



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Ε.Π.
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΗΠΕΙΡΟΥ

**Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Περιφέρειας Ηπείρου
2014-2020**



Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης Επιχειρησιακού Προγράμματος Περιφέρειας Ηπείρου

Με την συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



**Έργο : «ΜΕΛΕΤΗ, ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ
ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΔΕΛΤΑΪΚΗΣ
ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΑΛΑΜΑ»
Αρ. Σύμβασης : 5006050**

**«Π3.1» ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ
«Τελική αναλυτική τεχνική έκθεση σύνθεσης των
αποτελεσμάτων»**

Ιωάννινα, 31/12/2018



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
2. Πρόσφατη μεταβολή της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά.....	2
2. Εργασίες πεδίου και εργαστηριακές αναλύσεις.....	9
2.1 Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνων	9
2.2 Ιζηματολογικές αναλύσεις	10
2.3 Ορυκτολογικές αναλύσεις ιζημάτων.....	17
2.4 Γεωχημικές αναλύσεις ιζημάτων	19
2.5 Χρονολόγηση με τη μέθοδο της φωταύγειας	30
3. Συζήτηση-Συμπεράσματα	33
Βιβλιογραφικές αναφορές	34

1. Εισαγωγή

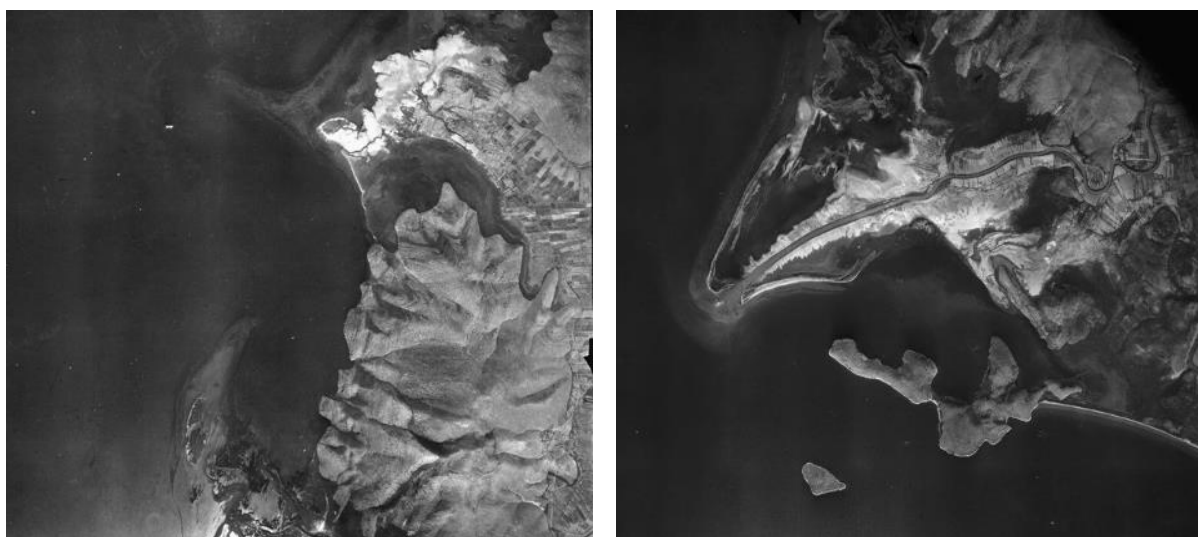
Το Έργο «ΜΕΛΕΤΗ, ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΔΕΛΤΑΪΚΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΑΛΑΜΑ» έχει ως βασικό στόχο την ποιοτική και ποσοτική διερεύνηση των πρόσφατων διαχρονικών μεταβολών της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά, την εκτίμηση της παράκτιας τρωτότητάς της καθώς και την εκτίμηση της μεταβολής της, μέσω 3 σεναρίων μελλοντικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Απώτερο στόχο του Έργου αποτελεί η εκπόνηση ενός Σχεδίου Διαχείρισης βασισμένο στην μελέτη της τρωτότητας της δελταϊκής πεδιάδας του ποταμού καθώς και η πρόταση μέτρων αντιμετώπισης των διαβρωτικών και πλημμυρικών φαινομένων, κατά μήκος της παράκτιας δελταϊκής ζώνης, για την αποτελεσματικότερη θωράκιση και προστασία του υπάρχοντος ζωτικού χώρου και πεδίου, καθώς και των σχετιζόμενων υποδομών τους από την ήδη προελαύνουσα ευστατική άνοδο. Η διεπιστημονική μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόζεται πιλοτικά στο Έργο, δύναται να εφαρμοστεί, με τις κατάλληλες τροποποιήσεις, και σε άλλες περιοχές που εμφανίζουν παρόμοια προβλήματα.

Η παρούσα έκθεση παρουσιάζει τη μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της δελταϊκής ακολουθίας του ποταμού Καλαμά, μέσα από τον προσδιορισμό των ιζηματολογικών, φυσικογεωγραφικών, παλαιοπεριβαλλοντικών και παλαιοκλιματικών συνθηκών σχηματισμού της. Τα στάδια που ακολουθήθηκαν περιλάμβαναν τις εργασίες πεδίου και την εφαρμογή διαφορετικών τεχνικών ανάλυσης, ώστε τα εξαγόμενα συμπεράσματα να βασίζονται σε πολλαπλές μεθόδους. Αρχικά επιχειρήθηκε η απόκτηση εποπτικής εικόνας της μεταβολής της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού κατά το παρελθόν, μέσω της μελέτης των διαθέσιμων αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων διαφορετικών ετών λήψης, καθώς και των ιστορικών στοιχείων και καταγραφών των πιο πρόσφατων μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή. Επιπλέον, για την περάτωση της μελέτης πραγματοποιήθηκαν πυρηνοληψίες ιζημάτων απ'το δελταϊκό πεδίο του ποταμού Καλαμά. Στο σύνολο των δειγμάτων που προέκυψαν από τους πυρήνες εφαρμόστηκαν μέθοδοι ιζηματολογικής ανάλυσης, οι οποίες περιλάμβαναν τον προσδιορισμό της κοκκομετρίας, της γεωχημικής και ορυκτολογικής σύστασης των ιζημάτων, με σκοπό τον καθορισμό των επιμέρους παλαιοπεριβαλλόντων απόθεσης που δομούν τη δελταϊκή ακολουθία. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν χρονολογήσεις με τη μέθοδο της Οπτικά Διεγειρόμενης Φωταύγειας (OSL) για τον προσδιορισμό του χρονικού πλαισίου εξέλιξης του δέλτα. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συνέθεσαν το στρωματογραφικό μοντέλο εξέλιξης της δελταϊκής ακολουθίας του ποταμού Καλαμά. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν και η παλαιοπεριβαλλοντική/ παλαιοκλιματική ερμηνεία τους.

2. Πρόσφατη μεταβολή της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά

Για τη διερεύνηση της πρόσφατης ποιοτικής μεταβολής της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού, πραγματοποιήθηκε μελέτη των διαθέσιμων αεροφωτογραφιών διαφορετικών ετών λήψης της παράκτιας χερσαίας και θαλάσσιας περιοχής καθώς και μελέτη ιστορικών στοιχείων και καταγραφών των πιο πρόσφατων μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή.

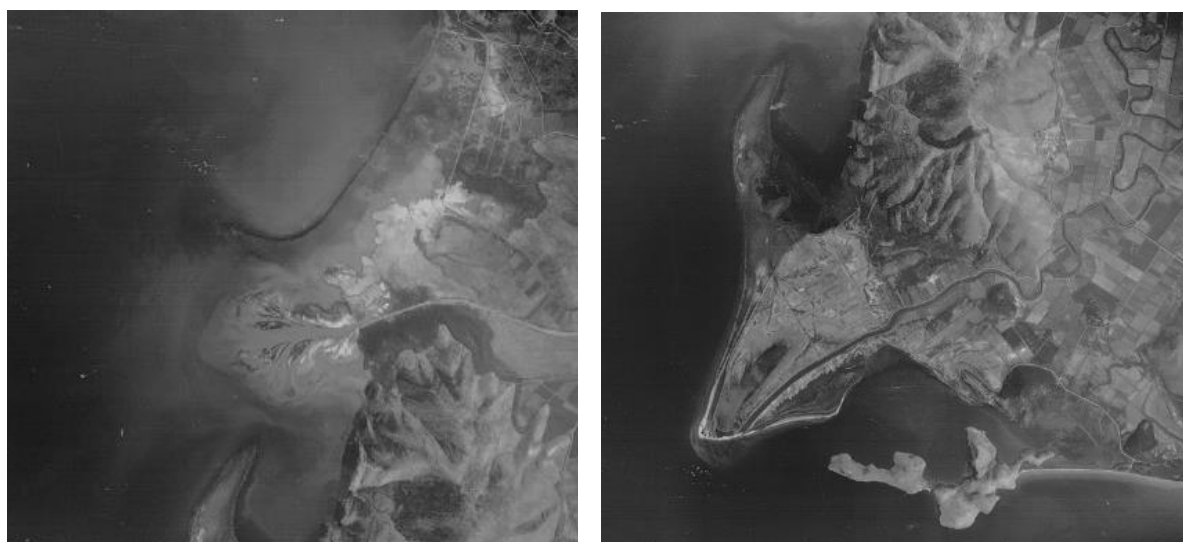
Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε συλλογή και μελέτη των διαθέσιμων αεροφωτογραφιών των ετών 1945, 1969, 1980 και 1995, όπου απεικονίζονται τόσο οι παλαιές όσο και οι νέες εκβολές του δέλτα, προκειμένου να γίνει συγκριτική παρατήρηση αυτών και να αποκτηθεί εποπτική εικόνα της μεταβολής της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά.



Εικόνα 1: Απεικόνιση του βόρειου (αριστερή εικόνα) και του νότιου (δεξιά εικόνα) τμήματος του δέλτα του ποταμού Καλαμά μέσω αεροφωτογραφιών κατά το έτος λήψης 1945 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



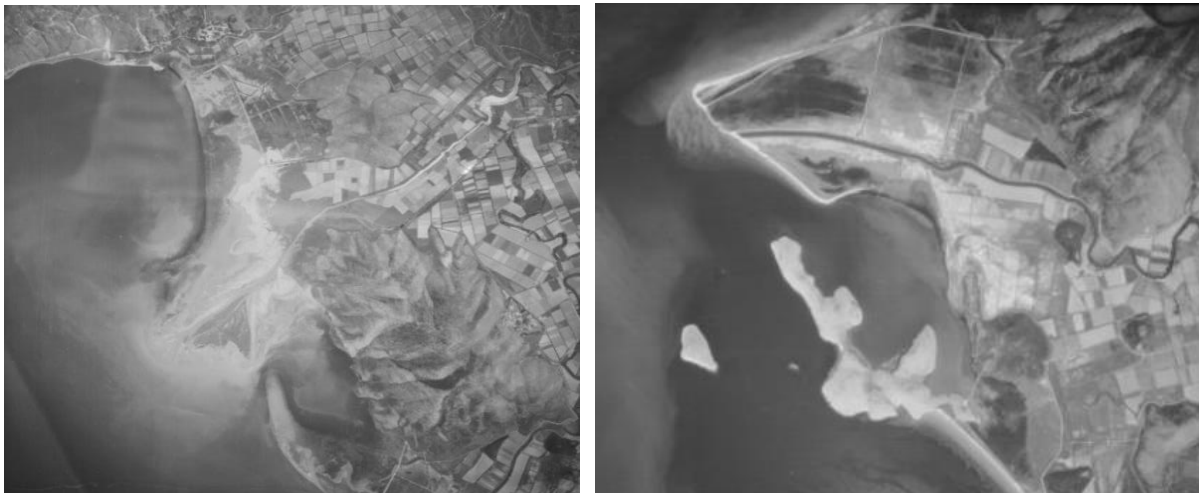
Εικόνα 2: Ψηφιακή αποτύπωση, μέσω GIS, της παλαιοακτογραμμής του Δέλτα του ποταμού Καλαμά κατά το έτος 1945 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 3: Απεικόνιση του βόρειου (αριστερή εικόνα) και του νότιου (δεξιά εικόνα) τμήματος του δέλτα του ποταμού Καλαμά μέσω αεροφωτογραφιών κατά το έτος λήψης 1969 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 4: Ψηφιακή αποτύπωση, μέσω GIS, της παλαιοακτογραμμής του Δέλτα του ποταμού Καλαμά κατά το έτος 1969 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 5: Απεικόνιση του βόρειου (αριστερή εικόνα) και του νότιου (δεξιά εικόνα) τμήματος του δέλτα του ποταμού Καλαμά μέσω αεροφωτογραφιών κατά το έτος λήψης 1980 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 6: Ψηφιακή αποτύπωση, μέσω GIS, της παλαιοακτογραμμής του Δέλτα του ποταμού Καλαμά κατά το έτος 1980 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 7: Απεικόνιση του βόρειου (αριστερή εικόνα) και του νότιου (δεξιά εικόνα) τμήματος του δέλτα του ποταμού Καλαμά μέσω αεροφωτογραφιών κατά το έτος λήψης 1995 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 8: Ψηφιακή αποτύπωση, μέσω GIS, της παλαιοακτογραμμής του Δέλτα του ποταμού Καλαμά κατά το έτος 1995 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 9: Συγκριτική ψηφιακή αποτύπωση της παλαιοακτογραμμής του Δέλτα του ποταμού Καλαμά κατά τα έτη 1945, 1969, 1980, 1995 και 2018, μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).

