

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΛΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΟΥ ΠΑΚΙΣΤΑΝ (2004) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ASTER ΚΑΙ IKONOS

Γεωργακάς Δ., Κατσέλης Σ.

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας

Περίληψη

Στόχος της εργασίας είναι ο εντοπισμός των κατολισθήσεων που προκλήθηκαν από το σεισμό στο Πακιστάν τον Οκτώβριο του 2004 και των επιπτώσεων στους οικισμούς και στο περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν πολυφασματικά δεδομένα ASTER και Pansharpened εικόνες IKONOS πριν και μετά το σεισμικό γεγονός. Όσον αφορά τα δεδομένα ASTER, εφαρμόστηκε η τεχνική της ανάλυσης κύριων συνιστωσών χρησιμοποιώντας το σύνολο των εικόνων πριν και μετά το σεισμό. Από το σύνολο των εικόνων συνιστωσών που δημιουργήθηκαν, επιλέχθηκε η πλέον κατάλληλη για ερμηνεία με σκοπό την αναγνώριση των περιοχών με κατολίσθηση. Στην περίπτωση των εικόνων IKONOS, έγινε ερμηνεία με σκοπό την καταγραφή των επιπτώσεων σε οικισμούς, οδικό δίκτυο, υδρογραφικό δίκτυο κλπ. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων έδειξε ότι αρκετές μεγάλες κατολισθήσεις συνέβησαν κατά μήκος του ρήγματος που προκάλεσε το σεισμό. Ορισμένοι οικισμοί καλύφθηκαν τελείως από υλικό των κατολισθήσεων. Επίσης, σημαντικές μεταβολές εντοπίστηκαν και στη μορφολογία της περιοχής και στο υδρογραφικό.

MAPPING OF LANDSLIDES TRIGGERED BY THE EARTHQUAKE IN PAKISTAN (2004) USING ASTER AND IKONOS SATELLITE IMAGES

Georgakas D., Katselis S.

Harokopio University, Department of Geography

Abstract

The main goal of this project is to locate and map the landslides triggered by the earthquake in Pakistan in October 2004 and to determine the effects on nearby settlements and the environment. For that purpose, multispectral data taken from ASTER and Pansharpened images taken from IKONOS were used. Regarding the data taken from ASTER, we used the technique of Principal Components Analysis on the images before and after the earthquake and from all the derived images the most appropriate one was selected for interpretation. For the IKONOS images, there was interpretation in order to examine the damage on the settlements, the road network, hydrographic network, etc. The result of the processing of the satellite images showed many big landslides along the fault that caused the earthquake. Some settlements were completely covered by landslide material. Also, significant changes were detected in the morphology of the area and in the hydrographic network.

Λέξεις κλειδιά: κατολίσθηση, δορυφορικές εικόνες, χαρτογράφηση, σεισμός.

Key Words: landslide, satellite images, mapping, earthquake.

1. Εισαγωγή

Στις 5 Οκτωβρίου 2005, ένας ισχυρότατος σεισμός έπληξε το βόρειο τμήμα του Πακιστάν με επίκεντρο την περιοχή του Κασμίρ. Ο μεγέθους 7.6 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ σεισμός,

ισοπέδωσε γειτονικές στο επίκεντρο πόλεις, σκοτώνοντας και αφήνοντας άστεγους χιλιάδες ανθρώπους. Το σεισμό ακολούθησαν δεκάδες ισχυροί μετασεισμοί, που οι περισσότεροι κυμαίνονταν σε μέγεθος πάνω από 5.0. Μέχρι τις 8 Νοεμβρίου 2005, ο αριθμός των νεκρών σύμφωνα με την κυβέρνηση του Πακιστάν, ανερχόταν στους 73.276 ανθρώπους. Το Γεωλογικό Ινστιτούτο των Η.Π.Α., καθόρισε το μέγεθος του σεισμού στους 7.6 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ. Το επίκεντρό του σεισμού ήταν περίπου 19 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της πόλης Μουτζαφαραμπάτ και περίπου 100 χιλιόμετρα βόρεια – βορειοανατολικά από την πρωτεύουσα της χώρας, Ισλαμαμπάντ. Το υπόκεντρο του σεισμού βρισκόταν σε βάθος 26 χιλιομέτρων κάτω από το έδαφος. Σύμφωνα με την Μετεωρολογική Υπηρεσία της Ιαπωνίας, ο σεισμός ήταν μεγέθους 7.8 βαθμών.

