

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ SENTINEL-1 & SENTINEL-2 ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ

**Ψωμιάδης Εμμανουήλ^{1*}, Παπάζογλου Γ. Ελένη²,
Αντωνίου Βασίλειος¹, Κανκαλά Ειρήνη¹**

¹Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής

²Τμήμα Φυτικής Παραγωγής

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55, Αθήνα/Ελλάδα; Τηλ.
2105294156/2105294315

e-mail: mpsomiadis@aua.gr, elpapazo@aua.gr, irini.kafkala@gmail.com,
vantoniou@gmail.com

Περίληψη

Η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών παρέχουν αποδοτικά και οικονομικά εργαλεία για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και την εκτίμηση των πιθανών κινδύνων από διάφορες ανθρωπογενείς ή φυσικές διεργασίες. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (ESA) ανέπτυξε πρόσφατα μία καινοτόμα σειρά δορυφόρων που ονομάζονται Sentinel, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν για τις υπηρεσιακές ανάγκες του Ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus, παρέχοντας ακριβή και εύκολα προσβάσιμα δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά είναι σημαντικά για τη βελτίωση της διαχείρισης του περιβάλλοντος, την κατανόηση και τον περιορισμό της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής, καθώς και την διασφάλιση της ασφάλειας του πολίτη. Κάθε δορυφορική αποστολή Sentinel, επικεντρώνεται στην διερεύνηση διαφορετικών θεμάτων παρατήρησης της Γης, τόσο για την στεριά, όσο και για την ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς και τα δεδομένα τους είναι χρήσιμα για ένα τεράστιο φάσμα εφαρμογών.

Στην παρούσα μελέτη, γίνεται διερεύνηση και αξιολόγηση της χρησιμότητας των δεδομένων Sentinel-1 & -2 για τη χαρτογράφηση της χρήσης/κάλυψης γης, της παράκτιας περιοχής του δέλτα και του Μαλιακού κόλπου, καθώς και των πλημμυρικών φαινομένων. Τα δεδομένα radar (SAR) του Sentinel-1 επεξεργάστηκαν κατάλληλα ώστε να αναδειχθεί μία μεθοδολογία καταγραφής πλημμυρικών συμβάντων, χρησιμοποιώντας ως μελέτη περίπτωσης την πρόσφατη πλημμύρα που σημειώθηκε τον Φεβρουάριο του 2015. Τα οπτικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης (MSI) του Sentinel-2 επεξεργάστηκαν επίσης, με σκοπό την χαρτογράφηση των αγρο-περιβαλλοντικών συνθηκών, της χρήσης/κάλυψης γης της λεκάνης απορροής, καθώς και της παράκτιας περιοχής του δέλτα.

Έχουν εφαρμοστεί και δοκιμαστεί στο παρελθόν αρκετοί καινοτόμοι φασματικοί δείκτες, οι οποίοι είναι χρήσιμοι για την εξαγωγή πληροφοριών από διάφορες φασματικές ζώνες και επιλέγονται με βάση το να μπορούν να χαρτογραφήσουν σωστά τόσο τα διάφορα χαρακτηριστικά και τις μεταβολές της χρήσης/κάλυψης γης, όσο και της παράκτιας ζώνης.

Μελετήθηκαν και καταγράφηκαν οι χρήσεις/καλύψεις γης της περιοχής, καθώς και η κατάσταση στην παράκτια περιοχή του Μαλιακού κόλπου, ενώ παράλληλα εντοπίστηκε και χαρτογραφήθηκε μία πλημμυρισμένη περιοχή περίπου 30.000 στρεμμάτων, μέσω κατάλληλης μεθοδολογίας.

Λέξεις - κλειδιά: Σπερχειός ποταμός, λεκάνης απορροής, παράκτια ζώνη, Sentinel-1 & 2, Χαρτογράφηση.

