

ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΛΕΣΒΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΓΠ

Κατσάρα Νίκη^{*1}, Βασιλάκος Χρήστος², Τοπουζέλης Κωνσταντίνος³

¹ Τελειόφοιτος Γεωγράφος, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, 81100, Μυτιλήνη, geo13073@geo.aegean.gr

² ΕΔΠ, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, 81100, Μυτιλήνη, chvas@aegean.gr

³ Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, 81100, Μυτιλήνη, topouzelis@marine.aegean.gr

Τηλ. 697-9932-610, e-mail: geo13073@geo.aegean.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ευτροφισμός είναι ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα που εμφανίζεται κυρίως στα στάσιμα νερά, όπως οι λίμνες και οι κλειστοί αβαθείς κόλποι και γενικά σε περιοχές με αργή ανανέωση των υδάτων. Οι αιτίες του ευτροφισμού είναι η αύξηση των θρεπτικών στοιχείων (νιτρικών, αζωτούχων και φωσφορικών ενώσεων) στο νερό. Οι ενώσεις αυτές προέρχονται κυρίως από γεωργικά λιπάσματα, από αγροτικές/γεωργικές περιοχές μέσω απορροών ακατέργαστων απόβλητων ή περιττωμάτων ζώων, καθώς επίσης και από τα ανθρώπινα λύματα και απορροές των επιχειρήσεων. Κατά το φαινόμενο του ευτροφισμού παρουσιάζεται μεγάλη ανάπτυξη βακτηρίων και φυκών. Ο κύκλος ανάπτυξής τους καταναλώνει το οξυγόνο που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό, ενώ η αποσύνθεση της οργανικής ύλης των φυτών απελευθερώνει θρεπτικά άλατα και δημιουργούνται συνθήκες αύξησης των φυκών, με αποτέλεσμα τα νερά να γίνονται θολά με δυσάρεστες οσμές. Η κάλυψη της επιφάνειας από τα φύκη εμποδίζει την οξυγόνωση και προκαλεί έλλειψη φωτός στον πυθμένα, με συνέπεια τη μείωση τόσο των φωτοσυνθετικών όσο και των μη-φωτοσυνθετικών οργανισμών. Ο ευτροφισμός είναι ένα φαινόμενο άξιο μελέτης και η τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) προσφέρουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της χωρικής και χρονικής κατανομής του φαινομένου σε μεγάλης έκτασης περιοχές με μικρό κόστος. Στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση του φαινομένου της έξαρσης του ευτροφισμού κατά τη δεκαετία 2000-2010 στην παράκτια περιοχή της νήσου Λέσβου με τη χρήση των εργαλείων Γεωπληροφορικής. Η Λέσβος έχει δύο κόλπους με στενά στόμια τον κόλπο Καλλονής που βρίσκεται στο κέντρο του νησιού και ο μικρότερος κόλπος της Γέρας που βρίσκεται στα ανατολικά του. Επίσης στο ανατολικό και το βόρειο μέρος του νησιού δημιουργείται μία στενή δίοδος μεταξύ της νήσου και των ακτών της Τουρκίας. Συνεπώς, λόγω της αργής ανανέωσης των υδάτων αλλά και των γεωμορφολογικών συνθηκών της περιοχής ευνοείται η ανάπτυξη του φαινομένου του ευτροφισμού. Για τη μελέτη του φαινομένου κάλυψης των αιωρούμενων κυανοφυκών χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης αιωρούμενης άλγης FAI (Floating Algae Index). Ο δείκτης FAI ορίζεται ως η διαφορά της ανακλαστικότητας μεταξύ του κοντινού υπέρυθρου NIR (Near Infrared) και μιας διορθωμένης ανακλαστικότητας του κοντινού υπέρυθρου, η οποία προέρχεται από τη χρήση των γειτονικών φασμάτων του κόκκινου R (Red) και

