

## Εξαγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους από παγχρωματικά στερεοζεύγη: Η περίπτωση της Ανατολικής Στερεάς

A. Γκανάς

*Department of Geography, University of Reading, Whiteknights,  
Reading, RG6 2AB, UK.*

### Περίληψις

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η μεθοδολογία αυτομάτου εξαγωγής Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους από δορυφορικά δεδομένα SPOT, σε επίπεδο προ-επεξεργασίας 1A, παγχρωματική σάρωση και μέγεθος pixel 10 m, για την περιοχή της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδος. Οι εικόνες του στερεοζεύγους συλλέχθησαν τον Ιανουάριο του 1989, από τον δορυφόρο SPOT-1 (πλαίσιο 89/272), και είναι ελεύθερες νεφών. Το μέσο τετραγωνικό υψομετρικό σφάλμα (RMSe) του παραχθέντος μοντέλου υπολογίσθηκε σε 16.26 μέτρα, με μέγεθος δικτύου 100 μέτρα. Έτσι, αυτό το μοντέλο καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις γεωμορφολογικών, γεωφυσικών και γεωλογικών μελετών σε τοπικό επίπεδο, ενώ όντας σε ψηφιακή μορφή δύναται να υποστηρίξει και μελέτες «ανιχνεύσεως χωρικών και χρονικών μεταβολών» (change detection). Το σημαντικότερο στάδιο της μεθοδολογίας περιλαμβάνει την ιεραρχημένη εφαρμογή σειράς αλγορίθμων που περιέχονται στο ελεύθερας-χρήσεως (public-domain) λογισμικό ψηφιακής φωτογραμμετρίας 3D Image-Maker, του Τμήματος Τοπογραφίας και Φωτογραμμετρίας του Πανεπιστημίου του Λονδίνου. Επιπλέον, συζητούνται οι διάφορες πηγές σφαλμάτων, οι περιορισμοί και τα περιθώρια βελτιώσεως αυτής της μεθόδου.

### Abstract

The availability of SPOT data since 1986 offered a new significant application of digital processing of satellite images, that being digital photogrammetry, in which only aerial photographs were used previously. Digital Elevation Model (DEM) generation is important to many applications that deal with ground measurements, i.e geomorphology, topography, cartography, as well as many other subject areas. This

paper describes a stereo-matching methodology for automatic extraction of DEMs with panchromatic data from the SPOT satellite, and its application for the region of Eastern Central Greece. The work is based on the use of the public-domain, image processing software 3D Image-Maker, developed at GrHelvetiaity College London, in the late 80s, that incorporated the Otto-Chau "region-growing" algorithm. The SPOT images are at level 1A of processing, that is, they have been radiometrically corrected, with no geometric correction for earth curvature or view angle effects.

Results obtained include a 100m DEM with a RMSe of 16.26 m, tested against 56 randomly-selected ground control checkpoints, that is comparable to both previously published stereomatching and manually captured work. Furthermore, some inherent problems during production, and associated errors, as well as future prospects are also discussed.

## Εισαγωγή

Οι δορυφορικές εικόνες είναι δισ-διάστατες απεικονίσεις πλανητικών επιφανειών οι οποίες αποτελούνται από μητρώα κατά το πλείστον 8-μπιτων εικονοστοιχείων αντιστοιχούντων στην λαμπρότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η ιδέα της χρήσεως δορυφορικών εικόνων για την μέτρηση υψών και άλλων παραμέτρων του αναγλύφου έγινε πραγματικότητα το 1986 με την εκτόξευση του γαλλικού ηλιο-σύγχρονου δορυφάρου SPOT-1, και τα πρώτα διαστημικής-προελεύσεως Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (ΨΜΕ) άρχισαν να παράγονται σε ορισμένες διαστημικές υπηρεσίες (CNES, JPL-NASA) και πανεπιστήμια (GrHelvetiaity College London), περί το 1988-89 (π.χ., Day and Muller, 1988, 1989). Τα πρώτα επιτυχή αποτελέσματα (ακρίβειες κάτω του pixel σε ομαλά, ξηρό ανάγλυφο) αυτής της τεχνικής οδήγησαν στην περαιτέρω εφαρμογή της σε εξωγήινες διαστημικές αποστολές (π.χ., Day, Cook and Muller, 1992). Σήμερα, τουλάχιστον δύο μεγάλα λογισμικά επεξεργασίας εικόνας έχουν την δυνατότητα παραγωγής ΨΜΕ, με επικαλούμενες z-ακρίβειες της τάξεως 15-20 m (RMSe). Σε γενικές γραμμές, τα υψομετρικά δεδομένα εξάγονται από ένα ψηφιακό στερεοζεύγος με την εφαρμογή αλγορίθμων αυτομάτου χωρικής και ραδιομετρικής συσχέτισεως, σε μεγάλα υπολογιστικά συστήματα περιβάλλοντος Grid, και κατόπιν γεω-εγγράφονται σε ένα μητρώο με τις επιθυμητές διαστάσεις.

