

# ΟΙ ΧΩΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ SeaWiFS

Π.Γ. Δρακόπουλος, Β. Βαλαβάνης & Σ. Γεωργακαράκος  
Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας Κρήτης, ΤΘ 2214, 71003 Ηράκλειο (pdrak@imbc.gr)

## ABSTRACT

**Drakopoulos P.G., V. Valavanis and S. Georgakarakos. • Spatial and temporal distribution of chlorophyll-a in the Aegean Sea according to SeaWiFS imagery.**

Two years of continuous operation have been completed since the launch of the SeaWiFS satellite. The Institute of Marine Biology of Crete is a NASA authorized land station and SeaWiFS user. In this work we investigate the level-3 images for the region of the Aegean Sea for the period between September 1997 and August 1999. Relatively few field studies have been undertaken in the Aegean, therefore this study provides important baseline information concerning the spatial and temporal distribution of algal biomass. We establish geographical provinces from pigment, sea surface temperature (SST) and Sea Surface Salinity (SSS) climatologies. Investigating the seasonal patterns, for both subbasins the peak of pigment concentration is during winter, with concentrations being almost an order of magnitude higher in North Aegean.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Ευρυγώνιος Αισθητήρας Θαλάσσιας Τηλεπισκόπησης (SeaWiFS) είναι το πρώτο δορυφορικό σύστημα τηλεπισκόπησης του χρώματος της θάλασσας μετά τον αισθητήρα CZCS του δορυφόρου Nimbus-7, ο οποίος τέθηκε εκτός λειτουργίας το 1986. Σε αντίθεση με τον CZCS που ήταν πειραματικός, ο SeaWiFS έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υπολογίζει συγκεντρώσεις της χρωστικής της φωτοσύνθεσης (χλωροφύλλη) σε επιχειρησιακή βάση και με αρκετή ακρίβεια για χρήση σε ποσοτικές μελέτες θαλάσσιας πρωτογενούς παραγωγής και βιογεωχημείας. Οσον αφορά στο Αιγαίο Πέλαγος, έχει γίνει στο παρελθόν μελέτη της χωρικής κατανομής της χρωστικής σύμφωνα με τις εικόνες CZCS [1]. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζονται προκαταρκτικά δεδομένα SeaWiFS (το ΙΘΑΒΙΚ είναι επίσημος επίγειος σταθμός λήψης δορυφορικών εικόνων SeaWiFS στην Ελλάδα), από τον Σεπτέμβριο του 1997 που τέθηκε σε λειτουργία ο δορυφόρος μέχρι και τον Αύγουστο 1999 για το Αιγαίο Πέλαγος.

## ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

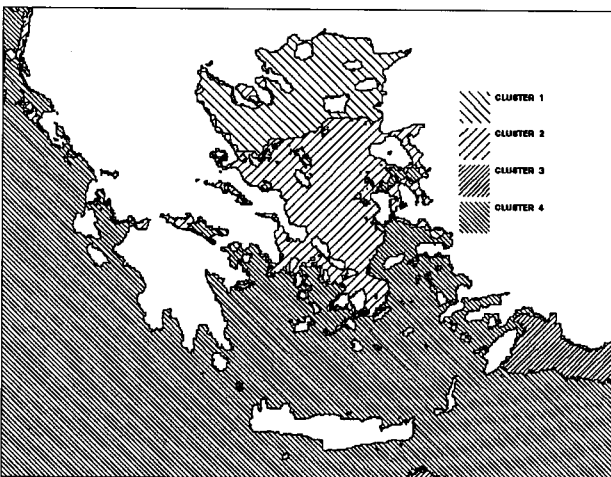
Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας έγινε χρήση του προϊόντος SeaWiFS τρίτης στάθμης (level-3 SMI). Το προϊόν αυτό έχει ανάλυση 81 pixels ανά km<sup>2</sup> και δίδει βαθμονομημένες τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης (μετά από κατάλληλες ατμοσφαιρικές και μετεωρολογικές διορθώσεις, ελέγχου ποιότητας και εφαρμογή βιο-οπτικών αλγόριθμων βασισμένων σε μετρήσεις πεδίου [2]). Η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (SST) υπο-

λογίστηκε από φωτογραφίες MCSST που αναλύθηκαν από την DLR [3] (κανάλια 3,4,5 του αισθητήρα AVHRR των δορυφόρων NOAA 11, 12, 14). Οι δύο ομάδες εικόνων καλύπτουν χρονικά την ίδια περίοδο. Για την επιφανειακή αλατότητα (SSS) έγινε χρήση της κλιματολογίας MED5 της βάσης δεδομένων MODB [4]. Τέλος η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία υπολογίστηκε από τον τύπο του Reed [5].

