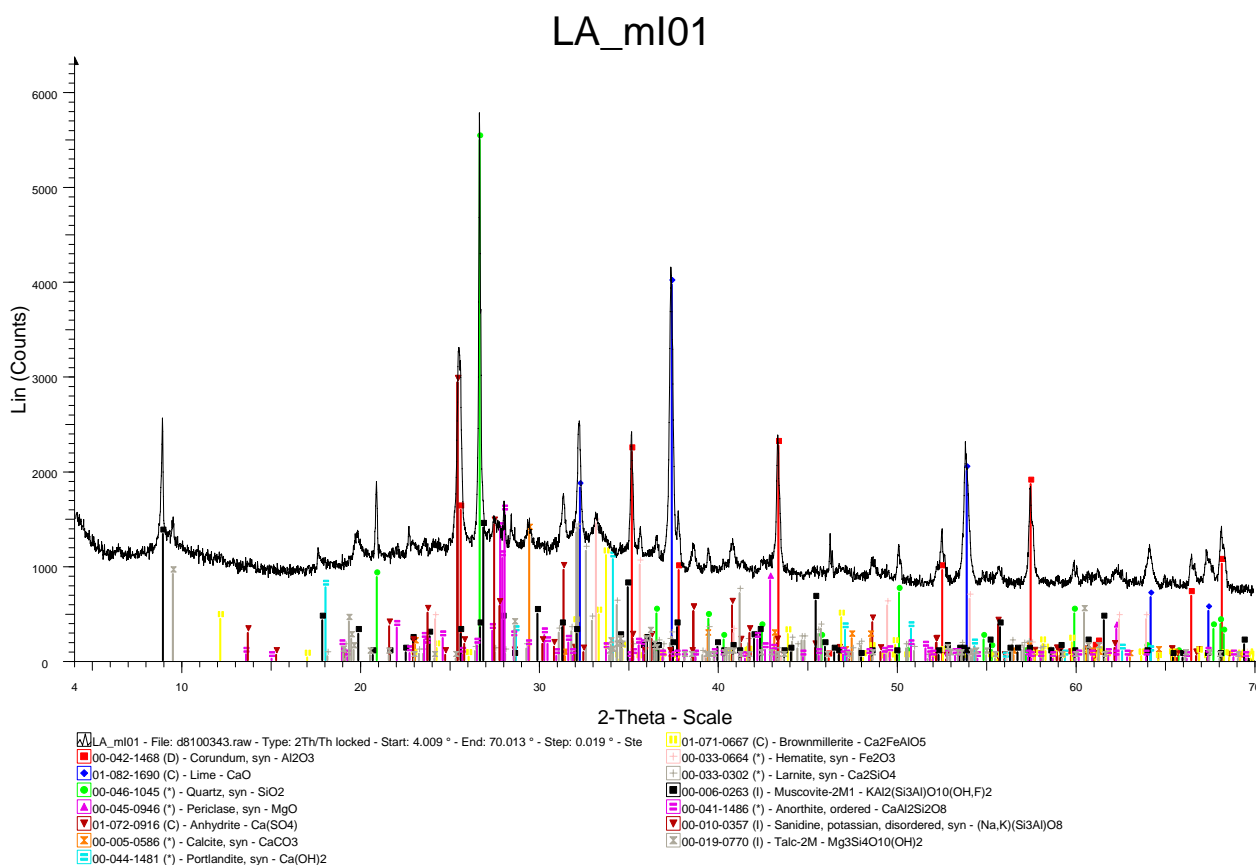
Εικόνα Α.40: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



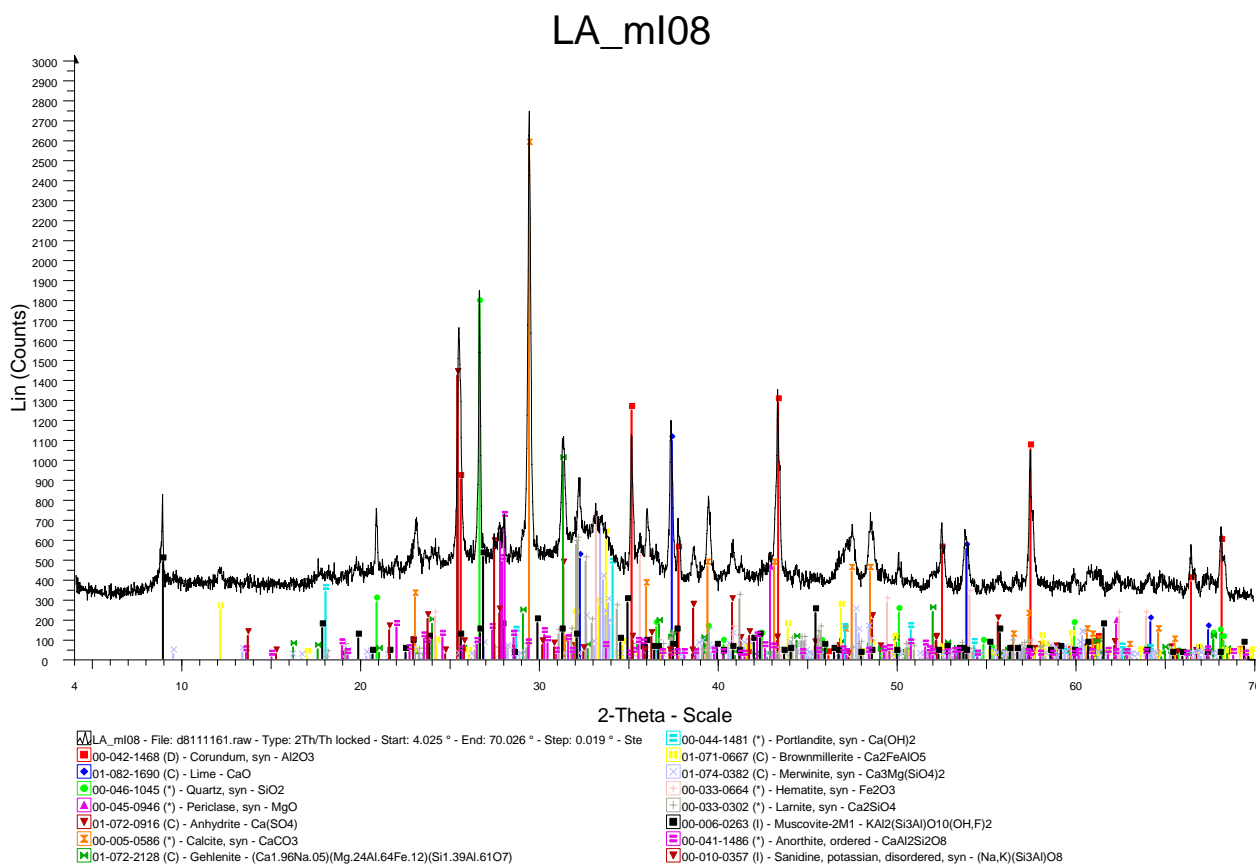
Εικόνα Α.41: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



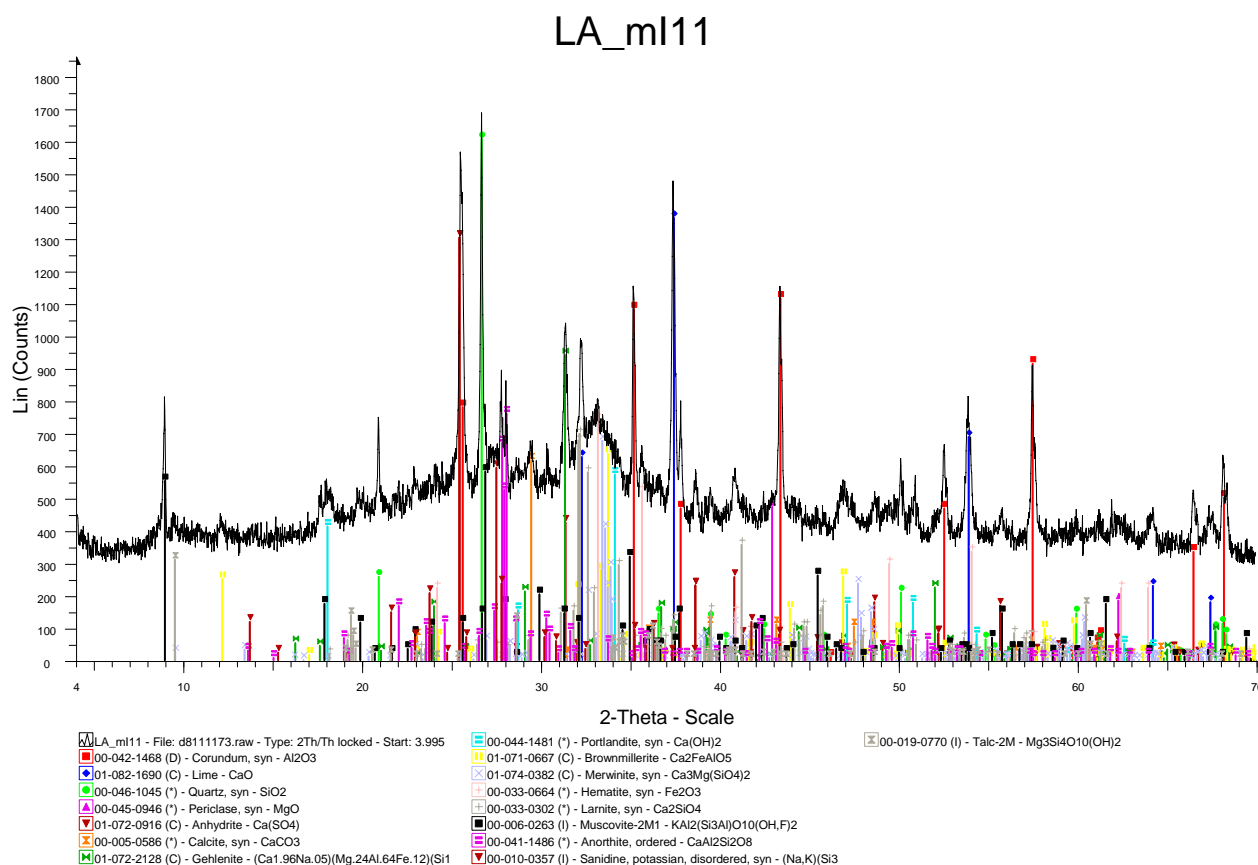
Εικόνα Α.42: Ακτινοδιάγραμμα ημερήσιου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας ΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



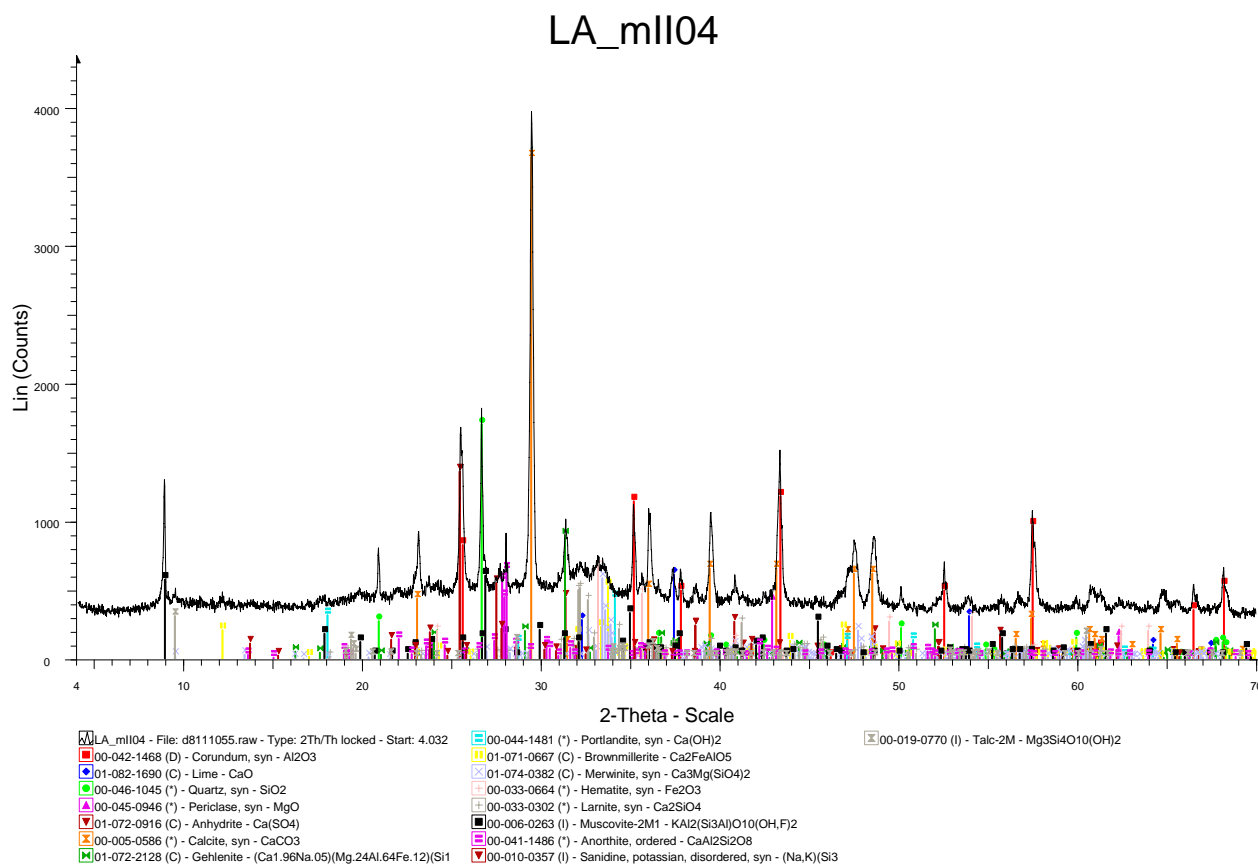
Εικόνα Α.43: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



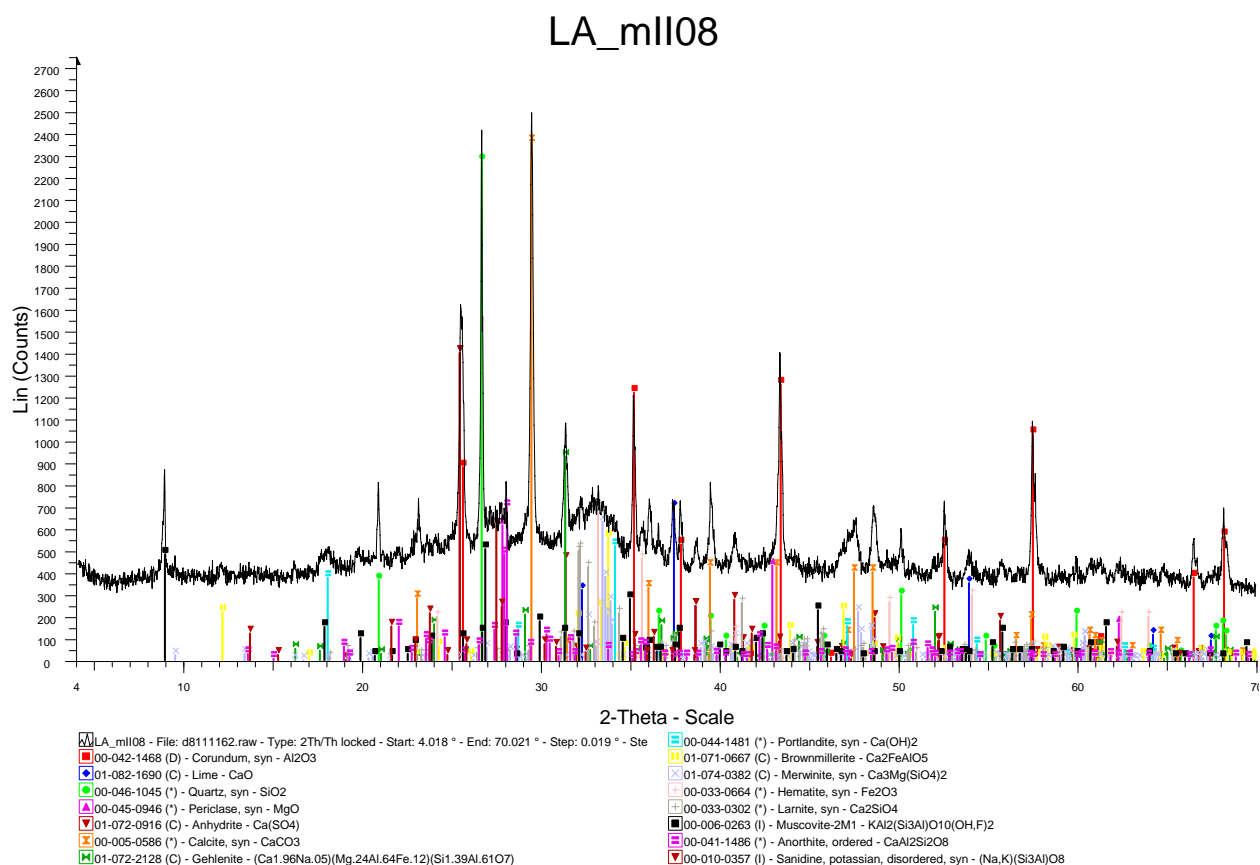
Εικόνα Α.44: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



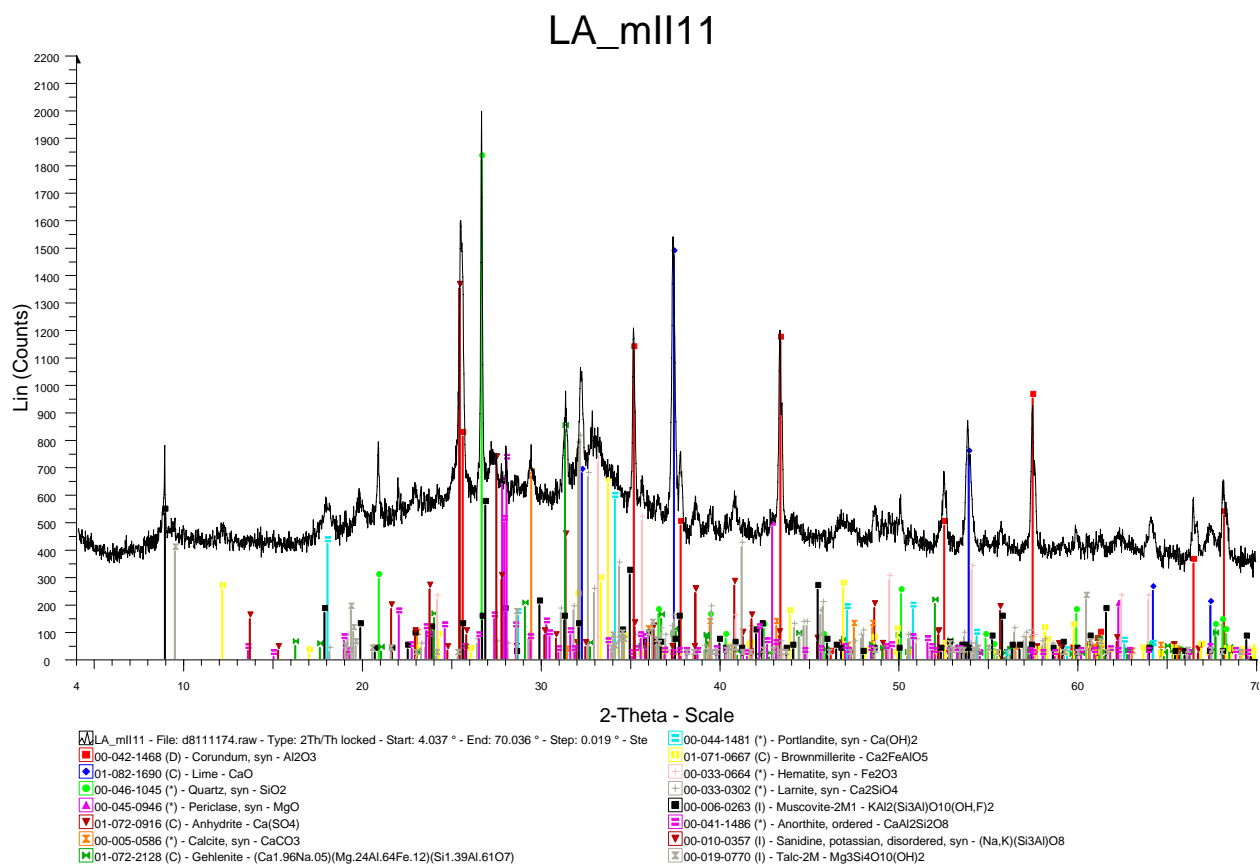
Εικόνα Α.45: Ακτινοδιάγραμμα μνηιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας Ι του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



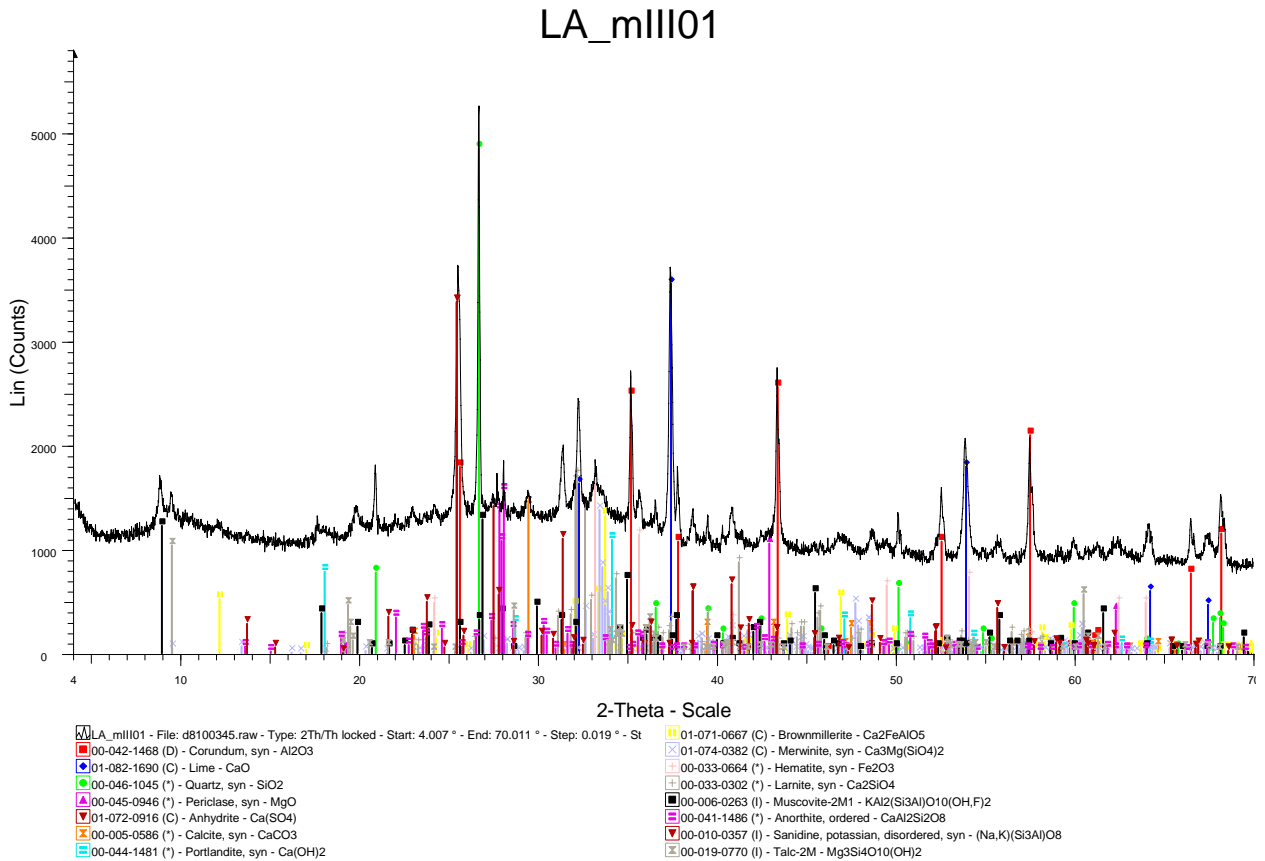
Εικόνα Α.46: Ακτινοδιάγραμμα μνηιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας ΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



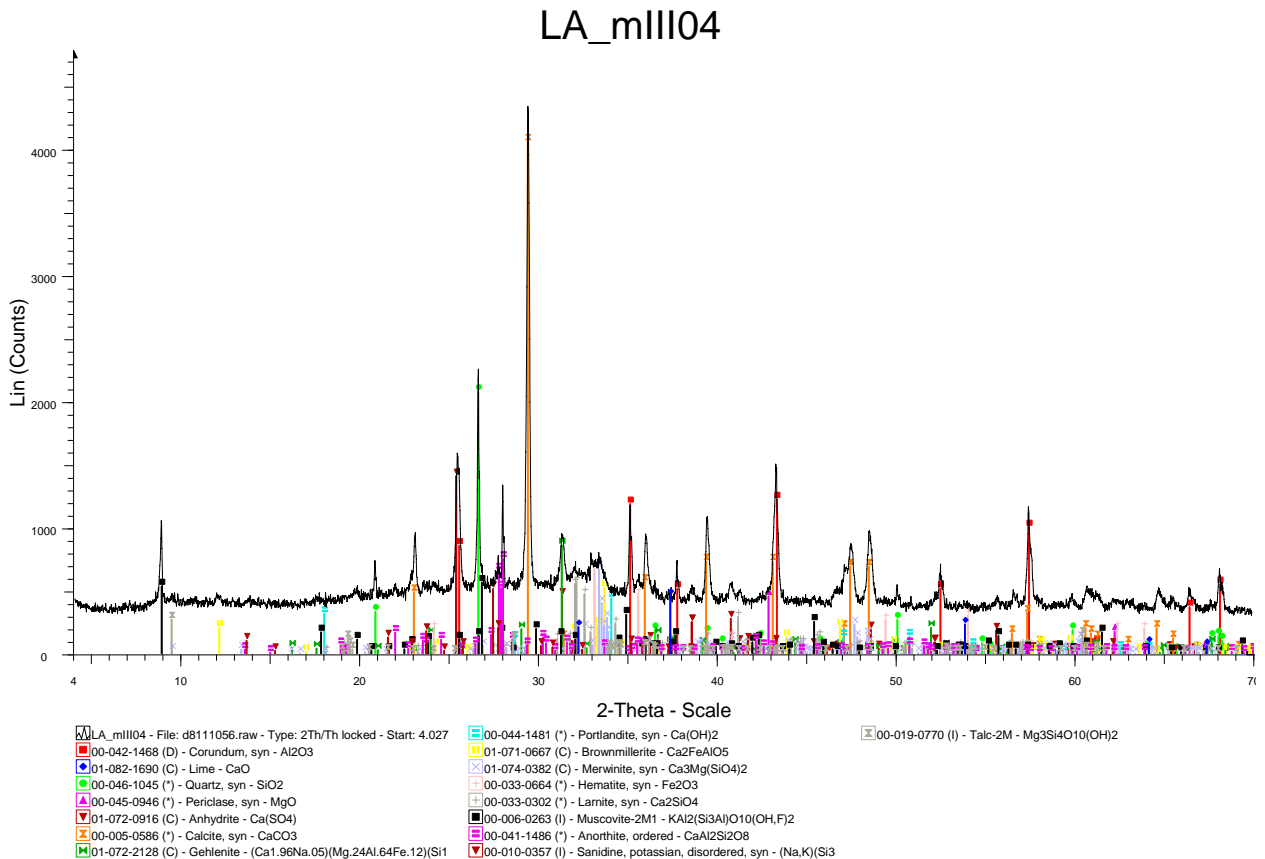
Εικόνα Α.47: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας ΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



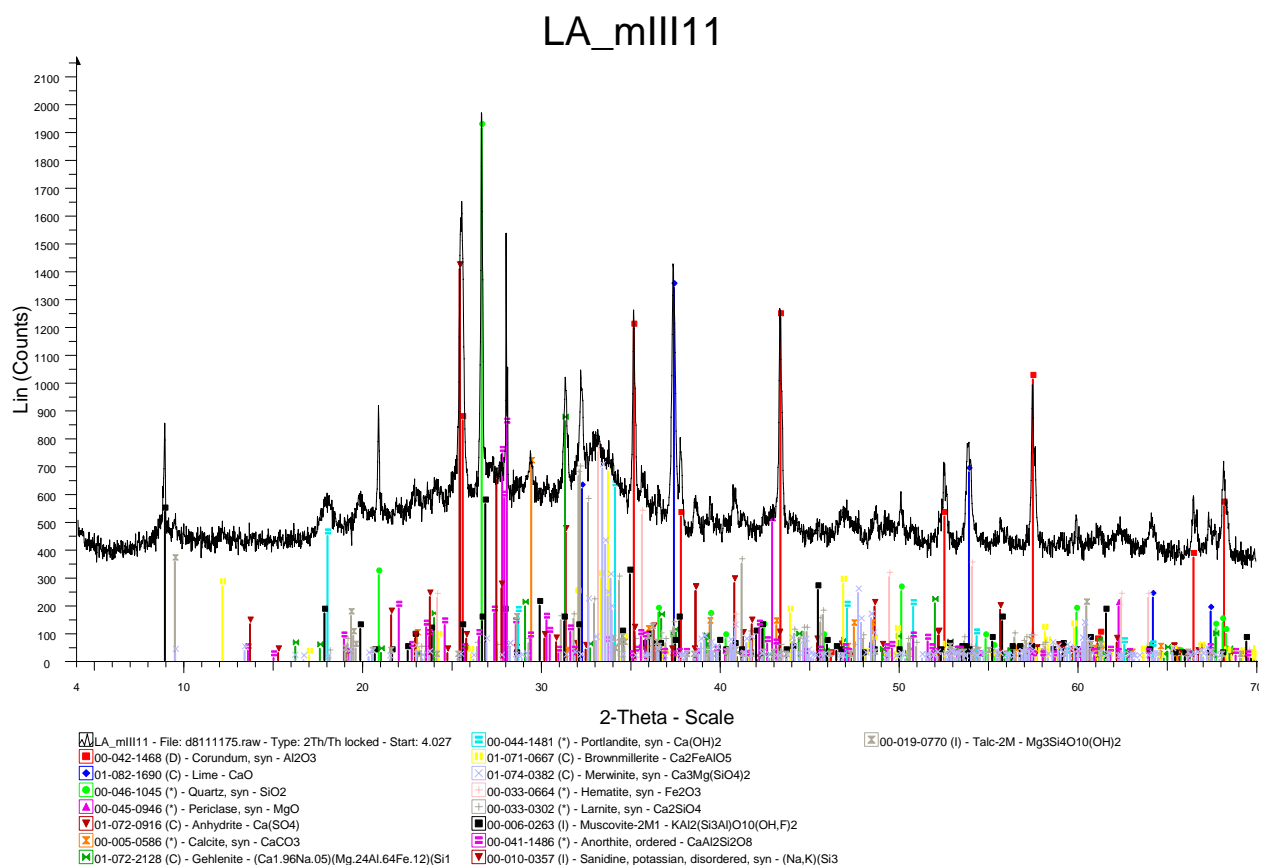
Εικόνα Α.48: Ακτινοδιάγραμμα μνηαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας ΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



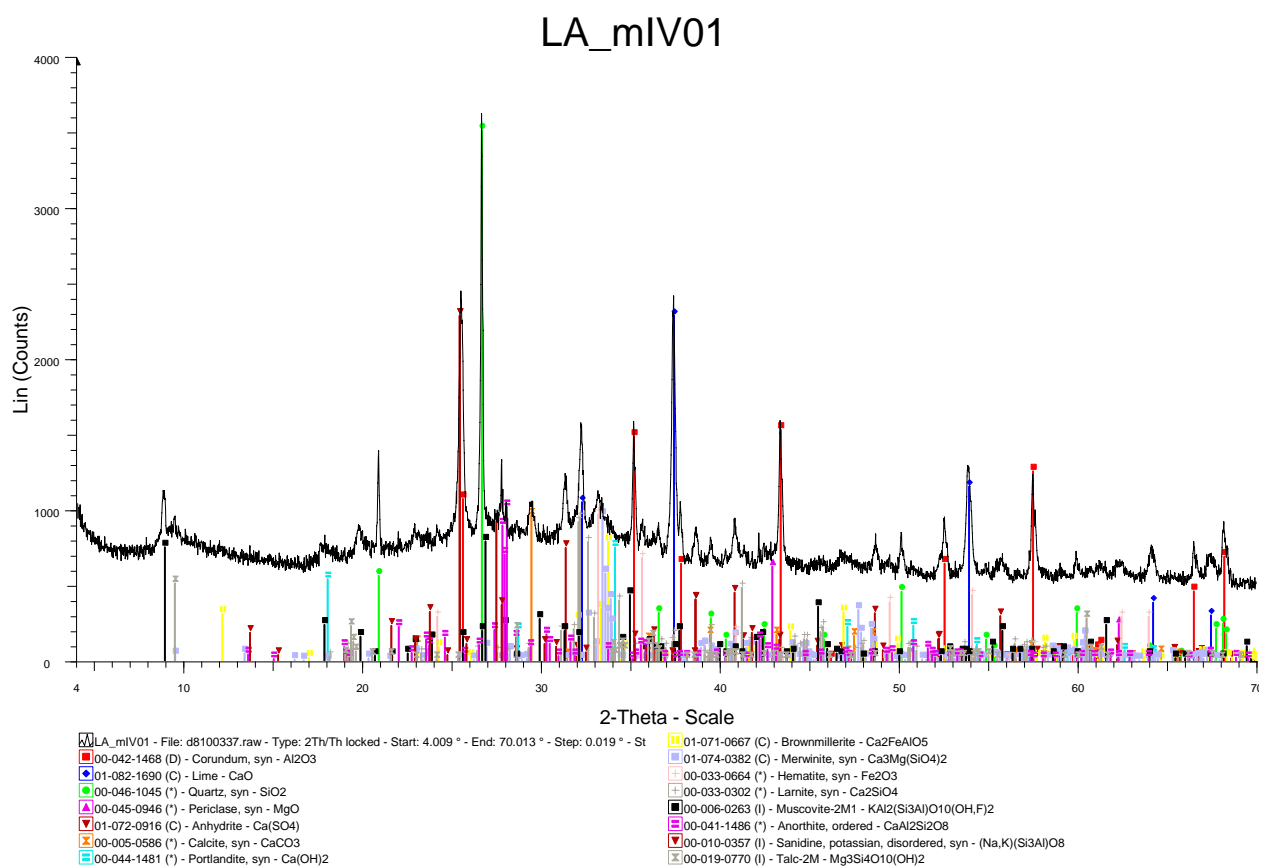
Εικόνα Α.49: Ακτινοδιάγραμμα μνηιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας ΙΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



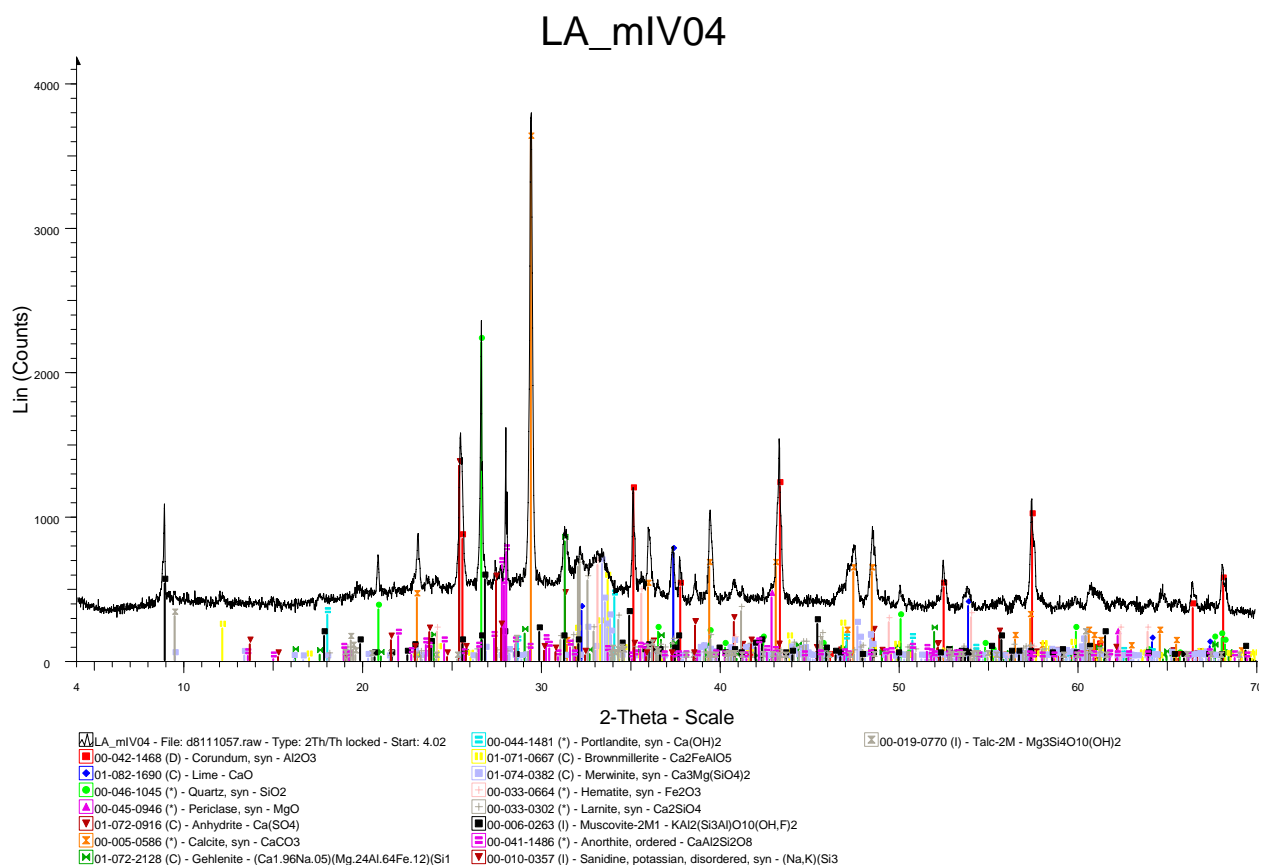
Εικόνα Α.50: Ακτινοδιάγραμμα μνηιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας ΙΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



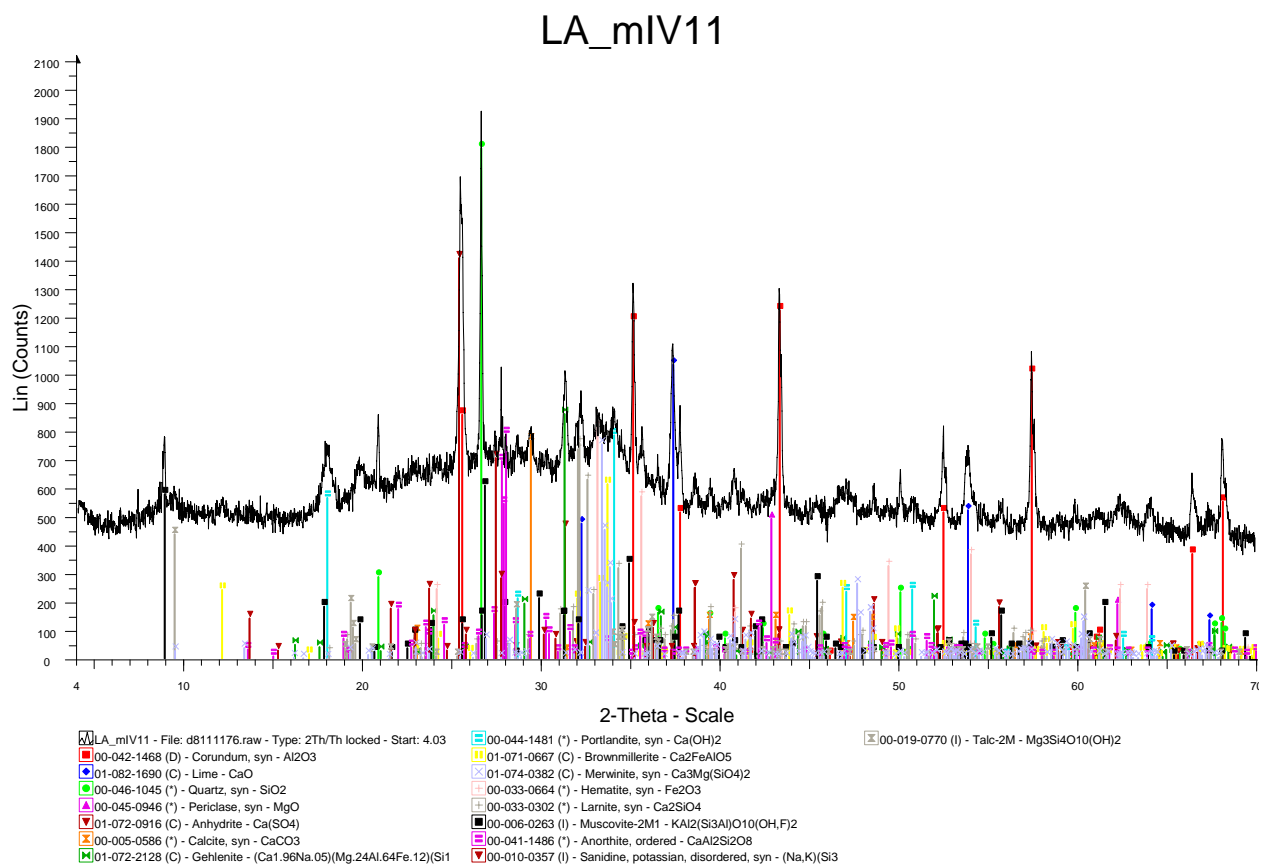
Εικόνα Α.51: Ακτινοδιάγραμμα μνημιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας ΙΙΙ του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



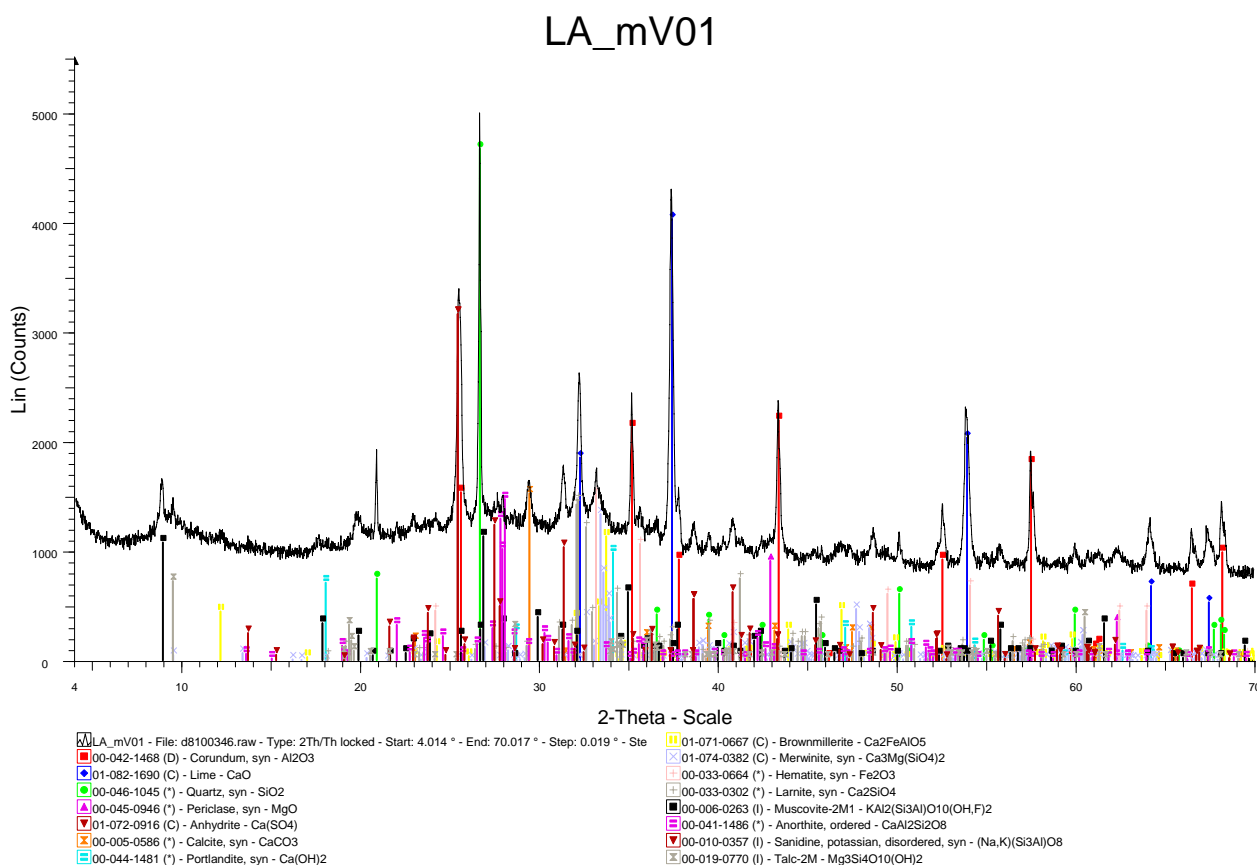
Εικόνα Α.52: Ακτινοδιάγραμμα μνημιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας ΙV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



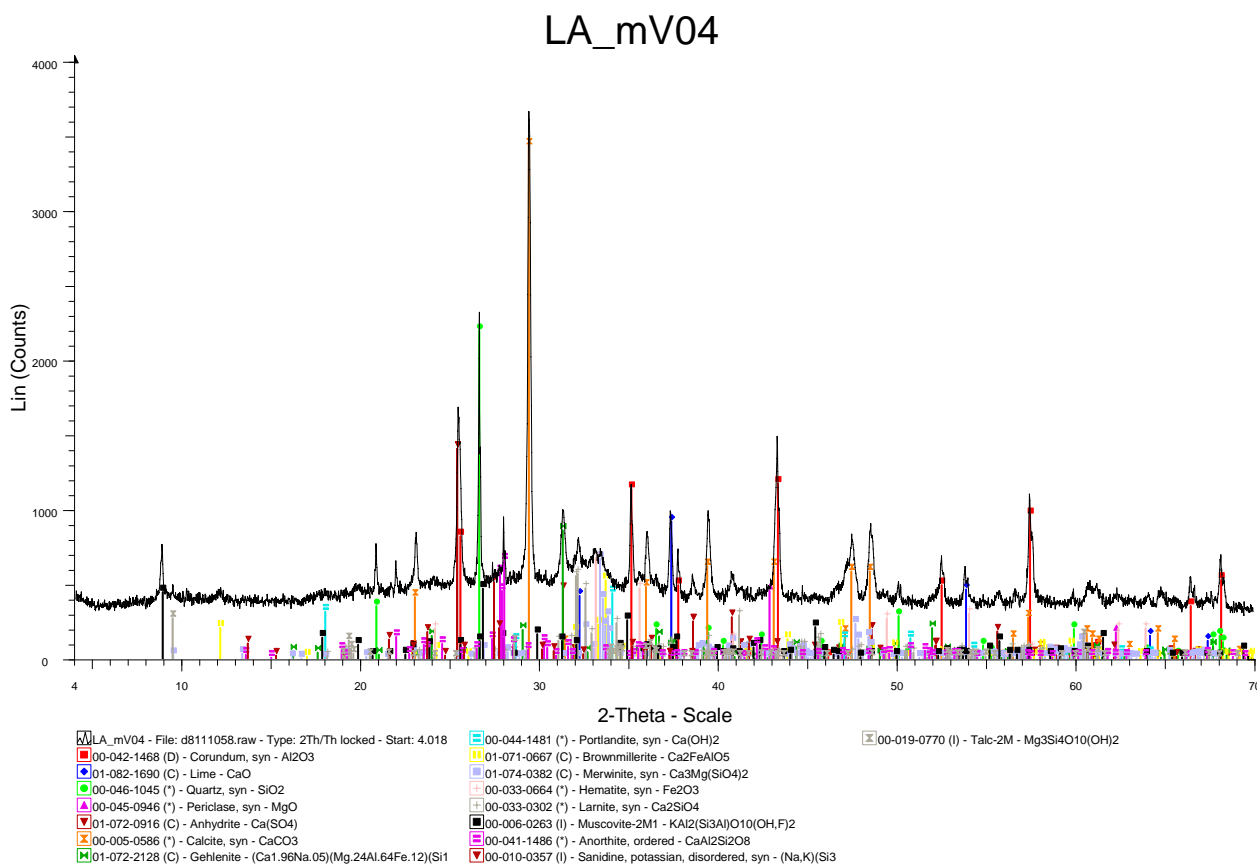
Εικόνα Α.53: Ακτινοδιάγραμμα μνηιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας IV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



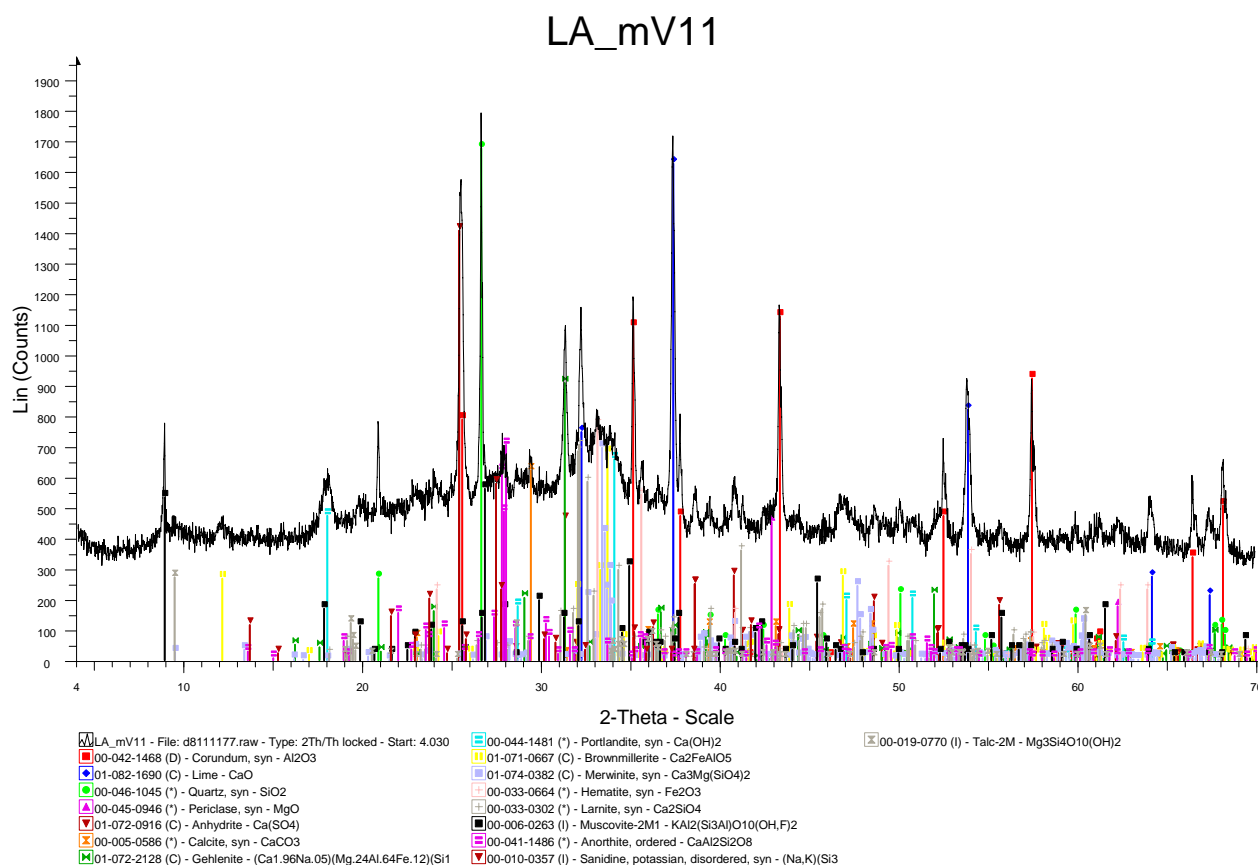
Εικόνα Α.54: Ακτινοδιάγραμμα μνηιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας IV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



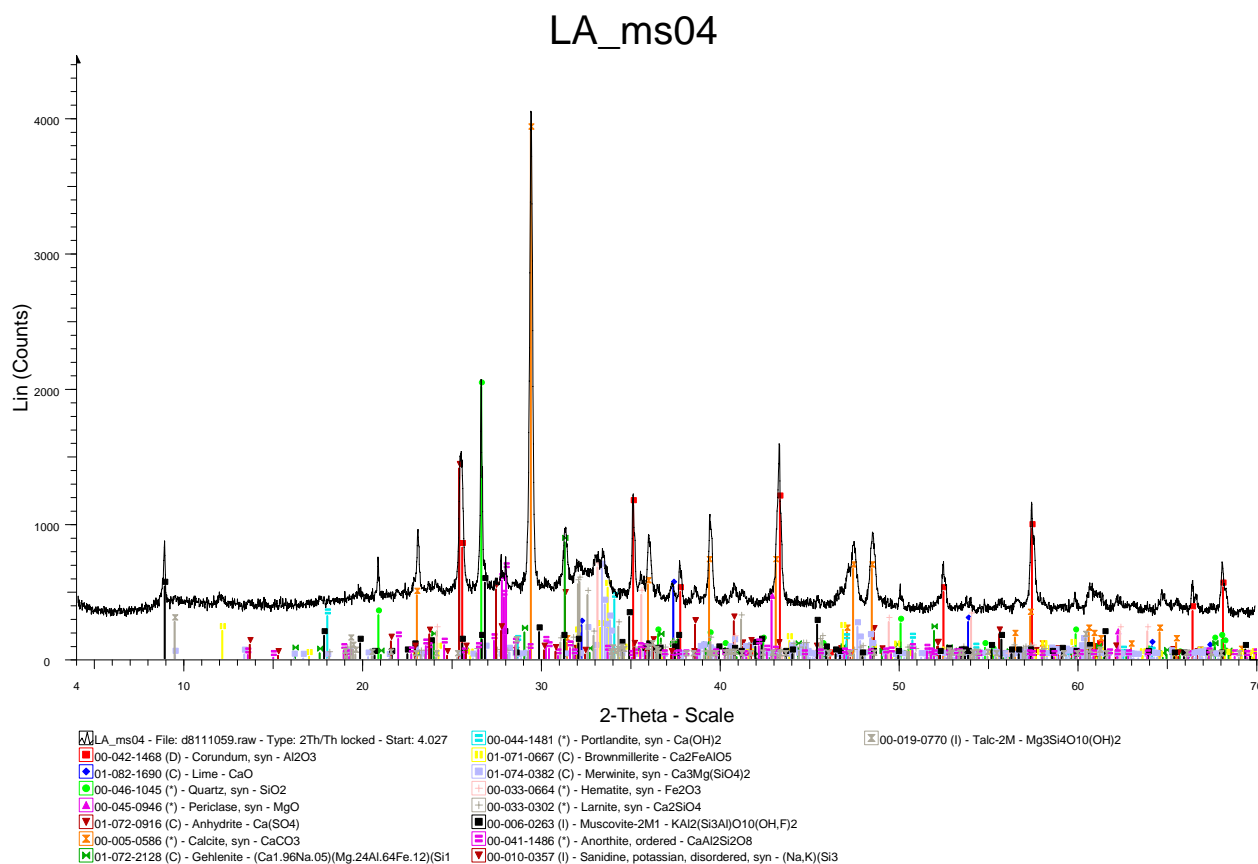
Εικόνα Α.55: Ακτινοδιάγραμμα μνηιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας V του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



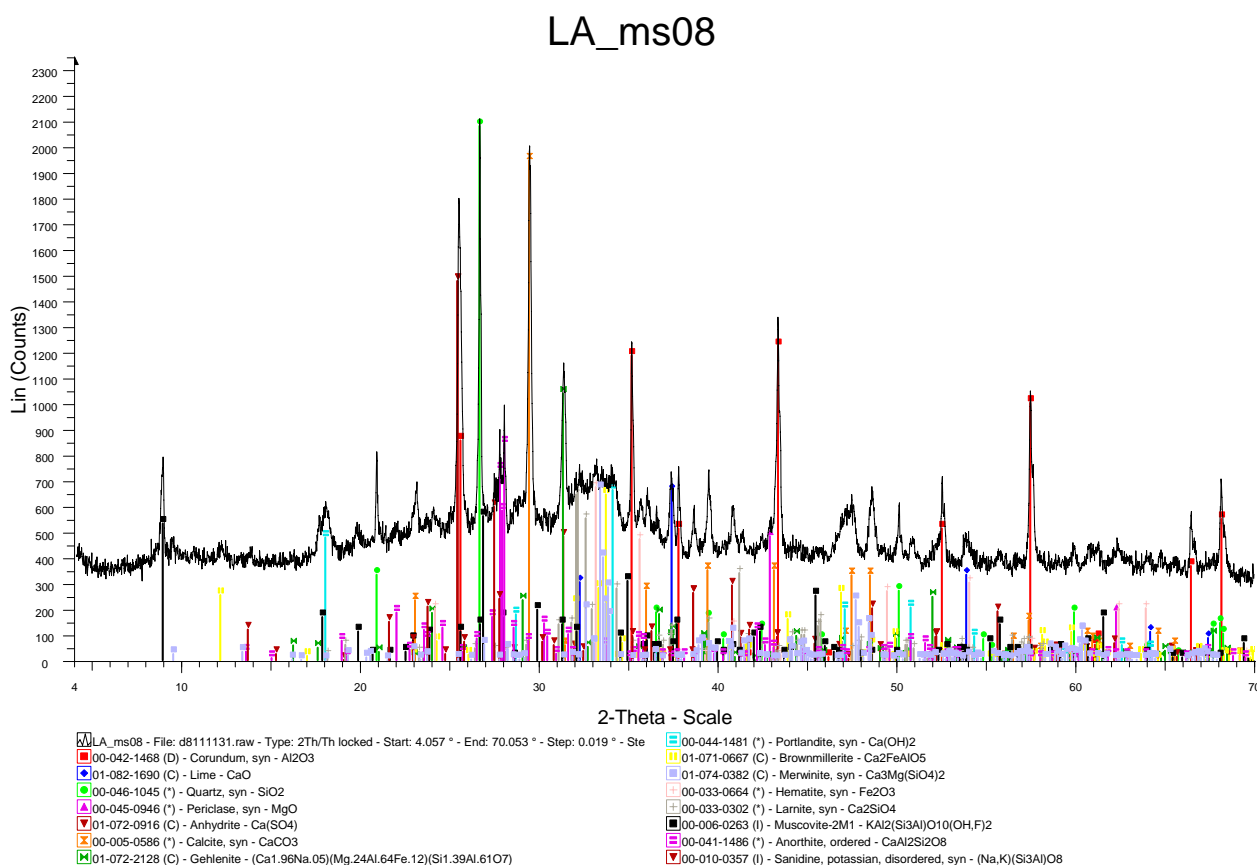
Εικόνα Α.56: Ακτινοδιάγραμμα μνηιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας V του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