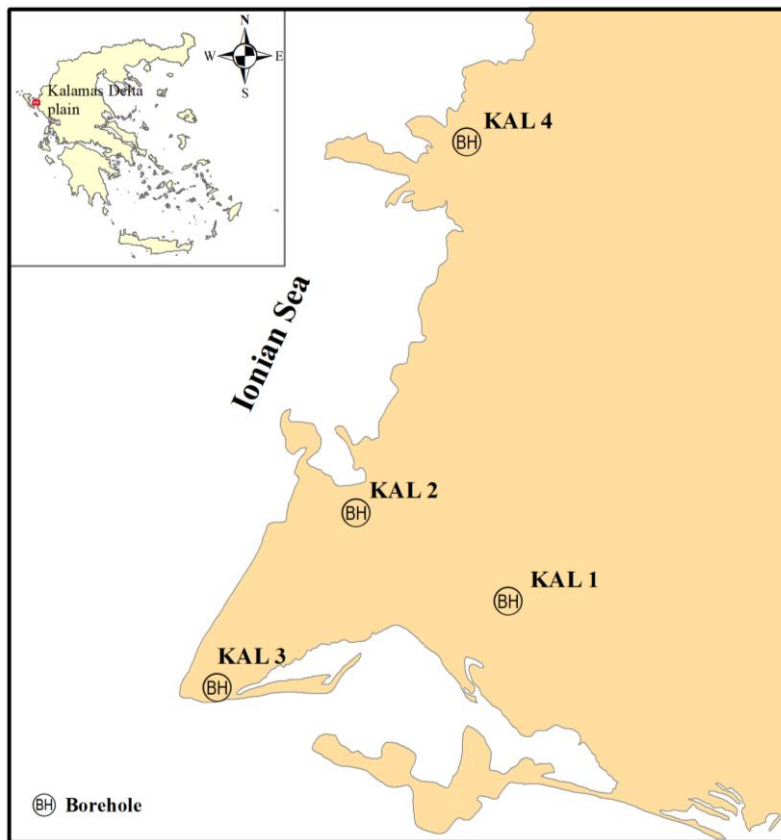
Παρατηρώντας τις παραπάνω αεροφωτογραφίες (Εικόνα 1,3,5,7) και την ψηφιακή αποτύπωση της παλαιοακτογραμμής του δέλτα του ποταμού Καλαμά κατά τα έτη 1945, 1969, 1980, 1995 και 2018 (Εικόνα 2,4,6,8,9), διαπιστώνουμε ότι κατά την περίοδο παρατήρησης από το 1945 έως σήμερα το δέλτα του ποταμού παρουσιάζει μεταβολή της ακτογραμμής του, με το νότιο τμήμα να κατακλύζεται σταδιακά από τη θάλασσα και το βόρειο να αναπτύσσεται προς το Ιόνιο πέλαγος. Για την περίοδο παρατήρησης 1945 έως 1969, δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή της ακτογραμμής σε αντίθεση με τη χρονική περίοδο 1969-1980 όπου η μεταβολή είναι σημαντική, αφού στο βόρειο τμήμα έχουν

σηματιστεί πλέον οι νέες εκβολές του ποταμού οι οποίες έχουν αναπτυχθεί αρκετά προς το Ιόνιο πέλαγος και στο νότιο τμήμα των παλιών εκβολών έχει ήδη ξεκινήσει η μετατροπή σε λιμνοθάλασσα. Την επόμενη περίοδο παρατήρησης 1980 έως σήμερα, οι μεταβολές που παρατηρούνται είναι μικρής έκτασης, όπου στις βόρειες εκβολές συνεχίζεται η προέλαση της χέρσου προς το Ιόνιο πέλαγος και στις νότιες εκβολές συνεχίζεται η προέλαση της θάλασσας στη δελταϊκή πεδιάδα.

Πράγματι, οι παρατηρήσεις αυτές επιβεβαιώνονται από έρευνες στην περιοχή (Καραγεωργίου Ε., 2005; Καρύμπαλης και Γάκη-Παπαναστασίου, 2005) οι οποίες δείχνουν υποχώρηση των νότιων εκβολών της δελταϊκής πεδιάδας με ρυθμούς 0,077 km²/έτος την περίοδο 1965-1969, 0,08 km²/έτος την περίοδο 1969-1989 και 0,02 km²/έτος την περίοδο 1989-2000 και προέλαση των βόρειων εκβολών με ρυθμούς 0,002 km²/έτος την περίοδο 1965-1969, 0,008 km²/έτος την περίοδο 1969-1989 και 0,002 km²/έτος την περίοδο 1989-2000.

2. Εργασίες πεδίου και εργαστηριακές αναλύσεις

Για την υλοποίηση της παρούσας ερευνητικής εργασίας συλλέχθηκαν τέσσερις (4) πυρήνες ιζήματος προερχόμενοι από διαφορετικές θέσεις στο δέλτα του ποταμού Καλαμά (Εικόνα 10).

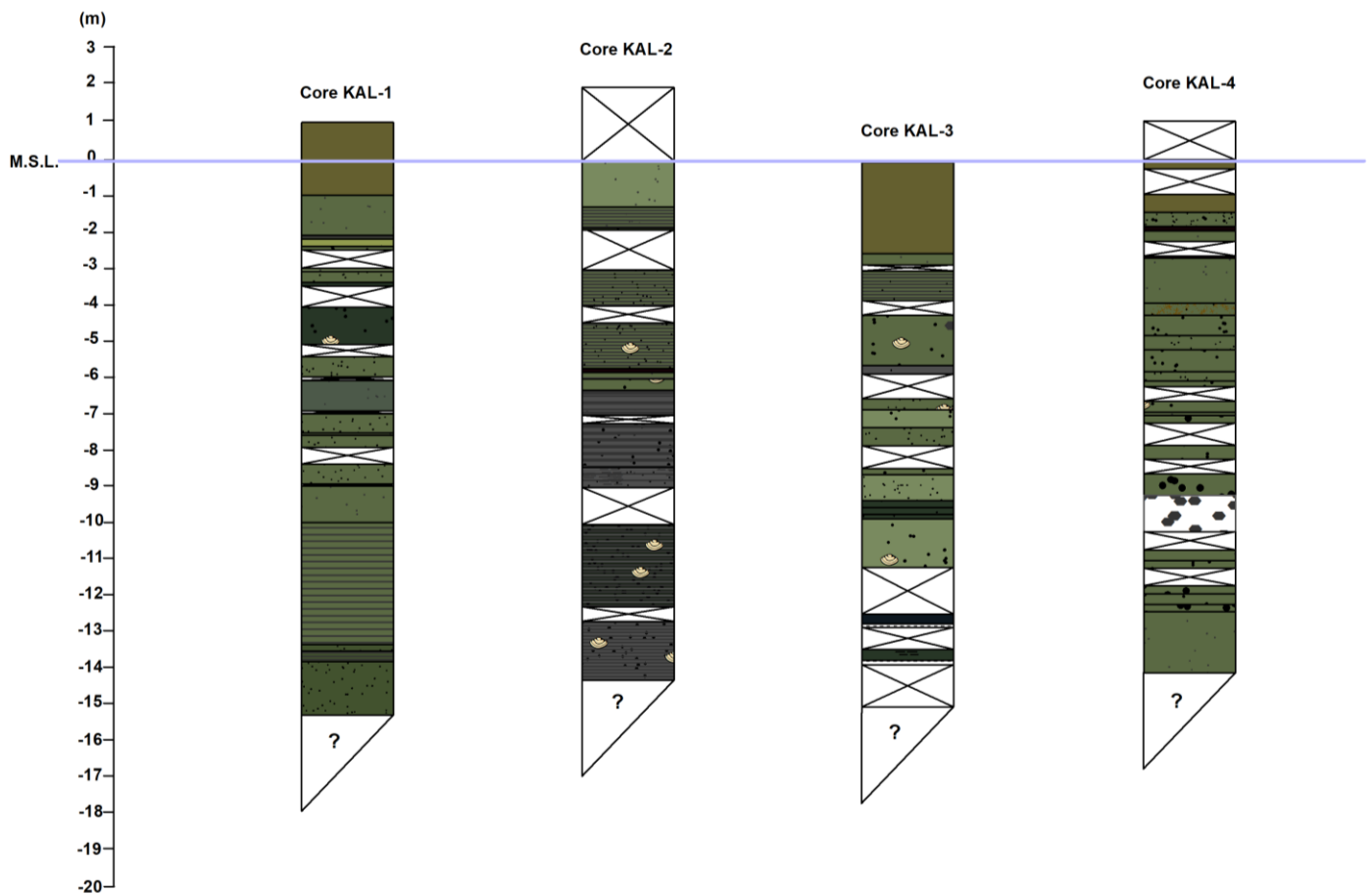


Εικόνα 10: Γεωγραφική κατανομή των θέσεων πυρηνοληψίας στο δέλτα του ποταμού Καλαμά.

Συνολικά, συλλέχθηκαν 26 δείγματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για κοκκομετρικές, ορυκτολογικές και γεωχημικές αναλύσεις καθώς και για γεωχρονολόγηση με τη μέθοδο της Οπτικά Διεγειρόμενης Φωταύγειας. Όλες οι εργαστηριακές αναλύσεις έγιναν στο εργαστήριο Παλαιοπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ».

2.1 Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνων

Η οπτική παρατήρηση των ανοιγμένων πυρήνων (Εικόνα 11), δίνει μια πρώτη εικόνα των ιζηματολογικών ενοτήτων από τις οποίες αυτοί συνίστανται. Το χρώμα του ιζήματος και η υφή του φανερώνουν τις συνθήκες ιζηματογένεσης. Οι ανοιχτόχρωμες καφεκίτρινες αποχρώσεις δηλώνουν οξειδωτικές συνθήκες, ενώ οι σκουρόχρωμες λαδοπράσινες δηλώνουν ανοξικές συνθήκες ιζηματογένεσης. Για το χρώμα του ιζήματος, χρησιμοποιήθηκαν οι χρωματολογικοί πίνακες Munsell soil-color charts (2015). Η μακροσκοπική περιγραφή των πυρήνων σε συνδυασμό με τις κοκκομετρικές, ορυκτολογικές, γεωχημικές, καθώς και με τις χρονολογικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν οδήγησαν στον διαχωρισμό των επιμέρους στρωματογραφικών ενοτήτων που χαρακτηρίζουν τις δελταϊκές αποθέσεις του Καλαμά.



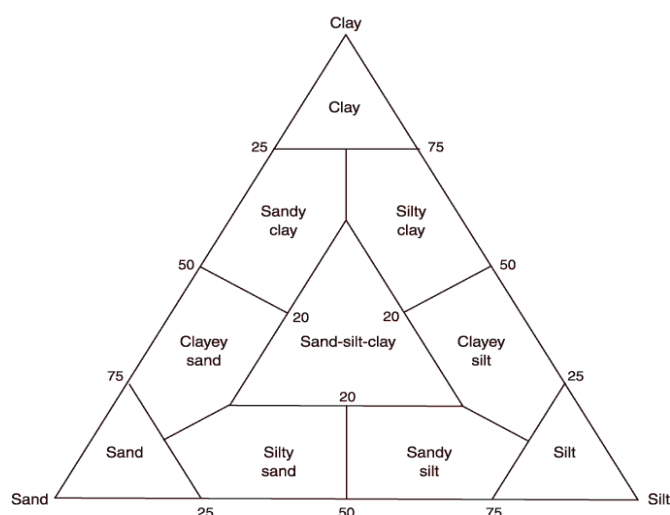
Εικόνα 11: Στρωματογραφικές στήλες γεωτρήσεων KAL1,2,3,4, όπου τα διαφορετικά χρώματα αποτυπώνουν την ταξινόμησή τους βάσει των χρωματολογικών πινάκων Munsell soil-color charts (2015) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c). M.S.L.: Mean Sea Level.

2.2 Ιζηματολογικές αναλύσεις

Οι ιζηματολογικοί δείκτες μπορούν να ερμηνευθούν με πολλούς τρόπους και να αποδώσουν τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες σε ένα υδάτινο σύστημα ή τη λεκάνη απορροής του. Η κατανομή μεγέθους κόκκων σε λιμναία ή λιμνοθαλάσσια ιζήματα αποτελεί δείκτη της οριζόντιας και κάθετης απόστασης από την ακτογραμμή και, συνεπώς, της διακύμανσης της στάθμης του νερού. Κατά μήκος της ακτογραμμής εναποτίθεται μεγαλύτερη αναλογία αδρομερών κόκκων, ενώ η ποσότητα λεπτόκοκκων ιζημάτων αυξάνεται με την κατακόρυφη απόσταση μεταφοράς προς την ακτογραμμή (Burnett et al., 2011). Επιπλέον, η κατανομή του μεγέθους των κόκκων αποδίδει τον βαθμό διάβρωσης, και μπορεί να αντικατοπτρίζει τη μεταβολή από κυρίως φυσική σε χημική αποσάθρωση ή αυξημένα ποσοστά βροχοπτώσεων (Koining et al., 2003).

Το κατά βάρος ποσοστό της άμμου, της ιλύος και της αργίλου καθώς και οι κοκκομετρικές στατιστικές παράμετροι για κάθε δείγμα ανά πυρήνα και αντίστοιχα ο λιθολογικός τους χαρακτηρισμός παρουσιάζονται παρακάτω. Ο λιθολογικός τους χαρακτηρισμός προέκυψε σύμφωνα με το παρακάτω τριγωνικό διάγραμμα (Εικόνα 12) (Shepard, 1954). Τα ποσοστά συμμετοχής κάθε αναλυθείσας τάξης μεγέθους σε κάθε δείγμα, αποτυπώθηκαν

διαγραμματικά με στόχο, την εκτίμηση μιας γενικής εικόνας της λιθολογικής κατάστασης της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 12: Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης ιζημάτων κατά Shepard (1954).

