

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ ΣΤΙΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Η ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΤΟΥ ΚΟΤΥΧΙΟΥ*

ΜΠΟΥΖΟΣ Δ.¹ & ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ Ν.²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λιμνοθάλασσα του Κοτυχίου εδράζεται στις ακτές της ΒΔ/κής Πελοποννήσου, είναι ρηχή και έχει περιορισμένη επικοινωνία με την ανοιχτή θάλασσα, μέσω ενός σταθερού διαύλου. Το Δ/κό περιθώριό της ορίζεται από ένα φραγματικό νησί με μικρό ανάγλυφο, ενώ στα υπόλοιπα περιθώριά της και κατά θέσεις αναπτύσσονται μικρά προελαύνοντα δέλτα με την ενδο- και επιπαιροροϊκή ζώνη με αλόφυτα μεταξύ αυτών.

Η αλατότητα παρουσιάζει έντονες εποχιακές μεταβολές και χαρακτηριστική οριζόντια ζώνωση στη διάρκεια του έτους. Επίσης η θερμοκρασία δείχνει εποχιακές αλλαγές. Τα ανεμογενή ρεύματα κινούνται κατά προσέγγιση παράλληλα προς τα περιθώρια της λιμνοθάλασσας, με ταχύτητες από 10-30 cm/sec και αποτελούν τον κύριο παράγοντα της κατανομής των ιζημάτων. Η κύρια πηγή ιζηματος για τη λιμνοθάλασσα είναι η ποταμοχειμάρια προσφορά. Η αμμώδης ιλύς καλύπτει τα 3/4 της έκτασής της ενώ το υπόλοιπο τμήμα της καλύπτεται από ιλύ, άργιλο. Τα σκελετικά υπολείμματα συμμετέχουν σε ποσοστό 2-10% στο επιφανειακό ιζημα.

ABSTRACT

The Kotihi lagoon is located along a wave dominated and microtidal coast in the northwestern Peloponnese. Westwards it is separated from the open sea by a low relief barrier island, and have limited communication with the open sea, with a stable, short and narrow inlet. Eastwards on the landward lagoonal margins, small scale deltas are prograded, into the lagoon. Intertidal and supratidal mud flats are developed among deltas, covered with plants, e.g. *Salicornia*.

Depths in lagoon decrease gradually with distance from the landward site of the barrier island to the inner lagoonal margins. Although the maximum depth is 2.5m in front of the inlet, the average depth is only 0.5 m. Four artificial, very shallow channel-like features run at right angles to the barrier coast and one more parallel to this coast.

The lagoon is polyhaline and exhibits a salinity ranging from 8‰ to 17‰ during the winter rainy season to 20‰ to 37‰ in the summer. These data indicate a seasonal surface distribution of salinity, in correlation with the increased input of freshwater during wet periods and the higher summer evaporation. The average surface water temperature ranged from 10 °C during the winter to 27 °C in the summer. The lagoon is affected by semidiurnal tides. The tidal range is of the order of 10-15cm. Maximum combined tide and meteorological tide amplitude is of the order of 25-30 cm. The tidal current speed is 10-30 cm/sec at the inlet and approximately 0.5-1 cm/sec in the lagoon. Circulation in the Kotihi lagoon is exclusively wind-related. The lagoon is subjected to NW and SW winds. The wind current velocity is about 20cm/sec and this current roughly conforms to the direction of the lagoon margins. The NW winds drive the water to the SE and introduce a counter-clockwise circulation in the inner lagoon. In contrast the SW winds introduce an anti counter-clockwise circulation. The surface sediment of the lagoon is dominantly sandy

* RECENT SEDIMENTATION IN THE LAGOONS OF WESTERN GREECE. EXAMPLE THE KOTIHI LAGOON.

¹ Υποψήφιος διδάκτορας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, 26110 Ρίο-Πάτρα

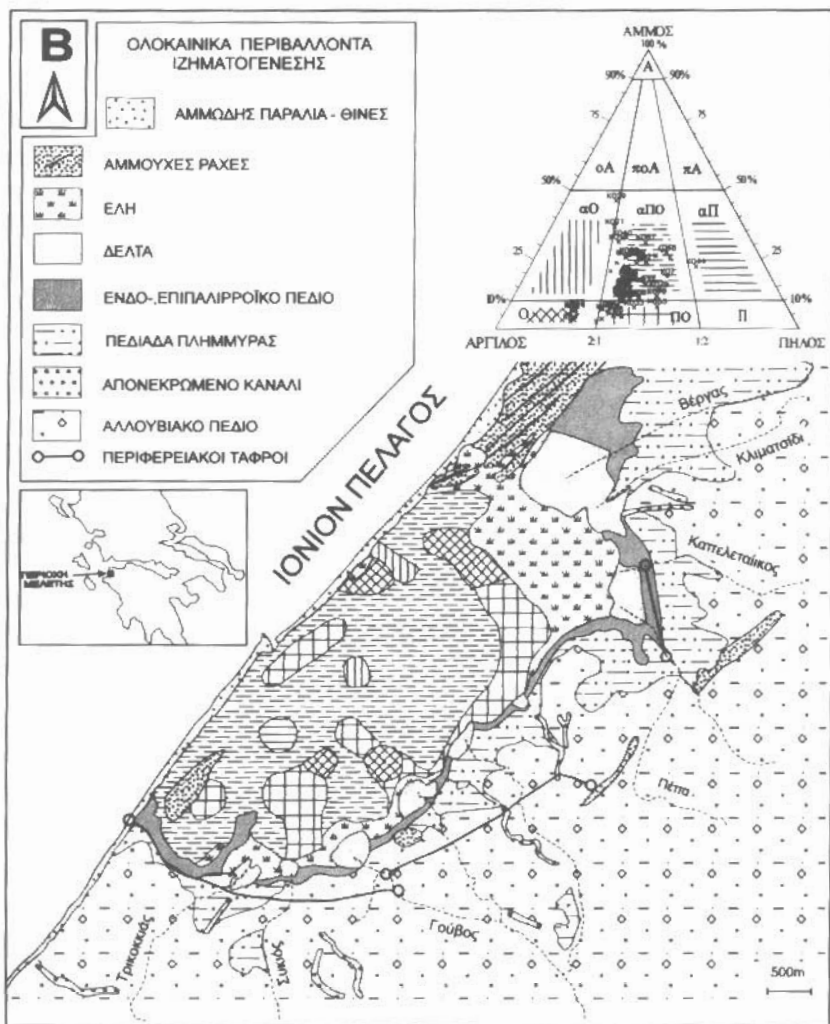
² Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