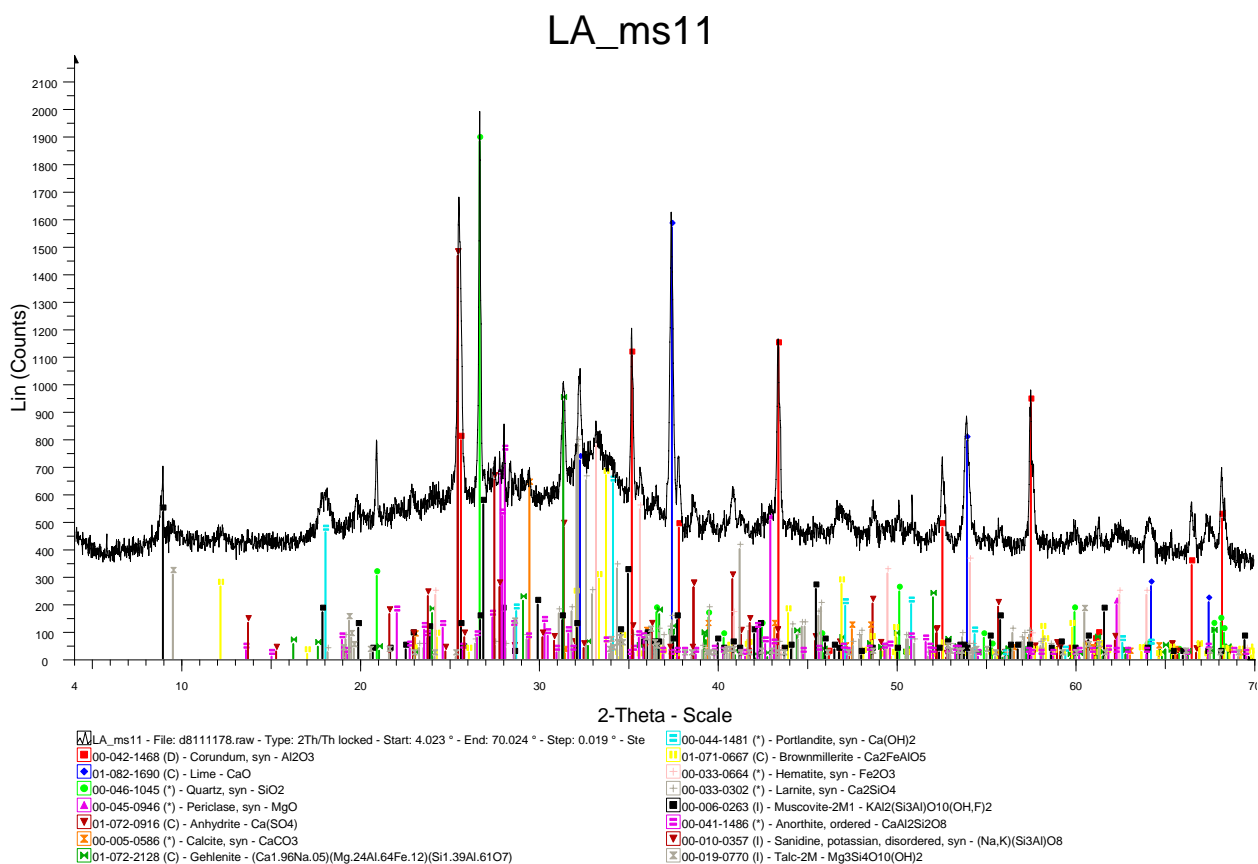
Εικόνα Α.57: Ακτινοδιάγραμμα μηνιαίου δείγματος Ε.Τ. της μονάδας V του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



Εικόνα Α.58: Ακτινοδιάγραμμα μέσου μηνιαίου δείγματος Ε.Τ. του σταθμού του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου

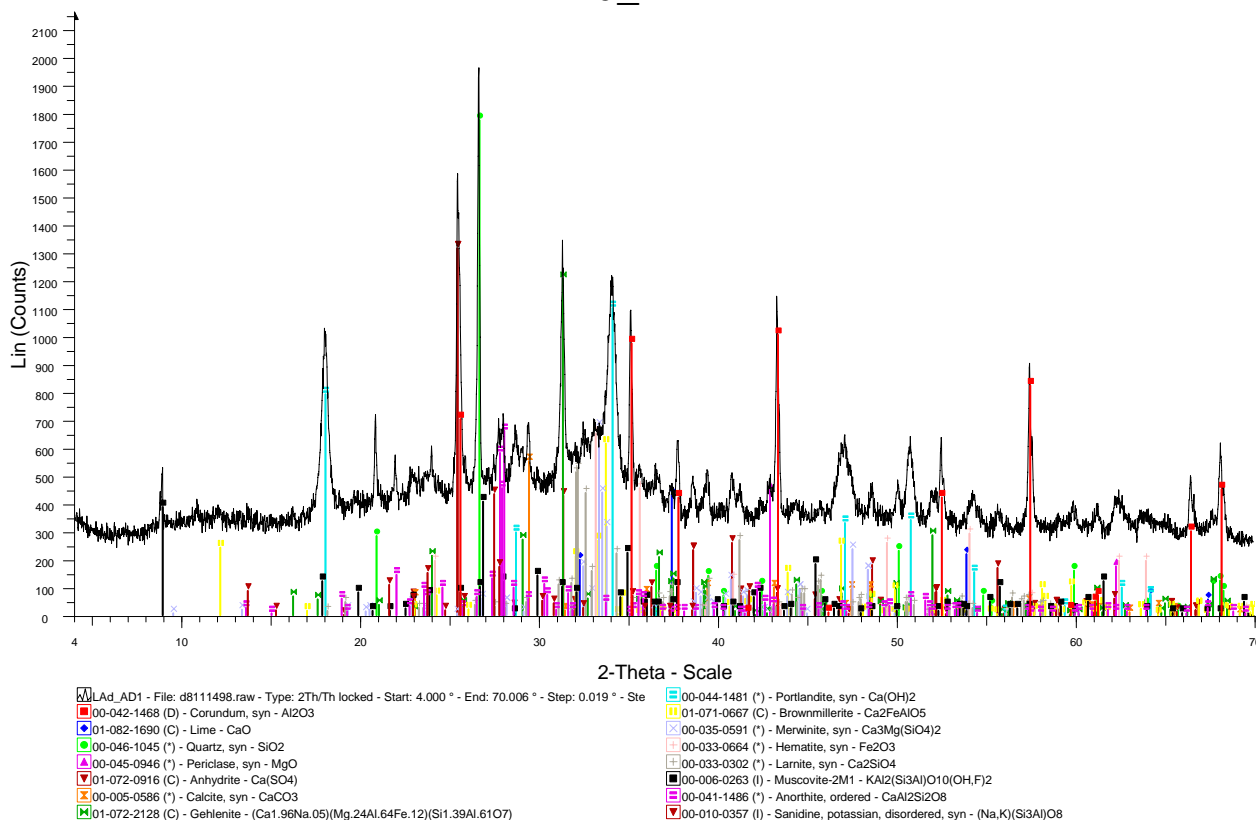


Εικόνα Α.59: Ακτινοδιάγραμμα μέσου μηνιαίου δείγματος Ε.Τ. του σταθμού του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου



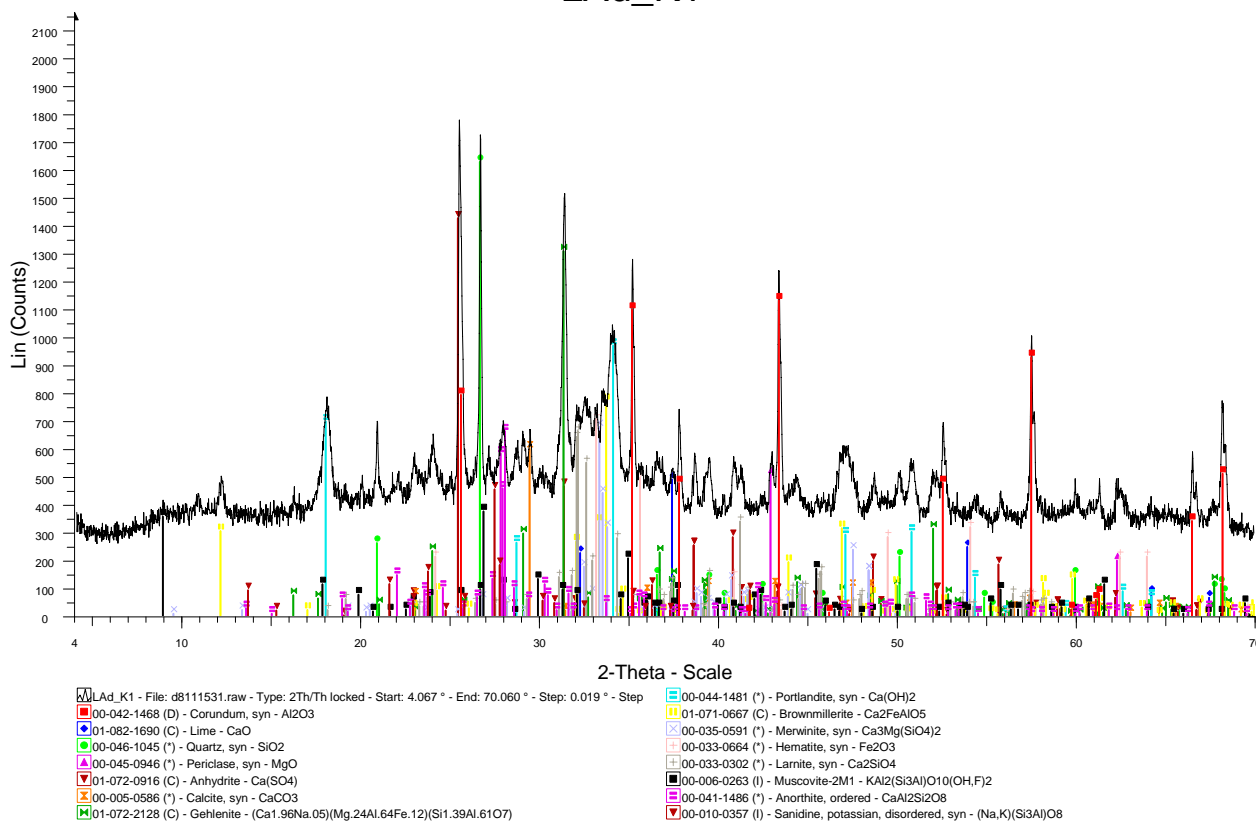
Εικόνα Α.60: Ακτινοδιάγραμμα μέσου μηνιαίου δείγματος Ε.Τ. του σταθμού του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου

## LAd\_AD1



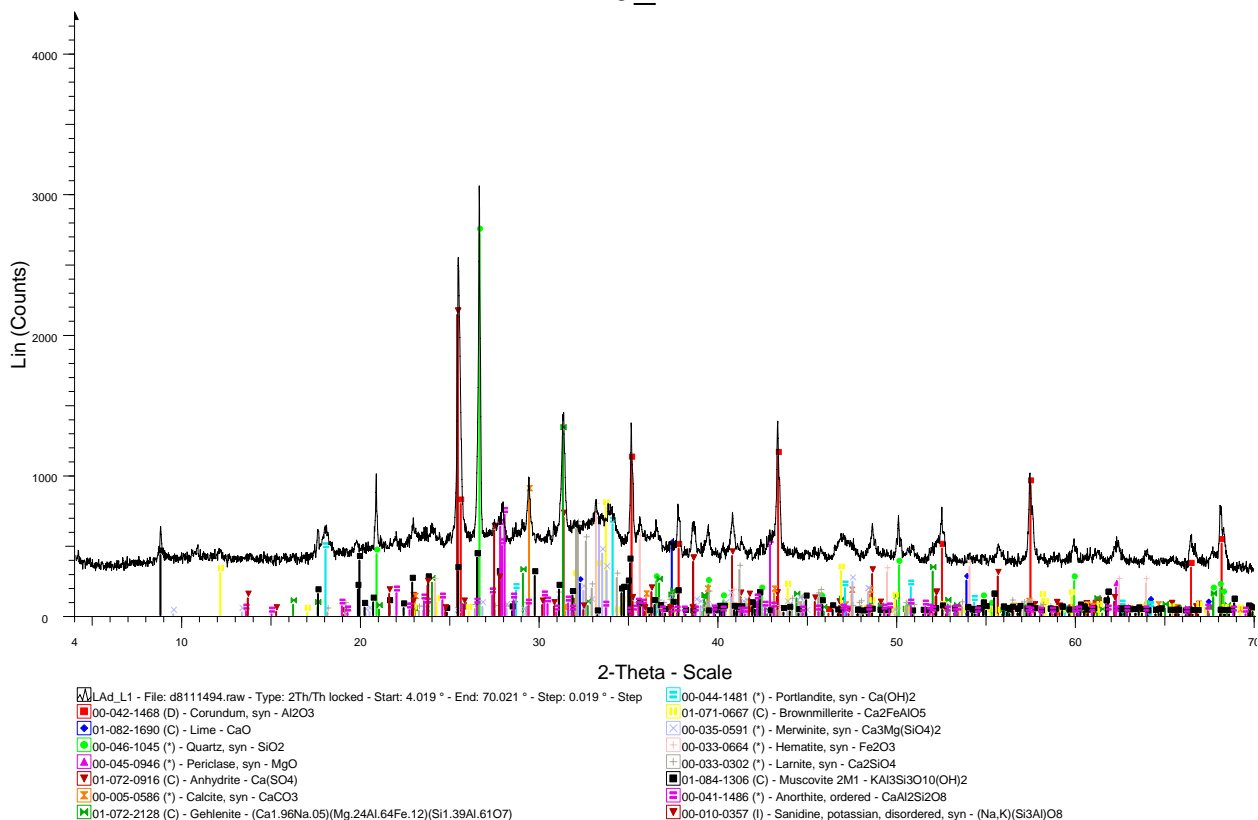
Εικόνα Α.61: Ακτινοδιάγραμμα εβδομαδιαίου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου

## LAd\_K1



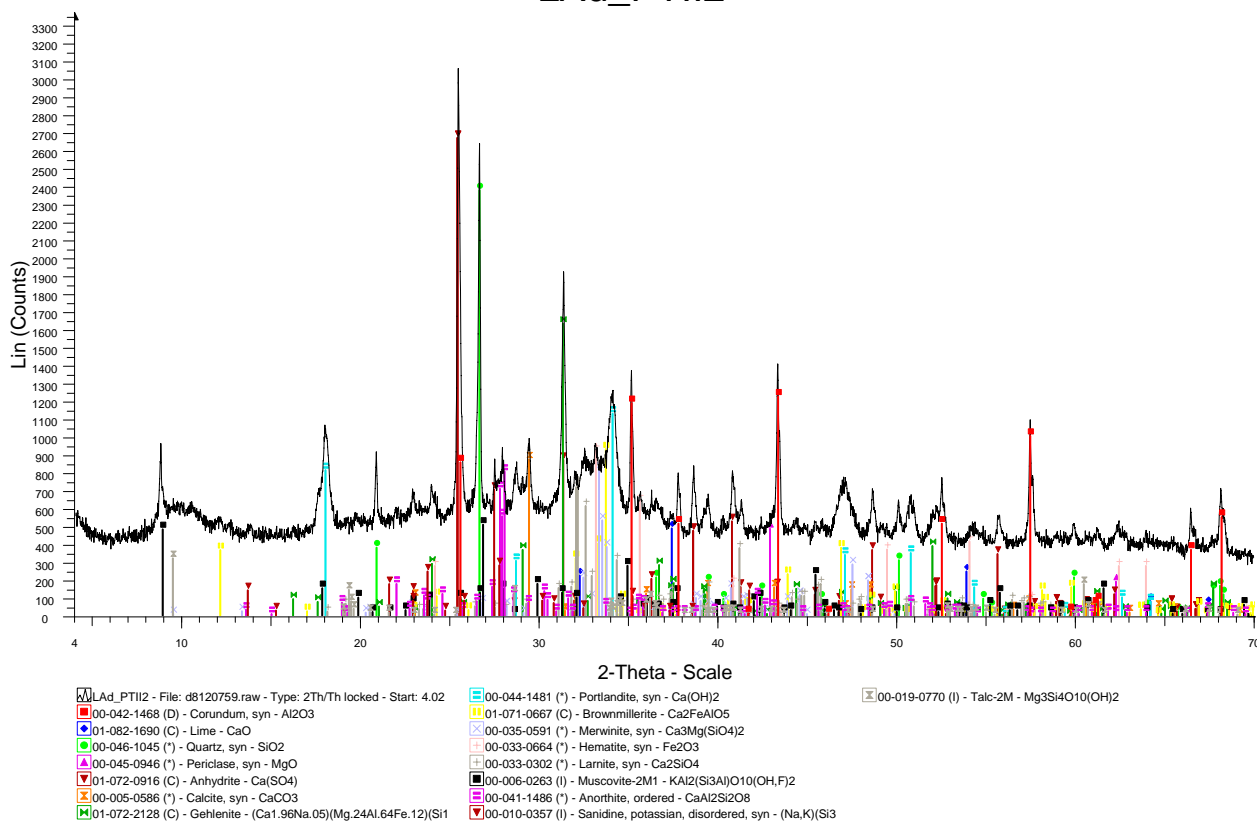
Εικόνα Α.62: Ακτινοδιάγραμμα εβδομαδιαίου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Καρδιάς

## LAd\_L1



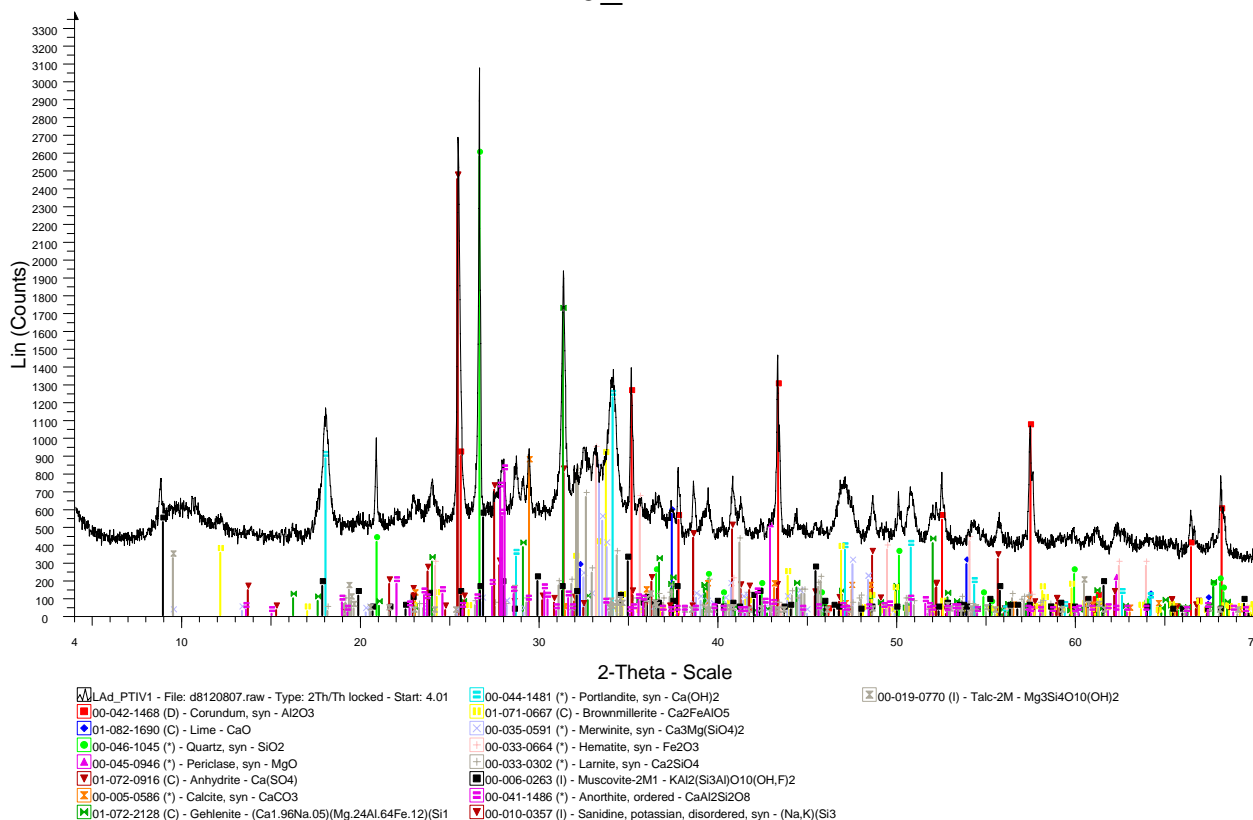
Εικόνα Α.63: Ακτινοδιάγραμμα εβδομαδιαίου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ

## LAd\_PTII2



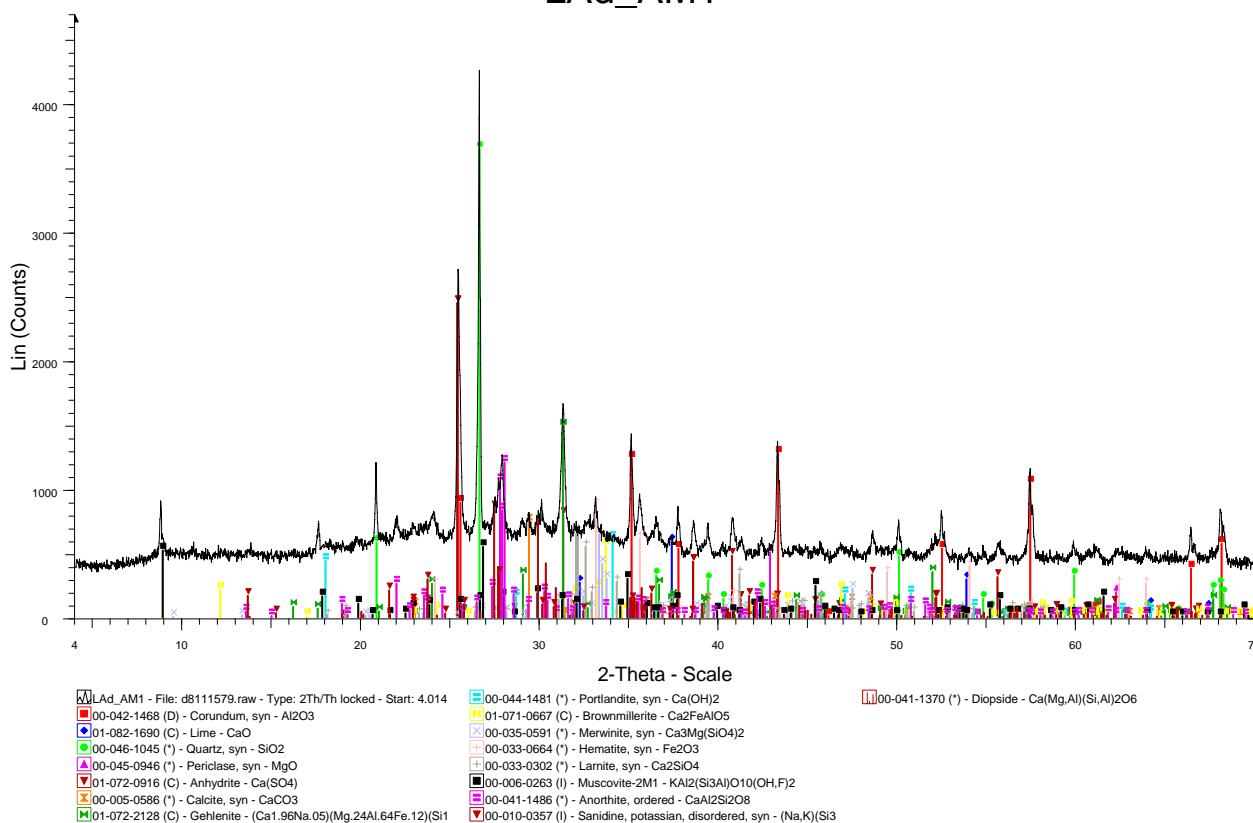
Εικόνα Α.64: Ακτινοδιάγραμμα εβδομαδιαίου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας

## LAd\_PTIV1



Εικόνα Α.65: Ακτινοδιάγραμμα εβδομαδιαίου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας

## LAd\_AM1



Εικόνα Α.66: Ακτινοδιάγραμμα εβδομαδιαίου δείγματος Ε.Τ. του ΑΗΣ Αμυνταίου

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

**Πίνακες αποτελεσμάτων ποσοτικού προσδιορισμού ορυκτολογικών φάσεων και  
χημικών αναλύσεων**

Πίνακας Β.1: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) των δίωρων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπρασουμιλ-λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περικλάστο	Άστριοι	Χαλαζίτης
FA_2h00	26.8 $\pm$ 4.2	10.1 $\pm$ 0.9	8.4 $\pm$ 1.0	5.6 $\pm$ 1.0	6.6 $\pm$ 1.1	3.7 $\pm$ 0.3	20.2 $\pm$ 1.2	1.4 $\pm$ 0.3	2.2 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.7	1.8 $\pm$ 0.4	6.2 $\pm$ 1.1	5.4 $\pm$ 0.8
FA_2h02	20.9 $\pm$ 4.4	11.7 $\pm$ 0.9	8.9 $\pm$ 1.1	4.9 $\pm$ 1.1	7.4 $\pm$ 1.2	4.2 $\pm$ 0.3	23.2 $\pm$ 1.4	1.4 $\pm$ 0.3	2.4 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.7	1.8 $\pm$ 0.3	5.7 $\pm$ 1.0	6.2 $\pm$ 1.0
FA_2h04	40.0 $\pm$ 3.9	9.4 $\pm$ 0.9	5.2 $\pm$ 0.9	3.3 $\pm$ 1.0	4.8 $\pm$ 1.0	2.5 $\pm$ 0.3	12.0 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.8	2.0 $\pm$ 0.8	1.5 $\pm$ 0.3	7.9 $\pm$ 1.1	8.4 $\pm$ 0.8
FA_2h06	39.8 $\pm$ 3.7	10.1 $\pm$ 0.8	5.7 $\pm$ 0.8	3.3 $\pm$ 0.8	4.5 $\pm$ 1.0	2.6 $\pm$ 0.3	13.8 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.2	1.7 $\pm$ 0.9	1.4 $\pm$ 0.7	1.4 $\pm$ 0.3	7.1 $\pm$ 1.1	7.0 $\pm$ 0.7
FA_2h08	41.3 $\pm$ 3.3	8.2 $\pm$ 0.8	7.4 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 1.0	4.5 $\pm$ 0.8	5.5 $\pm$ 0.3	6.7 $\pm$ 0.7	1.3 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.5	2.5 $\pm$ 1.0	1.3 $\pm$ 0.3	9.1 $\pm$ 1.0	7.9 $\pm$ 0.7
FA_2h10	42.1 $\pm$ 4.1	9.4 $\pm$ 0.9	6.9 $\pm$ 1.0	3.1 $\pm$ 0.9	4.7 $\pm$ 1.0	2.7 $\pm$ 0.3	11.1 $\pm$ 1.0	1.3 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.9	2.5 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.3	7.1 $\pm$ 1.2	6.1 $\pm$ 0.8
FA_2h12	41.9 $\pm$ 3.9	8.2 $\pm$ 0.8	6.5 $\pm$ 0.8	3.2 $\pm$ 0.9	4.8 $\pm$ 1.0	2.9 $\pm$ 0.3	14.2 $\pm$ 1.1	1.3 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.7	2.2 $\pm$ 0.8	1.7 $\pm$ 0.3	6.4 $\pm$ 0.7	5.3 $\pm$ 0.6
FA_2h14	40.9 $\pm$ 3.6	7.0 $\pm$ 0.8	8.4 $\pm$ 1.0	3.3 $\pm$ 1.2	4.4 $\pm$ 1.0	2.8 $\pm$ 0.3	13.2 $\pm$ 1.0	1.1 $\pm$ 0.3	1.6 $\pm$ 0.8	1.7 $\pm$ 0.7	1.4 $\pm$ 0.4	7.8 $\pm$ 0.9	6.4 $\pm$ 0.7
FA_2h16	46.3 $\pm$ 3.3	6.7 $\pm$ 0.7	7.1 $\pm$ 0.9	2.8 $\pm$ 0.6	3.1 $\pm$ 0.8	2.5 $\pm$ 0.3	10.2 $\pm$ 0.8	1.3 $\pm$ 0.2	1.0 $\pm$ 0.6	0.9 $\pm$ 0.4	1.2 $\pm$ 0.3	9.7 $\pm$ 1.0	7.2 $\pm$ 0.7
FA_2h18	35.4 $\pm$ 3.9	8.4 $\pm$ 0.7	8.7 $\pm$ 0.9	4.7 $\pm$ 1.0	5.5 $\pm$ 0.9	3.5 $\pm$ 0.3	15.0 $\pm$ 1.0	1.2 $\pm$ 0.2	1.4 $\pm$ 0.6	1.8 $\pm$ 0.7	1.5 $\pm$ 0.3	8.1 $\pm$ 1.1	4.8 $\pm$ 0.6
FA_2h20	43.1 $\pm$ 3.3	6.8 $\pm$ 0.8	8.4 $\pm$ 1.0	3.0 $\pm$ 1.0	3.4 $\pm$ 1.0	2.4 $\pm$ 0.3	9.1 $\pm$ 0.8	1.3 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.7	2.1 $\pm$ 0.7	1.3 $\pm$ 0.3	10.5 $\pm$ 0.9	7.5 $\pm$ 0.8
FA_2h22	25.7 $\pm$ 4.2	9.8 $\pm$ 0.9	10.5 $\pm$ 1.1	7.8 $\pm$ 0.9	8.1 $\pm$ 0.9	10.5 $\pm$ 0.4	6.9 $\pm$ 0.8	1.6 $\pm$ 0.3	3.5 $\pm$ 0.8	1.7 $\pm$ 0.9	2.3 $\pm$ 0.4	7.2 $\pm$ 0.9	4.4 $\pm$ 0.6

Πίνακας Β.2: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) ημερήσιων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πορτικό διασβέστιο (C2S)	Μπραουνμυλ- λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλίστης	Περικλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
FA_dI0	36.0 $\pm$ 3.3	8.4 $\pm$ 0.9	8.1 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 0.9	5.1 $\pm$ 0.9	3.1 $\pm$ 0.3	12.6 $\pm$ 0.9	1.0 $\pm$ 0.3	2.1 $\pm$ 1.0	1.6 $\pm$ 0.6	1.5 $\pm$ 0.3	9.7 $\pm$ 0.9	7.0 $\pm$ 0.7
FA_dI1	44.2 $\pm$ 3.6	6.5 $\pm$ 0.7	7.5 $\pm$ 0.8	3.8 $\pm$ 0.8	5.1 $\pm$ 0.9	3.1 $\pm$ 0.2	10.9 $\pm$ 0.9	1.0 $\pm$ 0.2	1.2 $\pm$ 0.6	1.9 $\pm$ 0.6	1.3 $\pm$ 0.3	7.8 $\pm$ 1.0	5.7 $\pm$ 0.8
FA_dI2	45.8 $\pm$ 3.3	5.5 $\pm$ 0.6	7.8 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 0.9	5.4 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 0.3	11.9 $\pm$ 0.8	1.1 $\pm$ 0.2	1.4 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 0.6	1.7 $\pm$ 0.3	6.8 $\pm$ 0.9	4.0 $\pm$ 0.4
FA_dI3	42.1 $\pm$ 3.9	5.4 $\pm$ 0.6	9.3 $\pm$ 1.0	4.2 $\pm$ 1.1	7.2 $\pm$ 0.9	3.8 $\pm$ 0.3	12.8 $\pm$ 1.1	1.0 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.4	1.0 $\pm$ 0.5	1.7 $\pm$ 0.3	6.2 $\pm$ 1.4	4.4 $\pm$ 0.5
FA_dI4	37.0 $\pm$ 3.9	6.5 $\pm$ 0.7	8.4 $\pm$ 1.0	4.3 $\pm$ 1.2	4.5 $\pm$ 1.0	2.9 $\pm$ 0.3	13.2 $\pm$ 0.9	1.2 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 1.1	2.1 $\pm$ 0.7	1.4 $\pm$ 0.4	10.7 $\pm$ 1.1	6.4 $\pm$ 0.7
FA_dI5	47.1 $\pm$ 3.6	5.5 $\pm$ 0.5	7.6 $\pm$ 0.8	2.2 $\pm$ 0.8	3.9 $\pm$ 1.0	2.4 $\pm$ 0.3	10.8 $\pm$ 0.9	1.1 $\pm$ 0.2	1.0 $\pm$ 0.8	2.5 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 0.3	8.2 $\pm$ 1.0	6.0 $\pm$ 0.8
FA_dI6	34.5 $\pm$ 3.6	7.5 $\pm$ 0.8	9.2 $\pm$ 0.9	3.7 $\pm$ 0.9	5.2 $\pm$ 0.7	3.6 $\pm$ 0.3	17.1 $\pm$ 1.0	1.1 $\pm$ 0.2	1.2 $\pm$ 0.6	1.4 $\pm$ 0.7	1.8 $\pm$ 0.3	8.7 $\pm$ 1.0	5.0 $\pm$ 0.6
FA_dI7	31.7 $\pm$ 3.9	8.1 $\pm$ 0.8	7.8 $\pm$ 0.9	3.6 $\pm$ 0.9	5.2 $\pm$ 1.0	3.6 $\pm$ 0.3	15.7 $\pm$ 1.1	0.9 $\pm$ 0.2	1.6 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.5	1.8 $\pm$ 0.4	10.4 $\pm$ 1.2	8.0 $\pm$ 0.7
FA_dI8	43.8 $\pm$ 3.6	5.9 $\pm$ 0.7	9.5 $\pm$ 1.1	4.0 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 1.0	3.3 $\pm$ 0.3	9.4 $\pm$ 0.9	1.4 $\pm$ 0.3	2.0 $\pm$ 0.7	2.4 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 0.4	8.3 $\pm$ 1.0	3.5 $\pm$ 0.5
FA_dII1	26.9 $\pm$ 3.9	8.9 $\pm$ 0.8	9.7 $\pm$ 1.1	6.1 $\pm$ 1.1	7.6 $\pm$ 1.1	4.1 $\pm$ 0.3	18.8 $\pm$ 1.1	1.3 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.5	1.3 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.3	7.6 $\pm$ 0.9	4.9 $\pm$ 0.6
FA_dII2	37.5 $\pm$ 3.6	9.0 $\pm$ 0.8	7.7 $\pm$ 0.8	2.7 $\pm$ 0.8	7.6 $\pm$ 0.8	3.3 $\pm$ 0.2	17.2 $\pm$ 1.1	1.1 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.6	2.0 $\pm$ 0.8	1.8 $\pm$ 0.3	5.4 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 0.4
FA_dII3	44.2 $\pm$ 3.3	6.5 $\pm$ 0.6	7.4 $\pm$ 0.8	2.2 $\pm$ 0.7	5.0 $\pm$ 0.9	3.0 $\pm$ 0.2	12.9 $\pm$ 0.9	0.9 $\pm$ 0.2	1.0 $\pm$ 0.6	1.2 $\pm$ 0.6	1.9 $\pm$ 0.3	8.3 $\pm$ 1.2	5.5 $\pm$ 0.8
FA_dII4	30.8 $\pm$ 4.2	8.2 $\pm$ 0.8	8.1 $\pm$ 0.9	3.6 $\pm$ 0.9	5.3 $\pm$ 1.0	3.7 $\pm$ 0.3	17.3 $\pm$ 1.0	1.3 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.8	2.8 $\pm$ 0.9	1.9 $\pm$ 0.3	7.9 $\pm$ 1.0	7.3 $\pm$ 0.7
FA_dII5	34.4 $\pm$ 3.9	7.9 $\pm$ 0.9	8.8 $\pm$ 1.0	3.1 $\pm$ 1.0	5.2 $\pm$ 1.0	3.2 $\pm$ 0.3	17.5 $\pm$ 1.1	1.1 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.8	1.7 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 0.3	8.0 $\pm$ 1.0	6.1 $\pm$ 0.7
FA_dII6	26.7 $\pm$ 3.9	7.8 $\pm$ 0.8	8.5 $\pm$ 0.9	4.3 $\pm$ 1.0	5.9 $\pm$ 1.0	4.0 $\pm$ 0.3	21.9 $\pm$ 1.1	1.0 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.6	1.4 $\pm$ 0.4	1.5 $\pm$ 0.2	10.2 $\pm$ 1.1	5.8 $\pm$ 0.8
FA_dII7	24.5 $\pm$ 4.2	8.4 $\pm$ 0.8	8.6 $\pm$ 0.9	4.2 $\pm$ 1.0	5.5 $\pm$ 1.0	4.1 $\pm$ 0.3	18.2 $\pm$ 1.1	0.9 $\pm$ 0.2	1.6 $\pm$ 0.8	2.6 $\pm$ 0.8	2.0 $\pm$ 0.4	11.9 $\pm$ 1.3	7.5 $\pm$ 0.7
FA_dIII1	38.6 $\pm$ 3.6	6.1 $\pm$ 0.7	8.7 $\pm$ 1.0	3.7 $\pm$ 1.0	5.2 $\pm$ 1.0	3.1 $\pm$ 0.3	16.1 $\pm$ 1.0	1.1 $\pm$ 0.2	1.6 $\pm$ 1.0	1.6 $\pm$ 0.9	1.5 $\pm$ 0.3	6.6 $\pm$ 1.2	6.1 $\pm$ 0.7
FA_dIII2	36.4 $\pm$ 3.9	8.0 $\pm$ 0.8	7.7 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 1.0	5.2 $\pm$ 1.0	2.9 $\pm$ 0.3	15.8 $\pm$ 1.1	1.3 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.8	1.7 $\pm$ 0.3	6.9 $\pm$ 1.0	7.7 $\pm$ 0.7
FA_dIV1	34.2 $\pm$ 3.3	7.0 $\pm$ 0.7	9.6 $\pm$ 1.0	5.7 $\pm$ 1.0	9.0 $\pm$ 1.2	6.4 $\pm$ 0.3	12.7 $\pm$ 1.1	1.1 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.5	2.0 $\pm$ 0.4	5.4 $\pm$ 1.1	3.8 $\pm$ 0.6
FA_dIV2	44.2 $\pm$ 3.3	5.4 $\pm$ 0.7	7.2 $\pm$ 0.9	3.9 $\pm$ 0.8	4.2 $\pm$ 0.9	3.1 $\pm$ 0.3	12.1 $\pm$ 0.8	1.1 $\pm$ 0.2	2.0 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.6	1.4 $\pm$ 0.3	8.1 $\pm$ 0.9	6.0 $\pm$ 0.6
FA_dIV3	41.9 $\pm$ 3.6	5.9 $\pm$ 0.7	8.6 $\pm$ 1.0	3.5 $\pm$ 0.9	5.6 $\pm$ 1.0	3.3 $\pm$ 0.3	12.1 $\pm$ 0.9	1.0 $\pm$ 0.2	1.2 $\pm$ 0.8	1.7 $\pm$ 0.7	1.5 $\pm$ 0.4	8.2 $\pm$ 1.0	5.5 $\pm$ 0.6

Πίνακας Β.3: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα Ι).

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπραουνμυλ-λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
FA_mI01	42.5 $\pm$ 3.6	6.0 $\pm$ 0.6	8.0 $\pm$ 1.0	3.7 $\pm$ 1.1	5.8 $\pm$ 1.0	3.2 $\pm$ 0.2	13.8 $\pm$ 0.9	1.0 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.6	1.9 $\pm$ 0.7	1.4 $\pm$ 0.2	7.9 $\pm$ 0.9	3.9 $\pm$ 0.7
FA_mI03	44.6 $\pm$ 3.5	6.1 $\pm$ 0.7	7.0 $\pm$ 0.8	3.4 $\pm$ 1.1	5.2 $\pm$ 1.0	2.9 $\pm$ 0.2	13.8 $\pm$ 0.9	0.9 $\pm$ 0.2	1.0 $\pm$ 0.5	1.4 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.2	7.3 $\pm$ 1.1	4.5 $\pm$ 0.5
FA_mI04	35.7 $\pm$ 3.1	6.6 $\pm$ 0.7	9.2 $\pm$ 1.0	6.1 $\pm$ 1.1	6.3 $\pm$ 0.8	8.3 $\pm$ 0.3	9.5 $\pm$ 0.7	1.2 $\pm$ 0.2	1.5 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 0.6	1.5 $\pm$ 0.2	8.3 $\pm$ 0.9	4.4 $\pm$ 0.6
FA_mI05	33.1 $\pm$ 3.3	7.1 $\pm$ 0.9	8.6 $\pm$ 1.0	5.8 $\pm$ 1.1	7.8 $\pm$ 1.1	7.1 $\pm$ 0.4	8.4 $\pm$ 0.6	1.5 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.8	2.1 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.3	10.8 $\pm$ 1.4	4.0 $\pm$ 0.4
FA_mI06	40.5 $\pm$ 3.4	5.9 $\pm$ 0.7	7.3 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 0.9	5.7 $\pm$ 1.0	4.5 $\pm$ 0.3	15.9 $\pm$ 1.0	0.8 $\pm$ 0.2	2.1 $\pm$ 0.9	1.4 $\pm$ 0.7	2.0 $\pm$ 0.3	7.7 $\pm$ 1.0	2.8 $\pm$ 0.4
FA_mI07	48.3 $\pm$ 3.4	5.6 $\pm$ 0.5	8.0 $\pm$ 0.8	2.8 $\pm$ 1.0	4.2 $\pm$ 0.9	2.7 $\pm$ 0.3	12.0 $\pm$ 0.9	1.1 $\pm$ 0.3	1.1 $\pm$ 0.7	2.5 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 0.3	6.9 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 0.4
FA_mI08	39.1 $\pm$ 3.3	6.1 $\pm$ 0.7	11.0 $\pm$ 1.0	6.3 $\pm$ 1.0	5.6 $\pm$ 1.2	9.3 $\pm$ 0.4	3.3 $\pm$ 0.4	1.2 $\pm$ 0.3	2.2 $\pm$ 1.1	1.8 $\pm$ 0.7	2.0 $\pm$ 0.4	8.4 $\pm$ 0.9	3.7 $\pm$ 0.6
FA_mI09	43.3 $\pm$ 3.4	4.7 $\pm$ 0.6	8.2 $\pm$ 1.0	3.3 $\pm$ 0.8	5.8 $\pm$ 0.7	3.2 $\pm$ 0.3	17.7 $\pm$ 1.1	0.8 $\pm$ 0.2	0.8 $\pm$ 0.3	1.1 $\pm$ 0.6	1.6 $\pm$ 0.2	6.9 $\pm$ 1.0	2.6 $\pm$ 0.3
FA_mI10	43.0 $\pm$ 3.6	5.4 $\pm$ 0.6	9.0 $\pm$ 1.0	3.5 $\pm$ 1.1	7.1 $\pm$ 0.9	5.9 $\pm$ 0.4	11.3 $\pm$ 1.0	0.9 $\pm$ 0.2	1.2 $\pm$ 0.6	1.4 $\pm$ 0.8	1.8 $\pm$ 0.3	6.8 $\pm$ 1.0	2.7 $\pm$ 0.4
FA_mI11	28.9 $\pm$ 4.2	7.2 $\pm$ 0.7	11.1 $\pm$ 1.2	4.9 $\pm$ 1.3	7.7 $\pm$ 1.2	5.6 $\pm$ 0.4	14.8 $\pm$ 1.1	1.4 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.9	2.4 $\pm$ 0.8	1.6 $\pm$ 0.4	9.3 $\pm$ 1.0	3.7 $\pm$ 0.4
FA_mI12	42.7 $\pm$ 3.3	7.2 $\pm$ 0.7	7.3 $\pm$ 0.9	4.8 $\pm$ 1.2	7.0 $\pm$ 1.1	7.9 $\pm$ 0.3	3.5 $\pm$ 0.5	1.4 $\pm$ 0.2	1.5 $\pm$ 0.9	2.0 $\pm$ 0.7	1.7 $\pm$ 0.2	8.0 $\pm$ 0.9	5.0 $\pm$ 0.5

Πίνακας Β.4: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα ΙΙ).

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπρασουμι-λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίτης
FA_mII01	34.3 $\pm$ 3.9	8.6 $\pm$ 0.8	9.3 $\pm$ 1.0	4.2 $\pm$ 1.0	6.7 $\pm$ 1.1	9.5 $\pm$ 0.4	5.1 $\pm$ 0.5	1.4 $\pm$ 0.3	1.9 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.9	2.3 $\pm$ 0.5	8.7 $\pm$ 1.2	6.7 $\pm$ 1.0
FA_mII02	33.9 $\pm$ 3.6	6.9 $\pm$ 0.7	8.9 $\pm$ 1.0	3.9 $\pm$ 1.0	5.3 $\pm$ 0.9	3.9 $\pm$ 0.3	15.9 $\pm$ 1.0	1.0 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.9	2.2 $\pm$ 0.8	1.9 $\pm$ 0.3	9.0 $\pm$ 1.1	5.4 $\pm$ 0.9
FA_mII03	24.4 $\pm$ 4.5	8.0 $\pm$ 0.9	9.7 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 1.0	6.2 $\pm$ 0.8	5.4 $\pm$ 0.3	15.9 $\pm$ 1.0	1.1 $\pm$ 0.3	1.6 $\pm$ 0.8	3.4 $\pm$ 0.9	1.9 $\pm$ 0.3	10.7 $\pm$ 1.1	6.6 $\pm$ 0.7
FA_mII04	30.4 $\pm$ 4.5	7.2 $\pm$ 0.9	11.3 $\pm$ 1.2	7.8 $\pm$ 1.2	8.7 $\pm$ 1.0	9.2 $\pm$ 0.4	5.3 $\pm$ 0.6	1.6 $\pm$ 0.3	2.6 $\pm$ 0.8	2.0 $\pm$ 1.1	2.3 $\pm$ 0.3	6.9 $\pm$ 1.2	4.7 $\pm$ 0.9
FA_mII05	39.5 $\pm$ 3.6	6.7 $\pm$ 0.7	9.6 $\pm$ 1.0	4.3 $\pm$ 1.0	5.3 $\pm$ 1.0	8.2 $\pm$ 0.3	7.0 $\pm$ 0.7	1.5 $\pm$ 0.3	2.4 $\pm$ 0.9	2.4 $\pm$ 0.7	1.3 $\pm$ 0.3	7.9 $\pm$ 1.1	3.9 $\pm$ 0.7
FA_mII06	27.9 $\pm$ 3.6	8.3 $\pm$ 0.9	10.3 $\pm$ 1.1	7.2 $\pm$ 1.3	6.5 $\pm$ 0.8	11.8 $\pm$ 0.4	7.1 $\pm$ 0.8	1.0 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 0.7	1.5 $\pm$ 0.6	2.0 $\pm$ 0.3	9.8 $\pm$ 1.3	4.7 $\pm$ 0.8
FA_mII07	45.6 $\pm$ 3.6	7.2 $\pm$ 0.7	6.9 $\pm$ 0.9	2.2 $\pm$ 0.8	4.6 $\pm$ 0.9	2.8 $\pm$ 0.3	14.2 $\pm$ 1.0	1.1 $\pm$ 0.3	0.8 $\pm$ 0.4	1.8 $\pm$ 0.8	1.5 $\pm$ 0.3	7.6 $\pm$ 1.0	3.7 $\pm$ 0.4
FA_mII08	32.9 $\pm$ 3.6	7.2 $\pm$ 0.8	10.1 $\pm$ 1.0	5.8 $\pm$ 1.1	7.0 $\pm$ 1.1	8.8 $\pm$ 0.4	4.5 $\pm$ 0.4	1.0 $\pm$ 0.3	2.7 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 0.7	2.1 $\pm$ 0.3	12.4 $\pm$ 1.0	4.1 $\pm$ 0.6
FA_mII09	25.0 $\pm$ 4.2	8.4 $\pm$ 0.8	11.1 $\pm$ 1.0	9.1 $\pm$ 1.2	6.1 $\pm$ 0.9	9.4 $\pm$ 0.4	11.9 $\pm$ 1.0	0.9 $\pm$ 0.3	0.8 $\pm$ 0.5	1.5 $\pm$ 0.7	1.8 $\pm$ 0.3	10.2 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 0.3
FA_mII10	30.9 $\pm$ 3.9	7.5 $\pm$ 0.8	10.7 $\pm$ 1.1	4.9 $\pm$ 1.2	6.8 $\pm$ 0.9	5.5 $\pm$ 0.3	15.4 $\pm$ 1.0	1.2 $\pm$ 0.2	1.0 $\pm$ 0.6	1.9 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 0.4	8.4 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 0.6
FA_mII11	28.9 $\pm$ 3.3	7.9 $\pm$ 0.7	9.8 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 1.1	7.5 $\pm$ 0.8	4.9 $\pm$ 0.3	19.1 $\pm$ 1.0	1.0 $\pm$ 0.2	1.5 $\pm$ 0.5	1.7 $\pm$ 0.6	1.7 $\pm$ 0.3	7.8 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 0.5
FA_mII12	45.5 $\pm$ 3.3	5.9 $\pm$ 0.8	6.5 $\pm$ 0.8	2.2 $\pm$ 0.8	3.9 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 0.2	15.0 $\pm$ 1.0	1.0 $\pm$ 0.2	1.9 $\pm$ 0.7	1.4 $\pm$ 0.9	1.8 $\pm$ 0.3	7.4 $\pm$ 1.0	4.1 $\pm$ 0.4

Πίνακας Β.5: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα ΙΙΙ).

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πορτικό διασβέστιο (C2S)	Μπραουνμυλ-λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίτας
FA_mIII01	33.2 $\pm$ 3.6	8.0 $\pm$ 0.8	9.0 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 1.0	7.5 $\pm$ 0.9	8.8 $\pm$ 0.4	7.3 $\pm$ 0.8	1.3 $\pm$ 0.3	1.9 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.5	2.1 $\pm$ 0.4	9.7 $\pm$ 1.2	5.2 $\pm$ 0.7
FA_mIII02	34.2 $\pm$ 3.9	7.8 $\pm$ 0.8	9.2 $\pm$ 1.2	5.9 $\pm$ 1.2	6.9 $\pm$ 1.3	6.8 $\pm$ 0.3	9.2 $\pm$ 0.9	0.9 $\pm$ 0.3	2.1 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.8	1.6 $\pm$ 0.4	9.4 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 0.7
FA_mIII03	31.1 $\pm$ 3.6	7.9 $\pm$ 0.8	8.2 $\pm$ 0.9	5.1 $\pm$ 1.1	6.5 $\pm$ 0.7	3.7 $\pm$ 0.3	18.3 $\pm$ 1.0	0.8 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.7	1.8 $\pm$ 0.6	1.6 $\pm$ 0.3	9.7 $\pm$ 0.9	4.2 $\pm$ 0.6
FA_mIII04	25.6 $\pm$ 4.2	9.2 $\pm$ 0.9	9.3 $\pm$ 1.0	4.9 $\pm$ 1.1	7.3 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 0.3	19.2 $\pm$ 1.1	1.1 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.4	8.4 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 0.6
FA_mIII05	38.7 $\pm$ 3.3	7.4 $\pm$ 0.8	9.4 $\pm$ 1.0	5.0 $\pm$ 1.1	6.4 $\pm$ 1.1	9.6 $\pm$ 0.3	4.2 $\pm$ 0.4	1.3 $\pm$ 0.3	2.3 $\pm$ 1.1	1.8 $\pm$ 0.4	1.6 $\pm$ 0.2	8.8 $\pm$ 1.1	3.5 $\pm$ 0.3
FA_mIII06	33.6 $\pm$ 3.6	7.5 $\pm$ 0.8	9.3 $\pm$ 0.9	5.2 $\pm$ 1.1	6.7 $\pm$ 1.0	6.8 $\pm$ 0.3	12.8 $\pm$ 0.9	1.0 $\pm$ 0.2	1.5 $\pm$ 0.7	2.4 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 0.3	7.1 $\pm$ 1.1	4.7 $\pm$ 0.7
FA_mIII07	28.4 $\pm$ 3.9	8.4 $\pm$ 0.8	11.0 $\pm$ 1.0	6.1 $\pm$ 1.1	5.6 $\pm$ 0.8	4.8 $\pm$ 0.3	15.8 $\pm$ 1.1	1.0 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.8	2.1 $\pm$ 0.8	1.5 $\pm$ 0.4	9.2 $\pm$ 1.1	4.4 $\pm$ 0.4
FA_mIII08	33.0 $\pm$ 3.3	7.0 $\pm$ 0.8	10.7 $\pm$ 1.0	7.9 $\pm$ 1.2	5.4 $\pm$ 0.7	9.9 $\pm$ 0.3	5.9 $\pm$ 0.7	1.3 $\pm$ 0.3	2.3 $\pm$ 0.7	2.7 $\pm$ 0.6	1.7 $\pm$ 0.3	7.8 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 0.6
FA_mIII09	31.4 $\pm$ 3.6	7.8 $\pm$ 0.8	10.9 $\pm$ 1.0	6.1 $\pm$ 1.1	7.5 $\pm$ 0.8	13.0 $\pm$ 0.4	3.9 $\pm$ 0.5	1.5 $\pm$ 0.3	2.3 $\pm$ 0.8	1.6 $\pm$ 0.6	2.1 $\pm$ 0.3	8.0 $\pm$ 1.0	3.9 $\pm$ 0.6
FA_mIII10	28.1 $\pm$ 3.6	7.3 $\pm$ 0.7	9.9 $\pm$ 1.0	6.2 $\pm$ 1.0	6.1 $\pm$ 0.9	2.9 $\pm$ 0.3	24.2 $\pm$ 1.2	1.2 $\pm$ 0.2	1.0 $\pm$ 0.6	1.1 $\pm$ 0.4	1.7 $\pm$ 0.3	6.6 $\pm$ 1.0	3.7 $\pm$ 0.6
FA_mIII11	20.7 $\pm$ 5.1	9.6 $\pm$ 1.0	10.7 $\pm$ 1.1	7.3 $\pm$ 1.1	7.1 $\pm$ 1.4	8.0 $\pm$ 0.4	15.1 $\pm$ 1.3	0.8 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.5	11.4 $\pm$ 1.3	4.7 $\pm$ 0.4
FA_mIII12	35.7 $\pm$ 3.6	7.3 $\pm$ 0.7	7.0 $\pm$ 0.9	4.1 $\pm$ 0.9	4.6 $\pm$ 0.9	3.3 $\pm$ 0.3	20.3 $\pm$ 1.1	1.1 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.6	1.1 $\pm$ 0.7	1.5 $\pm$ 0.3	8.6 $\pm$ 1.0	4.3 $\pm$ 0.7

Πίνακας Β.6: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα IV).

