

Σ. Καραλής¹ Υποψήφιος διδάκτορας, **Ε. Καρύμπαλης¹** Καθηγητής

¹Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας & Εφαρμοσμένων
Οικονομικών, Τμήμα Γεωγραφίας, Ελευθερίου Βενιζέλου 70,
Καλλιθέα 176 71, Ελλάδα
skaralis@teiath.gr, karymbalis@hua.gr

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΛΟΥΜΙΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ MODIS

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να εκτιμηθούν τα εποχικά πρότυπα και η σχετική δυναμικότητα, όσον αφορά την στερεοπαραγωγικότητα, 17 ποταμών και ποταμοχειμάρρων του Ελληνικού χώρου μέσω μεθόδων τηλεπισκόπησης. Εγινε επεξεργασία 669 εικόνων Modis Level 1B (MOD02), καθώς και ισάριθμων αντίστοιχων προϊόντων νέφωσης (MOD35), για την δεκαετία 2005-2014. Σαν περιοχές ενδιαφέροντος χρησιμοποιήθηκαν 17 πολύγωνα, ίσου εμβαδού (~20 km²), που χαράχθηκαν στη θαλάσσια περιοχή των εκβολών ισάριθμων ποταμών. Για την σύγκριση χρησιμοποιούνται δείκτες από την βιβλιογραφία, καθώς και κάποιοι που προήλθαν από την παρούσα έρευνα. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με δημοσιευμένες μελέτες, αποτελέσματα από την εφαρμογή μοντέλων στερεοαπορροής καθώς και με τιμές από τους πρόσφατους χάρτες του European Soil Data Center. Οι διαφορές και οι ομοιότητες που προκύπτουν από την αντιπαραβολή αυτή αποτελούν μια σημαντική συνεισφορά τόσο στη μελέτη της διερεύνησης των αιτιών και των παραμέτρων που καθορίζουν την στερεοαπορροή των ποταμών, όσο και στην αξιολόγηση των διαφόρων μεθοδολογιών.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: MODIS, Πλούμια ποταμών, Ιζηματολογικό δυναμικό, Ελληνικά ποτάμια, Τηλεπισκόπηση

Εισαγωγή

Οι μέθοδοι της τηλεπισκόπησης και της φωτοερμηνείας αποτελούν μια δοκιμασμένη τεχνική παρακολούθησης του συνολικού αιωρούμενου υλικού (total suspended material - TSM) στα παράκτια ύδατα. Ειδικότερα, τα όργανα MODIS πάνω στις πλατφόρμες TERRA και AQUA της NASA που τέθηκαν σε επιχειρησιακή λειτουργία το 2000 και 2002 αντίστοιχα, προσφέρουν ημερήσια σχεδόν κάλυψη ολόκληρης της γης σε 36 κανάλια με χωρική ανάλυση 250 μ. (κανάλια 1-2) και 500 μ. (κανάλια 3-7). Η ημερήσια κάλυψη είναι κρίσιμη για την παρακολούθηση ταχέως μεταβαλλόμενων φαινομένων όπως η δημιουργία και διασπορά των πλουμίων αιωρούμενου υλικού στις εκβολές των ποταμών. Οι περιοχές που έχουν μελετηθεί περιλαμβάνουν δέλτα ποταμών, παράκτιους υγρότοπους (estuaries), κόλπους, λιμάνια, αλλά και ποτάμια και λίμνες.

Διάφοροι ερευνητές έχουν προτείνει κατά καιρούς δείκτες ή/και λόγους αιωρούμενου ιζήματος, ή -εάν περιλαμβάνεται και το υλικό οργανικής προέλευσης- αιωρούμενου υλικού, βασιζόμενοι στο γεγονός ότι η παρουσία ιζήματος στο νερό αυξάνει την ανακλαστικότητά του (καθώς και την ανακλώμενη ακτινοβολία) σε όλο το φάσμα του ορατού φωτός, περισσότερο όμως στο κόκκινο και στο εγγύς υπέρυθρο (Σχ.2). Η

θολερότητα (turbidity), μια οπτική ιδιότητα του νερού που συσχετίζεται πολύ στενά με την συγκέντρωση του ιζήματος σε αυτό, είναι στην πραγματικότητα ένα μέτρο της σκέδασης του φωτός μέσα στην υδάτινη στήλη και οφείλεται στην ύπαρξη των σωματιδίων οργανικής (άλγη, πλανκτόν κ.ά) ή ανόργανης προέλευσης. Η σκέδαση αυξάνεται με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων υλικών αλλά, όταν πρόκειται για ανόργανο ιζήμα, εξαρτάται επίσης και από την λιθολογική σύσταση των κόκκων, το χρώμα και το μέγεθος τους. Το γεγονός αυτό καθώς και οι εκάστοτε συνθήκες φωτισμού, περιορίζουν την ακρίβεια των εκτιμήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων ιζημάτων από τις τηλεπισκοπικές μετρήσεις (Babin et al., 2003).