mud; on average, this sediment contains 75% sandy mud. The remainder is mud/clay. The shell fragment contribution to the lagoonal bottom sediment, ranges from 2% to 10%. Organic matter content ranges from 3% to 8%, organic carbon content is 1.5% to 4% and CaCO₃ content ranges from 6% to 42%.

The major source area of the lagoonal sediments is the river supplies. A minor contribution is shell fragments from autochthonous biogenic production. Aeolian sands, suspended sands eroded on tidal flats and lagoonal margins, or sand washed into the lagoon by washover fans are negligible. The present-day accumulation rate is 0.5-1cm/y. All man's activities as deforestation, canal construction and agriculture, have influenced this rate. This rate indicates a rapid filled up of the lagoon in the ensuing years.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Λιμνοθάλασσα, Ωκεανογραφία, Ιζηματολογία, Θαλάσσια Γεωλογία, Περιβαλλοντική Γεωλογία, ΒΔ/κή Πελοπόννησος, Ολόκαινο.

KEY WORDS: Lagoon, Oceanography, Sedimentology, Marine Geology, Environmental Geology, NW Peloponnesus, Holocene.



Σχήμα 1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής γύρω από τη λιμνοθάλασσα του Κοτυχίου και κατανομή των λιθολογικών τύπων μέσα στη λιμνοθάλασσα με το διάγραμμα του Folk (1974).

Fig. 1: Geological map of the area around the Kotychi lagoon and the lithological type distribution in the lagoon with the diagram of Folk (1974)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα ΒΔ/κά της Πελοποννήσου και μεταξύ των ακρωτηρίων Αράξου και Κυλλήνης, αναπτύσσονται εκτεταμένες λιμνοθάλασσες αποθέσεις άνω Τεταρτογενούς ηλικίας, καθώς και αποθέσεις ενός σύγχρονου παράκτιου πεδίου (Σταματοπούλος Λ., 1991). Παρότι το πεδίο αυτό έχει μόνο 35 km μήκος και όχι περισσότερο από 5 km πλάτος, παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία γεωμορφών.

Ειδικότερα η ακτή αποτελείται από μια σειρά χαμηλών αμμωδών ημισεληνοειδών ράχων, οι οποίες καταλήγουν σε ασβεστολιθικούς όγκους που αναδύονται σ' αυτήν. Προς την πλευρά της χέρσου, τις ράχες διαδέχονται λιμνοθάλασσα συστήματα με μικρή κλίση προς τη θάλασσα και με κύριο άξονα ανάπτυξης παράλληλο προς την ακτογραμμή. Τα λιμνοθάλασσα συστήματα περιορίζονται με τη σειρά τους, Α/κά από σύγχρονες αποθέσεις πεδίου πλημμυρών, φυσικών αναχωμάτων και καναλιών διανομής, του Παλαιοπηνειού και μικρότερων ποταμοχειμάρρων συστημάτων όπως αιτών του Καπελεταίικου, Κλιματσιδή και Βέργα (Σχ.1). Είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι λίγο πριν το τέλος του 18ου ή στις αρχές του 19ου αιώνα, ο Πηνειός είχε τις εκβολές του ακριβώς νότια της λιμνοθάλασσας του Κοτιχίου (Raphael C.N., 1978). Πιθανά τότε, μετά από ανθρώπινη παρέμβαση (Reclus E., 1875), έγινε εκτροπή του νότια της χερσονήσου Χλεμούτσι. Οι αποθέσεις του παράκτιου πεδίου αναπτύχθηκαν μπροστά από ρηγματογόνο κρημό, πίσω από τον οποίο έχουμε τις άνω Τεταρτογενείς αποθέσεις, θαλάσσιες- λιμνοθάλασσες αναβαθμίδες του Τυρρηνίου οι οποίες φέρουν κατά θέσεις κόκκινες έντονα οξειδωμένες ποτάμιες αναβαθμίδες (Σταματοπούλος Λ., 1991). Τέλος οι θαλάσσιες αναβαθμίδες μεταβαίνουν προς το αλπικό υπόβαθρο δια μέσου ρηγματογόνου κρημού στο μέτωπο του οποίου αναπτύσσονται αλλουβιακά ριπίδια.

Τμήμα του σύγχρονου παράκτιου πεδίου αποτελεί η λιμνοθάλασσα του Κοτιχίου. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της σύγχρονης ιζηματογένεσης της λιμνοθάλασσας του Κοτιχίου, με βάση τα δεδομένα της επεξεργασίας 60 επιφανειακών δειγμάτων, σε συνδυασμό με στοιχεία βυθομετρίας και φυσικής ωκεανογραφίας της λιμνοθάλασσας. Η έρευνα αυτή έρχεται να καλύψει το αντικείμενο της ιζηματογένεσης των συγχρόνων λιμνοθάλασσών συστημάτων στον Ελλαδικό χώρο, το οποίο είναι περιορισμένο, αλλά αποτελεί κλειδί για την κατανόηση της οικολογίας και της προστασίας του συνεχώς εξελισσόμενου λιμνοθάλασσίου περιβάλλοντος. Επιπλέον η εργασία αυτή έχει ένα προκαταρκτικό χαρακτήρα, με απώτερο στόχο την μοντελοποίηση της εξέλιξης της λιμνοθάλασσας.

2. ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ

Η λιμνοθάλασσα του Κοτιχίου, κατέχει έκταση περίπου 8 km² και το μέσο βάθος της είναι περίπου 50 cm. Βρίσκεται στο νομό Ηλείας, στη ΒΔ/κή ακτή της Πελοποννήσου, σε απόσταση 8 km βόρεια της πόλης των Λεχαινών. Η λιμνοθάλασσα αυτή περιορίζεται από την ανοιχτή θάλασσα (Ιόνιο Πέλαγος) μ' ένα χαμηλό αμμώδη φραγμό (sand barrier). Ο αμμώδης αυτός φραγμός φέρει περίπου στο μέσο του ένα διάυλο (inlet), με τον οποίο επικοινωνεί η λιμνοθάλασσα με το ανοιχτό πέλαγος. Ο διάυλος αυτός σχηματίστηκε πριν από 160 χρόνια περίπου (Raphael C.N., 1973).

Μεταξύ της λιμνοθάλασσας του Κοτιχίου και του ακρωτηρίου του Κουνουπελίου, δηλαδή βόρεια της λιμνοθάλασσας, η ακτή συντίθεται από μια σειρά παραλλήλων αμμωδών ράχων, ημισεληνοειδούς μορφής. Η γένεση των ράχων αρχίζει τουλάχιστο στους Ελληνιστικούς χρόνους (Raphael C.N., 1978). Πάνω στις γεωμορφές αυτές αναπτύσσονται παράκτιες θίνες αιολικής γένεσης και μέχρι σε μια απόσταση 150 m προς την πλευρά της ξηράς. Α/κά τη λιμνοθάλασσα περιορίζουν το σύγχρονο αλλουβιακό πεδίο των ποταμοχειμάρρων συστημάτων του Παλαιοπηνειού, Συκιά, Γουβού, Κλιματσιδίου και Βέργα. Στις εκβολές των χειμάρρων αυτών δημιουργείται ένα μικρό πεδίο δελταϊκών ιζημάτων, τα οποία προσχώνουν την λιμνοθάλασσα και διευκολύνουν την προέλαση των δελταϊκών και των παλιροϊκών ελών, προς τη πλευρά της λιμνοθάλασσας (Σχ1). Στο νότιο τμήμα της λιμνοθάλασσας διαπιστώθηκε η παρουσία μικρής επιμήκους νήσου, η οποία αποτελεί πιθανά μια υπολειμματική αμμώδη ράχη. Μεταξύ

zone) και μια πίσω απ' αυτήν επιπαλιρροϊκή ζώνη (supratidal zone). Αμφότερες οι ζώνες αυτές είναι ιλυώδεις και καλύπτονται από αλόφυτα (κυρίως *Salicornia*).

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στα πλαίσια της ιζηματολογικής αναγνώρισης της λιμνοθάλασσας πραγματοποιήθηκε επιφανειακή δειγματοληψία 60 περίπου δειγμάτων από τον πυθμένα της, με δειγματολήπτη (αράπη) τύπου Van-Veen, από ειδική βάρκα (γαΐτα) σε προκαθορισμένες θέσεις. Έτσι δημιουργήθηκε ένα πλέγμα σημείων συλλογής δειγμάτων, οι θέσεις των οποίων προσδιορίστηκαν μέσω φορητού GPS με μεγάλη ακρίβεια ($\pm 5\text{m}$). Στις αντίστοιχες θέσεις έγιναν μετρήσεις του βάθους, με κατάλληλα διαμορφωμένη μετρητική κορδέλα, μετρήσεις θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) και αλατότητας (S_a), με αγωγιμόμετρο ηλεκτροδίου δύο αισθητήρων και του ρΗ με φορητό ρΗ-μετρο. Επίσης έγιναν μετρήσεις ταχύτητας και διεύθυνσης των επιφανειακών ρευμάτων με επιπλέοντες πλωτήρες και μετρήσεις του ρυθμού ιζηματογένεσης με παγίδες ιζήματος που παρέμειναν στη λιμνοθάλασσα για χρονικό διάστημα ενός έτους.

Τα δείγματα που συλλέχθηκαν μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου αφού τους έγινε έκπλυση, ακολούθησε η κοκκομετρική τους ανάλυση (κόσκινα, πιπέτα). Επίσης έγινε ποσοτική ανάλυση του CaCO_3 , του οργανικού άνθρακα (C) και του ολικού οργανικού υλικού.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Α. Φυσική ωκεανογραφία. Η μέση θερμοκρασία της στήλης του νερού κυμαίνεται μεταξύ 16 κατά την περίοδο του χειμώνα και 24 κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Σε περιόδους ήπιων μετεωρολογικών συνθηκών και κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όπου αυτές συμβαίνουν, έχει παρατηρηθεί θερμοκρασιακή στρωμάτωση (θερμοκλινές) με την επιφανειακή θερμοκρασία να διαφέρει κατά 1-3 βαθμούς από τη θερμοκρασία του πυθμένα. Η θερμοκρασιακή αυτή στρωμάτωση είναι ασταθής και καταστρέφεται γρήγορα. Μικρής έως και μέτριας εντάσεως άνεμοι, είναι ικανοί να αναδεύσουν και να ομογενοποιήσουν τη μικρού πάχους λιμνοθαλάσσια στήλη (Horne J.A. and Goldman R.CH., 1994).