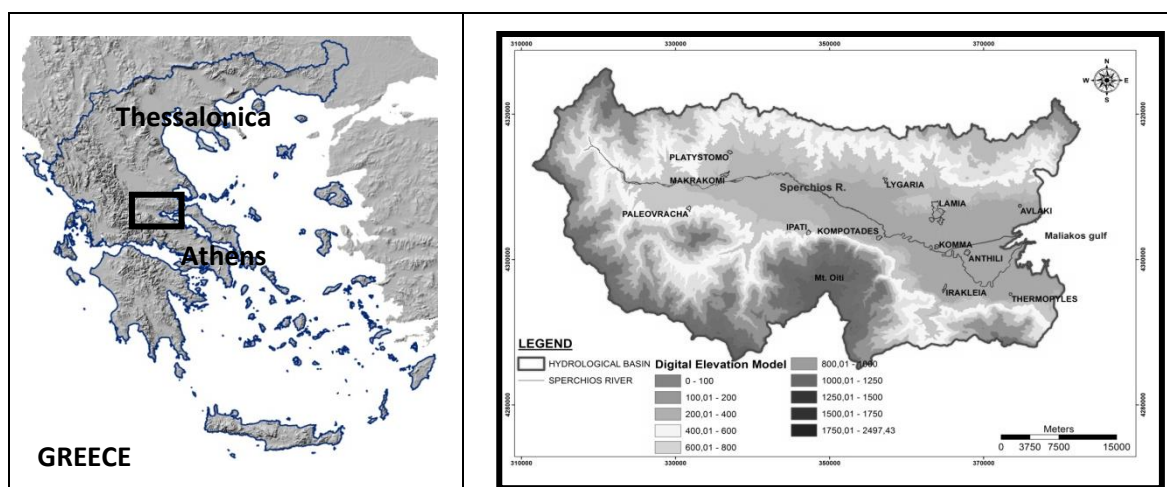
Εισαγωγή

Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού καλύπτει έκταση περίπου 1.830 km² και βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της κεντρικής Στερεάς Ελλάδας (Εικόνα 1). Το δέλτα που σχηματίζεται στην παράκτια ζώνη είναι μία σημαντική περιβαλλοντικά προστατευόμενη περιοχή (NATURA2000/GR2440002), η οποία όμως υπόκειται σε έντονες ανθρωπογενείς πιέσεις, όπως για παράδειγμα την δημιουργία και επέκταση οικισμών, την έντονη γεωργική δραστηριότητα και τα μεγάλα συγκοινωνιακά έργα, καθώς και σε επιδράσεις φυσικών καταστροφών, με κυριότερα τα πλημμυρικά φαινόμενα που συμβαίνουν αρκετά συχνά.

Το Δέλτα του ποταμού Σπερχειού έχει πελματοειδή μορφή, καταλαμβάνει έκταση περίπου 196 Km², και οριοθετείται στα ανατολικά του οικισμού της Ανθήλης και νοτιοανατολικά της πόλης της Λαμίας. (Zamani & Maroukian 1979, Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας 1995). Είναι ένα ημίκλειστος, ρηχός, θαλάσσιος κολποειδής σχηματισμός με χαμηλό εύρος παλίρροιας και περιορισμένη κυματική δράση εξαιτίας κυρίως του περιορισμένου του μεγέθους και πλάτους. (Tziavos 1977, Poulos 1989, Poulos et al. 1996, Poulos et al. 1997).

Οι βασικοί παράγοντες που επιφέρουν πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού είναι: (α) η γεωμορφολογία της περιοχής, (β) η μορφολογία ροής του Σπερχειού ποταμού, (γ) οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις, με τα μεγάλα έργα υποδομής που έχουν κατασκευαστεί και συνεχίζουν να κατασκευάζονται στην παράκτια ζώνη και (δ) τα έντονα κλιματικά φαινόμενα, τα οποία συνδυαζόμενα

με τους τρεις αρχικούς παράγοντες οδηγούν στην εμφάνιση έντονων πλημμυρικών φαινομένων (Σωτηρωπούλου 2012, Psomiadis 2013, Psomiadis 2016).



Εικόνα 1: Περιοχή Μελέτης-Υδρολογική λεκάνη του ποταμού Σπερχειού

Η παράκτια περιοχή του Μαλιακού κόλπου ποικίλει στην κατανομή των ιζημάτων που μεταφέρει στις εκβολές του ο ποταμός Σπερχειός. Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες (Poulos *et al.* 1996, 1997).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η χαρτογράφηση της περιοχής και ιδιαίτερα της παράκτιας ζώνης του Σπερχειού ποταμού και Μαλιακού κόλπου. Μεγαλύτερη έμφαση δόθηκε στο παράκτιο ανατολικό δελταϊκό τμήμα, δεδομένου ότι σε αυτό οι μεταβολές από ανθρωπογενείς επεμβάσεις και φυσικές διεργασίες είναι εντονότερες. Το τμήμα αυτό παρουσιάζει παράλληλα έντονο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον.

Συγκεκριμένα εφαρμόστηκαν μεθοδολογίες για την χαρτογράφηση: (α) Πλημμυρικού συμβάντος με χρήση δορυφορικών εικόνων radar του Sentinel-1, (β) της χρήσης/κάλυψης γης της περιοχής και (γ) Της παράκτιας ζώνης, της ακτογραμμής και του Μαλιακού κόλπου με την χρήση οπτικών δορυφορικών εικόνων του Sentinel-2.

Η δυνατότητα χαρτογράφησης μίας περιοχής που έχει πλημμυρίσει, χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα, έχει ως βασικό πρόβλημα την νεφοκάλυψη που υπάρχει συνήθως στην πλημμυρισμένη περιοχή, τόσο κατά τη διάρκεια του φαινομένου, όσο και μετά. Τα οπτικά δορυφορικά δεδομένα, χρησιμοποιούν για την καταγραφή των εικόνων τους το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα της περιοχής του ορατού και του υπέρυθρου φάσματος. Το μήκος κύματος αυτού του φάσματος δεν μπορεί να διαπεράσει τα νέφη, με συνέπεια οι πλημμυρισμένες εκτάσεις που «καλύπτονται» από αυτά, να μην μπορούν να καταγράφουν στις δορυφορικές εικόνες. Τη λύση στο θέμα αυτό δίνουν τα δεδομένα radar, τα οποία χρησιμοποιούν το μικροκυματικό φάσμα μεγάλου μήκους κύματος, το οποίο έχει

την δυνατότητα να διαπερνά τα νέφη και οι εικόνες που προκύπτουν να μην επηρεάζονται από αυτά.

