



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 (MIS)**

**«Π4.1» ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ**

**«Ολοκληρωμένο Διαχειριστικό Σχέδιο του Δέλτα του ποταμού Καλαμά με έμφαση στην αντιμετώπιση του φαινομένου της παράκτιας διάβρωσης»**

**Ιωάννινα, 27/07/2020**



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο  
Περιφερειακής Ανάπτυξης

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Περιεχόμενα

1. Εισαγωγικά Στοιχεία.....	1
1.1 Δελταϊκά περιβάλλοντα.....	2
1.2 Σημασία των δέλτα για τον άνθρωπο .....	3
2. Μεταβολή ακτογραμμών .....	5
2.1 Παράκτια διάβρωση .....	5
3. Επιπτώσεις ανόδου της θαλάσσιας στάθμης .....	8
4. Διαχείριση παράκτιων ζωνών.....	11
4.1 Έργα προστασίας της ακτογραμμής.....	12
4.1.1 Κυματοθραύστες.....	12
4.1.2 Πρόβολοι .....	13
4.1.3 Μέθοδοι αναπλήρωσης της ακτής.....	14
5. Το δέλτα του ποταμού Καλαμά .....	17
5.1 Γεωλογία και τεκτονική.....	18
5.2 Υδρολογία.....	20
5.3 Κλίμα.....	21
5.4 Τοπογραφία της λεκάνης απορροής .....	21
5.5 Βιοποικιλότητα στο Δέλτα Καλαμά .....	22
5.6 Πιέσεις.....	23
5.7 Πρόσφατη μεταβολή της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά .....	24
6. Εργασίες πεδίου και εργαστηριακές αναλύσεις .....	31
6.1 Εργασίες Πεδίου.....	31
6.2 Εργαστηριακές Αναλύσεις .....	32
6.2.1 Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνων.....	32
6.2.3 Ιζηματολογία .....	34
6.2.4 Ορυκτολογικές αναλύσεις ιζημάτων .....	44
6.2.4 Γεωχημικές αναλύσεις ιζημάτων.....	46

6.2.5 Χρονολόγηση με τη μέθοδο της φωταύγειας .....	58
6.2.6 Πλαίσιο εξέλιξης της δελταϊκής ακολουθίας του ποταμού Καλαμά .....	61
7. Εκτίμηση της τρωτότητας της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά. ....	63
8. Επιπτώσεις από τη μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας στο δέλτα του ποταμού Καλαμά .	73
8.1 Σενάριο 1: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να χαθούν έπειτα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m.....	73
8.3 Σενάριο 3: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να χαθούν έπειτα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m.....	78
9. Πρόληψη και Διαχείριση .....	82
9.1 Μέτρα Προστασίας της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά .....	84
9.1 Επικρατέστερες ήπιες μέθοδοι προστασίας του δέλτα του ποταμού Καλαμά .....	87
9.2 Αξιολόγηση των μέτρων προστασίας.....	89
10. Συμπεράσματα .....	90
Βιβλιογραφικές αναφορές .....	92

## 1. Εισαγωγικά Στοιχεία

Τα Δέλτα των ποταμών συγκαταλέγονται μεταξύ των πιο πολύπλοκων και δυναμικά μεταβαλλόμενων συστημάτων της παράκτιας ζώνης, εξαιτίας των πολλών φυσικών παραγόντων που συμμετέχουν στη διαμόρφωση και εξέλιξή τους. Περισσότερα από τα δύο τρίτα των μεγαλύτερων δέλτα των ποταμών του κόσμου συρρικνώνονται λόγω της επιδεινούμενης κλιματικής αλλαγής, το οποίο σε συνδυασμό με την ανθρώπινη δραστηριότητα εντείνουν την εξαφάνισή τους. Συγκεκριμένα, η παράκτια ζώνη του ελλαδικού χώρου, η οποία συνιστάται στο μεγαλύτερο τμήμα της από δέλτα ποταμών, απειλείται από την ολοένα αυξανόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την παρουσία του χαμηλού αναγλύφου που επικρατεί στις ελληνικές δελταϊκές ακτογραμμές, θέτουν σε κίνδυνο ένα μεγάλο τμήμα του ζωτικού της χώρου. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η ευρύτερη περιοχή των εκβολών του ποταμού Καλαμά, όπου παρατηρείται μια χρονικώς εξελισσόμενη μεταβολή της χαμηλού υψομέτρου παράκτιας ζώνης της, η οποία σε συνδυασμό με το πλημμυρικό καθεστώς που παρατηρείται στην περιοχή και τη διάβρωση και υποχώρηση της ακτογραμμής, οι οποίες αναμένεται να ενταθούν μεσοπρόθεσμα με την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (IPCC, 2007), κρίνονται άκρως απειλητικές για την ευρύτερη περιοχή, ένα μεγάλο μέρος της οποίας καταλαμβάνεται από καλλιεργήσιμα εδάφη. Συνεπώς, οι επιπτώσεις θα είναι σημαντικές όχι μόνο για τις τοπικές αγροτικές οικονομίες αλλά και σε περιβαλλοντικό και κοινωνικό - οικονομικό επίπεδο, καθώς η περιοχή είναι υψίστης σημασίας αφού είναι ενταγμένη στο Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000.

Η εκπόνηση του Σχεδίου Διαχείρισης του δέλτα του ποταμού Καλαμά το οποίο εστιάζει στην αντιμετώπιση του φαινομένου της παράκτιας διάβρωσης, πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος ΕΣΠΑ (Εταιρικό Σύμφωνο για το Πλαίσιο Ανάπτυξης) 2014-2020 με τίτλο «ΜΕΛΕΤΗ, ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΔΕΛΤΑΪΚΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΑΛΑΜΑ» με φορέα υλοποίησης το Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος». Ανώτερο στόχο του Σχεδίου Διαχείρισης αποτελεί η 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.

Για την εκπόνηση του Σχεδίου Διαχείρισης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και αποτελέσματα από εργασίες πεδίου και εφαρμογή διαφορετικών τεχνικών ανάλυσης τα οποία διατέθηκαν από το Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος». Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αεροφωτογραφιών διαφορετικών ετών λήψης, κοκκομετρικών/γεωχημικών/ορυκτολογικών αναλύσεων

ιζημάτων καθώς και γεωχρονολογήσεων με τη μέθοδο της Οπτικά Διεγειρόμενης Φωταύγειας, η αξιολόγηση των οποίων οδήγησε: α) στον καθορισμό της τρωτότητας της παράκτιας ζώνης του δέλτα του ποταμού Καλαμά, μέσω εκτίμησης του δείκτη παράκτιας τρωτότητας (CVI), β) στον υπολογισμό των εκτάσεων ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, λαμβάνοντας υπόψη τρία διαφορετικά σενάρια ανόδου και γ) στην πρόταση μέτρων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της διάβρωσης κατά μήκος της παράκτιας ζώνης του δέλτα.

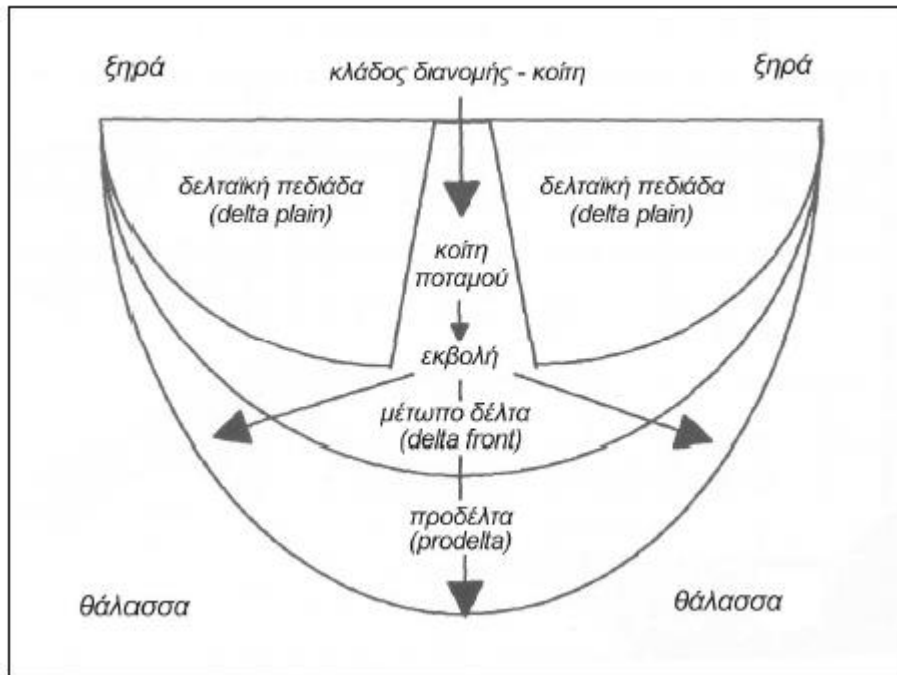
### **1.1 Δελταϊκά περιβάλλοντα**

Τα δέλτα αποτελούν δυναμικώς μεταβαλλόμενα φυσικά συστήματα, άμεσα συνδεδεμένα με τις μεταβολές των συνθηκών εντός και εκτός των λεκανών απορροής τους. Βασικό παράγοντα σχηματισμού ενός δέλτα αποτελεί η ύπαρξη ταχύτερου ρυθμού προσφοράς ιζήματος από το ποτάμι σε σχέση με τον ρυθμό απομάκρυνσης αυτού από τις θαλάσσιες διεργασίες καθώς και οι κλιματικές συνθήκες, το είδος και η πυκνότητα βλάστησης, η ανθρώπινη δραστηριότητα (κατασκευή φραγμάτων, οικιστική δραστηριότητα), η λιθολογική σύσταση και η τεκτονική καταπόνηση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής, η κυματική ενέργεια, το βάθος της λεκάνης υποδοχής των ιζημάτων, το εύρος παλίρροιας, τα παράκτια ρεύματα και η γεωμετρία του κόλπου (Καρύμπαλης, 2010).

Η αρκετά χαμηλή μορφολογική κλίση και η σταδιακή καθίζηση της επιφάνειας των δέλτα, λόγω συμπύκνωσης του χαλαρού ιζήματος με τη πάροδο του χρόνου, σε συνδυασμό με την παρουσία της ανθρώπινης δραστηριότητας κατατάσσουν τα δέλτα σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας από μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Καρύμπαλης κ.ά., 2014).

Τα δελταϊκά περιβάλλοντα (εικόνα 1) αποτελούνται από τη δελταϊκή πεδιάδα (τμήμα που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας), το μέτωπο του δέλτα (τμήμα εκβολής, ακτογραμμής και ένα μικρό τμήμα του υποθαλάσσιου δέλτα) και το προδέλτα (υποθαλάσσιο τμήμα) (Καρύμπαλης, 2004).

Στον ελλαδικό χώρο, τα ποτάμια παρουσιάζουν υψηλές τιμές στερεοπαροχής, λόγω της μεγάλης ποσότητας ιζήματος που προκύπτει από τη μεγάλη κλίση του ανάγλυφου, τη μεγάλη κλίση των κοιτών, τις υψηλές τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης (ιδιαίτερα σε μεγάλα υψόμετρα και κυρίως στη δυτική Ελλάδα) και την ευδιάβρωτη λιθολογία των σχηματισμών που καλύπτουν τις λεκάνες απορροής.



Εικόνα 1: Μορφολογικά χαρακτηριστικά των δέλτα (Καραγεωργίου, 2005)

## 1.2 Σημασία των δέλτα για τον άνθρωπο

Τα δέλτα διαθέτουν, πέραν της οικολογικής, μεγάλη κοινωνική και οικονομική αξία αφού ανέκαθεν αποτελούσαν πόλο έλξης για την ανάπτυξη πληθώρας δραστηριοτήτων, σημαντικών για τον άνθρωπο (Καρύμπαλης, 2010).

Βασικοί παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη της ανθρώπινης δραστηριότητας είναι η ήπια τοπογραφία των δέλτα (χαμηλό, ομοιόμορφο και ομαλό ανάγλυφο), η οποία διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των περιοχών τους, η ευφορία των εδαφών τους (τροφοδοσία του εδάφους με ιλύ, κυρίως λόγω των πλημμυρών στη δελταϊκή πεδιάδα) τα οποία είναι εμπλουτισμένα με πλήθος συστατικών που τα καθιστά ιδανικά για γεωργικές καλλιέργειες, καθώς και η δυνατότητα κατασκευής εγγειοβελτιωτικών έργων (έργα αποξήρανσης και αποστράγγισης των υγρών περιοχών της δελταϊκής πεδιάδας) τα οποία μπορεί να αυξήσουν σημαντικά την έκταση της εύφορης γεωργικής γης (εικόνα 2).



**Εικόνα 2:** Ανάπτυξη γεωργικής δραστηριότητας σε δελταϊκές πεδιάδες (πηγή: <https://www.ppic.org>)

## 2. Μεταβολή ακτογραμμών

Οι ακτογραμμές αποτελούν δυναμικά συστήματα αλληλεπίδρασης ακτής-θάλασσας, οι οποίες επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις διεργασίες διάβρωσης και απόθεσης ιζημάτων λόγω φυσικών ή/και ανθρωπογενών παραγόντων (πίνακας 1). Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που συμβάλουν στη μεταβολή των ακτογραμμών με κυριότερους: τους κυματισμούς, τις παλίρροιες, τη μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, την ιζηματοπόθεση, τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής, το κλίμα, την επιφανειακή απορροή από τις βροχές και τους βιολογικούς δείκτες. Οι ανθρώπινοι παράγοντες σχετίζονται κυρίως με κατασκευές όπως προκυμαίες, προβλήτες, κυματοθραύστες, φράγματα και αμμοληψίες τα οποία επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στη μορφή και λειτουργία της ακτής.

**Πίνακας 1: Χώρο-χρονική κλίμακα μεταβολής των ακτογραμμών και των παραλίων από φυσικά αίτια (από Δουκάκης, 2007)**

Κλίμακα (χρονική – χωρική)	Φυσικά αίτια
Αιώνες ή χιλιετηρίδες – περισσότερο των 100km	<ul style="list-style-type: none"><li>☉ Διαθεσιμότητα σε ιζήματα</li><li>☉ Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης</li><li>☉ Κατακόρυφες κινήσεις του πυθμένα</li><li>☉ Γεωλογικό υπόβαθρο</li><li>☉ Γεωλογικής κλίμακας κλιματικές αλλαγές</li><li>☉ Παλαιομορφολογία</li></ul>
Δεκάδες χρόνια έως μερικούς αιώνες – 10 έως 100km	<ul style="list-style-type: none"><li>☉ Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης</li><li>☉ «Κύματα άμμου»</li><li>☉ Τοπικές κλιματικές μεταβολές</li><li>☉ Ακραία καιρικά φαινόμενα</li></ul>
1 έως 10 χρόνια – 1 έως 5km	<ul style="list-style-type: none"><li>☉ Κλιματικές μεταβολές κυμάτων</li><li>☉ Μεταβολή του αναβαθμού της ζώνης κυματαγωγής</li><li>☉ Ακραία καιρικά φαινόμενα</li></ul>
Ώρες έως 1 έτος – 10m έως 1km	<ul style="list-style-type: none"><li>☉ Κύματα, παλίρροιες και καταγίδες</li><li>☉ Εποχιακές κλιματικές αλλαγές</li></ul>

### 2.1 Παράκτια διάβρωση

Η παράκτια διάβρωση (εικόνα 3) η οποία αποτελεί συνήθως μια μη αναστρέψιμη διεργασία μπορεί να επιφέρει σοβαρές κοινωνικο-οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές (Καρύμπαλης, 2010). Το πρόβλημα της διάβρωσης είναι παγκοσμίου κλίμακας το οποίο εντείνεται ολοένα και περισσότερο, με το 20% των ακτών του ευρωπαϊκού χώρου να υποχωρούν με ρυθμούς μεταξύ 0.5-2 m/yr (EuroSION, 2004). Βασικότερες συνέπειές της αποτελούν η μείωση της οικολογικής αξίας, αρνητικές επιπτώσεις στην οικονομία και απώλειες ανθρώπινης ζωής και περιουσίας. Ως εκ τούτου, η παράκτια διάβρωση αποτελεί μια από τις σημαντικότερες συνέπειες ανόδου της θαλάσσιας



στάθμης, αφού συμβάλει στην κατάκλυση σημαντικών παράκτιων υδροβιότοπων, απειλεί το δομημένο περιβάλλον και υποβαθμίζει τα υπόγεια ύδατα λόγω υφαλμύρινσής τους.



**Εικόνα 3: Παράκτια διάβρωση (πηγή: <https://www.whoi.edu/>)**

Η υποχώρηση της ακτογραμμής (πίνακας 2) οφείλεται κυρίως στη μείωση της στερεοπαροχής των ποταμών, όπου η παροχή ιζήματος περιορίζεται, με αποτέλεσμα ο ρυθμός απομάκρυνσης του υλικού να είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό απόθεσης. Εξίσου σημαντικό ρόλο παίζει η γεωλογία και γεωμορφολογία της ακτής, όπου σε ακτές αποτελούμενες από υλικά μεγάλης αντοχής παρατηρείται μικρότερος ρυθμός διάβρωσης, ενώ σε ακτές με χαλαρά υλικά παρατηρείται αρκετά μεγαλύτερος. Στις αμμώδεις ακτές η διείσδυση του νερού είναι μικρότερη σε σχέση με τις ακτές με χαλίκια, όπου σημειώνεται μεγαλύτερη διείσδυση του νερού, το οποίο οδηγεί στη μείωση της ενέργειας λόγω τριβής και περαιτέρω στη μείωση του ρυθμού διάβρωσης. Σε περιοχές με έντονη γεωμορφολογία το φαινόμενο διάθλασης των κυμάτων είναι εντονότερο δημιουργώντας έτσι τη συσσώρευση ενέργειας, ενώ σε αμμώδεις παραλίες, παρατηρείται απόκλιση των κυμάτων και μείωση της ενέργειας λόγω τριβής με τον πυθμένα (Καρύμπαλης, 2010).

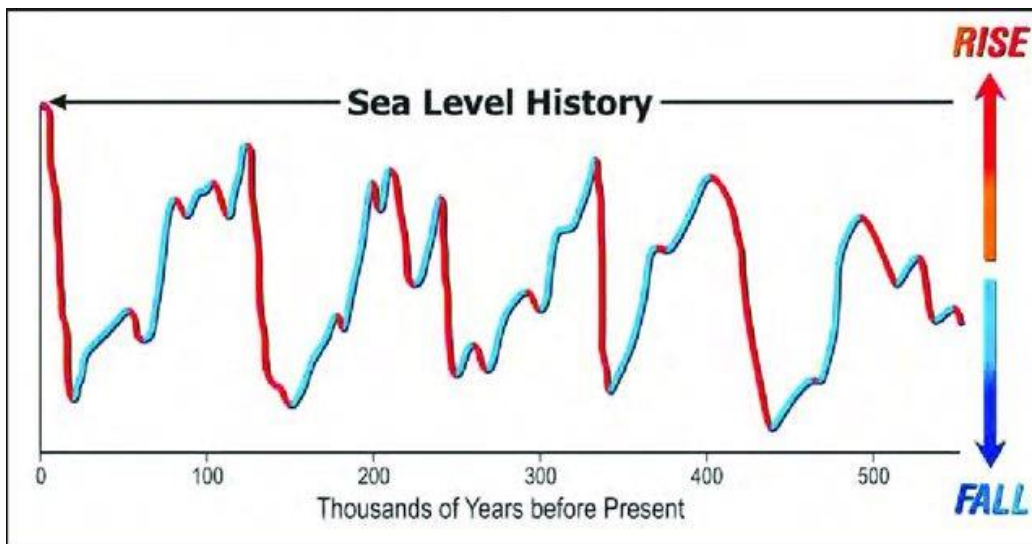
**Πίνακας 2: Διεργασίες που επηρεάζουν τον βαθμό εκδήλωσης του φαινομένου της παράκτιας διάβρωσης (Καρύμπαλης, 2010)**

<b>Φυσικές και Ανθρωπογενείς Διεργασίες</b>	
<b>Άμεσος Παράκτιος χώρος</b> Κυματισμός	<b>Ηπειρωτικές χερσαίες περιοχές</b> Κατασκευή έργων για την αντιδιαβρωτική προστασία των εδαφών των υδρολογικών λεκανών
Παράκτια ρεύματα	Εντατικές καλλιέργειες
Άνοδος θαλάσσιας στάθμης	Αναδασώσεις
Οικιστική και τουριστική ανάπτυξη των ακτών	Κατασκευή φραγμάτων στα ανάντη τμήματα των ποταμών

Ο ρυθμός της παράκτιας διάβρωσης που προκαλείται από τη δράση των θαλάσσιων κυμάτων επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων (Σιαφάκας, 2003) και συγκεκριμένα, την ένταση και το ύψος των κυμάτων, το είδος και τη συνεκτικότητα των ιζημάτων της ακτής, την τεκτονική της περιοχής, την κλίση και το βάθος του πυθμένα, την παλίρροια καθώς και τα τεχνικά έργα προστασίας στην περιοχή. Σε βραχώδεις ακτές, αποτελέσματα της διάβρωσης είναι η δημιουργία απότομων κρημνών και θαλάσσιων σπηλαίων, ενώ σε αμμώδεις παρατηρείται σημαντική μείωση του πλάτους της ακτής με ταυτόχρονη δημιουργία μιας αβαθούς ζώνης μικρής κλίσης (Σιαφάκας, 2003).

### 3. Επιπτώσεις ανόδου της θαλάσσιας στάθμης

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχει παρατηρηθεί δραματική αύξηση της μέσης παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης, αφενός λόγω της ανακατανομής ηπείρων και ωκεανών μέσα από ορογενετικές διαδικασίες και αφετέρου λόγω της κλιματικής αλλαγής. Παρατηρώντας την εξέλιξη της παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης (εικόνα 4) κατά τα τελευταία 500.000 χρόνια (500 ka), παρατηρείται ότι κατά την μεσοπαγετώδη περίοδο των 400.000 ετών (400 ka) η στάθμη της θάλασσας βρισκόταν περίπου στα σημερινά επίπεδα (Rohling et al., 2010), όπως και για τις νεότερες μεσοπαγετώδεις περιόδους των 320.000 ετών (320 ka), 237.000 ετών (237 ka) και 197.000 ετών (197 ka). Στις επόμενες νεότερες μεσοπαγετώδεις περιόδους (Otto-Bliesner et al., 2006; Siddall et al., 2008; Kopp et al., 2009) παρατηρείται ένας ρυθμός αύξησης της στάθμης της θάλασσας.

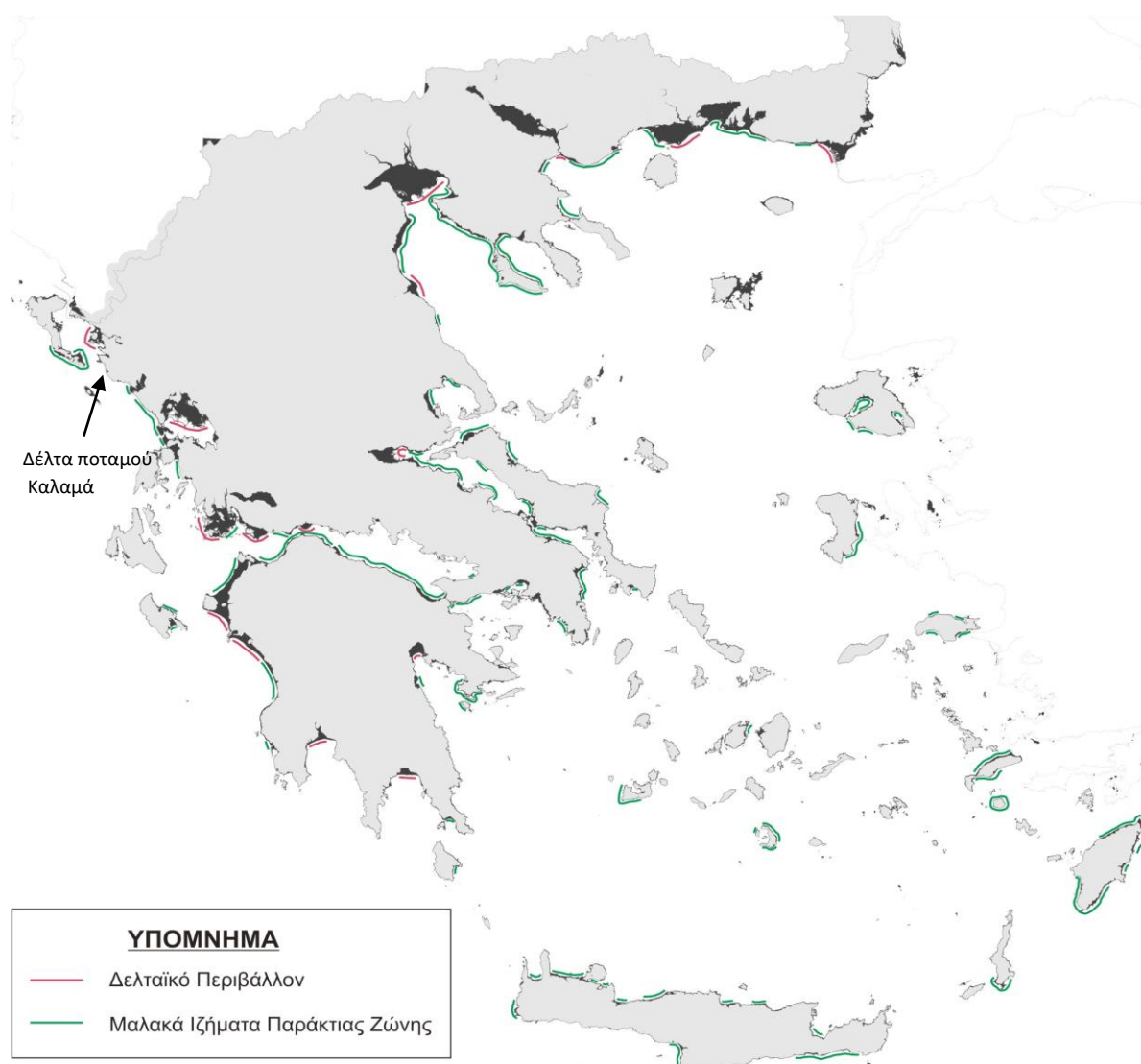


**Εικόνα 4:** Ευστατική καμπύλη της σχετικής θαλάσσιας στάθμης κατά τα τελευταία 500 χιλιάδες χρόνια (500 ka) (Rohling et al., 2010).

Από την τελευταία παγετώδη περίοδο έως τη μέγιστη στάθμη της ολοκαινικής θερμής περιόδου (2–3 ka) παρατηρείται άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά 120 μέτρα (Shackleton N., 2000; Waelbroeck et al., 2002; Siddall et al., 2003; Peltier and Fairbanks, 2006), ενώ από τα 2–3 ka πριν μέχρι τον 19<sup>ο</sup> αιώνα παρατηρούνται μικρές μεταβολές της στάθμης της. Σήμερα, ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης είναι της τάξης των 1–2 mm/year (Bindoff et al., 2007), ενώ εκτιμάται ότι στο μέλλον θα αυξηθεί λόγω της κλιματικής αλλαγής (Church et al., 2001).

Η ανοδική τάση της θαλάσσιας στάθμης κατά τις τελευταίες δεκαετίες σε συνδυασμό με τις προβλέψεις (IPCC, 2007) για ακόμη μεγαλύτερη αύξηση αυτής έως και 2 m μέχρι το 2100, καθιστά επιτακτική την ανάγκη διερεύνησης των παράκτιων περιοχών υψηλής επικινδυνότητας λόγω προέλασης της θάλασσας. Στον ελλαδικό χώρο, περιοχές υψηλότερης επικινδυνότητας αποτελούν οι δελταϊκές (Παπανικολάου et

al., 2011), οι οποίες είναι παράκτιες περιοχές χαμηλού υψομέτρου αποτελούμενες κυρίως από χαλαρά μη συνεκτικά ιζήματα, όπως η δελταϊκή περιοχή του Εύηνου στο Μεσολόγγι, του Καλαμά στην Ηγουμενίτσα, του Αχελώου, του Μόρνου στον Κορινθιακό (κοντά στην Ναύπακτο), του Πηνειού και του Αλφειού στην Ηλεία, του Αλιάκμονα και του Αξιού στον Θερμαϊκό, του Πηνειού στο Βόρειο Αιγαίο (κοντά στον Πλαταμώνα), του Στρυμόνα στην Αμφίπολη, του Νέστου (προς τα Άβδηρα), του Έβρου, όπως επίσης και οι δελταϊκές περιοχές στους κόλπους του Μαλλιακού, του Αμβρακικού, του Λακωνικού, του Μεσσηνιακού και Αργολικού (εικόνα 5). Στον ρυθμό ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, στην περίπτωση των δελταϊκών αποθέσεων, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη μια πρόσθετη καθίζηση του εδάφους εξαιτίας της συμπίκνωσης των ιζημάτων.



**Εικόνα 5:** Χάρτης απεικόνισης παράκτιων ζωνών υψηλής τρωτότητας στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (ερυθρό χρώμα) και μέτριας τρωτότητας (πράσινο χρώμα).

Παρατηρώντας τον παραπάνω χάρτη, γίνεται αντιληπτό ότι η περιοχή μελέτης-δέλτα Καλαμά ανήκει στις περιοχές υψηλής τρωτότητας σε ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης και επομένως χρήζει άμεσης αντιμετώπισης, καθώς απειλείται ο παράκτιος ζωνικός της χώρος. Συνεπώς, οι περιβαλλοντικές και κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις στις τοπικές κοινωνίες θα είναι άμεσες, αφού η περιοχή αφενός αποτελεί πόλο έλξης για την εγκατάσταση μεγάλου μέρους του πληθυσμού της Ηγουμενίτσας συγκεντρώνοντας μεγάλο τμήμα τουριστικών, γεωργικών και αλιευτικών δραστηριοτήτων και αφετέρου ανήκει στο Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000.

#### 4. Διαχείριση παράκτιων ζωνών

Οι παράκτιες ζώνες είναι περιοχές ζωτικής σημασίας καθώς αποτελούνται από ιδιαίτερα φυσικά, αλλά και κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά, αφού διαθέτουν χαρακτηριστική βιοποικιλότητα και ιδιαίτερες γεωμορφολογικές δομές, όπου εντοπίζονται ορισμένα από τα πολυτιμότερα οικοσυστήματα του πλανήτη (εκβολές ποταμών, πεδία κατάκλισης, βυθοί με βλάστηση θαλάσσιας πόας). Παρά το γεγονός ότι καταλαμβάνουν το 20% της χέρσου, ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του πληθυσμού της γης κατοικεί σε μία ζώνη πλάτους 200 km από την ακτή.

Επιπλέον, παρουσιάζουν μεγάλη τουριστική ανάπτυξη και αποτελούν μεταφορικό και εμπορικό «κόμβο», με τις μεγαλύτερες πόλεις του κόσμου να εντοπίζονται εντός παράκτιων ζωνών. Η έντονη αυτή κοινωνικο-οικονομική δραστηριότητα που χαρακτηρίζει τις παράκτιες ζώνες, σε συνδυασμό με τον ιδιαίτερο φυσικό πλούτο τους, τις καθιστά ευάλωτες σε πολλαπλές ανθρωπογενείς και φυσικές πιέσεις, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις.

Η σημαντικότητα των παράκτιων ζωνών τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο καθιστά απαραίτητη τη διαχείρισή τους στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης. Ως εκ τούτου, διεθνείς οργανισμοί έχουν αναπτύξει προγράμματα Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Παρακτίων Ζωνών και θεσπίσει κανόνες και νομοθεσίες (π.χ. Πρόγραμμα Δράσης 21 για το περιβάλλον των Ηνωμένων Εθνών) (UN, 1999). Για τον προσδιορισμό των γενικών αλλά και ειδικών προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι ευρωπαϊκές παράκτιες ζώνες καθοριστική ήταν η εφαρμογή του Προγράμματος Επίδειξης της Επιτροπής των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων για την ΟΔΠΖ σε 35 αντιπροσωπευτικές περιοχές της Ευρώπης (European Commission, 2000).

Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογής Σχεδίων Διαχείρισης παράκτιων ζωνών, δίνεται έμφαση στο χερσαίο τμήμα της παράκτιας ζώνης, με αποτέλεσμα η αντιμετώπιση του φαινομένου της διάβρωσης να εστιάζει στην απώλεια γης και καταστροφής παραλιακών υποδομών και περιουσιών χωρίς να δίνεται βαρύτητα στο σύνολο των παραγόντων που συμβάλλουν στην αύξηση του φαινομένου. Συνεπώς, σαν πρώτο βήμα κρίνεται απαραίτητη η αναγνώριση του κινδύνου και η εκτίμηση της επικινδυνότητας και τρωτότητας μιας παράκτιας περιοχής έναντι της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, και κατ' επέκταση η εκτίμηση των αρνητικών επιπτώσεων σε περιβαλλοντικό, φυσικο-γεωγραφικό και κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο και η λήψη μέτρων προστασίας.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, το ενδιαφέρον των γεωεπιστημόνων εστιάζεται στη διερεύνηση της απόκρισης διάφορων ακτών σε πιθανά σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Οι βασικότερες μεθοδολογίες (Thieler and Hammar-Klose, 1999) που εφαρμόζονται για την πρόβλεψη της εξέλιξης των παράκτιων ζωνών βασίζονται στη μελέτη και αξιολόγηση ιστορικών δεδομένων (διαχρονική μεταβολή

της ακτογραμμής) καθώς και στη χρήση στατιστικών μοντέλων κατάκλυσης και δυναμικής παράκτιων ιζημάτων.

