

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Μια μέθοδος για τον εντοπισμό αλλουβιακών ριπιδίων από τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους υλοποιείται στην περιοχή Death Valley. Πρώτα ορίζεται ένα αρχικό σύνολο από σημεία-σπόρους που ανήκουν στις εκβολές του κλάδων του υδρογραφικού δικτύου. Στην συνέχεια νέα σημεία προστίθενται στα αρχικά μέσω επαναληπτικής διαδικασίας, με βάση το μέτρο της κλίσης τους και την εγγύτητα τους προς σημεία που έχουν ήδη εντοπισθεί. Η υπέρθεση τους σε φωτογραφία Landsat-TM και στον τοπογραφικό χάρτη υπέδειξε ότι τα τμήματα των αλλουβιακών ριπιδίων που είναι μακρύτερα από την είσοδο των φαραγγίων δεν κατατμήθηκαν επειδή το μέτρο της κλίσης τους είναι ίδιο με αυτό της λεκάνης απόθεσης. Τα τμήματα αυτά μπορούν να κατατμηθούν εάν ληφθούν υπόψη και κριτήρια που λαβαίνουν την φασματική απόκριση τους στην φωτογραφία.

**ABSTRACT**

In arid regions, alluvial fans are of great significance for engineers and planners since they are ground water indicators and their soils provide good foundation conditions for highways and buildings. However, the shifting stream channels and the frequent flooding that often occur on alluvial fans present serious limitations to development since alluvial fans are subject to land subsidence and flood hazards. Thus alluvial fans form a pattern of localized hazards to human habitation and road-railway links. Their extraction from digital elevation models (DEMs) has been largely unexplored.

The aim of this research is to design a methodology for the extraction of alluvial fans from one-degree DEMs (with spacing 3 arc seconds) that are distributed freely to the public through the Internet by the US Geological Survey.

The study area was in Death Valley in the Basin and Range province where the alluvial fans were deposited in front of valley mouths (developed along fault scarps) at the emergence of rivers to the adjacent valley. Death Valley forms a closed depression of tectonic origin, bounded by two mountain ranges, named the Paramint Range and the Black Mountains. A seasonal shallow lake is formed occasionally in the Badwater Basin (the lowest in elevation area in the USA), at the northeast part while playas cover the valley floor. Progressive eastward tilting has confined the east-side alluvial fans but enabled the west-side fans to extend several kilometers beyond the mountain front and as they grow eventually coalesce to form bajadas.

An iterative region growing segmentation algorithm was considered. The algorithm used as seeds the outflow points of drainage networks emerging in the piedmont slope and the region growing criteria was based on gradient.

For the detection of the outflow points, the drainage network was extracted by the use of the runoff simulation technique. The resulting segments were skeletonized to one-pixel-wide lines while disconnected segments were connected. A connected component labelling algorithm assigned a unique integer identifier to every pixel that belonged to a certain drainage network (a collection of connected valley segments formed by 8-connected pixels). The end points of the open segments were defined as the points of the network with 8-connectedness equal to 1. The outflow point per drainage network was defined as the minimum in elevation end point among the end points of the open segments that belong to the network.

Training areas indicated that the region growing criterion should be defined as  $2 \text{ degrees} \leq \text{gradient} \leq 7 \text{ degrees}$ . Initially, the seeds formed the

---

1:EXTRACTION OF ALLUVIAL FANS FROM DIGITAL ELEVATION MODELS

2:Τμήμα Τοπογραφίας, Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Τριπόλεως 38, Αθήνα 104-42. Email: gmiliar@yahoo.com

3:Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφος 15780. Email: argialas@central.ntua.gr

first set of alluvial fan points. In each iteration, if a point with gradient greater than 2 degrees and less than 7 degrees was an 8-connected neighbour to the current set of alluvial fan points then it was flagged as a new alluvial fan point. The segmentation stopped, if no more points were added during the current iteration.

The results were evaluated by comparing the boundaries of the extracted fan polygons to those interpreted from both the Landsat Thematic Mapper satellite image (acquired on June 23, 1984) and a topographic map at the scale of 1:250,000 (U.S. Geological Survey 1970). It was found that only the area around the apex of the alluvial fans (the fan-head and the mid-fan zones) was extracted from digital elevation models. The fan toe and the zone of coalescence with other fans failed to be extracted since their gradient approached the gradient of the valley floor. The combination of spectral information derived from satellite imagery was required for the segmentation of alluvial fan toe in the study area. The method should work in similar physiographic conditions where alluvial fans emerge from a gorge to a plain. These conditions are common in arid lands where mountainous physiography is developed, such as the Basin and Range Province in U.S.A. and the Makran Ranges in Iran.

