

## ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΟΡΕΙΝΩΝ ΟΓΚΩΝ ΣΤΗΝ ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΖΑΓΡΟΣ RANGES (IRAN) ΑΠΟ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ ΓΤΟΡΟ30\*

Γ.Χ. ΜΗΛΙΑΡΕΣΗΣ<sup>1</sup>

### ΣΥΝΟΨΗ

Η μεθοδολογία αυτοματοποιημένου εντοπισμού ορεινών όγκων από το ΓΤΟΡΟ30 τροποποιήθηκε εξαιτίας των ιδιαίτερων γεωμορφομετρικών χαρακτηρισιστικών της περιοχής μελέτης Zagros Ranges στο Ιράν. Τώρα η κατάτμηση του ψηφιακού μοντέλου διακόπτεται όταν προσεγγίζονται τα σημεία που ανήκουν στο υδρογραφικό δίκτυο και κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κατάτμηση των ορεινών όγκων στο ΒΔ τμήμα όπου παρατηρούνται φαράγγια με πολύ μεγάλες κλίσεις και οι ορεινοί όγκοι διαχωρίζονται από πολύ στενές επιμήκης κοιλάδες. Οι ορεινοί όγκοι που εντοπίστηκαν είναι σε συμφωνία με τα ορεινά αντικείμενα που ερμηνεύονται από τον χάρτη οσσιασμένου ανάγλυφου της περιοχής μελέτης.

### ABSTRACT

In a previous research effort a methodology (DEM-to-Mount transformation) was developed for the extraction of mountains from the GTOPO30 digital elevation model (DEM). The GTOPO30 DEM represents the earth's relief at regional scale with spacing 30 arc seconds. The method was implemented in SW U.S.A (Basin and Range) where the crust is under tensional forces, thins by normal faulting, and results in an array of tipped mountain blocks that are separated from broad plain basins. The methodology integrates certain geomorphometric techniques (runoff simulation) with the digital image processing techniques (segmentation, connected components labelling, small objects elimination) and it is actually a region-growing segmentation algorithm that uses the ridge pixels as seeds and a growing criterion based on gradient.

The objective of the present research effort is to implement (and modify, if needed) the DEM-to-Mountain transformation to an area of compressional stress such as the Zagros Ranges where collision of the Arabian shield with Iran has shortened and thickened the crust to produce a spectacular mountainous physiography. The linear topographic highs represent huge folds (NW-SE anticlines), marked by SW facing topographic escarpments while the geometry of anticlines indicates the existence of basement (high angle) reverse faults that do not cut the overlying folds. In the SE portion of Zagros Ranges broad gently sloping valleys are observed in between the mountain features. On the contrary in the NW more tightly spaced mountain features are observed while narrow, deep, and high sloping valleys are developed in between them.

In order to cope with these conditions, the method was modified and the valley pixels were not allowed to participate in the region-growing segmentation process. More specifically, gradient and the aspect were computed on the basis of the Z-operator and the Sobel operator. Then, runoff simulation was implemented using the steepest-descent flow accumulation algorithm and ridge pixels and valley pixels were labeled on the basis of their runoff accumulation value. Two thresholds were identified through a trial and error procedure and the pixels with upslope-runoff greater than 9 were labelled as ridge pixels while those pixels with downslope-runoff greater than 7 were labelled as valley pixels. Finally an iterative region-growing segmentation algorithm was applied. During the first iteration, the ridge pixels formed the initial set of mountain pixels while the rest of the pixels formed the current set of non-mountain pixels. In each iteration, if a non mountain pixel satisfied the following three conditions (a) it's gradient was  $> 6^\circ$ , (b) the pixel was an 8-connected neighbor to the current set of mountain pixels and (c) it did not belong to the set of valley pixels, then it was flagged as a new mountain pixel and the current set of mountain pixels was updated. The segmentation stopped if no more pixels were added during the current iteration.