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πορτικό διασβέστο (C2S)	Μπραουνμυλ-λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
FA_mIV01	35.0 $\pm$ 3.6	6.5 $\pm$ 0.7	9.1 $\pm$ 1.0	4.0 $\pm$ 1.0	5.3 $\pm$ 1.0	3.3 $\pm$ 0.3	14.7 $\pm$ 0.9	1.0 $\pm$ 0.2	2.2 $\pm$ 0.9	2.1 $\pm$ 0.6	1.9 $\pm$ 0.3	8.6 $\pm$ 1.0	6.3 $\pm$ 0.9
FA_mIV02	34.9 $\pm$ 3.9	7.5 $\pm$ 0.8	10.0 $\pm$ 1.0	5.9 $\pm$ 1.1	5.8 $\pm$ 1.0	8.2 $\pm$ 0.3	4.1 $\pm$ 0.3	0.8 $\pm$ 0.3	2.8 $\pm$ 0.7	1.1 $\pm$ 0.6	2.2 $\pm$ 0.3	10.9 $\pm$ 1.2	5.8 $\pm$ 0.9
FA_mIV03	35.4 $\pm$ 3.3	6.2 $\pm$ 0.7	9.4 $\pm$ 0.9	3.6 $\pm$ 1.0	6.0 $\pm$ 1.0	2.9 $\pm$ 0.3	19.5 $\pm$ 1.1	1.1 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.7	2.7 $\pm$ 0.7	2.0 $\pm$ 0.3	6.3 $\pm$ 0.7	3.1 $\pm$ 0.3
FA_mIV04	29.9 $\pm$ 3.6	7.2 $\pm$ 0.8	9.5 $\pm$ 1.0	4.8 $\pm$ 1.1	6.0 $\pm$ 1.0	4.2 $\pm$ 0.3	18.8 $\pm$ 1.0	1.0 $\pm$ 0.2	1.5 $\pm$ 0.9	2.2 $\pm$ 0.7	1.3 $\pm$ 0.4	9.2 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 0.6
FA_mIV05	29.3 $\pm$ 3.6	8.1 $\pm$ 0.8	10.8 $\pm$ 1.1	4.9 $\pm$ 1.1	7.9 $\pm$ 1.1	7.4 $\pm$ 0.4	12.0 $\pm$ 0.8	1.3 $\pm$ 0.3	2.1 $\pm$ 0.9	2.1 $\pm$ 0.7	1.5 $\pm$ 0.4	8.1 $\pm$ 1.0	4.5 $\pm$ 0.8
FA_mIV06	29.2 $\pm$ 3.9	8.6 $\pm$ 0.9	8.9 $\pm$ 1.0	6.3 $\pm$ 1.1	7.4 $\pm$ 1.1	10.9 $\pm$ 0.5	3.5 $\pm$ 0.5	1.3 $\pm$ 0.3	3.2 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 0.6	1.7 $\pm$ 0.4	12.3 $\pm$ 1.2	3.3 $\pm$ 0.3
FA_mIV07	35.0 $\pm$ 3.9	7.6 $\pm$ 0.8	11.7 $\pm$ 1.2	6.7 $\pm$ 1.2	5.8 $\pm$ 0.9	9.9 $\pm$ 0.4	3.6 $\pm$ 0.6	1.3 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.9	1.9 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.4	9.1 $\pm$ 1.0	4.0 $\pm$ 0.7
FA_mIV08	37.6 $\pm$ 3.6	4.8 $\pm$ 0.7	12.1 $\pm$ 1.1	5.3 $\pm$ 1.1	5.4 $\pm$ 0.7	8.0 $\pm$ 0.3	3.4 $\pm$ 0.6	1.6 $\pm$ 0.3	2.3 $\pm$ 0.9	1.1 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 0.2	11.4 $\pm$ 1.1	5.1 $\pm$ 0.6
FA_mIV09	33.7 $\pm$ 3.6	6.6 $\pm$ 0.7	9.3 $\pm$ 1.0	3.5 $\pm$ 1.0	6.4 $\pm$ 0.9	3.5 $\pm$ 0.3	21.3 $\pm$ 1.1	1.1 $\pm$ 0.3	1.5 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.8	1.7 $\pm$ 0.3	6.8 $\pm$ 1.1	2.8 $\pm$ 0.3
FA_mIV10	31.4 $\pm$ 3.6	6.2 $\pm$ 0.7	10.1 $\pm$ 1.0	4.0 $\pm$ 0.9	6.2 $\pm$ 1.1	3.7 $\pm$ 0.3	21.0 $\pm$ 1.1	1.3 $\pm$ 0.2	1.7 $\pm$ 0.9	2.2 $\pm$ 0.7	1.5 $\pm$ 0.4	8.1 $\pm$ 1.0	2.6 $\pm$ 0.3
FA_mIV11	32.9 $\pm$ 3.9	6.5 $\pm$ 0.7	9.7 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 0.9	6.2 $\pm$ 1.0	4.1 $\pm$ 0.3	17.0 $\pm$ 1.0	1.2 $\pm$ 0.2	1.6 $\pm$ 0.9	2.4 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.3	8.6 $\pm$ 1.2	3.7 $\pm$ 0.8

Πίνακας Β.7: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μέσο δείγμα σταθμού).

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπραουνμυλ-λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεστίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίτας
FA_ms01	30.2 $\pm$ 4.2	6.8 $\pm$ 0.8	9.4 $\pm$ 1.1	5.1 $\pm$ 1.1	6.3 $\pm$ 1.1	3.9 $\pm$ 0.3	17.4 $\pm$ 1.1	1.2 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.8	2.1 $\pm$ 0.8	1.8 $\pm$ 0.3	8.8 $\pm$ 1.1	5.2 $\pm$ 0.7
FA_ms02	34.0 $\pm$ 3.8	6.8 $\pm$ 0.7	8.6 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 0.9	6.7 $\pm$ 0.9	3.2 $\pm$ 0.3	18.0 $\pm$ 1.1	0.7 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.8	1.0 $\pm$ 0.4	1.8 $\pm$ 0.4	9.0 $\pm$ 1.0	4.6 $\pm$ 0.7
FA_ms03	37.0 $\pm$ 3.6	7.9 $\pm$ 0.8	9.5 $\pm$ 1.0	5.0 $\pm$ 1.0	6.5 $\pm$ 0.9	8.9 $\pm$ 0.3	3.7 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.3	2.4 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.8	2.3 $\pm$ 0.3	7.8 $\pm$ 1.3	6.2 $\pm$ 0.8
FA_ms04	24.1 $\pm$ 4.5	7.7 $\pm$ 0.9	10.1 $\pm$ 1.2	5.4 $\pm$ 1.2	7.0 $\pm$ 1.1	3.7 $\pm$ 0.3	23.8 $\pm$ 1.4	1.0 $\pm$ 0.3	1.1 $\pm$ 0.7	1.7 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.3	8.4 $\pm$ 1.0	4.3 $\pm$ 0.8
FA_ms05	29.4 $\pm$ 3.9	7.5 $\pm$ 0.7	10.5 $\pm$ 1.0	4.2 $\pm$ 0.9	8.6 $\pm$ 0.8	8.5 $\pm$ 0.4	9.8 $\pm$ 0.8	1.3 $\pm$ 0.3	1.9 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.4	1.8 $\pm$ 0.3	8.5 $\pm$ 1.1	6.3 $\pm$ 1.5
FA_ms06	30.5 $\pm$ 4.2	7.4 $\pm$ 0.8	9.0 $\pm$ 1.1	4.8 $\pm$ 1.1	6.5 $\pm$ 1.1	3.1 $\pm$ 0.3	23.4 $\pm$ 1.4	0.8 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.8	0.7 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.3	7.0 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 1.1
FA_ms07	35.9 $\pm$ 3.6	8.2 $\pm$ 0.8	10.2 $\pm$ 1.1	6.4 $\pm$ 1.1	5.5 $\pm$ 0.8	8.3 $\pm$ 0.3	5.4 $\pm$ 0.6	1.2 $\pm$ 0.3	1.9 $\pm$ 0.6	1.1 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.4	9.6 $\pm$ 1.2	4.4 $\pm$ 0.8
FA_ms08	17.5 $\pm$ 4.2	9.0 $\pm$ 0.9	12.7 $\pm$ 1.2	9.4 $\pm$ 1.5	8.5 $\pm$ 1.2	10.0 $\pm$ 0.5	9.4 $\pm$ 1.0	1.1 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 1.0	1.3 $\pm$ 0.5	1.9 $\pm$ 0.4	12.8 $\pm$ 1.1	4.7 $\pm$ 0.7
FA_ms09	31.9 $\pm$ 3.9	7.5 $\pm$ 0.8	11.1 $\pm$ 1.1	6.8 $\pm$ 1.1	6.9 $\pm$ 1.0	10.7 $\pm$ 0.3	5.0 $\pm$ 0.6	1.0 $\pm$ 0.3	1.6 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.7	1.8 $\pm$ 0.4	9.4 $\pm$ 1.0	4.6 $\pm$ 0.6
FA_ms10	32.3 $\pm$ 3.9	7.3 $\pm$ 0.9	10.2 $\pm$ 1.2	6.8 $\pm$ 1.2	9.0 $\pm$ 1.0	9.9 $\pm$ 0.4	3.1 $\pm$ 0.4	1.4 $\pm$ 0.3	2.3 $\pm$ 0.9	1.5 $\pm$ 0.8	2.1 $\pm$ 0.4	9.8 $\pm$ 1.1	4.3 $\pm$ 0.4
FA_ms11	23.8 $\pm$ 4.2	8.4 $\pm$ 0.8	10.1 $\pm$ 1.1	5.9 $\pm$ 1.1	6.8 $\pm$ 1.0	3.9 $\pm$ 0.3	19.8 $\pm$ 1.1	0.7 $\pm$ 0.3	2.0 $\pm$ 1.2	2.6 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.4	9.1 $\pm$ 0.9	5.1 $\pm$ 1.0
FA_ms12	35.4 $\pm$ 3.9	7.5 $\pm$ 0.8	7.5 $\pm$ 1.0	4.7 $\pm$ 1.1	7.0 $\pm$ 0.9	10.2 $\pm$ 0.4	5.0 $\pm$ 0.6	0.9 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.9	1.8 $\pm$ 0.8	1.8 $\pm$ 0.3	11.3 $\pm$ 1.2	5.2 $\pm$ 0.9

Πίνακας Β.8: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) των δίωρων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπραουνμυλ- λερίτης	Ασβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/ Πάλλης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίσις	Τάλακης
LA_2h00	41.6 $\pm$ 3.9	8.6 $\pm$ 0.8	1.0 $\pm$ 0.5	8.5 $\pm$ 1.3	4.5 $\pm$ 0.9	10.1 $\pm$ 0.4	2.2 $\pm$ 0.3	1.9 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.8	3.8 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.3	6.5 $\pm$ 0.8	5.6 $\pm$ 0.7	2.1 $\pm$ 0.7
LA_2h02	40.6 $\pm$ 4.0	9.9 $\pm$ 0.9	1.4 $\pm$ 0.7	4.1 $\pm$ 1.3	3.5 $\pm$ 0.7	2.8 $\pm$ 0.2	2.3 $\pm$ 0.4	1.8 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.8	4.0 $\pm$ 1.1	1.8 $\pm$ 0.3	19.6 $\pm$ 1.2	4.1 $\pm$ 0.4	2.4 $\pm$ 0.8
LA_2h04	40.2 $\pm$ 3.6	6.9 $\pm$ 0.7	-	6.5 $\pm$ 1.6	6.8 $\pm$ 0.7	9.0 $\pm$ 0.3	1.5 $\pm$ 0.3	1.6 $\pm$ 0.3	0.8 $\pm$ 0.3	5.3 $\pm$ 0.7	1.7 $\pm$ 0.2	7.7 $\pm$ 3.8	8.0 $\pm$ 0.7	4.0 $\pm$ 0.6
LA_2h06	41.5 $\pm$ 3.6	7.5 $\pm$ 0.7	1.0 $\pm$ 0.5	7.7 $\pm$ 1.4	6.6 $\pm$ 1.0	8.4 $\pm$ 0.3	1.9 $\pm$ 0.4	1.8 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.4	4.1 $\pm$ 0.7	1.6 $\pm$ 0.2	5.8 $\pm$ 0.8	7.5 $\pm$ 0.6	3.6 $\pm$ 0.6
LA_2h08	39.5 $\pm$ 3.6	5.6 $\pm$ 0.7	-	7.6 $\pm$ 1.4	5.4 $\pm$ 0.9	11.3 $\pm$ 0.4	3.5 $\pm$ 0.4	1.7 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.4	5.0 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.3	6.2 $\pm$ 0.7	7.8 $\pm$ 0.7	3.5 $\pm$ 0.6
LA_2h10	41.4 $\pm$ 3.8	6.3 $\pm$ 0.7	-	7.1 $\pm$ 1.4	6.5 $\pm$ 0.7	13.7 $\pm$ 0.4	3.0 $\pm$ 0.4	1.7 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.6	3.7 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.3	4.3 $\pm$ 0.8	6.4 $\pm$ 0.7	2.8 $\pm$ 0.7
LA_2h12	39.5 $\pm$ 3.7	6.5 $\pm$ 0.7	-	8.6 $\pm$ 1.2	5.6 $\pm$ 0.7	13.2 $\pm$ 0.5	2.4 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.3	1.5 $\pm$ 0.7	4.2 $\pm$ 0.7	2.0 $\pm$ 0.3	4.4 $\pm$ 0.6	7.9 $\pm$ 0.7	2.8 $\pm$ 0.6
LA_2h14	36.7 $\pm$ 3.9	6.0 $\pm$ 0.8	-	8.8 $\pm$ 1.6	5.1 $\pm$ 0.8	12.7 $\pm$ 0.5	4.7 $\pm$ 0.5	2.1 $\pm$ 0.3	1.1 $\pm$ 0.5	4.4 $\pm$ 0.7	2.3 $\pm$ 0.4	5.1 $\pm$ 0.6	6.6 $\pm$ 0.7	4.4 $\pm$ 0.9
LA_2h16	27.9 $\pm$ 4.1	7.7 $\pm$ 0.9	2.1 $\pm$ 0.7	8.8 $\pm$ 1.4	7.6 $\pm$ 1.1	13.6 $\pm$ 0.5	2.0 $\pm$ 0.3	2.0 $\pm$ 0.4	1.8 $\pm$ 0.8	5.4 $\pm$ 0.8	1.8 $\pm$ 0.3	7.3 $\pm$ 1.0	8.7 $\pm$ 0.8	3.3 $\pm$ 0.8
LA_2h18	12.3 $\pm$ 5.4	8.7 $\pm$ 1.2	4.9 $\pm$ 1.2	13.0 $\pm$ 2.5	16.7 $\pm$ 1.6	17.7 $\pm$ 0.6	1.8 $\pm$ 0.4	2.9 $\pm$ 0.4	2.7 $\pm$ 1.1	2.8 $\pm$ 0.9	2.1 $\pm$ 0.4	4.2 $\pm$ 1.0	7.1 $\pm$ 0.9	3.1 $\pm$ 0.9
LA_2h20	7.5 $\pm$ 6.0	8.7 $\pm$ 1.2	3.6 $\pm$ 1.1	13.8 $\pm$ 2.3	14.1 $\pm$ 1.4	24.7 $\pm$ 0.8	2.2 $\pm$ 0.4	3.6 $\pm$ 0.4	4.5 $\pm$ 1.0	4.6 $\pm$ 1.2	1.6 $\pm$ 0.4	1.6 $\pm$ 0.5	6.4 $\pm$ 1.0	3.1 $\pm$ 0.9
LA_2h22	22.6 $\pm$ 4.1	9.3 $\pm$ 1.0	-	7.5 $\pm$ 1.4	8.8 $\pm$ 1.1	25.7 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.3	3.1 $\pm$ 0.4	1.2 $\pm$ 0.5	4.1 $\pm$ 1.0	1.5 $\pm$ 0.3	4.0 $\pm$ 1.0	7.2 $\pm$ 0.8	3.1 $\pm$ 0.8
LA_2h24	20.8 $\pm$ 4.5	10.8 $\pm$ 1.0	0.7 $\pm$ 0.3	10.1 $\pm$ 1.8	7.4 $\pm$ 0.9	15.1 $\pm$ 0.5	4 $\pm$ 0.4	2.9 $\pm$ 0.4	1.2 $\pm$ 0.7	4.4 $\pm$ 0.9	1.8 $\pm$ 0.3	8.0 $\pm$ 0.9	9.8 $\pm$ 0.9	3.0 $\pm$ 0.8
LA_2h26	30.0 $\pm$ 4.2	12.7 $\pm$ 1.0	-	8.9 $\pm$ 1.7	4.5 $\pm$ 0.8	12.1 $\pm$ 0.4	3.8 $\pm$ 0.4	3.2 $\pm$ 0.5	1.0 $\pm$ 0.4	4.4 $\pm$ 0.9	1.9 $\pm$ 0.3	5.4 $\pm$ 1.1	8.3 $\pm$ 0.8	3.8 $\pm$ 0.8
LA_2h28	36.9 $\pm$ 4.2	9.8 $\pm$ 0.9	-	4.2 $\pm$ 1.0	1.9 $\pm$ 0.6	5.3 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.3	3.1 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.8	6.8 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.4	7.2 $\pm$ 0.9	13.1 $\pm$ 0.9	7.5 $\pm$ 1.6
LA_2h30	37.4 $\pm$ 3.9	10.4 $\pm$ 0.9	2.9 $\pm$ 0.9	4.8 $\pm$ 1.2	2.5 $\pm$ 0.7	5.5 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.3	2.5 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.7	5.7 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.3	8.0 $\pm$ 1.2	12.7 $\pm$ 0.9	3.3 $\pm$ 0.9
LA_2h32	35.5 $\pm$ 3.6	10.7 $\pm$ 0.9	5.8 $\pm$ 0.9	7.1 $\pm$ 1.4	6.3 $\pm$ 0.9	5.7 $\pm$ 0.2	3.1 $\pm$ 0.6	1.8 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.4	4.2 $\pm$ 0.8	1.7 $\pm$ 0.3	5.2 $\pm$ 0.8	9.7 $\pm$ 0.7	2.3 $\pm$ 0.6
LA_2h34	32.9 $\pm$ 3.6	11.0 $\pm$ 0.8	1.6 $\pm$ 0.8	7.5 $\pm$ 1.1	2.9 $\pm$ 0.9	10.2 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 0.3	2.5 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.5	6.0 $\pm$ 0.8	1.6 $\pm$ 0.3	7.6 $\pm$ 1.0	9.5 $\pm$ 0.7	3.5 $\pm$ 0.7
LA_2h36	31.2 $\pm$ 3.6	13.0 $\pm$ 0.9	-	5.1 $\pm$ 1.1	6.7 $\pm$ 0.7	15.4 $\pm$ 0.5	1.6 $\pm$ 0.3	3.1 $\pm$ 0.3	-	4.5 $\pm$ 0.9	1.2 $\pm$ 0.3	6.0 $\pm$ 1.0	8.7 $\pm$ 0.8	3.5 $\pm$ 0.7
LA_2h38	27.1 $\pm$ 3.9	13.1 $\pm$ 1.0	1.1 $\pm$ 0.5	6.5 $\pm$ 1.5	8.1 $\pm$ 1.0	14.1 $\pm$ 0.5	1.8 $\pm$ 0.3	3.6 $\pm$ 0.4	1.3 $\pm$ 0.7	4.5 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.3	5.3 $\pm$ 0.7	9.1 $\pm$ 1.0	2.8 $\pm$ 0.8
LA_2h40	21.8 $\pm$ 4.8	10.6 $\pm$ 1.0	5.6 $\pm$ 0.9	9.8 $\pm$ 1.6	9.9 $\pm$ 1.0	15.1 $\pm$ 0.5	3.2 $\pm$ 0.7	2.0 $\pm$ 0.3	1.9 $\pm$ 1.1	2.7 $\pm$ 0.9	1.9 $\pm$ 0.3	6.3 $\pm$ 1.0	7.5 $\pm$ 0.7	1.7 $\pm$ 0.7
LA_2h42	18.9 $\pm$ 4.8	10.0 $\pm$ 1.0	3.7 $\pm$ 1.0	9.5 $\pm$ 1.6	8.4 $\pm$ 1.0	21.2 $\pm$ 0.7	2.9 $\pm$ 0.6	1.5 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.9	2.9 $\pm$ 0.8	1.8 $\pm$ 0.3	7.9 $\pm$ 1.2	7.2 $\pm$ 0.8	2.8 $\pm$ 0.7
LA_2h44	9.9 $\pm$ 5.4	9.9 $\pm$ 1.0	9.0 $\pm$ 1.2	10.9 $\pm$ 1.8	9.9 $\pm$ 1.4	21.6 $\pm$ 0.7	2.9 $\pm$ 0.7	1.7 $\pm$ 0.4	2.2 $\pm$ 1.0	2.9 $\pm$ 1.0	1.9 $\pm$ 0.3	7.4 $\pm$ 1.1	7.1 $\pm$ 0.9	2.7 $\pm$ 0.7
LA_2h46	8.2 $\pm$ 6.0	9.3 $\pm$ 1.0	6.0 $\pm$ 1.0	11.5 $\pm$ 1.8	12.1 $\pm$ 1.5	27.5 $\pm$ 0.9	2.6 $\pm$ 0.3	2.0 $\pm$ 0.4	2.0 $\pm$ 1.2	2.7 $\pm$ 0.9	2.0 $\pm$ 0.3	5.0 $\pm$ 1.0	6.2 $\pm$ 1.0	2.9 $\pm$ 0.8

Πίνακας Β.9: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) ημερήσιων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπραουνμυλ- λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/ Πλάτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
LA_dI0a	14.0 $\pm$ 5.4	10.0 $\pm$ 1.1	1.2 $\pm$ 0.8	12.6 $\pm$ 2.1	10.4 $\pm$ 1.4	18.1 $\pm$ 0.6	3.1 $\pm$ 0.5	2.8 $\pm$ 0.4	2.0 $\pm$ 0.9	4.4 $\pm$ 1.0	2.0 $\pm$ 0.3	7.5 $\pm$ 1.1	8.5 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 0.9
LA_dI0b	29.4 $\pm$ 4.5	10.8 $\pm$ 0.9	-	6.3 $\pm$ 1.7	4.4 $\pm$ 1.1	11.2 $\pm$ 0.4	3.0 $\pm$ 0.5	2.7 $\pm$ 0.4	-	5.5 $\pm$ 0.9	2.0 $\pm$ 0.4	7.2 $\pm$ 1.1	10.7 $\pm$ 0.9	6.8 $\pm$ 1.2
LA_dI1	34.1 $\pm$ 3.9	7.3 $\pm$ 0.9	-	6.8 $\pm$ 1.4	6.6 $\pm$ 0.9	13.4 $\pm$ 0.5	2.1 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.6	6.2 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.3	8.0 $\pm$ 0.9	7.8 $\pm$ 0.9	3.2 $\pm$ 0.7
LA_dI2	32.2 $\pm$ 5.1	7.3 $\pm$ 1.0	-	6.1 $\pm$ 1.3	3.0 $\pm$ 1.0	10.0 $\pm$ 0.4	2.4 $\pm$ 0.4	2.1 $\pm$ 0.4	1.6 $\pm$ 0.8	6.2 $\pm$ 1.0	2.0 $\pm$ 0.5	7.5 $\pm$ 1.0	11.3 $\pm$ 1.0	8.3 $\pm$ 2.3
LA_dI3	23.6 $\pm$ 5.4	12.2 $\pm$ 1.3	-	7.3 $\pm$ 1.7	2.2 $\pm$ 1.0	4.8 $\pm$ 0.4	3.1 $\pm$ 0.4	3.6 $\pm$ 0.4	1.2 $\pm$ 0.7	8.8 $\pm$ 1.2	1.8 $\pm$ 0.4	11.7 $\pm$ 1.6	14.6 $\pm$ 1.3	5.1 $\pm$ 0.9
LA_dI4	25.3 $\pm$ 5.1	9.6 $\pm$ 1.1	-	6.0 $\pm$ 1.6	3.0 $\pm$ 1.0	8.5 $\pm$ 0.4	2.0 $\pm$ 0.3	2.8 $\pm$ 0.4	1.3 $\pm$ 0.6	7.7 $\pm$ 1.1	1.5 $\pm$ 0.3	10.0 $\pm$ 1.4	15.3 $\pm$ 1.2	7.0 $\pm$ 1.5
LA_dII1	23.0 $\pm$ 5.4	8.6 $\pm$ 1.1	-	10.9 $\pm$ 1.7	9.4 $\pm$ 1.0	13.3 $\pm$ 0.5	3.2 $\pm$ 0.4	2.5 $\pm$ 0.4	1.1 $\pm$ 0.6	6.0 $\pm$ 1.0	1.9 $\pm$ 0.3	8.2 $\pm$ 1.1	8.7 $\pm$ 1.1	3.2 $\pm$ 0.8
LA_dII2	23.2 $\pm$ 4.5	7.0 $\pm$ 0.9	-	6.2 $\pm$ 1.7	6.3 $\pm$ 0.9	17.0 $\pm$ 0.5	2.3 $\pm$ 0.3	2.5 $\pm$ 0.4	1.2 $\pm$ 0.8	7.0 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.3	10.2 $\pm$ 1	10.9 $\pm$ 1.0	4.9 $\pm$ 0.8

Πίνακας Β.10: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα Ι)

Δείγμα	Άμμοφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπραουνμυλ- λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/ Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίς	Τάλης
LA_mI01	31.4 $\pm$ 3.9	7.9 $\pm$ 0.8	-	3.9 $\pm$ 1.3	6.0 $\pm$ 0.8	14.2 $\pm$ 0.5	2.4 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 0.3	-	9.1 $\pm$ 0.9	1.8 $\pm$ 0.3	8.7 $\pm$ 0.9	8.9 $\pm$ 0.7	3.8 $\pm$ 0.7
LA_mI03	23.9 $\pm$ 6.0	9.0 $\pm$ 1.0	2.1 $\pm$ 1.1	9.1 $\pm$ 1.8	8.8 $\pm$ 1.2	13.2 $\pm$ 0.6	2.3 $\pm$ 0.4	2.3 $\pm$ 0.4	1.4 $\pm$ 0.6	5.7 $\pm$ 1.0	2.3 $\pm$ 0.4	5.8 $\pm$ 1.1	8.7 $\pm$ 1.0	2.4 $\pm$ 0.9
LA_mI04	7.5 $\pm$ 5.4	7.1 $\pm$ 1.0	3.6 $\pm$ 0.9	11.8 $\pm$ 1.6	9.9 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 0.2	27.9 $\pm$ 1.6	1.4 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.7	5.1 $\pm$ 1.3	1.9 $\pm$ 0.3	10.4 $\pm$ 1.4	6.7 $\pm$ 1.0	1.2 $\pm$ 0.7
LA_mI05	14.2 $\pm$ 5.7	7.0 $\pm$ 1.0	2.7 $\pm$ 1.0	10.9 $\pm$ 1.9	9.6 $\pm$ 1.0	6.1 $\pm$ 0.4	22.5 $\pm$ 1.5	2.0 $\pm$ 0.4	1.6 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 0.9	2.3 $\pm$ 0.5	7.8 $\pm$ 1.0	6.2 $\pm$ 0.9	2.7 $\pm$ 0.8
LA_mI06	7.5 $\pm$ 6.4	7.3 $\pm$ 1.0	4.1 $\pm$ 1.1	11.8 $\pm$ 2.3	12.2 $\pm$ 1.3	12.4 $\pm$ 0.5	13.4 $\pm$ 1.3	2.2 $\pm$ 0.4	2.0 $\pm$ 1.1	4.7 $\pm$ 1.2	2.1 $\pm$ 0.4	11.4 $\pm$ 1.6	7.3 $\pm$ 1.0	1.6 $\pm$ 0.8
LA_mI07	10.9 $\pm$ 5.1	8.5 $\pm$ 1.0	3.9 $\pm$ 1.0	12.0 $\pm$ 1.9	7.8 $\pm$ 1.0	6.5 $\pm$ 0.3	22.1 $\pm$ 1.5	1.7 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 0.9	4.4 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.4	10.9 $\pm$ 1.3	6.3 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.7
LA_mI08	11.8 $\pm$ 5.4	8.8 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 0.9	10.4 $\pm$ 1.7	10.2 $\pm$ 1.0	5.5 $\pm$ 0.4	23.7 $\pm$ 1.5	1.7 $\pm$ 0.4	1.0 $\pm$ 0.4	2.6 $\pm$ 0.9	1.8 $\pm$ 0.3	10.7 $\pm$ 1.3	6.7 $\pm$ 0.9	-
LA_mI09	37.1 $\pm$ 4.8	7.4 $\pm$ 1.2	-	6.6 $\pm$ 1.8	7.4 $\pm$ 1.2	11.2 $\pm$ 0.6	2.3 $\pm$ 0.5	2.9 $\pm$ 0.4	2.7 $\pm$ 1.3	6.2 $\pm$ 1.1	1.7 $\pm$ 0.4	5.0 $\pm$ 1.2	5.7 $\pm$ 0.8	3.8 $\pm$ 1.0
LA_mI10	24.3 $\pm$ 6.0	6.5 $\pm$ 1.1	2.3 $\pm$ 0.7	5.8 $\pm$ 1.6	10.4 $\pm$ 1.6	10.5 $\pm$ 0.5	2.3 $\pm$ 0.5	2.8 $\pm$ 0.4	2.8 $\pm$ 1.2	4.9 $\pm$ 1.0	1.9 $\pm$ 0.4	18.2 $\pm$ 1.6	5.9 $\pm$ 0.9	1.4 $\pm$ 0.8
LA_mI11	23.3 $\pm$ 5.1	8.2 $\pm$ 1.1	3.8 $\pm$ 1.2	9.3 $\pm$ 1.6	9.9 $\pm$ 1.0	11.4 $\pm$ 0.5	2.4 $\pm$ 0.5	2.0 $\pm$ 0.4	1.5 $\pm$ 0.9	4.7 $\pm$ 1.1	2.0 $\pm$ 0.4	14.2 $\pm$ 1.6	7.3 $\pm$ 0.9	0.7 $\pm$ 0.6
LA_mI12	25.2 $\pm$ 6.3	7.6 $\pm$ 0.9	2.8 $\pm$ 1.1	8.0 $\pm$ 2.1	5.7 $\pm$ 1.0	11.8 $\pm$ 0.6	2.2 $\pm$ 0.4	2.7 $\pm$ 0.4	1.3 $\pm$ 0.5	6.8 $\pm$ 1.2	2.4 $\pm$ 0.4	10.5 $\pm$ 1.6	9.2 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 1.0

Πίνακας Β.11: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα ΙΙ)

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γ κελενίτης	Πορτικό διασβέστιο (C2S)	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίτης	Τάλκης
LA_mII01	28.5 $\pm$ 4.5	6.9 $\pm$ 0.9	-	6.3 $\pm$ 1.5	4.2 $\pm$ 0.9	15.5 $\pm$ 0.5	2.7 $\pm$ 0.4	2.6 $\pm$ 0.4	-	7.5 $\pm$ 1.0	1.5 $\pm$ 0.3	8.4 $\pm$ 1.3	10.6 $\pm$ 0.9	5.3 $\pm$ 1.5
LA_mII02	24.4 $\pm$ 5.4	5.4 $\pm$ 0.9	-	6.4 $\pm$ 1.6	5.6 $\pm$ 0.9	18.1 $\pm$ 0.7	3.2 $\pm$ 0.4	1.8 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.6	7.2 $\pm$ 1.1	1.9 $\pm$ 0.4	12.4 $\pm$ 1.6	8.2 $\pm$ 0.9	4.4 $\pm$ 0.9
LA_mII03	31.6 $\pm$ 4.5	7.8 $\pm$ 1.0	1.5 $\pm$ 0.9	5.4 $\pm$ 1.3	9.6 $\pm$ 1.5	11.8 $\pm$ 0.5	2.1 $\pm$ 0.4	2.2 $\pm$ 0.4	2.4 $\pm$ 1.3	4.9 $\pm$ 1.0	2.1 $\pm$ 0.4	7.8 $\pm$ 1.0	8.0 $\pm$ 0.8	2.8 $\pm$ 0.8
LA_mII04	5.0 $\pm$ 4.9	7.8 $\pm$ 0.9	2.8 $\pm$ 1.0	12.1 $\pm$ 1.4	7.2 $\pm$ 1.1	1.6 $\pm$ 0.2	36.4 $\pm$ 1.3	1.4 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.7	4.6 $\pm$ 1.1	2.2 $\pm$ 0.6	9.0 $\pm$ 1.2	6.6 $\pm$ 0.9	1.9 $\pm$ 0.8
LA_mII05	5.8 $\pm$ 4.9	7.8 $\pm$ 1.1	6.7 $\pm$ 1.2	11.7 $\pm$ 1.8	12.8 $\pm$ 1.2	8.3 $\pm$ 0.4	22.5 $\pm$ 1.5	1.9 $\pm$ 0.4	1.7 $\pm$ 0.9	3.5 $\pm$ 1.0	1.9 $\pm$ 0.4	7.9 $\pm$ 1.2	6.1 $\pm$ 0.9	1.4 $\pm$ 0.7
LA_mII06	13.4 $\pm$ 5.7	7.9 $\pm$ 1.0	5.3 $\pm$ 1.4	7.3 $\pm$ 1.4	9.9 $\pm$ 1.1	9.0 $\pm$ 0.4	23.8 $\pm$ 1.5	2.1 $\pm$ 0.3	-	4.1 $\pm$ 1.0	1.5 $\pm$ 0.4	9.2 $\pm$ 1.0	4.9 $\pm$ 0.7	1.6 $\pm$ 0.9
LA_mII07	28.3 $\pm$ 4.9	6.1 $\pm$ 0.9	0.8 $\pm$ 0.3	5.2 $\pm$ 1.2	2.3 $\pm$ 0.7	0.7 $\pm$ 0.1	35.4 $\pm$ 2.1	1.4 $\pm$ 0.3	-	4.7 $\pm$ 0.9	2.5 $\pm$ 0.5	7.0 $\pm$ 1.1	5.6 $\pm$ 1.0	-
LA_mII08	18.6 $\pm$ 5.1	7.3 $\pm$ 1.0	3.5 $\pm$ 0.8	9.8 $\pm$ 1.5	8.7 $\pm$ 0.9	3.8 $\pm$ 0.3	18.6 $\pm$ 1.2	2.0 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.6	4.3 $\pm$ 1.0	1.6 $\pm$ 0.3	12.9 $\pm$ 1.3	7.7 $\pm$ 0.9	-
LA_mII09	25.8 $\pm$ 4.8	8.6 $\pm$ 1.1	6.5 $\pm$ 1.0	7.0 $\pm$ 1.5	9.8 $\pm$ 1.3	9.6 $\pm$ 0.5	2.0 $\pm$ 0.5	2.4 $\pm$ 0.4	1.4 $\pm$ 0.7	4.5 $\pm$ 1.0	2.1 $\pm$ 0.4	10.4 $\pm$ 1.1	8.1 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.8
LA_mII10	32.0 $\pm$ 5.4	5.8 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 1.0	9.3 $\pm$ 2.4	9.3 $\pm$ 1.1	9.9 $\pm$ 0.5	2.2 $\pm$ 0.4	2.5 $\pm$ 0.4	2.3 $\pm$ 1.2	4.1 $\pm$ 1.0	1.6 $\pm$ 0.4	11.4 $\pm$ 1.6	5.9 $\pm$ 0.9	1.9 $\pm$ 0.8
LA_mII11	32.4 $\pm$ 5.7	7.3 $\pm$ 1.0	1.5 $\pm$ 0.9	9.3 $\pm$ 1.8	8.7 $\pm$ 1.0	10.0 $\pm$ 0.5	2.5 $\pm$ 0.4	2.7 $\pm$ 0.4	-	4.0 $\pm$ 1.0	2.1 $\pm$ 0.5	11.1 $\pm$ 1.5	6.3 $\pm$ 0.9	2.1 $\pm$ 1.2
LA_mII12	32.7 $\pm$ 4.2	7.9 $\pm$ 1.0	2.1 $\pm$ 0.8	7.8 $\pm$ 1.2	4.1 $\pm$ 1.0	9.3 $\pm$ 0.4	2.4 $\pm$ 0.4	2.3 $\pm$ 0.3	1.5 $\pm$ 0.9	6.6 $\pm$ 0.9	1.8 $\pm$ 0.3	9.3 $\pm$ 1.4	9.1 $\pm$ 0.9	3.1 $\pm$ 1.0

Πίνακας Β.12: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα ΙΙΙ)

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπρασονμιλ- λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
LA_mIII01	31.3 $\pm$ 4.2	9.0 $\pm$ 0.9	-	6.6 $\pm$ 1.5	7.2 $\pm$ 0.9	11.8 $\pm$ 0.4	2.2 $\pm$ 0.6	3.0 $\pm$ 0.3	1.5 $\pm$ 0.7	4.0 $\pm$ 0.9	2.2 $\pm$ 0.4	7.1 $\pm$ 0.8	8.1 $\pm$ 0.8	6.0 $\pm$ 1.6
LA_mIII02	25.6 $\pm$ 5.1	7.0 $\pm$ 0.9	-	9.2 $\pm$ 1.6	5.5 $\pm$ 0.8	18.8 $\pm$ 0.7	3.4 $\pm$ 0.6	1.3 $\pm$ 0.3	-	7.2 $\pm$ 1.0	1.6 $\pm$ 0.3	10.4 $\pm$ 1.2	6.8 $\pm$ 0.7	3.2 $\pm$ 0.8
LA_mIII03	28.4 $\pm$ 4.8	8.9 $\pm$ 1.0	-	6.6 $\pm$ 1.7	7.0 $\pm$ 1.1	16.5 $\pm$ 0.6	2.3 $\pm$ 0.4	2.3 $\pm$ 0.4	-	7.3 $\pm$ 1.0	1.9 $\pm$ 0.4	7.9 $\pm$ 1.3	8.1 $\pm$ 0.8	2.8 $\pm$ 1.2
LA_mIII04	5.7 $\pm$ 4.9	8.3 $\pm$ 1.0	2.1 $\pm$ 1.1	9.3 $\pm$ 1.8	9.2 $\pm$ 1.1	0.7 $\pm$ 0.1	39.0 $\pm$ 2.2	1.8 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.6	4.1 $\pm$ 1.1	2.4 $\pm$ 0.5	8.5 $\pm$ 1.1	6.1 $\pm$ 0.8	1.5 $\pm$ 0.8
LA_mIII05	12.3 $\pm$ 6.0	8.4 $\pm$ 1.1	6.2 $\pm$ 1.0	13.1 $\pm$ 2.2	10.1 $\pm$ 1.1	8.5 $\pm$ 0.5	20.8 $\pm$ 1.5	2.2 $\pm$ 0.4	1.2 $\pm$ 0.7	3.5 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.4	4.3 $\pm$ 0.8	5.9 $\pm$ 1.1	1.7 $\pm$ 0.8
LA_mIII06	14.2 $\pm$ 5.1	5.3 $\pm$ 0.8	-	9.3 $\pm$ 1.6	5.3 $\pm$ 0.9	3.3 $\pm$ 0.3	35.4 $\pm$ 2.2	1.7 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.7	4.4 $\pm$ 1.0	2.4 $\pm$ 0.5	9.5 $\pm$ 1.0	6.1 $\pm$ 0.9	1.8 $\pm$ 0.8
LA_mIII07	19.5 $\pm$ 4.8	5.8 $\pm$ 0.9	-	7.5 $\pm$ 1.3	2.7 $\pm$ 0.6	0.4 $\pm$ 0.1	38.5 $\pm$ 2.0	1.3 $\pm$ 0.4	-	4.9 $\pm$ 1.0	2.5 $\pm$ 0.5	9.9 $\pm$ 0.9	5.7 $\pm$ 0.8	1.3 $\pm$ 0.6
LA_mIII08	14.4 $\pm$ 5.4	9.1 $\pm$ 1.1	5.7 $\pm$ 1.0	9.1 $\pm$ 1.4	8.3 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 0.4	20.7 $\pm$ 1.4	2.5 $\pm$ 0.4	1.6 $\pm$ 0.9	4.9 $\pm$ 1.1	1.8 $\pm$ 0.4	8.6 $\pm$ 1.0	7.6 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.7
LA_mIII09	28.0 $\pm$ 5.1	8.4 $\pm$ 1.1	1.8 $\pm$ 0.9	7.6 $\pm$ 2.0	7.0 $\pm$ 1.1	13.0 $\pm$ 0.6	2.8 $\pm$ 0.4	2.6 $\pm$ 0.4	1.4 $\pm$ 0.5	5.9 $\pm$ 1.1	2.7 $\pm$ 0.6	8.9 $\pm$ 1.1	7.1 $\pm$ 1.0	2.8 $\pm$ 0.8
LA_mIII10	23.9 $\pm$ 5.9	6.2 $\pm$ 1.2	1.7 $\pm$ 0.8	11.7 $\pm$ 1.8	12.7 $\pm$ 1.5	11.4 $\pm$ 0.5	2.2 $\pm$ 0.5	2.8 $\pm$ 0.4	2.3 $\pm$ 1.0	3.4 $\pm$ 1.1	2.0 $\pm$ 0.4	11.5 $\pm$ 1.2	6.8 $\pm$ 0.9	1.4 $\pm$ 0.7
LA_mIII11	38.7 $\pm$ 4.5	7.1 $\pm$ 1.1	1.9 $\pm$ 0.8	7.8 $\pm$ 2.1	8.2 $\pm$ 1.0	8.8 $\pm$ 0.5	2.4 $\pm$ 0.5	2.3 $\pm$ 0.4	0.8 $\pm$ 0.6	4.7 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 0.3	6.7 $\pm$ 0.8	6.6 $\pm$ 0.9	2.3 $\pm$ 0.7
LA_mIII12	36.4 $\pm$ 4.5	7.8 $\pm$ 1.0	2.2 $\pm$ 1.0	6.3 $\pm$ 1.4	8.1 $\pm$ 1.0	7 $\pm$ 0.5	2.5 $\pm$ 0.3	2.5 $\pm$ 0.3	0 $\pm$ 0	4.8 $\pm$ 0.9	2.3 $\pm$ 0.4	8.4 $\pm$ 1.0	9.1 $\pm$ 1.0	2.6 $\pm$ 0.8

Πίνακας Β.13: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα IV)

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπρασονμιλ- λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
LA_mIV01	25.4 $\pm$ 4.8	9.3 $\pm$ 1.0	-	7.7 $\pm$ 1.7	5.8 $\pm$ 1.0	12.7 $\pm$ 0.5	2.9 $\pm$ 0.3	2.2 $\pm$ 0.4	1.5 $\pm$ 0.9	6.5 $\pm$ 1.0	1.6 $\pm$ 0.3	9.5 $\pm$ 1.0	10.7 $\pm$ 1.0	4.2 $\pm$ 0.8
LA_mIV02	28.7 $\pm$ 4.5	6.4 $\pm$ 0.9	-	7.0 $\pm$ 1.6	4.7 $\pm$ 1.0	18.1 $\pm$ 0.6	2.4 $\pm$ 0.4	2.0 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.6	7.6 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 0.3	8.7 $\pm$ 1.0	7.8 $\pm$ 0.9	3.7 $\pm$ 0.8
LA_mIV03	34.6 $\pm$ 4.5	6.9 $\pm$ 1.1	-	4.5 $\pm$ 1.7	6.1 $\pm$ 1.1	12.8 $\pm$ 0.5	2.5 $\pm$ 0.4	2.3 $\pm$ 0.4	2.0 $\pm$ 0.9	6.1 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.4	8.9 $\pm$ 1.0	8.8 $\pm$ 1.1	2.7 $\pm$ 0.8
LA_mIV04	8.0 $\pm$ 6.0	8.1 $\pm$ 1.0	3.2 $\pm$ 1.1	11.2 $\pm$ 1.5	9.1 $\pm$ 0.9	2.7 $\pm$ 0.4	32.5 $\pm$ 1.4	1.7 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.7	3.8 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.4	8.1 $\pm$ 0.8	7.5 $\pm$ 1.0	1.3 $\pm$ 0.6
LA_mIV05	14.8 $\pm$ 6.3	5.8 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 1.0	10.7 $\pm$ 2.0	4.9 $\pm$ 1.0	2.5 $\pm$ 0.3	36.4 $\pm$ 2.2	1.9 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.8	4.4 $\pm$ 1.2	2.8 $\pm$ 0.5	7.3 $\pm$ 1.2	5.4 $\pm$ 0.9	-
LA_mIV06	13.6 $\pm$ 5.1	8.6 $\pm$ 1.0	2.8 $\pm$ 1.2	8.8 $\pm$ 1.6	10.1 $\pm$ 1.0	7.8 $\pm$ 0.4	21.3 $\pm$ 1.4	2.2 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 0.8	4.1 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 0.3	10.4 $\pm$ 1.5	6.7 $\pm$ 1.0	-
LA_mIV07	18.6 $\pm$ 5.1	8.3 $\pm$ 1.0	4.7 $\pm$ 0.9	10.4 $\pm$ 1.7	8.3 $\pm$ 0.9	5.5 $\pm$ 0.3	18.8 $\pm$ 1.3	1.6 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.7	3.7 $\pm$ 0.9	1.7 $\pm$ 0.3	10.0 $\pm$ 1.6	5.8 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 1.0
LA_mIV08	25.9 $\pm$ 6.0	9.3 $\pm$ 1.2	1.4 $\pm$ 0.9	7.7 $\pm$ 1.9	7.5 $\pm$ 1.1	4.5 $\pm$ 0.4	10.7 $\pm$ 1.2	2.5 $\pm$ 0.4	-	5.0 $\pm$ 1.1	2.5 $\pm$ 0.5	13.9 $\pm$ 2.0	6.8 $\pm$ 1.0	2.3 $\pm$ 0.9
LA_mIV09	27.8 $\pm$ 4.8	7.3 $\pm$ 1.1	3.1 $\pm$ 0.9	6.9 $\pm$ 1.7	9.1 $\pm$ 1.0	10.3 $\pm$ 0.5	2.0 $\pm$ 0.4	2.7 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 0.9	6.2 $\pm$ 1.0	1.6 $\pm$ 0.3	11.1 $\pm$ 1.4	7.6 $\pm$ 0.8	2.4 $\pm$ 0.8
LA_mIV10	27.1 $\pm$ 5.1	6.4 $\pm$ 0.9	3.8 $\pm$ 1.2	12.8 $\pm$ 2.0	11.4 $\pm$ 1.3	8.5 $\pm$ 0.5	2.0 $\pm$ 0.5	2.6 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 1.1	4.3 $\pm$ 1.0	1.9 $\pm$ 0.4	10.4 $\pm$ 1.2	6.9 $\pm$ 0.7	-
LA_mIV11	34.7 $\pm$ 4.8	6.7 $\pm$ 1.1	1.4 $\pm$ 0.6	9.7 $\pm$ 2.0	9.1 $\pm$ 1.4	9.0 $\pm$ 0.5	2.4 $\pm$ 0.4	2.7 $\pm$ 0.4	1.6 $\pm$ 0.8	6.3 $\pm$ 1.0	1.6 $\pm$ 0.4	6.3 $\pm$ 1.0	5.5 $\pm$ 0.9	3.0 $\pm$ 0.9

Πίνακας Β.14: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα V)

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυρτικό διασβεστό (C2S)	Μπραουνμυ- λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεστίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περικλάστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
LA_mV01	29.7 $\pm$ 3.8	8.7 $\pm$ 0.8	-	8.0 $\pm$ 1.6	6.0 $\pm$ 0.8	14.3 $\pm$ 0.5	3.6 $\pm$ 0.4	2.5 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.8	4.9 $\pm$ 0.8	1.6 $\pm$ 0.3	8.0 $\pm$ 1.0	7.3 $\pm$ 0.7	4.2 $\pm$ 1.2
LA_mV02	27.8 $\pm$ 4.8	6.7 $\pm$ 1.0	-	6.0 $\pm$ 1.4	4.8 $\pm$ 1.2	14.7 $\pm$ 0.6	2.6 $\pm$ 0.5	2.4 $\pm$ 0.3	2.1 $\pm$ 1.0	7.8 $\pm$ 1.1	2.2 $\pm$ 0.4	11.7 $\pm$ 1.2	7.7 $\pm$ 0.9	3.5 $\pm$ 0.9
LA_mV03	23.6 $\pm$ 4.5	8.6 $\pm$ 1.1	2.2 $\pm$ 0.8	7.8 $\pm$ 1.1	9.3 $\pm$ 1.0	14.8 $\pm$ 0.6	2.1 $\pm$ 0.4	2.3 $\pm$ 0.4	1.3 $\pm$ 0.9	6.3 $\pm$ 1.1	1.8 $\pm$ 0.3	10.7 $\pm$ 1.5	7.6 $\pm$ 0.8	1.6 $\pm$ 0.8
LA_mV04	10.6 $\pm$ 5.4	7.2 $\pm$ 1.0	3.2 $\pm$ 1.0	10.7 $\pm$ 1.8	7.8 $\pm$ 1.0	3.7 $\pm$ 0.4	32.1 $\pm$ 1.8	1.7 $\pm$ 0.3	1.5 $\pm$ 0.8	3.8 $\pm$ 1.0	1.9 $\pm$ 0.4	7.9 $\pm$ 1.0	6.1 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.7
LA_mV05	14.9 $\pm$ 6.6	7.5 $\pm$ 1.2	3.2 $\pm$ 1.4	6.6 $\pm$ 1.6	8.3 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 0.4	31.6 $\pm$ 2.1	2.3 $\pm$ 0.4	1.4 $\pm$ 0.6	4.5 $\pm$ 1.2	2.8 $\pm$ 0.5	6.0 $\pm$ 0.9	5.2 $\pm$ 0.8	1.9 $\pm$ 0.8
LA_mV06	18.9 $\pm$ 5.1	5.7 $\pm$ 0.9	1.4 $\pm$ 0.9	7.5 $\pm$ 1.6	6.2 $\pm$ 1.0	4.4 $\pm$ 0.3	30.1 $\pm$ 1.7	1.6 $\pm$ 0.3	2.8 $\pm$ 0.8	4.2 $\pm$ 0.9	1.9 $\pm$ 0.5	7.1 $\pm$ 0.8	6.2 $\pm$ 0.9	2.0 $\pm$ 0.8
LA_mV09	14.7 $\pm$ 6.3	9.3 $\pm$ 1.5	1.3 $\pm$ 0.7	7.4 $\pm$ 1.5	11.7 $\pm$ 1.8	14.1 $\pm$ 0.7	3.2 $\pm$ 0.5	3.4 $\pm$ 0.5	2.2 $\pm$ 1.0	7.0 $\pm$ 1.5	2.2 $\pm$ 0.5	11.0 $\pm$ 1.4	8.7 $\pm$ 1.2	3.8 $\pm$ 1.1
LA_mV10	31.5 $\pm$ 4.8	6.7 $\pm$ 1.0	2.1 $\pm$ 0.9	8.3 $\pm$ 2.1	7.8 $\pm$ 1.3	13.2 $\pm$ 0.5	2.2 $\pm$ 0.3	2.2 $\pm$ 0.3	3.0 $\pm$ 0.9	4.1 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.4	9.7 $\pm$ 1.1	5.3 $\pm$ 0.8	2.1 $\pm$ 0.8
LA_mV11	21.4 $\pm$ 5.1	6.8 $\pm$ 1.1	5.8 $\pm$ 1.2	12.1 $\pm$ 2.1	10.7 $\pm$ 1.2	13.1 $\pm$ 0.5	2.2 $\pm$ 0.4	2.3 $\pm$ 0.4	2.0 $\pm$ 1.2	4.1 $\pm$ 0.9	1.8 $\pm$ 0.3	9.1 $\pm$ 1.4	6.1 $\pm$ 0.8	2.5 $\pm$ 0.8
LA_mV12	27.9 $\pm$ 5.1	8.1 $\pm$ 1.0	9.0 $\pm$ 1.2	7.5 $\pm$ 1.6	7.3 $\pm$ 1.0	6.9 $\pm$ 0.4	1.8 $\pm$ 0.4	2.5 $\pm$ 0.4	1.2 $\pm$ 0.8	4.4 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.4	13.4 $\pm$ 1.9	6.8 $\pm$ 1.0	1.4 $\pm$ 0.8

Πίνακας Β.15: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μέσο δείγμα σταθμού)

Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπρασονιμ- λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης /Πάλλης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
LA_ms01	31.5 $\pm$ 4.5	7.2 $\pm$ 0.8	-	5.6 $\pm$ 1.4	4.6 $\pm$ 0.8	14.5 $\pm$ 0.4	2.8 $\pm$ 0.4	2.5 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.7	6.8 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 0.3	8.4 $\pm$ 0.9	8.6 $\pm$ 0.7	4.3 $\pm$ 1.0
LA_ms02	26.5 $\pm$ 4.5	6.6 $\pm$ 0.9	-	7.6 $\pm$ 1.4	6.5 $\pm$ 0.9	15.0 $\pm$ 0.5	2.7 $\pm$ 0.5	1.9 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.6	7.2 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 0.3	11.8 $\pm$ 1.2	7.7 $\pm$ 0.9	3.5 $\pm$ 0.8
LA_ms03	30.6 $\pm$ 4.2	8.8 $\pm$ 1.0	3.1 $\pm$ 0.8	6.6 $\pm$ 1.4	8.9 $\pm$ 1.2	12.9 $\pm$ 0.5	1.7 $\pm$ 0.3	2.0 $\pm$ 0.4	1.4 $\pm$ 0.7	4.1 $\pm$ 0.9	2.1 $\pm$ 0.3	7.7 $\pm$ 0.9	8.0 $\pm$ 0.9	2.1 $\pm$ 0.8
LA_ms04	9.2 $\pm$ 6.3	7.5 $\pm$ 1.1	3.4 $\pm$ 1.2	11.1 $\pm$ 1.9	8.8 $\pm$ 1.0	1.1 $\pm$ 0.1	36.1 $\pm$ 2.1	1.9 $\pm$ 0.3	1.6 $\pm$ 0.7	3.4 $\pm$ 1.0	2.2 $\pm$ 0.5	5.8 $\pm$ 0.9	6.1 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.7
LA_ms05	17.6 $\pm$ 5.4	6.7 $\pm$ 1.0	4.5 $\pm$ 1.1	11.7 $\pm$ 2.1	12.1 $\pm$ 1.2	8.4 $\pm$ 0.4	19.1 $\pm$ 1.4	1.9 $\pm$ 0.4	2.6 $\pm$ 1.0	2.7 $\pm$ 1.0	2.1 $\pm$ 0.4	5.1 $\pm$ 0.9	5.5 $\pm$ 1.0	-
LA_ms06	12.1 $\pm$ 6.0	8.9 $\pm$ 1.2	3.4 $\pm$ 0.9	10.4 $\pm$ 1.9	10.7 $\pm$ 1.3	14.6 $\pm$ 0.6	11.3 $\pm$ 1.2	1.9 $\pm$ 0.4	2.7 $\pm$ 1.5	4.4 $\pm$ 1.1	2.0 $\pm$ 0.4	11.1 $\pm$ 1.6	6.5 $\pm$ 1.1	-
LA_ms07	13.9 $\pm$ 5.7	8.8 $\pm$ 1.1	3.7 $\pm$ 1.0	7.8 $\pm$ 1.8	7.4 $\pm$ 1.0	7.3 $\pm$ 0.4	22.0 $\pm$ 1.5	2.0 $\pm$ 0.4	1.4 $\pm$ 0.8	5.2 $\pm$ 1.1	1.8 $\pm$ 0.4	8.3 $\pm$ 1.0	8.4 $\pm$ 1.2	2.0 $\pm$ 0.9
LA_ms08	15.7 $\pm$ 5.1	7.4 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 1.0	9.9 $\pm$ 1.9	10.6 $\pm$ 1.1	6.0 $\pm$ 0.4	15.8 $\pm$ 1.2	1.8 $\pm$ 0.4	2.1 $\pm$ 1.1	5.1 $\pm$ 1.0	2.1 $\pm$ 0.3	12.4 $\pm$ 1.1	7.3 $\pm$ 0.9	-
LA_ms09	29.5 $\pm$ 4.7	6.4 $\pm$ 1.1	2.8 $\pm$ 1.1	9.5 $\pm$ 2.2	8.7 $\pm$ 1.2	8.9 $\pm$ 0.5	2.1 $\pm$ 0.4	2.6 $\pm$ 0.4	1.8 $\pm$ 1.1	5.0 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 0.4	11.6 $\pm$ 1.6	7.1 $\pm$ 1.0	2.3 $\pm$ 1.1
LA_ms10	33.2 $\pm$ 4.5	6.8 $\pm$ 0.9	2.6 $\pm$ 1.0	6.9 $\pm$ 1.2	7.7 $\pm$ 1.0	9.9 $\pm$ 0.5	5.0 $\pm$ 0.6	2.4 $\pm$ 0.4	1.3 $\pm$ 0.8	5.0 $\pm$ 1.0	1.9 $\pm$ 0.4	9.0 $\pm$ 1.1	5.4 $\pm$ 0.9	2.9 $\pm$ 0.8
LA_ms11	30.7 $\pm$ 5.1	8.1 $\pm$ 1.1	2.8 $\pm$ 1.0	9.0 $\pm$ 2.0	9.2 $\pm$ 1.1	11.6 $\pm$ 0.5	1.8 $\pm$ 0.5	2.6 $\pm$ 0.4	-	4.6 $\pm$ 1.0	1.9 $\pm$ 0.4	9.5 $\pm$ 1.5	6.3 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 1.0
LA_ms12	38.1 $\pm$ 3.9	6.1 $\pm$ 1.0	1.3 $\pm$ 0.6	3.5 $\pm$ 1.3	5.5 $\pm$ 1.1	9.8 $\pm$ 0.5	4.2 $\pm$ 0.5	1.9 $\pm$ 0.4	1.4 $\pm$ 0.8	6.3 $\pm$ 1.0	1.8 $\pm$ 0.3	9.0 $\pm$ 1.1	7.5 $\pm$ 1.0	3.6 $\pm$ 0.8

Πίνακας Β.16: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, του ΑΗΣ Καρδιάς, του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας (μονάδες I, II, IV) και του ΑΗΣ Αμυνταίου.

