ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ





Η συμβολή της Τηλεπισκόπησης στην προειδοποίηση σχετικά με πιθανές πλημμύρες, στην αξιολόγηση των καταστροφών και στη μείωση του κινδύνου.

Αναστασοπούλου Αικατερίνη

AEM: 4258

Επιβλέπων Καθηγητής : Οικονομίδης Δημήτριος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

15/2/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Εισαγωγή

Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) καλείται η τεχνική συλλογής στοιχείων (δεδομένων) για τον προσδιορισμό της φύσης και των ιδιοτήτων ενός ή περισσότερων αντικειμένων μιας περιοχής, από απόσταση (από τον αέρα ή το διάστημα), χωρίς τη φυσική επαφή με τα αντικείμενα αυτά. Αυτό επιτυγχάνεται : α) με την βοήθεια ειδικών συστημάτων καταγραφής των αντικειμένων (δεδομένων) και β) με τη βοήθεια ειδικών συστημάτων οπτικής και ψηφιακής επεξεργασίας των δεδομένων (φωτογραφιών και εικόνων).

Ολοένα και περισσότερο, πληροφορία προερχόμενη από δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης της γης χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των μετρήσεων που απαιτούνται στις διάφορες φάσεις εξέλιξης των φυσικών επικίνδυνων φαινομένων, όπως και στα προγράμματα διαχείρισης των φυσικών καταστροφών.

Οι πλημμύρες συγκαταλέγονται στους πιο καταστροφικούς φυσικούς κινδύνους και ευθύνονται για μεγάλες καταστροφές σε σχέση με τις ανθρώπινες ζωές. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανοικοδόμηση της ιστορίας του γήινου εδάφους και στην πρόβλεψη καταστροφικών γεγονότων, μεταξύ άλλων και των πλημμυρών. Τα συστήματα ραντάρ SAR (Synthetic aperture radar) και TM (Landsat Thematic Mapper) παρέχουν πληροφορίες για την κάλυψη της Γης και την γεωμορφολογία των κλίσεων του εδάφους, ώστε να καταγράφεται η πιθανότητα καθίζησης επικίνδυνων για πλημμύρες περιοχών και να διευκρινίζεται ο όγκος και η διανομή των υλικών που δημιουργούνται από μία πλημμύρα.

Η τηλεπισκόπιση συμβάλλει ουσιαστικά στην προειδοποίηση σχετικά με πιθανές πλημμύρες, στην αξιολόγηση των καταστροφών και στη μείωση του κινδύνου, ενώ βασίζεται σε εκτενή συστήματα εξ αποστάσεως αλλά και επί τόπου μετρήσεων της βροχόπτωσης, των κυτών των ποταμών, της υγρασίας του εδάφους και της μεταβολής στις καλλιέργειες, τα οποία αποτελούν κρίσιμους πλημμυρικούς δείκτες. Γίνεται έτσι κατανοητό ότι η πλαισίωση των τηλεσκοπικών δεδομέναν από δεδομένα επί τόπου μετρήσεων αλλά και δεδομένα υδρολογικών μοντέλων είναι πολύ σημαντική.

Ως παράδειγμα αναφέρεται το ραντάρ SeaWinds (MODIS, QuickSCAT), του οποίου τα οπτικά δεδομένα συνδυάζονται με συστήματα GIS, ώστε να απεικονιστεί η τάση της πλημμύρας και να δημιουργηθούν εβδομαδιαίοι χάρτες αναταραχής της επιφάνειας του νερού στους οποίους εντοπίζεται η πιθανότητα πλημμύρας ποταμών. Οι τύποι των μετρήσεων που απαιτούνται για την ποσοτικοποίηση, την μοντελοποίηση και την πρόβλεψη καταστροφικών πλημμυρών, περιλαμβάνουν 1m DEMs με 5 cm ακρίβεια για τη γεωμετρία των λεκανών συλλογής υδάτων και των κλίσεων των λόφων, ωριαίες μετρήσεις της διάρκειας και της έντασης της βροχόπτωσης, με ακρίβεια 1-2 mm και δωδεκάωρες μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους για την αξιολόγηση της δυνατότητας απορροής.

Ακόμα εποχικές μετρήσεις της βλάστησης παρέχουν δεδομένα για την ικανότητα διείσδυσης των υδάτων και τη σκληρότητα του εδάφους, ενώ γεωλογική απεικόνιση με ακρίβεια 5m, παρέχει στοιχεία για την σκληρότητα, την διαπερατότητα και το επίπεδο διάβρωσης των βράχων. Οι τηλεσκοπικοί δέκτες που κατά κόρον χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των κινδύνων πλημμύρας περιλαμβάνουν τον InSAR, GPS, δέκτες ορατού και εγγύς υπέρυθρου/θερμικού υπέρυθρου (VNIR/TIR), πολυπαραμετρικό SAR και δέκτη μικροκυματικών απεικονίσεων. Τα δεδομένα του SAR παρέχουν μία παντός καιρού δυνατότητα πλημμυρικής απεικόνισης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσέγγιση υδρολογικών παραμέτρων, όπως η υγρασία του εδάφους. Ο InSAR παρέχει δυνατότητα για μέτρηση εδαφικών μετατοπίσεων και παρέχει υψηλής ακρίβειας τοπογραφικές απεικονίσεις.

Για την καλύτερη ανίχνευση, αναγνώριση και αναπαράσταση των πλημμυρισμένων περιοχών, συνήθως χρησιμοποιείται μια πολυχρονική τεχνική. Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιεί άσπρες και μαύρες εικόνες από το ραντάρ, οι οποίες καλύπτουν την ίδια περιοχή, αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και ημερομηνίες και οι οποίες στη συνέχεια οδηγούνται στα τρία διαφορετικά κανάλια μιας έγχρωμης εικόνας και συγκεκριμένα στο μπλε, στο κόκκινο και στο πράσινο. Η προκύπτουσα πολυχρονική εικόνα αποκαλύπτει καθαρά τις αλλαγές στην επιφάνεια της γης από την παρουσία χρώματος στην εικόνα. Η απόχρωση του χρώματος δείχνει την ημερομηνία που συνέβη η αλλαγή, ενώ η ένταση του χρώματος δείχνει το βαθμό της αλλαγής. Ενσωμάτωση της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην μοντελοποίηση των ξαφνικών πλημμυρών στην λεκάνη απορροής του Wadi Hudain στην Αίγυπτο. (Mohammed El Bastawesy, Kevin White and Ayman Nasr, 2008)

Περίληψη

Αυτή η εργασία παρουσιάζει μια νέα προσέγγιση στη μοντελοποίηση ξαφνικών πλημμυρών σε ξηρές λεκάνες απορροής με την συνδυασμένη χρήση της Τηλεπισκόπησης και των δεδομένων του Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (DEM) σε ένα σύστημα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).Τα δεδομένα της Τηλεπισκόπησης έχουν μεγάλη σημασία στη μοντελοποίηση των ξαφνικών πλημμυρών και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην εκτίμηση μιας σειράς παραμέτρων (Sharma and Singh, 1992; Foody et al.,2004).Αυτές οι παράμετροι είναι η εκτίμηση της βροχόπτωσης,της εξατμισιδιαπνοής και της χρήσης και κάλυψης Γης (Xinmei et al., 1995; Rezacova et al., 2007) οι οποίες έχουν μεγάλη επιρροή στην επιφανειακή απορροή, την απώλεια μετάδοσης και στη διοχετεύουσα απορροή.

Η φασματική ανακλαστικότητα των καναλιών που επηρεάζεται από πρόσφατες πλημμύρες παρουσιάζει σημαντική αύξηση, λόγω της απόθεσης των ιζημάτων σε αυτά τα κανάλια, καθώς η πλημμύρα υποχωρεί. Αυτό επιτρέπει στα μέρη μιας λεκάνης που έχουν πληγεί από την πρόσφατη πλημμύρα να ξεχωρίζουν από μη πληγέντα τμήματα, χρησιμοποιώντας μια χρονοσειρά των εικόνων Landsat.

To SRTM3 DEM χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της κατεύθυνσης της ροής, το μήκος της ροής, το ενεργό κανάλι διατομής και την κλίση. Η εξίσωση Manning χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των ταχυτήτων ροής του καναλιού, και ως εκ τούτου και στις χρονικές ζώνες στην περιοχή της λεκάνης απορροής. Ένα μεγάλου μήκους κανάλι που ήταν ενεργό κατά τη διάρκεια μιας εκδήλωσης απορροής το 1985, το οποίο δεν δέχεται ροή από κάποιο παραπόταμο, χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του ρυθμού μετάδοσης απώλειας 7.5 mm h⁻¹, λαμβάνοντας υπόψη την εκτίμηση της μέγιστης αποφόρτισης.

Περιοχή Μελέτης

Η Wadi Hudain είναι μία τυπική ξηρή λεκάνη απορροής που βρίσκεται στην περιοχή Shalateen στο νοτιο-ανατολικό τμήμα της Ανατολικής Έρημου της Αιγύπτου. Η λεκάνη έχει τη μεγαλύτερη αποστράγγιση προς την Ερυθρά Θάλασσα και έχει έκταση των 11 825 km². Οι δύο κύριες υπολεκάνες της Wadi Hudain είναι η Faykouh και η Naam, δέχονται τη ροή από το νότο και το βορρά, αντίστοιχα, πριν τη συμβολή τους σε ένα κύριο κανάλι που ρέει ανατολικά (Hudain) προς την Ερυθρά Θάλασσα. Ο κύριος κλάδος του καναλιού Wadi Faykouh είναι ρηχός, ευρύς, σχετικά ευθυτενής και με μικρή κλίση καθώς διασχίζει περιοχές χαμηλού αναγλύφου. Αντίθετα η λεκάνη Wadi Naam είναι πιο απότομη, πιο στενή και πιο ελικοειδής.



Σχήμα 1. Τοποθεσία της περιοχής μελέτης.

Δεδομένα και μέθοδοι

Τα ενεργά κανάλια και οι ορεινές συμβάλλουσες περιοχές.

Η περιοχή μελέτης μελετήθηκε με τις διαθέσιμες εικόνες Landsat.(Πίνακας 1). Η σύνθεση των ψευδοχρωματικών ζωνών 7 (2,08-2,35 μm, υπέρυθρη βραχέων κυμάτων), 4 (0,76-0,9 μm, κοντινή υπέρυθρη) και 2 (0,52-0,6 μm, ορατό πράσινο) που απεικονίζονται ως κόκκινο, πράσινο και μπλε, βρέθηκε ότι παρέχουν την καλύτερη συνολική διάκριση των επιφανειακών υλικών των καναλιών για τους σκοπούς της χαρτογράφησης. Αυτές οι ζώνες επιλέχθηκαν επίσης για την ελαχιστοποίηση της συσχέτισης μεταξύ των ζωνών μεγιστοποιώντας έτσι το περιεχόμενο των πληροφοριών από τη σύνθεση της εικόνας που προκύπτει.

Scene number	Acquisition date	Sensor	Evidence of flash flood
1	01-10-1984	ТМ	No
2	05-11-1985	TM	Yes
4	05-12-1987	TM	Yes
5	08-03-1988	TM	No
6	07-03-1989	TM	Yes
7	17-12-1993	TM	No
8	06-09-1998	TM	Yes
9	06-11-2000	ETM+	No

Πίνακας 1. Διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες Landsat για την περιοχή μελέτης.

Μετά την υποχώρηση της ροής τα λεπτόκοκκα ιζήματα αποθέτονται στο επάνω μέρος του πλέον ξηρού καναλιού και οι φασματικές ταυτότητες παρουσιάζουν μια αντίθεση φωτεινότητας σε σύγκριση με την περιβάλλουσα περιοχή.

