

## ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΠΑΝΙΔΑΣ, ΜΙΚΡΟΧΛΩΡΙΔΑΣ ΚΑΙ ΙΣΟΤΟΠΩΝ $O_2$ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ Π40 ΣΤΗ ΜΥΡΤΩ ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΤΑ ΤΟ ΟΛΟΚΑΙΝΟ\*

Μ. ΓΕΡΑΓΑ<sup>1</sup>, ΣΤ. ΤΣΑΙΛΑ-ΜΟΝΟΠΩΛΗ<sup>2</sup>, ΧΡ. ΙΩΑΚΕΙΜ<sup>3</sup>,  
Γ. ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ<sup>1</sup> και Γ. ΦΕΡΕΝΤΙΝΟΣ<sup>1</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στον πυρήνα Π40 της Μυρτώων λεκάνης ο σαπροπηλός  $S_1$  εμφανίζεται σε δύο στρώματα (υποενότητες). Ο σχηματισμός του  $S_1$  σύμφωνα με τις μικροπαλαιοντολογικές (πλαγκτονικά και βενθονικά τρηματοφόρα και παλυνολογικές αναλύσεις) καθώς και από τις διακυμάνσεις των ισότοπων του  $O_2$ , συνδέεται με την παρουσία ενός επιφανειακού στρώματος χαμηλής αλατότητας και την αυξημένη παραγωγικότητα, τα οποία είναι αποτελέσματα έντονων εποχιακών μεταβολών κάτω από θερμές και υγρές συνθήκες. Η προσωρινή διακοπή του  $S_1$  οφείλεται σε σχετική μείωση της θερμοκρασίας και παράλληλη αύξηση της ξηρότητας.

### ABSTRACT

Sapropel  $S_1$  appears in two subunits, in the core P40 from the Myrtoon Basin. The foraminiferal, palynological and oxygen isotope data suggest that increased productivity and the formation of a low salinity surface lens, both resulting under enhanced seasonal contrasts in warm and humid conditions, cause the formation of the  $S_1$ . The temporary interruption of  $S_1$  is the result of a reduction in temperature and an increase in aridity.

**KEY WORDS:** σαπροπηλός, πλαγκτονικά τρηματοφόρα, βενθονικά τρηματοφόρα, παλυνολογία, ισότοπα, Αιγαίο Πέλαγος, Sapropel, planktonic foraminifera, benthic foraminifera, palynology, stable isotopes, Aegean Sea

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι σαπροπηλοί (σκουροχρώμα ιζήματα πλούσια σε οργανικό υλικό) στην Αν. Μεσόγειο έγιναν η αφορμή για τη συστηματική έρευνα και μελέτη των παλαιοκλιματολογικών και παλαιοοκεανογραφικών συνθηκών της Μεσογείου Θάλασσας από το 1948, όπου εντοπίστηκαν για πρώτη φορά με το πρόγραμμα Swedish Deep Sea Expedition.

Τα περισσότερα μοντέλα σχηματισμού του ανώτερου σαπροπηλού  $S_1$ , που χρονολογείται περίπου μεταξύ 9000-6300BP, αναφέρονται στην έντονη στρωματοποίηση της υδάτινης στήλης και την απομόνωση των βαθύτερων στρωμάτων λόγω της ανάπτυξης ενός επιφανειακού στρώματος χαμηλής αλατότητας. Πιθανές αιτίες σχηματισμού του επιφανειακού αυτού στρώματος θεωρούνται (i) οι αυξημένες ποτάμιες απορροές λόγω της τήξης των παγετώνων ή/και της αύξησης των θερινών

\* VARIATIONS OF MICROFAUNA, MICROFLORA AND OXYGEN ISOTOPES DURING HOLOCENE AT THE MYRTOON BASIN

<sup>1</sup> Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας & Φυσικής Ωκεανογραφίας (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω), Τμήμα Γεωλογίας, Παν/μιο Πατρών

<sup>2</sup> Τομέας Γενικής-Θαλάσσιας Γεωλογίας & Γεωδυναμικής, Τμήμα Γεωλογίας, Παν/μιο Πατρών

<sup>3</sup> Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.)

μουσώνων και των βροχοπτώσεων στην Αφρική και Ν. Ευρώπη (μεταξύ άλλων, Williams et al., 1978, Stanley and Blanpied, 1980, Rossignol-Strick et al., 1982, Perrisoratis & Piper, 1992, Rohling, 1994, Aksu et al., 1995), (ii) εποχιακές μεταβολές της αλατότητας (Tang and Scott, 1993) και (iii) μικρής κλίμακας μεταβολές των ωκεανογραφικών συνθηκών της Μεσογείου (Mangini and Schlosser, 1986).

Στην εργασία αυτή διερευνάται η κατανομή της μικροπανίδας (πλαγκτονικά και βενθονικά τρηματοφόρα), της μικροχλωρίδας και των ισότοπων του  $O_2$  σε σχέση με το σαπροπηλό  $S_1$  που εντοπίστηκε στα ιζήματα του πυρήνα Π40 από τη Μυρτώο λεκάνη.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

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

(β) **Εργαστηριακές αναλύσεις:** Οι πυρήνες περιγράφηκαν μακροσκοπικά και ακτινογραφήθηκαν με ακτίνες Χ. Η μικροπαλαιοντολογική ανάλυση καθώς και οι μετρήσεις του ποσοστού του οργανικού άνθρακα (Corg) άρχισαν από τον πυρήνα Π40 (κεντρική Μυρτώος λεκάνη, βάθος 933m). Οι μετρήσεις του ποσοστού του Corg έγιναν σύμφωνα με τη μέθοδο Gaudette et al., 1974. Για τις μικροπαλαιοντολογικές αναλύσεις, 54 συνολικά 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 χρήση Otto splitter. Το κάθε δείγμα που αναλύθηκε περιείχε τουλάχιστον 200 πλαγκτονικά τρηματοφόρα. Για τις παλυνολογικές αναλύσεις τα δείγματα πλύθηκαν με διαλύματα HCl και HF και υποβλήθηκαν σε υπερήχους. Στη συνέχεια φιλτραρίστηκαν στα 10 $\mu$ .

Επιπλέον εντοπίστηκαν και αναγνωρίστηκαν τα βενθονικά τρηματοφόρα για κάθε δείγμα. Ο μικρός αριθμός συμμετοχής τους στα δείγματα δεν μας επέτρεψε την ποσοτική ανάλυσή τους.

