

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ SRTM DEM ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Νικολακόπουλος Κ.¹ Σκιάνης Γ.², Βαϊόπουλος Δ.²

¹*Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών*

²*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,*

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εργαστήριο Τηλεανίχνευσης

Περίληψη

Η αποστολή Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) χρησιμοποίησε ένα συνθετικής κεραίας ραντάρ για να παράγει ένα Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύγου (ΨΜΑ) που καλύπτει σχεδόν όλη την υφήλιο. Το μοντέλο αυτό σύμφωνα με τις αρχικές προδιαγραφές έχει χωρική διακριτική ικανότητα 30m και ακρίβεια υψομέτρου 16m.

Καθώς τα δεδομένα του SRTM δεν έχουν υποστεί επεξεργασία το ΨΜΑ που παράχθηκε περιέχει κενά, χάσματα και λανθασμένη πληροφορία σε ορισμένα σημεία όπου η ακτίνα του ραντάρ παρουσιάζει πολύ ασθενή ανάκλαση. Τέτοια σημεία είναι η επιφάνεια της θάλασσας, λίμνες, φράγματα και γενικά επίπεδες περιοχές που καλύπτονται με νερό.

Η διάθεση του ΨΜΑ γίνεται σε επιμέρους εικόνες έκτασης 180X180 km. Δημιουργήσαμε ένα μωσαϊκό από εικοσιοκτώ εικόνες ώστε να καλύπτεται ολόκληρη η ελληνική επικράτεια. Στη συνέχεια εφαρμόσαμε τρία ψηφιακά φίλτρα για τη βελτίωση της ποιότητας του ΨΜΑ. Το πρώτο φίλτρο εντοπίζει και αφαιρεί τα κενά (σημεία όπου δεν υπάρχει υψόμετρο). Το δεύτερο φίλτρο δημιουργεί τιμές υψομέτρου για αυτά τα σημεία με τη μέθοδο της παρεμβολής. Το τρίτο συμπληρώνει τυχόν εναπομείναντα κενά χρησιμοποιώντας τιμές υψομέτρου από το GTOPO30.

Το ΨΜΑ που δημιουργήθηκε είναι ομοιογενές, καλύπτει ολόκληρη την ελληνική επικράτεια και παρουσιάζει πολύ καλές ακρίβειες υψομέτρου.

INTEGRATION OF A SRTM DEM COVERING THE GREEK TERRITORY

Nikolakopoulos K.¹, Skianis G.², Vaiopoulos D.²

¹*Institute of Geology & Mineral Exploration*

²*University of Athens, Department of Geology and Geoenvironment, Remote Sensing Laboratory*

Abstract

The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), used an Interferometric Synthetic Aperture Radar (IFSAR) instrument to produce a near-global digital elevation map of the earth's land surface with 16 m absolute vertical height accuracy at 30 meter postings. An SRTM 3-arc-second product (90m resolution) is available for the entire world.

Since the SRTM elevation data are unedited, they contain occasional voids, or gaps, where the terrain lay in the radar beam's shadow or in areas of extremely low radar backscatter, such as sea, dams, lakes and virtually any water covered surface.

A DEM covering the whole Greek territory was created. We used three different filters in order to improve the quality of the DEM. The first filter detected and removed the voids; a second one interpolated the missing values. Finally a GTOPO30 DEM was used to complete any other missing values.

The DEM created is homogenous, covers the whole country and presents quite good

accuracies.

Λέξεις κλειδιά: Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου, φίλτρα, έλεγχος ακρίβειας.

Key words: Digital Elevation Model, filters, accuracy control.

