

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

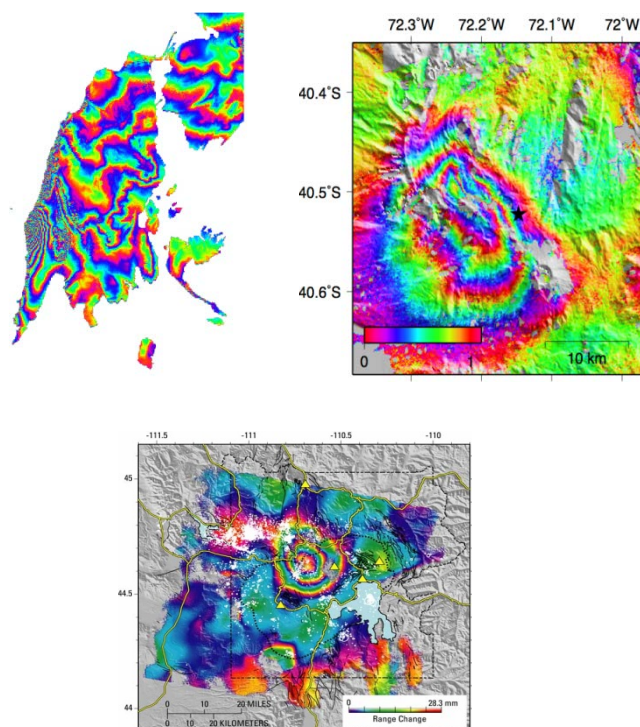


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕ
ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ-ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ-ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS

ΥΠΟ

ΧΡΗΣΤΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΥ



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

- ❖ Πρόλογος
- ❖ Στόχος Εργασίας
- ❖ Συμβολομετρία
- ❖ GIS (Geographic Information Systems)

Κεφάλαιο 2 Οργάνωση Αποτελεσμάτων Συμβ/ιας σε GIS

- ❖ Ανάκτηση Δεδομένων (Πηγές)
- ❖ Προεπεξεργασία Δεδομένων
- ❖ Γεωαναφορά
- ❖ Μετασχηματισμοί
- ❖ Περιοχές μελέτης
- ❖ Εισαγωγή στο GIS και Οργάνωσή τους
- ❖ Εισαγωγή Συμπληρωματικών Δεδομένων

Κεφάλαιο 3 Χρήση Βάσης Δεδομένων

Κεφάλαιο 4 Συζήτηση-Συμπεράσματα

Κεφάλαιο 5 Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Πρόλογος

Ένα γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα, ή GIS είναι ένα σύστημα, που σκοπός του είναι να συλλέξει, να αποθηκεύσει, να χειριστεί, να αναλύσει και να παρουσιάσει όλους τους τύπους γεωγραφικών δεδομένων. Τα GIS χρησιμοποιούνται κυρίως για την δημιουργία χαρτών που συνδυάζουν χρήσιμες πληροφορίες για περιβαλλοντικές και γεωλογικές μελέτες, για την εφαρμοσμένη μηχανική, τον προγραμματισμό και άλλες επιστήμες. Στην συγκεκριμένη εργασία θα γίνει η προσπάθεια να συνδυαστούν επιτυχώς δεδομένα δορυφορικής συμβολομετρίας με επιλεγμένα σεισμολογικά, γεωλογικά, γεωφυσικά φαινόμενα. Θα πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα δεδομένα και οι πληροφορίες είναι σε ψηφιακή μορφή και η επεξεργασία τους γίνεται με ειδικά λογισμικά. Ο αντικειμενικός σκοπός της συλλογής και αποθήκευσης των δεδομένων σε μια βάση, είναι η συσχέτιση των γεγονότων και καταστάσεων τα οποία προηγουμένως ήταν χωριστά. Συγκεκριμένα στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται κάποιες βασικές πληροφορίες για τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και την έννοια της συμβολομετρίας γενικότερα. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται περαιτέρω εμβάθυνση στον κεντρικό στόχο της εργασίας, αφού τα δεδομένα επεξεργάζονται σε ειδικά προγράμματα, οργανώνονται και τέλος παρουσιάζονται με τις κατάλληλες πληροφορίες-χαρακτηριστικά για κάθε περίπτωση. Ακόμη, γίνεται η λεγόμενη γεωαναφορά των ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου (DEMs) καθώς και ορισμένοι μετασχηματισμοί πάνω σε αυτά, όπως το κοινό προβολικό σύστημα WGS84. Τέλος, δίνονται και ορισμένες συμπληρωματικές πληροφορίες που θα βοηθήσουν τον αναγνώστη, έστω και με απλά σχήματα, να κατανοήσει καλύτερα τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμολογικών, γεωλογικών, γεωφυσικών φαινομένων που μελετήθηκαν. Έπειτα, στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται κάποιοι ενδεικτικοί χάρτες των περιοχών μελέτης, επεξεργασμένοι στο ArcGIS, επιδεικνύοντας έτσι τα διαφορετικά χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης. Επίσης, στο Κεφάλαιο 4 και 5 γίνεται μια μικρή συζήτηση για τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τον συνδυασμό της δορυφορικής συμβολομετρίας με τα επιλεγμένα σεισμολογικά,

γεωλογικά, γεωφυσικά δεδομένα και αντίστοιχα παρατίθενται οι πηγές (βιβλιογραφία) που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μουρατίδη Α. Λέκτορα του Τμήματος Γεωλογίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά την επίβλεψη αυτής της εργασίας.

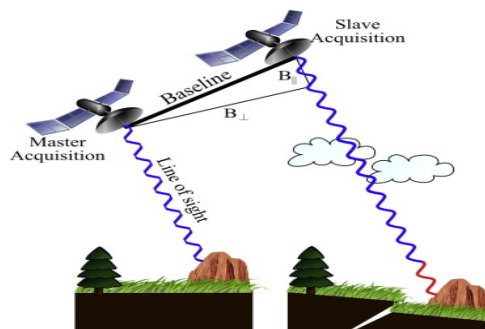
Στόχος Εργασίας

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο να συνδυάσει σεισμολογικά, γεωλογικά, γεωφυσικά δεδομένα με αποτελέσματα δορυφορικής συμβολομετρίας για την εκάστοτε περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα αν μιλήσουμε για έναν σεισμό που συνέβη στον ελλαδικό χώρο, από τον οποίο προκλήθηκαν φυσικές καταστροφές (π.χ κατολισθήσεις, υποχωρήσεις, καθιζήσεις), τότε είναι δυνατόν μέσω της τεχνολογίας InSAR να εντοπιστούν με ακρίβεια οι εδαφικές παραμορφώσεις εξαιτίας του σεισμού (ενεργοποίηση ρήγματος-γεωλογικό δεδομένο) στην περιοχή μελέτης και να διεξαχθούν επιστημονικά συμπεράσματα για τις μετατοπίσεις του εδάφους. Ακόμη πριν την ενεργοποίηση ενός ηφαιστείου (γεωλογικό φαινόμενο), η τεχνολογία InSAR έχει την δυνατότητα να ανιχνεύσει μικρο-μετακινήσεις στην επιφάνεια του, λόγω ακριβώς της σταδιακής ενεργοποίησής του, παρέχοντας έτσι την δυνατότητα της προειδοποίησης των κατοίκων για την άμεση εκκένωση της περιοχής λόγω ενδεχόμενων φυσικών καταστροφών. Επομένως καθίσταται δυνατή η εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων για περιοχές με σημαντική γεωλογική δραστηριότητα.