Σχήμα 1 Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει 17 πολύγωνα πλουμίων (με κόκκινο) σε ισάριθμους ποταμούς. Για τους ποταμούς με σημαντικά φράγματα, το εμβαδόν είναι αυτό κατάντη των φραγμάτων. Για τους Αξιό - Στρυμώνα η επιφάνεια είναι η εντός της Ελληνικής επικράτειας. Στην επιφάνεια του Σελινούτα περιλαμβάνεται και αυτή του γειτονικού Κερυνίτη μιας και εκβάλουν και οι δύο στο ίδιο πολύγωνο. Το πλαίσιο στο ένθετο πάνω αριστερά πάνελ, είναι η περιοχή που κάλυπταν οι δορυφορικές εικόνες όπου σημειώνονται και τα «φωτοσταθερά» σημεία (PIFs).

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση των εποχικών πρότυπων στερεοαπορροής στον Ελληνικό χώρο, και η σύγκριση του ιζηματολογικού δυναμικού 17 ποταμών και ποταμοχειμάρρων του Ελληνικού χώρου, μέσω μεθόδων τηλεπισκόπησης -

φωτοερμηνείας. Για τον λόγο αυτό γίνεται χρήση δεικτών, λόγων και μασκών αιωρούμενου ιζήματος από την βιβλιογραφία και κάποιων άλλων που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα.

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει 17 πολύγωνα πλουμίων σε ισάριθμους ποταμούς (Σχ.1). Ως περιοχές ενδιαφέροντος (rois) χρησιμοποιούνται ισάριθμα, ίσου εμβαδού (~20 km²) πολύγωνα πλουμίων, που χαράχτηκαν στη θαλάσσια περιοχή των εκβολών των ποταμών, σε ικανή απόσταση από τις ακτές (~500 m), έτσι ώστε να αποφευχθεί η «μόλυνση» του σήματος από την στεριά.

Μέθοδοι και δεδομένα

Με βάση το υδρογράφημα του ποταμού Βουραϊκού, έγινε επιλογή 58 πλημμυρικών επεισοδίων που έλαβαν χώρα την δεκαετία 2005-2014 (10 υδρολογικές χρονιές), και ποίκιλαν σε διάρκεια από 5 – 45 ημέρες. Συνολικά, κατέβηκαν προς επεξεργασία 669 εικόνες Modis Level 1B (MOD02), και ισάριθμα αντίστοιχα προϊόντα νέφωσης (MOD35).

Τα πρωτογενή αυτά δορυφορικά δεδομένα (MOD02) αντιπροσωπεύουν, μετά το μετασχηματισμό τους από DN (ραδιομετρική βαθμονόμηση), ακτινοβολίες / ανακλαστικότητα στην κορυφή της ατμόσφαιρας (στο δέκτη). Επομένως απαιτείται ατμοσφαιρική διόρθωση, έτσι ώστε να μετασχηματιστούν σε ακτινοβολίες / ανακλαστικότητα στο επίπεδο του εδάφους (ή της θάλασσας). Η διόρθωση αυτή μπορεί να είναι απόλυτη ή σχετική. Η εφαρμογή της μεθόδου *σχετικής ατμοσφαιρικής διόρθωσης*, που ονομάζεται και σχετική ραδιομετρική κανονικοποίηση (Relative Radiometric Normalization, RRN), βασίζεται στην ύπαρξη τουλάχιστον δύο περιοχών (σημείων ελέγχου), μιάς φωτεινής και μίας σκοτεινής, και βρίσκει εφαρμογές σε σύγκριση εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών λήψης, κυρίως για σκοπούς ανίχνευσης μεταβολών (change detection) (Bernardo et al.,2016). Τα «φωτοσταθερά» αυτά σημεία ελέγχου ονομάζονται Pseudo-invariant features (PIFs).

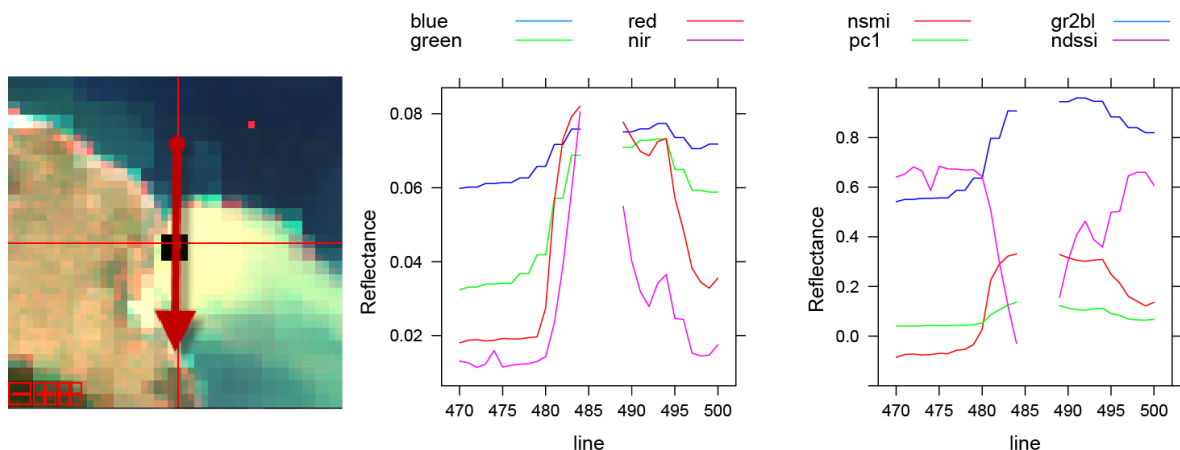
Η ροή των εργασιών αυτοματοποιήθηκε με προγραμματισμό στην IDL. Κατά την διαδικασία ραδιομετρικής κανονικοποίησης, από τις αρχικές 669 εικόνες, πέρασαν στο τελικό στάδιο οι 382. Ένα ποσοστό 43% των εικόνων χάθηκε, αφού όλα τα «φωτοσταθερά» βρέθηκαν να είναι νεφοσκεπή.