Δεδομένα-Μεθοδολογία

Ο δορυφόρος, Sentinel 1A, είναι ιδανικός για την χαρτογράφηση πλημμυρών. Χρησιμοποιεί μικροκυματική ακτινοβολία (Radar, C-band), έχοντας χωρική διακριτική ικανότητα 5 m. Τα οπτικά δορυφορικά δεδομένα, λόγω του μεγάλου εύρους φασματικών ζωνών και την υψηλή ανάλυση που διαθέτουν, είναι ιδανικά για την χαρτογράφηση της χρήσης/κάλυψης γης και του παράκτιου θαλάσσιου περιβάλλοντος (Sentinel-1 Εγχειρίδιο χρήστη, 2014). Καλύπτει την επιφάνεια της γης κάθε πέντε ημέρες με χωρική ανάλυση 10, 20 και 60 μέτρων, κάνοντας τα δεδομένα μεγάλης χρησιμότητας σε μελέτες που σχετίζονται με τη χαρτογράφηση της χρήσης/κάλυψης γης και την ποσοτικοποίηση των αλλαγών της τόσο στο χερσαίο όσο και στο παράκτιο-θαλάσσιο τμήμα μιας περιοχής (Sentinel- 2 Εγχειρίδιο χρήστη, 2015).

(http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2)

Οι εικόνες του Sentinel-1 και Sentinel-2 αποκτήθηκαν μέσω του Sentinels Scientific Data Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>) (Πίνακας 1). Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SeNtinel (SNAP), το οποίο δημιουργήθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (European Space Agency –ESA).

Χρησιμοποιήθηκαν επίσης και εικόνες του Landsat-8, για την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων για την κάλυψη γης, ο οποίος αποκτήθηκαν από την πλατφόρμα EarthExplorer/USGS (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Τα δεδομένα Sentinel-1, Sentinel-2 και Landsat-8 που χρησιμοποιήθηκαν

Satellite	Instrument	Ημερομηνία λήψης
Sentinel-1	C-SAR	02/02/2015
Sentinel-1	C-SAR	21/01/2015
Landsat 8	OLI	02/08/2016
Sentinel-2	MSI	02/08/16

Επεξεργασία δεδομένων για την χαρτογράφηση πλημμύρας

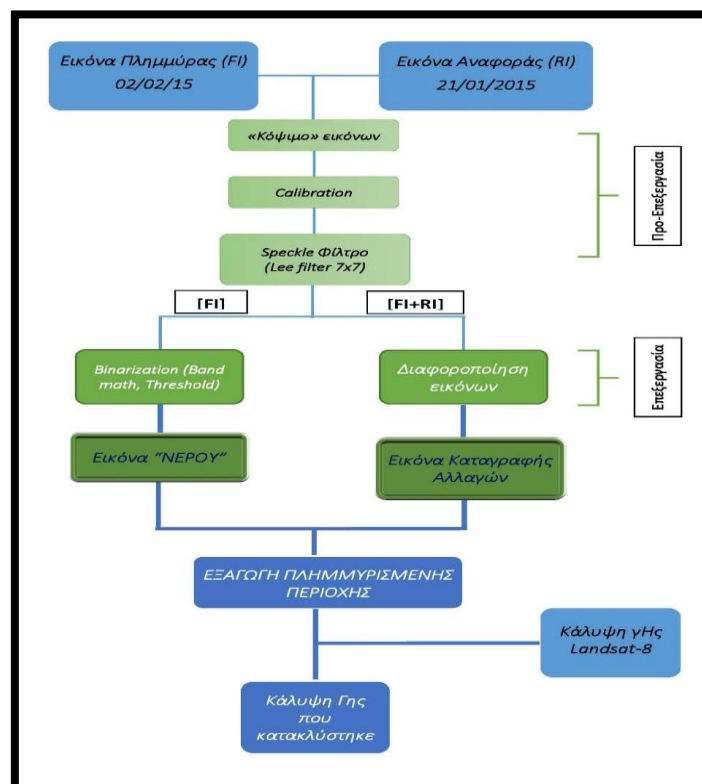
Εφαρμόστηκαν δύο μεθοδολογίες για την καταγραφή της πλημμύρας. Στην πρώτη χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες, μία πριν και μία μετά το πλημμυρικό συμβάν και έγινε αφαίρεση των εικόνων για να προκύψει η εικόνα διαφοροποίησης που

αποτυπώνει την πλημμύρα. Στην δεύτερη, χρησιμοποιώντας μόνο την εικόνα μετά την πλημμύρα και με εφαρμογή ειδικής επεξεργασίας και χρήση ειδικού ορίου (Threshold) στο ιστόγραμμα της τελικής εικόνας, πραγματοποιείται αποτύπωση της πλημμύρας (Εικόνα 2).

Επεξεργασία δεδομένων για την χαρτογράφηση της χρήσης/κάλυψης γης

Για την χαρτογράφηση των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης χρησιμοποιήθηκαν εικόνες του δορυφόρου Landsat-8 και Sentinel-2. Οι δορυφορικές εικόνες του Landsat-8 ελήφθησαν απευθείας σε μορφή Surface Reflectance έχοντας ήδη ατμοσφαιρική διόρθωση, ενώ τα δεδομένα του Sentinel-2 διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά με το ελεύθερο λογισμικό SNAP της ESA και συγκεκριμένα με το ειδικό εργαλείο Sen2Cor.

