

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ: 2Δ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΩΝ
ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΘΑΛΑΣΣΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗΣ (ΑΦΙΣΑ)

Γεράσιμος Βαβάσης*, Χάρης Κοντοές**, Βύρων Νάκος***, Δημήτρης Γεωργόπουλος****

*Ρενιέρη 28, 11143 Αθήνα, 210-2510672, 210-5061821, mvavasis@hol.gr

**Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Π. Πεντέλη, 15236 Αθήνα, 210-8109186 kontoes@space.noa.gr,

***Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου,
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου, 210-7722733, bnakos@central.ntua.gr

****Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, 19013 Ανάβυσσος Αττικής, 22910-76329

Περίληψη

Στη εργασία αυτή μελετάται το θαλάσσιο περιβάλλον με τη χρήση του δορυφορικού συστήματος SeaWiFS/SeaStar, και αξιοποίηση εικόνων που λαμβάνονται συστηματικά από τους σταθμούς συλλογής του Ινστιτούτου Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης (ΙΔΕΤ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ), με σκοπό τη μελέτη της διαχρονικής μεταβολής του φυτοπλαγκτού στη θαλάσσια περιοχή του Β. Αιγαίου. Γίνονται συσχετίσεις των δορυφορικών παρατηρήσεων με δεδομένα δειγματοληψιών, που διενεργεί το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ). Παράλληλα καταγράφεται η συσχέτιση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α, με την θερμοκρασία της θαλάσσιας επιφάνειας, για μια χρονική περίοδο. Παράλληλα γίνεται αναφορά στα πρώτα στοιχεία για τη μελέτη και παρατήρηση της θαλάσσιας τοπογραφίας στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, χρησιμοποιώντας στοιχεία αλιμετρίας (ύψος κύματος και ταχύτητα ανέμου) του δορυφόρου Jason-1

1. Εισαγωγή

Η ραγδαία ανάπτυξη της δορυφορικής τεχνολογίας έδωσε τη δυνατότητα για παρατήρηση και παρακολούθηση της γης από το διάστημα, με σκοπό τη μελέτη του περιβάλλοντος, του παγκόσμιου κλίματος, των φυσικών φαινομένων αλλά και της επίδρασης των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στον πλανήτη.

(Keller 2000).

Στη εργασία αυτή γίνεται συλλογή, επεξεργασία, ανάλυση και οπτικοποίηση δορυφορικών δεδομένων SeaWiFS, που λαμβάνονται συστηματικά από τους σταθμούς συλλογής του Ινστιτούτου Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης (ΙΔΕΤ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) και που αφορούν στο θαλάσσιο περιβάλλον του Β. Αιγαίου. Γίνεται σύγκριση των παρατηρήσεων αυτών με δεδομένα δειγματοληψιών που διενεργεί το Εθνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ). Παράλληλα γίνεται προσπάθεια συσχέτισης της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α, στην ίδια περιοχή, με τη θερμοκρασία της θαλάσσιας επιφάνειας, για μια χρονική περίοδο. Το Β. Αιγαίο παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον σε ότι αφορά τη παραγωγή φυτοπλαγκτού και αυτό γιατί στη θαλάσσια αυτή περιοχή εκβάλλουν τα σημαντικότερα ποτάμια του ελλαδικού χώρου (Πηνειός, Αλιάκμονας, Αξιός, Στρυμόνας, Νέστος και Έβρος), και ταυτόχρονα υπάρχει συνεχής ροή νερού από τα Στενά των Δαρδανελίων, που προέρχονται από τη Μαύρη Θάλασσα, τα οποία επιδρούν έντονα στη δυναμική της ευρύτερης περιοχής. Τα στοιχεία εκτιμήσεων φυτοπλαγκτού συσχετίζονται με δεδομένα κατάστασης της θάλασσας με σκοπό τη καλύτερη διαχείριση των αλιευτικών πόρων στην θάλασσα του Αιγαίου. Να σημειωθεί ότι τα δεδομένα της κατάστασης της θάλασσας που προσφέρει το δορυφορικό σύστημα Jason-1 μπορούν να βοηθήσουν στην κατεύθυνση αυτή ενώ ταυτόχρονα δίνουν στοιχεία για την καλύτερη κατανόηση και διαχείριση του θαλάσσιου περιβάλλοντος όπως η πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών, η ασφάλεια της ναυσιπλοΐας, ο έλεγχος της θαλάσσιας μόλυνσης, αλιεία, μελέτη και πρόβλεψη ακραίων καιρικών φαινομένων και άλλα.

