

Σύγχρονες διεργασίες ιζηματογένεσης στο υποθαλάσσιο τμήμα του δέλτα του ποταμού Πηνειού (Θεσσαλίας)

Γαζής Ι-Ζ.¹, Λαζογιάννης Κ.^{1,2}, Χασιώτης Θ.¹, Βελεγράκης Α.¹ και Πούλος Σ.²

¹ Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, Μυτιλήνη 81100, Λέσβος, hasiotis@marine.aegean.gr

² Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ, Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου 15784, Αθήνα

Abstract

Piniós river (Thessaly) discharge at the outer part of Thermaikos plateau forming an extensive deltaic plain. Even if many studies have been performed for the subaerial part of the delta, the submarine part has been only occasionally studied during surveys of the wider Thermaikos Gulf. This paper summarizes the modern sedimentation processes of the subaqueous part of the delta down to ~70m water depth. High resolution data were acquired using a multibeam and a 3.5 kHz subbottom profiler along ~215 km of navigation lines. Positioning was by a DGPS. The morphology of the delta is smooth with slopes reaching the ~12 % along the delta slope between the 15 and 35 m depth. The seismic stratigraphy is described by two seismic sequences. The upper sequence corresponds mainly to fine-grained sediments deposited during the Holocene highstand (mid-late Holocene), having a considerable thickness shallower than the 35m and wedging out at greater depths. The lower sequence is related to sediments deposited during the Late Pleistocene – Holocene transgression and seems to be coarser and/or more compacted relatively to the overburden. The acoustic basement has an uneven morphology, it is rarely traced and corresponds to the pre-transgression subaerial surface at about 120-130 m depth. At the northern part older deltaic plain and foreset deposits were recognized. These sediments seem to be eroded due to wave and near-bed current action, respectively. Alternations of the river mouth and distributary channels southern than the modern mouth, had as a consequence smaller amounts of sediment deposition to the north, prone to the erosion action caused by local hydrodynamics. The subbottom sediments are characterized by the widespread occurrence of gases, especially at the central and southern parts of the delta, having as a result numerous acoustic anomalies (turbid zones, gas plumes, enhanced reflectors etc). Their presence in combination with the unconsolidated sediment nature have caused deformational features like small successive rotated blocks and dewatering structures, which are covered by a thin veneer of recent sediments. The lower seismic sequence is intersected by a big number of channels in different stratigraphic levels, implying to intense sedimentation processes during the last transgression phase. Smaller channels are occasionally observed also in the upper seismic sequence. Modern channels at the shallow waters of the deltaic plain were not detected, probably due to the rapid sediment re-distribution from the wave action. At the southern part of the delta NW-SE synthetic normal faults were found to displace the sedimentary layers of the lower seismic sequence.

Λέξεις Κλειδιά

Δέλτα Πηνειού, Ολόκαινο, γεωφυσική διασκόπηση, αέριοι υδρογονάνθρακες, κανάλια, ρήγματα

