

**ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ERS-2 ΚΑΙ SPOT-2 XS, ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ
ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΣΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ¹**

ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΑΤΣΗΣ², ΓΙΑΚΚ ΠΑΡΧΑΡΙΔΗΣ³ & ΑΝΔΡΕΑΣ ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ⁴

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στο ΒΑ τμήμα της Πελοποννήσου, στην περιοχή της Κορινθίας. Η μελέτη αυτή αναδεικνύει τα οφέλη που προκύπτουν από τη συναξιοποίηση δεδομένων SAR (ERS-2) και οπτικών δεδομένων (SPOT-2 XS) για την χαρτογράφηση περιοχών με έντονη διάβρωση. Τα ανωτέρω δεδομένα έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν διαφορετική και συμπληρωματική πληροφορία σχετικά με την τοπογραφία, την τραχύτητα του εδάφους, τη βλάστηση και την χρήση/κάλυψη γης. Η τεχνική ενοποίησης των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο μετασχηματισμός IHS. Η εφαρμογή αυτή εστιάζεται στην αξιολόγηση της πληροφορίας που αποκτήθηκε από την ενοποίηση των δορυφορικών δεδομένων και στην εκτίμηση της συμβολής της συναξιοποίησης σχετικά με την χαρτογράφηση των ζωνών διάβρωσης και την ανάδειξη των κύριων παραγόντων που επιδρούν ευνοϊκά στο φαινόμενο αυτό. Ταυτόχρονα η ενσωμάτωση των δορυφορικών δεδομένων με δεδομένα που προέρχονται από τα Ψηφιακά Μοντέλα Αναγλύφου, θεματικούς χάρτες, κ.α. σε ένα Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση, παρακολούθηση και χαρτογράφηση των διαβρώσεων.

ABSTRACT

The study area is located in the NE part of Peloponnese (Corinthos prefecture). It is a typical agricultural area cultivated mainly by vines, olive and citrus trees. The intense relief and geomorphology are related with the lithology, the active tectonics and important human intervention.

The broader area is characterized by a quasi-linear coast and a flight of about 10 to 20 terraces of marine origin (most of them well preserved), south and west of the city of Corinthos. These terraces were formed through a combined action of faulting and sea level changes during the Upper Pleistocene. The number of terraces and their altitudes are increased from east to west because of the intense uplift of north-central Peloponnese. Streams are flowing through V-shaped, deeply incised valleys resulting in a serious transverse erosion of the terraces.

The lithology, active tectonic, intense rainstorms and human activities (crop practices, fires, overgrazing, etc.) promote the intense phenomenon of erosion. Today, the erosion risk composes, more and more, one of the main problems related with the environment protection.

This study demonstrates the benefits resulted from the synergism of SAR data (ERS-2) and optical data (SPOT2-XS) in order to monitor and map prone areas to intense erosion. These data give different and complementary information since the radar signal depends mostly on topography and surface roughness, whereas the visible/infrared channels provide spectral information mostly on vegetation and land use/cover. The algorithm used for the integration of the multisensor data was the IHS transformation.

The application presented here was focused on the analysis of the information extracted from the integration and the assessment of the synergism of SAR and optical data as regards the erosion monitoring and mapping and the

1: UNIFIE SATELLITE DATA OF IMAGES ERS-2 AND SPOT-2XS AND DEM IN MAPPING EROSION ZONES

2: Γεωπόνος, Υποψ. Διδάκτορας (Υπότροφος ΙΚΥ), Εργ. Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55, e-mail: jgatsis@aua.gr

3: Δρ. Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης, Εργαστήριο Γεωφυσικής-Γεωθερμίας (Space Application Research Unit), Τμήμα Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη - Ιλίσια 157 84, Athens, e-mail: parchar@geol.uoa.gr

4: Αν. Καθηγητής, Εργ. Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55, e-mail: apvlio@aua.gr

enhancement of the main factors, which influence positively this phenomenon. Finally, the integration of remote sensing imagery with conventional data, such as Digital Elevation Model (DEM), thematic maps and field work, in a GIS, is an efficient tool for the assessment, monitoring and mapping of erosion.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Τηλεπισκόπηση, ERS-2, SPOT-2 XS, ενοποίηση δορυφορικών δεδομένων, Ψηφιακά Μοντέλα Αναγλύφου, χαρτογράφηση ζωνών διάβρωσης, Κορινθία.

KEYWORDS: Remote sensing, ERS-2, SPOT-2 XS, merging, DEM, erosion mapping, Korinthos area.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ενεργές γεωμορφολογικές-γεωλογικές διεργασίες, όπως η τεκτονική δραστηριότητα, μετακινήσεις μαζών, πλημμύρες και φαινόμενα διάβρωσης, προκαλούν αλλαγές επάνω στη γήινη επιφάνεια δημιουργώντας νέες γεωμορφές ή/και καταστρέφοντας τις ήδη υπάρχουσες. Η παρατήρηση της επιφάνειας από το διάστημα είναι σήμερα ένα βασικό μέσο για την χαρτογράφηση του εδάφους σε σχέση με την επικινδυνότητα των φυσικών φαινομένων (Garcia-Melendez et al. 1998). Επιπλέον η δορυφορική τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ) αποτελούν νέες τεχνολογίες στη Γεωμορφολογία αφού προσφέρουν πολλές δυνατότητες μέσα από τις διαφορετικές χωρικές, χρονικές, φασματικές και ραδιομετρικές αναλύσεις των δορυφορικών συστημάτων, και την ικανότητα σύνθεσης των χωρικών δεδομένων από τα ΓΠΣ (Walsh et al. 1998).