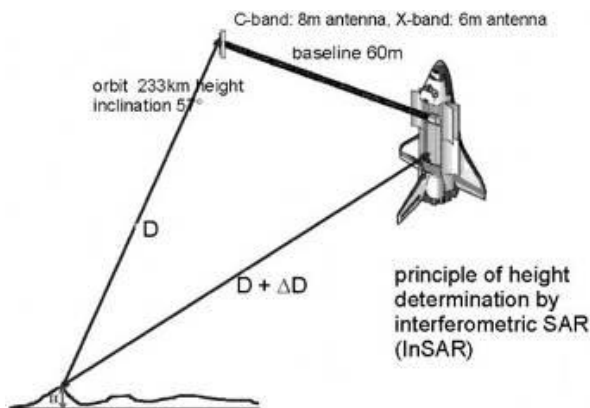
1. Εισαγωγή

Τα τελευταία 20 χρόνια έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για τη δημιουργία Ψηφιακών Μοντέλων Αναγλύφου που να καλύπτουν ολόκληρη την υφήλιο. Η αρχή έγινε με την εκτόξευση του δορυφόρου SPOT, το 1986, ο οποίος για πρώτη φορά παρείχε στερεοζεύγη εικόνων που επέτρεπαν την εξαγωγή υψομετρικής πληροφορίας για μεγάλες περιοχές της Γης. Η εξαγωγή της πληροφορίας βασιζόταν στην στερεοσκοπική παράλλαξη που είχαν ληφθεί κάθετα στην τροχιά σε διαφορετικές ημερομηνίες. Πιο πρόσφατα η κατά μήκος της τροχιάς σχεδόν ταυτόχρονη λήψη (η διαδικασία ολοκληρώνεται σε 60sec) των στερεοζευγών ASTER θεωρήθηκε ότι δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα καθώς μειώνει τις ραδιομετρικές διαφορές μεταξύ των εικόνων του ζεύγους και αυξάνει τις πιθανότητες επιτυχούς συσχέτισης. Το πρόγραμμα του ASTER υλοποιείται από κοινού από τη NASA και τη JAXA με σκοπό τη δημιουργία ενός παγκόσμιου ΨΜΑ που να καλύπτει ολόκληρη την υφήλιο. Η χωρική διακριτική ικανότητα του μοντέλου είναι 15m και η κατακόρυφη ακρίβεια είναι καλύτερη των 20m χωρίς τη χρήση φωτοσταθερών σημείων. Η οριζόντια ακρίβεια του μοντέλου είναι 50m χωρίς τη χρήση φωτοσταθερών (Fujisada *et al.*, 2005). Τόσο η οριζόντια όσο και η κατακόρυφη ακρίβεια μπορούν να βελτιωθούν και εξαρτώνται από την ακρίβεια των φωτοσταθερών σημείων που θα χρησιμοποιηθούν (Chrysoulakis *et al.* 2003, Chrysoulakis *et al.*, 2004).

Παράλληλα με την αύξηση στη συχνότητα λήψης των στερεοζευγών αναπτύχθηκαν και πολυάριθμοι αλγόριθμοι για την αυτόματη εξαγωγή ΨΜΑ από στερεοζεύγη εικόνων (Zhen *et al.*, 2001; Toutin *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2003; Toutin, 2001; Toutin, 2004).

Μία άλλη μέθοδος για την εξαγωγή ΨΜΑ από δορυφορικά δεδομένα είναι η συμβολομετρία. Τα δεδομένα μπορούν να ληφθούν είτε από την ίδια κεραία κατά τη διάρκεια δύο διαφορετικών τροχών (ERS 1-2) είτε από δύο κεραίες στην ίδια τροχιά (SRTM).

Η αποστολή του SRTM (Werner, 2001; Rosen *et al.*, 2001) ήταν η πρώτη και μοναδική μέχρι στιγμής διαστημική αποστολή η οποία χρησιμοποίησε ταυτόχρονα δύο κεραίες ραντάρ για τη λήψη δεδομένων ραντάρ. Η αποστολή αποτέλεσε συνεργασία μεταξύ της NASA, ενός τμήματος της Defense's National Imagery and Mapping Agency (NIMA) και των διαστημικών υπηρεσιών της Ιταλίας και της Γερμανίας. Τοποθετημένο στο διαστημικό λεωφορείο Endeavour το σύστημα SRTM λειτούργησε για 11 ημέρες και συνέλεξε δεδομένα καλύπτοντας περίπου το 80% της γήινης επιφάνειας μεταξύ των παραλλήλων 60° Β και 56° Ν. Το σύστημα βασίστηκε στο συνθετικής κεραίας ραντάρ SIR-C/X-SAR που λειτούργησε στο διαστημικό λεωφορείο το 1994. Σε σχέση με τις πτήσεις του 1994 προστέθηκαν δύο κεραίες ραντάρ (C-band X-band) πάνω σε ένα βραχίονα ο οποίος



Σχήμα 1. Το σύστημα των δύο κεραίων με τις οποίες ήταν εφοδιασμένο το διαστημικό λεωφορείο.