Συνολικά, 147 μετασεισμοί χτύπησαν την περιοχή την πρώτη μέρα μετά τον κύριο σεισμό, ένας εκ των οποίων είχε μέγεθος 6,2 βαθμών. Στις 19 Οκτωβρίου 2005, δύο εβδομάδες μετά τον κύριο σεισμό, έγινε αισθητός ένας αρκετά ισχυρός μετασεισμός μεγέθους 5.8 βαθμών. Μέχρι τις 27 Οκτωβρίου 2005, είχαν συμβεί περισσότεροι από 978 μετασεισμοί με μεγέθους 4.0 βαθμών και πάνω.

2. Συνέπειες του σεισμού

Πίνακας 1. Ανθρώπινες απώλειες στο σεισμό του Πακιστάν (10/2004)

| Περιοχή | Νεκροί | Τραυματίες | Άστεγοι |
|------------------|--------|------------|-----------|
| Κασμίρ, Πακιστάν | 73.276 | 100.000 | 3.000.000 |

Οι περισσότεροι από τους πληγέντες, ζούσαν σε ορεινές περιοχές, όπου πλέον η πρόσβαση σε αυτές είχε αποκοπεί λόγω του ότι ολόκληρο το οδικό δίκτυο είχε μπλοκαριστεί από κατολισθήσεις που προκλήθηκαν από το σεισμό.

Καταστροφές

- Απογραφή που πραγματοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο Μηχανολογίας του Πακιστάν στην πόλη Μουτζαφαραμπάτ αλλά και στην ευρύτερη περιοχή αυτής, έδειξε ότι περίπου το 60 % των κτιρίων στις αστικές περιοχές ήταν κατασκευασμένα εξολοκλήρου από τσιμέντο χωρίς κάποια εσωτερική ενίσχυση. Η πλειοψηφία των ανθρώπινων απωλειών προήλθε από την κατάρρευση αυτών των κτιρίων.
- Τα πακιστανικά μέσα μαζικής ενημέρωσης, ανέφεραν εκτεταμένες καταστροφές στην πόλη Μπαλακότ, στο Χαμιμπουλάχ και στο Ραβακαλότ.
- Ο σεισμός προκάλεσε κατολισθήσεις, που οδήγησε στο να θαφτούν ολόκληρα χωριά και δρόμοι σε αρκετές περιοχές στο βόρειο Κασμίρ.
- Συνολικά, εκτιμήθηκε ότι εκατοντάδες χιλιάδες κτίρια κατέρρευσαν ή υπέστησαν ανεπανόρθωτες ζημιές.
- Ζημιές σε κτίρια και αρκετές ανθρώπινες απώλειες αναφέρθηκαν και στο Πουντζαμπ και στο Μπαλοχιστάν.

3. Δεδομένα και επεξεργασία

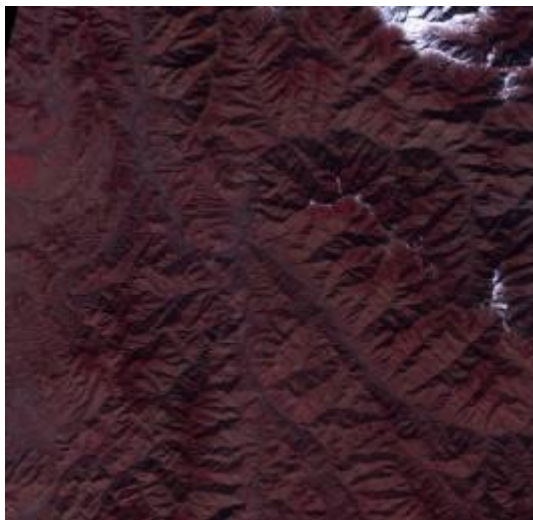
Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες ASTER και IKONOS οι οποίες και επεξεργάστηκαν με τη χρήση του λογισμικού ERDAS v 8.4.

Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για να εντοπιστούν οι κατολισθήσεις, είναι η ανάλυση κυρίων συνιστωσών.

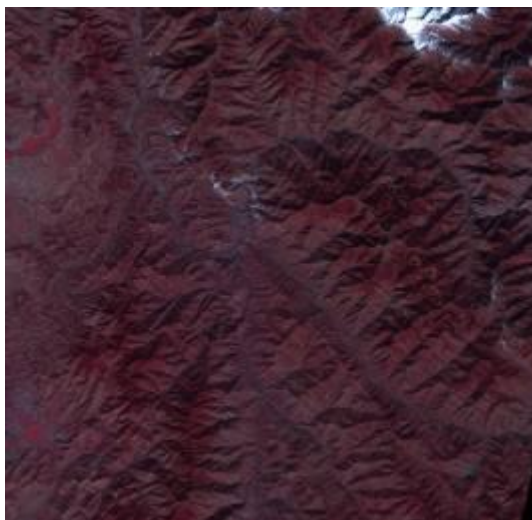
3.1 Επεξεργασία εικόνων ASTER

Για να γίνει η ανάλυση των κυρίων συνιστωσών, αρχικά οι δύο αρχικές εικόνες ASTER, χωρίστηκαν σε 3 φασματικά κανάλια η κάθε μία, έτσι ώστε να έχουμε τρεις εικόνες για κάθε

χρονική περίοδο, πριν και μετά το σεισμό. Στη συνέχεια, οι έξι αυτές εικόνες ενώθηκαν σε ένα επίπεδο με έξι φασματικά κανάλια, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση κυρίων συνιστωσών, όπου και πήραμε έξι εικόνες συνιστώσες. Παρατηρώντας των παρακάτω πίνακα, βλέπουμε ότι η εικόνα που περιέχει την πληροφορία που μας είναι χρήσιμη, είναι η εικόνα συνιστώσα τρία, παρ' όλο που περιέχει μόνο το 5.34 % της συνολικής πληροφορίας.



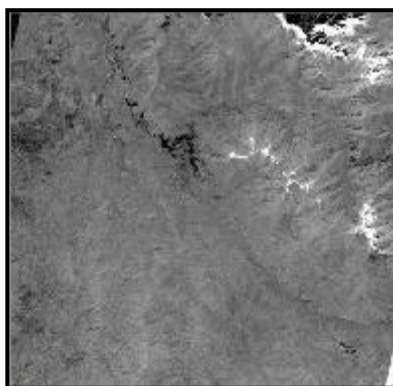
Εικόνα 1. Δορυφορική εικόνα ASTER της περιοχής μελέτης στο βόρειο βορειο ανατολικό τμήμα του Πακιστάν χωρικής διακριτικής ικανότητας 15 μέτρων (Μάρτιος 2000)(Πηγή: http://veimages.gsfc.nasa.gov/20357/npakistan_AST_2005300_15m.jpg).



Εικόνα 1. Δορυφορική εικόνα ASTER της περιοχής μελέτης στο βόρειο βορειο ανατολικό τμήμα του Πακιστάν χωρικής διακριτικής ικανότητας 15 μέτρων (Οκτώβριος 2005)(Πηγή: http://veimages.gsfc.nasa.gov/20357/npakistan_AST_2005300_15m.jpg).

