

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ,  
ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

**ΕΞΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΣΩ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ -  
ΕΡΕΥΝΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΡΟΛΟ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ  
ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: Η. ΤΑΡΝΑΡΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΕΞΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΣΩ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ -  
ΕΡΕΥΝΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΡΟΛΟ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ  
ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η. ΤΑΡΝΑΡΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ 1995

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον Επίκουρο Καθηγητή του ΤΥΠΥΘΕ κ. Δ. Κουτσογιάννη για την επιλογή του θέματος και την παραχώρηση της σχετικής (και δυσεύρετης) βιβλιογραφίας, καθώς και για τη διευκόλυνση στη χρήση των απαραίτητων μέσων για την αποπεράτωση της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τους Ν. Μαμάση και Α. Κουκουβίνο, για την πολύτιμη βοήθεια τους, σχετικά με τη χρήση του συστήματος ARCINFO και τις συμβουλές τους επάνω στην πορεία της εργασίας. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ προς το Γ. Γράψα, που αν και στρατευμένος, διέθεσε σημαντικό μέρος του ελάχιστου ελεύθερου χρόνου του για να με εξοικειώσει με τη λειτουργία του προγράμματος HYDRO.AML, και διευκόλυνε ιδιαίτερα την ολοκλήρωση της εργασίας.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: FRACTALS - ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

- 1.1. Γενικά
- 1.2. Αυτοομοιότητα και κλασματική γεωμετρία
- 1.3. Η έννοια της κλασματικής διάστασης
- 1.4. Διάσταση Hausdorff
- 1.5. Εφαρμογή της διάστασης Hausdorff σε κλασματικά σχήματα
  - 1.5.1. Νιφάδα Koch
  - 1.5.2. Το σύνολο Cantor
- 1.6. Αυτοομοιότητα και αυτοσυγγένεια

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

- 2.1. Γενικά
- 2.2. Η κλασματική φύση των υδρογραφικών δικτύων
- 2.3. Ταξινόμηση των υδατορευμάτων ενός υδρογραφικού δικτύου
  - 2.3.1. Τάξη υδατορεύματος κατά Strahler
  - 2.3.2. Τάξη υδατορεύματος κατά Shreve
- 2.4. Νόμοι του Horton
- 2.5. Ο ρόλος της κλίμακας στα υδρογραφικά δίκτυα
- 2.6. Η έννοια της threshold area
  - 2.6.1. Το πρόβλημα των κοιλοτήτων
  - 2.6.2. Το μέγεθος της threshold area
- 2.7. Κλασματική διάσταση υδρογραφικού δικτύου
- 2.8. Υπολεκάνες υδρογραφικού δικτύου
- 2.9. Νόμος του Horton για υπολεκάνες υδρογραφικού δικτύου
- 2.10. Αυτοσυγγένεια υπολεκανών υδρογραφικού δικτύου
- 2.11. Η κλασματική φύση του κύριου υδατορεύματος (mainstream) λεκάνης
- 2.12. Οι συνηθέστερες μορφές υδρογραφικών δικτύων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

- 3.1. Γενικά
- 3.2. Κατηγορίες συστημάτων GIS
  - 3.2.1. Συστήματα Vector
  - 3.2.2. Συστήματα Raster
- 3.3. ARC/INFO και επιμέρους προγράμματα
- 3.4. Ψηφιακά μοντέλα εδάφους
  - 3.4.1. Ψηφιακό μοντέλο TIN
    - 3.4.1.1. Συνοριακές γραμμές (breaklines)
  - 3.4.2. Ψηφιακό μοντέλο Lattice
- 3.5. Μετατροπή των ψηφιακών μοντέλων από τη μία μορφή στην άλλη
- 3.6. Υπαρξη και διαχείριση δεδομένων στο ARC/INFO

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΩ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GIS

- 4.1. Εισαγωγή
- 4.2. Μετατροπή του μοντέλου TIN της Στερεάς Ελλάδας σε Lattice
- 4.3. Αποκοπή επιμέρους τμημάτων από μοντέλο Lattice
- 4.4. Χρήση μακροεντολών - Το πρόγραμμα Hydro.aml
- 4.5. Εξαγωγή της κατεύθυνσης ροής
- 4.6. Η περίπτωση των κοιλοτήτων - βυθισμάτων
  - 4.6.1. Αναίρεση των κοιλοτήτων
- 4.7. Συσσώρευση της ροής (FLOWACCUMULATION)
- 4.8. Επιλογή ελάχιστης επιφάνειας απορροής (threshold area) και εξαγωγή υδρογραφικού δικτύου
- 4.9. Καθορισμός της τάξης των υδατορευμάτων του υδρογραφικού δικτύου
- 4.10. Γραμμικοποίηση (vectorization) του υδρογραφικού δικτύου
- 4.11. Εξαγωγή των αποτελεσμάτων σχετικά με την τάξη και το μήκος των υδατορευμάτων του υδρογραφικού δικτύου
- 4.12. Υπολογισμός του μήκους του κύριου υδατορεύματος



Η ρουτίνα Hydro.aml

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- 5.1. Έλεγχος εξαγόμενων υδρογραφικών δικτύων
- 5.2. Τάξεις υδρογραφικών δικτύων - Αριθμός και μέσο μήκος υδατορευμάτων ανά τάξη
- 5.3. Συνολικό μήκος υδρογραφικού δικτύου - Πυκνότητα και αποχετευτική ικανότητα δικτύου
- 5.4. Υδατόρευμα μέγιστης τάξης
- 5.5. Εφαρμογή των σχέσεων Horton
- 5.6. Υπολογισμός της κλασματικής διάστασης των υδρογραφικών δικτύων Μόρνου και Ευήνου
- 5.7. Υπολογισμός κλασματικής διάστασης του μήκους του κύριου υδατορεύματος των λεκανών Μόρνου και Ευήνου

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΕΙΚΟΝΕΣ



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### FRACTALS - ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

#### 1.1. Γενικά

Υπάρχει γενικά η άποψη ότι οι πολύπλοκες μορφές πρέπει να δημιουργούνται μέσω πολύπλοκης διαδικασίας. Τα μορφοκλασματικά - fractals - αντικείμενα και σχήματα όμως, είναι ταυτόχρονα εξαιρετικά πολύπλοκα και ιδιαίτερα απλά. Είναι πολύπλοκα εξαιτίας των άπειρων λεπτομερειών και των μοναδικών μαθηματικών ιδιοτήτων τους (δύο fractal δεν είναι ποτέ ίδια), αλλά συγχρόνως είναι απλά επειδή μπορούν να δημιουργηθούν με διαδοχικές εφαρμογές απλής επανάληψης.

Πνευματικός πατέρας της γεωμετρίας των fractals είναι ο Benoit Mandelbrot, ένας μαθηματικός που έφερε επανάσταση στην επιστήμη της διατάραξης και του χάους, επινοώντας μια γεωμετρία που δεν έμοιαζε σε τίποτα με όσες είχαν προϋπάρξει. Ο Mandelbrot, θαυμαστής της γεωμετρικής μη κανονικότητας του κόσμου, οδηγούνταν από μια ιδέα ότι "τα σύννεφα δεν είναι σφαίρες, τα βουνά δεν είναι κώνοι, οι παραλίες δεν είναι κύκλοι και οι κεραυνοί δεν ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή".

Ετυμολογικά, το όνομα fractal προέρχεται από το λατινικό fractua, που σημαίνει ακανόνιστο, αλλά συνδέεται και με τα υπόλοιπα που υπονοεί η λέξη, δηλαδή κλασματικός (fractional) και τεμαχισμένος (fragmented).

#### 1.2. Αυτοομοιότητα και κλασματική γεωμετρία

Μια ιδιαίτερα προσεκτική ματιά μας δείχνει ότι πολλές φυσικές μορφές, παρά την ακανόνιστη και μπερδεμένη εμφάνιση τους έχουν αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά πάνω στα οποία μια νέα γεωμετρία μπορεί να δημιουργηθεί. *Η φύση είναι γεμάτη από σχήματα που επαναλαμβάνονται σε διαφορετικές κλίμακες μέσα στο ίδιο αντικείμενο.* Μια πιο κοντινή ματιά, όχι μόνο δεν εξαφανίζει το ακανόνιστο της μορφής τους, αλλά αντίθετα δείχνει ότι τα αντικείμενα τείνουν να παρουσιάζουν τον ίδιο βαθμό ανωμαλίας σε διαφορετικά επίπεδα μεγέθυνσης. Ο Mandelbrot, ο πρώτος που αναγνώρισε πόσο πολύ διαδεδομένη είναι αυτή η μορφή στη φύση, εισήγαγε τον όρο "self-similar" (αυτοόμοια) για να περιγράψει τέτοια αντικείμενα και χαρακτηριστικά.

Ετσι, **αυτοομοιότητα** (self similarity), μπορούμε να ονομάσουμε την επανάληψη των λεπτομερειών σε όλο και μικρότερη κλίμακα, σε πολλά αντικείμενα και σχήματα της φύσης.

Τα κλασματικά (fractal) αντικείμενα χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα της αυτοομοιότητας και περιλαμβάνουν δομές φωλιασμένες η μία μέσα στην άλλη. Κάθε μικρότερη δομή είναι μια μινιατούρα - σμίκρυνση, όχι πάντα πανομοιότυπη της μεγαλύτερης μορφής. Τα μαθηματικά των κλασματικών αντικειμένων αντικατοπτρίζουν τη σχέση ανάμεσα σε επαναλαμβανόμενες μορφές που βλέπουμε στο αντικείμενο και σε επαναλαμβανόμενα μέρη του αντικειμένου.

Τα κλασματικά αντικείμενα έχουν ορισμένες ιδιότητες που μας εκπλήσσουν, σε σχέση με τα γνωστά γεωμετρικά αντικείμενα, όπως η σφαίρα, το τρίγωνο και η ευθεία. Στον κόσμο της ευκλείδειας γεωμετρίας, τα αντικείμενα έχουν διάσταση εκφρασμένη με έναν ακέραιο αριθμό. Η σφαίρα, ο κύβος και άλλα στερεά έχουν διάσταση 3, το τετράγωνο, το τρίγωνο κι άλλα επίπεδα σχήματα έχουν διάσταση 2, η γραμμή, η ευθεία, η καμπύλη έχουν διάσταση 1 και το σημείο έχει διάσταση 0.

