

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΟΡΕΙΝΩΝ ΟΓΚΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΙΑΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ
ΨΗΦΙΑΚΑ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Γ. Μηλιαρέσης και Δ. Π. Αργιαλάς*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο εδάφους GTOPO30, που καλύπτει το σύνολο της γήινης επιφάνειας, χρησιμοποιείται, προκειμένου να προσομοιωθεί στο περιβάλλον του υπολογιστή η εξαγωγή των ορεινών όγκων σε φυσιογραφική κλίμακα, στην ενότητα Great Basin της φυσιογραφικής περιφέρειας Basin & Range των Νοτιοδυτικών Η.Π.Α. Η μεθοδολογία ολοκληρώνει γεωμορφομετρικές τεχνικές (προσομοίωση ροής) με τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας (κατάτμηση της εικόνας σε ομοιογενείς περιοχές, εύρεση συνδεδεμένων μερών, κ.α.). Κατά το σχεδιασμό της μεθοδολογίας λαμβάνονται υπόψη α) τα προβλήματα που προκύπτουν από τη διακριτή ψηφιακή αναπαράσταση του ανάγλυφου στο ψηφιακό μοντέλο GTOPO30 και β) οι ιδιαίτερες φυσικές διεργασίες που λαβαίνουν χώρα στην περιοχή μελέτης. Τα ορεινά αντικείμενα που εξήχθησαν είναι σε συμφωνία με υπάρχοντες χάρτες και φυσιογραφικές περιγραφές. Η μεθοδολογία που προτείνεται οδηγεί στην αυτοματοποιημένη εξαγωγή των ορεινών αντικειμένων από μέτριας διακριτικής ικανότητας ψηφιακά μοντέλα εδάφους, ενώ παράλληλα επαληθεύει το υψηλής ποιότητας φυσιογραφικό περιεχόμενο του GTOPO30 και αναδεικνύει την αξία του αλλά και τις εφαρμογές του, στη γεωλογία και στη γεωμορφολογία μικρής κλίμακας.

ABSTRACT

The objective of the present research effort was the design of a methodology for the extraction of mountains from the 30 arc-seconds Global Digital Elevation Model (GTOPO30) released by U.S.G.S. in 1997. The developed methodology was demonstrated for the Great Basin Section that belongs to the Basin and Range Physiographic Province in SW U.S.A. The methodology integrates certain geomorphometric techniques (runoff simulation) with the digital image processing techniques (region growing segmentation, connected components labeling). In the design of the methodology were considered: a) the discrete digital representation of earth's relief through GTOPO30 digital terrain model and b) the particular geomorphologic and geologic processes that take place in the study area. It was concluded that the extracted physiographic features were in accordance with the features depicted on existing maps and physiographic descriptions. The proposed methodology leads to the extraction of the mountain objects from moderate resolution digital elevation models. Additionally, it evaluates the physiographic information content of GTOPO30 and points out its value and applications to tectonic and regional geology-geomorphology.

* Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου 15780

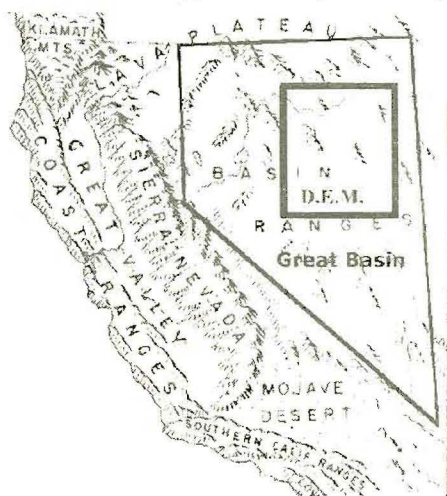
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις αρχές του αιώνα, η μικρής κλίμακας γεωμορφολογική ανάλυση ονομαζόταν φυσιογραφία και βασιζόταν στην κατάτμηση της γήινης επιφάνειας σε περιφέρειες (Blair, 1986), με βάσει την μορφή και την χωρική κατανομή φυσιογραφικών αντικειμένων (ορεινοί όγκοι, επίπεδα πανεπιπέδωσης, υψίπεδα, κ.α.). Κατά αυτόν τον τρόπο η Η.Π.Α. κατατμήθηκε σε 25 περιφέρειες και σε 86 ενότητες από τον Fenneman (1931). Παράδειγμα, η ενότητα Great Basin, η γεωγραφική θέση της οποίας δίνεται στο Σχήμα 1. Η φυσιογραφία σήμερα είναι το εργαλείο με το οποίο επιχειρείται η ερμηνεία των γεωμορφολογικών και γεωλογικών συνθηκών των πλανητών του ηλιακού συστήματος (Greely, 1994) στα πλαίσια διαπλανητικών αποστολών τηλεοπτικής στην Σελήνη, στον Άρη, κ.α. Ο στόχος της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μίας μεθοδολογίας για την εξαγωγή των ορεινών αντικειμένων σε φυσιογραφική κλίμακα από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους GTOPO30, η οποία θα ποσοτικοποιήσει την φυσιογραφική ανάλυση από μόντρια διακριτικής ικανότητας ψηφιακά μοντέλα εδάφους.