Συμβολομετρία

Η χρήση της μεθοδολογίας InSAR άρχισε στη δεκαετία του 1960, όταν οι στρατιωτικές υπηρεσίες των ΗΠΑ χαρτογράφησαν την περιοχή Darien Province με την λήψη εικόνων SLAR (Side Looking Airborne Radars), ενώ η πρώτη δημοσιευμένη εργασία εφαρμογών της InSAR έγινε από τους Rogers και Ingalls (1969) για την παρατήρηση της Αφροδίτης και της Σελήνης. Η συμβολομετρία SAR χρησιμοποιείται στην χαρτογράφηση εδαφικής παραμόρφωσης σε ηφαίστεια, κατολισθήσεις, υποχωρήσεις, παγετώνες κá. Βασίζεται στην επεξεργασία δύο

δορυφορικών εικόνων ραντάρ (μέθοδος InSAR). Πρόκειται για την μέθοδο που μετράει την παραμόρφωση χαρτογραφώντας τις αλλαγές στην απόσταση Γής-Δορυφόρου ανάμεσα στις δύο δορυφορικές εικόνες, με το πλεονέκτημα γεωγραφικής κάλυψης μεγάλων περιοχών. Η αλλαγή στην απόσταση φαίνεται χρησιμοποιώντας έναν επαναλαμβανόμενο κύκλο χρωμάτων (κροσσός συμβολής) φτιάχνοντας έναν υψομετρικό χάρτη της μετατόπισης του εδάφους. Ένα τυπικό SAR λαμβάνει την οπισθοσκέδαση ή οπισθοδιασπορά (backscatter) των μικροκυμάτων που εκπέμπονται από την κεραία ραντάρ και ανακλώνται από την επιφάνεια του εδάφους, μετρώντας την ένταση και την φάση του σήματος, καθώς και το χρόνο που απαιτείται για την επιστροφή του στην κεραία του συστήματος.



Σχήμα 1. Δορυφορική Σάρωση (πηγή: Google)

Η μέθοδος της συμβολομετρίας SAR είναι στην πρωτογενή της μορφή μια τεχνική παραγωγής ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου. Χρησιμοποιεί την πληροφορία της φάσης, από δεδομένα SAR, για να σχηματίσει συμβολογράμματα (Interferograms), από τα οποία μπορούν να υπολογιστούν οι υψομετρικές διαφορές των στοιχείων του εδάφους και τελικά να παραχθούν DEMs. Άλλες ορολογίες που χρησιμοποιούνται για την τεχνική της συμβολομετρίας, οι οποίες διαφέρουν κυρίως ως προς την σχετική θέση των κεραιών που λαμβάνουν τα δεδομένα (εικόνες) είναι οι εξής:

- Συμβολομετρία μονής διέλευσης (single-pass interferometry): Δύο κεραιές τοποθετούνται στο ίδιο φορέα (π.χ δορυφόρος) και λαμβάνουν εικόνες της ίδιας περιοχής ταυτόχρονα, υπό διαφορετικές όμως γωνίες,

με σκοπό την κατασκευή ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου (Digital Elevation Models/DEMs).

- Συμβολομετρία επαναλαμβανόμενης διέλευσης (repeat-pass interferometry): Οι εικόνες της ίδιας περιοχής λαμβάνονται κατά την διάρκεια διακριτών τροχιών (διελεύσεων) του δορυφόρου και συνεπώς και από διαφορετική θέση (γωνία), επιτρέποντας την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου.
- Συμβολομετρία κατά μήκος της τροχιάς του δορυφόρου (along-track interferometry): Χρησιμοποιώντας την πληροφορία της φάσης εικόνων, οι οποίες έχουν ληφθεί από κεραίες με σχετική μετατόπιση κατά μήκος (παράλληλα) της τροχιάς του δορυφόρου, είναι δυνατό να μετρηθεί η ταχύτητα στόχων που πλησιάζουν ή απομακρύνονται από το σύστημα SAR.
- Συμβολομετρία εγκάρσια στην τροχιά του δορυφόρου (across-track interferometry): Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου.

Τα παράγωγα της συμβολομετρίας μπορεί να είναι τρία:

- a) Ένας χάρτης συνάφειας (coherence map) της φάσης
- b) Ένα συμβολόγραμμα (interferogram)
- c) Μία εικόνα διαφοράς της φάσης-διαφορικό συμβολόγραμμα (phase difference-image – differential interferogram)

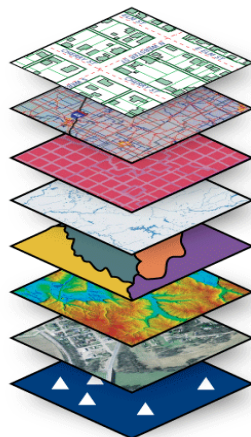
GIS (Geographic Information Systems)

Το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), γνωστό ευρέως και ως G.I.S. (Geographic Information System), αναφέρεται σε όλα εκείνα τα συστήματα, τα οποία ασχολούνται με την λήψη αποφάσεων σε γεωγραφικά θέματα με την χρήση ή όχι Η/Υ. Η λειτουργία των ΓΣΠ βασίζεται σε μια βάση δεδομένων (database) η οποία αποτελείται από μια σειρά πληροφοριακών επιπέδων, τα οποία αφορούν την ίδια γεωγραφική περιοχή. Έτσι ένα ΓΣΠ παράγει εξιδανικευμένα προϊόντα σε γραφική ή άλλη μορφή που παρόμοια τους δεν παράγει ένα σύστημα Αυτοματοποιημένης Χαρτογραφίας.

Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχουν τα GIS είναι αυτή της σύνδεσης της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την λειτουργία αυτή βασίζεται:

- Είτε στο σχεσιακό (relational) μοντέλο δεδομένων
- Είτε στο αντικειμενοστραφές (object-oriented) μοντέλο δεδομένων

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ένα ΓΣΠ είναι ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη" το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα, να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (SpatialData) και να τα αποδώσουν σε αναλογικά ή ψηφιακά μέσα. Η λειτουργία των GIS στηρίζεται στη σύνδεση μιας βάσης δεδομένων (database), η οποία περιέχει περιγραφικά (μη χωρικά) δεδομένα, με διάφορα επίπεδα (layers) χωρικών πληροφοριών τα οποία διαθέτουν κάποιου είδους γεωγραφική αναφορά.



