

Διαχρονική Συμβολομετρία Ραντάρ για την εκτίμηση ρυθμών παραμόρφωσης στην περιοχή της Δυτικής Κρήτης για τη χρονική περίοδο 1992 - 2001

Μαρία Κασκαρά^{(1), (2)}

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

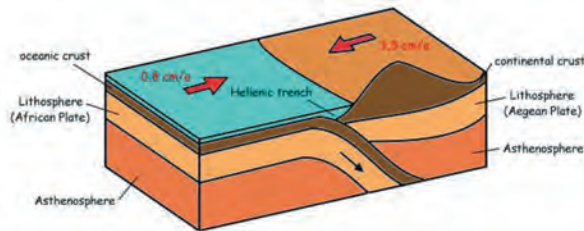
Το νησί της Κρήτης βρίσκεται στη σύγκλιση της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής πλάκας - μια από τις περιοχές υψηλότερης σεισμικότητας στην Ευρώπη.

Σκοπό της μελέτης αποτελεί η αποτύπωση της εδαφικής παραμόρφωσης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της διαφορικής συμβολομετρίας (InSAR). Στις περισσότερες γεωδαιτικές παρατηρήσεις αυτών των γεγονότων υποβύθισης χρησιμοποιούνται δεδομένα GPS. Η βασική διαφορά των διαστημικών παρατηρήσεων με τις μετρήσεις GPS είναι η μεγάλη χωρική κάλυψη και η ευαισθησία της συμβολομετρίας στην καταγραφή μετακινήσεων κατά τη κατακόρυφη διεύθυνση.

Χρησιμοποιώντας τη διαφορική συμβολομετρία και πιο συγκεκριμένα τη μέθοδο των Σταθερών Σκεδαστών (Persistent Scatterer - PS) και την τεχνική των μικρών υποσύνολων βάσεων (Small Baseline Subset - SBAS), εξάγονται για πρώτη φορά χάρτες παραμόρφωσης για το δυτικό τμήμα της Κρήτης. Σημαντική ανύψωση μέχρι 5 χιλιοστά/έτος παρατηρείται στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού λόγω των διαδικασιών στη ζώνη υποβύθισης. Επίσης, φαινόμενα καθίζησης έως και 4 χιλιοστά/έτος ανιχνεύονται τοπικά σε αρκετά σημεία της δυτικής Κρήτης που οφείλονται πιθανόν σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα βρίσκεται στο συγκλινόν όριο της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής πλάκας. Σε τοπικό επίπεδο το γεωδυναμικό καθεστώς γίνεται περίπλοκο με την ύπαρξη μικροπλακών όπως η Αιγιακή πλάκα - που φέρει ουσιαστικά το κεντρικό τμήμα του Αιγαίου πελάγους - και αλληλεπιδρά με την πλάκα της Ανατολίας προς τα ανατολικά. Η σεισμικότητα της περιοχής οφείλεται άμεσα ή έμμεσα στην καταβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική (Εικ. 1).



Εικόνα 1. Ζώνη υποβύθισης

Το όριο μεταξύ της Ευρασιατικής πλάκας και της Αφρικανικής πλάκας είναι ευρέως γνωστό ως Ελληνικό Τόξο. Είναι ένα τοξοειδές τεκτονικό χαρακτηριστικό της Ανατολικής Μεσογείου που σχετίζεται με την υποβύθιση. Αποτελείται από μια θαλάσσια τάφρο (Ελληνική Τάφρος), ένα ηφαιστειακό τόξο (ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου) και ένα εσωτερικό μη ηφαιστειακό τόξο (Εικ. 2).