Η γεωγραφική περιοχή του μοντέλου που παρουσιάζεται εδώ καλύπτει τον νομό Φθιώτιδος, και τμήματα των νομών Ευβοίας, και Βοιω-

τίας. Χαρακτηρίζεται από ποικίλο ανάγλυφο, με τιμές υψομέτρων από το επίπεδο της θάλασσας έως τα 1700 μ (Οθρυς, Παρνασσός), και διάφορες ορογραφικές διευθύνσεις. Η κύρια διάταξη της ορογραφίας, ΒΔ-ΝΑ, έρχεται να σχηματίσει γωνίες 45 μοιρών και άνω με το ηλιακό αζιμούθιο (δες πίνακα παρακότω). Αυτή η μορφολογία οφείλεται στην δράση μεγάλων νεοτεκτονικών ρηγμάτων, ιδίας διευθύνσεως, λοξών ως προς τον αλπικό ορογενετικό ιστό στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Ελλάδος. Επίσης, η ρηξιγενής προέλευση των λεκανών του Βοιωτικού Κηφισού, και του Ρεγγινίου και της ακτογραμμής της Λοκρίδας, έχει δημιουργήσει αρκετά σημαντικές μέσες μορφολογικές κλίσεις. Τα τοπογραφικά αυτά δεδομένα εν συνδυασμῶ με την χαμηλή ηλιακή γωνία προκάλούν την δημιουργία εκτεταμένων σκιών στα υπήλια τμήματα των δορυφορικών εικόνων.

Η περιεχόμενη πληροφορία στα ΨΜΕ έχει ζωτική σημασία σε πολλές γεω-εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης-Τηλεανίχνευσης, όπως στην γεωμορφολογία, τοπογραφία, χαρτογραφία, στην τεκτονική ανάλυση, αλλά και σε μιά σειρά άλλων επιστημών και υπηρεσιών, καθώς και εταιριών του ιδιωτικού τομέα που κάνουν χρήση των δορυφορικών δεδομένων (Holden et al., 1992). Η υψομετρική πληροφορία είναι απολύτως απαραίτητη όταν η περιοχή ενδιαφέροντος στερείται παντελῶς χαρτών, χαρτών σε κλίμακα 1:50.000, προσφάτων χαρτών, ή τέλος όταν το αντικείμενο μελέτης αφορά «δυναμικά» φαινόμενα, στα οποία παρατηρούνται ταχείες τοπογραφικές μεταβολές (πχ. εδαφικός ερπυσμός ή στην παράκτια γεωμορφολογία).

## **Μεθοδολογία εργασίας**

### *Ο δορυφορικός σαρωτής*

Ο παγχρωματικός σαρωτής επί του δορυφόρου SPOT είναι μία γραμμική διάταξη 6000 φορτισμένων στοιχείων (CCDs), διατεταγμένων καθέτως ως προς την φορά κινήσεως. Οι δις-διάστατες εικόνες παράγονται διό της συνθέσεως μονοδιάστατων εικόνων συλλεγομένων ανά 1.5 χιλιοστό του δευτερολέπτου, καθώς ο δορυφόρος περιφέρεται με ταχύτητα 7 χλμ./δευτερόλεπτο (Πίν. 1). Η στερεοληπτική ικανότητα παρέχεται από την δυνατότητα κλίσεως της συστοιχίας, έτσι ώστε να «κοιτά» πλευρικῶς υπό γωνίες έως και 25° από την κατακόρυφο. Με αυτή την τεχνική προκύπτουν στερεοζεύγη εικόνων διαφορετικής τροχιάς, με ικανό λόγο βάσεως/ύψους γιά την παραγωγή καλής ποιότητας ΨΜΕ (0.75 στην προκειμένη περίπτωση της Ανατολικής Στερεάς, Εικ. 1).