ΑΗΣ	Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπραουνμυλ- λερίτης	Άσβεστος (+Πορλανδίτης)	Άσβεστίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περικλάστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης	Πυρόξενοι
ΛΙΠΤΟΛ	LAd_L1	30.5 $\pm$ 4.6	12.0 $\pm$ 1.1	6.9 $\pm$ 1.0	6.7 $\pm$ 1.3	7.2 $\pm$ 0.9	4.5 $\pm$ 0.4	4.3 $\pm$ 0.7	1.8 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.6	3.8 $\pm$ 1.1	2.5 $\pm$ 0.3	8.9 $\pm$ 1.0	9.7 $\pm$ 0.8	-	-
	LAd_L2	17.2 $\pm$ 6.9	13.1 $\pm$ 1.2	9.6 $\pm$ 1.4	9.6 $\pm$ 2.0	10.3 $\pm$ 1.3	9.7 $\pm$ 0.8	6.2 $\pm$ 0.8	1.7 $\pm$ 0.4	3.2 $\pm$ 1.1	4.9 $\pm$ 1.4	2.9 $\pm$ 0.4	4.5 $\pm$ 0.8	7.1 $\pm$ 0.9	-	-
	LAd_L3	22.1 $\pm$ 6.1	12.4 $\pm$ 1.0	7.6 $\pm$ 1.0	7.1 $\pm$ 1.6	8.5 $\pm$ 1.0	4.7 $\pm$ 0.4	3.7 $\pm$ 0.8	1.9 $\pm$ 0.3	2.4 $\pm$ 1.2	2.6 $\pm$ 0.8	2.4 $\pm$ 0.3	14.5 $\pm$ 1.6	10.1 $\pm$ 1.0	-	-
	LAd_L4	12.8 $\pm$ 6.9	12.3 $\pm$ 1.4	12.5 $\pm$ 1.5	9.7 $\pm$ 1.8	11.8 $\pm$ 1.8	8.9 $\pm$ 0.8	3.6 $\pm$ 0.5	2.0 $\pm$ 0.4	3.3 $\pm$ 1.1	2.9 $\pm$ 1.2	3.5 $\pm$ 0.5	9.3 $\pm$ 1.3	7.4 $\pm$ 0.8	-	-
Αγ. Δημητρίου	LAd_AD1	20.0 $\pm$ 6.0	7.6 $\pm$ 1.0	9.4 $\pm$ 1.2	8.8 $\pm$ 1.2	7.9 $\pm$ 1.2	13.4 $\pm$ 0.9	3.2 $\pm$ 0.5	1.8 $\pm$ 0.4	3.5 $\pm$ 1.1	3.1 $\pm$ 0.9	2.4 $\pm$ 0.4	9.9 $\pm$ 1.1	9.0 $\pm$ 1.0	-	-
	LAd_AD2	20.3 $\pm$ 5.4	8.1 $\pm$ 1.1	7.1 $\pm$ 1.2	7.9 $\pm$ 1.2	7.8 $\pm$ 1.3	14.6 $\pm$ 1.0	3.3 $\pm$ 0.5	1.8 $\pm$ 0.4	3.5 $\pm$ 1.2	3.6 $\pm$ 1.0	2.0 $\pm$ 0.4	10.8 $\pm$ 1.1	7.6 $\pm$ 0.8	1.6 $\pm$ 0.9	-
	LAd_AD3	22.8 $\pm$ 6.0	8.0 $\pm$ 1.2	6.4 $\pm$ 1.2	8.8 $\pm$ 1.5	7.8 $\pm$ 1.5	18.6 $\pm$ 1.2	3.8 $\pm$ 0.7	2.1 $\pm$ 0.4	3.8 $\pm$ 1.3	3.4 $\pm$ 1.3	1.8 $\pm$ 0.4	7.0 $\pm$ 0.8	5.7 $\pm$ 0.6	-	-
	LAd_AD4	14.1 $\pm$ 7.2	8.0 $\pm$ 1.1	10.9 $\pm$ 1.4	8.5 $\pm$ 1.3	8.5 $\pm$ 1.5	18.8 $\pm$ 1.1	3.1 $\pm$ 0.6	1.9 $\pm$ 0.4	4.7 $\pm$ 1.1	4.2 $\pm$ 1.2	2.2 $\pm$ 0.4	8.7 $\pm$ 0.9	6.4 $\pm$ 0.8	-	-
	LAd_AD5	21.8 $\pm$ 6.0	8.4 $\pm$ 1.0	10.8 $\pm$ 1.3	7.3 $\pm$ 1.1	9.3 $\pm$ 1.4	12.9 $\pm$ 0.9	1.9 $\pm$ 0.5	1.9 $\pm$ 0.4	3.6 $\pm$ 1.2	3.5 $\pm$ 1.0	2.3 $\pm$ 0.4	10.6 $\pm$ 1.3	5.7 $\pm$ 1.0	-	-
Καρδιάς	LAd_K1	14.1 $\pm$ 6.0	7.7 $\pm$ 1.0	15.7 $\pm$ 1.7	10.1 $\pm$ 1.4	11.8 $\pm$ 1.7	8.8 $\pm$ 0.6	5.9 $\pm$ 0.9	1.9 $\pm$ 0.4	2.4 $\pm$ 1.0	2.3 $\pm$ 0.9	2.4 $\pm$ 0.5	8.6 $\pm$ 1.3	8.3 $\pm$ 1.4	-	-
	LAd_K2	19.0 $\pm$ 6.3	8.0 $\pm$ 1.0	13.2 $\pm$ 1.5	9.6 $\pm$ 1.4	12.5 $\pm$ 1.5	9.5 $\pm$ 0.7	3.5 $\pm$ 0.7	2.1 $\pm$ 0.4	2.8 $\pm$ 1.2	2.8 $\pm$ 1.0	2.8 $\pm$ 0.4	7.5 $\pm$ 1.4	6.7 $\pm$ 0.7	-	-
	LAd_K3	20.4 $\pm$ 5.7	7.1 $\pm$ 0.9	8.0 $\pm$ 1.3	6.4 $\pm$ 1.2	10.3 $\pm$ 1.7	16.8 $\pm$ 1.1	3.8 $\pm$ 0.6	2.0 $\pm$ 0.4	4.2 $\pm$ 1.3	3.3 $\pm$ 1.1	2.5 $\pm$ 0.5	7.2 $\pm$ 0.7	5.9 $\pm$ 0.6	2.1 $\pm$ 1.0	-
	LAd_K4	24.9 $\pm$ 5.7	9.2 $\pm$ 1.1	6.4 $\pm$ 1.2	6.3 $\pm$ 1.1	9.0 $\pm$ 1.5	12.3 $\pm$ 0.8	4.9 $\pm$ 0.6	2.0 $\pm$ 0.4	2.2 $\pm$ 0.9	4.2 $\pm$ 1.2	2.0 $\pm$ 0.4	9.0 $\pm$ 1.7	7.6 $\pm$ 0.9	-	-
Πτολεμαΐδας Μονάδα I	LAd_PT11	20.4 $\pm$ 6.0	12.1 $\pm$ 1.1	10.4 $\pm$ 1.4	8.2 $\pm$ 2.0	8.9 $\pm$ 1.3	7.7 $\pm$ 0.6	3.3 $\pm$ 0.5	1.8 $\pm$ 0.3	3.1 $\pm$ 1.1	3.5 $\pm$ 1.1	1.5 $\pm$ 0.3	10.2 $\pm$ 1.6	7.6 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.8	-
	LAd_PT12	15.1 $\pm$ 6.6	11.0 $\pm$ 1.1	12.1 $\pm$ 1.5	8.5 $\pm$ 1.4	9.8 $\pm$ 1.4	9.9 $\pm$ 0.8	3.7 $\pm$ 0.5	1.8 $\pm$ 0.4	3.1 $\pm$ 1.0	4.3 $\pm$ 1.2	1.6 $\pm$ 0.3	10.3 $\pm$ 1.4	7.2 $\pm$ 1.0	1.6 $\pm$ 0.8	-
	LAd_PT13	11.9 $\pm$ 6.7	12.9 $\pm$ 1.0	13.9 $\pm$ 1.4	9.3 $\pm$ 1.3	10.7 $\pm$ 1.3	6.4 $\pm$ 0.6	4.5 $\pm$ 0.8	1.4 $\pm$ 0.3	2.1 $\pm$ 1.2	3.4 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.4	14.2 $\pm$ 1.5	7.1 $\pm$ 1.1	0.9 $\pm$ 0.6	-
	LAd_PT14	21.9 $\pm$ 4.7	9.4 $\pm$ 0.9	10.5 $\pm$ 1.2	5.8 $\pm$ 1.0	6.6 $\pm$ 0.9	6.0 $\pm$ 0.4	10.9 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 0.3	4.5 $\pm$ 0.8	3.6 $\pm$ 1.0	1.3 $\pm$ 0.3	8.6 $\pm$ 1.4	7.4 $\pm$ 0.9	1.8 $\pm$ 0.7	-
	LAd_PT15	14.7 $\pm$ 5.1	11.5 $\pm$ 1.1	9.4 $\pm$ 1.1	9.4 $\pm$ 1.9	6.9 $\pm$ 0.9	2.6 $\pm$ 0.3	10.4 $\pm$ 1.0	1.5 $\pm$ 0.3	1.1 $\pm$ 0.8	5.2 $\pm$ 1.0	1.0 $\pm$ 0.3	13.6 $\pm$ 1.0	10.7 $\pm$ 1.0	2.0 $\pm$ 0.7	-
	LAd_PT16	13.2 $\pm$ 4.8	11.3 $\pm$ 0.9	15.5 $\pm$ 1.3	9.2 $\pm$ 1.6	6.4 $\pm$ 0.8	1.8 $\pm$ 0.3	6.4 $\pm$ 0.7	1.4 $\pm$ 0.3	2.3 $\pm$ 0.9	5.0 $\pm$ 1.0	0.8 $\pm$ 0.3	15.5 $\pm$ 1.4	9.9 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.6	-
	LAd_PT17	18.3 $\pm$ 5.1	11.0 $\pm$ 1.0	12.7 $\pm$ 1.3	6.7 $\pm$ 2.0	7.6 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 0.4	5.1 $\pm$ 0.7	1.7 $\pm$ 0.3	3.2 $\pm$ 0.9	5.3 $\pm$ 1.2	1.1 $\pm$ 0.3	12.0 $\pm$ 1.0	10.5 $\pm$ 0.9	1.4 $\pm$ 0.7	-

Πίνακας Β.16 (συνέχεια)

ΑΗΣ	Δείγμα	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο (C2S)	Μπραουνμυ-λερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Άσβεστίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Γκλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης	Πυρόξενοι
Πτολεμαΐδας Μονάδα II	LAd_PTII1	21.8 ± 5.7	11.0 ± 1.0	8.7 ± 1.2	9.0 ± 2.1	7.2 ± 1.2	7.9 ± 0.6	2.9 ± 0.5	1.8 ± 0.3	3.0 ± 0.9	4.0 ± 1.2	1.2 ± 0.3	10.5 ± 1.8	7.8 ± 1.0	3.2 ± 0.8	-
	LAd_PTII2	17.2 ± 6.6	13.0 ± 1.1	7.9 ± 1.0	13.9 ± 1.5	4.8 ± 1.6	7.8 ± 0.7	3.9 ± 0.4	2.1 ± 0.3	4.0 ± 0.8	5.1 ± 1.3	1.4 ± 0.3	9.3 ± 1.2	6.7 ± 0.8	2.9 ± 0.8	-
	LAd_PTII3	9.5 ± 4.8	12.7 ± 0.9	18.1 ± 1.4	9.0 ± 1.2	8.1 ± 1.1	0.8 ± 0.1	14.8 ± 1.0	1.9 ± 0.3	1.5 ± 0.7	3.4 ± 0.9	1.0 ± 0.4	9.8 ± 1.0	8.1 ± 0.9	1.3 ± 0.6	-
	LAd_PTII4	15.7 ± 6.1	11.1 ± 1.1	11.7 ± 1.4	10.0 ± 2.1	7.8 ± 1.2	6.7 ± 0.5	4.9 ± 0.7	1.7 ± 0.3	2.4 ± 1.0	3.8 ± 1.1	1.1 ± 0.3	11.5 ± 1.3	9.2 ± 1.1	2.4 ± 0.7	-
	LAd_PTII5	25.0 ± 4.5	10.0 ± 0.9	12.7 ± 1.2	5.1 ± 1.3	6.2 ± 0.9	4.3 ± 0.4	1.9 ± 0.3	1.7 ± 0.3	2.1 ± 1.1	5.4 ± 1.0	0.9 ± 0.3	13.9 ± 1.5	9.1 ± 0.8	1.7 ± 0.7	-
	LAd_PTII6	24.2 ± 4.5	13.1 ± 1.0	11.3 ± 1.2	6.1 ± 1.1	6.9 ± 0.9	3.1 ± 0.3	3.2 ± 0.6	1.9 ± 0.3	3.5 ± 1.0	4.3 ± 0.9	1.1 ± 0.3	11.6 ± 0.9	8.5 ± 0.8	1.2 ± 0.6	-
	LAd_PTII7	19.7 ± 5.1	10.9 ± 1.0	13.6 ± 1.3	9.1 ± 1.7	7.4 ± 0.8	4.0 ± 0.4	3.2 ± 0.5	1.7 ± 0.3	3.1 ± 0.8	3.9 ± 1.1	1.1 ± 0.3	11.9 ± 1.1	8.8 ± 0.9	1.6 ± 0.7	-
Πτολεμαΐδας Μονάδα IV	LAd_PTIV1	18.4 ± 6.3	10.7 ± 1.1	12.0 ± 1.5	9.1 ± 1.3	8.2 ± 1.3	11.1 ± 0.8	2.8 ± 0.5	2.0 ± 0.3	3.8 ± 1.1	4.5 ± 1.2	1.4 ± 0.3	6.0 ± 0.8	7.4 ± 1.1	2.6 ± 0.8	-
	LAd_PTIV2	20.6 ± 5.4	10.5 ± 1.0	10.1 ± 1.4	8.8 ± 1.4	8.9 ± 1.0	6.8 ± 0.5	5.3 ± 0.6	1.5 ± 0.3	2.0 ± 1.1	3.5 ± 1.3	1.4 ± 0.3	9.4 ± 1.1	8.8 ± 1.0	2.4 ± 0.8	-
	LAd_PTIV3	21.9 ± 5.1	10.9 ± 0.9	11.4 ± 1.3	6.7 ± 1.1	6.2 ± 1.0	3.5 ± 0.4	5.9 ± 0.8	1.7 ± 0.3	2.0 ± 1.2	5.3 ± 1.2	1.0 ± 0.3	12.4 ± 1.2	9.5 ± 0.8	1.6 ± 0.7	-
	LAd_PTIV4	21.0 ± 5.1	11.5 ± 0.9	11.7 ± 1.2	8.1 ± 1.5	6.7 ± 0.8	2.6 ± 0.3	8.1 ± 0.9	1.6 ± 0.3	3.0 ± 1.0	3.0 ± 1.0	1.0 ± 0.3	11.9 ± 1.4	8.6 ± 0.9	1.2 ± 0.6	-
	LAd_PTIV5	22.9 ± 5.1	10.4 ± 1.0	9.5 ± 1.2	6.5 ± 1.6	6.4 ± 0.9	2.6 ± 0.3	11.2 ± 1.0	1.7 ± 0.3	1.3 ± 0.9	4.6 ± 1.4	0.9 ± 0.3	12.0 ± 1.1	10.0 ± 0.9	-	-
Αμυνταίου	LAd_AM1	26.0 ± 5.4	11.3 ± 0.9	8.8 ± 1.1	5.8 ± 1.1	2.9 ± 0.8	1.1 ± 0.3	2.3 ± 0.6	2.9 ± 0.6	1.3 ± 0.4	4.4 ± 1.0	1.2 ± 0.5	16.8 ± 1.3	10.8 ± 0.9	-	4.4 ± 1.1
	LAd_AM2	18.3 ± 6.0	12.8 ± 0.9	17.8 ± 1.5	1.1 ± 0.6	-	-	1.8 ± 0.4	3.0 ± 0.4	-	5.6 ± 1.3	1.0 ± 0.6	23.4 ± 1.6	9.1 ± 1.1	1.5 ± 0.8	4.6 ± 1.2
	LAd_AM3	8.7 ± 6.2	12.6 ± 1.1	18.1 ± 1.8	9.4 ± 1.3	3.6 ± 1.1	-	5.9 ± 1.0	1.8 ± 0.3	2.2 ± 0.7	4.8 ± 1.3	0.9 ± 0.3	20.6 ± 1.5	9.7 ± 0.9	-	1.7 ± 0.4
	LAd_AM4	21.8 ± 5.4	13.7 ± 1.0	11.8 ± 1.3	9.4 ± 1.5	6.0 ± 0.9	2.5 ± 0.3	2.8 ± 0.4	2.1 ± 0.3	0.9 ± 0.3	3.8 ± 1.0	1.8 ± 0.3	13.4 ± 1.3	7.7 ± 0.9	-	2.3 ± 0.5

Πίνακας Β.17: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) δώρων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
FA_2h00	21.90 $\pm$ 0.38	10.20 $\pm$ 0.37	7.80 $\pm$ 0.08	36.81 $\pm$ 0.41	5.15 $\pm$ 0.57	6.14 $\pm$ 0.10	0.82 $\pm$ 0.32	0.46 $\pm$ 0.06	0.46 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.47 $\pm$ 0.03	0.140 $\pm$ 0.015	0.042 $\pm$ 0.002	0.009 $\pm$ 0.001	0.068 $\pm$ 0.012	9.94 $\pm$ 0.16
FA_2h02	19.76 $\pm$ 0.39	9.30 $\pm$ 0.37	8.30 $\pm$ 0.09	36.34 $\pm$ 0.41	4.55 $\pm$ 0.60	8.13 $\pm$ 0.11	1.20 $\pm$ 0.47	0.61 $\pm$ 0.07	0.44 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.47 $\pm$ 0.03	0.143 $\pm$ 0.016	0.039 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.001	0.068 $\pm$ 0.012	10.93 $\pm$ 0.17
FA_2h04	28.05 $\pm$ 0.42	12.12 $\pm$ 0.37	9.35 $\pm$ 0.09	26.81 $\pm$ 0.37	5.78 $\pm$ 0.65	7.38 $\pm$ 0.11	0.74 $\pm$ 0.29	0.80 $\pm$ 0.09	0.61 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.01	0.71 $\pm$ 0.05	0.200 $\pm$ 0.018	0.039 $\pm$ 0.002	0.014 $\pm$ 0.002	0.101 $\pm$ 0.015	6.84 $\pm$ 0.11
FA_2h06	25.93 $\pm$ 0.42	11.53 $\pm$ 0.38	9.18 $\pm$ 0.09	29.09 $\pm$ 0.38	5.69 $\pm$ 0.67	7.71 $\pm$ 0.11	0.67 $\pm$ 0.26	0.77 $\pm$ 0.08	0.55 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.70 $\pm$ 0.05	0.187 $\pm$ 0.018	0.038 $\pm$ 0.002	0.013 $\pm$ 0.002	0.097 $\pm$ 0.015	7.36 $\pm$ 0.12
FA_2h08	27.23 $\pm$ 0.42	12.14 $\pm$ 0.38	8.91 $\pm$ 0.09	28.37 $\pm$ 0.38	5.88 $\pm$ 0.65	6.92 $\pm$ 0.10	1.33 $\pm$ 0.52	0.81 $\pm$ 0.09	0.62 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.66 $\pm$ 0.05	0.218 $\pm$ 0.019	0.039 $\pm$ 0.002	0.013 $\pm$ 0.002	0.092 $\pm$ 0.016	7.02 $\pm$ 0.11
FA_2h10	26.04 $\pm$ 0.41	11.20 $\pm$ 0.37	8.59 $\pm$ 0.09	30.13 $\pm$ 0.39	5.58 $\pm$ 0.63	7.31 $\pm$ 0.10	0.63 $\pm$ 0.25	0.80 $\pm$ 0.09	0.58 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.64 $\pm$ 0.04	0.203 $\pm$ 0.019	0.040 $\pm$ 0.002	0.013 $\pm$ 0.002	0.083 $\pm$ 0.014	8.10 $\pm$ 0.13
FA_2h12	23.71 $\pm$ 0.39	11.41 $\pm$ 0.39	7.72 $\pm$ 0.08	34.25 $\pm$ 0.41	5.78 $\pm$ 0.62	6.62 $\pm$ 0.10	0.50 $\pm$ 0.20	0.57 $\pm$ 0.07	0.54 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.58 $\pm$ 0.04	0.177 $\pm$ 0.018	0.043 $\pm$ 0.002	0.012 $\pm$ 0.002	0.079 $\pm$ 0.014	8.09 $\pm$ 0.13
FA_2h14	25.54 $\pm$ 0.43	10.91 $\pm$ 0.38	8.71 $\pm$ 0.09	33.20 $\pm$ 0.41	5.03 $\pm$ 0.64	6.40 $\pm$ 0.10	1.26 $\pm$ 0.49	0.81 $\pm$ 0.09	0.56 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.61 $\pm$ 0.04	0.193 $\pm$ 0.019	0.040 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.002	0.084 $\pm$ 0.015	7.02 $\pm$ 0.11
FA_2h16	27.60 $\pm$ 0.43	11.55 $\pm$ 0.38	9.21 $\pm$ 0.09	29.18 $\pm$ 0.39	5.55 $\pm$ 0.65	6.34 $\pm$ 0.10	1.50 $\pm$ 0.58	0.82 $\pm$ 0.09	0.60 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.66 $\pm$ 0.05	0.202 $\pm$ 0.018	0.037 $\pm$ 0.002	0.011 $\pm$ 0.002	0.100 $\pm$ 0.016	6.13 $\pm$ 0.10
FA_2h18	23.77 $\pm$ 0.41	10.74 $\pm$ 0.38	8.30 $\pm$ 0.09	34.81 $\pm$ 0.42	4.95 $\pm$ 0.61	6.27 $\pm$ 0.10	0.55 $\pm$ 0.21	0.74 $\pm$ 0.08	0.51 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.53 $\pm$ 0.04	0.168 $\pm$ 0.017	0.043 $\pm$ 0.002	0.012 $\pm$ 0.002	0.076 $\pm$ 0.013	8.02 $\pm$ 0.13
FA_2h20	29.13 $\pm$ 0.43	12.13 $\pm$ 0.37	8.64 $\pm$ 0.09	27.34 $\pm$ 0.37	5.47 $\pm$ 0.62	5.78 $\pm$ 0.09	1.28 $\pm$ 0.50	0.87 $\pm$ 0.09	0.61 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.66 $\pm$ 0.05	0.207 $\pm$ 0.018	0.037 $\pm$ 0.002	0.014 $\pm$ 0.002	0.099 $\pm$ 0.015	7.85 $\pm$ 0.12
FA_2h22	19.97 $\pm$ 0.39	9.29 $\pm$ 0.38	8.08 $\pm$ 0.09	39.55 $\pm$ 0.43	4.44 $\pm$ 0.57	7.19 $\pm$ 0.10	0.97 $\pm$ 0.37	0.68 $\pm$ 0.07	0.43 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.39 $\pm$ 0.02	0.128 $\pm$ 0.015	0.046 $\pm$ 0.002	0.012 $\pm$ 0.002	0.060 $\pm$ 0.010	9.11 $\pm$ 0.14

Πίνακας Β.18: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) ημερήσιων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
FA_dI0	24.79 ± 0.41	11.00 ± 0.37	8.54 ± 0.09	32.07 ± 0.40	5.30 ± 0.62	6.80 ± 0.10	0.95 ± 0.37	0.72 ± 0.08	0.54 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.59 ± 0.04	0.180 ± 0.020	0.040 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.084 ± 0.014	8.03 ± 0.13
FA_dI1	24.56 ± 0.41	10.76 ± 0.37	8.90 ± 0.09	33.18 ± 0.41	5.18 ± 0.62	7.08 ± 0.10	0.62 ± 0.24	0.78 ± 0.08	0.54 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.59 ± 0.04	0.174 ± 0.017	0.042 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.086 ± 0.015	7.12 ± 0.11
FA_dI2	21.68 ± 0.39	9.88 ± 0.38	8.46 ± 0.09	37.39 ± 0.43	4.76 ± 0.59	6.06 ± 0.10	1.05 ± 0.41	0.71 ± 0.08	0.51 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.43 ± 0.03	0.154 ± 0.016	0.046 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.065 ± 0.011	8.58 ± 0.13
FA_dI3	26.24 ± 0.42	11.36 ± 0.38	8.90 ± 0.09	31.91 ± 0.41	5.14 ± 0.63	5.43 ± 0.09	1.16 ± 0.45	0.80 ± 0.09	0.58 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.59 ± 0.04	0.184 ± 0.018	0.042 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.087 ± 0.015	7.80 ± 0.12
FA_dI4	26.42 ± 0.41	11.02 ± 0.36	8.53 ± 0.09	30.15 ± 0.39	5.53 ± 0.63	6.23 ± 0.10	1.21 ± 0.47	0.82 ± 0.09	0.56 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.60 ± 0.04	0.187 ± 0.018	0.038 ± 0.002	0.014 ± 0.002	0.081 ± 0.014	9.01 ± 0.14
FA_dI5	20.41 ± 0.39	9.32 ± 0.37	8.21 ± 0.09	38.09 ± 0.43	4.38 ± 0.57	5.88 ± 0.09	0.92 ± 0.36	0.67 ± 0.07	0.49 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.38 ± 0.03	0.150 ± 0.016	0.043 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.068 ± 0.012	10.80 ± 0.17
FA_dI6	22.43 ± 0.40	9.97 ± 0.37	7.84 ± 0.08	35.40 ± 0.42	4.87 ± 0.61	6.24 ± 0.10	1.03 ± 0.40	0.71 ± 0.08	0.48 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.51 ± 0.03	0.165 ± 0.018	0.044 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.065 ± 0.011	10.63 ± 0.17
FA_dI7	25.12 ± 0.41	10.52 ± 0.37	7.27 ± 0.08	32.40 ± 0.39	5.38 ± 0.62	6.17 ± 0.10	1.12 ± 0.43	0.76 ± 0.08	0.52 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.60 ± 0.04	0.203 ± 0.020	0.042 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.060 ± 0.010	9.61 ± 0.15
FA_dI8	25.96 ± 0.43	10.90 ± 0.37	10.24 ± 0.10	32.60 ± 0.42	5.23 ± 0.64	4.85 ± 0.09	1.04 ± 0.40	0.79 ± 0.09	0.53 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.56 ± 0.04	0.124 ± 0.013	0.042 ± 0.002	0.013 ± 0.002	0.102 ± 0.016	6.60 ± 0.10
FA_dII1	18.61 ± 0.37	8.62 ± 0.35	9.06 ± 0.09	35.45 ± 0.40	4.33 ± 0.56	7.99 ± 0.11	1.01 ± 0.39	0.59 ± 0.07	0.41 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.40 ± 0.03	0.111 ± 0.013	0.039 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.062 ± 0.011	13.39 ± 0.21
FA_dII2	21.27 ± 0.39	9.64 ± 0.37	8.17 ± 0.09	36.58 ± 0.42	4.77 ± 0.60	6.27 ± 0.10	0.93 ± 0.36	0.67 ± 0.08	0.47 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.47 ± 0.03	0.149 ± 0.016	0.045 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.061 ± 0.010	10.69 ± 0.17
FA_dII3	24.54 ± 0.41	10.33 ± 0.37	8.30 ± 0.09	34.38 ± 0.42	4.74 ± 0.61	5.26 ± 0.09	1.15 ± 0.45	0.75 ± 0.08	0.53 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.53 ± 0.04	0.174 ± 0.018	0.041 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.076 ± 0.013	9.56 ± 0.15
FA_dII4	24.09 ± 0.41	10.38 ± 0.37	8.18 ± 0.09	33.84 ± 0.41	5.09 ± 0.63	6.09 ± 0.10	1.14 ± 0.44	0.74 ± 0.08	0.52 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.55 ± 0.04	0.177 ± 0.018	0.040 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.072 ± 0.012	8.88 ± 0.14
FA_dII5	23.10 ± 0.40	9.90 ± 0.37	8.40 ± 0.09	34.09 ± 0.41	4.97 ± 0.62	6.45 ± 0.10	1.02 ± 0.40	0.71 ± 0.08	0.50 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.54 ± 0.04	0.164 ± 0.017	0.041 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.068 ± 0.012	9.97 ± 0.16
FA_dII6	22.13 ± 0.39	10.29 ± 0.38	6.69 ± 0.08	35.75 ± 0.41	4.39 ± 0.57	5.89 ± 0.09	1.16 ± 0.45	0.72 ± 0.08	0.44 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.50 ± 0.03	0.167 ± 0.018	0.047 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.055 ± 0.009	12.06 ± 0.19
FA_dII7	25.15 ± 0.41	10.86 ± 0.38	6.57 ± 0.07	33.70 ± 0.40	5.16 ± 0.62	6.20 ± 0.10	1.15 ± 0.45	0.79 ± 0.08	0.48 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.60 ± 0.04	0.205 ± 0.021	0.048 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.050 ± 0.009	9.26 ± 0.15
FA_dIII1	25.87 ± 0.42	10.99 ± 0.38	8.54 ± 0.09	33.79 ± 0.42	5.12 ± 0.63	5.20 ± 0.09	1.15 ± 0.45	0.84 ± 0.09	0.58 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.57 ± 0.04	0.193 ± 0.019	0.044 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.084 ± 0.015	7.43 ± 0.12
FA_dIII2	25.83 ± 0.42	10.84 ± 0.37	8.70 ± 0.09	31.54 ± 0.40	5.53 ± 0.64	5.97 ± 0.10	1.26 ± 0.49	0.79 ± 0.09	0.54 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.60 ± 0.04	0.177 ± 0.017	0.039 ± 0.002	0.013 ± 0.002	0.082 ± 0.014	8.46 ± 0.13
FA_dIV1	17.95 ± 0.38	8.60 ± 0.38	8.76 ± 0.09	42.23 ± 0.45	4.13 ± 0.55	6.15 ± 0.10	0.85 ± 0.33	0.60 ± 0.07	0.40 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.26 ± 0.02	0.098 ± 0.013	0.047 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.061 ± 0.011	9.89 ± 0.16
FA_dIV2	23.43 ± 0.40	10.21 ± 0.37	8.30 ± 0.09	34.07 ± 0.41	5.07 ± 0.61	6.52 ± 0.10	1.16 ± 0.45	0.77 ± 0.08	0.52 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.51 ± 0.03	0.172 ± 0.018	0.041 ± 0.002	0.013 ± 0.002	0.070 ± 0.012	8.69 ± 0.14
FA_dIV3	25.15 ± 0.42	10.60 ± 0.37	8.39 ± 0.09	33.71 ± 0.41	4.91 ± 0.61	5.25 ± 0.09	1.19 ± 0.46	0.80 ± 0.08	0.53 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.55 ± 0.04	0.171 ± 0.017	0.043 ± 0.002	0.013 ± 0.002	0.073 ± 0.013	8.33 ± 0.13

Πίνακας Β.19: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα Ι).

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
FA_mI01	22.78 ± 0.40	10.19 ± 0.37	8.17 ± 0.09	35.55 ± 0.42	4.89 ± 0.59	6.18 ± 0.10	1.14 ± 0.44	0.75 ± 0.08	0.50 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.50 ± 0.03	0.163 ± 0.017	0.047 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.073 ± 0.012	9.31 ± 0.15
FA_mI03	23.54 ± 0.40	9.93 ± 0.36	7.74 ± 0.08	33.57 ± 0.40	5.09 ± 0.60	6.25 ± 0.10	1.13 ± 0.44	0.79 ± 0.08	0.47 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.52 ± 0.03	0.163 ± 0.017	0.047 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.063 ± 0.011	10.97 ± 0.17
FA_mI04	21.21 ± 0.39	9.55 ± 0.37	7.57 ± 0.08	36.73 ± 0.42	4.13 ± 0.56	5.26 ± 0.09	0.97 ± 0.38	0.68 ± 0.07	0.44 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.44 ± 0.03	0.140 ± 0.016	0.046 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.062 ± 0.011	13.14 ± 0.21
FA_mI05	20.28 ± 0.38	9.62 ± 0.37	8.24 ± 0.09	36.55 ± 0.42	4.42 ± 0.56	5.83 ± 0.09	1.04 ± 0.40	0.69 ± 0.07	0.44 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.39 ± 0.03	0.129 ± 0.015	0.045 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.068 ± 0.012	11.92 ± 0.19
FA_mI06	19.92 ± 0.38	9.15 ± 0.37	7.56 ± 0.08	38.35 ± 0.43	4.38 ± 0.56	5.91 ± 0.09	1.09 ± 0.42	0.69 ± 0.07	0.42 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.37 ± 0.02	0.132 ± 0.016	0.052 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.057 ± 0.010	11.56 ± 0.18
FA_mI07	24.26 ± 0.41	10.98 ± 0.38	9.49 ± 0.09	32.83 ± 0.41	5.36 ± 0.63	6.11 ± 0.10	1.25 ± 0.49	0.77 ± 0.09	0.48 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.53 ± 0.04	0.136 ± 0.015	0.044 ± 0.002	0.013 ± 0.002	0.090 ± 0.016	7.80 ± 0.12
FA_mI08	22.26 ± 0.39	9.71 ± 0.37	7.73 ± 0.08	36.67 ± 0.42	4.38 ± 0.57	5.17 ± 0.09	0.98 ± 0.38	0.75 ± 0.08	0.44 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.47 ± 0.03	0.136 ± 0.016	0.048 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.065 ± 0.011	10.92 ± 0.17
FA_mI09	20.72 ± 0.39	9.44 ± 0.37	7.89 ± 0.08	37.40 ± 0.42	4.27 ± 0.56	5.29 ± 0.09	1.11 ± 0.43	0.69 ± 0.08	0.42 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.39 ± 0.03	0.125 ± 0.015	0.049 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.073 ± 0.012	11.77 ± 0.18
FA_mI10	21.44 ± 0.39	9.86 ± 0.38	7.59 ± 0.08	38.09 ± 0.43	4.40 ± 0.55	5.32 ± 0.09	0.66 ± 0.25	0.71 ± 0.08	0.44 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.41 ± 0.03	0.140 ± 0.016	0.050 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.062 ± 0.011	11.22 ± 0.18
FA_mI11	20.97 ± 0.39	9.71 ± 0.38	7.59 ± 0.08	38.22 ± 0.43	4.56 ± 0.58	5.34 ± 0.09	1.02 ± 0.40	0.71 ± 0.08	0.43 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.42 ± 0.03	0.139 ± 0.016	0.051 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.059 ± 0.010	11.04 ± 0.17
FA_mI12	23.35 ± 0.39	10.54 ± 0.37	7.41 ± 0.08	32.60 ± 0.39	4.82 ± 0.60	5.66 ± 0.09	1.20 ± 0.47	0.76 ± 0.08	0.45 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.54 ± 0.04	0.160 ± 0.017	0.044 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.067 ± 0.012	12.49 ± 0.20

Πίνακας Β.20: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα ΙΙ).

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
FA_mII01	22.94 ± 0.40	10.31 ± 0.38	8.43 ± 0.09	34.80 ± 0.41	5.02 ± 0.62	6.23 ± 0.10	1.09 ± 0.42	0.72 ± 0.08	0.48 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.52 ± 0.04	0.153 ± 0.016	0.045 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.067 ± 0.012	9.36 ± 0.15
FA_mII02	23.34 ± 0.40	9.90 ± 0.37	7.32 ± 0.08	35.93 ± 0.41	4.83 ± 0.59	6.24 ± 0.10	1.09 ± 0.42	0.80 ± 0.08	0.44 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.49 ± 0.03	0.155 ± 0.018	0.052 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.058 ± 0.010	9.70 ± 0.15
FA_mII03	23.69 ± 0.40	9.75 ± 0.36	7.49 ± 0.08	34.06 ± 0.41	5.25 ± 0.63	5.93 ± 0.09	1.11 ± 0.43	0.79 ± 0.08	0.47 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.56 ± 0.04	0.167 ± 0.018	0.050 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.059 ± 0.010	10.24 ± 0.16
FA_mII04	19.45 ± 0.37	9.05 ± 0.37	7.61 ± 0.08	39.46 ± 0.43	4.10 ± 0.53	5.62 ± 0.09	0.81 ± 0.31	0.64 ± 0.07	0.41 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.33 ± 0.02	0.118 ± 0.015	0.048 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.057 ± 0.010	12.28 ± 0.19
FA_mII05	21.08 ± 0.39	9.58 ± 0.37	8.04 ± 0.08	36.67 ± 0.42	4.40 ± 0.58	5.44 ± 0.09	0.98 ± 0.38	0.68 ± 0.07	0.42 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.44 ± 0.03	0.125 ± 0.015	0.046 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.069 ± 0.012	11.68 ± 0.18
FA_mII06	20.20 ± 0.38	9.62 ± 0.37	6.97 ± 0.08	37.02 ± 0.41	4.30 ± 0.56	5.85 ± 0.10	1.09 ± 0.42	0.69 ± 0.07	0.38 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.41 ± 0.03	0.124 ± 0.015	0.049 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.058 ± 0.010	13.62 ± 0.21
FA_mII07	22.89 ± 0.41	10.08 ± 0.37	9.22 ± 0.09	34.00 ± 0.41	4.83 ± 0.60	6.62 ± 0.10	1.27 ± 0.49	0.76 ± 0.08	0.48 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.50 ± 0.03	0.136 ± 0.015	0.044 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.084 ± 0.014	9.29 ± 0.15
FA_mII08	22.40 ± 0.39	9.61 ± 0.37	7.42 ± 0.08	37.11 ± 0.42	4.63 ± 0.58	5.19 ± 0.09	1.00 ± 0.39	0.76 ± 0.08	0.43 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.47 ± 0.03	0.144 ± 0.016	0.053 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.056 ± 0.010	10.95 ± 0.17
FA_mII09	20.27 ± 0.36	9.11 ± 0.35	6.77 ± 0.07	34.05 ± 0.39	4.14 ± 0.54	5.06 ± 0.08	1.09 ± 0.42	0.70 ± 0.07	0.38 ± 0.04	0.03 ± 0.01	0.42 ± 0.03	0.126 ± 0.015	0.045 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.056 ± 0.010	17.98 ± 0.28
FA_mII10	20.97 ± 0.39	9.66 ± 0.37	7.41 ± 0.08	36.73 ± 0.42	4.39 ± 0.57	5.51 ± 0.09	1.09 ± 0.42	0.69 ± 0.07	0.41 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.43 ± 0.03	0.134 ± 0.016	0.047 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.064 ± 0.011	12.06 ± 0.19
FA_mII11	20.42 ± 0.39	9.25 ± 0.37	7.49 ± 0.08	38.93 ± 0.43	4.28 ± 0.55	5.73 ± 0.09	0.99 ± 0.38	0.70 ± 0.07	0.43 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.37 ± 0.02	0.135 ± 0.016	0.051 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.057 ± 0.010	11.54 ± 0.18
FA_mII12	23.43 ± 0.40	10.47 ± 0.38	7.93 ± 0.09	34.64 ± 0.42	4.82 ± 0.60	6.38 ± 0.10	1.18 ± 0.46	0.80 ± 0.08	0.48 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.52 ± 0.03	0.165 ± 0.018	0.049 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.070 ± 0.012	9.20 ± 0.14

Πίνακας Β.21: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα ΙΙΙ).

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
FA_mIII01	22.90 ± 0.40	10.03 ± 0.37	7.97 ± 0.08	34.32 ± 0.41	4.75 ± 0.59	5.59 ± 0.09	1.01 ± 0.39	0.74 ± 0.08	0.49 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.52 ± 0.03	0.157 ± 0.017	0.045 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.072 ± 0.012	11.53 ± 0.18
FA_mIII02	23.11 ± 0.40	9.85 ± 0.37	7.27 ± 0.08	36.57 ± 0.42	4.87 ± 0.60	5.91 ± 0.10	0.52 ± 0.20	0.73 ± 0.08	0.44 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.52 ± 0.03	0.153 ± 0.017	0.052 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.059 ± 0.010	10.14 ± 0.16
FA_mIII03	22.72 ± 0.40	9.90 ± 0.37	7.19 ± 0.08	35.55 ± 0.41	4.99 ± 0.60	5.97 ± 0.09	1.11 ± 0.43	0.78 ± 0.08	0.43 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.51 ± 0.03	0.151 ± 0.017	0.051 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.060 ± 0.010	10.31 ± 0.16
FA_mIII04	21.12 ± 0.38	9.35 ± 0.36	7.80 ± 0.08	35.88 ± 0.41	4.38 ± 0.57	5.66 ± 0.09	1.01 ± 0.39	0.68 ± 0.07	0.44 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.45 ± 0.03	0.137 ± 0.015	0.044 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.068 ± 0.012	12.98 ± 0.20
FA_mIII05	20.12 ± 0.38	9.46 ± 0.37	8.43 ± 0.09	36.17 ± 0.42	4.34 ± 0.57	5.55 ± 0.09	1.08 ± 0.42	0.66 ± 0.07	0.41 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.41 ± 0.03	0.113 ± 0.013	0.042 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.068 ± 0.012	13.26 ± 0.21
FA_mIII06	20.86 ± 0.39	9.32 ± 0.37	7.56 ± 0.08	37.39 ± 0.42	4.64 ± 0.59	6.32 ± 0.10	1.11 ± 0.43	0.68 ± 0.07	0.41 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.43 ± 0.03	0.132 ± 0.016	0.049 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.059 ± 0.010	11.43 ± 0.18
FA_mIII07	21.60 ± 0.39	9.80 ± 0.37	8.28 ± 0.09	35.24 ± 0.41	4.57 ± 0.58	5.68 ± 0.09	1.10 ± 0.43	0.70 ± 0.08	0.44 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.46 ± 0.03	0.130 ± 0.015	0.046 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.071 ± 0.012	11.41 ± 0.18
FA_mIII08	21.58 ± 0.39	9.53 ± 0.37	7.51 ± 0.08	37.69 ± 0.43	4.42 ± 0.58	6.06 ± 0.10	1.09 ± 0.42	0.72 ± 0.08	0.44 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.46 ± 0.03	0.145 ± 0.017	0.047 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.058 ± 0.010	10.28 ± 0.16
FA_mIII09	20.64 ± 0.39	9.43 ± 0.37	7.45 ± 0.08	37.68 ± 0.43	4.20 ± 0.57	5.45 ± 0.09	1.05 ± 0.41	0.69 ± 0.07	0.42 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.41 ± 0.03	0.132 ± 0.016	0.047 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.067 ± 0.012	12.59 ± 0.20
FA_mIII10	19.82 ± 0.38	8.99 ± 0.37	7.56 ± 0.08	38.05 ± 0.42	4.51 ± 0.57	5.73 ± 0.09	1.06 ± 0.41	0.64 ± 0.07	0.40 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.40 ± 0.03	0.122 ± 0.015	0.049 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.059 ± 0.010	12.68 ± 0.20
FA_mIII11	20.80 ± 0.39	9.75 ± 0.38	7.48 ± 0.08	37.59 ± 0.42	4.50 ± 0.58	6.05 ± 0.10	1.09 ± 0.42	0.69 ± 0.07	0.40 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.44 ± 0.03	0.128 ± 0.016	0.052 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.061 ± 0.010	11.07 ± 0.17
FA_mIII12	21.81 ± 0.37	9.73 ± 0.35	7.27 ± 0.08	31.94 ± 0.38	4.66 ± 0.57	5.71 ± 0.09	1.05 ± 0.41	0.72 ± 0.07	0.44 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.50 ± 0.03	0.150 ± 0.016	0.043 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.065 ± 0.011	15.58 ± 0.24

Πίνακας Β.22: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα ΙV).

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
FA_mIV01	23.85 ± 0.41	10.40 ± 0.37	8.36 ± 0.09	34.35 ± 0.42	5.08 ± 0.61	5.69 ± 0.09	1.18 ± 0.46	0.76 ± 0.08	0.51 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.53 ± 0.04	0.163 ± 0.017	0.045 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.075 ± 0.013	8.78 ± 0.14
FA_mIV02	25.07 ± 0.41	10.24 ± 0.37	7.06 ± 0.08	36.01 ± 0.42	4.68 ± 0.59	5.39 ± 0.09	1.02 ± 0.39	0.84 ± 0.08	0.47 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.54 ± 0.04	0.174 ± 0.019	0.052 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.062 ± 0.011	8.64 ± 0.14
FA_mIV03	22.63 ± 0.40	9.57 ± 0.36	7.64 ± 0.08	36.32 ± 0.42	4.80 ± 0.59	5.57 ± 0.09	1.04 ± 0.40	0.79 ± 0.08	0.43 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.49 ± 0.03	0.140 ± 0.016	0.055 ± 0.002	0.009 ± 0.001	0.059 ± 0.010	10.75 ± 0.17
FA_mIV04	20.35 ± 0.39	9.22 ± 0.38	7.49 ± 0.08	38.00 ± 0.42	4.23 ± 0.58	5.77 ± 0.09	1.11 ± 0.43	0.68 ± 0.07	0.41 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.40 ± 0.03	0.133 ± 0.016	0.046 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.063 ± 0.011	11.78 ± 0.19
FA_mIV05	20.44 ± 0.39	9.31 ± 0.38	8.45 ± 0.09	38.28 ± 0.44	4.42 ± 0.58	5.67 ± 0.09	1.00 ± 0.39	0.69 ± 0.08	0.42 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.42 ± 0.03	0.122 ± 0.015	0.048 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.069 ± 0.012	10.40 ± 0.16
FA_mIV06	20.74 ± 0.38	9.98 ± 0.38	7.31 ± 0.08	37.87 ± 0.42	4.42 ± 0.57	5.98 ± 0.10	1.06 ± 0.41	0.70 ± 0.08	0.41 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.42 ± 0.03	0.134 ± 0.016	0.051 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.056 ± 0.010	11.26 ± 0.18
FA_mIV07	23.63 ± 0.41	10.34 ± 0.38	9.42 ± 0.09	35.20 ± 0.43	4.83 ± 0.61	5.08 ± 0.09	1.05 ± 0.40	0.71 ± 0.08	0.49 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.50 ± 0.04	0.127 ± 0.014	0.044 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.097 ± 0.017	8.66 ± 0.14
FA_mIV08	22.50 ± 0.40	9.73 ± 0.38	7.98 ± 0.08	38.30 ± 0.44	4.37 ± 0.58	4.93 ± 0.09	0.97 ± 0.38	0.76 ± 0.08	0.47 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.47 ± 0.03	0.148 ± 0.017	0.051 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.062 ± 0.011	9.35 ± 0.15
FA_mIV09	20.54 ± 0.38	9.44 ± 0.37	8.08 ± 0.08	36.99 ± 0.42	4.53 ± 0.57	5.12 ± 0.09	1.13 ± 0.44	0.68 ± 0.07	0.43 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.41 ± 0.03	0.125 ± 0.014	0.045 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.069 ± 0.012	12.13 ± 0.19
FA_mIV10	20.48 ± 0.38	9.37 ± 0.37	7.88 ± 0.08	37.37 ± 0.42	4.33 ± 0.57	5.12 ± 0.09	0.94 ± 0.36	0.67 ± 0.07	0.43 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.41 ± 0.03	0.128 ± 0.015	0.048 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.068 ± 0.012	12.74 ± 0.20
FA_mIV11	21.37 ± 0.40	9.83 ± 0.38	8.11 ± 0.09	37.62 ± 0.43	4.69 ± 0.60	5.48 ± 0.09	1.02 ± 0.39	0.72 ± 0.08	0.43 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.44 ± 0.03	0.131 ± 0.015	0.050 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.065 ± 0.011	10.02 ± 0.16

Πίνακας Β.23: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) μηνιαίων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μέσο δείγμα σταθμού).

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
FA_ms01	22.83 $\pm$ 0.40	10.22 $\pm$ 0.38	8.48 $\pm$ 0.09	36.32 $\pm$ 0.43	4.82 $\pm$ 0.59	5.87 $\pm$ 0.10	1.11 $\pm$ 0.43	0.74 $\pm$ 0.08	0.50 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.46 $\pm$ 0.03	0.153 $\pm$ 0.016	0.046 $\pm$ 0.002	0.011 $\pm$ 0.002	0.069 $\pm$ 0.012	8.73 $\pm$ 0.14
FA_ms02	23.84 $\pm$ 0.40	10.00 $\pm$ 0.37	7.22 $\pm$ 0.08	36.18 $\pm$ 0.42	4.80 $\pm$ 0.59	5.74 $\pm$ 0.09	0.87 $\pm$ 0.34	0.79 $\pm$ 0.08	0.45 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.52 $\pm$ 0.03	0.161 $\pm$ 0.018	0.052 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.002	0.060 $\pm$ 0.010	9.49 $\pm$ 0.15
FA_ms03	24.28 $\pm$ 0.41	10.25 $\pm$ 0.37	7.45 $\pm$ 0.08	34.73 $\pm$ 0.41	5.09 $\pm$ 0.62	5.78 $\pm$ 0.10	0.59 $\pm$ 0.23	0.80 $\pm$ 0.08	0.48 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.55 $\pm$ 0.04	0.173 $\pm$ 0.018	0.048 $\pm$ 0.002	0.011 $\pm$ 0.002	0.069 $\pm$ 0.012	10.09 $\pm$ 0.16
FA_ms04	20.54 $\pm$ 0.38	9.30 $\pm$ 0.37	7.62 $\pm$ 0.08	37.52 $\pm$ 0.42	4.21 $\pm$ 0.56	5.54 $\pm$ 0.09	0.97 $\pm$ 0.38	0.67 $\pm$ 0.07	0.43 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.40 $\pm$ 0.03	0.132 $\pm$ 0.015	0.046 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.002	0.063 $\pm$ 0.011	12.55 $\pm$ 0.20
FA_ms05	20.63 $\pm$ 0.39	9.38 $\pm$ 0.37	8.36 $\pm$ 0.09	36.93 $\pm$ 0.42	4.34 $\pm$ 0.58	5.59 $\pm$ 0.09	1.01 $\pm$ 0.39	0.66 $\pm$ 0.07	0.43 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.43 $\pm$ 0.03	0.120 $\pm$ 0.014	0.046 $\pm$ 0.002	0.011 $\pm$ 0.002	0.073 $\pm$ 0.013	11.83 $\pm$ 0.19
FA_ms06	20.53 $\pm$ 0.39	9.57 $\pm$ 0.38	7.38 $\pm$ 0.08	37.82 $\pm$ 0.42	4.46 $\pm$ 0.57	5.73 $\pm$ 0.09	1.09 $\pm$ 0.42	0.69 $\pm$ 0.07	0.41 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.41 $\pm$ 0.03	0.132 $\pm$ 0.016	0.050 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.002	0.058 $\pm$ 0.010	11.97 $\pm$ 0.19
FA_ms07	22.74 $\pm$ 0.40	10.15 $\pm$ 0.37	8.70 $\pm$ 0.09	34.05 $\pm$ 0.41	4.96 $\pm$ 0.61	6.02 $\pm$ 0.10	1.24 $\pm$ 0.48	0.74 $\pm$ 0.08	0.45 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.51 $\pm$ 0.04	0.134 $\pm$ 0.015	0.045 $\pm$ 0.002	0.012 $\pm$ 0.002	0.077 $\pm$ 0.013	9.69 $\pm$ 0.15
FA_ms08	22.13 $\pm$ 0.40	9.70 $\pm$ 0.38	7.76 $\pm$ 0.08	37.41 $\pm$ 0.43	4.56 $\pm$ 0.59	5.60 $\pm$ 0.09	1.00 $\pm$ 0.39	0.72 $\pm$ 0.08	0.44 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.48 $\pm$ 0.03	0.145 $\pm$ 0.017	0.051 $\pm$ 0.002	0.011 $\pm$ 0.002	0.066 $\pm$ 0.011	10.06 $\pm$ 0.16
FA_ms09	21.12 $\pm$ 0.39	9.45 $\pm$ 0.37	7.70 $\pm$ 0.08	36.68 $\pm$ 0.42	4.49 $\pm$ 0.58	5.41 $\pm$ 0.09	0.96 $\pm$ 0.37	0.70 $\pm$ 0.08	0.43 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.45 $\pm$ 0.03	0.136 $\pm$ 0.015	0.048 $\pm$ 0.002	0.011 $\pm$ 0.002	0.072 $\pm$ 0.012	12.04 $\pm$ 0.19
FA_ms10	20.45 $\pm$ 0.38	9.25 $\pm$ 0.37	7.82 $\pm$ 0.08	36.43 $\pm$ 0.42	4.29 $\pm$ 0.57	5.36 $\pm$ 0.09	1.06 $\pm$ 0.41	0.68 $\pm$ 0.07	0.43 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.42 $\pm$ 0.03	0.132 $\pm$ 0.015	0.046 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.002	0.066 $\pm$ 0.011	13.92 $\pm$ 0.22
FA_ms11	21.59 $\pm$ 0.39	9.39 $\pm$ 0.36	7.14 $\pm$ 0.08	36.39 $\pm$ 0.41	4.45 $\pm$ 0.57	5.44 $\pm$ 0.09	1.16 $\pm$ 0.45	0.73 $\pm$ 0.08	0.43 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.45 $\pm$ 0.03	0.147 $\pm$ 0.017	0.051 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.002	0.059 $\pm$ 0.010	12.93 $\pm$ 0.20
FA_ms12	22.38 $\pm$ 0.39	10.23 $\pm$ 0.38	6.92 $\pm$ 0.08	35.62 $\pm$ 0.41	4.68 $\pm$ 0.59	5.92 $\pm$ 0.09	1.10 $\pm$ 0.43	0.74 $\pm$ 0.08	0.45 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.50 $\pm$ 0.03	0.167 $\pm$ 0.018	0.050 $\pm$ 0.002	0.011 $\pm$ 0.002	0.061 $\pm$ 0.010	11.43 $\pm$ 0.18

Πίνακας Β.24: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, του ΑΗΣ Καρδιάς, του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας (μονάδες I, II, IV) και του ΑΗΣ Αμυνταίου.