Οι κλασματικές γραμμές μπορεί να βρίσκονται ανάμεσα σε δύο διαστάσεις. Μπορεί να έχουν διάσταση ανάμεσα στο 1 και το 2, ανάλογα με το πόσο μοιάζουν με γραμμές μαιάνδρου. Αν η γραμμή μοιάζει περισσότερο με ευθεία, τότε είναι ομαλή και έχει διάσταση κοντά στο 1, ενώ αντίθετα μια γραμμή που καμπυλώνεται και αναδιπλώνεται πολύ έντονα και σχεδόν γεμίζει το επίπεδο, έχει κλασματική διάσταση πιο κοντά στο 2. Κατά τον ίδιο τρόπο μια λοφώδης κλασματική εικόνα έχει διάσταση ανάμεσα στο 2 και το 3. *Γενικά η κλασματική γεωμετρία γεμίζει τα κενά ανάμεσα στις ακέραιες διαστάσεις της ευκλείδειας γεωμετρίας.*

Η κλασματική γεωμετρία δεν αποδεικνύει ότι η ευκλείδεια γεωμετρία είναι λάνθασμένη. Απλά και μόνο δείχνει ότι η κλασική γεωμετρία έχει περιορισμένες δυνατότητες να περιγράψει συγκεκριμένες πλευρές των φυσικών αντικειμένων. Η κλασματική διάσταση που είναι η κύρια διαφορά ανάμεσα στις δύο γεωμετρίες, περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο που ακολουθεί.

### 1.3. Η έννοια της κλασματικής διάστασης

Η έννοια της κλασματικής διάστασης γίνεται αντιληπτή όταν επιχειρήσουμε να μετρήσουμε την περίμετρο μιας νησίδας ή να υπολογίσουμε το μήκος των συνόρων ανάμεσα σε δύο χώρες. Εκ πρώτης όψεως αυτό φαίνεται εύκολο πρόβλημα και με άμεση λύση - απλή μέτρηση του μήκους. Στην πραγματικότητα όμως τα επίσημα έντυπα και τα γεωγραφικά εγχειρίδια δίνουν διαφορετικό αριθμό χιλιομέτρων για την ίδια ακτή ή για την ίδια συνοριακή γραμμή.

Θα μπορούσαμε να σκεφτούμε ότι είναι δυνατό να υπολογίσουμε το μήκος της παραλίας της Μεγάλης Βρετανίας, για παράδειγμα, αν χρησιμοποιήσουμε έναν καλό χάρτη, απλώσουμε ένα νήμα κατά μήκος της ακτής και βρούμε το αποτέλεσμα μέσω της κλίμακας του χάρτη. Γρήγορα όμως συνηθειάζουμε

ότι ο χάρτης τείνει να αγνοήσει τις ασήμαντες λεπτομέρειες παρουσιάζοντας ομαλότερη εικόνα, καθώς περιορίζεται να δώσει τα αδρά χαρακτηριστικά των ακτών αφήνοντας έξω πολλούς μικροσκοπικούς κόλπους και ακρωτήρια.

Μια λύση θα ήταν να πάρουμε ένα λεπτομερέστερο χάρτη, οπότε το νήμα θα καμπυλώνεται και θα διπλώνεται γύρω από περισσότερες λεπτομέρειες. Αυτό όμως σημαίνει ότι το μήκος της παραλίας θα καταλήξει μεγαλύτερο. Το αποτέλεσμα μπορεί να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο, αν ένας τοπογράφος πραγματοποιήσει μια ακριβή μέτρηση, χρησιμοποιώντας διαστήματα των 100 μέτρων, κατά μήκος της παραλίας.

Γιατί όμως ο υπολογισμός να σταματήσει εδώ και να μη συνεχιστεί με διαστήματα των πενήντα ή και των δέκα μέτρων; Σε κάθε περίπτωση θα συμπεριλαμβάνονται συνεχώς περισσότερες λεπτομέρειες και το νήμα θα καμπυλώνεται με ολοένα και πολυπλοκότερους τρόπους, με αποτέλεσμα το μήκος της παραλίας να προκύπτει πάντα μεγαλύτερο. Προοδευτικά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι αν λάβουμε υπόψη μας όλες τις λεπτομέρειες - βράχους, βότσαλα, σκόνη, ακόμη και μόρια - η παραλία πρέπει να έχει άπειρο μήκος.

Από τα παραπάνω γίνεται προφανές ότι κάθε σχήμα που περιέχει λεπτομέρειες σε προοδευτικά μικρότερες κλίμακες, πρέπει να έχει άπειρο μήκος. Στην πράξη βέβαια μπορούμε να συμφωνήσουμε για μια συμβατική κλίμακα και να αγνοήσουμε τις λεπτομέρειες κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο. Αν οι χαρτογράφοι συμφωνούσαν σε μια συμβατική κλίμακα, θα μπορούσαν να μετρούν και να συγκρίνουν παραλίες, αλλά από την άποψη ενός μαθηματικού ο συμβιβασμός αυτός αφήνει πολλά κενά.

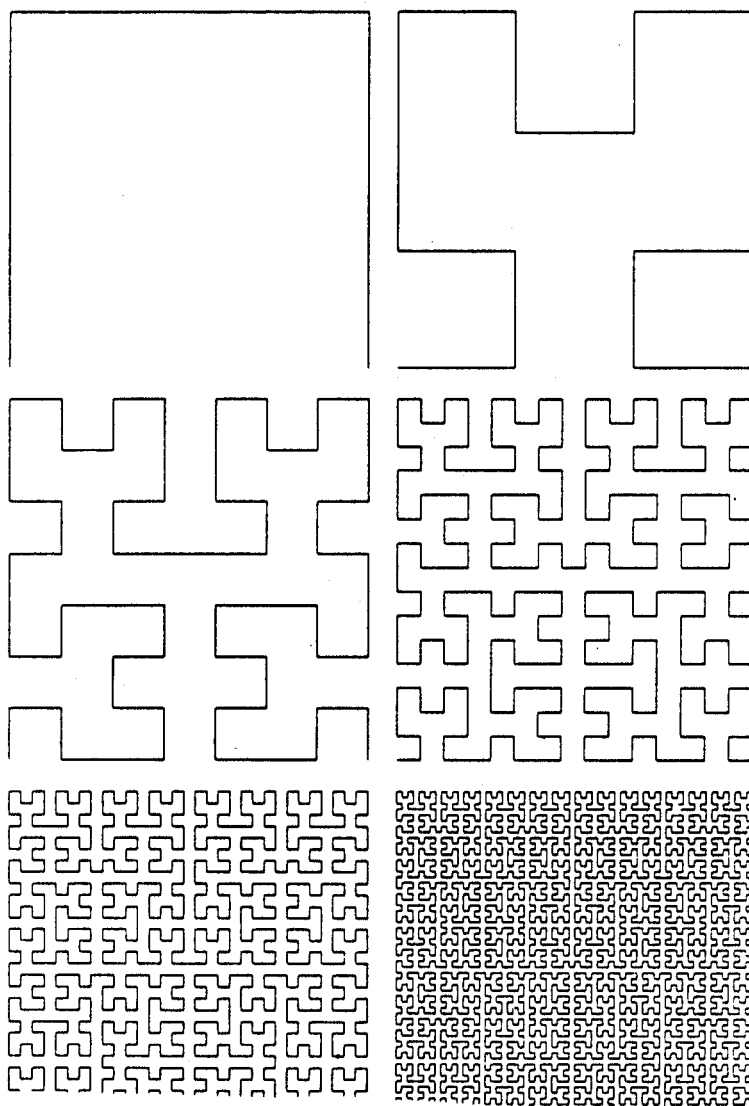
Εφόσον από μαθηματικής πλευράς όλες οι παραλίες με τις πραγματικές τους λεπτομέρειες έχουν άπειρο μήκος, τέτοια σχήματα φαίνεται αδύνατο να συγκριθούν. Και όμως ο Mandelbrot ανακάλυψε ότι η σύγκριση ακόμα και τέτοιων σχημάτων είναι δυνατή. Το ζήτημα μετατοπίζεται από την ποσοτική μέτρηση του μήκους, σε ένα νέο είδος ποιοτικού μέτρου βασισμένου στην κλίμακα - τη μορφοκλασματική (fractal) διάσταση.

Η κατανόηση της fractal διάστασης απαιτεί να ξεπεράσουμε τις αντιλήψεις μας σχετικά με το θέμα, όπως αυτές έχουν διαμορφωθεί από την ενασχόληση με την κλασική ευκλείδεια γεωμετρία. Ως τώρα έχουμε βιώσει ότι ο χώρος είναι τρισδιάστατος, ένα κομμάτι χαρτί ή ένας τοίχος είναι δισδιάστατα, μια ευθεία γραμμή ή μια καμπύλη είναι μονοδιάστατες, ενώ ένα σημείο ή και ένα σύνολο σημείων είναι μηδενικής διάστασης. Οι διαστάσεις που συναντάμε στην καθημερινή ζωή και με τις οποίες έχουμε εξοικειωθεί είναι 0, 1, 2 ή 3.

Η αντίληψη της fractal διάστασης αποτελεί πρόκληση για το ποσοτικό μέτρο, στο οποίο έχει βασισθεί η επιστήμη. Το μήκος της παραλίας εξαρτάται από την ποσότητα που επιλέγουμε ως μέτρο. Στη θέση μιας ποσότητας, όπως το μήκος, η

μορφοκλασματική γεωμετρία τοποθετεί το ποιοτικό μέτρο των ενεργών fractal διαστάσεων, μέτρο του σχετικού βαθμού πολυπλοκότητας ενός αντικειμένου.

Όσο πολύπλοκο και αν φαίνεται να δεχτούμε ότι τα αντικείμενα στη φύση έχουν τέτοιες ενεργές διαστάσεις, αυτή η έννοια επιτρέπει να βρούμε την μορφοκλασματική διάσταση μιας παραλίας, που είναι ένας κλασματικός αριθμός μεγαλύτερος της μονάδας. Αν η fractal διάσταση μιας ακτής προσεγγίζει το 1, η ακτή είναι πολύ ομαλή, χωρίς σημαντικές λεπτομέρειες. Όσο μεγαλύτερος του 1 είναι ο αριθμός της fractal διάστασης, τόσο πιο ακανόνιστη και χαοτική είναι η ακτή και τα ακανόνιστα χαρακτηριστικά διατηρούνται σε όλο και μικρότερες κλίμακες. Η γραμμή της παραλίας της Βρετανίας έχει κλασματική διάσταση 1,26.