εκτεινόταν εξήντα μέτρα από το διαστημικό λεωφορείο (σχήμα 1). Η προσθήκη του μηχανισμού και των κεραιών επέτρεψε τη λήψη δεδομένων συμβολομετρίας και την εξαγωγή ΨΜΑ από μία και μόνη πτήση. Η μία κεραία (C-band) λειτουργούσε σε μήκος κύματος $\lambda = 5.6$ cm και η δεύτερη (X-band) σε μήκος κύματος $\lambda = 3,1$ cm. Το διαστημικό λεωφορείο πέταξε σε ένα ύψος 233 km και η γωνία πρόσπτωσης ήταν 57° .

Από τα δεδομένα που συνέλεξε το διαστημικό λεωφορείο δημιουργήθηκε ένα ΨΜΑ με μέγεθος εικονοστοιχείου 30m. Το ΨΜΑ με αυτή την ανάλυση είναι διαθέσιμο μόνο για τις ΗΠΑ. Για τις υπόλοιπες περιοχές του πλανήτη το συγκεκριμένο ΨΜΑ αναδομήθηκε σε ένα νέο με μέγεθος εικονοστοιχείου 90m.

2. Δεδομένα και μεθοδολογία

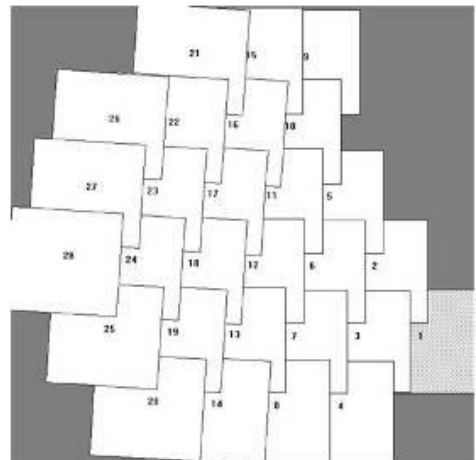
Τα δεδομένα του SRTM DEM διανέμονται ελεύθερα μέσω διαδικτύου σε μορφή Geotiff με χωρική διακριτική ικανότητα 90 μέτρων. Τα δεδομένα είναι γεωαναφερμένα στο ελλειψοειδές WGS84 χρησιμοποιώντας την προβολή UTM και τα υψομετρικά δεδομένα είναι διορθωμένα ως προς το γεωειδές. Οι τιμές υψομέτρου αντιστοιχούν είτε στο γυμνό έδαφος, είτε στο πάνω μέρος της φυτοκάλυψης, είτε στην κορυφή των ανθρωπογενών κατασκευών. Στα κενά (περιοχές χωρίς υψόμετρο) έχει αποδοθεί αυθαίρετα η τιμή -32768m. Για την καλύτερη διευκόλυνση των χρηστών παγκοσμίως τα δεδομένα διατίθενται σε σκηνές 180x180km σε πλήρη αντιστοιχία με τις αντίστοιχες σκηνές των δορυφόρων Landsat.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της αποστολής (Hensley *et al.*, 2001), το κατακόρυφο σφάλμα (vertical RMSE) θα ήταν καλύτερο των 16m. Η ακρίβεια αυτή αντιστοιχεί σε ακρίβεια τοπογραφικών χαρτών 1/250.000 σύμφωνα με τους Welch and Marko, 1981, Lang and Welch, 1999.