Η εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης και της υποβάθμισης του εδάφους γενικότερα υποβοηθάται από την χρήση δορυφορικών δεδομένων στο ορατό και το υπέρυθρο φάσμα (King & Delpront 1993, Hill 1994). Επιπλέον, η ανίχνευση στόχων ενδιαφέροντος μπορεί να βελτιωθεί και από δεδομένα της μικροκυματικής περιοχής του φάσματος (Metternicht & Zinck 1998). Προηγούμενες μελέτες έχουν διερευνήσει την χρησιμότητα των δεδομένων SAR (Radar συνθετικού ανοίγματος κεραίας) για γεωμορφολογικές - γεωλογικές χαρτογραφήσεις καθώς και την εκτίμηση και καταγραφή ευαίσθητων περιοχών σε φυσικούς κινδύνους (Townsend & Walsh 1988, Harris et al. 1990). Κάποιες από αυτές έχουν αναδείξει τα οφέλη της ενοποίησης δεδομένων SAR με δεδομένα των οπτικών συστημάτων (Yesou et al. 1993, Pohl & Genderen 1998).

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στο ΒΑ τμήμα της Πελοποννήσου, στην περιοχή της Κορινθίας. Είναι μία γεωργική περιοχή η οποία καλλιεργείται κυρίως με ελιές, αμπέλια και εσπεριδοειδή, με μεγάλη συμμετοχή στην τοπική οικονομία. Το έντονο ανάγλυφο και η γεωμορφολογία της περιοχής γενικότερα καθορίζονται από την λιθολογία και την ενεργό τεκτονική σε συνδυασμό με τις έντονες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Ο υψηλός κίνδυνος διάβρωσης των κοιλάδων που τέμνουν εγκάρσια τις υπάρχουσες τεκτονικές αναβαθμίδες αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος.

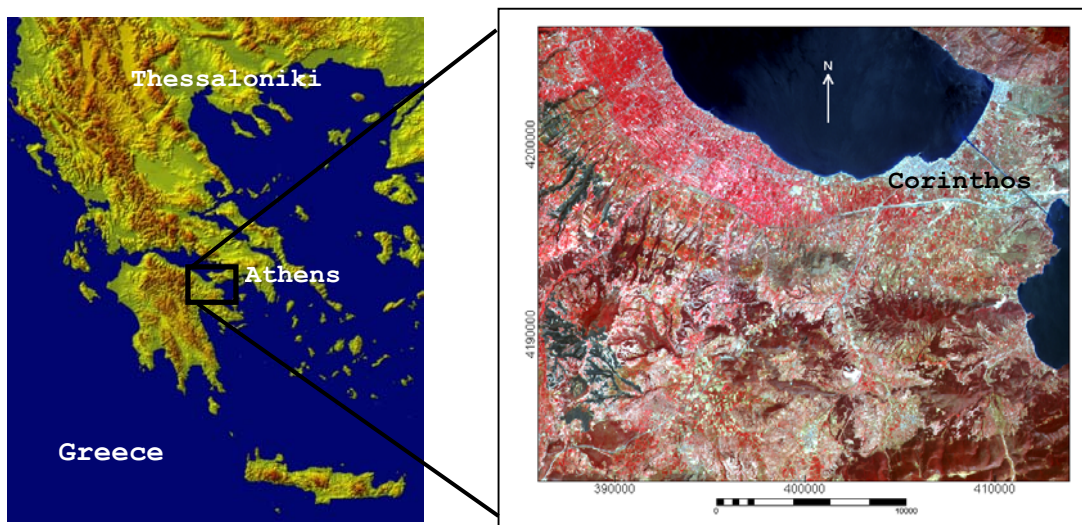
Αυτή η μελέτη αναδεικνύει τα οφέλη που προκύπτουν από τη συναξιοποίηση δεδομένων SAR (ERS-2) και οπτικών δεδομένων (SPOT-2 XS) για την χαρτογράφηση ευαίσθητων περιοχών στην έντονη διάβρωση. Τα ανωτέρω δεδομένα έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν διαφορετική και συμπληρωματική πληροφόρηση σχετικά με την τοπογραφία, την τραχύτητα του εδάφους, τη βλάστηση και την χρήση/κάλυψη γης. Η τεχνική ενοποίησης των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο μετασχηματισμός IHS. Η εφαρμογή αυτή εστιάζεται στην ανάλυση της πληροφορίας που εξάχθηκε από την ενοποίηση και στην εκτίμηση της συναξιοποίησης σχετικά με την ανάδειξη της μορφολογίας, την χαρτογράφηση των ζωνών διάβρωσης και την ανάδειξη των κύριων παραγόντων που επιδρούν ευνοϊκά στο φαινόμενο αυτό.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει ένα τμήμα της ΒΑ Πελοποννήσου που διοικητικά ανήκει στο Νομό Κορινθίας (Εικ. 1).