Εικόνα 2. Η ελληνική ζώνη υποβύθισης. Βόρεια της Κρήτης σημειώνονται

με κόκκινες κουκίδες σημαντικά ηφαιστεια των οποίων η χωρική κατάταξη δημιουργεί το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου

Η Κρήτη αποτελεί μέρος του μη ηφαιστειακού τόξου που περιλαμβάνει μια σειρά από άλλα νησιά, όπως η Ρόδος και η Κάρπαθος προς τα ανατολικά και τα Ιόνια νησιά προς τα δυτικά (Εικ. 2). Αυτή η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλή σεισμικότητα και είναι ικανή να παράγει σεισμούς έντασης $M_w > 8$. Στο παρελθόν υπήρξε πηγή για μεγάλους σεισμούς (όπως το 365 π.Χ. στη δυτική Κρήτη και το 1303 μ.Χ. στην ανατολική Κρήτη) και είναι, συνεπώς, υψίστης σημασίας όσον αφορά τη σεισμική επικινδυνότητα.

Η κάθετη παραμόρφωση που παρατηρείται στο νησί της Κρήτης οφείλεται κατά κύριο λόγο στην άνοδο που συνδέεται με τη σύγκλιση των πλακών [Ganas & Parsons, 2009], ενώ η οριζόντια κίνησή του με νότια-νοτιοδυτική κατεύθυνση οφείλεται στην αλληλεπίδραση των μικροπλακών (Αιγαίο, Ανατολία) με την Ευρασιατική και την Αφρικανική πλάκα.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση των μετακινήσεων είναι η συμβολομετρία ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (InSAR). Η τεχνική αυτή έχει αποδείξει την ικανότητά της να παρέχει γεωδαιτικές παρατηρήσεις ανθρωπογενών και γεωδυναμικών διαδικασιών. Στο παρελθόν έχει χρησιμοποιηθεί για μελέτες με σκοπό την αποτύπωση των μετακινήσεων ζωνών καταβύθισης [Chlieh et al., 2004, Bekaert et al., 2010].

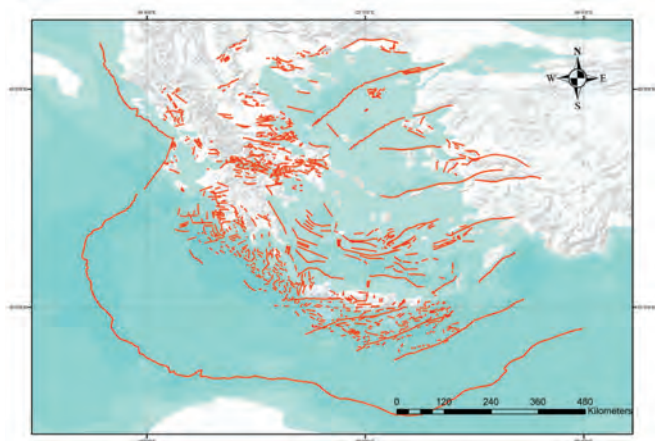
Στο άρθρο αυτό, παρουσιάζονται οι εδαφικές ταχύτητες παραμόρφωσης για το δυτικό τμήμα του νησιού της Κρήτης, όπως προκύπτουν από την επεξεργασία 35 εικόνων Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος (SAR) των δορυφόρων ERS-1 και ERS-2, καλύπτοντας το χρονικό διάστημα 1992-2001.

Μαζί με την παρατηρούμενη μεγάλης κλίμακας παραμόρφωση που συνδέεται με τη ζώνη υποβύθισης, τοπικές μετατοπίσεις αποκαλύπτονται οι οποίες αποδίδονται κυρίως σε ανθρωπογενείς διεργασίες.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η παραμόρφωση που παρατηρείται στο νησί της Κρήτης είναι σε μεγάλο βαθμό αποτέλεσμα των τεκτονικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών και συνδέεται με το Ελληνικό Τόξο.

Το Ελληνικό Τόξο αναπτύσσεται στο όριο σύγκρουσης της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής πλάκας, με σχετικό ρυθμό σύγκλισης της τάξης των 4-5 εκατοστών/έτος. Σύμφωνα με τους Bohnhoff et al. (2001), η ενεργός σεισμική περιοχή της ζώνης καταβύθισης του Νοτίου Αιγαίου βρίσκεται περίπου 100 χιλιόμετρα νότια της Κρήτης.