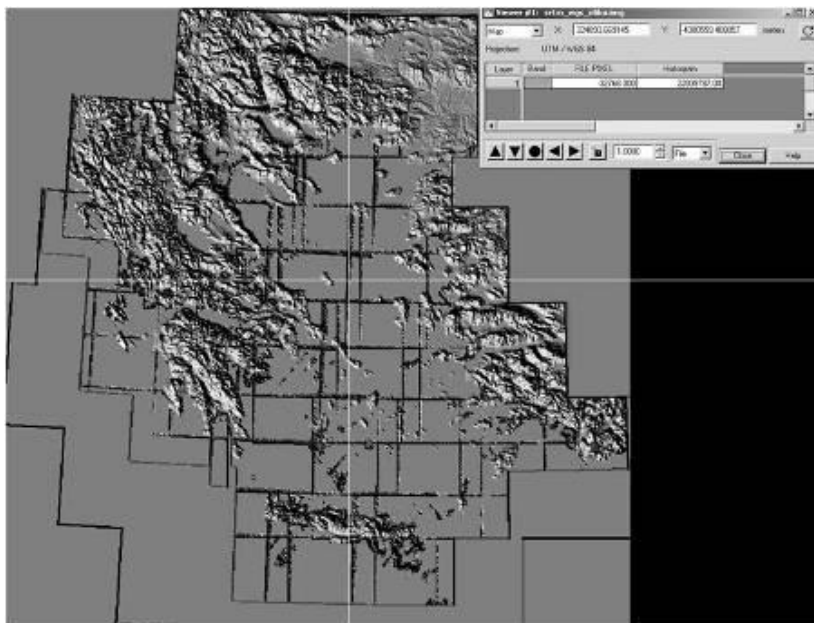
Τα δεδομένα του GTOPO30 διανέμονται επίσης ελεύθερα μέσω διαδικτύου. Βασίζονται σε μετρήσεις από 8 διαφορετικές πηγές και η ακρίβεια τους ποικίλει ανάλογα με την πηγή προέλευσης (πίνακα 1). Η χωρική διακριτική ικανότητα των δεδομένων είναι 1km. Τα δεδομένα είναι γεωαναφερμένα στο ελλειψοειδές WGS84.

2.1 Δημιουργία Μωσαϊκού.

Η ελληνική επικράτεια καλύπτεται από 28 εικόνες όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα 2. Μεταξύ των εικόνων υπάρχει μεγάλη επικάλυψη αντίστοιχη με την επικάλυψη των εικόνων Landsat. Δημιουργήθηκε ένα ενιαίο μωσαϊκό από τις 28 εικόνες (σχήμα 3). Στις επικαλυπτόμενες περιοχές επιλέχθηκε να διατηρηθεί η μέγιστη τιμή υψόμετρου, εφόσον δηλαδή στις επικαλυπτόμενες περιοχές υπήρχε στη πρώτη εικόνα κενό και στην δεύτερη κανονική τιμή υψόμετρου επιλεγόταν αυτόματα να ληφθεί η τιμή του υψόμετρου από τη δεύτερη. Καθώς τα δεδομένα του SRTM δεν έχουν υποστεί επεξεργασία το συνολικό ΨΜΑ που παράχθηκε (σχήμα 3) περιέχει κενά, χάσματα και λανθασμένη πληροφορία σε ορισμένα σημεία όπου η ακτίνα του ραντάρ παρουσιάζει πολύ ασθενή ανάκλαση. Τέτοια σημεία είναι η επιφάνεια της θάλασσας, λίμνες, φράγματα και γενικά επίπεδες περιοχές που καλύπτονται με νερό. Η ελάχιστη τιμή είναι -32768m και η μέγιστη 2904m.



Σχήμα 2. Το μοντέλο του μωσαϊκού. Από τις 28 αρχικές εικόνες δημιουργείται μία που καλύπτει ολόκληρη την Ελληνική επικράτεια.



Σχήμα 3. Το αρχικό μωσαϊκό του SRTM DEM. Η ελάχιστη τιμή είναι -32768 μέτρα και αντιστοιχεί στα κενά. Διακρίνονται χαρακτηριστικά οι ενώσεις των εικόνων.

Πίνακας 1. Πηγές δεδομένων για τη δημιουργία του GTOPO30 και η ακρίβεια τους.