Σχήμα 2. Ο συνδυασμός διαφορετικών επιπέδων (layers) χωρικών πληροφοριών , τα οποία υπερτίθενται το ένα πάνω στο άλλο, σύμφωνα με τη γεωγραφική τους αναφορά και συνοδεύονται από μία βάση δεδομένων, συνθέτουν την βασική δομή ενός GIS. (πηγή: Μουρατίδης, 2010)

Σήμερα η τεχνολογία GIS γίνεται ολοένα και πιο προσιτή στο ευρύ κοινό, περισσότερο ευκολόχρηστη και αξιόπιστη, ενώ σε πολλές περιπτώσεις τόσο το λογισμικό GIS, όσο και ψηφιακές βάσεις δεδομένων, διατίθενται δωρεάν μέσω του διαδικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑΣ ΣΕ GIS

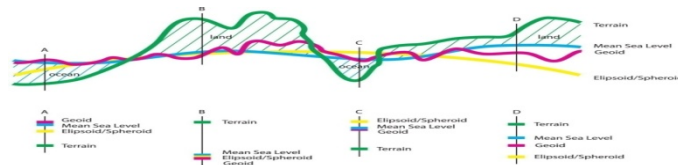
Ανάκτηση Δεδομένων (Πηγές)

Η κύρια πηγή η οποία χρησιμοποιήθηκε και από την οποία ξεκίνησε η επεξεργασία των αρχικών DEMs, είναι η USGS (United States Geological Survey). Τα ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου είναι “τραβηγμένα” από τον δορυφόρο ASTER GLOBAL.

Προεπεξεργασία Δεδομένων

Η προεπεξεργασία των δεδομένων αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά βήματα της Ανακάλυψης Γνώσης σε Βάσεις Δεδομένων, το οποίο μπορεί να απαιτήσει έως και το 60% της συνολικής προσπάθειας. Αυτό συμβαίνει διότι, αν τα ίδια τα δεδομένα δεν είναι “καθαρά” και στην κατάλληλη μορφή, δεν έχει νόημα να μιλάμε για ποιότητα αποτελεσμάτων. Η προεπεξεργασία των δεδομένων είναι απαραίτητη, καθώς τα αρχικά δεδομένα πάσχουν από διαφόρων ειδών προβλήματα. Σε αυτά συγκαταλέγονται η ύπαρξη αλληλοσυγκρουόμενων πληροφοριών, η ύπαρξη ασυνεπειών ως προς την κωδικοποίηση, την ονοματοδοσία πεδίων και τις μονάδες μέτρησης, καθώς και η ύπαρξη χαμένων τιμών και θορύβου, τυχαία δηλαδή κυμαινόμενων δεδομένων χωρίς ουσιαστικό περιεχόμενο. Τα προβληματικά αυτά δεδομένα καλούνται “ακάθαρτα” και η διαδικασία αντιμετώπισης των προβλημάτων τους καλείται “καθαρισμός δεδομένων”. Η προεπεξεργασία των δεδομένων περιλαμβάνει τον καθαρισμό τους, αλλά δεν περιορίζεται σε αυτόν. Ειδικές απαιτήσεις των μεθόδων επεξεργασίας συχνά επιβάλλουν τον μετασχηματισμό των δεδομένων. Δύο συνήθεις εργασίες μετασχηματισμού είναι η διακριτοποίηση και η κανονικοποίηση. Ο όρος διακριτοποίηση αναφέρεται στον μετασχηματισμό αριθμητικών τιμών σε ονομαστικές τιμές. Η κανονικοποίηση είναι η μετατροπή αριθμητικών τιμών σε άλλες, πιο “κατάλληλες” αριθμητικές τιμές. Ένα επιπλέον θέμα που εμπίπτει στην προεπεξεργασία των δεδομένων είναι η μείωση του

όγκου τους. Ειδική περίπτωση μείωσης των δεδομένων, με βαρύνουσα σημασία, είναι η επιλογή σημαντικών χαρακτηριστικών, η επιλογή δηλαδή εκείνων των μεταβλητών ή πεδίων που είναι απαραίτητες για την εξόρυξη της γνώσης. Στην παρούσα εργασία τα μοντέλα αναγλύφου που θα παρουσιαστούν στο Κεφάλαιο 2 είναι εκ των υστέρων γεωαναφερμένα σε προβολικό σύστημα WGS84 (World Geodetic System 1984).



Σχήμα 7. World Geodetic System 1984 (πηγή: Google)

Γεωαναφορά (Georeference)

Ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία προσδίδονται πραγματικές γεωγραφικές συντεταγμένες επιθυμητού συστήματος αναφοράς συντεταγμένων σε μια ψηφιακή εικόνα που έχει προέλθει από σάρωση ενός αναλογικού χάρτη ή μίας αεροφωτογραφίας σε συσκευή σαρωτή (scanner). Η εικόνα που προκύπτει εφαρμόζοντας την παραπάνω μεθοδολογία ονομάζεται γεωαναφερμένη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή χαρτογραφικών πληροφοριών. Η διαδικασία της Γεωαναφοράς απαιτεί την ύπαρξη ικανού αριθμού σημείων ελέγχου (control points) από την σαρωμένη εικόνα των οποίων οι συντεταγμένες σε ένα ορισμένο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς είναι ήδη γνωστές.

- Όσον αφορά στις σαρωμένες αεροφωτογραφίες τα σημεία αυτά προκύπτουν από προσεκτική εξέταση και αναγνώριση ευδιάκριτων στοιχείων όπως χαρακτηριστικά σημεία του αναγλύφου, και τη λήψη μετρήσεων για τα σημεία αυτά με GPS και εργασία υπαίθρου. Εναλλακτικά οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων αυτών μπορούν να υπολογισθούν και από τοπογραφικούς χάρτες, με ακρίβειες όμως που εξαρτώνται από την κλίμακα των χαρτών αυτών.
- Στην περίπτωση των σαρωμένων τοπογραφικών χαρτών τα σημεία ελέγχου προκύπτουν πιο εύκολα από την ανάγνωση απλώς των συντεταγμένων του

χάρτη σε διάφορα σημεία τομής των αξόνων του καννάβου, και την μετατροπή τους σε άλλο σύστημα αναφοράς εάν κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο.