Keywords

Piniós delta, Holocene, geophysical prospecting, gas, channels, faults

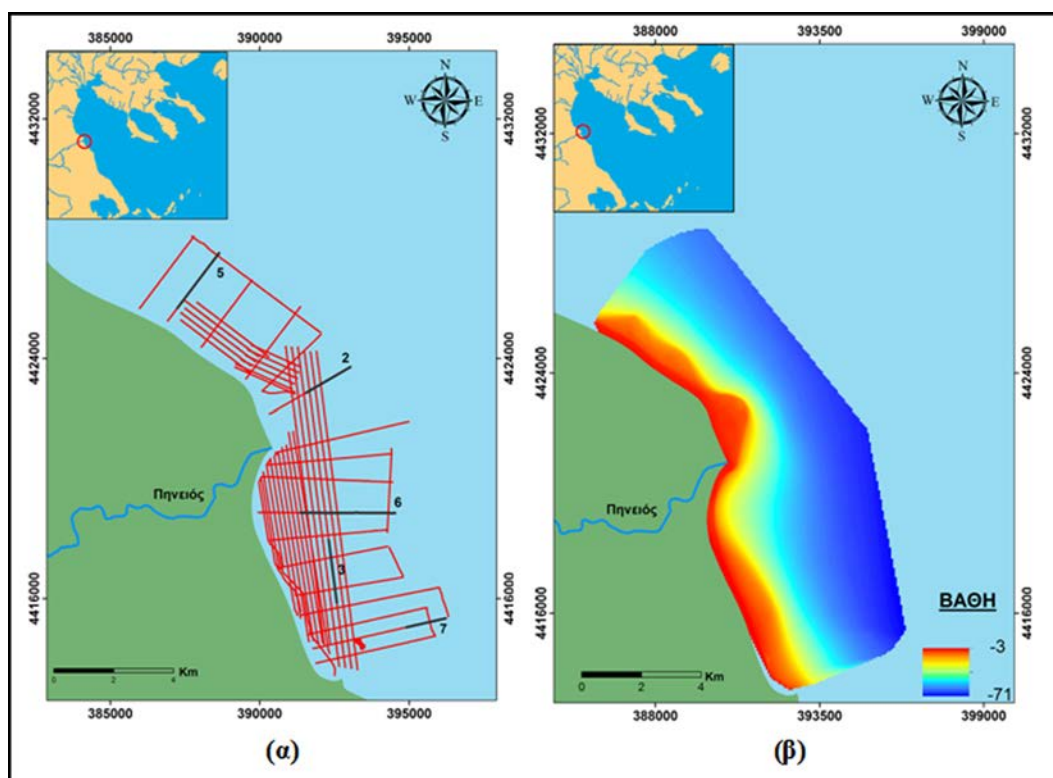
Εισαγωγή

Ο ποταμός Πηνειός (Θεσσαλίας) εκβάλλει στο δυτικό τμήμα του εξωτερικού πλατώ του Θερμαϊκού κόλπου σχηματίζοντας ένα εκτεταμένο δελταϊκό πεδίο έκτασης ~70 km² με μήκος δελταϊκής γραμμής περί τα 20km. Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του Galloway (1975) κατατάσσεται στα κυματικά δέλτα καθώς η μέση ετήσια μηνιαία ένταση της κυματικής δράσης στις δελταϊκές ακτές είναι της τάξης των 70-1454 w/m², με κύματα μεγάλου αναπτύγματος (Poulos et al. 2000), ενώ αντίθετα το παλιρροιακό εύρος της περιοχής είναι σχετικά μικρό (μ.ο. 20 cm) (Kombiadou et al., 2012). Αν και το χερσαίο τμήμα του

δέλτα έχει αποτελέσει αντικείμενο συστηματικής μελέτης από πολλούς ερευνητές (π.χ. Karymbalis and Gaki-Papanastassiou, 2008; Gaki-Papanastassiou et al., 2010), το υποθαλάσσιο τμήμα έχει περιστασιακά ερευνηθεί στο πλαίσιο μελετών του ευρύτερου Θερμαϊκού κόλπου (π.χ. Lykousis et al., 2005; Karageorgis et al., 2005a, b). Στην εργασία αυτή μελετώνται οι σύγχρονες διεργασίες ιζηματογένεσης όπως αποτυπώθηκαν σε μια αναλυτική έρευνα υψηλής διακριτικότητας στο υποθαλάσσιο δελταϊκό πρίσμα και μέχρι βάθους περίπου 70 m.

Μεθοδολογία

Η συλλογή των γεωφυσικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με ένα πολυδεσμικό ηχοβολιστή τύπου GeoAcoustics και με έναν τομογράφο υποδομής πυθμένα 3.5 kHz ORE / Geopulse υψηλής διακριτικής ικανότητας. Ο προσδιορισμός της θέσης του σκάφους πραγματοποιούνταν με διαφορικό δορυφορικό σύστημα (DGPS) της TRIMBLE. Για την πλοήγηση του σκάφους και το σχεδιασμό των πορειών ηχοβολισμού χρησιμοποιήθηκε το σύστημα HYPACK. Η έκταση του πυθμένα που σαρώθηκε ήταν περίπου 26.5 km² κατά μήκος ~ 215 km γραμμών πλοήγησης (Εικ. 1α). Για την επεξεργασία των γεωφυσικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SonarWiz Map, ενώ τα ψηφιακά βαθυμετρικά αρχεία και η παραγωγή όλων των χαρτών έγινε μέσω του λογισμικού ArcGis 10.1.

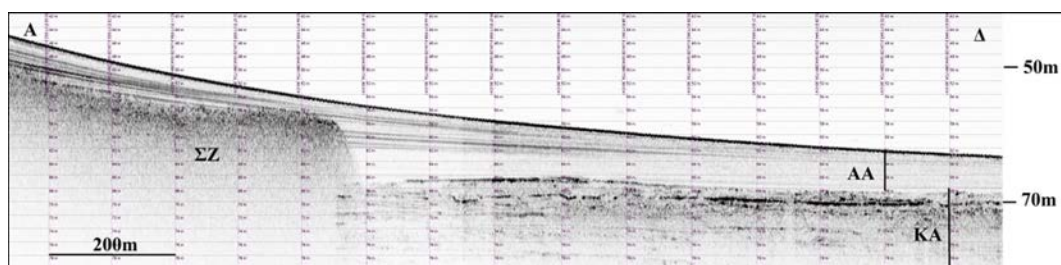


Εικόνα 1: (α) Χάρτης πορειών γεωφυσικής διασκόπησης και θέσεις τομογραφιών που παρουσιάζονται στο κείμενο και (β) βαθυμετρικός χάρτης της υποθαλάσσιας περιοχής του δέλτα του Πηνειού.

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Η μορφολογία του υποθαλάσσιου τμήματος είναι ομαλή με κλίσεις που κυμαίνονται από 1 έως 12 % (Εικ. 1β). Η δελταϊκή πλατφόρμα εξαπλώνεται έως τα ~15 m βάθος, περιορισμένη σημαντικά στο βόρειο τμήμα του δέλτα λόγω της μειωμένης πλέον τροφοδοσίας ιζημάτων (παλαιοεκβολή) και της έντονης κυματικής αλλά και ρευματικής δράσης στην περιοχή (π.χ. Zervakis et al. 2005). Αντίθετα, εκτείνεται σε μεγάλη απόσταση (~800 m) μπροστά από τη σημερινή κύρια εκβολή. Το δελταϊκό μέτωπο βρίσκεται μεταξύ των ισοβαθών των 15 και 35 m όπου και αναπτύσσονται και οι υψηλότερες κλίσεις. Τέλος, η προδελταϊκή περιοχή φτάνει στα ~ 70 m με ασήμαντες κλίσεις.