Κανάλια στα οποία έχει εκδηλωθεί πρόσφατη ροή μπορούν να εντοπιστούν και να χαρτογραφηθούν εύκολα από την αισθητή αύξηση της φωτεινότητας κατά μήκος του ενεργού ορίου των καναλιών. Το πλάτος των φωτεινών χαρακτηριστικών μειώνεται προς τα κατάντη, υποδεικνύοντας εξασθένιση της πλημμύρας, καθώς το νερό κατεισδύει από την κοίτη. Το πρόσφατα ενεργά κανάλια δεν συμπεριφέρονται το ίδιο σε διαφορετικές πλημμύρες, δείχνοντας ότι οι υπολεκάνες που συμβάλλουν στη ροή διαφέρουν από το ένα γεγονός στο άλλο. Χρησιμοποιώντας την αύξηση της φωτεινότητας του καναλιού για τη χαρτογράφηση των ενεργών καναλιών, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι περιοχές που συμβάλλουν στη ροή διαφε πλημμυρικό γεγονός.

Η συμβάλλουσα περιοχή προσδιορίστηκε με τη χρήση μιας διαδικασίας τριών σταδίων. Πρώτον, τα ενεργά κανάλια εντοπίστηκαν από τις δορυφορικές εικόνες. Αυτό έγινε βάσει της φωτεινότητας, όπως περιγράφεται παραπάνω. Δεύτερον, στο δίκτυο των ενεργών καναλιών, χαρτογραφήθηκαν τα σημεία συμβολής που ενώνονται οι ενεργοί παραπόταμοι. Τρίτον, οι περιοχές που συμβάλλουν στην ανερχόμενη ροή οριοθετούνται στη συνέχεια από ένα σημείο του ενεργού καναλιού ακριβώς κάτω από το χαμηλότερο ενεργό σημείο συμβολής.

Δηλαδή, ένα σημείο ροής που αντιστοιχεί σε αυτή τη θέση είχε χρησιμοποιηθεί ως δεδομένο για την λειτουργία 'watershed' στο ArcGIS και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το πλέγμα συσσώρευσης ροής για την εύρεση των περιοχών που συμβάλλουν στην ανερχόμενη ροή. Στο μοντέλο, οι συμβάλλουσες περιοχές που αναπτύσσονται εξαρτώνται από τη διάρκεια, την ένταση και χωρική έκταση των βροχοπτώσεων.

Έτσι, μεγαλύτερα και εντονότερα γεγονότα παράγουν μεγαλύτερη απορροή. Από το χαμηλότερο σημείο συμβολής υποθέτεται στο μοντέλο, ότι το νερό θα ξαναδιεισδύσει στη λεκάνη απορροής και το μέγεθος της ροής θα καθορίσει την απόσταση στην οποία η επιφανειακή ροή θα διατηρηθεί. Μεγαλύτερα γεγονότα απορροής θα διαδοθούν περαιτέρω κάτω από το κανάλι. Η πιθανότητα ένα γεγονός ροής να φθάσει την έξοδο της λεκάνης, συνεπώς, εξαρτάται από το μέγεθος της βροχόπτωσης και από τις συνθήκες που επικρατούν στο προηγηθέν κανάλι.

Οι τέσσερις διαθέσιμες εικόνες Landsat που λήφθηκαν το 1985,το 1987, το 1989, και το 1998, δείχνουν σαφώς την ύπαρξη πρόσφατων καναλιών απορροής (Σχήμα 2). Οι αλλαγές στη φασματική ανακλαστικότητα οφείλονται στην απόθεση των αργιλικών ιζημάτων όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 2. Εικόνες Landsat TM και ΕΤΜ+ της λεκάνης απορροής Faykouh, 1985, 1987, 1989 και 1998. Βλ. Πίνακα 1 για ακριβείς ημερομηνίες λήψης εικόνας.



Σχήμα 3. Η φασματική ανακλαστικότητα Landsat των προ-και μετα- πλημμυρικών αποθέσεων του καναλιού.

Τεχνικές για τον καθορισμό του εύρους, του βάθους και το μέγεθος των κόκκων των καναλιών έχουν καθιερωθεί στη βιβλιογραφία. Λόγω του χρόνου που απαιτείται, του κόστους, και της έλλειψης μια ακριβής απεικόνισης της χωρικής μεταβλητότητας μέσα σε μια λεκάνη, εναλλακτικές τεχνικές για την εξαγωγή μορφολογικών χαρακτηριστικών του καναλιού έχουν προταθεί από το υψηλής ανάλυσης DEM (Smart et al., 2004).

Παρά το γεγονός ότι, το υψηλής ανάλυσης DEM δεν είναι διαθέσιμο για την περιοχή μελέτης, το SRTM3 DEM χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του πλάτους, του βάθους και της περιμέτρου του καναλιού σε διάφορες διατομές (Πίνακας ΙΙ).

Number	Width (m)	Mean depth (m)	Cross section area (m ²)	Perimeter (m)	Hydraulic radius	Slope percentage	Runoff Velocity (m s ⁻¹)
1	540	1.5	810	543	0.67037	0.002929	1.7
2	540	1.33	718.2	542.5	0.755361	0.004903	2.9
3	630	1.14	718.2	632	0.879978	0.009117	4.3
4	450	0.8	360	452	1.255556	0.005618	4.3
5	450	0.6	270	451	1.67037	0.00856	5.1
6	450	0.8	360	451	1.252778	0.002346	2.8
7	270	0.3	81	270.6	3.340741	0.002	1.8

Πίνακας 2. Παράμετροι των ενεργών καναλιών Landsat και οι διατομές που εξάγονται από τα DEM.

Αυτή η ανάλυση δεν είναι αρκετά ακριβής ώστε να αντιπροσωπεύει μια ακριβή διατομή (δηλ. δεν λαμβάνονται υπόψη οι μικρής κλίμακας αναβαθμίδες ή τα φύλλα μέσα στα κανάλια). Ωστόσο, για τις περισσότερες μεθόδους ανοιχτών καναλιών απαιτούνται διατομές καναλιών οι οποίες έχουν γενικευθεί πριν από την εκτίμηση των χαρακτηριστικών της ροής(Hey, 1979), έτσι τα δεδομένα SRTM3 θα πρέπει να παρέχουν μια λογική προσέγγιση για το σχετικά μεγάλο αριθμό καναλιών που εξετάζονται εδώ.

Με τη χρήση της λειτουργίας FLOWLENGTH του ArcInfo, η οποία μπορεί να υπολογίσει το συσσωρευμένο μήκος ροής στα κατάντη και συμπεριλαμβάνοντας την αντίσταση, παράγεται ένα αθροιστικό πλέγμα χρόνου - διαδρομής(Σχήμα 4).Κάθε κελί δείχνει το χρόνο (σε δευτερόλεπτα) που χρειάζεται η απορροή ώστε να φτάσει στην έξοδο της λεκάνης.

Ως εκ τούτου, η λεκάνη μπορεί να υποδιαιρεθεί σε διαφορετικές ζώνες χρόνουπεριοχής (σε ώρες) που χωρίζονται από ισόχρονες καμπύλες (Σχήμα 4).





Αποτελέσματα

Σημαντικά γεγονότα απορροής κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες στη λεκάνη του Wadi Faykouh ελέγχθηκαν χρησιμοποιώντας διάφορα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα (Σχήμα 2). Η εμφάνιση αυτών των γεγονότων διαπιστώθηκε από την έντονη αύξηση της φωτεινότητας των υλικών της κοίτης μέσα στα ενεργά κανάλια. Τα νότια και τα ανατολικά τμήματα της λεκάνης Faykouh υπέστησαν περισσότερα γεγονότα απορροής από ότι το υπόλοιπο της λεκάνης. Οι νότιοι παραπόταμοι ήταν ενεργοί σε κάθε περίοδο που αντιπροσωπεύουν οι δορυφορικές εικόνες, αλλά οι δυτικοί και οι βόρειοι παραπόταμοι ήταν ενεργοί μόνο κατά τη διάρκεια του γεγονότος του 1987 (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Περιοχές των ενεργών καναλιών και πρανών που έχουν συμβάλλει στη ροή στα γεγονότα του 1985 (A), του 1987 (B), του 1989(C) και του 1998 (D).

Αυτό θα μπορούσε να σχετίζεται με τη χωρική διάταξη των βροχοπτώσεων πάνω από τις νότιες και ανατολικές ορεινές περιοχές. Ωστόσο, η τοπική γεωλογία και κάλυψη του εδάφους μπορεί να έχει σημασία εδώ. Η χαμηλή ορεινή τοπογραφία των δυτικών παραπόταμων καλύπτεται από Τεταρτογενείς άμμους και αλλούβια. Το κατώτατο όριο για την έναρξη της απορροής αυτών των περιοχών είναι πιθανό να είναι υψηλό, καθώς οι τιμές της κατείσδυσης είναι πολύ μεγαλύτερες λόγω της πορώδους φύσης του υποβάθρου. Ως εκ τούτου, οι περιοχές που συμβάλλουν στην απορροή, ακόμη και κάτω από το ίδιο ποσοστό βροχόπτωσης, θα είναι διαφορετικές.

Το πιο σημαντικό εύρημα είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος της επιφανειακής απορροής διηθείται μέσα στα αλλούβια κάτω από την κοίτη και τις όχθες του καναλιού κατά τη μεταφορά τους μέσω αυτού.

Η κατανόηση της αντίδρασης των ξηρών λεκανών απορροής από τα φαινόμενα της βροχόπτωσης είναι απαραίτητη προκειμένου να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος από τις πλημμύρες στις αυξανόμενες ανθρωπογενείς δραστηριότητες σε αυτές τις λεκάνες απορροής. Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης είναι ζωτικής σημασίας σε τέτοιες καταστάσεις, όταν τα δεδομένα της περιοχής είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης έχουν χρησιμοποιηθεί για να οριοθετηθούν τα ενεργά κανάλια σε διαφορετικά γεγονότα. Αυτό είναι δυνατό λόγω της υψηλότερης ανακλαστικότητας των λεπτόκοκκων ιζημάτων, που ορίζεται κατά τη διάρκεια του τελικού σταδίου της ύφεσης των πλημμυρών. Αν και παροδική, η επακόλουθη υψηλότερη ανακλαστικότητα μπορεί να διαρκέσει για αρκετούς μήνες προτού απομακρυνθεί από την αιολική διεργασία διάβρωσης. Στο σχήμα 6 διακρίνουμε την απομάκρυνση του λεπτόκοκκου ιζήματος από το κανάλι μεταξύ Δεκεμβρίου του 1987 και Μαρτίου του 1988. Η διατήρηση των συνθηκών μπορεί να είναι μεταβλητή από το ένα κανάλι στο άλλο, ακόμη και στο ίδιο κανάλι, λόγω της διαθεσιμότητας του λεπτόκοκκου ιζήματος, των μεγεθών και τα διαστήματα επανάληψης των πλημμυρών αλλά και της βιολογικής δραστηριότητας εντός των λεκανών απορροής. Τα διαθέσιμα δεδομένα Landsat TM και ETMC για αυτή την περιοχή χρησιμοποιήθηκαν για να αναγνωρίσουν τα πρόσφατα γεγονότα πλημμύρων στο εσωτερικό των καναλιών. Η νότια περιοχή του Wadi Faykouh φαίνεται να παρουσιάζει περισσότερες πλημμύρες απ'ότι του Wadi Naam. Αυτό μπορεί να σχετίζεται με την επιδρομή μουσώνων στο νότιο τμήμα της Ερυθρά Θάλασσας στην Αίγυπτο.



Σχήμα 6. Μείωση της ανάκλασης στο κανάλι Wadi Faykouh από το Δεκέμβριο του 1987 (αριστερά) μέχρι τον Μάρτιο του 1988 (δεξιά), που προκύπτει από την αιολική διάβρωση των υπολειπόμενων λεπτόκοκκων αλλούβιων που αποτέθηκαν κατά το στάδιο ύφεσης της πλημμύρας.

Το γεγονός του 1989 ήταν πολύ ακραίο και μετέφερε την απορροή από το Wadi Faykouh στα προσχωσιγενή ριπίδια και την Shalateen, αλλά τα ακόλουθα γεγονότα είχαν περισσότερο τοπική επίδραση. Σε γενικές γραμμές, ολόκληρη η λεκάνη απορροής είναι απίθανο να επηρεαστεί ομοιόμορφα από μία μεμονωμένη καταιγίδα. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα της ροής στις περιοχές των πρανών θα είναι διαφορετικά από τη μια καταιγίδα στην άλλη (Σχήμα 7).