Η αλατότητα του Κοτυχίου έχει μέση τιμή 25 δ και κυμαίνεται από 8-17 δ το χειμώνα και 20-37 δ το καλοκαίρι, ενώ η μέση ετήσια αλατότητα του Ιονίου Πελάγους είναι 36.5 δ . Με βάση τις τιμές αυτές η λιμνοθάλασσα του Κοτυχίου χαρακτηρίζεται από ικράλυση έως αλμυρή. Η αλατότητα, όπως και η θερμοκρασία, δείχνει στρωμάτωση (αλοκλινές), της τάξης μεγέθους 1-9 δ , τόσο κατά την κατακόρυφο όσο και κατά την οριζόντια έννοια. Στο σχήμα 2(Γ,Δ), βλέπουμε την οριζόντια επιφανειακή κατανομή της αλατότητας κατά την περίοδο του χειμώνα και του καλοκαιριού και παρατηρούμε μια εμφανή πλευρική ζώνωση. Οι παρατηρούμενες μεγάλες αλλαγές στην αλατότητα στις διαφορετικές εποχές του χρόνου, συνδέονται με το αντίστοιχο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στις εποχές αυτές. Ενώ το αλοκλινές εύκολα καταστρέφεται κατά την κατακόρυφο, για τους ίδιους λόγους που χάνεται και το θερμοκλινές, η οριζόντια ζώνωση της αλατότητας διατηρείται σε γενικές γραμμές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ μεταβάλλεται μόνο το εύρος και η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής.

Η παλίρροια και ο παλιρροϊκός κύκλος στη λιμνοθάλασσα του Κοτυχίου είναι ένας πολύ σημαντικός και ρυθμιστικός παράγοντας για την ίδια τη ζωή της λιμνοθάλασσας. Το εύρος της παλίρροιας κυμαίνεται μεταξύ 10-15 cm, ενώ από μετρήσεις που έγιναν και στο παρελθόν, η μέγιστη τιμή της παλίρροιας που έχει παρατηρηθεί είναι της τάξης των 25-30 cm (Καλλέας, 1987) και συμπίπτει με ασυνήθιστα καιρικά φαινόμενα. Ο τύπος της παλίρροιας είναι ημιημερησίου (semidiurnal), οι δε ταχύτητες των παραγόμενων παλιρροϊκών ρευμάτων που μετρήθηκαν στη θέση του διαδίου είναι της τάξεως των 10-30 cm/sec. Ωστόσο τόσο μεγάλες ταχύτητες, παλιρροϊκών ρευμάτων, δεν παρατηρήσαμε μέσα στη λιμνοθάλασσα, όπως και αναμενόταν (Kjerfve B. and Magill E.K., 1989). Έτσι, μέσα στη λιμνοθάλασσα οι ταχύτητες των παλιρροϊκών ρευμάτων, βρέθηκαν να είναι περίπου 0,5-1 cm/sec.

Τέλος, ο άνεμος επιφανειακή βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" α.τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.ση υγρών μαζών, μέσα

στη λιμνοθάλασσα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Τα ανεμογενή ρεύματα κινούνται κατά προσέγγιση παράλληλα προς τα περιθώρια της λιμνοθάλασσας, με μέση ταχύτητα που μετρήθηκε, 20 cm/sec και μεταφέρουν σε αιώρηση το λεπτόκοκκο υλικό (πηλός-άργιλος). Επί πλέον ο κυματισμός που εισάγεται από τον άνεμο σε συνδυασμό με το μικρό βάθος της λιμνοθάλασσας, προκαλεί ανάδευση του επιφανειακού ιζηματος και ένα είδος "λιχνίσματος", με αποτέλεσμα το λεπτόκοκκο υλικό να τίθεται σε αιώρηση και να απομακρύνεται υπό των ρευμάτων, πραγματώνοντας την ανακατανομή του. Οι επικρατούντες άνεμοι είναι ΒΔ/ζής διευθύνσεως και εντάσεως που ξεπερνά ενίοτε τα οχτώ (8) Beaufort.

Β. Βυθομετρία της λιμνοθάλασσας. Από τη βυθομετρία της λιμνοθάλασσας όπως αυτή φαίνεται στο σχήμα 2Α, δείχνεται ότι το Κοτύχι είναι μια εντελώς αβαθής λιμνοθάλασσα με βάθη που κυμαίνονται από 10 cm μέχρι 70 cm. Εξαιρέση αποτελεί μια στενή ζώνη μπροστά από το διάυλο, όπου το βάθος της φτάνει περίπου τα 2,50m. Γύρω από αυτήν και σχεδόν ομοιόμορφα έχουμε σταδιακή μείωση του βάθους προς τα Α/κά περιθώρια της λιμνοθάλασσας. Οι ισοβαθείς παραμορφώνονται τοπικά από πέντε (5) αβαθείς αυλακες, μια εκτεταμένη κατά μήκος του φραγμού και ακριβώς πίσω από αυτόν και τέσσερις (4) σχεδόν κάθετες στην πρώτη (Σχ.2Α).

Τόσο οι αυλακες αυτές, όσο και η βαθιά ζώνη μπροστά από το διάυλο του φραγμού, δημιουργήθηκαν μετά από ανθρώπινη παρέμβαση, στα πλαίσια ανάπτυξης και διαχείρισης της λιμνοθάλασσας του Κοτυχίου από το Δήμο Λεχαινών. Εξαιτίας του όλο και μειούμενου μέσου βάθους, προτάθηκε η εκσκαφή του πυθμένα σε καθορισμένες θέσεις, η οποία θα έπαιζε ρόλο λεκανών χειμάνσης των ψαριών, βελτιώνοντας τις συνθήκες διαμονής τους και αυξάνοντας την ιχθυοχωρητικότητα της λιμνοθάλασσας (ΕΨΙΛΟΝ ΕΠΕ 1988).