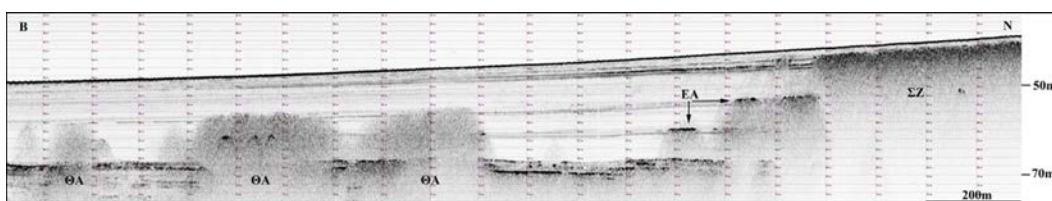
Η γενική στρωματογραφία στη ζώνη έρευνας περιγράφεται από την ύπαρξη δύο κύριων σεισμικών ακολουθιών (Εικ. 2) που επικάθονται στο ακουστικό υπόβαθρο της περιοχής. Η ανώτερη (επιφανειακή) σεισμική ακολουθία (ΑΑ) είναι ακουστικά σχεδόν διαφανής χωρίς ή με λίγες ασθενείς παράλληλες / υποπαράλληλες εσωτερικές ανακλάσεις και με μια συνεχή και σαφή επιφανειακή ανάκλαση. Τα ιζήματα της ακολουθίας αυτής αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια της πρόσφατης υψηλής στάθμης της θάλασσας (μέσο-ανώτερο Ολόκαινο) και σχετίζονται με τις πλέον σύγχρονες λεπτόκοκκες αποθέσεις του δελταϊκού πρίσματος, οι οποίες έχουν σημαντικό πάχος πλησίον της ακτής (30 και τοπικά 35 m) και αποσφηνούνται με την αύξηση του βάθους. Οι ασθενείς εσωτερικές ανακλάσεις αντιστοιχούν σε αδρομερέστερα ιζήματα (έως αμμόδη) που αποτέθηκαν σε περιόδους πιο έντονων πλημμυρικών ροών. Η γεωμετρία των σεισμικών ανακλαστών της ΑΑ είναι πλάγια προσχωματική, υποδηλώνοντας την ύπαρξη σχετικά μεγάλης τροφοδοσίας ιζημάτων, με πολύ μικρή ή καθόλου καθίζηση της επιφάνειας απόθεσης σε περιβάλλον σταθερής στάθμης θάλασσας. Η κατώτατη σεισμική ακολουθία (ΚΑ) χαρακτηρίζεται από ημιπαρατεταμένη ανάκλαση, με παράλληλες / υποπαράλληλες, ημιπαρατεταμένες, διακοπτόμενες, ασαφείς υποεπιφανειακές ανακλάσεις, τοπικά με παρουσία υπερβολών. Η ΚΑ αντιστοιχεί σε ιζήματα που αποτέθηκαν κατά την αρχική φάση της τελευταίας επίκλυσης (ανώτερο Πλειστόκαινο – κατώτερο Ολόκαινο) και είναι περισσότερο συμπιεσμένα ή/και αδρομερέστερα σε σχέση με τα υπερκείμενα. Σύμφωνα με τους Lykousis et al. (2005) το όριο μεταξύ των ΑΑ και ΚΑ (μέγιστη πλημμυρική επιφάνεια) υπολογίστηκε στα 6000 yr BP τόσο για την ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου, αλλά προσεγγιστικά και για τον Πηνειό, βάση πυρηνοληψιών, που πραγματοποιήθηκαν στις προδελταϊκές περιοχές του Αξιού και του Πηνειού και τοπικά διείσδυσαν μέχρι το άνω μέρος της αδρομερέστερης ΚΑ. Το ακουστικό υπόβαθρο (μη διακριτό σε όλες τις τομογραφίες) αντιστοιχεί στην ασυμφωνία της ΚΑ με το προ-επίκλυσης ανάγλυφο, τμήμα του οποίου είχε χερσεύσει μέχρι βάθους 120 - 130 m και εμφανίζει, γενικά, ανώμαλη μορφολογία και μεγάλη συμπύκνωση μη επιτρέποντας στα ηχητικά κύματα βαθύτερη διείσδυση.



Εικόνα 2: Τομογραφία 3.5kHz κατά μήκος των κύριων εκβολών του Πηνειού όπου διακρίνονται η ανώτερη σεισμική ακολουθία (ΑΑ), η κατώτερη σεισμική ακολουθία (ΚΑ) και σεισμοκονιασμένες ζώνες (ΣΖ).