Σχήμα 1.1: Η καμπύλη Peano, ένα μονοδιάστατο σχήμα, που γεμίζει το επίπεδο

Η έννοια της κλασματικής διάστασης γίνεται περισσότερο κατανοητή, μέσω της καμπύλης του Peano, μιας καμπύλης που γίνεται τόσο πολύ ακανόνιστη σε απείρως μικρές κλίμακες, ώστε η fractal διάσταση της είναι ίση με 2. Αυτό συμβαίνει επειδή η καμπύλη του Peano έχει τόσες πολλές αναδιπλώσεις, ώστε φτάνει σε κάθε σημείο του επιπέδου, αλλά παρά την εξαιρετική της πολυπλοκότητα, που της επιτρέπει να εφάπτεται του εαυτού της, ουδέποτε τέμνει τον εαυτό της.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι μια μεγαλύτερη κλασματική διάσταση σημαίνει μεγαλύτερο βαθμό πολυπλοκότητας και ανωμαλίας. Αλλά σε καμμία περίπτωση η κλασματική διάσταση δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την ευκλείδεια διάσταση του χώρου στον οποίο το κλασματικό σχήμα περιέχεται. Μία γραμμή, όσο πολύπλοκη και αν είναι, δεν μπορεί να έχει διάσταση μεγαλύτερη από 2, ενώ ένα τοπίο με λόφους δεν μπορεί να έχει διάσταση μεγαλύτερη από 3.

#### 1.4. Διάσταση Hausdorff

Το 1919, ο Γερμανός μαθηματικός Felix Hausdorff κατέληξε σε έναν τρόπο γενίκευσης της διάστασης. Εισήγαγε την ιδέα της κλασματικής διάστασης, μια έννοια που τώρα πλέον είναι μια από τις πολλές μεθόδους χαρακτηρισμού των κλασματικών αντικειμένων.

Για κάθε κλασματικό σχήμα, μεγέθους  $P$ , που έχει κατασκευασθεί από μικρότερα σχήματα μεγέθους  $p$ , ο αριθμός  $N$  των μικρότερων σχημάτων που περιλαμβάνονται στο σχήμα μεγέθους  $P$ , είναι ο λόγος μεγέθυνσης υψωμένος σε μια δύναμη με εκθέτη  $d$ , που ονομάζεται διάσταση Hausdorff. Μαθηματικά μπορεί να εκφρασθεί:

$$N = \left(\frac{P}{p}\right)^d \quad \eta \quad d = \frac{\log N}{\log \frac{P}{p}} \quad (1)$$

Αυτός ο τρόπος ορισμού της διάστασης δείχνει ότι γνωστά σχήματα της ευκλείδειας γεωμετρίας, όπως η ευθεία, το τετράγωνο και ο κύβος είναι επίσης κλασματικά σχήματα, αν και μαθηματικά θεωρούνται κλασικές περιπτώσεις. Η ευθεία περιέχει μικρά ευθύγραμμα τμήματα, το τετράγωνο περιέχει μικρά τετράγωνα και ο κύβος μικρούς κύβους.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός τετραγώνου, αν τριπλασιάσουμε την πλευρά του, προκύπτει ένα καινούριο τετράγωνο, που περιέχει 9 αρχικά τετράγωνα. Εφαρμόζοντας τη σχέση Hausdorff, για:

$N = 3$  και λόγο μεγέθυνσης  $P/p = 3$ ,

η διάσταση Hausdorff υπολογίζεται ίση με:

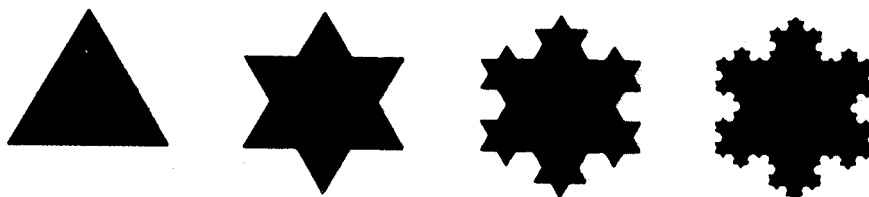
$$d = \frac{\log 9}{\log 3} = \frac{\log 3^2}{\log 3} = 2$$

Αρα η διάσταση Hausdorff του τετραγώνου είναι 2 και συμπίπτει με αυτή της κλασικής γεωμετρίας.

## 1.5. Εφαρμογή της διάστασης Hausdorff σε κλασματικά σχήματα

### 1.5.1 Νιφάδα Koch

Όπως και πολλά άλλα κλασματικά σχήματα, η νιφάδα του Koch μπορεί να δημιουργηθεί σταδιακά, με μια επαναληπτική διαδικασία, ξεκινώντας από ένα αρχικό απλό σχήμα και μετατρέποντας το σε μια όλο και πιο ανώμαλη μορφή.



Σχήμα 1.2: Η νιφάδα Koch, στα πρώτα στάδια της κατασκευής της.

Η νιφάδα Koch ξεκινά με ένα ισόπλευρο τρίγωνο. Η πρόσθεση ενός ισόπλευρου τριγώνου (με μέγεθος πλευράς ίση με το  $1/3$  της πλευράς του αρχικού τριγώνου) στο μέσο κάθε πλευράς του μεγάλου τριγώνου, μετατρέπει το σχήμα σε 1 αστερί με 6 κορυφές. Η περίμετρος αυτού του αστεριού αποτελείται από 12 ευθύγραμμα τμήματα και το μήκος της είναι ίσο με τα  $4/3$  της περιμέτρου του αρχικού τριγώνου. Στο επόμενο στάδιο, 12 μικρότερα τρίγωνα προστίθενται στο μέσο κάθε πλευράς του αστεριού. Συνεχίζοντας αυτή τη διαδικασία και προσθέτοντας ολοένα και μικρότερα τρίγωνα στο μέσο κάθε πλευράς του νέου αστεριού δημιουργείται η νιφάδα Koch. Η περίμετρος της γραμμής Koch είναι συνεχής, αλλά σίγουρα δεν είναι ομαλή, καθώς υπάρχουν



άπειρα zig - zag ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε σημεία της. Μια εφαπτομένη, δηλαδή η μοναδική ευθεία που ακουμπά την καμπύλη σε ένα μόνο σημείο, δεν μπορεί ποτέ να σχεδιασθεί σε κανένα σημείο της καμπύλης Koch. Επίσης το μήκος της γραμμής ανάμεσα σε δύο τυχαία σημεία είναι άπειρο. Παρ' όλα αυτά η καμπύλη αυτή περικλείει μια επιφάνεια πεπερασμένου εμβαδού, το οποίο παρά την ανώμαλη περίμετρο του σχήματος μπορεί να υπολογισθεί και είναι ακριβώς ίσο με  $8/5$  του εμβαδού του αρχικού τριγώνου.

Για να εφαρμόσουμε την έννοια της διάστασης Hausdorff στη νιφάδα Koch, υποθέτουμε ότι στο πρώτο στάδιο της κατασκευής της, η νιφάδα έχει πλευρά μήκους 1m. Με μονάδα μέτρησης 1m, η νιφάδα φαίνεται σαν ένα ισόπλευρο τρίγωνο φτιαγμένο από 3 ευθύγραμμα τμήματα μήκους 1m το καθένα. Πιο λεπτομερείς αποκλίσεις δεν γίνονται ορατές. Αν η μονάδα μέτρησης γίνει  $1/3$  m τότε φανερώνονται 12 ευθύγραμμα τμήματα μήκους  $1/3$  m το καθένα. Κάθε φορά που η μονάδα μέτρησης μικραίνει κατά  $1/3$ , ο αριθμός των ορατών τμημάτων γίνεται 4 φορές μεγαλύτερος.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε :

$$N = 4 \text{ και } P/p = 3^1$$

Αρα σύμφωνα με τον Hausdorff έχουμε  $3d = 4$  και έτσι:

$$d = \frac{\log 4}{\log 3} = 1.2618$$

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η διάσταση Hausdorff της νιφάδας Koch είναι 1,2618 και ακόμα είναι προφανής ο ρόλος της μονάδας μέτρησης στον υπολογισμό του μήκους ενός κλασματικού αντικειμένου.

### 1.5.2. Το σύνολο Cantor

Το σύνολο (ή σκόνη) του Cantor δημιουργείται επίσης με μια επαναληπτική διαδικασία ως εξής:

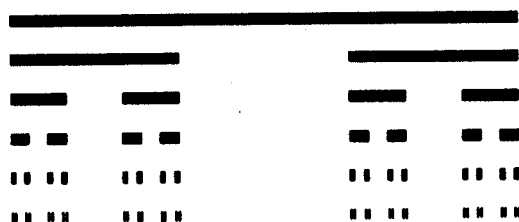
Θεωρούμε ένα ευθύγραμμο τμήμα και το χωρίζουμε σε τρία ίσα μέρη. Στη συνέχεια αφαιρούμε το μεσαίο τμήμα και θεωρούμε ότι το σύνολο μας αποτελείται από τα δύο ακραία τμήματα. Καθένα από τα δύο αυτά μέρη που απέμειναν τα υποβάλλουμε σε νέα διαίρεση, ακριβώς με τον ίδιο τρόπο με πριν. Εχοντας κάνει και τη διαίρεση αυτή, απορρίπτουμε τα μεσαία μέρη των

---

<sup>1</sup>Ο λόγος  $P/p$  είναι ουσιαστικά ο λόγος μεγέθυνσης των μονάδων μέτρησης για δύο διαδοχικές επαναλήψεις του μοντέλου της νιφάδας, ενώ  $N$  είναι ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές αυξήθηκε το πλήθος των αντικειμένων (ευθύγραμμων τμημάτων), λόγω μείωσης της μονάδας μέτρησης από  $P$  σε  $p$  (από 1m σε  $1/3$  m, κλπ).

δύο τμημάτων και μικραίνοντας την κλίμακα της δραστηριότητας αυτής συνεχίζουμε επ' απειρον.

Με τη διαδικασία αυτή προσεγγίζουμε ένα σύνολο σημείων, που είναι κάτι λιγότερο από μία γραμμή, αλλά και κάτι περισσότερο από ένα σύνολο ασύνδετων σημείων. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ασυνεχές, μια "σκόνη" από σημεία.