The output was a bit noisy due to the very small isolated islands of mountain pixels that represent either small remnants or artificial error peaks. Additionally some small islands of non-mountain pixels on mountaintops represent flat or gently sloping areas (gradient  $< 6^\circ$ ). To correct these artifacts, a connected component-label-

\* EXTRACTION OF MOUNTAINS FROM THE GTOPO30 DEM USING A REGION-GROWING SEGMENTATION ALGORITHM

1. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Ε.Μ.Π., Τριτοπόλεως 38, Αθήνα 104-42, Email: miliariesis@email.com

ling algorithm was applied and both foreground (mount terrain class) and background objects (non-mount terrain class) were identified and shorted in ascending size order. Then, small isolated islands with size less than 60 pixels of mountain pixels were removed (assigned to the background). Additionally, small islands (size less than 40 pixels) of non-mountain pixels standing on mountaintops and surrounded by mountain pixels were merged to the mountain terrain class.

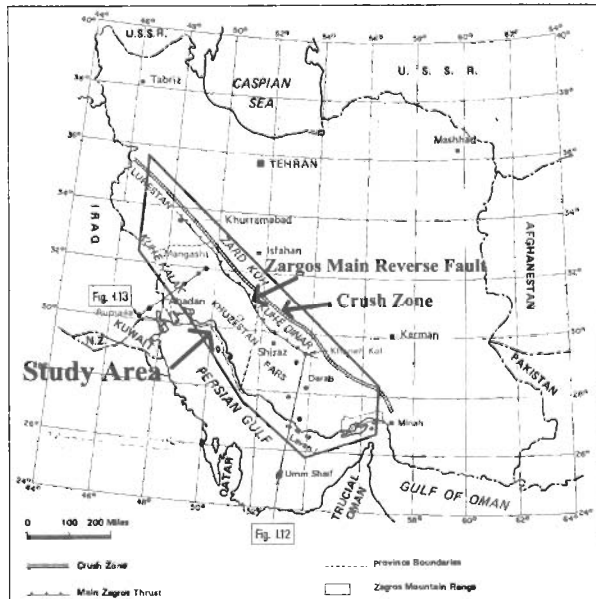
The segmentation of Zagros Mountains was judged from the visual interpretation with the computer-shaded relief map of the DEM of the study area (location of the simulated sun was 30° above the horizon at NW). Digital shaded-relief maps are a valuable tool for the computer visualization of landscape morphometry, allowing the surface features to be viewed in a broad regional context. Borderlines of the mountain objects were delineated and superimposed on the shaded-relief map. The extracted mountain objects were interpreted to be in accordance with the mountain features interpreted visually from the shaded relief map. The methodology allowed the extraction of mountain features in an area with different regional geomorphic conditions than those observed in the Basin and Range physiographic province. In the future, the mountains will be represented by a set of numerical attributes and the landscape will be characterized on the basis of the morphometry of mountains.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Κατάτμηση πεδίου, Γεωμορφομετρία, Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, Μορφοτεκτονική, Γεωμορφολογία μικρής κλίμακας.

**KEY WORDS:** Terrain segmentation, Geomorphometry, Digital image processing, Morphotectonics, Global geomorphology.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

Πολλές ερευνητικές προσπάθειες στο παρελθόν κατέγραψαν την σχέση της μορφολογίας του εδάφους με την τεκτονική (Merritts και Ellis 1994, Keller και Pinder 1996, Summerfield 2000). Όμως μέχρι σήμερα, οι οροσειρές δεν έχουν θεωρηθεί σαν οι βασικές μορφοτεκτονικές οντότητες σε φυσιογραφική κλίμακα και δεν έγινε προσπάθεια να εντοπισθούν από ψηφιακά μοντέλα εδάφους (ποσοτικός-σαφής ορισμός) και να περιγράψουν μαθηματικά (παραμετρική αναπαράσταση που επιτρέπει στατιστική σύγκριση και δημιουργία προτύπων).