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Δεδομένα

Η αξιολόγηση των παρατηρήσεων SeaWiFS γίνεται με την χρήση δειγματοληψιών του που διενεργεί το ΕΛΚΕΘΕ σε τακτά χρονικά διαστήματα (in situ) που αφορούν στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου.



Οι μετρήσεις (Πίνακες 1, 2, 3 και 4) αναφέρονται σε τρεις χρονικές περιόδους: Ιούνιος 1998, Σεπτέμβριος 1998 και Οκτώβριος 2001 και στη θαλάσσια περιοχή που οριοθετείται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες $40^{\circ} 49' 30''$, $22^{\circ} 42' 30''$ και $38^{\circ} 59'$, $25^{\circ} 48'$. Οι αντίστοιχοι σταθμοί μετρήσεων φαίνονται στο Χάρτη 1.

Χάρτης 1. Σταθμοί συλλογής χλωροφύλλης στο Β. Αιγαίο.

2.2 Μεθοδολογία

Οι εικόνες 1Α και 1Β, δείχνουν την κατανομή της χλωροφύλλης και τους σχηματισμούς των δυναμικών δομών φυτοπλαγκτού και θερμοκρασίας της θαλάσσιας επιφάνειας.

Στην πρώτη εικόνα φαίνεται καθαρά η εισροή υδάτων, με μεγάλη συγκέντρωση χλωροφύλλης, από τα στενά των Δαρδανελίων (BSW), καθώς και τα oligotροφικά νερά (LSW) που καταλαμβάνουν την κεντρική και νότια περιοχή του Β. Αιγαίου. Επίσης παρατηρείται ότι η κύρια ποσότητα των νερών από τη Μαύρη Θάλασσα (BSW) διέρχονται από το στενό μεταξύ των νήσων Λήμνου και Ίμβρου, δημιουργώντας έναν αντικυκλώνα, ο οποίος συναντά το ριπίδιο διασποράς στην περιοχή των εκβολών του ποταμού Έβρου, με αποτέλεσμα να το ωθεί προς τα ανατολικά και στη συνέχεια προς νότο.

Για τα αποτελέσματα των μετρήσεων *in situ* και των αντίστοιχων από τον *SeaWiFS* αξίζει να αναφερθεί ότι:

- Οι μετρήσεις στο σταθμό IR-08 (χάρτης 1) είναι φανερό ότι επηρεάζονται από τις υδάτινες μάζες του ποταμού Έβρου, που εκβάλλει στην ευρύτερη περιοχή.
- Ο σταθμός IR-12 είναι παράκτιος, ανατολικά της νήσου Θάσου, αρκετά κοντά στα παράλια της και επομένως το βάθος της θάλασσας είναι μικρό.
- Οι μετρήσεις αφορούν σε θαλάσσια περιοχή που δέχεται ισχυρή επίδραση από τα ποτάμια νερά της Β. Ελλάδας, καθώς και από τα νερά που εκρέουν από τη Μαύρη Θάλασσα, μέσα από τα στενά των Δαρδανελίων (BSW).