Οι δείκτες, λόγοι και μάσκες κατωφλίωσης που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στον πίνακα 1, συνοπτικά. Εξετάστηκαν οι συσχετίσεις τους και, επίσης, έγινε ανάλυση κυρίων συνιστωσών σε τρεις περιοχές που αναγνωρίστηκαν οπτικά: καθαρό θαλάσσιο νερό, θαλάσσιο νερό υψηλής περιεκτικότητας σε αιωρούμενο ίζημα και θαλάσσιο νερό υψηλής συγκέντρωσης σε αιωρούμενο υλικό (με αξιόλογη παρουσία οργανικού υλικού). Από την ανάλυση αυτή με το ομώνυμο εργαλείο στο ArcGIS, παρατηρούνται τα εξής: στην καθαρή θάλασσα, η σύσταση του πρώτου ιδιοδιανύσματος (1^{ης} ΚΣ) προέρχεται κυρίως από την συνεισφορά (loadings) του μπλέ καναλιού και μειώνεται καθώς αυξάνεται το μήκος κύματος ενώ το ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύεται είναι μόνο 55-70%. Αντίθετα, στην θάλασσα με αιωρούμενο ίζημα η κύρια συνεισφορά στο πρώτο ιδιοδιάνυσμα προέρχεται από το κόκκινο κανάλι ενώ ακολουθεί το εγγύς υπέρυθρο. Η συνεισφορά του μπλέ σχεδόν εκμηδενίζεται ενώ η συνεισφορά του πράσινου μειώνεται. Το ποσοστό διασποράς που ερμηνεύεται αυξάνεται σε 75-89%. Στην θάλασσα με μεγάλη παρουσία οργανικού υλικού (Θερμαϊκός κόλπος κυρίως) η κύρια συνεισφορά προέρχεται από το πράσινο κανάλι, η συνεισφορά του μπλέ αυξάνεται, μειώνεται το κόκκινο ενώ το εγγύς υπέρυθρο σχεδόν εξαφανίζεται. Το ποσοστό διασποράς που ερμηνεύεται είναι 62-86%.

Πίνακας 1 Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα (ρ = ανακλαστικότητα, αδιάστατη).

