

ΠΑΛΑΙΟΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ (ΜΥΡΤΩΟΣ ΛΕΚΑΝΗ) ΚΑΤΑ ΤΟ ΟΛΟΚΑΙΝΟ-ΑΝ.ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

*Μ. Γεραγά **, *Σ.Τσαϊλά-Μονόπολη ***, *Ε. Τρυψάνας**, *Γ. Παπαθεοδώρου**,
*Γ. Φερεντίνος**, *Θ. Χασιώτης**, *Κ. Στ. Seymour**** & *Χ. Ιωακείμ *****

* *Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας & Φυσικής Ωκεανογραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, Παν/μιο Πατρών.*

** *Τομέας Γενικής - Θαλάσσιας Γεωλογίας & Γεωδυναμικής, Τμήμα Γεωλογίας, Παν/μιο Πατρών.*

*** *Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών, Τμήμα Γεωλογίας, Παν/μιο Πατρών*

**** *I.G.M.E.*

ABSTRACT

M. Geraga, S. Tsaila-Monopolis, E. Tripsanas, G. Papatheodorou, G. Ferentinos, T. Hasiotis, K. St. Seymour & H. Ioakim : Paleooceanographic and paleoclimatic changes in Central Aegean Sea (Myrtoon basin) during Holocene-Late Pliocene. Preliminary results.

Late Glacial to Holocene paleoclimatic and paleooceanographic changes were examined using records of planktonic foraminifera in a core from Myrtoon basin. The sapropel layer S1 appears in two layers, interrupted by grey layer of low content. This interruption may be attributed to the cold and dry Younger Dryas event. Faunal data has been subjected to factor analysis. Factor 1 reflects sea surface temperature and primary productivity changes. Factor 2 reflects the high frequency of *G. obliquus* in the sapropel layers. Factor 3 reflect the high frequency of *G. inflata* and *G. sacculifer* just above the sapropel layer and factor 4 reflect the high frequency of *G. truncatulinoides* and *G. glutinata* just below the sapropel layer. The preliminary results of this study has shown that the formation of sapropel S₁ in Myrtoon basin seems to be the result of a stagnant deep waters period and low primary productivity.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Συστηματικές έρευνες με σκοπό τη μελέτη των παλαιοκλιματολογικών και παλαιοωκεανογραφικών συνθηκών της Μεσογείου Θάλασσας κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς, άρχισαν με το πρόγραμμα Swedish Deep Sea Expedition (1947-1948). Η εντόπιση των σαπροπηλών (ιζήματα πλούσια σε οργανικό υλικό) ιδιαίτερα στην Ανατολική Μεσόγειο, συγκέντρωσε το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών, οι οποίοι με τη βοήθεια της λιθολογίας, της μικροπαλιοντολογίας, της παλυνολογίας, των νανοσπολιθωμάτων, των ισοτόπων του οξυγόνου, του ραδιενεργού άνθρακα, της γεωχημείας και της αστρονομίας προσπάθησαν να αναπλάσουν την ωκεανογραφική και κλιματολογική εξέλιξη της Μεσογείου Θάλασσας.

Ειδικότερα τα μοντέλα σχηματισμού του S1 στην Αν. Μεσόγειο, που χρονολογείται μεταξύ 9000 έως 6400yr BP περίπου, αναφέρονται: (i) στην ανάπτυξη επιφανειακού υδάτινου στρώματος χαμηλής αλατότητας λόγω των αυξημένων εκροών των ποταμών, της εισόδου των νερών της Μαύρης Θάλασσας εξαιτίας της τήξης των παγετώνων, της αύξησης των θερινών μουσώνων, του συστήματος των χαμηλών βαρομετρικών και της αύξησης των βροχοπτώσεων, (ii) στην απομόνωση των βαθύτερων υδάτινων στρωμάτων και (iii) στην αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας (Rohling and Gieskes, 1989, Perrisoratis & Piper, 1992, Rohling, 1994, Aksu et al., 1995).