1 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους GTOPO30

Η χρησιμότητα των ψηφιακών μοντέλων εδάφους στην φυσιογραφική ανάλυση έχει καταδειχθεί από τους Pike & Thelin (1989). Σήμερα, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους GTOPO30 είναι διαθέσιμο, παρέχοντας μια αναπαράσταση του συνόλου της επιφάνειας της γης με μέγεθος καννάβου 30 δευτέρα της μοίρας (USGS, 1998). Ας σημειωθεί ότι η απόσταση 30 δευτέρων της μοίρας κατά μήκος ενός μεσημβρινού είναι πάντα 926 μέτρα ενώ η ίδια απόσταση κατά μήκος ενός παράλληλου είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους (ϕ) και αντιστοιχεί σε $926 * \eta\mu(\phi)$ μέτρα. Η σύνθεση του GTOPO30 έγινε από δεδομένα που προήλθαν από διαφορετικές πηγές και είχαν διαφορετικές προδιαγραφές ακρίβειας. Για παράδειγμα:

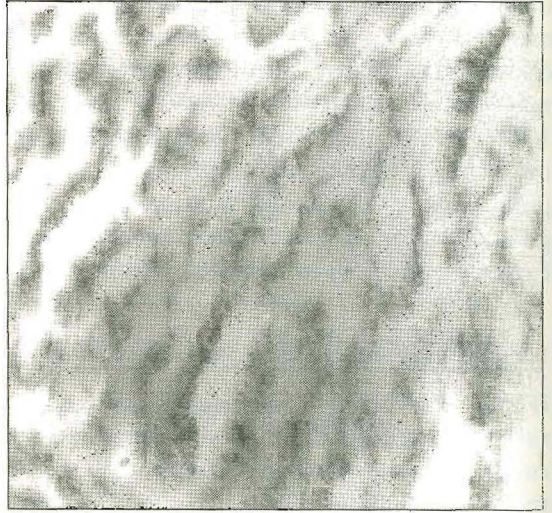
- ✓ Για την Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (ποσοστό 6,7% της επίγειας κάλυψης) χρησιμοποιήθηκαν τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα ενός βαθμού (one-degree) με μέγεθος καννάβου 3 δευτέρα της μοίρας και υψομετρική ακρίβεια ± 30 μέτρα σε διάστημα εμπιστοσύνης 90% (U.S. Geological Survey, 1993). Τα δεδομένα του GTOPO30 προέκυψαν με γενίκευση, διαμέσου της οποίας επιλέχθηκε μια αντιπροσωπευτική τιμή υψομέτρου για την περιοχή έκτασης περίπου ενός τετραγωνικού χιλιομέτρου που αντιστοιχεί σε κάθε κορυφή του καννάβου (U.S. Geological Survey, 1998). Είναι σαφές ότι το μέσο υψομετρικό σφάλμα μεταβάλλεται τοπικά και είναι συνάρτηση της τυπικής απόκλισης του υψομέτρου των κορυφών (περίπου 100) του ψηφιακού μοντέλου ενός βαθμού, οι οποίες περιλαμβάνονται σε μια κορυφή του καννάβου του GTOPO30.
- ✓ Ο χάρτης ψηφιακών ισοϋψών της γης (DCW, digital chart of the world) χρησιμοποιήθηκε για περιοχές που αντιστοιχούν στο 29,9% της γήινης επιφάνειας (U.S. Geological Survey, 1998). Η υψομετρική ακρίβεια είναι ± 650 ενώ η οριζοντιογραφική 2000 μέτρα σε διάστημα εμπιστοσύνης 90% (Defense Mapping Agency, 1992). Τα δεδομένα του GTOPO30 σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια από τα αρχικά δεδομένα (DCW).



Σχήμα 1. Η περιοχή μελέτης (DEM) στην ενότητα Great Basin (Atwood, 1965).

2 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στην φυσιογραφική περιφέρεια Basin and Range και πιο συγκεκριμένα στην υποδαίρεση (ενότητα) Great Basin (Σχ. 1) όπου παρατηρείται μία μοναδική στο είδος της φυσιογραφία, από 160 επιμήκης οροσειρές μεταξύ των οποίων υπάρχει μία αλληλουχία σχεδόν επίπεδων λεκανών απόθεσης (Fenneman, 1931). Η περιοχή οφείλει το όνομα της στον John Charles Fremont, ο οποίος ηγήθηκε μίας εξερεύνησης το 1843-44 στην περιοχή και την ονόμασε «Great Basin» επειδή τα περισσότερα από τα ποτάμια της δεν έχουν διέξοδο στην θάλασσα. Αντίθετα, ρέουν από τα βουνά προς τις λεκάνες απόθεσης όπου και εξαφανίζονται σε επιφανειακές αποθέσεις εβαποριτών (playas) οι οποίες συχνά καλύπτονται από ρηχές εποχικές λίμνες (playa lakes). Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο της περιοχής μελέτης (GTOPO30) τοποθετείται σε γεωγραφικό πλάτος από 38°15' έως 42°N και γεωγραφικό μήκος από 118°30' έως 115°30'W και διορθώθηκε γεωμετρικά έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ των κορυφών του καννάβου να είναι 925 μέτρα (Σχ. 2).



Σχήμα 2. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής μελέτης. Αριθμός γραμμών και στηλών 301 και 319 αντίστοιχα. Οι τιμές του υψομέτρου (ελάχιστο 1005 μ και μέγιστο 3561 μ) τυποποιήθηκαν στο διάστημα 255, 0. Έτσι όσο φωτεινότερο είναι ένα σημείο τόσο μικρότερο είναι το υψόμετρο του. Η κλίμακα είναι 1:3.500.00.

Ο γενικός ορισμός ενός βουνού (ορεινού αντικειμένου) είναι: «τμήμα του στερεού φλοιού που είναι αρκετά υπερυψωμένο (περισσότερο από 300-600 μέτρα) με σχετικά απότομες πλαγιές» (Bates & Jackson, 1987). Επιπλέον τα δομικά τμήματα του κατά τους ίδιους συγγραφείς είναι: α) η κορυφή-κορυφογραμμή (υδροκρίτες) και β) οι πλαγιές. Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά των φυσιογραφικών αντικειμένων στην περιοχή μελέτης (Πίν. 1).