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
FAd_L1	31.85 $\pm$ 0.52	8.18 $\pm$ 0.29	6.84 $\pm$ 0.08	33.23 $\pm$ 0.41	6.26 $\pm$ 0.76	7.18 $\pm$ 0.12	0.91 $\pm$ 0.35	0.73 $\pm$ 0.07	0.53 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.57 $\pm$ 0.04	0.209 $\pm$ 0.021	0.053 $\pm$ 0.002	0.008 $\pm$ 0.001	0.048 $\pm$ 0.008	3.65 $\pm$ 0.06
FAd_L2	19.37 $\pm$ 0.32	9.24 $\pm$ 0.32	9.26 $\pm$ 0.10	37.77 $\pm$ 0.46	8.02 $\pm$ 0.97	8.65 $\pm$ 0.14	0.57 $\pm$ 0.22	0.60 $\pm$ 0.06	0.50 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.53 $\pm$ 0.04	0.195 $\pm$ 0.020	0.050 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.001	0.044 $\pm$ 0.008	5.43 $\pm$ 0.09
FAd_L3	24.05 $\pm$ 0.39	8.76 $\pm$ 0.31	7.08 $\pm$ 0.08	36.30 $\pm$ 0.45	5.85 $\pm$ 0.71	7.97 $\pm$ 0.13	0.82 $\pm$ 0.32	0.68 $\pm$ 0.07	0.50 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.54 $\pm$ 0.04	0.196 $\pm$ 0.020	0.050 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.001	0.045 $\pm$ 0.008	6.95 $\pm$ 0.11
FAd_L4	35.74 $\pm$ 0.58	8.88 $\pm$ 0.31	5.53 $\pm$ 0.06	30.85 $\pm$ 0.38	5.34 $\pm$ 0.65	5.25 $\pm$ 0.09	1.19 $\pm$ 0.46	1.22 $\pm$ 0.12	0.68 $\pm$ 0.07	0.04 $\pm$ 0.01	0.73 $\pm$ 0.05	0.266 $\pm$ 0.027	0.068 $\pm$ 0.003	0.010 $\pm$ 0.001	0.060 $\pm$ 0.010	4.05 $\pm$ 0.06
FAd_L5	29.77 $\pm$ 0.49	9.46 $\pm$ 0.33	8.12 $\pm$ 0.09	33.50 $\pm$ 0.41	5.56 $\pm$ 0.68	6.94 $\pm$ 0.11	0.99 $\pm$ 0.38	0.74 $\pm$ 0.07	0.50 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.53 $\pm$ 0.04	0.196 $\pm$ 0.020	0.050 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.001	0.045 $\pm$ 0.008	3.82 $\pm$ 0.06
FAd_L6	19.62 $\pm$ 0.32	9.87 $\pm$ 0.35	8.42 $\pm$ 0.09	38.53 $\pm$ 0.47	7.04 $\pm$ 0.85	7.63 $\pm$ 0.13	0.73 $\pm$ 0.28	0.59 $\pm$ 0.06	0.34 $\pm$ 0.03	0.02 $\pm$ 0.00	0.36 $\pm$ 0.03	0.133 $\pm$ 0.013	0.034 $\pm$ 0.001	0.005 $\pm$ 0.001	0.030 $\pm$ 0.005	6.85 $\pm$ 0.11
FAd_L7	19.70 $\pm$ 0.32	10.23 $\pm$ 0.36	8.03 $\pm$ 0.09	39.58 $\pm$ 0.49	7.13 $\pm$ 0.87	7.36 $\pm$ 0.12	0.69 $\pm$ 0.27	0.58 $\pm$ 0.06	0.37 $\pm$ 0.04	0.02 $\pm$ 0.00	0.40 $\pm$ 0.03	0.147 $\pm$ 0.015	0.037 $\pm$ 0.002	0.005 $\pm$ 0.001	0.033 $\pm$ 0.006	5.72 $\pm$ 0.09
FAd_AD1	29.84 $\pm$ 0.49	11.89 $\pm$ 0.42	5.87 $\pm$ 0.07	35.25 $\pm$ 0.43	4.33 $\pm$ 0.53	3.82 $\pm$ 0.06	1.19 $\pm$ 0.46	1.22 $\pm$ 0.12	0.50 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.53 $\pm$ 0.04	0.196 $\pm$ 0.020	0.050 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.001	0.045 $\pm$ 0.008	4.94 $\pm$ 0.08
FAd_AD2	28.01 $\pm$ 0.46	11.66 $\pm$ 0.41	7.02 $\pm$ 0.08	36.09 $\pm$ 0.44	4.62 $\pm$ 0.56	3.98 $\pm$ 0.07	1.06 $\pm$ 0.41	1.06 $\pm$ 0.10	0.57 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.01	0.61 $\pm$ 0.04	0.224 $\pm$ 0.023	0.057 $\pm$ 0.002	0.008 $\pm$ 0.001	0.051 $\pm$ 0.009	4.83 $\pm$ 0.08
FAd_AD3	24.74 $\pm$ 0.40	10.05 $\pm$ 0.35	6.63 $\pm$ 0.07	40.96 $\pm$ 0.50	5.25 $\pm$ 0.64	3.78 $\pm$ 0.06	0.88 $\pm$ 0.34	0.82 $\pm$ 0.08	0.52 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.56 $\pm$ 0.04	0.205 $\pm$ 0.021	0.052 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.001	0.047 $\pm$ 0.008	5.53 $\pm$ 0.09
FAd_AD4	26.37 $\pm$ 0.43	11.56 $\pm$ 0.41	6.14 $\pm$ 0.07	38.39 $\pm$ 0.47	4.66 $\pm$ 0.57	3.63 $\pm$ 0.06	1.07 $\pm$ 0.41	1.10 $\pm$ 0.11	0.48 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.51 $\pm$ 0.04	0.189 $\pm$ 0.019	0.048 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.001	0.043 $\pm$ 0.007	5.39 $\pm$ 0.08
FAd_AD5	28.32 $\pm$ 0.46	12.07 $\pm$ 0.42	6.12 $\pm$ 0.07	36.77 $\pm$ 0.45	4.18 $\pm$ 0.51	4.01 $\pm$ 0.07	1.19 $\pm$ 0.46	1.15 $\pm$ 0.11	0.53 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.57 $\pm$ 0.04	0.210 $\pm$ 0.021	0.053 $\pm$ 0.002	0.008 $\pm$ 0.001	0.048 $\pm$ 0.008	4.83 $\pm$ 0.08
FAd_K1	27.65 $\pm$ 0.45	10.76 $\pm$ 0.38	6.82 $\pm$ 0.08	36.38 $\pm$ 0.45	2.99 $\pm$ 0.36	6.44 $\pm$ 0.11	0.99 $\pm$ 0.38	1.07 $\pm$ 0.11	0.57 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.01	0.61 $\pm$ 0.04	0.225 $\pm$ 0.023	0.057 $\pm$ 0.002	0.008 $\pm$ 0.001	0.051 $\pm$ 0.009	5.67 $\pm$ 0.09
FAd_K2	28.23 $\pm$ 0.46	10.23 $\pm$ 0.36	6.79 $\pm$ 0.08	33.30 $\pm$ 0.41	3.36 $\pm$ 0.41	6.47 $\pm$ 0.11	0.91 $\pm$ 0.35	0.96 $\pm$ 0.09	0.60 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.01	0.64 $\pm$ 0.05	0.236 $\pm$ 0.024	0.060 $\pm$ 0.003	0.009 $\pm$ 0.001	0.054 $\pm$ 0.009	7.67 $\pm$ 0.12
FAd_K3	27.10 $\pm$ 0.44	10.20 $\pm$ 0.36	6.47 $\pm$ 0.07	34.11 $\pm$ 0.42	3.62 $\pm$ 0.44	7.16 $\pm$ 0.12	0.95 $\pm$ 0.37	0.95 $\pm$ 0.09	0.62 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.01	0.66 $\pm$ 0.05	0.242 $\pm$ 0.024	0.062 $\pm$ 0.003	0.009 $\pm$ 0.001	0.055 $\pm$ 0.009	7.56 $\pm$ 0.12
FAd_K4	27.07 $\pm$ 0.44	10.42 $\pm$ 0.37	6.13 $\pm$ 0.07	34.45 $\pm$ 0.42	3.27 $\pm$ 0.40	5.43 $\pm$ 0.09	1.01 $\pm$ 0.39	1.00 $\pm$ 0.10	0.49 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.52 $\pm$ 0.04	0.192 $\pm$ 0.019	0.049 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.001	0.044 $\pm$ 0.007	9.81 $\pm$ 0.15
FAd_PT11	24.10 $\pm$ 0.39	10.94 $\pm$ 0.38	8.94 $\pm$ 0.10	36.47 $\pm$ 0.45	5.04 $\pm$ 0.61	4.96 $\pm$ 0.08	0.88 $\pm$ 0.34	0.67 $\pm$ 0.07	0.60 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.01	0.65 $\pm$ 0.05	0.237 $\pm$ 0.024	0.060 $\pm$ 0.003	0.009 $\pm$ 0.001	0.054 $\pm$ 0.009	6.43 $\pm$ 0.10
FAd_PT12	23.49 $\pm$ 0.38	11.23 $\pm$ 0.39	9.28 $\pm$ 0.10	37.63 $\pm$ 0.46	4.72 $\pm$ 0.57	4.88 $\pm$ 0.08	0.87 $\pm$ 0.34	0.68 $\pm$ 0.07	0.58 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.01	0.62 $\pm$ 0.04	0.227 $\pm$ 0.023	0.058 $\pm$ 0.002	0.008 $\pm$ 0.001	0.052 $\pm$ 0.009	5.68 $\pm$ 0.09
FAd_PT13	18.80 $\pm$ 0.31	9.07 $\pm$ 0.32	9.12 $\pm$ 0.10	41.69 $\pm$ 0.51	4.97 $\pm$ 0.60	4.87 $\pm$ 0.08	0.55 $\pm$ 0.21	0.46 $\pm$ 0.05	0.49 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.53 $\pm$ 0.04	0.193 $\pm$ 0.019	0.049 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.001	0.044 $\pm$ 0.008	9.32 $\pm$ 0.15
FAd_PT14	21.36 $\pm$ 0.35	10.10 $\pm$ 0.35	7.88 $\pm$ 0.09	39.51 $\pm$ 0.48	4.80 $\pm$ 0.58	5.27 $\pm$ 0.09	0.80 $\pm$ 0.31	0.65 $\pm$ 0.06	0.46 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.49 $\pm$ 0.03	0.180 $\pm$ 0.018	0.046 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.001	0.041 $\pm$ 0.007	8.36 $\pm$ 0.13
FAd_PT15	28.99 $\pm$ 0.47	8.54 $\pm$ 0.30	5.33 $\pm$ 0.06	35.06 $\pm$ 0.43	2.75 $\pm$ 0.33	6.91 $\pm$ 0.11	1.05 $\pm$ 0.40	1.05 $\pm$ 0.10	0.58 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.01	0.62 $\pm$ 0.04	0.229 $\pm$ 0.023	0.058 $\pm$ 0.002	0.008 $\pm$ 0.001	0.052 $\pm$ 0.009	9.09 $\pm$ 0.14
FAd_PT16	25.44 $\pm$ 0.42	8.42 $\pm$ 0.30	5.81 $\pm$ 0.06	36.84 $\pm$ 0.45	3.20 $\pm$ 0.39	6.51 $\pm$ 0.11	0.80 $\pm$ 0.31	1.00 $\pm$ 0.10	0.58 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.01	0.62 $\pm$ 0.04	0.227 $\pm$ 0.023	0.058 $\pm$ 0.002	0.008 $\pm$ 0.001	0.052 $\pm$ 0.009	10.60 $\pm$ 0.17
FAd_PT17	24.89 $\pm$ 0.41	9.20 $\pm$ 0.32	6.60 $\pm$ 0.07	38.00 $\pm$ 0.47	3.11 $\pm$ 0.38	7.16 $\pm$ 0.12	0.71 $\pm$ 0.27	1.01 $\pm$ 0.10	0.56 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.01	0.61 $\pm$ 0.04	0.222 $\pm$ 0.022	0.056 $\pm$ 0.002	0.008 $\pm$ 0.001	0.050 $\pm$ 0.009	7.96 $\pm$ 0.13

Πίνακας Β.24 (συνέχεια)

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
FAd_PTII1	25.40 ± 0.42	8.83 ± 0.31	5.56 ± 0.06	36.90 ± 0.45	3.35 ± 0.41	7.41 ± 0.12	0.76 ± 0.29	1.04 ± 0.10	0.54 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.58 ± 0.04	0.212 ± 0.021	0.054 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.048 ± 0.008	9.18 ± 0.14
FAd_PTII2	29.71 ± 0.49	9.52 ± 0.33	5.58 ± 0.06	33.55 ± 0.41	2.95 ± 0.36	8.19 ± 0.13	0.98 ± 0.38	1.37 ± 0.13	0.62 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.67 ± 0.05	0.245 ± 0.025	0.062 ± 0.003	0.009 ± 0.001	0.056 ± 0.010	6.45 ± 0.10
FAd_PTII3	29.97 ± 0.49	10.58 ± 0.37	5.89 ± 0.07	33.71 ± 0.41	3.09 ± 0.37	7.38 ± 0.12	1.01 ± 0.39	1.29 ± 0.13	0.61 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.65 ± 0.05	0.239 ± 0.024	0.061 ± 0.003	0.009 ± 0.001	0.054 ± 0.009	5.43 ± 0.09
FAd_PTII4	34.26 ± 0.56	9.36 ± 0.33	4.42 ± 0.05	31.56 ± 0.39	2.72 ± 0.33	6.94 ± 0.11	1.21 ± 0.47	1.33 ± 0.13	0.54 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.58 ± 0.04	0.213 ± 0.022	0.054 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.048 ± 0.008	6.39 ± 0.10
FAd_PTII5	26.57 ± 0.43	9.47 ± 0.33	7.14 ± 0.08	35.13 ± 0.43	2.97 ± 0.36	8.92 ± 0.15	0.95 ± 0.37	1.05 ± 0.10	0.57 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.61 ± 0.04	0.223 ± 0.023	0.057 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.051 ± 0.009	6.52 ± 0.10
FAd_PTII6	23.52 ± 0.38	7.97 ± 0.28	6.37 ± 0.07	38.01 ± 0.47	3.24 ± 0.39	7.33 ± 0.12	0.65 ± 0.25	0.91 ± 0.09	0.55 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.59 ± 0.04	0.216 ± 0.022	0.055 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.049 ± 0.008	10.42 ± 0.16
FAd_PTII7	24.35 ± 0.40	9.18 ± 0.32	6.76 ± 0.07	38.81 ± 0.48	2.94 ± 0.36	7.65 ± 0.13	0.69 ± 0.27	0.97 ± 0.10	0.55 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.59 ± 0.04	0.216 ± 0.022	0.055 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.049 ± 0.008	7.20 ± 0.11
FAd_PTIV1	23.99 ± 0.39	9.02 ± 0.32	6.67 ± 0.07	38.32 ± 0.47	3.25 ± 0.40	8.05 ± 0.13	0.68 ± 0.26	1.04 ± 0.10	0.57 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.62 ± 0.04	0.226 ± 0.023	0.057 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.051 ± 0.009	7.76 ± 0.12
FAd_PTIV2	27.77 ± 0.45	8.93 ± 0.31	5.73 ± 0.06	35.19 ± 0.43	3.06 ± 0.37	8.01 ± 0.13	0.67 ± 0.26	1.27 ± 0.12	0.61 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.66 ± 0.05	0.241 ± 0.024	0.061 ± 0.003	0.009 ± 0.001	0.055 ± 0.009	7.36 ± 0.12
FAd_PTIV3	28.03 ± 0.46	9.51 ± 0.33	6.36 ± 0.07	34.99 ± 0.43	3.42 ± 0.41	7.92 ± 0.13	0.99 ± 0.38	0.94 ± 0.09	0.63 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.67 ± 0.05	0.247 ± 0.025	0.063 ± 0.003	0.009 ± 0.001	0.056 ± 0.010	6.17 ± 0.10
FAd_PTIV4	27.95 ± 0.46	8.78 ± 0.31	6.08 ± 0.07	36.15 ± 0.44	2.82 ± 0.34	7.35 ± 0.12	0.88 ± 0.34	1.15 ± 0.11	0.56 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.60 ± 0.04	0.220 ± 0.022	0.056 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.050 ± 0.009	7.04 ± 0.11
FAd_PTIV5	33.69 ± 0.55	11.29 ± 0.40	6.15 ± 0.07	29.36 ± 0.36	2.71 ± 0.33	5.64 ± 0.09	1.23 ± 0.48	1.29 ± 0.13	0.60 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.64 ± 0.04	0.234 ± 0.024	0.060 ± 0.002	0.009 ± 0.001	0.053 ± 0.009	7.23 ± 0.11
FAd_PTIV6	27.07 ± 0.44	9.87 ± 0.35	6.93 ± 0.08	36.07 ± 0.44	3.00 ± 0.36	6.11 ± 0.10	0.81 ± 0.32	1.13 ± 0.11	0.51 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.55 ± 0.04	0.200 ± 0.020	0.051 ± 0.002	0.007 ± 0.001	0.045 ± 0.008	7.22 ± 0.11
FAd_PTIV7	24.32 ± 0.40	10.09 ± 0.35	7.48 ± 0.08	36.36 ± 0.45	3.84 ± 0.47	5.91 ± 0.10	0.74 ± 0.29	0.85 ± 0.08	0.54 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.58 ± 0.04	0.213 ± 0.022	0.054 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.048 ± 0.008	9.10 ± 0.14
FAd_AM1	38.39 ± 0.63	11.61 ± 0.41	7.07 ± 0.08	26.31 ± 0.32	4.82 ± 0.59	3.93 ± 0.06	1.58 ± 0.61	0.98 ± 0.10	0.54 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.58 ± 0.04	0.212 ± 0.021	0.054 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.048 ± 0.008	3.44 ± 0.05
FAd_AM2	40.24 ± 0.66	11.26 ± 0.39	6.79 ± 0.08	24.25 ± 0.30	4.37 ± 0.53	5.57 ± 0.09	1.69 ± 0.65	1.19 ± 0.12	0.61 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.66 ± 0.05	0.241 ± 0.024	0.061 ± 0.003	0.009 ± 0.001	0.055 ± 0.009	2.71 ± 0.04
FAd_AM3	38.50 ± 0.63	11.11 ± 0.39	5.89 ± 0.07	27.66 ± 0.34	4.12 ± 0.50	4.98 ± 0.08	1.66 ± 0.64	1.07 ± 0.10	0.61 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.65 ± 0.05	0.239 ± 0.024	0.061 ± 0.003	0.009 ± 0.001	0.054 ± 0.009	3.28 ± 0.05
FAd_AM4	36.84 ± 0.60	11.67 ± 0.41	5.34 ± 0.06	29.24 ± 0.36	4.32 ± 0.52	4.53 ± 0.07	1.58 ± 0.61	1.00 ± 0.10	0.50 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.53 ± 0.04	0.195 ± 0.020	0.050 ± 0.002	0.007 ± 0.001	0.044 ± 0.008	4.33 ± 0.07

Πίνακας Β.25: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή  $\pm$  απόλυτο σφάλμα) των δώρων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
LA_2h00	25.88 $\pm$ 0.42	12.35 $\pm$ 0.40	9.10 $\pm$ 0.09	31.69 $\pm$ 0.40	5.46 $\pm$ 0.63	5.80 $\pm$ 0.10	0.52 $\pm$ 0.20	0.73 $\pm$ 0.08	0.46 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.01	0.58 $\pm$ 0.04	0.137 $\pm$ 0.015	0.045 $\pm$ 0.002	0.012 $\pm$ 0.002	0.086 $\pm$ 0.015	6.67 $\pm$ 0.10
LA_2h02	31.44 $\pm$ 0.42	17.40 $\pm$ 0.43	7.18 $\pm$ 0.08	20.62 $\pm$ 0.32	6.73 $\pm$ 0.65	6.59 $\pm$ 0.10	0.87 $\pm$ 0.34	1.05 $\pm$ 0.10	0.53 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.00	0.79 $\pm$ 0.06	0.248 $\pm$ 0.021	0.061 $\pm$ 0.002	0.013 $\pm$ 0.002	0.053 $\pm$ 0.009	6.06 $\pm$ 0.10
LA_2h04	28.27 $\pm$ 0.43	12.48 $\pm$ 0.39	8.44 $\pm$ 0.09	30.09 $\pm$ 0.41	5.81 $\pm$ 0.64	5.20 $\pm$ 0.09	0.56 $\pm$ 0.21	0.75 $\pm$ 0.09	0.54 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.62 $\pm$ 0.05	0.177 $\pm$ 0.018	0.040 $\pm$ 0.002	0.013 $\pm$ 0.002	0.074 $\pm$ 0.013	6.91 $\pm$ 0.11
LA_2h06	27.37 $\pm$ 0.44	11.72 $\pm$ 0.38	9.80 $\pm$ 0.09	30.07 $\pm$ 0.40	6.15 $\pm$ 0.68	6.15 $\pm$ 0.10	1.03 $\pm$ 0.40	0.71 $\pm$ 0.08	0.53 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.01	0.65 $\pm$ 0.05	0.150 $\pm$ 0.015	0.043 $\pm$ 0.002	0.016 $\pm$ 0.002	0.080 $\pm$ 0.014	5.84 $\pm$ 0.09
LA_2h08	26.59 $\pm$ 0.43	11.96 $\pm$ 0.39	8.55 $\pm$ 0.09	32.68 $\pm$ 0.41	5.36 $\pm$ 0.62	4.85 $\pm$ 0.09	0.53 $\pm$ 0.21	0.73 $\pm$ 0.08	0.47 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.56 $\pm$ 0.04	0.146 $\pm$ 0.016	0.040 $\pm$ 0.002	0.018 $\pm$ 0.002	0.079 $\pm$ 0.014	7.52 $\pm$ 0.12
LA_2h10	24.08 $\pm$ 0.41	10.86 $\pm$ 0.39	7.92 $\pm$ 0.08	37.65 $\pm$ 0.43	4.72 $\pm$ 0.58	4.75 $\pm$ 0.09	0.39 $\pm$ 0.15	0.66 $\pm$ 0.07	0.45 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.45 $\pm$ 0.03	0.135 $\pm$ 0.015	0.042 $\pm$ 0.002	0.011 $\pm$ 0.002	0.064 $\pm$ 0.011	7.72 $\pm$ 0.12
LA_2h12	25.21 $\pm$ 0.42	10.96 $\pm$ 0.39	7.34 $\pm$ 0.08	36.08 $\pm$ 0.43	5.11 $\pm$ 0.60	4.70 $\pm$ 0.09	0.48 $\pm$ 0.19	0.71 $\pm$ 0.08	0.40 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.01	0.47 $\pm$ 0.04	0.135 $\pm$ 0.016	0.038 $\pm$ 0.002	0.012 $\pm$ 0.002	0.077 $\pm$ 0.013	8.66 $\pm$ 0.14
LA_2h14	23.99 $\pm$ 0.41	10.60 $\pm$ 0.38	8.36 $\pm$ 0.09	36.12 $\pm$ 0.42	5.08 $\pm$ 0.60	4.89 $\pm$ 0.09	0.78 $\pm$ 0.30	0.64 $\pm$ 0.07	0.40 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.45 $\pm$ 0.03	0.113 $\pm$ 0.014	0.038 $\pm$ 0.002	0.018 $\pm$ 0.002	0.077 $\pm$ 0.013	8.75 $\pm$ 0.14
LA_2h16	26.78 $\pm$ 0.42	11.97 $\pm$ 0.39	7.69 $\pm$ 0.08	34.31 $\pm$ 0.42	5.04 $\pm$ 0.60	4.95 $\pm$ 0.09	0.82 $\pm$ 0.32	0.75 $\pm$ 0.08	0.48 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.53 $\pm$ 0.04	0.162 $\pm$ 0.018	0.041 $\pm$ 0.002	0.014 $\pm$ 0.002	0.073 $\pm$ 0.013	6.81 $\pm$ 0.11
LA_2h18	20.94 $\pm$ 0.41	9.12 $\pm$ 0.37	10.54 $\pm$ 0.10	40.71 $\pm$ 0.46	4.12 $\pm$ 0.55	5.72 $\pm$ 0.10	0.39 $\pm$ 0.15	0.56 $\pm$ 0.07	0.40 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.34 $\pm$ 0.02	0.066 $\pm$ 0.009	0.042 $\pm$ 0.002	0.009 $\pm$ 0.001	0.055 $\pm$ 0.009	7.10 $\pm$ 0.11
LA_2h20	19.64 $\pm$ 0.43	8.09 $\pm$ 0.36	11.92 $\pm$ 0.11	44.72 $\pm$ 0.49	3.37 $\pm$ 0.52	5.37 $\pm$ 0.10	0.45 $\pm$ 0.17	0.50 $\pm$ 0.07	0.38 $\pm$ 0.06	0.05 $\pm$ 0.01	0.22 $\pm$ 0.02	0.038 $\pm$ 0.006	0.040 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.001	0.051 $\pm$ 0.009	5.20 $\pm$ 0.08
LA_2h22	20.27 $\pm$ 0.40	9.72 $\pm$ 0.39	8.22 $\pm$ 0.09	42.76 $\pm$ 0.45	3.60 $\pm$ 0.50	5.76 $\pm$ 0.10	0.23 $\pm$ 0.09	0.54 $\pm$ 0.06	0.37 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.29 $\pm$ 0.02	0.090 $\pm$ 0.012	0.038 $\pm$ 0.002	0.009 $\pm$ 0.001	0.048 $\pm$ 0.008	8.36 $\pm$ 0.13
LA_2h24	22.13 $\pm$ 0.39	10.33 $\pm$ 0.37	8.50 $\pm$ 0.09	35.85 $\pm$ 0.42	4.59 $\pm$ 0.56	6.54 $\pm$ 0.10	0.35 $\pm$ 0.14	0.58 $\pm$ 0.07	0.42 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.51 $\pm$ 0.03	0.123 $\pm$ 0.015	0.037 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.001	0.058 $\pm$ 0.010	10.19 $\pm$ 0.16
LA_2h26	23.20 $\pm$ 0.41	10.44 $\pm$ 0.37	9.60 $\pm$ 0.10	33.14 $\pm$ 0.41	5.33 $\pm$ 0.61	7.71 $\pm$ 0.11	0.50 $\pm$ 0.20	0.55 $\pm$ 0.07	0.40 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.59 $\pm$ 0.04	0.116 $\pm$ 0.014	0.037 $\pm$ 0.002	0.008 $\pm$ 0.001	0.063 $\pm$ 0.011	8.53 $\pm$ 0.13
LA_2h28	35.38 $\pm$ 0.45	14.76 $\pm$ 0.38	8.18 $\pm$ 0.08	20.32 $\pm$ 0.34	6.51 $\pm$ 0.67	6.21 $\pm$ 0.10	0.69 $\pm$ 0.27	0.90 $\pm$ 0.10	0.59 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.77 $\pm$ 0.06	0.225 $\pm$ 0.019	0.031 $\pm$ 0.002	0.014 $\pm$ 0.002	0.092 $\pm$ 0.016	5.77 $\pm$ 0.09
LA_2h30	33.73 $\pm$ 0.43	13.65 $\pm$ 0.36	8.23 $\pm$ 0.09	19.45 $\pm$ 0.33	6.57 $\pm$ 0.66	6.84 $\pm$ 0.11	1.54 $\pm$ 0.60	0.88 $\pm$ 0.10	0.58 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.77 $\pm$ 0.06	0.227 $\pm$ 0.019	0.031 $\pm$ 0.002	0.015 $\pm$ 0.002	0.087 $\pm$ 0.015	7.71 $\pm$ 0.12
LA_2h32	29.99 $\pm$ 0.43	13.72 $\pm$ 0.39	8.23 $\pm$ 0.09	24.99 $\pm$ 0.37	6.45 $\pm$ 0.66	6.31 $\pm$ 0.10	0.24 $\pm$ 0.09	0.80 $\pm$ 0.09	0.58 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.76 $\pm$ 0.05	0.218 $\pm$ 0.019	0.042 $\pm$ 0.002	0.015 $\pm$ 0.002	0.077 $\pm$ 0.013	8.00 $\pm$ 0.13
LA_2h34	29.62 $\pm$ 0.44	13.59 $\pm$ 0.40	7.75 $\pm$ 0.08	28.01 $\pm$ 0.38	5.75 $\pm$ 0.64	6.51 $\pm$ 0.10	1.09 $\pm$ 0.42	0.83 $\pm$ 0.09	0.56 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.74 $\pm$ 0.05	0.227 $\pm$ 0.021	0.039 $\pm$ 0.002	0.016 $\pm$ 0.002	0.072 $\pm$ 0.012	5.60 $\pm$ 0.09
LA_2h36	26.19 $\pm$ 0.43	12.59 $\pm$ 0.41	8.46 $\pm$ 0.09	33.21 $\pm$ 0.42	4.63 $\pm$ 0.60	8.28 $\pm$ 0.13	0.39 $\pm$ 0.15	0.65 $\pm$ 0.08	0.47 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.67 $\pm$ 0.04	0.175 $\pm$ 0.019	0.031 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.002	0.069 $\pm$ 0.012	4.62 $\pm$ 0.07
LA_2h38	21.49 $\pm$ 0.38	9.61 $\pm$ 0.34	9.72 $\pm$ 0.10	31.68 $\pm$ 0.39	4.46 $\pm$ 0.56	8.49 $\pm$ 0.10	0.74 $\pm$ 0.29	0.55 $\pm$ 0.07	0.44 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.55 $\pm$ 0.04	0.113 $\pm$ 0.013	0.036 $\pm$ 0.002	0.009 $\pm$ 0.001	0.062 $\pm$ 0.011	12.44 $\pm$ 0.20
LA_2h40	24.70 $\pm$ 0.41	11.04 $\pm$ 0.38	8.49 $\pm$ 0.09	36.13 $\pm$ 0.43	4.96 $\pm$ 0.60	6.39 $\pm$ 0.11	0.77 $\pm$ 0.30	0.65 $\pm$ 0.08	0.47 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.55 $\pm$ 0.04	0.144 $\pm$ 0.016	0.040 $\pm$ 0.002	0.012 $\pm$ 0.002	0.068 $\pm$ 0.012	6.01 $\pm$ 0.09
LA_2h42	23.43 $\pm$ 0.41	11.18 $\pm$ 0.40	6.48 $\pm$ 0.08	38.61 $\pm$ 0.43	4.28 $\pm$ 0.53	6.37 $\pm$ 0.11	0.73 $\pm$ 0.28	0.65 $\pm$ 0.07	0.41 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.01	0.44 $\pm$ 0.03	0.146 $\pm$ 0.018	0.041 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.002	0.058 $\pm$ 0.010	7.60 $\pm$ 0.12
LA_2h44	33.67 $\pm$ 0.44	14.97 $\pm$ 0.39	8.41 $\pm$ 0.08	20.34 $\pm$ 0.33	5.27 $\pm$ 0.61	5.92 $\pm$ 0.10	1.54 $\pm$ 0.60	0.83 $\pm$ 0.09	0.58 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.79 $\pm$ 0.06	0.210 $\pm$ 0.018	0.029 $\pm$ 0.002	0.013 $\pm$ 0.002	0.102 $\pm$ 0.015	7.07 $\pm$ 0.11
LA_2h46	22.11 $\pm$ 0.44	10.31 $\pm$ 0.42	7.83 $\pm$ 0.09	42.49 $\pm$ 0.47	3.89 $\pm$ 0.55	5.55 $\pm$ 0.11	1.05 $\pm$ 0.40	0.58 $\pm$ 0.07	0.38 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.01	0.34 $\pm$ 0.02	0.104 $\pm$ 0.014	0.046 $\pm$ 0.002	0.011 $\pm$ 0.002	0.050 $\pm$ 0.009	5.70 $\pm$ 0.09

Πίνακας Β.26: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) των ημερήσιων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
LA_dI0a	24.52 ± 0.43	10.87 ± 0.39	9.12 ± 0.09	36.68 ± 0.44	4.59 ± 0.60	6.16 ± 0.11	0.31 ± 0.12	0.68 ± 0.08	0.46 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.49 ± 0.03	0.122 ± 0.014	0.042 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.063 ± 0.011	6.28 ± 0.10
LA_dI0b	28.36 ± 0.43	12.98 ± 0.39	8.30 ± 0.09	28.47 ± 0.38	5.49 ± 0.63	6.75 ± 0.10	1.04 ± 0.40	0.76 ± 0.08	0.50 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.71 ± 0.05	0.181 ± 0.018	0.036 ± 0.002	0.013 ± 0.002	0.074 ± 0.013	6.32 ± 0.10
LA_dI1	27.88 ± 0.42	12.83 ± 0.40	7.09 ± 0.08	31.90 ± 0.40	5.24 ± 0.60	4.73 ± 0.09	0.93 ± 0.36	0.85 ± 0.09	0.47 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.62 ± 0.04	0.183 ± 0.019	0.050 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.057 ± 0.010	6.98 ± 0.11
LA_dI2	24.04 ± 0.39	11.53 ± 0.38	7.62 ± 0.08	33.29 ± 0.40	4.51 ± 0.54	5.11 ± 0.09	0.47 ± 0.19	0.67 ± 0.07	0.45 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.50 ± 0.04	0.141 ± 0.015	0.042 ± 0.002	0.014 ± 0.002	0.057 ± 0.010	11.98 ± 0.19
LA_dI3	30.00 ± 0.43	13.98 ± 0.40	8.59 ± 0.09	26.88 ± 0.38	6.23 ± 0.66	4.99 ± 0.09	0.57 ± 0.22	0.82 ± 0.09	0.58 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.71 ± 0.05	0.192 ± 0.017	0.036 ± 0.002	0.013 ± 0.002	0.083 ± 0.014	6.47 ± 0.10
LA_dI4	27.87 ± 0.43	12.54 ± 0.40	8.26 ± 0.09	34.41 ± 0.43	4.52 ± 0.59	4.46 ± 0.08	0.50 ± 0.19	0.75 ± 0.08	0.54 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.60 ± 0.04	0.172 ± 0.018	0.039 ± 0.002	0.014 ± 0.002	0.072 ± 0.012	5.66 ± 0.09
LA_dIII	31.97 ± 0.43	13.52 ± 0.37	9.61 ± 0.09	22.13 ± 0.35	6.01 ± 0.66	7.72 ± 0.12	0.69 ± 0.27	0.85 ± 0.09	0.56 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.87 ± 0.06	0.185 ± 0.017	0.032 ± 0.002	0.012 ± 0.002	0.087 ± 0.015	6.15 ± 0.10
LA_dII2	31.87 ± 0.44	13.63 ± 0.38	8.91 ± 0.09	24.56 ± 0.36	6.02 ± 0.65	5.85 ± 0.10	1.15 ± 0.45	0.88 ± 0.09	0.54 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.70 ± 0.05	0.169 ± 0.016	0.031 ± 0.002	0.014 ± 0.002	0.090 ± 0.015	5.92 ± 0.09

Πίνακας Β.27: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) των μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα I)

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
LA_mI01	28.63 ± 0.43	12.76 ± 0.39	8.69 ± 0.09	29.39 ± 0.40	5.57 ± 0.63	5.71 ± 0.10	0.97 ± 0.38	0.81 ± 0.09	0.54 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.69 ± 0.05	0.179 ± 0.018	0.039 ± 0.002	0.014 ± 0.002	0.079 ± 0.014	6.11 ± 0.10
LA_mI03	31.10 ± 0.50	11.30 ± 0.46	5.87 ± 0.07	32.53 ± 0.61	3.93 ± 0.48	7.83 ± 0.16	0.61 ± 0.24	0.85 ± 0.09	0.42 ± 0.04	0.06 ± 0.01	0.26 ± 0.02	0.087 ± 0.009	0.037 ± 0.003	0.014 ± 0.002	0.056 ± 0.010	4.86 ± 0.08
LA_mI04	26.09 ± 0.39	10.92 ± 0.39	6.13 ± 0.07	34.45 ± 0.56	4.45 ± 0.52	5.59 ± 0.11	0.05 ± 0.02	1.01 ± 0.11	0.46 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.079 ± 0.008	0.035 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.058 ± 0.009	10.63 ± 0.17
LA_mI05	24.59 ± 0.39	11.12 ± 0.42	7.69 ± 0.08	36.32 ± 0.57	3.65 ± 0.45	7.25 ± 0.14	0.01 ± 0.00	1.06 ± 0.12	0.48 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.083 ± 0.009	0.037 ± 0.002	0.026 ± 0.003	0.060 ± 0.010	6.95 ± 0.11
LA_mI06	26.30 ± 0.40	11.09 ± 0.42	6.10 ± 0.07	38.84 ± 0.60	3.69 ± 0.45	5.88 ± 0.11	0.01 ± 0.00	0.94 ± 0.11	0.48 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.082 ± 0.009	0.040 ± 0.003	0.010 ± 0.001	0.052 ± 0.009	6.45 ± 0.10
LA_mI07	25.63 ± 0.40	11.60 ± 0.43	7.37 ± 0.08	33.41 ± 0.59	3.61 ± 0.44	8.08 ± 0.16	0.15 ± 0.06	1.10 ± 0.12	0.49 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.085 ± 0.009	0.036 ± 0.003	0.022 ± 0.003	0.061 ± 0.010	7.80 ± 0.12
LA_mI08	27.90 ± 0.41	11.05 ± 0.40	5.47 ± 0.06	34.64 ± 0.55	4.80 ± 0.58	6.47 ± 0.13	0.06 ± 0.02	1.16 ± 0.13	0.51 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.087 ± 0.009	0.043 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.057 ± 0.009	7.90 ± 0.12
LA_mI09	29.69 ± 0.47	12.16 ± 0.45	6.47 ± 0.07	32.35 ± 0.58	4.13 ± 0.50	6.01 ± 0.13	0.50 ± 0.19	1.09 ± 0.12	0.52 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.089 ± 0.009	0.037 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.068 ± 0.011	6.77 ± 0.11
LA_mI10	28.88 ± 0.48	11.27 ± 0.46	5.74 ± 0.07	34.37 ± 0.62	4.12 ± 0.52	6.64 ± 0.15	0.45 ± 0.17	1.03 ± 0.12	0.47 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.082 ± 0.009	0.041 ± 0.003	0.010 ± 0.001	0.055 ± 0.009	7.02 ± 0.11
LA_mI11	30.09 ± 0.49	12.15 ± 0.47	6.51 ± 0.08	34.02 ± 0.63	4.57 ± 0.56	5.67 ± 0.13	0.40 ± 0.15	1.12 ± 0.12	0.50 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.26 ± 0.02	0.086 ± 0.009	0.039 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.064 ± 0.011	4.91 ± 0.08
LA_mI12	25.25 ± 0.43	11.79 ± 0.41	8.00 ± 0.09	39.84 ± 0.46	4.30 ± 0.57	4.91 ± 0.10	0.76 ± 0.29	0.71 ± 0.08	0.44 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.47 ± 0.03	0.128 ± 0.016	0.046 ± 0.002	0.011 ± 0.002	0.061 ± 0.010	3.68 ± 0.06

Πίνακας Β.28: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) των μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα ΙΙ)

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
LA_mII01	31.95 ± 0.51	12.75 ± 0.43	8.99 ± 0.10	26.83 ± 0.43	5.55 ± 0.74	4.51 ± 0.09	0.98 ± 0.39	0.73 ± 0.11	0.47 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.57 ± 0.05	0.198 ± 0.023	0.040 ± 0.002	0.018 ± 0.003	0.083 ± 0.014	6.19 ± 0.10
LA_mII02	26.08 ± 0.41	12.14 ± 0.39	7.22 ± 0.08	35.34 ± 0.42	5.16 ± 0.58	4.41 ± 0.08	0.85 ± 0.33	0.74 ± 0.08	0.42 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.55 ± 0.04	0.142 ± 0.017	0.046 ± 0.002	0.027 ± 0.003	0.064 ± 0.011	6.32 ± 0.10
LA_mII03	30.29 ± 0.48	11.28 ± 0.45	5.76 ± 0.07	32.39 ± 0.61	3.80 ± 0.46	8.21 ± 0.17	0.58 ± 0.22	1.19 ± 0.12	0.52 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.27 ± 0.02	0.091 ± 0.009	0.038 ± 0.003	0.017 ± 0.002	0.059 ± 0.010	5.83 ± 0.09
LA_mII04	24.81 ± 0.37	9.77 ± 0.35	5.46 ± 0.06	34.69 ± 0.51	4.24 ± 0.50	5.41 ± 0.11	0.03 ± 0.01	1.12 ± 0.11	0.43 ± 0.04	0.06 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.073 ± 0.007	0.038 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.050 ± 0.008	13.86 ± 0.22
LA_mII05	24.75 ± 0.46	10.04 ± 0.45	6.66 ± 0.08	37.96 ± 0.68	3.40 ± 0.41	6.43 ± 0.14	0.32 ± 0.12	0.89 ± 0.10	0.42 ± 0.04	0.07 ± 0.01	0.35 ± 0.02	0.077 ± 0.008	0.038 ± 0.003	0.011 ± 0.001	0.059 ± 0.010	8.95 ± 0.14
LA_mII06	23.08 ± 0.37	9.92 ± 0.39	5.72 ± 0.07	38.14 ± 0.58	3.44 ± 0.42	6.89 ± 0.13	0.02 ± 0.01	0.89 ± 0.10	0.43 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.074 ± 0.008	0.041 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.048 ± 0.008	11.09 ± 0.17
LA_mII07	26.08 ± 0.40	11.21 ± 0.40	6.32 ± 0.07	29.69 ± 0.53	4.49 ± 0.55	6.56 ± 0.13	0.14 ± 0.05	0.93 ± 0.10	0.46 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.080 ± 0.008	0.032 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.061 ± 0.010	13.76 ± 0.22
LA_mII08	28.70 ± 0.42	11.37 ± 0.40	5.57 ± 0.06	32.68 ± 0.54	4.95 ± 0.60	6.06 ± 0.12	0.08 ± 0.03	1.11 ± 0.12	0.48 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.083 ± 0.009	0.039 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.052 ± 0.009	8.94 ± 0.14
LA_mII09	32.13 ± 0.50	13.37 ± 0.48	6.50 ± 0.08	30.62 ± 0.61	4.68 ± 0.57	6.27 ± 0.14	0.36 ± 0.14	1.12 ± 0.12	0.57 ± 0.06	0.07 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.100 ± 0.010	0.033 ± 0.003	0.013 ± 0.001	0.068 ± 0.011	4.28 ± 0.07
LA_mII10	29.03 ± 0.46	11.62 ± 0.44	6.14 ± 0.07	34.60 ± 0.60	4.91 ± 0.60	5.49 ± 0.12	0.36 ± 0.13	1.05 ± 0.11	0.50 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.086 ± 0.009	0.039 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.059 ± 0.010	5.88 ± 0.09
LA_mII11	30.21 ± 0.50	11.96 ± 0.48	6.79 ± 0.08	35.58 ± 0.63	2.90 ± 0.35	5.95 ± 0.13	0.57 ± 0.22	1.03 ± 0.11	0.53 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.27 ± 0.02	0.090 ± 0.009	0.039 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.066 ± 0.011	4.21 ± 0.07
LA_mII12	33.86 ± 0.70	12.12 ± 0.59	9.56 ± 0.15	27.14 ± 0.75	5.81 ± 0.71	5.78 ± 0.14	0.35 ± 0.14	1.00 ± 0.11	0.56 ± 0.06	0.09 ± 0.02	0.60 ± 0.08	0.107 ± 0.011	0.046 ± 0.005	0.065 ± 0.010	0.083 ± 0.014	3.22 ± 0.05

Πίνακας Β.29: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) των μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα ΙΙΙ)

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
LA_mIII01	27.08 ± 0.44	11.50 ± 0.38	10.89 ± 0.10	30.37 ± 0.41	5.93 ± 0.68	5.94 ± 0.10	1.08 ± 0.42	0.75 ± 0.09	0.49 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.64 ± 0.05	0.118 ± 0.013	0.039 ± 0.002	0.017 ± 0.002	0.090 ± 0.016	5.03 ± 0.08
LA_mIII02	26.57 ± 0.41	12.60 ± 0.40	7.57 ± 0.08	34.37 ± 0.42	5.29 ± 0.60	5.11 ± 0.09	0.40 ± 0.15	0.78 ± 0.08	0.46 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.62 ± 0.04	0.153 ± 0.017	0.049 ± 0.002	0.023 ± 0.002	0.063 ± 0.011	5.75 ± 0.09
LA_mIII03	31.44 ± 0.50	11.35 ± 0.46	5.79 ± 0.07	33.07 ± 0.62	4.72 ± 0.58	6.63 ± 0.13	0.37 ± 0.14	1.19 ± 0.13	0.53 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.27 ± 0.02	0.091 ± 0.010	0.039 ± 0.003	0.015 ± 0.002	0.054 ± 0.009	4.76 ± 0.07
LA_mIII04	23.11 ± 0.37	10.00 ± 0.39	6.94 ± 0.07	34.35 ± 0.55	3.48 ± 0.42	6.92 ± 0.14	0.20 ± 0.08	1.02 ± 0.11	0.41 ± 0.04	0.06 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.043 ± 0.005	0.038 ± 0.002	0.018 ± 0.002	0.049 ± 0.008	13.34 ± 0.21
LA_mIII05	26.18 ± 0.46	10.92 ± 0.45	7.49 ± 0.08	35.14 ± 0.62	2.95 ± 0.36	7.17 ± 0.16	0.31 ± 0.11	0.75 ± 0.08	0.46 ± 0.05	0.08 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.081 ± 0.008	0.034 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.069 ± 0.011	8.49 ± 0.13
LA_mIII06	24.05 ± 0.38	10.36 ± 0.40	5.77 ± 0.07	34.08 ± 0.55	3.37 ± 0.41	6.49 ± 0.14	0.08 ± 0.03	1.06 ± 0.12	0.45 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.079 ± 0.008	0.038 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.046 ± 0.008	13.98 ± 0.22
LA_mIII07	24.87 ± 0.37	11.07 ± 0.40	5.99 ± 0.07	31.49 ± 0.52	3.36 ± 0.41	6.69 ± 0.13	0.10 ± 0.04	1.01 ± 0.11	0.45 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.078 ± 0.008	0.033 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.056 ± 0.010	14.17 ± 0.22
LA_mIII08	28.04 ± 0.41	11.93 ± 0.42	6.26 ± 0.07	32.61 ± 0.54	3.62 ± 0.44	7.99 ± 0.15	0.15 ± 0.06	1.20 ± 0.13	0.53 ± 0.06	0.07 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.091 ± 0.010	0.038 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.056 ± 0.010	7.17 ± 0.11
LA_mIII09	29.99 ± 0.48	11.89 ± 0.46	6.43 ± 0.07	33.33 ± 0.61	3.84 ± 0.47	7.04 ± 0.15	0.23 ± 0.09	1.04 ± 0.11	0.50 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.088 ± 0.009	0.036 ± 0.003	0.013 ± 0.001	0.065 ± 0.011	5.69 ± 0.09
LA_mIII10	26.98 ± 0.45	10.83 ± 0.44	5.86 ± 0.07	36.83 ± 0.59	4.69 ± 0.56	7.14 ± 0.15	0.41 ± 0.15	1.03 ± 0.11	0.46 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.080 ± 0.008	0.040 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.053 ± 0.009	5.68 ± 0.09
LA_mIII11	30.94 ± 0.48	12.07 ± 0.45	6.60 ± 0.07	31.85 ± 0.57	5.21 ± 0.64	5.17 ± 0.11	0.40 ± 0.15	1.02 ± 0.11	0.53 ± 0.06	0.07 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.092 ± 0.010	0.037 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.067 ± 0.011	5.98 ± 0.09
LA_mIII12	33.18 ± 0.50	12.93 ± 0.46	6.13 ± 0.07	30.10 ± 0.58	4.23 ± 0.51	5.96 ± 0.12	0.43 ± 0.16	1.17 ± 0.13	0.58 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.103 ± 0.011	0.036 ± 0.003	0.014 ± 0.002	0.067 ± 0.011	5.22 ± 0.08

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Πίνακας Β.30: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) των μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα IV)

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
LA_mIV01	26.73 ± 0.42	11.88 ± 0.38	9.41 ± 0.10	31.40 ± 0.41	5.74 ± 0.64	6.32 ± 0.11	0.40 ± 0.16	0.73 ± 0.08	0.52 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.64 ± 0.05	0.144 ± 0.015	0.042 ± 0.002	0.017 ± 0.002	0.083 ± 0.014	6.35 ± 0.10
LA_mIV02	28.05 ± 0.42	12.83 ± 0.40	7.68 ± 0.08	33.90 ± 0.42	5.28 ± 0.61	4.85 ± 0.09	0.76 ± 0.30	0.84 ± 0.08	0.48 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.64 ± 0.05	0.158 ± 0.017	0.051 ± 0.002	0.024 ± 0.002	0.067 ± 0.011	4.71 ± 0.07
LA_mIV03	31.25 ± 0.48	12.27 ± 0.45	5.69 ± 0.08	31.27 ± 0.64	4.13 ± 0.50	7.46 ± 0.16	0.41 ± 0.15	1.13 ± 0.12	0.53 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.092 ± 0.009	0.037 ± 0.003	0.016 ± 0.002	0.059 ± 0.010	5.51 ± 0.09
LA_mIV04	25.77 ± 0.38	10.37 ± 0.37	5.69 ± 0.06	35.69 ± 0.54	4.35 ± 0.51	6.26 ± 0.12	0.01 ± 0.00	1.11 ± 0.12	0.42 ± 0.04	0.07 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.073 ± 0.007	0.038 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.058 ± 0.009	10.29 ± 0.16
LA_mIV05	23.30 ± 0.38	10.64 ± 0.41	6.66 ± 0.07	34.87 ± 0.56	3.53 ± 0.44	5.20 ± 0.11	0.08 ± 0.03	0.86 ± 0.10	0.43 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.076 ± 0.008	0.036 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.061 ± 0.011	13.90 ± 0.22
LA_mIV06	25.36 ± 0.39	10.04 ± 0.38	5.96 ± 0.07	36.48 ± 0.55	4.46 ± 0.54	6.33 ± 0.12	0.04 ± 0.01	1.04 ± 0.11	0.43 ± 0.04	0.07 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.073 ± 0.007	0.040 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.046 ± 0.008	9.86 ± 0.15
LA_mIV07	30.72 ± 0.44	12.48 ± 0.42	6.18 ± 0.07	30.33 ± 0.54	4.87 ± 0.60	6.94 ± 0.13	0.20 ± 0.07	1.04 ± 0.11	0.53 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.091 ± 0.009	0.036 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.071 ± 0.012	6.72 ± 0.11
LA_mIV08	27.54 ± 0.41	12.29 ± 0.43	6.11 ± 0.07	34.04 ± 0.57	4.04 ± 0.49	8.45 ± 0.15	0.13 ± 0.05	1.19 ± 0.13	0.53 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.091 ± 0.010	0.042 ± 0.003	0.011 ± 0.001	0.053 ± 0.009	4.92 ± 0.08
LA_mIV09	31.78 ± 0.48	12.89 ± 0.46	6.57 ± 0.07	30.77 ± 0.57	5.13 ± 0.63	5.71 ± 0.12	0.37 ± 0.14	1.11 ± 0.12	0.53 ± 0.06	0.07 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.093 ± 0.010	0.036 ± 0.002	0.013 ± 0.001	0.069 ± 0.012	5.10 ± 0.08
LA_mIV10	30.14 ± 0.48	12.05 ± 0.46	6.25 ± 0.07	34.60 ± 0.60	2.98 ± 0.36	6.71 ± 0.15	0.51 ± 0.19	1.11 ± 0.12	0.51 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.087 ± 0.009	0.041 ± 0.003	0.011 ± 0.001	0.065 ± 0.011	5.02 ± 0.08
LA_mIV11	31.65 ± 0.49	12.72 ± 0.47	7.94 ± 0.08	29.28 ± 0.57	5.16 ± 0.63	5.10 ± 0.11	0.38 ± 0.15	0.98 ± 0.11	0.52 ± 0.05	0.08 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.090 ± 0.009	0.032 ± 0.003	0.013 ± 0.001	0.081 ± 0.014	6.23 ± 0.10

Πίνακας Β.31: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) των μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μονάδα V)

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
LA_mV01	25.48 ± 0.41	11.54 ± 0.37	9.90 ± 0.10	32.74 ± 0.42	5.24 ± 0.61	6.10 ± 0.11	0.43 ± 0.17	0.69 ± 0.08	0.51 ± 0.06	0.05 ± 0.01	0.60 ± 0.04	0.116 ± 0.013	0.042 ± 0.002	0.013 ± 0.002	0.081 ± 0.014	6.93 ± 0.11
LA_mV02	28.24 ± 0.42	12.78 ± 0.40	7.77 ± 0.08	33.50 ± 0.42	5.58 ± 0.62	5.04 ± 0.09	0.52 ± 0.20	0.83 ± 0.09	0.48 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.66 ± 0.05	0.166 ± 0.018	0.047 ± 0.002	0.026 ± 0.003	0.070 ± 0.012	4.33 ± 0.07
LA_mV03	30.67 ± 0.49	11.27 ± 0.45	5.69 ± 0.07	34.04 ± 0.63	4.76 ± 0.58	7.35 ± 0.16	0.45 ± 0.17	1.12 ± 0.12	0.50 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.26 ± 0.02	0.088 ± 0.009	0.039 ± 0.003	0.016 ± 0.002	0.056 ± 0.009	4.09 ± 0.06
LA_mV04	25.09 ± 0.38	9.91 ± 0.37	5.95 ± 0.06	36.87 ± 0.54	4.44 ± 0.52	5.73 ± 0.11	0.44 ± 0.16	1.01 ± 0.10	0.44 ± 0.04	0.07 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.076 ± 0.007	0.036 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.058 ± 0.009	10.12 ± 0.16
LA_mV05	24.27 ± 0.39	10.38 ± 0.39	6.74 ± 0.07	34.56 ± 0.56	4.57 ± 0.56	6.17 ± 0.12	0.03 ± 0.01	0.89 ± 0.10	0.46 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.081 ± 0.008	0.035 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.067 ± 0.011	11.80 ± 0.19
LA_mV06	26.01 ± 0.40	10.45 ± 0.39	5.24 ± 0.06	36.38 ± 0.57	4.42 ± 0.54	5.58 ± 0.12	0.04 ± 0.01	1.01 ± 0.11	0.47 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.081 ± 0.008	0.037 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.052 ± 0.009	10.41 ± 0.16
LA_mV09	31.24 ± 0.48	12.49 ± 0.46	6.69 ± 0.08	32.54 ± 0.59	4.94 ± 0.60	5.93 ± 0.13	0.33 ± 0.12	1.10 ± 0.12	0.54 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.092 ± 0.009	0.037 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.063 ± 0.010	4.17 ± 0.07
LA_mV10	27.89 ± 0.46	11.05 ± 0.44	5.80 ± 0.07	34.76 ± 0.59	4.13 ± 0.50	6.88 ± 0.15	0.30 ± 0.11	1.02 ± 0.11	0.46 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.078 ± 0.008	0.041 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.054 ± 0.009	7.44 ± 0.12
LA_mV11	28.73 ± 0.49	11.47 ± 0.47	6.50 ± 0.08	36.27 ± 0.63	4.59 ± 0.56	5.94 ± 0.13	0.36 ± 0.14	0.98 ± 0.11	0.48 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.27 ± 0.02	0.081 ± 0.008	0.038 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.061 ± 0.010	4.60 ± 0.07
LA_mV12	34.67 ± 0.52	13.30 ± 0.48	6.51 ± 0.08	28.65 ± 0.58	3.89 ± 0.48	6.80 ± 0.15	0.44 ± 0.17	1.12 ± 0.12	0.57 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.099 ± 0.010	0.034 ± 0.003	0.019 ± 0.002	0.076 ± 0.013	4.01 ± 0.06

Πίνακας Β.32: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) των μηνιαίων δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (μέσο δείγμα σταθμού)

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
LA_ms01	27.34 ± 0.41	12.56 ± 0.39	8.23 ± 0.08	30.67 ± 0.40	5.62 ± 0.62	5.89 ± 0.10	0.91 ± 0.35	0.73 ± 0.08	0.52 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.66 ± 0.05	0.140 ± 0.014	0.039 ± 0.002	0.015 ± 0.002	0.083 ± 0.014	6.82 ± 0.11
LA_ms02	27.44 ± 0.41	12.47 ± 0.39	7.24 ± 0.08	32.92 ± 0.41	5.29 ± 0.60	4.69 ± 0.08	0.85 ± 0.33	0.81 ± 0.08	0.45 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.62 ± 0.04	0.161 ± 0.018	0.046 ± 0.002	0.026 ± 0.003	0.062 ± 0.011	6.87 ± 0.11
LA_ms03	31.22 ± 0.50	11.59 ± 0.46	5.81 ± 0.07	33.02 ± 0.62	3.93 ± 0.48	7.98 ± 0.17	0.60 ± 0.23	1.11 ± 0.12	0.51 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.27 ± 0.02	0.092 ± 0.009	0.039 ± 0.003	0.016 ± 0.002	0.057 ± 0.009	4.18 ± 0.07
LA_ms04	24.33 ± 0.36	9.90 ± 0.36	5.77 ± 0.06	35.05 ± 0.52	4.16 ± 0.49	5.57 ± 0.11	0.02 ± 0.01	0.92 ± 0.10	0.43 ± 0.04	0.07 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.074 ± 0.007	0.036 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.055 ± 0.009	13.83 ± 0.22
LA_ms05	24.60 ± 0.40	10.40 ± 0.40	6.62 ± 0.07	37.92 ± 0.58	4.62 ± 0.56	5.66 ± 0.12	0.02 ± 0.01	0.81 ± 0.09	0.44 ± 0.05	0.08 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.075 ± 0.008	0.037 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.066 ± 0.011	8.86 ± 0.14
LA_ms06	25.50 ± 0.40	10.98 ± 0.42	6.18 ± 0.07	38.57 ± 0.60	3.75 ± 0.46	7.49 ± 0.15	0.02 ± 0.01	1.12 ± 0.12	0.48 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.083 ± 0.009	0.042 ± 0.003	0.011 ± 0.001	0.052 ± 0.009	5.56 ± 0.09
LA_ms07	26.49 ± 0.41	11.94 ± 0.44	6.63 ± 0.07	32.43 ± 0.57	3.66 ± 0.45	7.78 ± 0.16	0.20 ± 0.08	1.06 ± 0.12	0.51 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.090 ± 0.010	0.035 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.066 ± 0.011	8.52 ± 0.13
LA_ms08	29.63 ± 0.49	11.27 ± 0.46	5.58 ± 0.07	32.35 ± 0.64	4.85 ± 0.62	7.70 ± 0.17	0.40 ± 0.16	0.98 ± 0.11	0.51 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.091 ± 0.010	0.038 ± 0.003	0.011 ± 0.001	0.051 ± 0.009	6.57 ± 0.10
LA_ms09	31.12 ± 0.48	12.38 ± 0.46	6.62 ± 0.07	32.45 ± 0.59	3.12 ± 0.38	6.15 ± 0.13	0.35 ± 0.13	1.07 ± 0.12	0.51 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.091 ± 0.009	0.036 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.069 ± 0.012	6.23 ± 0.10
LA_ms10	27.82 ± 0.45	11.05 ± 0.43	6.09 ± 0.07	34.41 ± 0.58	4.57 ± 0.55	6.46 ± 0.14	0.35 ± 0.13	1.08 ± 0.11	0.45 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.079 ± 0.008	0.039 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.062 ± 0.010	7.66 ± 0.12
LA_ms11	30.15 ± 0.49	12.53 ± 0.48	6.83 ± 0.08	33.16 ± 0.63	5.28 ± 0.65	5.67 ± 0.12	0.39 ± 0.15	1.08 ± 0.12	0.49 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.089 ± 0.009	0.035 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.063 ± 0.011	4.39 ± 0.07
LA_ms12	32.34 ± 0.51	12.53 ± 0.47	5.91 ± 0.07	30.11 ± 0.60	3.13 ± 0.40	6.65 ± 0.15	0.61 ± 0.24	1.10 ± 0.12	0.55 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.096 ± 0.010	0.034 ± 0.003	0.013 ± 0.002	0.069 ± 0.012	7.02 ± 0.11

Πίνακας Β.33: Χημική σύσταση (% κ.β., τιμή ± απόλυτο σφάλμα) των δειγμάτων εργαστηριακής τέφρας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, του ΑΗΣ Καρδιάς, του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας (μονάδες I, II, IV) και του ΑΗΣ Αμυνταίου.