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό την παρουσίαση των αρχικών παλαιοωκεανογραφικών και παλαιοκλιματολογικών αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια του Αν. Πλειστόκαινου-Ολοκαινού από τη μελέτη των ιζημάτων του πυρήνα Π40, τον οποίο θεωρήσαμε σαν πλέον αντιπροσωπευτικό για την περιοχή της Μυρτώου λεκάνης.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

(α) **Έρευνα πεδίου:** Η συστηματική μελέτη των παλαιοωκεανογραφικών /κλιματολογικών συνθηκών του Ν.Δ.ικού Αιγαίου βασίζεται σε εννέα (9) πυρήνες βαρύτητας μήκους έως 2m, οι οποίοι συλλέχθηκαν από το Μυρτώο πέλαγος, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος “Τηλεπικοινωνιακή διασύνδεση Λαγονησίου-Χανίων” (Φερεντίνος κ.α., 1995) που πραγματοποιήσε το Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας του Παν/μιου Πατρών.

(β) **Εργαστηριακές αναλύσεις:** Οι πυρήνες περιγράφηκαν μακροσκοπικά και ακτινογραφήθηκαν με ακτίνες -X-. Η μικροπαλιοντολογική ανάλυση καθώς και οι μετρήσεις του ποσοστού του οργανικού άνθρακα (Corg) άρχισαν από τον πυρήνα Π40 (κεντρική Μυρτώος λεκάνη, βάθος 933m). Για τις μικροπαλιοντολογικές αναλύσεις, δείγματα ιζήματος

συγκεκριμένης ποσότητας πλύθηκαν με αραιό διάλυμα H_2O_2 . Το κλάσμα ιζήματος $>120\mu m$ ξηράθηκε σε φούρνο $40^\circ C$. Μετά τη ξήρανση τους, τα δείγματα ομογενοποιήθηκαν με τη μέθοδο του τετραμερισμού. Το κάθε δείγμα που αναλύθηκε περιείχε τουλάχιστον 300 πλαγκτονικά τρηματοφόρα.

(γ) **Στατιστική ανάλυση:** Τα αποτελέσματα της μικροπαλαιοντολογικής ανάλυσης επεξεργάστηκαν στατιστικά με την παραγοντική ανάλυση R-τύπου (R-mode factor analysis) (Πιν. 1).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η μακροσκοπική παρατήρηση του πυρήνα Π40 σε συνδυασμό με τις ακτινογραφίες (ακτινών -X) και τις μετρήσεις του οργανικού άνθρακα (Corg) έδειξε ότι περιλαμβάνει 5 κυρίες λιθοφάσεις: Η πρώτη (0-8cm) αποτελείται από καφέχρωμη ιλύ με σημαντική παρουσία χονδρόκοκκου υλικού βιογενούς κυρίως προέλευσης. Η 2^η λιθοφάση (8-43cm) αποτελείται από τεφρή ιλύ με πορτοκαλόχρωμα στίγματα, λαδόχρωμες λαμίνες (κυρίως στην οροφή της) και λαμίνες/θύλακες χονδρόκοκκου υλικού. Στη λιθοφάση αυτή η ημιπελαγική ιζηματογένεση φαίνεται να διακόπτεται από αποθέσεις βαρυντικών μετακινήσεων. Η 3^η λιθοφάση (43-63cm) διαχωρίζεται από την προηγούμενη της με διαβρωσιγενή επιφάνεια και αποτελείται από τεφρή ιλύ με δομές βιοαναμόγχευσης. Η 4^η λιθοφάση (63-115.5cm) αντιστοιχεί σε μια σαπροπηλική ακολουθία και περιλαμβάνει τους εξής οριζόντες (Anastasakis and Stanley, 1984): (i) οργανική ιλύ (organic ooze) (63-69cm και 96-102cm): τεφρή ιλύς με λαδόχρωμη απόχρωση, σημαντική παρουσία δομών βιοαναμόγχευσης και τιμές Corg: 0.56-0.94%, (ii) σαπροπηλοί (69-78cm και 84-96cm) με τιμές Corg: 0.96-2.72%, (iii) γκρι ιλύς (102-115.5cm) με τις χαμηλότερες τιμές Corg της σαπροπηλικής ακολουθίας (0.43-0.58%) και δομές βιοαναμόγχευσης και (iv) τεφρό ενδιάμεσο οριζόντα (78-84cm) με ποσοστό Corg: 0.79% (μειωμένο σε σχέση με τον υπερκείμενο και τον υποκείμενο σαπροπηλό). Ακολουθεί η 5^η λιθοφάση (115.5-195cm) της τεφρής ημιπελαγικής ιλύος