Πίνακας 1. Τα οπτικά και φυσικά χαρακτηριστικά των φυσιογραφικών αντικειμένων της περιοχής μελέτης.

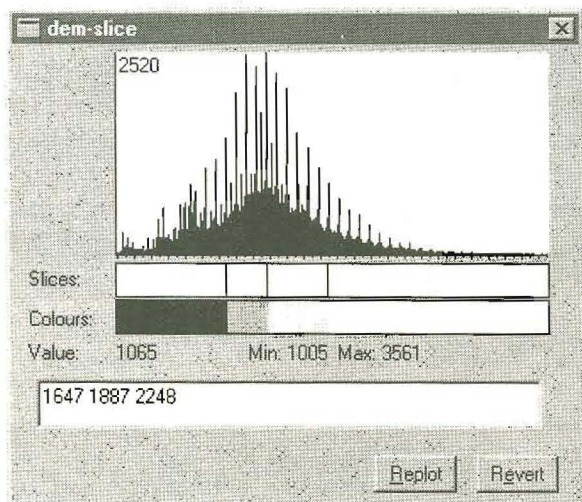
Roughly parallel mountain ranges separated by desert basins (Fenneman 1831, 326 p.). Piedmont slopes occupy narrow belts some miles in width surrounding the mountain ranges. The total area of the section is about evenly divided between mountains and basins (Fenneman 1931, 349 p.).

- ✓ *Basins are almost level (Fenneman 1931, 328 p.). The average gradient of a basin is about 3 degrees (Fenneman 1931, 340 p.). Each basin has its own base level (Fenneman 1931, 345p.).*
- ✓ *Piedmont slopes have the form of alluvial fans or slopes built from the waste of the mountains (Fenneman 1931, 340 p.). Toward the mountains, the surface of a basin rises with increasing steepness until the slope reaches 6 or even 9 degrees (Fenneman 1931, 340 p.).*
- ✓ *The mountain ranges are of all sizes from mere hills or buttes up to ranges rising 4000 ft above sea level. There are more small than larger ones (Fenneman 1931, 330 p.). Lengths of 80 to 110 km and widths of 10 to 24 km are common (Fenneman 1931, 349p.). Single uniform slopes or cliffs (mountainsides) range in steepness from 15° to 90° (Fenneman, 1931, 332 p.).*

Από τον Πίνακα 1 προκύπτει ότι η διάκριση των ορεινών αντικειμένων θα μπορούσε να γίνει με βάση την διαφορά στην κλίση μεταξύ των πλαγιών των ορεινών αντικειμένων και των επιπέδων πανεπιπέδωσης. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η βάση των ορεινών όγκων περιβάλλεται από μια ζώνη μικρού πλάτους από αλλουβιακές προσχώσεις με ενδιάμεσες τιμές κλίσης.

Εάν τα ορεινά αντικείμενα στην περιοχή μελέτης αναπτύσσονταν στο ίδιο πανεπίπεδο, τότε η εξαγωγή τους μπορούσε να γίνει με κατάτμηση του ιστογράμματος συχνότητας του υψομέτρου και επισήμανση όλων των εικονοστοιχείων του ψηφιακού μοντέλο εδάφους με υψόμετρο μεγαλύτερο από κάποια τιμή (υψόμετρο του πανεπιπέδου). Οι βιβλιογραφικές αναφορές (Πίν. 1) προσδιορίζουν ότι κάθε λεκάνη έχει το δικό της υψόμετρο βάσης. Άρα συμπεραίνουμε ότι κατάτμηση ιστογράμματος δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Προκειμένου να γίνει και πειραματική επιβεβαίωση της προηγούμενης

βιβλιογραφικής αναφοράς έγινε κατάτμηση του ιστογράμματος σε τέσσερις κατηγορίες α) 1005-1646, β) 1647-1887, γ) 1887-2248 και δ) 2248-3561 που έχουν την ίδια περίπου συχνότητα 25% (Σχ. 3). Στην συνέχεια κάθε κατηγορία απεικονίσθηκε με διαφορετική απόχρωση του γκρι (Σχ. 4). Παρατηρείται ότι τα επίπεδα πανεπιπέδωσης στο Βορειοανατολικό τμήμα αναπτύσσονται σε υψόμετρο κάτω από τα 1647 μέτρα ενώ στο υπόλοιπο τμήμα είναι πάνω από τα 1647 (εξαιρέση αποτελούν δύο λεκάνες απόθεσης στον Νοτιοδυτικό τμήμα).



Σχήμα 3. Κατάτμηση του ιστογράμματος του υψόμετρου σε τέσσερις κατηγορίες.



Σχήμα 4. Απεικόνιση των κατηγοριών κατάτμησης (όσο φωτεινότερη είναι η περιοχή τόσο μεγαλύτερο είναι το υψόμετρο).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι Graff and Usery (1993) πρότειναν μια μέθοδο για την ταξινόμηση ορεινών και μη ορεινών περιοχών από ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα 7,5 λεπτών (7,5 minute) των Η.Π.Α. (U.S. Geological Survey, 1993) με διάσταση κανάβου 30 μέτρα. Η μέθοδος χρησιμοποιεί το μέτρο της κλίσης και τα τοπικά μέγιστα του ανάγλυφου ορισμένα σε μία γειτονιά διάστασης 3*3 κορυφών. Ο καθορισμός των ορεινών περιοχών γίνεται σε δύο στάδια:

1. Στο πρώτο στάδιο, ορίζεται ένα αρχικό σύνολο από σημεία-σπόρους που ανήκουν στις ορεινές περιοχές (τα τοπικά μέγιστα του ανάγλυφου).
2. Στο δεύτερο στάδιο, νέα σημεία του ψηφιακού μοντέλου προστίθενται στο αρχικό σύνολο, με βάση την εγγύτητα τους με σημεία που έχουν ήδη ταξινομηθεί στις ορεινές περιοχές και εφόσον το μέτρο της κλίσης τους ξεπερνά κάποια προκαθορισμένη τιμή.