#### 4.1. Έργα προστασίας της ακτογραμμής

Για την προστασία από την παράκτια διάβρωση, απαιτούνται τεχνικά έργα τα οποία μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: (α) τα συμβατικά και (β) τα ήπια, ανάλογα με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνουν στον παράκτιο χώρο (πίνακας 3). Επιπλέον, διακρίνονται ανάλογα με τον προσανατολισμό του διαμήκου άξονά τους και την απόστασή τους από την ακτογραμμή ως εξής: θωράκιση του μετώπου της ακτής ή έργα στην ακτή, έργα (σχεδόν) παράλληλα και σε απόσταση από την ακτογραμμή (κυματοθραύστες), έργα (σχεδόν) κάθετα ή υπό γωνία ως προς την ακτογραμμή, σε επαφή με αυτή (πρόβολοι) και αναπλήρωση παράκτιας ζώνης με εναλλακτικές μεθόδους.

Πίνακας 3: Έργα θωράκισης της ακτής.

Έργα θωράκισης της ακτής	
Συμβατικά	Ήπια
κυματοθραύστες	ύφαλοι κυματοθραύστες
πρόβολοι	αναβαθμοί

Για την ορθή επιλογή και σχεδιασμό των έργων θωράκισης της ακτής είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη διάφορες φυσικές και ανθρωπογενείς παράμετροι, όπως ο μηχανισμός διάβρωσης, το υδροδυναμικό και κυματικό καθεστώς της παράκτιας ζώνης, τα δεδομένα του διατιθέμενου ιζήματος, απαιτήσεις στατικότητας και λειτουργικότητας του έργου, καθώς επίσης και περιβαλλοντικοί, κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες.

##### 4.1.1 Κυματοθραύστες

Οι κυματοθραύστες είναι επιμήκη έργα που χρησιμοποιούνται για την προστασία της ακτογραμμής από τη διάβρωση και τη δράση των κυματισμών και συνήθως τοποθετούνται παράλληλα ή με μικρή κλίση προς την ακτογραμμή και σε κάποια απόσταση από αυτή (εικόνα 6). Η χρήση τους βρίσκει εφαρμογή σε ακτές λεπτόκοκκου ιζήματος με ανοιχτό μέτωπο στο πέλαγος, για την αποφυγή της διάβρωσης και διασφάλισης του πλάτους της ακτής. Με τη χρήση του κυματοθραύστη επιτυγχάνεται μείωση της δράσης των κυματισμών μέσω συνδυασμού θραύσης τους, ανάκλασης και διάχυσης της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας (Δασκαλάκης, 2009). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η δημιουργία ηπιότερου

κυματικού κλίματος, μειώνοντας την ικανότητα κίνησης του ιζήματος πίσω από τον κυματοθραύστη. Οι σημαντικότερες κατηγορίες κυματοθραυστών είναι οι εξής:

- Αποσπασμένοι τυπικοί κυματοθραύστες συμπαγούς διατομής
- Ιαπωνικού τύπου κυματοθραύστες
- Πλωτοί κυματοθραύστες
- Κυματοθραύστες πάνω σε πασσάλους: ελαφρές κατασκευές χρήσιμες σε περιπτώσεις χαλαρού πυθμένα
- Διάτρητοι κυματοθραύστες
- Ύφαλοι ή βυθισμένοι κυματοθραύστες



Εικόνα 6: Κυματοθραύστες κατά μήκος της ακτογραμμής (<https://en.wikipedia.org/wiki/Breakwater>).

#### 4.1.2 Πρόβολοι

Οι πρόβολοι αποτελούν έργα σταθεροποίησης της ακτής με τον διαμήκη άξονά τους να είναι κάθετος ή σχεδόν κάθετος στην ακτογραμμή και συνήθως τοποθετούνται διαδοχικά κατά μήκος της προστατευόμενης ακτογραμμής (εικόνα 7). Βασικός στόχος της τοποθέτησής τους είναι ο έλεγχος της στερεοπαροχής για την προστασία της ακτής από διαβρωτικά φαινόμενα και τη αποθήκευση ιζήματος για τη διατήρηση ενός ελάχιστου πλάτους ακτής. Το μήκος της ακτής το οποίο προστατεύεται με την



εγκατάσταση προβόλων εξαρτάται κυρίως από το μήκος του προβόλου και τη γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών.



Εικόνα 7: Πρόβολοι κατά μήκος της ακτογραμμής ([www.dredgingtoday.com](http://www.dredgingtoday.com)).

Ουσιαστικά, ο πρόβολος αποτελεί εμπόδιο στη μετακίνηση των ιζημάτων κατά μήκος της ακτής, η οποία μεταβάλλεται στην παρουσία αυτού του εμποδίου. Ως αποτέλεσμα της τοποθέτησης προβόλων είναι η απόθεση ιζήματος ανάντη του έργου και αύξηση του πλάτους της ακτής, ενώ παράλληλα εμφανίζεται διάβρωση κατόντη.

#### **4.1.3 Μέθοδοι αναπλήρωσης της ακτής**

Η μέθοδος αναπλήρωσης της ακτής (εικόνα 8) με ίζημα παρόμοιο με το ίζημα που υπάρχει στον πυθμένα αυτής είναι μία εναλλακτική τεχνική προστασίας από την παράκτια διάβρωση και εφαρμόζεται κυρίως σε ακτές όπου η διάβρωση λαμβάνει χώρα σε μεγάλο μήκος. Πέραν της προστασίας από τη διάβρωση, η μέθοδος εξασφαλίζει πρόσκαιρη αύξηση της ζώνης της ακτής, το οποίο αποτελεί σημαντικό στοιχείο ιδιαίτερα σε τουριστικές περιοχές και συνήθως απαιτείται επανάληψή της μετά το πέρας ορισμένου αριθμού ετών.

Ως μέθοδος θεωρείται ήπια και οικολογική λύση για την προστασία της ακτής από τη διάβρωση, αφού συνήθως δεν απαιτείται η κατασκευή έργων που παραμορφώνουν την όψη της ακτής και επιβαρύνουν το περιβάλλον της παράκτιας ζώνης. Ωστόσο, η απαίτηση επανάληψης της μεθόδου επιμηκύνεται

χρονικά σε περιπτώσεις κατασκευής έργων για τη συγκράτηση του ιζήματος, αλλά παράλληλα αυξάνει το κόστος του έργου και υποβαθμίζει το περιβάλλον.



**Εικόνα 8: Μέθοδοι αναπλήρωσης της ακτής ([www.blogs.oregonstate.edu](http://www.blogs.oregonstate.edu)).**

Η μέθοδος αναπλήρωσης της ακτής έχει υψηλό κόστος, το οποίο την καθιστά πολλές φορές ασύμφορη ειδικά για ακτές μικρού μήκους, ωστόσο, το κόστος του έργου μπορεί να μειωθεί με την αύξηση του μήκους της υπό προστασία ακτής. Σε αρκετές περιπτώσεις η μέθοδος παρουσιάζει αυξημένη πιθανότητα αστοχίας, διότι απαιτείται η εκτίμηση πολλών παραμέτρων, γι' αυτό απαιτείται λεπτομερής τεχνικο-οικονομική εξέταση, η οποία θα λαμβάνει υπόψη τους παράκτιους μηχανισμούς δράσης, τα χαρακτηριστικά του ιζήματος της ακτής, τη διαθεσιμότητα, την ποσότητα, την ποιότητα και την απόσταση του ιζήματος αναπλήρωσης, την εκτίμηση της διάρκειας ζωής και επανάληψης της μεθόδου, την ανάγκη έργων συγκράτησης του ιζήματος, την πιθανότητα αστοχίας του έργου και τους περιβαλλοντικούς / κοινωνικούς παράγοντες στην παράκτια περιοχή.

Η μέθοδος της αναπλήρωσης πρέπει να εξασφαλίσει ότι το αποτέλεσμα εφαρμογής της θα προσεγγίζει όσο είναι δυνατό τη διατομή ισορροπίας. Η εναπόθεση ιζήματος αναπλήρωσης σε μία ακτή οδηγεί στη μεταβολή των συνθηκών στερεομεταφοράς, επιδρά στην κυματική ενέργεια και μεταβάλλει τη γενικότερη ισορροπία του συστήματος, γι' αυτό ενεργοποιούνται οι παράκτιοι μηχανισμοί προκειμένου η παράκτια ζώνη να φτάσει σε μία νέα ισορροπία. Ο σχεδιασμός εφαρμογής της μεθόδου θα πρέπει να

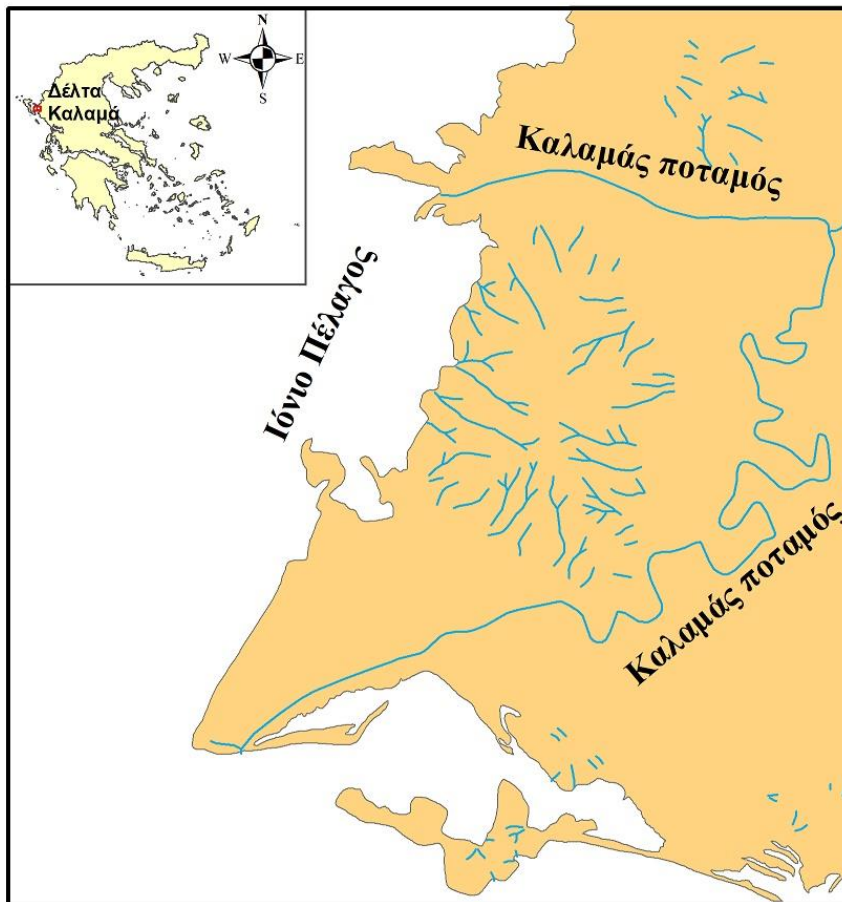
συμπεριλάβει τη δημιουργία της τεχνητά διαμορφωμένης κλίσης πυθμένα, έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατό παρόμοια με την κλίση της διατομής ισορροπίας στην παράκτια ζώνη. Επιπλέον, το μέγεθος κόκκων του ιζήματος αναπλήρωσης προτιμάται να είναι μεγαλύτερο από το υπάρχον, εξασφαλίζοντας έτσι την απώλεια ιζήματος στα ανοιχτά και την καλύτερη διανομή του.

Πολλές φορές κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή έργων συγκρατήσεως του ιζήματος και σταθεροποίησης της διατομής της παράκτιας ζώνης, μέσω της κατασκευής υφάλων για την επιβράδυνση της μεταφοράς μάζας από τη ζώνη αποσβέσεως στη ζώνη πριν από τη θραύση ή διάτρητων κυματοθραυστών που επιτρέπουν συγκεκριμένη ποσότητα διερχόμενης ενέργειας. Η κατασκευή υφάλων επιβραδύνει τη μεταφορά μάζας από τη ζώνη αποσβέσεως στη ζώνη πριν από τη θραύση. Σημαντικό ρόλο στον τρόπο απόκρισης της παράκτιας ζώνης, παίζουν ο χώρος και ο τρόπος εναπόθεσης του ιζήματος αναπλήρωσης. Η εναπόθεση του ιζήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω βυθοκόρων, οι οποίες αντλούν ίζημα από διπλανή περιοχή που ονομάζεται ζώνη προσάμμωσης και το εναποθέτουν στη ζώνη αποσβέσεως της ακτής.

Η μεταφορά και εναπόθεση ιζήματος με μηχανικά μέσα αποτελεί μία άλλη προσέγγιση αναπλήρωσης της ακτής. Στην περίπτωση αυτή το ίζημα εναποτίθεται υψηλότερα από τη μέγιστη στάθμη της θάλασσας, στα όρια της ζώνης διάβρωσης επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη προστασία της ενδοχώρας.

## 5. Το δέλτα του ποταμού Καλαμά

Ο ποταμός Καλαμάς (Θύαμις), ο μεγαλύτερος ποταμός της Ηπείρου, έχει μήκος 115 km, πηγάζει από τα ελληνοαλβανικά σύνορα και εκβάλλει στο Ιόνιο πέλαγος (εικόνα 9). Το δέλτα του ποταμού έχει έκταση 78 km<sup>2</sup> και αποτελείται από δύο κοίτες, την παλαιά και τη νέα, αλλά και ελώδεις και υφάλμυρες εκτάσεις, υγρά λιβάδια, αλίπεδα, καλαμώνες και δασύλλια με αρμυρίκια (εικόνα 10). Το υψόμετρο των επίπεδων δελταϊκών εκτάσεων κυμαίνεται από 0 έως 12 m, ενώ μέσα σε αυτές ορθώνονται υψηλοί λόφοι μορφής νησιών, αλλά και άλλοι μικρότεροι.



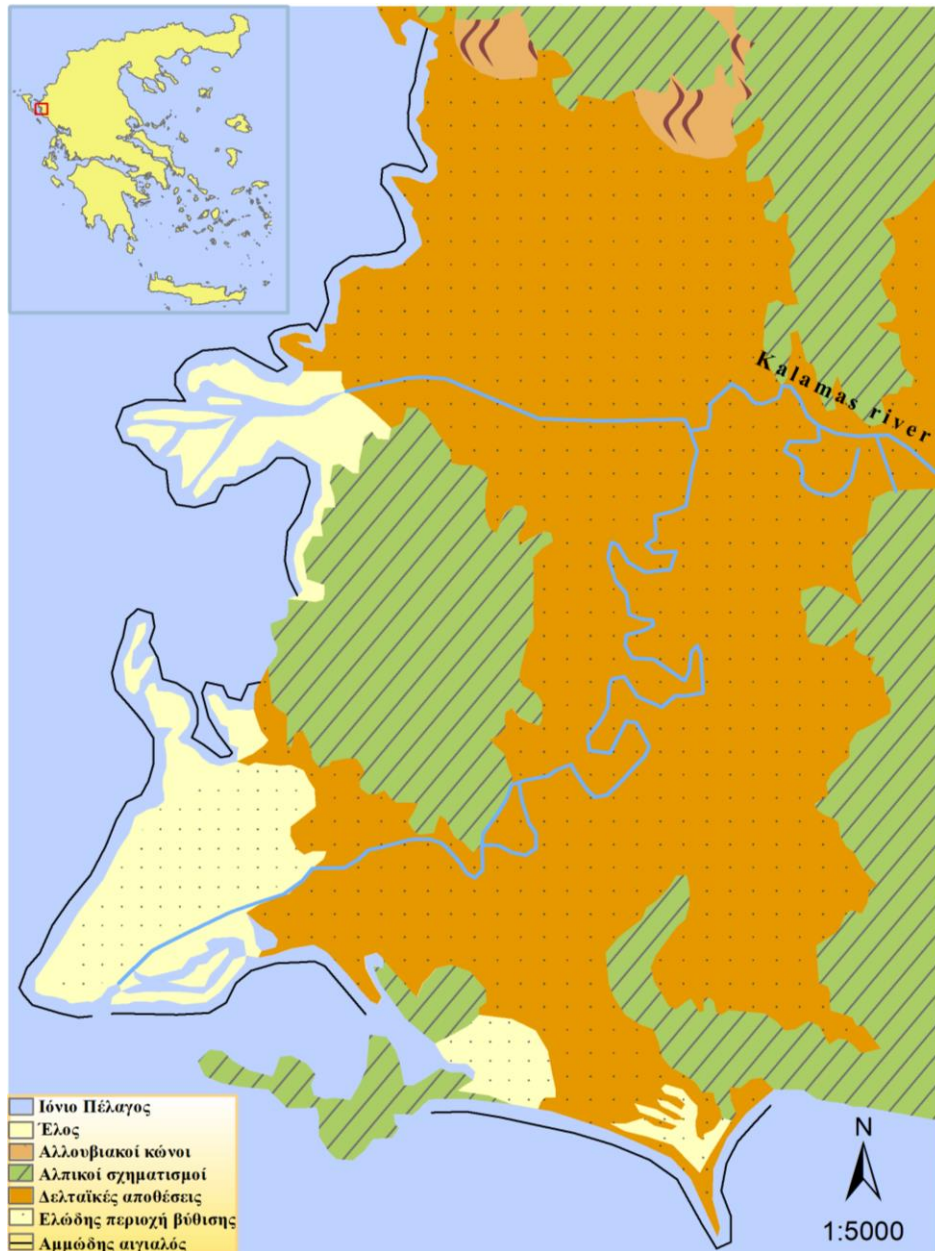
Εικόνα 9: Γεωγραφική θέση του δέλτα του ποταμού Καλαμά (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020α).



**Εικόνα 10:** Η λιμνοθάλασσα της Βατάτσα στο δέλτα του ποταμού Καλαμά ([www.10000birds.com](http://www.10000birds.com)).

### **5.1 Γεωλογία και τεκτονική**

Η γεωλογία της περιοχής (εικόνα 11) καθώς και η τεκτονική της έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση και εξέλιξη του δέλτα του ποταμού Καλαμά. Το δέλτα του ποταμού αποτελείται από αλπικούς και μεταλπικούς σχηματισμούς, ενώ σε ένα μεγάλο τμήμα αυτού και κατά μήκος της κοίτης του απαντώνται χαλαρές ολοκαινικές αποθέσεις. Όλα τα ιζήματα που απαντώνται στην περιοχή έρευνας εμφανίζονται πτυχωμένα με εξαίρεση τις τεταρτογενείς αποθέσεις. Στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής απαντώνται πρόσφατες προσχώσεις του ποταμού Καλαμά, το δέλτα του οποίου αναπτύσσεται προεκτεινόμενο στο Ιόνιο Πέλαγος. Το ορεινό τμήμα της περιοχής αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους με μικρή παρουσία σχιστολίθων, δολομιτών και φλύσχη (Γεωλογικό Φύλλο Σαγιάδα, ΙΓΜΕ 1969, κλίμακα 1:50.000).



Εικόνα 11: Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης του δέλτα ποταμού Καλαμά (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020α).

Στη λεκάνη απορροής του ποταμού Καλαμά απαντώνται αλπικοί και μεταλικοί σχηματισμοί. Οι αλπικοί σχηματισμοί της περιοχής ανήκουν στην Ιόνιο γεωτεκτονική ζώνη και είναι οι ακόλουθοι:

- Γύψοι Τριαδικής ηλικίας, περιορισμένης έκτασης κυρίως στο δυτικό τμήμα της λεκάνης απορροής
- Λατυποπαγή του Κατώτερου Τριαδικού, κυρίως υπολείμματα από τη διάλυση γύψου στο δυτικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης
- Ασβεστόλιθοι με “cardita”, ηλικίας Μέσου – Ανώτερου Τριαδικού
- Ασβεστόλιθοι της φάσης του Παντοκράτορα, ηλικίας Αν. Κρητιδικού –Λιάσιου

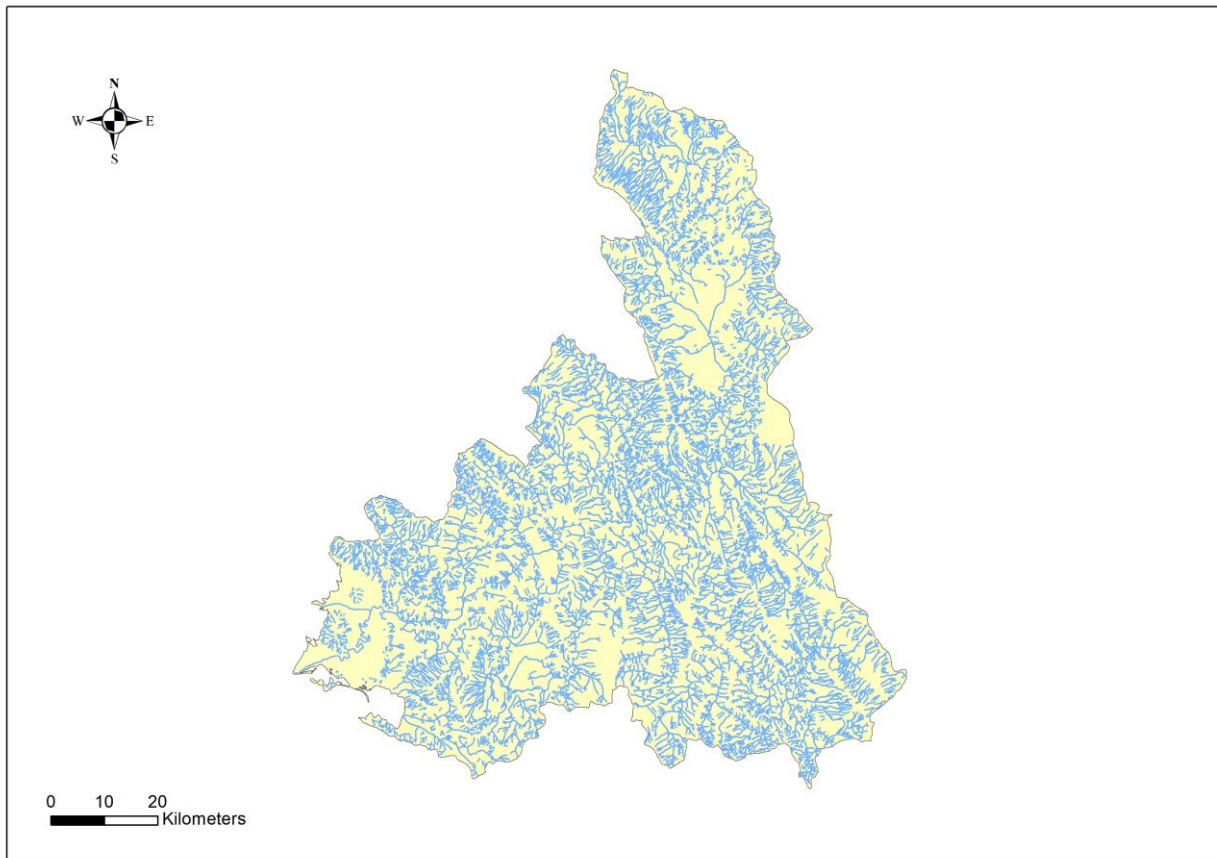
- Ammonitico Rosso, ασβεστόλιθοι με filaments ή πυριτικοί σχιστόλιθοι με ποσειδώνιες ηλικίας Τοάρσιου – Δογγέριου, περιορισμένης εξάπλωσης
- Πλακώδεις ασβεστόλιθοι με πυριτιόλιθους της φάσεως Βιγλών
- Ασβεστόλιθοι Ανώτερου Σενώνιου
- Ασβεστόλιθοι Παλαιοκαίνου – Αν. Ηωκαίνου
- Φλύσχης, ο νεότερος ηλικιακά αλπικός σχηματισμός ο οποίος απαντάται σε μεγάλη έκταση του δυτικού τμήματος της λεκάνης απορροής του ποταμού

Στη λεκάνη απορροής του ποταμού έχουν λάβει χώρα δύο κύρια επεισόδια ανύψωσης και διάβρωσης. Συγκεκριμένα, η λεκάνη, κατά τη διάρκεια του Κατωτέρου Πλειστόκαινου, ήταν λίμνη και υπολείμματα των λιμναίων αυτών αποθέσεων, απαντώνται διάσπαρτα σε διάφορα σημεία, εκτός της λεκάνης απορροής αλλά και βόρεια από το φαράγγι του Σουλόπουλου. Ο τεκτονισμός της περιοχής, κατά το Μέσο Πλειστόκαινο, οδήγησε στη δημιουργία της οροσειράς του Κασιδιάρη κατά μήκος του δυτικού άκρου της λεκάνης και στο περαιτέρω άνοιγμα του φαραγγιού του Σουλόπουλου στο νότιο άκρο της λεκάνης.

Η περιοχή εμφανίζει μικρή σεισμική δραστηριότητα η οποία εντοπίζεται στην παράκτια δελταϊκή ζώνη του ποταμού (Καραγεωργίου, 1958) με γενική διεύθυνση κλίσης όλων των ιζημάτων ΒΑ, ενώ των ρηγμάτων Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ. Η γεωλογία-τεκτονική (πτυχωμένα και ευδιάβρωτα ιζήματα) της περιοχής έρευνας καθώς και οι κλιματολογικές συνθήκες (αυξημένες βροχοπτώσεις), ευνοούν την αύξηση της στερεοπαροχής του ποταμού με αποτέλεσμα τη μεταφορά και απόθεση σημαντικής ποσότητας ιζήματος στις εκβολές του.

## 5.2 Υδρολογία

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Καλαμά (εικόνα 12) έχει έκταση 1747 km<sup>2</sup> και στην ορεινή ζώνη έχει διεύθυνση Β-Ν και από τα όρια του νομού Θεσπρωτίας Α-Δ. Ο ποταμός διαθέτει πολλούς μαιανδρισμούς και διέρχεται από πεδινές εκτάσεις, ενώ σχηματίζει αρκετά φαράγγια στους ασβεστολιθικούς όγκους (Καραγεωργίου, 2005). Η μέση παροχή του ποταμού κοντά στην εκβολή του φθάνει τα 57 m<sup>3</sup>/sec και στην ευρύτερη λεκάνη απορροής του εντοπίζονται πολλές μεγάλες πηγές νερού, τροφοδοτούμενες από νερά τόσο της λεκάνης απορροής όσο και εκτός αυτής. Το μεγαλύτερο μέρος της κοιλάδας του ποταμού καλύπτεται από υπόγεια νερά, αρκετά υδρογεωλογικά συστήματα (Σουλίου – Παραμυθιάς, του βουνού Κουβάδι, στην περιοχή ανάμεσα στον Παραπόταμο, στο Νεοχώρι και στον Καλαμά και το σύστημα στο Μαυροβούνι) (Ecosystems Database Observatory, 2007).



**Εικόνα 12: Λεκάνη απορροής ποταμού Καλαμά.**

### **5.3 Κλίμα**

Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή ανέρχεται στους 17,5 °C, ενώ το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος σε 16,4 °C. Η σχετική υγρασία, με εξαίρεση τους θερινούς μήνες, ξεπερνάει το 70%, ενώ το μέγιστο ύψος βροχής παρατηρείται τον μήνα Δεκέμβριο και το ελάχιστο τον Ιούλιο, με μέση ετήσια βροχόπτωση 1359,3 mm.

### **5.4 Τοπογραφία της λεκάνης απορροής**

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Καλαμά αποτελείται από σχετικά απότομες ορεινές πλαγιές με μικρές πεδιάδες πλησίον του ποταμού καθώς και την επίπεδη αλλουβιακή πεδιάδα του δέλτα. Το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας φτάνει μέχρι τα 2.200 m με μέσο όρο υψομέτρου της λεκάνης απορροής τα 484 m. Κύριο ρόλο στη διαμόρφωση του δέλτα του ποταμού έπαιξαν τόσο το μεγάλο ύψος βροχής όσο και το μεγάλο ποσοστό ευδιάβρωτων κλαστικών ιζηματογενών πετρωμάτων που καταλαμβάνουν την επιφάνεια της περιοχής. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο έπαιξαν οι σχετικά υψηλές



παροχές του ποταμού 1692 m<sup>3</sup>/sec κυρίως τους χειμερινούς μήνες καθώς και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης υποδοχής των ιζημάτων (Ιόνιο Πέλαγος). Κύριοι παράγοντες διαμόρφωσης της ακτογραμμής του δέλτα είναι η ποτάμια τροφοδοσία σε συνδυασμό με τον κυματισμό. Επίσης, η κυματική σκιά που δημιουργείται από την περίθλαση του κυματισμού στην Κέρκυρα παίζει σημαντικό ρόλο στη συσσώρευση των ιζημάτων στις εκβολές του. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 4) παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια μορφολογικά, υδρολογικά και φυσικο-γεωγραφικά χαρακτηριστικά που αφορούν τόσο τη λεκάνη απορροής, όσο και την αλλουβιακή πεδιάδα αλλά και το δέλτα του ποταμού Καλαμά.

**Πίνακας 4: Τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, της αλλουβιακής πεδιάδας, του δέλτα του ποταμού Καλαμά καθώς και της λεκάνης υποδοχής των ποτάμιων ιζημάτων του.**

<b>Λεκάνη απορροής</b>	
Κλίμα	Εύκρατο – Μεσογειακού τύπου
Βροχόπτωση (mm)	1359.3 mm
Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	1826 Km <sup>2</sup>
Λιθολογία	Χαλαρές αποθέσεις (13.6%)- Κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα (39.9%)- Ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα(46.5%)
<b>Αλλουβιακή πεδιάδα</b>	
Μήκος κεντρικής κοίτης (km)	113
<b>Δελταϊκή πεδιάδα</b>	
Κλίμα	Εύκρατο – Μεσογειακού τύπου
Tectonic setting	Shelf
Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	78
Λόγος μήκους ακτογραμμής/ πλάτος του δέλτα	2.95
Μέγιστη παροχή (m <sup>3</sup> /sec)	1692
Ελάχιστη παροχή (m <sup>3</sup> /sec)	2.8
Τύπος δέλτα	Λοβοειδές (cusplate)
Sinuosity index	1.75
<b>Λεκάνη υποδοχής των ποτάμιων ιζημάτων</b>	
Γεωμετρία λεκάνης	Στενή τάφρος ανοικτή στα δύο άκρα (τύπος I κατά J.M. Coleman, 1982)
Αριθμός εκβολών	2 (εκ' των οποίων η 1 τεχνητή)
Εύρος παλίρροιας (cm)	7
Απόσταση των ισοβαθών (10m, 20m και 50 m) από τις εκβολές σε km	0.4, 0.5 και 1.5

## 5.5 Βιοποικιλότητα στο Δέλτα Καλαμά

Το δέλτα του ποταμού Καλαμά αποτελείται από 16 τύπους οικοτόπων, εκ των οποίων οι 14 συμπεριλαμβάνονται στην Οδηγία 92/43/ΕΕ, ενώ ο οικοτόπος «Παράκτιες λιμνοθάλασσες» ανήκει στους τύπους οικοτόπων προτεραιότητας. Περιλαμβάνει πλούσια χλωρίδα και πανίδα. Οι περιοχές Στενά και Δέλτα Καλαμά αποτελούνται από 1311 taxa (είδη και υποείδη) (Raus κ.α., 2009), το οποίο τις

κατατάσσει στις περιοχές υγροτοπικών οικοσυστημάτων της Ελλάδας με τις υψηλότερες καταγεγραμμένες φυτοποικιλότητες, σε επίπεδο αριθμού ειδών.

Επιπλέον, το δέλτα αποτελεί καταφύγιο για περισσότερα από 174 είδη πουλιών, μερικά από τα οποία είναι σπάνια και απειλούμενα και πολύ σημαντικό χώρο για τα υδρόβια και παραδάτια πουλιά (το 46% επί του συνόλου των ειδών της ορνιθοπανίδας της περιοχής) (εικόνα 13). Ακόμη, φιλοξενεί 30 είδη ψαριών, 16 είδη ερπετών, 22 είδη θηλαστικών, 5 είδη αμφιβίων και 29 είδη ασπόνδυλων (<https://kalamas-acherontas.gr>).



