

Εκτίμηση της περιεκτικότητας επιφανειακού αιωρούμενου υλικού (SPM) στον εξωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο, με την χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat 8

Τσάπανου, Α.¹, Οικονόμου, Ε.², Σκιάνης, Γ.¹, Πούλος, Σ.¹

¹Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, atsapanou@geol.uoa.gr, skianis@geol.uoa.gr, poulos@geol.uoa.gr

²Τμήμα Πολιτικών Μηχ.ΤΕ και Μηχ. Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής ΤΕ, Τ.Ε.Ι. Αθήνας, eoikonomou@teiath.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται επεξεργασία δορυφορικών εικόνων Landsat 8 για την εκτίμηση της επιφανειακής περιεκτικότητας αιωρούμενων ιζημάτων (SPM) στην ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου. Γενικά παρατηρούνται χαμηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενου υλικού με μέγιστες τιμές στα στόμια ποτάμιων απορροών, γεγονός που χαρακτηρίζει ως διαυγή τα νερά και προσελκύει το τουριστικό ενδιαφέρον κατά μήκος των ακτών του. Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται δύο αντιπροσωπευτικές δορυφορικές εικόνες Landsat 8 κατά την υγρή (Νοέμβριος-Απρίλιος) και ξηρά (Μάιος-Οκτώβριος) περίοδο. Στα νερά του εξωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου εμφανίζεται φτωχή περιεκτικότητα SPM (0-2.5 mg/l), χωρίς εποχιακή διακύμανση, η οποία συσχετίζεται με τις ποτάμιες απορροές. Στα σημεία εκβολών παρατηρούνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις (>1 mg/l). Εμφανής είναι η ύπαρξη ενός αντικυκλώνα στα επιφανειακά νερά του εξωτερικού Θερμαϊκού που δημιουργείται τοπικά κατά τον μήνα Αύγουστο του 2014.

Λέξεις κλειδιά: διαύγεια υδάτων, τηλεπισκόπηση, ΒΔ Αιγαίο Πέλαγος

Estimation of surface suspended particulate matter concentration (SPM) in the outer Thermaikos Gulf, by using Landsat 8 data

Tsapanou, A.¹, Oikonomou, E.², Skianis, G.¹, Poulos, S.¹

¹Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, atsapanou@geol.uoa.gr, skianis@geols.uoa.gr, poulos@geol.uoa.gr

²Department of Civil Engineering and Surveying & Geoinformation, T.E.I. of Athens, eoikonomou@teiath.gr

Abstract

In the present work satellite data from Landsat 8 are processed in order to estimate the surface suspended particulate matter (SPM), within the Thermaikos Gulf, northern Greece. In general, low SPM concentrations characterize the area with the highest values to appear in front of the river mouths. This attracts the tourist interest, because of the water clarity. In this study we investigate the SPM values by examining two representative Landsat 8 satellite images, during the wet (November-April) and the dry (May-October) season. In the outer Thermaikos waters the SPM concentrations are low (0-2.5 mg/l) without any seasonal fluctuation and they are correlated with the river outlets. The highest values appear in front of the river mouths (>1 mg/l). Particularly, on 14th of August 2014 an anti-cyclonic circulation over the surface waters of the central outer Thermaikos Gulf is clearly visible.

Keywords: water transparency, remote sensing, NW Aegean Sea

1. Εισαγωγή

Η ανατολική Μεσόγειος στο σύνολό της παρουσιάζει φτωχή περιεκτικότητα αιωρούμενου υλικού (Karageorgis et al., 2008). Ο Θερμαϊκός κόλπος που ανήκει σε αυτό το θαλάσσιο σύστημα εμφανίζει ίδια χαρακτηριστικά με τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε αιωρούμενο υλικό μόνο κοντά στα στόμια ποταμών που εκβάλουν σε αυτόν (π.χ. >40 mg/l στις εκβολές του Πηνειού (Lazogiannis et al., 2014)), κατά τις υγρές περιόδους (Νοέμβριος-Απρίλιος) και κυρίως στα επιφανειακά ύδατα (Karageorgis et al., 2008). Η συνολική ποσότητα εισροής ιζημάτων στον Θερμαϊκό Κόλπο από τον ποτάμιο εφοδιασμό έχει υπολογιστεί στους 35.4×10^9 τόνους στο ανώτερο Τεταρτογενές (Lykousis et al., 2005).