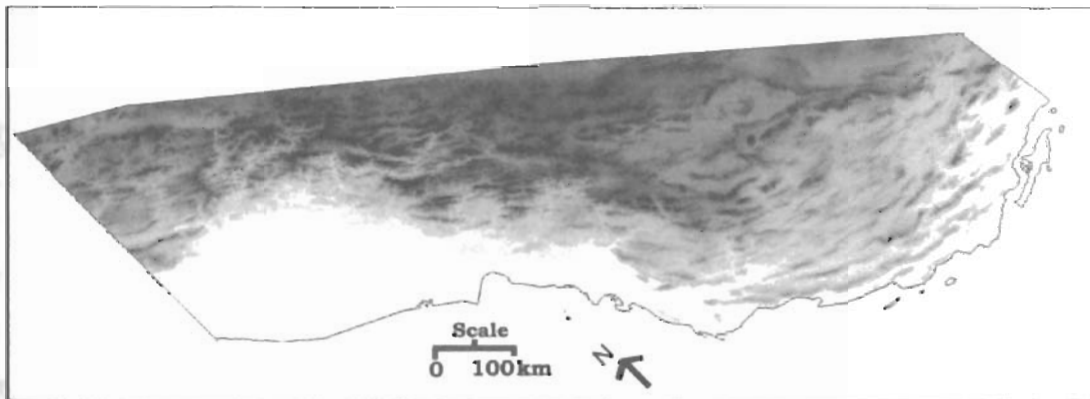
**Σχήμα 1.** Η περιοχή μελέτης στο φυσιογραφικό χάρτη του Ιραν (Asfar et al. 1976).  
**Figure 1.** The study area within the Zagros Ranges physiographic zone (Asfar et al. 1976).

Σήμερα το ψηφιακό μοντέλο εδάφους GTOPO30 με μέγεθος καννάβου 30 δεύτερα της μίρας (US Geological Survey 1998) επιτρέπει την αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας σε μικρή κλίμακα, ενώ αναπτύχθηκε μεθοδολογία εντοπισμού των ορεινών όγκων από το GTOPO30 (Miliareisis και Argialas 1998a, 1998b, 1999a, 1999b, 1999c, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025).

1999b). Η μέθοδος εφαρμόστηκε στην φυσιογραφική ενότητα Basin and Range (Ν.Α. Η.Π.Α.) όπου εφελκυστικές τάσεις δημιουργούν μια σειρά από ασύμμετρες και κεκλιμένες οροσειρές ανάμεσα από επίπεδες λεκάνες απόθεσης (Powell 1995). Αυτή η ερευνητική προσπάθεια αποσκοπεί στην εφαρμογή και τροποποίηση (εάν αυτό κριθεί απαραίτητο) της μεθοδολογίας εντοπισμού των ορεινών όγκων στην φυσιογραφική ενότητα Zagros Ranges μια περιοχή όπου τα μορφοτεκτονικά δεδομένα είναι διαφορετικά από αυτά της ενότητας Basin and Range (Oberlander 1985, Tucker και Slingerland 1996, Kooi και Beaumont 1996, Seber et al. 1997). Κατά αυτό τον τρόπο θα αναπτυχθεί μια μεθοδολογία που θα επιτρέπει την κατάρτιση των οροσειρών σε γήινη κλίμακα επιτρέποντας την ποσοτική σύγκριση φυσιογραφικών ενότητων και την μαθηματικοποίηση της φυσιογραφικής ανάλυσης. Η μεθοδολογία υλοποιείται στο λογισμικό περιβάλλον GeoLogic Shell που διατίθεται στο διαδίκτυο στην διεύθυνση <http://miliarexis.tripod.com/> ή <http://members.nbc.com/miliarexis/>.