των μικρών μήκους υπέρυθρων κυμάτων SWIR (Sort Wave Infrared). Ο δείκτης FAI παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ή τον δείκτη ενισχυμένης βλάστησης EVI (Enhanced Vegetation Index) γιατί ο FAI είναι λιγότερο ευαίσθητος σε περιβαλλοντικές μεταβλητές και στις συνθήκες παρατήρησης (τύπος και ποσότητα αερολυμάτων, γεωμετρία ήλιου/στόχου). Για τον υπολογισμό του δείκτη FAI χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Landsat-TM (Thematic Mapper) για τα έτη 2000, 2005 και 2010 και για τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο, πλην του έτους 2000 όπου δεν ήταν διαθέσιμη εικόνα του Σεπτεμβρίου. Οι εικόνες αποκτήθηκαν από την ηλεκτρονική πλατφόρμα διανομής δεδομένων Landsat της USGS και συγκεκριμένα αποκτήθηκαν τα δεδομένα ανακλαστικότητας διορθωμένα ως προς τη σκέδαση Rayleigh (Surface Reflectance) τα οποία απαιτούνται για την εφαρμογή του δείκτη FAI. Κατά την προεπεξεργασία των δεδομένων δημιουργήθηκε μάσκα στεριάς για τον αποκλεισμό των εικονοστοιχείων που κάλυπταν την στεριά. Τα αποτελέσματα έδειξαν σχετική αύξηση του δείκτη FAI μεταξύ του 2000 και του 2010. Παρατηρήθηκε ανάπτυξη της αιωρούμενης άλγης κυρίως στην ανατολική πλευρά του νησιού. Ο κόλπος της Καλλονής παρουσίασε μικρότερη τιμή FAI από ότι ο κόλπος της Γέρας, αφού στο στόμιό του δευτέρου εμφανίστηκαν οι πρώτες ενδείξεις ευτροφισμού. Το 2005 το φαινόμενο επεκτείνεται και στο εσωτερικό του κόλπου Γέρας, ενώ και ο κόλπος της Καλλονής παρουσιάζει τα πρώτα σημάδια συσσώρευσης αιωρούμενης άλγης. Επιπρόσθετα, διακρίνεται μεγάλη διαφορά ανάμεσα στους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο του 2010, όπου τον Σεπτέμβριο παρουσιάζεται μια μεγάλη χωρική εξάπλωση στο στενό της Μυτιλήνης με την Τουρκία. Η εξάπλωση παρουσιάζεται από τις νήσους Τουκμάκια μέχρι και την περιοχή του αεροδρομίου, ενώ ο κόλπος της Καλλονής και οι παραλίες στη νότια Λέσβο (Πλωμάρι, Βατερά) καθώς και η είσοδος του κόλπου Γέρας εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων κυανοφυκών. Συμπερασματικά, το φαινόμενο του ευτροφισμού στην Λέσβο παρατηρείται σε περιοχές όπου δεν είναι συνδεδεμένες στο αποχετευτικό δίκτυο και κυρίως στην ανατολική Λέσβο λόγω της δύσκολης ανανέωσης του νερού. Η Τηλεπισκόπηση ως εργαλείο ανίχνευσης καθώς και ΣΓΠ ως εργαλείο χαρτογράφησης και περαιτέρω ανάλυσης μπορούν να έχουν σημαντική συμβολή στη διαχείριση του φαινομένου του ευτροφισμού.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ευτροφισμός, δείκτης αιωρούμενης άλγης (FAI), τηλεπισκόπηση, συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (ΣΓΠ)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ευτροφισμός είναι ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα που εμφανίζεται κυρίως στα στάσιμα νερά όπως οι λίμνες και οι κλειστοί αβαθείς κόλποι και γενικά σε περιοχές με αργή ανανέωση των υδάτων (Smith & Schindler, 2009). Οι αιτίες του ευτροφισμού είναι η υπέρμετρη αύξηση φορτίων της οργανικής ύλης και συγκέντρωση που ξεπερνά το φυσιολογικό όριο θρεπτικών στοιχείων (νιτρικών, αζωτούχων και φωσφορικών ενώσεων). Αυτές οι ενώσεις, σε φυσιολογικά πλαίσια είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών και του πλαγκτόν, τα οποία αποτελούν τροφή για τους μη-φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, διότι είναι η βάση της θαλάσσιας τροφικής αλυσίδας. Προέρχονται κυρίως από γεωργικά λιπάσματα, ανθρώπινα λύματα και βιομηχανικά