Πίνακας 2. Πίνακας ιδιοτιμών

| | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 |
|------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| AST1PRE | 0.4896 | - 0.5224 | 0.3453 | - 0.5995 | 0.0890 | 0.0247 |
| AST2PRE | 0.3869 | 0.2665 | 0.3707 | 0.2353 | - 0.5623 | 0.5197 |
| AST3PRE | 0.3941 | 0.3689 | 0.4508 | 0.3065 | 0.4426 | - 0.4641 |
| AST1POST | 0.4189 | - 0.5582 | - 0.3681 | 0.6100 | - 0.0255 | - 0.0669 |
| AST2POST | 0.3674 | 0.3065 | - 0.4219 | - 0.3033 | - 0.4841 | - 0.5162 |
| AST3POST | 0.3803 | 0.3380 | - 0.4758 | - 0.1642 | 0.4948 | 0.4927 |
| % | 86.14 | 7.26 | 5.34 | 0.73 | 0.38 | 0.11 |
| eigenvalue | 3235.12 | 273.02 | 200.88 | 27.77 | 14.30 | 4.44 |



Εικόνα 3. Εικόνα συνιστώσα 3
(οι κατολισθήσεις απεικονίζονται με μαύρο χρώμα).

4. Ανάλυση των επεξεργασμένων στοιχείων

Η περιοχή αυτή, βρίσκεται περίπου τριάντα χιλιόμετρα νοτιοανατολικά από το επίκεντρο του σεισμού, ανάμεσα στο Μουτζαφαραμπάτ και στο Ούρι, στην οροσειρά Πιρ Πουντζάλ του Κασμίρ.

Η μεγάλη κατολίσθηση είναι ορατή στο κέντρο της παραπάνω εικόνας. Είναι το μεγαλύτερο κατολισθητικό φαινόμενο που εντοπίστηκε στην ευρύτερη περιοχή που επηρεάστηκε από το σεισμό, καθώς έχει καταρρεύσει μια περιοχή περίπου 2km x 1.5km. με το συνολικό όγκο των βράχων να υπολογίζεται στα 200 εκατομμύρια m³. Η κατολίσθηση αυτή, μπλόκαρε τη ροή δύο μικρών ποταμών που τελικά στους επόμενους μήνες κατέληξαν ενωμένοι και δημιούργησαν μικρές λίμνες στα όρια του φυσικού φράγματος που δημιουργήθηκε από τις κατολισθήσεις.

Στο σημείο αυτό, που βρίσκεται σχεδόν επάνω στο όριο των δύο τεκτονικών πλακών της Ινδίας και της Ευρασίας και πολύ κοντά στην πόλη Μουτζαφαραμπάτ, τα απότομα βουνά της περιοχής σχεδόν κατέρρευσαν ολοκληρωτικά. Στο κεντρικό τμήμα της εικόνας 10, το δυτικό τμήμα του βουνού έχει αποκοπεί εντελώς.

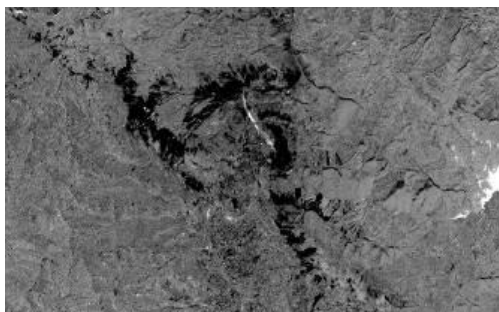
Σχεδόν σε ολόκληρη την πληγείσα περιοχή, εντοπίζονται σπασίματα στο έδαφος κατά μήκος των πρανών για αρκετές εκατοντάδες μέτρα. Οι κατολισθήσεις απομόνωσαν ήδη δύσκολα προσβάσιμα χωριά και πόλεις στο πακιστανικό Κασμίρ, καθώς τεράστια κομμάτια

βράχων κάλυψαν τους δρόμους.

Το Μουτζαφαραμπάτ, είναι η μεγαλύτερη πόλη στην περιοχή που επηρεάστηκε από το σεισμό. Πολλά κτίρια κατέρρευσαν, κυρίως εκείνα που βρίσκονταν σε μεγαλύτερο υψόμετρο και, πολλές κατολισθήσεις συνέβησαν κοντά στον ποταμό Νίλουμ.