The extraction of alluvial fans will allow the further segmentation of its surface to regions of high to intermediate flood hazard on the basis of texture information derived from DEMs and spectral information derived from satellite imagery. This research, in relation to the previous research efforts for the extraction of physiographic features will allow (a) the segmentation of terrain to component features and (b) their parametric representation and modeling.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Κατάτμηση πεδίου, Γεωμορφομετρία, Ψηφιακή επεξεργασία

εικόνας, Μορφοτεκτονική, Γεωμορφολογία μικρής κλίμακας, Χωροθέτηση

τεχνικών έργων.

**KEYWORDS:** Terrain segmentation, Geomorphometry, Digital image

processing, Regional geomorphology, Terrain analysis.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρησιμότητα των ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων εδάφους (ΨΥΜΕ) στην γεωμορφολογία έχει καταδειχθεί από τον Pike (1993). Στις ΗΠΑ, ΨΥΜΕ (one-degree) είναι διαθέσιμα μέσω του διαδικτύου (<ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/DEM/250/>) διάστασης 3 δεύτερα της μοίρας (κλίμακα 1:250.000). Τα αλλουβιακά ριπίδια έχουν ιδιαίτερη σημασία κατά στον σχεδιασμό τεχνικών έργων αφού συνθέτουν μια ζώνη κατά μήκος των πρανών των ορεινών όγκων με δυνητικά αυξημένο κίνδυνο πλημμύρων (Bissenbach 1954, Hooke 1972, White 1986, Scott & Erskine 1994, Beratan & Anderson 1998, Chant et. al. 1999).

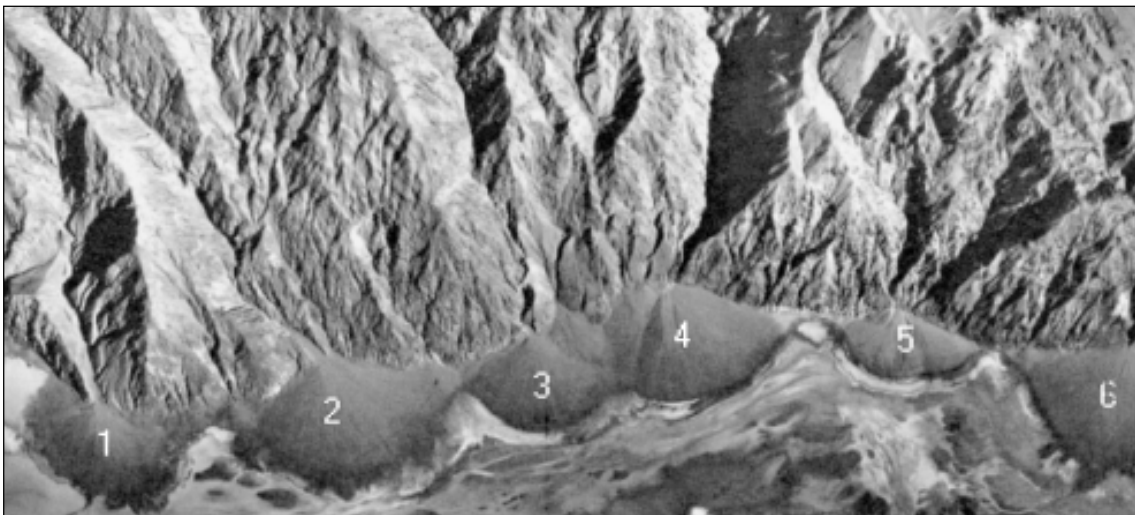
Μέχρι σήμερα στη βιβλιογραφία δεν έχει γίνει προσπάθεια για τον εντοπισμό / κατάτμηση των αλλουβιακών ριπίδιων από ΨΥΜΕ. Στόχος αυτής της εργασίας είναι η υλοποίηση μεθοδολογίας που θα εντοπίζει αλλουβιακά ριπίδια από τα ΨΥΜΕ (one-degree) που διαθέτει η Γεωλογική Υπηρεσία των Η.Π.Α. (USGS) στο διαδίκτυο.

Η περιοχή μελέτης (B:36°06' - 36°14' , Δ:116° 49' -116°40') είναι στη φυσιογραφική περιφέρεια Basin & Range και πιο συγκεκριμένα στην κοιλάδα Death Valley (Σχήμα 1). Στην περιοχή αυτή μια αλληλουχία από αλλουβιακά ριπίδια αναπτύσσεται μπροστά από φαράγγια που καταλήγουν σε μια πεδιάδα (Σχήμα 2).