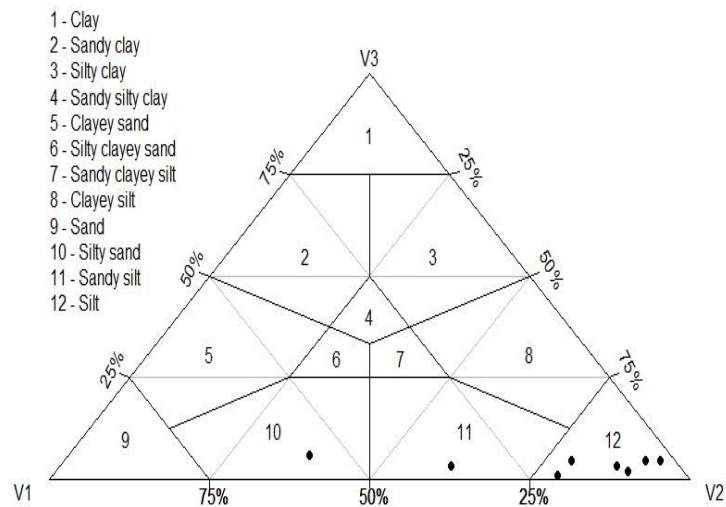
Γεώτρηση KAL-1

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της ιζηματολογικής ανάλυσης του πυρήνα KAL-1, γίνεται αντιληπτό ότι στην πρόσφατη εξέλιξη του συστήματος του δέλτα του Καλαμά, στη θέση KAL-1, υπάρχει εναπόθεση λεπτόκοκκων ιζημάτων, το οποίο υποδηλώνει ένα ήρεμο υδροδυναμικά περιβάλλον. Πιο έντονες συνθήκες φαίνεται να επικράτησαν από το βάθος των 4 m έως τα 11m περίπου.

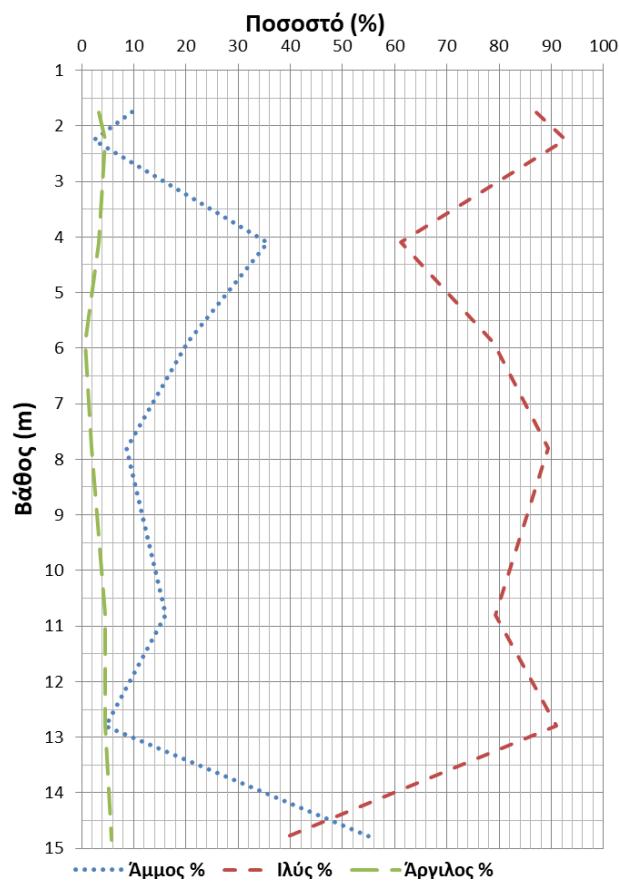
Πίνακας 1: Ποσοστά κοκκομετρικών κλασμάτων και χαρακτηρισμός ιζημάτων για κάθε βάθος δειγματοληψίας του πυρήνα KAL-1 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
KAL 1-2a	1.75	9.70	87.05	3.25	SILT
KAL 1-2b	2.25	2.28	92.78	4.50	SILT
KAL 1-4	4.1	35.68	61.08	3.25	SANDY SILT
KAL 1-5	5.9	20.28	78.98	0.75	SILT
KAL 1-7	7.8	8.65	89.35	2.00	SILT
KAL 1-10	10.8	16.20	79.30	4.50	SILT
KAL 1-12	12.8	4.55	90.95	4.50	SILT

KAL 1



Εικόνα 13: Χαρακτηρισμός των ιζημάτων του πυρήνα της γεώτρησης KAL-1 με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση κατά Shepard, (1954) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



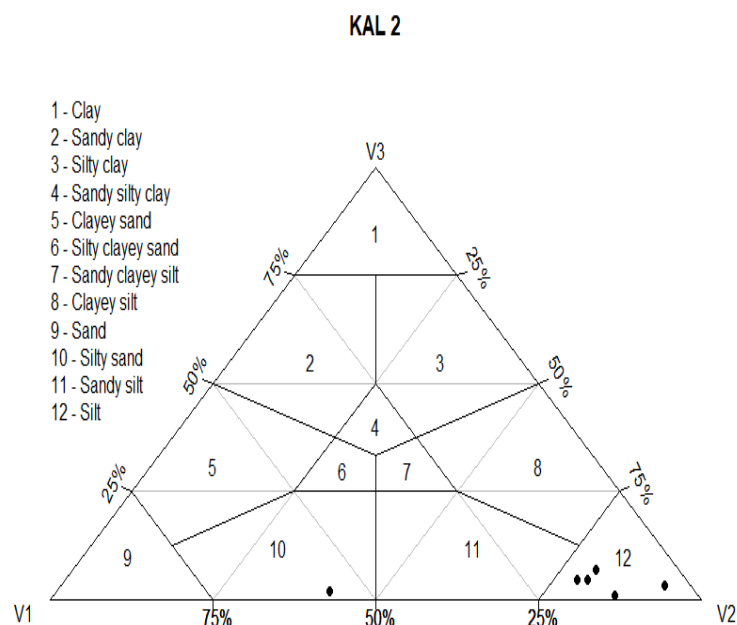
Εικόνα 14: Κατακόρυφο διάγραμμα μεταβολής των βασικών τάξεων μεγέθους (άμμος, ιλύς και άργιλος) με το βάθος, για τη γεώτρηση KAL-1 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Γεώτρηση KAL-2

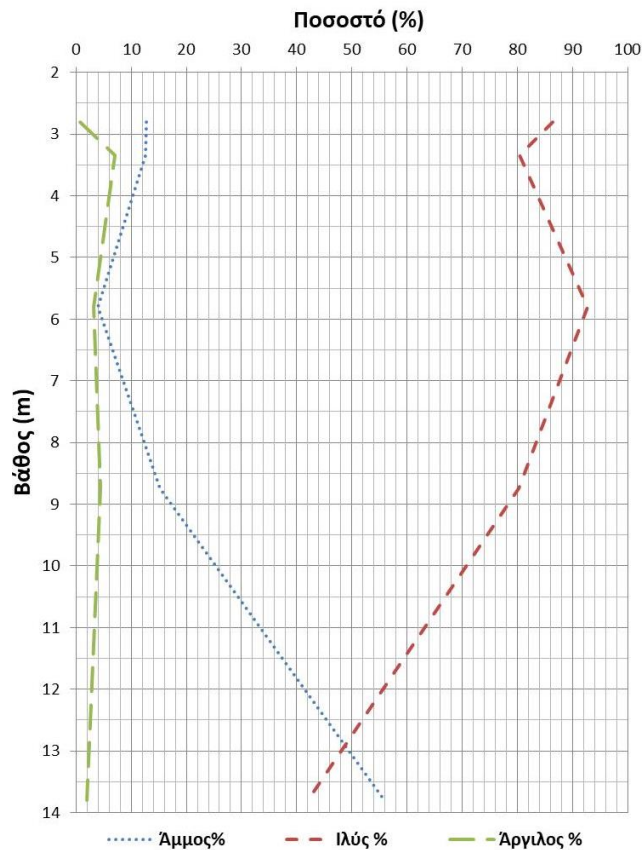
Στον πυρήνα KAL-2 παρατηρείται ότι επικρατούν λεπτόκοκκα ιζήματα, το οποίο υποδηλώνει ότι η περιοχή γύρω από τη θέση της γεώτρησης αποτελεί χώρο ιζηματοπόθεσης σχετικά χαμηλού υδροδυναμισμού, ο οποίος σε μεγαλύτερο βάθος περνά σε ένα πιο έντονο υδροδυναμικά περιβάλλον. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πιθανότατα πρόκειται για περιοχή η οποία, στην πρόσφατη περίοδο, δεν επηρεάστηκε από τη δυναμική του τροφοδότη των χαλαρών υλικών, του ποταμού Καλαμά.

Πίνακας 2: Ποσοστά κοκκομετρικών κλασμάτων και χαρακτηρισμός ιζημάτων για κάθε βάθος δειγματοληψίας του πυρήνα KAL 2 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
KAL 2-1	2.8	12.8	86.45	0.75	SILT
KAL 2-2	3.35	12.625	80.375	7	SILT
KAL 2-4	5.8	4	92.75	3.25	SILT
KAL 2-7	8.75	15.2	80.3	4.5	SILT
KAL 2-12	13.8	55.975	42.025	2	SILTY SAND
KAL 2-14	16.1	16.7	78.8	4.5	SILT



Εικόνα 15: Χαρακτηρισμός των ιζημάτων του πυρήνα της γεώτρησης KAL-2 με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση κατά Shepard, (1954) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



Εικόνα 16: Κατακόρυφο διάγραμμα μεταβολής των βασικών τάξεων μεγέθους (άμμος, ιλύς και άργιλος) με το βάθος, για τη γεώτρηση KAL 2 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

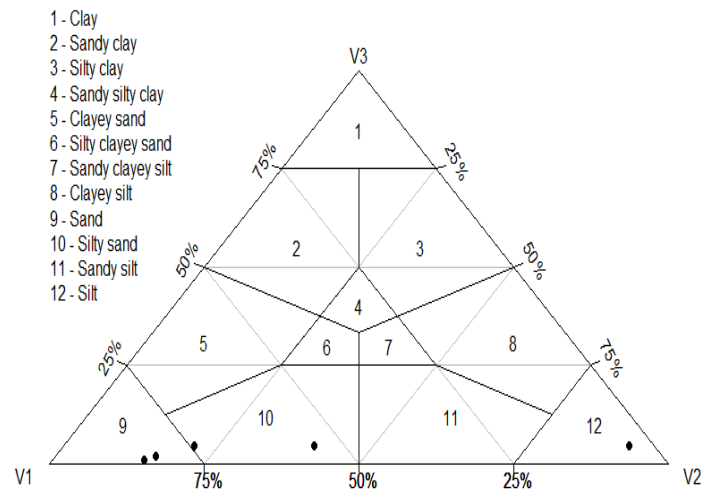
Γεώτρηση KAL-3

Τα αποτελέσματα της ιζηματολογικής ανάλυσης του πυρήνα KAL-3 υποδηλώνουν ότι η θέση αυτή αποτελεί έναν χώρο απόθεσης με σχετικά έντονο υδροδυναμισμό, όπου στην πρόσφατη περίοδο επηρεάστηκε σημαντικά από τη δυναμική του τροφοδότη των χαλαρών υλικών, του ποταμού Καλαμά.