Παρατηρώντας τις δύο δορυφορικές εικόνες *SeaWiFS* και *NOAA*, είναι εμφανείς οι ομοιότητες σε χαρακτηριστικές δομές που σχηματίζονται, ενώ ο λόγος για τον οποίο κάποιες δεν ταυτίζονται ή δεν φαίνονται καθαρά στην εικόνα της θερμοκρασίας (Εικόνα 2Β), εστιάζεται στο γεγονός ότι το επιφανειακό στρώμα της θάλασσας έχει ήδη θερμανθεί από τον ήλιο, έστω και λίγο, με αποτέλεσμα το ποσό της θερμότητας που εκπέμπεται, να κρύβει τις δομές της θαλάσσιας επιφάνειας. Η ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων, που αναφέρονται στους Πίνακες 1, 2, 3 και 4, έδωσε την δυνατότητα να σχεδιαστεί η γραφική παράσταση (Διάγραμμα 1) που ακολουθεί, δίνοντας μια εικόνα, όπου αυτό είναι δυνατό, (α) της σχέσης των *in situ* δειγμάτων με τις δορυφορικές παρατηρήσεις *SeaWiFS* και (β) τη σχέση των αποτελεσμάτων του κάθε είδους μέτρησης ξεχωριστά με το βάθος της θάλασσας.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εξαγωγή συμπερασμάτων πρέπει να γίνει με πολλή προσοχή.

Είναι βασική διαπίστωση ότι χρειάζονται και άλλες παρατηρήσεις προκειμένου να εξαχθούν καθαρά συμπεράσματα, διότι η κατανομή της χλωροφύλλης δεν είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη δυναμική της περιοχής. Τα BSW πάντως, έχουν τη δυνατότητα να συντηρήσουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης από τις άλλες περιοχές του Β. Αιγαίου και άρα η χλωροφύλλη μπορεί για τα νερά αυτά να αποτελέσει έναν καλό ιχνηθέτη. Σε γενικές γραμμές οι δομές, που σχηματίζονται από τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης στην περιοχή του Β. Αιγαίου, φαίνονται από τον αισθητήρα *SeaWiFS* πολύ ευδιάκριτες και χαρακτηριστικές και σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατή η ταυτοποίησή τους με τις δομές, που καταγράφονται στο θερμικό υπέρυθρο από τους δορυφόρους *NOAA*. Παρ' όλο που δεν είναι σίγουρη η άμεση σχέση της κατανομής της χλωροφύλλης με τη δυναμική της περιοχής, σημειώνονται δομές, που φαίνεται να είναι χαρακτηριστικές της ευρύτερης περιοχής:

- Ο αντικυκλώνας της Σαμοθράκης, ο οποίος σχηματίζεται με τα νερά της Μαύρης Θάλασσας (BSW) πλούσια σε φυτοπλαγκτό και νερά χαμηλότερης θερμοκρασίας.
- Το ριπίδιο διασποράς του Έβρου με την έντονη επίδραση στα παράκτια νερά της Θράκης.

- Έντονη ροή νερών, με μεγάλη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη και χαμηλότερη θερμοκρασία, στο εσωτερικό του Θερμαϊκού Κόλπου, που οφείλεται πιθανότατα στην ισχυρή επίδραση των ποτάμιων νερών του Αξιού, Αλιάκμονα και Πηνειού καθώς και στις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή (βορειοδυτικοί άνεμοι φαινόμενο *upwelling*).
- Το μέτωπο που σχηματίζουν από τον Άγιο Ευστράτιο μέχρι τις Β. Σποράδες (θερμόαλο) τα νερά του κεντρικού και ανατολικού Αιγαίου (LSW) με μικρότερη περιεκτικότητα χλωροφύλλης.