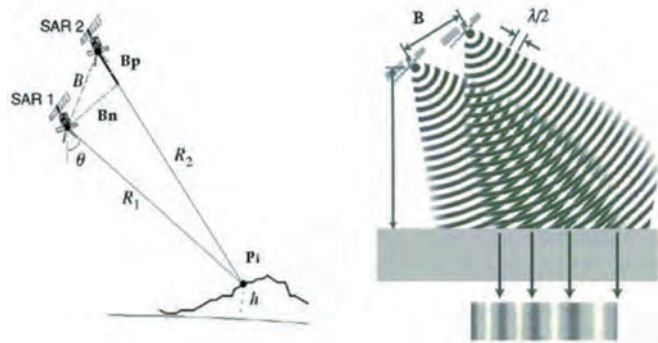
Εικόνα 3. Χάρτης μερικών αναγνωρισμένων ενεργών ρηγμάτων στην Ελλάδα

Σεισμικές μελέτες κατά μήκος της Κρήτης έχουν δείξει ισχυρές τοπικές παραλλαγές στο τεκτονικό καθεστώς του νησιού με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ποικίλες μορφές παραμόρφωσης [Bohnhoff et al., 2001]. Τα μοτίβα παραμόρφωσης που μελετήθηκαν σε αυτό το άρθρο συνδέονται στο μεγαλύτερο βαθμό με την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την περιοχή του Αιγαίου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η τεχνική της Συμβολομετρίας βασίζεται στο συνδυασμό τουλάχιστον δύο εικόνων, οι οποίες προκύπτουν από διαφορετικές θέσεις του δορυφόρου ή χρόνους για την ίδια περιοχή λήψης, αφού γίνουν απαραίτητες διορθώσεις.

Η γεωμετρία της τεχνικής της συμβολομετρίας απεικονίζεται στην εικόνα 4. Ως SAR1 και SAR2 είναι οι δύο δορυφόροι που απεικονίζουν από δύο διαφορετικές θέσεις την ίδια περιοχή. Ως R1 και R2 συμβολίζονται οι αντίστοιχες αποστάσεις προς τον στόχο. Η απόσταση B καλείται διάνυσμα βάσης και είναι η απόσταση μεταξύ των δύο διαφορετικών θέσεων που είχε ο δορυφόρος κατά τις δύο ετεροχρονικές λήψεις.



Εικόνα 4. Γεωμετρία λήψης συμβολομετρίας

Η πρώτη από τις δύο απεικονίσεις SAR ονομάζεται κύρια (master) και η δεύτερη δευτερεύουσα (slave). Κάθε εικονοστοιχείο μιας εικόνας SAR περιέχει πληροφορία για το εύρος και τη φάση του κύματος του παλμού του ραντάρ και εκφράζεται από τη μιγαδική σχέση:

$$z(x,y) = I(x,y) e^{i\phi(x,y)}, \text{ όπου}$$

(x,y): οι συντεταγμένες του εικονοστοιχείου για το απεικονιζόμενο σημείο του εδάφους,

z: η μιγαδική τιμή του εικονοστοιχείου,

I: το εύρος του σήματος στο σημείο που εκφράζεται από την ένταση του εικονοστοιχείου,

Φ: η φάση του ανακλώμενου σήματος από το αντίστοιχο σημείο και

i=√-1: η φανταστική μονάδα.

Από τον πολλαπλασιασμό κάθε σημείου μιας SAR απεικόνισης με το συζυγή μιγαδικό μιας δεύτερης προκύπτει ένα συμβολόγραμμα, το οποίο αποτελεί και το βασικό προϊόν της συμβολομετρίας.