Γ. Επιφανειακά ιζήματα.

Γι) Πηγές ιζηματος. Έξη είναι οι πιθανές πηγές τροφοδοσίας των ιζημάτων στη λιμνοθάλασσα του Κοτυχίου: Ι) Η ποταμοχειμάρρα προσφορά, ΙΙ) Η διάβρωση των εσωτερικών κρασπέδων της λιμνοθάλασσας, ΙΙΙ) Η αυτόχθονη βιογενής παραγωγή ΙV) Το παλιρροϊκό ρεύμα που εισέρχεται από το διάυλο V) Η αιολική μεταφορά λεπτόκοκκου ιζηματος, από το φραγμό και από τους μη καλλιεργήσιμους γειτονικούς αγρούς και VI) το φαινόμενο της έκπλυσης υλικού υπεράνω του φραγμού (washover fan).

Το περισσότερο ιζημα που εισέρχεται στη λιμνοθάλασσα είναι των ποταμοχειμάρρων, συστάσεως πηλού και αργίλου με υψηλή συγκέντρωση οργανικού υλικού. Η απουσία ποτάμιας άμμου μπορεί να δικαιολογηθεί ως αποτέλεσμα του συνδυασμού: Ι) της σύστασης της λεκάνης απορροής (άνω Τεταρτογενή λεπτόκοκκα ιζήματα), ΙΙ) απουσίας αναγλύφου της λεκάνης απορροής και ΙΙΙ) της προς τα πάνω (upstream) κατακράτησης του χονδροκόκκου υλικού εξαιτίας των αποχετευτικών συλλεκτήρων, στην περιφέρεια της λιμνοθάλασσας.

Η κύρια πηγή τροφοδοσίας του αμμώδους κλάσματος, που η παρουσία του είναι μικρή (<2-4), φαίνεται ότι είναι το φραγματικό νησί, μέσω τόσο της διάβρωσής του, όσο και της αιολικής μεταφοράς, μολοντί η συνεισφορά του φραγμού είναι σήμερα σχετικά περιορισμένη, κυρίως μετά την ανθρώπινη παρέμβαση (κατασκευή δρόμου και απόρριψη υλικών από εκσκαφές πάνω στο φραγμό). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι στο νότιο τμήμα του φραγμού, που απαντάται σ' αυτό χαμηλό ανάγλυφο, κατά την περίοδο ασυνήθιστων καιρικών συνθηκών, έχουμε τη διάρρηξη του φραγμού από τα κύματα και τη λειτουργία μιας μικρής πρόσκαιρης αυλακας και τον σχηματισμού ενός "αμμώδους ριπιδίου από έκπλυση υλικού υπεράνω του φραγμού" (washover fan) (Rahpael C. N., 1978), μέσα στη λιμνοθάλασσα. Αυτό επιβεβαιώνεται από την παρουσία κορακάλων (<1%) μέσα στις θίνες.

Μια άλλη πηγή του αμμώδους κλάσματος, είναι η υποπαράκτια ζώνη και η διάβρωση της ακτής του φραγματικού νησιού προς τη πλευρά της ανοιχτής θάλασσας, από την κυματική και ρευματική δράση, με αποτέλεσμα ένα μέρος του αμμώδους ιζηματος να εισέρχεται μέσω του διαύλου στη λιμνοθάλασσα. Εντούτοις η παρουσία μεταλλικών παγίδων ψαριών στο εσωτερικό του διαύλου για την ιχθυοπαραγωγή δεν επιτρέπει σήμερα την είσοδο της άμμου μέσα στη λιμνοθάλασσα, αλλά την εγκλωβίζει μέσα στο διάυλο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή ενός δέλτα πλήμμης μπροστά από το διάυλο προς τη

(αεροφωτογραφίες Γ.Υ.Σ.).

Η ποσοτική προσφορά του βιογενούς υλικού στα επιφανειακά ιζημάτα της λιμνοθάλασσας δεν έχει εκτιμηθεί. Παίρνοντας υπ' όψιν το βάρος των κελυφών που συμμετέχουν στα δείγματα του πυθμένα βλέπουμε, ότι η υψηλότερη συγκέντρωση σκελετικών υπολοίπων βρίσκεται κατανεμημένη κυρίως δυτικά πίσω από το φραγμό και κεντρικά της λιμνοθάλασσας.

G2) Κατανομή λιθολογικών τύπων επιφανειακών ιζημάτων. Με βάση το επί τοις εκατό ποσοστό σε άμμο-πηλό-άργιλο έγινε η ταξινόμηση των επιφανειακών δειγμάτων στο τρίγωνο ονοματολογίας του Folk (1974) και προσδιορίστηκε ο λιθολογικός τους τύπος (Σχ.1). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1, ο κύριος λιθολογικός τύπος των ιζημάτων επιφανείας είναι αμμώδης ιλύς, χρώματος λαδί γκρι και κατανέμεται ομοιόμορφα σ' όλη σχεδόν την έκταση της λιμνοθάλασσας, εκτός από τα Α/κά περιθώριά της, όπου η προσφορά υλικού από τους χειμάρρους, δημιουργεί μια ιδιαίτερη ζώνη με ακόμα πιο λεπτόκοκκα ιζημάτα, ιλύς-άργιλος, χρώματος σκούρο λαδί-γκρι. Το αμμώδες κλάσμα συνίσταται από περίπου 2% κλαστικής γένεσης και μέχρι 10% βιογενούς γένεσης υλικό. Επιπλέον σε κάποιες συγκεκριμένες θέσεις περιορισμένης έκτασης, υπάρχουν ανάλογα ιζημάτα της τάξης ιλύς-άργιλος, που σχετίζονται με ιδιαίτερες τοπικές συνθήκες, όπως αυξημένο βάθος και παρουσία υδρόβιας βλάστησης. Φαίνεται ότι οι δύο παραπάνω παράγοντες παίζουν ρόλο παγίδας λεπτόκοκκου ιζηματος, στην γενική κατανομή και μεταφορά των ιζημάτων μέσα στη λιμνοθάλασσα. Ο λιθολογικός τύπος της άμμου απουσιάζει μέσα στη λιμνοθάλασσα και περιορίζεται σε μια στενή ζώνη στην είσοδο του διαύλου προς τη θάλασσα και στα κράσπεδα του φραγμού.