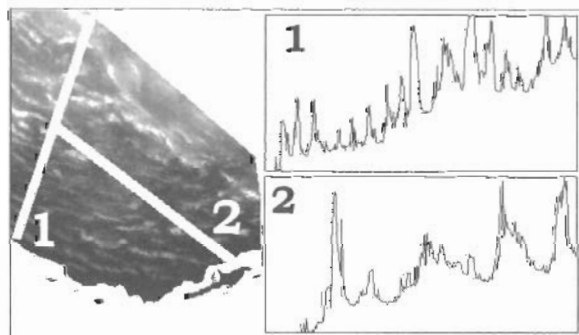
## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η περιοχή μελέτης είναι η φυσιογραφική ενότητα Zagros Ranges (Σχήμα 1) όπου λαβάνει χώρα η σύγκρουση της Αραβικής τεκτονικής πλάκας με το Ιράν (Summerfield 1991). Οι ορεινοί όγκοι (επιμήκη τεμάχια με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ) είναι το προϊόν της πτώσης σε συνδυασμό με την δράση απο-επιφανειακών αναστροφών ορηγμάτων με πολύ μεγάλη κλίση (Berberian 1995). Το ψηφιακό μοντέλο της περιοχής μελέτης (Σχήμα 2) διορθώθηκε γεωμετρικά έτσι ώστε η διάσταση του να είναι 926 μέτρα και καλύπτει περίπου 330.000 χλμ<sup>2</sup>. Υψομετρικές τομές (Σχήμα 3) αποδεικνύουν ότι οι οροσειρές αναπτύσσονται σε αυξανόμενο υψόμετρο από ΝΑ προς τα ΒΔ. Εάν αναπτύσσονταν στο ίδιο πανεπίπεδο, τότε ο εντοπισμός τους μπορούσε να γίνει με κατάρτιση του ισογράμματος συχνότητας του υψόμετρου και επισήμανση όλων των ειζονοστοχείων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με υψόμετρο μεγαλύτερο από κάποια τιμή (υψόμετρο του πανεπιπέδου).



Σχήμα 2. Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο της περιοχής μελέτης. Το υψόμετρο (από 0 έως 3000 μ) υπολογίστηκε στο διάστημα [255, 0] Έτσι όσο φωτεινότερο είναι ένα σημείο τόσο μικρότερο είναι το υψόμετρο του.

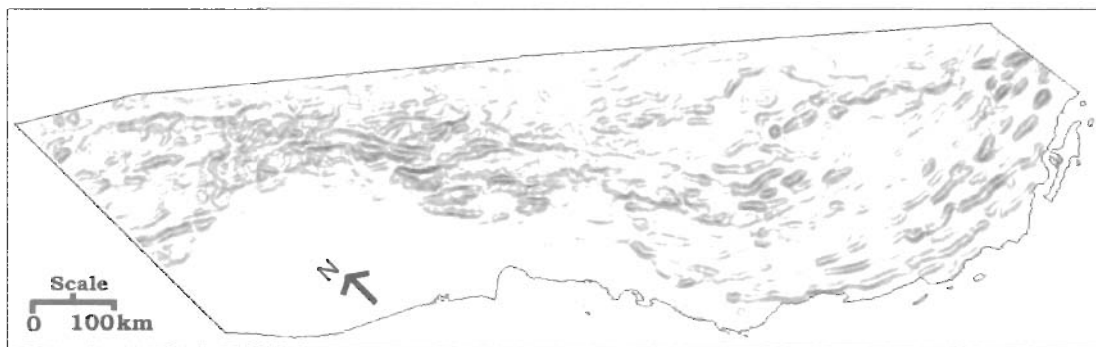
Figure 2. GTOPO30 DEM of the study area. The elevation (1 to 3,000 m) was rescaled to the interval 255 to 0 (the brightest pixels have lowest elevation).



Σχήμα 3. Εγκάρσια (1) και επιμήκης (2) υψομετρική τοπογραφική τομή. Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