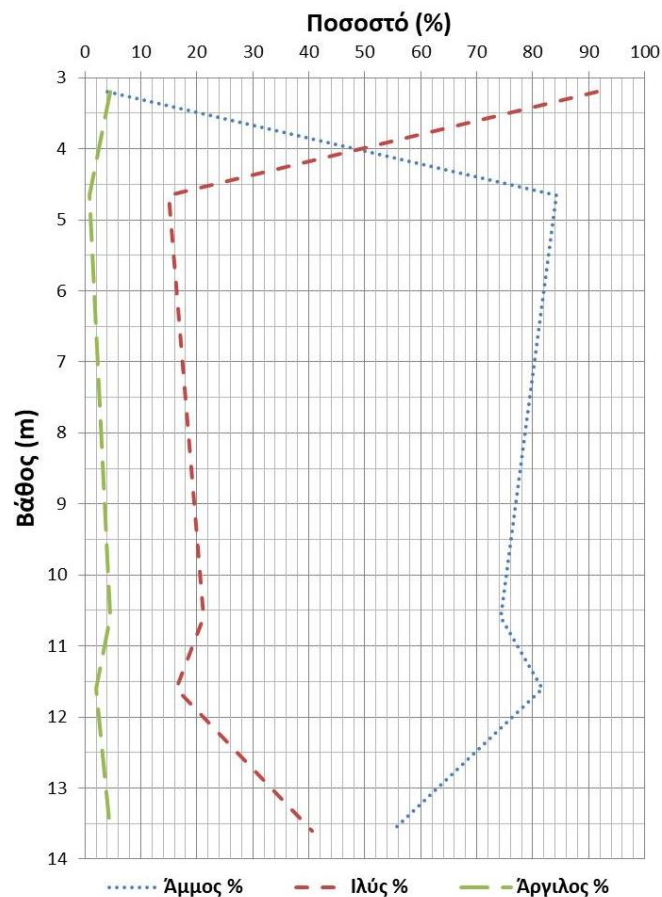
Πίνακας 3: Ποσοστά κοκκομετρικών κλασμάτων και χαρακτηρισμός ιζημάτων για κάθε βάθος δειγματοληψίας του πυρήνα KAL-3 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
KAL 3-5	3.2	4.1	91.4	4.5	SILT
KAL 3-6	4.65	84.225	15.025	0.75	SAND
KAL 3-12	10.6	74.25	21.25	4.5	SILTY SAND
KAL 3-13	11.6	81.725	16.275	2	SAND
KAL 3-15	13.6	54.875	40.625	4.5	SILTY SAND

KAL 3



Εικόνα 17: Χαρακτηρισμός των ιζημάτων του πυρήνα της γεώτρησης KAL-3 με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση κατά Shepard, (1954) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



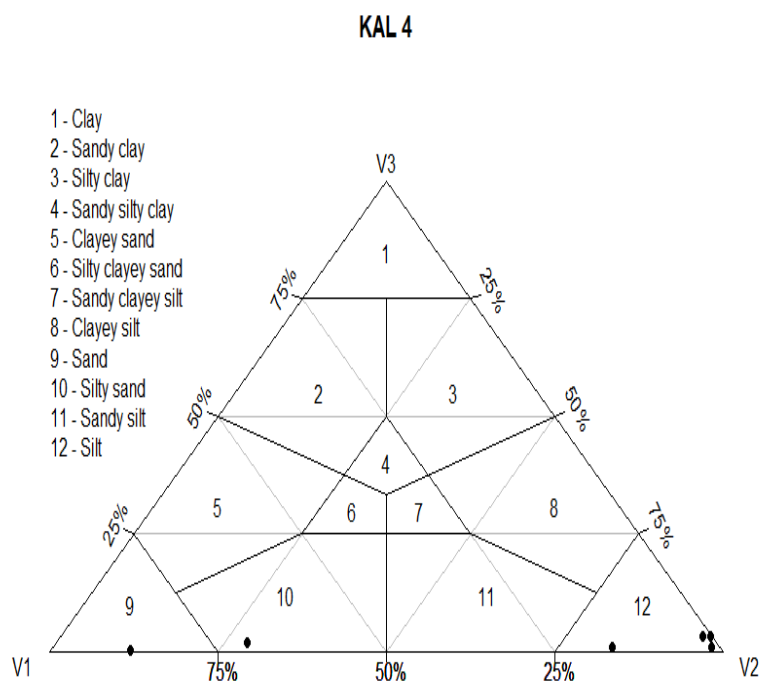
Εικόνα 18: Κατακόρυφο διάγραμμα μεταβολής των βασικών τάξεων μεγέθους (άμμος, ιλύς και άργιλος) με το βάθος, για τη γεώτρηση KAL-3 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Γεώτρηση KAL-4

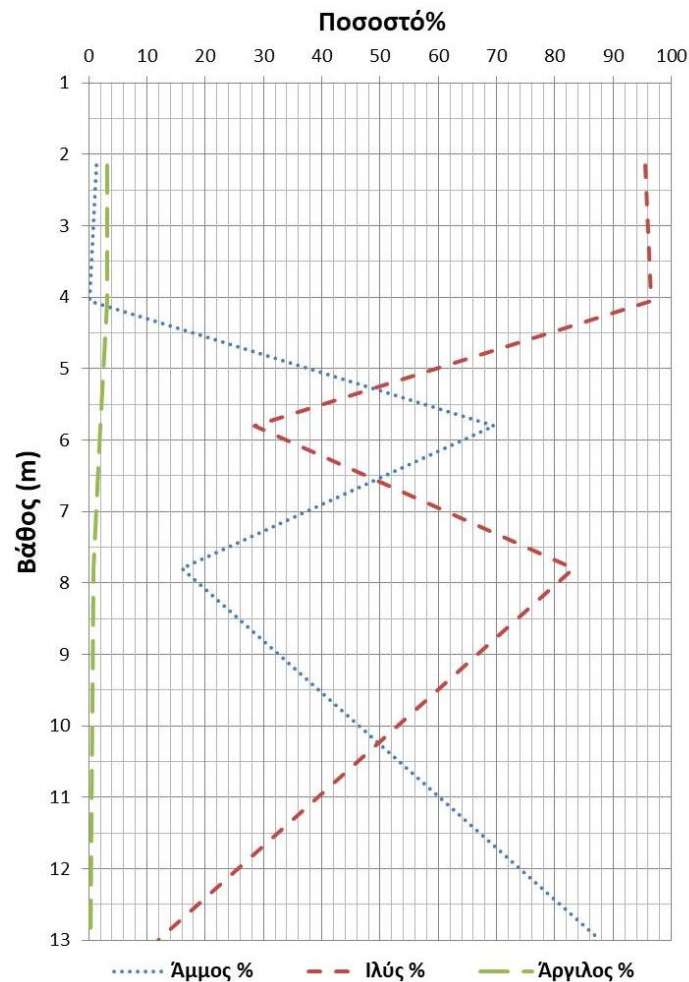
Ο χαρακτήρας των ιζημάτων του πυρήνα KAL-4 φανερώνει ότι πρόκειται για έναν χώρο απόθεσης με σχετικά έντονο υδροδυναμισμό, αφού στο σύνολό τους, τα δείγματα χαρακτηρίζονται ως ιλύς.

Πίνακας 4: Ποσοστά κοκκομετρικών κλασμάτων και λιθολογικός χαρακτηρισμός ιζημάτων για κάθε βάθος δειγματοληψίας του Πυρήνα KAL-4 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
KAL 4-2	2.15	1.325	95.425	3.25	SILT
KAL 4-4	4.05	0.175	96.575	3.25	SILT
KAL 4-6	5.8	69.6	28.4	2	SILTY SAND
KAL 4-8	7.8	16.025	83.225	0.75	SILT
KAL 4-13	13	87.825	11.925	0.25	SAND
KAL 4-15	14.85	1.275	97.975	0.75	SILT



Εικόνα 19: Χαρακτηρισμός των ιζημάτων του πυρήνα της γεώτρησης KAL-4 με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση κατά Shepard, (1954) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



Εικόνα 20: Κατακόρυφα διαγράμματα μεταβολής των βασικών τάξεων μεγέθους (άμμος, ιλύς και άργιλος) με το βάθος, για τη γεώτρηση KAL-4 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

2.3 Ορυκτολογικές αναλύσεις ιζημάτων

Από τις ορυκτολογικές αναλύσεις των ιζημάτων (Πίνακας 5-8) παρατηρείται η ύπαρξη χαλαζία, ασβεστίτη, πλαγιόκλαστων (αλβίτης) και αργιλικών ορυκτών. Το ορυκτό που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αφθονία είναι ο χαλαζίας, ενώ ακολουθεί ο ασβεστίτης, ο αλβίτης και τα φυλλοπηριτικά ορυκτά.

Πίνακας 5: Ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του πυρήνα KAL-1 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Πυρήνας KAL-1

Δείγμα	Χαλαζίας	Ασβεσίτης	Αλβίτης	Μοσχοβίτης/Ιλίτης	Χλωρίτης/Καολινίτης
KAL 1-2 1.65-1.70	***	**	*	*	*
KAL 1-2 2.25-2.30	***	**	*	*	*
KAL 1-4	***	**	*	*	*
KAL 1-5	***	**	*	*	*
KAL 1-7	***	**	*	*	*
KAL 1-10	***	**	*	*	*
KAL 1-12	***	**	*	*	*
KAL 1-14	***	**	*	*	*

Πίνακας 6: Ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του πυρήνα KAL-2 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Πυρήνας KAL-2

Δείγμα	Χαλαζίας	Ασβεσίτης	Αλβίτης	Μοσχοβίτης/Ιλίτης	Χλωρίτης/Καολινίτης
KAL 2-1	***	**	*	*	*
KAL 2-2	***	**	*	*	*
KAL 2-4	***	**	*	*	*
KAL 2-7	***	**	*	*	*
KAL 2-11	***	**	*	*	*
KAL 2-12	***	**	*	*	*
KAL 2-14	***	**	*	*	*

Πίνακας 7: Ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του πυρήνα KAL-3 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Πυρήνας KAL-3					
Δείγμα	Χαλαζίας	Ασβεστίτης	Αλβίτης	Μοσχοβίτης/Ιλίτης	Χλωρίτης/Καολινίτης
KAL 3-5	***	**	*	*	*
KAL 3-6	***	**	*	*	*
KAL 3-12	***	**	*	*	*
KAL 3-13	***	**	*	*	*
KAL 3-15	***	**	*	*	*

Πίνακας 8: Ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του πυρήνα KAL-4 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Πυρήνας KAL 4					
Δείγμα	Χαλαζίας	Ασβεστίτης	Αλβίτης	Μοσχοβίτης/Ιλίτης	Χλωρίτης/Καολινίτης
KAL 4-4	***	**	*	*	*
KAL 4-6	***	**	*	*	*
KAL 4-8	***	**	*	*	*
KAL 4-13	***	**	*	*	*

2.4 Γεωχημικές αναλύσεις ιζημάτων

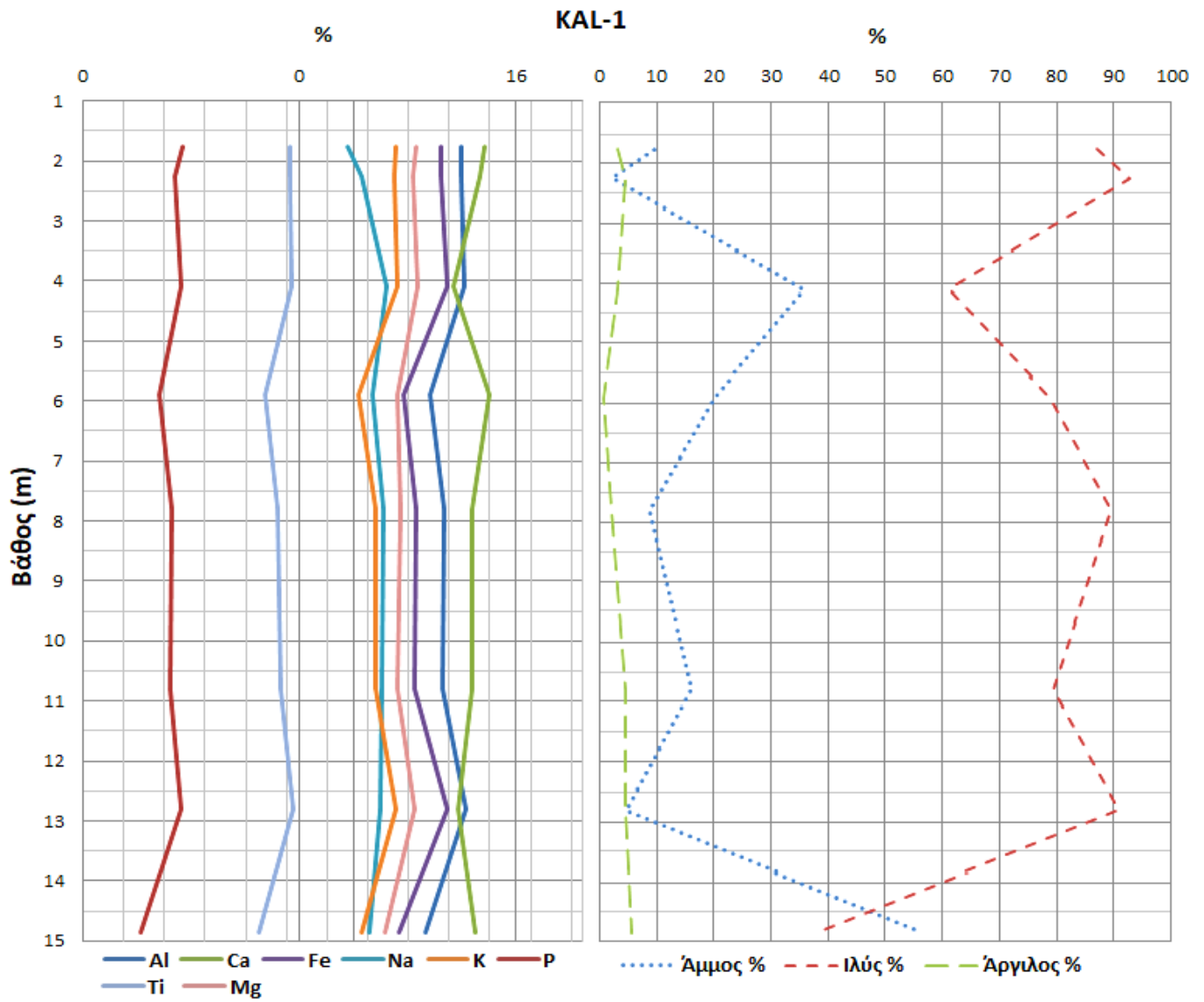
Η γεωχημική ανάλυση των ιζημάτων μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για την προέλευση των ιζημάτων, τις διαγενετικές συνθήκες που έλαβαν χώρα κατά ή μετά την απόθεση τους, ενώ σε συνδυασμό με άλλες αναλυτικές μεθόδους, μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικές με τις παλαιοπεριβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούσαν στον χώρο απόθεσης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης των κύριων στοιχείων για κάθε βάθος δειγματοληψίας (Πίνακας 9), για κάθε δείγμα και η μεταβολή των κύριων στοιχείων για κάθε πυρήνα, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (Εικόνα 21-24).