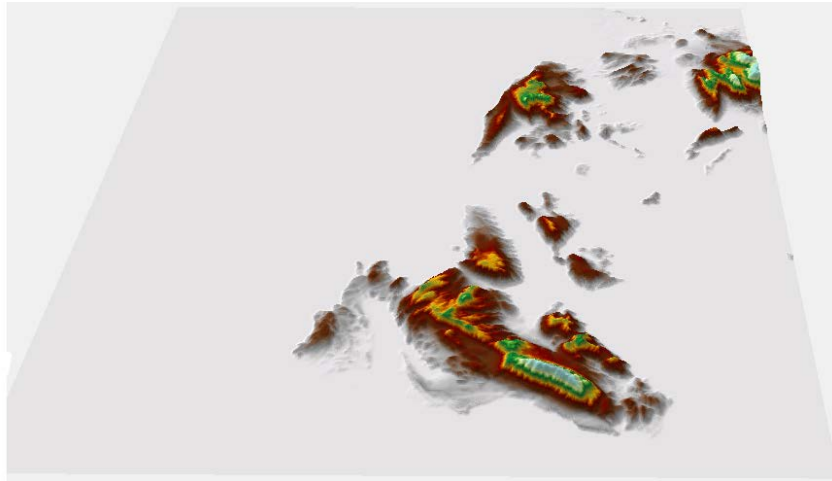
Μετασχηματισμοί

Οι μετασχηματισμοί που χρησιμοποιούνται κατά την διαδικασία αυτή είναι πολυωνυμικοί και είναι συνήθως:

- Γραμμικοί ή 1^{ου} βαθμού πολυωνυμικοί όπου απαιτούνται τουλάχιστο 3 σημεία ελέγχου, και οι αλλαγές που λαμβάνονται υπόψη για να γίνει η σαρωμένη εικόνα γεωαναφερμένη είναι σχετικά μικρές (ελαφρά περιστροφή ή κλίση).
- 2^{ου} βαθμού πολυωνυμικοί όπου απαιτούνται τουλάχιστο 6 σημεία ελέγχου και λαμβάνονται υπόψη και οι στρεβλώσεις ή καμπυλώσεις στην σαρωμένη εικόνα ώστε να γίνει γεωαναφερμένη.
- 3^{ου} βαθμού πολυωνυμικοί όπου απαιτούνται τουλάχιστο 10 σημεία ελέγχου και λαμβάνονται υπόψη και οι στρεβλώσεις ή καμπυλώσεις ώστε να επιτευχθεί η γεωαναφορά της εικόνας.

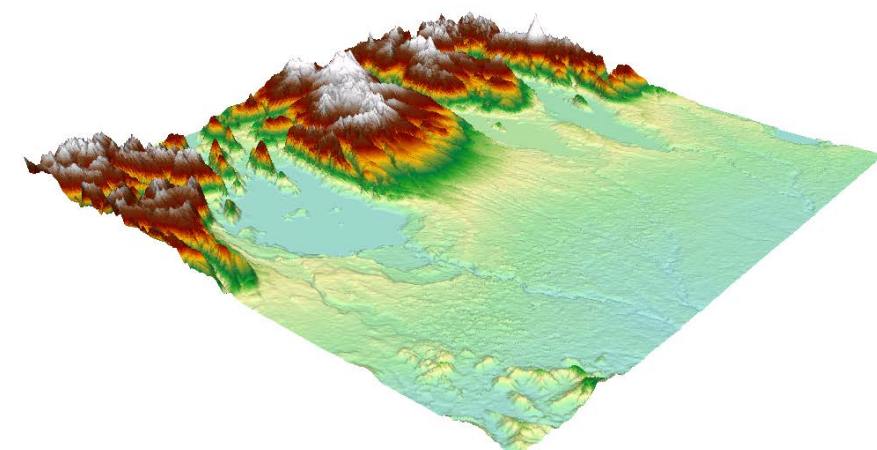
Περιοχές Μελέτης

Παρακάτω παρουσιάζονται οι επιλεγμένες περιοχές μελέτης που συνδέονται με σεισμολογικά, γεωλογικά, γεωφυσικά φαινόμενα, με ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά για την εκάστοτε περιοχή μελέτης. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζονται με την μορφή ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου σε τρισδιάστατη μορφή. Πρωτίστως προβάλλονται τα DEMs και στην συνέχεια τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω.



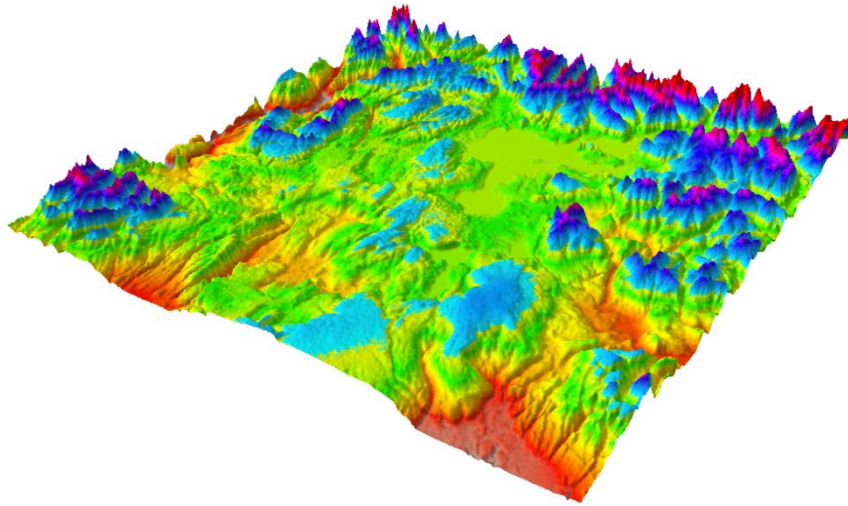
Σχήμα 3. DEM-3D Λευκάδα (πηγή: USGS)

Τα νησιά του Ιονίου βρίσκονται στο δυτικό τμήμα του Ελληνικού τόξου, του πιο ενεργού περιθωρίου λιθοσφαιρικών πλακών της περιοχής της Μεσογείου. Ο τεκτονικός χαρακτήρας της ευρύτερης περιοχής καθορίζεται από την ηπειρωτική σύγκρουση μεταξύ της βορειοδυτικής Ελλάδας, ανατολικά και της Απούλιας πλατφόρμας, δυτικά, καθώς επίσης και από την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την μικροπλάκα του Αιγαίου κατά μήκος του ενεργού Ελληνικού τόξου προς τα νοτιοδυτικά. Τα Επτάνησα βρίσκονται πάνω σε μια μεταβατική ζώνη μεταξύ του βορειοδυτικού άκρου αυτής της ενεργής υποβύθισης και της ηπειρωτικής σύγκρουσης. Η κύρια τεκτονική δομή αυτής της μεταβατικής ζώνης είναι η ρηξιγενής ζώνη της Κεφαλονιάς, η οποία αντιπροσωπεύει το ενεργό όριο μεταξύ της μικροπλάκας του Αιγαίου και της Απούλιας πλατφόρμας. Η ρηξιγενής ζώνη της Κεφαλονιάς αποτελείται από δεξιόστροφα ρήγματα των οποίων η ύπαρξη οφείλεται στην προς νοτιοδυτικά κίνηση της μικροπλάκας του Αιγαίου σε σχέση με την Ευρασιατική και την μικροπλάκα της Απουλίας. Το σημαντικότερο ρήγμα από το σύστημα της ζώνης διάρρηξης είναι το υποθαλάσσιο δεξιόστροφο ρήγμα μετασχηματισμού της Κεφαλλονιάς. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3, επιλέχθηκε η Νήσος Λευκάδα, έτσι ώστε να αναλυθούν οι εδαφικές παραμορφώσεις (με την μέθοδο InSAR) που καταγράφηκαν από την πρόσφατη κατολίσθηση παράκτιων πρανών εξαιτίας της ενεργοποίησης του ρήγματος της Κεφαλλονιάς και του μετέπειτα σεισμού.