Στην φυσιογραφική ανάλυση η κατάτμηση του ανάγλυφου γίνεται σε πολύ μικρότερη κλίμακα και επομένως πρέπει να ληφθεί υπόψη η αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας σε μέτριας διακριτικής ικανότητας ψηφιακά μοντέλα εδάφους (διάσταση 500 έως 1000 μέτρα). Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να εξετασθεί η οριζοντιογραφική και η υψομετρική ακρίβεια σε συνδυασμό με την διακριτική ικανότητα (διάσταση) του ψηφιακού μοντέλου εδάφους GTOPO30 καθώς και η επίδραση αυτών των παραμέτρων στον προσδιορισμό της κλίσης και των τοπικών μεγίστων του υψόμετρου. Επιπλέον πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ιδιαίτερες φυσικές διεργασίες που λαβαίνουν χώρα και οι οποίες προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά των φυσιογραφικών αντικειμένων στην περιοχή μελέτης. Στην συνέχεια η μέθοδος θα προσδιορίσει ένα σύνολο από αρχικά σημεία που ανήκουν στις ορεινές περιοχές με την χρήση εξειδικευμένων γεωμορφομετρικών τεχνικών. Ακολουθεί η κατάτμηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με επαναληπτικές θεωρήσεις, με βάσει α) την χωρική εγγύτητα των σημείων προς το σύνολο των αρχικών σημείων και β) ποσοτικά κριτήρια που είναι συνάρτηση του μέτρου της κλίσης.

1 Υπολογισμός της Κλίσης στο Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο GTOPO30

Ο υπολογισμός του μέτρου και της διεύθυνσης της κλίσης (Evans, 1980) είναι απαραίτητος για τον καθορισμό του αυξητικού κριτηρίου του αλγορίθμου κατάτμησης και τον προσδιορισμό των αρχικών

σημείων σπόρων. Ο τρόπος εκτίμησης αυτών των ποσοτήτων είναι συνάρτηση της ακρίβειας και της διακριτικής ικανότητας του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Προκειμένου να αναπτυχθεί μια μέθοδος η οποία θα μπορεί να εφαρμοσθεί οπουδήποτε, με δεδομένη την διαθεσιμότητα του GTOPO30 για όλη την γη, θεωρήθηκαν οι προδιαγραφές ακρίβειας του DCW. Δηλαδή η υψομετρική ακρίβεια είναι ±650 μέτρα και η οριζοντιογραφική ακρίβεια 2000 μέτρα δηλαδή περίπου τριπλάσια της διακριτικής ικανότητας. Το μειονέκτημα αυτής της θεώρησης είναι ότι ο προσδιορισμός της κλίσης γενικεύεται περισσότερο σε περιοχές που έχουν προέλθει από ψηφιακά δεδομένα με καλύτερες προδιαγραφές ακρίβειας, όμως τα αποτελέσματα πρέπει να είναι συγκρίσιμα με αυτά των περιοχών που έχουν προέλθει από το DCW. Ο υπολογισμός των παραμέτρων της κλίσης σε μία γειτονιά διάστασης 3*3 που προτείνεται από τους Graff & Usery (1993) δεν επαρκεί, αφού η αβεβαιότητα στην θέση ενός καννάβου διάστασης 3*3 κυμαίνεται σε ένα κάνναβο διάστασης 9*9. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται, ο τελεστής Z προσαρμοσμένος σε μία γειτονιά διάστασης 9*9. Ο ίδιος τελεστής προσαρμοσμένος σε μια γειτονιά 6*6 χρησιμοποιήθηκε από τους Qian et al. (1990) για την εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου. Ο τελεστής Z για το σημείο με συνταγμένες k και l (γραμμή και στήλη, αντίστοιχα) του ψηφιακού μοντέλου, αποτελείται από 9 λειτουργικές μονάδες και ο υπολογισμός του υψομέτρου σε κάθε μια από αυτές γίνεται με την σχέση που ακολουθεί:

$$Z_{[i,j]}^{k,l} = \frac{1}{9} \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 H[k+m+(3*i), l+n+(3*j)] \quad \text{όπου } i=-1,0,1 \quad j=-1,0,1 \quad [\text{Εξ. 1}]$$

Είναι σαφές από την Εξ. 1, ότι σε κάθε λειτουργική μονάδα του τελεστή Z υπολογίζεται η μέση τιμή του υψομέτρου σε μια γειτονιά διάστασης 3*3, έτσι εξουδετερώνεται σε ένα βαθμό το μέσο υψομετρικό σφάλμα. Οι μερικές παράγωγοι κατά μήκος των διευθύνσεων Ανατολή-Δύση και Βορράς-Νότος για το σημείο [k, l] υπολογίζονται με τον τελεστή SOBEL (Mather, 1987) και τον τελεστή Z^{k,l} ως εξής:

$$\partial H / \partial x = Z^{k,l}(-1,1) + 2 * Z^{k,l}(0,1) + Z^{k,l}(1,1) - Z^{k,l}(-1,-1) - 2 * Z^{k,l}(0,-1) - Z^{k,l}(1,-1) \quad [\text{Εξ. 2}]$$

$$\partial H / \partial y = Z^{k,l}(1,-1) + 2 * Z^{k,l}(1,0) + Z^{k,l}(1,1) - Z^{k,l}(-1,-1) - 2 * Z^{k,l}(-1,0) - Z^{k,l}(1,-1) \quad [\text{Εξ. 3}]$$