**Εικόνα 13: Ορνιθοπανίδα στο δέλτα του Καλαμά (<https://kalamas-acherontas.gr>).**

## 5.6 Πιέσεις

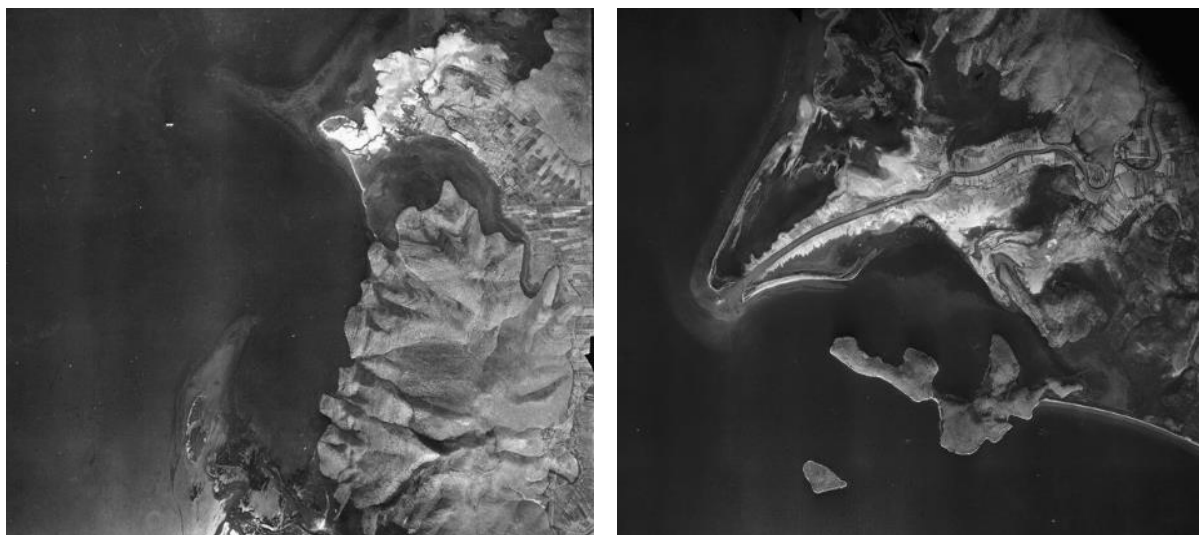
Η λεκάνη απορροής του δέλτα του ποταμού Καλαμά δέχεται σημαντικές πιέσεις λόγω εκχερσώσεων που γίνονται για τη δημιουργία νέων καλλιεργήσιμων εκτάσεων, νέων βοσκοτόπων, για την κατασκευή τουριστικών εγκαταστάσεων, ή για την κατασκευή αυθαίρετων κατοικιών, οι οποίες ωφέλησαν τους εν λόγω τομείς, ωστόσο η μετατροπή των ελών και των παραποτάμιων εκτάσεων, έχει επιφέρει έντονες πιέσεις στο οικοσύστημα. Εντονότερο παρουσιάζεται το πρόβλημα στις όχθες του ποταμού, όπου παρατηρείται σημαντική μείωση της φυσικής παραποτάμιας βλάστησης, ενώ σε κάποιες περιοχές έχει εξαφανιστεί εντελώς.

## 5.7 Πρόσφατη μεταβολή της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά

Για τη διερεύνηση της πρόσφατης ποιοτικής μεταβολής της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού, πραγματοποιήθηκε από το Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» 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.

Κατά το παρελθόν, έχει παρατηρηθεί μεταβολή της πορείας του ποταμού αρκετές φορές, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη διαφορετικών ενεργών κοιτών και κατ' επέκταση διαφορετικών εκβολών (Maroukian et al., 1995; Καραγεωργίου, 2005). Καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της δελταϊκής πεδιάδας έπαιξε το καθεστώς βροχοπτώσεων, το γεωλογικό υπόβαθρο, οι παροχές και η ιζηματοπόθεση του ποταμού καθώς και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Ο βασικότερος παράγοντας που καθόρισε την πρόσφατη εξέλιξη της δελταϊκής πεδιάδας του ποταμού Καλαμά ήταν η κατασκευή ενός χαμηλού αρδευτικού φράγματος, το 1962, το οποίο οδήγησε στην εγκατάλειψη της ενεργού κοίτης του και στην κατασκευή ενός τεχνητού αρδευτικού καναλιού για τη διοχέτευση των υδάτων. Άμεση συνέπεια αυτού ήταν η εγκατάλειψη των παλαιών εκβολών του ποταμού στο νότιο τμήμα της δελταϊκής πεδιάδας και η δημιουργία νέων εκβολών στο βόρειο τμήμα αυτής. Την εγκατάλειψη των παλαιών εκβολών ακολούθησε η καθίζηση του εδάφους και η βαθμιαία προέλαση της θάλασσας στο νότιο τμήμα του δέλτα, έχοντας άμεσες κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις για την περιοχή καθώς φιλοξενεί πληθώρα καλλιεργήσιμων εκτάσεων και αρδευτικών έργων.

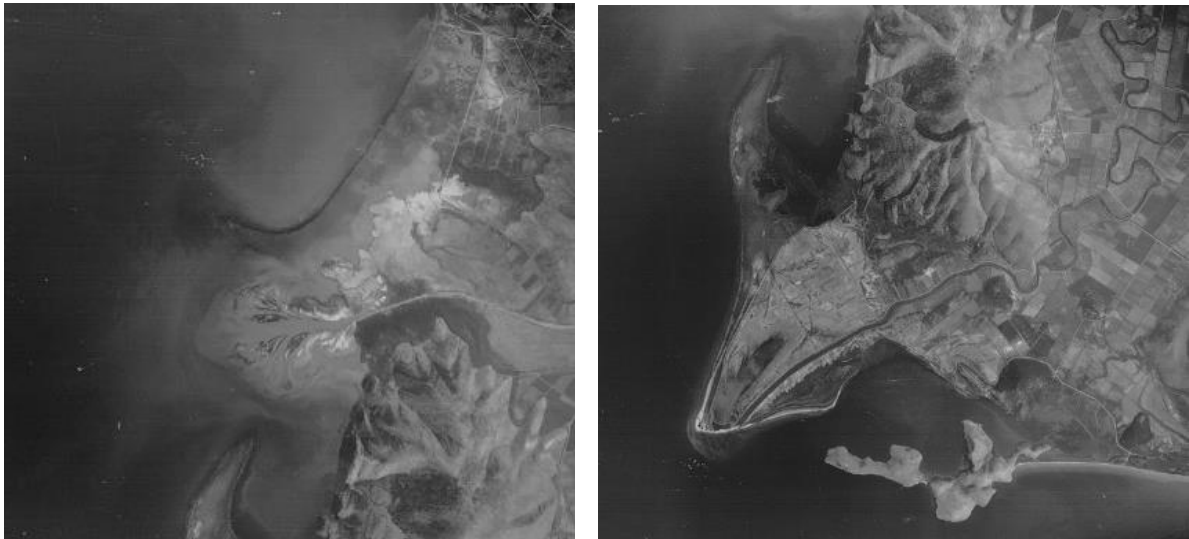
Για τη μεταβολή της παλαιοακτογραμμής του ποταμού, χρησιμοποιήθηκαν οι διαθέσιμες αεροφωτογραφίες των ετών 1945, 1969, 1980 και 1995 (εικόνα 14-22), όπου απεικονίζονται τόσο οι παλαιές όσο και οι νέες εκβολές του δέλτα (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



**Εικόνα 14:** 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).



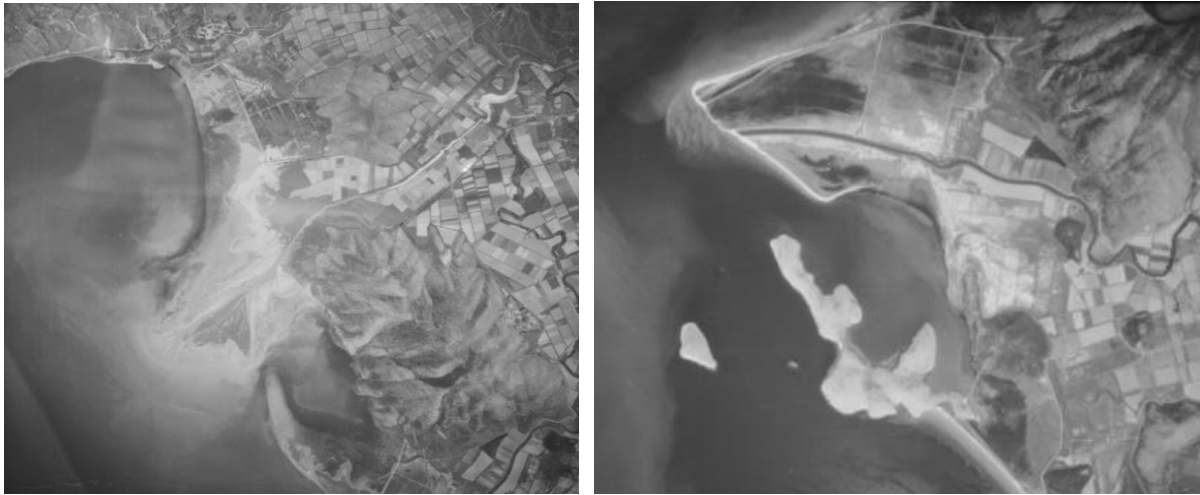
**Εικόνα 15:** Ψηφιακή αποτύπωση, μέσω GIS, της παλαιοακτογραμμής του Δέλτα του ποταμού Καλαμά κατά το έτος 1945 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 16: 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 17: Ψηφιακή αποτύπωση, μέσω GIS, της παλαιοακτογραμμής του Δέλτα του ποταμού Καλαμά κατά το έτος 1969 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 18: 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 19: Ψηφιακή αποτύπωση, μέσω GIS, της παλαιοακτογραμμής του Δέλτα του ποταμού Καλαμά κατά το έτος 1980 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 20: 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 21: Ψηφιακή αποτύπωση, μέσω GIS, της παλαιοακτογραμμής του Δέλτα του ποταμού Καλαμά κατά το έτος 1995 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020b).



Εικόνα 22: 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).

Έπειτα από συγκριτική παρατήρηση της παλαιοακτογραμμής του δέλτα του ποταμού Καλαμά γίνεται αντιληπτό ότι η παράκτια ζώνη του έχει μεταβληθεί αρκετά από το 1945 έως σήμερα και ειδικότερα στις βόρειες εκβολές του ποταμού. Παρατηρώντας την ακτογραμμή του έτους 1945 (πράσινη διακεκομμένη γραμμή) και συγκρίνοντάς την με την ακτογραμμή του έτους 1969 (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή), φαίνεται ότι οι βόρειες εκβολές δεν έχουν σχηματιστεί ακόμη, επομένως είναι ανενεργές, ενώ οι νότιες εκβολές δεν εμφανίζουν σημαντική διαφοροποίηση. Κατά το έτος 1980 (μωβ



διακεκομμένη γραμμή), στις νότιες εκβολές εμφανίζεται μικρή οπισθοχώρηση της ακτογραμμής συγκριτικά με το έτος 1969 (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή), ενώ στις βόρειες εκβολές παρατηρείται προέλαση της ξηράς προς το Ιόνιο Πέλαγος αλλά σε βαθμό μικρότερο από το έτος 1969 (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή), όπου η ξηρά έχει προελάσει αρκετά προς τη θάλασσα. Κατά το έτος 1995 (καφέ διακεκομμένη γραμμή), η ακτογραμμή στις νότιες εκβολές παραμένει σχεδόν αμετάβλητη συγκριτικά με το έτος 1980 (μωβ διακεκομμένη γραμμή), ενώ στις βόρειες εκβολές εμφανίζεται να έχει αναπτυχθεί ακόμη περισσότερο προς το Ιόνιο Πέλαγος.

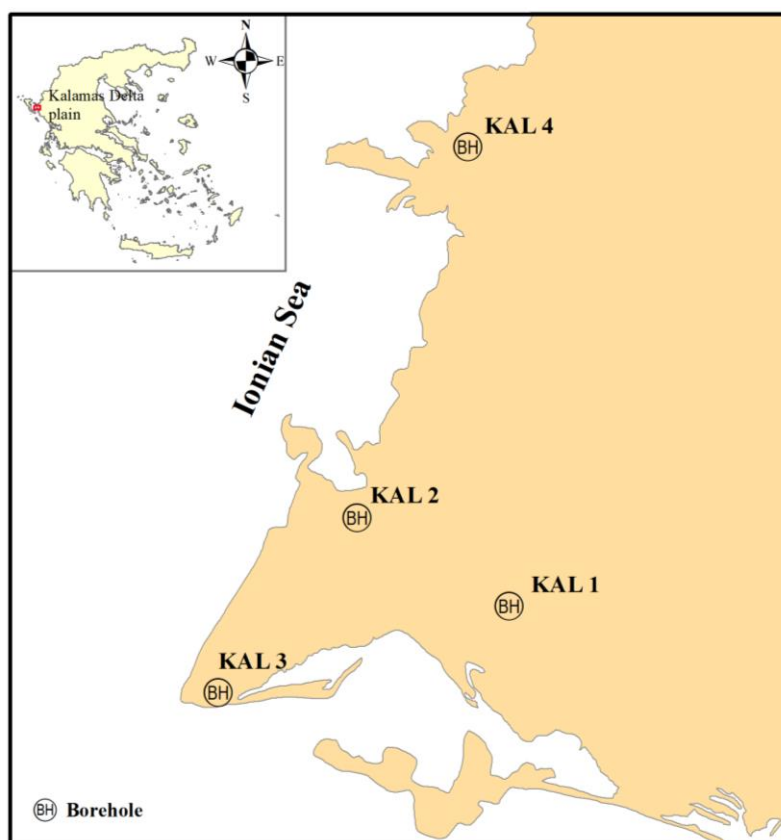
Παρατηρώντας τη διαχρονική μεταβολή της ακτογραμμής του δέλτα του ποταμού Καλαμά από το 1945 έως σήμερα, συμπεραίνουμε ότι στις νότιες εκβολές εντοπίζεται μία διαδοχική οπισθοχώρηση της ακτογραμμής της παράκτιας ζώνης του δέλτα με ταυτόχρονη προέλαση της θάλασσας, ενώ στις βόρειες εκβολές παρατηρείται διαδοχική προέλαση της ξηράς προς το Ιόνιο Πέλαγος, με εντονότερο το φαινόμενο κατά το έτος 1969 που δημιουργήθηκαν οι βόρειες εκβολές. Η εξέλιξη της ακτογραμμής του δέλτα υποδεικνύει ότι οι ενεργές πλέον εκβολές είναι οι βόρειες, αφού στις νότιες εκβολές, λόγω έλλειψης προσφοράς ποτάμιου ιζήματος, επικράτησαν οι θαλάσσιες διεργασίες κάτι το οποίο είχε σαν αποτέλεσμα τη σταδιακή υποχώρηση της ακτογραμμής. Η σημερινή εικόνα της ακτογραμμής του δέλτα εμφανίζεται να ακολουθεί τη διαχρονική εξέλιξη αυτή, γεγονός το οποίο δημιουργεί την ανάγκη λήψης μέτρων για την άμεση αντιμετώπιση του φαινομένου οπισθοχώρησης της ακτογραμμής στις νότιες εκβολές του δέλτα και ιδίως λαμβάνοντας υπόψη την ολοένα αυξανόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (IPCC, 2007), η οποία απειλεί άμεσα με περιορισμό ή ακόμη και με εξαφάνιση τον παράκτιο ζωτικό της χώρο.

## 6. Εργασίες πεδίου και εργαστηριακές αναλύσεις

Όλες οι εργασίες πεδίου και οι εργαστηριακές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν από το εργαστήριο Αρχαιομετρίας του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» και τα αποτελέσματα αυτών διατέθηκαν προς μελέτη και αξιολόγηση, προκειμένου να βοηθήσουν στην ανάπτυξη του παρόντος Διαχειριστικού Σχεδίου εστιάζοντας στην αντιμετώπιση του φαινομένου της παράκτιας διάβρωσης.

### 6.1 Εργασίες Πεδίου

Για την υλοποίηση της παρούσας ερευνητικής εργασίας, το ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» πραγματοποίησε δυο αποστολές στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Καλαμά, όπου συλλέχθηκαν τέσσερις (4) πυρήνες ιζήματος προερχόμενοι από διαφορετικές θέσεις. Η χωρική κατανομή των θέσεων πυρηνοληψίας παρουσιάζεται στην εικόνα 23. Τα βασικά στοιχεία (γεωγραφική θέση, υψόμετρο, βάθος πυρήνα) του συνόλου των πυρήνων που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 5.



Εικόνα 23: Γεωγραφική κατανομή των θέσεων πυρηνοληψίας (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Ο προσδιορισμός των θέσεων πυρηνοληψίας έγινε με χρήση δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης (G.P.S.), το οποίο δίνει ακρίβεια στον προσδιορισμό του στίγματος περίπου 1 m.

**Πίνακας 5: Βασικά στοιχεία (γεωγραφική θέση, υψόμετρο, βάθος) των τεσσάρων (4) πυρήνων.**

Πυρήνας Γεώτρησης	Γεωγραφικές Συντεταγμένες		Υψόμετρο από τη θάλασσα (m)	Βάθος από την επιφάνεια (m)
	N	E		
KAL 1	39.536556	20.179596	1	16.30
KAL 2	39.551601	20.159348	2	16.30
KAL 3	39.529267	20.143867	0	15.00
KAL 4	39.590575	20.1817513	1	15.30

Τρεις πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο νότιο τμήμα των εκβολών του ποταμού Καλαμά (KAL 1, KAL 2, KAL 3), ενώ μία στο βόρειο τμήμα (KAL 4), με τη χρήση δονητικού δειγματοληπτικού – πυρηνοληπτικού (διαμέτρου 7.5 cm) εξοπλισμού (εικόνα 24) και το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων φτάνει τα 16.30 m. Η επιλογή των θέσεων έγινε με κριτήριο την ύπαρξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερης χωρικής διασποράς, προκειμένου να μελετηθεί αναλυτικότερα η πιο πρόσφατη εξέλιξη των δελταϊκών αποθέσεων του ποταμού. Οι τέσσερις πυρήνες, αφού πρώτα κωδικοποιήθηκαν, σφραγίστηκαν και αποθηκεύτηκαν.

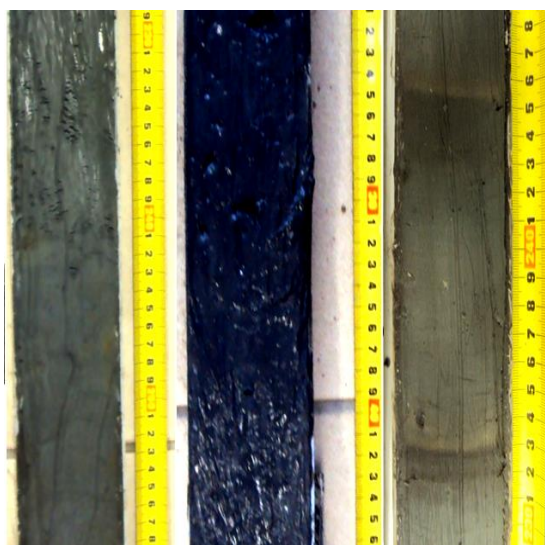


**Εικόνα 24: Πυρηνοληπτικός εξοπλισμός και εργασίες πεδίου.**

## 6.2 Εργαστηριακές Αναλύσεις

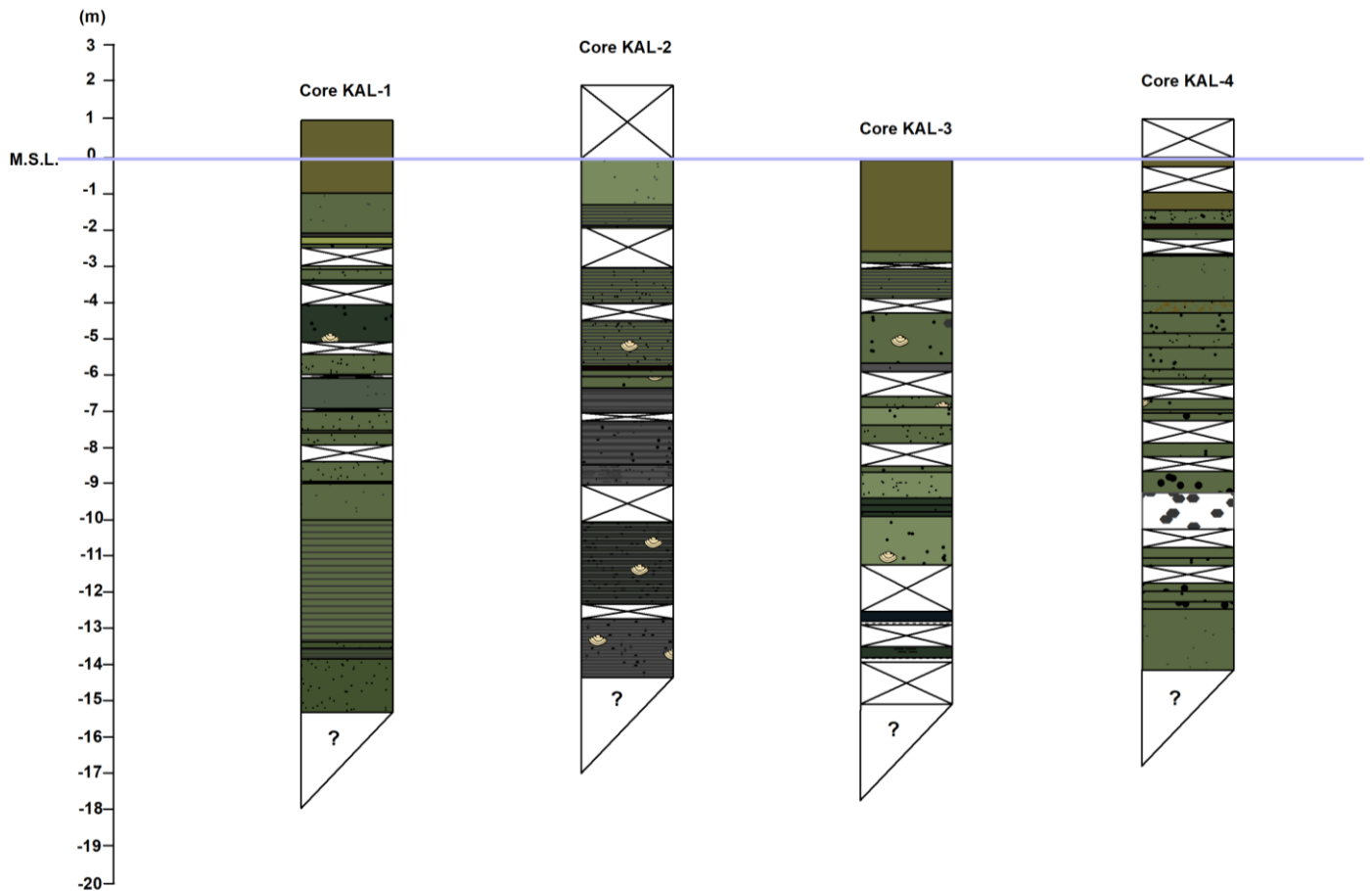
### 6.2.1 Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνων

Κάθε πυρήνας διανοίχθηκε και διαιρέθηκε κατά μήκος του άξονά του σε δύο τμήματα (εικόνα 25). Το ένα από τα δύο τμήματα, χρησιμοποιήθηκε για κοκκομετρικές, ορυκτολογικές καθώς και γεωχημικές αναλύσεις με τη χρήση φασματογράφου μαζών με επαγωγικά συνεζευγμένο πλάσμα (ICP-MS), ενώ το άλλο διατέθηκε για χρονολόγηση με τη μέθοδο της Οπτικά Διεγείρομενης Φωταύγειας.



**Εικόνα 25: Διάνοιξη και μακροσκοπική περιγραφή πυρήνων (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020ε).**

Η μακροσκοπική περιγραφή αποτελείται από τη σχηματική και χρωματική αποτύπωση του κάθε πυρήνα, αποδίδοντας τα διάφορα χαρακτηριστικά του, όπως η παρουσία σαφών λιθολογικών ενοτήτων, φυτικών υπολειμμάτων και θραυσμάτων κελυφών (εικόνα 26). Η μακροσκοπική παρατήρηση των πυρήνων, μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις ιζηματολογικές ενότητες από τις οποίες αποτελείται. Τόσο το χρώμα του ιζήματος όσο και η υφή του μπορούν να αποδώσουν τις συνθήκες ιζηματογένεσης. Οι ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις συνδέονται με συνθήκες οξείδωσης, ενώ σκουρόχρωμες με ανοξικές συνθήκες. 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.



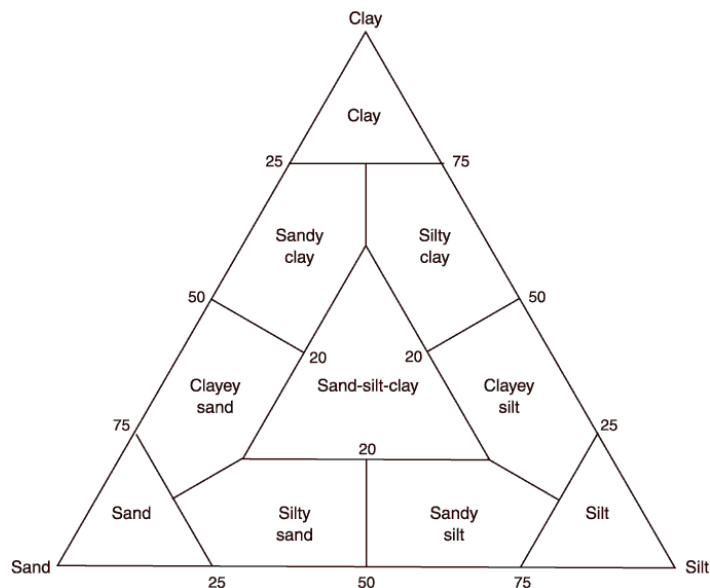
Εικόνα 26: Στρωματογραφικές στήλες γεωτρήσεων KAL1,2,3,4, όπου τα διαφορετικά χρώματα αποτυπώνουν την ταξινόμησή τους βάσει των χρωματολογικών πινάκων Munsell soil-color charts (2015) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

### 6.2.3 Ιζηματολογία

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). Για την ιζηματολογική μελέτη της δελταϊκής ακολουθίας του Καλαμά έγινε κοκκομετρική ανάλυση σε 26 δείγματα τα οποία προήλθαν και από τους

τέσσερις πυρήνες. Για την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων εκτελέστηκε κοσκίνισμα για τα αδρομερή και η μέθοδος τα πιπέτας/σιφονίου για τα λεπτόκοκκα ιζήματα.

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 27) (Shepard, 1954). Η διαγραμματική αποτύπωση κάθε τάξης μεγέθους αποδίδει τη λιθολογική κατάσταση της περιοχής μελέτης.



**Εικόνα 27: Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης ιζημάτων κατά Shepard (1954).**

#### Γεώτρηση KAL-1

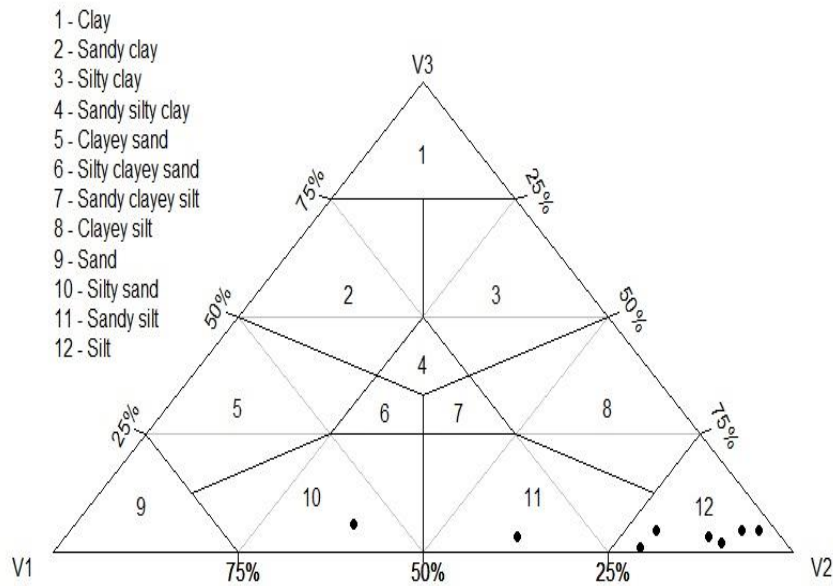
Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης των δειγμάτων της γεώτρησης KAL-1 και ο ιζηματολογικός χαρακτήρας αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 6, στο τριγωνικό διάγραμμα της εικόνας 28 (απεικόνιση κατά Shepard, 1954) και στο διάγραμμα της κατακόρυφης μεταβολής των ποσοστών του σχήματος της εικόνας 29.

**Πίνακας 6: 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
<b>KAL 1-2a</b>	1.75	9.70	87.05	3.25	SILT
<b>KAL 1-2b</b>	2.25	2.28	92.78	4.50	SILT
<b>KAL 1-4</b>	4.1	35.68	61.08	3.25	SANDY SILT
<b>KAL 1-5</b>	5.9	20.28	78.98	0.75	SILT
<b>KAL 1-7</b>	7.8	8.65	89.35	2.00	SILT
<b>KAL 1-10</b>	10.8	16.20	79.30	4.50	SILT
<b>KAL 1-12</b>	12.8	4.55	90.95	4.50	SILT

Από τα 7 δείγματα που αναλύθηκαν κοκκομετρικά τα 6 χαρακτηρίζονται ως ιλύς, και 1 ως αμμώδης ιλύς. Είναι χαρακτηριστικό ότι στα 6 από τα 7 δείγματα τα ποσοστά ιλύος είναι >60 %. Σε όλα τα δείγματα το ποσοστό της αργίλου είναι χαμηλό και κυμαίνεται μεταξύ 0,75-4,5 %. Αξιοσημείωτοι είναι οι αμμώδεις σχηματισμοί στα 4,1, 5,6 και 10,8 μέτρα της γεώτρησης με ποσοστό άμμου 35,68%, 20,28% και 16,2 % αντίστοιχα. Η άμμος ως συστατικό των αποθέσεων, εμφανίζεται στα υπόλοιπα σημεία του πυρήνα KAL 1 ποσοστά που δεν ξεπερνούν το 10 %.

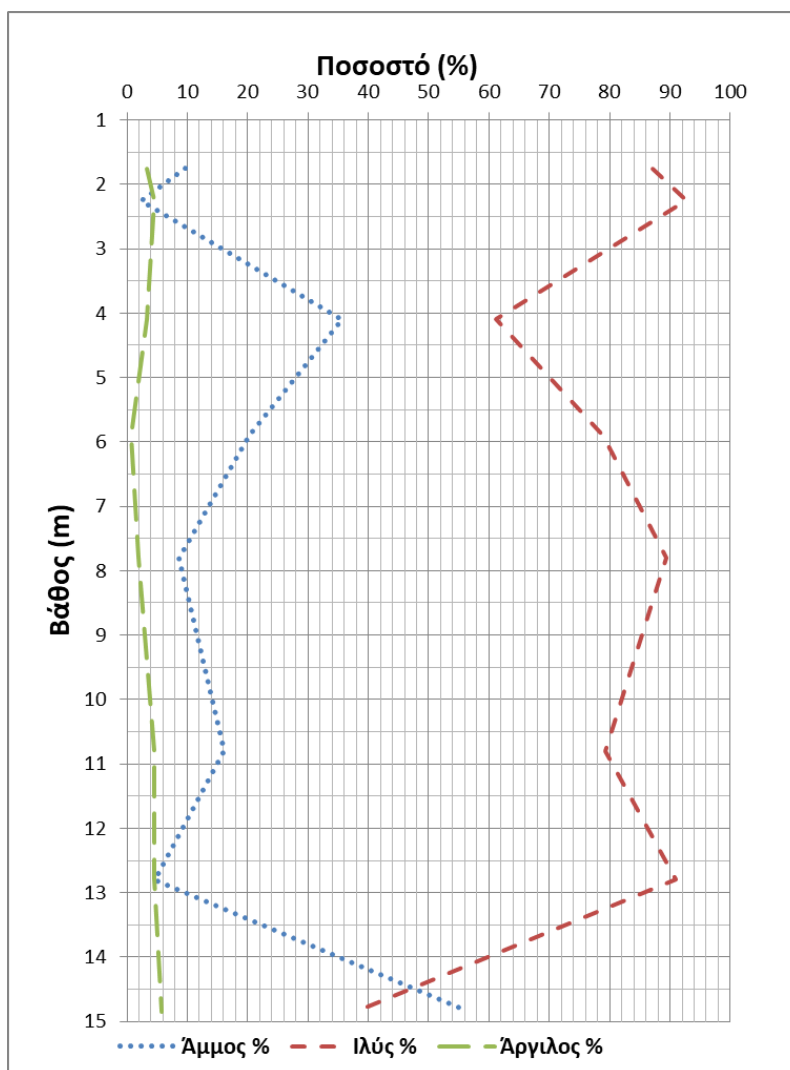
## KAL 1



**Εικόνα 28:** Χαρακτηρισμός των ιζημάτων του πυρήνα της γεώτρησης KAL 1 με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση κατά Shepard, (1954) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Στην πρόσφατη εξέλιξη του συστήματος του δέλτα του Καλαμά, στη θέση KAL-1, έχουμε εναπόθεση λεπτόκοκκων ιζημάτων. Πρόκειται επομένως για ένα υδροδυναμικά ήρεμο περιβάλλον, που επιτρέπει την καθίζηση της λεπτόκοκκης φάσης των ιζηματογενών συστατικών. Υδροδυναμικά πιο εντονότερες συνθήκες επικράτησαν στο βάθος του πυρήνα από τα 4 έως τα 11 περίπου μέτρα.