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που εντοπίστηκαν στις τομογραφίες είναι η εκτεταμένη ακουστική επικάλυψη των ιζημάτων (και ιδιαίτερα της ΚΑ) λόγω έντονα σεισμοκονιασμένων περιοχών και άλλων ηχητικών ανωμαλιών (έντονοι ανακλαστήρες και σεισμοκονιασμένοι θύλακες) που οφείλονται στην ύπαρξη αέριων υδρογονανθράκων στους πόρους των ιζημάτων (Εικ. 2 και 3). Η παρουσία αέριων υδρογονανθράκων στα ιζήματα του δέλτα του Πηνειού και της ευρύτερης περιοχής του Θερμαϊκού κόλπου έχει επισημανθεί και από άλλους ερευνητές (Lykousis et al, 1981; Lykousis et al, 2009). Το πεδίο εμφάνισης των αέριων υδρογονανθράκων καταλαμβάνει μεγάλη έκταση (Εικ. 4), με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να είναι στο κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, ενώ ελαττώνεται σε έκταση προς το βόρειο τμήμα. Η συνολική έκταση που καταλαμβάνουν οι αέριοι υδρογονάνθρακες είναι 18 km², ενώ η βαθυμετρική τους εξάπλωση βρίσκεται μεταξύ των ισοβαθών 25 - 40 m στο βόρειο τμήμα, 15 - 55 m κοντά στις εκβολές και 5 - 45 m στο κεντρικό και νότιο τμήμα. Όσον αφορά την κατανομή μέσα στην ιζηματογενή στήλη και εδώ τα βάθη ποικίλουν με τα αέρια να εμφανίζονται από βάθη ~38 m κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα έως και λιγότερο από 1 m από τον βυθό. Η μελέτη των τομογραφιών δεν έδειξε την

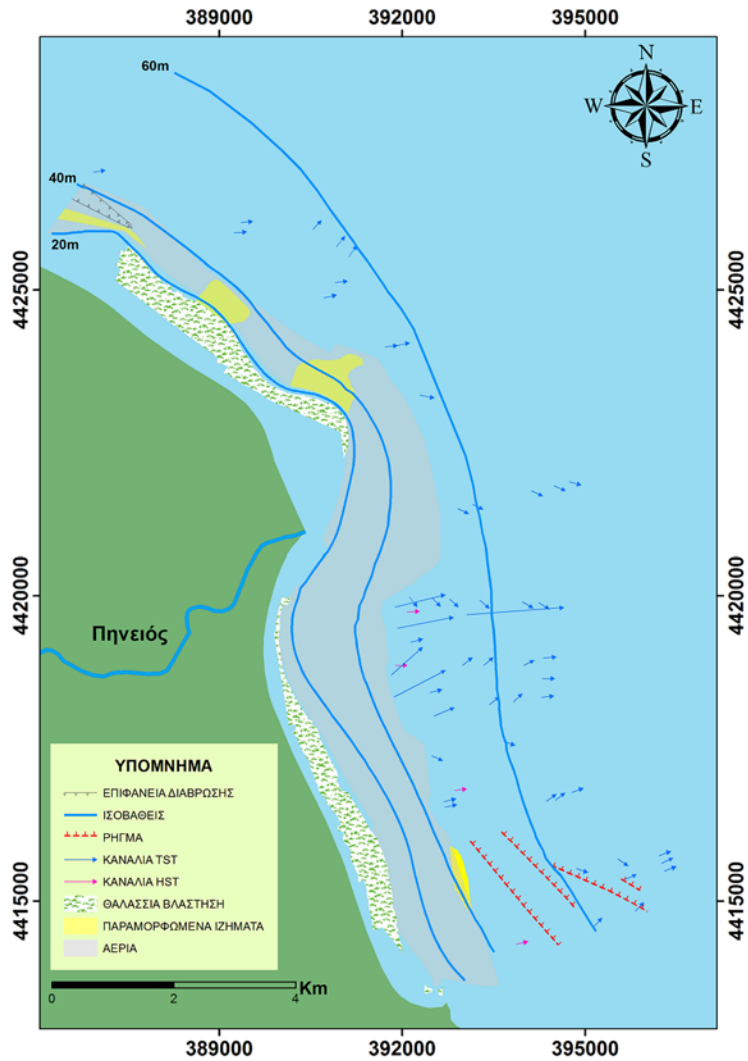
παρουσία επιφανειακών ή υποεπιφανειακών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την ύπαρξη αερίων (πχ κρατήρες, αναθολώσεις). Η απουσία τους πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι η πίεση που ασκείται από την υφιστάμενη συγκέντρωση αερίων δεν μπορεί να θέσει σε αιώρηση ή σε αναθολωση τα ιζήματα. Επίσης δεν καταγράφηκαν διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων μέσα στην υδάτινη στήλη. Βέβαια, η ύπαρξη των αερίων σε μικρό βάθος κάτω από τον πυθμένα σε συνδυασμό με τη γειτνίαση της ευρύτερης περιοχής με την τεκτονικά ενεργή περιοχή της τάφρου των βόρειων Σποράδων (δυτική απόληξη της τάφρου του Βορείου Αιγαίου), δεν αποκλείει στο μέλλον την ανάπτυξη τέτοιων δομών, μετά από σεισμικά γεγονότα ικανού μεγέθους, όπως άλλωστε έχει παρατηρηθεί και σε άλλες σειсмоγενείς περιοχές της χώρας (Paratheodorou et al., 1993; Hasiotis et al., 1996). Όσον αφορά στη σύσταση των αερίων, με βάση την ευρύτερη οικο-γεωλογία της περιοχής μελέτης, πρόκειται μάλλον για βιογενούς προέλευσης.