Με την μικροπαλαιοντολογική μελέτη των ιζημάτων του Π40 αναγνωρίστηκαν τα εξής είδη πλαγκτονικών τρηματοφόρων: Globigerinoides ruber, Gs. sacculifer, Gs. trilobus, Gs. tenellus, Gs. obliquus, Gs. bulloideus, Neoglobobadrina dutertrei, N. pachyderma, Globorotalia inflata, Gr. truncatulinoides, Gr. scitula, Globigerina bulloides, Gg. quinqueloba, Gg. falconensis, Globigerinella aequilateralis, Globigerinita glutinata, Orbulina universa και Sphaeroidinellopsis sp. (Εικ. 1). Ο αριθμός των βενθονικών τρηματοφόρων που εντοπίστηκαν στα δείγματα ήταν εξαιρετικά μικρός, σε σχέση με τον αντίστοιχο των πλαγκτονικών

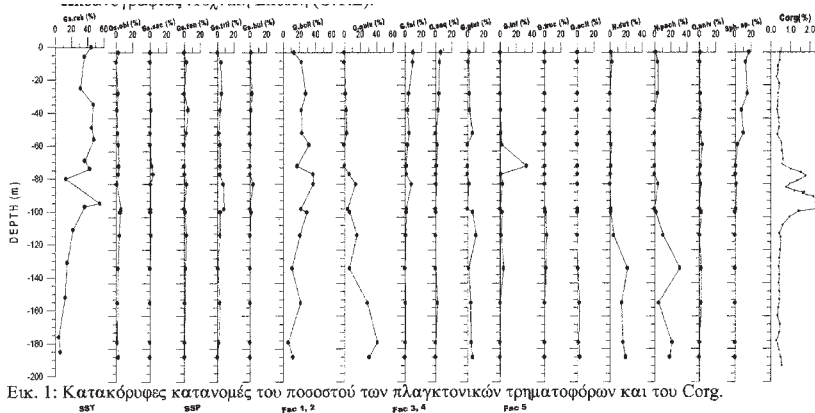
Με βάση τα δεδομένα της μικροπαλαιοντολογικής ανάλυσης εκτιμήθηκαν οι τιμές της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (SST) και της επιφανειακής θαλάσσιας πρωτογενούς παραγωγικότητας (SSP) (Lourens et al, 1992). Οι τιμές της SST παρουσιάζονται υψηλές από την επιφάνεια έως τα 130cm, στη συνέχεια ελαττώνονται και παραμένουν χαμηλές μέχρι τα 190cm. Εξαιρέση αποτελεί η χαμηλή τιμή της στα 78-84cm. Η χαμηλή αυτή τιμή της SST καθώς και η διακοπή απόθεσης του σαπροπηλού στο διάστημα αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η απόθεση του τεφρού, ενδιάμεσα του σαπροπηλού, οριζόντα έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του ψυχρού και ξηρού γεγονότος Younger Dryas (Rossignol-Strick et al., 1982).

Από τη μελέτη της κατακόρυφης κατανομής της SSP διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές της παρουσιάζονται στο κατώτερο τμήμα του πυρήνα (120cm έως 190cm) σε αντίθεση με τις χαμηλές τιμές που παρουσιάζει στο ανώτερο τμήμα του (0-60cm). Η σαπροπηλική ακολουθία χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές SSP με εξαιρέση το διάστημα απόθεσης του ενδιάμεσου τεφρού οριζόντα και την αρχή απόθεσης του σαπροπηλού.