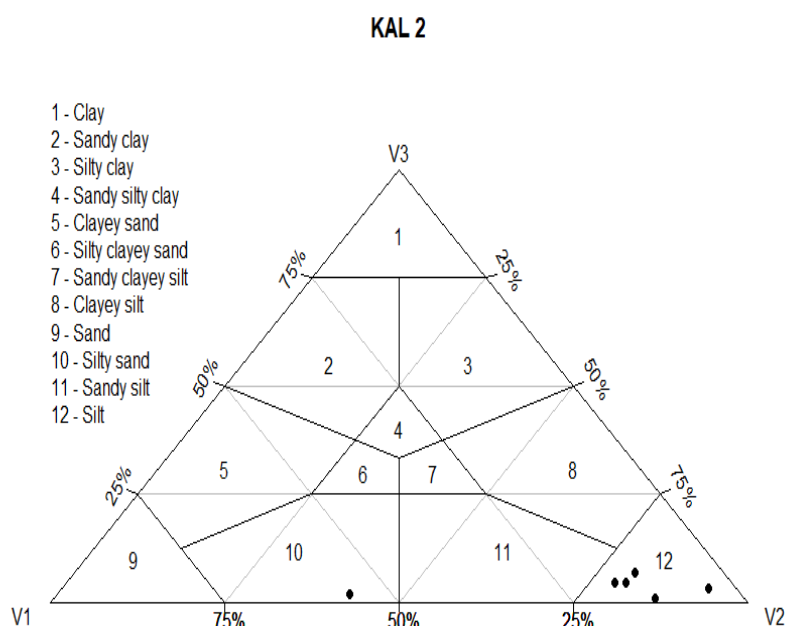
**Εικόνα 29:** Κατακόρυφο διάγραμμα μεταβολής των βασικών τάξεων μεγέθους (άμμος, ιλύς και άργιλος) με το βάθος, για τη γεώτρηση KAL 1 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

### Γεώτρηση KAL-2

Από τη γεώτρηση KAL-2 αναλύθηκαν κοκκομετρικά 6 δείγματα. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων καθώς και ο ιζηματολογικός χαρακτηρισμός αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 7, στο τριγωνικό διάγραμμα της εικόνας 30 (απεικόνιση κατά Shepard, 1954) και στο διάγραμμα της κατακόρυφης μεταβολής των ποσοστών αργίλου, ιλύος και άμμου (σχήμα της εικόνας 31).

**Πίνακας 7: Ποσοστά κοκκομετρικών κλασμάτων και χαρακτηρισμός ιζημάτων για κάθε βάθος δειγματοληψίας του πυρήνα KAL 2 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).**

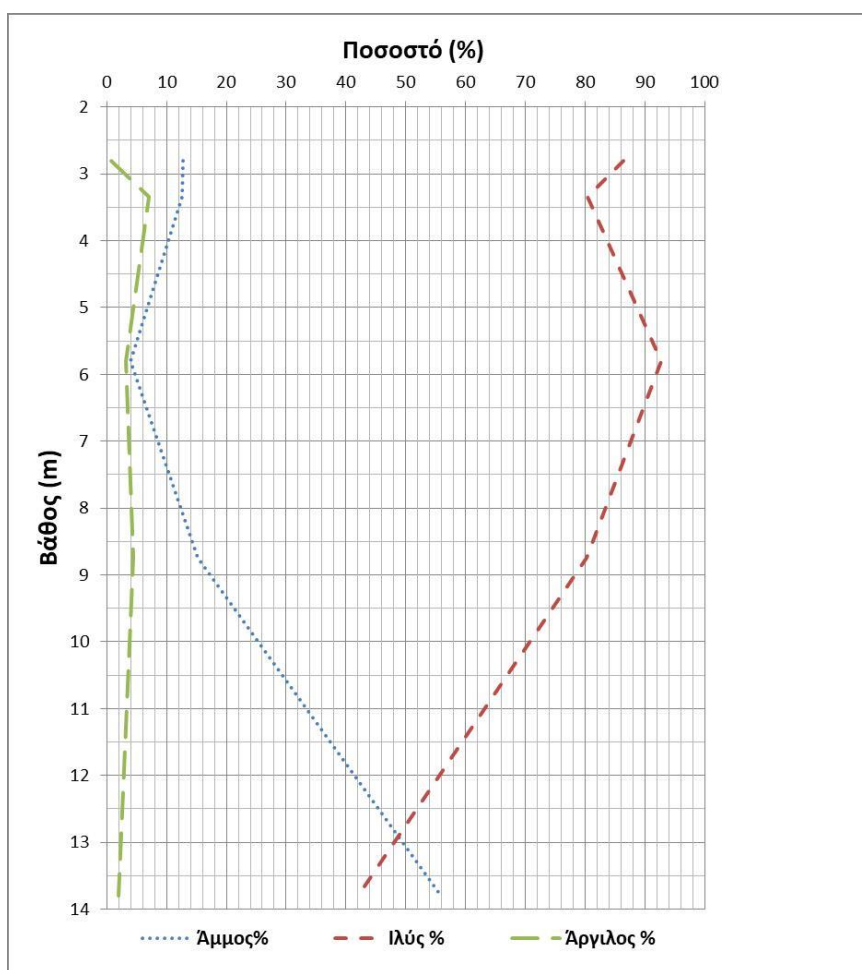
ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
KAL 2-1	2.8	12.8	86.45	0.75	SILT
KAL 2-2	3.35	12.625	80.375	7	SILT
KAL 2-4	5.8	4	92.75	3.25	SILT
KAL 2-7	8.75	15.2	80.3	4.5	SILT
KAL 2-12	13.8	55.975	42.025	2	SILTY SAND
KAL 2-14	16.1	16.7	78.8	4.5	SILT



**Εικόνα 30: Χαρακτηρισμός των ιζημάτων του πυρήνα της γεώτρησης KAL 2 με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση κατά Shepard, (1954) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).**

Πέντε από τα 6 δείγματα, που αναλύθηκαν, χαρακτηρίζονται ως ιλύς, και ένα ως ιλυώδης άμμος. Γενικό χαρακτηριστικό των ιζημάτων της γεώτρησης KAL 2 είναι η επικράτηση των λεπτόκοκκων συστατικών. Με βάση αυτά τα δεδομένα θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε την περιοχή γύρω από την θέση της γεώτρησης ως χώρο ιζηματοπόθεσης σχετικά χαμηλού υδροδυναμισμού, ο οποίος στα κατώτερα στρώματα περνά σε ένα υδροδυναμικά πιο έντονο περιβάλλον. Φαίνεται ότι πρόκειται για

περιοχή όπου στην πρόσφατη περίοδο δεν επηρεάστηκε από τη δυναμική του τροφοδότη των χαλαρών υλικών, του ποταμού Καλαμά.



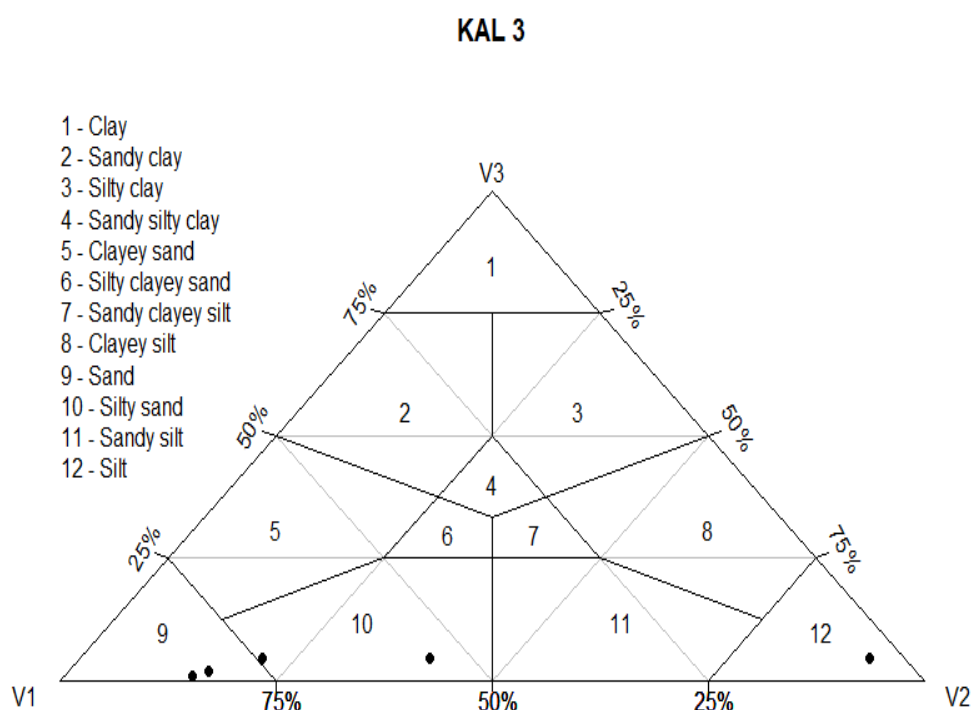
**Εικόνα 31:** Κατακόρυφο διάγραμμα μεταβολής των βασικών τάξεων μεγέθους (άμμος, ιλύς και άργιλος) με το βάθος, για τη γεώτρηση KAL 2 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

### Γεώτρηση KAL-3

Από το υλικό της γεώτρησης KAL-3 αναλύθηκαν κοκκομετρικά πέντε δείγματα. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων καθώς και ο ιζηματολογικός χαρακτήρας αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 8, στο τριγωνικό διάγραμμα της εικόνας 32 (απεικόνιση κατά Shepard, 1954) και στο διάγραμμα της κατακόρυφης μεταβολής των ποσοστών αργίλου, ιλύος και άμμου (σχήμα της εικόνας 33).

**Πίνακας 8: Ποσοστά κοκκομετρικών κλασμάτων και χαρακτηρισμός ιζημάτων για κάθε βάθος δειγματοληψίας του πυρήνα KAL 3 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).**

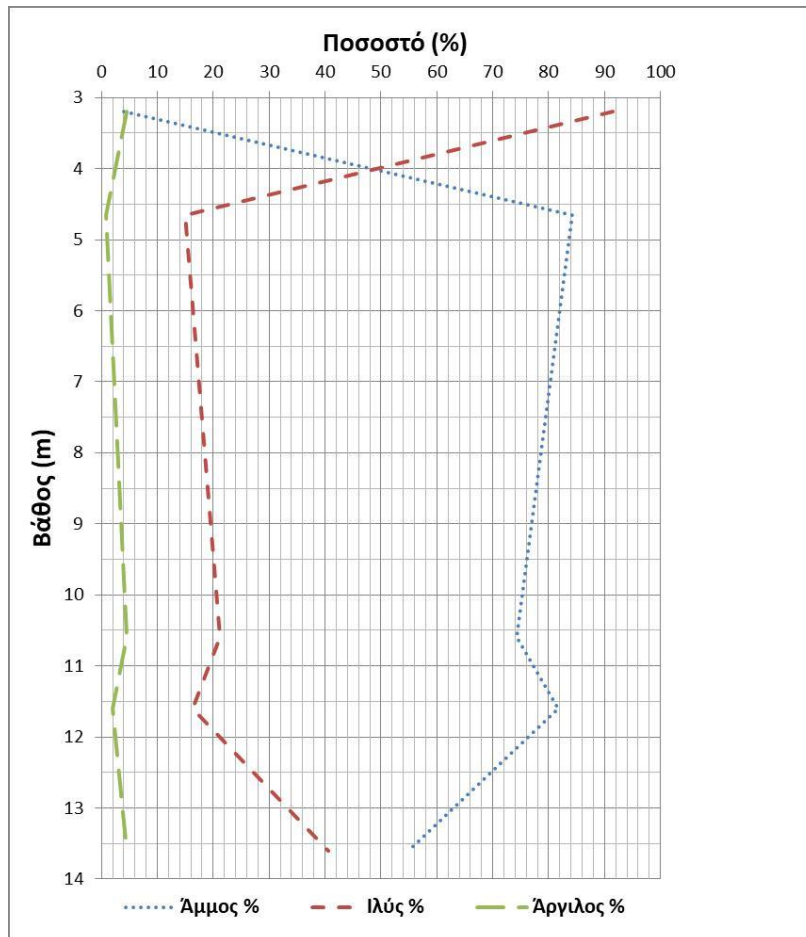
ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
KAL 3-5	3.2	4.1	91.4	4.5	SILT
KAL 3-6	4.65	84.225	15.025	0.75	SAND
KAL 3-12	10.6	74.25	21.25	4.5	SILTY SAND
KAL 3-13	11.6	81.725	16.275	2	SAND
KAL 3-15	13.6	54.875	40.625	4.5	SILTY SAND



**Εικόνα 32: Χαρακτηρισμός των ιζημάτων του πυρήνα της γεώτρησης KAL-3 με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση κατά Shepard, (1954) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).**

Δύο από τα πέντε δείγματα που αναλύθηκαν χαρακτηρίζονται ως ιλυώδης άμμος, δύο ως ιλύς και ένα ως άμμος. Η άμμος σε τρία από τα πέντε δείγματα που αναλύθηκαν κυμαίνεται μεταξύ ~ 74% και 84%, σε ένα δείγμα ~55% και σε ένα δείγμα <5%. Η ιλύς κυμαίνεται από 15-91% και η άργιλος από 0,8-4,5%.

Ο χαρακτήρας των ιζημάτων μαρτυρά έναν χώρο απόθεσης με σχετικά έντονο υδροδυναμισμό. Φαίνεται ότι πρόκειται για περιοχή όπου στην πρόσφατη περίοδο επηρεάστηκε σημαντικά από τη δυναμική του τροφοδότη των χαλαρών υλικών, του ποταμού Καλαμά.



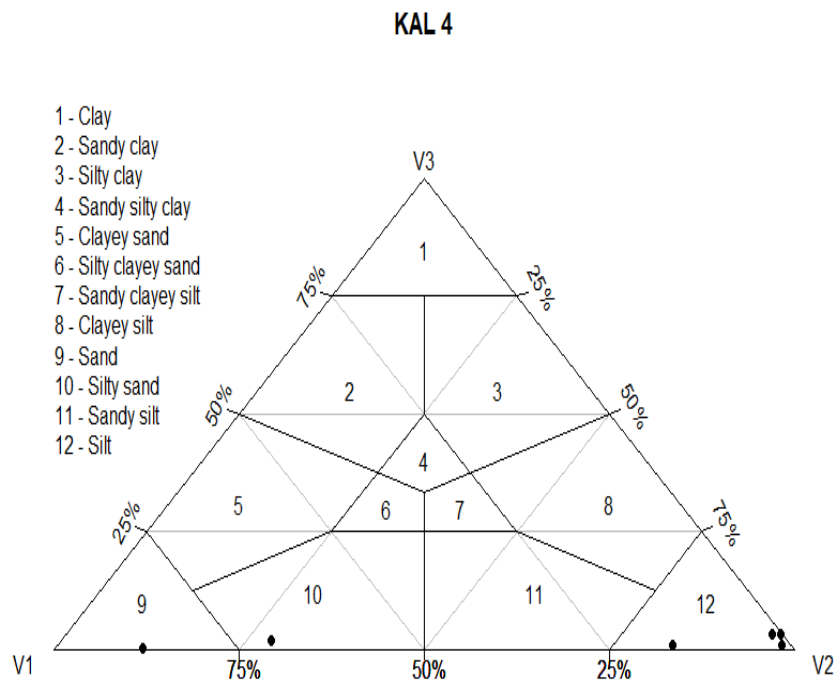
**Εικόνα 33:** Κατακόρυφο διάγραμμα μεταβολής των βασικών τάξεων μεγέθους (άμμος, ιλύς και άργιλος) με το βάθος, για τη γεώτρηση KAL-3 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020ε).

#### Γεώτρηση KAL-4

Από τον πυρήνα της γεώτρησης KAL-4 αναλύθηκαν κοκκομετρικά έξι δείγματα. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων καθώς και ο ιζηματολογικός χαρακτηρισμός αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 9, στο τριγωνικό διάγραμμα της εικόνας 34 (απεικόνιση κατά Shepard, 1954) και στο διάγραμμα της κατακόρυφης μεταβολής των ποσοστών αργίλου, ιλύος και άμμου (εικόνα 35).

**Πίνακας 9:** 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

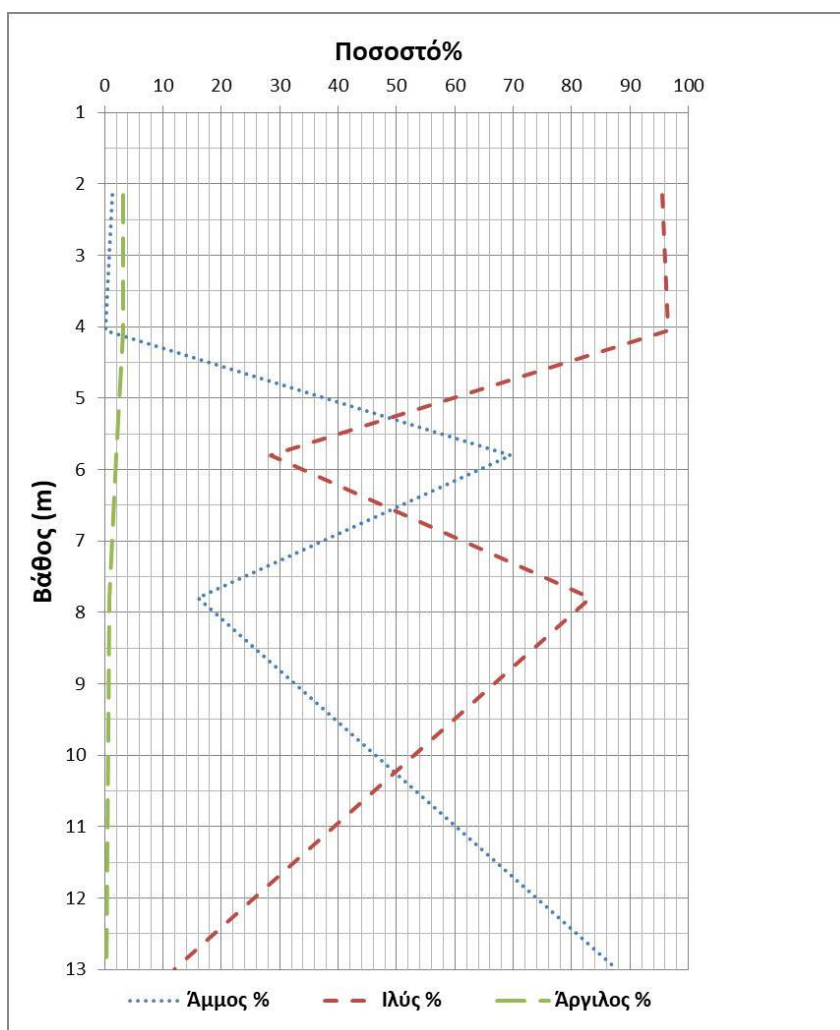


**Εικόνα 34:** Χαρακτηρισμός των ιζημάτων του πυρήνα της γεώτρησης KAL-4 με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση κατά Shepard, (1954) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Σχεδόν στο σύνολό τους, τα δείγματα χαρακτηρίζονται ως ιλύς, ένα δείγμα ταξινομείται ως ιλυώδης άμμος και ένα ως άμμος. Το ποσοστό της άμμου σε τρία δείγματα είναι <3 %, σε ένα 16 % και σε δύο

δείγματα κυμαίνεται από 70-80 %. Το ποσοστό της ιλύος κυμαίνεται μεταξύ 12-98 % και της αργίλου από 0,3-3,3%.

Ο χαρακτήρας των ιζημάτων υποδηλώνει έναν χώρο απόθεσης με σχετικά έντονο υδροδυναμισμό.



Εικόνα 35: Κατακόρυφα διαγράμματα μεταβολής των βασικών τάξεων μεγέθους (άμμος, ιλύς και άργιλος) με το βάθος, για τη γεώτρηση KAL-4 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

#### 6.2.4 Ορυκτολογικές αναλύσεις ιζημάτων

Η επικράτηση λεπτόκοκκου υλικού στα περισσότερα δείγματα, περιορίζει τη δυνατότητα χρήσης του πολωτικού μικροσκοπίου για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών συστατικών των ιζημάτων. Για τους λόγους αυτούς γίνεται χρήση της περιθλασιμετρίας των ακτίνων X.

Συνολικά 26 δείγματα αναλύθηκαν με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD), στο Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε «Δημόκριτος». Το περιθλασίμετρο που χρησιμοποιήθηκε

ήταν τύπου SIEMENS D500. Τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 10: Ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του πυρήνα KAL-1 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020ε).

Πυρήνας KAL 1

Δείγμα	Χαλαζίας	Ασβεστίτης	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 11: Ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του πυρήνα KAL-2 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020ε).

Πυρήνας KAL 2

Δείγμα	Χαλαζίας	Ασβεστίτης	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 12: 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 13: 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	***	**	*	*	*

Σε όλα τα δείγματα ανιχνεύθηκε χαλαζίας, ασβεστίτης, πλαγιόκλαστα (αλβίτης) και αργιλικά ορυκτά. Ο χαλαζίας συνιστά το επικρατέστερο ορυκτό σε όλα τα δείγματα, ενώ ακολουθεί ο ασβεστίτης, ο αλβίτης και τα φυλλοπυριτικά ορυκτά.

#### 6.2.4 Γεωχημικές αναλύσεις ιζημάτων

Σημαντικό μέρος της μελέτης των ιζημάτων αποτελεί ο καθορισμός της χημικής τους σύστασης με τον προσδιορισμό των βασικών χημικών τους στοιχείων. Οι γεωχημικές αναλύσεις είναι δυνατόν να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την προέλευση των ιζημάτων, τις διαγενετικές συνθήκες που έλαβαν χώρα κατά ή μετά την απόθεσή τους, ενώ σε συνδυασμό με άλλες αναλυτικές μεθόδους, παρέχουν πληροφορίες σχετικές με τις παλαιοπεριβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούσαν στον χώρο απόθεσης. Ο προσδιορισμός των χημικών στοιχείων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φασματογράφου μαζών με

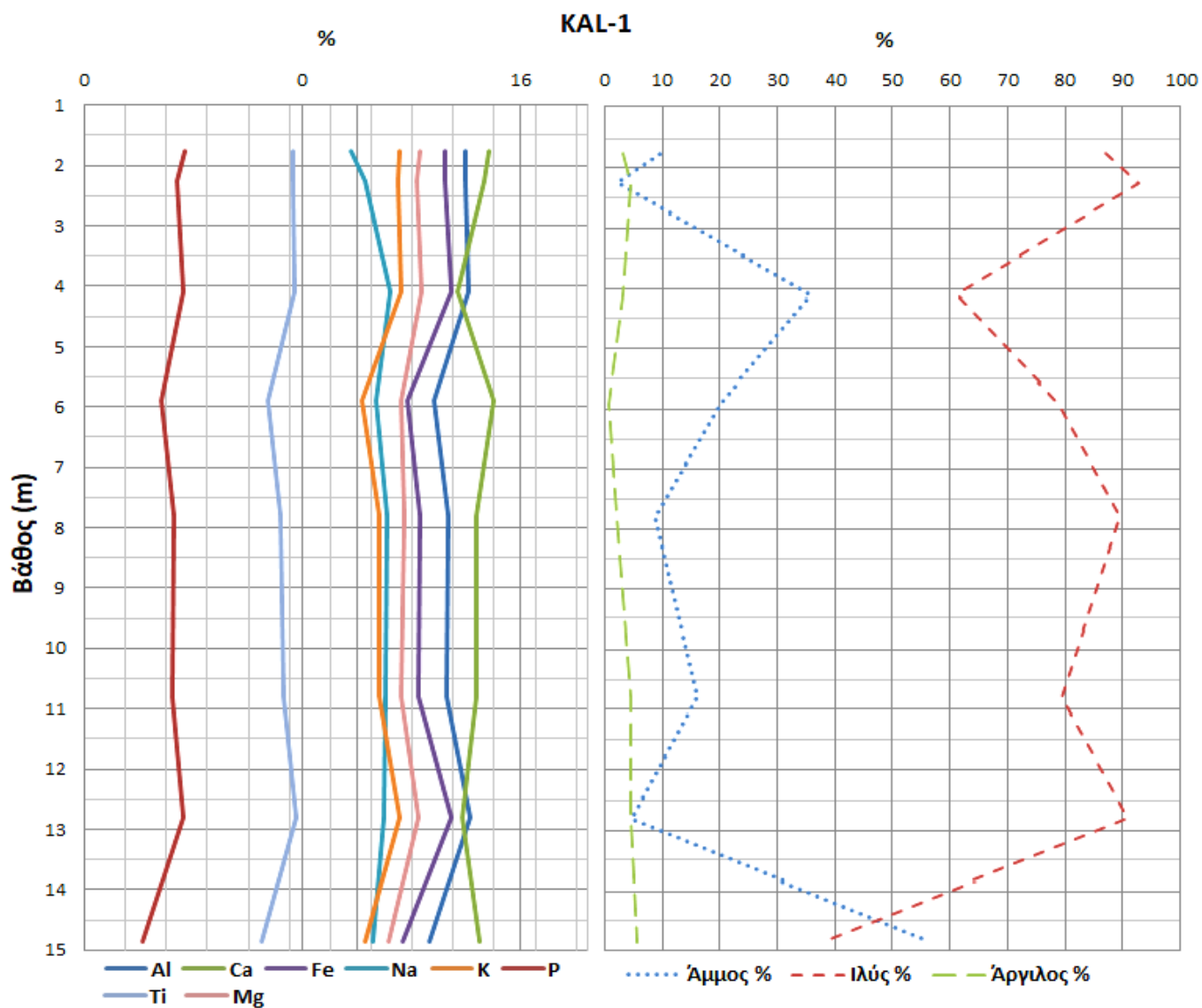
επαγωγικά συνεξυγμένο πλάσμα (ICP-MS) σε 26 δείγματα και από τους τέσσερις πυρήνες. Τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται παρακάτω.

**Πίνακας 14: Συγκέντρωση κύριων στοιχείων για κάθε βάθος δειγματοληψίας (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).**

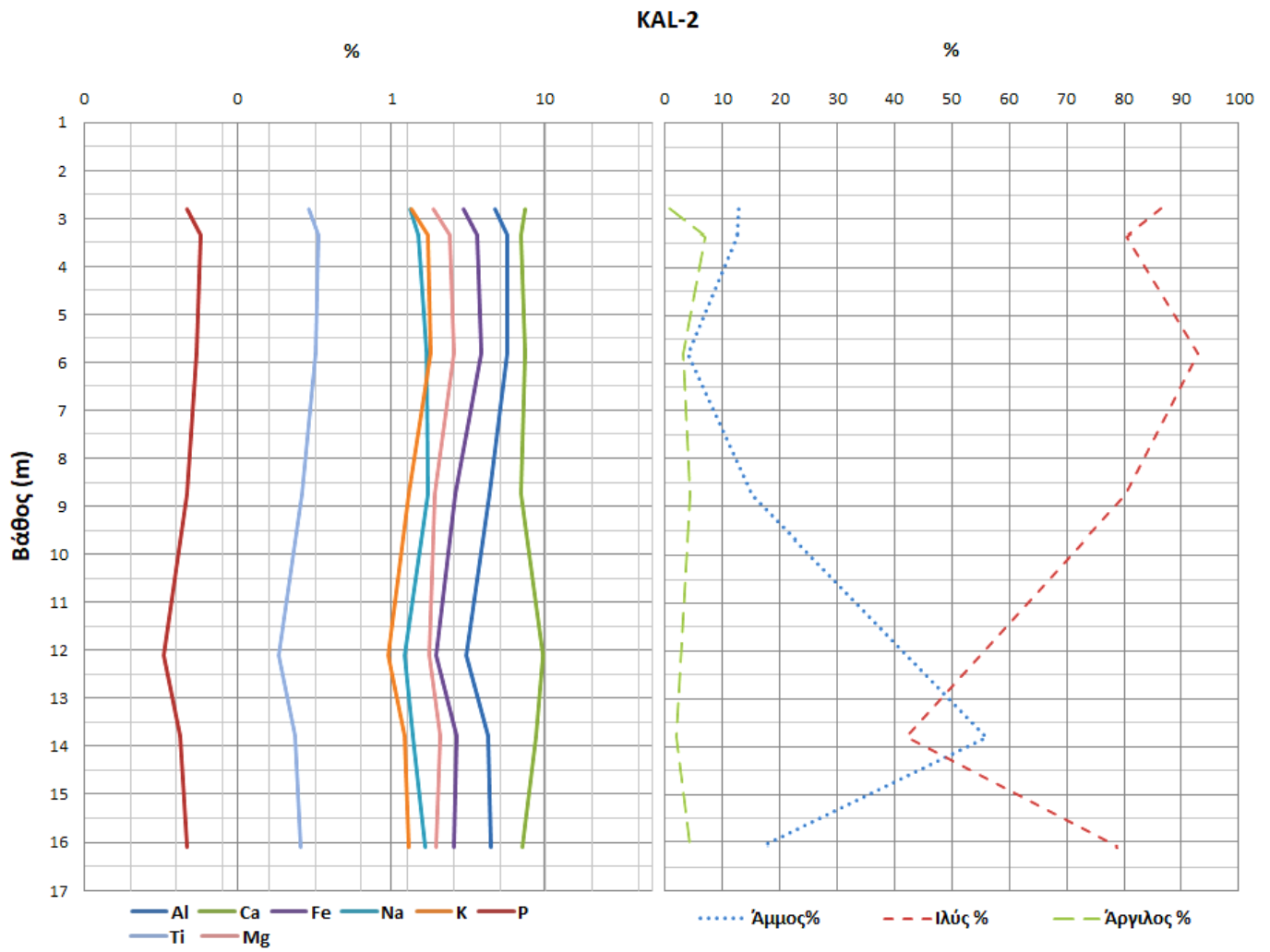
ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	Al (%)	S (%)*	P (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Fe (%)	Na (%)	Mg (%)	Mn (ppm)
KAL 1-2a	1.75	6.32	<0.1	0.055	2.08	9.39	0.340	4.49	0.92	2.89	1203
KAL 1-2b	2.25	6.37	1.3	0.048	1.99	8.66	0.340	4.51	1.15	2.80	909
KAL 1-4	4.1	6.62	1.6	0.053	2.11	5.58	0.348	4.96	1.76	3.02	1039
KAL 1-5	5.9	3.68	0.3	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

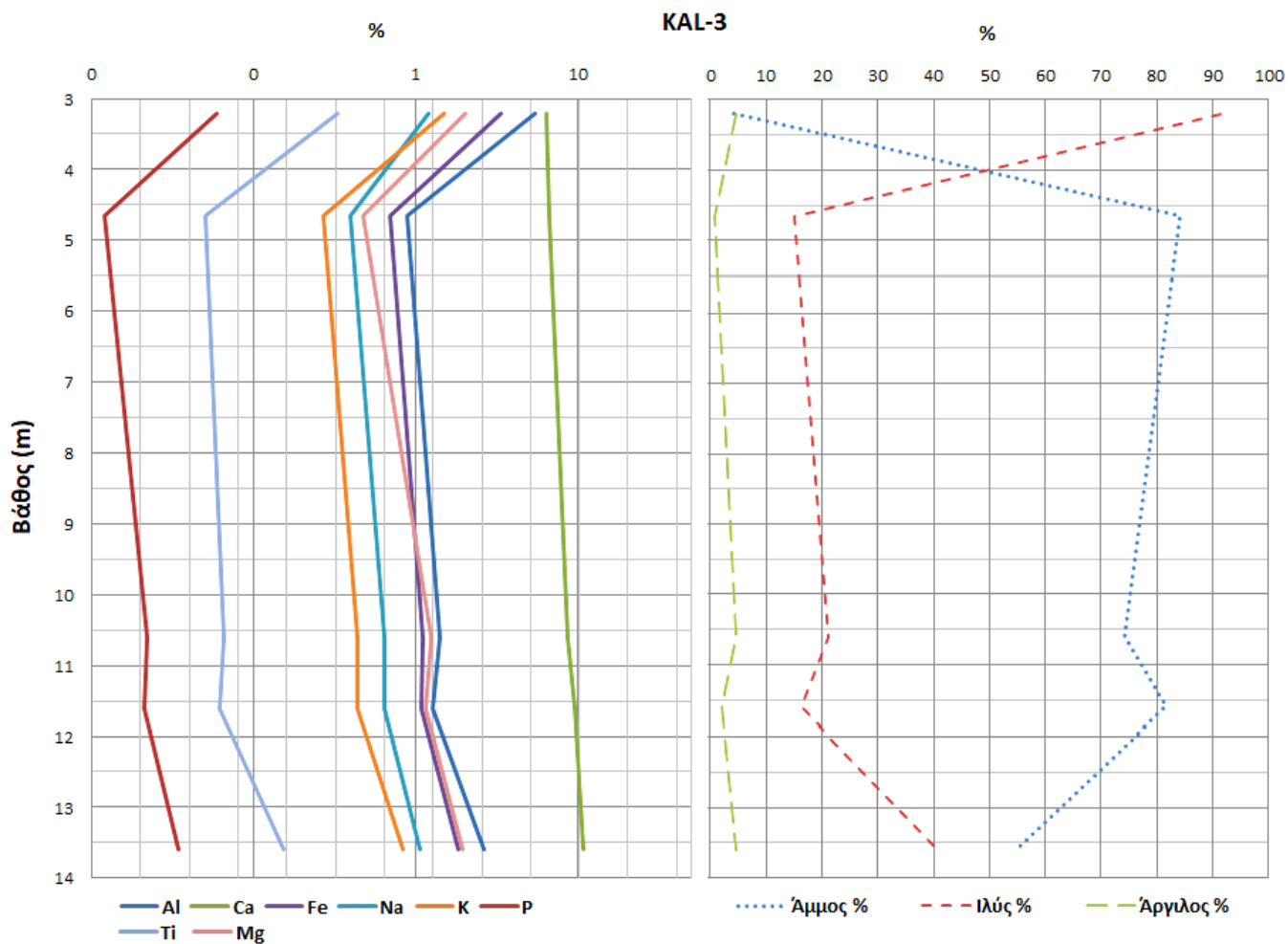
\*Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι περιεκτικότητες του S είναι κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας (0.1 ppm), γι' αυτό δεν μπορεί να ανιχνευτεί σε κάποια δείγματα.