G3) Φυσικές διαδικασίες της κατανομής των ιζηματογενών τύπων. Η κατανομή του επιφανειακού ιζηματος του πυθμένα της λιμνοθάλασσας του Κοτυχιού, φαίνεται ότι επηρεάζεται από τέσσερους κύριους παράγοντες, I) την κυματική δράση, II) τη ρευματική δράση III) την ποτάμια δράση και IV) τη βιολογική δράση. Η ρευματική δράση κύρια ορίζεται από τα ανεμογενή ρεύματα, τα οποία διαμορφώνουν και επηρεάζουν την επιφανειακή κυκλοφορία του νερού της λιμνοθάλασσας (Σχ. 2B). Άλλου είδους ρεύματα, όπως τα παλιρροϊκά και της πυκνότητας έχουν ασήμαντη συμμετοχή, λόγω μικρού παλιρροϊκού εύρους και βάθους αντίστοιχα.

Γενικά σε ολόκληρη την επιφάνεια του πυθμένα της λιμνοθάλασσας επικρατούν λεπτόκοκκα ιζημάτα, εξ' αιτίας κυρίως της προσφοράς χερσαίου υλικού στη λεκάνη, αλλά και του χαμηλού δυναμικού που επικρατεί. Η λεπτότερη λιθολογική φάση, άργιλος- ιλύς, κατανέμεται, όπως έχει αναφερθεί, στα ΒΑ/κά και Α/κά περιθώρια της λιμνοθάλασσας εκεί όπου εκβάλλουν τα συστήματα απορροής της λεκάνης, λόγω της ποτάμιας δράσης. Το αιρούμενο ιζημα καθιζάνει μόλις το γλυκό νερό που το μεταφέρει, αναμειχθεί με το νερό της λιμνοθάλασσας, γιατί η αλατότητά της είναι ικανή να προκαλέσει την κροκίδωση του ιζηματος (Piper D.J.W. et al, 1982). Επίσης στα κράσπεδα της λιμνοθάλασσας προς την πλευρά της χέρσου η υδρόβια βλάστηση (βιολογική δράση) παγιδεύει το λεπτό κλάσμα, ενώ σε ακραίες καιρικές συνθήκες (καταιγίδες, ισχυροί άνεμοι κτλ.), παρεμποδίζει την απομάκρυνση και ανακατανομή του.

Η λιθολογική φάση, αμμώδης ιλύς - αμμώδης πηλός, κατανέμεται στο υπόλοιπο της λιμνοθάλασσας, κύρια από την κυματική και τη ρευματική δράση ανεμογενούς προελεύσεως, κεντρικά και δυτικά αυτής. Εντούτοις, εξαίρεση αποτελεί το τμήμα του πυθμένα της λιμνοθάλασσας, μπροστά από το άκρο του διαύλου. Το τμήμα αυτό, που διαμορφώνεται σε μια βαθιά και σύντομη έκταση αυλάκα, καλύπτεται από ιλύ και στερείται αμμώδους υλικού. Η έλλειψη αυτή του αμμώδους υλικού, πιθανά να οφείλεται στη θέση και στο βάθος της αυλάκας (Phleger F. and Ewing G. , 1962), καθώς ως προελέχθη και στην παρουσία τριών σειρών μεταλλικών θυρών-παγίδων, μέσα στο διάυλο.

Τέλος η κλαστική άμμος κατανέμεται σε μια στενή ζώνη στα εσωτερικά κράσπεδα του φραγμού στο νότιο τμήμα του, πιθανά ως αποτέλεσμα του "αμμώδους ριπιδίου από έκπλυση υλικού υπεράνω του φραγμού" (washover fan).

Δ. Οργανικό υλικό - Οργανικός άνθρακας (C) των επιφανειακών ιζημάτων. Το ποσοστό σε οργανικό υλικό (organic mater), των επιφανειακών ιζημάτων, κατά μέσον όρο είναι γύρω στα 5.5%, κυμαινόμενο από 3% έως και 8% και του οργανικού άνθρακα (organic carbon), είναι 2.5%, κυμαινόμενο από 1.5% -

4%. Τα σχετικά μεγάλα ποσοστά σε οργανικό υλικό και οργανικό άνθρακα των επιφανειακών δειγμάτων της λιμνοθάλασσας, οφείλονται τόσο στην προσφορά χερσογενούς υλικού από το δίκτυο απορροής που καταλήγει σ' αυτή, όσο και από το θάνατο της "in situ" χλωρίδας και πανίδας.