Η ευρύτερη περιοχή της Κορινθίας καθώς και ο προς βορρά αναπτυσσόμενος Κορινθιακός κόλπος, βρίσκονται σε συνεχή ενεργό γεωδυναμική εξέλιξη από το Αν. Μειόκαινο έως σήμερα (Μαριολάκος 1975). Η διαδικασία αυτή οφείλεται σε ένα πεδίο εφελκυσμού με γενική διεύθυνση Β-Ν και έχει επηρεάσει τη γεωμορφολογική εξέλιξη τόσο της χέρσου όσο και της υποθαλάσσιας περιοχής του Κορινθιακού κόλπου, έτσι ώστε τα αποτελέσματά της να είναι σήμερα με σαφήνεια ορατά. Το συνολικό αποτέλεσμα της γεωδυναμικής αυτής δράσης συνοψίζεται στην προς βορρά προέλαση της νότιας ακτής του Κορινθιακού κόλπου, γεγονός που επιδρά στην κατανομή των

σύγχρονων και παλαιότερων ιζημάτων καθώς και στη διαμόρφωση του αναγλύφου της περιοχής (Μαριολάκος & Στείρος 1989).



Εικ. 1: Εικόνα SPOT-2 XS με την περιοχή μελέτης
Image 1: SPOT-2 XS image showing the study area

Ειδικότερα, από την ακτή προς την ενδοχώρα, παρατηρούμε την ανάπτυξη μιας σειράς αναβαθμίδων θαλάσσιας προέλευσης, που εκτείνονται από την Κόρινθο έως το Ευλόκαστρο. Κατά τον Armijo et al. (1996) οι αναβαθμίδες αυτές αντιστοιχούν σε μεταβολές της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια του Αν. Πλειστόκαινου. Οι μεταβολές της ακτογραμμής οφείλονται σ' ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων, με γενική διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ, που δημιούργησαν το σύγχρονο ασύμμετρο τεκτονικό βύθισμα του Κορινθιακού. Το υψόμετρο των αναβαθμίδων κυμαίνεται από 10 έως 400 μ και το πλήθος των αναβαθμίδων που σχηματίστηκαν κατά τα τελευταία 450.000 έτη ανέρχεται σε περίπου 20 (Dufaure & Zamanis 1980, Keraudren & Sorel 1987). Το υψόμετρο των αναβαθμίδων αυξάνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά γεγονός που οφείλεται στην έντονη ανύψωση τη βορειοκεντρικής Πελοποννήσου. Οι απότομες αλλαγές των κλίσεων που διαχωρίζουν τις αναβαθμίδες αντιστοιχούν στα ρήγματα που τις προκάλεσαν (Doutsos & Piper 1990, Stiros & Pirazzoli 1998).

Η ταχεία ανύψωση της χέρσου έχει προκαλέσει κατά βάθος διάβρωση των πλειο-πλειστοκαινικών σχηματισμών η οποία δίνει στις κοιλάδες των ρευμάτων που στραγγίζουν την περιοχή μια έντονα χαραδρωτική μορφή. Κατά θέσεις όπου επικρατούν οι μαργαϊκές αποθέσεις διαμορφώνεται ένα χαρακτηριστικό τοπίο τύπου badlands. Το είδος των πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων είναι μάργες, ψηφιδοπαγή και κροκαλοπαγή ποτάμιας, δελταϊκής ή παράκτιας φάσης. Προς τα νοτιοανατολικά η περιοχή μελέτης περιβάλλεται από αλπικούς σχηματισμούς που περιλαμβάνουν μεσοζωικούς και παχείς νηρητικούς ασβεστόλιθους και σχιστοκερατόλιθους.

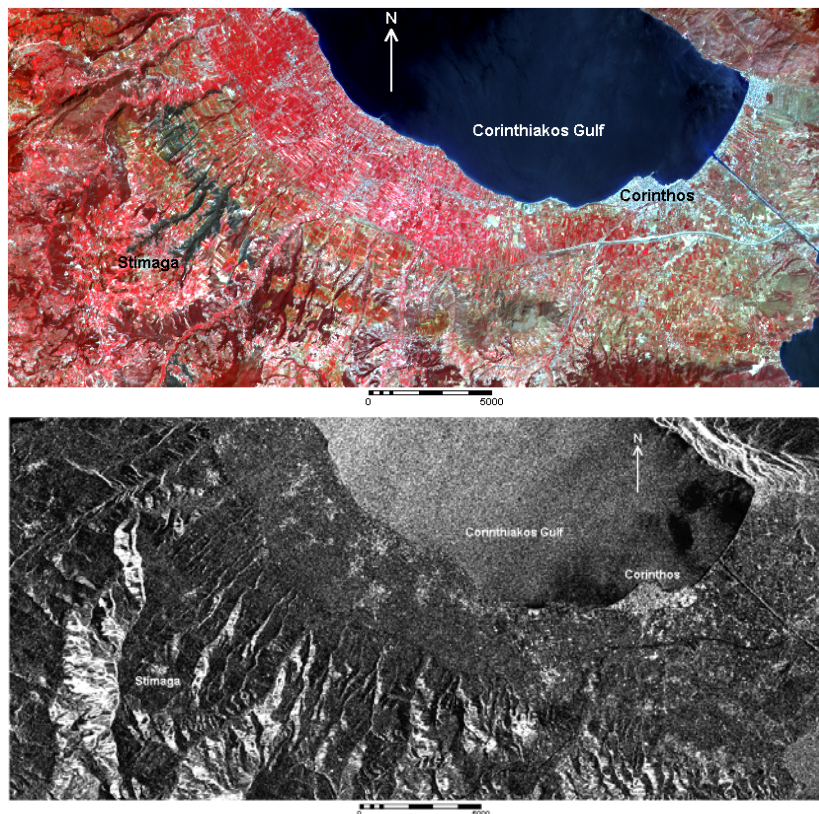
Το γενικά ήπιο ανάγλυφο των αναβαθμίδων, η φύση των επιφανειακών σχηματισμών και η ηπιότητα του κλίματος προσέλκυσαν το ενδιαφέρον του ανθρώπου από τους πρώιμους ιστορικούς χρόνους έως σήμερα. Έτσι στην περιοχή αναπτύχθηκε έντονη γεωργική και αστική δραστηριότητα με αδιάκοπη λειτουργία. Η χωρική κατανομή των δραστηριοτήτων αυτών εξαρτήθηκε κύρια από το είδος του γεωμορφολογικού αναγλύφου και τη φύση των επιφανειακών σχηματισμών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα SPOT-2 XS (090-274, 3 φασματικά κανάλια, ημερομηνία λήψης 4-8-98, 20m) και ERS-2 (ανερχόμενη τροχιά, ημερομηνία λήψης 29-5-97, C-band, $\lambda=5.6\text{cm}$, VV polarization system, 12.5m).