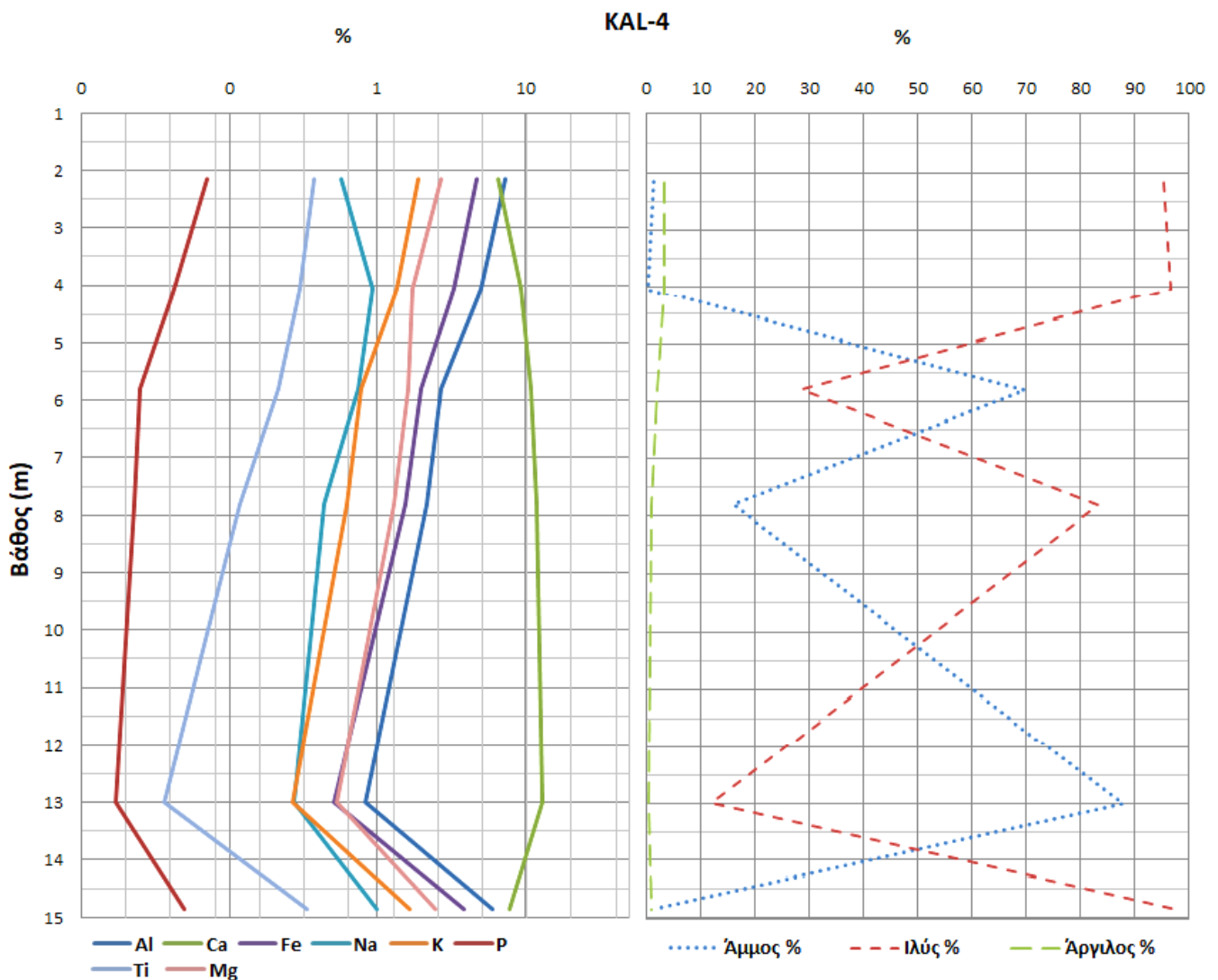
Εικόνα 36: Μεταβολή των κύριων στοιχείων στη γεώτρηση KAL-1, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



**Εικόνα 37:** Μεταβολή των κύριων στοιχείων στη γεώτρηση KAL-2, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020ε).



Εικόνα 38: Μεταβολή των κύριων στοιχείων στη γεώτρηση ΚΑΛ-3, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



Εικόνα 39: 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).

Κατά τη μελέτη των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε δελταϊκά και παράκτια περιβάλλοντα, οι σχετικές μεταβολές και οι τάσεις των συγκεντρώσεων των διαφόρων χημικών στοιχείων πρέπει να αξιολογούνται και να ερμηνεύονται.

Για τη συζήτηση επιλέχθηκε ο πυρήνας KAL-1 από τον οποίο αναλύθηκαν 8 δείγματα. Στα δείγματα του πυρήνα της γεώτρησης KAL-1 επικρατεί το ασβέστιο με τιμές που κυμαίνονται από 5,6 - 10,2 % και ακολουθεί το αργίλιο με τιμές από 3,4 - 6,8 %, ο σίδηρος (2,2 - 5 %), το μαγνήσιο (1,7 - 3 %), το κάλιο (1,1 - 2,2 %) και το νάτριο με τιμές από 0,9 - 1,8 %.

Τα στοιχεία αυτά δηλώνουν την 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 μάλλον σχετίζεται με τα θραύσματα

βιογενών κελυφών που υπάρχουν στα ιζήματα του πυρήνα της γεώτρησης καθώς και ένα ποσοστό του μαγνησίου. Ο σίδηρος, το τιτάνιο και το μαγγάνιο που βρίσκονται στα ιζήματα, αποτελούν προϊόντα της διεργασίας της αποσάθρωσης (κυρίως χημικής αποσάθρωσης) 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, τον χαλαζία. Τέλος, αν και οι συγκεντρώσεις του θείου είναι αρκετά χαμηλές (< 0.1- 1.6 %) η παρουσία του είναι μάλλον συνδεδεμένη 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).

**Πίνακας 15: Συγκεντρώσεις επιλεγμένων ιχνοστοιχείων στους πυρήνες KAL-1, KAL-2, KAL-3 και KAL-4 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020ε).**

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

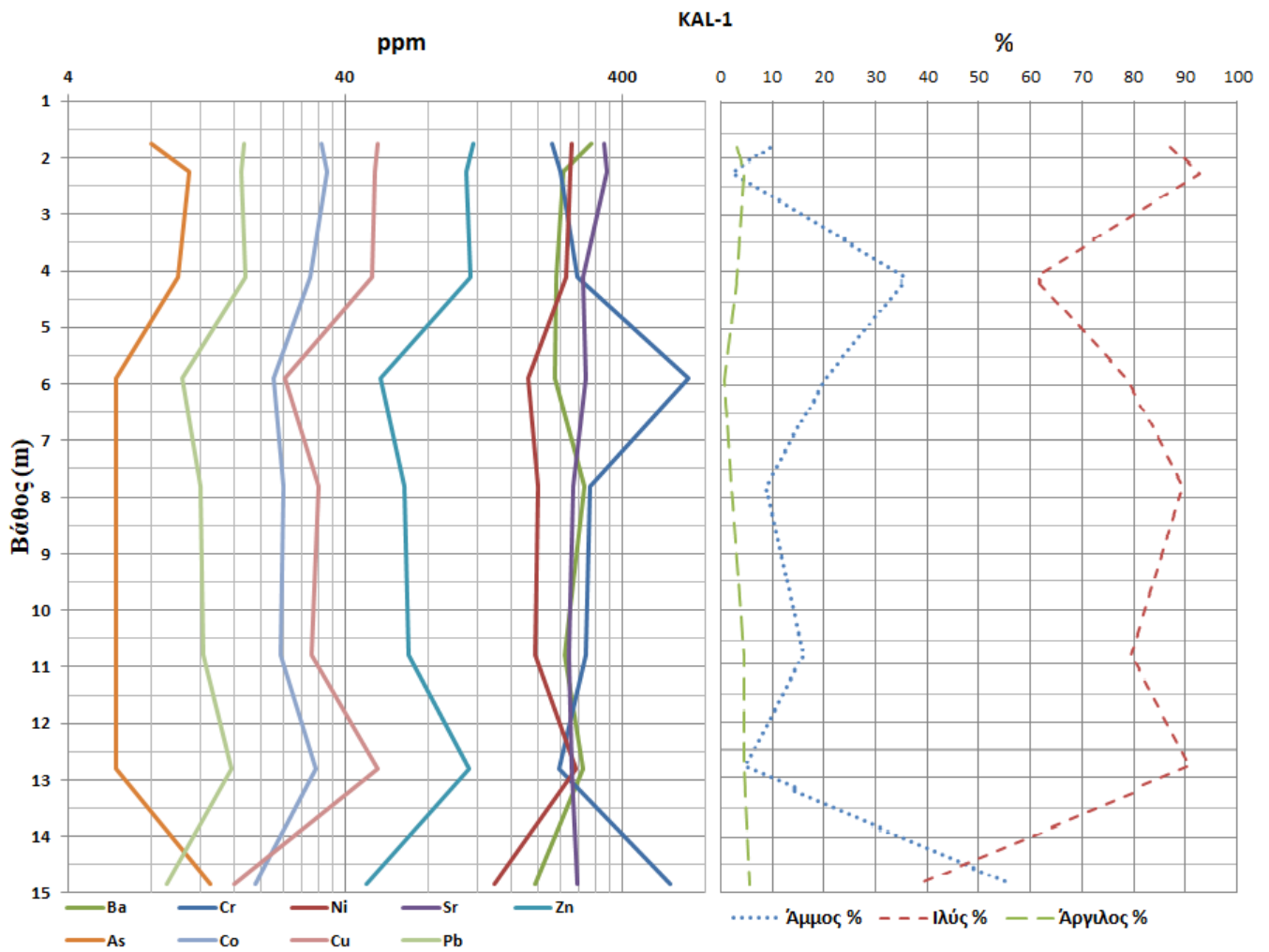
Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις των επιλεγμένων ιχνοστοιχείων εμφανίζονται στον πίνακα 15. Επιπλέον, η παρουσίαση των δεδομένων των ιχνοστοιχείων γίνεται υπό μορφή διαγραμμάτων κατανομής κατά μήκος των πυρήνων της γεώτρησης (εικόνα 40-43).

Για να εκτιμηθεί ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ των χημικών στοιχείων, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης Pearson για τα ιχνοστοιχεία και απεικονίστηκαν σε πίνακα συσχέτισμού (πίνακας 16). Ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των χημικών στοιχείων υποδεικνύει κοινό περιβάλλον απόθεσης, ενώ οι αρνητικές τιμές υποδηλώνουν μια αντίστροφη συσχέτιση στοιχείων.

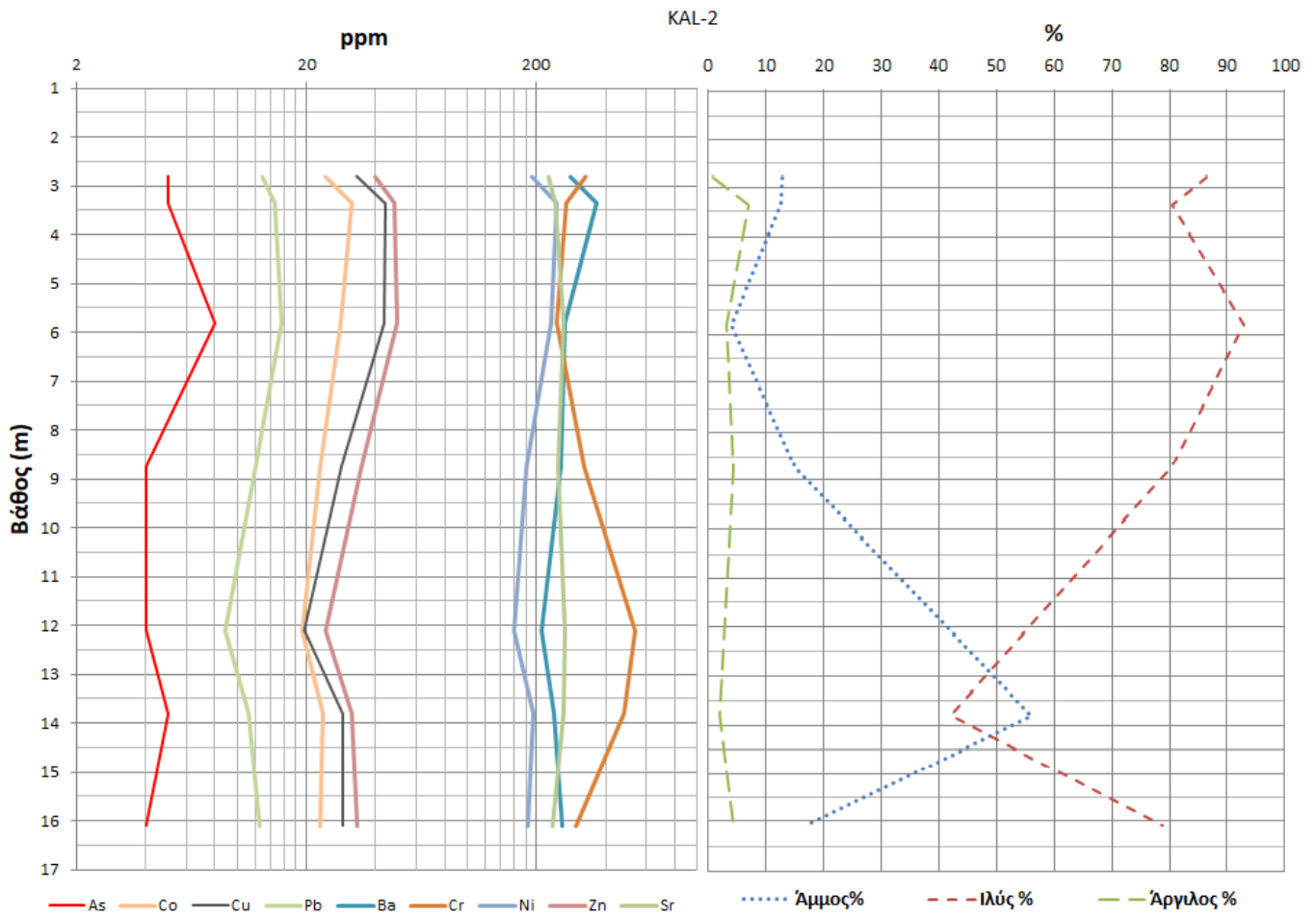
**Πίνακας 16: Συντελεστές συσχέτισης Pearson για τα επιλεγμένα ιχνοστοιχεία στους πυρήνες KAL-1, KAL-2, KAL-3 και KAL-4 (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).**

	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	0.808	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

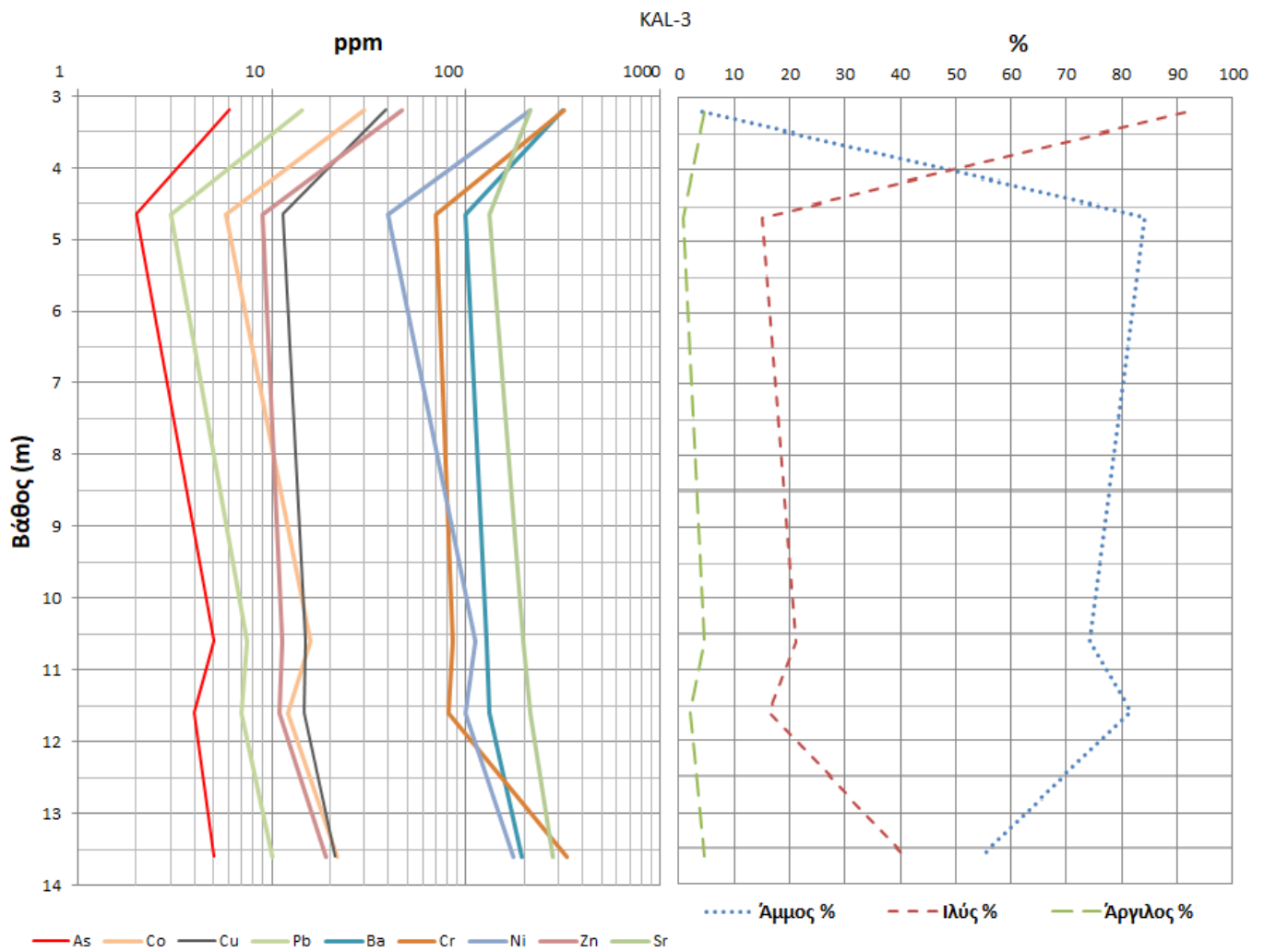




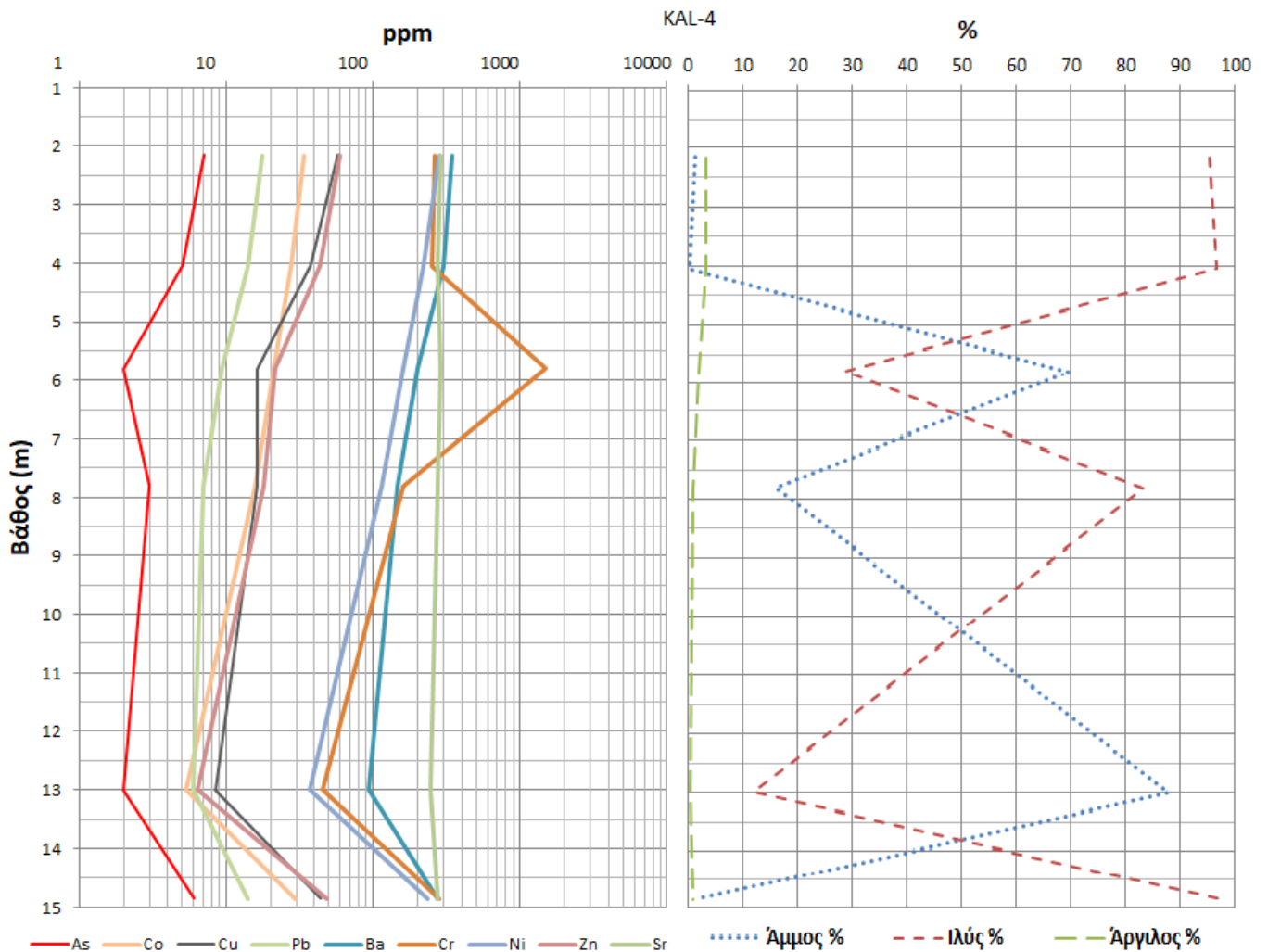
Εικόνα 40: Μεταβολή των ιχνοστοιχείων στη γεώτρηση KAL-1, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



Εικόνα 41: 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 42: Μεταβολή των ιχνοστοιχείων στη γεώτρηση KAL-3, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).



**Εικόνα 43:** Μεταβολή των ιχνοστοιχείων στη γεώτρηση KAL-4, καθώς και των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (%), με το βάθος (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020c).

Οι επικρατούσες συνθήκες σε ένα περιβάλλον, αντικατοπτρίζονται από τις συγκεντρώσεις των κύριων χημικών στοιχείων και ιχνοστοιχείων. Τα περισσότερα ιχνοστοιχεία σχετίζονται πιθανότατα με τα οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου αλλά και του μαγγανίου. Πρόκειται για τα στοιχεία Co, Ni, Cr, As, Zn, Cu και Pb. Ενώ το Sr σχετίζεται με το ανθρακικό ασβέστιο των σκελετικών βιογενών συστατικών του ιζήματος, καθώς αντικαθιστά ιόντα ασβεστίου στο κρυσταλλικό πλέγμα των βιογενών ανθρακικών ορυκτών.

Όσον αφορά στη σχέση μεταξύ της χημικής σύστασης των ιζημάτων και της κοκκομετρίας τους, είναι δυνατός ο καθορισμός συγκεκριμένων ενοτήτων που χαρακτηρίζονται από παράλληλες μεταβολές. Πιο συγκεκριμένα, σε όλες τις γεωτρήσεις τα χημικά στοιχεία As, Ba, Co, Cu, Cr, Ni, Pb και Zn μεταβάλλονται με το βάθος ανάλογα με το ποσοστό της ιλύος και σε πολλές περιπτώσεις και της αργίλου. Ταυτόχρονα τα ίδια χημικά στοιχεία σε μεγάλο βαθμό παρουσιάζουν αντίστροφη μεταβολή με το ποσοστό (%) της άμμου.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί ασβεστόλιθου καθώς και η παρουσία σχιστόλιθων, δολομιτών και φλύσχη, στο ορεινό τμήμα της περιοχής, συμβάλουν στον εμπλουτισμό των δελταϊκών σχηματισμών του ποταμού Καλαμά με Cr και Ni. Οι υψηλές τιμές του Cr πιθανότατα οφείλονται στον εμπλουτισμό της περιοχής με υλικά αποσάθρωσης που έχουν μεταφερθεί με τα νερά του ποταμού. Από τον πίνακα 15, παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του Cr κυμαίνεται μεταξύ 45 έως 1503 ppm (ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση). Στα γραφήματα των εικόνων 40-43 γίνεται αντιληπτό ότι στα βάθη όπου επικρατεί η άμμος, εμφανίζονται σε αρκετές περιπτώσεις και υψηλές συγκεντρώσεις Cr. Αντίστοιχα, η ελάχιστη συγκέντρωση Cr σημειώνεται κυρίως στα βάθη όπου τα ποσοστά της άμμου ελαχιστοποιούνται.

Η μεταβολή στις συγκεντρώσεις χρωμίου και άμμου είναι εύλογη και οφείλεται στην «ειδική επιφάνεια», η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου του κόκκου. Η διαφορά της ειδικής επιφάνειας μεταξύ χονδρόκοκκων (αμμωδών) και λεπτόκοκκων (αργιλικών) ιζημάτων επηρεάζει τη μηχανική τους συμπεριφορά, με τα χονδρόκοκκα ιζήματα να επηρεάζονται λιγότερο από το νερό, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στα λεπτόκοκκα (αργιλικά εδάφη). Για τον λόγο αυτό, η άμμος εμφανίζεται ανθεκτική στη χημική αποσάθρωση και οι συγκεντρώσεις του Cr υψηλές. 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.

### **6.2.5 Χρονολόγηση με τη μέθοδο της φωταύγειας**

Πραγματοποιήθηκε γεωχρονολόγηση 26 δειγμάτων με τη μέθοδο της Οπτικά Διεγειρόμενης Φωταύγειας (OSL) στο εργαστήριο Αρχαιομετρίας του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», χρησιμοποιώντας τη διάταξη TL/OSL-DA-15. Οι ηλικίες των δειγμάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

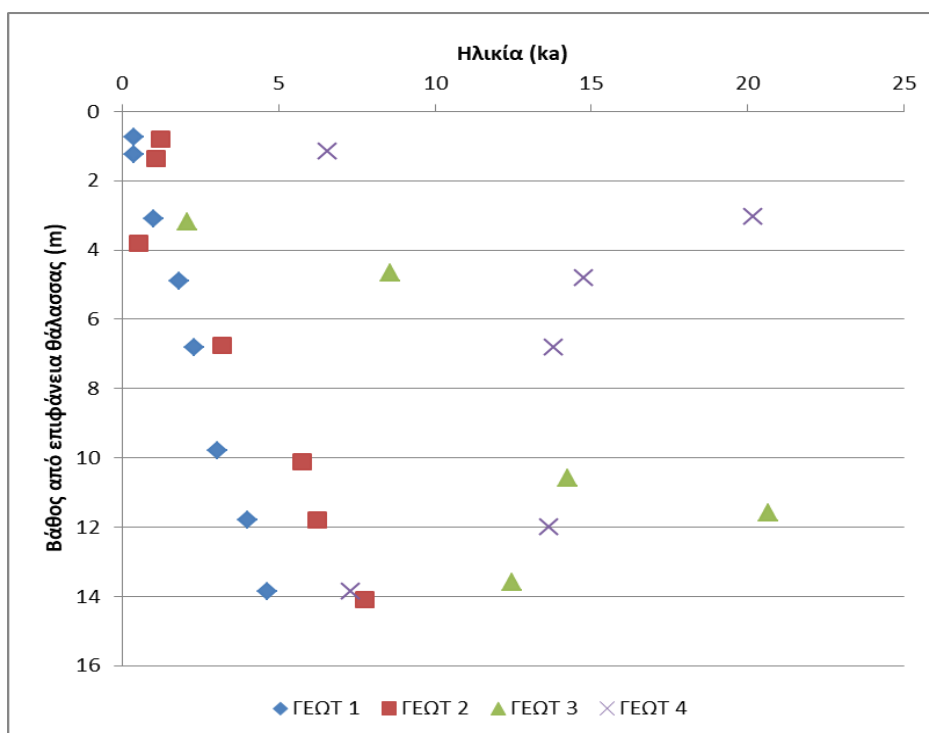
Πίνακας 17: Αποτελέσματα OSL ηλικιών (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020d).

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

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα 17, οι ηλικίες των δειγμάτων τοποθετούνται χρονολογικά στο Ολόκαινο αφού κυμαίνονται από 0,37-20,68 ka. Από τα αποτελέσματα των ηλικιών των γεωτρήσεων KAL-1 και KAL-2 παρατηρείται στρωματογραφική αλληλουχία των δειγμάτων αφού, οι ηλικίες τους αυξάνουν ανάλογα με το βάθος. Στην KAL-3 παρατηρείται στρωματογραφική αλληλουχία με τις ηλικίες των εδαφικών οριζόντων να αυξάνουν μέχρι το βάθος των 12 m περίπου, ωστόσο στη συνέχεια το επόμενο στρώμα εμφανίζει νεότερη ηλικία. Η αναστροφή αυτή, συνεκτιμώντας και τη θέση της συγκεκριμένης γεώτρησης, η οποία βρίσκεται στη σημερινή ακτογραμμή πιθανόν να οφείλεται στην ανάπτυξη μηχανισμών αλληλεπίδρασης χέρσου-θάλασσας κάποια στιγμή κατά το παρελθόν, οι οποίοι και επέφεραν αυτή την αναδιάταξη των εδαφικών οριζόντων. Τέλος, στην KAL-4 παρατηρείται έντονη ανάμιξη των εδαφικών οριζόντων. Η θέση της γεώτρησης αυτής είναι ακριβώς δίπλα στη σύγχρονη κοίτη του ποταμού, γεγονός που καταδεικνύει την ύπαρξη σημαντικών μηχανισμών αναμόχλευσης των

ιζημάτων με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτός ο καθορισμός συγκεκριμένης αλληλουχίας εδαφικών οριζόντων.

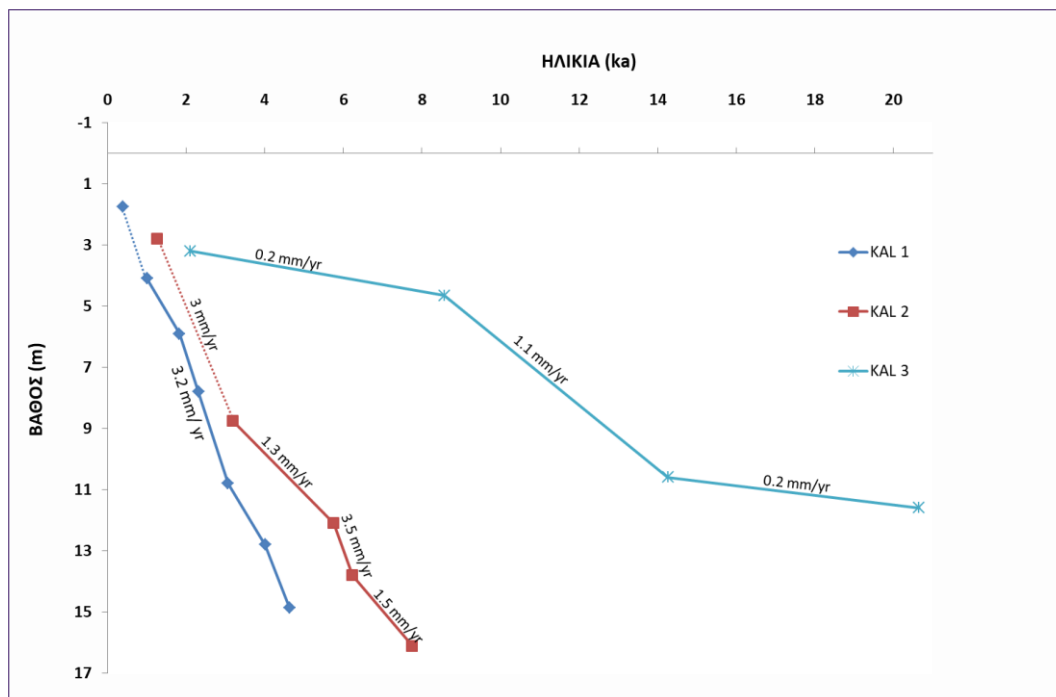
Στην εικόνα 44 δίνονται συγκεντρωτικά οι κατανομές των ηλικιών που προέκυψαν από κάθε γεώτρηση ως συνάρτηση του απόλυτου βάθους από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 44: OSL ηλικίες κάθε γεώτρησης συναρτήσει του βάθους (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020d).