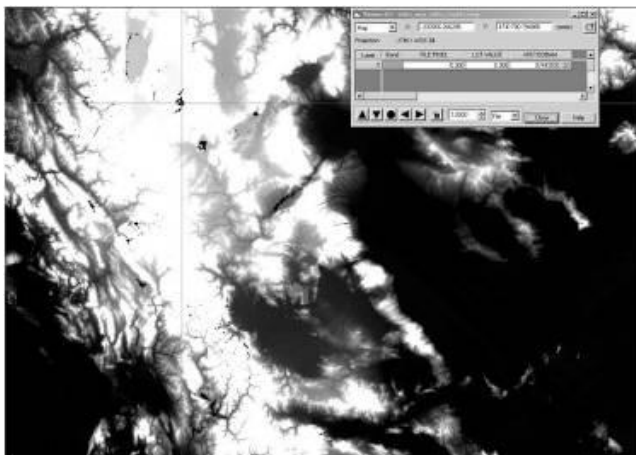
Source	% of global land area	Vertical accuracy (meters) L.E. at 90%	Vertical accuracy (meters) RMSE
Digital Terrain Elevation Data	50.0	30	18
Digital Chart of the World	29.9	160	97
USGS 1-degree DEM's	6.7	30	18
Army Map Service 1: 1,000,000-scale maps	1.1	250	152
International Map of the World 1: 1,000,000-scale maps	3.7	50	30
Peru 1: 1,000,000-scale map	0.1	500	304
New Zealand DEM	0.2	15	9
Antarctic Digital Database	8.3	highly variable	highly variable

2.2 Εφαρμογή του πρώτου φίλτρου.

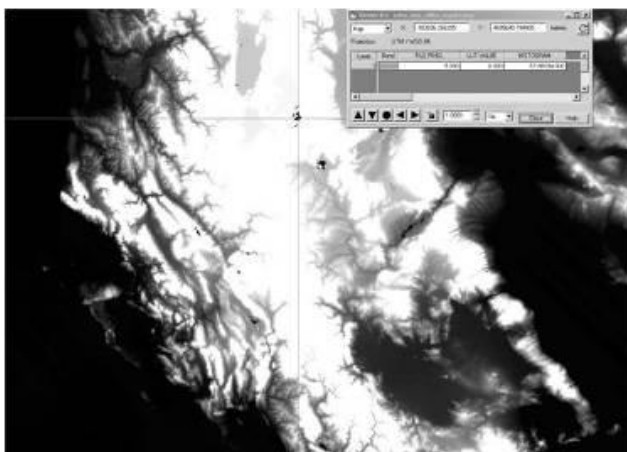
Στο ΨΜΑ έγινε εφαρμογή ενός πρώτου χωρικού φίλτρου. Το φίλτρο αυτό εντοπίζει τις περιοχές που παρουσιάζουν αρνητικές τιμές και αντικαθιστά τις τιμές αυτές με την τιμή -5 (σχήμα 4). Έτσι δημιουργείται ένα ΨΜΑ με λιγότερο θόρυβο και πιο ομοιόμορφα κενά. Η επιλογή της τιμής -5 είναι τυχαία. Αποφεύχθηκε η εφαρμογή της τιμής 0 για να μη δημιουργηθεί σύγχυση με περιοχές που παρουσιάζουν τιμή 0 όπως η επιφάνεια της θάλασσας. Όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα 4 υπάρχουν στην ενδοχώρα αρκετές περιοχές (με μαύρο χρώμα) που παρουσιάζουν αρνητική τιμή υψομέτρου (-5).

2.3 Εφαρμογή του δεύτερου φίλτρου.

Στη συνέχεια ένα φίλτρο παρεμβολής εφαρμόστηκε στο ΨΜΑ με σκοπό να συμπληρωθούν οι τιμές των κενών εικονοστοιχείων. Το φίλτρο αυτό αρχικά εντοπίζει τις περιοχές που έχουν τιμή -5 . Εάν η πλειοψηφία των εικονοστοιχείων γύρω από το κεντρικό (με τιμή -5) πρέπει να αντικατασταθεί τότε ένα low pass φίλτρο 5×5 εφαρμόζεται στο ΨΜΑ. Σε αντίθετη περίπτωση ένα low pass φίλτρο 3×3 εφαρμόζεται στο ΨΜΑ. Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του δεύτερου φίλτρου φαίνεται στο σχήμα 5. Η πλειοψηφία των κενών έχει συμπληρωθεί μέσω παρεμβολής τιμών από τα γειτονικά εικονοστοιχεία. Παραμένουν μόνο ορισμένα κενά που καλύπτουν μεγάλη έκταση και στα οποία η παρεμβολή του φίλτρου 5×5 δεν έφερε αποτελέσματα.