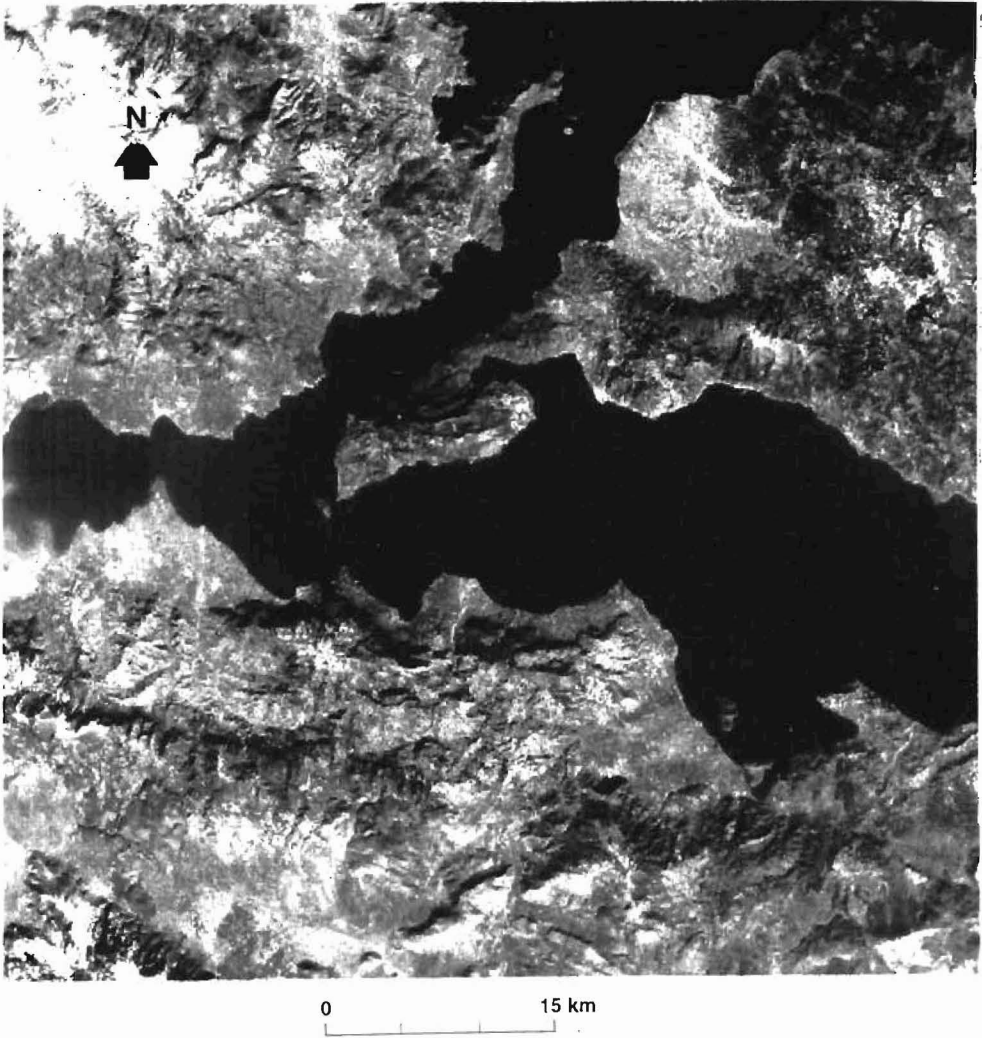
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ  
SPOT 1A FORMAT  
EXABYTE, CD-ROM
2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ  
ΑΠΕΙΚΟΝΗΣΗ ΣΤΕΡΕΟΖΕΥΓΟΥΣ
3. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΣΤΕΡΕΟ-ΖΕΥΞΕΩΣ  
ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΜΗΤΡΩΟΥ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ
4. ΕΠΙΛΟΓΗ 3-D ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ  
ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΓΥΣ 1:50000
5. CAMERA MODEL  
ΕΧΑΓΩΓΗ ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ
6. ΠΟΛΛΑΠΛΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ  
ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΕΣ HEYFORD, DATUM ED50  
ΠΡΟΒΟΛΗ UTM
7. ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ KRIGGING
8. ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ  
ΕΙΚΟΝΟΣΚΙΑΣΕΙΣ

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μεθοδολογία εργασίας

Ορισμένα αναλυτικά στοιχεία των δύο σκηνών του στερεοζεύγους δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΕΞΙΑ ΣΚΗΝΗ	ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΚΗΝΗ
Ταυτότητα	S1H289011809141B	S1H1890101094118
Γεωγρ. Πλάτος Κέντρου	N0384854	N0384854
Γεωγρ. Μήκος Κέντρου	E0225710	E0223901
Προσανατολισμός	009.2	013.6
Γωνία προοπτικής	R18.9	L22.3
Ηλιακό αζιμούθιο	157.7	166.6
Ηλιακή γωνία	027.5	027.1
Αποστολή	SPOT1	SPOT1
Σαρωτής	HRV2	HRV1
Ύψος τροχιάς	830082.3	830769.8

Οι εικόνες του ζεύγους πρέπει να έχουν προ-επεξεργαστεί μόνον στο επίπεδο 1A. Το επίπεδο αυτό αφορά ραδιομετρικές διορθώσεις, χω-



**Εικ. 1.** Η δεξιά δορυφορική εικόνα του στερεοζεύγους SPOT, πλαίσιο 89272. Το «φτωχό» contrast της εικόνας οφείλεται στην ταυτόχρονη παρουσία πολύ διαφορετικών επιφανειών στην κλίμακα λαμπρότητας, δηλαδή θαλάσσης και χιονοκαλύψεως.

ρίς να έχει γίνει καμία επέμβαση προς αποκατάσταση των γεωμετρικών παραμορφώσεων που επιφέρουν η καμπυλότητα της γης και η αποκλίνοια της κατακορύφου γωνία σαρώσεως.