Τα παραπάνω δεδομένα αναλύθηκαν μέσω ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS). Οι μηνιαίες εικόνες εισήχθησαν σε περιβάλλον ARC/INFO στο κοινό προβολικό σύστημα Universal Transverse Mercator [6]. Για την μελέτη της χωρικής κατανομής της χλωροφύλλης έγινε χρήση της μεθόδου της μη καθοδηγούμενης ανάλυσης ομάδων (unsupervised classification). Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί και σε επίπεδο Μεσογείου με δεδομένα CZCS [7]. Συγκεκριμένα υπολογίστηκαν 3 εικόνες τιμών Chl-a, SST και SSS με ετήσιους μέσους όρους. Οι 3 εικόνες τοποθετήθηκαν σε ένα κοινό directory (stack). Ακολουθώντας τη τεχνική των κινούμενων μέσων όρων (migrating means) χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστούν οι 4 ομάδες τιμών (clusters) και για να τοποθετηθεί κάθε pixel από τις 3 εικόνες σε μια από τις 4 ομάδες τιμών [8]. Η εποχική επιφανειακή κατανομή της χλωροφύλλης στο Βόρειο και Νότιο Αιγαίο υπολογίστηκε από τις μηνιαίες χρονοσειρές χωρίζοντας τη περιοχή μελέτης σε Βόρειο ( $22^{\circ}\text{A}/28^{\circ}\text{A}$  και  $38^{\circ}\text{B}/41^{\circ}\text{B}$ ) και Νότιο Αιγαίο ( $22^{\circ}\text{A}/28^{\circ}\text{A}$  και  $35^{\circ}\text{B}/38^{\circ}\text{B}$ ). Η κλιματολογία υπολογίστηκε από δεδομένα 24 μηνών.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της μη καθοδηγούμενης ανάλυσης ομάδων συνοψίζονται στο Σχήμα 1 και Πίνακα 1. Οι τέσσερις περιοχές (ομάδες) της ανάλυσης έχουν ως εξής. Η πρώτη ομάδα (I) με την υψηλότερη μέση κατανομή χλωροφύλλης και χαμηλότερη επιφανειακή αλατότητα και θερμοκρασία χαρακτηρίζει το περισσότερο Βόρειο Αιγαίο. Σχετίζεται με τα κρύα και χαμηλής αλατότητας αλλά πλούσια σε θρεπτικά νερά των ποτάμιων απορρο-



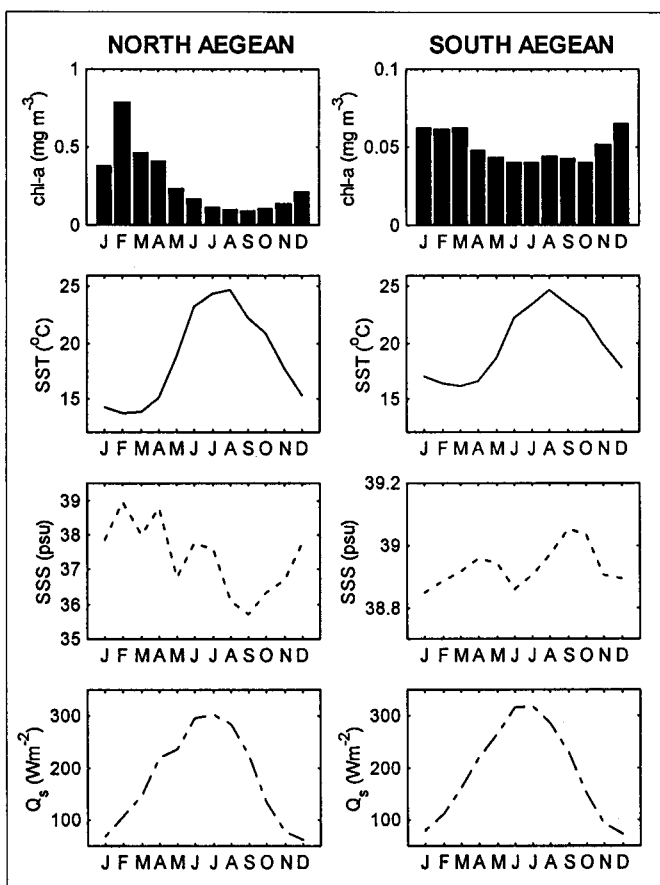
ών και της εξόδου της Μαύρης Θάλασσας στο Βόρειο Αιγαίο. Η δεύτερη ομάδα (II) κατανέμεται στο κεντρικό Αιγαίο και την χαρακτηρίζει η επιρροή των νερών της Μαύρης Θάλασσας στο oligοτροφικό περιβάλλον του Αιγαίου [9].