Σχήμα 1.3: Το σύνολο του Cantor - η αρχική ευθεία μετατρέπεται σε σκόνη σημείων

Για να εφαρμόσουμε την έννοια της διάστασης Hausdorff στο σύνολο του Cantor υποθέτουμε ότι στο πρώτο στάδιο της κατασκευής του το ευθύγραμμο τμήμα έχει μήκος 1m. Με μονάδα μέτρησης 1m, το σύνολο Cantor φαίνεται σαν ένα συνεχές ευθύγραμμο τμήμα. Αν η μονάδα μέτρησης γίνει 1/3 m τότε φανερώνονται 2 ευθύγραμμο τμήματα μήκους 1/3 m το καθένα. Κάθε φορά που η μονάδα μέτρησης μικραίνει κατά 1/3, ο αριθμός των ορατών τμημάτων γίνεται 2 φορές μεγαλύτερος.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε :

$$N = 2 \text{ και } P/p = 3$$

Αρα σύμφωνα με τον Hausdorff έχουμε  $3d = 2$  και έτσι:

$$d = \frac{\log 2}{\log 3} = 0.6309 \quad d = \frac{\log 2}{\log 3} = 0.6309$$

Η σκόνη του Cantor έχει fractal διάσταση 0,6309 και βρίσκεται στα μισά του δρόμου ανάμεσα σε μια γραμμή και ένα σημείο. Αναπόφευκτα δημιουργείται το ερώτημα: Θα υπήρχε άραγε διαφορά αν ο αρχικός επιμερισμός ήταν σε 5 και όχι σε 3 κομμάτια και κάθε φορά αντί για το μεσαίο αφαιρούνταν το δεύτερο και το τέταρτο τμήμα; Το ένα σημειοσύνολο είναι πιο "σφιχτοδεμένο"

από το άλλο ή όχι; Η εφαρμογή της διάστασης του Hausdorff, αυτή τη φορά έχει ως εξής:

$$N = 3 \text{ και } P/p = 5$$

Αυτή τη φορά σύμφωνα με τον Hausdorff έχουμε  $5d = 3$  και:

$$d = \frac{\log 3}{\log 5} = 0.6826$$

## 1.6. Αυτοομοιότητα και αυτοσυγγένεια

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα κλασματικά (fractal) αντικείμενα περιλαμβάνουν δομές φωλιασμένες η μία μέσα στην άλλη. Καθεμία από τις δομές αυτές είναι μια μινιατούρα - σμίκρυνση, αλλά όχι πάντα πανομοιότυπη της μεγαλύτερης μορφής. Στην περίπτωση που οι μορφές που επαναλαμβάνονται σε διαφορετικές κλίμακες, μέσα στο ίδιο σχήμα (που τις περιλαμβάνει), δεν είναι ακριβώς όμοιες μεταξύ τους ή με το αρχικό σχήμα, τότε το κλασματικό αντικείμενο χαρακτηρίζεται από την ιδιότητα της αυτοσυγγένειας (*self-affinity*).

Η αυτοσυγγένεια είναι παραπλήσια ιδιότητα με την αυτοομοιότητα και είναι αυτή που χαρακτηρίζει συνήθως τα fractal αντικείμενα. Για να γίνει περισσότερο κατανοητή αναφέρεται το παρακάτω παράδειγμα.

Εστω ότι το κλασματικό αντικείμενο είναι μια ορθογωνική επιφάνεια με διαστάσεις  $w$  και  $l$ , η οποία διαιρείται σε 4 μικρότερες, με τις δύο διαφορετικές μεθόδους του σχήματος 1.4. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι η αρχική επιφάνεια να εκφυλισθεί σε ένα σύνολο σημείων. Αν θελήσουμε να ιεραρχήσουμε τα προκύπτοντα σχήματα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η αρχική επιφάνεια είναι τάξης  $n$  με διαστάσεις  $w_n$  και  $l_n$ , οι 4 επιφάνειες που παράγονται απ' αυτήν είναι τάξης  $n-1$  με διαστάσεις  $w_{n-1}$  και  $l_{n-1}$ , κλπ.

Επίσης, αν το εμβαδό της αρχικής επιφάνειας είναι  $A_n$  και αυτών στις οποίες διαιρείται  $A_{n-1}$ , υπάρχει και το υπόλοιπο της επιφάνειας (γραμμοσκιάζεται στο σχήμα) και είναι ίσο με  $\Delta A_n = A_n - \Sigma A_{n-1}$ . Τα ίδια ακριβώς ισχύουν και στις μικρότερες κλίμακες, για τις επαναλαμβανόμενες περιπτώσεις διαίρεσης μιας επιφάνειας.

Στην περίπτωση που το αρχικό fractal αντικείμενο είναι αυτοόμοιο με τα παραγόμενα (περίπτωση α σχήματος 1.4), η κλασματική διάσταση Hausdorff, προκύπτει από τη σχέση (1), εφόσον γίνουν οι αντικαταστάσεις:

$$N = \frac{\sum A_{n-1}}{A_{n-1}} = \frac{A_n - \Delta A_n}{A_{n-1}} \quad (2)$$

και

$$\frac{P}{p} = \frac{l_n}{l_{n-1}} \quad (3)$$

Ετσι τελικά η κλασματική διάσταση του αντικειμένου για την περίπτωση της αυτοομοιότητας είναι:

$$d = \frac{\log \frac{A_n - \Delta A_n}{A_{n-1}}}{\log \frac{l_n}{l_{n-1}}} \quad (4)$$

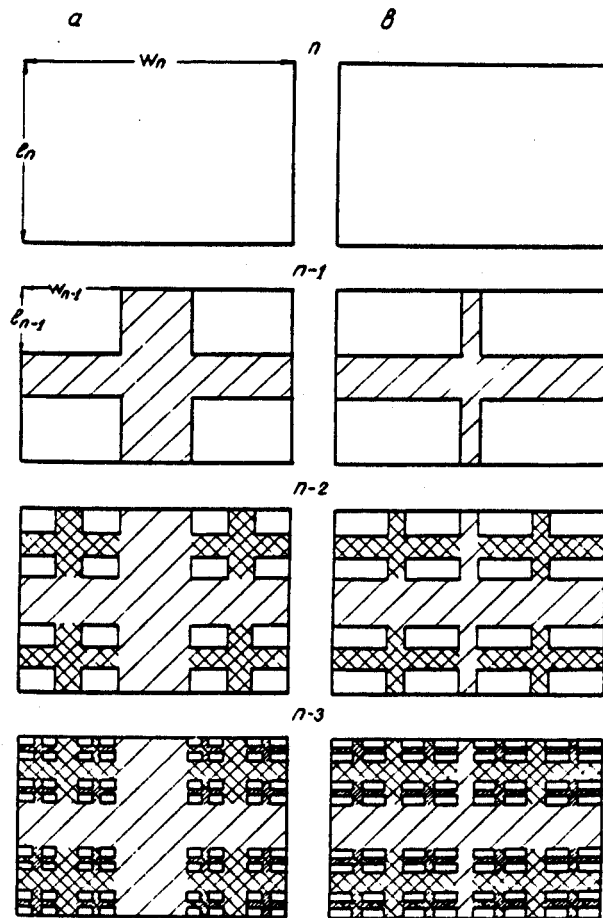
Στην περίπτωση όμως που το αρχικό αρχικό fractal αντικείμενο δεν είναι ακριβώς όμοιο με τα παραγόμενα, αλλά παραπλήσιας μορφής, όπως φαίνεται στην περίπτωση β του σχήματος 1.4, τότε χαρακτηρίζεται από την ιδιότητα της αυτοσυγγένειας και η σχέση (4), δεν κρίνεται κατάλληλη για τον υπολογισμό της διάστασης Hausdorff του αντικειμένου.

Στην περίπτωση του αυτοσυγγενούς αυτού σχήματος, η κλασματική του διάσταση ορίζεται και προς τις δύο διευθύνσεις (διαμήκης και εγκάρσια σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$d_1 = \frac{\log \frac{A_n - \Delta A_n}{A_{n-1}}}{\log \frac{l_n}{l_{n-1}}} \quad (5)$$

και

$$d_w = \frac{\log \frac{A_n - \Delta A_n}{A_{n-1}}}{\log \frac{w_n}{w_{n-1}}} \quad (6)$$



Σχήμα 1.4: Αυτοομοιότητα και αυτοσυγγένεια



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

#### 2.1. Γενικά

Η αναγνώριση ενός υδρογραφικού δικτύου μπορεί να γίνεται μέσω:

- Χαρτών με διάφορες κλίμακες
- Αεροφωτογραφιών
- Ψηφιακών μοντέλων ανύψωσης - DEM (Digital Elevation Models)
- Επιτόπου μετρήσεων και οδεύσεων κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης.

Σε όλες τις περιπτώσεις (εκτός ίσως από την τελευταία, η οποία όμως μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο σε λεκάνες περιορισμένων διαστάσεων), το υδρογραφικό δίκτυο δεν είναι "σταθερό", αλλά παρουσιάζει διαφορές -μικρές ή μεγάλες, ανάλογα με το πόσο λεπτομερής είναι η ανάλυση στην οποία υπόκειται.

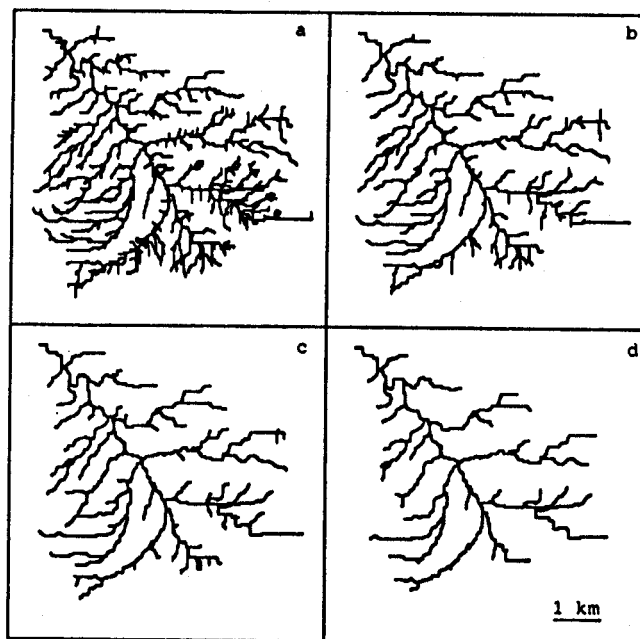
Η ολοένα και ευρύτερη διάδοση και χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών - GIS, παρέχει τη δυνατότητα εύρεσης υδρολογικών μεγεθών, όπως ο προσδιορισμός της κλασματικής διάστασης, της πυκνότητας και της αποχετευτικής δυνατότητας του υδρογραφικού δικτύου, ο υπολογισμός του μήκους της μισγάγγειας του κύριου υδατορεύματος και του χρόνου συρροής της λεκάνης, η εύρεση της υπολεκάνης απορροής για κάθε δευτερεύον υδατόρευμα και της κλίσης κατά μήκος των υδατορευμάτων, κ.α. Τα στοιχεία αυτά είναι πολύ χρήσιμα για έναν Υδρολόγο, στην εκτίμηση της συμπεριφοράς μιας λεκάνης και κυρίως της χωροχρονικής εξέλιξης των πλημμυρών.