Πραγματοποιήθηκε επίσης δειγματοληψία σημείων υπαίθρου, για δύο λόγους: (α) για την εκπαίδευση του ταξινομητή που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην ταξινόμηση της εικόνας (training set), (β) για την επαλήθευση των τελικών αποτελεσμάτων που αφορούν την κάλυψη/χρήση γης και τις πιθανές αλλαγές (ground truth).



Εικόνα 2. Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή μιας πλημμύρας, με δύο διαφορετικές μεθοδολογίες

Τα δεδομένα υπαίθρου επιλέχθηκαν συστηματικά από όλη την περιοχή μελέτης έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά και χωρικά κατανεμημένα σε όλη την λεκάνη απορροής, να περικλείουν όλες εκείνες τις φασματικές διακυμάνσεις και τις μεταβολές που υπάρχουν και καλύπτουν πλήρως όλους τους τύπους κάλυψης που συναντώνται στην περιοχή μελέτης. Συλλέχθηκαν 1820 σημεία δειγματοληψίας, εκ των οποίων το 80% χρησιμοποιήθηκαν σαν δείγματα για την ταξινόμηση και το 20% για τον υπολογισμό της ακρίβειας ταξινόμησης.

Στο θεματικό χάρτη χρήσης/κάλυψης γης του 2016 που προέκυψε από την ταξινόμηση, έγινε εφαρμογή του φίλτρου majority (3x3) για την ομογενοποίηση του τελικού προϊόντος, την μείωση των λανθασμένα ταξινομημένων εικονοστοιχείων και την εξαφάνιση των μεμονωμένων εικονοστοιχείων που εμφανίζονταν σε ομοιογενείς περιοχές. Η χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου φίλτρου θα πρέπει να γίνεται με πολύ μεγάλη προσοχή, διότι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του παραθύρου τόσο μεγαλύτερο θα είναι το επίπεδο της ομογενοποίησης (Fung & Chan 1994).

Όσον αφορά την ακρίβεια του χάρτη χρήσης/κάλυψης γης του 2016 της μελέτης, για συνολικό αριθμό 213 σημείων που επιλέχθηκαν, διαπιστώνεται ότι η συνολική ακρίβεια είναι 92,2%. Για την ακρίβεια παραγωγού ξεπερνάει για όλες τις κλάσεις το 90%, ενώ για την ακρίβεια χρήστη ξεπερνάει το 89%.

Επεξεργασία δεδομένων για την χαρτογράφηση του Μαλιακού κόλπου

Για την χαρτογράφηση του δέλτα στην παράκτια περιοχή του Μαλιακού κόλπου χρησιμοποιήθηκαν σύνθετες ψευδέγχρωμες εικόνες των απλών φασματικών καναλιών των δορυφόρων Landsat-8 και Sentinel-2 και ειδικοί δείκτες φασματικών καναλιών.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα των φασματικών καναλιών 5,7,3 (RGB), η οποία επιλέχθηκε διότι συνεισφέρει καλύτερα στον διαχωρισμό του καθαρού νερού από το νερό που περιέχει αιωρούμενα ιζήματα, καθώς και τις περιοχές με υδροχαρή βλάστηση μέσα στη θάλασσα (υποθαλάσσιο λιβάδι του Αγγειόσπερμου *Cymodocea nodosa*, Παναγιωτίδης & Χατζημπίρος, 2004, Εικόνα 3).

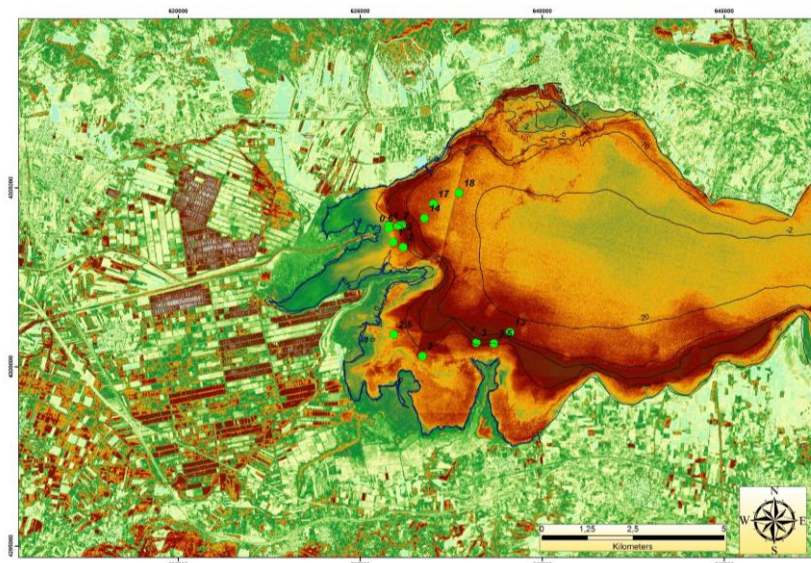
Χρησιμοποιήθηκαν δύο καινούργιοι δείκτες με την εφαρμογή εξισώσεων από

απλά φασματικά κανάλια του δορυφόρου Sentinel-2. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε ο δείκτης Normalized Difference Turbidity Index (NDTI), ο οποίος αναδεικνύει τα σημεία εκείνα του κόλπου όπου τα νερά περιέχουν εν αιωρήσει ιζήματα και τα διαχωρίζει από το καθαρό θαλασσινό νερό. Οι περιοχές που δεν επηρεάζονται έντονα από τα ιζήματα βρίσκονται προς τα ανατολικά του κόλπου, μακριά από την περιοχή εκβολής του ποταμού. Επίσης, εφαρμόστηκε ο δείκτης Normalized Difference Water Index (NDWI), ο οποίος διαχωρίζει μέσα στο νερό την διαφορετική πυκνότητα σε ιζήματα, το διαφορετικό βάθος του πυθμένα (που είναι πιο ρηχό το νερό και που πιο βαθύ), καθώς και της θαλάσσιες περιοχές που περιέχουν υδροχαρή βλάστηση (Εικόνα 4).