Η εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης στα πλαγκτονικά τρηματοφόρα και το ποσοστό του Corg έδειξε ότι: Ο πρώτος και στατιστικά σημαντικότερος παράγων εκφράζει το 36% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και είναι έντονα διπολικού χαρακτήρα. Παρουσιάζει υψηλές θετικές φορτίσεις στα είδη N. dutertrei, N. pachyderma, Gg. quinqueloba και Gr. scitula και αρνητική στο Gs. ruber (Πιν. 1). Ο δεύτερος παράγων εκφράζει το 18,5% της ολικής διακύμανσης και είναι επίσης διπολικού χαρακτήρα αφού παρουσιάζει υψηλές θετικές φορτίσεις στο ποσοστό του Corg και στο Gs. obliquus, ενώ αρνητικές στα είδη G. aequilateralis και Gg. falconensis (Πιν. 1). Ο τρίτος, τέταρτος και πέμπτος παράγοντας εκφράζουν το 10.1, 9 και 7.9% της ολικής διακύμανσης αντίστοιχα. Ο 3ος ομαδοποιεί με υψηλές φορτίσεις τα Gr. truncatulinoides και G. glutinata, ο 4ος τα Gr. inflata και Gs. sacculifer, ενώ ο 5ος παρουσιάζει θετική φόρτιση μόνο στη O. universa (Πιν. 1).

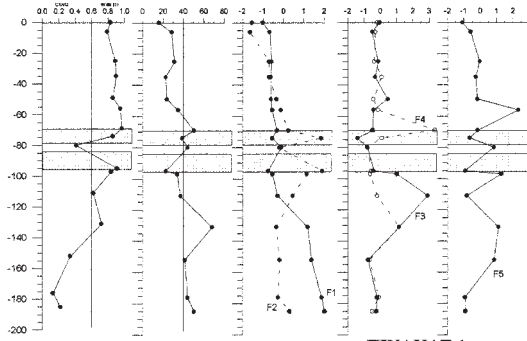
Από τα δεδομένα της παραγοντικής ανάλυσης διαπιστώθηκαν ότι:

Ο 1ος παράγων εκφράζει την αντιπάθεια μεταξύ του Gs. ruber που ευδοκμεί σε θερμιά και ολιγοτροφικά περιβάλλοντα έναντι των N. dutertrei, N. pachyderma, Gg. quinqueloba και Gr. scitula που διαβιών κυρίως σε ψυχρά και ευτροφικά περιβάλλοντα (Boltonskoy and Wright, 1976). Η σύγκριση της κατακόρυφης κατανομής των παραγοντικών τιμών του με τις αντίστοιχες των SST και SSP δείχνει ότι ο παράγων αυτός εκφράζει συγχρόνως τόσο τη διακύμανση της SST όσο και της SSP (Εικ. 2). Τόσο η καμπύλη της SSP όσο και η καμπύλη των παραγοντικών τιμών του παράγοντα αυτού παρουσιάζουν αυξημένες τιμές σε ψυχρά περιβάλλοντα, όπου ο ευτροφισμός αναπτύσσεται με την ανάμιξη των στρωμάτων της υδάτινης στήλης. Κατά τη διάρκεια απόθεσης της σαπροπηλικής ακολουθίας η στρωματοποίηση της υδάτινης στήλης πιθανώς είναι



Εικ. 1: Κατακόρυφες κατανομές του ποσοστού των πλαγκτονικών τριματοφόρων και του Corg.

Εικ. 1: Κατακόρυφες κατανομές του ποσοστού των πλαγκτονικών τριματοφόρων και του Corg.



Εικ. 2: Κατακόρυφες κατανομές των SST και SSP καθώς και των παραγοντικών τιμών. Οι γραμμοσκιασμένες ζώνες δηλώνουν τα σαπροπηλικά στρώματα

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Μεταβιητές	Παράγον 1	Παράγον 2	Παράγον 3	Παράγον 4	Παράγον 5
G. aequilateralis	-0,39612	-0,71414	-0,27080	-0,11146	-0,10634
Gg. bulloides	-0,55898	0,31991	-0,28575	-0,29804	0,42257
Corg	-0,31691	0,81236	-0,23113	-0,17007	-0,08008
N. dutertei	0,93525	-0,05898	0,14863	0,04454	0,00360
Gg. falconensis	-0,55192	-0,63254	-0,23359	-0,24765	-0,12405
G. glutinata	0,29625	0,03348	0,72696	-0,32653	-0,17240
Gr. inflata	-0,07278	0,08289	-0,06253	0,91377	0,06428
Gs. obliquus	-0,19506	0,73781	0,32680	0,06355	-0,04370
Or. Universa	-0,10478	-0,07059	-0,02022	0,06848	0,96796
N. pachyderma	0,79346	-0,11123	0,35998	0,09342	-0,02618
Gg. quinquel.	0,87190	0,10803	0,01984	-0,26152	-0,17708
Gs. ruber	-0,86448	0,14667	-0,14930	0,06547	-0,01239
Gs. sacculifer	-0,25578	0,54816	-0,25319	0,43662	-0,22325
Gr. scitula	0,89784	-0,00395	-0,13156	-0,15824	-0,08501
Gr. truncatul.	0,04595	0,17285	0,91416	0,06035	0,05813