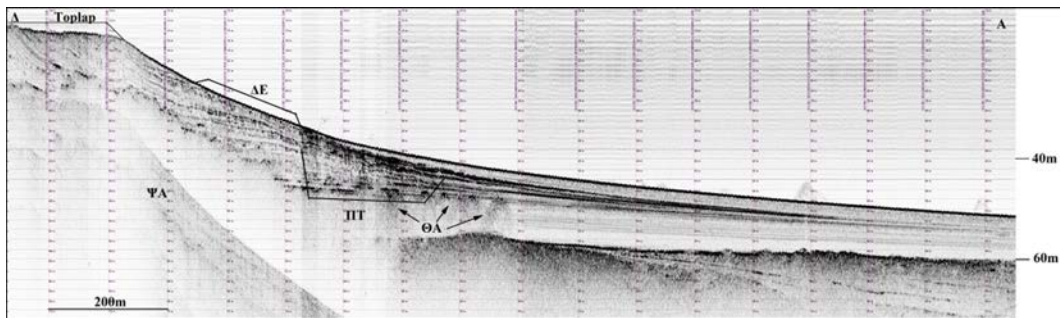
Εικόνα 3: Τομογραφία 3.5kHz όπου φαίνονται διάφορα ηχητικά φαινόμενα (SZ, EA, ΘΑ) λόγω της ύπαρξης αερίων υδρ/κών στους πόρους των ιζημάτων (SZ: σεισμοκονιασμένες ζώνες, EA: έντονοι ανακλαστήρες, ΘΑ: θύλακες αερίων).

Στο βόρειο τμήμα της ζώνης έρευνας, η ύπαρξη των αερίων σε συνδυασμό με τον υπο-στερεοποιημένο χαρακτήρα των δελταϊκών αποθέσεων οδήγησαν σε εσωτερικές παραμορφώσεις των ιζημάτων υπό τη μορφή (i) μικρών περιστροφικά ολισθόντων τεμαχών κατά μήκος μικρής έκτασης και βάθους καμπύλων επιφανειών ασυνέχειας (Εικ. 4 και 5), παρόμοιων με αυτά που αναφέρονται από τους Hasiotis et al., (2006) και Lykousis et al., (2009) σε δελταϊκά περιβάλλοντα και (ii) δομών αφυδάτωσης (dewatering structures), που τοπικά καλύπτονται από μικρού πάχους επιφανειακά αδιατάρακτα ιζήματα. Γενικά όμως, η μελέτη των τομογραφιών δεν φανέρωσε κάποιο εκτεταμένο ή μη σύγχρονο κατολισθητικό φαινόμενο, γεγονός που μοιάζει αρκετά παράδοξο αν αναλογιστεί κανείς την έντονη παρουσία αερίων υδρογονανθράκων στο μεγαλύτερο τμήμα της ζώνης έρευνας σε όλη την ιζηματογενή στήλη, αλλά και τον υποστερεοποιημένο χαρακτήρα των σύγχρονων δελταϊκών ιζημάτων, συνδυασμός που συνδέεται σχεδόν πάντα από χαμηλές τιμές διατμητικής αντοχής στους πόρους των ιζημάτων και ιζήματα επιρρεπή σε αστοχίες (Whelan et al., 1975). Βέβαια, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι μικρές κλίσεις των πρηνών και η απουσία έντονης σεισμικής δραστηριότητας, ενώ επιπλέον ο Λυκούσης (1990) αναφέρει ότι οι προδελταϊκές τουλάχιστον αποθέσεις χαρακτηρίζονται γεωτεχνικά ως λίγο ευαίσθητες, με τις τιμές αστράγγιστης διατμητικής αντοχής να προσεγγίζουν τα 51 kPa σε βάθος 2.7 m κάτω από τον πυθμένα.

Στο όριο της ζώνης έρευνας στο βόρειο τμήμα του δέλτα, και σε βάθη 36 – 40 m διαπιστώθηκε αποκάλυψη υποεπιφανειακών ανακλαστήρων στον πυθμένα (Εικ. 5), γεγονός που αντιστοιχεί σε χαρακτηριστικές διαβρωσιγενείς επιφάνειες που οφείλονται μάλλον στη δράση ρευμάτων κοντά στον πυθμένα (Zervakis et al., 2005). Η στρωματογραφική σχέση toplap που εντοπίστηκε ρηχότερα (Εικ. 5) είναι αποτέλεσμα της διαβρωτικής δράσης των κυμάτων και της απουσίας σημαντικής προσφοράς σύγχρονων ιζημάτων στην περιοχή αυτή. Οι εναλλαγές της θέσης της κύριας κοίτης και των περιφερειακών καναλιών διανομής των φερτών υλικών του Πηνειού νοτιότερα από τη υφιστάμενη απόληξη του τις τελευταίες δεκαετίες είχε ως συνέπεια την απόθεση μικρότερου ποσοστού ιζημάτων στο βόρειο τμήμα, τα οποία φαίνεται να υπόκεινται σε μεγαλύτερη μεταφορά από το ισχύον υδροδυναμικό καθεστώς. Αξίζει να σημειωθεί ότι επιφανειακή διάβρωση τμημάτων του πυθμένα στο ευρύτερο πλατώ του Θερμαϊκού κόλπου έχει επίσης αναφερθεί από τους Lykousis and Chronis (1989) από τομογραφίες τύπου 3.5 kHz.