#### 2.2. Η κλασματική φύση των υδρογραφικών δικτύων

Η κλασματική γεωμετρία καταπιάνεται με όλα τα πολύπλοκα, ακανόνιστα αντικείμενα που παρουσιάζουν την ιδιότητα της αυτοομοιότητας, αν εξετασθούν σε διάφορες κλίμακες και γι' αυτό το λόγο βρίσκει πλήρη εφαρμογή στα υδρογραφικά δίκτυα των υδρολογικών λεκανών. Η fractal φύση ενός υδρογραφικού δικτύου οφείλεται στην ιδιότητα του να εκτείνεται τόσο, ώστε να καλύπτει το σύνολο της λεκάνης που το περιέχει.

Τα παραπάνω γίνονται πιο κατανοητά, στην περίπτωση που το υδρογραφικό δίκτυο της ίδιας λεκάνης εξετάζεται με τη βοήθεια χαρτών διαφορετικής κλίμακας (σχήμα 2.1). Αν η αναγνώριση του υδρογραφικού δικτύου γίνεται

μέσω χαρτών 1:5000 (εικόνα a), τότε αυτό παρουσιάζει μεγάλη πυκνότητα, "γεμίζει" σχεδόν το γεωγραφικό χώρο της λεκάνης, ενώ παρατηρείται και η ύπαρξη μεγάλου αριθμού ρεμμάτων με μικρό μήκος και ασήμαντη έκταση απορροής. Το υδρογραφικό δίκτυο εξετάζόμενο μέσω χαρτών 1:25000 (εικόνα b), γίνεται αραιότερο, με μικρότερο αριθμό ποταμιών, ενώ τα φαινόμενα αυτά παρουσιάζονται εντονότερα για αναγνώριση του δικτύου μέσω χάρτη με κλίμακα 1:50000 (εικόνα c). Για κλίμακα 1:100000 (εικόνα d), το υδρογραφικό δίκτυο που προκύπτει είναι πολύ αραιό, ενώ η παρουσία ρεμμάτων μικρού μήκους είναι σχεδόν ανύπαρκτη.



Σχήμα 2.1: Κατασκευή του υδρογραφικού δικτύου λεκάνης, για διαφορετικές κλίμακες

### 2.3. Ταξινόμηση των υδατορευμάτων ενός υδρογραφικού δικτύου

Είναι προφανές ότι για την λεπτομερή εξέταση ενός υδρογραφικού δικτύου, απαιτείται η ύπαρξη μιας ιεραρχίας ανάμεσα στα ποτάμια (κλάδους) που το απαρτίζουν.

Τα υδατορεύματα μπορούν να χωρισθούν σε κατηγορίες, ανάλογα με τη σημασία, το μέγεθος και τη θέση τους στο υδρογραφικό δίκτυο. Έτσι κάθε υδατόρευμα έχει ως χαρακτηριστικό έναν αριθμό που αντιστοιχεί στην τάξη του μέσα στο δίκτυο. Η τάξη ενός ποταμιού μπορεί να καθορισθεί με δύο διαφορετικές μεθόδους:

- Κατά Strahler



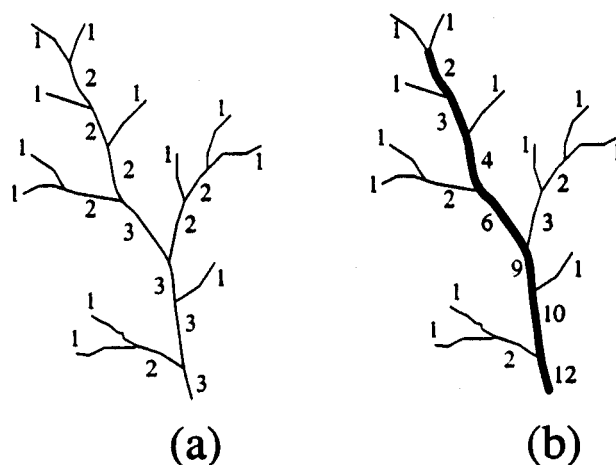
- Κατά Shreve

### 2.3.1. Τάξη υδατορεύματος κατά Strahler

Σύμφωνα με τη μέθοδο Strahler, ένα ποτάμι που δεν δέχεται τον όγκο απορροής κανενός άλλου ποταμιού, αλλά μόνο της ελάχιστης έκτασης απορροής<sup>1</sup> που μπορεί να σχηματίσει υδατόρευμα, θεωρούμε ότι έχει τάξη 1.

Στην περίπτωση της συμβολής δύο υδατορευμάτων της ίδιας τάξης, προκύπτει ένα ποτάμι τάξης 2. Για κάθε περίπτωση συμβολής ποταμιών με τάξη 1 στο υδατόρευμα αυτό, η τάξη του δεν αλλάζει, αλλά παραμένει σταθερή μέχρι να συμβάλλει σε άλλο υδατόρευμα ίσης ή μεγαλύτερης τάξης. Αντίστοιχα η συμβολή δύο υδατορευμάτων τάξης 2, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ποταμιού με τάξη 3, η οποία παραμένει σταθερή κατάντι των διακλαδώσεων με ποτάμια μικρότερης τάξης.

Με αυτόν τον τρόπο ταξινομούνται τα ποτάμια του υδρογραφικού δικτύου σε τάξεις, ενώ η τάξη του σημαντικότερου υδατορεύματος στην έξοδο της λεκάνης έχει οπωσδήποτε τη μεγαλύτερη τιμή και αντιστοιχεί στην τάξη της ίδιας της υδρολογικής λεκάνης.



Σχήμα 2.2: Ταξινόμηση υδατορευμάτων κατά Strahler (a) και Shreve (b)

### 2.3.2. Τάξη υδατορεύματος κατά Shreve

Η διαφορά με την προηγούμενη μέθοδο ταξινόμησης είναι ότι στην περίπτωση συμβολής δύο υδατορευμάτων ίδιας ή διαφορετικής τάξης, το υδατόρευμα που προκύπτει στα κατάντι της έχει τάξη ίδια με το άθροισμα των τάξεων των δύο

<sup>1</sup> Η έκταση αυτή ονομάζεται threshold area και θα μας απασχολήσει περισσότερο στις επόμενες παραγράφους.

συμβαλλόντων υδατορευμάτων και τη διατηρεί μέχρι τη συμβολή του με άλλο ποτάμι ίδιας, μεγαλύτερης ή μικρότερης τάξης.

Με τη μέθοδο αυτή καταλήγουμε σε πολύ υψηλή τάξη λεκάνης και υδατορεύματος στην έξοδο της, ενώ το μήκος των υδατορευμάτων για τάξεις μεγαλύτερες της 1ης, μειώνεται σημαντικά, σε σχέση με τη μέθοδο Strahler.

#### 2.4. Νόμοι του Horton

Ο Horton προχώρησε σε ποσοτική ανάλυση υδρογραφικών δικτύων, θεωρώντας αυτά ως ταξινομημένα συστήματα, σύμφωνα με τη μέθοδο Strahler και διατύπωσε τις σχέσεις που αναφέρονται παρακάτω, έτσι ώστε να περιγράψει τις ιδιότητες κλίμακας και αυτοομοιότητας που χαρακτηρίζουν τα δίκτυα αυτά.

Αν θεωρήσουμε το υδρογραφικό δίκτυο μιας λεκάνης με τάξη  $\Omega$  (ίδια τάξη με αυτή του κύριου υδατορεύματος που καταλήγει στην έξοδο της λεκάνης) και ο αριθμός των τμημάτων ποταμιών που κατατάσσονται σε κάθε τάξη  $u < \Omega$  είναι  $n(u)$ , τότε σύμφωνα με τον 1ο νόμο του Horton, πρέπει να ισχύει:

$$R_b = \frac{n(u-1)}{n(u)} = \text{σταθ.} \quad (7)$$

όπου με  $n(u)$  και  $n(u-1)$ , υποδηλώνεται ο αριθμός των κλάδων ποταμιών με τάξη  $u$  και  $u-1$  αντίστοιχα.

Αν επίσης θεωρήσουμε ότι το μέσο μήκος των κλάδων ποταμιών με τάξη  $u$  στην ίδια λεκάνη (τάξης  $\Omega$ ) είναι  $l(u)$ , τότε σύμφωνα με το 2ο νόμο του Horton, πρέπει να ισχύει:

$$R_L = \frac{l(u+1)}{l(u)} = \text{σταθ.} \quad (8)$$

όπου με  $l(u+1)$  και  $l(u)$ , υποδηλώνεται το μέσο μήκος των κλάδων ποταμιών με τάξη  $u+1$  και  $u$  αντίστοιχα.

Οι νόμοι κλίμακας του Horton έχουν βρει εφαρμογή σε μεγάλο αριθμό υδρολογικών λεκανών, τονίζοντας την ιδιότητα της αυτοομοιότητας στα υδρογραφικά δίκτυα.

Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι σε όλα τα υδρογραφικά δίκτυα ισχύει:

$$R_b > 1 \text{ και } R_L > 1 \quad (9)$$

καθώς:  $n(u-1) > n(u)$  και  $l(u+1) > l(u)$

Ετσι, για όλα τα υδρογραφικά δίκτυα:

- Οι κλάδοι υδατορευμάτων ορισμένης τάξης του δικτύου είναι πάντα περισσότεροι από αυτούς που ανήκουν σε μία μεγαλύτερη τάξη.
- Το μέσο μήκος των κλάδων υδατορευμάτων ορισμένης τάξης του δικτύου είναι πάντα μεγαλύτερο από αυτό των κλάδων που ανήκουν σε μικρότερες τάξεις.