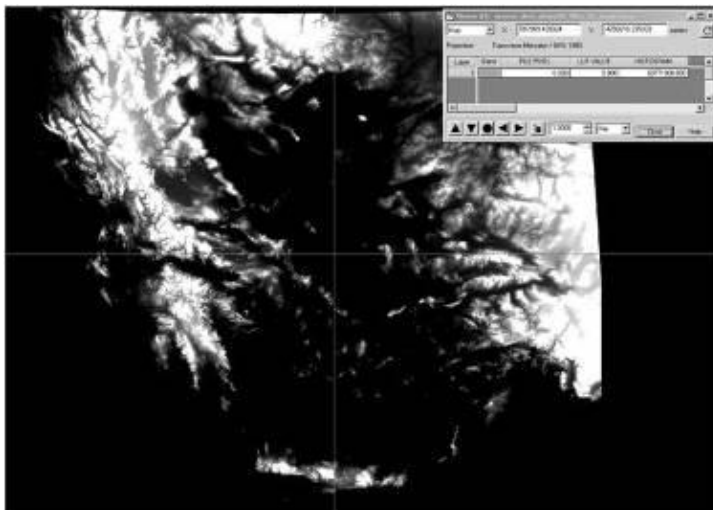
Σχήμα4. Τμήμα του ΨΜΑ μετά την εφαρμογή του πρώτου φίλτρου. Τα κενά εμφανίζονται με μαύρο χρώμα και ενισία τιμή -5 .



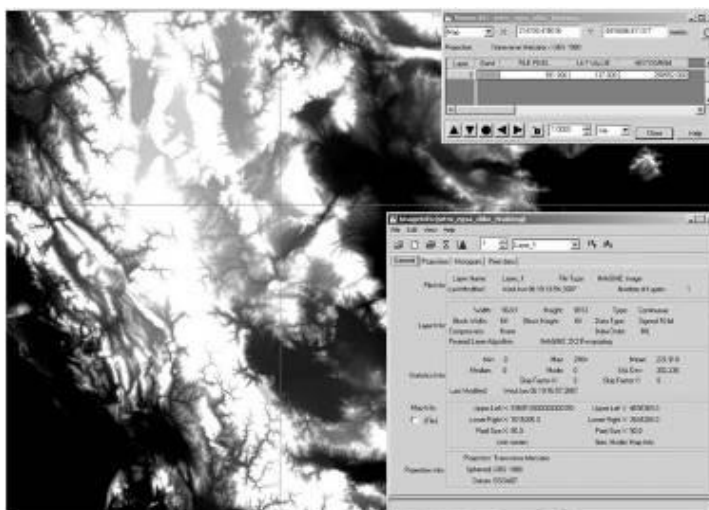
Σχήμα 5. Το ίδιο τμήμα του ΨΜΑ μετά την εφαρμογή του δεύτερου φίλτρου (παρεμβολής). Τα κενά έχουν μειωθεί σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα. Παραμένουν μόνο ορισμένα κενά με πολύ μεγάλη έκταση.

2.4 Εφαρμογή του τρίτου φίλτρου.