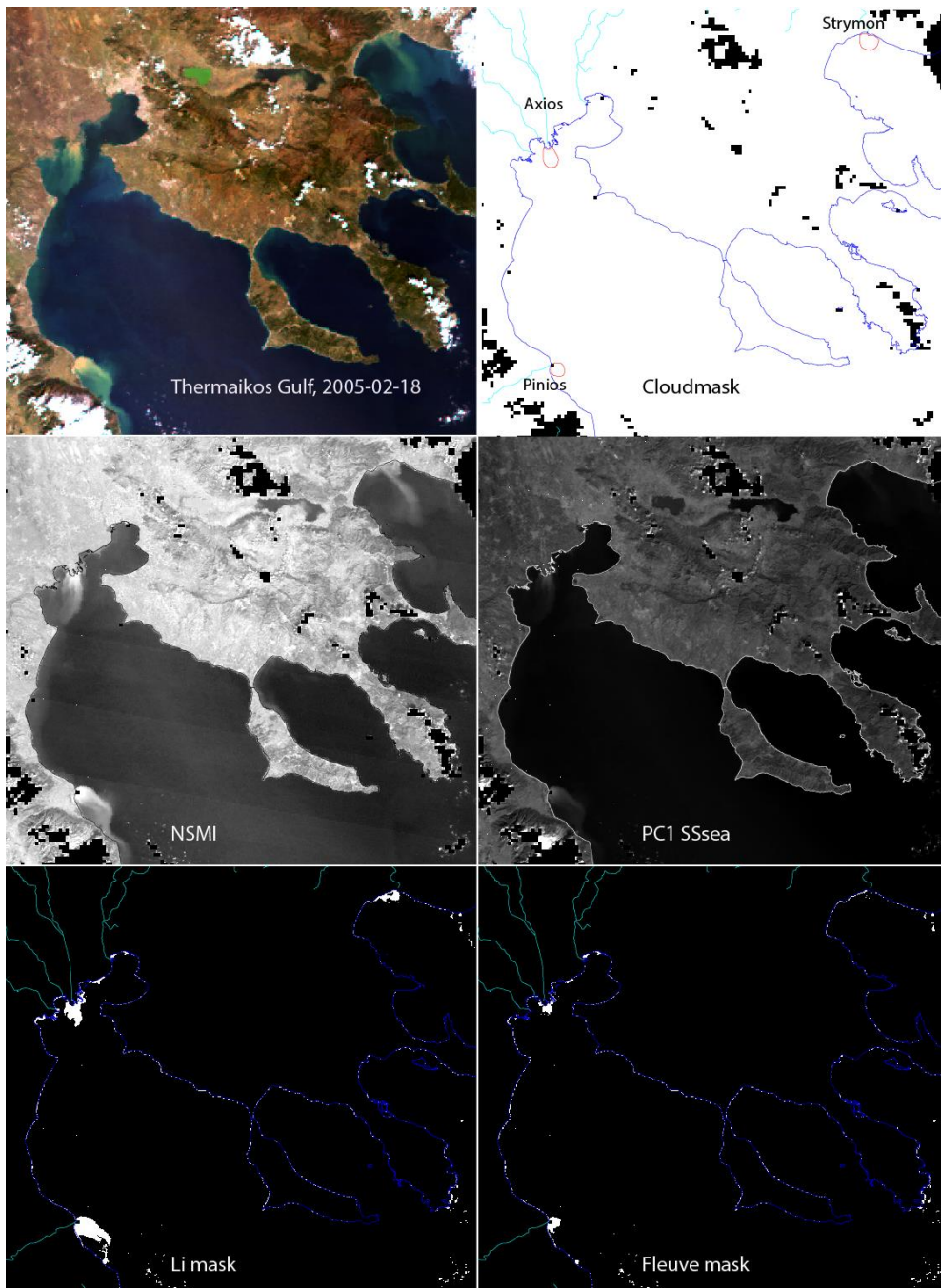
α/α	Όνομασία	Τύπος	Παρατηρήσεις
1	ΔΕΙΚΤΕΣ		
	NDSSI	$\frac{\rho_{blue} - \rho_{nir}}{\rho_{blue} + \rho_{nir}}$	Normalised Difference Suspended Sediment Index (Azad Hossain et al. , 2010)
2	NSMI	$\frac{\rho_{blue} + \rho_{nir}}{\rho_{red} + \rho_{green} - \rho_{blue}}$	Normalised Suspended Material Index Luis Montalvo , 2012
		$\frac{\rho_{red} + \rho_{green} + \rho_{blue}}{0.15*\rho_{blue} + 0.35*\rho_{green} + 0.80*\rho_{red} + 0.43*\rho_{nir}}$	
3	1^η κύρια συνιστώσα		Για θάλασσα με ίζημα (Δες κείμενο)
4	ΛΟΓΟΙ		
	green2blue	$\frac{\rho_{green}}{\rho_{blue}}$	λόγος πράσινο προς μπλέ (δείκτης αιωρούμενων στον LANDSAT)
5	red2nir	$\frac{\rho_{red}}{\rho_{nir}}$	λόγος κόκκινο προς εγγύς υπερευθρο
6	ΜΑΣΚΕΣ		
	LI	$\rho_{red} > 0.031$	Από αλγόριθμο που βασίζεται στην εργασία "Remote Sensing of Suspended Sediments in Shallow Coastal Waters" , (Li R. et al, 2003)
7	FLEUVE	$\rho_{red} > 0.031$ and $\rho_{nir} > 0.02$	μάσκα 'φρέσκιας' φλέβας ιζήματος
8	NSMI	$\rho_{red} + \rho_{green} - \rho_{blue} > 0$	Από τον δείκτη NSMI

Με αυτές τις παρατηρήσεις προστέθηκε ένας επιπλέον δείκτης, αυτός της πρώτης κύριας συνιστώσας για θάλασσα με αιωρούμενο ίζημα, ο οποίος τελικά χρησιμοποιήθηκε σαν υποκατάστατο της συγκέντρωσης αιωρούμενων στην σύγκριση των ποταμών, καθώς ενσωματώνει και τα 4 κανάλια (Σχ.3). Πράγματι, πρόσφατες έρευνες έχουν τεκμηριώσει μια σημαντική συσχέτιση αυτής της πρώτης συνιστώσας με συγκεντρώσεις TSS στο θαλασσινό νερό (Fan and Warner, 2014).



Σχήμα 2 Φασματικό προφίλ του πλουμίου του Πηνειού από Βορρά προς Νότο (κόκκινο βέλος στην αριστερά εικόνα) σε μήκος 7,5 km (30*250m). Στο μεσαίο πάνελ φαίνονται τα 4 κανάλια και στο δεξιό 4 δείκτες ($pc1=1^{\text{η}}$ κύρια συνιστώσα, $gr2bl=$ πράσινο/μπλέ). Το μεσαίο εικονοστοιχείο που παρουσιάζεται σαν κενό στα προφίλ έχει προέλθει από την μάσκα νέφωσης που λανθασμένα το έχει θεωρήσει σαν νέφος. Παρατηρούμε πως αυξάνεται η ανακλαστικότητα στο κόκκινο και το εγγυς υπέρυθρο ενώ μπαίνουμε στο πλούμιο. Το μπλέ επηρεάζεται λιγότερο.

Επιπλέον, αναζητήθηκαν και ανακτήθηκαν ημερήσια δεδομένα βροχοπτώσεων, για όλο τον Ελληνικό χώρο και την δεκαετία 2004-2014, σε ανάλυση 1 μοίρας από το Global Climatology Precipitation Project σε αρχεία netcdf (Pendergrass et al., 2016).