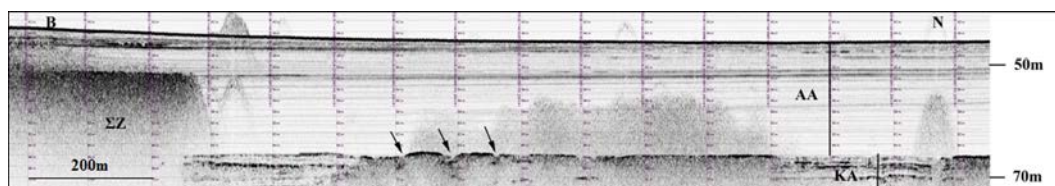
Εικόνα 4: Γεωμορφολογικός χάρτης της υποθαλάσσιας περιοχής του Δέλτα του Πηνειού.



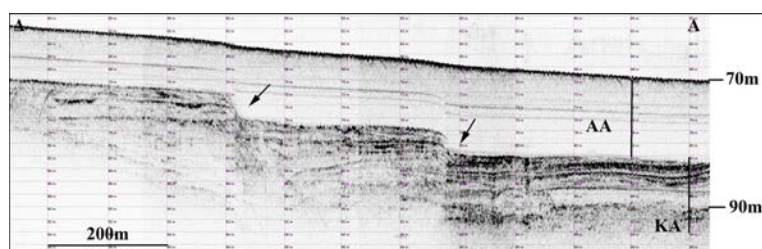
Εικόνα 5: Τομογραφία 3.5kHz από το βόρειο τμήμα του δέλτα όπου φαίνονται μικρά περιστροφικά ολισθέντα τεμάχια (ΠΤ), διαβρωσιγενείς επιφάνειες (ΔΕ) λόγω ρευμάτων και η στρωματογραφική σχέση toplar στο περιβάλλον της δελταϊκής πλατφόρμας. ΘΑ: θύλακες αερίων, ΨΑ: ψευδοανάκλαση.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της ΚΑ είναι επίσης το πλήθος θαμμένων καναλιών που εμφανίζονται σε όλο το εύρος περιοχή έρευνας, με τη συντριπτική πλειοψηφία αυτών να καταγράφονται σε απόσταση ~2.3 km από τις εκβολές του Πηνειού (Εικ. 4 και 6). Η παρουσία τους θα μπορούσε να θεωρηθεί αναμενόμενη καθώς πριν την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης η προδελταϊκή περιοχή αποτελούσε το παράκτιο περιβάλλον των παλαιοεκβολών, με πλήθος δελταϊκών καναλιών να διασχίζουν και να διαβρώνουν την παλαιο-δελταϊκή πλατφόρμα. Το βάθος εμφάνισής τους μέσα στην ιζηματογενή στήλη συμπίπτει με το βάθος που τείνει να εμφανίζεται η ΚΑ (>16 m), με αρκετά όμως κανάλια να εντοπίζονται ακόμη βαθύτερα. Οι

κοίτες των καναλιών έχουν βάθος που κυμαίνεται κυρίως μεταξύ 2 – 8 m, ενώ το εύρος τους ποικίλει σε μεγάλο βαθμό. Κανάλια που εμφανίζονται στο ίδιο στρωματογραφικό επίπεδο και παρουσιάζουν κοινά ακουστικά χαρακτηριστικά και διαστάσεις κατά μήκος διαδοχικών τομογραφιών εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν στο κεντρικό τμήμα του δέλτα, με μήκος που φτάνει έως και τα 1.5 km (Εικ. 4). Επιπλέον, στο κεντρικό και νότιο τμήμα της ζώνης έρευνας εντοπίστηκε μικρός αριθμός καναλιών μέσα στην ΑΑ, 4-10 m κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα, με εύρος και βάθος κοίτης μικρότερο από 2 και 4 m, αντίστοιχα. Αναγνωρίζονται από την τοπική ταπείνωση και ενίσχυση της ανακλαστικότητας των υποεπιφανειακών ανακλαστήρων, πάνω στους οποίους έχουν σχηματιστεί. Η μικρή αυτή ταπείνωση δεν επηρεάζει την επιφάνεια του βυθού.



Εικόνα 6: Τομογραφία 3.5kHz όπου φαίνονται η ανώτερη (ΑΑ) και η κατώτερη σεισμική ακολουθία (ΚΑ), σεισμοκονιασμένες ζώνες (ΣΖ) και η ύπαρξη καναλιών (βέλη).



Εικόνα 7: Τομογραφία 3.5kHz από το νότιο τμήμα του δέλτα όπου φαίνεται η παρουσία δύο ίδιων μετατόπισης κανονικών ρηγμάτων (βέλη). ΑΑ: ανώτερη σεισμική ακολουθία και ΚΑ: κατώτερη σεισμική ακολουθία.

Στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης αναγνωρίστηκε, με βάση τον απότομο τερματισμό και τη μετατόπιση των σεισμικών ανακλάσεων, μια σειρά θαμμένων κανονικών συνθετικών ρηγμάτων γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, που μετατοπίζουν τα ιζήματα της κατώτερης σεισμικής ακολουθίας, χωρίς όμως να προκαλούν και αντίστοιχη μετατόπιση στον πυθμένα (Εικ. 4 και 7). Το βάθος που εντοπίζονται είναι μεταξύ 10m έως 16m κάτω από την επιφάνεια του βυθού (64-78 m από την επιφάνεια της θάλασσας), το μήκος τους φτάνει τα 2.2 km, ενώ το άλμα τους κυμαίνεται μεταξύ 2 και 6 m. Η παρουσία κανονικών συνθετικών ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ τόσο στο χερσαίο τμήμα όσο και ανοιχτά του δέλτα του Πηνειού έχει προγενέστερα επισημανθεί από τους Caruto & Pavlides (1993), ενώ οι Mascle & Laure (1990) αναφέρουν την παρουσία κανονικών ρηγμάτων στην ευρύτερη περιοχή του δυτικού Θερμαϊκού.

Τέλος, σε βάθη ρηχότερα από τα ~10 m και ~20 m στο νότιο και βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας, αντίστοιχα, (α) η εντονότερη ανακλαστικότητα στη φωτοσκιασμένη μορφολογική απεικόνιση του πυθμένα από τον πολυδεσμικό ηχοβολιστή, καθώς και (β) ο ημιπαρατεταμένος ακουστικός χαρακτήρας της επιφανειακής ανάκλασης στις τομογραφίες σε συνδυασμό με την περιορισμένη διεισδυτική του ικανότητα, οφείλονται στην παρουσία μικροανάγλυφου λόγω θαλάσσιας βλάστησης που αναπτύσσεται πάνω σε σχετικά αδρομερέστερα (αμμόδη) υλικά (Εικ. 4). Χωρικά εξαπλώνεται κατά μήκος όλης της δελταϊκής πλατφόρμας, εκτός από το τμήμα της κύριας εκβολής του ποταμού καταλαμβάνοντας συνολικά μια έκταση ~ 3.7 km².

Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία αποτελεί την πρώτη συστηματική προσπάθεια προσδιορισμού των σύγχρονων διεργασιών ιζηματογένεσης από δεδομένα υψηλής διακριτικής ικανότητας στο υποθαλάσσιο δέλτα του Πηνειού. Η μελέτη των γεωφυσικών δεδομένων αποκάλυψε

πλήθος σημαντικών γεωμορφολογικών στοιχείων ρίχνοντας φως στις διεργασίες ιζηματογένεσης μετά από την τελευταία παγετώδη περίοδο (Α. Πλειστόκαινο – Ολόκαινο). Από τη βυθομετρική διασκόπηση διαπιστώθηκε η ανάπτυξη των τριών τυπικών φυσιογραφικών ενοτήτων που συναντάμε στα δέλτα, δηλαδή της δελταϊκής πλατφόρμας, της καταφέρεας και της προδελταϊκής περιοχής με, γενικά, ήπιες κλίσεις (1 – 12 %) έως και βάθη 70m. Τα κυριότερα γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής αποτελούν η ύπαρξη πλήθους θαμμένων καναλιών κυρίως στην κατώτερη σεισμική ακολουθία, σύγχρονες διαβρωσιγενείς επιφάνειες λόγω δράσης ρευμάτων καθώς και η παρουσία θαμμένων ρηγμάτων, τα οποία εμφανίζουν συνθετικό χαρακτήρα ως προς τα αντίστοιχα της χέρσου προς το νότιο τμήμα της ζώνης έρευνας (Caputo et al., 2004). Αποτέλεσμα της σημαντικής προσφοράς ιζημάτων πλούσιων σε οργανικό υλικό, είναι η εμφάνιση ενός εκτεταμένου πεδίου αέριων που φτάνει σε μικρό βάθος κάτω από τον πυθμένα, εμφανίζει ποικιλία ηχητικών ανωμαλιών και έχει προκαλέσει παραμορφώσεις ιζημάτων, όχι όμως κάποια σύγχρονη γεωμορφή ή κάποιο σύγχρονο εκτεταμένο κατολισθητικό γεγονός. Η απουσία ενός σύγχρονου συστήματος καναλιών διανομής στο περιβάλλον της υποθαλάσσιας πλατφόρμας πιθανόν δικαιολογείται από τη γρήγορη ανακατανομή των ιζημάτων από το επικρατών κυματικό καθεστώς.

Η γενική σεισμική στρωματογραφία καθώς και η ύπαρξη αερίων στα δελταϊκά ιζήματα είχε αποτυπωθεί και σε προγενέστερες μελέτες της ευρύτερης περιοχής του Δυτικού Θερμαϊκού Κόλπου (π.χ. Lykousis & Chronis 1989; Lykousis et al. 2005, 2009). Στην εργασία αυτή όμως αποκαλύφθηκε η έκταση και η διακύμανση της κατανομής τους κάτω από τον πυθμένα, τα φαινόμενα παραμόρφωσης που προκαλούν καθώς και άλλα σημαντικά γεωμορφολογικά στοιχεία που δεν είχαν εντοπιστεί λόγω του αποσπασματικού χαρακτήρα των προηγούμενων ερευνών.