Σχήμα 7. Τα σχήματα α (επάνω) και β (κάτω) δείχνουν τα αποτελέσματα της απορροής σε δύο διαφορετικά πλημμυρικά γεγονότα.

Προκύπτει ξεκάθαρα από την έρευνα αυτή ότι τα διαφορετικά υδρογραφήματα κατασκευάζονται από διαφορετικά γεγονότα εντός της ίδιας λεκάνης απορροής, λόγω της χωρικής μεταβλητότητας της απορροής στη συμβάλλουσα περιοχή ως συνάρτηση της καταιγίδας, του προσανατολισμού, της έντασης και της διάρκειας (Singh, 1997). Αυτή η χρονική και χωρική διακύμανση της απορροής καθιστά εξαιρετικά δύσκολη τη γενίκευση ενός πρότυπου μοντέλου για ξηρές λεκάνες απορροής. Αυτό έχει οδηγήσει σε μια πληθώρα υδρολογικών μοντέλων τα οποία ομαδοποιούν διαφορετικά στοιχεία. Οι δορυφορικές εικόνες που λήφθησαν λίγο πριν και μετά την εμφάνιση των πλημμυρικών γεγονότων μαζί με το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου DEM μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση των υδρογραφημάτων απορροής.

Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης και τα μοντέλα GIS έχουν μεγάλες δυνατότητες για τη μοντελοποίηση πλημμυρών σε άνυδρες περιοχές, με τον προσδιορισμό των ενεργών λεκανών και της επακόλουθης ροής μέσω της λεκάνης.

Ανάλυση των κινδύνων παράκτιας πλημμύρας χρησιμοποιώντας εικόνες Landsat-7/ETM + και SRTM/DEM. Μια Μελέτη στην περιοχή της Σμύρνης, Τουρκία. (Α. C. Demirkesen & F. Evrendilek & S. Berberoglu & S. Kilic 2006)

Εισαγωγή

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) ανέφερε ότι η άνοδος της μέσης παγκόσμιας στάθμης (MSLR) απειλεί τις παράκτιες κοινότητες (IPCC,2001). Η μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε σε ποσοστό 1 έως 2 χιλιοστά/έτος κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα (Church & White, 2006).

Προειδοποιήσεις από τεχνικές μετρήσεις της Τηλεπισκόπησης στις εκτιμήσεις της παλίρροιας και της χωρικής ανάλυσης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΠΣ) παρέχουν αρκετά ακριβείς μετρήσεις της μέσης παγκόσμιας στάθμης (MSLR) και διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό την ανάλυση των κινδύνων σε περίπτωση πλημμύρας σε παράκτιες περιοχές (Brivio, Colombo, Maggi, & Tomasoni, 2002; Burrough & McDonnell, 1998; Coppock, 1995; Wang, Colby, & Mulcahy, 2002). Ο Yildiz (2003) ανέφερε ότι το τοπικό επίπεδο της θάλασσας στη Σμύρνη κατά μήκος της ακτής του Αιγαίου στην Τουρκία αυξήθηκε κατά ένα ποσοστό 6,8 ± 0,9 χιλιοστά/έτος μεταξύ του 1984 και του 2002 χωρίς την ανίχνευση της κατακόρυφης κίνησης του φλοιού.

Τα αποτελέσματα της ανόδου της στάθμης της θάλασσας όπως οι παράκτιες διαδικασίες της υπερχείλισης και της διάβρωσης έχουν μεγάλη οικονομική και οικολογική σημασία λαμβάνοντας υπόψη τις έντονες και μη αναστρέψιμες αλλαγές που πιθανόν να συμβούν στα παράκτια οικοσυστήματα. Ο στόχος της μελέτης ήταν να υπολογιστεί το ποσοστό των παράκτιων περιοχών της Σμύρνης που βρισκόταν κάτω από τον κίνδυνο πλημμύρας, κατασκευάζοντας ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου (DEM) με δεδομένα που λήφθηκαν από τη διαστημική τοπογραφική αποστολή (SRTM).

Περιοχή μελέτης

Η επαρχία της Σμύρνης, έχει έκταση περίπου 11 810 km², το συνολικό μέγεθος του πληθυσμού είναι περίπου 3,3 εκατομμύρια άνθρωποι και βρίσκεται στο Αιγαίο Πέλαγος, στις δυτικές ακτές της Τουρκίας (38°24 Β και 27°10 Α) (Εικόνα 1)

Τα κύρια ποτάμια και ρέματα που αποφορτίζονται στο Αιγαίο στην περιοχή μελέτης μας είναι το Gediz, Little Menderes, Kocacay και Bakircay και αποτελούν σημαντικές παράκτιες πλημμυρικές περιοχές.



Εικόνα 1. Περιοχή μελέτης.

Οριοθέτηση των περιοχών που διατρέχουν κίνδυνο πλημμυρών

Η διαδικασία της ανάλυσης των κινδύνων πλημμύρας απεικονίζεται στο Σχήμα 2.Οι εικόνες του δορυφόρου Landsat-7 που φέρει τον ενισχυμένο πολυφασματικό σαρωτή (ETM+) πρώτα ταξινομήθηκαν για την ανίχνευση του τύπου της χρήσης και κάλυψης γης (LULC). Δεύτερον, οι πιθανώς πιο ευάλωτες περιοχές στις παράκτιες πλημμύρες στην περιοχή μελέτης μας προσδιορίστηκαν με ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου (DEM) που λήφθηκαν από τη διαστημική τοπογραφική αποστολή (SRTM).Ο προσδιορισμός και η ανάλυση της εικόνας πραγματοποιείται με βάση τη μέγιστη πιθανότητα ταξινόμησης (Jensen, 1996, Lillesand & Kiefer, 1994).

Η κοντινή υπέρυθρη ζώνη (ζώνη 4 με φασματικό μήκος κύματος 0,4 έως 0,7μm) του Landsat-7 ETM + χρησιμοποιήθηκε για να γίνει διάκριση μεταξύ των υδάτινων συστημάτων, τις περιοχές με βλάστηση, συμπεριλαμβανομένων των δασών, θαμνώδεις εκτάσεις και λιβάδια, οικισμούς, περιοχές χωρίς βλάστηση και καλλιεργήσιμες εκτάσεις με βάση τα διαφορετικά επίπεδα ποσοστών της απορρόφησης του φάσματος.



Σχήμα 1. Ένα διάγραμμα ροής που απεικονίζει τις διεργασίες που εμπλέκονται στην ανάλυση των κινδύνων πλημμύρας.

Ακρίβεια αξιολόγησης

Πρώτον, η διάδοση των σφαλμάτων λήφθηκε υπόψη για τον έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μελέτη. Οι πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες Landsat-7 ETM + έχουν 30 μ. χωρική ανάλυση, και τα δεδομέμα SRTM έχουν χωρική ανάλυση 90 τ.μ., με οριζόντια και κατακόρυφη ακρίβεια των 45 και 15 m.

Δεύτερον, 500 σημεία αναφοράς που βρίσκονται στον τομέα, χρησιμοποιώντας το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) με σφάλμα ± 3 m, χρησιμοποιούνται στην τυχαία δειγματοληψία για το έδαφος και για την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης των εικόνων. (Burrough & McDonnell, 1998; Jensen, 1996; Lillesand& Kiefer, 1994).

Τέλος, η προκύπτουσα συνολική κατάταξη ακριβείας ήταν 88%, με τιμές Kappa 0,88 για την εικόνα. Η ταξινόμηση των υδάτων και των δασών ήταν πιο ακριβής από εκείνη των οικισμών, του εδάφους χωρίς βλάστηση και των γεωργικών εκτάσεων.

Η ακρίβεια του χρήστη υπολογίστηκε διαιρώντας τον αριθμό των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων σε κάθε κατηγορία με το συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων. Αυτό μας δείχνει πόσο καλά καταρτισμένο είναι το σύνολο των εικονοστοιχείων μιας συγκεκριμένης κάλυψης, και η πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο να ταξινομείται σε μια συγκεκριμένη κατηγορία που στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύει την κατηγορία του εδάφους.

Αποτελέσματα

Στη μελέτη, μια απλή και οικονομικά αποδοτική προσέγγιση αναπτύχθηκε για να προσδιορίσει τη σχετική ευπάθεια των περιφερειακών πεδινών παράκτιων περιοχών.

Οι εικόνες Landsat-7 ETM+ (6.147 km²) χαρακτηρίζονται στους ακόλουθους τύπους Χρήσης και Κάλυψης Γης (LULC) : (1) εσωτερικά ύδατα (λίμνες και ποτάμια, 0,5%), (2) περιοχές χωρίς βλάστηση (19,5%), (3) οικισμοί (9,1%) (4) δάσος (θαμνώδεις εκτάσεις 45%) και (5) γεωργικές εκτάσεις (25,9%) (Εικόνα 2,Πίνακας 1)



Εικόνα 2. Ταξινόμηση Χρήσης και Κάλυψης Γης (LULC) στην περιοχή της Σμύρνης. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται το νερό, με κόκκινο οι περιοχές χωρίς βλάστηση, με άσπρο οι οικισμοί, με πράσινο τα δάση και με πορτοκαλί οι γεωργικές εκτάσεις.

LULC classifications	PA (%)	UA (%)	Kappa	Area (km ²)	Total(%)
Water body (lakes/rivers)	99	100	1.00	30	0.5
Bareground	85	80	0.80	1,196	19.5
Settlement	70	80	0.80	557	9.1
Forest/Shrubland Orchard/Grassland	99	90	0.90	2,771	45.0
Agricultural land	65	90	0.90	1,593	25.9
Total area in Landsat-7 ETM+ imagery	83.6	88	0.88	6,147	100

Πίνακας 1. Ακρίβεια ταξινόμησης για τη Χρήση Και Κάλυψη Γης (LULC) στην περιοχή της Σμύρνης.

Τα δεδομένα SRTM DEM της μελέτης ταξινομήθηκαν στις ακόλουθες κατηγορίες : (1) υψηλής έως μεσαίας περιοχές κινδύνου 2 m πάνω από τη μέση επιφάνεια της θάλασσας (2,1%), (2) περιοχές χαμηλού κινδύνου 2 έως 5 m (3,7%), (3) παράκτιες πεδιάδες από 5 έως 25 m (9,1%), (4) παράκτιες πεδιάδες II από 25 έως 100 m (21,5%), (5) πεδινές περιοχές από 100 έως 500 ,(52,0%), (6) ορεινές περιοχές από 500 έως 1.000 m (11,0%) Και (7) βουνά από 1.000 έως 1.500 m (0,7%).(Εικόνα 3,Πίνακας 2).



Εικόνα 3. Ένας χάρτης παράκτιου κινδύνου πλημμυρών στην περιοχή της Σμύρνης. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται η θάλασσα του Αιγαίου, με κόκκινο οι περιοχές υψηλού έως μεσαίου κινδύνου, με άσπρο οι περιοχές χαμηλού κινδύνου, με πορτοκαλί οι παράκτιες πεδιάδες από 5 έως 25 μέτρα, με μωβ οι παράκτιες πεδιάδες από 25 μέχρι 100 μέτρα, με πράσινο οι πεδινές περιοχές από 100 έως 500 μέτρα, με καφέ οι ορεινές περιοχές από 500 έως 1000 μέτρα, με ροζ τα βουνά από 1000 έως 1500 μέτρα, με μπλε οι λίμνες και οι μπλε γραμμές απεικονίζουν τα ποτάμια.

Πίνακας 2. Ταξινόμηση των δεδομένων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) όπως αποκτήθηκαν από την διαστημική τοπογραφική αποστολή (STRM) στην περιοχή της Σμύρνης.

