

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΠΥΚΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΙΚΗ ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑ

*B. Ζερβάκης, Δ. Γεωργόπουλος, Γ. Χρόνης και Α. Ιωνά
Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών, Αγίος Κοσμάς, Ελληνική*

ABSTRACT

V. Zervakis, D. Georgopoulos, G. Chronis & A. Iona: Evidence of seasonal dense water formation on the Cretan shelf.

The typical Cretan Sea water column is characterized by a multitude of water masses, some of local (Surface Water, Cretan Intermediate Water, Cretan Deep Water) and some of distant origin (Modified Atlantic Water, Transition Mediterranean Water). Data collected on a very dense hydrographic network on the Cretan slope during the CINCS experiment revealed the presence of some water type whose characteristics do not fit this pattern. Analysis suggests seasonal generation on the shelf. This slope water could play an important role in transferring heat, salt and oxygen to the deep layers of the Cretan Sea.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΟ

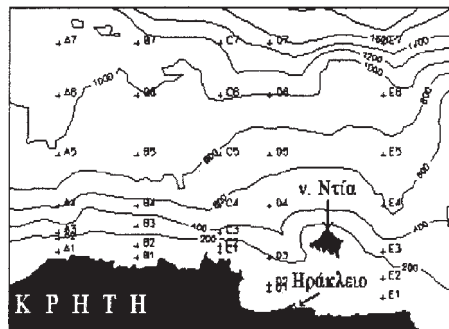
Το πείραμα CINCS αποσκοπούσε στην καταγραφή της υδρολογίας, των φυσικών διεργασιών, της δυναμικής των αωρούμενων σωματιδίων, των κατακόρυφων ροών και των ρευμάτων κοντά στο βυθό, στο νότιο τμήμα του Κρητικού πελάγους.

Η υδρολογία και η δυναμική των θαλασσίων μαζών του Κρητικού είναι γνωστά από τις εργασίες των Lacombe et al. (1958) και Onchinnikov (1966). Οι Rizzoli και Hecht (1988) αναφέρθηκαν στην δομή του Κρητικού στην επισκόπησή τους της υδρολογίας της Ανατολικής Μεσογείου, ενώ πιο πρόσφατα μια πιο λεπτομερής εικόνα έχει προκύψει από τα προγράμματα ROEM και PELAGOS (Theocharis et al., 1993a, Theocharis, 1995, Roether et al., 1996)

Η δυναμική δομή του Κρητικού, χαρακτηρίζεται από στροβίλους μέσης κλίμακας. Από το πείραμα PELAGOS προέκυψε ότι από το 1994 και μετά οι στροβίλοι αυτοί έχουν ημιμόνιμο χαρακτήρα (Θεοχάρης, 1995). Τά δύο τελευταία χρόνια το Κρητικό πέλαγος χαρακτηρίζεται από έναν ζευγος συζευγμένων στροβίλων αντίθετης φοράς περιστροφής, ο αντικυκλωνικός στο Δυτικό Κρητικό Πέλαγος και ο κυκλωνικός στο Ανατολικό. Αυτοί, σε συνδυασμό με άλλες, επίσης αρκετά σταθερές δομές κυκλοφορίας (νότια κυκλοφορία έξω από τις ανατολικές ακτές της Πελοποννήσου, αντικυκλώνας Πέλοπας στα νότια της Πελοποννήσου, κυκλώνας της Ρόδου στα ανατολικά της νήσου Ρόδου, και άλλοι) δημιουργούν μια σχετική χρονική σταθερότητα των ρευμάτων γύρω απ' το νησί.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Επισκεφθήκαμε ένα υδρογραφικό πλέγμα 35 σταθμών, καταμετρημένων πάνω σε επτά τομές με προσανατολισμό ανατολικά-δυτικά, σε πέντε διαφορετικές περιόδους σε διάστημα λίγο μεγαλύτερο του ενός χρόνου: τούς Μάιο και Νοέμβριο του '94, και Φεβρουάριο, Μάιο και Ιούλιο του '95 (σχήμα 1). Η κατανομή των σταθμών έγινε έτσι ώστε να περιλαμβάνουν μέρος της Κρητικής υφαλοκρηπίδας (βάθος μικρότερο των 200 μέτρων, τομές 1 και 2), του Κρητικού υφαλοπρανούς (μεταξύ 200 και 1000 μέτρων, τομές 3, 4 και 5), και της βαθιάς λεκάνης του Κρητικού πελάγους (τομές 6 και 7).