Αυτό που ενδιαφέρει στο συμβολόγραμμα είναι η διαφορά φάσης ενός στόχου από διαφορετικές θέσεις στο διάστημα έχοντας αποστάσεις R1 και R2 από τον κάθε δορυφόρο. Η διαφορά φάσης εκφράζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\phi = \phi_1 - \phi_2 = 4\pi/\lambda (R_1 - R_2) = 4\pi/\lambda * \Delta R$$

Στη συμβολομετρική φάση Φ συνεισφέρουν διάφοροι παράγοντες και έτσι ισχύει:

Φ = Φκαμπυλότητα της Γης + Φτοπογραφίας + Φεδαφικής παραμόρφωσης + Φτροχιακά σφάλματα + Φεπιδράσεις ιονόσφαιρας + Φεπιδράσεις τροπόσφαιρας + άλλοι θόρυβοι

Η ανάλυση χρονοσειρών είναι μια τεχνική της διαφορικής συμβολομετρίας (InSAR) για την επεξεργασία και εκμετάλλευση μιας σειράς N πλήθους εικόνων SAR για την ίδια περιοχή μελέτης και για μεγάλο χρονικό διάστημα, προκειμένου να παρακολουθούνται οι μεταβολές που προκαλούνται από φυσικά φαινόμενα ή ανθρώπινη παρέμβαση σε μια περιοχή ενδιαφέροντος.

Στη μελέτη αυτή έχουν εφαρμοστεί τεχνικές ανάλυσης χρονοσειρών στη δυτική Κρήτη ώστε να παραχθεί ένας χάρτης ετήσιου ρυθμού παραμόρφωσης από ένα σύνολο δεδομένων 10 ετών. Δύο από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους είναι η μέθοδος των Σταθερών Σκεδαστών (PS) [Ferretti et al., 2001] και η μέθοδος των μικρών υποσύνολων βάσεων (SBAS) [Berardino et al., 2002]. Για τη διερεύνηση των φαινομένων τα οποία προκαλούν εδαφική παραμόρφωση λόγω γεωφυσικών διαδικασιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δύο τεχνικές. Τα πλεονεκτήματα αυτών των τεχνικών είναι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων σε επίπεδο χιλιοστού και η ικανότητα μεγάλης χωρικής κάλυψης.

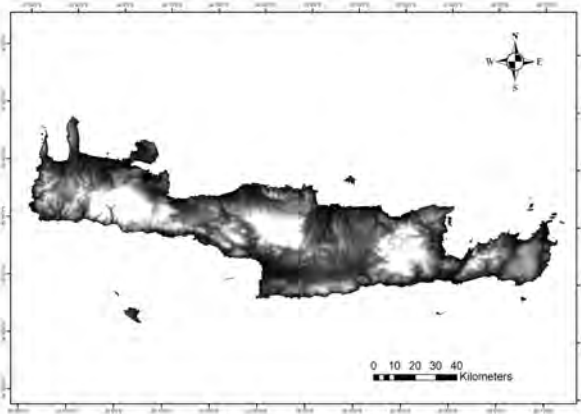
Η ανάλυση χρονοσειρών πραγματοποιήθηκε με ελεύθερα και εμπορικά λογισμικά, όπως Doris, ROI_PAC, StaMPS [Hooper et al., 2007] και SARscape (μια επέκταση του λογισμικού ENVI™). Στο άρθρο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από το StaMPS/MTI (Stanford Method for Persistent Scatterers; Multi-Temporal InSAR), ένα πακέτο λογισμικού που υλοποιεί όχι μόνο τη μέθοδο PS, αλλά και την SBAS καθώς επίσης και μια επεξεργασία συνδυασμού των δύο τεχνικών [8].



Εικόνα 5. Ίχνη της τροχιάς του ERS1-2 δορυφόρων που καλύπτουν τη δυτική Κρήτη

Χρησιμοποιήθηκαν τριάντα πέντε (35) εικόνες καθοδικής τροχιάς (track 193) που καλύπτουν την περίοδο 1992-2001 (Εικ. 5). Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν καλύπτουν το δυτικό τμήμα του νησιού της Κρήτης. Η αφαίρεση της τοπογραφίας γίνεται με τη χρήση ενός ψηφιακού μοντέ-