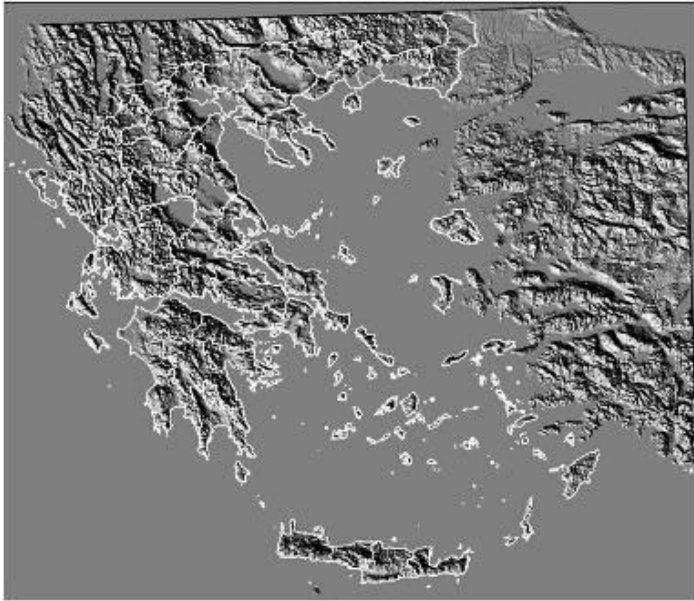
Για να συμπληρωθούν όλα τα κενά του ΨΜΑ έγινε εφαρμογή και ενός συμπληρωματικού τρίτου φίλτρου. Το φίλτρο αυτό αρχικά εντοπίζει τις εναπομείναντες περιοχές που έχουν τιμή -5. Συμπληρώνει στα εικονοστοιχεία αυτά την τιμή του υψομέτρου που λαμβάνει από το ΨΜΑ GTOPO30 (σχήμα 6). Έτσι το τελικό ΨΜΑ δεν παρουσιάζει καθόλου κενά (σχήμα 7). Το τελικό ΨΜΑ είναι ομοιογενές και καλύπτει ολόκληρη την ελληνική επικράτεια (σχήμα 8).



Σχήμα 6. ΨΜΑ GTOPO30. Το αρχικό μοντέλο έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 1x1km. Το ΨΜΑ αναδομήθηκε και το νέο έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 90μ (ίσο με το SRTM).



Σχήμα 7. Το τελικό ΨΜΑ. Όλα τα κενά έχουν συμπληρωθεί με τιμές υψομέτρου από το GTOPO30.



Σχήμα 8. Το τελικό ΨΜΑ σε μορφή σκιασμένου αναγλύφου. Με άσπρο χρώμα τα όρια των νομαρχιών.

3. Έλεγχος της ακρίβειας του SRTM

Μελέτες σχετικά με την ακρίβεια του ΨΜΑ SRTM έχουν γίνει για διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Σε μία από αυτές (Nikolakopoulos *et al.*, 2005) έγινε σύγκριση του SRTM με αντίστοιχο ΨΜΑ από ψηφιοποιημένες ισοϋψείς από τους τοπογραφικούς χάρτες 1/50.000. Τα δύο ΨΜΑ έδωσαν σχεδόν πανομοιότυπες τρισδιάστατες αποτυπώσεις και παρόμοια στατιστικά. Σε άλλη μελέτη έγινε σύγκριση για δύο περιοχές της Κρήτης ενός ΨΜΑ από δεδομένα ASTER και ενός από δεδομένα SRTM. Η κατακόρυφη ακρίβεια υπολογίστηκε στα 41,6μ για την περιοχή του Ηρακλείου και στα 46,4μ για την περιοχή της Σητείας (Nikolakopoulos *et al.*, 2006). Τέλος, σε άλλη μελέτη για την περιοχή της Αθήνας (Nikolakopoulos *et al.*, 2006) υπολογίστηκε ότι το κατακόρυφο σφάλμα του SRTM ανέρχεται στα 33,21μ. Οι ακρίβειες που προκύπτουν από τις μελέτες αυτές υπερβαίνουν τις ακρίβειες που είχαν προβλεφτεί θεωρητικά αλλά θεωρούνται ικανοποιητικές λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:

A) οι θεωρητικές ακρίβειες αναφέρονται στο αρχικά παραχθέν ΨΜΑ με μέγεθος εικονοστοιχείου 30μ. Η ακρίβεια του ΨΜΑ που χρησιμοποιήθηκε έχει υποστεί αναδόμηση (μέγεθος εικονοστοιχείου 90μ) οπότε και αναμένονται χειρότερες ακρίβειες.

B) ο ελλαδικός χώρος δύναται να παρουσιάζει χειρότερες ακρίβειες λόγω του έντονου ανάγλυφου του.

4. Συμπεράσματα

Τα δεδομένα του SRTM DEM αποτελούν μία αξιόπιστη πηγή υψομετρικής πληροφορίας για τη χώρα μας. Τόσο η κατακόρυφη ακρίβεια τους όσο κυρίως η πλήρης κάλυψη του χώρου και η ομοιογένεια των δεδομένων τα καθιστούν ιδανικά για περιβαλλοντικές και όχι μόνο μελέτες. Η κατακόρυφη ακρίβεια παρουσιάζει διακυμάνσεις από περιοχή σε περιοχή συναρτήσει του ανάγλυφου και κυμαίνεται μεταξύ 30 και 40m.