Τέλος ισοτοπικές αναλύσεις βασίστηκαν στις μετρήσεις της μεταβολής της σχέσης  $O^{18}/O^{16}$  σε κελύφη του πλαγκτονικού τρηματοφόρου *Gs. ruber* σε 16 δείγματα.

## 3. ΑΠΟΤΕΛΕΜΑΤΑ

### ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ

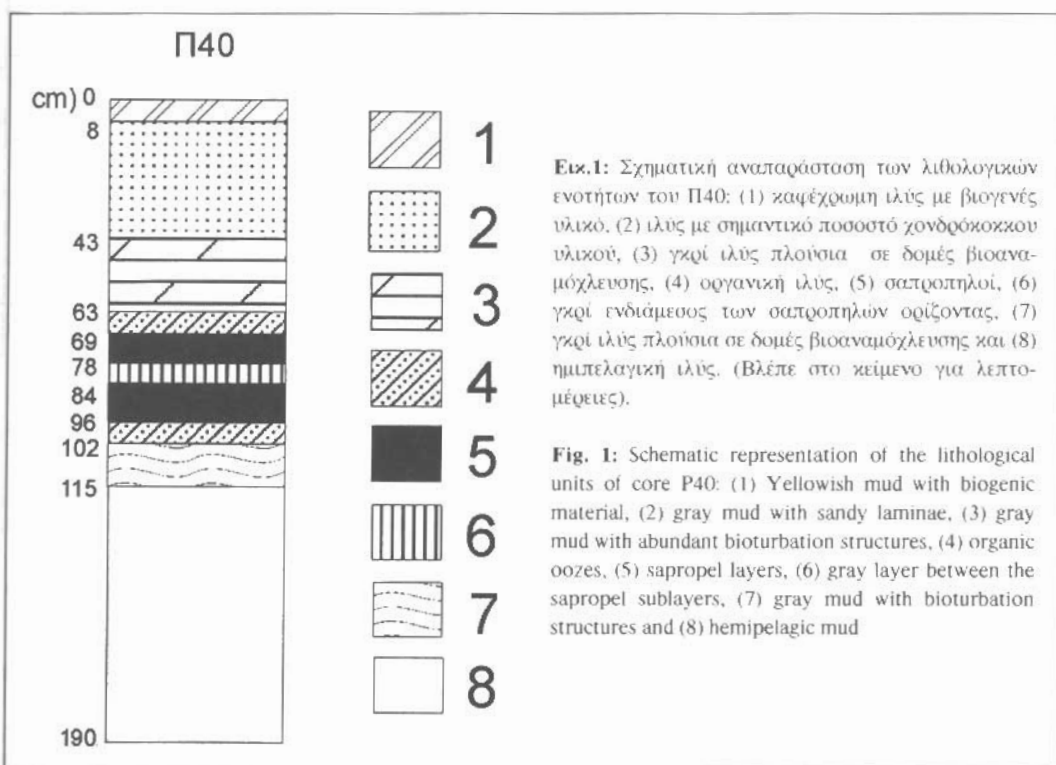
Η μακροσκοπική παρατήρηση του πυρήνα Π40 σε συνδυασμό με τις ακτινογραφίες (ακτινών Χ) και τις μετρήσεις του οργανικού άνθρακα (Corg) έδειξε ότι περιλαμβάνει 5 κύριες λιθοφάσεις (Εικ. 1): Η πρώτη (0-8cm) αποτελείται από καφέχρωμη ιλύ με σημαντική παρουσία χονδρόκοκκου υλικού βιογενούς κυρίως προέλευσης. Η 2<sup>η</sup> 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 βαρυτικών μετακινήσεων. Η 3<sup>η</sup> λιθοφάση (43-63cm) διακρίνεται από την προηγούμενη της με διαβρωσιγενή επιφάνεια και αποτελείται από τεφρή ιλύ με δομές βιοαναμόχλευσης. Η 4<sup>η</sup> 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 βιοαναμόχλευσης 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 βιοαναμόχλευσης και (iv) τεφρό ενδιάμεσο οριζόντα (78-84cm) με ποσοστό Corg: 0.79% (μειωμένο σε σχέση με τον υπερκείμενο και τον υποκείμενο σαπροπηλό). Ακολούθει η 5<sup>η</sup> λιθοφάση (115.5-195cm) της τεφρής ημιπελαγικής ιλύος.

## ΠΛΑΓΚΤΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ

Τα είδη των πλαγκτονικών τρηματοφόρων που αναγνωρίστηκαν συνολικά στα ιζήματα του πυρήνα Π40 είναι τα εξής (Εικ.2): *Globigerinoides ruber*, *Gs. sacculifer*, *Gs. obliquus*, *Gs. tenellus*, *Gs. trilobus*, *Globigerina bulloides*, *Globorotalia scitula*, *Gr. inflata*, *Gr. crassaformis*, *Gr. truncatulinoides*, *Orbulina universa*, *O. bilobata*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinella (aequilateralis, calida)*, *Neogloboquadrina dutertrei*, *N. pachyderma*.

Τα ψυχρά είδη *N. dutertrei*, *N. pachyderma*, *G. quinqueloba* και *Gr. scitula* εμφανίζονται με γενικά υψηλό ποσοστό συμμετοχής και διακύμανση των τιμών τους στο διάστημα 195-110cm εκτός από την *Gr. scitula*, η οποία εξαφανίζεται από το βάθος των 130cm (Εικ. 2). Εξαιρέση αποτελεί περίπου το βάθος των 150cm όπου τα θερμά είδη των γενών *Globigerinoides*, *Orbulina* και *Globigerinella*, επικρατούν σε σχέση με τα ψυχρά.

Τα *G. bulloides*, *G. glutinata* και *Gs. obliquus* δείχνουν σαφή τάση αύξησης από τα 130cm. Το *Gs. ruber* δείχνει σαφή τάση αύξησης από τα 150cm βάθους με εξαίρεση το διάστημα μεταξύ των 110-130cm. Επιπλέον στο διάστημα αυτό σημαντική είναι η παρουσία των *Gr. inflata*, *Gr. crassaformis* και *Gr. truncatulinoides*(Εικ. 2).