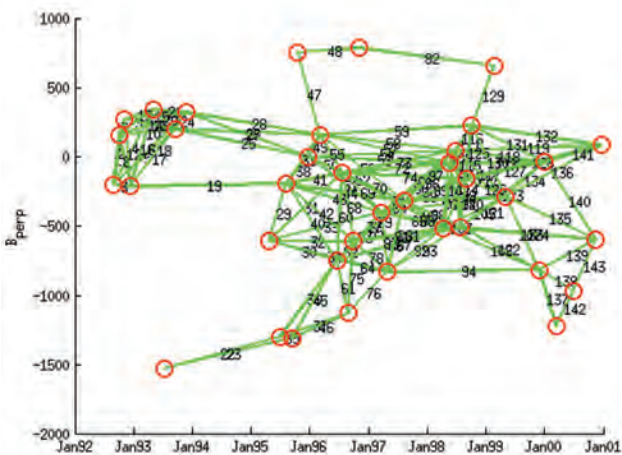
λου εδάφους (DEM) χωρικής ανάλυσης 5 μέτρων που λήφθηκε από την Κτηματολόγιο ΑΕ., ανηγμένο σε 20 μέτρα για να ταιριάζει με την ανάλυση των εικόνων SAR (Εικ. 6).



Εικόνα 6. Ψηφιακό μοντέλο του νησιού της Κρήτης

Αρχικά, εφαρμόστηκε η επεξεργασία PS. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο PS, η πρωτεύουσα εικόνα συνδυάζεται με όλες τις υπόλοιπες εικόνες που ορίζονται ως δευτερεύουσες εικόνες (slave) για να δημιουργηθούν N-1 συμβολογράμματα. Η πρωτεύουσα εικόνα επιλέγεται ακολουθώντας κριτήρια που σχετίζονται με την ελαχιστοποίηση της χωρικής και χρονικής αποσυσχέτισης μεταξύ των εικόνων. Η μέθοδος PS αξιοποιεί τη φάση και τα χαρακτηριστικά πλάτους του συμβολομετρικού ζεύγους για την επιλογή των σταθερών σκεδαστών που έχουν αμετάβλητα χαρακτηριστικά οπισθοσκέδασης, όπως για παράδειγμα ανθρωπογενείς κατασκευές, δρόμους, φράγματα, γέφυρες κτλ.

Έπειτα, το σύνολο των δορυφορικών εικόνων επεξεργάστηκε με τη μέθοδο SBAS. Η τεχνική SBAS βασίζεται σε ένα κατάλληλο συνδυασμό συμβολογραμμάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται από μικρές χωρικές, Doppler και χρονικές γραμμές βάσης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε ένα δίκτυο συνδέσεων που συσχετίζει τις εικόνες και στο οποίο κάθε σύνδεσμος αντιπροσωπεύει ένα συμβολόγραμμα (Εικ. 7).



Εικόνα 7. Χωρική και χρονική συσχέτιση εικόνων. Οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις εικόνες. Οι πράσινες γραμμές είναι σύνδεσμοι που αντιπροσωπεύουν τα συμβολογράμματα που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία

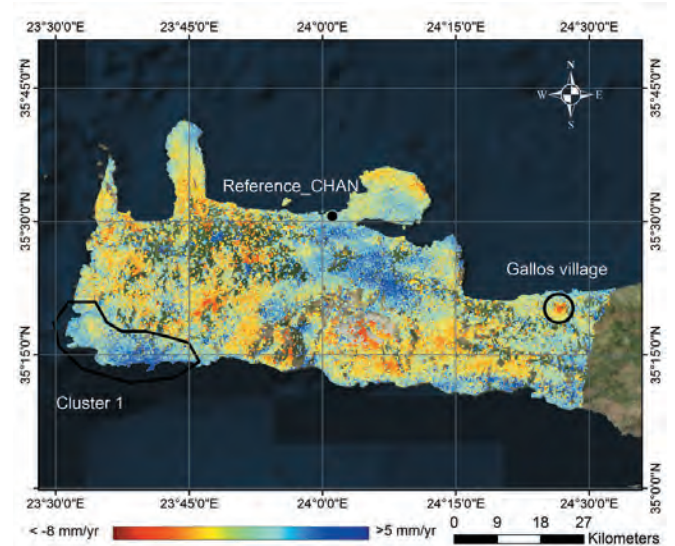
Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η μέθοδος συνδυασμού των δύο τεχνικών (PS και SBAS) του λογισμικού StaMPS για την αύξηση της χωρικής δειγματοληψίας των συσχετισμένων εικονοστοιχείων. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι έχουμε ακόμη περισσότερα σημεία μέτρησης επί του εδάφους. [Hooper, 2008].