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
LAd_L1	34.26 ± 0.51	12.93 ± 0.47	5.63 ± 0.07	25.63 ± 0.58	4.76 ± 0.58	8.67 ± 0.15	0.34 ± 0.13	1.17 ± 0.12	0.63 ± 0.06	0.05 ± 0.01	0.26 ± 0.02	0.104 ± 0.011	0.034 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.059 ± 0.010	5.74 ± 0.09
LAd_L2	22.25 ± 0.42	9.78 ± 0.42	5.23 ± 0.07	35.07 ± 0.62	5.68 ± 0.70	9.70 ± 0.15	0.95 ± 0.36	0.90 ± 0.10	0.46 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.33 ± 0.02	0.078 ± 0.008	0.045 ± 0.003	0.008 ± 0.001	0.047 ± 0.008	9.74 ± 0.15
LAd_L3	33.04 ± 0.50	12.02 ± 0.45	4.95 ± 0.06	27.52 ± 0.57	5.35 ± 0.65	8.36 ± 0.15	0.52 ± 0.19	1.12 ± 0.12	0.62 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.27 ± 0.02	0.107 ± 0.011	0.039 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.050 ± 0.008	6.33 ± 0.10
LAd_L4	24.71 ± 0.45	10.63 ± 0.45	5.88 ± 0.07	35.01 ± 0.63	4.89 ± 0.60	9.01 ± 0.15	0.36 ± 0.14	0.96 ± 0.10	0.51 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.32 ± 0.02	0.087 ± 0.009	0.042 ± 0.003	0.009 ± 0.001	0.055 ± 0.009	7.93 ± 0.12
LAd_AD1	31.20 ± 0.48	11.20 ± 0.43	4.26 ± 0.06	32.31 ± 0.60	4.45 ± 0.54	5.08 ± 0.11	0.33 ± 0.12	1.08 ± 0.12	0.50 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.088 ± 0.009	0.039 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.044 ± 0.007	9.56 ± 0.15
LAd_AD2	29.37 ± 0.46	11.13 ± 0.43	4.41 ± 0.06	34.54 ± 0.61	4.01 ± 0.49	5.50 ± 0.11	0.47 ± 0.18	1.07 ± 0.11	0.51 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.090 ± 0.009	0.039 ± 0.003	0.010 ± 0.001	0.047 ± 0.008	8.94 ± 0.14
LAd_AD3	25.46 ± 0.43	9.84 ± 0.41	4.24 ± 0.06	37.77 ± 0.64	4.67 ± 0.57	5.94 ± 0.10	0.33 ± 0.12	0.86 ± 0.09	0.45 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.078 ± 0.008	0.038 ± 0.002	0.009 ± 0.001	0.050 ± 0.008	10.42 ± 0.16
LAd_AD4	29.31 ± 0.48	11.15 ± 0.45	4.89 ± 0.07	34.91 ± 0.65	3.45 ± 0.42	6.80 ± 0.11	0.34 ± 0.13	1.17 ± 0.13	0.51 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.29 ± 0.02	0.088 ± 0.009	0.040 ± 0.003	0.010 ± 0.001	0.053 ± 0.009	7.34 ± 0.12
LAd_AD5	27.59 ± 0.46	12.37 ± 0.50	5.76 ± 0.08	33.85 ± 0.63	4.54 ± 0.55	6.09 ± 0.12	0.68 ± 0.26	1.05 ± 0.11	0.64 ± 0.07	0.06 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.111 ± 0.012	0.035 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.048 ± 0.008	7.11 ± 0.11

Πίνακας Β.33 (συνέχεια)

Δείγμα	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
LAd_K1	30.00 ± 0.50	11.01 ± 0.46	6.06 ± 0.07	35.42 ± 0.64	3.00 ± 0.37	5.83 ± 0.13	0.57 ± 0.22	1.09 ± 0.12	0.55 ± 0.06	0.07 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.097 ± 0.010	0.035 ± 0.003	0.011 ± 0.001	0.047 ± 0.008	6.41 ± 0.10
LAd_K2	27.82 ± 0.48	10.46 ± 0.45	5.78 ± 0.07	35.96 ± 0.65	4.50 ± 0.55	5.50 ± 0.12	0.40 ± 0.15	0.97 ± 0.10	0.50 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.089 ± 0.009	0.034 ± 0.003	0.010 ± 0.001	0.048 ± 0.008	7.96 ± 0.13
LAd_K3	24.71 ± 0.44	9.33 ± 0.42	5.73 ± 0.07	38.18 ± 0.63	4.15 ± 0.51	5.45 ± 0.12	0.32 ± 0.12	0.95 ± 0.10	0.45 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.078 ± 0.008	0.037 ± 0.003	0.009 ± 0.001	0.041 ± 0.007	10.66 ± 0.17
LAd_K4	30.12 ± 0.47	11.02 ± 0.43	5.08 ± 0.07	32.43 ± 0.60	4.80 ± 0.59	5.95 ± 0.12	0.37 ± 0.14	1.10 ± 0.12	0.55 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.097 ± 0.010	0.036 ± 0.003	0.011 ± 0.001	0.045 ± 0.008	8.51 ± 0.13
LAd_PTII1	30.63 ± 0.51	11.53 ± 0.47	5.34 ± 0.07	30.99 ± 0.57	4.50 ± 0.55	8.52 ± 0.16	0.26 ± 0.10	1.06 ± 0.11	0.58 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.101 ± 0.011	0.032 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.044 ± 0.007	6.10 ± 0.10
LAd_PTII2	29.72 ± 0.49	11.70 ± 0.48	5.28 ± 0.07	31.27 ± 0.58	4.54 ± 0.55	7.19 ± 0.14	0.36 ± 0.14	1.30 ± 0.14	0.40 ± 0.04	0.04 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.070 ± 0.007	0.027 ± 0.002	0.007 ± 0.001	0.030 ± 0.005	7.41 ± 0.12
LAd_PTII3	30.63 ± 0.51	13.31 ± 0.54	5.04 ± 0.07	30.98 ± 0.57	3.29 ± 0.40	8.25 ± 0.16	0.42 ± 0.16	1.17 ± 0.13	0.31 ± 0.03	0.03 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.054 ± 0.006	0.021 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.023 ± 0.004	6.42 ± 0.10
LAd_PTII4	29.43 ± 0.49	10.43 ± 0.42	4.38 ± 0.06	30.64 ± 0.57	4.75 ± 0.58	6.62 ± 0.13	0.26 ± 0.10	1.09 ± 0.12	0.63 ± 0.07	0.06 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.109 ± 0.011	0.034 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.047 ± 0.008	11.19 ± 0.18
LAd_PTII5	34.56 ± 0.57	11.68 ± 0.48	3.91 ± 0.05	27.32 ± 0.51	3.16 ± 0.38	7.36 ± 0.14	0.17 ± 0.06	1.23 ± 0.13	0.38 ± 0.04	0.04 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.066 ± 0.007	0.026 ± 0.002	0.007 ± 0.001	0.029 ± 0.005	9.53 ± 0.15
LAd_PTII6	37.13 ± 0.61	13.92 ± 0.57	3.64 ± 0.05	26.89 ± 0.50	2.67 ± 0.32	7.23 ± 0.14	0.52 ± 0.20	1.60 ± 0.17	0.34 ± 0.04	0.03 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.059 ± 0.006	0.023 ± 0.002	0.006 ± 0.001	0.026 ± 0.004	6.09 ± 0.10
LAd_PTII7	36.86 ± 0.61	12.45 ± 0.51	4.59 ± 0.06	26.11 ± 0.48	3.65 ± 0.44	7.43 ± 0.14	0.64 ± 0.24	1.87 ± 0.20	0.50 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.087 ± 0.009	0.034 ± 0.002	0.009 ± 0.001	0.038 ± 0.006	5.81 ± 0.09
LAd_PTII1	33.53 ± 0.55	10.75 ± 0.44	4.77 ± 0.06	29.61 ± 0.55	5.12 ± 0.62	7.82 ± 0.15	0.33 ± 0.13	1.27 ± 0.14	0.63 ± 0.07	0.06 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.109 ± 0.011	0.035 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.047 ± 0.008	6.07 ± 0.10
LAd_PTII2	32.29 ± 0.53	9.25 ± 0.38	3.98 ± 0.05	31.17 ± 0.58	5.24 ± 0.64	8.69 ± 0.17	0.30 ± 0.11	1.41 ± 0.15	0.47 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.081 ± 0.008	0.031 ± 0.002	0.009 ± 0.001	0.035 ± 0.006	6.85 ± 0.11
LAd_PTII3	30.84 ± 0.51	12.06 ± 0.49	4.42 ± 0.06	28.87 ± 0.53	2.69 ± 0.33	7.55 ± 0.14	0.75 ± 0.28	1.52 ± 0.16	0.22 ± 0.02	0.02 ± 0.00	0.10 ± 0.01	0.037 ± 0.004	0.014 ± 0.001	0.004 ± 0.000	0.016 ± 0.003	11.39 ± 0.18
LAd_PTII4	33.67 ± 0.56	11.74 ± 0.48	4.53 ± 0.06	29.96 ± 0.56	3.98 ± 0.48	7.34 ± 0.14	0.22 ± 0.08	1.03 ± 0.11	0.42 ± 0.04	0.04 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.073 ± 0.008	0.028 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.032 ± 0.005	7.00 ± 0.11
LAd_PTII5	37.90 ± 0.63	14.41 ± 0.59	4.48 ± 0.06	25.14 ± 0.47	3.50 ± 0.43	7.39 ± 0.14	0.54 ± 0.20	1.87 ± 0.20	0.75 ± 0.08	0.07 ± 0.01	0.36 ± 0.02	0.130 ± 0.014	0.041 ± 0.003	0.014 ± 0.002	0.057 ± 0.009	3.79 ± 0.06
LAd_PTII6	34.25 ± 0.57	13.00 ± 0.53	4.97 ± 0.07	27.58 ± 0.51	3.94 ± 0.48	9.69 ± 0.18	0.24 ± 0.09	1.27 ± 0.14	0.73 ± 0.08	0.07 ± 0.01	0.34 ± 0.02	0.126 ± 0.013	0.040 ± 0.003	0.014 ± 0.002	0.055 ± 0.009	4.15 ± 0.07
LAd_PTII7	36.10 ± 0.60	12.29 ± 0.50	4.59 ± 0.06	27.66 ± 0.51	3.82 ± 0.47	7.52 ± 0.14	0.74 ± 0.28	1.70 ± 0.18	0.55 ± 0.06	0.05 ± 0.01	0.26 ± 0.02	0.096 ± 0.010	0.030 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.042 ± 0.007	4.53 ± 0.07
LAd_PTIV1	29.26 ± 0.48	10.80 ± 0.44	5.16 ± 0.07	32.66 ± 0.61	5.12 ± 0.62	7.30 ± 0.14	0.62 ± 0.23	0.95 ± 0.10	0.51 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.088 ± 0.009	0.028 ± 0.002	0.009 ± 0.001	0.038 ± 0.006	7.33 ± 0.12
LAd_PTIV2	31.97 ± 0.53	11.08 ± 0.45	4.95 ± 0.07	30.10 ± 0.56	4.68 ± 0.57	7.32 ± 0.14	0.36 ± 0.14	0.97 ± 0.10	0.58 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.101 ± 0.011	0.032 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.044 ± 0.007	7.32 ± 0.12
LAd_PTIV3	35.56 ± 0.59	12.73 ± 0.52	4.27 ± 0.06	26.41 ± 0.49	3.44 ± 0.42	7.67 ± 0.15	0.39 ± 0.15	1.61 ± 0.17	0.63 ± 0.07	0.06 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.109 ± 0.011	0.034 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.047 ± 0.008	6.47 ± 0.10
LAd_PTIV4	33.62 ± 0.56	11.39 ± 0.46	4.25 ± 0.06	28.37 ± 0.53	3.40 ± 0.41	8.01 ± 0.15	0.58 ± 0.22	1.33 ± 0.14	0.59 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.103 ± 0.011	0.033 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.045 ± 0.008	7.55 ± 0.12
LAd_PTIV5	33.89 ± 0.56	11.36 ± 0.46	4.37 ± 0.06	27.23 ± 0.50	2.10 ± 0.26	7.39 ± 0.14	0.58 ± 0.22	1.69 ± 0.18	0.66 ± 0.07	0.07 ± 0.01	0.31 ± 0.02	0.115 ± 0.012	0.036 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.050 ± 0.008	9.92 ± 0.16
LAd_AM1	45.16 ± 0.56	12.31 ± 0.44	6.64 ± 0.07	18.79 ± 0.47	3.90 ± 0.47	7.66 ± 0.15	0.72 ± 0.28	1.39 ± 0.15	0.74 ± 0.08	0.08 ± 0.01	0.10 ± 0.03	0.127 ± 0.013	0.023 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.028 ± 0.005	2.77 ± 0.04
LAd_AM2	45.95 ± 0.60	12.91 ± 0.47	6.82 ± 0.07	18.68 ± 0.49	4.03 ± 0.49	7.77 ± 0.15	0.38 ± 0.14	1.44 ± 0.15	0.81 ± 0.08	0.08 ± 0.01	0.13 ± 0.04	0.145 ± 0.015	0.027 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.032 ± 0.005	1.21 ± 0.02
LAd_AM3	40.52 ± 0.52	12.19 ± 0.44	4.78 ± 0.05	25.29 ± 0.65	2.36 ± 0.29	7.64 ± 0.15	0.71 ± 0.27	1.30 ± 0.14	0.21 ± 0.02	0.03 ± 0.00	0.04 ± 0.01	0.05 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.02 ± 0.00	4.86 ± 0.08
LAd_AM4	34.70 ± 0.44	12.15 ± 0.44	7.33 ± 0.08	26.24 ± 0.67	4.22 ± 0.51	9.45 ± 0.18	0.53 ± 0.20	1.07 ± 0.12	0.62 ± 0.06	0.08 ± 0.01	0.12 ± 0.04	0.14 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.05 ± 0.01	3.50 ± 0.05

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**

**Πίνακες και διαγράμματα στατιστικής ανάλυσης**

Πίνακας Γ.1: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των δώρων δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Ποριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίαις
Μέση τιμή (%)	37.0	8.8	7.7	4.0	5.2	3.8	13.0	1.4	1.7	1.8	1.6	7.7	6.4
Τυπική απόκλιση (%)	8.1	1.5	1.5	1.5	1.5	2.3	4.9	0.2	0.7	0.5	0.3	1.4	1.3
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	21.8	17.4	19.5	36.6	29.3	60.1	38.0	12.8	44.1	26.6	19.3	18.7	19.7
Ελάχιστη τιμή (%)	20.9	6.7	5.2	2.8	3.1	2.4	6.7	1.1	0.9	0.9	1.2	5.7	4.4
Μέγιστη τιμή (%)	46.3	11.7	10.5	7.8	8.1	10.5	23.2	1.7	3.5	2.5	2.3	10.5	8.4

Πίνακας Γ.2: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των ημερήσιων δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Ποριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίαις
Μέση τιμή (%)	37.3	7.1	8.4	3.8	5.6	3.5	14.6	1.1	1.4	1.7	1.7	8.2	5.7
Τυπική απόκλιση (%)	6.7	1.2	0.8	0.9	1.2	0.8	3.2	0.1	0.4	0.5	0.2	1.7	1.3
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	17.9	17.4	9.2	24.2	21.9	22.7	22.1	12.7	27.8	28.7	12.7	20.8	23.4
Ελάχιστη τιμή (%)	24.5	5.4	7.2	2.2	3.9	2.4	9.4	0.9	0.9	1.0	1.3	5.4	3.5
Μέγιστη τιμή (%)	47.1	9.0	9.7	6.1	9.0	6.4	21.9	1.4	2.1	2.8	2.0	11.9	8.0

Πίνακας Γ.3: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των εβδομαδιαίων δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Ποριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίαις
Μέση τιμή (%)	39.3	5.1	7.8	4.1	6.4	12.7	3.5	0.8	1.3	2.6	2.0	9.8	4.6
Τυπική απόκλιση (%)	2.2	0.2	0.5	0.8	0.4	1.5	0.2	0.0	0.4	0.5	0.2	1.3	0.8
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	5.5	3.2	7.0	18.5	6.5	11.5	5.1	5.7	30.0	20.1	8.9	13.8	16.3
Ελάχιστη τιμή (%)	36.9	4.9	7.0	3.3	5.9	11.0	3.2	0.7	0.8	1.8	1.8	7.8	3.9
Μέγιστη τιμή (%)	42.5	5.3	8.3	5.0	6.8	14.6	3.6	0.8	1.8	3.2	2.3	11.1	5.7

Πίνακας Γ.4: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των μηνιαίων δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Ποριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
Μέση τιμή (%)	33.5	7.3	9.5	5.2	6.5	6.5	12.1	1.1	1.7	1.8	1.8	8.8	4.4
Τυπική απόκλιση (%)	6.3	1.0	1.3	1.5	1.1	2.9	6.4	0.2	0.5	0.5	0.2	1.5	1.0
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	18.8	13.9	14.1	29.1	16.6	44.3	53.1	20.2	31.5	30.3	14.0	17.3	21.8
Ελάχιστη τιμή (%)	17.5	4.7	6.5	2.2	3.9	2.7	3.1	0.7	0.8	0.7	1.3	6.3	2.6
Μέγιστη τιμή (%)	48.3	9.6	12.7	9.4	9.0	13.0	24.2	1.6	3.2	3.4	2.3	12.8	6.7

Πίνακας Γ.5: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων του συνόλου των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Ποριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
Μέση τιμή (%)	35.0	7.3	9.0	4.7	6.1	5.8	12.3	1.1	1.6	1.8	1.7	8.6	4.9
Τυπική απόκλιση (%)	6.7	1.3	1.4	1.5	1.2	3.2	5.9	0.2	0.5	0.6	0.3	1.6	1.3
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	19.1	18.2	15.9	31.8	20.2	54.9	48.2	20.4	33.7	30.1	15.0	18.6	26.7
Ελάχιστη τιμή (%)	17.5	4.7	5.2	2.2	3.1	2.4	3.1	0.7	0.8	0.7	1.2	5.4	2.6
Μέγιστη τιμή (%)	48.3	11.7	12.7	9.4	9	14.6	24.2	1.7	3.5	3.4	2.3	12.8	8.4

Πίνακας Γ.6: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Καρδιάς.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Ποριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
Μέση τιμή (%)	41.6	6.5	7.8	3.6	8.7	12.7	2.7	1.1	1.5	1.1	2.1	6.9	3.9
Τυπική απόκλιση (%)	4.4	0.7	0.7	1.1	0.8	2.2	0.9	0.3	0.5	0.2	0.1	1.2	0.4
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	10.7	10.9	8.6	29.9	9.6	17.5	34.6	25.5	33.1	15.9	7.1	17.6	11.5
Ελάχιστη τιμή (%)	36.4	6.0	7.3	2.0	7.5	10.3	1.5	0.9	0.8	0.9	2.0	5.1	3.5
Μέγιστη τιμή (%)	45.8	7.5	8.7	4.4	9.4	14.9	3.7	1.5	1.9	1.3	2.3	7.8	4.5

Πίνακας Γ.7: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ.

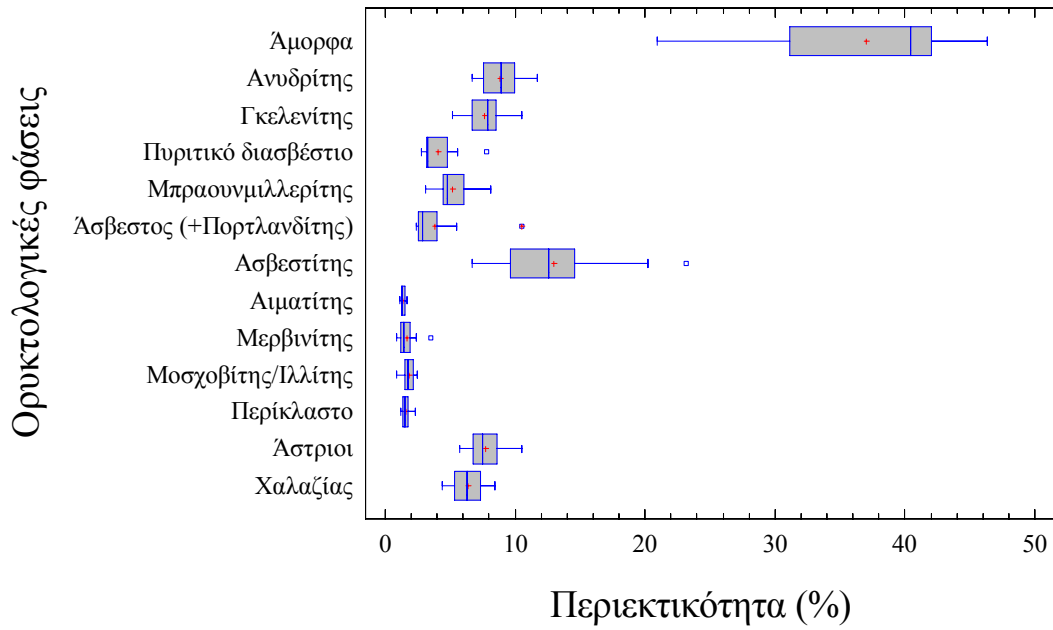
	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
Μέση τιμή (%)	36.0	11.0	6.2	4.2	8.0	8.7	5.0	1.0	1.4	1.5	3.1	7.7	6.2
Τυπική απόκλιση (%)	7.6	2.4	2.4	1.3	3.0	2.2	1.9	0.2	0.7	0.5	0.7	1.2	2.6
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	21.2	21.9	38.9	31.8	38.2	25.7	37.7	19.9	46.3	30.6	24.2	16.1	42.8
Ελάχιστη τιμή (%)	25.0	6.6	2.6	2.8	3.1	6.0	3.0	0.6	0.5	1.2	2.0	5.3	3.5
Μέγιστη τιμή (%)	47.9	13.9	9.2	6.7	11.3	12.2	8.1	1.2	2.4	2.5	3.9	9.1	10.3

Πίνακας Γ.8: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας.

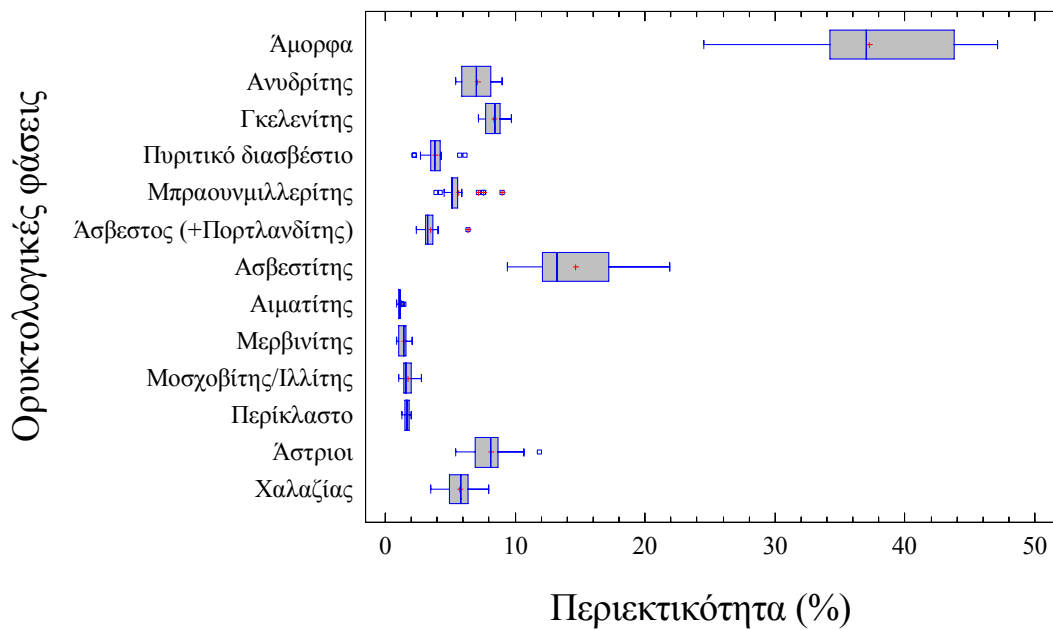
	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας
Μέση τιμή (%)	42.9	8.7	5.2	2.2	5.0	7.8	8.7	1.0	1.0	2.9	1.3	7.5	6.0
Τυπική απόκλιση (%)	2.6	1.0	1.2	0.7	0.8	1.5	2.6	0.1	0.2	0.6	0.1	1.5	0.8
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	6.1	11.1	22.7	31.7	16.3	19.5	30.4	13.9	23.6	20.4	10.4	19.6	12.9
Ελάχιστη τιμή (%)	37.1	6.9	3.5	1.1	2.8	4.8	3.8	0.8	0.4	1.9	1.1	5.4	4.9
Μέγιστη τιμή (%)	46.9	10.8	7.4	3.6	6.3	10.1	13.3	1.2	1.4	4.2	1.6	10.6	8.1

Πίνακας Γ.9: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αμυνταίου.

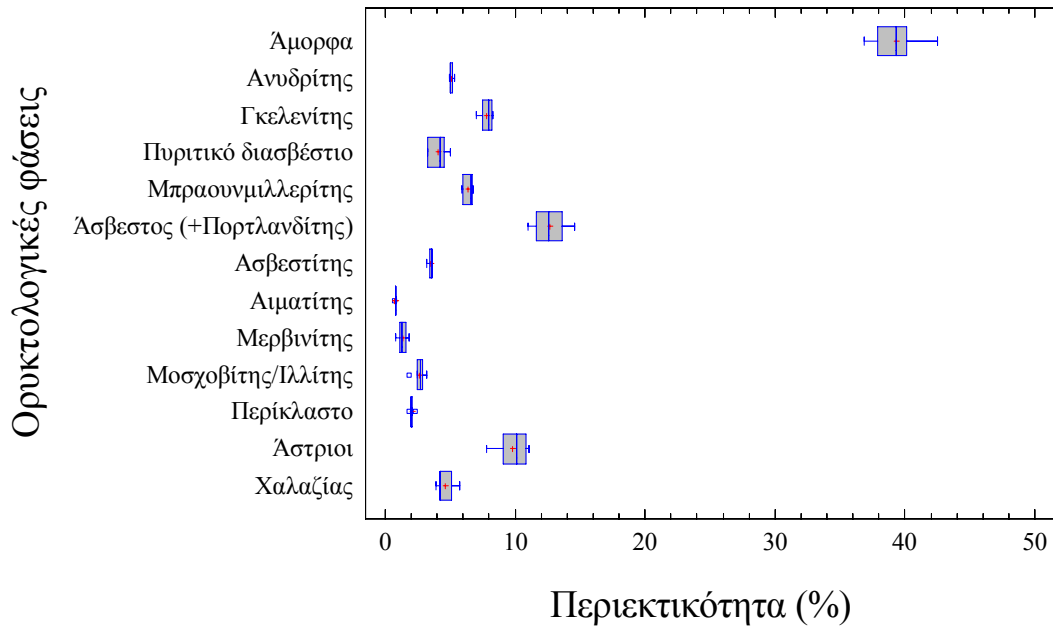
	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Πορόξενοι
Μέση τιμή (%)	44.2	6.0	6.9	3.0	3.5	5.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.2	14.2	5.9	5.3
Τυπική απόκλιση (%)	4.6	0.6	1.5	0.8	0.5	1.4	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.7	0.4	0.8
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	10.5	10.1	22.4	28.2	15.1	26.1	13.6	18.3	31.9	27.1	12.8	5.1	7.6	14.8
Ελάχιστη τιμή (%)	38.5	5.2	5.4	2.2	3.1	3.9	1.0	0.9	0.6	0.8	1.0	13.5	5.3	4.5
Μέγιστη τιμή (%)	48.2	6.6	8.6	3.7	4.2	7.3	1.4	1.3	1.4	1.4	1.3	15.1	6.3	6.4



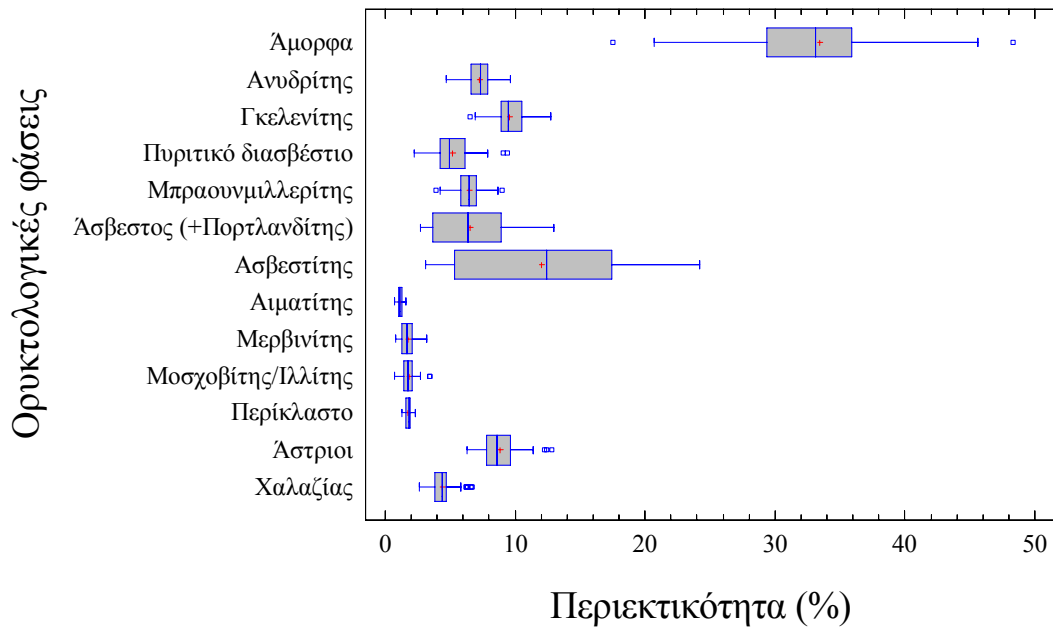
Εικόνα Γ.1: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των δίωρων δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



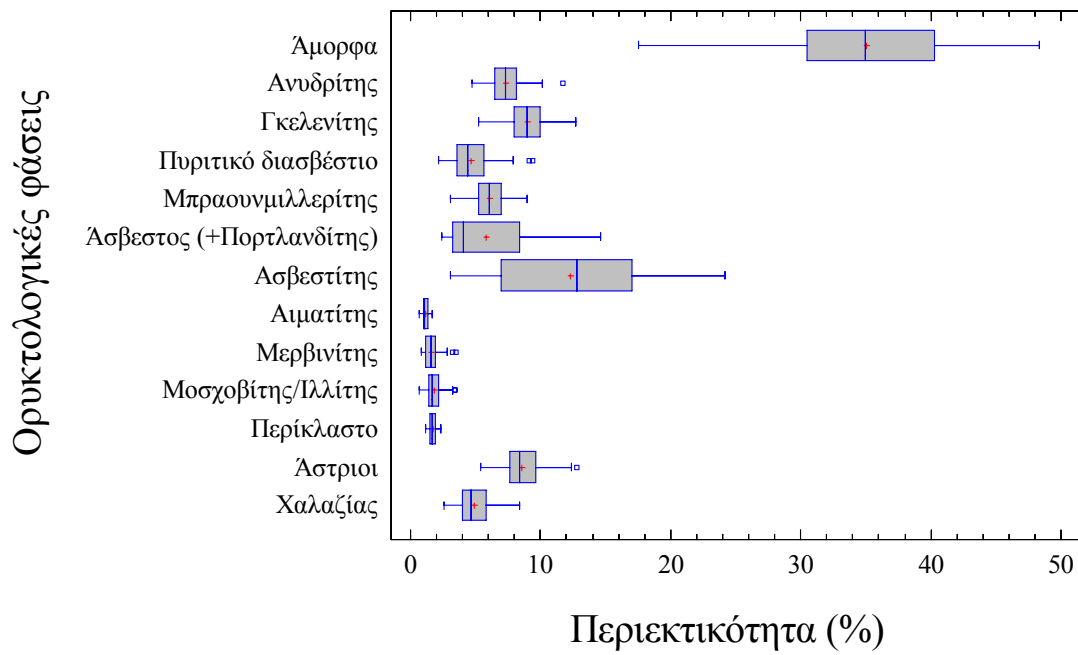
Εικόνα Γ.2: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των ημερήσιων δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



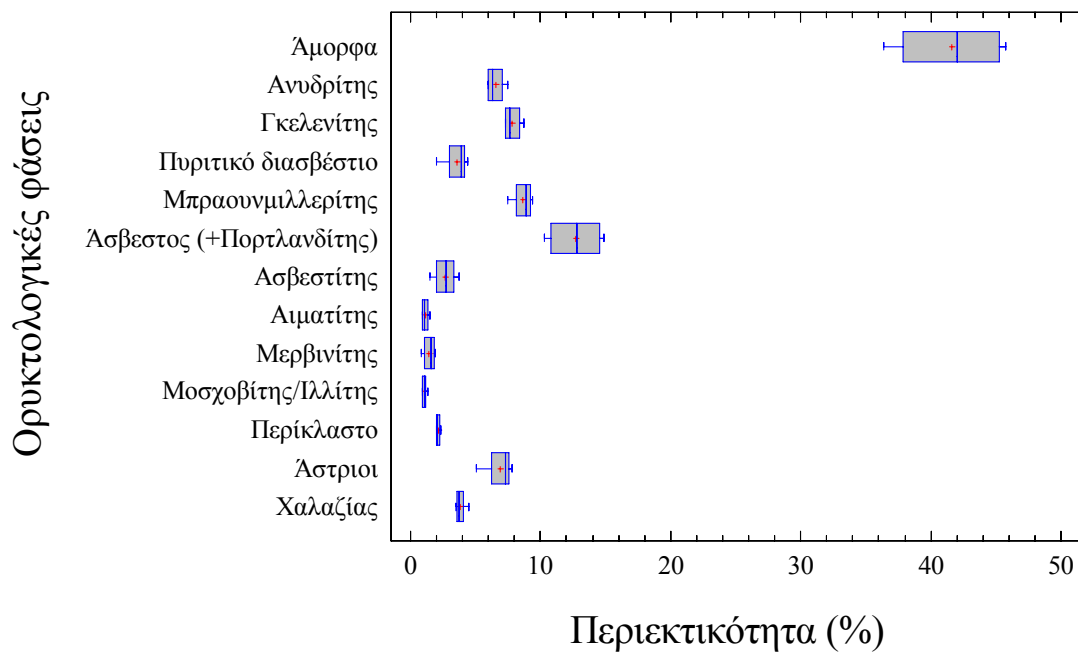
Εικόνα Γ.3: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των εβδομαδιαίων δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



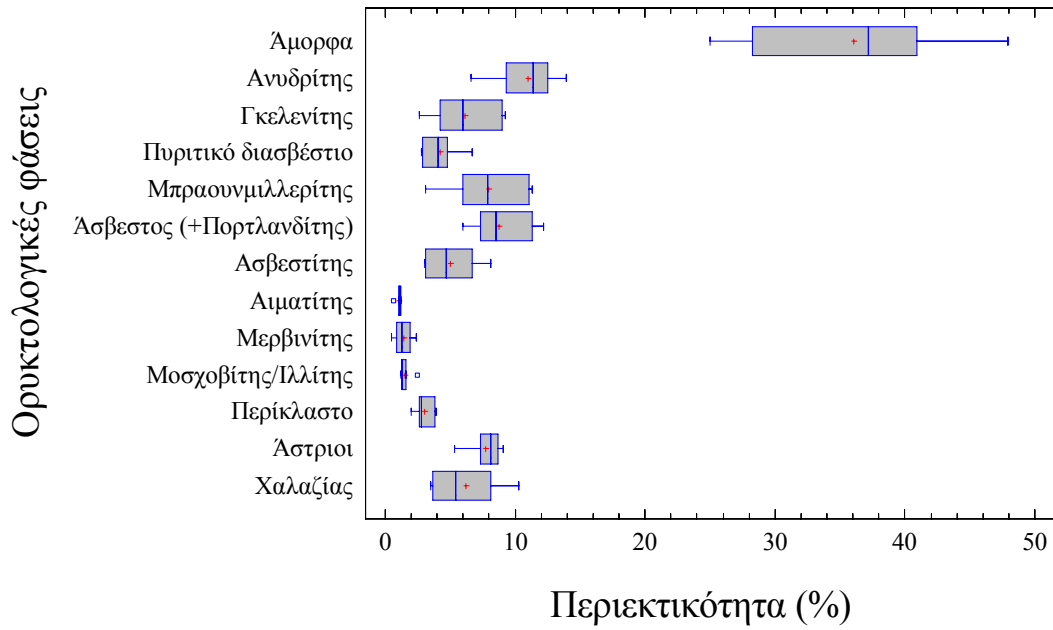
Εικόνα Γ.4: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των μηνιαίων δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



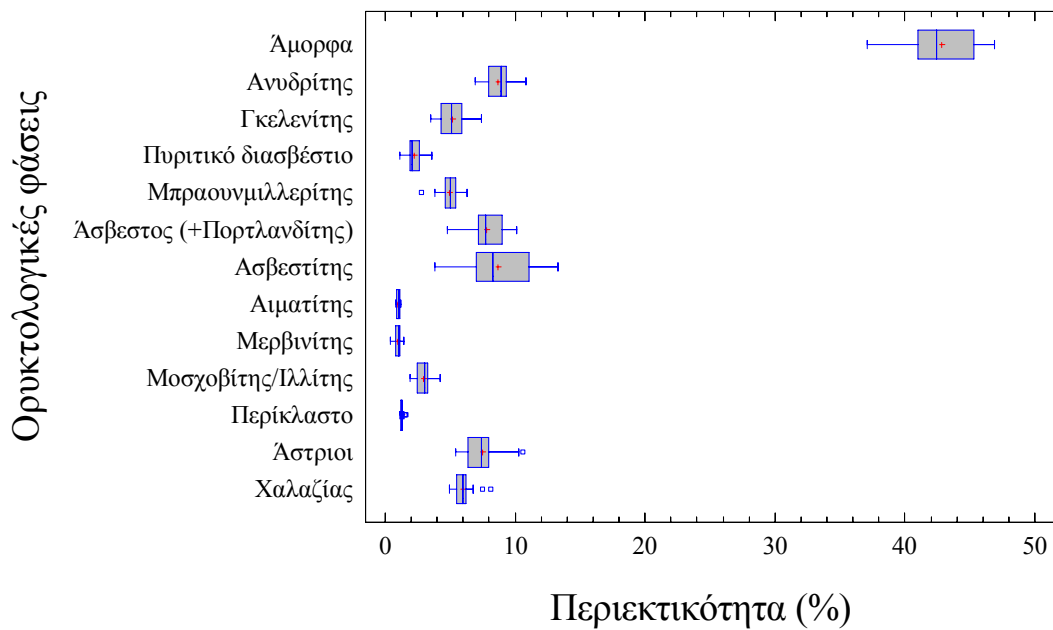
Εικόνα Γ.5: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης του συνόλου των δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



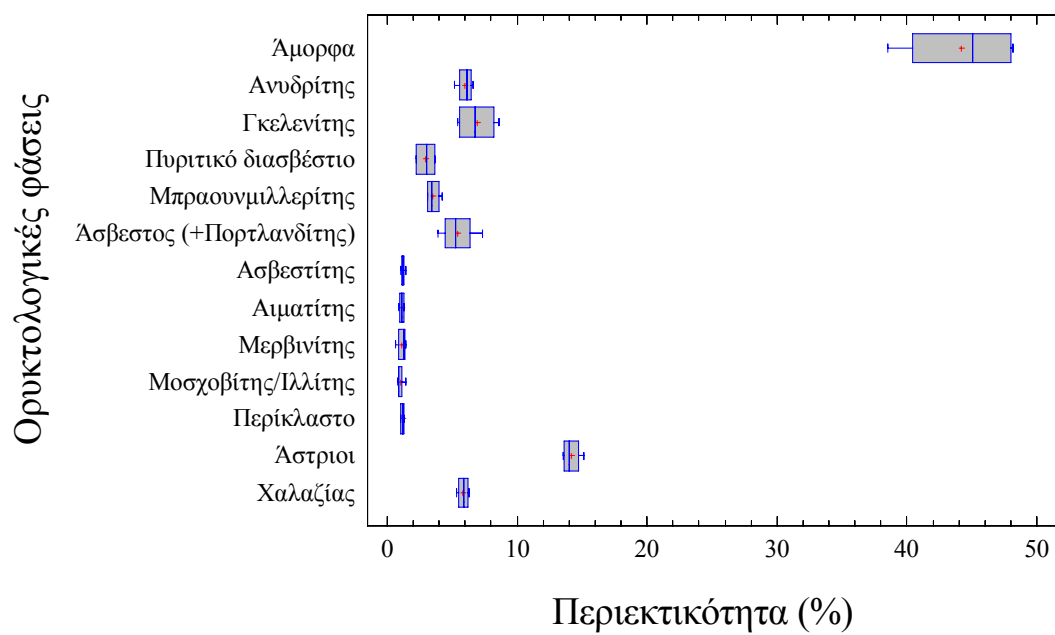
Εικόνα Γ.6: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Καρδιάς με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.7: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.8: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων Ι.Τ. ου ΑΗΣ Πτολεμαΐδας με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.9: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αμυνταίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.

Πίνακας Γ.10: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των δίσκων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεστίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
Μέση τιμή (%)	29.2	9.3	3.4	8.2	7.2	13.8	2.5	2.3	1.6	4.3	1.8	6.5	8.0	3.3
Τυπική απόκλιση (%)	11.4	2.1	2.5	2.5	3.6	6.6	0.9	0.7	0.8	1.1	0.2	3.2	2.0	1.1
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	39.1	23.0	73.1	30.5	49.7	47.8	35.7	30.1	50.7	24.8	12.6	49.4	25.2	33.5
Ελάχιστη τιμή (%)	7.5	5.6	0.7	4.1	1.9	2.8	1.3	1.4	0.8	2.7	1.2	1.6	4.1	1.7
Μέγιστη τιμή (%)	41.6	13.1	9.0	13.8	16.7	27.5	4.7	3.6	4.5	6.8	2.3	19.6	13.1	7.5

Πίνακας Γ.11: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των ημερήσιων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεστίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
Μέση τιμή (%)	25.6	9.1	-	7.8	5.7	12.0	2.7	2.6	1.3	6.5	1.8	8.8	11.0	5.2
Τυπική απόκλιση (%)	6.3	1.9	-	2.5	3.1	4.4	0.5	0.5	0.3	1.4	0.3	1.6	2.8	2.0
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	24.8	20.6	-	32.6	54.0	36.4	18.8	20.6	25.7	20.9	14.7	18.6	25.2	37.3
Ελάχιστη τιμή (%)	14.0	7.0	-	6.0	2.2	4.8	2.0	1.8	1.0	4.4	1.3	7.2	7.8	3.2
Μέγιστη τιμή (%)	34.1	12.2	-	12.6	10.4	18.1	3.2	3.6	2.0	8.8	2.0	11.7	15.3	8.3

Πίνακας Γ.12: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των εβδομαδιαίων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεστίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
Μέση τιμή (%)	19.8	8.0	8.9	8.3	8.3	15.7	3.1	1.9	3.8	3.6	2.1	9.4	6.9	-
Τυπική απόκλιση (%)	3.4	0.3	2.1	0.7	0.7	2.8	0.7	0.1	0.5	0.4	0.2	1.6	1.4	-
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	17.1	3.6	23.3	7.9	7.9	18.2	22.9	6.4	13.3	11.3	11.3	16.7	20.6	-
Ελάχιστη τιμή (%)	14.1	7.6	6.4	7.3	7.8	12.9	1.9	1.8	3.5	3.1	1.8	7.0	5.7	-
Μέγιστη τιμή (%)	22.8	8.4	10.9	8.8	9.3	18.8	3.8	2.1	4.7	4.2	2.4	10.8	9.0	-

Πίνακας Γ.13: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των μηνιαίων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
Μέση τιμή (%)	22.7	7.5	3.2	8.5	8.1	9.4	12.1	2.2	1.7	5.1	2.0	9.4	7.1	2.5
Τυπική απόκλιση (%)	9.2	1.1	1.7	2.2	2.3	4.7	12.7	0.4	0.5	1.3	0.3	2.4	1.3	1.1
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	40.5	14.1	52.1	26.4	29.1	49.7	105.3	20.1	30.4	26.3	16.3	25.4	17.9	43.0
Ελάχιστη τιμή (%)	5.0	5.3	0.8	3.5	2.3	0.4	1.7	1.3	0.8	2.6	1.4	4.3	4.9	1.2
Μέγιστη τιμή (%)	38.7	9.3	9.0	13.1	12.8	18.8	39.0	3.4	3.0	9.1	2.8	18.2	10.7	6.0

Πίνακας Γ.14: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων του συνόλου των δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
Μέση τιμή (%)	24.3	8.1	2.5	8.4	7.7	10.9	8.7	2.2	1.5	4.9	1.9	8.7	7.6	2.6
Τυπική απόκλιση (%)	9.7	1.6	2.6	2.3	2.7	5.5	11.2	0.5	0.9	1.4	0.3	2.8	1.9	1.7
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	40.1	20.0	102.9	27.0	35.6	50.3	127.9	23.3	60.4	28.1	15.9	31.9	25.2	64.5
Ελάχιστη τιμή (%)	5.0	5.3	0.0	3.5	1.9	0.4	1.3	1.3	0.0	2.6	1.2	1.6	4.1	0.0
Μέγιστη τιμή (%)	41.6	13.1	10.9	13.8	16.7	27.5	39.0	3.6	4.7	9.1	2.8	19.6	15.3	8.3

Πίνακας Γ.15: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των εβδομαδιαίων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Καρδιάς.

	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλλίτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
Μέση τιμή (%)	19.6	8.0	10.8	8.1	10.9	11.9	4.5	2.0	2.9	3.2	2.4	8.1	7.1	-
Τυπική απόκλιση (%)	4.4	0.9	4.4	2.0	1.6	3.6	1.1	0.1	0.9	0.8	0.3	0.9	1.0	-
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	22.7	11.0	40.3	25.1	14.4	30.6	24.2	4.1	31.1	25.7	13.6	10.7	14.7	-
Ελάχιστη τιμή (%)	14.1	7.1	6.4	6.3	9.0	8.8	3.5	1.9	2.2	2.3	2.0	7.2	5.9	-
Μέγιστη τιμή (%)	24.9	9.2	15.7	10.1	12.5	16.8	5.9	2.1	4.2	4.2	2.8	9.0	8.3	-

Πίνακας Γ.16: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των εβδομαδιαίων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ.

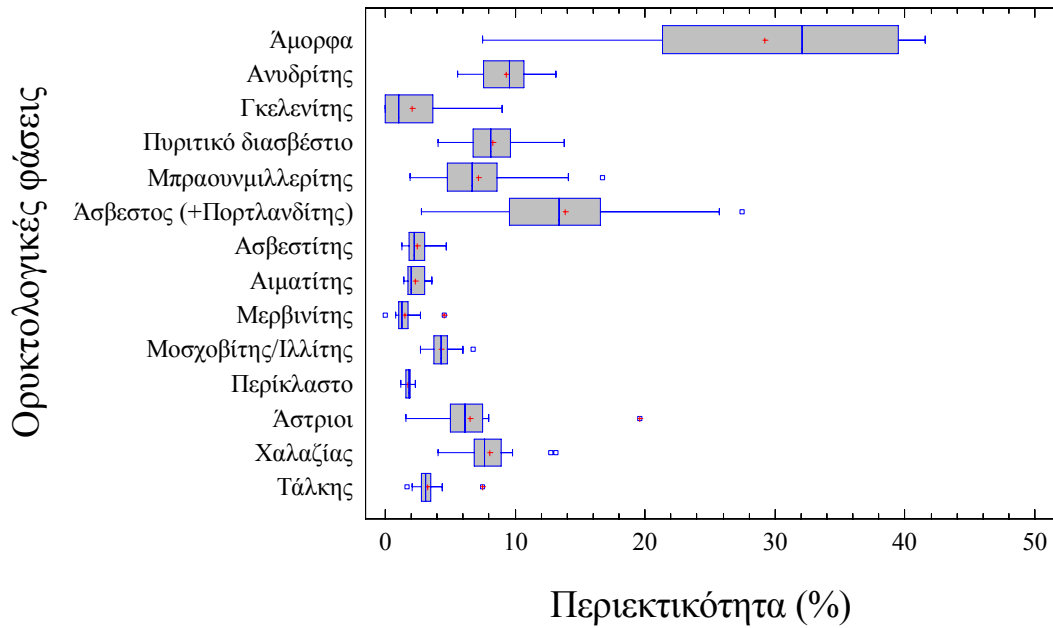
	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλλάιτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
Μέση τιμή (%)	20.7	12.5	9.2	8.3	9.5	7.0	4.5	1.9	2.5	3.6	2.8	9.3	8.6	-
Τυπική απόκλιση (%)	7.6	0.5	2.5	1.6	2.0	2.7	1.2	0.1	1.0	1.0	0.5	4.1	1.5	-
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	36.7	3.7	27.4	19.3	21.3	39.3	27.1	7.0	38.4	29.1	17.7	44.0	18.0	-
Ελάχιστη τιμή (%)	12.8	12.0	6.9	6.7	7.2	4.5	3.6	1.7	1.2	2.6	2.4	4.5	7.1	-
Μέγιστη τιμή (%)	30.5	13.1	12.5	9.7	11.8	9.7	6.2	2.0	3.3	4.9	3.5	14.5	10.1	-

Πίνακας Γ.17: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των εβδομαδιαίων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας.

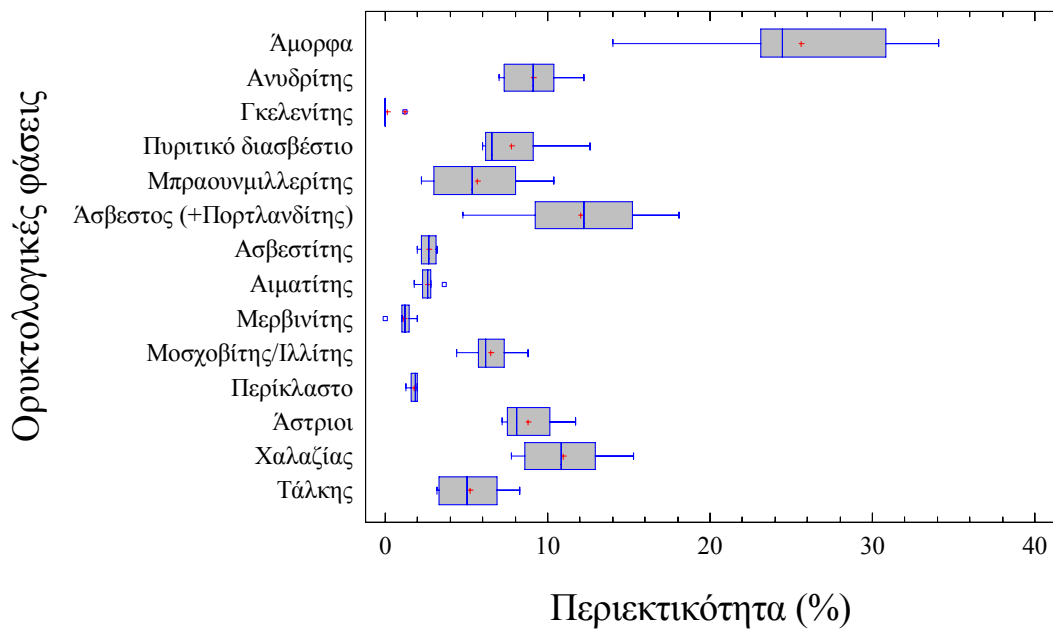
	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλλάιτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Τάλκης
Μέση τιμή (%)	18.6	11.3	11.7	8.3	7.5	5.2	5.9	1.7	2.7	4.3	1.2	11.3	8.6	1.8
Τυπική απόκλιση (%)	4.3	1.0	2.4	2.0	1.4	2.9	3.5	0.2	0.9	0.8	0.2	2.2	1.2	0.6
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	23.1	9.1	20.6	23.6	18.9	55.0	59.9	10.9	34.6	18.2	19.3	19.7	14.0	36.0
Ελάχιστη τιμή (%)	9.5	9.4	7.9	5.1	4.8	0.8	1.9	1.4	1.1	3.0	0.8	6.0	6.7	0.9
Μέγιστη τιμή (%)	25.0	13.1	18.1	13.9	10.7	11.1	14.8	2.1	4.5	5.4	1.6	15.5	10.7	3.2

Πίνακας Γ.18: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των ορυκτολογικών αναλύσεων των εβδομαδιαίων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αμυνταίου.