απόβλητα (Μακρής, 2010, 2014). Κατά το φαινόμενο του ευτροφισμού παρουσιάζεται μεγάλη ανάπτυξη βακτηρίων και φυκών. Ο κύκλος ανάπτυξής τους καταναλώνει το οξυγόνο που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό, ενώ η αποσύνθεση της οργανικής ύλης των φυτών απελευθερώνει θρεπτικά άλατα (Dokulil & Teubner, 2000). Δημιουργούνται συνθήκες αύξησης των φυκών, με συνέπεια τα νερά να γίνονται θολά με δυσάρεστες οσμές, μέσα στα οποία παράγονται τοξίνες (κυανοτοξίνες) πολλαπλάσιες από τα όρια που ορίζει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ.), (Κυδωνάκη 2010, Mankiewicz et al., 2002). Οι τοξίνες αυτές είναι επικίνδυνες τόσο για την υγεία των ανθρώπων, λόγω της πρόκλησης καρκινογένεσεων, όσο και για το οικοσύστημα (Carpenter et al., 1998, Chorus & Bartram, 1999, Song et al., 2015). Η κάλυψη της επιφάνειας από την άλγη εμποδίζει την οξυγόνωση και προκαλεί έλλειψη φωτός στον πυθμένα, με συνέπεια τη μείωση τόσο των φωτοσυνθετικών όσο και των μη-φωτοσυνθετικών οργανισμών. Τα ψάρια είναι οι πρώτοι οργανισμοί που πεθαίνουν, ενώ ακολουθούν και τα βακτήρια, δημιουργώντας ένα νεκρό οικοσύστημα. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η πτώση της ποιότητας του νερού, η μεταβολή της χλωρίδας και πανίδας των νερών, η μείωση της αισθητικής αξίας του περιβάλλοντος καθώς και οι περιορισμένες δυνατότητες για αναψυχή (Μακρής, 2010, 2014).

Ο ευτροφισμός είναι ένα φαινόμενο άξιο μελέτης και η τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με ΣΓΠ προσφέρουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της χωρικής και χρονικής κατανομής του φαινομένου σε μεγάλης έκτασης περιοχές με μικρό κόστος. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση παρέχει αξιόπιστες πληροφορίες για την έκταση των κυανοβακτηρίων. Επειδή η υψηλή συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α (Chl-a), αποτελεί δείκτη παρουσίας του ευτροφισμού, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες εκτίμησής της (Tas & Yilmaz, 2015). Ο δείκτης μέγιστης χλωροφύλλης (maximum chlorophyll index/MCI) και ο δείκτης κυανοβακτηρίων (cyanobacteria index/CI) αναπτύχθηκαν για να ανιχνεύσουν τα άλγη και τη χλωροφύλλη-α (Gower et al., 2005, Stumpf, 2012, Trescott 2012). Επιπλέον έχει αναπτυχθεί ο δείκτης αιωρούμενης άλγης (floating algal index/FAI) οποίος έχει εφαρμοστεί επιτυχώς για να αναγνωρίζει την αιωρούμενη άλγη σε τυρβώδη ύδατα (Hu 2,009, Oyama, et al. 2015). Ο δείκτης FAI παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, διότι είναι λιγότερο ευαίσθητος στις περιβαλλοντικές μεταβλητές και στις συνθήκες παρατήρησης, όπως για παράδειγμα στην ποσότητα αερολυμάτων και στην γεωμετρία του ήλιου σε σχέση με τον στόχο. (Blondeau-Patissier, et al., 2014, Garcia, et al, 2013). Στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση του φαινομένου της έξαρσης του ευτροφισμού μέσω του αλγορίθμου FAI κατά τη δεκαετία 2000-2010 στην παράκτια περιοχή της νήσου Λέσβου με τη χρήση των εργαλείων Γεωπληροφορικής.

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Δεδομένα

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε η νήσος Λέσβος, για τη διερεύνηση του φαινομένου του ευτροφισμού, που με την βοήθεια των δορυφορικών εικόνων, τα φασματικά χαρακτηριστικά των κυανοβακτηρίων και με την εφαρμογή του δείκτη FAI, έγινε η απεικόνιση τους σε θεματικούς χάρτες. Η Λέσβος είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί της Ελλάδας με έκταση 1.636 km² και ακτογραμμή 371 km. Έχει δύο κόλπους με στενά στόμια τον κόλπο Καλλονής που βρίσκεται στο κέντρο του νησιού και ο μικρότερος κόλπος της Γέρας που βρίσκεται στα ανατολικά του. Επίσης στο ανατολικό και το

βόρειο μέρος του νησιού δημιουργείται ένα στενό πέρασμα μεταξύ της νήσου και των ακτών της Τουρκίας. Συνεπώς, λόγω της αργής ανανέωσης των υδάτων αλλά και των γεωμορφολογικών συνθηκών της περιοχής ευνοείται η ανάπτυξη του φαινομένου του ευτροφισμού.