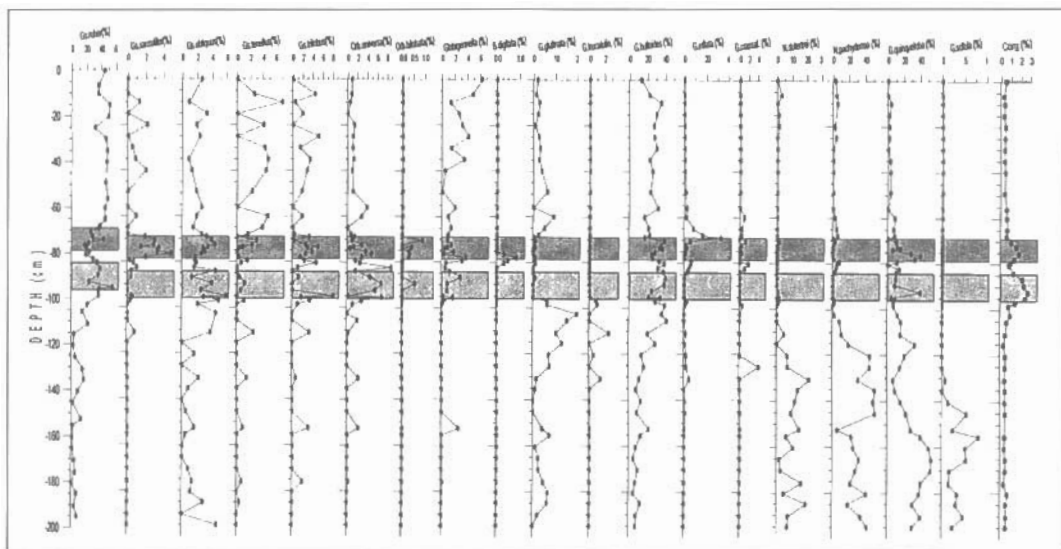


Στη σαπρωπηλική πανίδα των δύο υποενότητων του  $S_1$  (96-84cm, 78-69cm) εντοπίζονται με διακυμαίνόμενα ποσοστά τα *Gs. ruber*, *Gs. sacculifer*, *Gs. obliquus*, *Gs. trilobus*, *O. universa*, *O. bilobata*, *Globigerinella (aequilateralis, calida)*, *G. bulloides*, και *G. quinqueloba* (Εικ. 2).

Στον ενδιάμεσο γκρι οριζόντα (78-84cm) τα *Gs. ruber*, *G. quinqueloba* και *Globigerinella* εμφανίζουν τάση μείωσης ενώ τα *Gr. inflata*, *Gr. crassaformis*, *N. pachyderma*, *Gs. trilobus* και *O. universa* τάση αύξησης.

Το τέλος απόθεσης του  $S_1$  (οροφή 2ης υποενότητας) συμπίπτει με σημαντική αύξηση του *Gr. inflata*. Στο διάστημα που ακολουθεί μέχρι την κορυφή του πυρήνα (0-69cm) κυριαρχούν κυρίως, τα *Gs. ruber* και *G. bulloides*, ενώ σε μικρότερα ποσοστά τα είδη, *Gs. trilobus*, *Gs. obliquus*, *Orbulina*, *Globigerinella*, και *G. glutinata*.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστos" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



Εικ. 2: Κατακόρυφες κατανομές των ειδών των πλαγκτονικών τρηματοφόρων και του ποσοστού του Corg του πυρήνα P40 με το βάθος (οι γραμμοσκιασμένες περιοχές αντιστοιχούν στα σαπρωπηλικά στρώματα).

Fig. 2: Vertical variations of the planktonic species and the organic carbon content (Corg) in the core P40 (dark areas correspond to the sapropelic subunits).

## ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ

Με τις μικροπαλαιοντολογικές αναλύσεις αναγνωρίστηκαν τα εξής γένη και είδη βενθονικών τρηματοφόρων : *Bolivina spathulata*, *B. dilatata*, *B. alata*, *Uvigerina peregrina*, *Uv. aculeata*, *Uv. mediterranea*, *Uv. auberiana*, *Bulimina costata*, *B. marginata*, *Globobulimina* sp., *Trifarina* sp., *Cassidulina crassa*, *C. laevigata*, *C. subglobosa*, *Evolvocassidulina* sp., *Cassidulinoides* spp., *Nonion* sp., *Nonionella* sp., *Articulina tubulosa*, *Planulina* sp., *Gyroïdina* spp., *Cibicides* spp., *Chilostomella* sp., *Pullenia* sp., *Textularia* spp., *Hoegludina* sp., *Elphidium* spp., *Hyalinea balthica*, *Ophthalmidium acutumargo*, *Discorbis* spp., *Patellina* sp., *Vaginulina* spp., *Dentalina* sp. καθώς και *Miliolidae*.

Ειδικότερα, ο αριθμός και η ποικιλότητα των βενθονικών τρηματοφόρων έχουν σχετικά υψηλές τιμές από τη βάση του πυρήνα (195cm) έως το βάθος των 103cm. Η αύξηση του ποσοστού του οργανικού άνθρακα στο βάθος αυτό συμπίπτει με μείωση των ειδών.

Τα βενθονικά τρηματοφόρα, από τα 103cm έως την αρχή απόθεσης της 1ης υποενότητας του S<sub>1</sub> (96cm), περιορίζονται κυρίως στα γένη και είδη *B. spathulata*, *B. dilatata*, *C. crassa*, *C. laevigata*, *Evolvocassidulina*, *Uv. mediterranea*, *Uv. peregrina*, *Art. tubulosa*, *Nonion* sp., *Gyroïdina* spp.