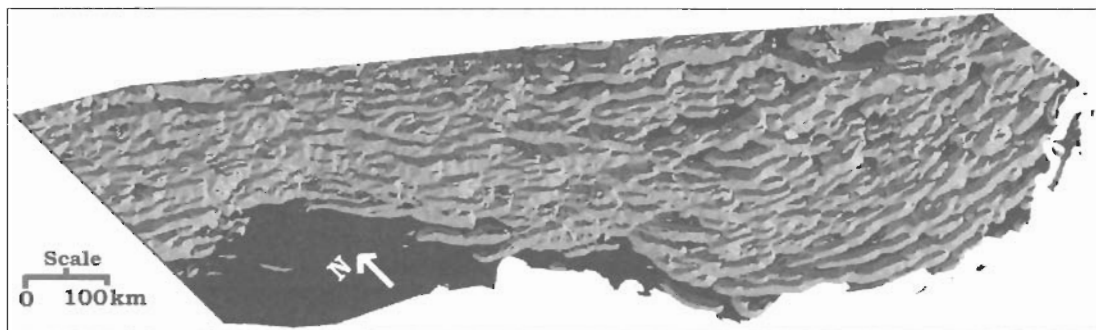
Οι Μηλιαρέσης και Αργυριάς (1998α, 1999α, 1999β) πρότειναν μια μέθοδο για τον εντοπισμό ορεινών και μη ορεινών περιοχών από το GTOPO30. Η μέθοδος χρησιμοποιεί το μέτρο της κλίσης και τα τοπικά μέγιστα του ανάγλυφου (υδροκορίτες). Πιο συγκεκριμένα πρώτα ορίζεται ένα αρχικό σύνολο από σημεία-σπόρους που ανήκουν στις ορεινές περιοχές (υδροκορίτες). Στην συνέχεια 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 τις 6 μοίρες.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να επαναπροορισθεί το αυξητικό ζυγίγιο και το σύνολο των αρχικών σημείων σπόρων. Πρώτα υπολογίζεται το μέτρο της κλίσης (Σχήμα 4) και η διεύθυνση της (Σχήμα 5).



Σχήμα 4. Το μέτρο της κλίσης είναι στο διάστημα  $[0^{\circ}, 44^{\circ}]$  και τυλοποιήθηκε στο διάστημα  $[255, 0]$ . Όσο φωτεινότερο είναι ένα σημείο τόσο μικρότερη είναι η κλίση.

Figure 4. Gradient. The pixels (in the range  $0^{\circ}$  to  $44^{\circ}$ ) were rescaled to the interval 255 to 0 (the brightest pixels have lowest gradient).



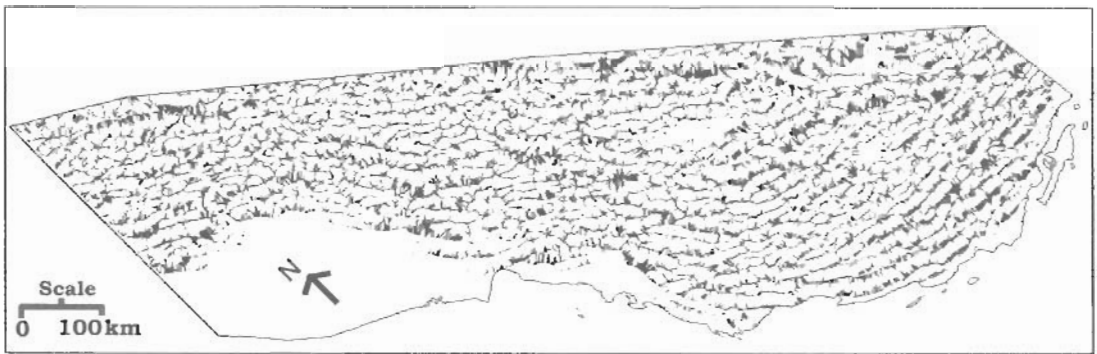
Σχήμα 5. Το διάνυσμα της κλίσης τυλοποιημένο στις 8 διευθύνσεις που ορίζονται σε μία ψηφιακή εικόνα (( $A=1, BA=2, B=3, BA=4, A=5, NA=6, N=7, NA=8$ )). Το 0 έχει χρησιμοποιηθεί για επίπεδα εικονοστοιχεία (μέτρο της κλίσης  $< 2^{\circ}$ ).

Figure 5. Aspect. The aspect was quantified to the eight directions (East=1, Northeast=2, North=3, Northwest=4, West=5, Southwest=6, South=7, Southeast=8) defined in a raster image. Zero labels were used for flat terrain (gradient  $< 1^{\circ}$ ).