Οι πέντε εικόνες του δορυφορικού δέκτη Landsat-5 αποκτήθηκαν από την ιστοσελίδα της USGS Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) (Πίνακα 1). Οι δορυφορικές εικόνες επιλέχθηκαν λαμβάνοντας υπόψη την ελάχιστη νεφοκάλυψη για τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο γιατί τότε αναμένετε μεγαλύτερη ένταση του φαινομένου.

Πίνακας 1. Πίνακας ημερομηνιών δορυφορικών εικόνων.

Μήνας	Έτος
Αύγουστος	2000
Αύγουστος	2005
Σεπτέμβριος	2005
Αύγουστος	2010
Σεπτέμβριος	2010

2.3 Μεθοδολογία

Οι εικόνες αποκτήθηκαν από την ηλεκτρονική πλατφόρμα διανομής δεδομένων Landsat της USGS και συγκεκριμένα αποκτήθηκαν τα δεδομένα ανακλαστικότητας διορθωμένα ως προς τη σκέδαση Rayleigh (Surface Reflectance) τα οποία απαιτούνται για την εφαρμογή του δείκτη FAI (Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2016). Το στάδιο της προεπεξεργασίας περιελάμβανε την επαναπροβολή στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87 και έπειτα στη δημιουργία μίας μάσκας ώστε να διαχωριστεί το νερό από την ξηρά. Η μάσκα πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τις τιμές ανακλαστικότητας στο κανάλι NIR και εφαρμόστηκε για κάθε εικόνα ξεχωριστά. Επιλέχτηκε αυτό το φάσμα κυμάτων επειδή τα εικονοστοιχεία (pixels) του νερού διαχωρίζονται πολύ εύκολα με αυτά της στεριάς (Εικόνα 1).

Για τη μελέτη του φαινομένου χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης FAI ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

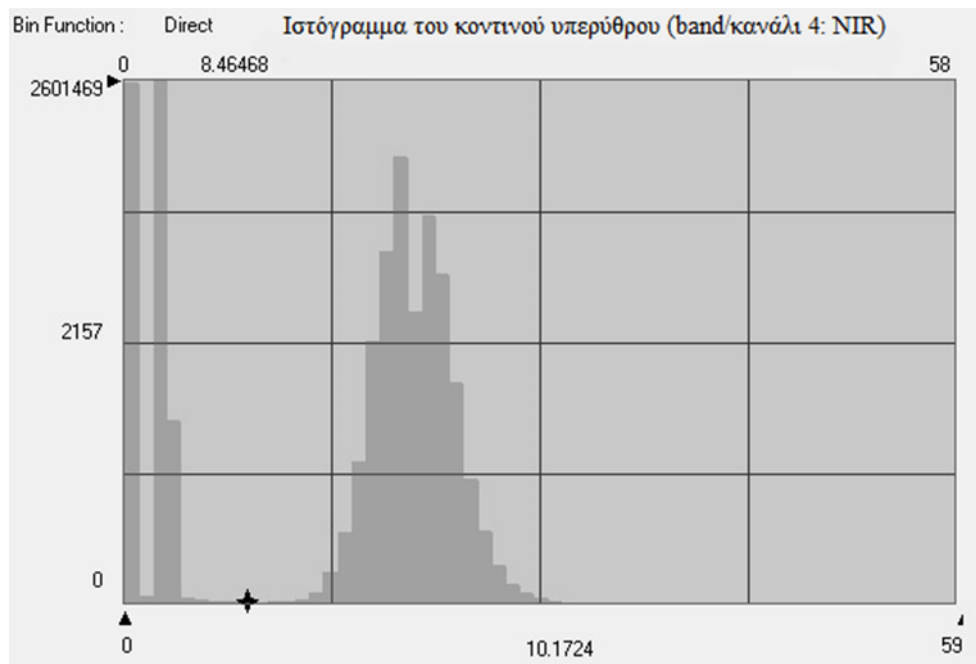
$$FAI = R_{RC}(NIR) - R'_{RC}(NIR)$$

και:

$$R'_{RC}(NIR) = R_{RC}(RED) + [R_{RC}(SWIR) - R_{RC}(RED)] \frac{\lambda(NIR) - \lambda(RED)}{\lambda(SWIR) - \lambda(RED)}$$