Ο θόρυβος (speckle noise) της εικόνας ERS-2 μειώθηκε πριν από την κύρια επεξεργασία με τη βοήθεια κατάλληλου φίλτρου (enhanced Lee adaptive filter) (Lopes et al. 1990). Το επόμενο βήμα ήταν η γεωμετρική διόρθωση των εικόνων (geo-referencing) σε μία κοινή τοπογραφική βάση και η αναδόμησή τους (resampling), με βάση το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87). Εξ αιτίας του έντονου αναγλύφου της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκε ένα

λεπτομερές Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο για την ορθοαναγωγή των 2 εικόνων και στη συνέχεια έγινε η αναδόμησή τους με την μέθοδο της εγγύτερης γειτνίασης (nearest neighbor interpolation method) και αποδόθηκε τιμή στο pixel 15m (Εικ. 2α και β). Η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS) του πολυωνυμικού μετασχηματισμού (image-to-image registration) ήταν 1 pixel.



Εικ. 2α-β: Γεωμετρικά διορθωμένες εικόνες SPOT-2 XS και ERS-2
Image 2a-b: Geocorrected SPOT-2 XS and ERS-2 images

Στη συνέχεια, έγινε η ενοποίηση των δύο εικόνων, της εικόνας ERS-2 με την πολυφασματική εικόνα SPOT-2 XS. Αρκετές μέθοδοι ενοποίησης έχουν αναφερθεί στην βιβλιογραφία (Chavez 1986, Ehlers 1988, Pohl and van Genderen 1998). Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία για την ενοποίηση ήταν ο μετασχηματισμός IHS (Intensity - Hue - Saturation) (Harris et al. 1990, Carper et al. 1990). Από τα 3 φασματικά κανάλια του SPOT-2 XS (RGB-321) υπολογίστηκαν οι παράμετροι IHS. Ακολούθως η εικόνα SAR αντικατέστησε την παράμετρο Intensity και ένας αντίστροφος μετασχηματισμός εφαρμόστηκε με σκοπό την μεγιστοποίηση της περιεχόμενης πληροφορίας στο τελικό προϊόν.

Οι θεματικοί χάρτες-χωρικά μοντέλα (spatial models) που δημιουργήθηκαν για τις ανάγκες της εργασίας είναι οι ακόλουθοι:

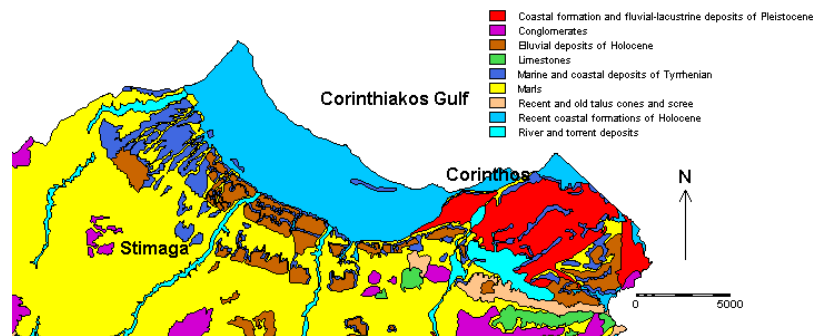
α) ο γεωλογικός χάρτης που παρουσιάζει τους ενοποιημένους γεωλογικούς σχηματισμούς (Τάταρης κ.α. 1970, Μπορνόβας κ.α. 1971) (Σχ. 1).

β) το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου της περιοχής (Τοπογραφικά φύλλα "Νεμέα"- "Κόρινθος", κλίμακας 1:50.000, εκδόσεις ΓΥΣ, 1989).

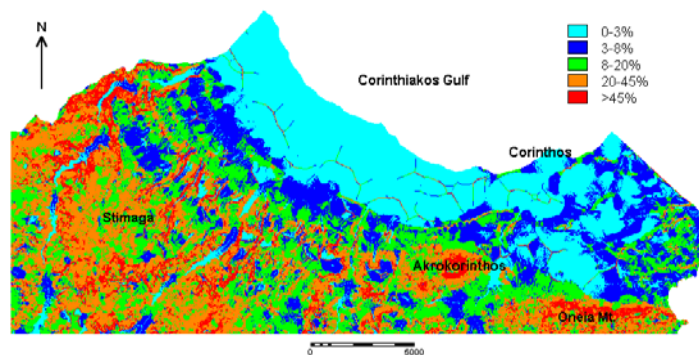
γ) ο χάρτης κλίσεων (Σχ. 2).