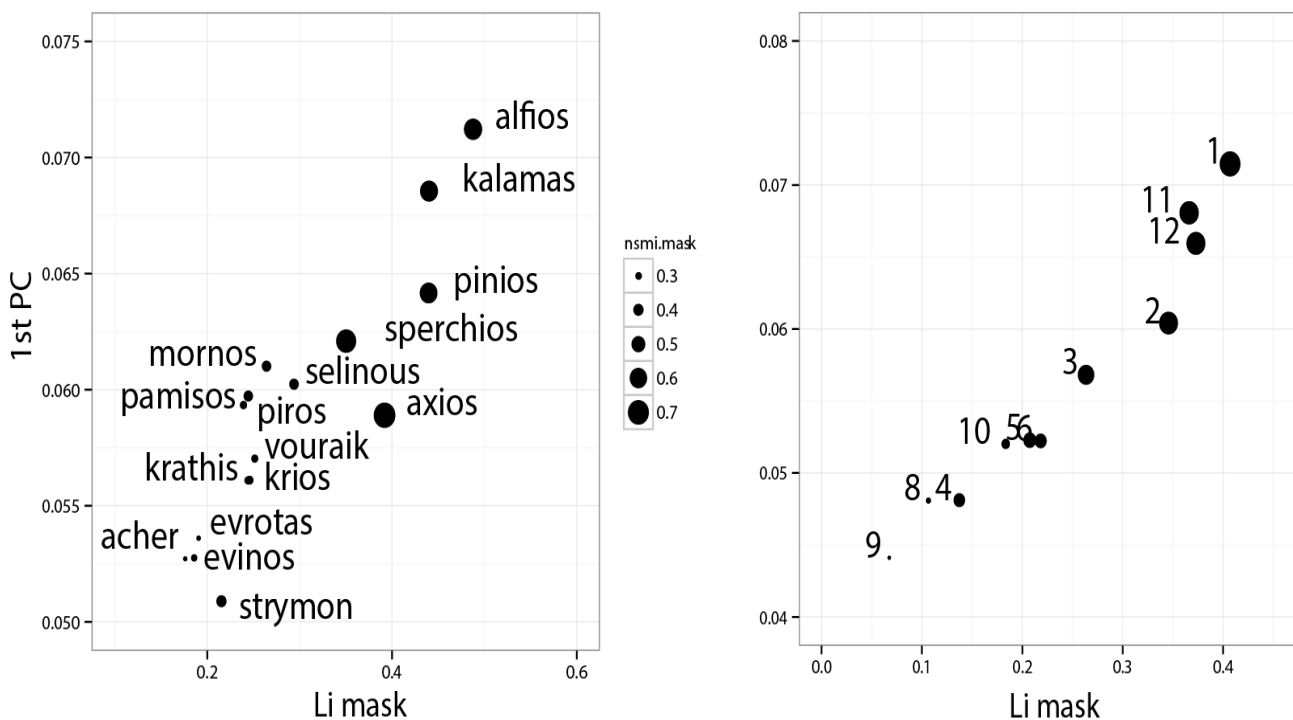
Σχήμα 3 Απόδοση κάποιων από τους δείκτες σε μια εικόνα MODIS true color composite που παρουσιάζει την ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου στις 18 Φεβρουαρίου, 2005 (πάνω αριστερά). Στο πιο κάτω πανελ φαίνονται δύο από τις μάσκες. Πάνω δεξιά φαίνεται η μάσκα νέφωσης (τα μαύρα ρικελ) και τα πολύγωνα των πλουμίων, ενώ στο μεσαίο πάνελ δεξιά φαίνεται το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού με την πρώτη κύρια συνιστώσα θάλασσας με αιωρούμενο ίζημα .

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα επιθεωρήθηκαν κατ'αρχάς στο ENVI προκειμένου να διαπιστωθεί η έκταση και η κατανομή των τιμών των δεικτών και τα χαρακτηριστικά των ακραίων τιμών. Οι ακραίες τιμές βρέθηκαν σε προβληματικές εικόνες οι οποίες εξαιρέθηκαν περαιτέρω, κατεβάζοντας τις ημέρες παρατηρήσεων σε $\max \sim 280$. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι οι μεγάλες πλημμύρες συνέβαιναν σχεδόν στο σύνολο του Ελληνικού χώρου, αν και κάποιες φορές υπήρχε διαφορά φάσης ανάμεσα στην ανατολική και δυτική Ελλάδα. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων παρουσίασε δυσκολίες κυρίως γιατί ο κάθε δείκτης έδινε ελαφρώς άλλη

κατάταξη. Σαν τελικό υποκατάστατο της συγκέντρωσης των αιωρούμενων θεωρήθηκε η 1^η κύρια συνιστώσα από θάλασσα με ίζημα (1^η ΚΣ – pc1), ενώ σαν ένδειξη του μεγέθους της στερεοαπορροής θεωρείται η μάσκα Li (κόκκινο). Ωστόσο, και οι υπόλοιποι δείκτες μεταφέρουν σημαντικές πληροφορίες. Για παράδειγμα, ο λόγος πράσινο/μπλέ και η μάσκα NSMI συσχετίζονται με τον όγκο της απορροής του κάθε ποταμού και μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύουν καλύτερα το οργανικό υλικό που μεταφέρει ο κάθε ποταμός.

Σε ότι αφορά την κατάταξη των ποταμών είναι ασφαλέστερο να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες (clusters). Η ομάδα των πιο παραγωγικών ποταμών περιλαμβάνει τους Αλφειό, Καλαμά, Πηνειό και τους Σπερχειό και Αξιό οι οποίοι εμφανίζουν μικρότερη σχετικά παραγωγικότητα σε αιωρούμενο ίζημα. Η ομάδα των λιγότερο παραγωγικών ποταμών περιλαμβάνει τους Ευρώτα, Αχέροντα, Στρυμόνα και Αχελώ καθώς και τον Εύηνο. Μέτριας παραγωγικότητας φαίνονται να είναι οι ποταμοί Πείρος, Μόρνος Πάμισος και Σελινούνας ενώ ακολουθούν οι Κράθης, Βουραϊκός και Κριός (Σχ.4).