Μετά προσδιορίζεται το υδρογραφικό δίκτυο (Σχήμα 6) και οι υδροκορίτες (Σχήμα 7) με την μεθοδολογία προσομοίωσης ροής (Mark 1984).

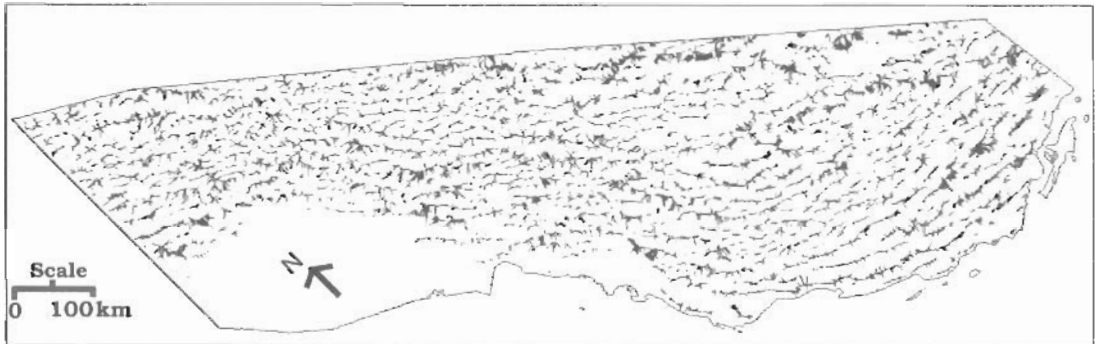
Περιοχές εκπαίδευσης υποδεικνύουν ότι Β.Δ. αναπτύσσονται φαράγγια με κλίση μεγαλύτερη από  $6^{\circ}$ . Αυτό σημαίνει ότι με αυξητικό ζυγίγιο «μέτρο της κλίσης  $> 6^{\circ}$ » οι ορεινοί όγκοι δεν μπορούν να καταντηθούν στο Β.Δ. τμήμα. Για αυτό η μεθοδολογία τροποποιείται, ως εξής:

1. τα σημεία σπόροι είναι οι υδροκορίτες (Σχήμα 7),
2. το αυξητικό ζυγίγιο προσαρμόζεται ως έχει
3. μόνο που η κατάληψη του διακοπίζεται όταν προσεγγίζονται τα σημεία που ανήκουν στο υδρογραφικό δίκτυο (Σχήμα 6).



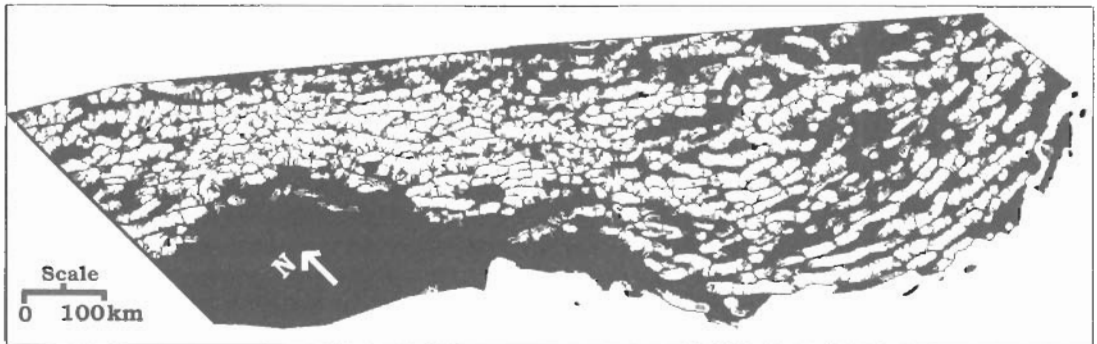
Σχήμα 6. Υδρογραφικό δίκτυο. Εικονοστοιχεία (62327 ή 16.15%) με δυναμικό ροής (φορά κατάντη της κλίσης) > 7.