Elevation classification	Area (km ²)	Percent of total	Dominant LULC types
0–2 m high to medium risk areas	126	2.1	Bareground/settlement
2-5 m low risk areas	225	3.7	Settlement
5-25 m coastal plain I	554	9.1	Settlement/agriculture
25-100 m coastal plain II	1,310	21.5	Agriculture
100-500 m lowland	3,176	52.0	Agriculture/forest/bareground
500-1,000 m upland	670	11.0	Forest/bareground
1,000-1,500 m mountain	45	0.7	Forest/bareground
^a Total study region	6,107	100	

Η ανάλυση του μεγέθους του πλέγματος = 90μ. , Οριζόντια ακρίβεια = 45μ. , Κατακόρυφη ακρίβεια = 15μ.

a Η περιοχή του όγκου του νερού (λίμνες / ποταμοί) δεν περιλαμβάνεται στη συνολική περιοχή της μελέτης.

Συνδυάζοντας τα δεδομένα DEM και την ταξινόμηση LULC αποκαλύφθηκε ότι οι ξηρές περιοχές και οι οικισμοί ήταν οι κυρίαρχοι παράκτιοι τύποι χρήσης και κάλυψης Γης (LULC) στις κατηγορίες υψηλού προς χαμηλού κινδύνου περιοχές πλημμύρας (Εικόνα 3,Πίνακας 2).

Ο χάρτης κινδύνου πλημμυρών της περιοχής μελέτης (Εικόνα 3) δείχνει ότι το δέλτα Menemen μαζί με τον ποταμό Gediz και τους οικισμούς Karsiyaka, Aliaga, Alacati, Candarli και Selcuk βρίσκονται σε υψηλό κίνδυνο κατά φθίνουσα σειρά ευπάθειας από τον επόμενο αιώνα.

Σε γενικές γραμμές, οι νότιες ακτές του κόλπου της Σμύρνης, συμπεριλαμβανομένων των οικισμών Bornova, Konak, Balcova, Narlidere, Guzelbahce, Foca, Urla, and Dikili φαίνεται να είναι λιγότερο ευάλωτες στην αναμενόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας στις βόρειες ακτές του κόλπου της Σμύρνης.(Εικόνα 4 και 5).



Εικόνα 4. 3D μοντέλο Χρήσης και Κάλυψης Γης (LULC) της περιοχής της Σμύρνης. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται το νερό, με κόκκινο οι περιοχές χωρίς βλάστηση, με άσπρο οι οικισμοί, με πράσινο τα δάση και με πορτοκαλί οι γεωργικές εκτάσεις.



Εικόνα 5.Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) στην περιοχή της Σμύρνης. . Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται η θάλασσα του Αιγαίου, με κόκκινο οι περιοχές υψηλού έως μεσαίου κινδύνου, με άσπρο οι περιοχές χαμηλού κινδύνου, με πορτοκαλί οι παράκτιες πεδιάδες από 5 έως 25 μέτρα, με μωβ οι παράκτιες πεδιάδες από 25 μέχρι 100 μέτρα, με πράσινο οι πεδινές περιοχές από 100 έως 500 μέτρα, με καφέ οι ορεινές περιοχές από 500 έως 1000 μέτρα και με ροζ τα βουνά από 1000 έως 1500 μέτρα.

Η παρατηρούμενη μέση παγκόσμια στάθμη MSLR από 1 έως 2 mm/year(Church & White, 2006) δείχνει σημαντικές χωρικές διαφοροποιήσεις από την τοπική μέση στάθμη MSLR 6,8 ± 0,9 mm/year όπως παρατηρούνται από μετρήσεις της παλίρροιας στη Σμύρνη.

Οι παράκτιες περιοχές θα είναι ευάλωτες σε πλημμύρες με άνοδο σε τοπικό επίπεδο της θάλασσας από 2 έως 5 m μέχρι το 2010 και βρέθηκαν να καλύπτουν 2,1 και 3,7% της περιοχής μελέτης (6.107 km²), αντίστοιχα.

Η ικανότητα να εντοπιστεί η διαφορετική ευπάθεια όλων των τουρκικών ακτών για μελλοντικούς κινδύνους πλημμυρών, ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής είναι απαραίτητη για τα έγκαιρα μέτρα που πρέπει να ληφθούν.

Η ακρίβεια των ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου (DEM) εξαρτάται από την ανάλυση του μεγέθους του πλέγματος, τα σφάλματα δειγματοληψίας και της ποιότητας των μετρήσεων αλλά και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στον καθορισμό των περιοχών κινδύνου, όταν συνοδεύονται από τα δεδομένα LULC που προέρχονται από πολυφασματικές εικόνες. Η χρήση της υψηλής ανάλυσης DEMs και εικόνες όπως Ikonos και QuickBird, θα μπορούσαν να ενισχύσουν την ακρίβεια της ανάλυσης των κινδύνων των παράκτιων πλημμυρών.

Χαρτογράφηση των εκτεταμένων καταστροφών του τυφώνα Κατρίνα ,στη Νέα Ορλεάνη με τη χρήση πολλαπλών δεδομένων και με την τεχνική κανονικοποιημένης διαφοράς ανίχνευσης αλλαγών (NDCD).(M. Gianinetto & P. Villa 2011)

Η εργασία αυτή εισάγει μια νέα και γενική μέθοδο, την τεχνική κανονικοποιημένης διαφοράς ανίχνευσης (NDCD).Δείχνει τη χρήση της τεχνικής NDCD για τη χαρτογράφηση των πλημμυρών. Χάρτες πλημμυρών για την πόλη της Νέας Ορλεάνης (Λουιζιάνα, ΗΠΑ) που προκύπτουν από το πέρασμα του τυφώνα Κατρίνα το 2005 κατασκευάστηκαν από την επεξεργασία των εικόνων SPOT-4 (HRVIR) και Landsat-5 (TM) και η ακρίβεια των χαρτών επαληθεύτηκε χρησιμοποιώντας ως βάση τον χάρτη επέκτασης των πλημμυρών που κατασκευάστηκε στο παρατηρητήριο πλημμυρών του Dartmouth (Dartmouth College, USA).

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια τεράστια αύξηση στις οικονομικές και ανθρώπινες απώλειες από καιρικά φαινόμενα σε όλο τον κόσμο. Μεγάλες παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές αναμένεται να προκύψουν κατά τη διάρκεια του εικοστού πρώτου αιώνα και υπάρχει μεγάλη ανησυχία σχετικά με την αναμενόμενες αρνητικές οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες που θα προκύψουν από τις αλλαγές αυτές.

Ο τυφώνας Κατρίνα ήταν ο πιο δαπανηρός και ένας από τους πλέον θανατηφόρους τυφώνες στην ιστορία των ΗΠΑ. Ήταν ο έκτος ισχυρότερος τυφώνας του Ατλαντικού που έχει καταγραφεί ποτέ και ο τρίτος ισχυρότερος των ΗΠΑ. Στο μεγαλύτερο σημείο έντασης, ο τυφώνας Κατρίνα ήταν μια καταιγίδα κατηγορίας 5 για την κλίμακα Saffir-Simpson (Simpson 1974), με ταχύτητες ανέμου των 280 km/h.

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση είναι μία αναγνωρισμένη τεχνολογία για φυσικούς κινδύνους και για την παρακολούθηση και εκτίμηση των ζημιών. Οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης αποτελούν μια πρόκληση, ιδιαίτερα από την άποψη της τεχνολογίας των πληροφοριών. Η ενημέρωση και οι ανεξάρτητες πληροφορίες πρέπει να παρέχονται έγκαιρα και από αρμόδιες διοικητικές αρχές για την ταχύτερη δυνατή λήψη αποφάσεων. Οι πληροφορίες σχετικά με τις ζώνες κινδύνου πλημμυρών και η πραγματική εμφάνιση και ένταση των πλημμυρών αποτελούν σημαντικό ζήτημα τόσο για τις τοπικές κυβερνήσεις όσο και για τις ιδιωτικές ασφαλιστικές εταιρείες.

Η πρώτη ανάγκη της γνώσης ήταν για την επίτευξη μιας πιο αποτελεσματικής διαχείρισης του περιβάλλοντος για την καλύτερη εκτίμηση των μελλοντικών κινδύνων και για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την κατανομή των κονδυλίων ανασυγκρότησης (Gianinetto 2006) ενώ η τελευταία για τον υπολογισμό των ασφαλίστρων και για ποσοτικοποίηση των ζημιών μετά από την πλημμύρα (Bach 2005).

Με τον αυξανόμενο αριθμό και τις ικανότητες παρατήρησης της δορυφορικής λειτουργίας της τηλεπισκόπησης, η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την παρακολούθηση και διαχείριση των φυσικών κινδύνων, με το πλεονέκτημα της παροχής μίας συνοπτικής εικόνας για μια ολόκληρη περιοχή σε σύντομο χρονικό διάστημα και με οικονομικά αποδοτικό τρόπο (Brivio et al. 2002, Dhakal et al. 2002, Wang et al. 2002, Sanyal and Lu 2004, Villa and Gianinetto 2006).

Ειδικότερα, τα στοιχεία της τηλεπισκόπησης που συλλέγονται από απόσταση όσο από ραντάρ όσο και από οπτικούς δορυφόρους έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της έκτασης της πλημμύρας κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών και οι τεχνικές επεξεργασίας είναι πλέον χρήσιμες για επιχειρησιακή χρήση. Τα αποτελέσματα των φυσικών καταστροφών, όπως οι διαφορές στην κατάσταση ενός αντικειμένου ή στη χρήση και κάλυψη γης (LULC), μπορεί να περιγραφεί και να χαρτογραφηθεί με τη χρήση των τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών. Σε γενικές γραμμές οι στρατηγικές ανίχνευσης αλλαγών μπορεί να ομαδοποιηθούν σε: (i) πριν από την ταξινόμηση και (ii) μετά την ταξινόμηση μεθόδους ανίχνευσης των αλλαγών.

Η πρώτη στρατηγική θεωρεί ότι οι μεταβολές στα αντικείμενα ενδιαφέροντος μπορούν να ανακτηθούν από μόνιμες αλλαγές στη φασματική ταυτότητα των εικόνων αφού τα δεδομένα έχουν διορθωθεί για την ατμοσφαιρική επίδραση, τον φωτισμό και τις γωνίες λήψης. Η δεύτερη στρατηγική προσδιορίζει τις αλλαγές στην επιφάνεια της γης με τη σύγκριση των εικόνων που ταξινομούνται ανεξάρτητα και ενδεχομένως συλλέγονται χρησιμοποιώντας διαφορετικούς αισθητήρες.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια νέα τεχνική για την ανίχνευση αλλαγών με βάση την τυποποιημένη διαφορά ανίχνευσης των αλλαγών (NDCD), μια μέθοδος που δίνοντας ένα ζεύγος εικόνων, εκτελεί υπολογισμούς σε ραδιομετρικά κανονικοποιημένα δεδομένα ανάκλασης, μέσω του καθορισμού της κανονικής ανάκλασης διαφοράς (NDR) και παράγει μία τυποποιημένη διαφορά από τις τιμές ανακλαστικότητας. Η τεχνική NDCD εφαρμόζεται εδώ για τη χαρτογράφηση των πλημμυρών και την εκτίμηση των ζημιών της αστικής περιοχής της Νέας Ορλεάνης (Λουιζιάνα, ΗΠΑ) ως αποτελέσματα από το πέρασμα του τυφώνα Κατρίνα.

Τυφώνας Κατρίνα

Ο τυφώνας Κατρίνα σχηματίστηκε πάνω από Μπαχάμες στις 23 Αυγούστου του 2005 και διέσχισε τη νότια Φλόριντα ως μέτριος τυφώνας κατηγορίας 1, προκαλώντας πολλούς θανάτους και πλημμύρες πριν από την γρήγορη ενίσχυση του στον Κόλπο του Μεξικού και να γίνει ένας από τους ισχυρότερους τυφώνες που έχουν καταγραφεί στη θάλασσα.

Ο τυφώνας Κατρίνα αποδυναμώθηκε ελαφρώς καθώς πλησίασε την κεντρική ακτή του Κόλπου του Μεξικού. Με ταχύτητες ανέμου περίπου 205 χιλιόμετρα/ώρα στην ξηρά (ισχυρός τυφώνας κατηγορίας 3), η ελάχιστη πίεση στο κέντρο ήταν η τρίτη χαμηλότερη που έχει καταγραφεί στην ξηρά (920 mbar) και θυελλώδεις εκτεταμένοι άνεμοι 190 χλμ. από το κέντρο της, προκαλώντας εκτεταμένες καταστροφές κατά μήκος της κεντρικής ακτής του Περσικού Κόλπου των ΗΠΑ.