Από τον προσδιορισμό της ηλικίας των δειγμάτων σε σχέση με το βάθος τους υπολογίστηκαν οι ρυθμοί ιζηματογένεσης για τρεις από τις θέσεις δειγματοληψίας στο δέλτα του Καλαμά (εικόνα 45). Έτσι, στα κατώτερα τμήματα της γεώτρησης KAL-3 (στα βάθη 10,6 m – 11,6 m) ο ρυθμός ιζηματογένεσης εμφανίζεται χαμηλός και κυμαίνεται στα 0,2 mm/yr. Στη συνέχεια, και για περίπου 6.000 χρόνια, ο ρυθμός ιζηματογένεσης αυξάνεται σε 1,1 mm/yr (στα βάθη 4,65 m – 10,6 m). Στα ανώτερα τμήματα της γεώτρησης (3,2 m – 4,65 m) ο ρυθμός ιζηματογένεσης μειώνεται πάλι με μέση τιμή ~0,2 mm/yr.

Για τη γεώτρηση KAL-2, στα πρώτα ~9 m ο ρυθμός ιζηματογένεσης υπολογίστηκε σε 3 mm/yr και στην συνέχεια μειώνεται σε 1,3 mm/yr μέχρι το βάθος των 12,1 m. Κάποιο έντονο γεγονός διάρκειας περίπου 1.000 χρόνων αύξησε τον ρυθμό ιζηματογένεσης σε 3,5 mm/yr, ενώ μετέπειτα και μέχρι το βάθος των ~16 μέτρων μειώνεται πάλι στα 1,5 mm/yr. 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 45: 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).**

### 6.2.6 Πλαίσιο εξέλιξης της δελταϊκής ακολουθίας του ποταμού Καλαμά

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που αναπτύχθηκαν παραπάνω (ιζηματολογικές, ορυκτολογικές, γεωχημικές, γεωχρονολογικές, αναλύσεις) σε συνδυασμό με τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στους πυρήνες των γεωτρήσεων οδήγησαν στον διαχωρισμό των επιμέρους στρωματογραφικών ενότητων που χαρακτηρίζουν τις δελταϊκές αποθέσεις του Καλαμά.

Οι στρωματογραφικές ενότητες που καθορίστηκαν από τα δείγματα των πυρήνων που συλλέχθηκαν από το δελταϊκό πεδίο, σε συνδυασμό με τον προσδιορισμό του χρονικού πλαισίου ανάπτυξης της δελταϊκής ακολουθίας, δίνουν την ευκαιρία ανάλυσης των εξελικτικών σταδίων ανάπτυξης του δέλτα του ποταμού.

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας μετά την τελευταία παγετώδη περίοδο (~12000 χρόνια πριν από σήμερα) είχε ως αποτέλεσμα τη 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, φανερώνοντας τη μέγιστη εισχώρηση της θάλασσας στο εσωτερικό της κοιλάδας του (κατά τη φάση της ταχείας ανόδου της στάθμης της θάλασσας μέχρι περίπου 7000 χρόνια πριν από σήμερα).

Υπερκείμενο του συστήματος επίκλυσης εντοπίζεται το στρωματογραφικό σύστημα το οποίο δημιουργήθηκε κατά το στάδιο της μείωσης του ρυθμού ανόδου της στάθμης της θάλασσας, δημιουργώντας την ενότητα του δελταϊκού μετώπου και του συστήματος κλειστών, ρηχών λιμνοθαλασσών, ενός περιβάλλοντος με πολύ περιορισμένη επικοινωνία με τη θάλασσα και ταυτόχρονη εισροή γλυκών υδάτων και χερσογενούς υλικού. Ακολουθώντας τη μείωση του ρυθμού ανόδου της στάθμης της θάλασσας έλαβε χώρα η απόθεση των ποτάμιων αποθέσεων και των πλημμυρικών πεδίων, κατά το Ανώτερο Ολόκαινο, όπου πραγματοποιείται η μετάβαση του αποθετικού περιβάλλοντος από παράκτιο σε χερσαίο, με την πρόσχωση των λιμνοθαλασσών λόγω της προέλασης του δέλτα του Καλαμά προς τα κατάντη τμήματα της λεκάνης. Αυτές οι στρωματογραφικές ενότητες συνθέτουν το σύγχρονο δελταϊκό πεδίο του Καλαμά.

## 7. Εκτίμηση της τρωτότητας της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η άνοδος της μέσης θαλάσσιας στάθμης, ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, έχει απασχολήσει αρκετά τους γεω-επιστήμονες που ασχολούνται με την παράκτια ζώνη και τη διερεύνηση του τρόπου απόκρισης των διαφόρων τύπων ακτών στην άνοδο αυτή. Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες για την εκτίμηση της παράκτιας τρωτότητας σε ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Ένας από τους ευρέως εφαρμοζόμενους δείκτες παράκτιας τρωτότητας είναι ο δείκτης CVI (Coastal Vulnerability Index) (εξ.1), ο οποίος έχει εφαρμοστεί εκτενώς σε μελέτες σχετικά με την επιρρέπεια παράκτιων περιοχών σε καταστροφές που σχετίζονται με την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, και είναι παρόμοιος με παλαιότερες προσεγγίσεις των Gornitz et al. (1991) και Thieler and Hammar-Klose (1999).

Εξ. 1

$$CVI = \sqrt{\left(\frac{a * b * c * d * e * f}{6}\right)}$$

Όπου, a: Γεωλογία – Γεωμορφολογία, b: Παράκτια κλίση, c: Σενάρια ανόδου στάθμης θάλασσας, d: Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής, e: Μέσο σημαντικό ύψος κύματος, f: Μέσο εύρος παλίρροιας

Ο δείκτης C.V.I για την αξιολόγηση και τον εντοπισμό των περιοχών που αναμένεται να αντιμετωπίσουν το μεγαλύτερο πρόβλημα σε ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης λαμβάνει υπόψη του έξι μεταβλητές καταλήγοντας σε ένα ποσοτικό και μετρήσιμο αποτέλεσμα. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιεί είναι οι ακόλουθες:

Γεωμορφολογία: η μεταβλητή αυτή περιλαμβάνει τα γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και των επιμέρους τμημάτων της. Συνεπώς, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται, εκφράζουν την σχετική αντίδραση των ακτών στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Παράκτια κλίση: η μεταβλητή αυτή δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης του κινδύνου κατάκλισης μίας περιοχής καθώς επίσης και της υποχώρησης της ακτογραμμής. Ακτές με ήπια κλίση επηρεάζονται πολύ περισσότερο από ακτές με πιο απότομες κλίσεις σε ενδεχόμενη κατακόρυφη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης.

Σχετική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης: μεταβλητή αυτή λαμβάνει υπόψη τη σχετική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης της περιοχής και προέρχεται από διάφορες πηγές όπως μετρήσεις παλιρροιογράφων.

Ρυθμός Μεταβολής της ακτογραμμής: εκφράζει τη διαχρονική μεταβολή της ακτογραμμής είτε λόγω του φαινομένου της διάβρωσης, είτε λόγω πρόσχωσης και εκτιμάται σε m/έτος.

Μέσο σημαντικό ύψος κύματος: η μεταβλητή αυτή λαμβάνει υπόψη το μέσο σημαντικό ύψος κύματος μίας περιοχής.

Μέσο εύρος παλίρροιας: η μεταβλητή αυτή λαμβάνει υπόψη τη διαδοχική εναλλασσόμενη ανύψωση και πτώση του επιπέδου της θάλασσας σε σχέση με τη ξηρά, που δημιουργείται από τη βαρυτική έλξη που ασκούν ο ήλιος και η σελήνη στη γη.

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 18) παρουσιάζεται η κατάταξη των ακτών σε κατηγορίες τρωτότητας (από πολύ χαμηλής έως πολύ υψηλής) για κάθε έναν από τους παράγοντες – μεταβλητές που λαμβάνει υπόψη ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας CVI. Η βαθμονόμηση έχει γίνει μετά από προσαρμογή στα δεδομένα των ελληνικών ακτών (Karymbalis et al., 2012).

**Πίνακας 18: κατάταξη των ακτών σε κατηγορίες τρωτότητας (από πολύ χαμηλής έως πολύ υψηλής) για κάθε έναν από τους παράγοντες – μεταβλητές που λαμβάνει υπόψη ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας -CVI (Karymbalis et al., 2012).**

Παράγοντας	Πολύ μικρή τρωτότητα (1)	Μικρή τρωτότητα (2)	Μέση τρωτότητα (3)	Υψηλή τρωτότητα (4)	Πολύ υψηλή τρωτότητα (5)
<b>Γεωμορφολογία</b>	Παράκτιοι βραχώδεις κρημνοί, ακτές για, φιόρδ (fjords)	Μέσης κλίσης παράκτιοι κρημνοί σχηματισμών ενδιάμεσης αντοχής	Χαμηλοί παράκτιοι κρημνοί χαλαρών σχηματισμών	Χαλικώδεις αιγαιοί, εκβολικά συστήματα, λιμνοθάλασσες	φραγματικοί αιγαιοί, αμμώδεις αιγαιοί, αλιμυρά έλη, πεδία πηλού, ποτάμια δέλτα, κοραλλιογενείς ύφαλοι
<b>Προέλαση/υποχώρηση της ακτογραμμής σε m/έτος</b>	>(1,5)	(+1,5)-(+0,5)	(+0,5)-(-0,5)	(-0,5)-(-1,5)	<(-1,5)
<b>Παράκτια κλίση (%)</b>	>12	12-9	9-6	6-3	<3
<b>Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης σε mm/έτος</b>	<1,8	1,8-2,5	2,5-3,0	3,0-3,4	>3,4
<b>Μέσο ύψος κύματος σε m</b>	<0,3	0,3-0,6	0,6-0,9	0,9-1,2	>1,2
<b>Μέσο εύρος παλίρροιας σε m</b>	<0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	>0,8

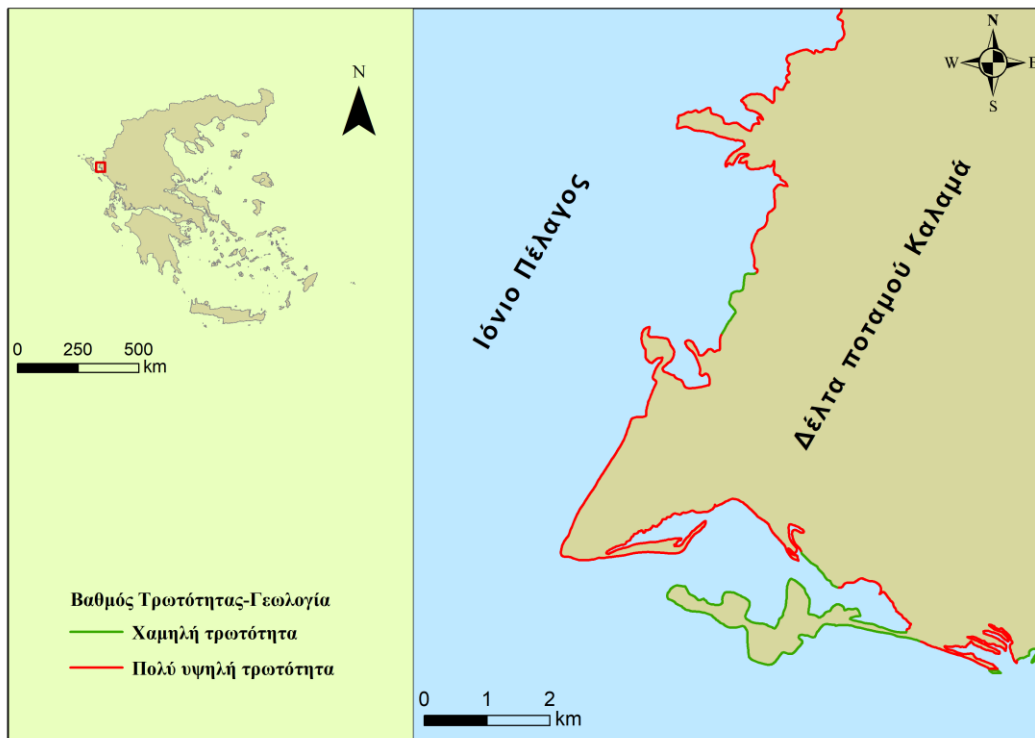
Για την εκτίμηση του Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας-CVI της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά χρησιμοποιήθηκαν:

- Για τη μεταβλητή Γεωλογία, δεδομένα από τον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (1974) κλίμακας 1:50000.
- Για τη μορφολογική κλίση, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) με διάσταση εικονοστοιχείου 25m, το οποίο ανακτήθηκε από το πρόγραμμα «Copernicus» (πηγή: <https://www.copernicus.eu>).

- Για τη σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή, δεδομένα από τη μέση άνοδο της θαλάσσιας στάθμης της Μεσογείου, η οποία είναι 1,8 mm/yr (Vecchio, 2019).
- Ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής προέκυψε από τη σύγκριση της πρόσφατης δελταϊκής ακτογραμμής του 2018, η οποία ψηφιοποιήθηκε από το basemap, με την ακτογραμμή του 1945, η οποία ψηφιοποιήθηκε από αεροφωτογραφίες. Ο υπολογισμός της μεταβολής έγινε σημειακά.
- Για το μέσο σημαντικό ύψος κύματος, ο Άτλαντας Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών-Σύστημα Ποσειδών, όπου η τιμή Hs για την περιοχή μελέτης κυμαίνεται από 0,4-0,5 m.
- Για το μέσο εύρος παλίρροιας, δεδομένα από Evelpidou et al., 2017, το οποίο είναι 0,17 m.

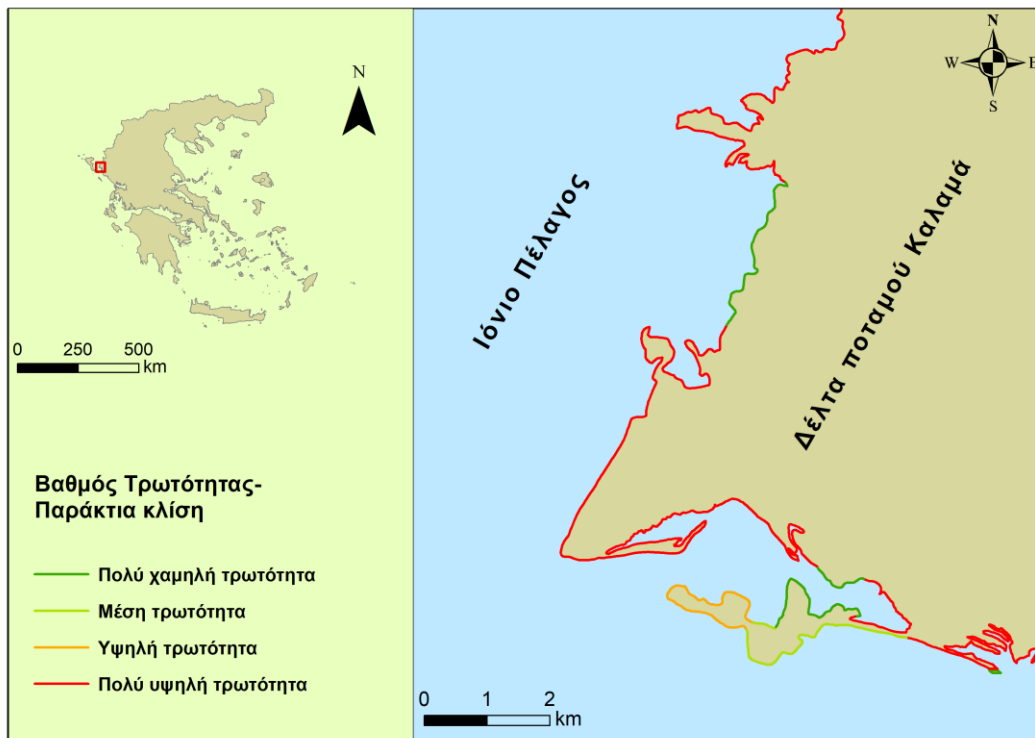
Όλες οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη CVI επεξεργάστηκαν με το λογισμικό ArcGIS 10.5 και δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων στην οποία καταγράφηκε η τιμή των επιμέρους παραμέτρων που ορίζουν τα χαρακτηριστικά της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά. Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω του ArcMap, όπου όλες οι μεταβλητές του CVI προβλήθηκαν επάνω στη δελταϊκή ακτογραμμή, έχοντας την αντίστοιχη διαβάθμιση ως προς την τρωτότητά τους στους παράκτιους κινδύνους (πίνακας 18). Χρησιμοποιήθηκαν 5 κλάσεις για την παράκτια τρωτότητα όπου 1=πολύ χαμηλή τρωτότητα, 2= χαμηλή τρωτότητα, 3= μέση τρωτότητα, 4= υψηλή τρωτότητα και 5= πολύ υψηλή τρωτότητα.

Παρακάτω παρατίθενται χάρτες με τον Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας-CVI για κάθε μεταβλητή ξεχωριστά (εικόνα 46-51) αλλά και ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας-CVI συνολικά για τη δελταϊκή ακτογραμμή του ποταμού Καλαμά (εικόνα 52).



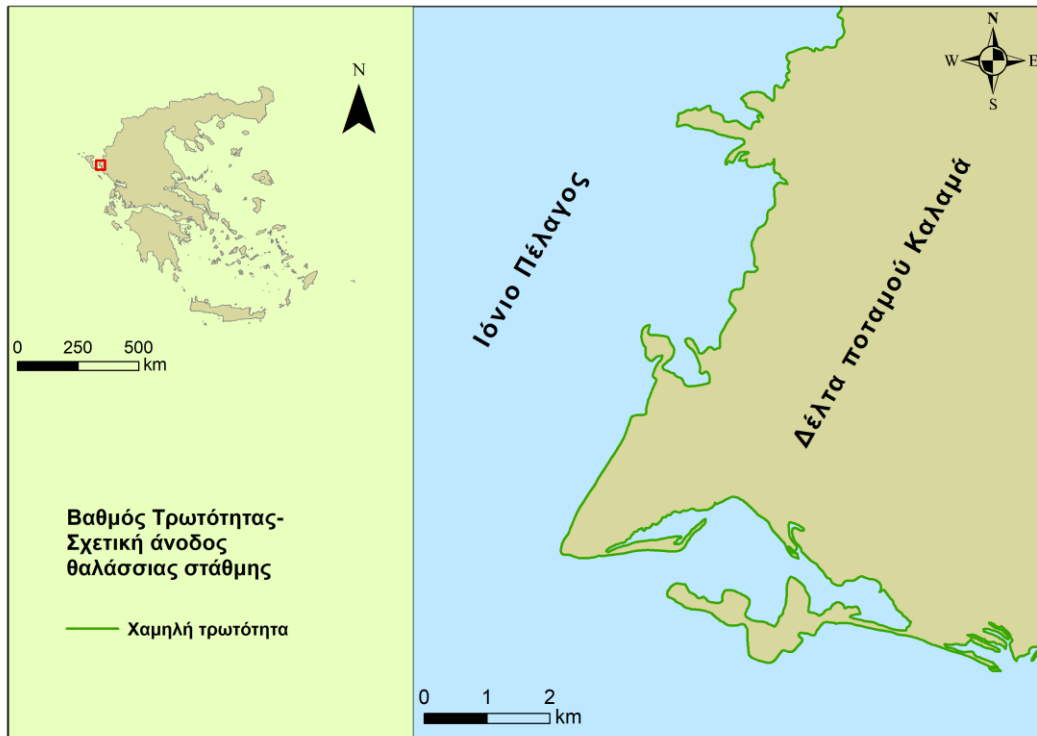
**Εικόνα 46: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς την παράμετρο της Γεωλογίας.**

Η κατηγοριοποίηση ως προς τον βαθμό τρωτότητας της γεωλογίας της περιοχής μελέτης δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις κατά μήκος της ακτογραμμής του δέλτα. Σχεδόν όλο το μήκος της ακτογραμμής ανήκει στην κατηγορία πέντε (5), (φραγματικοί αιγιαλοί, αμμώδεις αιγιαλοί, αλμυρά έλη, πεδία πηλού, ποτάμια δέλτα, κοραλλιογενείς ύφαλοι) εκτός από ένα κομμάτι της ακτογραμμής το οποίο τοποθετήθηκε στην κατηγορία δύο (2), (μέσης κλίσης παράκτιοι κρημονί σχηματισμών ενδιάμεσης αντοχής).



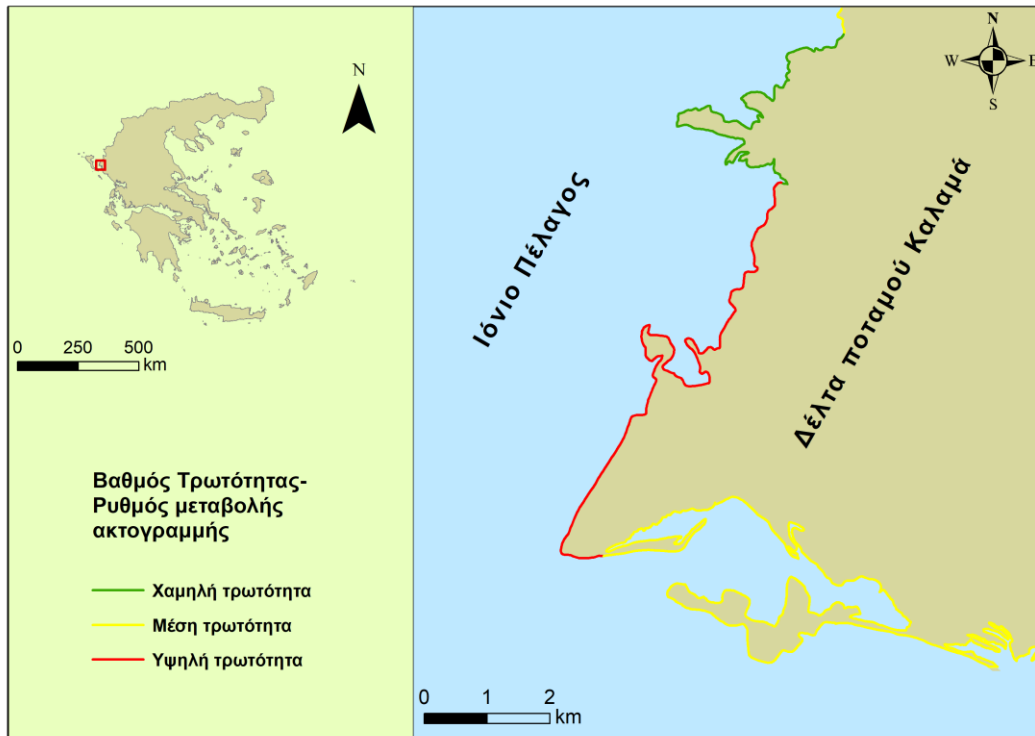
**Εικόνα 47: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς την παράμετρο της Παράκτιας κλίσης.**

Παρατηρείται ότι η χαμηλή μορφολογική κλίση του δέλτα κατατάσσει το μεγαλύτερο τμήμα της παράκτιας ζώνης του στην κατηγορία πέντε (5) πολύ υψηλής τρωτότητας, με εξαίρεση κάποια μικρά τμήματα όπου η κλίση είναι μεγαλύτερη και κατατάσσονται στην κατηγορία ένα (1) πολύ χαμηλής τρωτότητας και τρία (3) μέση τρωτότητας.



**Εικόνα 48:** Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς την παράμετρο της Σχετικής άνοδου της θαλάσσιας στάθμης.

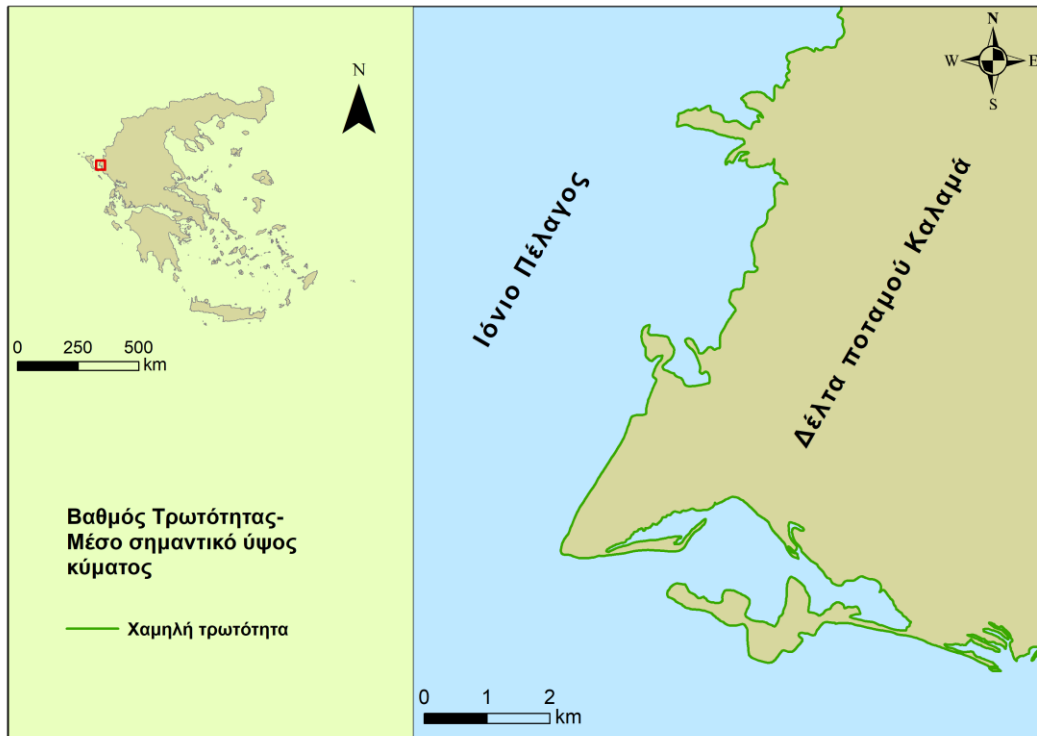
Θεωρήθηκε ότι η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης παραμένει ίδια σε όλο το μήκος της ακτογραμμής, αφού η μέση άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (παγκοσμίως) λόγω ευστατισμού για τη περίοδο 1850-1950 (Gaki-Papanastassiou et al., 2010) είναι της τάξης των 1,8-2,5 mm/yr, γι' αυτό και για τη συγκεκριμένη παράμετρο δόθηκε η τιμή δύο (2) (χαμηλή τρωτότητα).



**Εικόνα 49:** Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς την παράμετρο του Ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

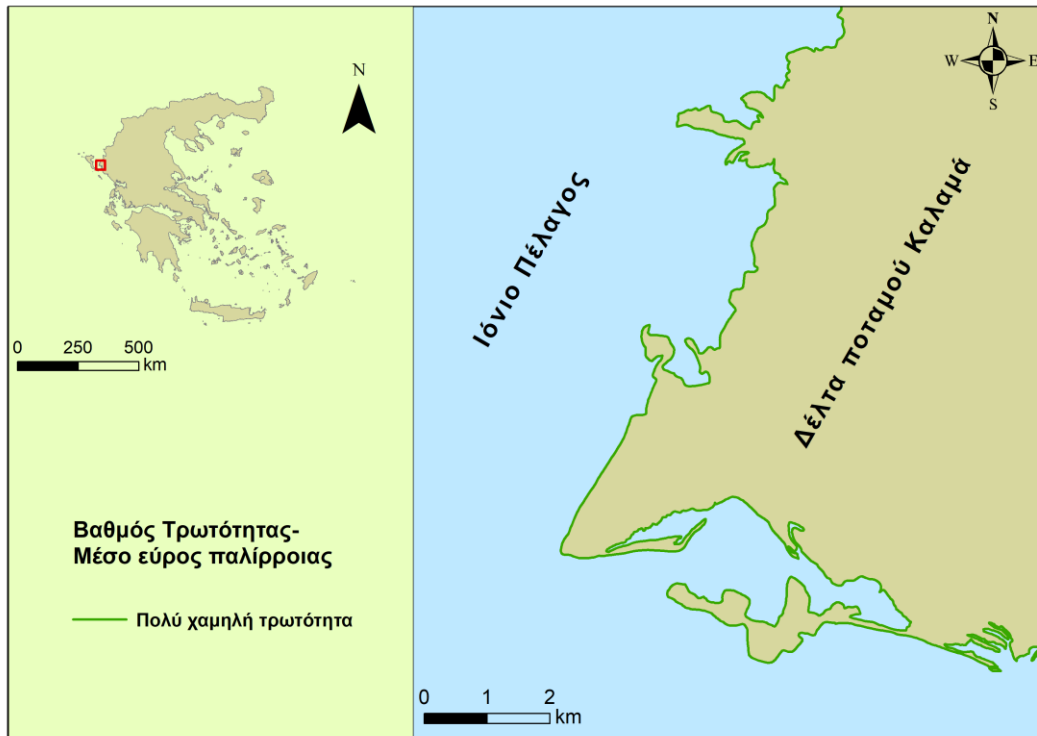
Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο τμήμα της δελταϊκής ακτογραμμής ανήκει στην κατηγορία τρία (3), αφού έχει προελάσει ή υποχωρήσει κατά 0,5 m/yr και στην τέσσερα (4), αφού έχει υποχωρήσει από 0,5 έως 1,5 m/yr, ενώ ένα μικρότερο μέρος αυτής ανήκει στην κατηγορία ένα (1), αφού έχει προελάσει με ρυθμό > 1,5 m/yr. Το μεγαλύτερο ποσοστό υποχώρησης παρατηρείται στο νότιο τμήμα των εκβολών (παλαιές εκβολές) του δέλτα. Το γεγονός πιθανότατα οφείλεται στην εκτροπή της ροής του ποταμού οδηγώντας σε διακοπή της στερεοπαροχής του ποταμού σε φερτές ύλες στο τμήμα αυτό.





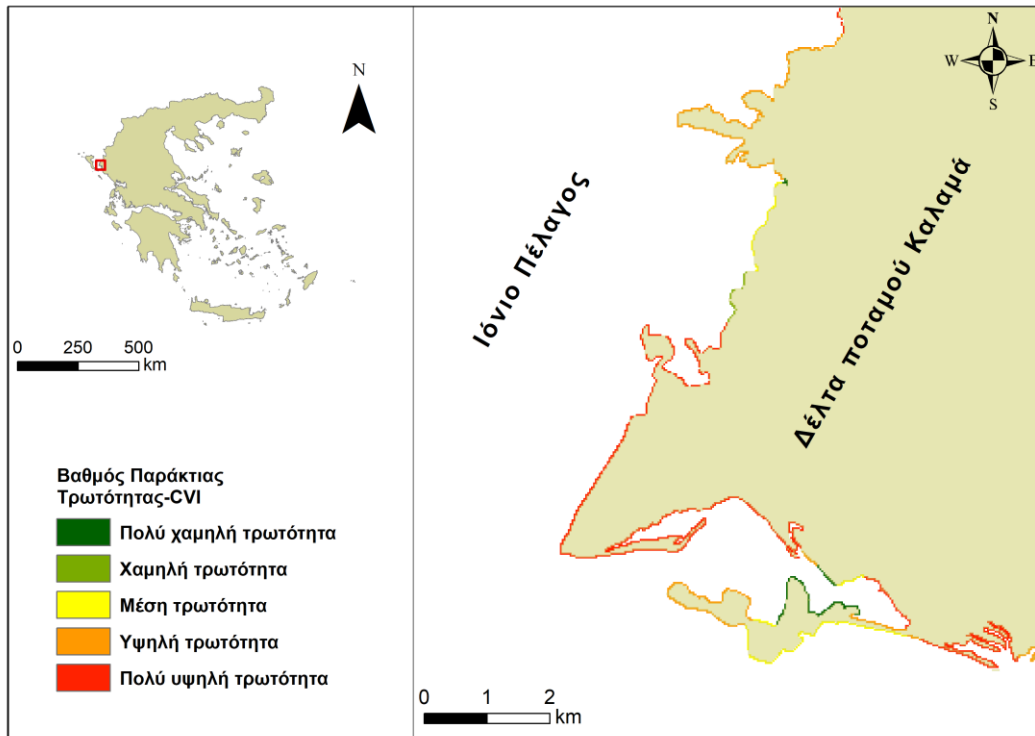
**Εικόνα 50:** Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς την παράμετρο του Μέσου σημαντικού ύψους κύματος.

Θεωρήθηκε ότι το μέσο ύψος κύματος παραμένει ίδιο σε όλο το μήκος της ακτογραμμής, αφού το μέσο ύψος κύματος σύμφωνα με τον «Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών» του ΕΛ.Κ.Ε.Θ.Ε ανέρχεται, για την περιοχή μελέτης, στα 0,4-0,5 m, γι'αυτό και για τη συγκεκριμένη παράμετρο δόθηκε η τιμή δύο (2) (χαμηλή τρωτότητα).



**Εικόνα 51:** Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς την παράμετρο του Μέσου εύρους παλίρροιας.

Θεωρήθηκε ότι το μέσο εύρος παλίρροιας παραμένει ίδιο σε όλο το μήκος της ακτογραμμής, αφού το μέσο παλιρροιακό εύρος στο Ιόνιο Πέλαγος σύμφωνα με τους Eneipidou et al., 2017 είναι 0,17 m, γι' αυτό και για τη συγκεκριμένη παράμετρο δόθηκε η τιμή ένα (1) (πολύ χαμηλή τρωτότητα).



**Εικόνα 52: Ταξινόμηση της τρωτότητας της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά μέσω της εφαρμογής του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας – CVI.**

Στον τελικό χάρτη του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας – CVI της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά εμφανίζεται το μεγαλύτερο τμήμα της ακτογραμμής ως υψηλής και πολύ υψηλής παράκτιας τρωτότητας ενώ μικρότερα τμήματα της ακτογραμμής εμφανίζουν πολύ χαμηλή, χαμηλή και μέτρια τρωτότητα. Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη τρωτότητα εμφανίζονται στο νότιο τμήμα όπου βρίσκονται οι παλαιές εκβολές του δέλτα, ενώ μικρότερη και μέση τρωτότητα εμφανίζεται στο βόρειο τμήμα των νέων εκβολών.