Η ψηφιακή αναπαράσταση της περιοχής μελέτης (Σχήμα 3) έγινε σε ΨΥΜΕ της U.S Geological Survey με διάσταση 75 μ. που περιλαμβάνει 201 γραμμές και 171 στήλες και υποδεικνύει ότι το υψόμετρο κυμαίνεται στο διάστημα [-72 μ. , 3480 μ.].



**Σχήμα 1.** Περιοχή μελέτης.  
**Figure 1** Study Area

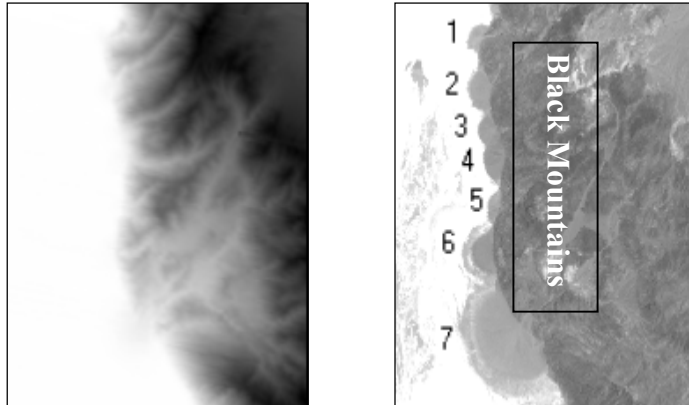


**Σχήμα 2.** Αεροφωτογραφία των αλλουβιακών ριπίδιων στην κοιλάδα Death Valley (Hamblin et al. 1980).

**Figure 2.** Oblique air-photograph of the alluvial fans deposited in the Death Valley (Hamblin et al. 1980).

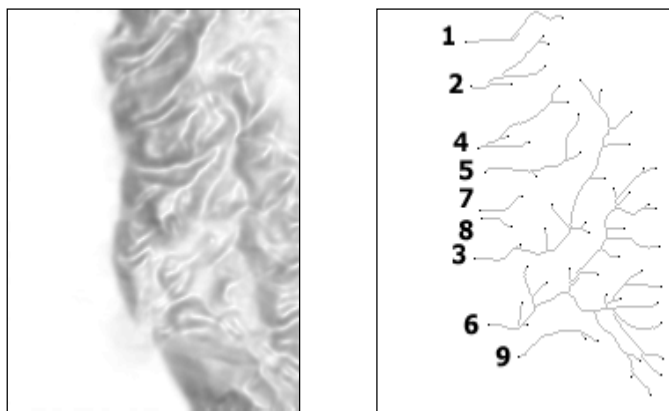
## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η γεωμορφολογική γνώση υποδεικνύει ότι τα αλλουβιακά ριπίδια αναπτύσσονται στην εκβολή του κλάδου του υδρογραφικού δικτύου με την μεγαλύτερη τάξη και ότι η κλίση τους είναι μεγαλύτερη από την κλίση της λεκάνης στην οποία αποτίθενται (Bull 1977). Επομένως εάν προσδιορισθούν τα υδρογραφικά δίκτυα στην περιοχή μελέτης και καθορισθούν σημεία σπόροι στις εκβολές, τότε ένας αλγόριθμος κατάτμησης (Pitas 1993) μπορεί να εντοπίσει τα αλλουβιακά ριπίδια. Ο αλγόριθμος θα προσθέτει επαναληπτικά νέα σημεία στο



**Σχήμα 3.** Αριστερή εικόνα ΨΥΜΕ (1: 250.000) της περιοχής μελέτης. Όσο φωτεινότερο είναι ένα εικονοστοιχείο τόσο μικρότερο είναι το υψόμετρο του. Δεξιά εικόνα, κανάλι 1 (1:250.000) του Landsat-TM της περιοχής μελέτης (U.S. Geological Survey 1984) στην οποία ερμηνεύθηκαν 7 αλλουβιακά ριπίδια.

**Figure 3.** Left image the DEM (201 rows & 171 columns) of the study area. The elevation values [-72m.



**Σχήμα 4.** Αριστερή εικόνα, το μέτρο της κλίσης που κυμαίνεται στο διάστημα  $[0^\circ, 85^\circ]$ . Όσο φωτεινότερο είναι ένα εικονοστοιχείο τόσο μικρότερη είναι η κλίση του. Δεξιά εικόνα, το υδρογραφικό δίκτυο (9 διακριτά δίκτυα) με τα σημεία εισόδου-εξόδου σημειωμένα με πιο σκούρα διαβάθμιση.