Για την καλύτερη ταυτοποίηση του βάθους του πυθμένα, χρησιμοποιήθηκαν και οι πληροφορίες βάθους, που συλλέχθηκαν κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας των ιζημάτων στην περιοχή του κόλπου.



Εικόνα 3. Η σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα 5,7,3 (RGB) του Landsat8, όπου απεικονίζονται ευκρινώς τόσο οι περιοχές που έχουν μεγάλη συγκέντρωση σε ιζήματα (σημείο 1), όσο και οι περιοχές όπου αναπτύσσεται τα υδροχαρή λιβάδια (Cymodocea nodosa στο νότιο τμήμα του κόλπου (σημείο 2)



Εικόνα 4. Εικόνα του δείκτη NDTI όπου απεικονίζονται με χρώματα πράσινου και καφέ τα διαφορετικά τμήματα του κόλπου που διαφέρουν στην περιεκτικότητά τους σε ιζήματα. Απεικονίζονται επίσης, οι ισοβαθείς καμπύλες και οι βαθυμετρικές τιμές από σημεία δειγματοληψίας (πράσινα σημεία).

Αποτελέσματα

Από την χαρτογράφηση της χρήσης/κάλυψης γης (Εικόνα 5) της περιοχής προέκυψαν τα στατιστικά στοιχεία του ποσοστού κάλυψης κάθε κλάσης και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, για ολόκληρη τη λεκάνη απορροής του ποταμού Σπερχειού.

Από την σύγκριση της χρήσης/κάλυψης γης για το χρονικό διάστημα από το 2007 (διδακτορική διατριβή, Ψωμιάδης 2010) έως το 2016, παρατηρούνται τα εξής (Πίνακας 2): (α) Αύξηση της έκτασης του οδικού-σιδηροδρομικού δικτύου Το γεγονός αυτό εξηγείται από τα μεγάλα οδικά και σιδηροδρομικά έργα που έχουν ολοκληρωθεί ή συνεχίζονται ακόμα και σήμερα στην παράκτια ζώνη της περιοχής μελέτης, (β) Μείωση των θερινών αροτραίων-κηπευτικών καλλιεργειών και μικρή αύξηση των χειμερινών. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανά στο ότι μεγάλο μέρος από τα οδικά-σιδηροδρομικά έργα που έγιναν-γίνονται στην περιοχή, πραγματοποιούνται μέσα στην πεδιάδα και κατέλαβαν τη θέση κυρίως των καλλιεργειών. Επίσης, η μικρή αύξηση των χειμερινών αροτραίων καλλιεργειών σε σχέση με τη μείωση των θερινών, πιθανά να οφείλεται στη μείωση των επιδοτήσεων των θερινών καλλιεργειών κατά την τελευταία δεκαετία, (γ) Μικρή αύξηση του αστικού, ιδιαίτερα στην περιαστική περιοχή της Λαμίας και των μεγαλύτερων οικισμών και (δ) Μικρή μείωση των δασικών και των αείφυλλων-πλατύφυλλων, καθώς και των βοσκότοπων (Πίνακας 2).

Από την χαρτογράφηση της πλημμύρας στη λεκάνη του Σπερχειού που έλαβε

χώρα στις 01-02/02/2015 και την καταγραφή με τη χρήση των δορυφορικών δεδομένων radar του Sentinel-1, προέκυψε ότι πλημμύρισαν περίπου 32.000 στρέμματα.

Η πλημμυρισμένη περιοχή απεικονίζεται στην εικόνα «Πλημμύρας-Water» που προέκυψε από την επεξεργασία της εικόνας radar του Sentinel-1 μετά την πλημμύρα, με την 1^η μέθοδο επεξεργασίας, με τη χρήση Threshold (Εικόνα 6). Η μέθοδος αυτή έδωσε λίγο καλύτερα αποτελέσματα στη χαρτογράφηση της πλημμύρας σε σχέση με την μέθοδο της καταγραφής των αλλαγών ανάμεσα σε μία εικόνα πριν και μία μετά την πλημμύρα. Τα αποτελέσματά πάντως που έδωσαν είχαν πολύ μικρές διαφορές. Για την ποσοτικοποίηση της έκτασης των διαφόρων τύπων χρήσης/κάλυψης γης που πλημμύρισαν και συνεπώς επηρεάστηκαν από το πλημμυρικό συμβάν, πραγματοποιήθηκε αλληλεπίθεση του πολυγώνου της χαρτογραφημένης πλημμύρας, με τα πολύγωνα της επικαιροποιημένης χρήσης/κάλυψης γης του 2016.