Εικόνα 4. Κατολίσηση στο νότιο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης



Εικόνα 5. Κατολισθήσεις στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης

5. Ερμηνεία δορυφορικών εικόνων IKONOS

Το επίκεντρο του σεισμού, βρισκόταν πολύ κοντά στην πόλη Μουτζαφαραμπάτ και, στην ευρύτερη περιοχή, εντοπίστηκαν τα πιο εκτεταμένα κατολισθητικά φαινόμενα.

Ο μεγέθους 7.6 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ σεισμός, προκάλεσε την μεγαλύτερη καταστροφή από τις κατολισθήσεις στην περιοχή γύρω από το Μουτζαφαραμπάτ, περίπου δέκα χιλιόμετρα από το επίκεντρο του σεισμού. Η παρακάτω εικόνα, είναι από το δορυφορικό σύστημα IKONOS στις 9 Οκτωβρίου 2005, μόλις 4 ημέρες μετά το σεισμό. Στο κέντρο της εικόνας, φαίνεται καθαρά ότι η δυτική πλευρά του βουνού έχει καταρρεύσει ολοκληρωτικά, κάτι που είχε ως αποτέλεσμα τεράστιες ποσότητες βράχων και λάσπης να καταλήξουν στον ποταμό Νείλουμ. Ο ποταμός μετά το σεισμό, ήταν σχεδόν αγνώριστος καθώς η συγκεκριμένη κατολίσηση ήταν μόνο μία, αν και η μεγαλύτερη, από τις πολλές που συνέβησαν κατά μήκος του ποταμού. Στο κέντρο της εικόνας, δίπλα από τη μεγάλη κατολίσηση, βρίσκεται το χωριό Μάκχρι, το οποίο και ισοπεδώθηκε από την κατολίσηση.



Εικόνα 6. Η ευρύτερη περιοχή βόρεια του Μουτζαφαραμπάτ (Δορυφορική εικόνα IKONOS ανάλυσης 1 μέτρου)(Πηγή:http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/Images/neelum_iko_2005282.jpg).



Εικόνα 7. Δορυφορική εικόνα IKONOS ανάλυσης 1 μέτρου. Η περιοχή βόρεια του Μουτζαφαραμπάτ, στο χωριό Μάκχρι. Οκτώβριος 2005)(Πηγή: http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/Images/nelum_iko_2005282.jpg).

Τα καθαρά νερά του ποταμού Νείλουμ έχουν γίνει καφέ λόγω της λάσπης και του χρώματος από τις κατολισθήσεις. Η κατολίσθηση αυτή, μπλόκαρε την κανονική ροή του ποταμού και είχε ως αποτέλεσμα ο ποταμός Νείλουμ να χάσει το χαρακτηριστικό σχήμα U και να ακολουθήσει μια πιο ομαλή πορεία προς τα νότια. Η καταστροφή, δεν σταμάτησε στα όρια του ποταμού, καθώς όλοι οι γύρω δρόμοι αποκλείστηκαν από την κατολίσθηση.

Βιβλιογραφία

Peiris, L. M. N., Rossetto, T, Burton, P. W. and Mahmood, S (2006) – “EEFIT Mission: October 8, 2005 Kashmir Earthquake”, Preliminary Reconnaissance Report, Earthquake Engineering Field Investigation Team (EEFIT), Web Report, February 2006,

Center for the Observation and Modeling of Earthquakes and Tectonics (COMET), 2005. Locating the Kashmir Fault, http://comet.nerc.ac.uk/news_kashmir.html

Πηγές από το διαδύκτιο

[Http://earthobservatory.nasa.gov](http://earthobservatory.nasa.gov)

[Http://veimages.gsfc.nasa.gov](http://veimages.gsfc.nasa.gov)

[Http://en.wikipedia.org/wiki/Pakistan_earthquake](http://en.wikipedia.org/wiki/Pakistan_earthquake)

[Http://comet.nerc.ac.uk/news_kashmir_popup_1.html](http://comet.nerc.ac.uk/news_kashmir_popup_1.html)