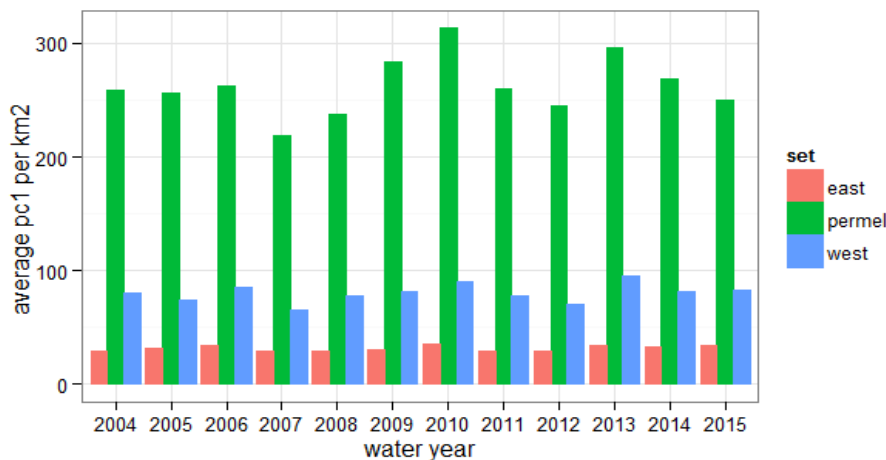
Σχήμα 4: Αριστερά: κατάταξη τουδυναμικούτων ποταμών με βάση τους μέσους 3 δεικτών. Με βάση την μάσκα Li και την NSMI έχουμε πρώτη την πεντάδα Αλφειού, Καλαμά, Πηνειού, Αξιού και Σπερχειού. Όμως οι Πάμισος, Μόρνος, Πείρος και Σελίνους φαίνεται να τροφοδοτούν με περισσότερο ίζημα (Suspended Sediment) τις εκβολές τους απ’ ότι ο Αξιός (1st pc). Η μάσκα NSMI, όπως αναφέρθηκε, συσχετίζεται με την απορροή των ποταμών και την περιεκτικότητα της απορροής αυτής σε οργανικό υλικό (Suspended Material). Μεγάλοι σχετικά ποταμοί όπως ο Στρυμόνας και ο Ευρώτας βρίσκονται στην τελευταία θέση. Δεξιά: η κατάταξη των μηνών του χρόνου.

Όσον αφορά την εποχικότητα της στερεοαπορροής, οι μήνες με την σημαντικότερη δραστηριότητα είναι οι Δεκέμβριος και Ιανουάριος (Δεκέμβριος για τους ποταμούς της Δυτικής Ελλάδας, Ιανουάριος για τους υπόλοιπους), ακολουθούμενοι από τους Φεβρουάριο, Νοέμβριο και Μάρτιο.

Η κατάταξη των υδρολογικών ετών παρουσίασε ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς, συνυπολογίζοντας και την βροχόπτωση στην κάθε λεκάνη απορροής, διαπιστώθηκε ότι οι πιο παραγωγικές χρονιές (ανά mm ύψους βροχής) ήταν οι χρονιές με τις λιγότερες βροχοπτώσεις, το 2007 και 2008. Η έξαρση αυτή, των ετών 2007 και 2008, οφείλεται

πιθανότητα στην κορύφωση των φαινομένων μεταφοράς σκόνης από την Αφρική (Pey et al., 2013, Theodosi et al., 2011).

Εάν, περαιτέρω, διακριθούν οι ποταμοί σε τρεις ομάδες ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση: Δυτικής Ελλάδας (Καλαμάς, Αχέρων, Αλφειός, Εύηνος, Μόρνος και Πείρος), Ανατολικής Ελλάδας (Πηνειός, Σπερχειός, Στρυμώνας, Πάμισος, Ευρώτας) και Βόρειας Πελοποννήσου (Σελινούς, Κράθης, Βουραϊκός, Κριός) και εξετασθεί η ειδική στερεοαπορροή τους (σαν $pc1/km^2$), παρατηρείται ότι οι πλέον παραγωγικοί σε αιωρούμενο ίζημα ποταμοί είναι αυτοί της Βόρειας Πελοποννήσου: παράγουν 3 φορές περισσότερο ίζημα ανά μονάδα επιφάνειας από τους ποταμούς της Δυτικής Ελλάδας, που με τη σειρά τους παράγουν το διπλάσιο ίζημα από αυτούς της Ανατολικής Ελλάδας (σχ.5). Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με την επισήμανση των Milliman & Syvitski (1992) για την συμβολή των μικρών ορεινών ποταμών στην στερεοαπορροή.



Σχήμα 5: Η στερεοπαραγωγικότητα ανά μονάδα επιφάνειας για τις τρεις γεωγραφικές ομάδες ποταμών (περιοχή μελέτης, οι ποταμοί της Βόρειας Πελοποννήσου). Από το ιστόγραμμα γίνεται σαφές ότι οι μικροί χειμαρροπόταμοι της Βόρειας Πελοποννήσου είναι μακράν οι παραγωγικότεροι.