Σχήμα 4. DEM-3D Κόρντον Κάουγε (πηγή: USGS)

Το Κορντόν Κάουγε είναι ηφαιστειακό συγκρότημα που σχηματίζει τον ορεινό όγκο του Εθνικού Πάρκου Πουγέγουμε στις νότιες Άνδεις, στη Χιλή. Ο ορεινός όγκος αποτελείται συνολικά από τέσσερα ηφαίστεια, τη καλδέρα Κορδιλιέρα Νεβάδα, το ηφαίστειο Μεντσέκα, τις ηφαιστειακές ρωγμές Κόρντον Κάουγε και το στρωματοηφαίστειο Πουγέγουμε. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4, το ηφαιστειακό οικοδόμημα έχει διαμορφώσει τη περιβάλλουσα περιοχή με πληθώρα ηφαιστειακών δομών όπως κώνοι τέφρας, ηφαιστειακοί δόμοι, καλδέρες και κρατήρες. Η επιλογή της περιοχής του Cordon Caulle στην Χιλή έγινε με σκοπό την μελέτη των εδαφικών παραμορφώσεων (InSAR) στην επιφάνεια της λόγω ακριβώς της έκρηξης του ηφαιστείου της που συνέβη στις 4 Ιουνίου 2011, η οποία προκάλεσε μια εκρηκτική στήλη ύψους 12 χιλιομέτρων διασκορπίζοντας την στάχτη σε όλο το νότιο ημισφαίριο. Αυτή η βίαιη έκρηξη του ηφαιστείου οφείλεται στο γεγονός ότι τα στερεά πετρώματα πάνω από τους θύλακες μάγματος υπέστησαν ρήγματα και εξασθενήσεις, με αποτέλεσμα τα αέρια του πυκνόρευστου μάγματος να δυσκολεύονται να βρουν διέξοδο στην επιφάνεια και επομένως να δημιουργήσουν μια εκρηκτική στήλη ηφαιστειακής τέφρας ή σποδού. Εξ'αιτίας αυτής της τέφρας η οποία έφτασε στο ύψος της τροπόσφαιρας, επηρεάστηκε η γήινη θερμοκρασία για τουλάχιστον ένα έτος. Η έκρηξη συνοδεύτηκε από σεισμούς με ένταση μέχρι 4 ρίχτερ. Το ηφαίστειο εξακολουθεί να παραμένει ενεργό μετά από αυτήν την έκρηξη.



Σχήμα 5. DEM-3D Γιέλουουστοουν (πηγή: USGS)

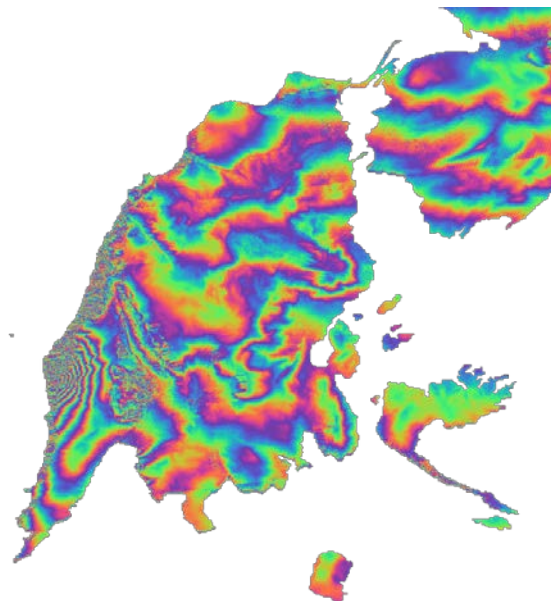
Το Εθνικό Πάρκο Γιέλουουστοουν εκτείνεται σε μια έκταση 8.980 τετραγωνικών χιλιομέτρων περιλαμβάνοντας λίμνες, φαράγγια, ποτάμια και οροσειρές. Η λίμνη Γιέλουουστοουν είναι μία από τις μεγαλύτερες λίμνες σε υψηλό υψόμετρο στη Βόρεια Αμέρική και βρίσκεται πάνω από την καλδέρα Γιέλουουστοουν, το μεγαλύτερο υπερηφαίστειο της ηπείρου. Η καλδέρα θεωρείται ενεργό ηφαίστειο καθώς έχει εκραγεί αρκετές φορές με τεράστια δύναμη τα τελευταία δύο εκατομμύρια χρόνια. Οι εκροές της λάβας και βράχοι από τις εκρήξεις καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής του Γιέλουουστοουν (σχήμα 5). Περίπου οι μισοί θερμοπίδακες του πλανήτη βρίσκονται σε αυτήν την περιοχή, τροφοδοτούμενοι από αυτήν την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Ένα σημαντικό γεγονός που πρέπει να αναφερθεί όμως και με το οποίο θα ασχοληθούμε παρακάτω, είναι η σταδιακή αύξηση του υψομέτρου στο κεντρικό τμήμα του Γιέλουουστοουν, η οποία καταγράφηκε από τους δορυφόρους και θα παρουσιασθεί με συμβολογράμματα (InSAR) για την εξαγωγή στοιχείων.



Σχήμα 6. Υπερηφαίστειο Γιέλουουστοουν (πηγή: Google)

Εισαγωγή στο GIS και Οργάνωση τους

Αρχικά, αξίζει να εξηγηθεί τι ακριβώς είναι ένα διάγραμμα κροσσών συμβολής ή αλλιώς συμβολόγραμμα, έτσι ώστε να γίνουν πλήρως κατανοητές οι εικόνες παρακάτω. Ένα συμβολόγραμμα για μια περιοχή που παραμορφώθηκε προς τα πάνω κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος μεταξύ της λήψης των δύο εικόνων ραντάρ θα εμφάνιζε μια σειρά από ομόκεντρες ζώνες χρωμάτων, που αποκαλούνται κροσσοί συμβολής (fringes) κατά τρόπο ανάλογο με τις υψομετρικές καμπύλες ενός τοπογραφικού χάρτη. Κάθε κροσσός συμβολής αντιπροσωπεύει τη μετακίνηση της επιφάνειας προς τον δορυφόρο ίσης με το μισό μήκος κύματος του σήματος του ραντάρ. Κάθε πλήρης μετάβαση από όλα τα χρώματα του φάσματος αναπαριστά ένα κροσσό συμβολής. Απομονώνοντας τις αντίστοιχες αιτίες των διαφορών φάσης εξ' αιτίας της τοπογραφία (αναγλύφου) ή των εδαφικών παραμορφώσεων, επιτρέπει αντίστοιχα την παραγωγή μοντέλων εδάφους (DEM) ή μοντέλων παραμορφώσεων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δορυφορικής συμβολομετρίας για τις παραμορφώσεις του γήινου φλοιού στη Νήσο Λευκάδα, εξ' αιτίας των κατολισθητικών φαινομένων που συνέβησαν σε παράκτια πρηνή, λόγω της ενεργοποίησης του ρήγματος της Κεφαλονιάς και του επακόλουθου σεισμού.