Ο συνδυασμός των ισχυρών ανέμων, των έντονων βροχοπτώσεων και κυμάτων καταιγίδας οδήγησαν στην καταστροφή του αναχώματος που χωρίζει τη Νέα Ορλεάνη από τις γύρω λίμνες και τα κανάλια. Εκτεταμένες καταστροφές κατά μήκος των ακτών του Μισισιπή, σε συνδυασμό με την καταστροφή του αναχώματος στη Νέα Ορλεάνη είχε σαν αποτέλεσμα να πλημμυρίσει το 80% της πόλης.

Δεδομένα

Οι πλημμύρες που προκάλεσε ο τυφώνας Κατρίνα στην πόλη της Νέας Ορλεάνης (29° 57'33"B,90° 3' 36" Δ) μελετήθηκε με τη χρήση των εικόνων SPOT-4 HRVIR που παρέχονται από την SpotImage και το Εθνικό Κέντρο Διαστημικών Μελετών (CNES) με την πρόσβαση στο πρόγραμμα OASIS και τις εικόνες Landsat-5TM που ήταν διαθέσιμες από την Αμερικανική Γεωλογική Υπηρεσία Κέντρου Δεδομένων (USGS EROS) με το έργο ανταπόκρισης για την καταστροφή του τυφώνα Κατρίνα.

Το σύνολο των δεδομένων SPOT-4/HRVIR αποτελείται από :

- (i) Μία εικόνα SPOT-4/HRVIR 20μ. λήψεως στις 17 Ιανουαρίου 2005 με γωνία προσανατολισμού 11,5° και γωνία πρόσπτωσης 19,9° αριστερά και γεωγραφικά κωδικοποιημένη σε UTM-WGS84 F16N προβολή. Αυτή η εικόνα χρησιμοποιήθηκε ως προ-πλημμυρική εικόνα.
- (ii) Μία εικόνα SPOT-4/HRVIR 20μ. λήψεως στις 19 Σεπτεμβρίου 2005 με γωνία προσανατολισμού 10,0° και γωνία πρόσπτωσης 0,3° δεξιά και γεωγραφικά κωδικοποιημένη σε UTM- WGS84 F16N προβολή. Αυτή η εικόνα χρησιμοποιήθηκε ως μετα-πλημμυρική εικόνα.

Το σύνολο των δεδομένων Landsat-5 TM αποτελείται από :

- (i) Μία εικόνα Landsat-5 TM 30μ. λήψεως στις 19 Ιουνίου 2005 (σκηνή ID 5022039000517010) , WRS-2 πορεία 022 γραμμή 039, που χρησιμοποιήθηκε ως προ-πλημμυρική εικόνα.
- (ii) Μία εικόνα Landsat-5 ΤΜ λήψεως στις 7 Σεπτεμβρίου 2005 (σκηνή ID 5022039000525010), WRS-2 πορεία 022 γραμμή 039, που χρησιμοποιήθηκε ως μετά-πλημμυρική εικόνα.

Για την αστική ανάλυση μερικοί πρόσθετοι διανυσματικοί χάρτες χρησιμοποιήθηκαν. Το ψηφιδωτό αρχείο 30-μ του (NLCDIL) εκπροσωπεί τις αστικοποιημένες και χαρακτηριστικές υποδομές (αδιαπέρατες περιοχές) της πόλης και των περιχώρων της Νέας Ορλεάνης (Yang et al. 2003),που διατίθενται από το USGS μέσω της ιστοσελίδας του (USGS 2006) και χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία ξεχωριστών χαρτών. Ενός για τις αστικές περιοχές και ενός για τις μη αστικές περιοχές. Η εικόνα 1 δείχνει το NLCDIL.



Εικόνα 1.Το ψηφιδωτό αρχείο NLCDIL καλύπτει την πόλη της Νέας Ορλεάνης, Λουιζιάνα, ΗΠΑ. Η μόνιμη παρουσία ύδατος αναπαρίσταται με μπλε, οι μη αστικές περιοχές με πράσινο και οι αστικές περιοχές (αδιαπέρατες επιφάνειες) με γκρι. Η υψηλή πυκνότητα των αδιαπέρατων επιφανειών είναι πιο σκούρα, ενώ η χαμηλής πυκνότητας αδιαπέρατες επιφάνειες πιο φωτεινή.

Μέθοδοι

1) Ραδιομετρική διόρθωση των δεδομένων

Παρά το γεγονός ότι μεγάλο μέρος της ατμοσφαιρικής επίδρασης στις δορυφορικές εικόνες μπορεί να είναι σωστά μοντελοποιημένο με ραδιενεργούς κώδικες μεταφοράς και ως εκ τούτου απομακρύνεται, υπολειμματικές επιρροές συχνά εξακολουθούν να υπάρχουν σε διορθωμένα στοιχεία.

Έτσι, σε εφαρμογές αλλαγών ανίχνευσης είναι κοινή πρακτική να τυποποιούνται ραδιομετρικά τα δεδομένα με το χέρι, μέσω της χρήσης μιας ραδιομετρικής διαδικασίας εξομάλυνσης που συνίσταται από την επιλογή ως δεδομένων αναφοράς μιας εικόνας της χρονικής ακολουθίας (πρωταρχική εικόνα) και από τη διόρθωση μίας ή περισσοτέρων εικόνων (δευτερεύουσες εικόνες) για αλλαγές που οφείλονται μεταξύ άλλων στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τις διαφορές στη γωνία του ήλιου που μπορούν να προκύψουν μεταξύ των λήψεων (Hall et al. 1991, Elvidge et al. 1995, Du et al. 2002, Hong and Zhang 2008).

Στη μελέτη μας ,το εγχείρημα αυτό πραγματοποιήθηκε από τον υπολογισμό της παλινδρόμησης των ραδιομετρικών δεδομένων από τις ομόλογες σταθερές αναφοράς. Το πρώτο βήμα ήταν η επιλογή των σταθερών αναφορών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τη βαθμονόμηση και εκτίμηση του μοντέλου μετασχηματισμού. Τα ψευδοαμετάβλητα χαρακτηριστικά (PIFs), αποτελούνται από τις φασματικές ταυτότητες των αντικειμένων που δεν έχουν υπομείνει τις αλλαγές κατά τη διάρκεια του χρόνου που παρήλθε μεταξύ των αποκτημάτων (Schott et al. 1988, Canty et al. 2004).

Για κάθε PIF, δύο ν-διαστάσεων πίνακες προκύπτουν (όπου ν είναι ο αριθμός των διαθέσιμων φασματικών ζωνών) και αντιπροσωπεύουν τις διακριτικές φασματικές ταυτότητες για την πρωταρχική και δευτερεύουσα εικόνα.

Το δεύτερο βήμα ήταν η εκτίμηση των συντελεστών του μοντέλου που πραγματοποιήθηκε με βάσει τα PIFs και ο υπολογισμός της ραδιομετρικής μετατροπής της δευτερεύουσας εικόνας επάνω στην πρωταρχική.

Μια ποικιλία μεθόδων χρησιμοποιείται για τη ραδιομετρική τροποποίηση, από μια απλή γραμμική παλινδρόμηση των πολυφασματικών μετατροπών (Yuan και Eldvidge 1996, Canty et al. 2004).

Μεταξύ αυτών, η πιο διαδεδομένη από αυτές είναι :

- (i) Γραμμική παλινδρόμηση: εκτίμηση των δύο συντελεστών (κέρδος και offset) για κάθε φασματική ζώνη.
- (ii) Παραμετρική παλινδρόμηση: λογαριθμικά τροποποιημένα μοντέλα, μοντέλα πολυωνύμου (δεύτερου ή τρίτου βαθμού), παραβολικά μοντέλα, κλπ.
- (iii) Πολυφασματικοί μετασχηματισμοί: για παράδειγμα, κύρια στοιχεία μετατροπής, μη γραμμική κύρια συνιστώσα μετασχηματισμού.

Η αποτελεσματικότητα και οι δυνατότητες γενίκευσης της επεξεργασίας ραδιομετρικής εξομάλυνσης ποικίλλουν ανάλογα με την επιλογή των PIFs, τη γεωμετρική κατανομή τους και το μοντέλο εκτίμησης.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήσαμε ένα παραμετρικό παραβολικό μοντέλο που βασίζεται στην εξίσωση (1). Το μοντέλο της βασικής εξίσωσης, ισχύει για κάθε ζώνη φάσματος της εικόνας και έχει τη μορφή: R_{j (norm)} = a_j(R_{j(raw)})^{bj} (1)

Όπου Rj (norm) είναι η κανονικοποιημένη ανάκλαση για την j ζώνη φάσματος, Rj(raw) είναι η εισαγωγή ανάκλασης της εικόνας για την j ζώνη φάσματος, aj και bj είναι αντίστοιχα η πολλαπλασιαστική και οι εκθετικοί συντελεστές του παραμετρικού μοντέλου για την j φασματική ζώνη, και j είναι ο αριθμός της φασματικής ζώνης.

2) Κανονικοποιημένη διαφορά ανάκλασης (NDR).

Η πολυχρονική διαφοροποίηση είναι μια καθιερωμένη τεχνική της ανίχνευσης μεταβολών του περιβάλλοντος χαρτογράφησης και παρακολούθησης, ЗЦ τηλεανίχνευση δεδομένων (Singh, 1989, Coppin et al. 2004, Lu et al. 2004). Το NDR, είναι μια γενική προσέγγιση για τη διμερή χρονική μεταβολή κάλυψης της γης, χαρτογράφησης και εντοπισμού της που εκμεταλλεύεται το σύνολο των φασματικών δυνατοτήτων των παγχρωματικών, πολυφασματικών ή υπερφασματικών εικόνων. Λαμβάνοντας υπόψη ένα ζεύγος εικόνων, η NDR παράγει μία τυποποιημένη διαφορά αναλύοντας τις αλλαγές στις ιδιότητες ανάκλασης της κάθε

φασματικής ζώνης, έτσι χωρίς να χάσει καμία φασματική ένταση χαρακτηρίζει την απλοποίηση ή τις τεχνικές συμπίεσης.

Ως εκ τούτου, για κάθε ζώνη φάσματος NDR ορίζεται ως εξής:

$$NDRj = R_{j-post} - R_{j-pre} / R_{j-post} + R_{j-pre}$$
 (2)

όπου Rj-post είναι η κανονικοποιημένη ανάκλαση για την εικόνα μετά τις πλημμύρες, Rj-pre είναι η κανονικοποιημένη ανάκλαση για την εικόνα πριν τις πλημμύρες, και j είναι ο αριθμός της φασματικής ζώνης. Η NDR είναι μια πολυφασματική ποσότητα που καλύπτει εύρος τιμών από -1 έως +1 και δείχνει το ποσό της μεταβολής στην επιφάνεια ανάκλασης για κάθε ζώνη στα αρχικά δεδομένα, όσον αφορά τη σχετική διαφορά στην φασματική ταυτότητα των αντικειμένων του εδάφους (-1=μέγιστη μείωση ανάκλασης, 0= καμία αλλαγή, +1= μέγιστη αύξηση ανάκλασης).Η εικόνα 2 δείχνει ένα παράδειγμα NDR εκτιμώντας τα δεδομένα Landsat-5 TM.



Εικόνα 2.Παράδειγμα κανονικοποιημένης διαφοράς ανάκλασης (NDR) εκτιμώντας τα δεδομένα Landsat-5 TM: (α) φασματική ζώνη 1 (0.45-0.52 μm,μπλε-πράσινη), (b) φασματική ζώνη 2 (0.52-0.6 μm,πράσινη), (c) φασματική ζώνη 3 (0.63-0.69 μm,ερυθρή), (d) φασματική ζώνη 4 (0.76-0.90 μm,ηλιακή υπέρυθρη), (e) φασματική ζώνη 5 (1.55-1.75 μm,ηλιακή υπέρυθρη), (f) φασματική ζώνη 7 (2.08-2.35 μm,ηλιακή υπέρυθρη).