Figure 6. Ridge pixels. Downslope runoff threshold > 7. Pixels labeled 62327 (16.15 %)



Σχήμα 7. Υδροκρίτες. Εικονοστοιχεία (45031 ή 11.7%) με δυναμικό ροής (φορά ανάντη της κλίσης) > 9.

Figure 7. Ridge pixels. Upslope runoff threshold > 9. Pixels labeled 45031 (11.7%).

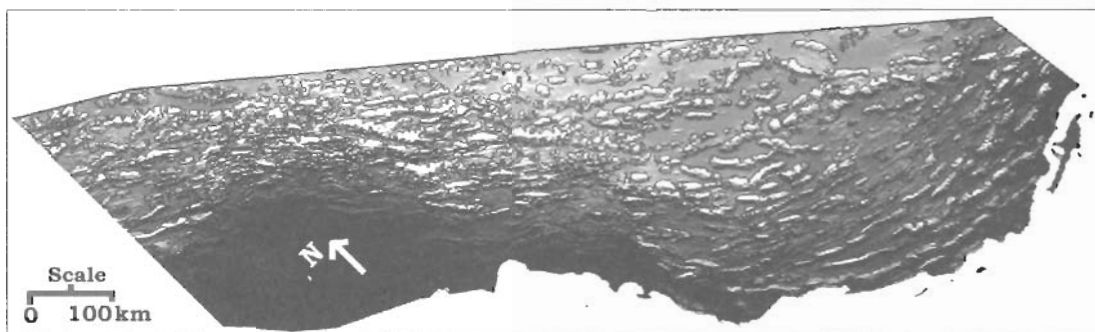


Σχήμα 8. Τα εικονοστοιχεία που ταξινομήθηκαν στις ορεινές περιοχές έχουν απεικονιστεί άσπρα.

Figure 8. The pixels labeled white represent the mountain terrain class.

Μια επαναληπτική διαδικασία κατάταξης εφαρμόζεται και ένα σημείο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους που είναι 8-απλής-σύνδεσης γείτονες (Πήτας 1996) προς το σύνολο των ασηχών σημείων-οτόρων, συμπεριλαμβάνεται σε αυτά, εάν το μέτρο της κλίσης του είναι μεγαλύτερο από 6 μοίρες και δεν ανήκει στο υδρογραφικό δίκτυο. Το τελικό αποτέλεσμα μετά την επαναταξινόμηση μικρών νησίδων (Πήτας 1996) απεικονίζεται στο Σχήμα 8.

Οι ορεινοί όγκοι που εντοπίστηκαν είναι σε συμφωνία με τα ορεινά αντικείμενα που ερμηνεύονται από τον χαρτί σκιασμένου ανάγλυφου (Reichenbach et al. 1993) της περιοχής μελέτης.



**Σχήμα 9.** Τα όρια των ορεινών αντικειμένων (μαύρες γραμμές) σε υπέρθεση στον χάρτη σκιασμένου αναγλύφου της περιοχής μελέτης.