Ε. Ανθρακικό ασβέστιο των επιφανειακών ιζημάτων. Το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3), κυμαίνεται από 6-42%. Στα δείγματα που εμφανίζονται τα μεγαλύτερα ποσοστά CaCO_3 και που είναι σύστασης αμμώδους ιλύος, παρουσιάζεται και το υψηλότερο ποσοστό σκελετικών υπολοίπων λιμνοθάλασσιων οργανισμών, καθώς επίσης και το υψηλότερο ποσοστό ανθρακικών κόκκων. Αντίθετα τα μικρότερα ποσοστά CaCO_3 , εμφανίζονται κυρίως στα ιζήματα, του τύπου ιλύς - άργιλος, που έχουν πολύ μικρό ποσοστό σκελετικών υπολοίπων και ανθρακικών ορυκτών. Τα σκελετικά υπόλοιπα προέρχονται από το θάνατο ελασματοβραχιών (κυρίως *Cardium*), με ποσοστό συμμετοχής 80% και γαστροπόδων (κυρίως *Cerithium*), με ποσοστό συμμετοχής 20%. Στα αδρομερέστερα ιζήματα επιφάνειας το ποσοστό συμμετοχής των σκελετικών υπολοίπων, κυμαίνεται από 2-10%.

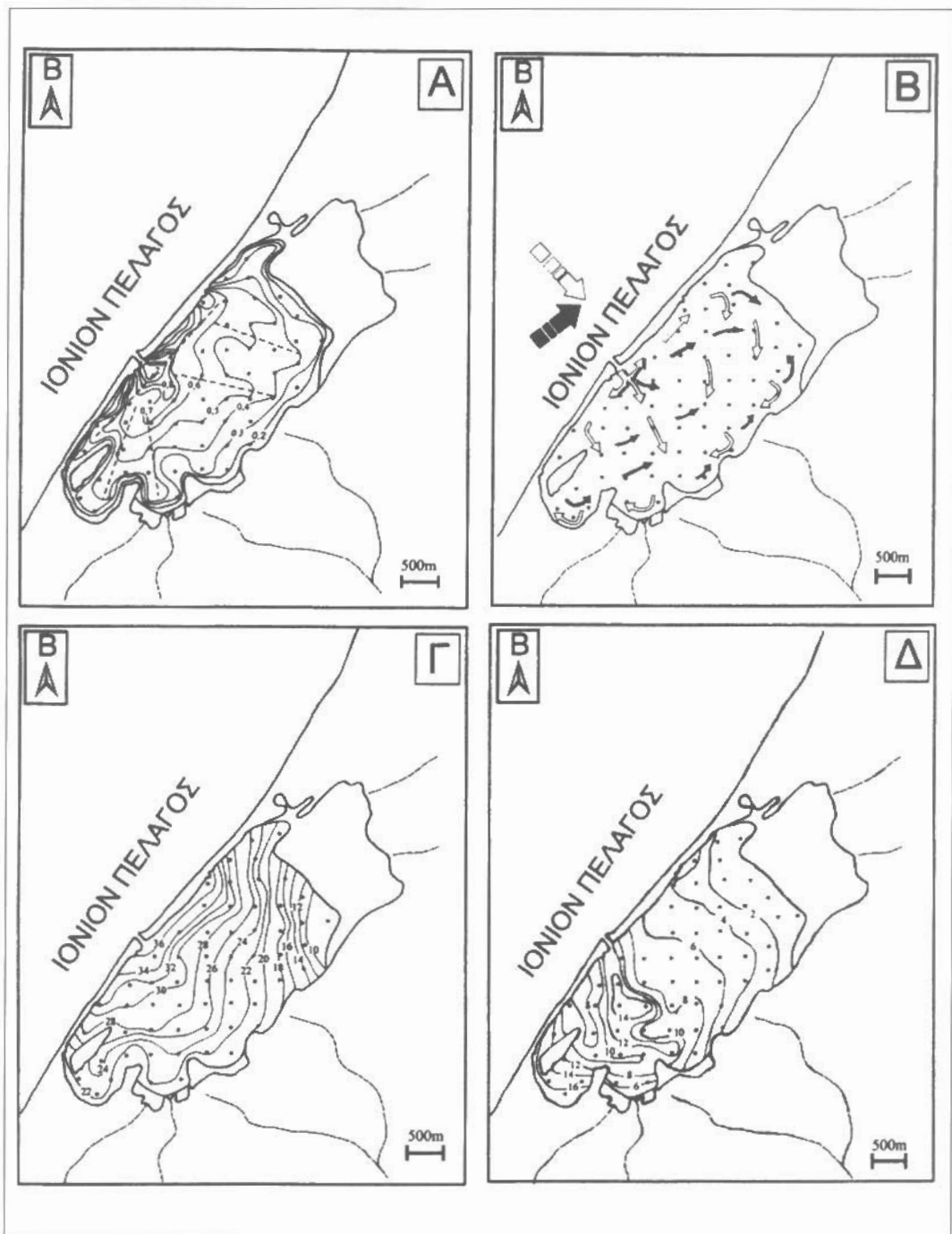
ΣΤ. Ρυθμός ιζηματογένεσης. Μετρήσεις του ρυθμού ιζηματογένεσης που έγιναν στη λιμνοθάλασσα, έδειξαν ότι σήμερα είναι της τάξης 0,5-1 cm/y. Ο σημερινός υψηλός ρυθμός ιζηματογένεσης οφείλεται στη γρήγορη διάβρωση της περιοχής γύρω από τη λιμνοθάλασσα και τη μεταφορά αυτού του υλικού μέσω του συστήματος αποστράγγισης στην τοπογραφικά χαμηλότερα ευρισκόμενη λιμνοθάλασσα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η λιμνοθάλασσα του Κοτιχίου, είναι μια αβαθής περιορισμένης έκτασης λιμνοθάλασσα, που επικοινωνεί με την ανοιχτή θάλασσα, μέσο ενός σταθερού διαύλου. Στα ανατολικά και βορειανατολικά κράσπεδα της λιμνοθάλασσας, αναπτύσσονται δελταικά περιβάλλοντα ιζηματογένεσης και μεταξύ αυτών περιβάλλοντα παλιρροϊκής πεδιάδας. Η αλατότητά της παρουσιάζει εποχιακές μεταβολές, φτάνοντας σε περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας (από τον Αύγουστο έως τον Οκτώβρη) σε τιμές λίγο πιο πάνω από αυτές του Ιονίου πελάγους (36,5‰). Χαρακτηριστική είναι η διατήρηση της οριζόντιας ζώνωση της αλατοτητας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η θερμοκρασία παρουσιάζει και αυτή εποχιακές μεταβολές, ενώ η οριζόντια ζώνωση της και η κατακόρυφη στρωμάτωσή της δεν διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το ύψος της παλιρροίας της λιμνοθάλασσας είναι σχετικά μικρό της τάξεως των 10-15 cm, με αποτέλεσμα και το παλιρροϊκό ρεύμα να αναπτύσσει ταχύτητες μικρές της τάξεως των 0,5-1 cm/sec. Ο άνεμος είναι ο βασικότερος παράγοντας δυναμικής της λιμνοθάλασσας και τα ανεμογενή ρεύματα που αναπτύσσονται κινούνται με ταχύτητες της τάξεως των 10-30 cm/sec, ανακατανέμοντας και μεταφέροντας το διαθέσιμο ίζημα.