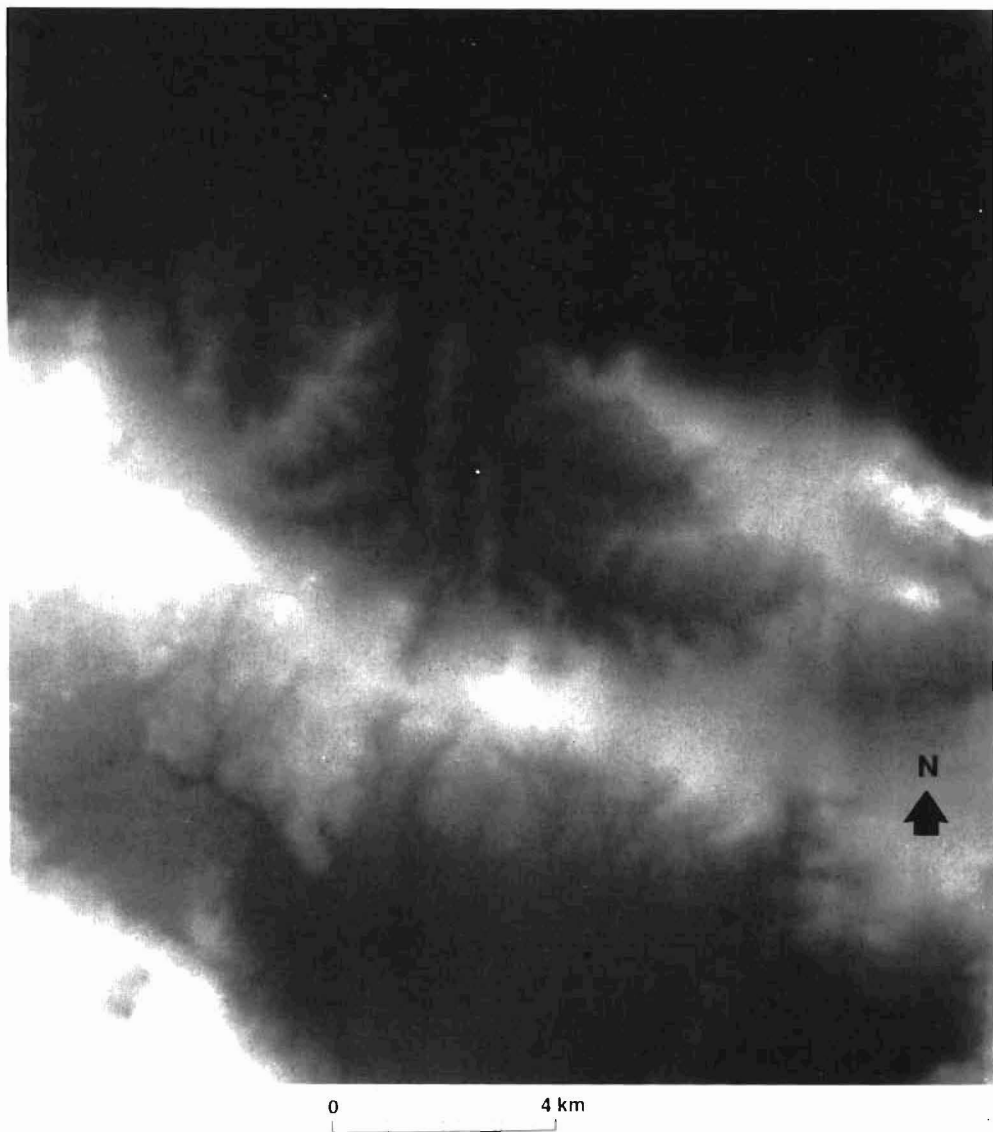
#### *Ο αλγόριθμος στερεο-ζεύξεως*

Στην παραγωγή ενός διαστημικής-προελεύσεως ΨΜΕ απαιτούνται γνώσεις και τεχνικές τηλεπισκόπησης, υπολογιστικής οράσεως και φω-