Σχήμα 1:

Γεωγραφική κατανομή των 4 ομάδων τιμών (clusters) με σαφή διαχωρισμό Βόρειου και Νότιου Αιγαίου.

Πίνακας 1: Όρια γεωγραφικών περιοχών κατανομής χρωστικής χλωροφύλλης επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας και επιφανειακής αλατότητας.

Chl-a Mgm <sup>-3</sup>	SST °C	SSS Psi	ΠΕΡΙΟΧΗ
0.19	18.4	36.3	I
0.10	19.0	38.4	II
0.08	20.3	38.8	III
0.06	22.0	38.8	IV



Σχήμα 2: Εποχική διακύμανση συγκέντρωσης χλωροφύλλης στο Βόρειο και Νότιο Αιγαίο. Επίσης απεικονίζονται η αντίστοιχη επιφανειακή θερμοκρασία και αλατότητα καθώς και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

Η τρίτη ομάδα (III) αντιπροσωπεύει τα νερά του Νοτίου Αιγαίου με χαμηλές συγκεντρώσεις χρωστικής της χλωροφύλλης και σχετικά υψηλές τιμές αλατότητας και θερμοκρασίας. Τέλος η τέταρτη ομάδα επικεντρώνεται στην περιοχή του ρεύματος της Μικράς Ασίας και του Αντικυκλώνα τις Ιεράπετρας. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα νερά αυτά είναι ιδιαίτερα ολιγοτροφικά και θερμά.

Η χρονική (εποχική) κατανομή στο Βόρειο και Νότιο Αιγαίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Στο Βόρειο Αιγαίο, μέγιστο της συγκέντρωσης έχουμε τον Μάρτιο και ελάχιστο τον Αύγουστο. Επίσης υπάρχει έντονο πλάτος διακύμανσης.