Συμπεράσματα και συζήτηση

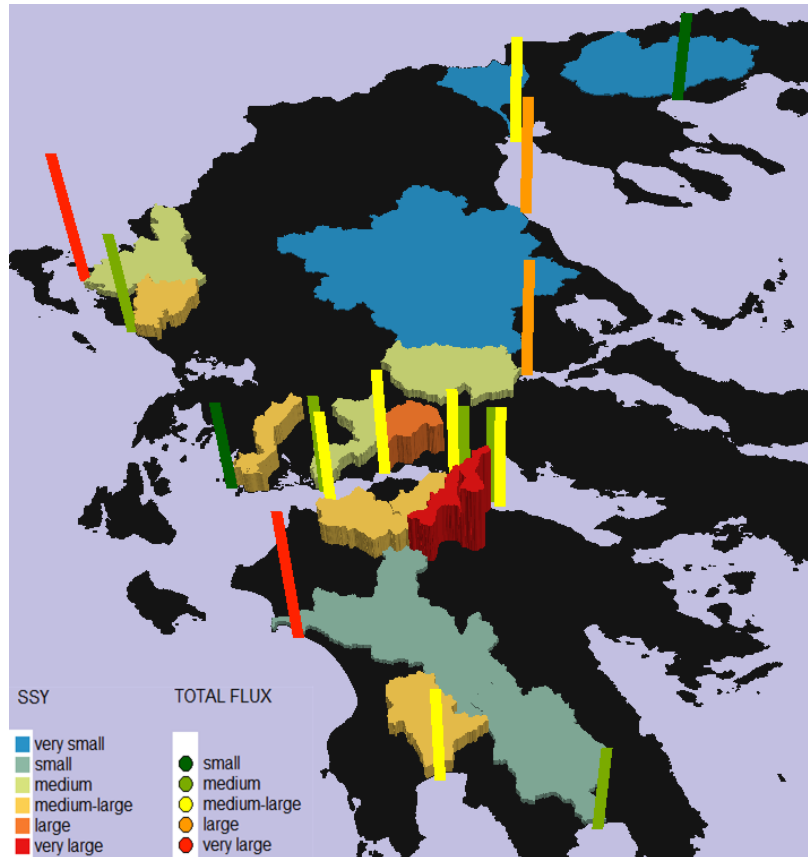
Αν και η τηλεπισκοπική έρευνα δεν μπορεί να δώσει ποσοτικά αποτελέσματα, και οι ημέρες που ενδιαφέρουν είναι συνήθως νεφοσκεπείς, ο ρόλος της αναδεικνύεται σημαντικός στον έλεγχο των υπόλοιπων μεθόδων (π.χ. εφαρμογή μοντέλων) και, εν προκειμένω, στην σύγκριση του ιζηματολογικού δυναμικού των μελετώμενων ποταμών. Επίσης, η παρούσα έρευνα υπενθυμίζει ότι τα συστήματα των λεκανών απορροής δεν είναι κλειστά και ότι υπάρχει μια σημαντική ατμοσφαιρική μεταφορά υλικού από την Αφρική κυρίως. Για την αξιολόγηση της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν μελέτες (Πούλος, 1999), εκτιμήσεις gross erosion του E.S.D.C. (Panagos et al., 2015) καθώς και υπολογισμοί από μία νέα εξίσωση εκτίμησης της ειδικής ποτάμιας στερεοαπορροής που προτείνεται από τους συγγραφείς¹. Τα σημαντικά συμπεράσματα από αυτήν την αντιπαραβολή είναι:

- Η κατάταξη της τηλεπισκόπησης συμφωνεί γενικά με αυτή των μοντέλων όσον αφορά τους πέντε παραγωγικότερους ποταμούς, ανεξαρτήτως σειράς, με την εξαίρεση του Αχέροντα (που η RUSLE εκτιμά μεταξύ των πέντε πρώτων). Δύο ποτάμια, Πηνειό και Αξιό, η RUSLE τα κατατάσσει πρώτα, ενώ πρώτοι κατά την τηλεπισκόπηση είναι οι Αλφειός και Καλαμάς. Βέβαια, οι εκτιμήσεις της RUSLE 2015, επειδή πρόκειται περί

¹ «ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΟΡΕΙΝΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ». 11^ο Συνέδριο ΕΓΕ 2018.

gross και όχι net erosion, θα πρέπει να είναι μικρότερες κατά έναν συντελεστή στερεοαπορροής.

- Η σημαντικότερη διαφορά που προκύπτει από την εξέταση και σύγκριση των κατατάξεων είναι ότι η τηλεπισκόπηση δίνει στην τελευταία θέση όλες τις μεσαίες – κατά τα μοντέλα- κατηγορίες: Αχέροντας, Στρυμώνας, Ευρώτας και Εύηνος.



Σχήμα 6: Εποπτική παρουσίαση των μετρήσεων της τηλεπισκόπησης. Τα πάχη των λεκανών δηλώνουν ειδική στερεοαπορροή ($1^{st}PC / km^2$) ενώ τα ύψη των ράβδων ολική ροή στερεών (Limask) στη θάλασσα, όπου πρώτοι είναι οι Αλφειός και Καλαμάς.