Επιπλέον, ο δείκτης  $R_L$  του Horton χρησιμεύει για τη σύνδεση των μέσων μηκών ανάμεσα σε κλάδους διαφόρων τάξεων, καθώς ισχύει:

$$l(2) = l(1) \cdot R_L$$

$$l(3) = l(2) \cdot R_L$$

.....

$$l(u) = l(u-1) \cdot R_L$$

.....

$$l(\Omega) = l(\Omega+1) \cdot R_L$$

με αποτέλεσμα τελικά:

$$l(u) = l(1) \cdot R_L^{u-1} \quad (10)$$

$$l(\Omega) = l(1) \cdot R_L^{\Omega-1} \quad (11)$$

$$l(\Omega) = l(u) \cdot R_L^{\Omega-u} \quad (12)$$

όπου  $l(1), l(2), \dots, l(u), \dots, l(\Omega)$  τα μέσα μήκη των υδατορευμάτων με τάξεις 1, 2, ..., u, ... και  $\Omega$  αντίστοιχα.

## 2.5. Ο ρόλος της κλίμακας στα υδρογραφικά δίκτυα

Έχει ήδη αναφερθεί ότι η αναγνώριση ενός υδρογραφικού δικτύου μέσω δύο χαρτών διαφορετικής κλίμακας οδηγεί σε αποτελέσματα που μπορεί να έχουν σημαντικές διαφορές. Για παράδειγμα, η εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Piedmont στη Virginia των Ηνωμένων Πολιτειών, από χάρτες κλίμακας 1:250.000 και 1:24.000 έδειξε ότι ο αριθμός κλάδων ποταμών 1ης τάξης ανά Km<sup>2</sup> λεκάνης είναι 0,14 και 3,20 αντίστοιχα. Η εφαρμογή σε λεκάνες του ελληνικού χώρου που έγινε στα πλαίσια αυτής της εργασίας και θα παρουσιασθεί αναλυτικά παρακάτω, έδωσε παρόμοια αποτελέσματα.

Για να γίνει πιο κατανοητός ο ρόλος της κλίμακας στα υδρογραφικά δίκτυα, θα προσεγγίσουμε θεωρητικά τη μεταβολή των χαρακτηριστικών του δικτύου όταν αλλάζει η κλίμακα.

Έτσι η αύξηση της κλίμακας έχει ως αποτέλεσμα:

- Την αύξηση της μέγιστης τάξης του δικτύου (και της λεκάνης γενικότερα).
- Τη μείωση του μέσου μήκους και την αύξηση του αριθμού των κλάδων υδατορευμάτων 1ης τάξης.
- Την αύξηση του συνολικού μήκους του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης.
- Την αύξηση της πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου (Km/Km<sup>2</sup>).

Το μοναδικό στοιχείο του δικτύου που παραμένει ανεπηρέαστο από την αλλαγή της κλίμακας είναι το μήκος  $l(\Omega)$  του ποταμιού με τη μεγαλύτερη τάξη  $\Omega$ , καθώς αυτό σχηματίζεται από το σημείο<sup>2</sup> που συμβάλλουν δύο ποτάμια με τάξη  $\Omega-1$  και καταλήγει στην έξοδο της λεκάνης.

## 2.6. Η έννοια της threshold area

Είναι λοιπόν προφανές ότι η τάξη, η πυκνότητα και το συνολικό μήκος ενός υδρογραφικού δικτύου είναι "σχετικά" μεγέθη. Μία πολύ σημαντική παράμετρος για την αναγνώριση του υδρογραφικού δικτύου μιας λεκάνης είναι η επιλογή της ελάχιστης επιφάνειας απορροής, για την οποία υφίσταται η δημιουργία υδατορεύματος 1ης τάξης. Η επιφάνεια αυτή ονομάζεται κατώφλι σχηματισμού υδατορεύματος ή threshold area και το μέγεθος της είναι πολύ σημαντικό, καθώς επηρεάζει την πυκνότητα του δικτύου και τη μέγιστη τάξη υδατορεύματος της λεκάνης.

---

<sup>2</sup>Το σημείο αυτό μπορεί να μετατοπίζεται μέσα στη λεκάνη, ανάλογα με την επίδραση των μεταβολών της κλίμακας, στην τάξη των μικρότερων υδατορευμάτων.

Η επιλογή της threshold area είναι καθοριστική για την εξαγωγή ενός υδρογραφικού δικτύου, όταν αυτό προκύπτει με χρήση συστήματος GIS<sup>3</sup>, έχοντας σα δεδομένο το ψηφιακό μοντέλο DEM στην περιοχή της λεκάνης. Σε ένα τέτοιο μοντέλο, η επιφάνεια του εδάφους είναι χωρισμένη σε τετραγωνικές ψηφίδες ίδιας πλευράς και δεδομένου υψόμετρου (θεωρείται σταθερό σε ολόκληρη την επιφάνεια της ψηφίδας). Η εύρεση της ροής του νερού στο δίκτυο γίνεται με βάση το κριτήριο της μέγιστης κλίσης, σύμφωνα με το οποίο, το νερό που αντιστοιχεί στο συνολικό εμβαδόν μιας ψηφίδας, απορρέει προς την ψηφίδα με το χαμηλότερο υψόμετρο, από τις οκτώ που την περιβάλλουν. Πρόβλημα δημιουργείται στην περίπτωση που μια ψηφίδα έχει μεγαλύτερο υψόμετρο<sup>4</sup> και από τις οκτώ γειτονικές της, οπότε το νερό που συγκεντρώνει δε βρίσκει διέξοδο.

### 2.6.1. Το πρόβλημα των κοιλοτήτων

Στην περίπτωση λοιπόν που μία ψηφίδα δεν μπορεί να βρει καμμία άλλη με χαμηλότερο υψόμετρο, ανάμεσα στις 8 γειτονικές της, πρέπει να αναιρεθεί, δηλαδή να της δοθεί ένα υψόμετρο μεγαλύτερο από το πραγματικό της, έτσι ώστε να μη δημιουργεί πρόβλημα στην ομαλότητα του υδρογραφικού δικτύου. Αν η ψηφίδα (κοιλότητα) δεν αναιρεθεί, τότε θα διακοπεί η ροή του τμήματος του ποταμιού μόλις φθάσει σ' αυτή και η έκταση απορροής θα χωριστεί σε δύο τμήματα, με άμεσες επιπτώσεις στα αποτελέσματα.

Όταν η συνολική λεκάνη απορροής περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό ψηφίδων που δεν απορρέουν (κοιλοτήτων), και αυτές δεν αναιρεθούν, τότε το υδρογραφικό της δίκτυο χωρίζεται σε μικρότερα και ανεξάρτητα μεταξύ τους δίκτυα, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του νερού των υδατορευμάτων δεν καταλήγει στην έξοδο της λεκάνης, αλλά στα σημεία όπου υπάρχουν οι μεγαλύτερες κοιλοότητες.

Πρέπει πάντως να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αναίρεση των κοιλοτήτων, καθώς μπορεί ορισμένες από αυτές να είναι φυσιολογικές, δηλαδή να υπάρχουν στην πραγματικότητα και να ορίζουν μια μικρή ή μεγάλη λίμνη, που γίνεται αποδέκτης σημαντικού μέρους της επιφανειακής απορροής της λεκάνης. Αφού υπολογίσουμε το βάθος της κοιλότητας και ταυτόχρονα συμβουλευθούμε το σχετικό χάρτη, μπορούμε να κρίνουμε αν οι ψηφίδες που την αποτελούν πρέπει να αφαιρεθούν ή όχι. Στο κεφάλαιο που παρουσιάζονται οι εργασίες εξαγωγής ενός υδρογραφικού δικτύου, με χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών, θα περιγραφεί αναλυτικά η σχετική διαδικασία και οι κατάλληλες εντολές.

---

<sup>3</sup>Θα γίνει εκτενής αναφορά στην εξαγωγή υδρογραφικού δικτύου μέσω συστήματος GIS, στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

<sup>4</sup>Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε λανθασμένη εισαγωγή δεδομένων, είτε σε φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, όπως λίμνες, κοιλοότητες, βυθίσματα, κ.α.

## 2.6.2. Το μέγεθος της threshold area

Το μέγεθος της threshold area συνήθως εκλέγεται αυθαίρετα (με βάση τον αριθμό των τετραγωνικών ψηφίδων που περιλαμβάνει) και φυσικά όσο μεγαλύτερο είναι, τόσο αραιότερο είναι το υδρογραφικό δίκτυο που προκύπτει.

Πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι για μία λεκάνη απορροής που είναι χωρισμένη σε στοιχειώδεις επιφάνειες - threshold area - δεν είναι απαραίτητο η καθεμία από αυτές να δίνει ένα ολοκληρωμένο ποτάμι 1ης τάξης, αλλά να θεωρείται ικανή ώστε να απορρέει ένα τμήμα ποταμιού 1ης τάξης από αυτή.

## 2.7. Κλασματική διάσταση υδρογραφικού δικτύου

Η διάσταση Hausdorff ορίζεται μαθηματικά μέσω της σχέσης:

$$N = \left(\frac{P}{p}\right)^d \quad \eta \quad d = \frac{\log N}{\log \frac{P}{p}} \quad (13)$$

όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 1.4.

Πως όμως μπορεί να εφαρμοσθεί η σχέση αυτή σε ένα κατεξοχήν κλασματική κατασκευή, όπως είναι το υδρογραφικό δίκτυο μιας λεκάνης;

Είναι προφανές ότι ο όρος  $N$  που βρίσκεται στον αριθμητή της σχέσης Hausdorff και αντιστοιχεί στον αριθμό των μικρότερων σχημάτων που περιλαμβάνονται σε ένα μεγαλύτερο σχήμα, στην περίπτωση του υδρογραφικού δικτύου μπορεί να αποδοθεί με το λόγο  $n(u-1)/n(u)$ . Ο λόγος αυτός δείχνει το μέσο αριθμό κλάδων υδατορευμάτων μιας ορισμένης τάξης, που συμβάλλουν ώστε να σχηματισθεί ένας κλάδος της αμέσως μεγαλύτερης τάξης. Σύμφωνα με τον 1ο νόμο του Horton, ο λόγος αυτός είναι σταθερός για όλες τις τάξεις του δικτύου και ίσος με  $R_b$ .

Επίσης ο λόγος μεγέθυνσης  $P/p$  που βρίσκεται στον παρονομαστή της σχέσης Hausdorff αντιστοιχεί στο λόγο  $l(u+1)/l(u)$  των μέσων μηκών των κλάδων υδατορευμάτων δύο διαδοχικών τάξεων. Σύμφωνα με το 2ο νόμο του Horton, και ο λόγος αυτός είναι σταθερός για όλες τις τάξεις του δικτύου και ίσος με  $R_L$ .