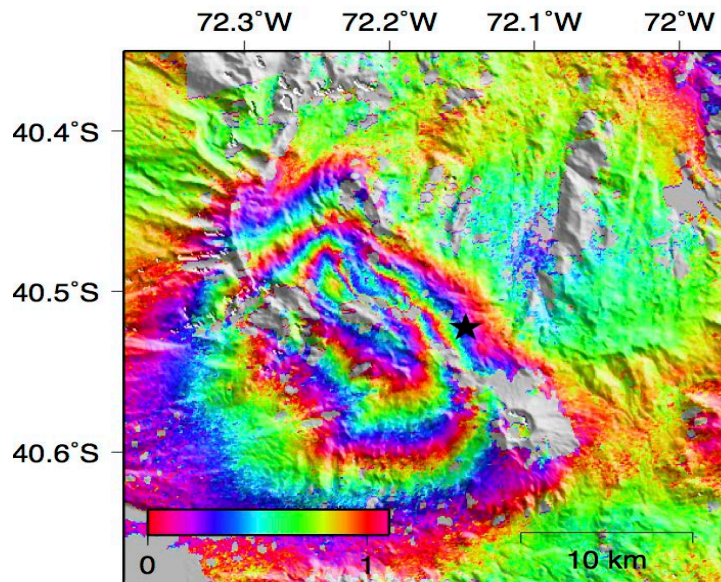


Σχήμα 7. Αποτελέσματα InSAR στη Νήσο Λευκάδα (πηγή: Google)

Συγκεκριμένα, οι παραμορφώσεις που συνδέονται με σεισμούς πραγματοποιούνται κατά την διάρκεια χρονικών περιόδων που κυμαίνονται από μερικά δευτερόλεπτα (διασεισμικά φαινόμενα) μέχρι αρκετές ημέρες και μήνες (μετασεισμικά φαινόμενα). Συγκεκριμένα ο σεισμός στην Λευκάδα στις 17 Νοεμβρίου 2015 προκάλεσε διασεισμικά φαινόμενα με συνέπειες καταστροφών όχι μόνο σε σπίτια άλλα και αξιόλογης κλίμακας φυσικές καταστροφές (κατολισθήσεις) οι οποίες φαίνονται στο παραπάνω διάγραμμα κροσσών συμβολής (σχήμα 7). Παρατηρούμε ότι περισσότεροι χρωματικοί κύκλοι (κροσσοί συμβολής) εντοπίζονται στο ΔΝΔ τμήμα της Νήσου, ως αποτέλεσμα των εντονότερων ανωμαλιών που δημιουργήθηκαν στο γήινο ανάγλυφο στην εν λόγω περιοχή λόγω των καταρρεύσεων των blocks (μεγάλες μάζες γεωυλικού) μέσα στη θάλασσα (σχήμα 7).

Όσον αφορά την περιοχή του ηφαιστείου Κόρντον Κάουγε γνωρίζουμε ότι περιοχές με ενεργά ηφαίστεια υφίστανται συνεχείς παραμορφώσεις του γήινου φλοιού. Ιδιαίτερα κατά την διάρκεια εκρήξεων τους, το μάγμα που ανέρχεται στην επιφάνεια καθώς διέρχεται ανάμεσα στα διάφορα πετρώματα δημιουργεί μικρομετακινήσεις που είναι δυνατόν να ανιχνευθούν με τεχνικές της συμβολομετρίας SAR. Ακόμη και σε περιόδους που ένα ηφαίστειο βρίσκεται σε κατάσταση σχετικής “ηρεμίας” (quiescence), η μετακίνηση μάγματος στο υπέδαφος επίσης δημιουργεί τεκτονικές μικρομετακινήσεις, η ανίχνευση των οποίων επιτρέπει να μελετηθούν καλύτερα οι γεωλογικές και γεωφυσικές διεργασίες που προκαλούν τις ηφαιστειακές δραστηριότητες. Αξίζει να αναφερθούν ορισμένες εφαρμογές για την παρακολούθηση των ηφαιστείων έτσι ώστε να γίνει πλήρως κατανοητή η παρακάτω ανάλυση. Αυτές αποτελούνται από τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους για γεωφυσικά μοντέλα των μηχανισμών εξέλιξης των ηφαιστείων και την πρόληψη κινδύνων από καθιζήσεις, ροή λάβας καθώς και από τις μελέτες παραμορφώσεων εξ’αιτίας ερπυσμού του εδάφους, διόγκωσης αιθουσών ενεργού μάγματος ή θερμικών διαστολών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δορυφορικής συμβολομετρίας για τις παραμορφώσεις του γήινου φλοιού στην περιοχή του ηφαιστείου Κόρντον Κάουγε (σχήμα 8) της Χιλής εξ’αιτίας της έκρηξης του ηφαιστείου της που

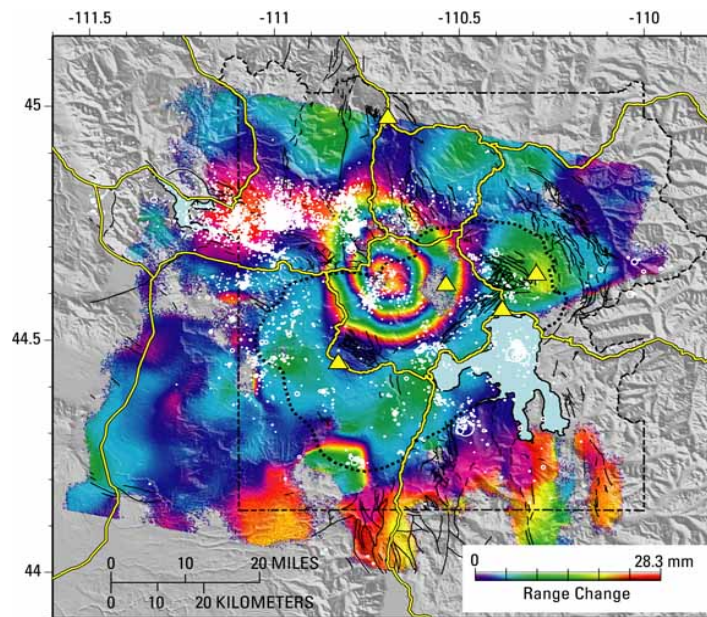
δημιούργησε το λεγόμενο "φούσκωμα" του ηφαιστείου (κατά την διάρκεια της σταδιακής ενεργοποίησής του) και την ολική παραμόρφωση του αναγλύφου της ευρύτερης περιοχής μετά την έκρηξη του.



Σχήμα 8. Αποτελέσματα InSAR στο Κόρντον Κάουγε (πηγή: Google)

Συγκεκριμένα στις 4 Ιουνίου 2011 για διάρκεια περιόδου έξι ωρών η σεισμική ενεργότητα της περιοχής Cordon Caulle της Χιλής αυξάνονταν κατά μέσο όρο 230 σεισμών ανά ώρα σε βάθη 1-4 (Km). Σύμφωνα με μελέτες, το ηφαίστειο απελευθέρωσε ενέργεια ίση περίπου με 70 Ατομικές Βόμβες μέσω της εκρηκτικής στήλης ηφαιστειακής τέφρας. Στο παραπάνω διάγραμμα κροσσών συμβολής (σχήμα 8), παρατηρούμε πόσο έντονες είναι οι παραμορφώσεις του φλοιού ακριβώς στην περιοχή του ηφαιστείου και πόσο αυτές εξομαλύνονται σε μεγαλύτερη απόσταση από αυτό.