Στην παρούσα εργασία εστιάσαμε την έρευνά μας στην εφαρμογή MNF (Green et al. 1988, & Gianinetto and Villa 2007) της τεχνικής κανονικοποιημένης διαφοράς ανίχνευσης αλλαγών (MNF-NDCD), όπου η μετατροπή MNF εφαρμόζεται στα δεδομένα NDR για να ληφθεί ο τελικός χάρτης αλλαγών ανίχνευσης.

Χαρτογράφηση

Η εκτεταμένη καταστροφή στη Νέα Ορλεάνη είχε χαρτογραφηθεί με την τεχνική NDCD-MNF. Οι εικόνες SPOT-4 HRVIR και Landsat-5 TM ήταν οι πρώτες ραδιομετρικά κανονικοποιημένες με το παραμετρικό μοντέλο της εξίσωσης (1) και το NDR έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2). Η εφαρμογή MNF εν συνεχεία εφαρμόστηκε για να τις πολυφασματικές τιμές NDR, δημιουργώντας τα στοιχεία NDR-MNF. Από όλα τα NDR- MNF στοιχεία, μόνο το πρώτο και το δεύτερο έχουν διατηρηθεί, διότι αυτά ήταν τα πιο αντιπροσωπευτικά ενός καλού προσδιορισμού των χαρακτηριστικών του νερού που σχετίζονται με την κάλυψη γης. Η εικόνα 3 παρουσιάζει τα στοιχεία NDR- MNF για εικόνες SPOT-4 HRVIR [σχήμα 3 (a)] και Landsat-5 TM [σχήμα 3 (b)] που στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση.



Εικόνα 3.Τα στοιχεία NDR-MNF που χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση : (a) SPOT-4 HRVIR (b) Landsat-5 TM.

Οι τιμές ακριβείας για όλους τους χάρτες που παράγονται με την τεχνική NDCD-MNF επαληθεύτηκαν χρησιμοποιώντας ως αληθινό έδαφος το χάρτη επέκτασης της πλημμύρας, της πόλης της Νέας Ορλεάνης (Εικόνα 4) που τραβήχτηκε από το Παρατηρητήριο πλημμύρας του Dartmouth.



Εικόνα 4. Μία 20μ. ψηφιδωτή εικόνα από τον χάρτη επέκτασης της πλημμύρας όπως τραβήχτηκε από το παρατηρητήριο πλημμύρας του Dartmouth. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μόνιμη παρουσία ύδατος, με άσπρο οι περιοχές που δεν έχουν πλημμυρίσει ενώ με κόκκινο αυτές που έχουν πλημμυρίσει (Dartmouth College, USA)

Αποτελέσματα

Η χαρτογράφηση των πλημμυρών σε αστικές περιοχές γίνεται με επεξεργασία των δεδομένων των εικόνων Landsat-5 TM που οδήγησαν σε μεγαλύτερη ακρίβεια από τις εικόνες SPOT-4 HRVIR (πίνακας 1, εικόνες 5 και 6).

Πίνακας 1 Χαρτογράφηση πλημμυρών σε αστικές περιοχές χρησιμοποιώντας την τεχνική NDCD-MNF.

	Threshold value	Overall accuracy (%)	κ coefficient
SPOT-4/HRVIR	-2.0	85.72	0.70
	-1.5	86.37	0.72
	-1.0	84.96	0.69
	0.0	72.30	0.48
Landsat-5 TM	-1.0	89.69	0.79
	0.0	90.52	0.80
	1.0	92.05	0.83
	2.0	91.16	0.81



Εικόνα 5.Χαρτογράφηση των πλημμυρών της Νέας Ορλεάνης χρησιμοποιώντας την τεχνική NDCD-MNF και τα δεδομένα SPOT-4 HRVIR : (a) στις αστικές περιοχές, (b) στις μη αστικές περιοχές, (c) ο παγκόσμιος 'ασφαλής' χάρτης, (d) ο παγκόσμιος χάρτης πλημμυρών .Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μόνιμη παρουσία ύδατος, με άσπρο οι περιοχές που δεν έχουν πλημμυρίσει, με κόκκινο αυτές που έχουν πλημμυρίσει, με πράσινο οι μη αστικές περιοχές και με γκρι οι αστικές.



Εικόνα 6. Χαρτογράφηση των πλημμυρών της Νέας Ορλεάνης χρησιμοποιώντας την τεχνική NDCD-MNF και τα δεδομένα Landsat -5 TM : (a) στις αστικές περιοχές, (b) στις μη αστικές περιοχές, (c) ο παγκόσμιος 'ασφαλής' χάρτης, (d) ο παγκόσμιος χάρτης πλημμυρών .Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μόνιμη παρουσία ύδατος, με άσπρο οι περιοχές που δεν έχουν πλημμυρίσει, με κόκκινο αυτές που έχουν πλημμυρίσει, με πράσινο οι μη αστικές περιοχές και με γκρι οι αστικές.

Αντίθετα, όσον αφορά την χαρτογράφηση των πλημμυρών στο πλαίσιο των «μηαστικών περιοχών», η επεξεργασία των δεδομένων των εικόνων Landsat-5 TM οδήγησαν σε μικρότερη ακρίβεια από τις εικόνες Spot -4 HRVIR (πίνακας 2,εικόνες 5 και 6).

		•	
	Threshold value	Overall accuracy (%)	κ coefficient
SPOT-4 HRVIR	0.0	85.56	0.69
	0.5	86.31	0.71
	1.0	86.17	0.70
	2.0	84.0	0.65
Landsat-5 TM	-1.5	75.59	0.49
	-1.0	75.70	0.49
	-0.5	75.11	0.48
	0.0	74.34	0.47

Πίνακας 2 Χαρτογράφηση πλημμυρών σε μη αστικές περιοχές χρησιμοποιώντας την τεχνική NDCD-MNF.

Χαρτογράφηση πλημμυρών και παρακολούθηση τους με βάση τα δεδομένα παρακολούθησης της Γης (EO). (YESOU H., ANDREOLI R. FELLAH K., THOLEY N., CLANDILLON S., BATISTON S., ALLENBACH B., MEYER C., BESTAULT C. & FRAIPONT de P. 2007)

Εισαγωγή

Από το 1991 με την εκτόξευση του δορυφόρου ERS-1, τα δεδομένα SAR έχουν παγκοσμίως αξιοποιηθεί για την χαρτογράφηση και τον έλεγχο των πλημμυρών. Παράλληλα ένα σημαντικό έργο έχει πραγματοποιηθεί στον υπολογισμό της υγρασίας του εδάφους με την ολοκλήρωση των υδρολογικών μοντέλων με σκοπό τη βελτίωση στην πρόγνωση των πλημμυρών.

Με την εκτόξευση του δορυφόρου ENVISAT το 2002 τα δεδομένα του δορυφόρου και περισσότερο του αισθητήρα ASAR αξιοποιήθηκαν σε ένα πιο λειτουργικό πλαίσιο ,όπως στο πλαίσιο του Διεθνούς Οργανισμού Διαστήματος και Φυσικών Καταστροφών καθώς και των Ευρωπαϊκών προγραμμάτων DRAGON. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί σε προηγούμενες εργασίες αξιοποίησης των δεδομένων ERS, Envisat ότι επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση μεγάλων περιοχών με υψηλή χρονική συχνότητα και υψηλή χωρική ανάλυση. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει τη βελτίωση της εκμετάλλευσης των δεδομένων ENVISAT, όσο και των δεδομένων από τα συστήματα MERIS και ASAR , για την χαρτογράφηση και παρακολούθηση των πλημμυρών.

Ο προπομπός των εργαλείων των δορυφόρων ERS 1 και ERS 2 για την χαρτογράφηση πλημμυρών.

Από την εκτόξευση του δορυφόρου ERS 1 το 1991, και της ακόλουθης το 1995 από τον ERS 2, πολυάριθμες μελέτες για την εκτίμηση των εικόνων ERS SAR για την αναγνώριση των πλημμυρισμένων περιοχών και την χαρτογράφηση τους έχουν διενεργηθεί. Το δυναμικό των δεδομένων SAR και η ικανότητα τους σε όλες τις καιρικές συνθήκες, με μεγάλη κάλυψη (φάσμα 100 χιλιομέτρων της ζώνης), έχουν επισημανθεί, για παράδειγμα, με τη χαρτογράφηση πλημμυρών σε έκταση πάνω από 400 χιλιόμετρα στη λεκάνη απορροής του Τάμεση ή κατά τη διάρκεια της πλημμύρας της πόλης Οντέρ.

Σύντομα, ορισμένοι περιορισμοί των εικόνων ERS έδειξαν παραλείψεις των πλημμυρισμένων περιοχών χαμηλής βλάστησης, και επίσης ότι η πόλωση VV δεν ήταν η πιο κατάλληλοι για την αναγνώριση της εκχύλιση της επιφάνειας του νερού.

Η δυνατότητα παρακολούθησης των πλημμυρών από τις εικόνες SAR έχει δείξει, πάνω από 93 πλημμύρες στην πόλη Camargue (Νότια Γαλλία),και 95 πλημμυρικά γεγονότα του ποταμού Meuse (Ανατολικό τμήμα τις Γαλλίας). Από την εκτόξευση του δορυφόρου ENVISAT το 2002,τα δεδομένα ERS ακόμα αξιοποιούνται στο πλαίσιο μιας πλημμύρας, αλλά προφανώς λιγότερο συχνά.

Ίσως επειδή έχει μικρότερη πιθανότητα στόχευσης της περιοχής ενδιαφέροντος. Ως εκ τούτου, ο δορυφόρος ERS 2 είναι ακόμα μία σημαντική πηγή δεδομένων σε περίπτωση πλημμύρας όπως αποδείχθηκε κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου 2005 από τις πλημμύρες που έπληξαν τη Νότια Γαλλία και περισσότερο πρόσφατα, την άνοιξη του 2006, κατά τη διάρκεια της πλημμύρας του ποταμού Έλβα. Όλες αυτές οι εργασίες επέτρεψαν την έναρξη της ανάπτυξης της χαρτογράφησης των πλημμυρών.



Εικόνα 1. Απεικόνιση των υδάτων που έχουν σταδιακά υποχωρήσει (περιοχές με κόκκινο σε περιοχές με πορτοκαλί που δείχνουν τη σταδιακή υποχώρηση των νερών).Γεγονός του 1993/94 στον ποταμό Meuse στην ΒΑ Γαλλία.

Παρακολούθηση πλημμυρών αξιοποιώντας τα δεδομένα από τον δορυφόρο ENVISAT.

Λίγο μετά την εκτόξευση του δορυφόρου την 1^η Μαρτίου του 2002, τα δεδομένα Envisat αξιοποιήθηκαν στη χαρτογράφηση και παρακολούθηση των πλημμυρών με μια πρώτη σημαντική εφαρμογή στη διάρκεια του καλοκαιριού του 2002 και των πλημμυρών που έπληξαν την Κεντρική Ευρώπη. Τα εντυπωσιακά αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια αυτού του γεγονότος στον ποταμό Έλβα μας επέτρεψε να δούμε τις μεγάλες δυνατότητες που προσφέρουν τα συστήματα του δορυφόρου ENVISAT, το προηγμένο ραντάρ συνθετικής κεραίας ASAR και το μέσης χωρικής ανάλυσης φασματόμετρο MERIS. Ένα μέρος του έργου της χαρτογράφησης των πλημμυρών έχει γίνει στο πλαίσιο του Διεθνούς Οργανισμού Διαστήματος και Φυσικών Καταστροφών αξιοποιώντας τα δεδομένα του δορυφόρου ENVISAT.

Από το 2002, περισσότερες από 15 επιτυχημένες εκμεταλλεύσεις των δεδομένων του δορυφόρου ENVISAT έχουν πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο του οργανισμού. Από την Αϊτή το 2004, μέχρι την πρόσφατη πλημμύρα της Μαδαγασκάρης τον Απρίλιο του 2007.



Εικόνα 2. Η εικόνα του δορυφόρου Envisat ASAR WSM λήψεως στις 23 Μαρτίου του 2007 εντός του πλαισίου του Διεθνούς Οργανισμού Διαστήματος και Φυσικών Καταστροφών πάνω από το νησί της Μαδαγασκάρης.