## **8. Επιπτώσεις από τη μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας στο δέλτα του ποταμού Καλαμά**

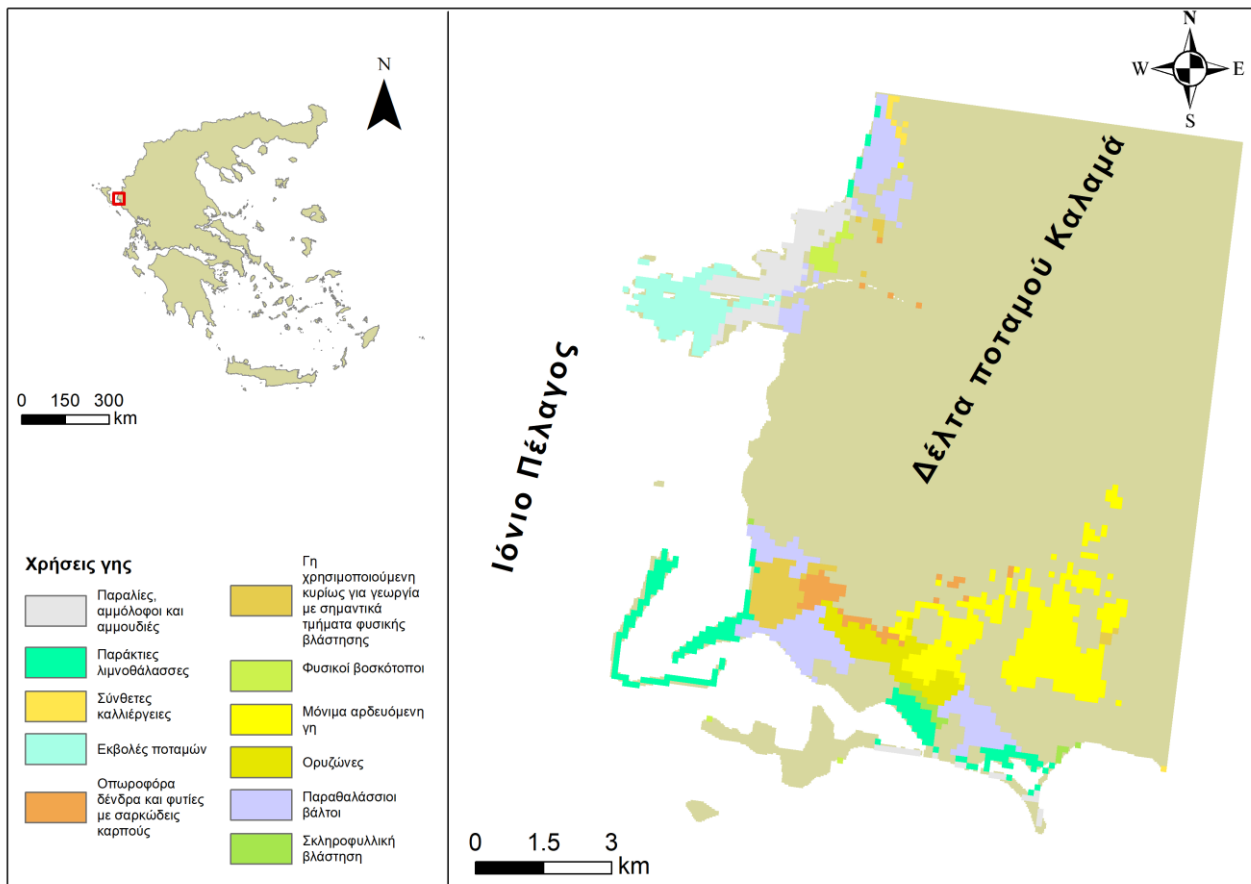
Η αναμενόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης προβλέπεται να επηρεάσει σημαντικά τις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές και κυρίως τις περιοχές χαμηλού ανάγλυφου, οι οποίες θεωρούνται περισσότερο ευάλωτες, οδηγώντας στην απώλεια γης και σε υποβάθμιση περιοχών μεγάλης κοινωνικο-οικονομικής και οικολογικής σημασίας. Σύμφωνα με την έκθεση του IPCC (2007) μέχρι το 2080, το 33% των υγροβιότοπων θα μετατραπεί σε ανοιχτή θάλασσα, ενώ παράκτιες πεδινές εκτάσεις χαμηλού ανάγλυφου θα κατακλυστούν από τη θάλασσα, οδηγώντας παράλληλα και σε υφαλμύριση του υδροφόρου ορίζοντα.

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων από ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μελετήθηκαν 3 διαφορετικά σενάρια, με βασικό κριτήριο την τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής του δέλτα του ποταμού Καλαμά αλλά και τις χρήσεις γης που υφίστανται στην περιοχή. Συγκεκριμένα, τα σενάρια βασίστηκαν στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m, 1 m και 2 m, όπου όπως γίνεται αντιληπτό όσο χαμηλότερο είναι το υψόμετρο τόσο μεγαλύτερη είναι η παράκτια επικινδυνότητα στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (εικόνα 53-55) (ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020e). Επιπλέον, ένα σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης των επιπτώσεων από μια μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης αποτελούν και οι χρήσεις γης στην κάθε υψομετρική ζώνη. Οι χρήσεις γης για τη λεκάνη απορροής του δέλτα του ποταμού Καλαμά αντλήθηκαν από το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα CORINE (COoRdination of Information on the Environment) Land Cover (CLC) (πηγή: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>) και με τη χρήση ΣΓΠ και συγκεκριμένα του ArcMap έγινε αναπαράσταση των περιοχών αυτών.

Οι χάρτες με τα 3 σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να υπολογιστεί η έκταση των χρήσεων γης που αναμένεται να χαθούν και το ποσοστό τους ανά σενάριο ανόδου (πίνακας 19-21).

### **8.1 Σενάριο 1: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να χαθούν έπειτα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m.**

Στο σενάριο αυτό εξετάζονται οι εκτάσεις ανά χρήσεις γης που αναμένεται να χαθούν έπειτα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m.



**Εικόνα 53: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m.**

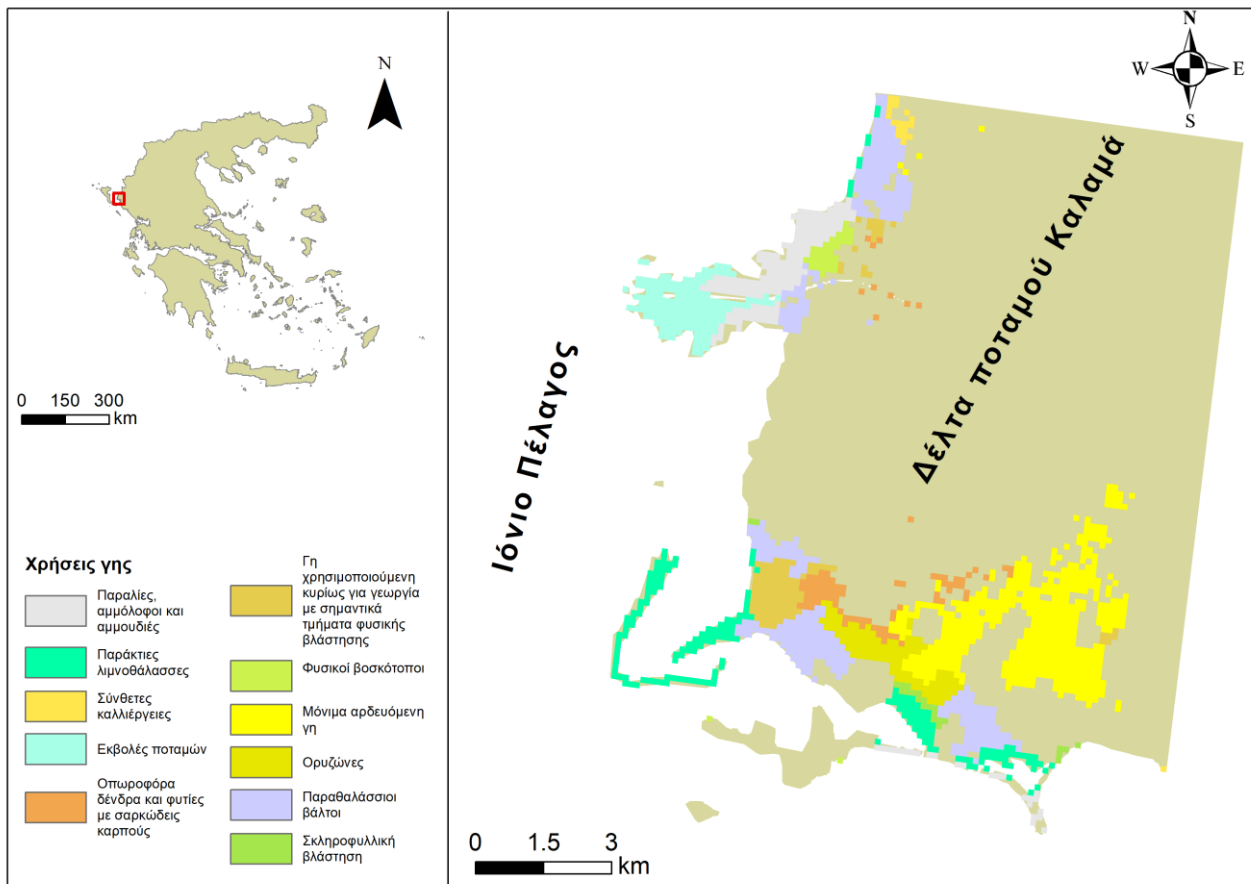
Παρατηρώντας τον χάρτη της εικόνας 53 γίνεται αντιληπτό ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεων γης που θα κατακλυσθούν εντοπίζεται στο νότιο δέλτα (παλαιές εκβολές) του ποταμού Καλαμά, ενώ αρκετά μεγάλο είναι και το τμήμα που αναμένεται να κατακλυσθεί στο βόρειο τμήμα των εκβολών. Μεγάλο μέρος των εκτάσεων αυτών, όπως αναμενόταν, καταλαμβάνεται κυρίως από παράκτιες λιμνοθάλασσες, εκβολές ποταμού, παραθαλάσσιους βάλτους, παραλίες αμμόλοφων και αμμουδιές. Ωστόσο, οι εν λόγω εκτάσεις δεν αναμένεται να εξαφανιστούν αλλά να μεταφερθούν προς τη σημερινή ενδοχώρα, διότι έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται στις νέες συνθήκες, καλύπτοντας νέες εκτάσεις που σήμερα αποτελεί καλλιεργήσιμη γη. Έντονο πρόβλημα θα παρουσιαστεί επίσης στους φυσικούς βοσκότοπους, στους ορυζώνες, στις καλλιέργειες οπωροφόρων και στις σύνθετες καλλιέργειες, που είναι πολύ σημαντικά για τον πρωτογενή τομέα της ευρύτερης περιοχής, αλλά και σε μεγάλη έκταση αρδευόμενης γης στο νότιο τμήμα της δελταϊκής πεδιάδας, όπου παρατηρείται μία τοπογραφική ταπείνωση στην περιοχή. Οι εκτάσεις ανά χρήση γης που αναμένεται να κατακλυσθούν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα με τη συνολική έκταση να φτάνει τα 16.16 km<sup>2</sup>.

**Πίνακας 19: Εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0.5 m (km<sup>2</sup>).**

Χρήσεις γης	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Έκταση (%)
Σκληροφυλλική βλάστηση	0.22	1.36
Παραθαλάσσιοι βάλτοι	3.45	21.35
Ορυζώνες	1.15	7.12
Μόνιμα αρδευόμενη γη	4.02	24.88
Φυσικοί βοσκότοποι	0.26	1.61
Γη χρησιμοποιούμενη κυρίως για γεωργία με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	1.02	6.31
Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	0.62	3.84
Εκβολές ποταμών	1.58	9.78
Σύνθετες καλλιέργειες	0.12	0.74
Παράκτιες λιμνοθάλασσες	1.86	11.51
Παραλίες, αμμόλοφοι και αμμουδιές	1.86	11.51
<b>Συνολική έκταση</b>	<b>16.16</b>	<b>100.00</b>

**8.2 Σενάριο 2: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να χαθούν έπειτα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m.**

Στο 2ο σενάριο όπου εκτιμήθηκαν οι εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να χαθούν έπειτα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m, παρατηρούμε ότι (εικόνα 54) το μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεων γης που αναμένεται να κατακλυσθούν εντοπίζεται και πάλι στο νότιο δέλτα (παλαιές εκβολές) του ποταμού Καλαμά, ενώ αρκετά μεγάλο είναι και πάλι το τμήμα που αναμένεται να κατακλυσθεί στο βόρειο τμήμα των εκβολών.



**Εικόνα 54: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1m.**

Συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση της έκτασης των παραθαλάσσιων βάλτων από 3.45 km<sup>2</sup> σε 3.87 km<sup>2</sup>, της μόνιμα αρδευόμενης γης από 4.02 km<sup>2</sup> σε 5.01 km<sup>2</sup>, ενώ μικρότερη αύξηση παρατηρείται στις υπόλοιπες χρήσεις γης (πίνακας 20). Η συνολική έκταση που αναμένεται να κατακλυσθεί καταλαμβάνει 18.27 km<sup>2</sup> (πίνακας 20).

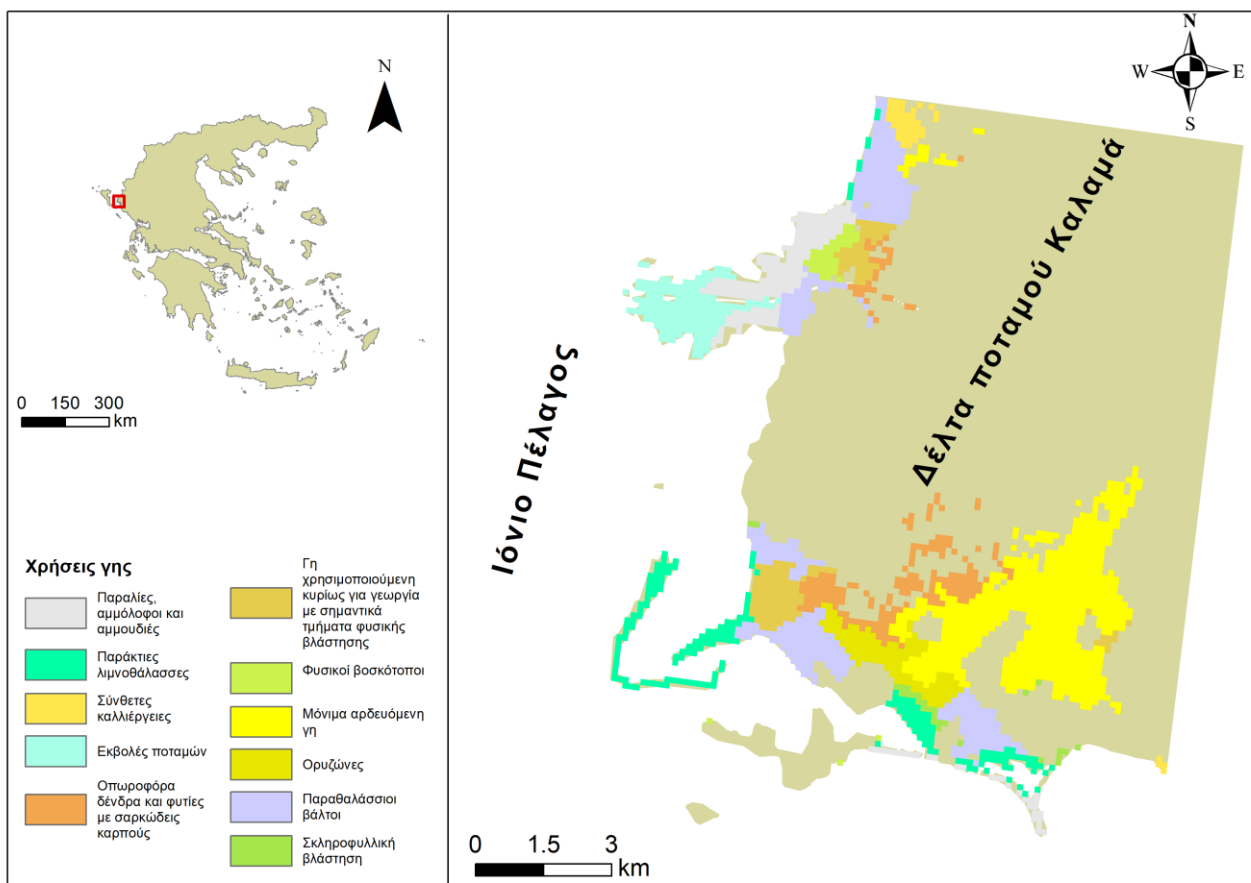
**Πίνακας 20: Εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m (km<sup>2</sup>).**

<b>Χρήσεις γης</b>	<b>Έκταση (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Έκταση (%)</b>
Σκληροφυλλική βλάστηση	0.24	1.31
Παραθαλάσσιοι βάλτοι	3.87	21.18
Ορυζώνες	1.16	6.35
Μόνιμα αρδευόμενη γη	5.01	27.42
Φυσικοί βοσκότοποι	0.36	1.97
Γη χρησιμοποιούμενη κυρίως για γεωργία με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	1.13	6.19
Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	0.89	4.87
Εκβολές ποταμών	1.59	8.70
Σύνθετες καλλιέργειες	0.19	1.04
Παράκτιες λιμνοθάλασσες	1.89	10.34
Παραλίες, αμμόλοφοι και αμμουδιές	1.94	10.62
<b>Συνολική έκταση</b>	<b>18.27</b>	<b>100.00</b>



### 8.3 Σενάριο 3: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να χαθούν έπειτα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m.

Στο σενάριο αυτό όπου εκτιμήθηκαν οι εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να χαθούν έπειτα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m, παρατηρείται (εικόνα 55) σημαντική αύξηση της έκτασης της μόνιμα αρδευόμενης γης από 5.01 km<sup>2</sup> σε 6.92 km<sup>2</sup> καθώς και των εκτάσεων καλλιέργειας οπωροφόρων δένδρων από 0.89 km<sup>2</sup> σε 2.03 km<sup>2</sup>. Στις υπόλοιπες χρήσεις γης παρατηρείται μικρή αύξηση, ενώ η συνολική έκταση καταλαμβάνει 22.52 km<sup>2</sup> (πίνακας 21).



Εικόνα 55: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m.

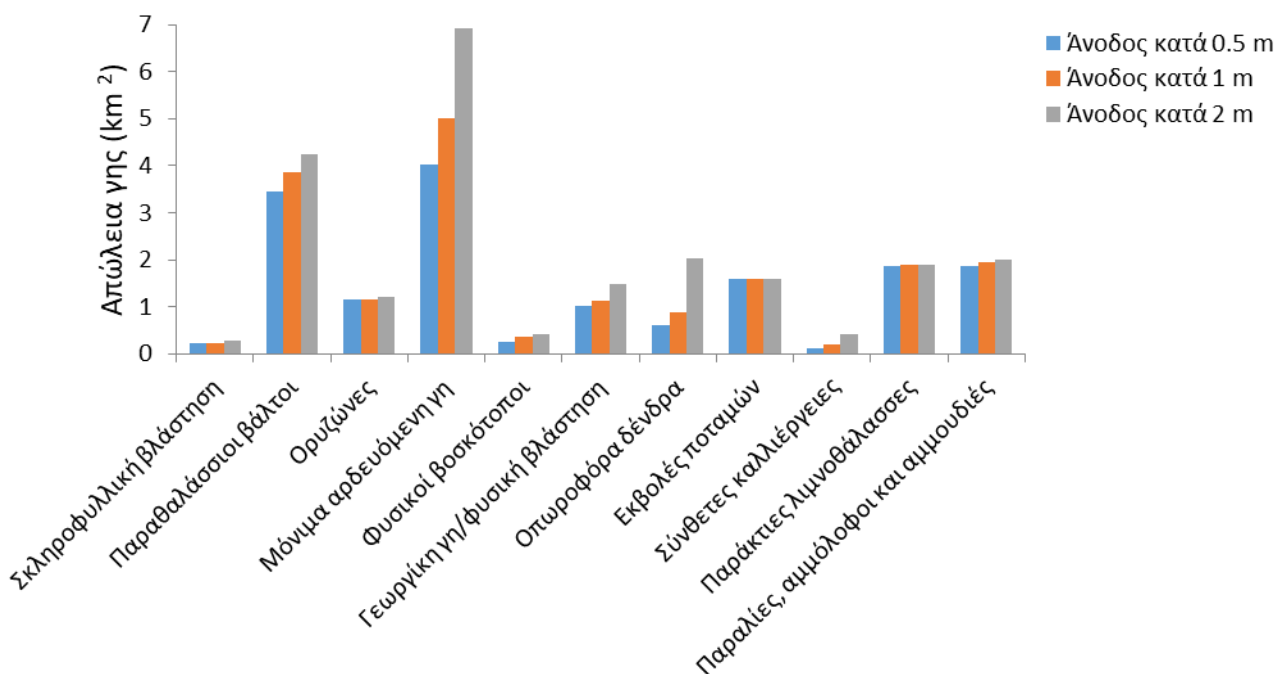
**Πίνακας 21: Εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m (km<sup>2</sup>).**

Χρήσεις γης	Εκτάση (km <sup>2</sup> )	Εκτάση (%)
Σκληροφυλλική βλάστηση	0.28	1.24
Παραθαλάσσιοι βάλτοι	4.25	18.87
Ορυζώνες	1.2	5.33
Μόνιμα αρδευόμενη γη	6.92	30.73
Φυσικοί βοσκότοποι	0.42	1.87
Γη χρησιμοποιούμενη κυρίως για γεωργία με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	1.49	6.62
Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	2.03	9.01
Εκβολές ποταμών	1.6	7.10
Σύνθετες καλλιέργειες	0.43	1.91
Παράκτιες λιμνοθάλασσες	1.9	8.44
Παραλίες, αμμόλοφοι και αμμουδιές	2	8.88
<b>Συνολική έκταση</b>	<b>22.52</b>	<b>100.00</b>

Παρατηρώντας το διάγραμμα της εικόνας 56 όπου παρουσιάζονται οι εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να χαθούν για κάθε σενάριο ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, γίνεται αντιληπτό ότι το μεγαλύτερο τμήμα των εκτάσεων που αναμένεται να κατακλυσθούν και για τα 3 σενάρια, αφορά σε μόνιμα αρδευόμενη γη και ακολουθούν οι παραθαλάσσιοι βάλτοι. Έπειτα, ακολουθούν οι παράκτιες λιμνοθάλασσες, οι παραλίες- αμμόλοφοι-αμμουδιές και οι εκβολές ποταμών, στη συνέχεια ακολουθούν οι ορυζώνες, η γεωργική γη/φυσική βλάστηση και οι καλλιέργειες οπωροφόρων δένδρων, ενώ τέλος η σκληροφυλλική βλάστηση, οι φυσικοί βοσκότοποι και οι σύνθετες καλλιέργειες.

Παρατηρώντας το διάγραμμα της εικόνας 56 όπου παρουσιάζονται οι εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να χαθούν για κάθε σενάριο ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, γίνεται αντιληπτό ότι το μεγαλύτερο τμήμα των εκτάσεων που αναμένεται να κατακλυσθούν και για τα 3 σενάρια, αφορά σε μόνιμα αρδευόμενη γη και ακολουθούν οι παραθαλάσσιοι βάλτοι. Έπειτα, ακολουθούν οι παράκτιες λιμνοθάλασσες, οι παραλίες- αμμόλοφοι-αμμουδιές και οι εκβολές ποταμών, στη συνέχεια ακολουθούν

οι ορυζώνες, η γεωργική γη/φυσική βλάστηση και οι καλλιέργειες οπωροφόρων δένδρων, ενώ τέλος η σκληροφυλλική βλάστηση, οι φυσικοί βοσκότοποι και οι σύνθετες καλλιέργειες.



**Εικόνα 56:** Έκταση (km<sup>2</sup>), ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθεί για κάθε σενάριο ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.

Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις των αεροφωτογραφιών, διαφορετικών ετών λήψης, διαπιστώνουμε ότι ενδεχόμενη μελλοντική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα μπορούσε να οδηγήσει στη διάβρωση και σημαντική υποχώρηση της περιοχής των νότιων-παλαιών εκβολών της δελταϊκής πεδιάδας του ποταμού Καλαμά. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το χαμηλό ανάγλυφο (<0,5 m) του δέλτα θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημαντικό πρόβλημα για την περιοχή, καθώς θα απειλούσαν με περιορισμό ή ακόμη και με εξαφάνιση μεγάλο τμήμα του παράκτιου ζωτικού χώρου του νότιου δέλτα του, δεδομένου ότι το τμήμα χαμηλού ανάγλυφου στην περιοχή καταλαμβάνει έκταση περίπου 7,02 km<sup>2</sup> (Καρύμπαλης και Γάκη-Παπαναστασίου, 2005).

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να τονισθεί ότι η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα επιφέρει υφαλμύριση των υδροφόρων οριζόντων, αφού σημαντική ποσότητα θαλασσινού νερού θα εισχωρήσει στους υδροφόρους ορίζοντες που εντοπίζονται στις δελταϊκές αποθέσεις, οδηγώντας στην αύξηση των χλωριόντων. Το γεγονός αυτό θα επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στις καλλιέργειες, αφού θα καταστήσει αδύνατη τη χρησιμοποίηση των υπόγειων υδάτων για άρδευση. Επιπλέον, σημαντικό πρόβλημα παρατηρείται στο νότιο (παλαιές εκβολές) τμήμα των εκβολών του ποταμού, όπου

βυθίζονται τα αποστραγγιστικά και αρδευτικά έργα (κανάλια) που είχαν κατασκευαστεί για τη βελτίωση των συνθηκών καλλιέργειας στην περιοχή, λόγω εκτροπής του ποταμού και κατά συνέπεια διακοπής της ιζηματοπόθεσης στο νότιο τμήμα του δέλτα (παλαιές εκβολές).

Μικρότερο πρόβλημα ενδέχεται να αντιμετωπίσει το τμήμα των βόρειων-νέων εκβολών, όπου η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης εξισορροπείται από την τροφοδοσία ποτάμιου ιζήματος και συνεπώς αναπτύσσεται συνεχώς νέο τμήμα χέρσου προς το Ιόνιο Πέλαγος. Η πιθανή εξέλιξη σε τέτοιες περιοχές, όπως είναι η νέα εκβολή του Καλαμά στο βόρειο δέλτα, είναι να διατηρηθεί μια σταθερή ακτογραμμή στο μέλλον.

## 9. Πρόληψη και Διαχείριση

Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στην ευρύτερη περιοχή του δέλτα του ποταμού Καλαμά, αφορούν κυρίως σε ζητήματα χρήσεων γης και ρύπανσης της περιοχής. Στην παρούσα έρευνα επιδιώχθηκε η μελέτη της τρωτότητας των παράκτιων περιοχών του δέλτα του ποταμού Καλαμά και προτείνονται δράσεις που στοχεύουν κυρίως στην ανάσχεση της διάβρωσης που παρατηρείται στην περιοχή.

Ωστόσο, σημαντικός παράγοντας για την ορθή διαχείριση του δέλτα του ποταμού είναι η εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και της Φέρουσας Ικανότητας του οικοσυστήματος και της τουριστικής ανάπτυξης της περιοχής καθώς και η ανάγκη διαχείρισης μεγαλύτερων εκτάσεων γης από πλευράς φορέων ή περιβαλλοντικών ΜΚΟ. Επιπλέον, για την αποτελεσματική διαχείριση παράκτιων περιοχών τα σχέδια θα πρέπει να περιλαμβάνουν τις επιταγές της αειφόρου ανάπτυξης αλλά και πλάνων όπως το Blue Plan. Τέλος, τα σχέδια διαχείρισης θα πρέπει να εξετάζουν τα γενικότερα αναπτυξιακά σχέδια και τις επιπτώσεις κατασκευής έργων αλλά και δραστηριοτήτων από την οπτική της αισθητικής, πολιτισμικής, κοινωνικής και οικονομικής τους συνιστώσας.

Ωστόσο, το παρόν Σχέδιο Διαχείρισης, όπως προαναφέρθηκε, εστιάζει στην αντιμετώπιση του φαινομένου της παράκτιας διάβρωσης, χωρίς να εξετάζονται στο σύνολό τους οι παράγοντες και παράμετροι που συμμετέχουν στη διαμόρφωση και εξέλιξη του εν λόγω οικοσυστήματος, διότι δεν εμπίπτουν στο σκοπό εκπόνησης του Σχεδίου αυτού.

Τα σχέδια διαχείρισης των λεκανών απορροής των δέλτα θα πρέπει να επιφέρουν συγκεκριμένα αποτελέσματα και να εκπληρώνουν συγκεκριμένους στόχους όπως:

- Αναβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος καθώς και ανάπτυξη της περιοχής με οικονομικούς όρους.
- Βελτίωση της αλιείας και του τουρισμού που αποτελούν σημαντικές συνιστώσες οικονομίας για τις δελταϊκές περιοχές.
- Ενδυνάμωση των αρμοδιοτήτων των Φορέων Διαχείρισης, με σκοπό την αποτελεσματικότερη επίλυση των περιβαλλοντικών απειλών στις δελταϊκές περιοχές.

Σκόπιμο είναι να αναφερθεί ότι οι επιπτώσεις της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης θα πρέπει να προσεγγιστούν και να αντιμετωπιστούν, αρχικά σε εθνικό επίπεδο, έτσι ώστε να ακολουθείται μία ενιαία εθνική στρατηγική. Δράσεις που προτείνονται για την αντιμετώπιση του φαινομένου αποτελούν:

- Η επικαιροποίηση στοιχείων τοπογραφίας με σκοπό την εκπόνηση διαχειριστικών σχεδίων φερτών υλών και βελτίωσης της παροχτευτικότητας των εκβολών των ποταμών.
- Ο έλεγχος και η παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων ανάσχεσης της διάβρωσης.

Όσον αφορά στην περιοχή μελέτης οι δράσεις που προτείνονται για την αντιμετώπιση και προστασία από το φαινόμενο της διάβρωσης είναι οι ακόλουθες:

- Συστηματική παρακολούθηση (monitoring) της περιοχής από τον Φορέα Διαχείρισης.
- Απομάκρυνση υλικών που εμποδίζουν την ομαλή ροή στις εκβολές του ποταμού με σκοπό την ανάσχεση της διάβρωσης των λουρονησίδων.
- Επανελέγχος και εκ νέου μελέτη του βαθμού διάβρωσης ανά 5ετία.
- Υιοθέτηση ήπιων τεχνικών μέτρων και έργων (αναλύονται παρακάτω) όπως τεχνητή αναπλήρωση των νότιων-παλαιών εκβολών/ περιοδικός τεχνητός εμπλουτισμός με άμμο για την αποκατάσταση του ισοζυγίου των φερτών υλικών.
- Εξειδικευμένη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων με σκοπό την αποτίμηση των επιπτώσεων των μεθόδων προστασίας για τη διάβρωση.

Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι η μείωση της ροής του ποταμού Καλαμά κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών οδηγεί σε πολλές περιπτώσεις σε καταπατήσεις στο δελταϊκό πεδίο του ποταμού. Ως εκ τούτου, προτείνονται κάτωθι ενέργειες:

- Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των κατοίκων της περιοχής με ανάληψη αντίστοιχων πρωτοβουλιών από τον Φορέα Διαχείρισης της προστατευόμενης περιοχής, αλλά και κέντρων ενημέρωσης σχετικά με την οικολογική σημασία της περιοχής.
- Υιοθέτηση μέτρων σχετικά με τον ορθολογικό τρόπο βόσκησης.
- Ανάδειξη του φυσικού περιβάλλοντος μέσω της κατασκευής στοχευμένων έργων.
- Αυστηροποίηση των μέτρων κατασκευής αυθαίρετων κτισμάτων.
- Λήψη μέτρων για την ενίσχυση της δενδρώδους βλάστησης κατά μήκος της κοίτης του ποταμού.

Η ορθή εκμετάλλευση των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής του ποταμού Καλαμά αποτελεί καθοριστικής σημασίας παράμετρο για την ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής. Το υπάρχον φαινόμενο της υφαλμύρισης των υδάτων που παρατηρείται, αναμένεται ότι θα επιδεινωθεί λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης και των υπεραντλήσεων, οδηγώντας σε μη αναστρέψιμη υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων της περιοχής. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού προτείνονται τα ακόλουθα μέτρα:

- Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του αγροτικού πληθυσμού για τον κίνδυνο υποβάθμισης των υδάτων από υπεραντλήσεις των γεωτρήσεων.
- Υιοθέτηση μέτρων για την ορθή διαχείριση των επιφανειακών υδάτων π.χ. (αναβάθμιση και εκσυγχρονισμός του συστήματος διανομής του ύδατος).
- Περιορισμός στη διάνοιξη νέων υδρογεωτρήσεων.
- Απαγόρευση χρήσης αρτεσιανών γεωτρήσεων.