Πολύ σημαντικό στοιχείο της επεξεργασίας αποτελεί η ορθή επιλογή της περιοχής αναφοράς. Περιοχή αναφοράς ονομάζεται μια μικρή περιοχή που θεωρείται ως σταθερή, δηλαδή τα δεδομένα GPS δείχνουν σταθερότητα για την κατακόρυφη συνιστώσα (περιορίζονται στο εύρος -1,0 έως 1,0 χιλιοστά/έτος) και οι ταχύτητες της περιοχής μελέτης προκύπτουν αναφορικά με αυτήν. Ως περιοχή αναφοράς επιλέχθηκε η περιοχή σε ακτίνα 100 μέτρων περιμετρικά του σταθμού GPS «CHAN» του Ελληνικού Δικτύου (Εικ. 8).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η Εικόνα 8 δείχνει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας για την περιοχή της Δυτικής Κρήτης.



Εικόνα 8. Οι ταχύτητες για τη Δυτική Κρήτη, όπως εκτιμάται από StaMPS/MTI. Οι μαύρες γραμμές περιβάλλουν τις περιοχές που εμφανίζουν έντονη άνοδο ή καθίζηση

Στην Εικόνα 8, μια περιοχή έντονης ανύψωσης στη Νότιο-Δυτική Κρήτη ξεχωρίζει (Cluster 1) με ταχύτητα μέχρι και 5 χιλιοστά/έτος. Αυτή η ανύψωση πιστεύεται ότι συνδέεται με την υποβύθιση των πλακών. Η περιοχή αποτελείται κυρίως από βραχώδη, χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο και περιορισμένες ανθρώπινες δραστηριότητες. Επιπλέον, είναι άφθονα τα γεωλογικά στοιχεία που μαρτυρούν ανύψωση στις παράκτιες αυτές περιοχές [Tiberti et al., 2014].

Ο οικισμός Γάλλος στο βορειοανατολικό τμήμα της τροχιάς 193 (Εικ. 8), έχει αναγνωριστεί ως περιοχή πιθανών καθιζήσεων (-4 χιλιοστά/έτος). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Κρήτης κατασκευάστηκαν σε αυτή την περιοχή από το 1996, οπότε ίσως να υπήρχαν κάποια κατασκευαστικά έργα που δημιούργησαν επιφανειακές καθιζήσεις, αλλά αυτή η υπόθεση χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Τέλος, πολλές περιοχές εμφανίζουν καθιζήσεις και ανυψώσεις τοπικής κλίμακας, αλλά απαιτείται περαιτέρω διευκρίνιση των αιτιών της παραμόρφωσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η τεχνική της ανάλυσης χρονοσειρών είναι ένα ισχυρό εργαλείο που έχει αναπτυχθεί για τη μέτρηση και τον προσδιορισμό της εδαφικής παραμόρφωσης.

Σε αυτή τη μελέτη, οι προσεγγίσεις PS και SBAS χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της παραμόρφωσης στο δυτικό τμήμα της Κρήτης. Οι ταχύτητες αυτές δείχνουν μια τάση ανύψωσης μέχρι και 5 χιλιοστά/έτος στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού, λόγω της σύγκλισης της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής πλάκας. Ορισμένες τοπικές παραμορφώσεις που παρατηρούνται στη δυτική Κρήτη εξηγούνται από ανθρωπογενείς διεργασίες που λαμβάνουν χώρα, ωστόσο οι παραμορφώσεις λόγω τεκτονικών διεργασιών πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω.