Η παράκτια ζώνη του εξωτερικού Θερμαϊκού και ειδικότερα οι παραλιακές ζώνες κατά μήκος της δυτικής ακτογραμμής του χαρακτηρίζονται από μεγάλη τουριστική ανάπτυξη, η οποία οφείλεται αφενός στις φυσικές ομορφιές της περιοχής, με σειρά παραλιών (π. χ. Ν. Επιβάτες, Αγ. Τριάδα, Επανωμή, Αγγελοχώρι κ.ά.) και αφετέρου στην διαύγεια των υδάτων. Τα νερά παρουσιάζουν γενικά μικρή θολότητα, αλλά επηρεάζονται από τις ποτάμιες εκφορτίσεις και τις διεργασίες επαναίωσης (Zervakis et al., 2005).

Αντίστοιχη προηγούμενη εκτίμηση της διασποράς του αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού στην περιοχή του Θερμαϊκού έχει γίνει από τους Karageorgis et al., (2000), χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες και *in situ* δεδομένα. Η συγκέντρωση-plume του Πηνειού ποταμού δεν ήταν ευδιάκριτη στην παγχρωματική εικόνα Landsat 5 που χρησιμοποιήθηκε, ενώ στις μετρήσεις πεδίου υπήρχε εμφανές σήμα ύπαρξής του.

Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας αιωρούμενου υλικού (suspended particulate matter concentration-SPM) μέχρι πρόσφατα υπολογιζόταν από δεδομένα δορυφορικών δεκτών όπως οι Aqua/MODIS, Orbview-2/SeaWiFS κ. ά εκμεταλλευόμενοι την θαλάσσια ανάκλαση σε μονό ερυθρό κανάλι.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι μία πρώτη προσπάθεια να ανακτηθεί επιφανειακή συγκέντρωση αιωρούμενου υλικού από δορυφορικές εικόνες στα νερά του εξωτερικού Θερμαϊκού κόλπου, ώστε στη συνέχεια να ακολουθήσει μια πιο εκτεταμένη μελέτη στις εκβολές της περιοχής (δέλτα Πηνειού-Αξιού-Αλιάκμονα), με σύγκριση δεδομένων πεδίου.

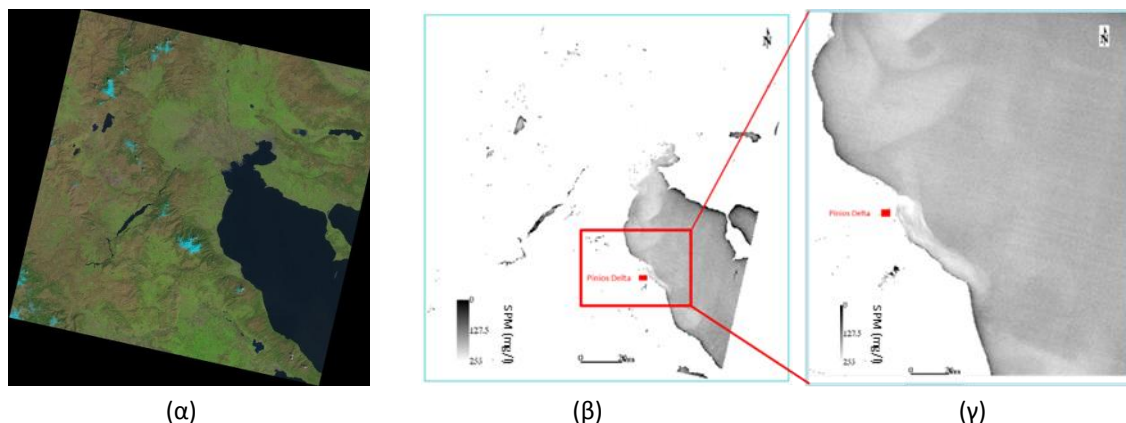
2. Υλικά και μέθοδοι

Οι επιλεγόμενες εικόνες Landsat 8 της περιοχής ενδιαφέροντος ελήφθησαν από το αρχείο που παρέχει ο οργανισμός United States Geological Survey (USGS) Earth Resources Observation and Sciences (EROS) Centre. Η πρόσβαση στα δεδομένα είναι δωρεάν μέσω διαδικτύου. Το σύστημα του δορυφόρου Landsat 8 (L8) αποτελείται από δύο αισθητήρες και συγκεκριμένα τον OLI (Operational Land Imager) με 8 πολυφασματικά κανάλια (4 στο ορατό και 4 στο εγγύς υπέρυθρο) με χωρική ανάλυση 30 m. και ένα πανχρωματικό κανάλι χωρικής ανάλυσης 15 m., καθώς και τον αισθητήρα TIRS (Thermal InfraRed Sensor) με δύο κανάλια στο θερμικό υπέρυθρο χωρικής ανάλυσης 100 m. Στην παρούσα εργασία αναλύθηκαν δύο εικόνες από το 2014, μία κατά την υγρή και μία κατά την ξηρή περίοδο, με εικόνες που ελήφθησαν στις 23/03/2014 και 14/08/2014 και νεφοκάλυψη 32% και 19%, αντίστοιχα.