Ευχαριστίες

Η συλλογή των δεδομένων και οι Θ.Χ. και Α.Β. χρηματοδοτήθηκαν από το πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ-MARE (MIS: 375655) και οι Κ.Α. και Σ.Π. από το πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ-DAPHNE (MIS: 375908) που χρηματοδοτούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από Εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος “Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση” (ΕΣΠΑ 2007-2013).

Βιβλιογραφία

- Caputo R. Helly b., Pavlides S., Papadopoulos G., 2004. Palaeoseismological investigation of the Tyrnavos Fault (Thessaly, Central Greece). *Tectonophysics* 394, 1–20.
- Caputo R. & Pavlides S., 1993. Late Cainozoic geodynamic evolution of Thessaly and surroundings (central-northern Greece). *Tectonophysics*, 223, 339-362.
- Gaki-Papanastassiou K., Karymbalis E. and Maroukian H., 2010. Recent geomorphic changes anthropogenic activities in the deltaic plain of Pinios river in central Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 17(1) XLIII, No 1: 409-417.
- Galloway W.E., 1975. Process framework for describing the morphological and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In: Broussard M.L. (Ed.): *Deltas, Models for Exploration*. Houston Geol. Soc., Houston, 87-98.
- Hasiotis T., Papatheodorou G., Kastanos N., and Ferentinos G., (1996). A pockmark field in the Patras Gulf (Greece) and its activation during the 14/7/93 seismic event. *Marine Geology*, vol. 130, pp. 333-344.
- Hasiotis T., Charalampakis M., Stafatos A., Papatheodorou G. and Ferentinos, G., 2006. Fan delta development and processes offshore a seasonal river in a seismically active region, in the NW Gulf of Corinth. *Geo-marine Letters*, vol 26(4), pp. 199-211.
- Karageorgis A.P., Kaberi H. Price N.B., Muir G.K.P., Pates J.M., Lykousis V., 2005a. Chemical composition of short sediment cores from Thermaikos Gulf (Eastern Mediterranean): Sediment accumulation rates, trawling and winnowing effects. *Continental Shelf Research* 25, 2456 –2475.

- Karageorgis A.P., Anagnostou C.L., Kaberi H., 2005b. Geochemistry and mineralogy of the NW Aegean Sea surface sediments: implications for river runoff and anthropogenic impact. *Applied Geochemistry* 20, 69–88.
- Karymbalis, E. and Gaki-Papanastassiou, K., 2008. Geomorphological study of the river deltas of Pinios, Kalamas, Evimos and Mornos. *Proceedings of the 4th Panhellenic Conference on Coastal Zones Management, Mytilene, Greece*, 86-94.
- Kombiadou K. and Krestenitis Y. N., 2012. Fine sediment transport model for river influenced microtidal shelf seas with application to the Thermaikos Gulf (NW Aegean Sea). *Continental Shelf Research* 36, 41–62.
- Lykousis V., Roussakis G., Sakellariou D., 2009: Slope failures and stability analysis of shallow water prodeltas in the active margins of Western Greece, northeastern Mediterranean Sea. *International Journal of Earth Science (Geol. Rundsch)*, 98: 807–822.
- Lykousis, V., Karageorgis, A., Chronis, G., 2005. Delta progradation and sediment fluxes since the last glacial in the Thermaikos Gulf and the Sporades Basin, NW Aegean Sea, Greece. *Mar. Geol.*, 222–223: 381–397.
- Lykousis V. and Chronis G., 1989. Mechanisms of sediment transport and deposition: Sediment sequences and accumulation during the Holocene on the Thermaikos plateau, the continental slope and basin (Sporades basin), north-western Aegean sea, Greece. *Marine Geology* 87, 15-26.
- Lykousis V., Collins M.B., Ferentinos G., 1981. Modern Sedimentation in the N.W. Aegean Sea. *Marine Geology* 43, 111-130.
- Masclé J. & Laure M., 1990. Shallow structure and recent evolution of the Aegean Sea: A synthesis based on continuous reflection profiles. *Marine Geology*, 94: 271-299.
- Papatheodorou G., Hasiotis T., Ferentinos G., 1993. Gas charged sediments in the Aegean and Ionian Seas, Greece. *Marine Geology*, 112: 171-184.
- Poulos S.E., Chronis G.Th., Collins M.B., Lykousis V., 2000. Thermaikos Gulf Coastal System, NW Aegean Sea: an overview of water/sediment fluxes in relation to air–land–ocean interactions and human activities. *Journal of Marine Systems* 25, 47–76.
- Whelan T.A., Coleman J.M. and Suhayda J.N., 1975. The geochemistry of recent Mississippi river delta sediments: gas concentration and sediment stability. *Offsh. Techn. Confer.*, Houston, Texas, paper 2342: 71-84.
- Zervakis, V., Karageorgis, A., Kontoyiannis, H., Papadopoulos, V., Lykousis, V., 2005. Hydrology, circulation and distribution of particulate matter in Thermaikos Gulf (NW Aegean Sea), during September 2001–October 2001 and February 2002. *Continental Shelf Research*, 25: 2332–2349.
- Λυκούσης Β., (1990). Προδελταϊκές αποθέσεις: Σεισμική στρωματογραφία, ιζηματολογία και ευστάθεια πρηνών. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Πατρών.