Περαιτέρω ενέργειες βρίσκονται σε εξέλιξη για την εκτίμηση των ταχυτήτων κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2010 με δεδομένα του δορυφόρου ENVISAT για όλο το νησί της Κρήτης. Επιπλέον, προτείνεται η επαλήθευση των αποτελεσμάτων με μετρήσεις GPS, έτσι ώστε να συνδυαστεί η υψηλή χωρική ανάλυση της τεχνικής SAR με την υψηλή χρονική ανάλυση που προσφέρει η τεχνολογία GPS. Στόχος είναι η σύγκριση του ρυθμού μετατόπισης των αποτελεσμάτων συμβολομετρίας με αυτών όπως προκύπτουν από μετρήσεις GPS, προκειμένου να επιβεβαιωθούν οι ρυθμοί

εδαφικής παραμόρφωσης SAR και να παρακολουθηθούν ενδεχόμενες μεταβολές στις ταχύτητες.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος για την παροχή των δεδομένων SAR.

Το έργο χρηματοδοτήθηκε από το Έβδομο Κοινωνικό Πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (FP7-REGPOT-2012-2013-1), στο πλαίσιο του έργου BEYOND, σύμφωνα με τη σύμβαση επιχορήγησης αριθμού 316210 (BEYOND - Building Capacity for a Centre of Excellence for EO-based monitoring of Natural Disasters - <http://www.beyond-eocenter.eu>).

Ο χάρτης των ενεργών ρηγμάτων της Ελλάδας παρέχεται από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Θερμές ευχαριστίες στους Χ. Κοντοέ, Ι. Παπουτσή, Α. Μπαρμπεροπούλου, Α. Γκανά, Δ. Παραδείση, Χ. Ψυχογιού και Ν. Σβήγκα για την καθοδήγηση και βοήθεια κατά την επεξεργασία των δεδομένων και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Bekaert, D., Hooper, A., Pathier, E. & Yun, S. (2010). InSAR time series analysis of the 2006 slow slip event on the Guerrero Subduction Zone, Mexico. AGU Abstract.

Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. & Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 40 (11), pp. 2375–2383.

Bohnhoff, M., Makris, J., Papanikolaou, D. & Stavrakakis, G. (2001). Crustal investigations of the Hellenic subduction zone using wide aperture seismic data. Tectonophysics, 343, 239-262.

Chlieh, M., de Chabalier, J. B., Ruegg, J. C., Armijo, R., Dmowska, R. & Campos, J. (2004). Crustal deformation and fault slip during the seismic cycle in the North Chile subduction zone, from GPS and InSAR observations. Geophysical Journal, Volume 158, Issue 2, pp. 695-711.

Ferretti, A., Prati, C. & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 39(1), pp. 8-20.

Ganas, A. & Parsons, T. (2009). Three-dimensional model of Hellenic Arc deformation and origin of the Cretan uplift. J. Geophysical Research, 114, B06404.

Hooper, A., Segall, P. & Zebker H. (2007), Persistent Scatterer InSAR for Crustal Deformation Analysis, with Application to Volcan Alcedo, Galapagos, J. Geophys. Res., 112, B07407.

Hooper, A. (2008). A multi-temporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches. Geophysical Research Letters, 35, L16302.

Tiberti, MM., Basili, R. & Vannoli, P. (2014). Ups and downs in western Crete (Hellenic subduction zone). Scientific reports, 4: 5677.

⁽¹⁾ Τομέας Τοπογραφίας - Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Ηρώων Πολυτεχνείου 9 - 157 80, Ζωγράφου, Αθήνα

⁽²⁾ Ινστιτούτο Αστρονομίας, Αστροφυσικής, Διαστημικών Εφαρμογών & Τηλεπισκόπησης (ΙΑΑ-ΔΕΤ), Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, Βασ. Παύλου & Ι. Μεταξά Τ.Κ. 15236 Πεντέλη, Ελλάδα
E-mail: mariakaskara@noa.gr