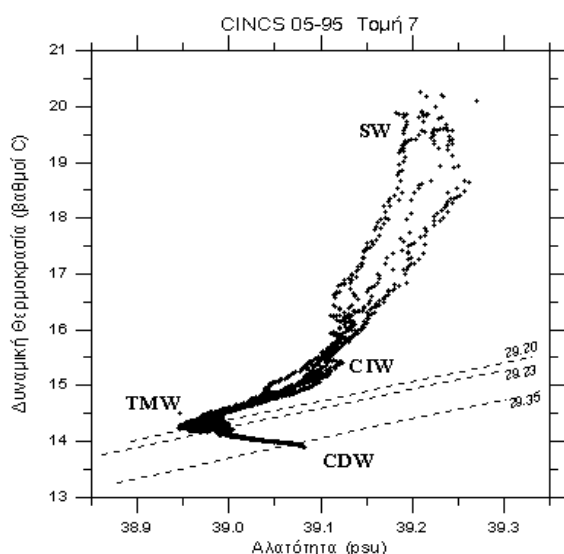
Σχήμα 1 Βαθυμετρία και δίκτυο σταθμών ισοβαθείς ανά 200 μέτρα.

Διεξήχθησαν τυπικές υδρογραφικές μετρήσεις, με ένα CTD SBE-9 σε συνδυασμό με ροζέττα απο το Ω/Κ “ΑΙΓΑΙΟ”. Οι αισθητήρες του CTD βαθμονομήθηκαν μετά το πρώτο και το τρίτο ταξίδι. Μετά από όλα τα ταξίδια εκτός του τελευταίου έγινε βαθμονόμηση της αλατότητας ως προς τα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν με τους δειγματολήπτες NISKIN που ήταν εξοπλισμένη η ροζέττα. Το CTD επίσης ήταν εξοπλισμένο με αισθητήρα οξυγόνου και θολεροόμετρο μήκους 10 εκατοστών.

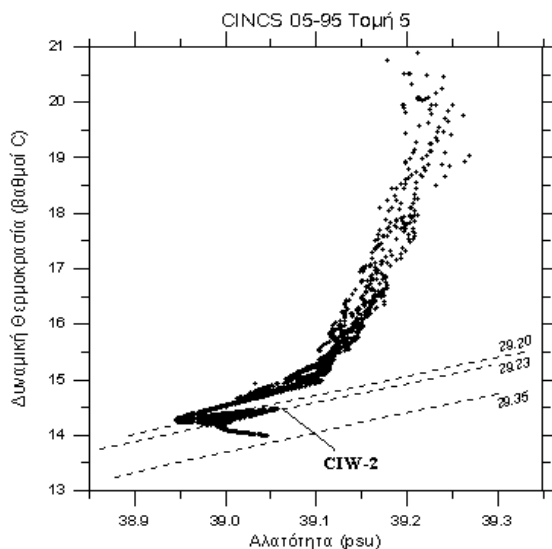
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Συνολικές παρατηρήσεις.

Αρχική ανάλυση των συλλεχθέντων υδρογραφικών δεδομένων δεν παρουσιάζει μεγάλες εκπλήξεις, καθώς οι θαλάσσιες μάζες που παρατηρούνται ταυτίζονται με αυτές που έχουν παρατηρηθεί στα γεωγραφικά πύο εκτεταμένα προγράμματα ΡΟΕΜ και ΡΕΛΑΓΟΣ. Στο σχήμα 2α φαίνεται το θ/S διάγραμμα που περιλαμβάνει όλους τους σταθμούς της βορειότερης τομής 7 (της χαρακτηριστικής των βαθιών νερών του Κρητικού Πελάγους). Παρατηρούμε ότι μπορούμε να αναγνωρίσουμε τα νερά επιφάνειας (SW), καθώς και τις θαλάσσιες μάζες των ενδιάμεσων νερών του Κρητικού πελάγους (CIW), Μεσογειακών Μεταβατικών νερών (TMW) και βαθιών νερών του Κρητικού (CDW). Τα νερά Ατλαντικού (MAW) απουσιάζουν και πιθανώς έχουν αναμειχθεί με τα νερά επιφανείας κατά την διάρκεια του χειμώνα.