Για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου έγινε η ψηφιοποίηση των ισοϋψών με την ισοδιάσταση να κυμαίνεται κυρίως από 20 έως 60μ., ανάλογα με το μέγεθος της κλίσης των τοπογραφικών επιφανειών της περιοχής. Με σημειακό χαρακτήρα εισήχθησαν τα τριγωνομετρικά σημεία, κυρίως σε κορυφές λόφων και βουνών, με σκοπό την καλύτερη αναπαράσταση του αναγλύφου. Στη συνέχεια, έγινε η εφαρμογή της γραμμικής παρεμβολής (interpolation) επάνω στα ψηφιακά υψομετρικά δεδομένα, με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων, και δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου. Ακολούθως, εφαρμόστηκαν επάνω στο υψομετρικό μοντέλο τα φίλτρα κλίσεων (gradient filters) για την κατασκευή του χάρτη κλίσεων. Οι κλίσεις υπολογίστηκαν επί τοις εκατό (%), ενώ για την εξαγωγή καλύτερων συμπερασμάτων έγινε η ταξινόμηση των κλίσεων σε 5 ομάδες (επίπεδες περιοχές με

0-3%, μικρές κλίσεις 4-8%, μέτριες κλίσεις 9-20%, μεγάλες κλίσεις 21-45%, πολύ μεγάλες κλίσεις >45%).



Σχ. 1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης
Fig. 1: Geological map of the study area



Σχ. 2: Χάρτης κλίσεων
Fig. 2: Slope map

Η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων έγινε με το ILWIS 3.0 for Windows (συνδυασμένο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας και ΓΠΣ) και το Imagine v. 8.4 της ERDAS (λογισμικό επεξεργασίας εικόνας), ενώ για τη διαχείριση της χωρικής πληροφορίας και τις ψηφιοποιήσεις χρησιμοποιήθηκαν το ILWIS 3.0 for Windows.

Τέλος, πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις υπαίθρου πριν και μετά την επεξεργασία των εικόνων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση και η επαλήθευση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την οπτική ερμηνεία των εικόνων. Επιπλέον, μέσω της στερεοσκοπικής παρατήρησης αεροφωτογραφιών που καλύπτουν την περιοχή μελέτης, αποκτήθηκαν σημαντικά στοιχεία για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων.

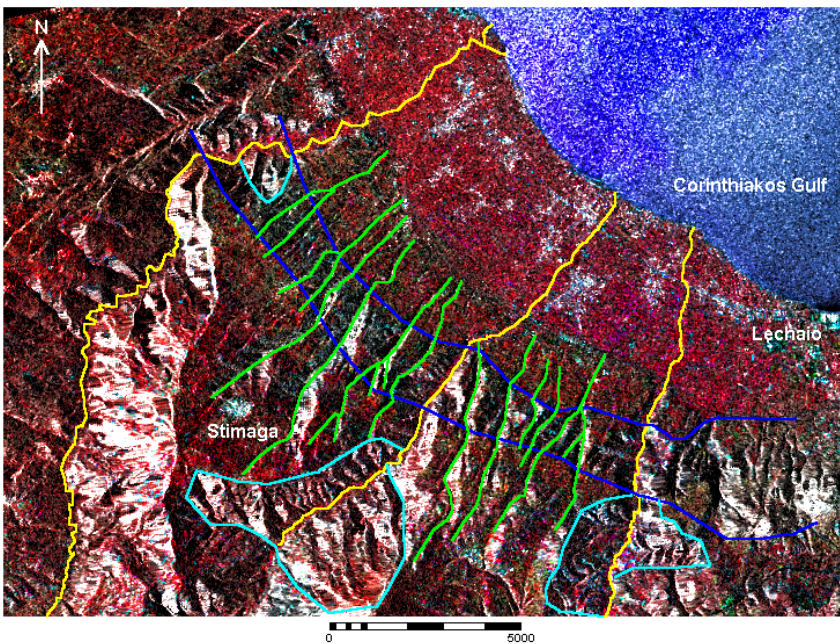
ΑΝΑΛΥΣΗ-ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Θεωρητικά, μετά την εφαρμογή της ενοποίησης των δύο εικόνων, θα πρέπει το τελικό προϊόν να διατηρεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη φασματική πληροφορία, η οποία δίνεται από τις εικόνες SPOT-2 XS, και συγχρόνως να βελτιώνει την χωρική πληροφορία, η οποία δίνεται από την εικόνα ERS-2. Όμως, όλες οι μέθοδοι ενοποίησης, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό προκαλούν παραμορφώσεις τουλάχιστον όσον αφορά την πολυφασματική πληροφορία που προέρχεται από τα δεδομένα των οπτικών συστημάτων.

Το τελικό προϊόν που προέκυψε μετά την ενοποίηση των δύο εικόνων (Εικ. 3) έχει σαφώς σημαντικές παραμορφώσεις στην πολυφασματική πληροφορία που δίνεται από τις εικόνες SPOT-2 XS και αυτό αποτελεί ένα μειονέκτημα. Από την άλλη πλευρά, η χωρική λεπτομέρεια η οποία δίνεται από τα δεδομένα SAR και αφορά την τοπογραφία της περιοχής, διατηρείται στο μέγιστο βαθμό.