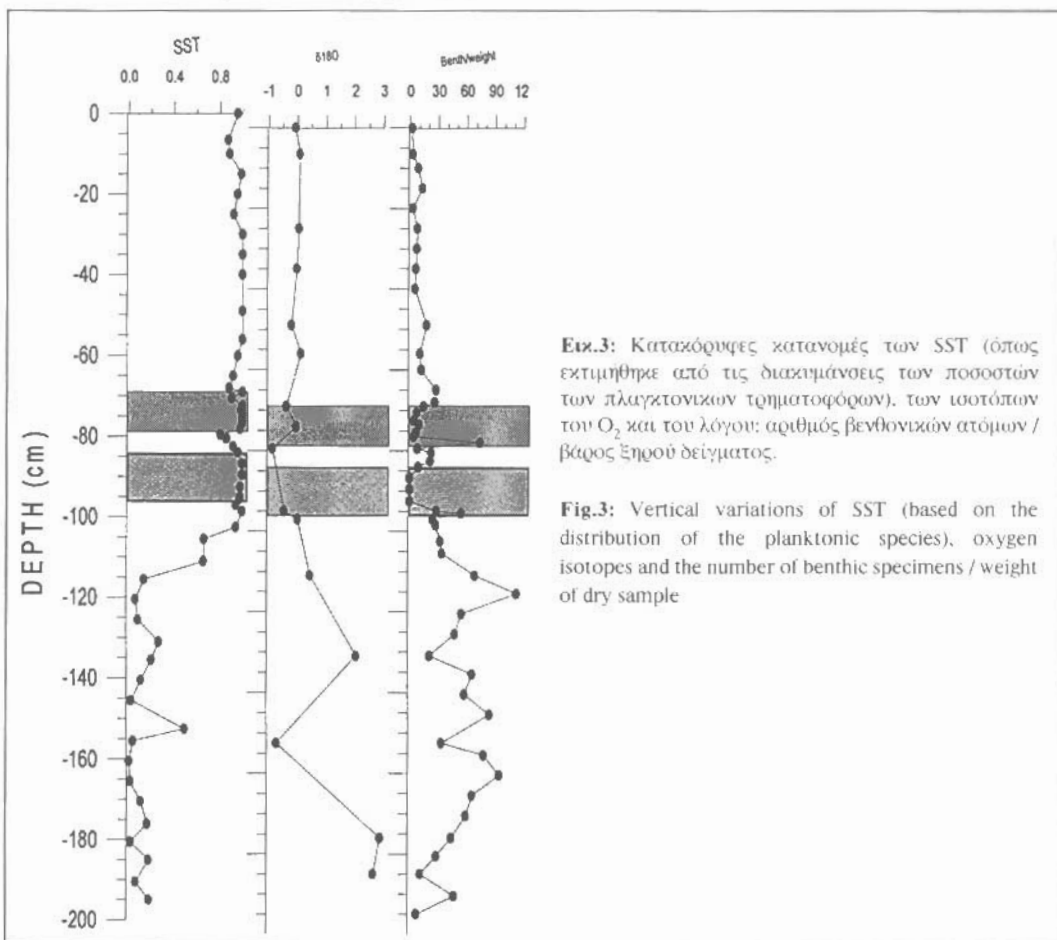
Με την αρχή απόθεσης της 1ης υποενότητας του S<sub>1</sub> παρατηρείται επιπλέον μείωση των γενών. Τα βενθονικά *Uvigerina*, *C. laevigata* και *Art. tubulosa* απουσιάζουν ενώ εμφανίζονται τα *B. costata* και *Chilostomella* sp. Επίσης, παρατηρείται σημαντική αύξηση της *Evolvocassidulina*. Καθ' όλη τη διάρκεια απόθεσης της 1ης υποενότητας του σαπρωπηλού (96-84cm) τα βενθονικά τρηματοφόρα απουσιάζουν εντελώς. Αρχίζουν να επανεμφανίζονται στην οροφή της υποενότητας με *Bolivina*, *Art. tubulosa*, *Uv. peregrina*, *Uv. auberiana* και *Gyroïdina* spp.

Η παρουσία των βενθονικών αυξάνεται στον γκρι ενδιάμεσο του σαπρωπηλού ορίζοντα (78-84cm), με την εμφάνιση των *B. costata*, *B. marginata*, *Globobulimina* sp., *Chilostomella* sp. και *Uv. mediterranea*.

Τα ίδια είδη με εξαίρεση τα *B. marginata*, *Art. tubulosa* και *Uvigerina* εμφανίζονται και στη βάση απόθεσης της 2ης υποενότητας του S<sub>1</sub>. Η 2η υποενότητα (78-69cm) χαρακτηρίζεται από σημαντική μείωση των βενθονικών, τα οποία περιορίζονται στα *Chilostomella* sp., *Globobulimina* sp., *Bolivina* sp., *Evolvocassidulina* sp., *Gyroïdina* spp. και τα οποία περιορίζουν το ελάχιστο ποσοστό τους στα 74cm.

Στην οροφή της 2ης υποενότητας του S<sub>1</sub> αυξάνεται ξανά τόσο ο αριθμός όσο και τα γένη. Εμφανίζονται επιπλέον κυρίως, *C. crassa*, *B. costata*, *Uv. mediterranea*, *Trifarina* sp., *Nonion* sp., *Cibicides* sp. καθώς και τα *B. marginata*, *Art. tubulosa* και *Uv. auberiana*.

Στη συνέχεια (69-0cm) παρατηρείται σταδιακή μείωση των ατόμων και παράλληλη αύξηση των γένων και ειδών των βενθονικών τριματοφόρων.