Βιβλιογραφία

Chrysoulakis, N., Diamandakis, M. And Prastacos, P., 2003: *GIS Integration of ASTER stereo imagery for the support of Watershed Management*. In: Lekkas, T. D. (Ed), Proceedings of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology, pp. 111 – 118.

Chrysoulakis, N., Abrams, M., Feidas, H. And Velianitis, D., 2004: *Analysis of ASTER Multispectral Stereo Imagery to Produce DEM and Land Cover Databases for Greek Islands: The REALDEMS Project*. In: Prastacos, P., Cortes, U. De Leon, J. L., Murillo, M. (Eds): Proceedings of e-Environment: Progress and Challenge, pp. 411 – 424.

Hensley, S., Munjy, R., Rosen, P., 2001: In: Maune, D. (Ed.), *Interferometric Synthetic Aperture Radar (IFSAR), Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, pp. 143-206.

Hiroyuki Fujisada, G. Bryan Bailey, Glenn G. Kelly, Seiichi Hara, and Michael J. Abrams, 2005: ASTER DEM Performance, IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, Vol. 43, No. 12, p.2707-2714.

Lang H & R Welch, 1999: ATBD-AST-08 Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Digital Elevation Models. Standard Product AST14 Report, The Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Los Angeles, USA.

Lee, H.-Y., Kim, T., Park, W. And Lee, H.-K., 2003: Extraction of digital elevation models from satellite stereo images through stereo matching based on epipolarity and scene geometry. *Image and Vision Computing*, 21, 789-796.

Nikolakopoulos G. Konstantinos, Dimitrios A. Vaiopoulos, Georgios Aim. Skianis, 2005: SRTM DTM vs one created from 1/50.000 topographic maps. The case of Kos Island, Proc. of SPIE, Vol. 5980, p. 122-131.

Nikolakopoulos G. Konstantinos, Emmanuel K. Kamaratakis & Nektarios Chrysoulakis 2006: SRTM vs ASTER Elevation Products. Comparison for two Regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, ISSN: 0143-1161, Vol 27, No 21-22, 10 November 2006, p. 4819-4838.

Nikolakopoulos G. Konstantinos & Nektarios Chrysoulakis 2006: *Updating the 1:50.000 topographic maps using ASTER and SRTM DEM. The case of Athens, Greece*. 13th International Symposium on Remote Sensing of the International Society for Optical Engineering, 11-16 September 2006, Stockholm International Fairs, Stockholm, Sweden, Vol. 6366, p. 6366061-11.

Rosen, P., Eineder, M., Rabus, B., Gurrola, E., Hensley, S., Knöpfle, W., Breit, H., Roth, A. and Werner, M., 2001: *SRTM Mission – Cross Comparison of X and C Band Data Properties*. Proceedings of IGARSS, Sydney, Australia, unpaginated CD-ROM.

Row, L.W., Hastings, D.A., and Dunbar, P.K., 1995: *TerrainBase Worldwide Digital Terrain Data - Documentation Manual*, CD-ROM Release 1.0. National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado.

Toutin, Th., Chénier, R., And Carbonneau, Y., 2001: *3D Geometric Modelling of Ikonos Geo Images*, ISPRS Joint Workshop "High Resolution from Space. Hannover, Germany, unpaginated CD-ROM.

Toutin, Th., 2001, Elevation Modelling from Satellite VIR Data: A Review. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 1097 - 1125.

Toutin, Th, 2004: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and method. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 1893 - 1924.

Welch, R., Marko, W., 1981: Cartographic potential of spacecraft line-array camera system: stereosat, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 47 (8): 1173-1185.

Werner, 2001: Status of the SRTM data processing: when will the world-wide 30m DTM data be available? *Geo- Informationssysteme* 12/2001. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG. Heidelberg, pp. 6-10.

Zhen, X., Huang, X. And Kwoh, L., K., 2001: *Extracting DEM from SPOT Stereo Images*. 20th Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, unpaginated CD-ROM.