Κατά κανόνα, οι αιτίες που προκαλούν τις μετατοπίσεις της γήινης επιφάνειας οφείλονται σε διάφορα φαινόμενα όπως τη διάβρωση, καθίζηση, σεισμικά γεγονότα, ηφαιστειότητα κ.ά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα μελετήσουμε τις παραμορφώσεις του γήινου φλοιού στην κεντρική περιοχή του Γιέλοουστοουν όπου μέσω των μεθόδων συμβολομετρίας παρατηρούμε (σχήμα 9) σταδιακή αύξηση του υψομέτρου προφανώς εξ'αίτίας της ευρύτερης ενεργότητας του χώρου (υπερηφαίστειο Γιέλοουστοουν).



Σχήμα 9. Αποτελέσματα InSAR στο Γιέλοουστοουν (πηγή: Google)

Σύμφωνα με το παραπάνω συμβολόγραμμα (σχήμα 9), παρατηρούμε ότι οι χρωματικοί κύκλοι αυξάνουν προς το κεντρικό τμήμα της περιοχής Γιέλοουστοουν, γεγονός που μας δείχνει την σταδιακή αύξηση του υψομέτρου του εν λόγω τμήματος, εξ' αιτίας των γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή (γεωθερμία κ.ά).

Εισαγωγή Συμπληρωματικών Δεδομένων

Η τεχνική της συμβολομετρίας RADAR έχει ευρύτατη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια και είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους παρατήρησης της επιφάνειας του εδάφους. Προέκυψε από την ανάπτυξη των συστημάτων SAR και είναι γνωστή ως InSAR (Interferometric Synthetic Aperture RADAR). Ειδικότερα, η διαφορική συμβολομετρία, χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των παραμορφώσεων του εδάφους (π.χ σεισμοί, κατολισθήσεις, καθιζήσεις, ηφαίστεια).

Μαθηματικά οι εικόνες SAR μπορούν να εκφραστούν ως ένα σύνολο μιγαδικών αριθμών για κάθε εικονοστοιχείο στο έδαφος:

$$P = Ae^{j(\varphi_{int} + \varphi_{path})}$$

Όπου:

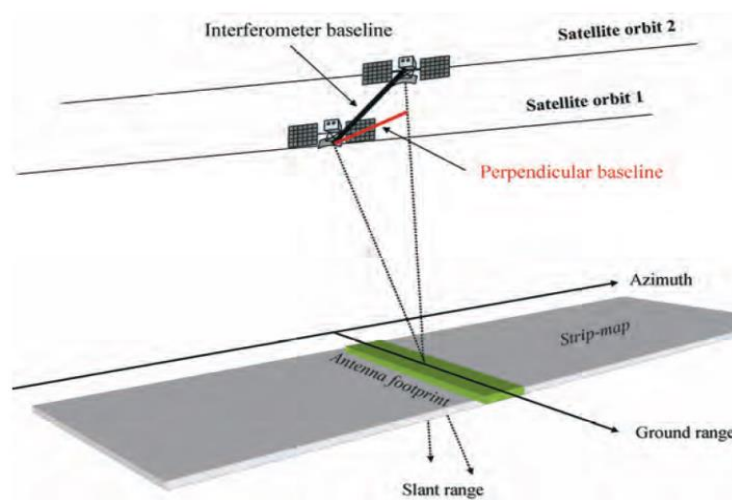
P: ο μιγαδικός αριθμός ενός εικονοστοιχείου

A: το πλάτος της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας

ϕ_{int} : η φάση λόγω εσωτερικής συμβολής του στόχου

ϕ_{path} : η φάση λόγω διπλής διαδρομής της ακτινοβολίας

Για να εφαρμοστεί η τεχνική της συμβολομετρίας, πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο εικόνες του ίδιου στόχου. Ένας δορυφόρος SAR μπορεί να παρατηρήσει την ίδια περιοχή από ελαφρώς διαφορετικές οπτικές γωνίες. Αυτό δύναται να γίνει είτε την ίδια χρονική στιγμή, με δύο ραντάρ προσαρμοσμένα πάνω στην πλατφόρμα του δορυφόρου, ή σε διαφορετικές στιγμές, εκμεταλλευόμενοι τις επαναλαμβανόμενες τροχιές του ίδιου δορυφόρου.

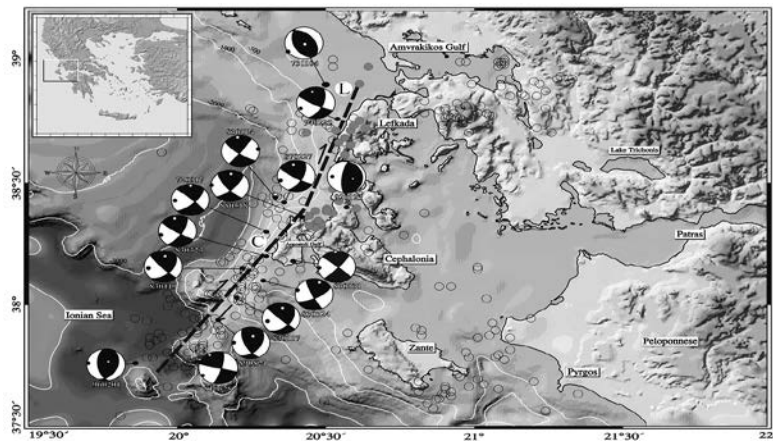


Σχήμα 10. Γεωμετρία δορυφορικού συμβολομετρικού συστήματος SAR (πηγή: ESA,2007)

Επιπλέον, η διαφορετική ατμοσφαιρική υγρασία, θερμοκρασία, και πίεση μεταξύ των λήψεων του δορυφόρου, έχει ορατή επίδραση στην συμβολομετρική φάση. Έτσι, τελικά δημιουργούνται πλασματικοί κροσσοί λόγω ατμόσφαιρας (atmospheric artifacts). Υπάρχει η δυνατότητα αφαίρεσης της επίδρασης της ατμόσφαιρας από το συμβολογράφημα, με τους παρακάτω τρόπους:

- Φιλτράρισμα χρονοσειρών (time series filtering)
- Συσχετισμός φάσης με τοπογραφία (correlation of phase with topography)
- Καθυστέρηση υγρασίας με χρονική και χωρική παρεμβολή
- Μετρήσεις ατμοσφαιρικής υγρασίας από την απορρόφηση των ανακλώμενων παλμών κοντά στο υπέρυθρο
- Υπολογισμός ατμοσφαιρικής υγρασίας από τα αριθμητικά καιρικά μοντέλα

Παρακάτω αξίζει να παρουσιασθούν ορισμένες εικόνες, έτσι ώστε να γίνει πλήρως κατανοητός ο μηχανισμός γένεσης των σεισμολογικών, γεωλογικών, γεωφυσικών φαινομένων.