Κύρια πηγή ιζήματος για τη λιμνοθάλασσα είναι η ποταμοχειμάρρια προσφορά και δευτερευόντως η αυτόχθονη βιογενής παραγωγή. Η διάβρωση των εσωτερικών κρασπέδων της λιμνοθάλασσας και ειδικότερα του φραγμού, η αιολική και η παλιρροϊκή δράση και το "washover" φαινόμενο είναι εντελώς μικρής αξίας. Αυτό ενισχύεται άμεσα και από τα λεπτόκοκκα ιζήματα του πυθμένα, δηλαδή την αμμώδη ιλύ που καλύπτει τα 3/4 της έκτασης της λιμνοθάλασσας και την ιλύ-άργιλο που καλύπτει το υπόλοιπο της έκτασης, ενώ τα σκελετικά υπολείμματα συμμετέχουν σε ποσοστό 2-10% στο επιφανειακό ίζημα.

Σήμερα ο ρυθμός ιζηματογένεσης της λιμνοθάλασσας του Κοτιχίου βρέθηκε να είναι της τάξεως 0,5-1 cm/y, που σημαίνει ότι το πολύ σε 50-150 χρόνια η λιμνοθάλασσα θα έχει πληρωθεί. Βέβαια το αν θα συμβεί αυτό σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα, εξαρτάται και από τρεις άλλους βασικούς παράγοντες που έχουν άμεσα σχέση με τη "ζωή" της λιμνοθάλασσας, τη σχετική μέση ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, την τεκτονική της περιοχής και την ανθρώπινη παρέμβαση. Το ποσοστό συμμετοχής των δύο πρώτων παραγόντων στον σημερινό υψηλό ρυθμό ιζηματογένεσης δεν μπορεί να εκτιμηθεί αφού απουσιάζουν ερευνητικά δεδομένα. Για τον παράγοντα όμως, της ανθρώπινης επέμβασης, ξέρουμε ότι τον τελευταίο αιώνα και ιδιαίτερα από το 1960 και μετά, έχει γίνει αλόγιστη και εκτεταμένη παρέμβαση στην ίδια και στην ευρύτερη περιοχή (εκδασώσεις, αποστραγγίσεις, εκσκαφές, καλλιέργειες, αρδεύσεις κ.λπ.). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθεί δραματικά η διάβρωση



Σχήμα 2: Α) Ο βυθομετρικός χάρτης της λιμνοθάλασσας του Κοτιχίου. Οι ισοβαθείς είναι σε μέτρα. Β) Τα αναπτυσσόμενα ανεμογενή ρεύματα από την επίδραση ΒΔ/ζών (λευκό βέλος) ή ΝΔ/ζών ανέμων (γραμμωσιασμένο βέλος). Γ) Ισόαιες καμπύλες κατά την περίοδο του καλοκαιριού Δ) Ισόαιες καμπύλες κατά την περίοδο του χειμώνα.

Fig. 2 Bathymetric map of the Kotihi lagoon. Isobath is in metres. Β) The developed wind currents from the effect of NW (white arrow) or S (black arrow) winds during the summer. Γ) Isobaths during the summer. Δ) Isobaths during the winter.

της περιοχής γύρω από τη λιμνοθάλασσα με συνέπεια να αυξηθεί και ο ρυθμός ιζηματογένεσης μέσα στη λιμνοθάλασσα, με άμεσο κίνδυνο την γρήγορη καταστροφή του παράκτιου αυτού συστήματος, με την τόσο σημαντική οικονομική και περιβαλλοντική αξία για την ευρύτερη περιοχή της ΒΔ/κής Πελοποννήσου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- FOLK, R.I. 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. 182 σφ. Hemphill, Aystin Texas.
- HORNE J.A. AND GOLDMAN R. GH. 1994. Limnology., 576 σφ. McGraw Hill inc., Singapore.
- KJERFVE B. AND MAGILL E.K. 1989. Geographic and Hydrodynamic Characteristics of Shallow Coastal Lagoons. Marine Geology, 88, 187-199.
- PHLEGER F. AND EWING G. 1962. Sedimentology and Oceanography of Coastal Lagoons in Baja California, Mexico. Geological Society of America Bulletin, 73, 145-182
- PIPER D.J.W., PANAGOS A.G. AND KONTOPOULOS N. 1982. Some observations on Surficial Sediments and Physical Oceanography of the Gulf of Amvrakia. Thalassographika, 5, 63-80.
- RAPHAEL N.C. 1973. Late Quaternary Changes in Coastal Elis Greece.
1978. The Erosional History of the Plain of Elis in the Peloponnese, Geographical Review, 63, 73-89.