Εικόνα 3.Το πλημμυρικό γεγονός του Απριλίου του 2007.Η χρωματική σύνθεση των κρίσιμων εικόνων F7 Radarsat και IS2 ENVISAT ASAR ελήφθησαν στις 12 και 17 Απριλίου του 2006 και τα στοιχεία αναφοράς του δορυφόρου ERS στις 25 Φεβρουαρίου του 2006.Η υποχώρηση της ροής και/ή πολύ υγρές περιοχές εμφανίζονται με ροζ-μωβ χρώμα ενώ τα πιθανά πλημμυρισμένα δάση εμφανίζονται με κίτρινο. Οι περιοχές που εμφανίζονται με μαύρο είναι μόνιμα υδάτινα συστήματα και οι περιοχές με σκούρο μπλε αντιπροσωπεύουν τις πλημμυρισμένες περιοχές.

Στην πραγματικότητα, μέχρι τώρα υπάρχουν περισσότερα εκμεταλλεύσιμα δεδομένα του δορυφόρου ERS από τον ENVISAT στο χάρτη. Υπάρχει μόνο μία περίπτωση σημαντικού προβλήματος. Κατά τη διάρκεια του τυφώνα Κατρίνα, δεν ήταν δυνατό να ανιχνευτεί το νερό σε εικόνα APP, πιθανώς λόγω της πυκνότητας και των σχημάτων των κτιρίων που αφορούν κυρίως συνέπεια των γωνιών ανάκλασης.

Ορισμένες δράσεις ορόσημα μπορούν να επισημαίνονται, όπως η πλημμύρα του 2004 στον Darfour Wadi και η χαρτογράφηση των δικτύων, το τσουνάμι του Δεκέμβριο του 2004 και οι συνέπειες που είχε στις ακτές της Σρι Λάνκα, η πλημμύρα του Ιουνίου του 2005 στη Ρουμανία που χαρτογραφήθηκε από το DLR., οι πλημμύρες στην Κεντρική Ευρώπη την άνοιξη του 2006 που επηρέασαν την

Τσεχία και την Αυστρία, με την εκμετάλλευση των εικόνων WSM (Wide Swath Mode) και APP (Εικ.3), πολυάριθμες δράσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στη Νότια Αμερική, στην Αργεντινή και στη Βολιβία και πάνω από το Rio Yacuma και Santa Cruz, τον Μάρτιο του 2007.Παρά την πιθανή επανεξέταση λόγω της ευρείας κάλυψης τους ,δηλαδή 400 χλ. και τον σχετικά σύντομο χρόνο επανεξέτασης, από 3 έως 10 ημέρες, υπάρχει μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις εκμετάλλευση των εικόνων WSM. Στην Αϊτή το Μαΐου του 2004, στη λίμνη Poyang , στην Κίνα τον Ιούνιο του 2005 και στη Μαδαγασκάρη τον Απρίλιο του 2007 (Εικ. 2). Τα δεδομένα WSM προσφέρουν πολύ μεγάλη κάλυψη, δηλαδή μία και μόνο ζώνη καλύπτει το μισό νησί της Μαδαγασκάρης, με μία επίσης καλή ραδιομετρική αντίθεση / ποιότητα.

Παρακολούθηση πλημμυρών αξιοποιώντας τις εικόνες από τον δορυφόρο ENVISAT ASAR/MERIS.

Οι πρόσφατες τάσεις αναζήτησης επικεντρώνονται στην εκμετάλλευση των μεγάλων χρονικών κλιμάκων του δορυφόρου ENVISAT, για την παρακολούθηση των μεγάλων όγκων των εσωτερικών υδάτων, στην Αφρική, στο Δέλτα του Νίγηρα, στη Νότια Αμερική και στην Κίνα.

Πάνω από τη λίμνη Poyang, τη μεγαλύτερη λίμνη γλυκού νερού στην Κίνα, η έκταση του νερού παρακολουθείται με βάση τα δεδομένα ENVISAT ASAR ,,τη λειτουργία Global Monitoring, τη λειτουργία WSM και MERIS πάνω από δυόμισι χρόνια. Είναι η πρώτη φορά που τόσα δεδομένα ENVISAT αξιοποιούνται για την παρακολούθηση των διακυμάνσεων των εσωτερικών υδάτων της λίμνης(Εικόνα 4,5).



Εικόνα 4.Εικόνα WSM της λίμνης Poyang που τραβήχτηκε τον Ιανουάριο του 2004 στη διάρκεια του προγράμματος DRAGON για τις πλημμύρες.



Εικόνα 5.Η εκτίμηση του χρόνου καταβύθισης της λίμνης Poyang που προήλθε από την ανάλυση των δεδομένων χρονικής κλίμακας του δορυφόρου ENVISAT ανάμεσα στον Ιανουάριο του 2004 και τον Ιούνιο του 2006.

Χαρτογράφηση των πλημμυρών και της χωρικής κατανομής της βλάστησης στην κοίτη της πλημμύρας στον Αμαζόνιο χρησιμοποιώντας τα πολυχρονικά δεδομένα SAR. (Jean-Michel Martinez, Thuy Le Toan, 2006)

Εισαγωγή

Η κεντρική κοίτη πλημμυρών του Αμαζονίου, ενός από τα μεγαλύτερα οικοσυστήματα γλυκού νερού στις τροπικές περιοχές, εκτείνεται σε περίπου 300.000 Km² (Junk, 1997).Η περιοχή παρουσιάζει μια ποικιλομορφία του τοπίου με ανοιχτές λίμνες, έλη, μεγάλα λιβάδια, σαβάνες, αλλουβιακά δάση και δάση Terra Firma, που καλύπτεται από 21 εικόνες που τραβήχτηκαν από τον δορυφόρο JERS μεταξύ του 1993 και του 1997.Τα δεδομένα του εδάφους περιλαμβάνουν επί τόπου παρατηρήσεις της δομής της βλάστησης και της έκτασης της πλημμύρας καθώς και στοιχεία της στάθμης του νερού.

Τα δεδομένα ραντάρ της τηλεπισκόπησης είναι κατάλληλα για την παρακολούθηση τροπικών οικοσυστημάτων, λόγω της ικανότητας των συστημάτων SAR να λειτουργούν σε όλες τις καιρικές συνθήκες και επειδή τα δεδομένα SAR είναι ευαίσθητα στη βιομάζα και στη δομή της πλημμυρισμένης βλάστησης (Hess et al, 1995?. Hess et al, 1990?. Le Toan et al, 1997).

Σε αυτή την εργασία ,η μέθοδος βασίζεται σε μια μακρά χρονική κλίμακα της ζώνης L των δεδομένων SAR που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση της δυναμικής της πλημμύρας σε διάφορα στάδια, και να μελετήσει τη διανομή της βλάστησης στη διάρκεια των πλημμυρών. Η μέθοδος έχει σχεδιαστεί για να δεχθεί πολυχρονικές ακολουθίες εικόνων SAR από αρχειοθετημένα δεδομένα και από τους σημερινούς δορυφόρους ραντάρ όπως ALOS-PALSAR.



Εικόνα 1.Η κοίτη πλημμυρών Obidos στο Para της Βραζιλίας. Παρουσιάζονται και τα δύο πλαίσια J-ERS που καλύπτουν την κοίτη της πλημμύρας. Ο χάρτης προκύπτει από την οπτική ερμηνεία μιας εικόνας Landsat TM που τραβήχτηκε στις 7 Σεπτεμβρίου του 1992 όπου το επίπεδο του νερού ήταν 5.53μ στο μετρητή νερού στο Curuaí.

Η εικόνα 1 παρουσιάζει την περιοχή που έγινε η δοκιμή ,την κοίτη πλημμυρών Obidos. Βρίσκεται 1.50 ° Νότια και 55.43 ° Δυτικά, κατά μήκος του ποταμού του Αμαζονίου στη Βραζιλία, 900 km προς τα ανάντη από τις εκβολές του ποταμού. Η συνολική έκταση που καταλαμβάνεται από τις λίμνες και την περιοχή της λεκάνης είναι 3500 km². Οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις είναι 2400 mm μεταξύ του 1990 και του 1999. Οι διακυμάνσεις της στάθμης του ποταμού φτάνουν στα 7 μ. και η κλίση της επιφάνειας του νερού του ποταμού είναι περίπου 1,6 εκατοστά / χλμ. (2,4 μ. πτώση) κατά μήκος 150 χιλιομέτρων στην περιοχή κατά τη διάρκεια μελέτης και ενώ το νερό είναι σε υψηλά επίπεδα (Birkett et al., 2002). Δύο συσκευές καταγραφής παρέχουν καθημερινές μετρήσεις της στάθμης του νερού στο εσωτερικό της κοίτης πλημμυρών. Το καταγραφικό σύστημα Curuaí τοποθετήθηκε από τον Εθνικό Οργανισμό Ηλεκτρικής Ενέργειας (ANEEL), παρέχει στοιχεία από το 1982, και βρίσκεται στη μεγαλύτερη λίμνη της Várzea. Ο σταθμός Curuaí έχει επιλεγεί για να αξιολογεί τις διακυμάνσεις της στάθμης του νερού στο σύνολο της υπό μελέτη περιοχής.



Εικόνα 2.Ο μέσος όρος του επιπέδου του νερού που μετρήθηκε στο σταθμό Curuai κατά την περίοδο 1990-1999.Οι ημερομηνίες απόκτησης των εικόνων J-ERS εμφανίζονται ως τετράγωνα για τις εικόνες που αποκτήθηκαν σε διάστημα μίας ημέρας μεταξύ του δυτικού και ανατολικού τμήματος της πλημμυρικής περιοχής και ως κύκλοι στη περίπτωση των μοναδικών αποκτημάτων (πάνω από το ανατολικό ή δυτικό τμήμα). Τα δεδομένα του επιπέδου του νερού αποκτήθηκαν από τον Kosuth (2002).

Η Εικόνα 2 δείχνει το μέσο υδρογράφημα κατά την περίοδο 1990-1999.Χαμηλά επίπεδα νερού εμφανίζονται συνήθως το Νοέμβριο και το νερό ανεβαίνει από το Δεκέμβριο μέχρι τον Μάιο-Ιούνιο. Η κατώτατη και ανώτατη στάθμη του νερού που έχει καταγραφεί ποτέ στον μετρητή Curuai είναι 4,05 m και 10,95 μ. αντίστοιχα, αποφέροντας μια μέγιστη απόκλιση της τάξης των 7 μ.



Εικόνα 3. Απεικονίσεις των κύριων τύπων τοπίων στην κοίτη πλημμυρών του Óbidos: α) μεγάλα λιβάδια σε χαμηλό επίπεδο νερού β) περιοχή που καλύπτεται με γρασίδι σε χαμηλό επίπεδο νερού γ) περιοχή με πυκνή ποώδη βλάστηση σε χαμηλό επίπεδο νερού δ) σχηματισμοί που αποτελούνται από φυτά και πολυετή βλάστηση κατά τη διάρκεια ανόδου του επιπέδου του νερού ε) τα κανάλια που συνδέουν τον ποταμό Αμαζόνιο στις λίμνες των πλημμυρικών περιοχών, έφτασαν από το δάσος. στ) πλημμυρισμένο αλλουβιακό δάσος.

Αποτελέσματα

Οι τιμές οπισθοσκέδασης από τους 5 κύριους τύπους κάλυψης γης που βρέθηκαν στην κοίτη πλημμυρών αναλύονται: ανοιχτή θάλασσα, λιβάδια, χαμηλή βλάστηση, μη πλημμυρισμένο δάσος και πλημμυρισμένο δάσος .Η εικόνα 4 δείχνει τα ιστογράμματα από αυτές τις κατηγορίες για μία εικόνα τριών όψεων που αντιστοιχεί στο χαμηλό επίπεδο νερού, στις περιοχές ενδιαφέροντος που επιλέγονται με επίγειες παρατηρήσεις.

Το συνολικό δυναμικό εύρος J-ERS (20 dB) καλύπτεται: από την υψηλότερη οπισθοσκέδαση που αντιστοιχεί σε πλημμυρισμένο δάσος μέχρι την χαμηλότερη που αντιστοιχεί σε ανοιχτή θάλασσα.