Ο προσδιορισμός του μέτρου της κλίσης (gradient) και της διεύθυνσης του διανύσματος της κλίσης (aspect) με φορά σύμφωνη προς την φορά της βαρύτητας (downslope) γίνεται σε συνάρτηση των μερικών παραγώγων (Εξ.2 & Εξ.3) από τις ακόλουθες εξισώσεις (Burrough, 1986):

$$\text{Gradient} = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)^2} \quad [\text{Εξ. 4}]$$

$$\text{Aspect} = \arctan\left(\frac{-\frac{\partial H}{\partial y}}{\frac{\partial H}{\partial x}}\right) \quad [\text{Εξ. 5}]$$

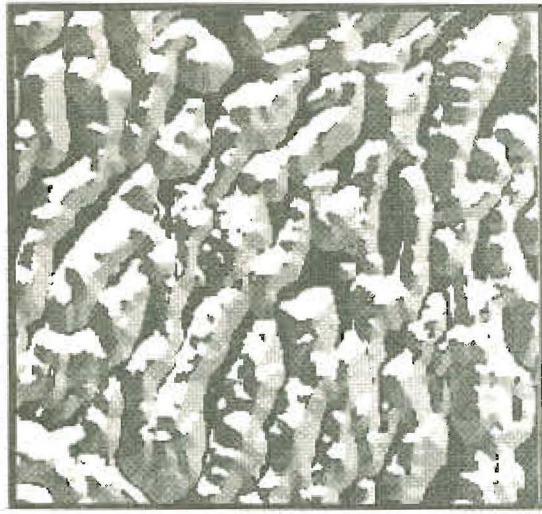
Το μέτρο της κλίσης εκφράζεται σε μοίρες (Σχ. 5), ενώ η διεύθυνση της κλίσης (Σχ. 6) τυποποιείται στις οκτώ διευθύνσεις που ορίζονται σε μία ψηφιακή εικόνα (Πίν. 2). Με 0 συμβολίζονται τα σημεία στα οποία το μέτρο της κλίσης είναι μικρότερο από 2 μοίρες (επίπεδες επιφάνειες) και το διάνυσμα της κλίσης δεν μπορεί να ορισθεί.

BA=4	Βορράς=3	BA=2
Δύση=5		<u>Ανατολή=1</u>
NA=6	Νότος=7	NA=8

Πίνακας 2. Κωδικοποίηση των 8 διακριτών γεωγραφικών διευθύνσεων που ορίζονται σε μια ψηφιακή εικόνα σε σχέση πάντα με το κεντρικό σημείο σε μία γειτονιά διάστασης 3*3.

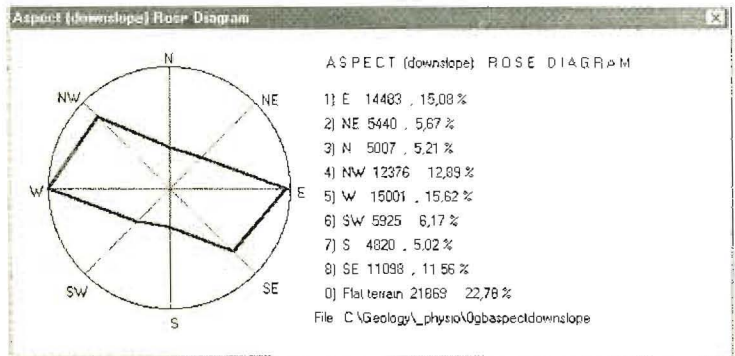


Σχήμα 5. Το μέτρο της κλίσης κυμαίνεται στο διάστημα $[0^{\circ}, 35^{\circ}]$ και τυποποιήθηκε στο διάστημα $[255, 0]$. Όσο φωτεινότερο είναι ένα σημείο τόσο μικρότερο είναι το μέτρο της κλίσης.



Σχήμα 6. Το διάνυσμα της κλίσης (aspect) με φορά ανάντη της κλίσης (upslope) κυμαίνεται στο διάστημα $[0, 8]$ και τυποποιήθηκε στο διάστημα $[0, 255]$.

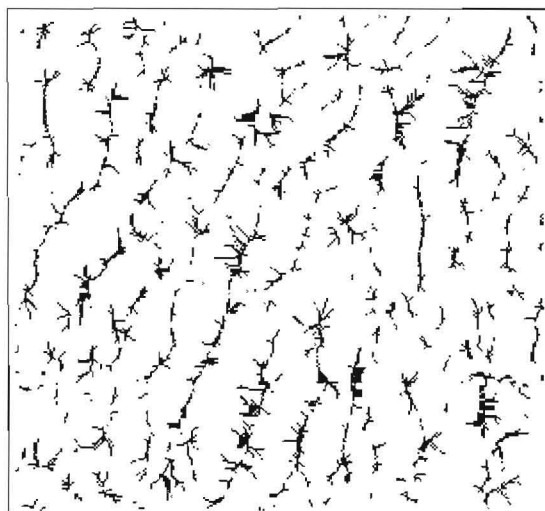
Η μελέτη του ροδογράμματος του διανύσματος της κλίσης (Σχ. 7) υποδεικνύει ότι τα μέγιστα κατανέμονται στις διευθύνσεις Δ-Α και ΒΔ-ΝΑ. Δηλαδή είναι σε αντιστοιχία με τον προσανατολισμό των οροσειρών (B-N, BA-NA), αφού τα διανύσματα της κλίσης πρέπει να αποκλίνουν σε γενικές γραμμές σε διευθύνσεις κάθετες προς τους άξονες των οροσειρών.