**Figure 4.** Gradient image (left image). The values ( $0^\circ$  to  $85^\circ$ ) were rescaled to the interval 255 to 0 (the

αρχικό σύνολο με βάση α) την εγγύτητά τους με σημεία που έχουν ήδη ταξινομηθεί και β) το μέτρο της κλίσης.

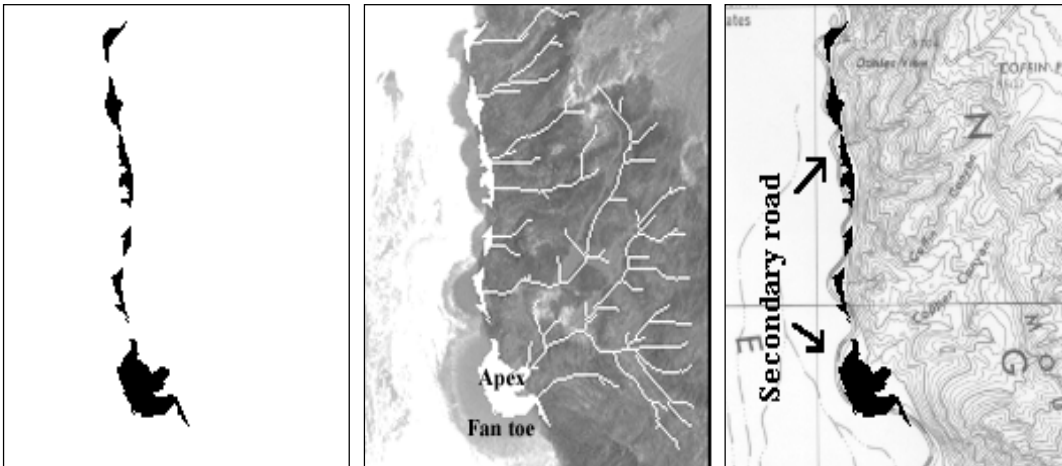
Πρώτα προσδιορίζεται η κλίση και στη συνέχεια το υδρογραφικό δίκτυο (Σχήμα 4) με την εφαρμογή μεθοδολογίας προσομοίωσης ροής (Mark 1984) σε συνδυασμό με μεθοδολογίες επεξεργασίας εικόνας που συνδέουν διακοπτόμενους κλάδους και τους λεπταίνουν σε ίχνη μοναδιαίου (ένα εικονοστοιχείου) πάχους (Band 1986).

Τελικά εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος εύρεσης συνδεδεμένων μερών (Pitas 1993) ο οποίος προσδιορίζει τα σημεία που απαρτίζουν κάθε υδρογραφικό δίκτυο και τα

σημειώνει με τον ίδιο ακέραιο αριθμό (Σχήμα 4). Στη συνέχεια τα σημεία εισόδου-εξόδου κάθε υδρογραφικού δικτύου αναγνωρίζονται σαν τα σημεία που έχουν ένα γείτονα σύνδεσης. Το σημείο εξόδου (εκβολή του υδρογραφικού δικτύου) προσδιορίζεται σαν το σημείο με το μικρότερο υψόμετρο από το σύνολο των σημείων εισόδου-εξόδου που ανήκουν στο ίδιο υδρογραφικό δίκτυο.

Στη συνέχεια περιοχές εκπαίδευσης υποδηλώνουν ότι το μέτρο της κλίσης στα αλλουβιακά ριπίδια κυμαίνεται στο διάστημα  $0^\circ$  έως  $7^\circ$ . Επειδή το μέτρο της κλίσης στην λεκάνη απόθεσης κυμαίνεται στο διάστημα  $0^\circ$  έως  $2^\circ$ , το αυξητικό κριτήριο καθορίζεται από την συνθήκη, μέτρο της κλίσης στο διάστημα  $[2^\circ, 7^\circ]$ .

Η εφαρμογή του αλγορίθμου κατάτμησης έχει ως αποτέλεσμα τον προσδιορισμό των σημείων του σχήματος 5. Προκειμένου να αξιολογηθεί το αποτέλεσμα γίνεται υπέρθεση των σημείων που κατάτμησε ο αλγόριθμος στην δορυφορική φωτογραφία



**Σχήμα 5.** Τα σημεία που προέκυψαν από τον αλγόριθμο κατάτμησης (αριστερή εικόνα). Υπέρθεση των σημείων που αναγνώρισε ο αλγόριθμος και των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου στην δορυφορική εικόνα (κεντρική εικόνα). Ο τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:250.000 στον οποίο έχουν υπερτεθεί τα σημεία που κατάτμησε ο αλγόριθμος, ενώ τα βέλη υποδεικνύουν το ίχνος ενός δρόμου (δεξιά εικόνα).