Τα πλημμυρισμένα δάση μπορούν να διαχωριστούν από τα μη πλημμυρισμένα δάση και επίσης και τα δύο μπορούν πολύ καλά να διαφοροποιούνται από τους άλλους τύπους κάλυψης γης. Ωστόσο, σημαντική επικάλυψη συμβαίνει ιδιαίτερα σε σχέση με τους βοσκότοπους που παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές με αυτές της ανοιχτής θάλασσας.



Εικόνα 4. Η κατανομή της έντασης των βασικών μονάδων του τοπίου της κοίτης πλημμυρών Obidos. Οι τιμές έχουν μετατοπιστεί κάθετα για λόγους σαφήνειας. Οι τιμές οπισθοσκέδασης που λήφθησαν σε μεγάλα πολύγωνα επιλέχθηκαν από τις εικόνες τριών όψεων.

Οι εικόνες 5-7 εμφανίζουν τη χρονική μεταβολή της οπισθοσκέδασης σαν μία λειτουργία της στάθμης του νερού για κάποιο δείγμα περιοχών όπως της ανοικτής θάλασσας (Εικ. 5),ξηρά και βοσκότοποι / λιβάδια (Εικόνα. 6), και περιστασιακά πλημμυρισμένα δάση και χαμηλή βλάστηση (Εικόνα. 7).



Εικόνα 5. Η εξέλιξη της οπισθοσκέδασης ως συνάρτηση της στάθμης του νερού για τις τρεις περιοχές που επιλέχθηκαν μέσω ανοικτών υδάτινων όγκων. Οι περιοχές αυτές επιλέχθηκαν και στα δύο καρέ J-ERS από πολύγωνα άνω των 1000 πίξελ. Οι εικόνες προηγουμένως ήταν χρονικά και χωρικά φιλτραρισμένες σε ENL των 600.



Εικόνα 6.Η εξέλιξη της οπισθοσκέδασης ως συνάρτηση της στάθμης του νερού για τις έξι επιλεγμένε περιοχές πάνω από τα δάση terra Firme και περιστασιακά πλημμυρισμένα λιβάδια/ αγροτικές περιοχές. Αυτές οι περιοχές επιλέχθηκαν στα δύο καρέ J-ERS από πολύγωνα άνω των 1000 pixel. Οι εικόνες προηγουμένως είχαν χρονικά και χωρικά φιλτραριστεί σε ENL των 600.



Εικόνα 7.Η συμπεριφορά της οπισθοσκέδασης ως συνάρτηση της στάθμης του νερού για ένα περιστασιακά πλημμυρισμένο δάσος και για τρεις περιοχές χαμηλής βλάστησης που περιστασιακά είχαν πλημμυρίσει. Αυτές οι περιοχές επιλέχθηκαν στα δύο καρέ J-ERS από πολύγωνα άνω των 1000 πίξελ. Οι εικόνες προηγουμένως είχαν χρονικά και χωρικά φιλτραριστεί σε ENL των 600.



Εικόνα 8. Χάρτης της πλημμυρικής κοίτης Obidos που προέρχεται από την χρονική ταξινόμηση των 21 εικόνων J-ERS . Ο χάρτης αποδίδει την κατάσταση σε κάθε ψηφίδα, σύμφωνα με την κατάσταση της πλημμύρας (ποτέ, μερικές φορές, πάντα πλημμυρισμένο) και τον τύπο της βλάστησης: γυμνά εδάφη, χαμηλή βλάστηση, δάσος. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που είναι μόνιμα πλημμυρισμένες, με ανοιχτό πράσινο τα δάση που περιστασιακά πλημμυρίζουν και με πράσινο τα δάση που δεν πλημμυρίζουν ποτέ .Με μωβ χρώμα απεικονίζεται η χαμηλή βλάστηση που δεν πλημμυρίζει ποτέ, με γαλάζιο τα δάση που είναι μόνιμα πλημμυρισμένα, με πορτοκαλί η χαμηλή βλάστηση που πλημμυρίζουν περιστασιακά και με κίτρινο τα περισχιακά πλημμυρισμένα γυμνά εδάφη.



Εικόνα 9. Χάρτης της μέσης διάρκειας των πλημμυρών (ημέρες πλημμύρας / έτος) στην κοίτη πλημμυρών Obidos για τις περιοχές που χαρτογραφήθηκαν ως περιστασιακά πλημμυρισμένες (OF) στην εικόνα 9. Με μαύρο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που είναι πάντα πλημμυρισμένες, με μπλε αυτές που είναι περισσότερο από 252 μέρες/χρόνο, με πράσινο αυτές που είναι περισσότερο από 110 μέρες/χρόνο, με κίτρινο περισσότερο από 51 μέρες/χρόνο, με κόκκινο περισσότερο από 15 μέρες το χρόνο και με άσπρο οι περιοχές που δεν πλημμυρίζουν ποτέ.

Βιβλιογραφία

Bach, H., Appel, F., Fellah, K., De Fraipont, P., 2005. Application of flood monitoring from satellite for insurances, In Proceedings of the 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Seoul, Korea (Piscataway, NJ: The Institute of Electrical and Electronics Engineers), unpaginated CD-ROM.

Birkett, C., Mertes, L. A. K., Dunne, T., Costa, M. H., Jasinski, M. J., 2002. Surface water dynamics in the Amazon basin: Application of satellite radar Altimetry, Journal of Geophysical Research, 107, 8059–8080.

Brivio, P. A., Colombo, R., Maggi, M., Tomasoni, R.,2002. Integration of remote sensing data and GIS for accurate mapping of flooded areas, International Journal Remote of Sensing, 23, 429–441.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A., 1998. Principles of geographic information systems (1st ed.), New York: Oxford University Press.

Canty, M.J., Nielsen, A.A., Schmidt, M., 2004. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery, Remote Sensing of Environment, 91, pp. 441–451.

Church, J. A., White, N. J., 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. Geophysical Research Letters, 33, L01602

Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., Lambin, E., 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, International Journal of Remote Sensing, 25, pp. 1565–1596.

Coppock, J. T., 1995. GIS and natural hazard: An overview from a GIS perspective, In: A., Carrara & F., Guzzetti (Eds.), Geographical information system in assessing natural hazard (pp. 21–34), The Netherlands: Kluwer.

Dhakal, A.S., Amda, T., Aniya, M., Sharma R.R., 2002. Detection of areas associated with flood and erosion caused by a heavy rainfall using multitemporal Landsat TM data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68, pp. 233–239.

Du, Y., Teillet, P.M., Cihlar, J., 2002. Radiometric normalization of multitemporal high resolution satellite images with quality control for land cover change detection, Remote Sensing of Environment, 82, pp. 123–134.

Elvidge, C.D., Yuan, D., Weerackoon, R.D., Lunetta, R.S., 1995. Relative radiometric normalization of Landsat Multispectral Scanner (MSS) data using an

automatic scattergram controlled regression, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, pp. 1255–1260.

Gianinetto, M., Villa, P., 2006. Monsoon flooding response: a multi-scale approach to water-extent change detection. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36, pp. 128–133.

Gianinetto, M., Villa, P., 2007. Rapid response flood assessment using minimum noise fraction and composed spline interpolation, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45, pp. 3204–3211.

Gianinetto, M., Villa, P., Lechi, G., 2006. Post-flood damage evaluation using Landsat TM and ETM data integrated with DEM, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44, pp. 236–243.

Green, A.A., Berman, M., Switzer, P., Craig, M.D., 1988. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 26, pp. 65–74.

Hall, F.G., Strebel, D.E., Nickeson, J.E., Geoets, S.J., 1991. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multidate, multisensor images, Remote Sensing of Environment, 35, pp. 11–27.

Hess, L. L., Melack, J. M., & Simonett, D. S., 1990. Radar detection of flooding beneath the forest canopy: A review, International Journal of Remote Sensing, 11, 1313–1325.

Hess, L. L., Melack, J., Filoso, S., Wang, Y., 1995. Delineation of inundated area and vegetation along the Amazon floodplain with the SIR-C Synthetic Aperture Radar, IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing, 33, 896–903.

Hey, R.D., 1979. Flow resistance in gravel-bed rivers, Journal of the Hydraulics Division, HY4 105: 365–379.

Hong, G., Zhang, Y., 2008. A comparative study on radiometric normalization using high resolution satellite images, International Journal of Remote Sensing, 29, pp. 425–438.

IPCC, 2001. Climate Change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) In J. J., McCarthy, O. F., Canziani, N. A., Leary, D. J., Dokken, K. S., White (Eds.), Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Jensen, J. R., 1996. Introductory Digital Image Processing: A remote Sensing Perspective (2nd ed.), Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

Junk,W. J., 1997. General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains, Ecological Studies, 126, 3–20.

Le Toan, T., Ribbes, F., Wange, L. F., Floury, N., Ding, N., Kong, K. H., et al., 1997. Rice crop mapping and monitoring using ERS-1 data based on experiment and modeling results, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35, 41–56.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., 1994. Remote Sensing and Image Interpretation, New York: Wiley.

Lu, D., Mausel, P., Brpndizio, E., Moran, E., 2004. Change detection techniques, International Journal of Remote Sensing, 25, pp. 2365–2407.

NCDC, 2005. NCDC Annual Reports, National Climatic Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration.

Rezacova, D., Sokol, Z., Pesice, P., 2007. A radar-based verification of precipitation forecast for local convective storms, Atmospheric Research 83: 211–224.

Sanyal, J., Lu, X.X., 2004. Application of remote sensing in flood management with special reference to monsoon Asia: a review, Natural Hazards, 33, pp. 283–301.

Schott, J.R., Salvaggio, C., Volchok, W.J., 1988. Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features, Remote Sensing of Environment, 26, pp. 1–16.

Sharma, K.D., Singh, S., 1992. Runoff estimation using Landsat thematic Mapper data and the SCS model, Hydrological Science Journal 37: 39–52.

Simpson, R.H., 1974. The hurricane disaster potential scale, Weatherwise, 27, pp. 169–186.

Singh, A., 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data, International Journal of Remote Sensing, 10, pp. 989–1003.

Singh, V.P., 1997. Effect of spatial and temporal variability in rainfall and watershed characteristics on stream flow hydrograph, Journal of Hydrological Processes 11: 1649–1669.

Smart, G., Aberle, J., Duncan, M., Walsh, J., 2004. Measurement and analysis of alluvial bed roughness, Journal of Hydraulic Research 42(3): 227–237.

USGS, 2006. National Land Cover Database 2001 (NLCD 2001), U.S. Geological Survey.

Villa, P, Gianinetto, M., 2006a. Inundated area delineation using MODIS data towards a global scale geo-database of flood events, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36, pp. 1–6.

Villa, P., Gianinetto, M., 2006b. Multispectral transform and spline interpolation for mapping flood damages, In Proceedings of the 2006 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 275–279 (Piscataway, NJ: The Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Wang, Y., Colby, J. D. Mulcahy, K. A., 2002. An efficient method for mapping flood extent in a coastal flood plain using Landsat TM and DEM data, International Journal of Remote Sensing, 23, 3681–3696.

Xinmei, H., Lyons, T.J., Smith, R.C., Hacker, J.M., 1995. Estimation of land surface parameters using satellite data, Journal of Hydrological Processes 9: 631–643.

Yang, L., Huang, C., Homer, C.G., Wylie, B.K., Coan, M.J., 2003. An approach for mapping large-area impervious surfaces: synergistic use of Landsat-7 ETMb and high spatial resolution imagery, Canadian Journal of Remote Sensing, 29, pp. 230–240.

Yildiz, H., Demir, C., Gurdal, M. A., Akabali, O. A., Demirkol, E. O., Ayhan, M. E., et al., 2003. Analysis of sea level and geodetic measurements of Antalya-II, Bodrum-II, Erdek and Mentes tide gauges in the period of 1984–2002, Journal of Mapping, 17, 1–75 (in Turkish).

Yuan, D., Eldevidge, C.D., 1996. Comparison of relative radiometric normalization techniques, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 51, pp. 117–126.