Από την συσχέτιση αυτή των δύο πολυγωνικών αρχείων προέκυψε ότι πλημμύρισαν περίπου 1.860 εκτάρια αροτραίων καλλιεργειών και κηπευτικών, 870 εκτάρια βοσκότοπων και χέρσων εκτάσεων (κυρίως στην παράκτια ζώνη του δέλτα), 220 εκτάρια δρόμων και αστικών περιοχών, 200 εκτάρια γυμνών εδαφών (κυρίως καλλιεργούμενων εδαφών), 5 εκτάρια δασικής έκτασης και 45 εκτάρια μόνιμων καλλιεργειών και ελιών.

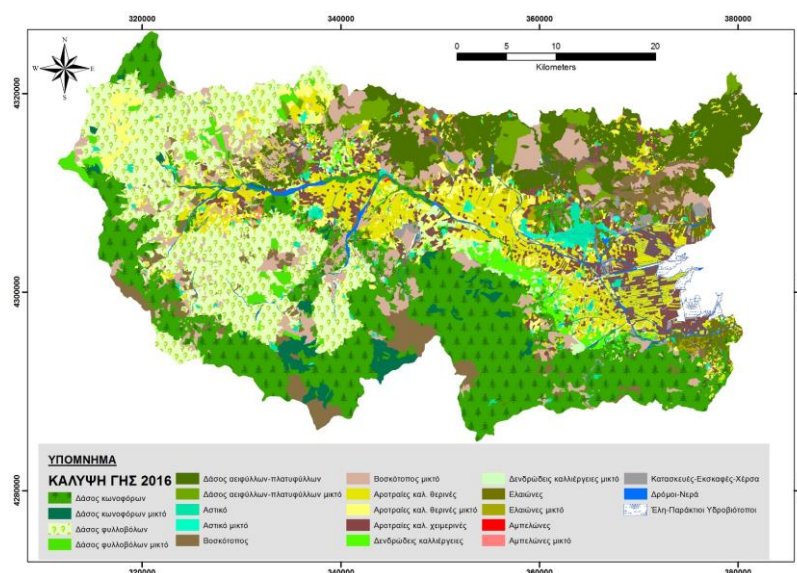
Πίνακας 2. Ποσοστά κάλυψης της χρήσης/κάλυψης γης στην περιοχή μελέτης για το 2016 και ποσοστά μεταβολή τους από παλιότερη μελέτη του 2007

Περιγραφή ταξινομικής κλάσης	Κωδικός	Εμβαδόν (Km ²)	Ποσοστό (%)	2007-2016 Km ²	Μεταβολές (%)
Δάσος κωνοφόρων	10	457,99	25,05	-3,51	-0,19
Δασικό κωνοφόρων μικτό	11	31,45	1,72	-0,31	-0,02
Δάσος φυλλοβόλων	12	297,73	16,29	0,22	0,01
Δασικό φυλλοβόλων μικτό	13	22,72	1,24	0,00	0,00
Δάσος αείφυλλων-πλατύφυλλων	14	168,77	9,23	-0,64	-0,03
Δασικό αείφυλλων-πλατύφυλλων μικτό	15	39,28	2,15	3,28	0,18
Αστικό	20	23,00	1,26	0,51	0,03
Αστικό μικτό	21	10,88	0,60	0,15	0,01
Βοσκότοπος (λιβάδια)	30	93,92	5,14	-0,94	-0,05
Βοσκότοπος Θάμνοι-λιβάδια μικτό	31	159,04	8,70	-0,79	-0,04
Αροτραία	40	176,52	9,66	-5,35	-0,29
Αροτραίο μικτό	41	76,58	4,19	-3,97	-0,22
Αροτραία-έδαφος	44	100,08	5,47	15,72	0,86
Δενδρώδεις	50	26,73	1,46	-6,37	-0,35
Δενδρώδεις μικτό	51	21,40	1,17	-5,69	-0,31
Ελιές	60	38,52	2,11	4,04	0,22

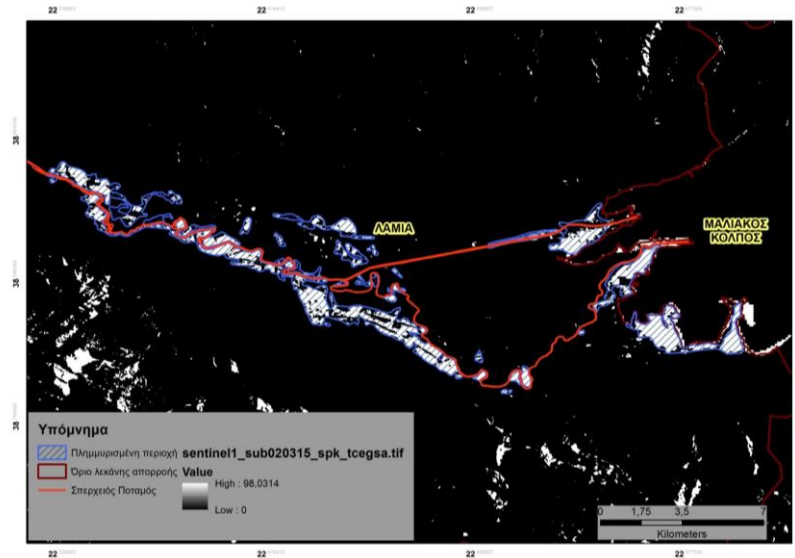
Ελιές μικτό	61	15,64	0,86	0,21	0,01
Αμπελώνες	70	0,47	0,03	0,00	0,00
Αμπελώνες μικτό	71	1,80	0,10	0,90	0,05
Κατασκευές Εκσκαφές-Χέρσα	90	23,79	1,30	0,86	0,05
Νερά-Δρόμοι	91	32,63	1,78	2,82	0,15
Έλη-Παράκτιοι Υδροβιότοποι	98	9,05	0,50	-0,35	-0,02
Καμένες εκτάσεις	00	0	0,00	-0,80	-0,04
Σύνολο:			1828,00	100,00	