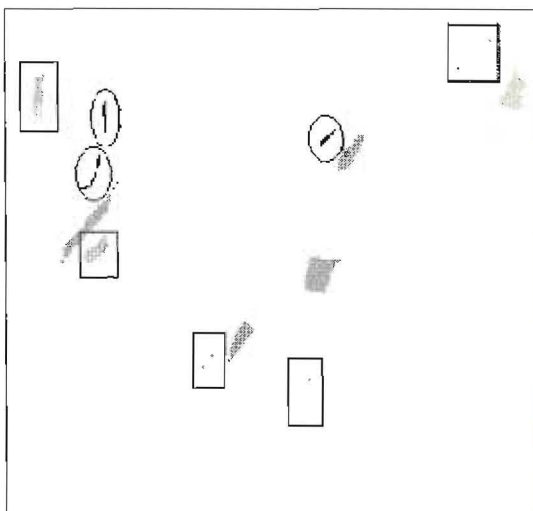
Σχήμα 7. Ροδόγραμμα των διευθύνσεων του διανύσματος της κλίσης κατά την φορά της βαρύτητας.

2 Προσδιορισμός των Αρχικών Σημείων-Σπόρων και του Αυξητικού Κριτηρίου

Οι Graff & Usery (1993), χρησιμοποιούν τα τοπικά μέγιστα του υψομέτρου ορισμένα σε μία γειτονιά διάστασης 3*3 σαν τα αρχικά σημεία-σπόρους. Αυτή η μέθοδος είναι πολύ ευαίσθητη σε μικρά σφάλματα των τιμών του υψομέτρου ιδιαίτερα αν συνυπολογιστεί το μέσο σφάλμα στην υψομετρική ακρίβεια του GTOPO30. Αντί αυτής, χρησιμοποιείται, η μέθοδος προσομοίωσης ροής (Mark, 1984) κατά την οποία μία σταγόνα εισέρχεται σε κάθε σημείο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και κινείται με φορά ανάντη της κλίσης. Οι σταγόνες που διέρχονται από τα σημεία του ψηφιακού μοντέλου μετρούνται και προσδιορίζουν το δυναμικό ροής του κάθε σημείου όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί. Τα σημεία με δυναμικό ροής πάνω από την μέση τιμή (Σχ. 8) είναι εγγύτερα προς τους υδροκρίτες και θεωρούνται σαν τα αρχικά σημεία σπόροι των ορεινών όγκων.



Σχήμα 8. Τα σημεία με δυναμικό ροής (κατά την φορά αντίθετη από την φορά της βαρύτητας) μεγαλύτερο του 13 (μέση τιμή).



Σχήμα 9. Οι περιοχές σε κύκλο αντιστοιχούν στις κορυφές βουνών, σε παραλληλόγραμμα στις πλαγιές των βουνών και οι υπόλοιπες αντιστοιχούν στις λεκάνες απόθεσης.

Το αυξητικό κριτήριο βασίστηκε στο μέτρο της κλίσης (Graff & Usery 1993, Bates & Jackson 1987). Η μελέτη της ψηφιακής εικόνας του μέτρου της κλίσης (Σχ. 5) υποδεικνύει ότι οι πλευρές των βουνών έχουν τις υψηλότερες τιμές κλίσης σε αντίθεση με τις κορυφές των βουνών και τις λεκάνες απόθεσης. Τα παραπάνω είναι σε αρμονία με τις φυσιογραφικές περιγραφές (Πίν. 1) του Fenneman (1931). Προκειμένου να προσδιορισθεί το εύρος των τιμών της κλίσης, περιοχές εκπαίδευσης επιλέχθηκαν κατά μήκος των πλαγιών, των κορυφών των βουνών, καθώς και των λεκανών απόθεσης (Σχ. 9).

Τα στατιστικά δεδομένα (Πίν. 3) υποδεικνύουν ότι οι λεκάνες είναι επίπεδες, οι πλαγιές έχουν τις μεγαλύτερες κλίσεις, ενώ οι κορυφές είναι είτε επίπεδες είτε παρουσιάζουν μικρή

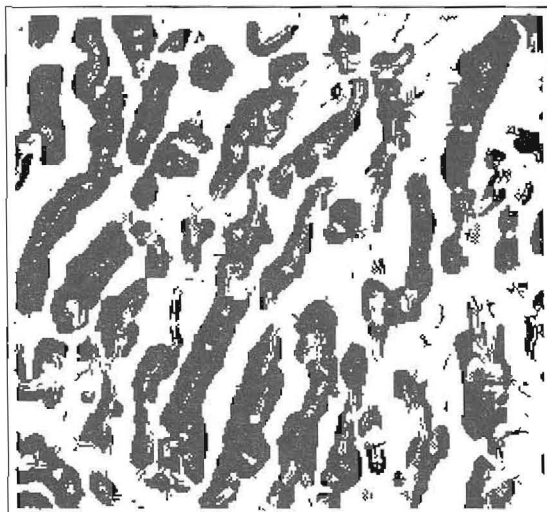
Πίνακας 3. Στατιστικές Παράμετροι για τις Περιοχές Εκπαίδευσης (Σχ. 9).