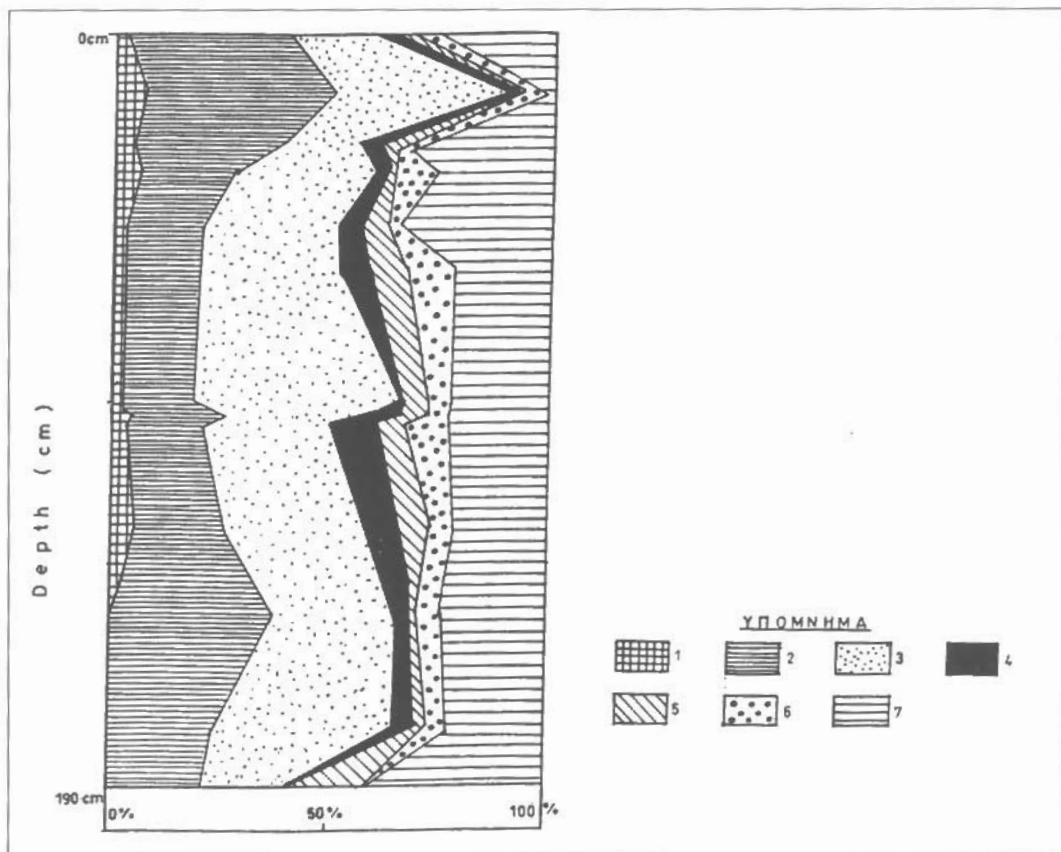


**Εικ.3:** Κατακόρυφες κατανομές των SST (όπως εκτιμήθηκε από τις διακλιμάσεις των ποσοστών των πλαγκτονικών τριματοφόρων), των ισότοπων του O<sub>2</sub> και του λόγου: αριθμός βενθονικών ατόμων / βάρος ξηρού δείγματος.

**Fig.3:** Vertical variations of SST (based on the distribution of the planktonic species), oxygen isotopes and the number of benthic specimens / weight of dry sample

### ΠΑΛΥΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Οι παλυνολογικές αναλύσεις (Εικ. 4) έδειξαν ότι κατά το χρονικό διάστημα απόθεσης των ιζημάτων του πυρήνα από τα 195 έως τα 130cm επικρατούσαν ψυχρές κλιματικές συνθήκες όπως διαπιστώνεται από τη σημαντική παρουσία ποωδών φυτών με κύρια συμμετοχή των *Artemisia*, *Graminae*, *Amaranthaceae-Chenopodiaceae*, και *Pinaceae* και της οξυάς (*Quercus*). Το θαλάσσιο φυτοπλαγκτόν αντιπροσωπεύεται από ψυχρά είδη δινομαστιγωτών όπως των *Nematosphaeropsis labyrinthica*, *Brigantidium simplex*, *B. carioconse* και *Operculodinium centrocarpum*. Οι παραπάνω ψυχρές συνθήκες δεν είναι σταθερές καθόλο το διάστημα αυτό (195-130cm) αλλά παρατηρείται μια διαφοροποίηση προς ενοϊκότερες κλιματικές συνθήκες π.χ. περίπου στα 150cm. Στη συνέχεια (μετά τα 130cm) παρατηρείται σταδιακή βελτίωση του κλίματος με την αύξηση των φυλλωδών και κωνοφόρων δένδρων και παράλληλη μείωση των ποωδών. Στις φυτοκοινωνίες που αναπτύσσονται επικρατούν με μικρές διαφοροποιήσεις τα *Quercus*, *Corylus*, *Carpinus*, και *Ulmus*. Τα είδη του φυτοπλαγκτού που σταδιακά επικρατούν είναι τα *Spiniferites mirabilis*, *Spiniferites hyperacanthum*, *Spiniferites elongatus* και *Impagidium aculeatum*.



Εικ. 4: Συνθετικό παλινολογικό διάγραμμα του πυρήνα Π40 (Suc 1984).

1. μεσοθερμικά στοιχεία που ζουν κάτω από υγρά ή ξηρά περιβάλλοντα όπως Cupressaceae, Myrica
2. στοιχεία μεγα-μεσοθερμικά ή μεσοθερμικά που απαιτούν υψηλή υγρασία (κλιματική ή εδαφική) Quercus, Carpinus, Ulmus, Acer, Fagus, Alnus, Ericaceae
3. στοιχεία με αεροφόρους σάκκους (κωνοφόρα) Pinus, Cedrus, απροσδιόριστα Abietaceae
4. κωνοφόρα που διαβιούν σε μεγαλύτερο υψόμετρο Abies and Picea
5. στοιχεία χωρίς οικολογικό ενδιαφέρον Rosaceae, Rumex, Plantago
6. σύγχρονα μεσογειακά είδη Pistacia, Olea, Phillyrea, Quercus ilex type, Cistus
7. ποώδη που διαβιούν σε παράκτιες περιοχές Gramineae, Compositae, Amaranthaceae- Chenopodiaceae, Cyperaceae, Caryophyllaceae.

Fig. 4 : Synthetic pollen diagrams of core P40. Taxa are arranged according to the ecological significance of their modern representatives (Suc 1984):

1. taxa growing under moist and relatively warm conditions, Cupressaceae, Myrica
2. less exacting taxa, Quercus, Carpinus, Ulmus, Acer, Fagus, Alnus, Ericaceae
3. disaccate pollen grains. Pinus, Cedrus, indeterminate Abietaceae pollen grains
4. Abies and Picea (altitudinal elements?),
5. indifferent taxa (Rosaceae, Rumex, Plantago,) and undetermined pollen grains,
6. modern mediterranean elements, Pistacia, Olea, Phillyrea, Quercus ilex type, Cistus,
7. herbaceous from coastal environments, Gramineae, Compositae, Amaranthaceae- Chenopodiaceae, Cyperaceae, Caryophyllaceae.

Ταυτόχρονα με τη σταδιακή βελτίωση του κλίματος διαπιστώνεται και βαθμιαία αύξηση του ποσοστού οργανικής ύλης (κομμάτια απανθρακωμένης οργανικής ύλης, σπόροι, φυτικοί ιστοί κ.α.). Η παρουσία του χερσογενούς αυτού υλικού γίνεται περισσότερο σημαντική απόθεση και των δύο

υποενοτήτων του σαπροπηλού. Επιπλέον στα βάθη αυτά παρατηρούνται στις συγκεντρώσεις του φυτοπλαγκτού τα *Spiniferites ramosus* και *Lingulodinium machaerophorum*.