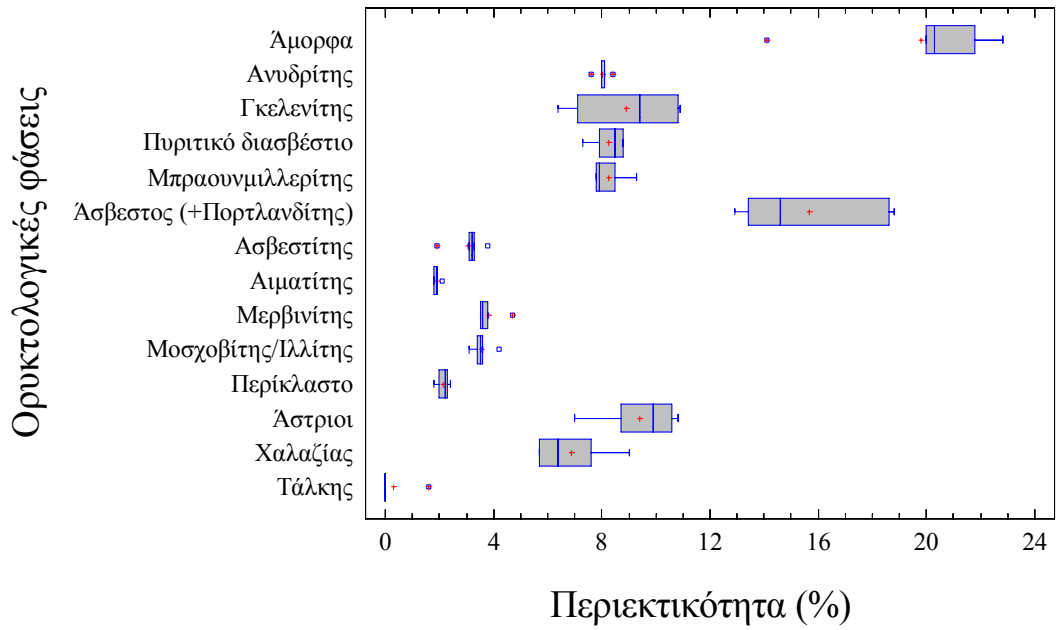
	Άμορφα	Ανυδρίτης	Γκελενίτης	Πυριτικό διασβέστιο	Μπραουνμυλλερίτης	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	Ασβεσίτης	Αιματίτης	Μερβινίτης	Μοσχοβίτης/Πλλάιτης	Περίκλαστο	Άστριοι	Χαλαζίας	Πυρόξηνοι
Μέση τιμή (%)	18.7	12.6	14.1	6.4	4.2	1.8	3.2	2.5	1.5	4.7	1.2	18.6	9.3	3.3
Τυπική απόκλιση (%)	7.4	1.0	4.6	3.9	1.6	1.0	1.8	0.6	0.7	0.8	0.4	4.4	1.3	1.5
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	39.4	7.9	32.5	61.2	39.0	55.0	57.7	24.1	45.4	16.2	32.9	23.6	13.9	45.1
Ελάχιστη τιμή (%)	8.7	11.3	8.8	1.1	2.9	1.1	1.8	1.8	0.9	3.8	0.9	13.4	7.7	1.7
Μέγιστη τιμή (%)	26.0	13.7	18.1	9.4	6.0	2.5	5.9	3.0	2.2	5.6	1.8	23.4	10.8	4.6



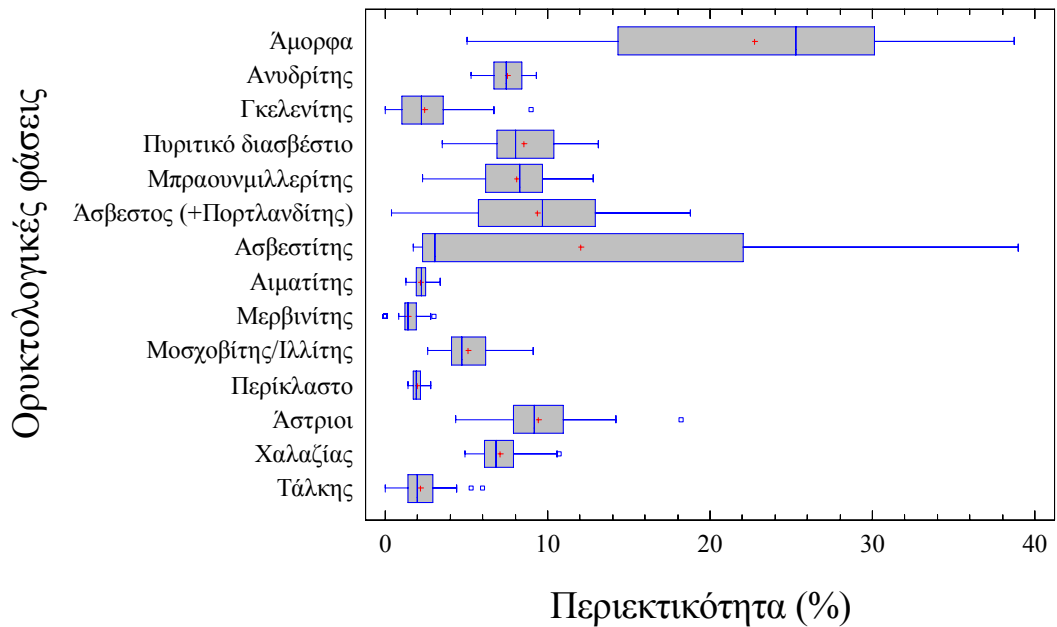
Εικόνα Γ.10: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των δίσκων δειγμάτων E.T. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



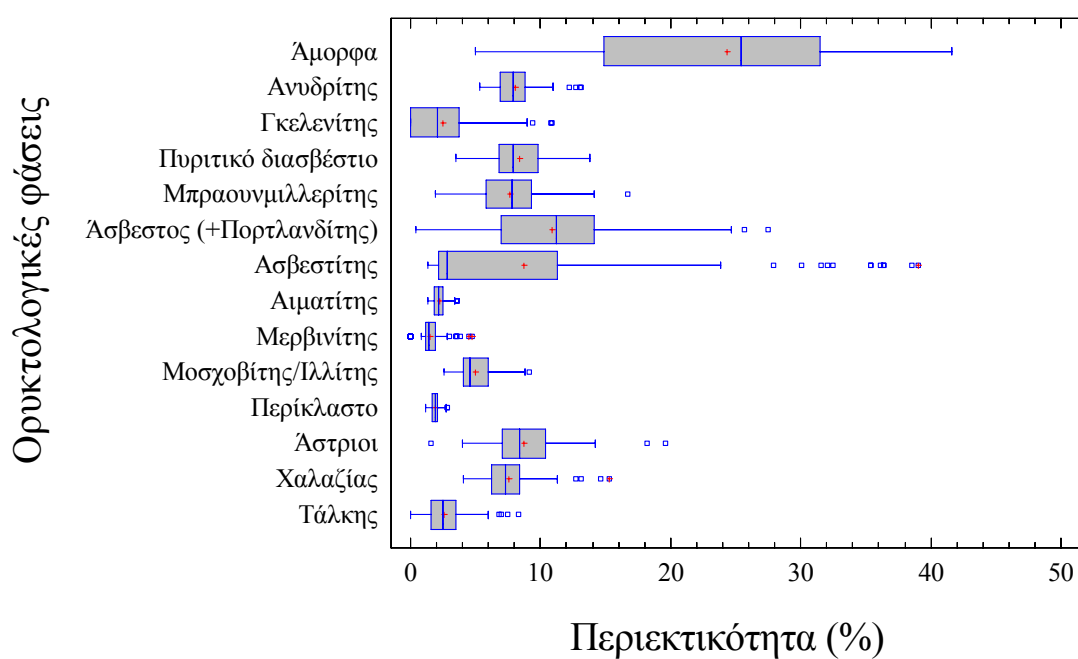
Εικόνα Γ.11: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των ημερήσιων δειγμάτων E.T. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



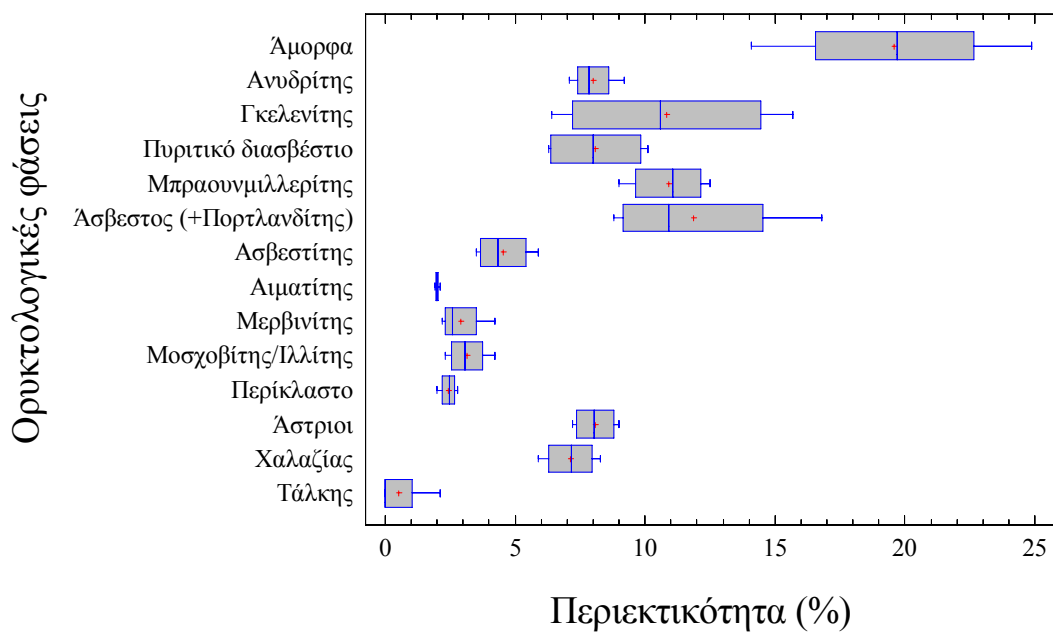
Εικόνα Γ.12: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των εβδομαδιαίων δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



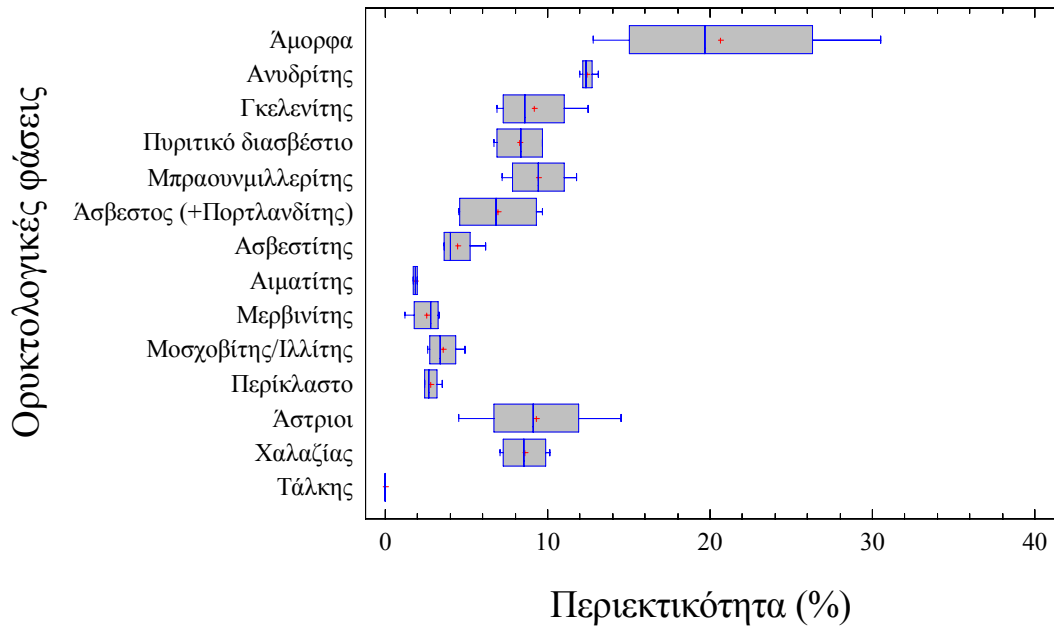
Εικόνα Γ.13: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των μηνιαίων δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



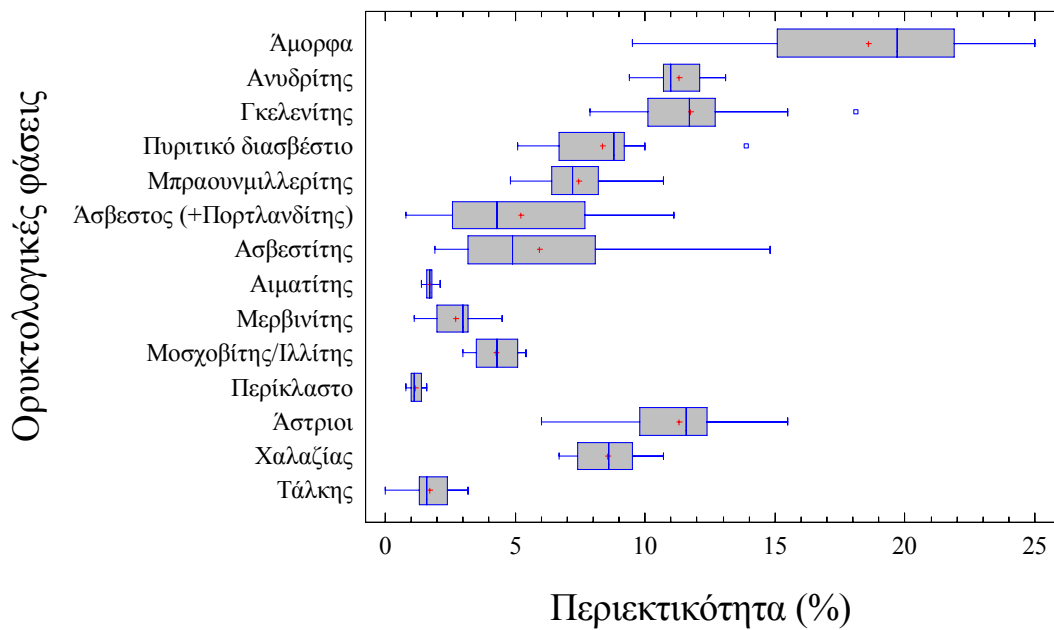
Εικόνα Γ.14: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης του συνόλου των δειγμάτων E.T. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



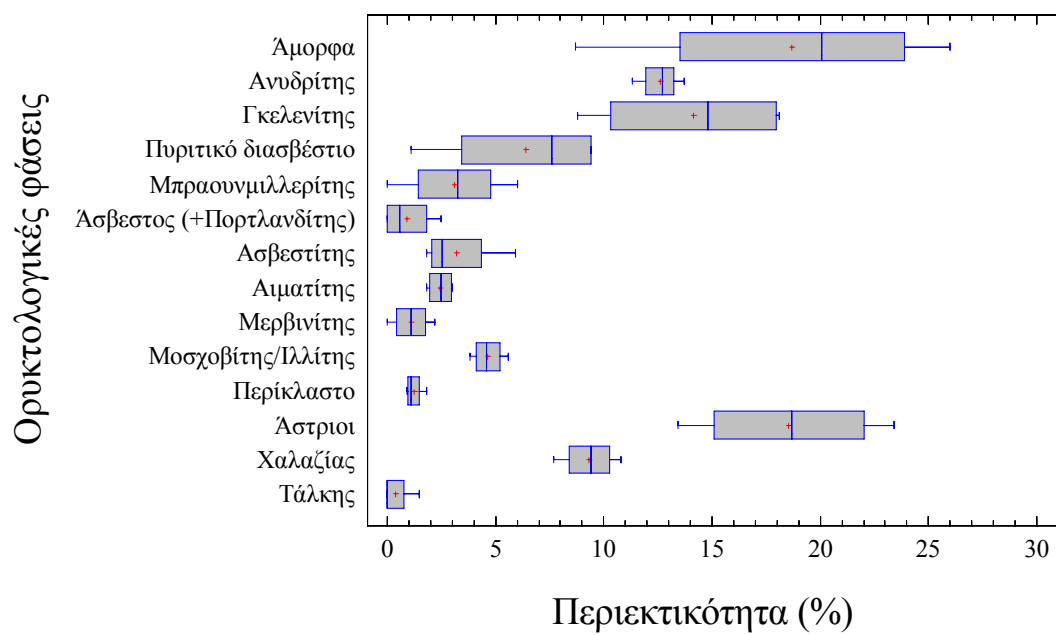
Εικόνα Γ.15: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων E.T. του ΑΗΣ Καρδιάς με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.16: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.17: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων Ε.Τ. ου ΑΗΣ Πτολεμαΐδας με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.18: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Αμυνταίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.

Πίνακας Γ.19: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δώρων δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	24.89	11.04	8.57	32.16	5.32	6.85	0.96	0.73	0.54	0.04	0.59	8.03
Τυπική απόκλιση (%)	3.10	1.01	0.54	4.21	0.49	0.71	0.35	0.12	0.07	0.00	0.10	1.37
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	12.46	9.10	6.33	13.08	9.20	10.32	36.21	16.92	12.98	6.50	17.49	17.11
Ελάχιστη τιμή (%)	19.76	9.29	7.72	26.81	4.44	5.78	0.50	0.46	0.43	0.04	0.39	6.13
Μέγιστη τιμή (%)	29.13	12.14	9.35	39.55	5.88	8.13	1.50	0.87	0.62	0.05	0.71	10.93

Πίνακας Γ.20: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των ημερήσιων δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	23.56	10.28	8.33	34.40	4.95	6.09	1.06	0.74	0.51	0.04	0.52	9.28
Τυπική απόκλιση (%)	2.46	0.76	0.79	2.65	0.39	0.70	0.15	0.07	0.05	0.01	0.09	1.64
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	10.44	7.36	9.49	7.72	7.91	11.47	13.84	9.14	9.25	13.22	16.86	17.63
Ελάχιστη τιμή (%)	17.95	8.60	6.57	30.15	4.13	4.85	0.62	0.59	0.40	0.03	0.26	6.60
Μέγιστη τιμή (%)	26.42	11.36	10.24	42.23	5.53	7.99	1.26	0.84	0.58	0.05	0.60	13.39

Πίνακας Γ.21: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των εβδομαδιαίων δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	27.46	11.45	6.36	37.49	4.61	3.85	1.08	1.07	0.52	0.03	0.56	5.10
Τυπική απόκλιση (%)	1.95	0.81	0.46	2.25	0.41	0.16	0.13	0.15	0.03	0.00	0.04	0.33
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	7.12	7.05	7.29	6.01	8.88	4.08	11.92	14.44	6.66	6.66	6.66	6.49
Ελάχιστη τιμή (%)	24.74	10.05	5.87	35.25	4.18	3.63	0.88	0.82	0.48	0.03	0.51	4.83
Μέγιστη τιμή (%)	29.84	12.07	7.02	40.96	5.25	4.01	1.19	1.22	0.57	0.04	0.61	5.53

Πίνακας Γ.22: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των μηνιαίων δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	21.79	9.73	7.78	36.32	4.59	5.68	1.04	0.72	0.44	0.04	0.46	11.25
Τυπική απόκλιση (%)	0.18	0.05	0.07	0.22	0.04	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.23
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	0.83	0.56	0.96	0.60	0.85	0.85	1.72	0.83	0.88	1.14	1.52	2.07
Ελάχιστη τιμή (%)	19.45	8.99	6.77	31.94	4.10	4.93	0.52	0.64	0.38	0.03	0.33	7.80
Μέγιστη τιμή (%)	25.07	10.98	9.49	39.46	5.36	6.62	1.27	0.84	0.51	0.05	0.56	17.98

Πίνακας Γ.23: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων του συνόλου των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	22.86	10.11	7.92	35.44	4.76	5.82	1.04	0.74	0.47	0.04	0.49	10.10
Τυπική απόκλιση (%)	2.47	0.82	0.77	2.77	0.43	0.78	0.18	0.10	0.06	0.00	0.08	2.34
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	10.83	8.08	9.77	7.82	9.09	13.41	17.08	14.07	12.11	10.51	16.85	23.20
Ελάχιστη τιμή (%)	17.95	8.60	5.87	26.81	4.10	3.63	0.50	0.46	0.38	0.03	0.26	4.83
Μέγιστη τιμή (%)	29.84	12.14	10.24	42.23	5.88	8.13	1.50	1.22	0.62	0.05	0.71	17.98

Πίνακας Γ.24: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Καρδιάς.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	27.52	10.40	6.55	34.56	3.31	6.38	0.96	0.99	0.57	0.04	0.61	7.68
Τυπική απόκλιση (%)	0.55	0.26	0.32	1.31	0.26	0.71	0.05	0.05	0.06	0.00	0.06	1.69
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	1.98	2.45	4.94	3.78	7.79	11.15	4.69	5.25	10.00	10.00	10.00	22.06
Ελάχιστη τιμή (%)	27.07	10.20	6.13	33.30	2.99	5.43	0.91	0.95	0.49	0.03	0.52	5.67
Μέγιστη τιμή (%)	28.23	10.76	6.82	36.38	3.62	7.16	1.01	1.07	0.62	0.04	0.66	9.81

Πίνακας Γ.25: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ.

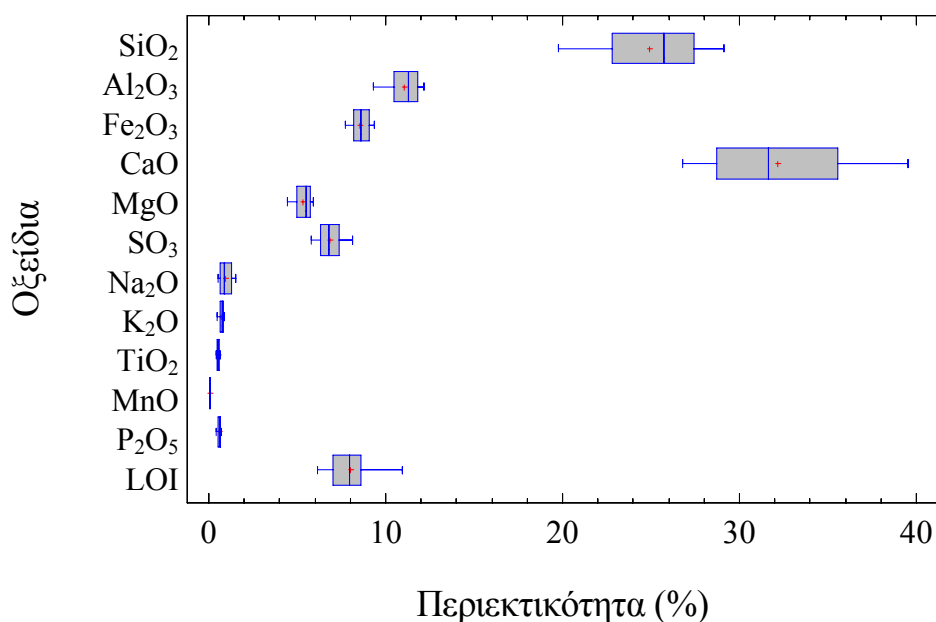
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	25.73	9.23	7.61	35.68	6.46	7.28	0.84	0.73	0.49	0.03	0.52	5.21
Τυπική απόκλιση (%)	6.72	0.70	1.23	3.22	0.97	1.06	0.21	0.23	0.11	0.01	0.12	1.40
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	26.12	7.54	16.11	9.02	15.07	14.52	24.71	30.83	22.60	22.60	22.60	26.82
Ελάχιστη τιμή (%)	19.37	8.18	5.53	30.85	5.34	5.25	0.57	0.58	0.34	0.02	0.36	3.65
Μέγιστη τιμή (%)	35.74	10.23	9.26	39.58	8.02	8.65	1.19	1.22	0.68	0.04	0.73	6.95

Πίνακας Γ.26: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας.

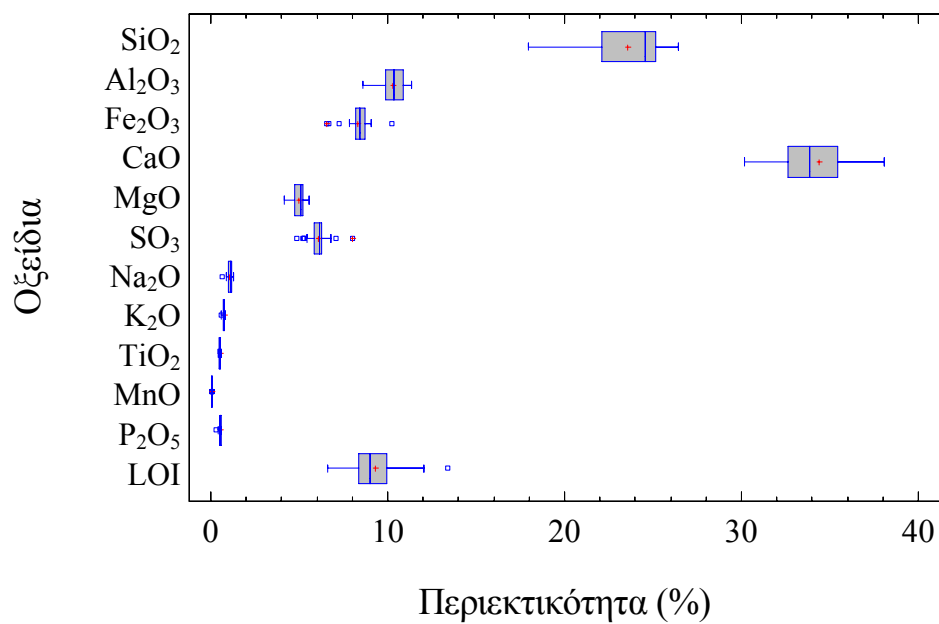
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	26.36	9.52	6.67	36.16	3.43	6.83	0.85	1.01	0.56	0.04	0.61	7.66
Τυπική απόκλιση (%)	3.72	0.91	1.28	2.72	0.77	1.20	0.18	0.24	0.04	0.00	0.05	1.48
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	14.10	9.58	19.16	7.53	22.51	17.56	21.19	24.18	7.60	7.60	7.60	19.37
Ελάχιστη τιμή (%)	18.80	7.97	4.42	29.36	2.71	4.87	0.55	0.46	0.46	0.03	0.49	5.43
Μέγιστη τιμή (%)	34.26	11.29	9.28	41.69	5.04	8.92	1.23	1.37	0.63	0.04	0.67	10.60

Πίνακας Γ.27: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αμυνταίου.

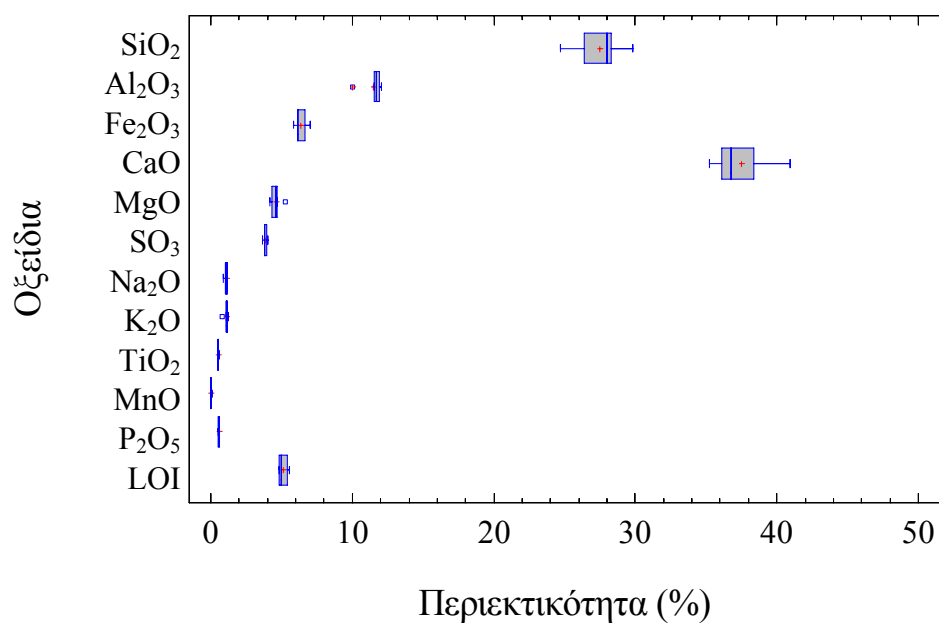
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	38.49	11.41	6.27	26.86	4.41	4.75	1.63	1.06	0.56	0.04	0.60	3.44
Τυπική απόκλιση (%)	1.39	0.27	0.80	2.12	0.30	0.70	0.06	0.09	0.06	0.00	0.06	0.67
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	3.61	2.37	12.70	7.88	6.73	14.65	3.45	8.89	10.10	10.10	10.10	19.54
Ελάχιστη τιμή (%)	36.84	11.11	5.34	24.25	4.12	3.93	1.58	0.98	0.50	0.03	0.53	2.71
Μέγιστη τιμή (%)	40.24	11.67	7.07	29.24	4.82	5.57	1.69	1.19	0.61	0.04	0.66	4.33



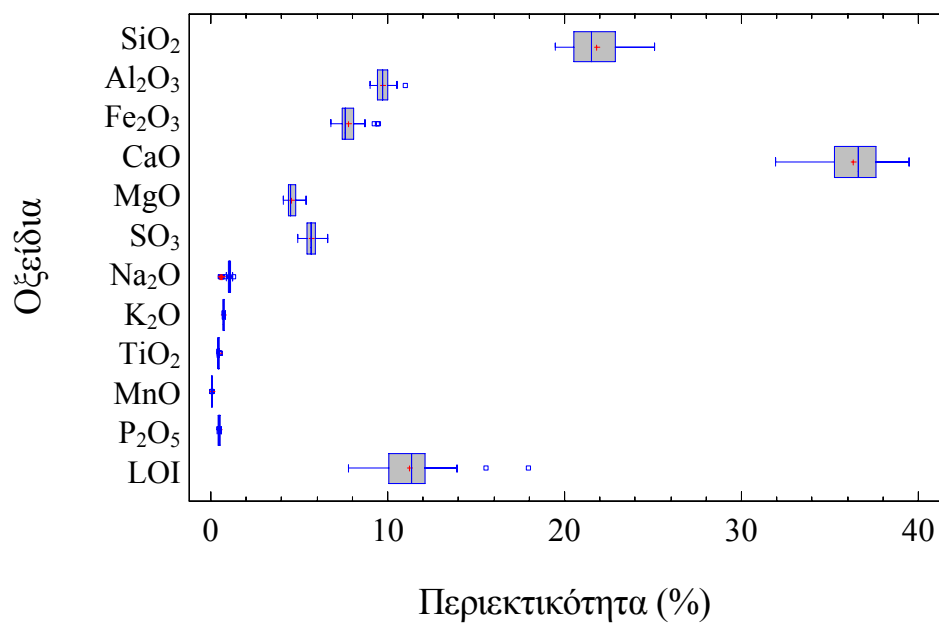
Εικόνα Γ.19: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των δίσκων δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



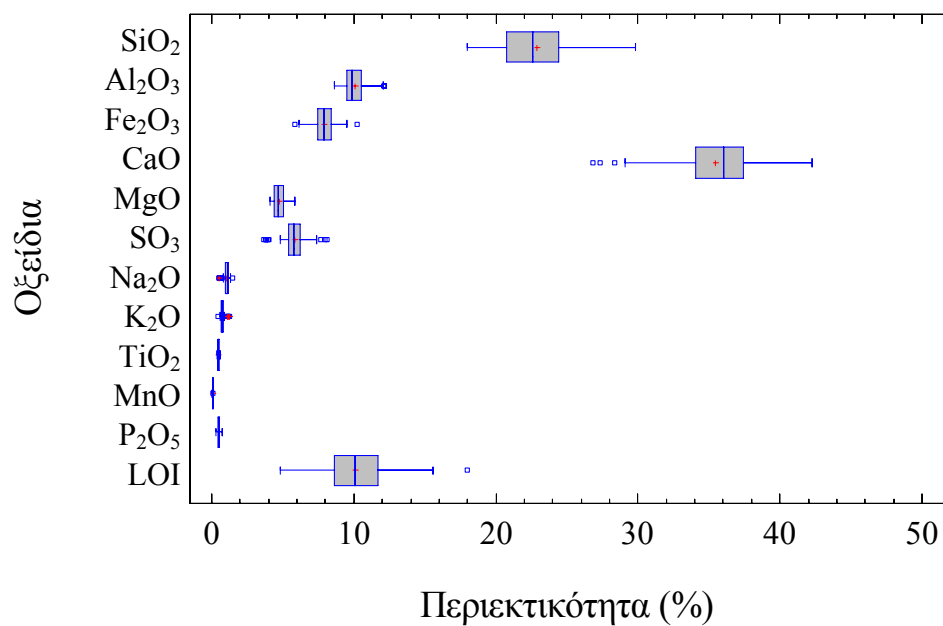
Εικόνα Γ.20: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των ημερήσιων δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



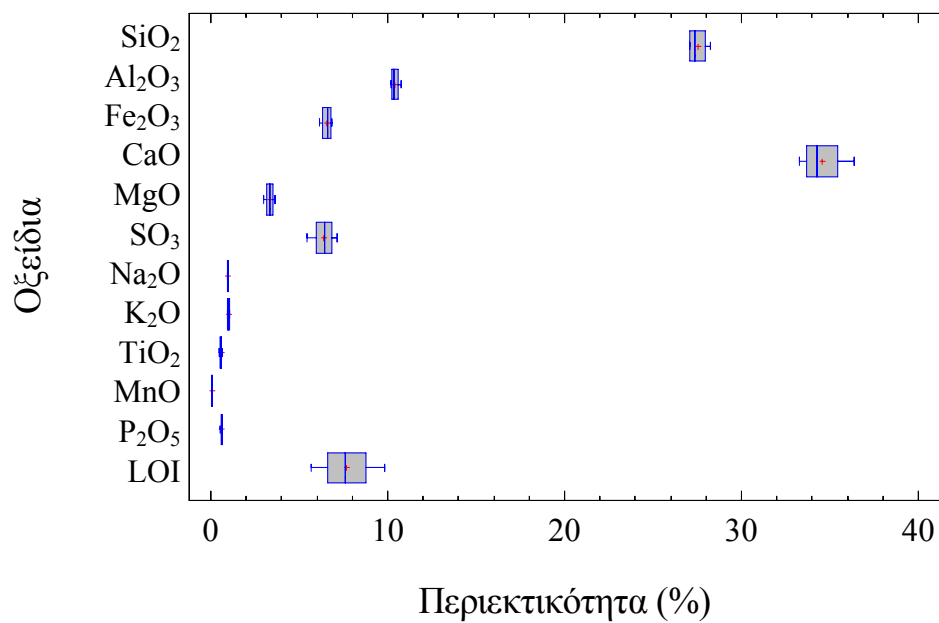
Εικόνα Γ.21: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των εβδομαδιαίων δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



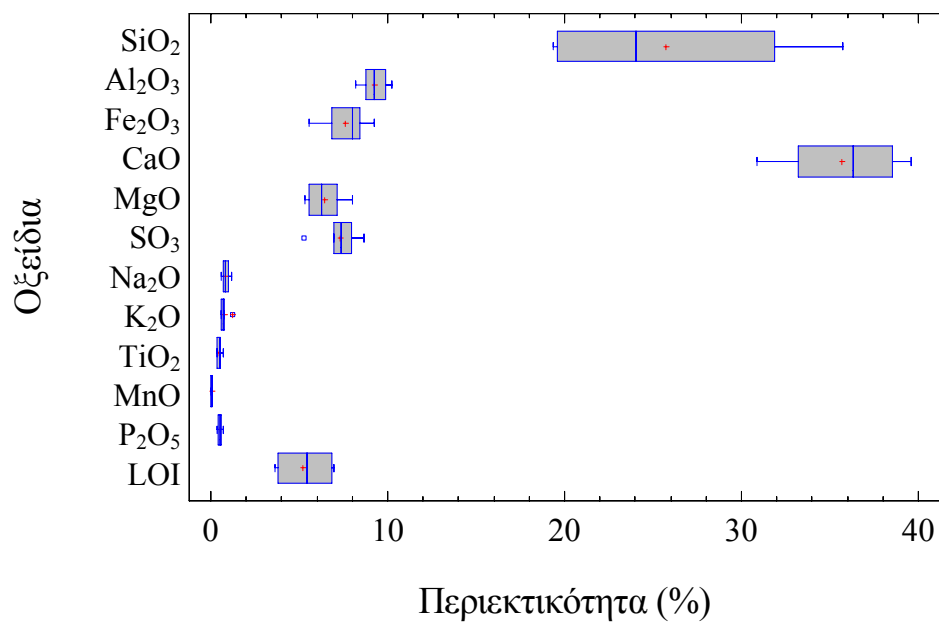
Εικόνα Γ.22: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των μηνιαίων δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



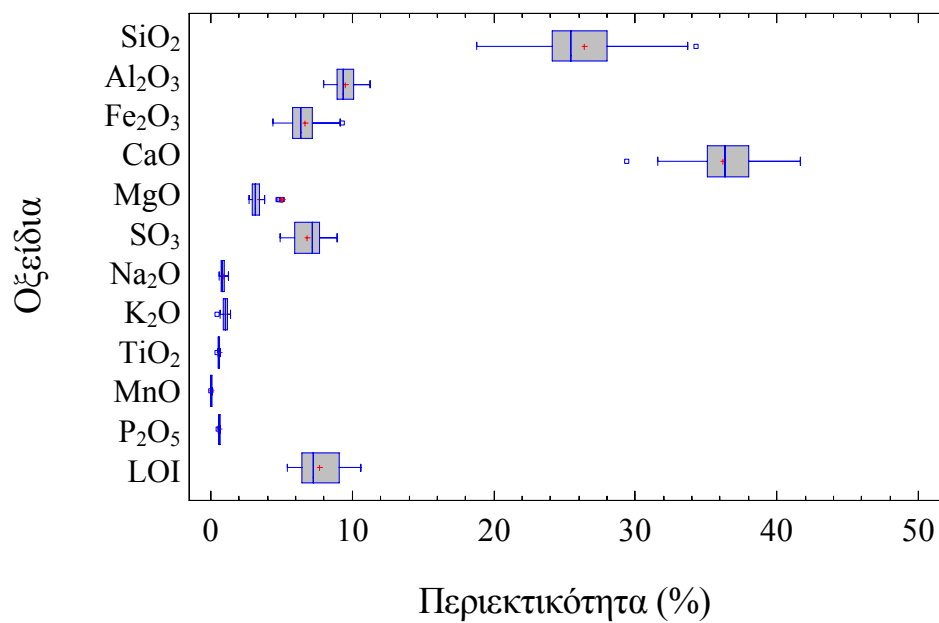
Εικόνα Γ.23: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης του συνόλου των δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



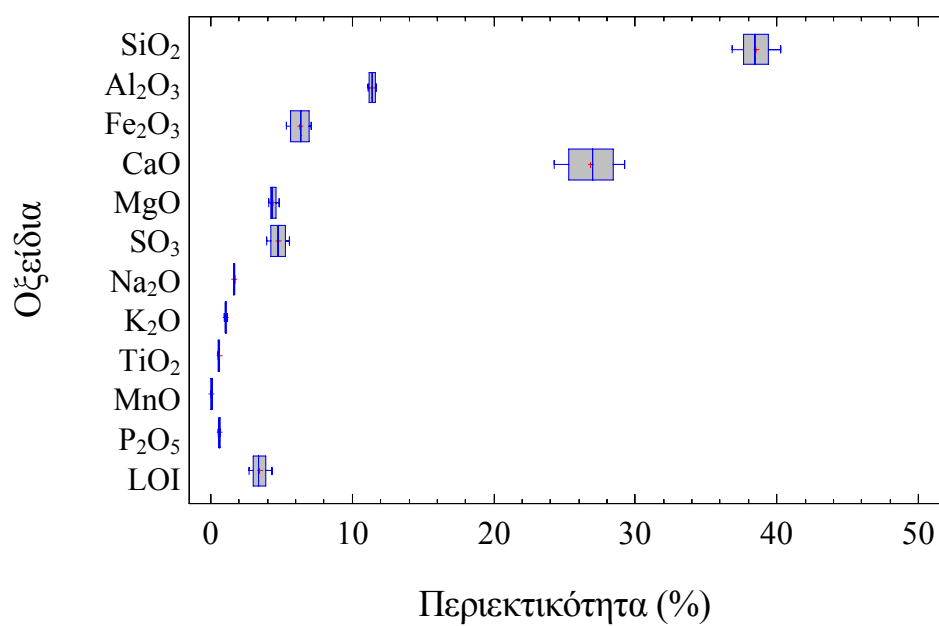
Εικόνα Γ.24: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Καρδιάς με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.25: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Λιπτόλα με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.26: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.27: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των δειγμάτων Ι.Τ. του ΑΗΣ Αμυνταίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.

Πίνακας Γ.28: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δώρων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	26.09	11.81	8.54	32.57	5.14	6.08	0.69	0.70	0.47	0.04	0.56	7.28
Τυπική απόκλιση (%)	4.41	2.11	1.14	7.33	0.94	1.03	0.36	0.13	0.07	0.01	0.17	1.72
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	16.90	17.85	13.41	22.52	18.33	17.00	51.24	19.23	15.49	13.41	29.54	23.59
Ελάχιστη τιμή (%)	19.64	8.09	6.48	19.45	3.37	4.70	0.23	0.50	0.37	0.03	0.22	4.62
Μέγιστη τιμή (%)	35.38	17.40	11.92	44.72	6.73	8.49	1.54	1.05	0.59	0.05	0.79	12.44

Πίνακας Γ.29: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των ημερήσιων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	28.31	12.73	8.44	29.79	5.33	5.72	0.71	0.78	0.51	0.04	0.65	6.97
Τυπική απόκλιση (%)	2.97	1.07	0.81	5.10	0.72	1.12	0.30	0.08	0.05	0.01	0.13	2.06
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	10.50	8.39	9.64	17.10	13.56	19.53	42.72	10.10	9.37	12.57	19.35	29.59
Ελάχιστη τιμή (%)	24.04	10.87	7.09	22.13	4.51	4.46	0.31	0.67	0.45	0.04	0.49	5.66
Μέγιστη τιμή (%)	31.97	13.98	9.61	36.68	6.23	7.72	1.15	0.88	0.58	0.05	0.87	11.98

Πίνακας Γ.30: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των εβδομαδιαίων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	28.92	11.27	4.70	34.77	4.25	5.51	0.39	1.06	0.52	0.05	0.27	8.50
Τυπική απόκλιση (%)	2.10	1.14	0.61	1.96	0.52	0.96	0.08	0.12	0.07	0.01	0.03	1.69
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	7.25	10.08	13.06	5.62	12.26	17.35	19.44	11.21	12.86	19.10	10.10	19.85
Ελάχιστη τιμή (%)	25.46	9.84	4.24	32.31	3.45	4.24	0.33	0.86	0.45	0.04	0.24	6.25
Μέγιστη τιμή (%)	31.20	13.03	5.69	37.77	4.67	6.80	0.47	1.17	0.63	0.06	0.30	10.42

Πίνακας Γ.31: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των μηνιαίων δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	28.09	11.57	6.69	33.52	4.40	6.31	0.36	0.99	0.49	0.06	0.31	7.26
Τυπική απόκλιση (%)	2.86	0.93	1.15	2.72	0.78	0.95	0.27	0.14	0.04	0.01	0.16	2.95
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	10.20	8.03	17.17	8.11	17.66	15.01	75.51	14.22	8.78	17.05	50.89	40.60
Ελάχιστη τιμή (%)	23.08	9.77	5.24	26.83	2.90	4.41	0.01	0.69	0.41	0.04	0.17	3.22
Μέγιστη τιμή (%)	34.67	13.37	10.89	39.84	5.93	8.45	1.08	1.20	0.58	0.09	0.69	14.17

Πίνακας Γ.32: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων του συνόλου των δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	27.69	11.70	7.15	33.08	4.63	6.17	0.46	0.91	0.49	0.06	0.39	7.30
Τυπική απόκλιση (%)	3.34	1.33	1.48	4.44	0.88	0.99	0.32	0.19	0.05	0.01	0.20	2.59
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	12.06	11.37	20.74	13.42	18.93	16.06	70.44	20.45	10.96	23.85	51.60	35.51
Ελάχιστη τιμή (%)	19.64	8.09	4.24	19.45	2.90	4.24	0.01	0.50	0.37	0.03	0.17	3.22
Μέγιστη τιμή (%)	35.38	17.40	11.92	44.72	6.73	8.49	1.54	1.20	0.63	0.09	0.87	14.17

Πίνακας Γ.33: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Καρδιάς.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	28.16	10.46	5.66	35.50	4.11	5.68	0.42	1.03	0.51	0.07	0.28	8.38
Τυπική απόκλιση (%)	2.53	0.79	0.41	2.37	0.79	0.25	0.11	0.08	0.05	0.01	0.02	1.76
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	8.99	7.58	7.31	6.67	19.10	4.33	25.49	7.76	9.96	8.45	7.97	21.01
Ελάχιστη τιμή (%)	24.71	9.33	5.08	32.43	3.00	5.45	0.32	0.95	0.45	0.06	0.25	6.41
Μέγιστη τιμή (%)	30.12	11.02	6.06	38.18	4.80	5.95	0.57	1.10	0.55	0.07	0.30	10.66

Πίνακας Γ.34: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ.

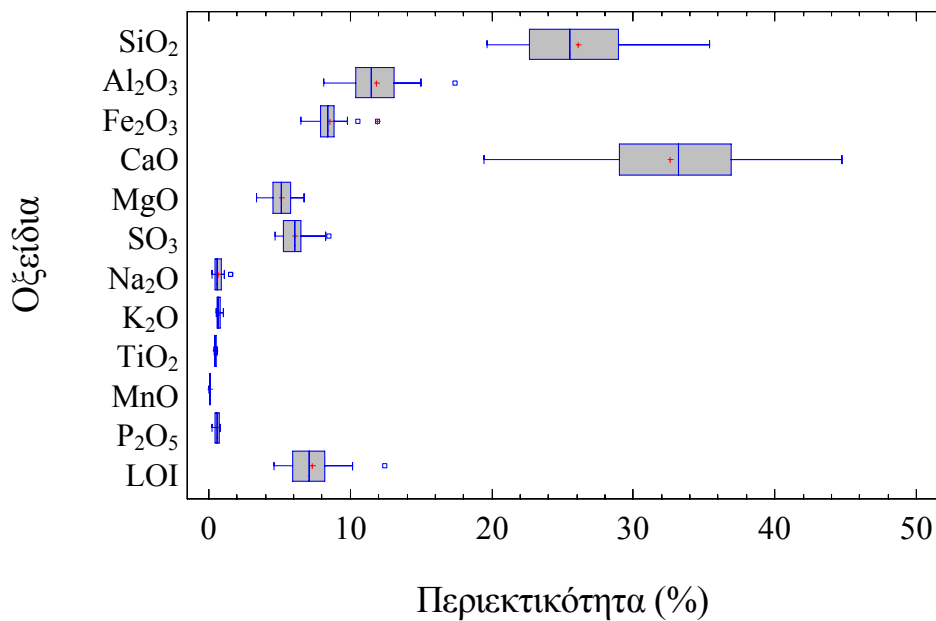
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	28.56	11.34	5.42	30.81	5.17	8.93	0.54	1.04	0.55	0.04	0.29	7.44
Τυπική απόκλιση (%)	5.98	1.41	0.41	4.95	0.43	0.58	0.28	0.13	0.08	0.00	0.03	1.79
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	20.93	12.40	7.61	16.07	8.23	6.44	51.59	12.74	14.58	5.55	10.81	24.07
Ελάχιστη τιμή (%)	22.25	9.78	4.95	25.63	4.76	8.36	0.34	0.90	0.46	0.04	0.26	5.74
Μέγιστη τιμή (%)	34.26	12.93	5.88	35.07	5.68	9.70	0.95	1.17	0.63	0.05	0.33	9.74

Πίνακας Γ.35: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας.

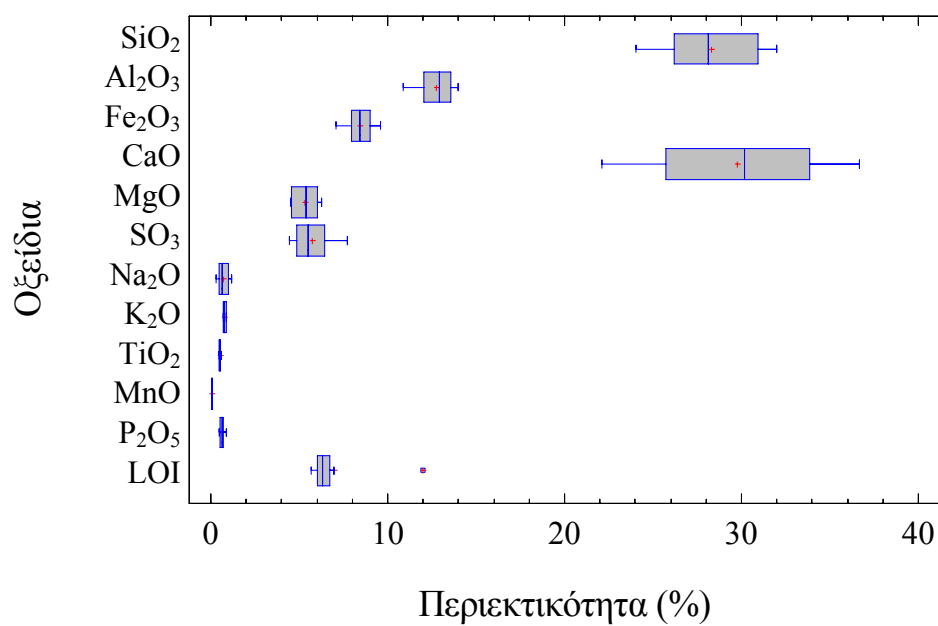
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	34.25	13.05	5.03	31.07	3.79	5.24	0.45	1.19	0.55	0.05	0.25	4.84
Τυπική απόκλιση (%)	4.03	1.58	0.77	2.98	0.96	0.89	0.11	0.24	0.14	0.01	0.06	2.41
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	11.75	12.09	15.34	9.59	25.36	17.02	23.18	19.86	24.81	24.81	24.81	49.69
Ελάχιστη τιμή (%)	26.67	10.33	3.69	25.41	2.31	3.47	0.26	0.74	0.27	0.03	0.12	2.11
Μέγιστη τιμή (%)	40.28	15.80	6.82	35.95	6.08	6.95	0.64	1.68	0.76	0.08	0.35	9.55

Πίνακας Γ.36: Βασικά στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ε.Τ. του ΑΗΣ Αμυνταίου.

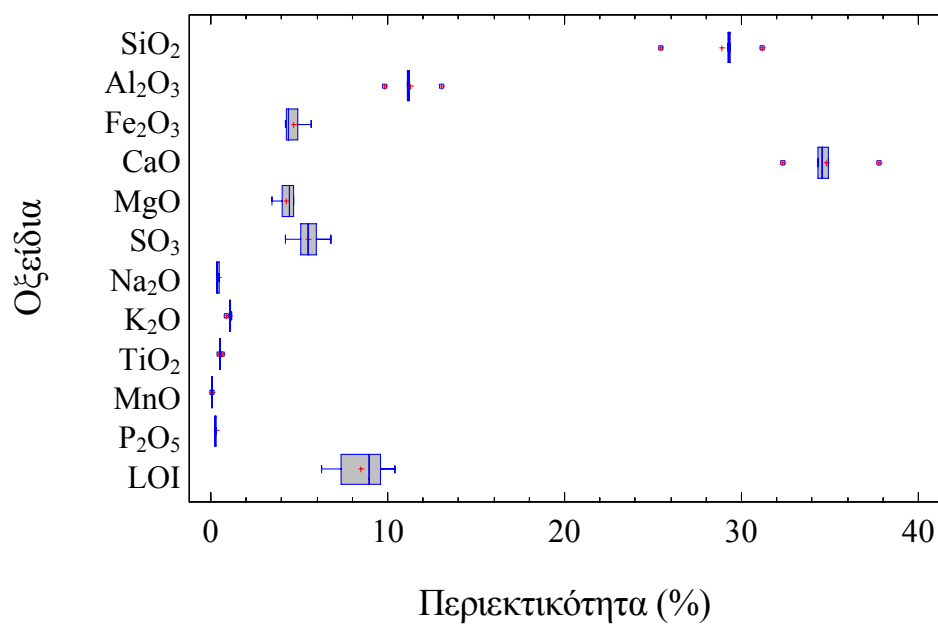
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Μέση τιμή (%)	42.28	13.83	5.38	22.44	3.43	6.95	0.62	1.43	0.61	0.06	0.16	2.71
Τυπική απόκλιση (%)	4.18	1.71	1.74	4.42	0.95	1.10	0.17	0.10	0.25	0.03	0.09	1.23
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	9.89	12.35	32.37	19.69	27.67	15.89	28.20	7.20	40.75	40.65	55.91	45.32
Ελάχιστη τιμή (%)	36.86	12.31	3.08	18.68	2.01	5.38	0.38	1.34	0.25	0.03	0.10	1.21
Μέγιστη τιμή (%)	45.95	16.19	6.82	27.49	4.03	7.77	0.77	1.58	0.81	0.08	0.30	4.22



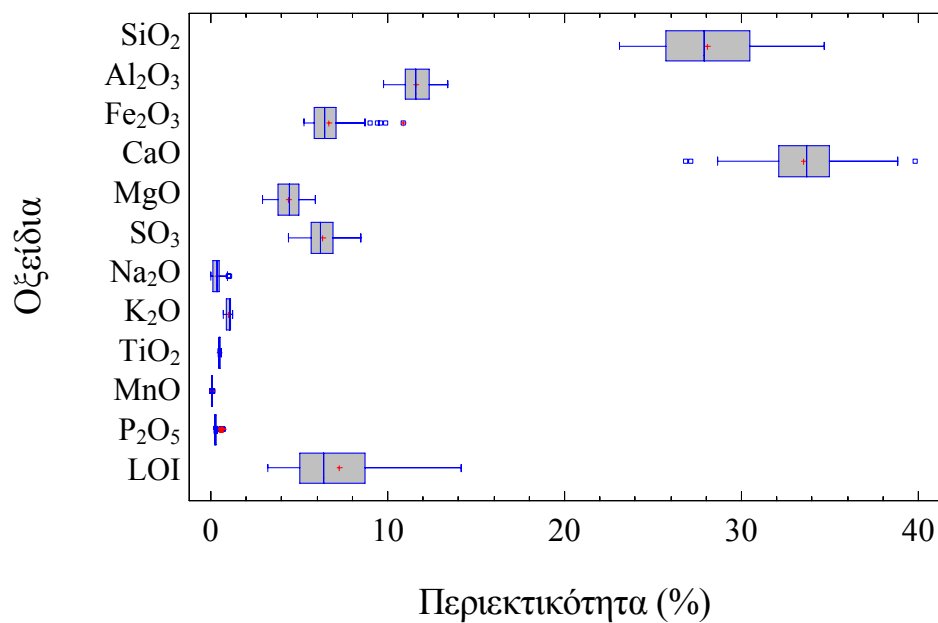
Εικόνα Γ.28: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των δώρων δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



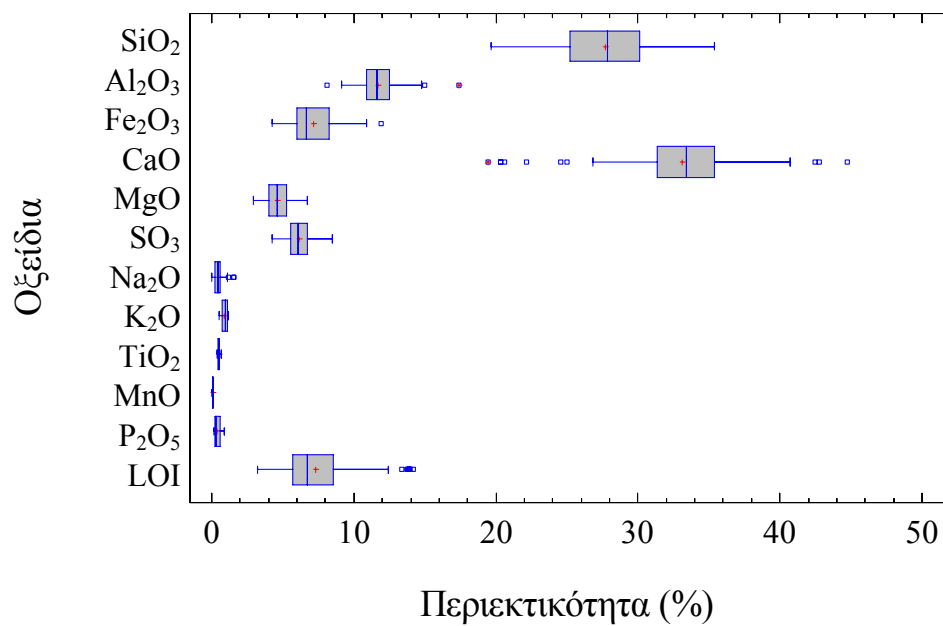
Εικόνα Γ.29: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των ημερήσιων δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



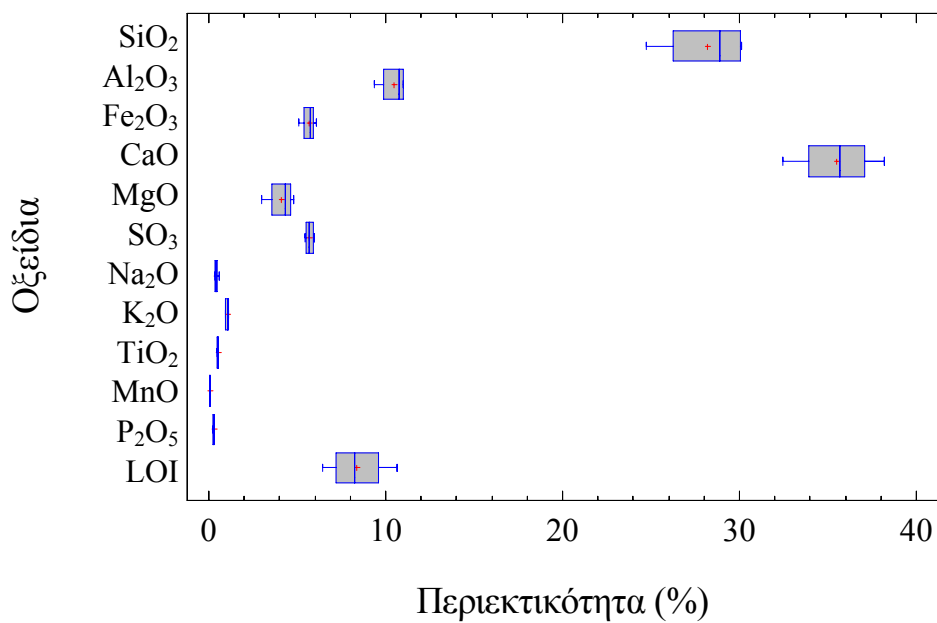
Εικόνα Γ.30: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των εβδομαδιαίων δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



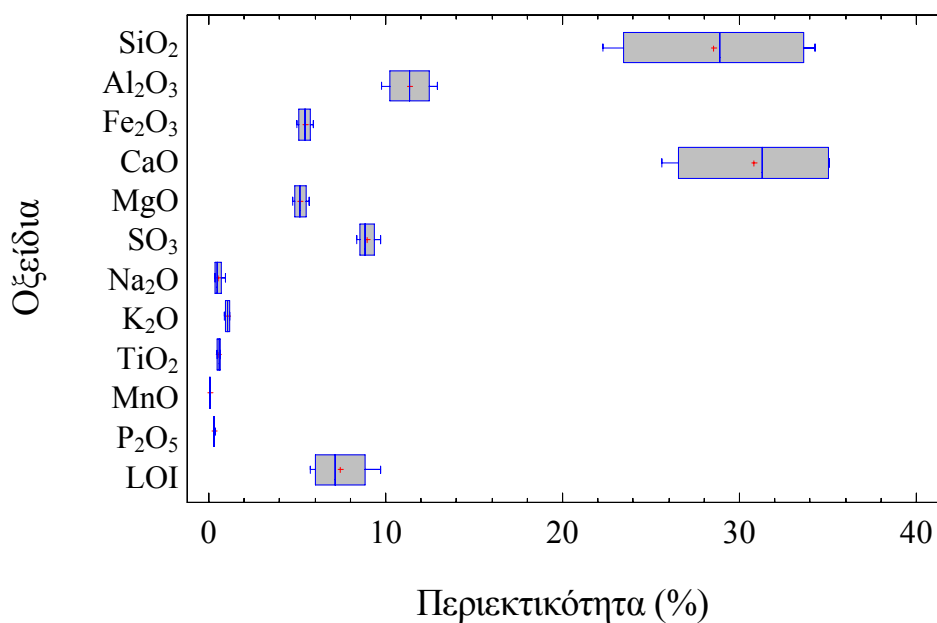
Εικόνα Γ.31: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των μηνιαίων δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



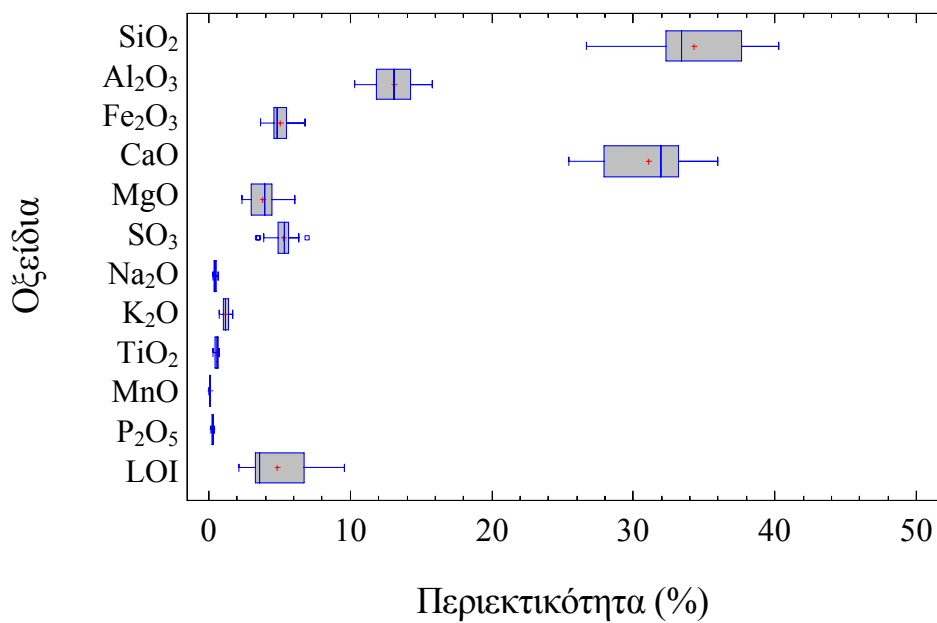
Εικόνα Γ.32: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης του συνόλου των δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



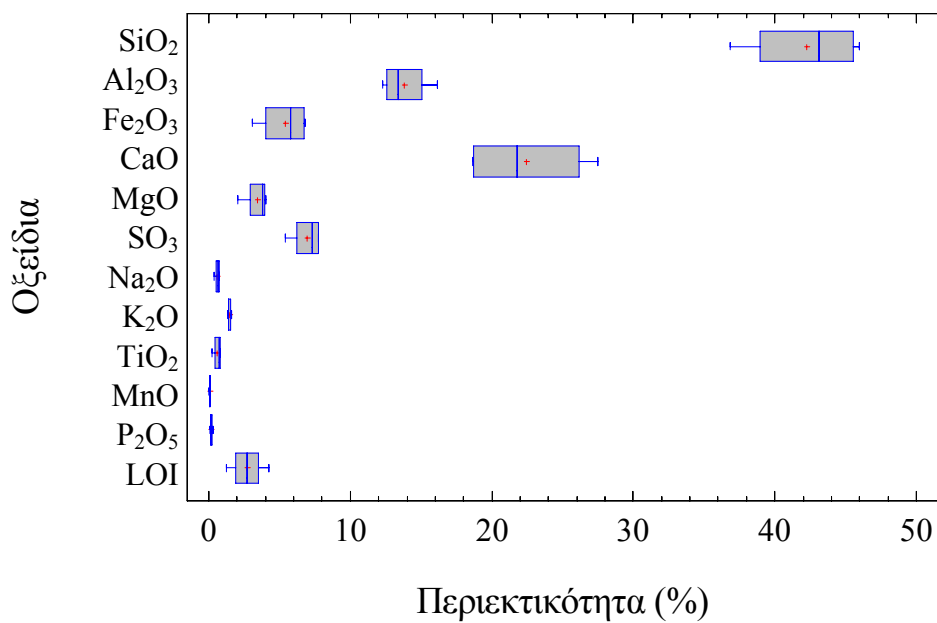
Εικόνα Γ.33: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των εβδομαδιαίων δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Καρδιάς με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



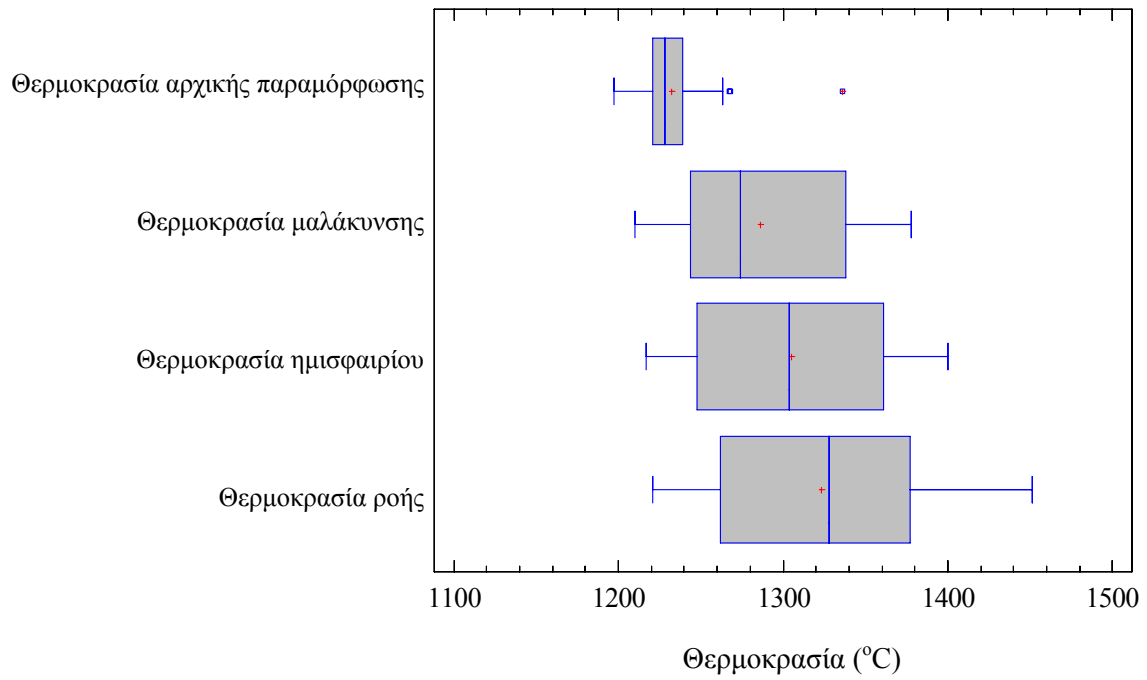
Εικόνα Γ.34: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των εβδομαδιαίων δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



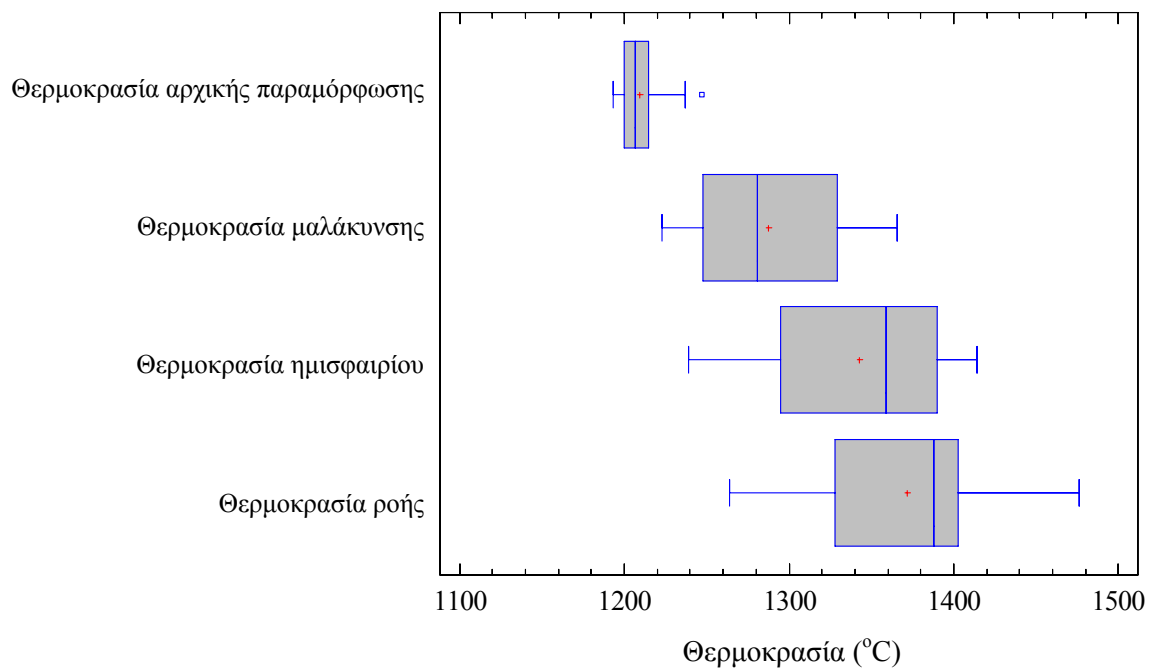
Εικόνα Γ.35: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των εβδομαδιαίων δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.36: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των εβδομαδιαίων δειγμάτων Ε.Τ. του ΑΗΣ Αμυνταίου με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



Εικόνα Γ.37: Απεικόνιση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης των δειγμάτων των Ι.Τ. που προέρχονται από τους ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.