Η οπτική ερμηνεία και ανάλυση της ενοποιημένης εικόνας δείχνει ότι η συνολική ποιότητα είναι σαφώς ανώτερη σε σχέση με τα επιμέρους δεδομένα, τουλάχιστον όσον αφορά τους σκοπούς αυτής της μελέτης. Παρ'όλο που η μέθοδος ενοποίησης IHS δεν διατηρεί την αρχική φασματική πληροφορία (μόνο μία γενική εμφάνιση της χρωματικής σύνθεσης παραμένει αναλλοίωτη) και ο θόρυβος (speckle) είναι ακόμη ορατός, οι μορφολογικές λεπτομέρειες παραμένουν διακριτές στο τελικό προϊόν.

Τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης είναι οι βαθιές κοιλάδες (τύπου V), με γενική διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, και οι τεκτονικές αναβαθμίδες με τα αντίστοιχα μέτωπά τους (scarps), με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ. Λόγω της ανερχόμενης τροχιάς του δορυφόρου ERS-2 (σχεδόν πολική τροχιά), τα γραμμικά χαρακτηριστικά που εμφανίζονται κάθετα ή σχεδόν κάθετα στη διεύθυνση του σήματος του δορυφόρου είναι και τα πιο εμφανή, δηλαδή οι βαθιές κοιλάδες και οι άξονες διάβρωσής τους. Αντίθετα, τα γραμμικά χαρακτηριστικά που είναι παράλληλα ή σχεδόν παράλληλα με τη διεύθυνση του σήματος, όπως τα όρια των τεκτονικών αναβαθμίδων, οι κάθετοι ή σχεδόν κάθετοι παραπόταμοι των κύριων ρεμάτων, κ.α., είναι λιγότερο ή και καθόλου εμφανή. Η αδυναμία αυτή αναπληρώνεται εν μέρει από την έστω και ελλιπή φασματική πληροφορία που δίνουν οι εικόνες SPOT-2 XS λόγω της έμμεσης σχέσης τους με την μορφολογία της περιοχής (πληροφορία που αφορά τις χρήσεις γης, την εδαφοκάλυψη, κ.α.).



Εικ. 3: Προϊόν ενοποίησης των δύο εικόνων. Οι μπλε και κυανές γραμμές περι- κλείουν περιοχές έντονης διάβρωσης. Οι κίτρινες γραμμές είναι τα κύρια ρέ- ματα που εκβάλλουν στον κόλπο. Οι πράσινες γραμμές αντιστοιχούν στους κύριους άξονες διάβρωσης.

Image 3: Merging product of SPOT-2 XS/ERS-2 data. Blue and cyan lines en- close areas with intense erosion. Yellow lines are the main streams discha- rging to the Gulf. The green lines correspond to the main erosion axes.

Χαρακτηριστικές είναι και οι απότομες αλλαγές των κλίσεων, όπως αυτές εμφανίζονται στο Σχ. 2, στα όρια των αναβαθμίδων, δίνοντας μία ζωνώδη δομή. Προς το εσωτερικό της περιοχής έχουμε αύξηση του υψομέτρου, οι κοιλάδες στενεύουν, είναι επιμήκεις, απότομες και τύπου V, με έντονη κατά βάθος διάβρωση και ελάχιστη οριζόντια, χαρακτηριστικό γνώρισμα του σταδίου νεότητας του δικτύου, που οφείλεται στην ανύψωση της περιοχής από τις κατακόρυφες τεκτονικές κινήσεις. Όπως φαίνεται και στο χάρτη κλίσεων τα πρανή σε όλο σχεδόν το μήκος των κύριων κλάδων έχουν μεγάλη κλίση (>21%). Παρόμοιες κλίσεις παρατηρούνται στη περιοχή όπου οι χείμαρροι διασχίζουν εγκάρσια τις αναβαθμίδες διαβρώνοντάς τις σε βάθος.

Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά γίνονται ιδιαίτερα εμφανή στο δυτικό μέρος της περιοχής, όπου και εμφανίζονται οι ζώνες των αναβαθμίδων παράλληλα με την ακτογραμμή, ενώ ταυτόχρονα αναδεικνύονται σε μεγάλο βαθμό οι άξονες διάβρωσης. Οι μεν ζώνες των αναβαθμίδων δεν είναι ευδιάκριτες στην εικόνα ERS-2, οι δε άξονες διάβρωσης και η τοπογραφία δεν αναδεικνύονται στα οπτικά δεδομένα. Στο τελικό προϊόν η συγχώνευση των δύο ομάδων δεδομένων δίνει τη δυνατότητα διάκρισης χαρακτηριστικών τα οποία δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθούν στις επιμέρους εικόνες.

Οι ζώνες των αναβαθμίδων διαβρώνονται εγκάρσια από το υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο είναι παράλληλου τύπου και σε κάποιες περιοχές ελεγχόμενο από την τεκτονική, έχοντας ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση. Τα πρανή των κοιλάδων που βλέπουν προς τον δορυφόρο (δηλ. έχουν δυτικό προσανατολισμό) απεικονίζονται με το λευκό χρώμα, τόσο στην εικόνα SAR όσο και στην ενοποιημένη εικόνα, καθώς συμπεριφέρονται ως ιδανικοί ανακλαστές (υψηλές τιμές οπισθοσκέδασης). Η ιδιαιτερότητα αυτή παρ'ότι προκαλεί την απώλεια πληροφορίας σχετικά με τη δομή των πρανών αυτών, αναδεικνύει στο μέγιστο βαθμό την τοπογραφία της περιοχής. Έτσι, το υδρογραφικό δίκτυο είναι διακριτό με μεγάλη λεπτομέρεια λόγω της κάθετης ή σχεδόν κάθετης διεύθυνσής του με το προσπίπτον σήμα του δορυφόρου. Μία συγκριτική εκτίμηση της

κατά βάθος διάβρωσης είναι επιφανειακή, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια των λευκών πρανών των κοιλάδων στην ενοποιημένη εικόνα τόσο πιο μεγάλη είναι η κατά βάθος διάβρωση.