Κατά τη διάρκεια απόθεσης των δύο υποενοτήτων του S1 (84-96cm και 78-69cm) διαπιστώνεται η παρουσία θερμοφίλων δένδρων (π.χ. *Ostrya*, *Alnus* και *Abies*). Στα δινομαστιγωτά επικρατούν τα είδη *Hemicystodinium zoharyi*, *Spiniferites bulloides*, *S. bentorii* και *S. delicatus*.

Στο γκρί, ενδιάμεσο των σαπροπηλών, οριζόντα (78-84cm) παρατηρείται σταδιακή μείωση των *Quercus* και σταδιακή αύξηση των *Artemisia*, Graminae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae καθώς και άλλων ποωδών φυτών.

Μετά την απόθεση και της 2ης υποενοτήτας του S1 έως την κορυφή του πυρήνα (63-0cm) παρουσιάζονται πλούσιες και ποικιλόμορφες συγκεντρώσεις σπόρων και γυροσκόκκων φυλλωδών και κωνοφόρων δένδρων ενώ το φυτοπλαγκτόν αντιπροσωπεύεται κυρίως από τα *Spiniferites mirabilis*, *Spiniferites hyperacanthum*, *Spiniferites elongatus* και *Impagidinium aculeatum*.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Χρησιμοποιώντας ως δείκτες θερμοῦ κλίματος τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα *Gs. ruber*, *Gs. sacculifer*, *Gs. obliquus*, *O. universa*, *Gs. trilobus* και *Globigerinella* και ως ψυχροῦ κλίματος τα *Gr. scitula*, *N. pachyderma* και *N. dutertrei* εκτιμήθηκε η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία (SST) και καταγράφηκε η κατακόρυφη κατανομή των τιμών της (Εικ.3). Ως δείκτης της βενθικής παραγωγικότητας χρησιμοποιήθηκε η κατακόρυφη κατανομή του αριθμοῦ των βενθονικών τρηματοφόρων/βάρος ξηροῦ δείγματος (Εικ. 3).

Η μελέτη της κατανομής της SST έδειξε ότι το κλίμα αρχίζει να αλλάζει από το ψυχρό της τελευταίας παγετώδους περιόδου στο θερμοῦ του Ολοκαίνου περίπου στα 150cm. Στο γεγονός αυτό συνηγρεί και η ελάττωση των τιμών του δ<sup>18</sup>O που διαπιστώνεται στο βάθος αυτό, κατά 3.6‰ (Εικ. 3).

Οι τιμές της SST παραμένουν υψηλές με εξαίρεση το βάθος των 110-130cm, όπου παρατηρείται σημαντική μείωση της και εμπλουτισμός του δ<sup>18</sup>O κατά 2.8‰ (Εικ. 3). Στο βάθος μεταξύ 110-195cm η βενθική παραγωγικότητα είναι καλά αναπτυγμένη.

Το όριο μετάβασης του κλίματος από το ψυχρό της τελευταίας παγετώδους περιόδου στο θερμοῦ του Ολοκαίνου, στα παλυνολογικά δεδομένα εντοπίζεται στα 130cm περίπου, με σαφή και σταδιακή αλλαγή της βλάστησης από ποώδη φυτά σε κωνοφόρα και φυλλώδη δένδρα καθώς και σημαντική αλλαγή στις συγκεντρώσεις του φυτοπλαγκτού (Wijmstra, 1969, Wijmstra et al., 1976, Rossignol-Strick et al., 1982, Rossignol-Strick et al., 1983, Rossignol-Strick et al., 1989, Tzedakis, 1994). Η μεταβολή του κλίματος σε θερμότερο, περίπου στα 150cm, διαπιστώνεται και στις παλυνολογικές αναλύσεις.

Η συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας από τα 110cm καθώς και η αύξηση της παρουσίας των *G. bulloides* και *G. glutinata*, σε βάρος των υπολοίπων ειδών που είναι δείκτες ευτροφισμού, δηλώνει αλλαγή του συστήματος ευτροφισμού της υδάτινης στήλης. Η αλλαγή της πηγής του ευτροφισμού θα πρέπει να αναζητηθεί σε εποχιακές τροφοδοσίες θρεπτικών συστατικών ή τροφοδοσίες ποτάμιων απορροών (Be and Tolderlund, 1971, Lourens et al., 1992) γεγονός που αποδεικνύεται και από την αυξανόμενη παρουσία οργανικής ύλης στα παλυνολογικά δεδομένα. Ταυτόχρονα, η κυρίαρχη παρουσία ειδών όπως των *Bolivina*, *Uvigerina* και *Art. tubulosa* (Aksu et al., 1995, Nolet and Corliss, 1994, Ross and Kennett, 1984) στα βενθονικά τρηματοφόρα δείχνει μείωση του διαθέσιμου οξυγόνου στην υδάτινη στήλη. Οι συνεχιζόμενες βροχοπτώσεις και πιθανώς η αύξηση της έντασης τους φαίνεται να εγκαθιδρύουν ένα επιφανειακό στρώμα χαμηλής αλατότητας σημαντικού πάχους με συνέπεια(i) την ισχυρή στρωματοποίηση της υδάτινης στήλης, (ii)τη μείωση του O<sub>2</sub> στον πυθμένα όπως δηλώνει η κυρίαρχη παρουσία των *Bul. costata*, *Chilostomella sp.* και *Art. tubulosa* (Aksu et al., 1995, Nolet and Corliss 1994, Ross and Kennett, 1984), τα οποία είναι δείκτες έντονων δισοξικών συνθηκών και τέλος (iii) την αρχή απόθεσης του σαπροπηλού S<sub>1</sub>. Το γεγονός της μείωσης της αλατότητας στο διάστημα αυτό ενισχύεται και από τα παλυνολογικά δεδομένα με τη παρουσία στο φυτοπλαγκτόν των *Spiniferites ramosus* και *Lingulodinium macherophorum* που είναι δείκτες χαμηλής αλατότητας (30‰)(Turon, 1984).