Οι τιμές της συγκέντρωσης χλωροφύλλης, υπολογιζόμενες από τον αισθητήρα *SeaWiFS*, παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από αυτές των δειγματοληπτικών μετρήσεων. Η καταγραφόμενη τιμή χλωροφύλλης από το δορυφόρο *SeaWiFS* είναι συστηματικά μεγαλύτερη από τις παρατηρούμενες *in situ* τιμές. Σε ανάλογα συμπεράσματα καταλήγουν και οι D' Ortenzio et al. (2002) στη μελέτη τη σχετική με βαθμονόμηση και αξιολόγηση του εμπειρικού αλγορίθμου *SeaWiFS* στο χώρο της Μεσογείου. Με δεδομένο το πλαίσιο που αναπτύχθηκε οι καταγραφές της χλωροφύλλης από το δορυφόρο *SeaWiFS* πρέπει να αντιμετωπιστούν με κριτικό πνεύμα και για τα παραγόμενα αποτελέσματα να ληφθεί υπόψη ότι:

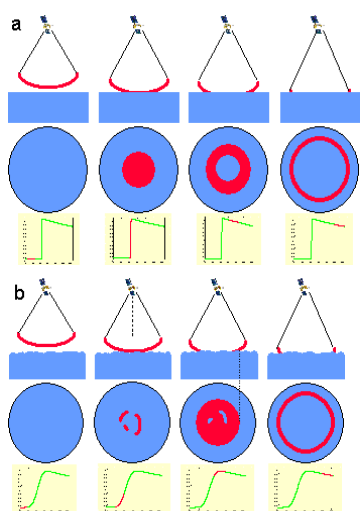
- Ο αριθμός των διαθέσιμων μετρήσεων είναι πολύ μικρός (22) και σε μερικές από αυτές η δορυφορική λήψη φαίνεται να επηρεάζεται από τεχνικά προβλήματα (θόρυβος) ή δυσμενείς καιρικές συνθήκες (νέφη).
- Ο αλγόριθμος, που χρησιμοποιείται από το λογισμικό *SeaDAS*, για την ατμοσφαιρική διόρθωση ξεκινά από μια τιμή συγκέντρωσης χλωροφύλλης 0.2 mg/m^3 και επαναλαμβάνεται μόνο αν η επόμενη τιμή, που θα προκύψει, διαφέρει περισσότερο από 20% σε σχέση με την προηγούμενη. Αν δε, η τιμή μετά την πρώτη επανάληψη είναι μικρότερη από 0.3 mg/m^3 , η διαδικασία σταματά (Siege et al. 1999). Με τη διαδικασία αυτή φαίνεται ότι δύσκολα μπορεί να προσδιοριστούν μικρές τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης ολιγοτροφικών περιοχών, όπως είναι η Μεσόγειος, αφού το αρχικό σφάλμα είναι πολύ σημαντικό. Επιπλέον, ο ελλαδικός χώρος συχνά καλύπτεται από νέφη σκόνης και άμμου, που προέρχονται από τη Β. Αφρική που επηρεάζουν τη δορυφορική λήψη (Bailey 2002).

Αξίζει πάντως να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, η βαθυμετρία της περιοχής μέτρησης παίζει κάποιο ρόλο, στην απόκλιση των τιμών μεταξύ δορυφορικών και δειγματοληπτικών-*in situ*. Η απόκλιση είναι μικρότερη σε περιοχές με μεγάλο βάθος θάλασσας, ενώ σε παράκτιους σταθμούς είναι σημαντικά μεγαλύτερη (Διάγραμμα).

Να σημειωθεί ότι συνεχής βελτίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών του δορυφόρου και του αισθητήρα, και η περαιτέρω βελτιώσεις του λογισμικού *SeaDAS*, αναμένεται να δώσουν πιο ρεαλιστικές και ολοκληρωμένες πληροφορίες στην επιστημονική κοινότητα. Το σύστημα αυτό σε συνδυασμό με το δορυφόρο *Jason-1* (συνεργασία NASA, και του Εθνικού Κέντρου Διαστημικών Ερευνών στη Γαλλία (CNES)) προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για το θαλάσσιο περιβάλλον (π.χ. ύψος κύματος και ταχύτητα ανέμου).