Οι ζώνες έντονης διάβρωσης έχουν χαρτογραφηθεί επάνω στην ενοποιημένη εικόνα (Εικ. 3) με βάση την οπτική ερμηνεία του τελικού προϊόντος σε συνδυασμό με την πληροφορία που εξάγεται από τις επιμέρους εικόνες, τα δεδομένα από τις εργασίες υπαίθρου και την παρατήρηση αεροφωτογραφιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι έντονα διαβρωμένες περιοχές συναντώνται προς τα μεγαλύτερα υψόμετρα, όπου και έχουμε την μεγαλύτερη ανύψωση της περιοχής, με το μεγαλύτερο ποσοστό τους να κατανέμεται σε μία ζώνη παράλληλη με τις αναβαθμίδες και την ακτογραμμή, όπου και έχουμε την διακλάδωση των κύριων κλάδων σε ρέματα πρώτης και δεύτερης τάξης. Στην ζώνη αυτή συναντώνται αρκετές μορφές διάβρωσης τύπου badlands, με το μεγαλύτερο μέρος των διαβρωμένων-γυμνών περιοχών να εμφανίζεται επάνω σε μαργαίτους σχηματισμούς.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη διερευνά την χρησιμότητα των ενοποιημένων δεδομένων SPOT-2 XS/ERS-2 σχετικά με την χαρτογράφηση περιοχών έντονης χαραδρωτικής διάβρωσης, τη βελτίωση της ερμηνείας του εδάφους και την ανάδειξη της μορφολογίας.

Η χρήση των δεδομένων SAR δίνει τη δυνατότητα ανάδειξης της μορφολογίας, παρέχοντας κατά κάποιο τρόπο την τρίτη διάσταση η οποία λείπει από τα δεδομένα των οπτικών συστημάτων. Από την άλλη πλευρά, τα οπτικά συστήματα παρέχουν πληροφορία μέσω των διακριτών φασματικών τύπων που σχετίζονται άμεσα με την χρήση/κάλυψη γης. Με την ενοποίηση των δεδομένων, το τελικό προϊόν δίνει μία πιο πλούσια και ακριβή πληροφορία σχετικά με τη μορφολογία της περιοχής, το οποίο είναι και το ζητούμενο, συγκριτικά με τις επί μέρους εικόνες, παρέχοντας τη δυνατότητα παρακολούθησης και χαρτογράφησης περιοχών με έντονη χαραδρωτική διάβρωση, κυρίως λόγω της μέγιστης συνεισφοράς των δεδομένων SAR.

Όμως, η ενοποίηση των δύο ομάδων δεδομένων μεταφέρει και τα μειονεκτήματα στο τελικό προϊόν ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί κάποιες πρόσθετες δυσκολίες. Η αδυναμία εξάλειψης του θορύβου (speckle) των δεδομένων SAR, καθώς επίσης και οι δυσκολίες ακριβούς γεωμετρικής διόρθωσης των εικόνων (image-to-image registration) εξαιτίας του έντονου αναγλύφου, αποτελούν σημαντικά μειονεκτήματα (η χρησιμοποίηση ενός DEM βελτιώνει σαφώς τα αποτελέσματα). Ταυτόχρονα, η μέθοδος ενοποίησης IHS δεν διατηρεί την αρχική φασματική πληροφορία (μόνο μία γενική εμφάνιση της χρωματικής σύνθεσης παραμένει αναλλοίωτη) και αυτό δυσχεραίνει εν μέρει την εξαγωγή πληροφορίας από το τελικό προϊόν. Η χρησιμοποίηση και εφαρμογή άλλων μεθόδων (διαφορετικοί αλγόριθμοι) είναι πιθανό να προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα κυρίως όσον αφορά την φασματική πληροφορία που συνεισφέρουν τα δεδομένα των οπτικών συστημάτων.

Παρ'όλα τα ανωτέρω προβλήματα, η ενοποιημένη εικόνα παρέχει τη δυνατότητα της χαρτογράφησης των περιοχών έντονης διάβρωσης, μέσω της οπτικής ερμηνείας, σε συνδυασμό πάντα με την πληροφορία που εξάγεται από τις επιμέρους εικόνες, τα δεδομένα από τις εργασίες υπαίθρου και την παρατήρηση των αεροφωτογραφιών. Ταυτόχρονα, ο συνδυασμός των δορυφορικών δεδομένων με τους θεματικούς χάρτες (στοιχεία υψομέτρου και κλίσεων, γεωλογικοί χάρτες, κ.α.) μπορεί να δώσει χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την συγκεκριμένη εφαρμογή. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι έντονα διαβρωμένες περιοχές συναντώνται προς τα μεγαλύτερα υψόμετρα, με το μεγαλύτερο ποσοστό τους να κατανέμεται σε μία ζώνη παράλληλη με τις αναβαθμίδες και την ακτογραμμή. Στην ζώνη αυτή συναντώνται αρκετές μορφές διάβρωσης τύπου badlands ενώ το μεγαλύτερο μέρος των διαβρωμένων-γυμνών περιοχών εμφανίζεται επάνω σε μαργαίτους σχηματισμούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ARMILIO, R., MEYER, B., KING, G., RIGO, A. & PAPANASTASIOU, D., (1996). Quaternary evolution of the Corinth rift and its implications for the late Cenozoic evolution of the Aegean. *Geophysical Journal International*, 126, p. 11-53.
- [2] ΜΠΟΡΝΟΒΑΣ, Ι., ΛΑΛΕΧΟΣ, Ν., ΦΙΛΙΠΠΑΚΗΣ, Ν., ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Γ. & ΤΣΑΙΛΑ - ΜΟΝΟΠΩΛΗ, ΣΤ., (1972). Φύλλο "Κόρινθος" (κλίμακα 1:50.000), εκδόσεις ΙΓΜΕ.