Σχήμα 11. Ρήγμα Κεφαλονιάς υπεύθυνο για την κατολίσθηση στη Νήσο Λευκάδα

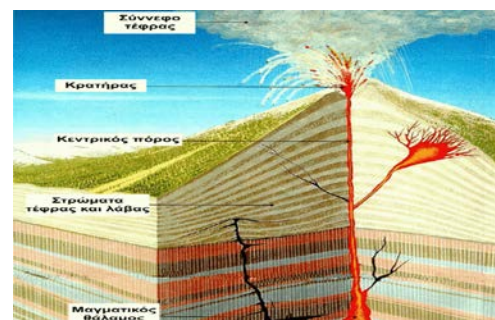
(πηγή: Google)



Σχήμα 12. Θερμή πηγή, Γιέλουουστου

Υποδεικνύοντας την έντονη γεωλογική δραστηριότητα στην περιοχή.

(πηγή: Google)



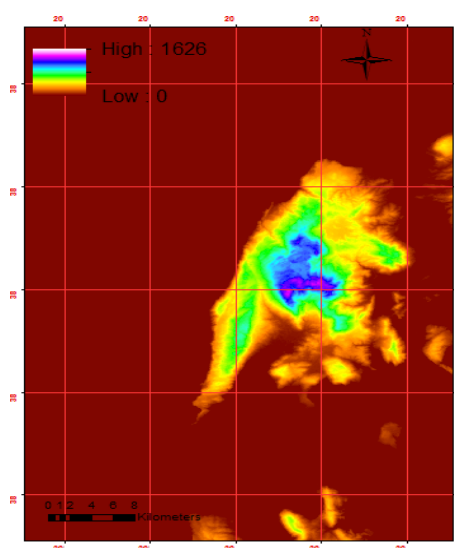
Σχήμα 13. Άνοδος μάγματος ως αιτία

έκρηξης του ηφαιστείου Κόρντον Κάουγε στη Χιλή.

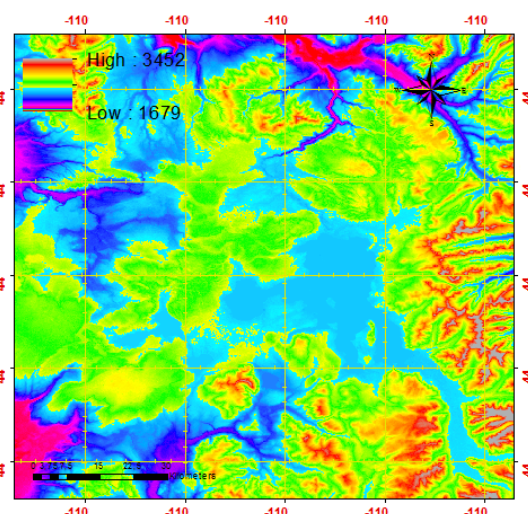
(πηγή: Google)

Κεφάλαιο 3 Χρήση Βάσης Δεδομένων

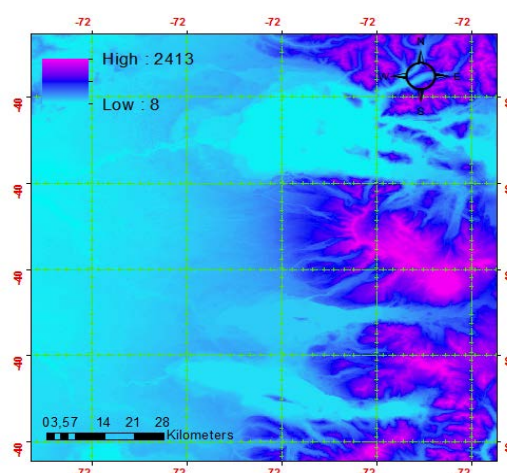
Παρατίθενται κάποιοι ενδεικτικοί χάρτες των περιοχών μελέτης. Πρωτίστως παρουσιάζεται η περιοχή της Νήσου Λευκάδας στο Ιόνιο πέλαγος (σχήμα 14). Εν συνεχεία, θα προσδιοριστεί ο χάρτης της περιοχής Γιέλουουστοουν στην Αμερική (σχήμα 15) και τέλος η περιοχή Κόρντον Κάουγε στην Χιλή (σχήμα 16). Οι παρακάτω χάρτες είναι προϊόντα επεξεργασίας στο ArcMap.



Σχήμα 14. Χάρτης Νήσου Λευκάδας
(πηγή: USGS)



Σχήμα 15. Χάρτης Γιέλουουστοουν
(πηγή: USGS)



Σχήμα 16. Χάρτης Κόρντον Κάουγε
(πηγή: USGS)

Κεφάλαιο 4 Συζήτηση-Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική ασχολήθηκε με τον συνδυασμό αποτελεσμάτων δορυφορικής συμβολομετρίας με ορισμένα σεισμολογικά, γεωλογικά, γεωφυσικά δεδομένα σε περιβάλλον GIS. Χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα της μεθόδου διαφορικής συμβολομετρίας διπλής διέλευσης. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί δύο εικόνες SAR για την παραγωγή ενός συμβολογράμματος. Συμπερασματικά οι παραμορφώσεις InSAR που εντοπίζονται στις περιοχές που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, αποκαλύπτουν υποχωρήσεις πρανών, διόγκωση σωμάτων ηφαιστειών και ανυψώσεις εδαφών. Επομένως η μελέτη αυτή δείχνει την ικανότητα παρακολούθησης της συμβατικής παραμόρφωσης του εδάφους που συσσωρεύεται αργά σε περιοχές ενδιαφέροντος (Λευκάδα, Χιλή, Γιέλουστοουν) με την μέθοδο InSAR. Τέλος, η μελλοντική εφαρμογή των πιο προηγμένων συμβολομετρικών τεχνικών που ξεπερνούν τα ελαττώματα της συμβατικής συμβολομετρίας, θα μπορούσαν να αποκαλύψουν μοτίβα παραμορφώσεων και σε άλλες, εξίσου μεγάλου ενδιαφέροντος περιοχές.

Κεφάλαιο 5 Βιβλιογραφία

- [1]. Μουρατίδης, Α. (2010). Συμβολή της Υποστηριζόμενης από GPS και GIS Διαστημικής Τηλεπισκόπησης στη Μορφοτεκτονική Έρευνα της Κεντρικής Μακεδονίας. Διδακτορική Διατριβή
- [2]. Δεληκαράογλου, Δ. Γεωδαιτικές Εφαρμογές Συμβολομετρίας SAR. Εσωτερική έκθεση Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο (2008)
- [3]. Αστάρας, Θ. Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις (2007)
- [4]. EarthExplorer, USGS (United States Geological Survey). Digital Elevation Products.
- [5]. Earth Online, ESA (European Space Agency)
- [6]. Wikipedia, Τηλεπισκόπηση