Κατά τη διάρκεια απόθεσης της 1ης υποενότητας του σαπροπηλού (96-84cm) οι χαμηλές τιμές του  $O_2$  δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη βενθικής ζωής παρά μόνο στην οροφή της υποενότητας, όπου τα εμφανιζόμενα είδη δηλώνουν και πάλι συνθήκες χαμηλού  $O_2$ . Η σχετική αύξηση της αλατότητας, που εξακολουθεί όμως να είναι σχετικά χαμηλή διαπιστώνεται στις παλυνολογικές αναλύσεις με τον εντοπισμό στα δινομαστιγωτά ειδών όπως, *Hemicystodinium zocharyi*, *Spiniferites bulloides*, *S. bentorii* και *S. delicatus* που είναι δείκτες κανονικής έως ελαφρώς χαμηλής αλατότητας (36‰) (Turon 1984).

Η μείωση της θερμοκρασίας και η αύξηση της ξηρότητας φαίνεται να είναι οι κύριοι παράγοντες διακοπής απόθεσης του σαπροπηλού όπως διαπιστώνεται από τις αναλύσεις στα πλαγκτονικά τρηματοφόρα και στην παλυνολογία με την επικράτηση ποωδών φυτών (π.χ. *Artemisia* και *Chenopodiaceae*) στο διάστημα αυτό εις βάρος των *Quercus*. Στο διάστημα απόθεσης του γκρι ορίζοντα (78-84cm) παρατηρείται επαναδραστικοποίηση της βενθονικής ζωής με σχετική αύξηση των ατόμων, αν και τα είδη που κυριαρχούν δηλώνουν ακόμη συνθήκες χαμηλού  $O_2$ . Στα επιφανειακά υδάτινα στρώματα η παρουσία των *Gr. inflata* και *Gr. crassaformis* δηλώνει ότι ο εντροφισμός σε κάποιο ποσοστό οφείλεται και σε μίξη της υδάτινης στήλης.

Η αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων εκ νέου, οι οποίες φαίνεται να είχαν περιοριστεί κατά τη διάρκεια απόθεσης του γκρι ορίζοντα μεταξύ των σαπροπηλών, αποδεικνύεται από τα παλυνολογικά δεδομένα. Αποτέλεσμα της αύξησης αυτής είναι η επαναφορά επιφανειακού στρώματος μεγάλου πάχους και χαμηλής αλατότητας και η ακόλουθη επαναπόθεση του σαπροπηλού. Κατά τη διάρκεια απόθεσης της 2ης υποενότητας (69-78cm) η βενθική ζωή είναι λιγοστή ή και απουσιάζει (74cm). Τα βενθονικά είδη που επικρατούν (*Chilostomella* sp., *Globobulimina* sp., *Bolivina*) δηλώνουν συνθήκες χαμηλού  $O_2$  (Ross and Kennett, 1984). Κατά τη διάρκεια απόθεσης του σαπροπηλού παρατηρείται σταδιακή μείωση των βροχοπτώσεων σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις των δινομαστιγωτών. Η έντονη παρουσία της *Gr. inflata* στην οροφή της υποενότητας δηλώνει μίξη της υδάτινης στήλης γεγονός που αποδεικνύει και η αύξηση της βενθικής ζωής τόσο σε αριθμό ατόμων όσο και ειδών.

Ο γκρι ορίζοντας (78-84cm) ενδιάμεσα των δύο σαπροπηλικών στρωμάτων δεν φαίνεται να είναι αποτέλεσμα βαρυτικής/τουρβιδιτικής απόθεσης, όπως αποδεικνύεται από τις ακτινογραφίες, τη λιθολογία/κοκκομετρία και τη βενθονική μικροπανίδα. Κατά το χρονικό διάστημα απόθεσης του σαπροπηλού  $S_1$  οι ωκεανογραφικές και κλιματολογικές μεταβολές ήταν τέτοιες που προκάλεσαν την προσωρινή διακοπή της απόθεσής του και το σχηματισμό του γκρι ορίζοντα. Παρόμοια διακοπή απόθεσης του σαπροπηλού έχει διαπιστωθεί και σε άλλους πυρήνες της Αν. Μεσογείου (Rossignol-Strick et al., 1982, Rohling et al., 1997) καθώς και σε πυρήνες της Μυρτώου λεκάνης (Φερεντίνος κ.α., 1995).

Η σημαντική παρουσία των *Gs. sacculifer*, *Or. universa*, και *Globigerinella* spp. στις δύο υποενότητες απόθεσης του  $S_1$  είναι δυνατό να αποδοθεί σε δύο πιθανές αιτίες είτε (i) στην ικανότητα αλλαγή βάθους διαβίωσης τους δηλαδή τη μετανάστευση τους σε βαθύτερα στρώματα κανονικής αλατότητας ώστε να αποφεύγουν το επιφανειακό χαμηλής αλατότητας στρώμα κατά τη διάρκεια απόθεσης του σαπροπηλού, είτε (ii) στον εποχιακό και μόνο σχηματισμό του επιφανειακού στρώματος χαμηλής αλατότητας. Καθώς αυτά τα είδη διαβιούν και αναπαράγονται κυρίως τους μήνες της άνοιξης πιθανώς η παρουσία του στρώματος χαμηλής αλατότητας κατά τη διάρκεια απόθεσης του  $S_1$  να ήταν έντονη το χειμώνα, καλοκαίρι και φθινόπωρο και ασθενέστερη την άνοιξη (Tang and Scott, 1993). Επιπλέον, ίσως πρέπει να υποτεθεί ότι η παρουσία του επιφανειακού στρώματος χαμηλής αλατότητας ήταν πιο έντονη κατά τη διάρκεια απόθεσης της 1η υποενότητας του  $S_1$ , αφού τα παραπάνω πλαγκτονικά είδη συμμετέχουν σε υψηλότερα ποσοστά στη 2η υποενότητα του  $S_1$ . Πρέπει να σημειωθεί ότι η *G. quinqueloba* παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τα προαναφερθέντα είδη κατά τη διάρκεια απόθεσης των σαπροπηλικών υποενότητων. Αυτό το γεγονός οδήγησε στην εξαίρεση της από τον καθορισμό της SST ως μη τυπικό δείκτη ψυχρού κλίματος.