Σχήμα 2α: θ/S διάγραμμα τομής 7, Μάιος '95



Σχήμα 2β: θ/S διάγραμμα τομής 5, Μάιος '95

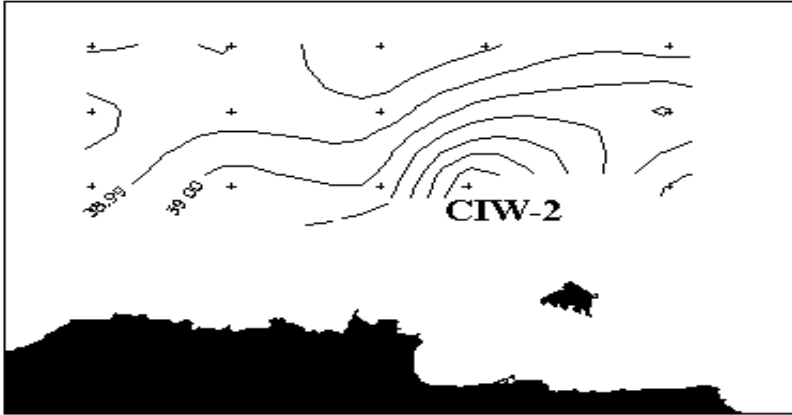
Είναι οι ίδιες μάζες νερού που έχουν αναγνωρισθεί και αναλυθεί από παλαιότερους ερευνητές, σε έρευνες στις βαθιές λεκάνες του Κρητικού (Georgoroulos et al. 1989, Theocharis, 1995).

Εκπλήξη όμως προκαλεί το αντίστοιχο θ/S διάγραμμα της τομής 5 (περίπου πάνω από την ισοβαθή των 800 m, στην βαθύτερη περιοχή του υφαλοπρανούς, σχήμα 2β). Εκεί φαίνεται ότι μεταξύ των νερών TMW και CDW, σε βάθος μεταξύ 600 και 700 m, υπάρχει μιά μάζα νερών πύο αλμυρών και πύο θερμών από τα TMW, που όμως δεν προέρχονται από ανάμειξη των TMW ούτε με τα βαθιά (CDW) ούτε με τα ενδιάμεσα (CIW) νερά του Κρητικού. Στην παρούσα ανακοίνωση, για ευκολία θα αναφερόμαστε σε αυτά με την ονομασία Ενδιάμεσα Νερά Κρητικού - 2 (CIW-2). Η θέση των υδάτων αυτών στο θ/S διάγραμμα φαίνεται να υποδηλώνει ανάμειξη CIW με CDW, αλλά δεν έχουμε αντίστοιχη παρατήρηση ούτε γνώση κάποιας περιοχής που αυτό θα ήταν δυνατό. Αντίθετα, ο Theocharis (1995) παρατηρεί ότι πρόσφατα το TMW εκτείνεται σε όλο το Κρητικό, εισχωρώντας από τα στενά του Κρητικού Τόξου, και εμποδίζει την ανάμειξη CIW και CDW. Αν λοιπόν δεν μπορεί να υποστηριχθεί η άποψη της εμφάνισης των ιδιόμορφων αυτών, θερμών και αλμυρών νερών κάτω από το TMW βάσει ανάμειξης CDW και CIW, ποιά είναι η πηγή τους;

Ακολουθεί ανάλυση της χρονικής και γεωγραφικής κατανομής των υδάτων αυτών με σκοπό την εξεύρεση ενδείξεων ως προς την προέλευσή τους.

Χωρο-χρονικές μεταβολές.

Η πυκνότητα των CIW-2 κυμαίνεται μεταξύ σ_θ 29.20 - 29.25. Λόγω του αναγλύφου του βυθού, επιλέξαμε σαν ιχνηθέτη την κατανομή των συντηρητικών μεγεθών (εδώ, της αλατότητας) πάνω σε μιά ισόπυκνη. Το σχήμα 3 παρουσιάζει την αλατότητα επί της ισόπυκνης $\sigma_\theta = 29.22$ τον Μάιο του 1995. Ο πυρήνας του CIW-2 έχει μέγιστη αλατότητα 39.05 psu, και θερμοκρασία 14.5°C, και παρουσιάζεται στον σταθμό D5. Η γεωγραφική κατανομή της αλατότητας επί της ισοπύκνου χαρακτηρίζεται από μια έντονη διαβάθμιση βόρεια-νότια, με το αλμυρό και θερμό νερό να προσκολλάται πάνω στο Κρητικό υφαλοπρανές, κοντά στον βυθό. Αντίθετα, στους σταθμούς του ανοιχτού Κρητικού πελάγους δεν υπάρχει ίχνος του νερού αυτού, καθώς η αλατότητα παραμένει περίπου 38.98 psu που χαρακτηρίζουν το TMW. Το ανάγλυφο της ισοπύκνου κυριαρχείται από έναν κυκλώνα πάνω από την βαθιά λεκάνη του Κρητικού, τμήμα ενός από τους συζευγμένους στροβίλους που κυριαρχούν αυτήν την εποχή στο Κρητικό πέλαγος. Να σημειωθεί ιδιαίτερα ότι η εικόνα είναι ίδια και τον Μάιο του 1994.