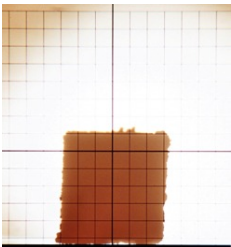
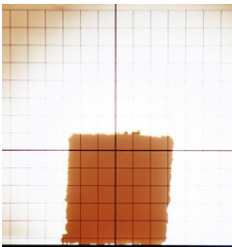
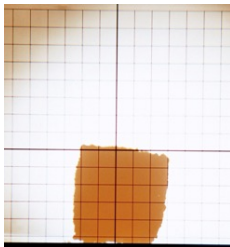
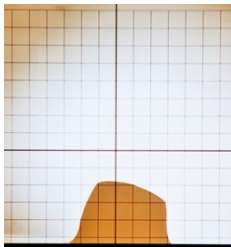
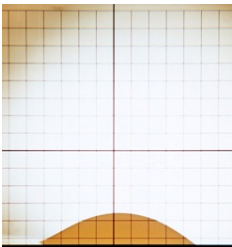
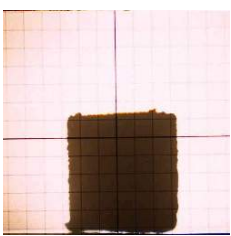
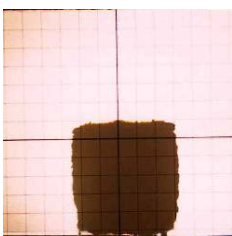

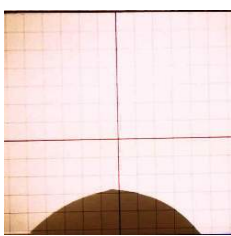
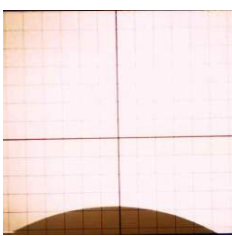

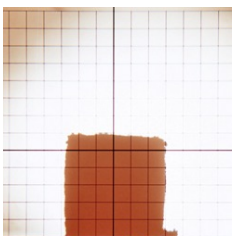
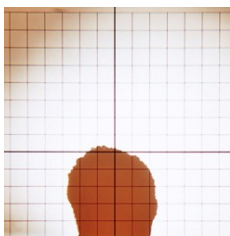
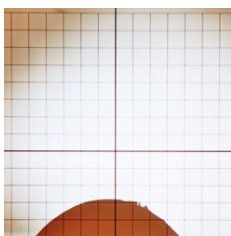
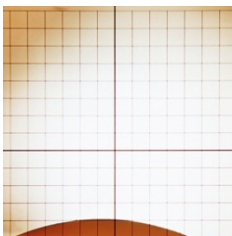
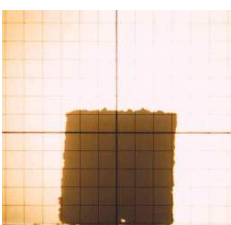
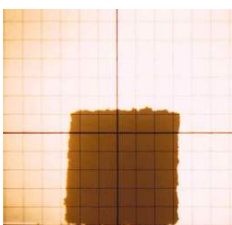
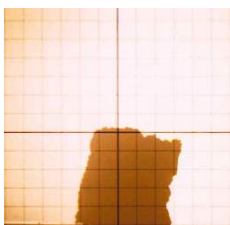
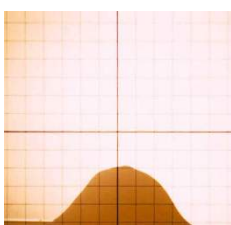
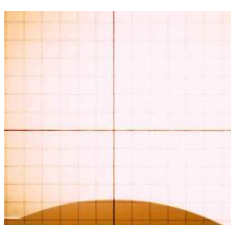
Εικόνα Γ.38: Απεικόνιση των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τήξης των δειγμάτων των Ε.Τ. που προέρχονται από τους ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α με τη βοήθεια θηκογραμμάτων.

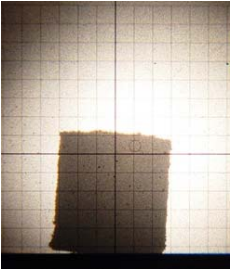
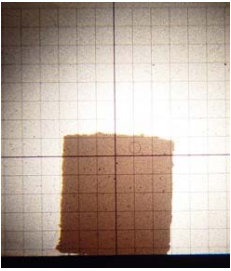
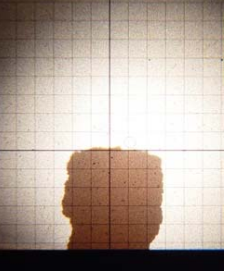
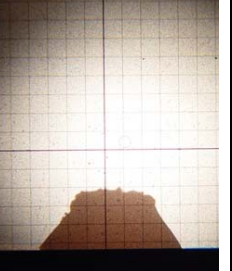
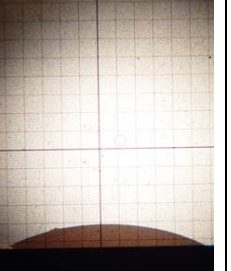
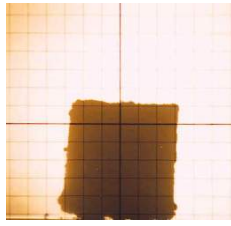
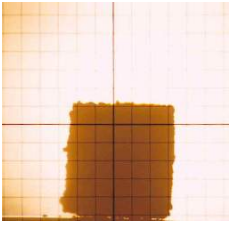
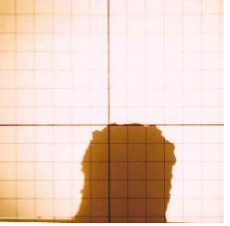
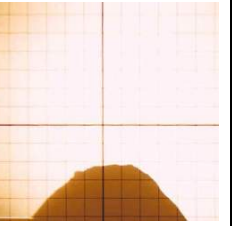
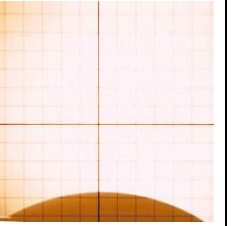
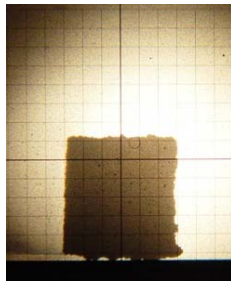
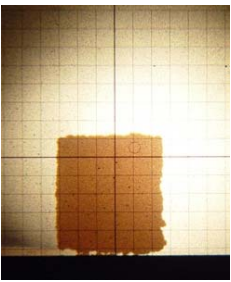
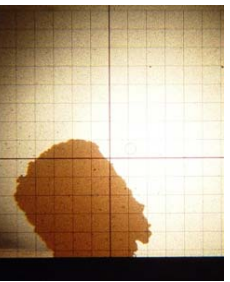
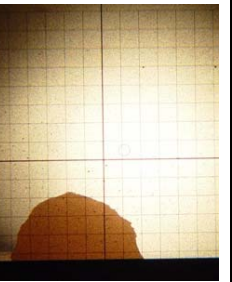
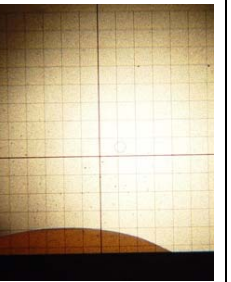
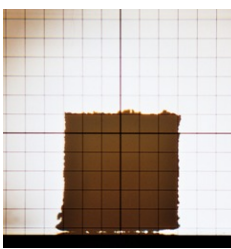
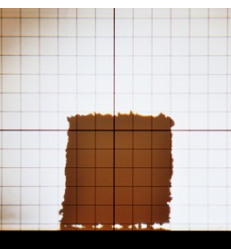
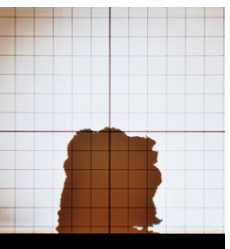
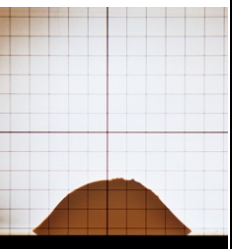
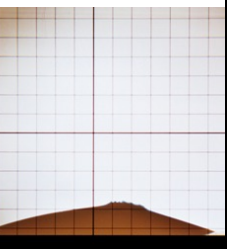
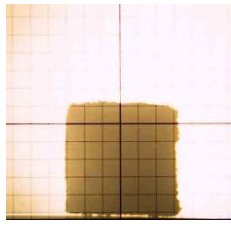
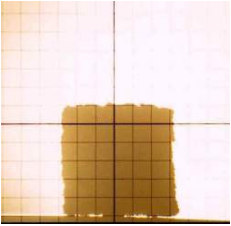
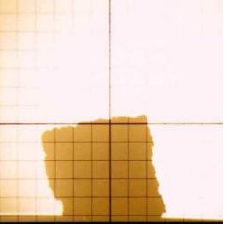
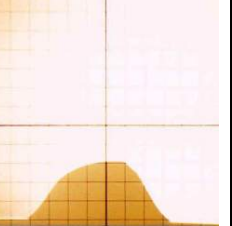
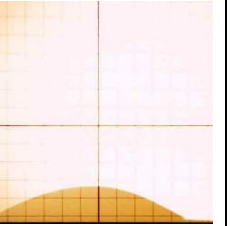
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ**

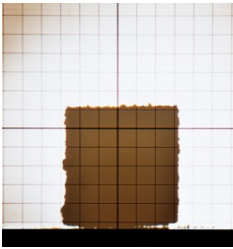
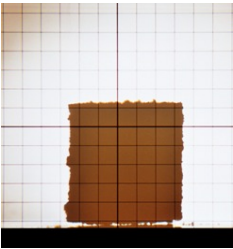
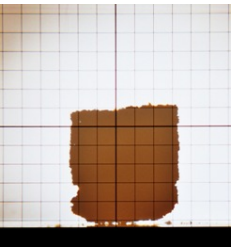
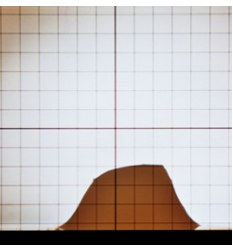
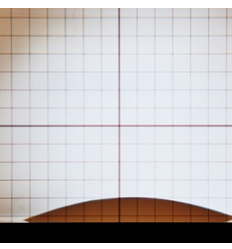
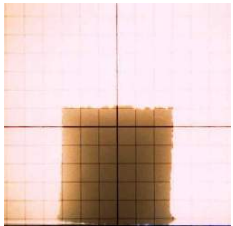
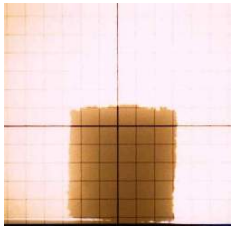

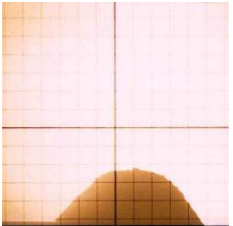
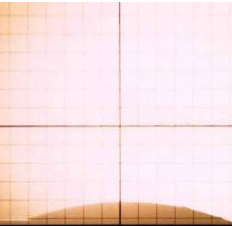
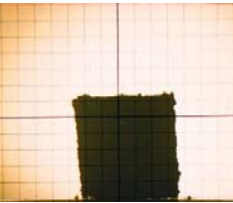
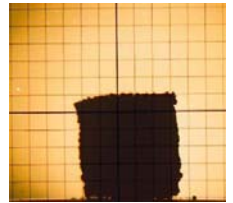
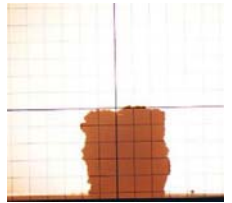
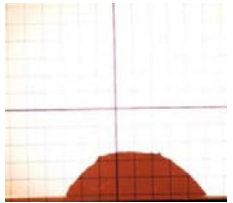
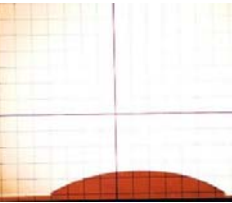
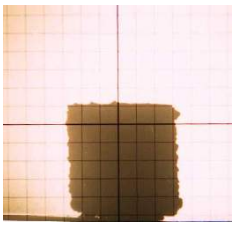
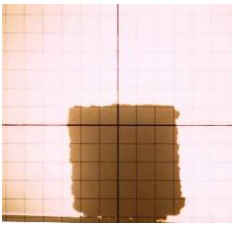
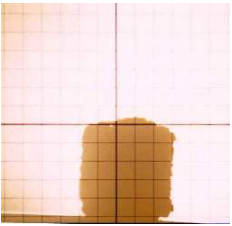
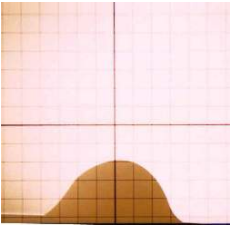
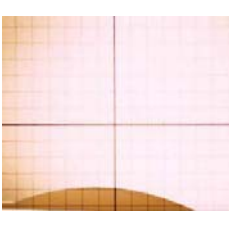
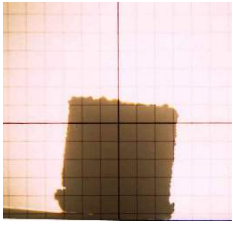
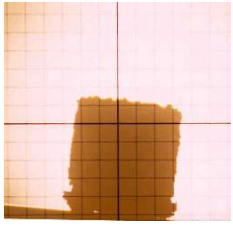
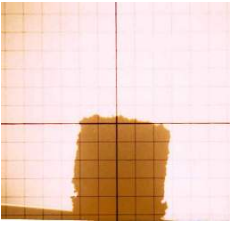
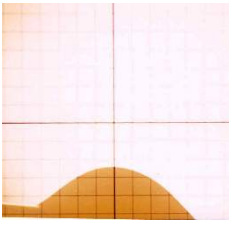
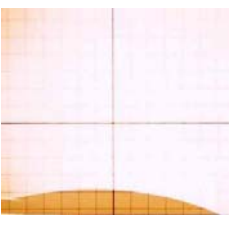
**Αποτελέσματα και ενδεικτικές εικόνες των σταδίων της συμπεριφοράς τήξης**

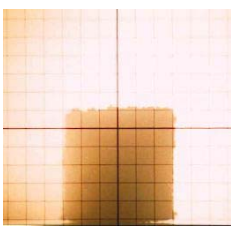
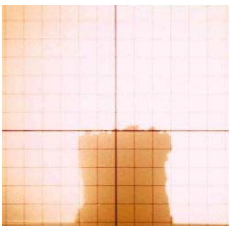
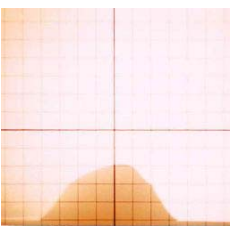
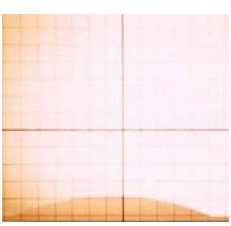
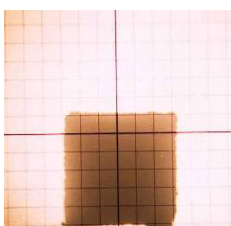
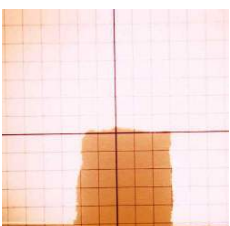
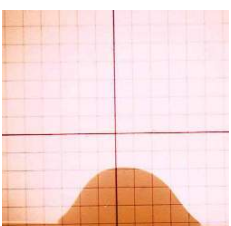
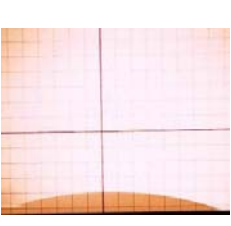
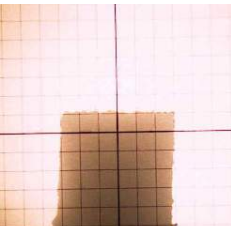
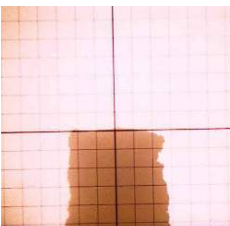
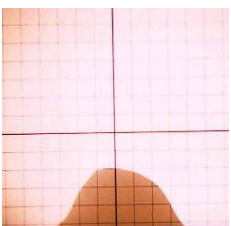
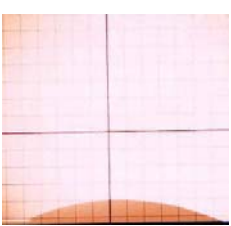
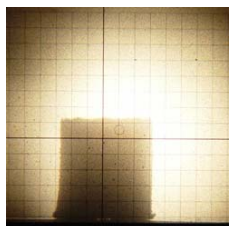
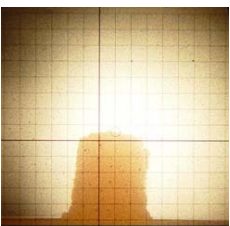
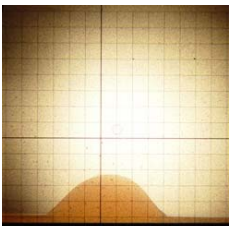
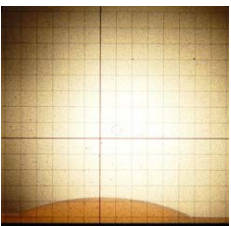
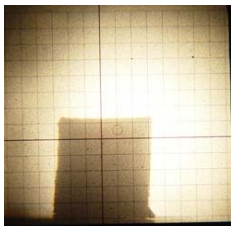
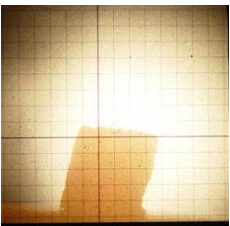
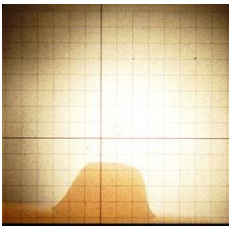
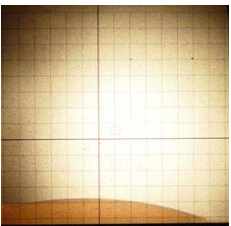
*Δείγματα I.T.*

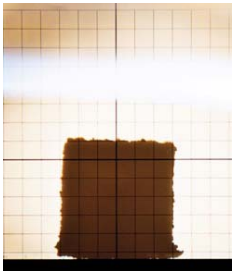
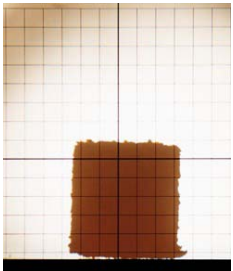
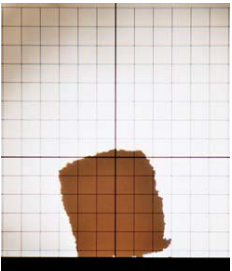
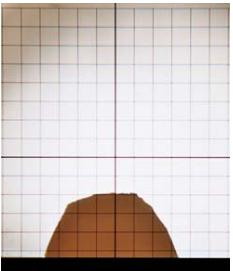
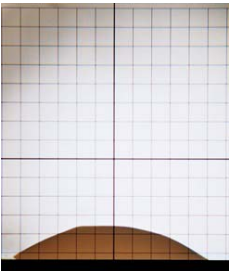
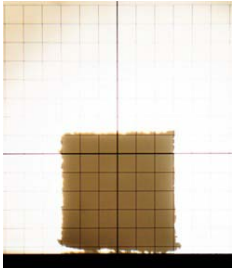
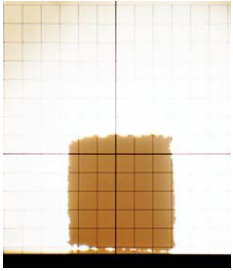
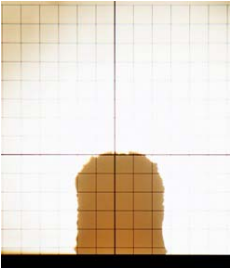
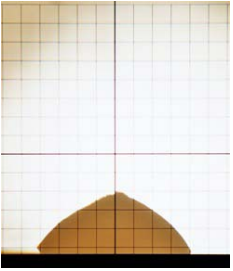
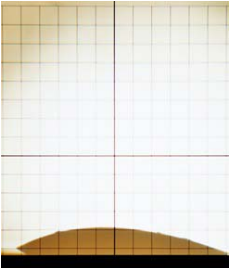
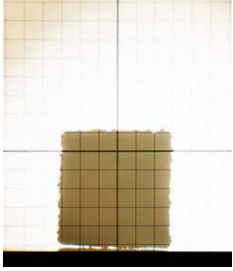
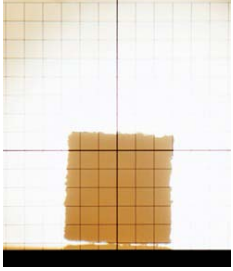
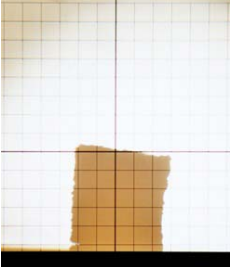
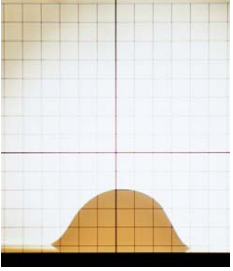
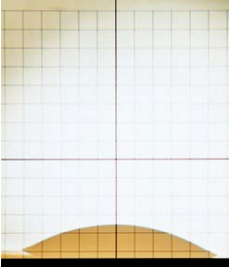
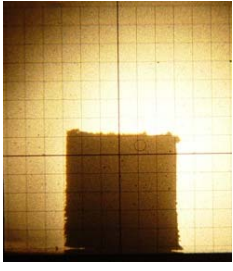
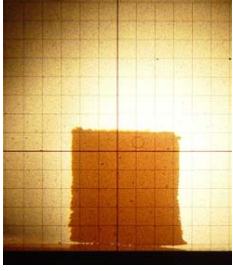
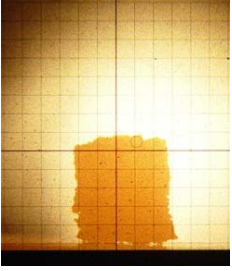
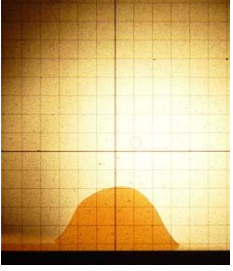
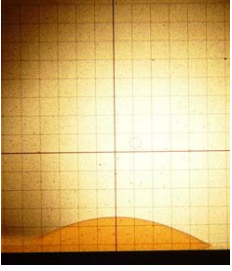
Οι εικόνες των αρχικών δειγμάτων αντιστοιχούν σε θερμοκρασία 550-700°C.

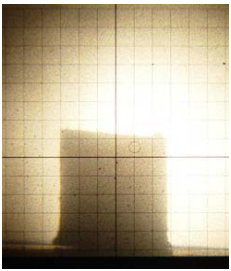
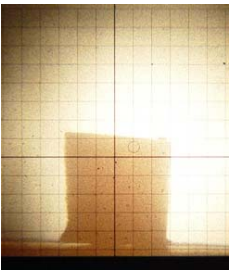
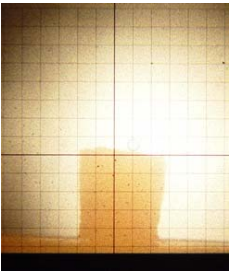
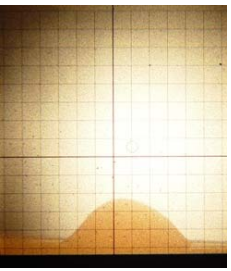
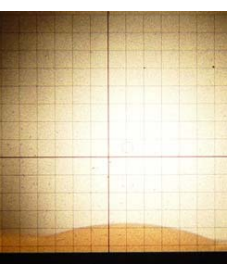
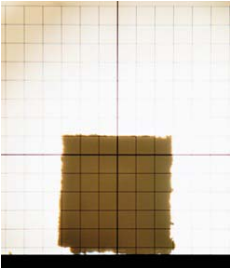
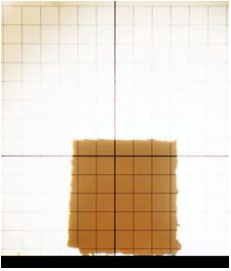
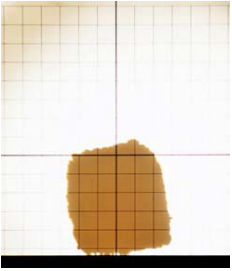
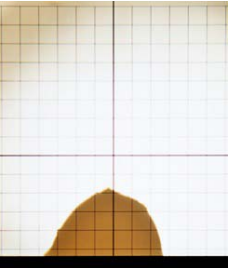
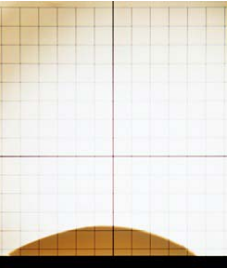
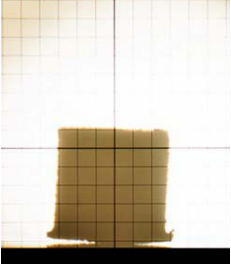
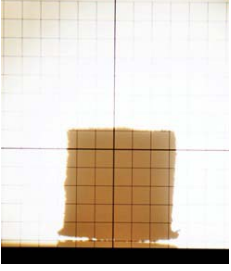
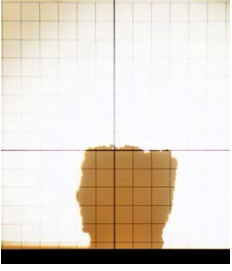
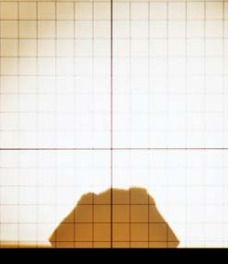
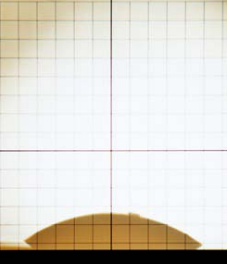
Δείγμα - Αρχική εικόνα	Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης ID (°C)	Θερμοκρασία μαλάκυνσης ST (°C)	Θερμοκρασία ημισφαιρίου HT (°C)	Θερμοκρασία ροής FT (°C)
FA_2h02 	 1225	 1333	 1361	 1369
FA_2h04 	 1234	 1246	 1251	 1276
FA_2h06 	 1226	 1238	 1243	 1246
FA_2h12 	 1222	 1264	 1299	 1328

FA_2h16					
	1218	1239	1245	1250	
FA_2h20					
	1228	1242	1248	1262	
FA_dI0					
	1241	1253	1260	1267	
FA_dI1					
	1231	1245	1249	1280	
FA_dI2					
	1214	1287	1318	1351	

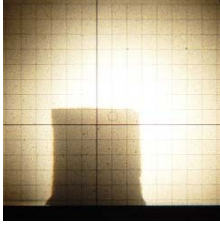
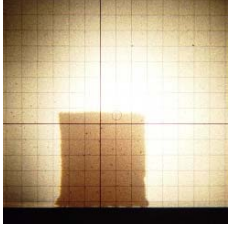
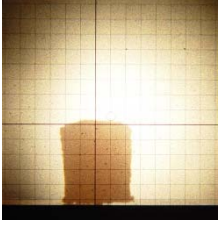
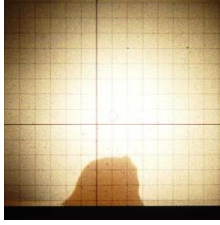
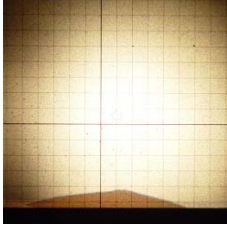
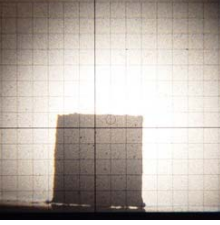
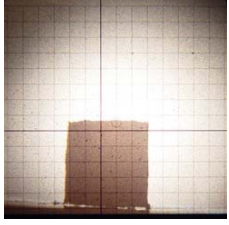
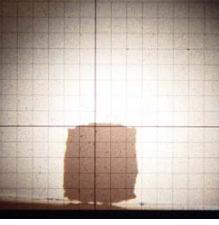
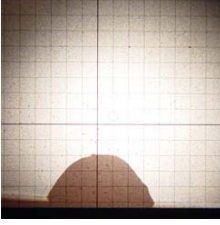
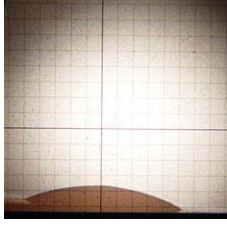
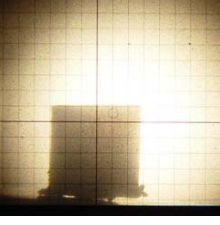
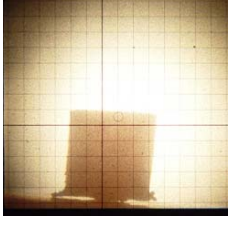

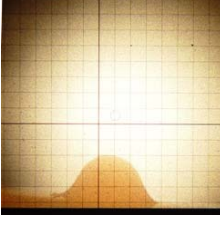
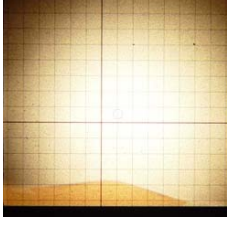
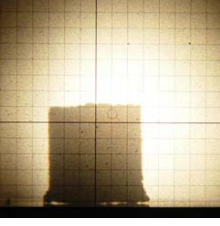
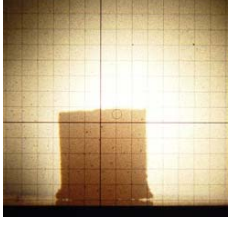
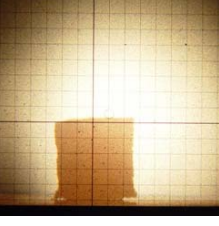
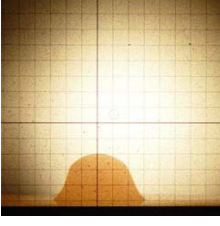
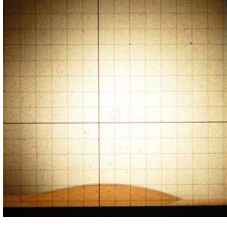
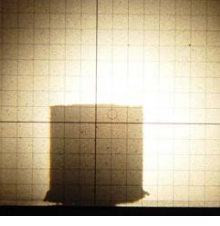
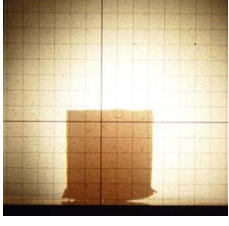

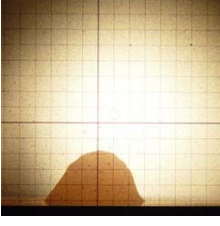
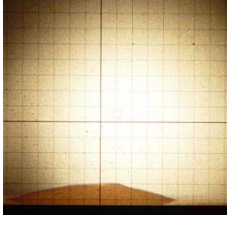
FA_dI3					
	1230	1274	1299	1316	
FA_dI5					
	1227	1242	1248	1256	
FA_dI8					
	1236	1248	1255	1271	
FA_dII2					
	1230	1338	1365	1392	
FA_dIV1					
	1336	1362	1377	1409	

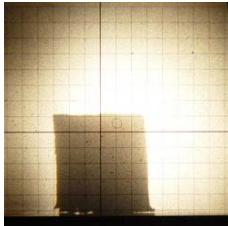
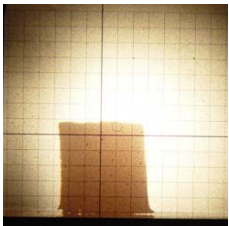
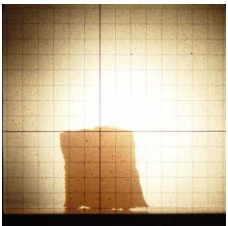
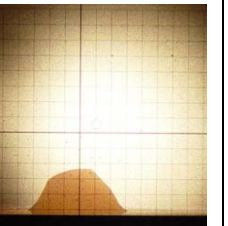
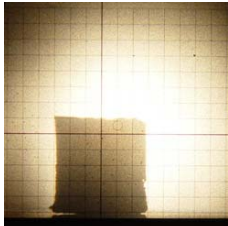
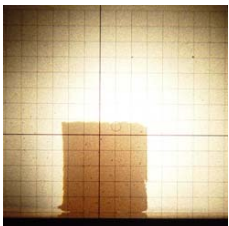

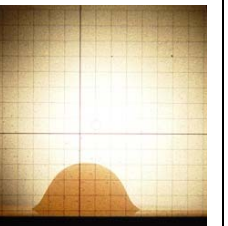
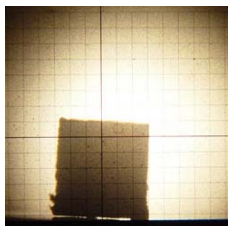
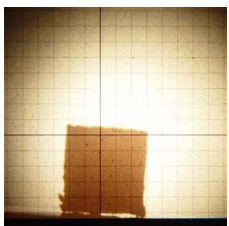
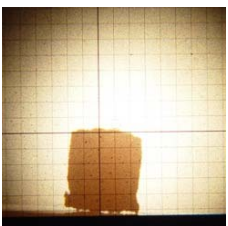
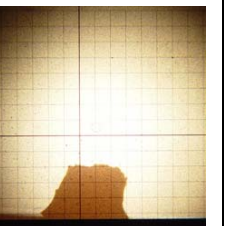
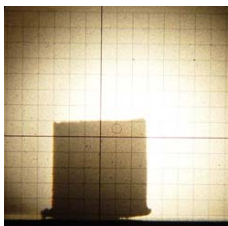
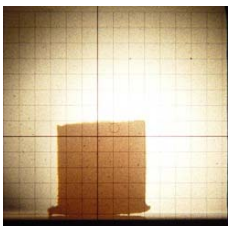
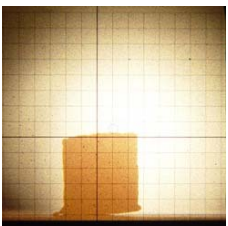
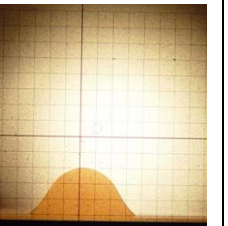

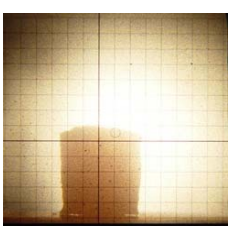

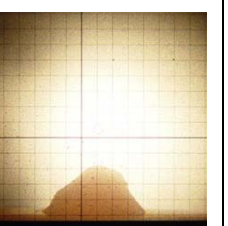
FA_mI07				
	1229	1258	1290	1328
FA_mII04				
	1221	1347	1365	1394
FA_ms01				
	1227	1299	1323	1341
FA_ms08				
	1239	1344	1367	1391
FA_ms11				
	1268	1347	1376	1408

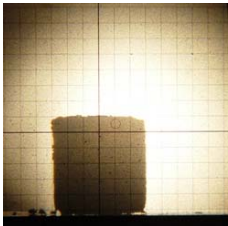
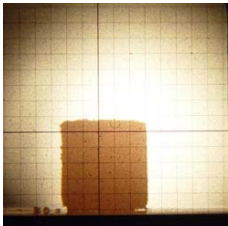
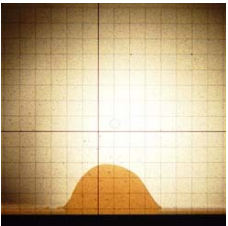
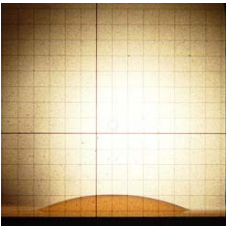
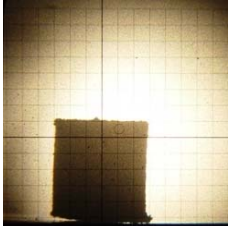
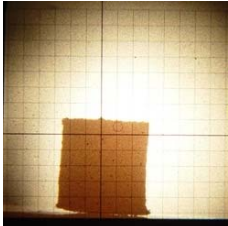
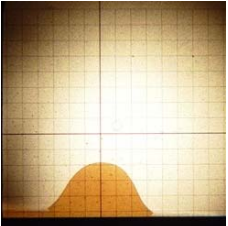
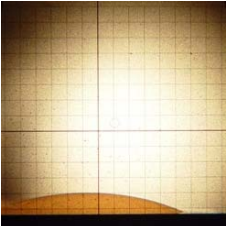
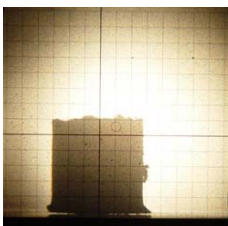
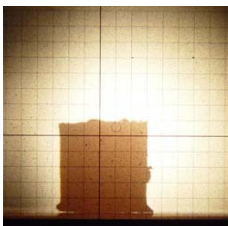
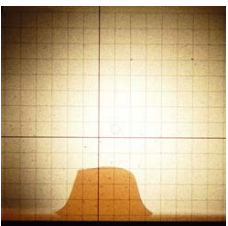
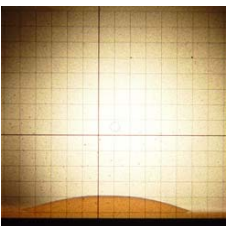
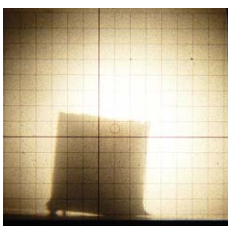
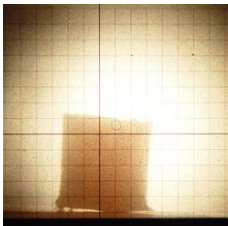
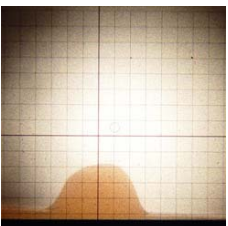
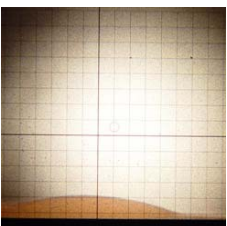
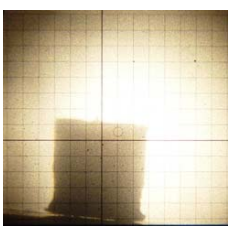
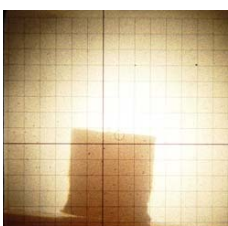
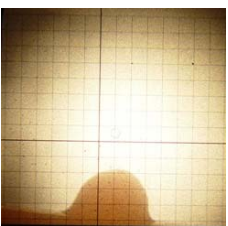
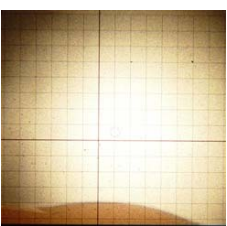
FAd_AM2					
		1197	1210	1217	1241
Fad_AM3					
		1201	1215	1217	1221
Fad_K1					
		1267	1302	1346	1356
Fad_K3					
		1245	1364	1400	1451

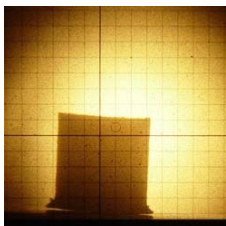
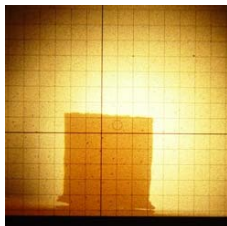
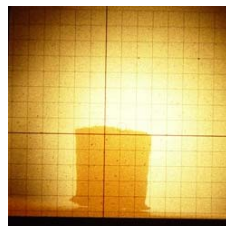
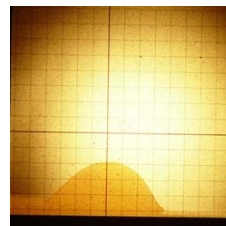
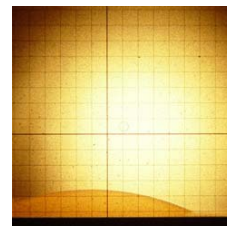
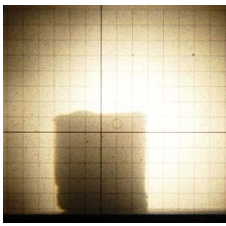
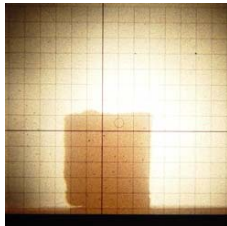
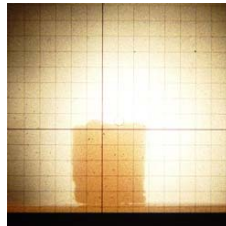
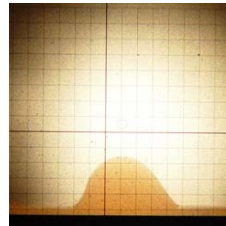
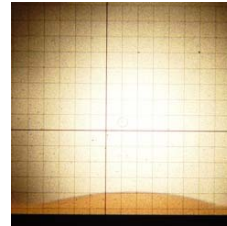
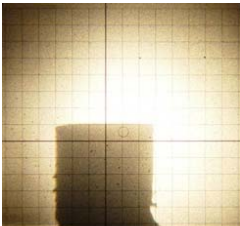
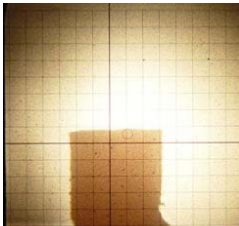
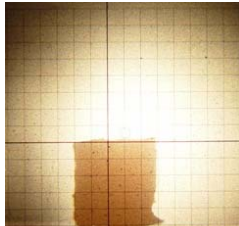
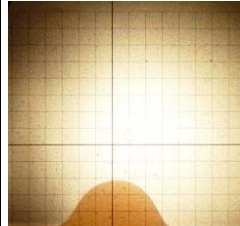
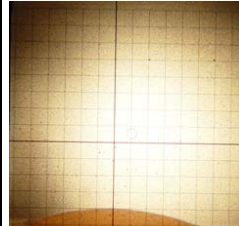
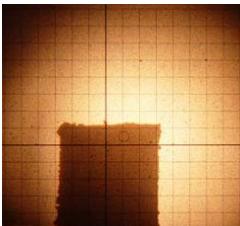


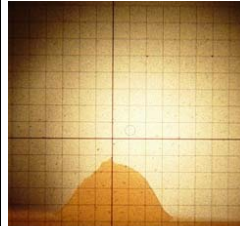
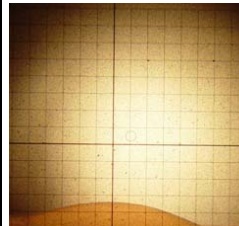
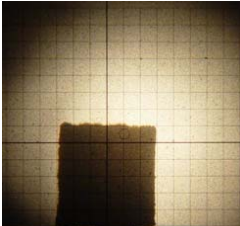

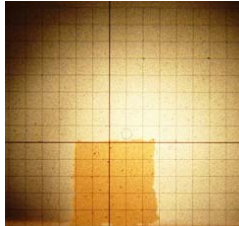
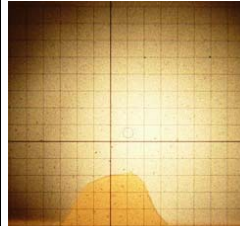
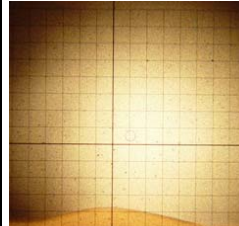
Fad_L2					
	1242	1378	1395	1425	
Fad_L4					
	1199	1231	1243	1248	
Fad_PTIV1					
	1212	1228	1233	1244	

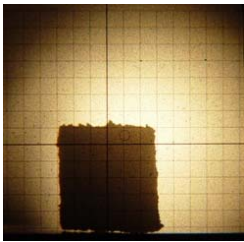
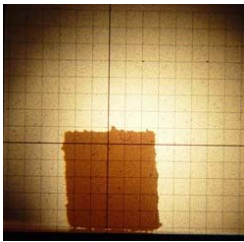
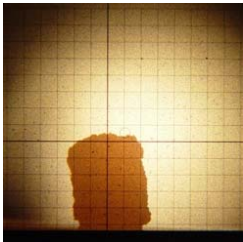
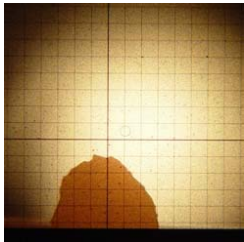
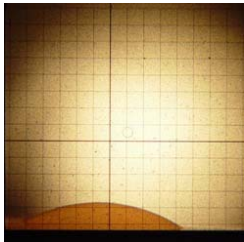
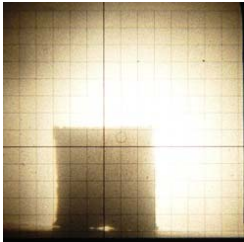
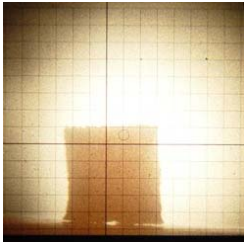
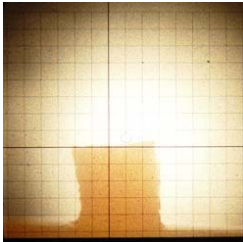
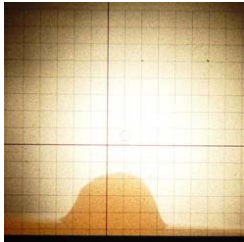
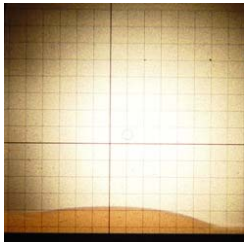
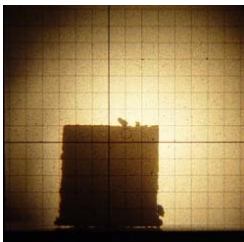
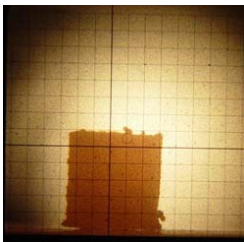
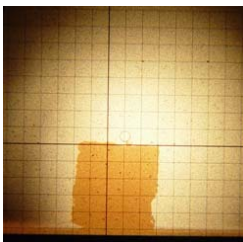
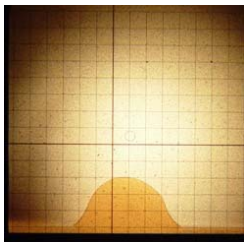
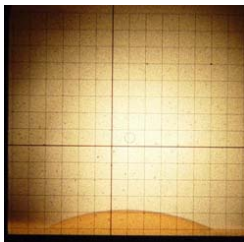
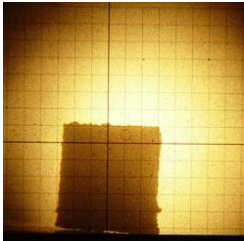
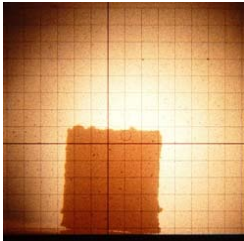
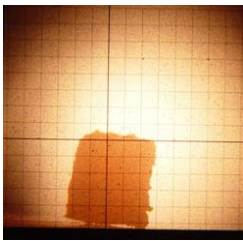
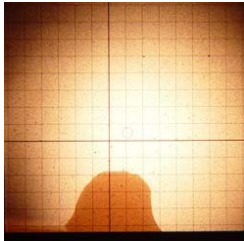
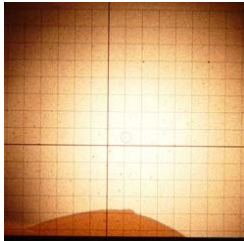
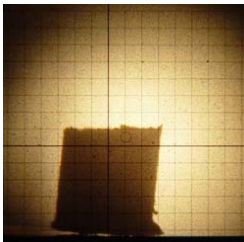
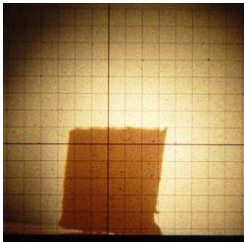
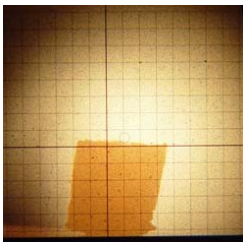
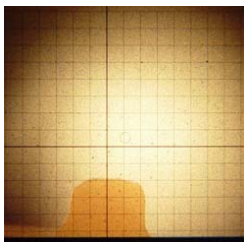
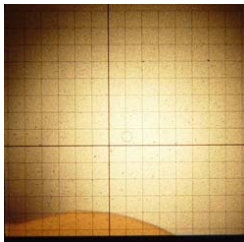
Δείγματα Ε.Τ.

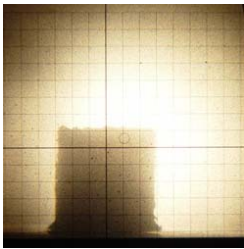
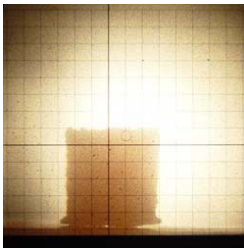
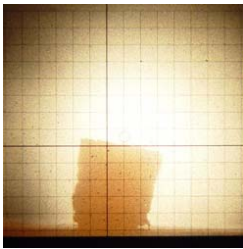
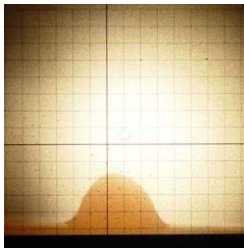
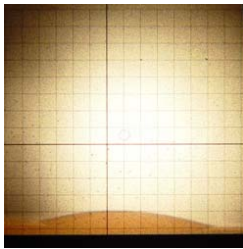
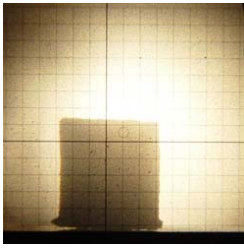
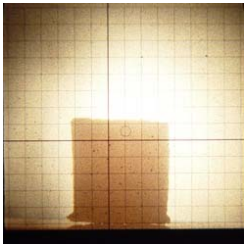

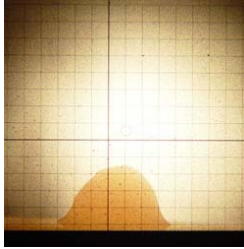
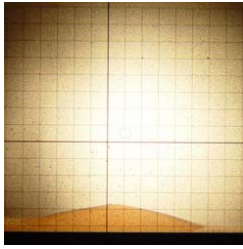
Δείγμα - Αρχική εικόνα	Θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης ID (°C)	Θερμοκρασία μαλάκυνσης ST (°C)	Θερμοκρασία ημισφαιρίου HT (°C)	Θερμοκρασία ροής FT (°C)
LA_2h06 	 1195	 1248	 1295	 1328
LA_2h28 	 1207	 1227	 1256	 1301
LA_2h46 	 1196	 1345	 1396	 1476
LA_dI0a 	 1194	 1300	 1382	 1394
LA_dI0b 	 1209	 1245	 1270	 1302

LA_dI1				
	1194	1243	1322	1344
LA_dII2				
	1213	1256	1323	1356
LA_mI01				
	1221	1241	1267	1325
LA_mI05				
	1201	1331	1397	1414
LA_mI12				
	1214	1236	1254	1302

LA_mII02				
	1200	1289	1377	1398
LA_mII04				
	1206	1323	1393	1416
LA_mII11				
	1193	1286	1368	1395
LA_mIII04				
	1212	1329	1391	1418
LA_ms01				
	1208	1244	1291	1326

LA_ms04					
	1247	1335	1393	1412	
LA_ms05					
	1228	1337	1394	1428	
LA_ms08					
	1215	1273	1359	1377	
LAd_AD1					
	1228	1306	1341	1356	
LAd_AD3					
	1221	1366	1414	1441	

LAd_AM2					
	1198	1229	1243	1314	
LAd_K1					
	1201	1351	1375	1399	
LAd_K2					
	1199	1357	1393	1406	
LAd_L1					
	1205	1253	1272	1284	
LAd_L4					
	1204	1281	1390	1400	

LAd_PTII2					
	1219	1318	1363	1397	
LAd_PTIV1					
	1214	1343	1393	1425	