**Figure 9.** The border-lines (shown black) of the mountains superimposed on the shaded-relief map of the study area.

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η μεθοδολογία αυτοματοποιημένου εντοπισμού ορεινών όγκων από το GTOPO30 τροποποιήθηκε εξαιτίας των ιδιαίτερων γεωμορφομετρικών χαρακτηρισισιών της περιοχής μελέτης Zagros Ranges στο Ιράν. Τώρα η κατάρτιση του ψηφιακού μοντέλου διακόπτεται όταν προσεγγίζονται τα σημεία που ανήκουν στο υδρογραφικό δίκτυο και κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κατάρτιση των ορεινών όγκων στο ΒΔ τμήμα όπου παρατηρούνται φαράγγια με πολύ μεγάλες κλίσεις και οι ορεινοί όγκοι διαχωρίζονται από πολύ στεγές επιμήκης κοιλάδες. Οι ορεινοί όγκοι που εντοπίστηκαν είναι σε συμφωνία με τα ορεινά αντικείμενα που ερμηνεύονται από τον χάρτη σκιασμένου αναγλύφου της περιοχής μελέτης. Στο μέλλον η σύγκριση των παραμετρικών αναπαραστάσεων των ορεινών όγκων θα οδηγήσει στην σύνθεση ερμηνευτικών μορφοτεκτονικών μοντέλων.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASFAR, A., ESHGHI, M., AND ODOULI, K., 1976. Geological history and stratigraphy of Iran. In: Proceedings, Schlumberger's Well Evaluation Conference, Tehran, Iran, pp.9-26.
- BERBERIAN, M., 1995. Master "Blind" Thrust Faults Under the Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193-224.
- HOWELL, D., 1995. Principles of terrane analysis - new applications for global tectonics, 2nd edn. Chapman and Hall, London, 245pp.
- KELLER, E., PINDER, N., 1996. Active tectonics - earthquakes, uplift and landscape. Prentice Hall, New Jersey, 338pp.
- KOOI, H., BEAUMONT, C., 1996. Large-scale geomorphology: Classical concepts reconciled and integrated with contemporary ideas via a surface process model. *Journal of Geophysical Research* 101 (B2), 3361-3386.
- MARK, D., 1984. Automated detection of drainage network from digital elevation models. *Cartographica*, 21, 168-178.
- MERRITTS, D., ELLIS, M., 1994. Introduction to special section on tectonics and topography. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 99, No B6, 12135-41.
- MILIARESIS, G.CH., ARGIALAS, D.P., 1998a. Physiographic Feature Extraction From Moderate Resolution Digital Elevation Data. 24th International Conference of the Remote Sensing Society, Greenwich (U.K.), September 9-11, pp. 545-551.
- MILIARESIS, G.CH., ARGIALAS, D.P., 1998b. Parametric Representation and Classification Of Mountain Objects Extracted From Moderate Resolution Digital Elevation Data. Proceedings, 4th International Conference of the Association for Mathematical Geology, Ispra-Naples (Italy), October 5 - 9, pp. 892-897.
- MILIARESIS, G.CH., ARGIALAS, D.P., 1999a. Segmentation of Physiographic Features from the Global Digital Elevation Model / GTOPO30. *Computers & Geosciences*, Vol. 25, No. 7, 715-728.
- ΜΗΛΙΑΡΕΣΗΣ Γ. ΚΑΙ ΑΡΓΙΑΛΑΣ, Δ., 1999b. Εντοπισμός ορεινών όγκων από μέτριας διακριτικής ικανότητας ψηφιακά υψομετρικά δεδομένα. Πρακτικά, 5ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Αθήνα 11-13 Νοεμβρίου, 308-317.
- OBERLANDER, T., 1985. Origin of drainage transverse to structures in orogens. In: Morisava, M., and Hack,

J.T., (Eds.), *Tectonic Geomorphology*. Allen and Unwin, London. pp.155-182.

ΠΗΤΑΣ, Ι., 1996. Ψηφιακή επεξεργασία εικόνων. *Θεσσαλονίκη* 331 σελ.

REICHENBACH, P., R. PIKE, W. ACEVEDO AND R. MARK, 1993. A new landform map of Italy in computer-shaded relief. *Anno LII - Bolletino Di Geodesia E Scienze Affini*, 1, 21-44.

SEBER, D., VALLVE, M., SANDVOL, E., STEER, D., BARAZANGI, M., 1997. Middle East tectonics: applications of geographic information systems (GIS). *GSA Today* 7, 1-6.

SUMMERFIELD, M., 1991. *Global Geomorphology*, Longman Group, Essex, 537 p.

SUMMERFIELD, M., (Ed.) 2000. *Geomorphology and Global Tectonics*, John Wiley & Sons, New York, 386 p.

TUCKER, G., SLINGERLAND, R., 1996. Predicting sediment flux from fold and thrust belts. *Basin Research* 8, 329-349

U.S. Geological Survey, 1998. GTOPO30: Global DEM. <http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/gtopo30.html>