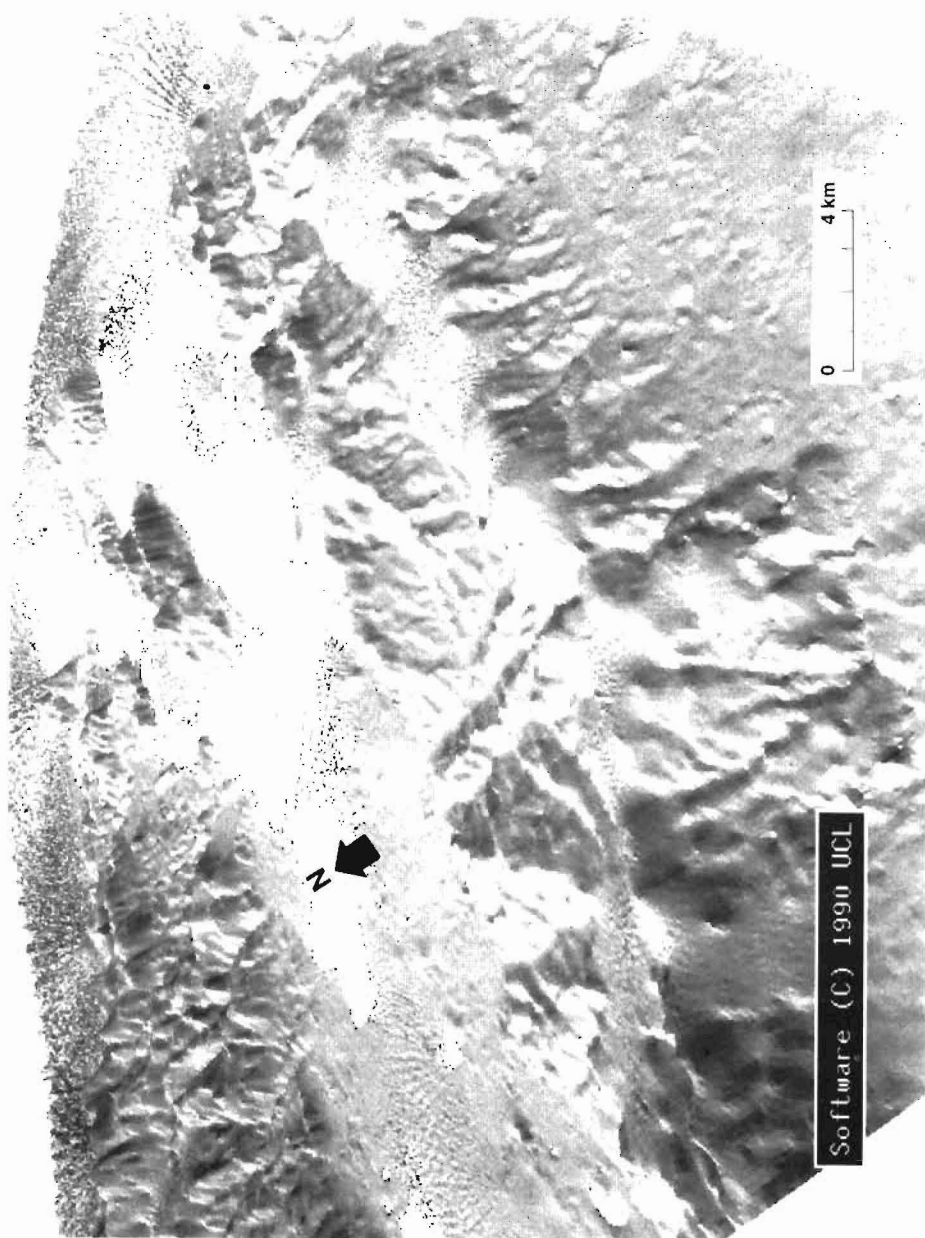
τογραμμετρίας. Ο παράγων -κλειδί στην επιτυχή εξαγωγή ΨΜΕ από ει-  
κόνες SPOT είναι το είδος του αλγορίθμου στερεο-ζεύξεως (stereo-  
matching, Day and Muller, 1989). Η επιλογή του καταλληλοτέρου αλγο-  
ρίθμου ανά ερευνητική εφαρμογή θα κρίνει και την τελική ακρίβεια του  
παραγομένου μοντέλου. Στην εργασία αυτή εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος  
Otto-Chau (Otto and Chau, 1989). Τα κύρια προγράμματα του συστήμα-  
τος 3D Image-Maker, που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα Gview, Gotcha,  
Spot 1, Krige-some και Evileye, και ολόκληρη η μεθοδολογία εργασίας  
παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Ως δεδομένα εισόδου στον αλγόριθμο, δί-  
νονται ορισμένα σημεία εκκινήσεως, ευκόλως προσδιορίσιμα και στις δύο  
εικόνες και με ακρίβεια κάτω του pixel, τα οποία επιλέγονται inter-  
actively από τον εκάστοτε ερευνητή (εδώ, επέλεξα εννέα, τα οποία και  
δεν αποδείχθησαν αρκετά, λόγω τού έντονου αναγλύφου). Τα σημεία εκ-  
κινήσεως χρησιμεύουν στην εξάλειψη της κατακορύφου αποκλίσεως και  
στον υπολογισμό της οριζοντίου αποκλίσεως των αντιστοιχιζομένων ση-  
μείων στις δύο εικόνες. Από τα σημεία αυτά γεννώνται τετραγωνίδια (τε-  
τραγωνίδια συσχέτισεως) στις δύο εικόνες, ακτίνας 7 pixel στην προκει-  
μένη περίπτωση, τα οποία συνδέονται με ένα μητρώο παραμορφώσεως,  
πρώτης τάξεως, το οποίο περιλαμβάνει εκτός της γεωμετρικής, και μία  
ραδιομετρική διόρθωση (υπό της μορφής προσθέσεως μίας σταθεράς).

Τα παραγόμενα σημεία-αποτελέσματα της στερεοζεύξεως, κατόπιν,  
συνδυάζονται με ένα σύνολο εδαφικών σημείων αναφοράς  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , στο  
μοντέλο αυτό δώδεκα (12) τον αριθμό, και χρησιμοποιούνται ως δεδο-  
μένα εισόδου στα επόμενο στάδιο της ψηφιακής επεξεργασίας, τον  
προσανατολισμό τους στον χώρο μέσω της εφαρμογής του μοντέλου  
κάμερας SPOT. Η γεωμετρικές παράμετροι της λήψεως περιέχονται στα  
header files. Ετσι, υπολογίζεται η απόλυτος θέση των σημείων στο γεω-  
κεντρικά σύστημα συντεταγμένων, και ακολουθεί η μετατροπή τους σε  
καρτεσιανές συντεταγμένες και η προβολή τους σε ένα παγκόσμιο σύ-  
στημα αναφοράς. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν η προβολή  
UTM, ελλειψοειδές αναφοράς του Heyford (1909) και γεωδετική από-  
κλιση ED50, ώστε να διατηρηθεί η συμβατότητα με τα εθνικά χαρτογρα-  
φικά δεδομένα (Μαλλής, προσωπική επικοινωνία), και με γεω-εγγραφέ-  
ντα πολυφασματικά δεδομένα του δορυφόρου Landsat (Ganas and  
White, 1995). Τα εδαφικά σημεία αναφοράς επιλέχθηκαν σε διασταυρώ-  
σεις του εθνικού και επαρχιακού οδικού δικτύου με ψηφιοποίηση (Arc-  
Info) από τοπογραφικούς χάρτες 1:50000 της ΓΥΣ (ισοδιάσταση 20  $\mu$ ).  
Αυτή η επιλογή εξασφαλίζει την μέγιστη επιπεδομετρική ακρίβεια (κάτω  
του pixel), ωστόσο υποφέρει από τυχαίες αποκλίσεις στην τρίτη διάστα-  
ση εξ' αιτίας της υποκειμενικής εκτιμήσεως του υψομέτρου από τις πε-  
ρικλείουσες ισουψείς.