Οι εικόνες υπέστησαν επεξεργασία μέσω του λογισμικού ENVI 5.1 και πραγματοποιήθηκε ατμοσφαιρική διόρθωση στα κανάλια 4 (ερυθρό) και 5 (εγγύς υπέρυθρο), βάσει της μεθοδολογίας των Vanhellemont et al. (2014). Οι εικόνες διορθώθηκαν για επίδραση από μοριακή σκέδαση (Rayleigh) και αερολύματα (aerosols), προκειμένου να ανακτηθεί η ανάκλαση ύδατος ρ_w (water-leaving radiancance reflectance), στο ερυθρό κανάλι. Η περιεκτικότητα του αιωρούμενου ιζήματος (SPM) στα κανάλια 4 (630-680 nm) και 5 (845-885 nm) προκύπτει ύστερα από τον υπολογισμό των τιμών ρ_w , χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο για το μονό κανάλι OLI 4 για 650 nm (Nechad et al., 2010).

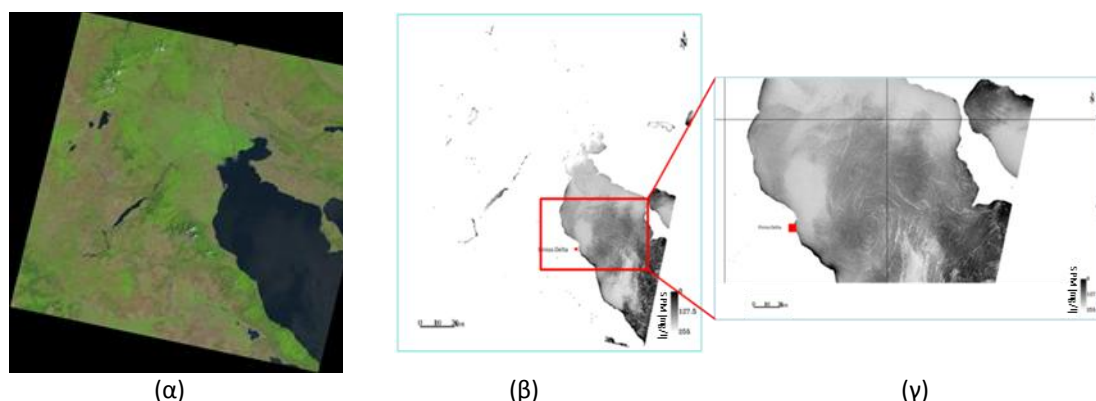
3. Αποτελέσματα

Κατά τον μήνα Μάρτιο του 2014 οι τιμές του αιωρούμενου υλικού εμφάνισαν εύρος από 0 έως 2.5 mg/l. Οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες συναντώνται πλησίον των εκβολών των ποταμών, στις ανατολικές ακτές της Θεσσαλίας και στο εσωτερικό του Θερμαϊκού. Χαρακτηριστικά, στο στόμιο του Πηνειού ποταμού το αιωρούμενο υλικό παρουσιάζει τιμές μεταξύ 2 -2.5 mg/l, ενώ στο κεντρικό τμήμα του εξωτερικού Θερμαϊκού οι τιμές μειώνονται (0.5-1.5 mg/l) (Εικ. 1). Η κίνηση του αιωρούμενου υλικού που εισρέει από τις εκβολές του Πηνειού ποταμού φαίνεται να κινείται προς νότο, πιθανότατα λόγω της δύναμης Coriolis.



Εικ. 1. (α) Μη επεξεργασμένη εικόνα Landsat 8 τον Μάρτιο 2014, (β) η ίδια εικόνα επεξεργασμένη με ατμοσφαιρική διόρθωση και περιεκτικότητα SPM (mg/l) και (γ) μεγέθυνση της περιοχής των εκβολών του Πηνειού ποταμού με τις τιμές SPM (mg/l).

Στην εικ. 2 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης κατά τον μήνα Αύγουστο 2014 στο κανάλι 4, όπου παρατηρείται ότι οι τιμές του SPM κυμαίνονται από 0-2 mg/l. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται κοντά στα στόμια των ποταμών που εκβάλλουν στον κόλπο.