Όπου:

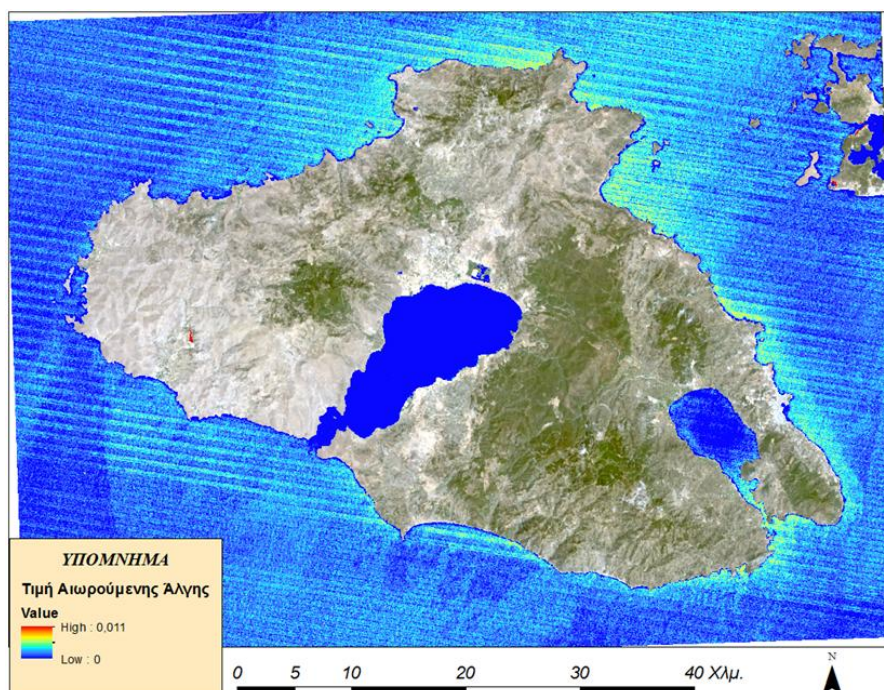
R_{RC} = είναι η Rayleigh σκέδαση που έχει διορθωθεί (SR), λ (SWIR), λ (NIR) και λ (RED) είναι τα μήκη κύματος του SWIR, NIR, και κόκκινου φάσματος αντίστοιχα. Ο FAI παρουσιάζει σημαντική ευελιξία σε περιοχές που επηρεάζονται από την γωνία ανύψωσης του ήλιου και από ένα θολό μέρος της ατμόσφαιρας (Hu, 2009, Garcia et al., 2013, Oyama, et al. 2015, Wang et al., 2015).



Εικόνα 1. Διαχωρισμός της κατανομής των *Pixels* μεταξύ νερού και ξηράς στο κοντινό υπέρυθρο.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

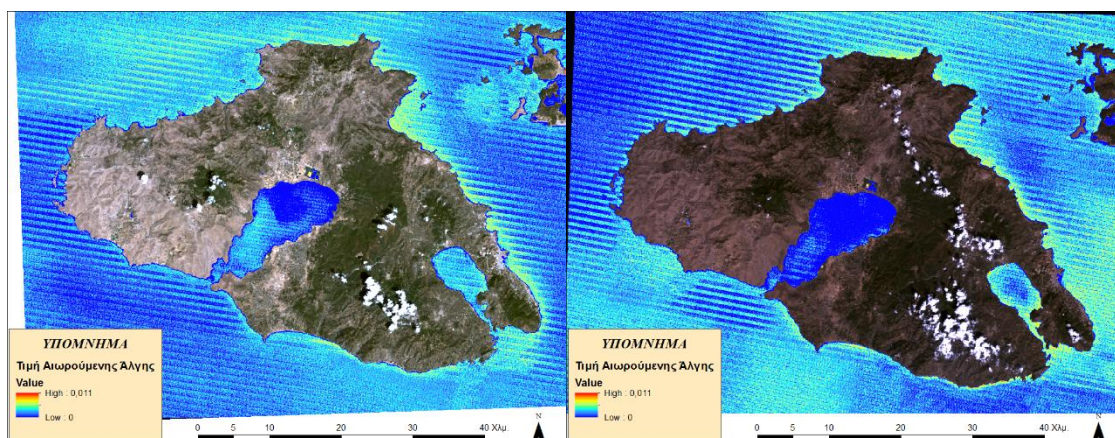
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η χρονική και η χωρική διακύμανση του δείκτη αιωρούμενης άλγης που παρατηρείται στο υπό μελέτη χρονικό διάστημα στο νησί της Λέσβου. Η χαρτογραφική αποτύπωση πραγματοποιήθηκε στο κοινό διάστημα τιμών 0-0.011 ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση μεταξύ των εικόνων για όλες τις χρονολογίες.