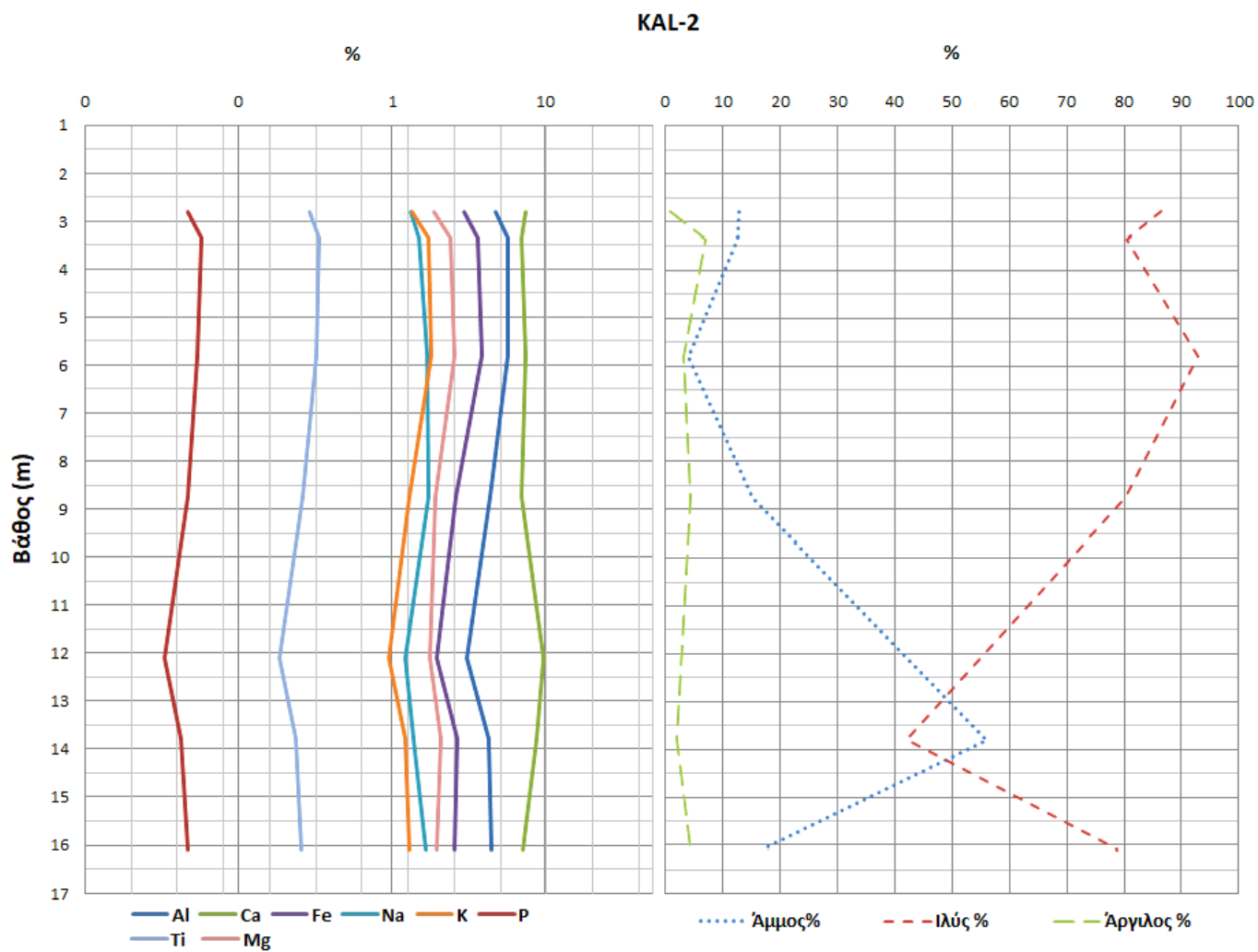
Πίνακας 9: Συγκέντρωση κύριων στοιχείων για κάθε βάθος δειγματοληψίας (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	Al (%)	S (%)*	P (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Fe (%)	Na (%)	Mg (%)	Mn (ppm)
KAL 1-2a	1.75	6.32	<0.1	0.055	2.08	9.39	0.340	4.49	0.92	2.89	1203
KAL 1-2b	2.25	6.37	1.3	0.048	1.99	8.66	0.340	4.51	1.15	2.80	909
KAL 1-4	4.1	6.62	1.6	0.053	2.11	5.58	0.348	4.96	1.76	3.02	1039
KAL 1-5	5.9	3.68	0.3	0.037	1.10	10.21	0.222	2.38	1.40	2.12	829
KAL 1-7	7.8	4.76	<0.1	0.046	1.47	7.48	0.279	2.88	1.67	2.22	818
KAL 1-10	10.8	4.6	<0.1	0.044	1.46	7.66	0.290	2.82	1.64	2.11	793
KAL 1-12	12.8	6.79	<0.1	0.053	2.08	5.96	0.362	4.99	1.57	2.87	924
KAL 1-14	14.85	3.38	0.6	0.027	1.15	7.89	0.199	2.17	1.30	1.73	648
KAL 2-1	2.8	4.79	<0.1	0.047	1.37	7.40	0.288	2.99	1.34	1.89	884
KAL 2-2	3.35	5.76	<0.1	0.057	1.72	6.97	0.335	3.65	1.51	2.43	1108
KAL 2-4	5.8	5.73	0.1	0.054	1.81	7.46	0.325	3.89	1.72	2.56	950
KAL 2-7	8.75	4.37	<0.1	0.047	1.29	6.96	0.260	2.63	1.73	1.94	837
KAL 2-11	12.1	3.06	<0.1	0.033	0.95	9.80	0.187	1.96	1.23	1.77	746
KAL 2-12	13.8	4.26	<0.1	0.042	1.23	8.72	0.238	2.65	1.39	2.07	840
KAL 2-14	16.1	4.48	<0.1	0.047	1.29	7.17	0.257	2.58	1.67	1.96	808
KAL 3-5	3.2	5.44	<0.1	0.059	1.49	6.45	0.327	3.38	1.209	2.04	993
KAL 3-6	4.65	0.88	<0.1	0.012	0.27	6.64	0.05	0.69	0.397	0.47	449
KAL 3-12	10.6	1.42	<0.1	0.022	0.44	8.62	0.066	1.11	0.647	1.26	625
KAL 3-13	11.6	1.27	<0.1	0.021	0.44	9.67	0.062	1.09	0.635	1.14	643
KAL 3-15	13.6	2.65	<0.1	0.034	0.83	10.85	0.153	1.84	1.052	1.95	887
KAL 4-2	2.15	7.24	<0.1	0.071	1.88	6.49	0.374	4.65	0.572	2.71	959
KAL 4-4	4.05	5.04	<0.1	0.042	1.36	9.39	0.302	3.26	0.923	1.71	918
KAL 4-6	5.8	2.69	<0.1	0.025	0.77	11	0.215	1.97	0.742	1.63	725
KAL 4-8	7.8	2.15	<0.1	0.023	0.62	12.01	0.117	1.54	0.434	1.28	844
KAL 4-13	13	0.83	<0.1	0.017	0.27	12.95	0.036	0.51	0.272	0.53	437

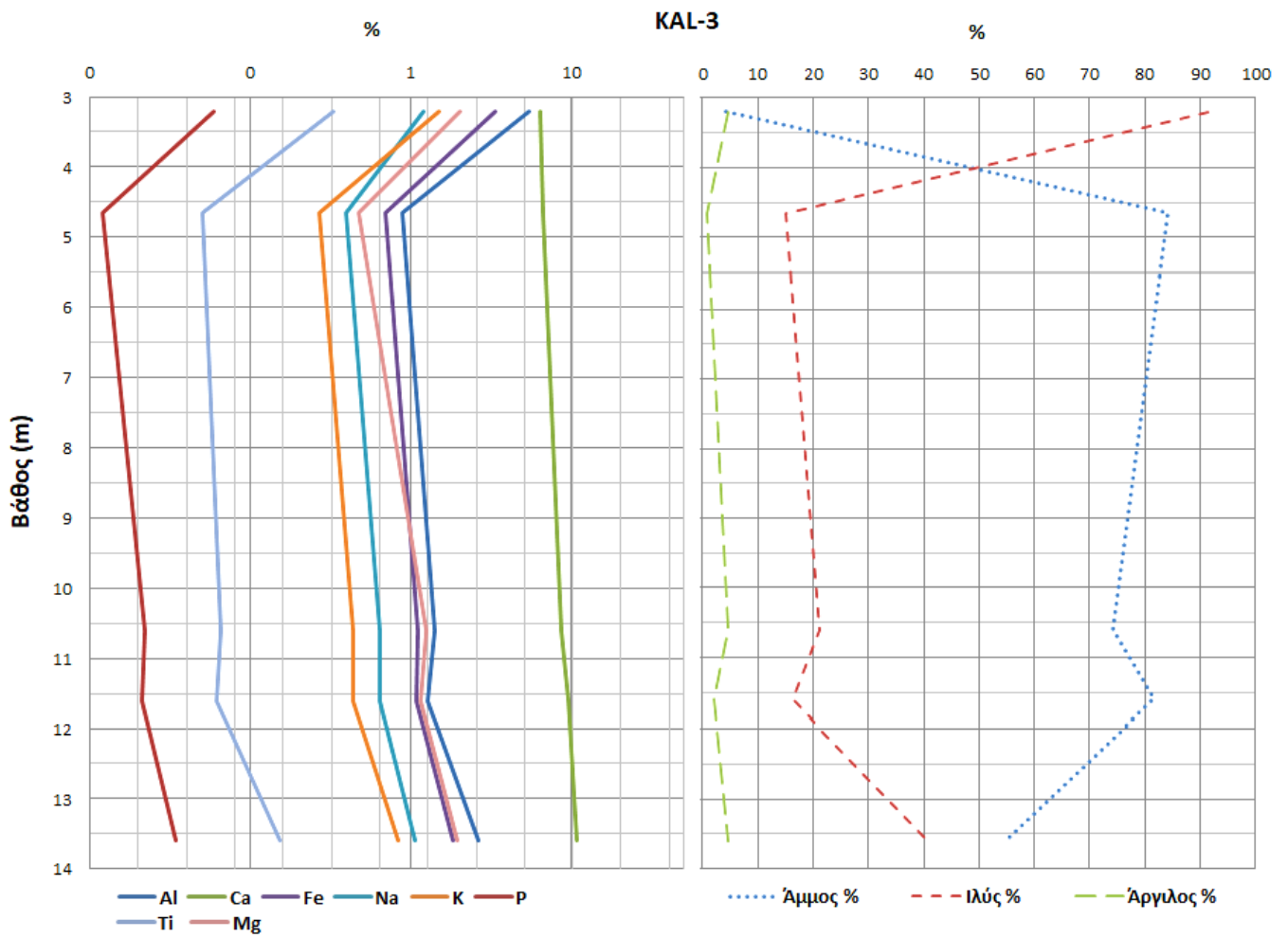
*Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι περιεκτικότητες του S είναι κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας (0.1 ppm), γι' αυτό δεν μπορεί να ανιχνευτεί σε κάποια δείγματα.



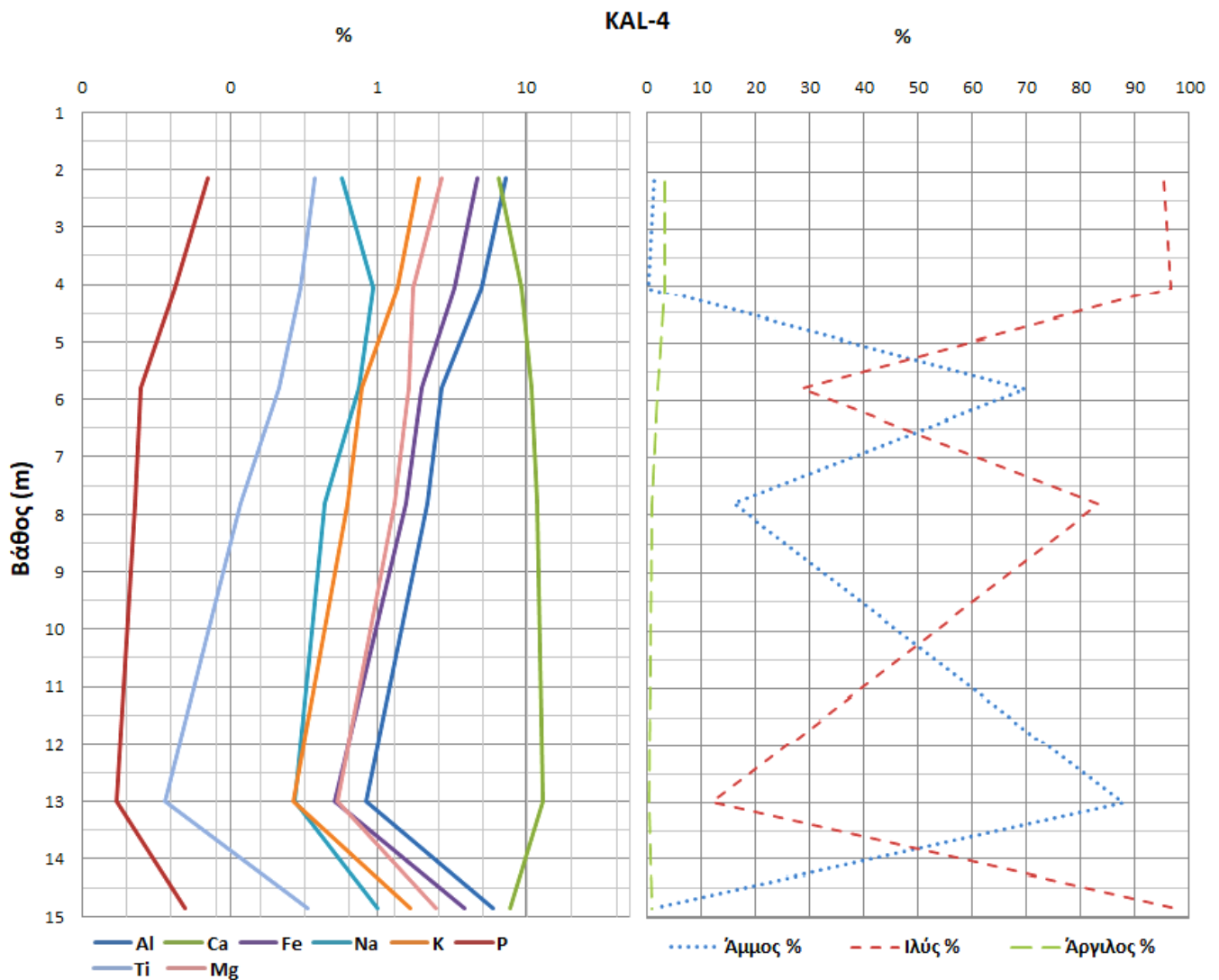
Εικόνα 21: Μεταβολή των κύριων στοιχείων στη γεώτρηση KAL-1, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