Εικ. 2 (α) Μη επεξεργασμένη εικόνα Landsat 8 στο κανάλι 4, τον Αύγουστο 2014, (β) η ίδια εικόνα επεξεργασμένη με ατμοσφαιρική διόρθωση και περιεκτικότητα SPM (mg/l) και (γ) μεγέθυνση της περιοχής των εκβολών του Πηνειού ποταμού με τις τιμές SPM (mg/l).

Ειδικότερα στα ανοικτά του δέλτα του Πηνειού ποταμού διαφαίνεται μια προοδευτική αύξηση του SPM, από το στόμιο του ποταμού προς τα βορειοδυτικά. Οι τιμές του SPM στον κεντρικό εξωτερικό Θερμαϊκό είναι μικρότερες και ελαχιστοποιούνται ανατολικά, δηλαδή στα παράλια της Χαλκιδικής, γεγονός που αποδεικνύει την διαύγεια των υδάτων και δικαιολογεί την μεγάλη ανάπτυξη του τουρισμού στις ακτές του εξωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου.

Παρόλο που προηγούμενοι μελετητές της περιοχής (Karageorgis et al., 2001) έχουν εντοπίσει κυκλωνική κυκλοφορία μοτίβα για να εξηγήσουν τις συγκεντρώσεις SPM, εδώ παρατηρείται η ύπαρξη αντικυκλώνα στο κεντρικό τμήμα του εξωτερικού κόλπου και ανατολικά των εκβολών του Πηνειού ποταμού. Αυτός ο αντικυκλώνας αναμένεται να έχει μικρό αντίκτυπο στις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς λόγω εποχής δεν υπάρχουν σημαντικές χερσαίες εισροές και η παρουσία του πιθανώς να οφείλεται στα μελέτια.

4. Συμπεράσματα

Τα νερά του Θερμαϊκού Κόλπου χαρακτηρίζονται από χαμηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενου υλικού (0-2.5 mg/l), χωρίς να παρουσιάζουν ιδιαίτερες εποχιακές αυξομειώσεις, αποτελώντας πόλο

έλης για τον αναπτυσσόμενο τουρισμό κατά μήκος των ακτών του. Η κατανομή του αιωρούμενου υλικού είναι σαφώς επηρεασμένη από τις ποτάμιες εκφορτίσεις. Επίσης τον Αύγουστο του 2014 παρατηρήθηκε ένας καλά ανεπτυγμένος αντικυκλώνας ανατολικά του ποταμού Πηνειού.

5. Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου με κωδικό 11ΣΥΝ- 8-1466 «Συνεργεία για την Αειφόρο Ανάπτυξη και Ασφαλή Χρήση των Ελληνικών Παραλιών» (BEACHTOUR) που συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και από Εθνικούς Πόρους.

6. Βιβλιογραφία

- Karageorgis, A.P. and Anagnostou, C. 2001. Particulate matter spatial-temporal distribution and associated surface sediment properties: Thermaikos Gulf and Sporades Basin, NW Aegean Sea. *Continental Shelf Research*, 21, 2141-2153.
- Karageorgis, A.P., Anagnostou, C., Georgopoulos, D. and Albuissou, M. 2000. Distribution of suspended particulate matter determined by in-situ observations and satellite images in the NW Aegean Sea (Greece). *Geo-Marine Letters*, 20, 93-100.
- Karageorgis, A.P., Gardner, W.D., Georgopoulos, D., Mishonov, A.V., Krasakopoulou, E. et al. 2008. Particle dynamics in the Eastern Mediterranean Sea: A synthesis based on light transmission, PMC, and POC archives (1991-2001). *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Paper*, 55-2, 177-202.
- Lazogiannis, K., Paraskevopoulou, V., Poulos, S., Teou, X., Kotsopoulos, S. et al. 2014. Seasonal variation of water discharge and suspended sediment concentration of the Pinios River (Thessaly) during the hydrological year 2012/13. In: *12th International Conference on Protection and Restoration of the Environment, 2014, Skiathos island, Greece*.
- Lykousis, V., Karageorgis, A.P. and Chronis, G.T. 2005. Delta progradation and sediment fluxes since the last glacial in the Thermaikos Gulf and the Sporades Basin, NW Aegean Sea, Greece. *Marine Geology*, 1-4, 222-223.
- Nechad, B., Ruddick, K. and Park, Y. 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment*, 114, 854-866.
- Vanhellemont, Q. and Ruddick, K. 2014. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. *Remote Sensing of Environment*, 145, 105-115.
- Zervakis, V., Karageorgis, A.P., Kontoyiannis, H., Papadopoulos, V. and Lykousis, V. 2005. Hydrology, circulation and distribution of particulate matter in Thermaikos Gulf (NW Aegean Sea), during September 2001-October 2001 and February 2002. *Continental Shelf Research*, 25, 19-20.