Τέλος, δεδομένου ότι η λεκάνη απορροής του Καλαμά εκτείνεται και εκτός της ελληνικής επικράτειας, είναι απαραίτητη η λήψη πρωτοβουλιών για την υιοθέτηση διακρατικών δράσεων.

### **9.1 Μέτρα Προστασίας της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά**

Ως αυτόνομη προσαρμογή (autonomous adaptation) θεωρείται η προσαρμογή, η οποία δεν αποτελεί συνειδητή αντίδραση σε ένα κλιματικό γεγονός, αντιθέτως προέρχεται από φυσικές αλλαγές των οικολογικών συστημάτων. Τα παράκτια οικοσυστήματα έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται αυτόνομα στις πιέσεις που δέχονται λόγω της κλιματικής αλλαγής. Ο βαθμός προσαρμογής τους καθορίζει έτσι την αντοχή τους σε αυτές τις πιέσεις. Τα παράκτια και δελταϊκά οικοσυστήματα σε πολλές περιπτώσεις παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στην αύξηση της θαλάσσιας στάθμης, μέσω της αύξησης και προσαρμογής της έκτασής τους. Ένα υγροτοπικό περιβάλλον, για παράδειγμα, θα προσαρμοζόταν στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με αύξηση της ιζηματοπόθεσης. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι ανθρώπινες επεμβάσεις εμποδίζουν την αυτόνομη προσαρμογή με συνέπεια τον περιορισμό της δυνατότητας των παράκτιων συστημάτων να προσαρμόζονται στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Klein & Nicholls, 1998).

Ως σχεδιασμένη προσαρμογή (planned adaptation) θεωρείται η προσαρμογή, η οποία είναι αποτέλεσμα πολιτικής βούλησης βασισμένης στο γεγονός ότι οι συνθήκες έχουν αλλάξει ή πρόκειται να αλλάξουν και απαιτούνται συγκεκριμένες δράσεις για να επανέλθει ή να διατηρηθεί και επιτευχθεί η επιθυμητή κατάσταση. Σε αυτή την περίπτωση και λόγω ενδεχόμενων κοινωνικο-οικονομικών συνεπειών από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης οι φορείς διαχείρισης πιθανόν να επιδιώξουν τη λήψη περαιτέρω μέτρων για την αποτροπή, περιορισμό ή αντιμετώπιση αυτών των δυσμενών συνεπειών. Τρεις στρατηγικές δράσεις απέναντι στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μπορούν να αναγνωριστούν (Wong et al., 2014; Πίνακας 22):

- Προστασία της ανθρώπινης ζωής, των περιουσιών και των υποδομών, το οποίο προϋποθέτει την ανάληψη μέτρων όπως κατασκευή προβόλων και κυματοθραυστών κατά μήκος της ακτογραμμής. Ηπιότερα μέτρα θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν δράσεις όπως επαναφορά της παράκτιας βλάστησης, η οποία θα ενίσχυε την ακτή σε γεγονότα καταιγίδων.
- Δράσεις προσαρμογής των υποδομών όπως ανακαίνιση κτιρίων και τροποποίηση των γεφυρών. Ηπιότερες δράσεις θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν την προσαρμογή των χρήσεων γης και την ανάπτυξη ασφαλιστικών προγραμμάτων.
- Σχεδιασμός οργανωμένης μετακίνησης πληθυσμών από τις παράκτιες περιοχές που αναμένεται να πληγούν από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

Ο συνδυασμός των παραπάνω συνήθως αποτελεί και τον καταλληλότερο τρόπο αντιμετώπισης των επιπτώσεων λόγω ανόδου της θαλάσσιας στάθμης και πάντα λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες της περιοχής. Ο έλεγχος τού κατά πόσο μία δράση μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα ή αν είναι απαραίτητος ο προγραμματισμός στην προσαρμογή, θα πρέπει να αποτελεί τη γενικότερη στρατηγική, ενώ η εφαρμογή του προγράμματος θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να παρουσιάζει προσαρμοστικότητα και να δίνεται η δυνατότητα αναθεώρησής του με την πάροδο του χρόνου.

Τα περισσότερα προγράμματα δράσεων για την αντιμετώπιση της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης εστίαζαν στην προστασία και στη διατήρηση της ακτογραμμής στην παρούσα κατάσταση. Ωστόσο, για περιβαλλοντικούς και οικονομικούς λόγους κάτι τέτοιο ίσως να μην αποτελεί την καλύτερη επιλογή ως εκ τούτου κρίνεται απαραίτητη η εξέταση εναλλακτικών λύσεων μέσω της αναγνώρισης των πιθανών συνεπειών από: α) τη μη λήψη μέτρων προστασίας, β) την προστασία ολόκληρης της ακτογραμμής μιας περιοχής και γ) την προστασία μόνο συγκεκριμένων περιοχών που χαρακτηρίζονται ως σημαντικές.



Πίνακας 22: Δράσεις για την αντιμετώπιση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας (τροποποιημένο από ΕΛΚΕΘΕ, 2015).

Δράση	Είδος δράσης		Περίοδος δράσης	
	Αυτόνομ η	Σχεδιασμέν η	Αντιδραστικ ή	Δυναμικ ή
<b>Προστασία των ανθρώπων, των περιουσιών και των υποδομών</b>				
<i>Έμφαση στην προστασία των ευάλωτων περιοχών, πληθυσμιακά κέντρα, των οικονομικών δραστηριοτήτων και των φυσικών πόρων</i>				
<u>Επεμβατικές κατασκευές</u>				
- αναχώματα, προχώματα, και αντιπλημμυρικά τοιχία	✓	✓	✓	✓
- κυματοθραύστες, οχυρώσεις και διαφράγματα	✓	✓	✓	✓
- πρόβολοι	✓	✓	✓	✓
- ανεξάρτητοι κυματοθραύστες		✓	✓	✓
- υπερχειλιαστές και παλιρροιακά φράγματα		✓	✓	✓
- έργα προστασίας από την υφαλμύριση		✓	✓	✓
<u>Μη επεμβατικές κατασκευές</u>				
- τεχνητή τροφοδοσία παραλιών με ίζημα		✓	✓	✓
- αποκατάσταση και δημιουργία θινών		✓	✓	✓
- αποκατάσταση και δημιουργία οικοτόπων		✓	✓	✓
- αναδάσωση	✓		✓	✓
<b>Προσαρμογή των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και των υποδομών</b>				
<i>Έμφαση στη διατήρηση των οικοσυστημάτων, σε εναρμόνιση με τη συνέχιση της κατοχής και χρήσης των ευαίσθητων περιοχών και προσαρμοστικές πρακτικές διαχείρισης</i>				
- προηγμένος σχεδιασμός για την αποφυγή των επιπτώσεων	✓	✓		✓
- τροποποίηση των χρήσεων γης	✓	✓	✓	✓
- τροποποίηση του στυλ και των κωδικών των κτηρίων	✓	✓		✓
- προστασία των απειλούμενων οικοσυστημάτων		✓		✓
- αυστηρή νομοθεσία των περιοχών υψηλού κινδύνου		✓	✓	✓
- ασφάλιση κινδύνου για την ενίσχυση της νομοθεσίας		✓	✓	✓
<b>Οργανωμένη απομάκρυνση από τις παράκτιες περιοχές</b>				
<i>Έμφαση στην προοδευτική εγκατάλειψη της γης και των δομών σε ιδιαίτερα ευάλωτες περιοχές και επανεγκατάσταση των κατοίκων</i>				
- όχι ανάπτυξη σε ευαίσθητες περιοχές	✓	✓		✓
- υπό όρους, σταδιακά καταργηθείσα ανάπτυξη		✓	✓	✓
- περιορισμός των κρατικών επιδοτήσεων		✓	✓	✓
- υποτιθέμενη κινητικότητα		✓		✓

## 9.1 Επικρατέστερες ήπιες μέθοδοι προστασίας του δέλτα του ποταμού Καλαμά

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την περιοχή μελέτης από την εφαρμογή του συστήματος δεικτών παράκτιας τρωτότητας-CVI σε ότι αφορά στο φαινόμενο της παράκτιας διάβρωσης, είναι ρεαλιστικά δεδομένου ότι βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τις υπάρχουσες, μέχρι σήμερα, εκτιμήσεις για τον χαρακτήρα και την τάση εξέλιξης της υπό μελέτη περιοχής (μαρτυρίες για εκδήλωση του φαινομένου της διάβρωσης, εντατική χρήση γης κ.ά.).

Όσον αφορά στις νέες εκβολές του δέλτα του ποταμού Καλαμά, όπου παρατηρείται προέλαση της ξηράς προς το Ιόνιο Πέλαγος, λόγω αυξημένης ιζηματοπόθεσης, το αναπτυσσόμενο δελταϊκό σύστημα αναμένεται να παρουσιάσει αντοχή στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης και αυτόνομη προσαρμογή. Αντιθέτως, η γενική τάση οπισθοχώρησης της ακτογραμμής στην περιοχή των παλαιών εκβολών της δελταϊκής πεδιάδας του ποταμού Καλαμά δεν θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί καθολικά μέσω της αυτόνομης προσαρμογής. Κάποια καθυστέρηση του ρυθμού οπισθοχώρησης θα μπορούσε να επιτευχθεί με κατάλληλα αντιδιαβρωτικά έργα, όπως θραύση του κυματισμού, τροφοδότηση με αδρανή υλικά, ή και την μερική εκτροπή της ροής του ποταμού στις παλαιές εκβολές, το οποίο θα επανατροφοδοτούσε με φερτά υλικά το παλαιό δέλτα. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού θα πρέπει να προσεγγιστεί μέσω σύγχρονων και περιβαλλοντικά φιλικών μεθόδων.

Ως τεχνικά ώριμες για την εφαρμογή στις παλαιές εκβολές του δέλτα του ποταμού Καλαμά θα μπορούσαν να θεωρηθούν οι παρακάτω μέθοδοι:

- Η μέθοδος της τεχνητής αναπλήρωσης της ακτής
- Η μέθοδος των πυθμενικών προβόλων
- Η μέθοδος κυματοθραυστών χαμηλής στέψης

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 23) γίνεται συγκριτική παρουσίαση των μεθόδων αυτών.

**Πίνακας 23: Συγκριτική παρουσίαση ήπιων μεθόδων προστασίας των ακτών.**

<b>ΉΠΙΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ</b>				
	<i>Επιμέρους Χαρακτηριστικά</i>	<b>Μέθοδος Τεχνητής Αναπλήρωσης της ακτής</b>	<b>Μέθοδος των Πυθμενικών Προβόλων</b>	<b>Μέθοδος Κυματοθραυστών χαμηλής στέψης</b>
1.	Περιβαλλοντική Παραδεκτότητα	<i>Μεγάλη</i>	<i>Μεγάλη (Μικρές κλίμακας παρεμβάσεις τοπικού χαρακτήρα) στην παράκτια ζώνη</i>	Μέτρια (Μεταφορά και Απόθεση βράχων ογκοθίων στην παράκτια ζώνη και την θάλασσα, αυξημένη πίεση στα οικοσυστήματα, μεγάλης κλίμακας παρεμβάσεις)
2.	Βαθμός Εξέλιξης Μεθόδου στην Μελέτη και την Εφαρμογή	<i>Μικρή</i>	<i>Ικανοποιητικός</i>	<i>Ικανοποιητικός</i>
3.	Ευελία στον σχεδιασμό και την υλοποίηση της Μεθόδου	<i>Μεγάλη</i>	<i>Μεγάλη</i>	Μέτρια - Μικρή
4.	Δυνατότητα κοινής λειτουργίας με άλλη ή/και Μέθοδο	<i>Μεγάλη</i>	<i>Μεγάλη</i>	Μέτρια
5.	Δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας	<i>Μικρή</i>	<i>Μεγάλη</i>	<i>Μεγάλη</i>
6.	Εφαρμογή και Απόδοση στις Ελληνικές συνθήκες	Μικρή. Δεν αναφέρονται στην επιστημονική Βιβλιογραφία αρκετά τεκμηριωμένα παραδείγματα εφαρμογής σε περιοχές της Ελλάδας.	<i>Ικανοποιητική. Πολλά παραδείγματα επιτυχημένων εφαρμογών σε διάφορες ακτές της Ελλάδος στην επιστημονική βιβλιογραφία με φωτογραφική τεκμηρίωση.</i>	Εξαιρετικά Μικρή. Δεν αναφέρονται στην επιστημονική Βιβλιογραφία απτά και καλά τεκμηριωμένα παραδείγματα εφαρμογής ούτε και ο βαθμός απόδοσής τους
7.	Χρόνος Υλοποίησης - Κατασκευής της Μεθόδου	<i>Μικρός</i>	<i>Μικρός</i>	Μεγάλος
8.	Απαιτήσεις σε ενέργεια κατά την κατασκευή και την συντήρηση	Μεγάλες	<i>Μικρές</i>	Μεγάλες
9.	Κόστος μελέτης, υλοποίησης και Συντήρησης	<i>Χαμηλό</i>	<i>Χαμηλό</i>	Μεγάλο

Για την παράκτια ζώνη των παλαιών εκβολών του δέλτα του ποταμού Καλαμά προτείνονται ήπιες τεχνικές παρεμβάσεις, οι οποίες κατηγοριοποιούνται βάσει των ειδικών χαρακτηριστικών των παράκτιων στοιχείων που τροποποιούν: α) το πλάτος του παραλιακού μετώπου, β) τον παράκτιο πυθμένα και γ) την κίνηση του νερού στην παράκτια ζώνη.

- **Τεχνητή αναπλήρωση ακτής:** θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη μεταφορά και διάστρωση κατά μήκος της ακτογραμμής των παλαιών εκβολών και νοτιότερα αυτών, κατάλληλων ποσοτήτων άμμου. Ωστόσο, η επανάληψη της αναπλήρωσης ίσως απαιτηθεί επαναληφθεί έπειτα από κάποια χρόνια και έπειτα από επανεξέταση του βαθμού διάβρωσης της ακτογραμμής.
- **Κατασκευές τεχνητών υφάλων:** συνίσταται με την εγκατάσταση σειράς τεχνητών υφάλων κατασκευών πλησίον των παλαιών εκβολών και νοτιότερα αυτών, τροποποιώντας έτσι τους παράγοντες που προκαλούν τη διάβρωση και συγκεκριμένα την παράκτια κυκλοφορία ιζημάτων και τα ρεύματα επιστροφής – rip currents, δίνοντας τη δυνατότητα στην ακτή να διατηρήσει τα ιζήματά της.
- **Τεχνητή (Ελεγχόμενη) βυθοκόρηση:** συνίσταται στη βυθοκόρηση, στον παράκτιο πυθμένα και την εναπόθεση του υλικού σε επιλεγμένες θέσεις κατά μήκος της ακτογραμμής των παλαιών εκβολών του δέλτα και νοτιότερα αυτών, αυξάνοντας την ικανότητα της ακτής να διατηρήσει τα ιζήματά της.
- **Σύστημα πυθμενικών προβόλων:** θα μπορούσε να επιτευχθεί με την κατασκευή συστήματος παράκτιων πυθμενικών προβόλων κατά μήκος της ακτογραμμής των παλαιών εκβολών του δέλτα και νοτιότερα αυτών, τροποποιώντας με τον τρόπο αυτόν τους παράγοντες διάβρωσης

όσον αφορά στα παράκτια ρεύματα μεταφοράς φερτών υλών και ενισχύοντας τις συνθήκες διατήρησης του ζήματος στην ακτή.

- **Πλωτοί κυματοθραύστες:** συνίσταται για την προστασία έναντι των κυματισμών κατά μήκος της ακτογραμμής των παλαιών εκβολών του δέλτα και νοτιότερα αυτών.

## 9.2 Αξιολόγηση των μέτρων προστασίας

Για την αποτελεσματική υιοθέτηση μέτρων προστασίας από την ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης απαιτείται η επιλογή τους να γίνεται με συνεργασία των φορέων που εμπλέκονται στη διαχείριση της παράκτιας ζώνης. Αυτό προϋποθέτει και αμοιβαίους συμβιβασμούς τόσο σε όρους περιβαλλοντικούς όσο και σε κοινωνικο-οικονομικούς. Ως εκ τούτου, η επιλογή των καταλληλότερων μέτρων προστασίας θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και σχέδια διαχείρισης, περιφερειακούς αλλά και εθνικούς αναπτυξιακούς στόχους (Pearce & Turner, 1992) (Πίνακας 24).

Η εφαρμογή των παραπάνω ήπιων μεθόδων προστασίας έχει αποδειχθεί αποτελεσματική, έπειτα από μακρόχρονη παρατήρηση στον ελλαδικό χώρο, όσον αφορά στην υποχώρηση της ακτογραμμής και χωρίς μετατόπιση της διάβρωσης σε γειτονικές ακτές. Ωστόσο, οι παραπάνω δράσεις αποτελούν προτάσεις για την προστασία των παλαιών εκβολών του δέλτα του ποταμού Καλαμά και για την εφαρμογή τους απαιτείται, πρωτίστως, η εξέταση των πιθανών επιπτώσεων στο ιδιαίτερο οικοσύστημα που φιλοξενεί το δέλτα του ποταμού. Ταυτόχρονα, απαραίτητη είναι η αποφυγή κατασκευής έργων που λειτουργούν ως υποδομές ή μέσα προστασίας, χωρίς πρωτίστως τη διεξαγωγή εξειδικευμένων μελετών και τη διερεύνηση των περιβαλλοντικών συνεπειών από την κατασκευή του εκάστοτε έργου.

**Πίνακας 24: Προσαρμογή των μεθόδων αξιολόγησης (τροποποιημένο από ΕΛΚΕΘΕ, 2015).**

Οικονομική ανάλυση	Οικονομική ανάλυση κόστους - οφέλους	Αναλυτική οικονομική ανάλυση κόστους - οφέλους	Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων	Πολυκριτηριακή μεθοδολογία λήψης αποφάσεων
- κριτήριο οικονομικής αποδοτικότητας	- κριτήριο οικονομικής αποδοτικότητας	- αρχές βιώσιμης ανάπτυξης	- ποσοτικοποίηση ενός διαφορετικού συνόλου αποτελεσμάτων σε μία κοινή κλίμακα, αλλά όχι αξιολόγηση	- πολλαπλά κριτήρια αξιολόγησης
- ιδιωτικές δαπάνες και έσοδα	- κόστος και οφέλη για την κοινωνία	- οικονομική αποδοτικότητα και συμψηφισμός με κριτήριο περιβαλλοντικές προδιαγραφές		- οικονομική και μη- οικονομική αξιολόγηση
- νομισματική αποτίμηση	- οικονομική αποτίμηση	- μερική οικονομική αποτίμηση		

## 10. Συμπεράσματα

Τα δελταϊκά συστήματα συγκαταλέγονται μεταξύ των πιο πολύπλοκων και δυναμικά μεταβαλλόμενων συστημάτων της παράκτιας ζώνης λόγω πολλών φυσικών παραγόντων που συμμετέχουν στη διαμόρφωση και εξέλιξή τους. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η παράκτια διάβρωση αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα που χρήζει άμεσης αντιμετώπισης ειδικότερα σε δελταϊκά συστήματα τα οποία είναι σχετικά ασταθή περιβάλλοντα και με χαμηλού αναγλύφου παράκτια περιοχή. Ο προσδιορισμός των παράκτιων περιοχών που αναμένεται να εμφανίσουν τη μεγαλύτερη διαβρωσιμότητα παίζει καθοριστικό ρόλο στη χάραξη σχεδίων αντιμετώπισης των επιπτώσεων από ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

Το δέλτα του ποταμού Καλαμά παρουσιάζει σημαντικά και απειλητικά φαινόμενα παράκτιας διάβρωσης γι' αυτό και αποτελεί επιτακτική ανάγκη η αντιμετώπισή τους. Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες για την εκτίμηση της παράκτιας τρωτότητας, λόγω ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η πρόταση και λήψη μέτρων σχετικών με την πρόληψη των ζημιών που ενδέχεται να προκληθούν κατά μήκος της ακτογραμμής παράκτιων περιοχών όπως η περιοχή μελέτης.

Για την εκπόνηση του Σχεδίου Διαχείρισης της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και αποτελέσματα από εργασίες πεδίου και εφαρμογή διαφορετικών τεχνικών ανάλυσης, τα οποία διατέθηκαν από το Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος». Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αεροφωτογραφιών διαφορετικών ετών λήψης, κοκκομετρικών/γεωχημικών/ορυκτολογικών αναλύσεων ιζημάτων καθώς και γεωχρονολογήσεων με τη μέθοδο της Οπτικά Διεγερόμενης Φωταύγειας, η αξιολόγηση των οποίων οδήγησε στον καθορισμό της τρωτότητας της παράκτιας ζώνης του δέλτα του ποταμού Καλαμά, μέσω εκτίμησης του δείκτη παράκτιας τρωτότητας (CVI), στον υπολογισμό των εκτάσεων ανά χρήση γης που αναμένεται να κατακλυσθούν από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, λαμβάνοντας υπόψη τρία διαφορετικά σενάρια ανόδου και στην πρόταση μέτρων για την ορθολογική διαχείριση της παράκτιας ζώνης του δέλτα.

Η μελέτη και παρατήρηση των χαρτών του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας –CVI αλλά και των διαγραμμάτων που παρήχθησαν, υποδεικνύουν ότι κατά μήκος της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού Καλαμά παρουσιάζεται υψηλή τρωτότητα, με τις νότιες-παλαιές εκβολές του δέλτα να παρουσιάζουν την υψηλότερη. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με μία μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m θα οδηγούσε στην απώλεια εκτάσεων γης 16.16 km<sup>2</sup>, κατά 1m σε απώλεια 18.27 km<sup>2</sup> και κατά 2m σε απώλεια 22.52 km<sup>2</sup>.

Επιπλέον, συνυπολογίζοντας τη βύθιση του εδάφους λόγω της συμπύκνωσης των χαλαρών υλικών που

συνθέτουν το δέλτα, πιθανότατα η απώλεια εκτάσεων γης να αυξηθεί ακόμη περισσότερο. Μια τέτοια έκβαση είναι βέβαιο ότι θα είναι καθοριστική για την κοινωνικο-οικονομική και περιβαλλοντική υποβάθμιση της περιοχής. Σημαντικά ενδιαίτηματα αναμένεται να εξαφανιστούν, ενώ μεγάλο ποσοστό των κατοίκων που απασχολούνται στον πρωτογενή τομέα αναμένεται να πληγούν σημαντικά.

Συνεπώς, για την αντιμετώπιση του φαινομένου της διάβρωσης προτείνεται η λήψη μέτρων προστασίας και ανάσχεσης του φαινομένου, κυρίως στις νότιες-παλαιές εκβολές του δέλτα, εστιαζόμενα στην κατεύθυνση της εξισορρόπησης των απωλειών του υλικού και την υιοθέτηση δράσεων προστασίας, όπως μερική εκτροπή της ροής του ποταμού στις παλαιές εκβολές του, το οποίο θα επανατροφοδοτούσε με φερτές ύλες το παλαιό δέλτα, επαναφορά της παραποτάμιας δένδρως βλάστησης, απομάκρυνση υλικών που μπλοκάρουν τις εκβολές του ποταμού, ορθολογική διαχείριση των διαθέσιμων επιφανειακών υδάτων της πεδιάδας, ενημέρωση και ευαισθητοποίηση της τοπικής κοινωνίας, αλλά και εφαρμογή ήπιων τεχνικών έργων, όπως τεχνητή αναπλήρωση της ακτής, τοποθέτηση τεχνητών υφάλων, τεχνητή βυθοκόρηση, εγκατάσταση πυθμενικών προβόλων και εγκατάσταση πλωτών κυματοθραυστών. Ωστόσο, οι παραπάνω δράσεις αποτελούν προτάσεις για την προστασία των παλαιών εκβολών του δέλτα του ποταμού Καλαμά και για την εφαρμογή τους απαιτείται, πρωτίστως, η εξέταση των πιθανών επιπτώσεων στο ιδιαίτερο οικοσύστημα που φιλοξενεί το δέλτα του ποταμού. Ταυτόχρονα, απαραίτητη είναι η αποφυγή κατασκευής έργων που λειτουργούν ως υποδομές ή μέσα προστασίας, χωρίς πρωτίστως τη διεξαγωγή εξειδικευμένων μελετών και τη διερεύνηση των περιβαλλοντικών συνεπειών από την κατασκευή του εκάστοτε έργου.

Τα προτεινόμενα μέτρα για την ανάσχεση του φαινομένου της διάβρωσης έρχονται συχνά σε αντίθεση με τα οικονομικά συμφέροντα στην περιοχή, αλλά θα μπορούσαν να αποτελέσουν βιώσιμη λύση, αφού οι υφιστάμενες συνθήκες στο δέλτα πιθανότατα να οδηγήσουν μελλοντικά στην περαιτέρω υποβάθμιση του δελταϊκού οικοσυστήματος και στον περιορισμό και πιθανόν και στην εξάντληση ενός από τους σημαντικότερους φυσικούς πόρους της περιοχής.

## **Βιβλιογραφικές αναφορές**

Bindoff N.L. Willebrand J. Artale V. Cazenave A. Gregory J. Gulev S. Hanawa K. Le Quéré C. Levitus S. Nojiri Y. Shum C.K. Talley L.D. Unnikrishnan A. 2007. Observations: Oceanic climate change and sea level, In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon S. Qin D. Manning M. Chen Z. Marquis M. Averyt K.B. Tignor M. and Miller H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 385-432.

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.

Church J.A. Gregory J.M. Huybrechts P. Kuhn M. Lambeck K. Nhuan M.T. Qin D. Woodworth P.L. 2001. Changes in sea level, In Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J. et al. (eds), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 639-693.

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.

European Commission, 2000. "Towards quality coastal tourism: Integrated quality management (IQM) of coastal tourist destinations". Enterprise Directorate-General, Tourism Unit. Brussels.

EUROSION, 2004. Living with coastal erosion in Europe. Final report of the project 'Coastal erosion - Evaluation of the need for action', Directorate General Environment, European Commission.

Gaki - Papanastasiou K. Karymbalis E. Poulos E.S. Seni A. Zouva C. 2010. Coastal vulnerability assessment to sea-level rise based on geomorphological and oceanographical parameters: the case of Argolikos Gulf, Peloponnese, Greece, *Hellenic Journal of Geosciences*, 45.

Gornitz V.M. White T.W. Cushman R.M. 1991. "Vulnerability of the U.S. to future sea-level rise", In *Proceedings of Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management*. Long Beach, CA (USA), 2354-2368.

Hellenic Republic, Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works of Greece, 2006. 4th National Communication to the UNFCCC, 187 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. and Miller H.L. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 996.

Karymbalis E. Chalkias C. Chalkias G. Grigoropoulou E. Manthos G. Ferentinou M. 2012. Assessment of the sensitivity of the Southern Coast of the Gulf of Corinth (Peloponnese, Greece) to sea-level rise. *Central European Journal of Geoscience*, 4, 561-577.

Klein R. & Nicholls R. 1998. Chapter 7: Coastal Zones In (eds. Feenstra J., Burton I., Smith J., Tol R.) *Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies, version 2.0*, UNEP - United Nations Environment Programme Institute for Environmental Studies.

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.

Kopp R.E. Simons F.J. Mitrovica J.X. Maloof A.C. Oppenheimer M. 2009. Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage. *Nature Geoscience*, 2, 863-868.

Maroukian H. Gaki-Papanastassiou K. Pavlopoulos K. Zamani A. 1995. Comparative geomorphological observations in the Kalamas delta in western Greece and the Sperkhios delta in eastern Greece, In: *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 34, 110 (Abstract).

Munsell soil color charts (2015)

Evelpidou N. Karkani A. Pirazzoli P. 2017. Late Holocene tectonic implications deduced from tidal notches in Leukas and Meganisi islands (Ionian Sea). *Geologica Acta*, 1-9.



Otto - Bliesner B.L. Marshall S.J. Overpeck J.T. Miller G.H. Hu A. 2006. CAPE Last Interglacial Project Members: Simulating Arctic climate warmth and icefield retreat in the last interglaciation, *Science*, 311, 1751-3.

Pearce D.W. & Turner R.K. 1992. *Benefits, Estimates and Environmental Decision-Making*. Organisation for Economic Cooperation and Development - OECD, Paris.

Peltier W.R., Fairbanks R.G., 2006: Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record, *Quaternary Science Reviews*, 25, 3322-3337.

Raus, Δημόπουλος, Τζανουδάκης & Χριστοδουλάκης. 2008. *χλωρίδα στις περιοχές των στενών και δέλτα του ποταμού Καλαμά, Σχέδιο Διαχείρισης Προστατευόμενης Περιοχής Στενών και Δέλτα Καλαμά και Έλους Καλοδικίου, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσπρωτίας – Φορέας Διαχείρισης Στενών και Δέλτα ποταμών Αχέροντα και Καλαμά.*

Rohling E. J. Braun K. Grant K. Kucera M. Roberts A. P. Siddall M. and Trommer. G. 2010. Comparison between Holocene and marine isotope stage-11 sea-level histories. *Earth and Planetary Science Letters*, 29, 97-105.

Shackleton N.J. 2000. The 100,000-year Ice-Age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity. *Science*, 289, 1897-1902.

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

Siddall M. Rohling E.J. Thompson W.G. Waelbroeck C. 2008. Marine isotope stage 3 sea level fluctuations: data synthesis and new outlook. *Reviews of Geophysics*, 46.

Thieler E.R. Hammar-Klose E.S. 1999. *National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast*. U.S. Geological Survey, Open-File Report, 99-593.

United Nations, Sustainable development, 1999. United Nations Conference on Environment & Development. Agenda 21, Chapter 17, “Protection Of The Oceans, All Kinds Of Seas, Including Enclosed And Semi-enclosed Seas, And Coastal Areas And The Protection, Rational Use And Development Of Their Living Resources” – Programme Area A, “Integrated management and sustainable development of coastal and marine areas, including exclusive economic zones”. Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992.

Vecchio A. Anzidei M. Serpelloni E. Florindo F. 2019. Natural Variability and Vertical Land Motion Contributions in the Mediterranean Sea-Level Records over the Last Two Centuries and Projections for 2100. *Water*, 11, 148.

Waelbroeck C. Labeyrie L. Michel E. Duplessy J.C. McManus J. Lambeck K. Balbon E. Labracherie M. 2002. Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records. *Quaternary Science Review*, 21, 295-305.

Wong P.P. Losada I.J. Gattuso J.-P. Hinkel J. Khattabi A. McInnes K.L. Saito Y. Sallenger A. 2014. Coastal systems and low-lying areas. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field C.B. V.R. Barros D.J. Dokken K.J. Mach M.D. Mastrandrea T.E. Bilir M. Chatterjee K.L. Ebi Y.O. Estrada R.C. Genova B. Girma E.S. Kissel A.N. Levy, S. MacCracken P.R. Mastrandrea L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 361-409.

Γεωλογικό φύλλο Σαγιάδας, 1969. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), 1969-κλίμακα 1:50.000.

Δασκαλάκης Μ. 2009, Λιμάνια, θαλάσσια κύματα, λιμενικά έργα, Αθήνα.

Δουκάκης Ε. 2007. Μέθοδοι προσδιορισμού του ρυθμού μεταβολής των ακτογραμμών, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 2020α. «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.

ΕΛΚΕΘΕ, 2015. Τεχνική έκθεση για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, προτεινόμενα έργα προστασίας και οικονομικές επιπτώσεις. ΚΡΗΠΠΣ-ΙΘΑΒΠΠΕΥ, 30 σελ.

Καραγεωργίου Ε. 1958. Γεωλογική έκθεσις Εγγειοβελτιωτικά έργα εις τας εκβολάς του ποταμού καλαμά ινστιτούτο γεωλογίας και ερευνών υπεδάφους.

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

Καρύμπαλης Ε. 2004. Σημειώσεις Παράκτιας Γεωμορφολογίας, τμήμα Γεωγραφίας - Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

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

Καρύμπαλης Ε. 2010. Παράκτια Γεωμορφολογία, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2010.

Καρύμπαλης Ε., Παπαδόπουλος Α. και Χαλκιάς Χ., 2014. Η Γεωγραφία του Παράκτιου και Νησιωτικού Χώρου, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα 2014.

Παπανικολάου Μ., Παπανικολάου Δ., Βασιλάκης Ε. 2011: Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας και επιπτώσεις στις ακτές, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος, Αθήνα.

Σιαφάκας Β. 2003. Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στις παράκτιες ζώνες. Παράκτια επικινδυνότητα σε περιοχές της Κω, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., ΣΑΤΜ–Τομέας Τοπογραφίας, Αθήνα.

#### Διαδικτυακοί τόποι

Breakwater (structure), <https://en.wikipedia.org/wiki/Breakwater>

Φορέας Διαχείρισης Καλαμά - Αχέροντα – Κέρκυρας, <https://kalamas-acherontas.gr>

Copernicus - European Union's Earth Observation Programme, <https://www.copernicus.eu>

The Public Policy Institute of California, <https://www.ppic.org>

Woods Hole Oceanographic Institution, <https://www.whoi.edu/>

Oregon State University, [www.blogs.oregonstate.edu](http://www.blogs.oregonstate.edu)

Dredging Today, [www.dredgingtoday.com](http://www.dredgingtoday.com)

Ευρωπαϊκο Πρόγραμμα CORINE (COoRdination of Information on the Environment) Land Cover (CLC), <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

Ecosystems Database Observatory, 2007. <http://www.ecodonet.gr/>