Συμπερασματικά, η αντιπαραβολή των μεθόδων αναδεικνύει τις αδυναμίες της κάθε μίας. Για παράδειγμα, ποιά τμήμα του εμβαδού της λεκάνης θα πρέπει να εισαχθεί στο κάθε μοντέλο και τι σημασία έχουν οι παγίδες ιζημάτων κατά μήκος των κεντρικών κοιτών στο ανάντη τμήμα των λεκανών απορροής ή στις εκβολές, όπως υγράτοποι και έλη, που φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο στις περιπτώσεις των ποταμών Στρυμώνας, Πηνειού, Ευρώτα και Αχέροντα, και ποιές είναι οι επιπτώσεις από τις μεγάλες απολήψεις νερού σε λεκάνες με εκτεταμένες γεωργικές χρήσεις; Ή, πόσο επηρεάζει ο άνεμος την γρήγορη διασπορά των πλουμίων και την πιθανότητα να αποτυπωθούν; Πάντως, καθώς η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιεί μετρήσεις και όχι υποθέσεις (οποιοδήποτε είδους), αναμένεται να είναι αντικειμενικότερη, αν και αποσπασματικότερη. Μπορεί μάλιστα να επεκταθεί χρησιμοποιώντας μεγαλύτερες χρονοσειρές εικόνων και άλλους δορυφορικούς δέκτες, οδηγώντας έτσι σε πιο ασφαλή αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

- Babin, M., D. Stramski, G. M. Ferrari, H. Claustre, A. Bricaud, G. Obolensky, and N. Hoepffner, 2003. Variations in the light absorption coefficients of phytoplankton, nonalgal particles, and dissolved organic matter in coastal waters around Europe, *J. Geophys. Res.*, 108(C7), 3211, doi:10.1029/2001JC000882,
- Bernardo N., Watanabe F., Rodrigues T., Alcantara E., 2016 An investigation into the effectiveness of relative and absolute atmospheric correction for retrieval the TSM concentration in inland waters *Model. Earth Syst. Environ.* 2:114 DOI 10.1007/s40808-016-0176-9
- Fan C., and Warner R., 2014. Characterization of Water Reflectance Spectra Variability: Implications for Hyperspectral Remote sensing in Estuarine Waters. *Marine Science* 2014, 4(1):1-9. Doi: 10.5923/j.ms.20140401.01
- Hossain, A., Chao, X., Jia, Y., 2010. Development of Remote Sensing based index for Estimating/Mapping Suspended Sediment Concentration in River and Lake Environments. 8th International Symposium on ECOHYDRAULICS (ISE 2010), Paper No. 0435, pp. 578-585.
- Li, R-R., Kaufman, Y., Gao, B., Davis, C., 2003. Remote Sensing of Suspended Sediments and Shallow Coastal Waters. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, Vol.41, No. 3, March 2003. pp559
- Milliman, J.D and Syvitski P.M., 1992. Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers. *J. Geol.*, 100:525-544.
- Pendergrass, A.& National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 02 Jul 2016. "The Climate Data Guide: GPCP (Daily): Global Precipitation Climatology Project." Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/gpcp-daily-global-precipitation-climatology-proj>
- Pey, J., Querol, X., Alastuey, A., Forastiere, F., Stafoggia, M. 2013. African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001-2011: PM₁₀ concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13,1395-1410,2013. Doi: 10.5194/acp-13-1395-2013
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, .C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 54: 438-447. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012
- Theodosi, C., Zoubali, C., Hatzianastassiou N., 2011. Interannual variability of dust over the Eastern Mediterranean. *Proceeding of the 6th International Workshop on Sand / Dust storms and associated dustfall* 7-9 SEPTEMBER 2011, ATHENS, GREECE
- Πούλος Σ., Ο ρόλος των φραγμάτων στην υδάτινη και ιζηματολογική διαίτα της Ελληνικής Παράκτιας ζώνης, 1999. 5^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο.

OBSERVATIONS FROM MONITORING SUSPENDED SEDIMENT PLUMES OF GREEK RIVERS USING MODIS IMAGERY

Abstract

669 Level 1B Modis images (MOD02) over a wide geographical area covering most of Greece, along with their corresponding Modis cloud product (MOD35), were downloaded and processed in order to conduct a comparative study over the activity of 17 rivers and streams of various sizes, with regards to their suspended sediment delivery. These 669 days, covering a 10 water years period (2005-2014) and grouped in 58 flood events, ranging in duration from 5 to 45 days, were chosen based on the hydrograph of Vouraikos river, a small perennial river that outfalls in the Gulf of Corinth, in central Greece. Relative atmospheric correction was applied on the images based on 4 selected bright invariant areas (PIFs) scattered along mainland Greece. Equal-area polygons drawn in the mouth of the selected rivers were used as regions of interest and the suspended sediment load of each river was assessed with the use of indices, ratios and masks involving all 3 visible channels and NIR. Principal Component Analysis (PCA) was also conducted. Thus, we were able to rank the rivers according to their suspended sediment loads, to assess the seasonal patterns of sediment discharge from the basins and to identify the effect of sand and dust storms on sediment delivery. Results are compared with published studies, model applications and recent maps of soil erosion from European Soil Data Center, highlighting the strength and weakness of each method and providing useful insight on the controls of sediment production and delivery of rivers to the sea.

KEY WORDS: MODIS, Greek rivers, suspended sediment plumes, Sediment flux, Remote sensing