Με βάση τις δορυφορικές εικόνες και ιδιαίτερα τα παράγωγα που προέκυψαν με την δημιουργία κατάλληλων δεικτών φασματικών καναλιών που αναδεικνύουν τα αβαθή τμήματα, τα τμήματα με διαφορετική περιεκτικότητα σε ιζήματα και τις περιοχές με υδροχαρή βλάστηση, καθώς και την χαρτογράφηση της παράκτιας ζώνης με Drone, ταξινομήθηκαν με φωτοερμηνεία τα διαφορετικά τμήματα του Μαλιακού κόλπου.

Ουσιαστικά διακρίθηκαν 6 περιοχές όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 7. Συγκεκριμένα, η περιοχή 1, περιλαμβάνει την περιοχή όπου το θαλάσσιο νερό περιλαμβάνει την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε αιωρούμενα ιζήματα. Η περιοχή 2 είναι η περιοχή που περιλαμβάνει το υποθαλάσσιο λιβάδι του Αγγειόσπερμου *Cymodocea nodosa*. Από τις περιοχές 3-5 συναντάμε σταδιακά διαφορετικά βάθου του κόλπου με ταυτόχρονη μείωση βαθμίδων και των αιωρούμενων ιζημάτων, ενώ στην περιοχή 6 βρίσκεται το βαθύτερο τμήμα του κόλπου.



Εικόνα 5. Απεικονίζεται ο χάρτης χρήσης/κάλυψης γης για το έτος 2016 στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού.

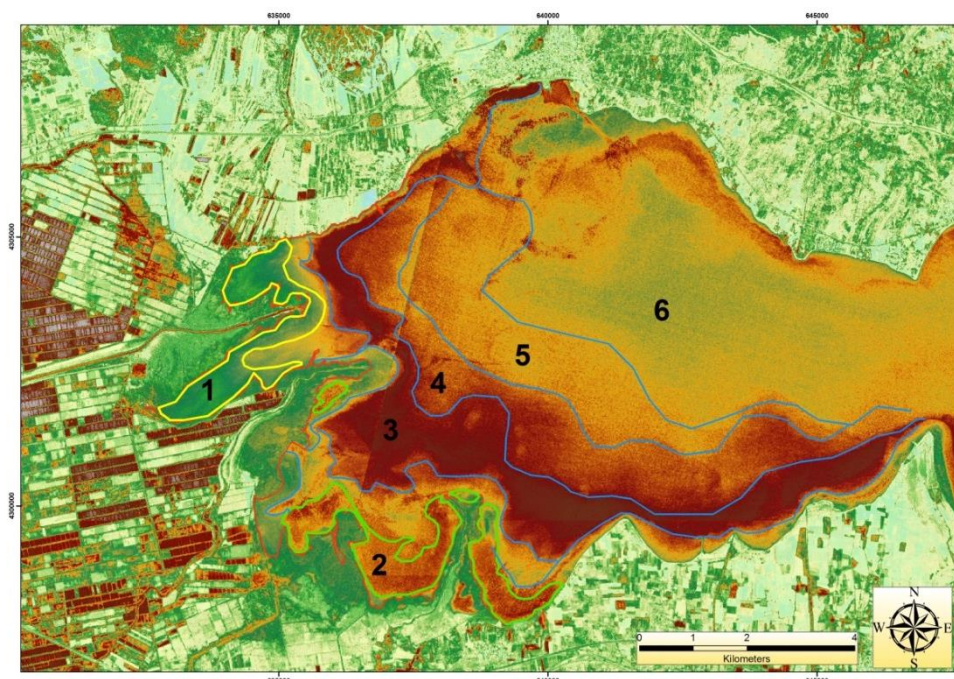


Εικόνα 6. Η χαρτογραφημένη πλημμυρισμένη περιοχή (μπλε γραμμή πολυγώνου) όπως απεικονίζεται στην εικόνα «Πλημμύρας-Water» που προέκυψε από την εφαρμοσμένη επεξεργασία της εικόνας radar του Sentinel-1

Συμπεράσματα

Τα δεδομένα των νέων και καινοτόμων δορυφορικών συστημάτων του Sentinel-1 και Sentinel-2 και τα παραγόμενα με την επεξεργασία προϊόντα, αποτελούν ένα εξαιρετικό εργαλείο στα χέρια των επιστημόνων για τα επόμενα χρόνια για την μελέτη, χαρτογράφηση και προστασία του περιβάλλοντος.