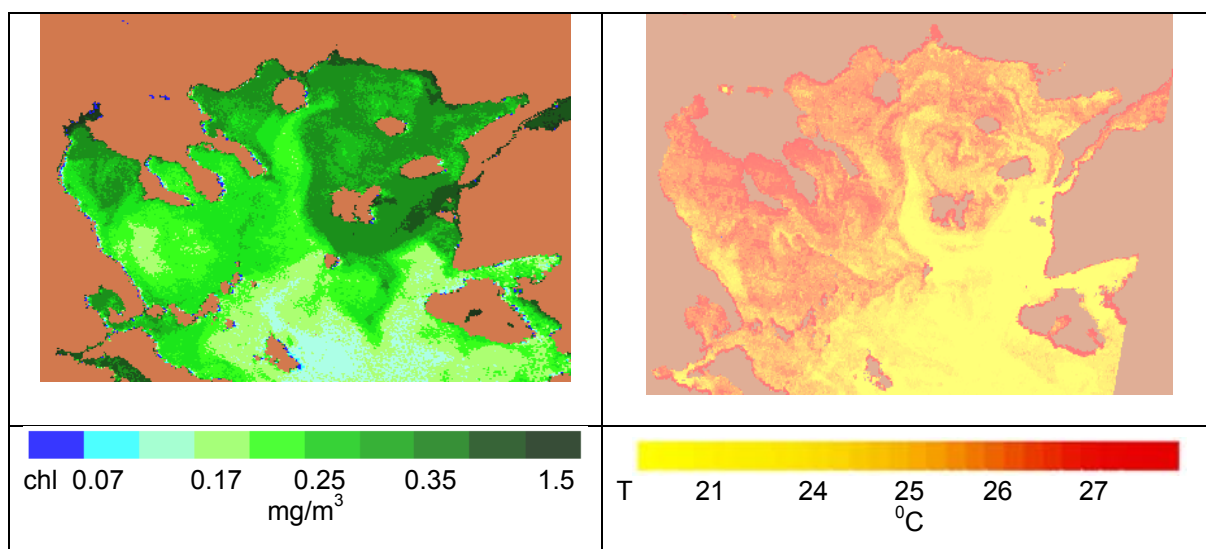
Σχήμα 1. Συστήματα του Jason-1. Για να πετύχει ο Jason-1 τους στόχους του είναι εφοδιασμένος με ένα αλτίμετρο (Poseidon-2), ένα ραδιόμετρο (JMR), έναν ανκλαστήρα ακτίνων laser (LRA), και τα συστήματα DORIS και TRSR. Το αλτίμετρο Poseidon-2 είναι ένα ραντάρ που χρησιμοποιεί δύο διαφορετικές συχνότητες για να υπολογίσει το ύψος του δορυφόρου, ενώ τα υπόλοιπα συστήματα είναι απαραίτητα για την ακρίβεια του προσδιορισμού της θέσης του. (Σχήμα 1.) Από τα στοιχεία αλτιμετρίας του δορυφόρου υπολογίζεται κυρίως το ύψος της θαλάσσιας επιφάνειας, αλλά και η μέτρηση του ύψους κύματος, σημαντικότητας παράγοντας στην πρόγνωση καιρού και στην ναυσιπλοΐα.



Σχήμα 2. Μέθοδος υπολογισμού ύψους κύματος. Το αλτίμετρο του ραντάρ λαμβάνει το ανακλώμενο κύμα, η ένταση του οποίου μεταβάλλεται ως προς το χρόνο. Όταν η θαλάσσια επιφάνεια είναι επίπεδη (α), το πλάτος του ανακλώμενου κύματος αυξάνει απότομα από τη στιγμή που το μέτωπο πρόσπτωσης του σήματος κτυπήσει την επιφάνεια. Αντίθετα σε φουσκοθαλασσιά ή σε τραχιά θαλάσσια επιφάνεια (κύμα) (β), το σήμα του ραντάρ κτυπάει τη κορυφή του κύματος και στη συνέχεια και άλλες κορυφές κυμάτων με αποτέλεσμα να προκαλεί βαθμιαία αύξηση του πλάτους του δορυφορικού σήματος. Το ύψος κύματος υπολογίζεται από την κλίση της καμπύλης που παριστάνει τη μεταβολή του πλάτους του ανακλώμενου σήματος ως προς το χρόνο. (Σχήμα 2α,β).