Εικόνα 2. Δείκτης Αιωρούμενης Άλγης (Αύγουστος 2000)

Τον Αύγουστο 2000 παρατηρούνται υψηλές τιμές FAI κυρίως στην ανατολική πλευρά ενώ στη δυτική πλευρά δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική συγκέντρωση. Επιπλέον, ο κόλπος της Καλλονής είναι σε καλύτερη κατάσταση απ' αυτή του κόλπου της Γέρας, ο οποίος παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις και στα παράλια του αλλά και στην είσοδό του (Εικόνα 2). Πιο αναλυτικά, στα βορειανατολικά του νησιού παρατηρείται ελάχιστη συγκέντρωση αιωρούμενης άλγης στο Λιμάνι της Κάπης και λίγο πιο βόρεια στην Σκάλα Συκαμινέας. Επίσης, παρατηρείται και στις περιοχές Θερμής και Παναγιούδα.

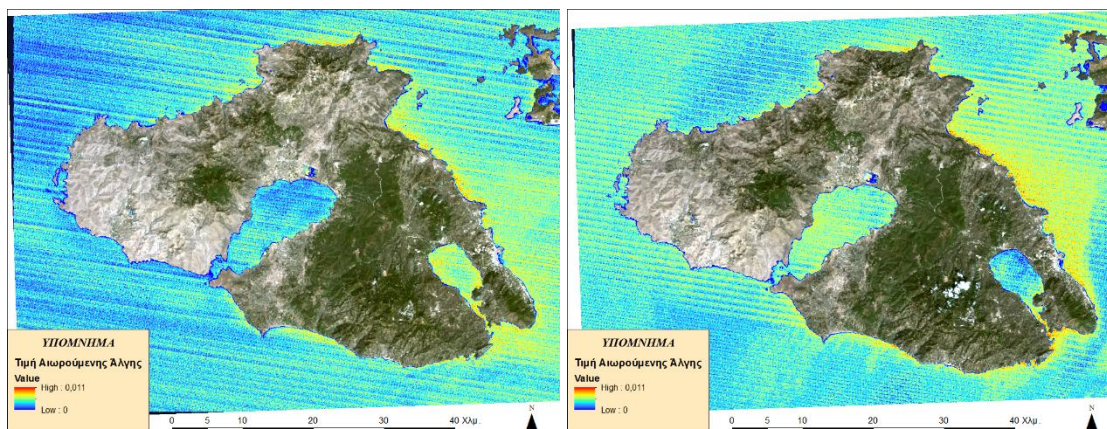
Στον αντίστοιχο μήνα μετά από διάρκεια 5 ετών (Αύγουστος 2005) παρατηρείται έξαρση του φαινομένου σε όλη την ανατολική πλευρά του νησιού (Εικόνα 3-αριστερά). Δημιουργείται, πλέον, μία ζώνη αιωρούμενων αλγών που ξεκινά από τα βόρεια του νησιού και καταλήγει νότια (στην είσοδο) του κόλπου της Γέρας. Επίσης οι συγκεντρώσεις αυξάνονται και στους δύο κόλπους.



Εικόνα 3. Δείκτης Αιωρούμενης Άλγης του Αυγούστου 2005 (αριστερά) και Σεπτεμβρίου του 2005 (δεξιά)

Αξιοσημείωτη είναι η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων μεταξύ Αυγούστου και Σεπτεμβρίου για την ίδια χρονιά (2005). Στην Εικόνα 3 (δεξιά) παρουσιάζεται ο δείκτης FAI για τον μήνα Σεπτέμβριο του 2005. Παρατηρείται ότι στο χρονικό διάστημα του ενός μηνός μειώνονται οι συγκεντρώσεις στα ανατολικά παράλια του νησιού ενώ αυξάνονται οι συγκεντρώσεις στο εσωτερικό και στο στόμιο του κόλπου της Γέρας. Επίσης εμφανίζεται αυξημένη συγκέντρωση και σε μεγαλύτερη απόσταση των νοτιοανατολικών και νότιων ακτών (Ερεσού και Βατερών).