υπεύθυνη για τις χαμηλές τιμές της SSP. Εξαιρέση αποτελεί το τέλος απόθεσης του σαπροπηλού όπου διαπιστώνεται αύξηση των τιμών της SSP, γεγονός που οφείλεται μάλλον στην ανάπτυξη ενός ασθενούς στρώματος DCM (Deep Chlorophyll Maximum).

Ο 2ος παράγον δίνει έμφαση στη συμμετοχή του Gs. obliquus στη σαπροπηλική πανίδα και παράλληλα δηλώνει την αντιπάθεια των G. aequilateralis και Gg. falconensis προς τις ανοξικές συνθήκες (Εικ. 2).

Ο 3ος, ο 4ος και 5ος παράγων παρουσιάζουν συνθήκες διαβίωσης των ειδών που αντιπροσωπεύουν (Εικ. 2). Ο 3ος παράγοντας παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα της κατανομής των *Gr. truncatulinoides* και *G. glutinata*. Αν και η τελευταία είναι κοσμοπολίτικο είδος και παρουσιάζεται σ' όλο το μήκος του πυρήνα ωστόσο και τα 2 είδη έχουν αυξημένο ποσοστό στην αρχή απόθεσης του σαπροπηλού. Την αντίθετη τάση, δηλαδή αυξημένα ποσοστά συμμετοχής στο τέλος απόθεσης του σαπροπηλού παρουσιάζουν τα είδη του 4ου παράγοντα, *Gr. inflata* και *Gs. sacculifer*. Ο 5ος παράγοντας παρουσιάζει την ιδιαίτερη κατανομή της *O. universa*. Έτσι φαίνεται ότι η *Gr. inflata* και *Gr. truncatulinoides* ενώ ευδοκούν σε στρωματοποιημένες υδάτινες στήλες (αρχή και τέλος σαπροπηλού) αποφεύγουν τις εντελώς ανοξικές συνθήκες (κατά τη διάρκεια απόθεσης του σαπροπηλού) (Muerdter and Kennett, 1984). Η *O. universa* φαίνεται ότι αποφεύγει τα εντελώς ανοξικά και πολύ ψυχρά περιβάλλοντα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις προκαταρκτικές μικροπαλιαιοτολογικές αναλύσεις και τη στατιστική επεξεργασία προκύπτει ότι:

- (i) Η σαφής αλλαγή των συγκεντρώσεων των πλαγκτονικών τρηματοφόρων οριοθετούν τη μετάβαση του κλίματος από το ψυχρό της τελευταίας παγετώδους περιόδου (stage 2) στο θερμό του Ολοκαίνου (stage 1) στα 130cm.
- (ii) Ο σαπροπηλός S1 αποτελείται από δύο στρώματα. Η διακοπή απόθεσης του σαπροπηλού οφείλεται στην αλλαγή των παλαιοοκεανογραφικών συνθηκών λόγω του ψυχρού και ξηρού γεγονότος του Younger Dryas.
- (iii) Το ποσοστό του *G. obliquus* παρουσιάζεται αυξημένο μέσα στα σαπροπηλικά στρώματα.
- (iv) Τα ποσοστά των *G. truncatulinoides* και *G. glutinata* αυξάνονται αμέσως πριν την απόθεση του σαπροπηλού ενώ τα ποσοστά των *G. inflata* και *G. sacculifer* αμέσως μετά το τέλος. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα είδη αυτά ευδοκούν ή είναι ανθεκτικά σε στρωματοποιημένη υδάτινη στήλη αλλά δεν διαβίουν σε πλήρως ανοξικές συνθήκες.
- (v) Η έλλειψη του είδους της *Neogloboquadrina* στα σαπροπηλικά ιζήματα, είδος που ευδοκμεί σε υψηλά επίπεδα ευτροφισμού μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι κατά τη διάρκεια σχηματισμού του S₁ στη Μυρτώο λεκάνη το πυκνοκλινές παρέμεινε βαθύτερα από την ευφωτική ζώνη. Εξαίρεση αποτελεί το τέλος του σχηματισμού του σαπροπηλού, όπου ένα ασθενές DCM (Deep Chlorophyll Maximum) στρώμα φαίνεται ότι αναπτύχθηκε, όπως αυτό δηλώνεται με την επανεμφάνιση της *N. dutetrei* και της αύξησης της SSP. Επομένως ο σχηματισμός του δεν συνδέεται με αυξημένη παραγωγικότητα αλλά μάλλον με ανοξικές συνθήκες που αναπτύχθηκαν στα βαθύτερα στρώματα της υδάτινης στήλης, τα οποία παρέμειναν απομονωμένα από τα σχετικά καλά αναεμιγμένα επιφανειακά και ενδιάμεσα υδάτινα στρώματα (Rohling, 1994, Magini and Schlosser, 1986). Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται και από την έλλειψη βενθονικών τρηματοφόρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aksu, A.E., Yasar, D., Mudic, P.J., Gillespie, H., 1995: Late glacial-Holocene paleoclimatic and paleoceanographic evolution of the Aegean Sea : micropaleontological and stable isotopic evidence. *Marine Micropaleontology*, 25:1-28.
- Anastasakis, G. and Stanley, D., 1984: Sapropels and organic-rich variants in the Mediterranean sequence development and classification. In: D.A.V. Stow and D.J.W. Piper (Editors), *Fine-grained Sediments: Deep Water Processes and Facies*. Blackwell, Oxford, pp. 499-510
- Boltovskoy, E. and Wright, R., (1976): Recent Foraminifera. Junk, The Hague. 515p.
- Laurens, L.J., Hilgen, F.J., Gudjonsson, L. and Zachariasse, W.J., 1992: Late Pliocene to early Pleistocene astronomically-forced sea surface productivity and temperature variations in the Mediterranean. *Marine Micropaleontology* 19: 49-78
- Magini, A. and Schlosser, P., 1986: The formation of Mediterranean sapropels. *Marine Geology*, 72:115-124.
- Muerdter, D. and Kennett, J., 1983/84: Late Quaternary planktonic foraminiferal biostratigraphy, Straits of Sicily, Mediterranean Sea, *Marine Micropaleontology*, v.8 pp.339-359.
- Perissoratis, C. and Piper, D.J.W., 1992: Age, Regional Variation, and Shallowest Occurrence of S1 sapropel in the Northern Aegean Sea. *Geo-Marine Letters* 12: 49-53
- Rohling, E.J., 1994: Review and new aspects concerning the formation of eastern Mediterranean sapropels. *Marine Geology*, 122: 1-28
- Rohling, E.J. and Gieskes, W.W.C., 1989: Late Quaternary changes in Mediterranean Intermediate Water density and formation rate. *Paleoceanography*, 4: 531-545.
- Rosignol-Strick, M., Nesteroff, W., Olive, P. and Vergnaud-Grazzini, C., 1982: After the deluge: Mediterranean Stagnation and sapropel formation. *Nature* v.295 pp.105-110.
- Φερεντίνος Γ., Παπαθεοδώρου Γ., Χασιώτης Θ., Γκιώνης Γ., Γεραγά Μ. και Λυμπερης Ε., 1995: Υποβρύχια τηλεπικοινωνιακή ζεύξη ΛΑΓΟΝΗΣΙ-ΧΑΝΙΑ με διακλάδωση για ΜΗΛΟ: Μελέτη πελάγους και προσαγιαλώσεων διαδρομής καλωδίου. 7 Τόμοι. Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας & Φυσικής Ωκεανογραφίας. Τεχνική Εκθεση (Ο.Τ.Ε).