- [3] CARPER, W.J., LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W., (1990). The use of Intensity-Hue-Saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56 (4), p. 459-467.
- [4] CHAVEZ, M., (1986). Digital merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1:24.000 scale mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52 (10). p. 1637-1646.
- [5] DOUTSOS, T. & PIPER, D.J.W., (1990). Listric faulting, sedimentation, and morphological evolution of the Quaternary eastern Corinth rift, Greece: first stages of continental rifting. *Geological Society of America. Bulletin*, 102, p. 812-829.
- [6] DUFAURE, J. & ZAMANIS, A., (1980). Styles neotectoniques et etagements de niveaux marins sur un segment d'arc insulaire, le Peloponnese. Proc. Actes Coll. CNRS "Niveaux marins et tectonique quaternaire dans l'aire mediterraneenne", p. 77-107, Paris.
- [7] EHLERS, M., (1988). Multisensor image fusion techniques in remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 46. p. 19-30.
- [8] GARCIA-MELENDZ, E., MOLINA, I., FERRE-JULIA, M. & AGUIRRE, J., (1998). Multisensor data integration and GIS analysis for natural hazard mapping in a semiarid area (southeast Spain). *Advances in Space Research*, 21 (3), p. 493-499.
- [9] HARRIS, J.R., MURRAY, R. & HIROSE, T., (1990). HIS transform for the integration of radar imagery with other remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56 (12), p. 1631-1641.
- [10] HILL, J., (1994). Land degradation and soil erosion hazard mapping in Mediterranean environments with operational earth observation satellites. Proc. Int. Symposium "Operationalization of Remote Sensing", ITC, Enschede, The Netherlands, 19-23 April, vol. 9, p. 41-51.
- [11] KERAUDREN, B. & SOREL, D., (1987). The terraces of Corinth (Greece). A detailed record of eustatic sea-level variations during the last 500.000 years. *Marine Geology*, 77, p. 99-107.
- [12] KING, C. & DELPONT, G., (1993). Spatial assessment of erosion: contribution of remote sensing, a review. *Remote Sensing Reviews*, 7, p. 223-232.
- [13] LOPES, A., TOUZI, R. & NEZRY, E., (1990). Adaptive speckle filters and scene heterogeneity. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 28 (6), p. 992-1000.
- [14] ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Ι., (1975). Σκέψεις και απόψεις επί ορισμένων προβλημάτων της γεωλογικής και τεκτονικής δομής της Πελοποννήσου. *Annales Geologiques des pays Helleniques*, τ. 27, σελ. 215-313.
- [15] ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Ι. & ΣΤΕΙΡΟΣ, Σ., (1989). Είναι η πρόσφατη εξέλιξη της βόρειας Πελοποννήσου αποτέλεσμα λιθοσφαιρικού εφελκυσμού;. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, Τομ. XXIII/1, σελ. 171-178, Αθήνα.
- [16] METTERNICHT, G.I. & ZINCK, J.A., (1998). Evaluating the information content of JERS-1 SAR and Landsat TM data for discrimination of soil erosion features. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 53, p. 143-153.
- [17] POHL, C. & Van GENDEREN, J.L., (1998). Review article. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (5), p. 823-854.
- [18] STIROS, S.C. & PIRAZZOLI, P.A., (1998). Late Quaternary coastal changes in the Gulf of Corinth, Greece (tectonics, earthquake, archaeology). Guidebook for the Gulf of Corinth Field Trip, September 14-16. INQUA joint meeting on "Rapid coastal changes in the Late Quaternary: processes, causes, modeling, impacts on coastal zones", September 10-19.
- [19] ΤΑΤΑΡΗΣ, Α., ΜΑΡΑΓΚΟΥΔΑΚΗ, Ν., ΚΟΥΝΗ, Γ., ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Γ. & ΤΣΑΙΛΑ - ΜΟΝΟΠΩΛΗ, ΤΣ., (1970). Φύλλο "Νεμέα" (κλίμακα 1:50.000), εκδόσεις ΙΓΜΕ.
- [20] TOWNSEND, P.A. & WALSH, S.J., (1998). Modeling floodplain inundation using an integrated GIS with radar and optical remote sensing. *Geomorphology*, 21 (3-4), p. 295-312.
- [21] WALSH, S.J., BUTLER, D.R. & MALANSON, G.P., (1998). An overview of scale, pattern, process relationships in geomorphology: a remote sensing and GIS perspective. *Geomorphology*, 21 (3-4), p. 183-205.
- [22] YESOU, H., BESNUS, Y., ROLET, J., PION, J.C. & AING, A., (1993). Merging Seasat and SPOT imagery for the study of geological structures in a temperate agricultural region. *Remote sensing of environment*, 43, p. 265-279.