Σχήμα 3 : Αλατότητα επί της ισόπυκνης 29.22 τον Μάιο '95

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι η πιο έντονη παρουσία των εν λόγω παράκτιων “πικάντικων” (spicy, αλμυρότερων και θερμότερων) νερών παρατηρείται την άνοιξη, όπου και το πιο έντονο ίχνος τους στο θ/S διάγραμμα. Αντίθετα, τον Νοέμβριο το φαινόμενο έχει χάσει και την ένταση και την έκτασή του. Η μέγιστη παρατηρούμενη αλατότητα είναι 39.03. Η κατανομή της αλατότητας επί της ισόπυκνης έχει μιά βαθμίδα Ανατολικά - Δυτικά, με τις μικρότερες αλατότητες στα ανατολικά, που πιθανότατα οφείλεται στους επικρατούντες στροβίλους του Κρητικού πελάγους. Η εικόνα που παρατηρείται τον Δεκέμβριο είναι παρόμοια με αυτήν του Νοεμβρίου ως προς την δομή της, αλλά δεν παρατηρούνται πια τόσο υψηλές τιμές αλατότητας. Η μέγιστη αλατότητα επί της ισοπύκνου 29.21 είναι μόνο 38.99, όχι πολύ μεγαλύτερη από τις χαρακτηριστικές τιμές του TMW.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα ανακοίνωση παρουσιάσαμε υδρογραφικές παρατηρήσεις του ΕΚΘΕ πάνω από την υφαλοκρηπίδα, το υφαλοπρανές και την βαθιά λεκάνη της Βόρειας Κρήτης. Οι μετρήσεις έγιναν σε πέντε ταξίδια του Ω/Κ “ΑΙΓΑΙΟ” από την άνοιξη του '95 μέχρι το φθινόπωρο του '96.

Οι μάζες νερού που εμφανίζονται στην υδάτινη στήλη των βαθιών σταθμών είναι οι τυπικές μάζες που έχουν εμφανιστεί σε όλες τις μετρήσεις από το '94 και μετά στην περιοχή (MAW, CIW, MAW, και CDW).

Την άνοιξη στο υφαλοπρανές της Κρήτης εμφανίζονται νερά μεγαλύτερης θερμοκρασίας και αλατότητας, και πιο πλούσια σε οξυγόνο από ό,τι το περιβάλλον τους. Εμφανίζονται σε βάθη 600-700 μέτρων, κάτω από το TMW και πάνω από το CDW.

Τα νερά αυτά, παρά την μικρή τους ποσότητα, φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο στην μεταφορά θερμότητας, αλατιού και οξυγόνου, διευκολύνοντας την ανανέωση και εξαερισμό των βαθιών νερών του Κρητικού (CDW).

Η ευρύτερη περιοχή είναι γνωστή για την δημιουργία ενδιάμεσων και βαθιών νερών (Plakhin, 1972, Morcos, 1972, Ozturgut, 1976, Theocharis et al. 1993β, και άλλοι). Τα τελευταία χρόνια όμως, τα βαθιά νερά του Κρητικού εμφανίζουν αυξημένη αλατότητα και πυκνότητα. Επίσης η μεγάλη τους περιεκτικότητα σε οξυγόνο υποδεικνύει ότι ανανεώνονται με ταχύτερο ρυθμό απ' ό,τι τα υπερχείμενα Μεσογειακά Μεταβατικά νερά (TMW). Δημιουργία βαθιών

νερών στα ανοιχτά του Κρητικού πελάγους δεν έχει παρατηρηθεί πρόσφατα, και ο Theocharis (1995) πρότεινε πρόσφατα την γέννεσή τους στην υφαλοκρηπίδα των Κυκλάδων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα νερά CIW-2 χαρακτηρίζονται από πυκνότητες που ξεπερνούν την τιμή $\sigma_\theta = 29.20$ που χαρακτήριζε πριν το 1987 τα βαθιά νερά του Κρητικού (Theocharis et al., 1993α), γεγονός που υποδηλώνει ότι ο μηχανισμός γέννεσης αυτών των νερών πιθανόν τροφοδοτεί τα σημερινά βαθιά νερά του Κρητικού.