Οι υψηλές τιμές που παρουσιάζει η βενθική παραγωγικότητα στην έναρξη των δύο σαπροπηλικών υποενότητων (Εικ. 3) υποδηλώνει ότι η αύξηση της παραγωγικότητας/εντροφισμού είναι ένας από τους κύριους παράγοντες για την αλάτωση του σαπροπηλού (Rohling, 1994).



Τέλος το διάστημα που ακολουθεί (0-69cm) σύμφωνα με τα μικροπαλαιοντολογικά και παλινολογικά δεδομένα καθώς και από τις μετρήσεις των ισοτόπων του  $O_2$  παρατηρούμε σταδιακή σταθεροποίηση των θερμοών και ολιγοτροφικών συνθηκών που επικρατούν και σήμερα.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τους Δρ. Β. Τσατραλή για το δανεισμό του Otto splitter και τον Dr. D. Tudhope για τις μετρήσεις των ισοτόπων του  $O_2$ .

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AKSU, A.E., YASAR, D., MUDIE, P.J., GILLESPIE, H., 1995: Late glacial Holocene paleoclimatic and paleoceanographic evolution of the Aegean Sea : micropaleontological and stable isotopic evidence. *Mar. Micropaleontology*, v.25, pp. 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.
- BE, A.W.H. AND TOLDERLUND, D.S. 1971: Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian Oceans. In: B.M. Funnell and W.R. Riedel (editors), *Micropaleontology of the Oceans*. Cambridge Univ. Press, London, pp.105-149.
- ΦΕΡΕΝΤΙΝΟΣ, Γ., ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ Γ., ΧΑΣΙΩΤΗΣ Θ., ΓΚΙΩΝΗΣ Γ., ΓΕΡΑΓΑ Μ. ΚΑΙ ΛΥΜΠΕΡΗΣ Ε., 1995: Υποβρύχια τηλεπικνωτική ζευξη ΛΑΓΟΝΗΣΙ-ΧΑΝΙΑ με διακλάδωση για ΜΗΑΟ: Μελέτη πελάγους και προσαγιαλώσεων διαδρομής καλωδίου. 7 Τόμοι. Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας & Φυσικής Ωκεανογραφίας. Τεχνική Εκθεση (Ο.Τ.Ε).
- GAUDETTE, H., FLIGHT, W., TONER, L., AND FOLDER, D., 1974: An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. Sedim. Petrol.*, v. 44, pp. 249-253.
- LOURENS, 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. *Mar. Micropaleontology*, v.19, pp. 49-78.
- MANGINI, A. AND SCHLOSSER, P., 1986: The formation of Mediterranean sapropels. *Mar. Geology*, v.72, pp. 115-124.
- MUERDTER, D.R. AND KENNETT, J.P., 1984: Late Quaternary planktonic foraminiferal biostratigraphy, Strait of Sicily, Mediterranean Sea. *Mar. Micropaleontology*, v.8, pp.339-359.
- NOLET, G.J. AND CORLISS, B.H., 1990: Benthic foraminiferal evidence for reduced deep-water circulation during sapropel deposition in the eastern Mediterranean. *Mar. Geology*, v.94, pp.109-130.
- PERISSORATIS, C. AND PIPER, D.J.W., 1992: Age, regional variation, and shallowest occurrence of  $S_1$  sapropel in the northern Aegean Sea. *Geo-Marine Letters*, v. 12, pp. 49-53.
- ROHLING, E.J., 1994: Review and new aspects concerning the formation of eastern Mediterranean sapropels. *Mar. Geology*, v. 122, pp. 1-28.
- ROHLING, E.J. AND GIESKES, W.W.C., 1989: Late Quaternary changes in Mediterranean intermediate water density and formation rate. *Paleoceanography*, v. 4, pp. 531-545.
- ROHLING, E.J., JORISSEN F.J. AND STIGTER H.C. (in press): 200 year interruption of Holocene sapropel formation in the Adriatic Sea. *J. Micropaleontology*.
- ROSS, C.R. AND KENNETT, J.P., 1984: Late Quaternary paleoceanography as recorded by benthonic foraminifera in strait of Sicily sediment sequences. *Mar. Micropaleontology*, v.8, pp.315-336.
- ROSSIGNOL - STRICK, M., NESTEROFF, W., OLIVE, P. AND VERQNAUD - GRAZZINI, C., 1982: After the deluge: Mediterranean stagnation and sapropel formation. *Nature*, v.295, pp.105-110.
- ROSSIGNOL - STRICK, M., 1983: African monsoons, an interdecadal climate response to orbital

- insolation. *Nature*, v.303, pp.46-49.
- ROSSIGNOL - STICK M. AND PLANCHAIS, N., 1989. Climate patterns revealed by pollen and oxygen isotope records of a Tyrrhenean sea core. *Nature*, v.342, pp. 413-416.
- STANLEY, D.J. AND BLANPIED, C., 1980: Late Quaternary water exchange between the eastern Mediterranean and the Black Sea. *Nature*, v.285, pp.537-541.
- TANG, C.M., AND SCOTT, L.D., 1993: Seasonal salinity changes during Mediterranean sapropel deposition 9000 years B.P.: evidence from isotopic analyses of individual planktonic foraminifera. *Paleoceanography*, vol. 8, no. 4, pp.473-493.
- TURON J.L., 1984: Le palynoplankton dans l'environnement de l'Atlantique nord-oriental. Evolution climatique et hydrologique depuis le dernier maximum glaciaire. *Mem. Inst. Geol. Bass. Aquitaine*, v.17, 313p.
- TZEDAKIS, P., 1994: Vegetation change through glacial-interglacial cycles: a long pollen sequence perspective. *Phil. Trans. R. Soc. London, BC*, v. 345, pp. 403-432, London.
- WILLIAMS, D.F., THUNELL, R.C. AND KENNETT, J.P., 1978: Periodic freshwater flooding and stagnation of the eastern Mediterranean Sea during the Late Quaternary. *Science*, v. 201, pp.252-254.
- WIJMSTRA, T.A., 1969: Palynology of the first 30 m of a 120m deep section in Northern Greece. *Acta Bot. Neerl.*, v.18, pp. 511-527.
- WIJMSTRA, T.A. AND SMITH, A. 1976: Palynology of the middle part (30-78m) of a 120m deep section in Northern Greece (Macedonia). *Acta Bot. Neerl.*, v.25, pp. 299-312.