Το τελικό στάδιο αφορά την εφαρμογή συγκεκριμένης μεθόδου παρεμβολής (krigging) για την παραγωγή της ολοκληρωμένης υψομετρικής πληροφορίας (Εικ. 2). Το τελικό προϊόν της Ανατολικής Στερεάς έχει διαστάσεις 556 στηλών επί 634 σειρών και μέγεθος 2820276 bytes. Επιπλέον, προχώρησα στην εξέταση και ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου



**Εικ. 2.** Το νότιο τμήμα του παραχθέντος Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της Ανατολικής Στερεάς. Η διαβάθμιση των αποχρώσεων του τεφρού από τις μελανότερες έως τις λευκότερες, παρακολουθεί την αύξηση του υψομέτρου, αντιστοίχως.



**Εικ. 3.** Άποψη του αναγλύφου του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους του Μαλιακού Κόλπου και γειτονεύουσας ορεογραφίας, από ΝΔ και με χαμηλή γωνία φωτισμού. Το μοντέλο έχει μέγεθος δικτύου 100 μ, και εικονίζεται εδώ με κατακόρυφη ενίσχυση της κλίμακας 0.015. Με λευκό χρώμα παρουσιάζεται η θάλασσα, ενώ οι ακτινοειδείς μορφές, κυρίως στα όρια του μοντέλου, οφείλονται στην μέθοδο παρεμβολής krigging, με ακτινωτή σάρωση.



με διάφορες τεχνικές εικονοσκιάσεως, κατά τις οποίες εισάγεται κάποια πολλαπλασιαστική παραμόρφωση στον άξονα z, υιοθετείται η Λαμπερσιανή υπόθεση σκεδάσεως της ακτινοβολίας, ενώ η φωτεινή πηγή αφήνεται να αλλάζει διαδοχικώς θέση (γωνία και αζιμούθιο) στον οριζόντιο (Εικ. 3).

Τα σημαντικότερα προβλήματα στην διαδικασία επιχειρησιακής παραγωγής ΨΜΕ από στερεοζεύγη οπτικών δορυφορικών σαρωτών είναι οι ραδιομετρικές αλλαγές τμημάτων της εικόνας στο ενδιάμεσο χρονικό διάστημα, όπως επί παραδείγματι οι αυξομειώσεις στο ποσοστό εδαφοκαλύψεως της βλαστήσεως ή της χλόης, η έλλειψη πολλές φορές έντονης υψής, οι χαμηλές νεφώσεις στις κορυφογραμμές και οι μεταβαλλόμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες (κυρίως ποσοστό υδρατμών). Ορισμένες εξ' αυτών των αλλαγών, θα ηδύνато να καταστούν άνευ σημασίας, εάν τα πρωτογενή ραδιομετρικά δεδομένα υφίστατο ψηφιακή επεξεργασία, πριν την εφαρμογή του αλγορίθμου στερεο-ζεύξεως. Τέτοια επεξεργασία μπορεί να γίνει είτε με έκταση του ιστογράμματος, π.χ., κανονικοποίηση του γιά την ευκολότερη διάκριση των πολυάριθμων κεντρικών τιμών, είτε με γραμμικά φίλτρα, για την ανάδειξη των υψηλών (και εύκολα διακριτών) συχνοτήτων των εικόνων.

## Αποτελέσματα

Εδώ θα αναφερθώ μόνο στα φωτογραμμετρικά αποτελέσματα. Τα γεωμορφολογικά και γεωλογικά περιεχόμενα αυτού του ΨΜΕ θα παρουσιαστούν σε μελλοντική εργασία. Τα τελικά αποτελέσματα αφορούν ένα ΨΜΕ 100 μέτρων για την Ανατολική Στερεά, με διαστάσεις περίπου 55 επί 65 χιλιόμετρα, μέση τιμή υψών 323.48 m, ενδιάμεση 197.32 m, μέγιστη 1719 m και ελάχιστη -136 m. Η προφανώς λανθασμένη ελάχιστη τιμή, καθώς και οι λοιπές αρνητικές τιμές υψών που παρήχθησαν, περιορίζονται στη θάλασσα (ώς εκ τούτου είναι ήσσονος σημασίας, αφού η διόρθωση των γίνεται αμέσως με μία επέμβαση αντικαταστάσεως με την τιμή μηδέν στο ψηφιακό αρχείο), και οφείλονται στην έλλειψη αρκετών σημείων εκκινήσεως περί την ακτογραμμή. Αναφορικά με την παρεμβολή krigging χρησιμοποιήθηκε ένα γραμμικό ημι-βαριόγραμμα και μία τεχνική ακτινωτής σαρώσεως προς 64 διευθύνσεις στο επίπεδο, και σε μία ακτίνα 40 km περί το επιθυμητό σημείο υψομετρικής παρεμβολής. Αυτή η υπολογιστική εργασία κατανάλωσε περίπου 3 cpu-ημέρες ενός τελευταίας τεχνολογίας SGI, ενώ, αντιστοίχως, η στερεοζεύξις «έτρεξε» επί 9 cpu-ώρες σε δίκτυο 6 Suns. Κατόπιν, η ακρίβεια των z-τιμών ελέγχθηκε έναντι 56 γνωστών, τριγωνομετρικών σημείων, επιλεγθέντων τυ-