Νερά παρόμοιων χαρακτηριστικών (υψηλού οξυγόνου και αλατότητας) θα ήταν δυνατόν να παραχθούν μέσω της ψύξης του ομογενοποιημένου (τον χειμώνα) στρώματος πάνω από την υφαλοκρηπίδα. Το μεικτό στρώμα του ανοιχτού Κρητικού πελάγους μπορεί να φτάσει σε μεγαλύτερα βάθη από την υφαλοκρηπίδα. Έτσι, τον χειμώνα, η ομογενοποιημένη στήλη νερού της υφαλοκρηπίδας μπορεί να είναι πιο ευαίσθητη απ' ό,τι των βαθιών νερών σε διελεύσεις ατμοσφαιρικών μετώπων, επιτρέποντας την δημιουργία πυκνών νερών. Η παρούσα εργασία αποτελεί μία ένδειξη προς αυτήν την κατεύθυνση, και μία πρόταση ως προς τον μηχανισμό δημιουργίας των βαρέων αυτών υδάτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Συζητήσεις με τον Αλέκο Θεοχάρη ως προς την θαλάσσια κλιματολογία της ευρύτερης περιοχής ήταν πολύτιμες για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Ευχαριστούμε τον κυβερνήτη και το πλήρωμα του Ω/Κ "ΑΙΓΑΙΟ" για την πολύτιμη συνδρομή τους στην λήψη των μετρήσεων. Η παρούσα εργασία υποστηρίχθηκε από το συμβόλαιο MAS-2-CT94-0092 του προγράμματος MPT MAST II της Ε.Ε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- GEORGOPOULOS D., A. THEOCHARIS & G. ZODIATIS** (1989): Intermediate water formation in the Cretan Sea (S. Aegean Sea). *Oceanologica Acta*, 12, 4, 353-359.
- MALANOTTE-RIZZOLI, P. & A. HECHT** (1988): Large-scale properties of the Eastern Mediterranean: A review. *Oceanol. Acta*, 11, 4, 323-335.
- MORCOS, S. A.** (1972): Sources of Mediterranean Intermediate Water in the Levantine Sea. A. L. Gordon, editor, in: *Studies in Physical Oceanography: A tribute to G. Wüst on his 80th birthday*, New York, Gordon and Breach, 2, 185-206.
- ΟΥΧΙΝΝΙΚΟΦ, Ι. Μ.** (1966): Circulation in the surface and intermediate layers of the Mediterranean. *Oceanology*, 6, 48-59.
- ΟΖΤΟΥΡΓΟΥΤ, Ε.** (1976): The Sources and spreading of the Levantine intermediate water in the Eastern Mediterranean. *Saclantcen Memorandum SM-92*, Italy, 45.
- PLAKHIN, Y. A.** (1972): Vertical winter circulation in the Mediterranean. *Oceanology*, 12, 344-351.
- ROETHER, W., B. B. MANCA, B. KLEIN, D. BREGANT, D. GEORGOPOULOS, V. BEITZEL, V. KOVACEVIC & A. LUCHETTA** (1996): Recent Changes in Eastern Mediterranean Deep Waters. *Science*, 271, 333-335.
- THEOCHARIS, A., D. GEORGOPOULOS, A. LASKARATOS & K. NITTIS** (1993α): Water masses and circulation in the central region of the Eastern Mediterranean (E. Ionian, S. Aegean and N.W. Levantine). *Deep Sea Res.*, II., 40, 6, 1121-1142.
- THEOCHARIS, A. & D. GEORGOPOULOS** (1993β): Dense water formation over the Samothraki and Limnos Plateaux in the north Aegean Sea (Eastern Mediterranean Sea). *Cont. Shelf Res.*, 13, 8/9, 919-939.
- THEOCHARIS, A.** (1995): Hydrological and dynamical structure of the S. Aegean Sea: Flows through the straits of the Cretan Arc (PELAGOS-II III IV cruises). In *PELAGOS, Hydrodynamics and biogeochemical fluxes in the straits of the Cretan Arc*. Second annual progress report, 9/1994-8/1995, MAST project AS2-CT93-0059, NCMR Athens, 13-70.