Εικόνα 22: Μεταβολή των κύριων στοιχείων στη γεώτρηση KAL-2, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



Εικόνα 23: Μεταβολή των κύριων στοιχείων στη γεώτρηση KAL-3, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



Εικόνα 24: Μεταβολή των κύριων στοιχείων στη γεώτρηση KAL-4, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Για σχολιασμό και συζήτηση επιλέχθηκαν τα αποτελέσματα της γεωχημικής ανάλυσης που προέκυψαν από τον πυρήνα KAL-1, όπου σε όλα τα δείγματά του επικρατεί το ασβέστιο, ακολουθεί το αργίλιο, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το κάλιο και τελευταίο το νάτριο. Τα στοιχεία αυτά υποδηλώνουν επικράτηση των αργιλοπυριτικών ορυκτών (αργιλικά ορυκτά) στα ιζήματα του πυρήνα, με προέλευση τα υλικά αποσάθρωσης των πετρωμάτων που περιβάλλουν την λεκάνη απορροής της περιοχής του ποταμού Καλαμά. Το ασβέστιο καθώς και ένα ποσοστό του μαγνησίου πιθανότατα σχετίζονται με τα θραύσματα βιογενών κελυφών που εντοπίζονται στα ιζήματα του πυρήνα της γεώτρησης. Τα στοιχεία σίδηρος, τιτάνιο και μαγγάνιο που εντοπίζονται, αποτελούν προϊόντα της διεργασίας της αποσάθρωσης (κυρίως χημικής) των πετρωμάτων της περιοχής και τα οποία, μέσω της διεργασίας της διάβρωσης και της μεταφοράς, έχουν αποθεθεί στο προσχωσιγενές πεδίο της κοιλάδας του ποταμού Καλαμά, μαζί με τα αργιλικά υλικά και τον χαλαζία. Επιπλέον, παρά το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις του θείου είναι αρκετά χαμηλές, η παρουσία του πιθανότατα συνδέεται με το οργανικό υλικό των ιζημάτων. Αντίστοιχη ερμηνεία και συζήτηση ισχύει και για τα δείγματα που αναλύθηκαν από τους πυρήνες των άλλων γεωτρήσεων (KAL-2, KAL-3, KAL-4).

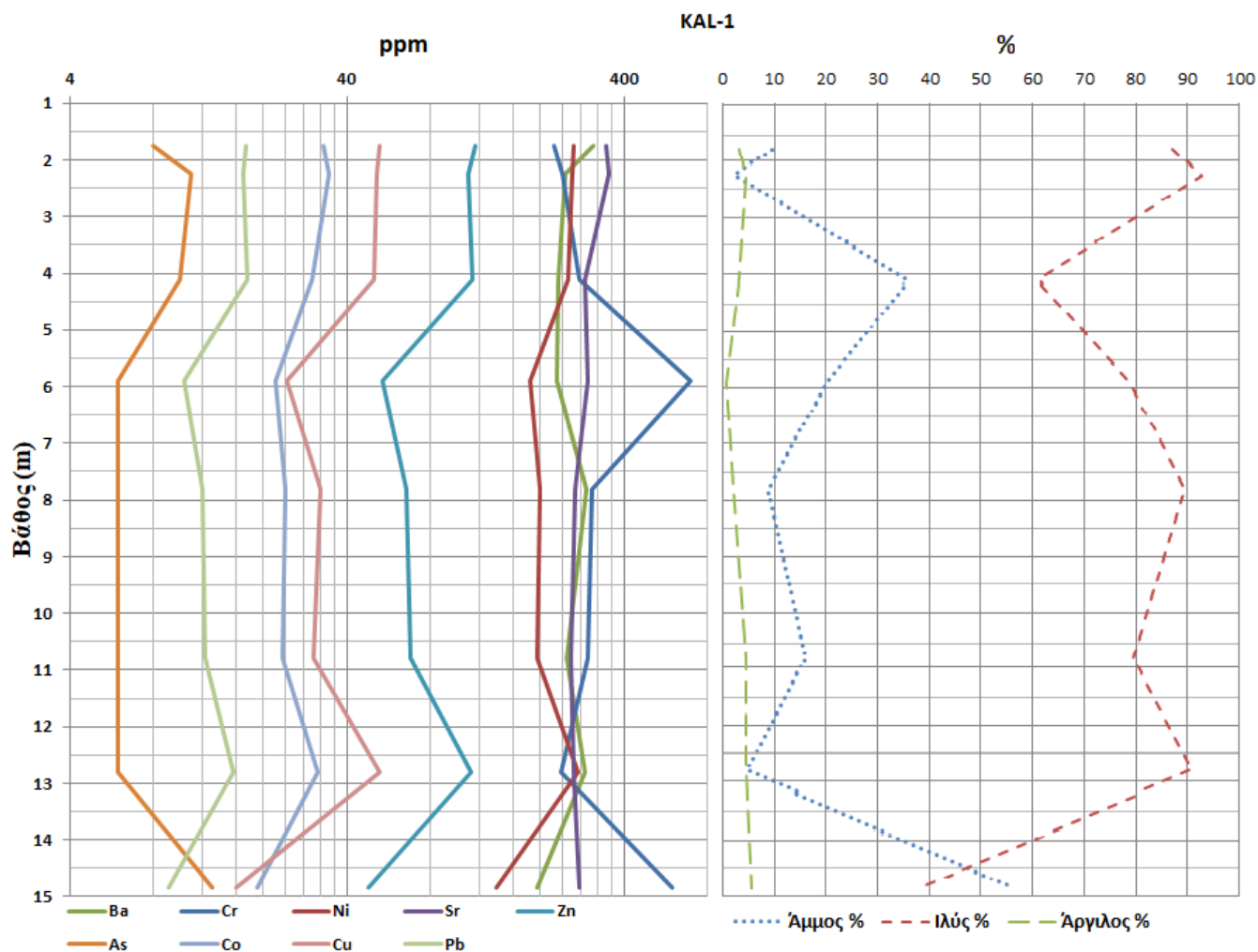
Παρακάτω παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των επιλεγμένων ιχνοστοιχείων για τους πυρήνες KAL-1, KAL-2, KAL-3 και KAL-4 (Πίνακας 10), οι συντελεστές συσχέτισης Pearson για τα επιλεγμένα ιχνοστοιχεία, για κάθε πυρήνα (Πίνακας 11) και η μεταβολή των ιχνοστοιχείων για κάθε γεώτρηση (Εικόνα 25-28).

Πίνακας 10: Συγκεντρώσεις επιλεγμένων ιχνοστοιχείων στους πυρήνες KAL-1, KAL-2, KAL-3 και KAL-4 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

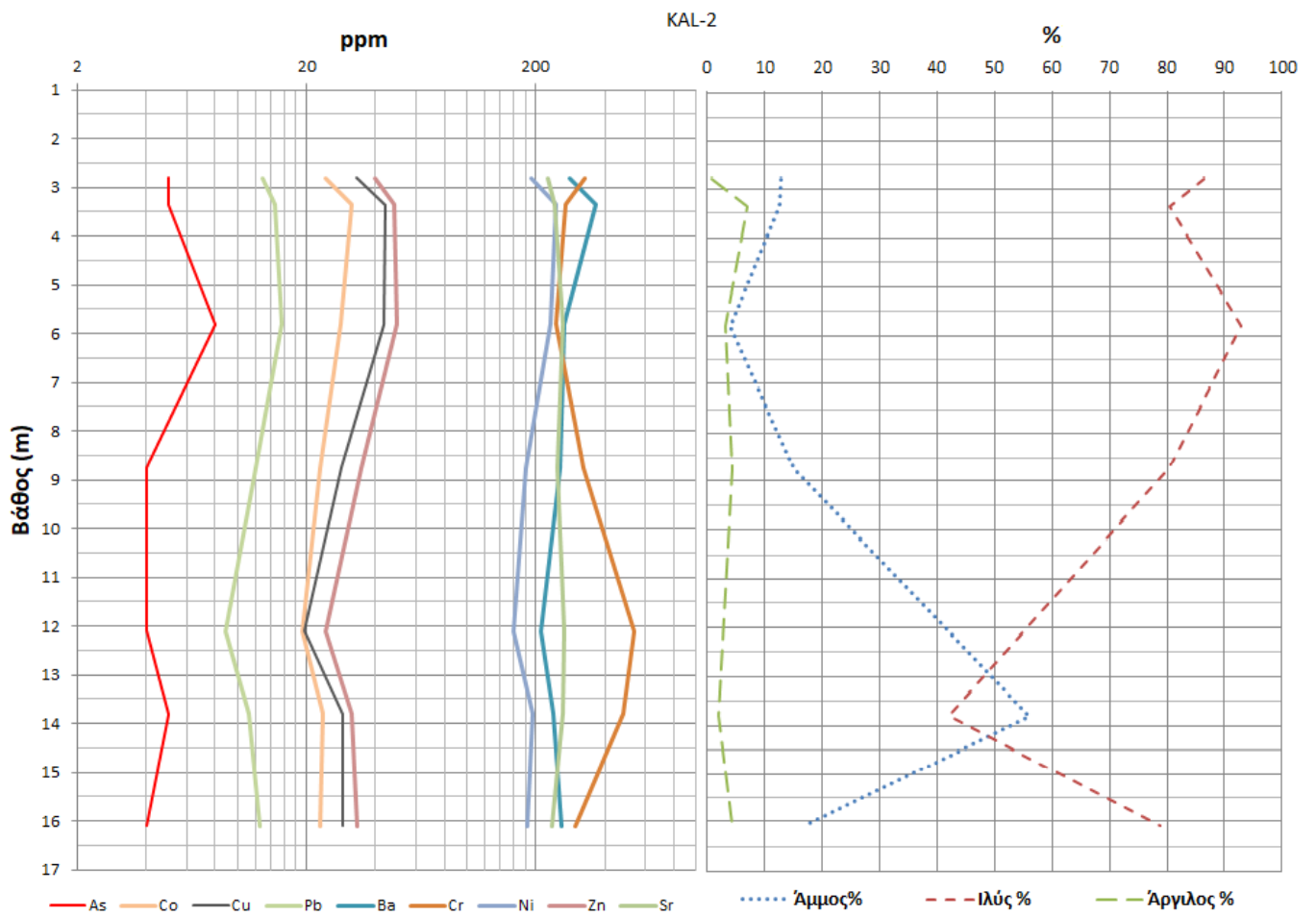
ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	As (ppm)	Ba (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Sr (ppm)	Zn (ppm)
KAL 1-2a	1.75	8	310	33	225	52	265	17	347	116
KAL 1-2b	2.25	11	245	34	239	51	262	17	355	110
KAL 1-4	4.1	10	231	30	276	50	250	18	288	114
KAL 1-5	5.9	6	229	22	692	24	183	10	295	54
KAL 1-7	7.8	6	292	24	306	32	200	12	268	66
KAL 1-10	10.8	6	250	24	297	30	194	12	257	68
KAL 1-12	12.8	6	291	31	237	53	275	16	264	113
KAL 1-14	14.85	13	195	19	596	16	138	9	277	48
KAL 2-1	2.8	5	282	24	326	33	192	13	225	69
KAL 2-2	3.35	5	365	32	271	44	245	15	243	91
KAL 2-4	5.8	8	268	28	245	44	231	16	262	98
KAL 2-7	8.75	4	257	23	325	28	182	12	250	62
KAL 2-11	12.1	4	210	19	539	20	160	9	267	42
KAL 2-12	13.8	5	237	24	482	29	195	11	264	60
KAL 2-14	16.1	4	260	23	296	29	183	13	235	59
KAL 3-5	3.2	6	317	30	323	39	216	14	215	75
KAL 3-6	4.65	2	99	6	70	11	40	3	132	16
KAL 3-12	10.6	5	128	16	86	15	112	7	199	21
KAL 3-13	11.6	4	132	12	81	15	100	7	216	21
KAL 3-15	13.6	5	194	22	331	21	176	10	279	35
KAL 4-2	2.15	7	344	34	264	58	282	18	287	125
KAL 4-4	4.05	5	298	27	252	37	217	14	272	73
KAL 4-6	5.8	2	199	21	1503	16	159	9	289	45
KAL 4-8	7.8	3	146	16	159	16	115	7	273	33
KAL 4-13	13	2	93	5	45	8	37	6	247	10
KAL 4-15	14.85	6	273	30	282	44	232	14	274	94