χαίως και περιεχομένων στα φύλλα «Πελασγία», «Αμφίκλεια» και «Ελάτεια», κλίμακος 1:50000 και εκδόσεως 1971, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (βλέπε παράρτημα με όλες τις συγκρίσεις στο τέλος). Για το φύλλο «Αμφίκλεια» το,

$$RMSe = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{5860}{16}} = 19.14 \text{ m,}$$

για το φύλλο «Πελασγία» το,

$$RMSe = \sqrt{\frac{2670}{16}} = 12.92 \text{ m,}$$

ενώ για το φύλλο «Ελάτεια» το,

$$RMSe = \sqrt{\frac{6280}{24}} = 16.18 \text{ m,}$$

αντισταίχως. Το συνολικό μέσο τετραγωνικό υψομετρικό σφάλμα (RMSe) ανέρχεται σε 16.26 μ. Εκτιμώ ότι το σφάλμα αυτό επιδέχεται σημαντικής βελτιώσεως (4-5 m), με την προσθήκη περισσότερων σημείων εκκινήσεως και περισσότερων εδαφικών σημείων αναφοράς, καθώς επίσης και με την επονεξέταση του υψομέτρου των από χάρτες 1:5000. Επίσης, δεν έγινε ποσοτική εκτίμηση του επιπεδομετρικού σφάλματος και δεν κατέστη δυνατή η απόκτηση ενός ΨΜΕ-αναφοράς, δηλαδή παραχθέντος με την παραδοσιακή φωτογραμμετρική τεχνική και ίδιου μεγέθους, λόγω του απαγορευτικού κόστους αγοράς. Ωστόσο, το υψομετρικό σφάλμα είναι αποδεκτό και συγκρίσιμο με τα αποτελέσματα αυτομάτου στερεο-ζεύξεως των Day and Muller (1988; RMSe = 21.18 m), και των Theodossiου and Dowman (1990; μέσο σφάλμα 10.72 μέτρων μετά από μηχανική επεξεργασία).

Το επόμενο βήμα θα αφορά την παραγωγή ενός ΨΜΕ 30 m, με περισσότερα σημεία εκκινήσεως και εδαφικά σημεία αναφοράς, όπως επίσης και δοκιμές διαφορετικών μεθόδων παρεμβολής, με στόχο το RMSe να υποχωρήσει κάτωθεν των 10 m. Σημαντική βοήθεια στην επίτευξη αυτού του στόχου σε επιχειρησιακή βάση στο μέλλον, θα μπορούσε να αποτελέσει η σύσταση μιας εθνικής βάσεως δεδομένων αφορούσης εδαφικά σημεία αναφοράς ευκόλως προσδιοριζόμενων σε οπτικές δορυφορικές εικόνες, όπως οδικοί κάμβοι ή γέφυρες σε όλη την επικράτεια. Έτσι, θα γίνει δυνατή και η υποχώρηση του επιπεδομετρικού σφάλματος κάτω του ρίχει, βελτιώνοντας ακόμη περισσότερο το τοπικό γεωμορφολογικό περιεχόμενο του ΨΜΕ. Ωστόσο, το μεγάλο εμπόδιο στην επί-

τευξη της μεγίστης δυνατής ακρίβειας είναι η επί του παρόντος διαστημικώς-προσφερόμενη χωρική διακριτική ικανότητα. Αυτή θα βελτιωθεί αισθητά διά της τροchioθετήσεως οπτικών σαρωτών οι οποίοι θα παρέχουν διακριτική ανάλυση περί τα 5 m και κατά-σάρωση στερεοληπτική ικανότητα, ώστε να καθίσταται δυνατή η "real time» παραγωγή ΨΜΕ. Αυτή ελπίζεται ότι θα αρχίσει λίγο πριν το τέλος της δεκαετίας, όταν εκτοξευθούν διαδοχικώς οι ADEOS, SPOT-5 και LANDSAT-7. Εναλλακτικώς, υψηλής ακρίβειας τοπογραφικά δεδομένα προσφέρουν και τα διαστημικά ραντάρ διά της μεθόδου της διαφορικής συμβολομετρίας των ανακλωμένων μικροκυμάτων (π.χ., Gabriel et al., 1989).

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμώς τον Καθ. Peter Muller και τον συνεργάτη του Mark Upton, του Πανεπιστημίου του Λονδίνου, για την βοήθεια που προσέφεραν στην χρήση του λογισμικού Image-Maker. Το πρόγραμμα αυτό διατίθεται δωρεάν προς ακαδημαϊκή χρήση μόνο μέσω e-mail στην ακόλουθη διεύθυνση: 3DIM-request@ps.ucl.ac.uk. Ο Τχης (Γ) Παναγιώτης Μαλλής της ΓΥΣ, έδωσε όλες τις χαρτογραφικές πληροφορίες για τους τοπογραφικούς χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν. Ευχαριστώ επίσης, τους Andy Banks και Peter Read για την βοήθειά τους στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Η εργασία αυτή αποτελεί μέρος εν εξελίξει ερευνητικών εργασιών στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας προς απόκτηση διδακτορικού διπλώματος, και χρηματοδοτείται από το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (Πρόγραμμα Υποτροφιών Εξωτερικού), και το Πανεπιστήμιο του Reading. Υποστηρίζεται επίσης από το Πανεπιστημιακό Κολλέγιο του Λονδίνου (UCL), το ΙΓΜΕ και την Ιαπωνική Υπηρεσία Διαστήματος (NASDA).