Με βάση τα παραπάνω η κλασματική διάσταση ενός υδρογραφικού δικτύου προκύπτει από τη σχέση:

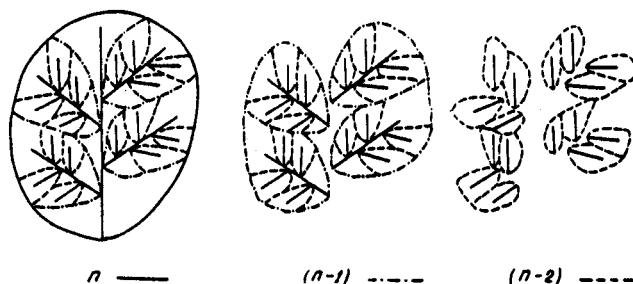
$$d = \frac{\log R_b}{\log R_t} = \frac{\log \frac{n(u-1)}{n(u)}}{\log \frac{l(u+1)}{l(u)}} \quad (14)$$

και αντιστοιχεί σε δίκτυα που χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα της αυτοομοιότητας.

## 2.8. Υπολεκάνες υδρογραφικού δικτύου

Η επιφάνεια του υδρογραφικού δικτύου είναι χωρισμένη σε υπολεκάνες διαφορετικής τάξης, μεγέθους και σημασίας, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα υδατόρευμα της ίδιας τάξης. Ο χωρισμός της συνολικής λεκάνης σε μικρότερες υπολεκάνες είναι επίσης "σχετικός" και εξαρτάται από την κλίμακα ή τη threshold area που χρησιμοποιείται, καθώς το εμβαδόν και η τάξη της κάθε υπολεκάνης είναι αλληλένδετα με το υδατόρευμα στο οποίο αντιστοιχούν.

Η συνολική λεκάνη απορροής και οι ολοένα μικρότερες υπολεκάνες, στις οποίες μπορεί να διαιρεθεί, φαίνονται χαρακτηριστικά στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Υπολεκάνες υδρογραφικού δικτύου.

## 2.9. Νόμος του Horton για υπολεκάνες υδρογραφικού δικτύου

Εκτός από τους νόμους του Horton για τον αριθμό και το μέσο μήκος των κλάδων του δικτύου (που έχουν παρουσιασθεί στην αντίστοιχη παράγραφο), υπάρχει και ο αντίστοιχος νόμος για τα εμβαδά των υπολεκάνων.

Έτσι αν θεωρήσουμε το υδρογραφικό δίκτυο μιας λεκάνης με τάξη  $\Omega$  (ίδια τάξη με αυτή του κύριου υδατορεύματος που καταλήγει στην έξοδο της λεκάνης) και συνολικό εμβαδό  $A$ , ισχύει:

$$R_A = \frac{A(u+1)}{A(u)} = \text{σταθ.} \quad (15)$$

όπου με  $A(u+1)$  και  $A(u)$ , υποδηλώνεται το μέσο εμβαδόν των υπολεκανών που αντιστοιχούν σε κλάδους ποταμιών με τάξη  $u+1$  και  $u$  αντίστοιχα.

Σε αντιστοιχία με τις σχέσεις (10), (11) και (12) της παραγράφου 2.4., ισχύει:

$$A(u) = A(1) \cdot R_A^{u-1} \quad (16)$$

$$A(\Omega) = A(1) \cdot R_A^{\Omega-1} \quad (17)$$

$$A(\Omega) = A(u) \cdot R_A^{\Omega-u} \quad (18)$$

όπου  $A(1)$ ,  $A(2)$ , ...,  $A(u)$ , ...,  $A(\Omega)$  τα μέσα εμβαδά των υπολεκανών των υδατορευμάτων με τάξεις  $1, 2, \dots, u, \dots$  και  $\Omega$  αντίστοιχα.

## 2.10. Αυτοσυγγένεια υπολεκανών υδρογραφικού δικτύου

Όπως γίνεται προφανές από όσα έχουν αναφερθεί μέχρι εδώ, οι υπολεκάνες του υδρογραφικού δικτύου έχουν fractal φύση, καθώς περιλαμβάνουν άλλες μικρότερες, αλλά όχι αναγκαστικά πανομοιότυπες μεταξύ τους και με τις μεγαλύτερες. Έτσι οι υπολεκάνες του δικτύου μπορούν να θεωρηθούν κλασματικά αντικείμενα που χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα της αυτοσυγγένειας<sup>5</sup>.

<sup>5</sup>Με την ίδια λογική και τα υδατορεύματα του υδρογραφικού δικτύου μπορούν να χαρακτηρισθούν ως κλασματικά αυτοσυγγενή αντικείμενα, που διέπονται από τους νόμους που περιγράφηκαν στην παράγραφο .... Στη συγκεκριμένη εργασία όμως θα αντιμετωπισθούν ως αυτοόμοια και θα αγνοηθούν οι πιθανές ανομοιότητες, ανάμεσα στους κλάδους των διαφόρων τάξεων.

Πάντως στην περίπτωση που εξετάσουμε το υδρογραφικό δίκτυο προς τις δύο διευθύνσεις  $w$  και  $l$ , ο νόμος του Horton, για τη διεύθυνση  $w$ , σε αντιστοιχία με τα παραπάνω, εκφράζεται:

$$R_w = w(u+1)/w(u) = \text{σταθ.}$$



## 2.11. Η κλασματική φύση του κύριου υδατορεύματος (mainstream) λεκάνης

Το πρόβλημα του υπολογισμού του συνολικού μήκους των ακτών της Μεγάλης Βρετανίας, που αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.3., βρίσκει εφαρμογή και στα υδρογραφικά δίκτυα, όταν πρέπει να υπολογισθεί το μήκος του κύριου υδατορεύματος (μισγάγγεια) της λεκάνης απορροής. Το μέγεθος αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για ένα υδρολόγο, αφού έχει καθοριστική σημασία για τη χρονική εξέλιξη μιας πλημμύρας.

Επειδή ένα υδατόρευμα έχει fractal φύση (συνεπώς δεν μπορεί να αντιμετωπισθεί σαν μια απλή γραμμή) και οι δυσκολίες υπολογισμού του μήκους του από χάρτη έχουν ήδη αναλυθεί, γίνεται εύκολα αντιληπτή η σημασία της κλασματικής διάστασης του.

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Mesa και Gurta, σε πλήθος λεκανών διαφόρων μεγεθών, η διάσταση του κύριου υδατορεύματος τείνει στο:

1,20 - για λεκάνες με έκταση μικρότερη από 20,000 Km<sup>2</sup>

1,00 - για λεκάνες με έκταση μεγαλύτερη από 20,000 Km<sup>2</sup>

Σχετικά με τον ακριβή προσδιορισμό της διάστασης του κύριου υδατορεύματος, υπάρχουν δύο διαφορετικές απόψεις, σύμφωνα με τις οποίες είναι:

$$D = \max\left(1, 2 \cdot \frac{\log R_L}{\log R_b}\right) \quad (19) \quad \text{Feder (1988)}$$

$$D = \max\left(1, 2 \cdot \frac{\log R_L}{\log R_A}\right) \quad (20) \quad \text{Nikora (1989)}$$

Η εφαρμογή των σχέσεων αυτών σε λεκάνες του Ελλαδικού χώρου, θα διαπιστωθεί σε επόμενο στάδιο της εργασίας.

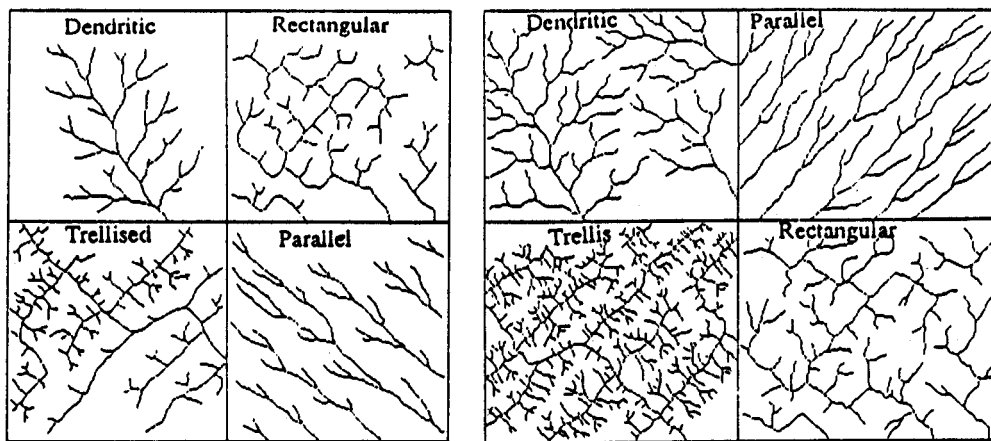
---

Επιπλέον εύκολα αποδεικνύεται ότι ισχύει:

$$R_A = R_w \cdot R_L$$

## 2.12. Οι συνηθέστερες μορφές υδρογραφικών δικτύων

Η μορφή, το σχήμα, το μέγεθος των κλάδων και άλλα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου μιας λεκάνης, το κατατάσσουν σε μία από τις κύριες κατηγορίες δικτύων. Οι κατηγορίες αυτές προέκυψαν από προσεκτική παρατήρηση των υδρολόγων, χαρακτηριστικών όπως, η διάταξη των κλάδων των υδατορευμάτων στο δίκτυο, η γωνία συμβολής των κλάδων ίδιας ή διαφορετικής τάξης, η παραλληλότητα ή καθετότητα των κλάδων, κ.α. Οι παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μεγάλο πλήθος λεκανών και οι κύριες κατηγορίες δικτύων (που φαίνονται στο σχήμα 2.4) είναι:



Σχήμα 2.4: Μορφές υδρογραφικών δικτύων

- Δενδριτικά (dendritic)
- Ορθογωνικά (rectangular)
- Παράλληλα (parallel)
- Trellised

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα υδρογραφικά δίκτυα δεν ανήκουν αυστηρά σε μία από τις παραπάνω κατηγορίες δικτύων, καθώς υπάρχουν και ενδιάμεσες υποκατηγορίες. Επίσης συχνά παρατηρείται το φαινόμενο, (ιδιαίτερα σε μεγάλες λεκάνες), ένα μέρος του δικτύου να ανήκει σε μία κατηγορία και το υπόλοιπο σε μια άλλη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

#### 3.1. Γενικά

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) είναι ειδικά προγράμματα γεωγραφικού χαρακτήρα, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πλήθος επιστημόνων διαφορετικών ειδικοτήτων. Σήμερα τα συστήματα αυτά βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε χωροταξικά θέματα, σε περιβαλλοντικές μελέτες, σε χωματουργικά έργα, σε διαχείριση και οργάνωση δικτύων κοινής ωφέλειας, κ.α.