Συγκεκριμένα, τα δεδομένα του Sentinel-1 είναι ιδανικά στην χαρτογράφηση πλημμύρας, ιδιαίτερα σε συνθήκες νεφοκάλυψης, όπου τα οπτικά δεδομένα δεν μπορούν να παρέχουν ακριβή δεδομένα. Ο Sentinel-2 είναι ιδανικός για την χαρτογράφηση της χρήσης/κάλυψης γης και παράκτιων περιοχών και γενικότερα περιβαλλοντικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής



Εικόνα 7. Απεικονίζεται ο χάρτης από την εφαρμογή του δε NDTI, επάνω στον οποίο ψηφιοποιήθηκαν οι 6 διακριτές περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά στην παράκτια ζώνη του Μαλιακού κόλπου.

Βιβλιογραφία

- Fung T., Chan K.C., 1994. Spatial composition of the spectral classes: a structural approach for image analysis of heterogeneous land-use and land cover types. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 60 (2), pp. 173-180.
- Παναγιωτίδης Π. και Χαζημπίρος Κ., 2004. Παράκτια Οικοσυστήματα & Ανθρωπογενείς Πιέσεις στις Ακτές – Παραδείγματα από την Ελλάδα. Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών & Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σημειώσεις Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος, σελ.32.
- Psomiadis E., 2016. Flash flood area mapping utilizing Sentinel-1 radar data. *Proc. SPIE. 10005, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VII*, 100051G. (October 18, 2016) doi: 10.1117/12.2241055, Edinburgh
- Poulos S., 1989. Deltaic sedimentation in the microtidal environment of Greek waters. Unpubl. PhD Dissertation, Cardiff, UK, University of Wales.
- Poulos S., Collins M.B., Shaw H.F., 1996. Deltaic sedimentation, including clay mineral deposition patterns, associated with small mountainous rivers and shallow marine embayments of Greece (SE Alpine Europe). *Journal of Coastal research*, 12-4, pp.940-952.
- Poulos S., Leontaris S., Collins M.B., 1997. Sedimentological and clay mineralogical investigations in Maliakos Gulf, eastern Greece. *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol.39, N.3-4, pp.267-279.
- Σωτηροπούλου Κ., 2012. ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ 2007/60/ΕΕ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ. Μεταπτυχιακή διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Επιστήμη Και Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων, σελ. 141.

Tziavos C., 1977. Sedimentology, ecology and paleogeography of the Sperchios valley and Maliakos gulf, Greece. Unpubl. MSc Thesis, University of Delaware, USA.

Zamani A., Maroukian H., 1979. A morphological study of an old delta of the Sperchios River. VI Colloquium on the Geology of the Aegean Region, Proceedings, pp. 417-423, Athens.

Ψωμιάδης Π. Ε., 2010. Έρευνα γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού ποταμού με τη χρήση νέων τεχνολογιών, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/>

http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2

<http://ypeka.gr/Default.aspx?tabid=252&language=el-GR>

https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook

https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook

Abstract

Remote Sensing and Geographical Information System techniques provide safe and cost-effective tools for environmental monitoring and risk assessment of environmentally susceptible and threatened areas. European Space Agency (ESA) is developing a new innovative series of satellites called Sentinels for the operational needs of the Copernicus program which provides accurate, timely and easily accessible information to improve the management of the environment, understand and mitigate the effects of climate change and ensure civil security. Each mission of Sentinels focuses on a different aspect of Earth observation; Atmospheric, Oceanic, and Land monitoring, and the data will be of use in many applications.

Sentinel-1 includes C-band imaging operating in four exclusive imaging modes with different resolution (down to 5 m) and coverage (up to 400 km). It provides dual polarization capability, very short revisit times and rapid product delivery. Synthetic Aperture Radar (SAR) has the advantage of operating at wavelengths not impeded by cloud cover or a lack of illumination and can acquire data over a site during day or night time under all weather conditions (Sentinel-1 User Handbook, 2013)

Sentinel-2 is a new land monitoring mission that provides high-resolution optical imagery to perform terrestrial observations in support of land services. The mission provides a global coverage of the Earth's land surface every five days and at a spatial resolution of 10, 20 and 60 meters, making the data of great use in studies related to land use/cover mapping and quantification of its changes (Sentinel-2 User Handbook, 2015).

The Sperchios river basin, with an area of 1.830 km², is located in the eastern part of Central Greece. Its coastal delta zone is an environmentally susceptible area

(NATURA2000/GR2440002), subjected to anthropogenic pressures (e.g. residential areas expansion, intense agriculture, large infrastructure constructions), as well as to several flash flood events.

In the present study, the usefulness of Sentinel-1 & -2 data for land use/cover, coastal delta area, and natural disasters mapping have been tested and evaluated. The radar (SAR) data of Sentinel-1 were processed so as to reveal and delineate a recent flash flood event that took place in February of 2015. The high-resolution optical data (MSI) of Sentinel-2 were processed for agro-environmental monitoring and land use/cover mapping of the basin and the coastal delta area. The images have been acquired through the Sentinels Scientific Data Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>).

Ευχαριστίες

Η μελέτη αποτελεί μέρος του ερευνητικού έργου SPERCHIOS (www.sperchios-project.gr), προερχόμενο από τα προγράμματα της Επιτελικής Δομής ΕΣΠΑ και τα οποία χρηματοδοτούνται από τον Χρηματοδοτικό Μηχανισμό του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (EOX) – EEA GRANTS (<http://eeagrants.org/>).