Φυσιογραφικά αντικείμενα	Αριθμός Σημείων	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή
Λεκάνες απόθεσης	1114	0,41	0,6	0	3
Πλαγιές βουνών	426	18,5	6,2	6	31
Κορυφές βουνών	134	4,2	2,6	0	11

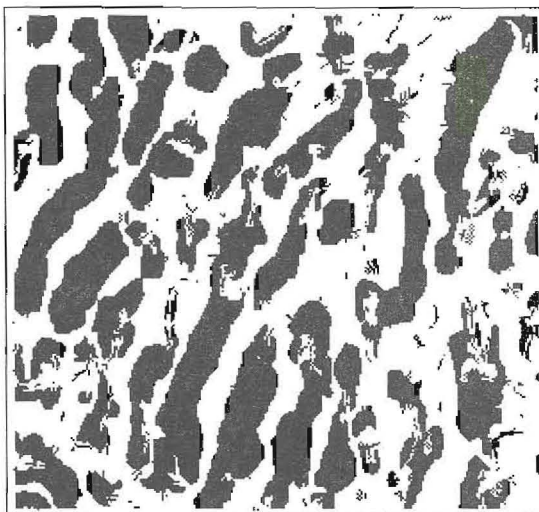
κλίση. Το αυξητικό κριτήριο προσδιορίστηκε ως μέτρο της κλίσης μεγαλύτερο από 6 μοίρες έτσι ώστε να γίνει διάκριση των λεκανών απόθεσης από τις πλαγιές των βουνών (Πίν. 3).

3 Κατάτμηση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους

Εφαρμόστηκε μία επαναληπτική διαδικασία κατάτμησης. Ένα σημείο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους που είναι 8απλής-σύνδεσης γείτονας προς το σύνολο των αρχικών σημείων-σπόρων, συμπεριλαμβάνεται σε αυτά, εάν το μέτρο της κλίσης του είναι μεγαλύτερο από 6 μοίρες. Το τελικό αποτέλεσμα απεικονίζεται στο Σχ. 10. Παρατηρούνται νησίδες μη ορεινών περιοχών (Σχ. 10) που κατανέμονται στις κορυφογραμμές. Η διόρθωση τους έγινε με την εφαρμογή κριτηρίων επαναταξινόμησης βασισμένων στο μέγεθος των νησίδων (Σχ. 11).

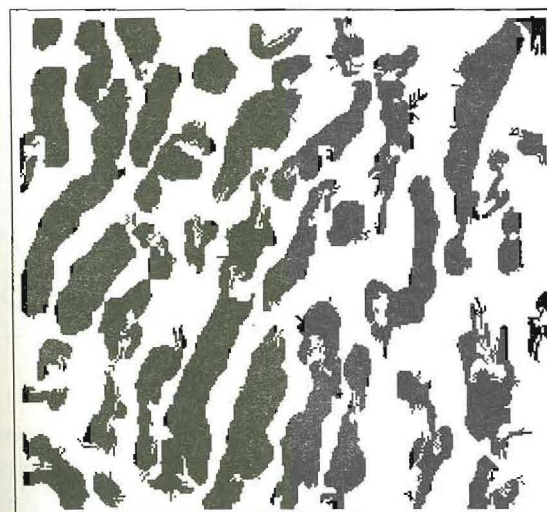


Σχήμα 10. Αρχική Ταξινόμηση των Ορεινών Περιοχών. Τα σημεία που ανήκουν στις ορεινές περιοχές έχουν απεικονιστεί μαύρα.

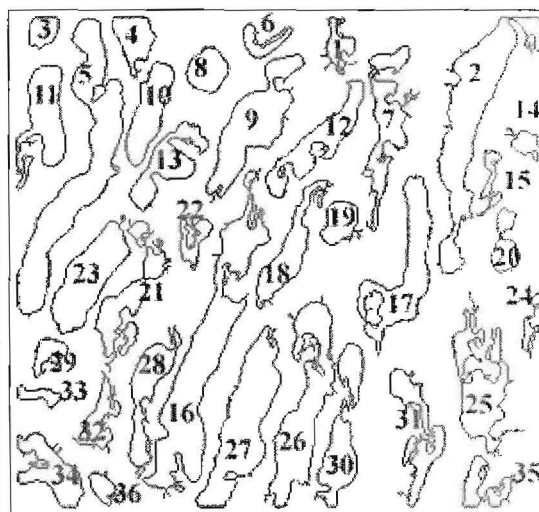


Σχήμα 11. Η εικόνα των ορεινών περιοχών, μετά την επαναταξινόμηση των μη ορεινών περιοχών.

Μικρές στο μέγεθος νησίδες ορεινών περιοχών διορθώθηκαν ανάλογα (Σχ. 12). Στην συνέχεια με την εφαρμογή ενός αλγορίθμου εύρεσης συνδεδεμένων μερών (Pitas, 1993) προσδιορίστηκαν τα σημεία που ανήκουν σε κάθε ορεινό αντικείμενο. Τα ορεινά αντικείμενα αναπαραστάθηκαν παραμετρικά με το μέγεθος, την μέση κλίση και το μέγιστο υψόμετρο (Σχ. 13, Πίν. 4).



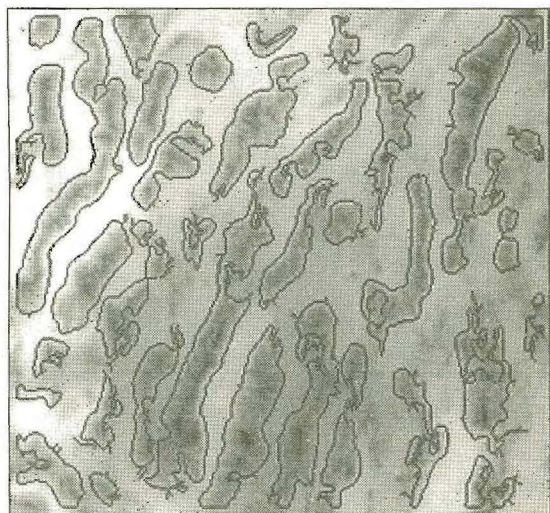
Σχήμα 12. Η τελική εικόνα των ορεινών περιοχών, μετά την επαναταξινόμηση των ορεινών περιοχών.