Πίνακας 11: Συντελεστές συσχέτισης Pearson για τα επιλεγμένα ιχνοστοιχεία στους πυρήνες KAL-1, KAL-2, KAL-3 και KAL-4 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

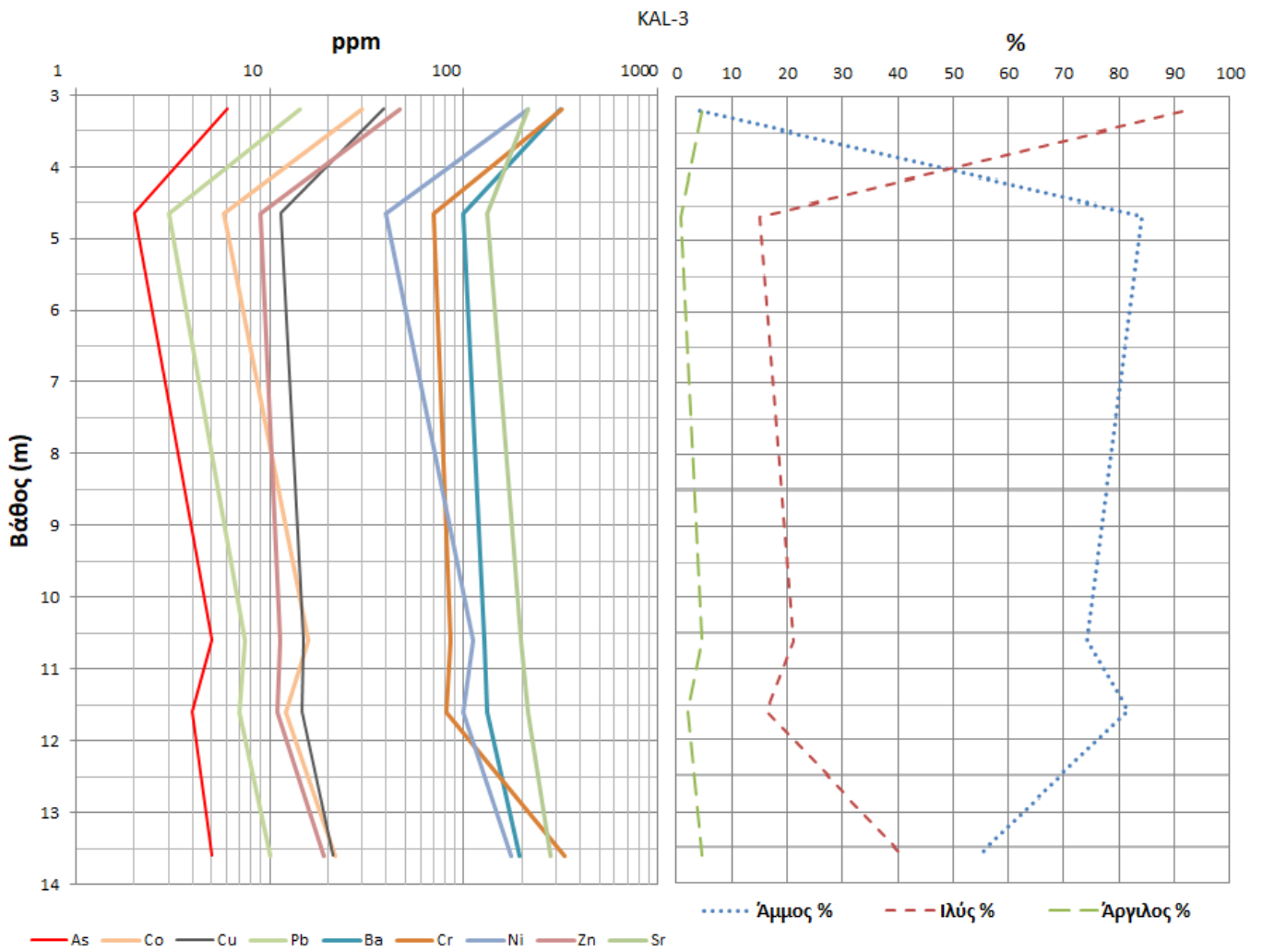
	As	Ba	Co	Cr	Cu	Hf	La	Mn	Mo	Nb	Ni	Pb	Rb	Sb	Sc	Sn	Sr	Th	V	Y	Zn	Zr
As	1	0.35	0.564	-0.04	0.53	0.586	0.567	0.414	0.72	0.569	0.543	0.587	0.636	0.756	0.593	0.561	0.5336	0.566	0.599	0.567	0.594	0.565
Ba		1	0.894	0.08	0.824	0.855	0.886	0.824	-0.08	0.887	0.89	0.854	0.789	0.753	0.811	0.834	0.3797	0.885	0.787	0.88	0.82	0.874
Co			1	0.088	0.929	0.954	0.944	0.882	0.011	0.95	0.989	0.961	0.92	0.797	0.926	0.927	0.5988	0.941	0.893	0.957	0.935	0.95
Cr				1	-0.16	-0.02	-0.04	0.01	0.151	-0.03	0.079	-0.02	-0.09	-0.06	-0.07	-0.07	0.2997	-0.06	-0.26	-0.03	-0.04	-0.06
Cu					1	0.971	0.964	0.812	-0.07	0.971	0.94	0.96	0.977	0.781	0.981	0.976	0.4972	0.967	0.982	0.968	0.984	0.98
Hf						1	0.988	0.802	0.018	0.991	0.954	0.972	0.975	0.818	0.978	0.976	0.5572	0.988	0.954	0.982	0.981	0.992
La							1	0.826	0.021	0.991	0.937	0.971	0.961	0.846	0.961	0.963	0.5216	0.986	0.949	0.993	0.972	0.989
Mn								1	-0.12	0.814	0.875	0.855	0.792	0.727	0.799	0.803	0.5481	0.801	0.777	0.866	0.806	0.826
Mo									1	0.024	-0.03	-0	0.074	0.395	0.029	-0.01	0.2055	0.022	0.027	0.005	0.031	0.001
Nb										1	0.953	0.971	0.977	0.845	0.975	0.979	0.5199	0.996	0.957	0.984	0.981	0.997
Ni											1	0.964	0.932	0.784	0.941	0.94	0.6054	0.943	0.902	0.955	0.947	0.954
Pb												1	0.96	0.825	0.958	0.948	0.5972	0.959	0.938	0.982	0.964	0.972
Rb													1	0.842	0.991	0.984	0.5527	0.974	0.974	0.961	0.991	0.982
Sb														1	0.811	0.988	0.3955	0.855	0.829	0.829	0.822	0.839
Sc															1	0.985	0.5462	0.971	0.971	0.963	0.992	0.983
Sn																1	0.5108	0.98	0.966	0.958	0.983	0.983
Sr																	1	0.484	0.45	0.585	0.564	0.515
Th																		1	0.958	0.974	0.975	0.994
V																			1	0.944	0.967	0.968
Y																				1	0.974	0.984
Zn																					1	0.986
Zr																						1



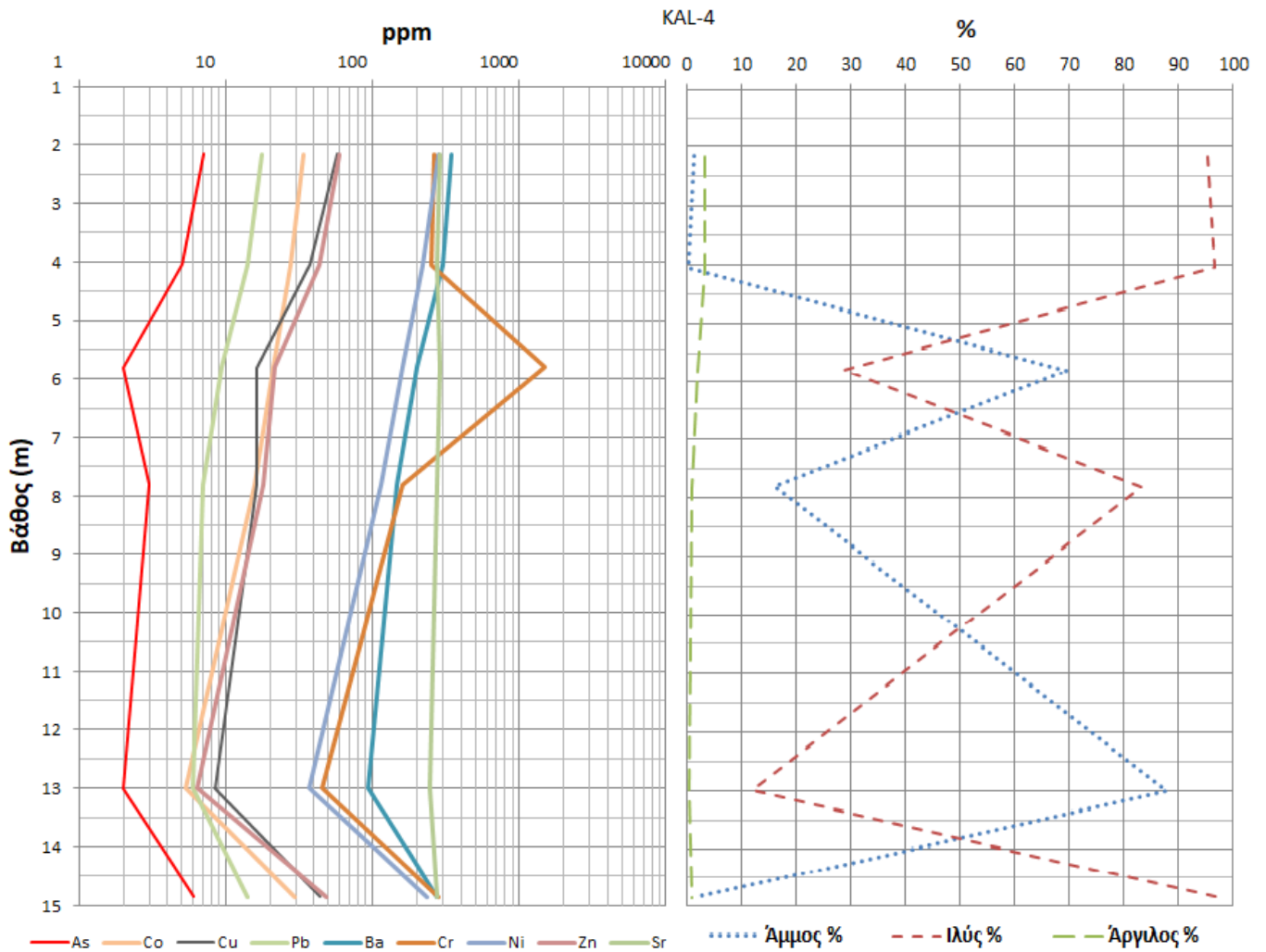
Εικόνα 25: Μεταβολή των ιχνοστοιχείων στη γεώτρηση KAL-1, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



Εικόνα 26: Μεταβολή των ιχνοστοιχείων στη γεώτρηση KAL-2, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



Εικόνα 27: Μεταβολή των ιχνοστοιχείων στη γεώτρηση ΚΑΛ-3, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



Εικόνα 28: Μεταβολή των ιχνοστοιχείων στη γεώτρηση KAL-4, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Παρατηρώντας τον βαθμό συσχέτισης μεταξύ των χημικών στοιχείων, ο οποίος προέκυψε από τους συντελεστές συσχέτισης Pearson, γίνεται αντιληπτό ότι σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των χημικών στοιχείων, το οποίο υποδηλώνει κοινό περιβάλλον απόθεσης, ενώ η ύπαρξη αρνητικών τιμών υποδηλώνει αντίστροφη συσχέτιση των στοιχείων και επομένως διαφορετικό περιβάλλον απόθεσης.

Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων παρατηρούμε ότι στα βάθη όπου επικρατούν υψηλά ποσοστά άμμου, εμφανίζονται σε αρκετές περιπτώσεις και υψηλές συγκεντρώσεις Cr, ενώ εκεί όπου τα ποσοστά της άμμου είναι μικρότερα η συγκέντρωση του Cr ελαχιστοποιείται.

Η συνδιακύμανση αυτή στις συγκεντρώσεις χρωμίου και άμμου είναι ορθή και λογική και οφείλεται στον παράγοντα «ειδική επιφάνεια». Η ειδική επιφάνεια είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου του κόκκου, δηλαδή όσο μικρότερος είναι ο κόκκος τόσο μεγαλύτερη είναι η ειδική του επιφάνεια. Η μεγάλη διαφορά στην ειδική επιφάνεια των

κόκκων μεταξύ των χονδρόκοκκων (αμμωδών) και των λεπτόκοκκων (αργιλικών) εδαφών καθορίζει την τελείως διαφορετική δομή τους και κατ' επέκταση τις διαφορές της μηχανικής τους συμπεριφοράς. Η επιρροή του νερού στη μηχανική συμπεριφορά των χονδρόκοκκων εδαφών είναι πρακτικά μηδενική, αντίθετα η συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία και την ποσότητα νερού στους πόρους. Συνεπώς, αυτή η ανθεκτικότητα της άμμου στη χημική αποσάθρωση είναι ο λόγος για τον οποίο εκεί αναμένεται να βρεθούν αντίστοιχα υψηλά ποσοστά Cr. Αντίθετα, τα χημικά στοιχεία Sr μεταβάλλεται ανάλογα με το ποσοστό της άμμου, με αντίστροφη μεταβολή.

Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η χημική σύσταση των δελταϊκών ιζημάτων του Καλαμά συσχετίζεται άμεσα με την κοκκομετρία τους. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν διαπιστωθεί και σε άλλες μελέτες, οι οποίες τονίζουν την αλληλεξάρτηση μεταξύ της σχετικής αφθονίας ορισμένων χημικών στοιχείων και της κοκκομετρίας των ιζημάτων (Cuven et al., 2010).

Συγκεντρωτικά, από τον έλεγχο των διαγραμμάτων μεταβολής προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τα διαφορετικά περιβάλλοντα απόθεσης των ιζημάτων, όσο και τη σχέση μεταξύ της κοκκομετρίας και της χημικής τους σύστασης.

2.5 Χρονολόγηση με τη μέθοδο της φωταύγειας

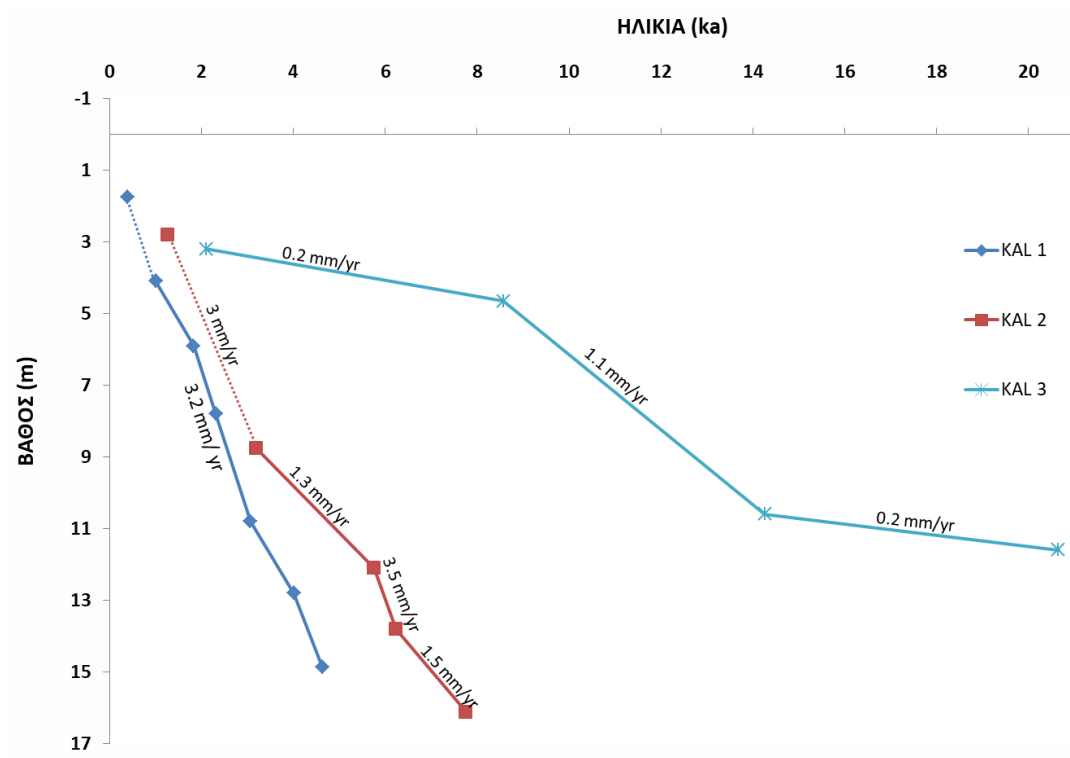
Τα αποτελέσματα από τη γεωχρονολόγηση των δειγμάτων με τη μέθοδο της Οπτικά Διεγειρόμενης Φωταύγειας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, όπου παρατηρούμε ότι οι ηλικίες των δειγμάτων τοποθετούνται χρονολογικά στο Ολόκαινο. Για τις γεωτρήσεις KAL-1 και KAL-2 παρατηρούμε ότι υπάρχει στρωματογραφική αλληλουχία των δειγμάτων αφού, οι ηλικίες τους αυξάνουν ανάλογα με το βάθος. Για τον πυρήνα KAL-3 παρατηρείται στρωματογραφική αλληλουχία μέχρι το βάθος των 12 m περίπου, ενώ μεγαλύτερες ηλικίες παρατηρούνται σε μεγαλύτερα βάθη, υποδηλώνοντας αναδιάταξη των εδαφικών οριζόντων πιθανότατα αποτέλεσμα των μηχανισμών αλληλεπίδρασης χέρσου-θάλασσας κατά το παρελθόν. Παρόμοια εικόνα παρουσιάζει και ο πυρήνας KAL-4 με ανάμιξη των εδαφικών οριζόντων του καταδεικνύοντας την ύπαρξη σημαντικών μηχανισμών αναμόχλευσης των ιζημάτων κατά το παρελθόν.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα OSL ηλικιών (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020d).

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΗΛΙΚΙΑ (ka)	ΣΦΑΛΜΑ (ka)
KAL 1-2α	1.75	0.39	0.05
KAL 1-2β	2.25	0.37	0.05
KAL 1-4	4.1	1.00	0.09
KAL 1-5	5.9	1.83	0.17
KAL 1-7	7.8	2.31	0.26
KAL 1-10	10.8	3.06	0.34
KAL 1-12	12.8	4.01	0.48
KAL 1-14	14.85	4.63	0.39
KAL 2-1	2.8	1.25	0.15
KAL 2-2	3.35	1.10	0.21
KAL 2-4	5.8	0.54	0.06
KAL 2-7	8.75	3.19	0.50
KAL 2-11	12.1	5.75	0.93
KAL 2-12	13.8	6.23	1.02
KAL 2-14	16.1	7.75	1.81
KAL 3-5	3.2	2.10	0.31
KAL 3-6	4.65	8.57	1.92
KAL 3-12	10.6	14.26	1.48
KAL 3-13	11.6	20.65	3.74
KAL 3-15	13.6	12.48	2.02
KAL 4-2	2.15	6.58	0.83
KAL 4-4	4.05	20.18	2.23
KAL 4-6	5.8	14.78	2.80
KAL 4-8	7.8	13.81	1.83
KAL 4-13	13	13.65	2.19
KAL 4-15	14.85	7.33	1.01

Οι ηλικίες OSL έδωσαν τη δυνατότητα υπολογισμού του ρυθμού ιζηματογένεσης (εικόνα 29) για τις τρεις θέσεις δειγματοληψίας στο δέλτα του Καλαμά. Στα κατώτερα τμήματα της γεώτρησης KAL-3 ο ρυθμός ιζηματογένεσης εμφανίζεται χαμηλός, στη συνέχεια και για περίπου 6.000 γρ αυξάνεται, ενώ στα ανώτερα τμήματα μειώνεται πάλι με μέση τιμή ~0,2 mm/γρ.

Για τη γεώτρηση KAL-2, στα πρώτα ~9 m ο ρυθμός ιζηματογένεσης υπολογίστηκε σε 3 mm/γρ και στην συνέχεια μειώνεται μέχρι το βάθος των 12,1 m. Κάποιο έντονο γεγονός διάρκειας περίπου 1.000 γρ αύξησε τον ρυθμό ιζηματογένεσης σε 3,5 mm/γρ, ενώ μετέπειτα και μέχρι το βάθος των ~16 μέτρων μειώνεται πάλι στα 1,5 mm/γρ. Παρόμοιο ρυθμό ιζηματογένεσης παρατηρούμε και στον πυρήνα KAL-1, ωστόσο ο ρυθμός ιζηματογένεσης παραμένει σχεδόν σταθερός τα τελευταία 4.630 χρόνια. Τέλος, ο ρυθμός ιζηματογένεσης για τον πυρήνα KAL-4 δεν υπολογίστηκε, διότι παρουσιάζεται έντονη ανάμιξη των εδαφικών του οριζόντων.



Εικόνα 29: Μοντέλο ηλικιών OSL-βάθους για τους πυρήνες KAL-1, KAL-2 και KAL-3. Η συνένωση των σημείων υποδεικνύει την ταχύτητα ιζηματογένεσης σε διαφορετικά βάθη (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020d).

3. Συζήτηση-Συμπεράσματα

Από τη μελέτη της διαχρονικής μεταβολής της ακτογραμμής του δέλτα του ποταμού Καλαμά, μέσω αεροφωτογραφιών, από το 1945 έως σήμερα, παρατηρείται μία γενική τάση οπισθοχώρησης της ακτογραμμής στις νότιες εκβολές με ταυτόχρονη προέλαση της θάλασσας, ενώ στις βόρειες εκβολές διαδοχική προέλαση της ξηράς προς το Ιόνιο Πέλαγος. Η εξέλιξη της ακτογραμμής του δέλτα υποδεικνύει ότι οι ενεργές πλέον εκβολές είναι οι βόρειες, αφού στις νότιες εκβολές, λόγω έλλειψης ιζηματοπόθεσης, επικράτησαν οι θαλάσσιες διεργασίες, οι οποίες οδήγησαν στη σταδιακή υποχώρηση της ακτογραμμής. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην ανάγκη λήψης μέτρων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της οπισθοχώρησης της ακτογραμμής στις νότιες εκβολές του δέλτα.

Από τα αποτελέσματα των ιζηματολογικών, ορυκτολογικών, γεωχημικών και γεωχρονολογικών αναλύσεων σε συνδυασμό με τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις των πυρήνων που συλλέχθηκαν από το δέλτα του ποταμού διαμορφώθηκε το πλαίσιο εξέλιξης της δελταϊκής ακολουθίας του ποταμού Καλαμά.

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης (τελευταία παγετώδης περίοδος) οδήγησε στη διάβρωση της επιφάνειας του προ-ολοκαινικού υποβάθρου και την απόθεση της στρωματογραφικής ενότητας (στα πρώτα στάδια της επίκλυσης) που συνιστά το σύστημα των παράκτιων λιμνοθαλασσών, το οποίο προχωρούσε προς τα ανάντη τμήματα της κοιλάδας του Καλαμά, υποδηλώνοντας τη μέγιστη εισχώρηση της θάλασσας στο εσωτερικό του δέλτα του ποταμού.

Ακολουθεί ως υπερκείμενο στρώμα η στρωματογραφική ενότητα του δελταϊκού μετώπου και του συστήματος κλειστών-ρηχών λιμνοθαλασσών, το οποίο αποτελεί περιβάλλον όπου η επικοινωνία με τη θάλασσα είναι αρκετά περιορισμένη, ενώ υπάρχει ταυτόχρονη συνεισφορά χερσογενούς υλικού και γλυκών υδάτων. Η συγκεκριμένη ενότητα αποτέθηκε κατά το στάδιο μείωσης του ρυθμού ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Έπειτα, ακολούθησαν οι ποτάμιες αποθέσεις και οι αποθέσεις πλημμυρικών πεδίων, καταδεικνύοντας τη μετάβαση του περιβάλλοντος από παράκτιο σε χερσαίο, όπου πραγματοποιείται πρόσχωση των λιμνοθαλασσών, δημιουργώντας την εικόνα του σύγχρονου δελταϊκού πεδίου του ποταμού Καλαμά.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Burnett A.P. Soreghan M.J. Scholz C.A. & Brown E.T. 2011. Tropical East African climate change and its relation to global climate: A record from Lake Tanganyika, Tropical East Africa, over the past 90+ kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 155-167.

Cuven S. Francus P. Lamoureux S.F. 2010. Estimation of grain size variability with micro X-ray fluorescence in laminated lacustrine sediments, Cape Bounty, Canadian High Arctic. *Journal of Paleolimnology*, 44, 803-817.

Koinig K.A. Shotyk W. Lotter A.F. Ohlendorf C. & Sturm S. 2003. 9000 years of geochemical evolution of lithogenic major and trace elements in the sediment of an alpine lake: the role of climate, vegetation, and land-use history. *Journal of Paleolimnology*, 30, 307–320.

Munsell soil color charts (2015)

Shepard F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24, 151-158.

ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020a. «Π1.1» ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ «Αναλυτική Τεχνική Έκθεση της πρόσφατης ποιοτικής μεταβολής της δελταϊκής ακτογραμμής».

ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b. «Π1.2» ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ «Ψηφιακή αποτύπωση της υποθαλάσσιας μορφολογίας και της παλαιοακτογραμμής του Δέλτα του ποταμού Καλαμά μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)»

ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c. «Π2.1» ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ «Αναλυτική τεχνική έκθεση με όλα τα δεδομένα των ιζηματολογικών, ορυκτολογικών και γεωχημικών αναλύσεων, τον προσδιορισμό του καθεστώτος των βροχοπτώσεων (παλαιοϋετός) και των θερμοκρασιακών αλλαγών του παρελθόντος»

ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020d. Παραδοτέο 2.2 Αναλυτική τεχνική έκθεση με όλα τα αποτελέσματα των εργαστηριακών μετρήσεων της Φωταύγειας και τον προσδιορισμό του ρυθμού ιζηματογένεσης της περιοχής.

ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020e. Παραδοτέο 3.3 Ψηφιακή αποτύπωση, μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, της μελλοντικής δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά για κάθε σενάριο πρόβλεψης συνοδευόμενο από τους αντίστοιχους επιστημονικούς απολογισμούς.

Καραγεωργίου Μ.Μ. 2005. Διαχρονική εκτίμηση των μεταβολών της ακτογραμμής του δέλτα του ποταμού Καλαμά, Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα.

Καρύμπαλης Ε. Γάκη-Παπαναστασίου Κ. 2005. Γεωμορφολογική Μελέτη των Δέλτα των Ποταμών Πηνειού, Καλαμά, Εύηνου και Μόρνου.