## Βιβλιογραφία

- Day, T., and Muller, J-P. (1988). Quality assessment of digital elevation models produced by automatic stereomatchers from SPOT image pairs. *Photogrammetric Record*, 12 (72), 797-808.
- Day, T., and Muller, J-P. (1989). Digital Elevation Model production by stereo-matching SPOT image-pairs: A comparison of algorithms. *Image and vision Computing*, 7 (2), 95-101.
- Day, T., Cook, A.C., and Muller, J-P. (1992). Automated Digital Topographic mapping Techniques for Mars. *Int. Arch. Photogrammetry & Remote Sensing*, 29 (B4), 801-808.

- Gabriel, A.K., Goldstein, R. M., and Zebker, H.A. (1989). Mapping small elevation changes over large areas: differential Radar Interferometry. *J. Geophys. Res.*, 94(B7), 9183-9191.
- Ganas, A., and White, K. (1995). Neotectonic fault segments and footwall geomorphology in Eastern Central Greece from Landsat TM data. *In: Symposium on the Seismicity of the CarpathoBalkan Region, XV Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association, Athens, in press.*
- Holden, M., Zemerly, M.J., and Muller, J-P. (1992). Parallel Stereo and Motion Estimation. In (I. Pitas, Ed.): *"Parallel Algorithms and Architectures for Digital Image Processing, Computer Vision and Neural Networks"*, chapter 7, 175-232, Wiley.
- Otto, G.P., and Chau, T.W.K. (1989). "Region-growing" algorithm for matching of terrain images. *Image and Vision Computing*, 7(2), 83-94.
- Theodossiou, E.I., and Dowman, I.J. (1990). Heighting Accuracy of SPOT. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56, 1643-1649.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Τυχαία Σημεία ελέγχου τοπογραφικών χαρτών ΓΥΣ.****Φύλλο Αμφίκλεια, 1:50000**

<b>Υψομετρικό σημείο</b>	<b>ΨΜΕ (m)</b>	<b>Χάρτης (m)</b>	<b>Σφάλμα (m)</b>
Τείχος	574	565	+ 9
Μύτικας	563	542	+ 21
Πολύδροσος	823	828	- 5
Μεγ. Ράχη	1013	1049	- 36
Φουσκάραχη	514	507	+ 7
Σκοπιά	718	756	- 38
Μπουρνιάς	463	461	+ 2
Στρογγύλη	436	436	0
Βραχοβούνι	1097	1133	- 36
Σταυρός	1411	1399	+ 12
Παλιολιός	938	925	+ 13
Καθάρα	241	241	0
Κουκουβάγια	420	443	- 23
Βρόμα Ρ.	345	352	- 7
Κόμνινα	252	255	- 3
Κατσούλες	333	351	- 18

$$n = 16 \quad \sum x_i^2 = 5860$$

**Φύλλο Πελοσσία, 1:50000**

<b>Υψομετρικό σημείο</b>	<b>ΨΜΕ (m)</b>	<b>Χάρτης (m)</b>	<b>Σφάλμα (m)</b>
Καλόγηρος	164	183	- 19
Πολιόλακα	243	244	- 1
Πολιόπυργος	578	589	- 11
Καραής	173	190	- 17
Αχλάδι	179	196	- 17
Προφήτης Ηλίας	664	674	- 10
Λιχάδος			
Χούνη	627	617	+ 10
Ξεροσουβάλα	750	736	+ 14
Μυρτιά	490	495	- 5
Μέγα Κοτρώνι	667	669	- 2
Αετοφωλιά	545	522	+ 23
Ταράτσα	910	920	- 10
Ταράτσα (Δυσμάς)	904	911	- 7
Προδότης	211	220	- 9
Τραγοβούνι	659	639	+ 20
Άγιος Σώστης	128	123	+ 5

$$n = 16 \quad \sum \chi_i^2 = 2670$$

## Φύλλο Ελάτεια, 1:50000

Υψομετρικό σημείο	ΨΜΕ (m)	Χάρτης (m)	Σφάλμα (m)
Προφήτης Ηλίας (Ανατολικά)	557	558	- 1
Πολιομπούκριζο	382	372	+ 10
Άγναντη	568	559	+ 9
Προφήτης Ηλίας (Άγνοντη)	605	635	- 30
(Κάστρον)	495	497	- 2
Ζόστανα	635	622	+ 13
Ξεροβούνι	584	588	- 4
Ξεραβούνι (Ανατολικά)	609	600	+ 9
Προφήτης Ηλίας (Γουλέμι)	696	724	- 28
Ζάστανα (Ανατολικά)	458	459	- 1
Άγναντη (Δυτικά)	512	516	- 4
Διαλάτες	372	385	- 13
Ράχη Κουμαριά	467	479	- 12
Προφήτης Ηλίας (Χλωμάν Όρος)	528	522	+ 6
Σκάρφη	631	633	- 2
Γαλασός	373	393	- 20
Ασπρόσσαρα	376	369	+ 7
Ρόδο	623	663	- 40
Κλαδερό	477	499	- 22
Κακόπλαγο	416	433	- 17
Γουλέμι	426	450	- 24
Τρανίτσα	841	823	+ 18
Ανεμάμυλος	651	647	+ 4
Βοιδάστανη	680	686	- 6

$$n = 24 \quad \sum x_i^2 = 6280$$