Είναι σε εξέλιξη η μελέτη των δυνατοτήτων του δορυφορικού αισθητήρα και της ακρίβειας των μετρήσεων που συλλέγει, καθώς μπορεί να γίνει σύγκριση των δορυφορικών μετρήσεων με τις «in situ» μετρήσεις, που άρχισαν να συλλέγονται για την περιοχή του Αιγαίου.

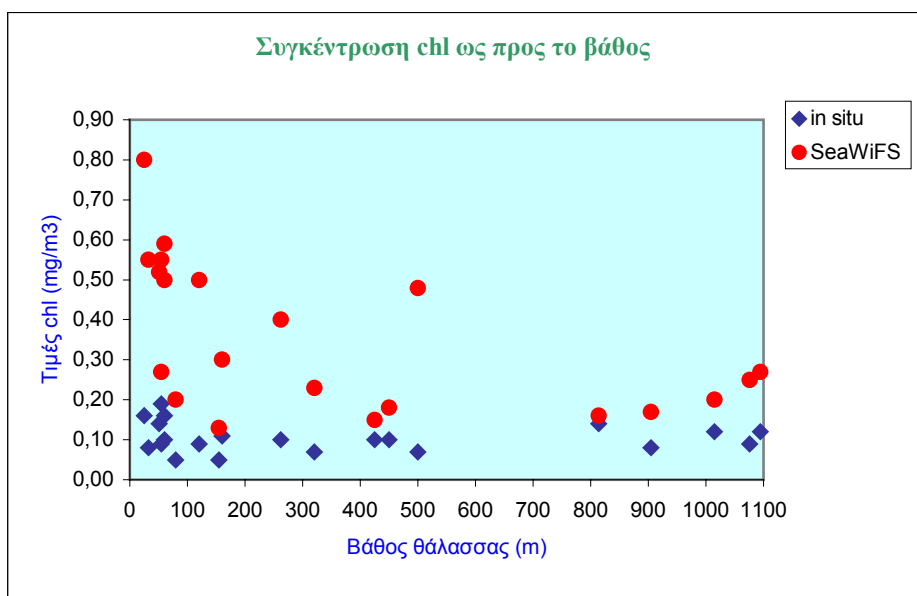
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ



Εικόνα 1. Κατανομή χλωροφύλλης (Α) και θερμοκρασίας της θαλάσσιας επιφάνειας (Β), στις 17.7.2002.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1. Σχέση της SeaWiFS και in situ μέτρησης ως προς το βάθος της θάλασσας



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bailey, S., 2002, Προσωπική Επικοινωνία (sbailey@simbios.gsfc.nasa.gov).
- Keller, R., 2000, *An Introduction to Remote Sensing*, El Paso, University of Texas.
- D' Ortenzio, F., Marullo, S., Ragani, M., d' Alcalà, M.R., Santoleri, R., 2002, Validation of empirical SeaWiFS algorithms for chlorophyll-*a* retrieval in Mediterranean Sea. A case study for oligotrophic seas. *Remote Sensing of Environment*, 82, 79-94.
- O' Reilly, J. et al., 2000, *SeaWIFS Postlaunch calibration and Validation Analyses, Volume 11, Part 3*, Chapter 2, (p. 10,12,15,19).
- Siegel, D.A., Wang, M., Maritorena, S., and Robinson, W., 1999, *Atmospheric Correction of Satellite Ocean Color Imagery: The Black Pixel Assumption*, Applied Optics.

6ο Πανελλήνιο Συνέδριο
Περιβάλλοντος
Θεσσαλονίκη 9-12 Δεκεμβρίου 2004