Στην Εικόνα 4 διακρίνεται μια ραγδαία αύξηση της έντασης του φαινομένου για τη χρονιά 2010. Συγκεκριμένα, παρατηρείται πλέον πως τον μήνα Αύγουστο, ο κόλπος της Γέρας έχει αρκετή συσσώρευση αιωρούμενων αλγών στο εσωτερικό του. Επίσης, σε όλη την ανατολική πλευρά καθώς και στη βόρεια, έχει γίνει ακόμα πιο έντονη η ζώνη ευτροφισμού η οποία έχει εξαπλωθεί καθώς επίσης έχει και μεγαλύτερες τιμές.



Εικόνα 4. Δείκτης Αιωρούμενης Άλγης του Αυγούστου 2010 (αριστερά) και Σεπτεμβρίου του 2010 (δεξιά)

Το Σεπτέμβριο 2010 (Εικόνα 4 - δεξιά) παρουσιάζονται ακόμα υψηλότερες τιμές FAI με εξάπλωση από τη Λέσβο προς την Τουρκία η οποία οφείλεται στους επικρατούντες νοτιοανατολικούς ανέμους εκείνης της περιόδου. Σημειώνεται ότι οι εικόνες Αυγούστου και Σεπτεμβρίου του 2010 έχουν μόνο 16 ημέρες διαφορά. Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται αυτή η χαρακτηριστική εξάπλωση, η οποία οφείλεται κυρίως σε ανέμους που έχουν κατεύθυνση νοτιοανατολική, με αποτέλεσμα να μετακινείται προς στις τουρκικές ακτές. Επίσης παρουσιάζεται αύξηση εντός του κόλπου Καλλονής και μείωση εντός του κόλπου Γέρας αλλά με παρατηρούμενη αύξηση στο στόμιό του. Τέλος, αξιοσημείωτη είναι η αύξηση και δυτικά της Λέσβου όπου δεν υπάρχει περιορισμένη κυκλοφορία του νερού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κάποια από τα χαρακτηριστικά αποτελέσματα του ευτροφισμού είναι η αυξημένη βιομάζα του φυτοπλαγκτόν, προκαλώντας τοξίνες που επηρεάζουν την υγεία του

ανθρώπου και των θαλάσσιων οργανισμών. Λόγω αύξησης του αριθμού των βακτηρίων, μειώνεται το ποσοστό διαλυμένου στο νερό οξυγόνο και οι μη-φωτοσυνθετικοί οργανισμοί έχουν αυξημένες περιπτώσεις θνησιμότητας. Μειώνεται η βιομάζα βενθικών (οργανισμοί που ζουν στον βυθό της θάλασσας) και αντιστρόφως ανάλογα να αυξάνεται η θολερότητα του νερού, (χρώμα, οσμή και προβλήματα επεξεργασίας υδάτων), ως συνέπεια η αισθητική αξία των υδάτων και ακτών για αναψυχή να είναι αρκετά απωθητική, (Μακρής, Ι., 2010/2014).

Συμπερασματικά, το φαινόμενο του ευτροφισμού στην Λέσβο παρουσιάζει μια διαχρονική αύξηση με διακύμανση μεταξύ των καλοκαιρινών μηνών. Ο λόγος που παρατηρείται κυρίως στις ανατολικές ακτές το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι, γιατί απέναντι –σε μικρή απόσταση- βρίσκεται η Τουρκία. Ως εκ τούτου, η δίοδος που περνά το θαλασσινό νερό ανάμεσα τους να είναι αρκετά στενή, με συνέπεια τη δύσκολη ανανέωση του νερού. Το ίδιο παρατηρείται και στους δύο κόλπους λόγω των μικρών στομιών τους. Επίσης φαίνεται ότι η συγκέντρωση της αιωρούμενης άλγης επηρεάζεται και από τους επικρατούντες ανέμους της κάθε χρονικής περιόδου.