Η αλατότητα τον χειμώνα είναι σχετικά υψηλή λόγω της μείξης και η θερμοκρασία χαμηλή λόγω της απώλειας θερμότητας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μέγιστο των ποτάμιων απορροών (πλούσιων σε θρεπτικά) παρατηρείται κατά τον Μάρτιο. Στο νότιο Αιγαίο η επιφανειακή συγκέντρωση της χλωροφύλλης είναι σχεδόν μία τάξη μεγέθους μικρότερη και χαρακτηρίζεται από μικρό εποχικό εύρος διακύμανσης. Το μέγιστο παρατηρείται το Χειμώνα. Είναι η εποχή που, λόγω κατακόρυφης μεταφοράς βαθιά και πλούσια σε θρεπτικά νερά έρχονται στην επιφάνεια και επαυξάνουν την πρωτογενή παραγωγή (χαρακτηριστικό ολιγοτροφικού συστήματος). Παρόμοια συμπεριφορά έχει παρατηρηθεί και με εικόνες CZCS στη Λεβαντίνη [10]. Τέλος η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι ισχυρότερη στο Νότιο Αιγαίο με μέγιστο τον Ιούνιο - Ιούλιο και στο Βόρειο τον Ιούλιο, αλλά δεν δικαιολογεί από μόνη της σημαντική διαφοροποίηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης στις δύο υπολεκάνες. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ επιφανειακά η συγκέντρωση της χλωροφύλλης έχει διαφορά μίας τάξης μεγέθους στις δύο λεκάνες, η ολοκληρωμένη συγκέντρωση της στήλης εμφανίζεται να έχει μικρότερη απόκλιση [11]. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στην οριζόντια ροή θρεπτικών στο Βόρειο Αιγαίο που παραμένουν εγκλωβισμένα σε ένα επιφανειακό στρώμα νερού χαμηλής πυκνότητας. Αντίθετα στο Νότιο Αιγαίο καθοριστική είναι η κατακόρυφη μείξη και ανάβλυση θρεπτικών.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, και οι δύο λεκάνες του Αιγαίου έχουν χαρακτηριστικά ολιγοτροφικό με το Βόρειο Αιγαίο να έχει διαφορά μίας τάξης μεγέθους από το Νότιο στην επιφανειακή συγκέντρωση της χλωροφύλλης. Η επιφανειακή κατανομή στο Βόρειο Αιγαίο επηρεάζεται έντονα από τις ποτάμιες απορροές και από την έξοδο των νερών της Μαύρης Θάλασσας από τα Δαρδανέλλια.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] STERGIU K.I. and GEORGOPOULOS D., 1993. The distribution of phytoplankton pigments and the fishery of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Hellenic Seas, Naga (ICLARM Quarterly) 16, 34-37.
- [2] McCLAIN, C.R., W.E. ESAIAS, W. BARNES, B. GUENTHER, D. ENDRES, S. HOOKER, G. MITCHELL, and R. BARNES, 1992: Calibration and Validation Plan for SeaWiFS. NASA Tech. Memo. 104566, Vol. 3, S.B. Hooker and E.R. Firestone, Eds., NASA, Greenbelt, Maryland, 41 pp.
- [3] DLR, 1993. Deutsches Zentrum fur Luft- und Raumfahrt, Germany. <http://www.dlr.de/>
- [4] BRASSEUR P., J.M. BECKERS, J.M. BRANKART, R. SCHOENAUEN, 1996. Seasonal temperature and salinity fields in the Mediterranean Sea: Climatological analyses and historical data set. Deep-Sea Res., 43, 159-192.
- [5] POULOS, S.E., P.G. DRAKOPOULOS, and M.B. COLLINS, 1997. Seasonal variability in the sea surface oceanographic conditions in the Aegean (Eastern Mediterranean): An overview, J. Mar. Systems, 13, 225-244.
- [6] VALAVANIS, D.V., GEORGAKARAKOS, S., and J. HARALABOUS, 1998. A Methodology for GIS Interfacing of Marine Data. In: Proceedings of GISPlaNET Int'l Conference. Sep. 7-11, 1988. Lisbon, Portugal.
- [7] BARALE V., I. ZIN and C. VILLACASTIN, 1998. Geographical provinces of the Mediterranean Sea from the surface colour and temperature historical record, Rapp. Comm. Int. Mer. Medit., 35, 110-111.
- [8] BALL, G.H. and D.J. HALL, 1965. A Novel Method of Data Analysis and Pattern Classification. Stanford Research Institute, Menlo Park, California, USA.
- [9] ERGIN M., M.N. BODUR, D. EDIGER, V. EDIGER and A. YILMAZ, 1993. Organic carbon distribution in the surface sediments of the Sea of Marmara and its control by the inflows from adjacent water masses, Marine Chemistry 41, 311-326.
- [10] VAN DIJKEN G.L., K.R. ARRIGO, 1996. Ocean Color Remote Sensing of the Southeastern Mediterranean Sea, Eos, Transactions, AGU, 76, p167.
- [11] IGNATIADES, L., KOZANOGLU K., GOTSIS-SKRETAS, PAGOU K., ASIMAKOPOULOU G., PSARRA S., ZIVANOVIC S., Seasonal variation of fractionated chlorophyll a and primary production in N and S Aegean Sea, in 3rd MTP-II Workshop - Abstracts, October 1998 Rhodes.