**Figure 5.** The points labeled during the segmentation (left image). The drainage network and the points segmented ((white) were superimposed over the Landsat-TM band 1 (central image). U.S Geological Survey topographic map of Death Valley of scale 1:250.000 (right image). The map was registered to the digital elevation model. The arrows point out a road designed almost parallel to the mount front

αλλά και στο τοπογραφικό χάρτη κλίμακας 1:250.000 (Σχήμα 5).

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το συμπέρασμα είναι ότι τα τμήματα των αλλουβιακών ριπιδίων που είναι μακρύτερα από την είσοδο των φαραγγίων, δεν κατατμήθηκαν επειδή το μέτρο της κλίσης τους είναι ίδιο με το μέτρο της κλίσης της λεκάνης απόθεσης. Τα τμήματα αυτά μπορούν να κατατμηθούν εάν ληφθούν υπόψη και κριτήρια που λαβαίνουν τη διαφορετική φασματική απόκριση στην φωτογραφία Landsat των αλλουβιακών ριπιδίων από τις επιφανειακές αποθέσεις εβαποριτών. Στο τοπογραφικό χάρτη τα σημεία που κατατμήθηκαν περιορίζονται στην περιοχή που είναι υψηλότερα ή στο ίδιο επίπεδο με τον ίχνος του δρόμου. Ο δρόμος χαρακτηρίζεται σαν παντός καιρού στο υπόμνημα του χάρτη. Είναι σαφές ότι ο δρόμος χάραχθηκε ακολουθώντας την ισοκλινή και προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσει το κόστος αποφεύγοντας την μορφολογία των αλλουβιακών ριπιδίων που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε κρίνεται ικανοποιητική και μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιοχές με ανάλογα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά, προσδιορίζοντας τη μορφολογία των αλλουβιακών μορφών κατά μήκος πρανών, υποβοηθώντας μελέτες χωροθέτησης τεχνικών έργων και δραστηριοτήτων.

#### 4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]BAND, L.E. 1986. Topographic Partition of Watersheds with Digital Elevation Models. *Water Resources Research*, 22(1), 15-24.

[2]BERATAN K., ANDERSON R., 1998. The use of Landsat Thematic Mapper data for mapping and correlation of Quaternary geomorphic surfaces in the southern Whipple Mountains, California. *International Journal of Remote Sensing* 9 (12), 2435-2359.

[3]BISSENBACH E., 1954. Geology of alluvial fans in semi-arid regions. *Bulletin of the Geological Society of America* 65, 175-190.

[4]BULL W., 1977. The alluvial fan environment. *Progress in Physical Geography*, 1, 222-270.

[5]CHANT L., PEASE P., TCHAKERIAN V., 1999. Modeling alluvial fan morphology. *Earth Surface Processes and Landforms* 24, 641-652.

[6]HAMBLIN W., HOWARD J. 1980. Exercises in Physical Geology (5ed.). Burgess Publishing Co., 236 pp.

[7]HOOKE R., 1972. Geomorphic evidence for late-Wisconsin and Holocene tectonic deformation, Death Valley, California. *Geological Society of America Bulletin* 83, 2073-2098.

[8]MARK D., 1984. Automated detection of drainage network from digital elevation models. *Cartographica*, 21, 168-178.

[9]PIKE R., 1993. A bibliography of geomorphometry. U.S. Geological Survey. Open-File Report 93-262-A, Menlo Park, California, U.S.A., 132 pp.

[10]PITAS I., 1993. Digital image processing algorithms. Prentice Hall, London, 362 pp.

[11]SCOTT P., ERSKINE W., 1994. Geomorphic effects of a large flood on fluvial fans. *Earth Surface Processes and Landforms* 19, 95-108.

[12]U.S GEOLOGICAL SURVEY 1970. Map sheet of the Death Valley-California of scale 1:250.000.

[13]U.S GEOLOGICAL SURVEY 1984. Landsat TM image of Death Valley-California (ORDER: 0119612270019, 1997).

[14]WHITE K., 1986. Large scale geomorphological mapping of alluvial fans in south central Tunisia using Thematic Mapper data. In: Proceedings 12<sup>th</sup> International Symposium of the Remote Sensing Society, Edinburgh, Scotland, pp. 594-599.