Η Τηλεπισκόπηση ως εργαλείο καταγραφής και μελέτης του θαλάσσιου περιβάλλοντος και των παράκτιων ζωνών καθώς και τα Σ.Γ.Π. ως εργαλείο χαρτογράφησης και περαιτέρω ανάλυσης μπορούν να έχουν σημαντική συμβολή στη διαχείριση του φαινομένου του ευτροφισμού. Ιδιαίτερα με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεκτών μεγαλύτερης χωρικής, χρονικής και ραδιομετρικής ικανότητας όπως είναι ο Sentinel-2A σε συνδυασμό με επίγειες μετρήσεις χλωροφύλλης και άλλων παραμέτρων, η Τηλεπισκόπηση και τα ΣΓΠ μπορούν να αποτελέσουν αναπόσπαστα μέρη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου καταγραφή των προβλημάτων και προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κυδωνάκη, Ι., 2010, Μελέτη ευτροφισμού στην λίμνη Παμβώτιδα: Υδατικό ισοζύγιο και ισοζύγιο φωσφόρου, Αθήνα, Διπλωματική εργασία.

Μακρής, Ι., 2010, Το πρόβλημα του ευτροφισμού, Ρόδος, Εφημερίδα ΡΟΔΙΑΚΗ.

Μακρής, Ι., 2014, Ευτροφισμός θαλάσσιων υδάτων ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα, Ρόδος, Εφημερίδα ΡΟΔΙΑΚΗ.

Blondeau-Patissier, D., Gower, J. F. R., Dekker, A. G., Phinn, S. R., Brando, V. E., 2014, A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans, *Progress in Oceanography*, 123, 123 – 144.

Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., Smith, V. H., 1998, Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen, *Ecological Applications*, 8 (3), 559 – 568.

Chorus, I, Bartram, J., 1999, Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management, London, World Health Organization (WHO), E & FN Spon.

Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2016, Landsat 4-5, Landsat 7 Surface Reflectance (Provisional) Product Guide: EarthExplorer Version 3.3.

Dokulil, M. T., Teubner, K., 2000, Cyanobacterial Dominance in Lakes, *Hydrobiologia*, 438, 1 - 12.

Garcia, R. A., Fearn, P., Keesing, J. K., and Liu, D., 2013, quantification of floating macroalgae blooms using the scaled algae index, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 118, 26 - 42.

Gower, J., King, S., Borstad, G., Brown, L., 2005, Detection of intense plankton blooms using the 709 nm band of the meris imaging spectrometer, *International Journal of Remote Sensing*, 26, 2005 - 2012.

Hu, C., 2009, A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans, *Remote Sensing of Environment*, 113, 2118 - 2129.

Mankiewicz, J., Tarczyska, M., Walter, Z., and Zalewski, M., 2002, Natural toxins from cyanobacteria, *Acta Biologica Cracoviensia series Botanica*, 45, 9 - 20.

Oyama, Y., Fukushima, T., Matsushita, B., Matsuzaki, H., Kamiya, K., Kobinata, H., 2015, Monitoring levels of cyanobacterial blooms using the visual cyanobacteria index (VCI) and floating algae index (FAI), *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, 335 - 348.

Smith, V.H., Schindler, D.W., 2009, Assessment of the Impact of Abattoir Effluent on the Water Quality of River Kaduna, Nigeria, Eutrophication science, *Trends in Ecology and Evolution*. 24, 201 - 207.

Song, H.S., Renslow, R. S., Fredrickson J. K., Lindemann, S. R., 2015, Integrating ecological and engineering concepts of resilience in Microbial communities, *Frontiers in Microbiology* Dec 1;6:1298. doi: 10.3389/fmicb.2015.01298.

Stumpf, R. P., Wynne, T. T., Baker, D. B., Fahnenstiel, G. L. 2012, Interannual variability of cyanobacterial blooms in Lake Erie, *PLoS ONE*, 7(8), e42444, doi: 10.1371/journal.pone.0042444.

Tas S., Yilmaz, L. N., 2015, Potentially harmful microalgae and algal blooms in a eutrophic estuary in the Sea of Marmara (Turkey), *Mediterranean Marine Science*, 16, 432 - 443.

Trescott, A., 2012, Remote Sensing Models of Algal Blooms and Cyanobacteria in Lake Champlain, *Environmental & Water Resources Engineering Masters Projects*, Paper 48.

Wang, H., Kabenqe, M., Li, F., 2015, Urban eutrophication and its spurring conditions in the Murchison Bay of Lake Victoria, *Environmental Science and Pollution Research* 23(1), 234 - 241.