Σχήμα 13. Κωδικοποίηση των ορεινών αντικειμένων. Τα σημεία που απαρτίζουν ένα αντικείμενο δηλώνονται με τον ίδιο ακέραιο.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Αρχικά αξιολογείται η απόδοση του αλγορίθμου με την ερμηνεία της εικόνας (Σχ. 14) που προκύπτει από την υπέρθεση των ορίων των ορεινών αντικειμένων στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Μετά αξιολογείται το φυσιογραφικό περιεχόμενο με την σύγκριση τους με τις οροσειρές (Σχ. 15) που περιέχει ο χάρτης του Atwood (1965).



Σχήμα 14. Υπέρθεση των ορίων των ορεινών αντικειμένων στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους.



Σχήμα 15. Ο φυσιογραφικός χάρτης του Atwood (1965).

N O	Εμβα- δό (χλμ. ²)	Περί- μετρος (χλμ.)	Μέγ. Υψόμε- τρο (μ)	Μέση κλίση (°)
1	337	118	2305	9.1
2	2552	404	3330	15.7
3	257	53	2242	13.2
4	520	94	2755	13.2
5	2964	400	2457	14.0
6	275	96	2133	12.1
7	1190	341	2619	9.3
8	458	66	2443	12.7
9	1638	237	2890	11.0
10	836	124	2854	14.9
11	1087	220	2794	15.3
12	1035	219	2617	11.3
13	872	179	2523	12.2
14	211	71	2712	10.8
15	250	104	2472	9.5
16	3204	537	3413	13.8
17	1498	293	3102	12.5
18	882	204	2743	11.1
19	410	81	3034	9.9
20	366	87	2716	11.4
21	1077	298	2925	11.9
22	305	118	2431	9.7
23	1338	144	2910	13.7
24	194	99	2742	10.3
25	1399	387	3385	11.8
26	1949	353	3289	11.2
27	2024	257	3561	12.5
28	903	215	2985	11.7
29	249	81	2338	11.6
30	1088	236	2999	11.7
31	886	276	2682	9.7
32	465	145	2572	12.1
33	197	58	2069	10.0
34	803	161	2499	11.4
35	430	152	1861	13.1
36	202	55	2362	8.5

Παρατηρείται ότι ο αλγόριθμος λειτουργεί καλά και τα ορεινά αντικείμενα (Σχ. 14) αντιστοιχούν με τα φυσιογραφικά αντικείμενα (Σχ. 15). Κάποιες μικρές διαφορές οφείλονται στο ότι τα αντικείμενα εξήχθησαν από μια ψηφιακή αναπαράσταση του γήινου ανάγλυφου με ποσοτικά κριτήρια. Από την άλλη πλευρά ο Atwood (1965) χρησιμοποίησε ανθρώπινη εμπειρία και γνώση, για αυτό συνδέει απομονωμένες βουνοκορφές και διακοπτόμενες οροσειρές σε ενιαίες οντότητες.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η μέθοδος που εφαρμόστηκε οδηγεί στην αυτοματοποιημένη εξαγωγή των ορεινών αντικειμένων από μέτριας διακριτικής ικανότητας ψηφιακά μοντέλα εδάφους, ενώ παράλληλα επαληθεύει τις υψηλής ποιότητας φυσιογραφικές πληροφορίες που εμπεριέχει το GTOPO30 και παράλληλα αναδεικνύει την αξία του και τις εφαρμογές του, στην γεωλογία-γεωμορφολογία μικρής κλίμακας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Atwood, W.W., 1965. Physiographic Provinces of North America, 3rd edn. Ginn and Co., Boston, 535 pp.
- Bates, R.L., Jackson, J.A. (Eds.), 1987. Glossary of Geology. American Geological Institute, Alexandria, Virginia, 788 pp.
- Blair, R.W., (1986). Regional Landform Analysis. In: Short, N.M., Blair, R.W. (Eds), Geomorphology From Space, a Global Overview of Regional Landforms. United States (NASA SP-486). Government Printing Office, Washington DC, pp.1 - 22.
- Burrough, P.A., 1987. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, 194 p.
- Defense Mapping Agency, 1992. Development of the Digital Chart of the World. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 91 pp.
- Evans, I.S., 1980. An Integrated System for Terrain Analysis and Slope Mapping. Zeitschrift fuer Geomorphologie N.F. Suppl.-Bd., 36, 274-290.
- Fenneman, N., 1931. Physiography of Western United States. McGraw-Hill Book Co., New York, 534 pp.
- Graff, L.H., Usery, E.L., 1993. Automated Classification of Generic Terrain Features in Digital Elevation Models. Photogramm. Engin. and Remote Sensing 59(9), 1409-1417.
- Greeley, R., 1994. Planetary Landscapes. Chapman and Hall, New York, 286 pp.
- Mark, D.M., 1984. Automated Detection of Drainage Network from Digital Elevation Models. Cartographica 21, 168-178.
- Mather, P.M., 1987. Computer Processing of Remotely-Sensed Images. John Wiley and Son, New York, 352 pp.
- Pike, R.J., Thelin, G.P., 1989. Cartographic Analysis of U.S. Topography From Digital Data. In: Proceedings of the ASPRS/ACSM Auto-Carto 9, Baltimore, M.D., U.S.A, pp. 631-640.
- Pitas, I., 1993. Digital Image Processing Algorithms. Prentice Hall, London, 362 pp.
- Qian, J., Ehrlich, R.W., Campell, J. B., 1990. DNESYS-An Expert System for Automatic Extraction of Drainage Networks From Digital Elevation Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 20 (1), 29-45.
- U.S. Geological Survey, 1993. Digital Elevation Models: Data Users Guide 5. National Mapping Program, Reston, 48 pp.
- U.S. Geological Survey, 1998. GTOPO30: 30 arc seconds Global Digital Elevation Model. [Http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/gtopo30.html](http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/gtopo30.html)