Η κυριότερη χρήση του συστήματος GIS είναι η αποθήκευση πληροφοριών γεωγραφικού χαρακτήρα και η εύκολη πρόσβαση σ' αυτές. Η πρωτογενής πληροφορία που αποθηκεύεται (και στη συνέχεια ταξινομείται) σε ένα σύστημα GIS είναι τοπογραφική. Τα σημεία μίας περιοχής, που το ανάφλυφο της είναι περασμένο σε σύστημα GIS, είναι δυνατό να συνδεθούν γεωγραφικά με πλήθος άλλων πληροφοριών.

Η εφαρμογή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην Υδρολογία είναι πολύ διαδεδομένη, καθώς η χρήση τους υπερτερεί έντονα της χρήσης χάρτη, τόσο από πλευράς ακρίβειας, όσο και από πλευράς εύκολης και γρήγορης επεξεργασίας, παρά τις δυσχέρειες που παρουσιάζει ορισμένες φορές η εισαγωγή στοιχείων.

Ειδικότερα, τα συστήματα GIS μπορούν να αποδειχθούν ιδιαίτερα χρήσιμα στη μελέτη του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής, καθώς είναι σε θέση να αυτοματοποιήσουν τη διαδικασία εύρεσης των λεκανών απορροής και των κλάδων των διαφόρων ποταμιών του δικτύου. Με δεδομένο το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ή απλώς τις ισοϋψείς καμπύλες ψηφιοποιημένες), ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, μπορεί να χρησιμεύσει στη δημιουργία χαρτών με τις λεκάνες απορροής και τα υδατορεύματα οποιασδήποτε τάξης και μεγέθους και επιπλέον να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες, σχετικά με την κλίση και τον προσανατολισμό του εδάφους, τη ροή και συγκέντρωση του νερού, τη μορφή του υδρογραφικού δικτύου, κ.α.

Επιπλέον, μέσω της κανναβικής (raster ή grid) μορφής ενός συστήματος GIS παρέχεται η δυνατότητα πραγματοποίησης υπολογισμών, που δεν είναι δυνατό να γίνουν σε έναν απλό χάρτη υδρογραφικού δικτύου. Η ύπαρξη γλώσσας προγραμματισμού στο GIS (μακροεντολές) διευκολύνει τους υπολογισμούς αυτούς και οδηγεί στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων, σύμφωνα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις.

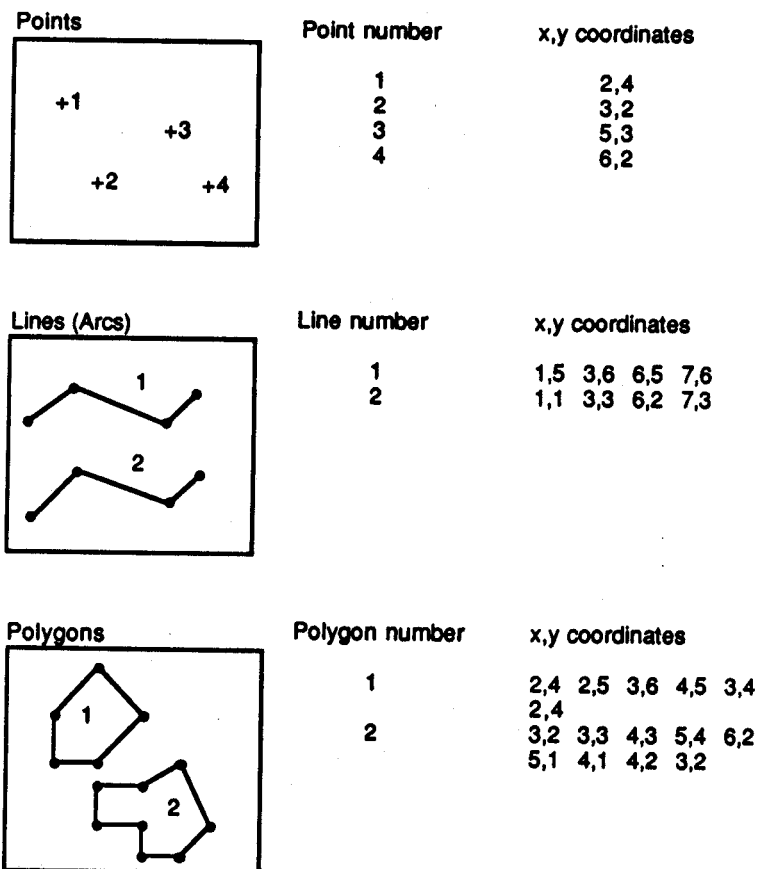
### 3.2. Κατηγορίες συστημάτων GIS

Τα συστήματα GIS χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, σε διανυσματικού τύπου (vector) και σε μωσαϊκού τύπου (raster ή grid) συστήματα.

#### 3.2.1. Συστήματα Vector

Τα δομικά στοιχεία των διανυσματικών συστημάτων είναι:

- ♦ Σημεία
- ♦ Γραμμές
- ♦ Πολύγωνα



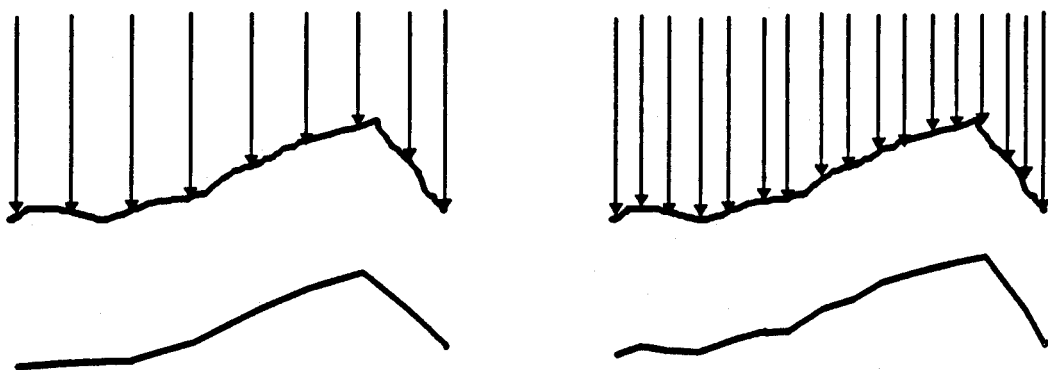
Σχήμα 3.1.: Σημεία, γραμμές και πολύγωνα ενός vector συστήματος

Από το συνδυασμό των δομικών στοιχείων αυτών προκύπτουν τα γεωμετρικά στοιχεία του χώρου, καθένα από τα οποία συνδέεται με ένα σύνολο πληροφοριών, που περιγράφεται στη βάση δεδομένων με τη μορφή πινάκων.

Τα διανυσματικά συστήματα GIS χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την αποθήκευση γραμμικών και επιφανειακών στοιχείων, καθώς οι απαιτήσεις τους σε μνήμη δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες, αφού σε αντίθεση με τα μωσαϊκού τύπου συστήματα, δεν απαιτείται αποθήκευση για οποιοδήποτε σημείο που δεν βρίσκεται επάνω σε γραμμή. Επιπλέον η χρησιμοποίηση διανυσματικού συστήματος ενδείκνυται και στην περίπτωση της τύπωσης χαρτών, αφού καταλαμβάνουν μικρότερο χώρο στη μνήμη του σχεδιαστικού μηχανήματος, σε σχέση με τα raster συστήματα, κάνοντας γρηγορότερη την τύπωση χαρτών.

### 3.2.2. Συστήματα Raster

Ένα raster σύστημα (μωσαϊκού τύπου) είναι ουσιαστικά ένας κάναβος, τοποθετημένος πάνω στην εικόνα, την οποία χωρίζει σε πολύ μικρές στοιχειώδεις τετραγωνικές επιφάνειες, που λέγονται rasters ή cells ή pixels. Το μήκος της πλευράς των τετραγωνικών αυτών επιφανειών ονομάζεται ανάλυση (resolution ή cellsize) και είναι επιλογή του χρήστη του raster συστήματος, ενώ σε καθεμία από αυτές αντιστοιχεί ένας αριθμός. Είναι προφανές ότι όσο μικρότερο είναι το μήκος της πλευράς και το εμβαδόν του pixel, τόσο μεγαλύτερη λεπτομέρεια μπορούμε να αποτυπώσουμε σ' αυτό. Η αεροφωτογραφία είναι η κύρια πηγή πληροφορίας των raster συστημάτων και τα δεδομένα συνήθως εισάγονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω ειδικών συσκευών σάρωσης (scanners).



Σχήμα 3.2: Ανάλυση του raster συστήματος

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα σε ένα raster σύστημα προσφέρονται για ανάλυση και λεπτομερειακή επεξεργασία, όχι όμως και για αποθήκευση, λόγω του μεγάλου χώρου που καταλαμβάνουν.

### 3.3. ARCINFO και επιμέρους προγράμματα

Το ARCINFO είναι ένα λογισμικό - μια σειρά προγραμμάτων - που έχει αναπτυχθεί για συστήματα GIS. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του ARCINFO είναι ότι διαθέτει πρότυπη βάση πληροφοριών, έχει τη δυνατότητα χαρτογραφικής επεξεργασίας και γεωγραφικής ανάλυσης σε κάθε επίπεδο του γεωγραφικού χώρου, προσαρμόζεται εύκολα σε κάθε είδος εφαρμογής και μπορεί να διαχειρίζεται διάφορους τύπους πληροφορίας.

Η γλώσσα μακροεντολών - προγραμματισμού - του ARCINFO (AML) είναι εύχρηστη και η εκτέλεση της κάθε εντολής είναι σαν την εκτέλεση μιας υπορουτίνας.

Μέσα στο ARCINFO υπάρχουν τα περιβάλλοντα εργασίας arc, arcedit, arcplot, grid και arcview.

- **Περιβάλλον ARC**

Το ARC είναι το κεντρικό περιβάλλον του ARCINFO και μέσα από αυτό γίνεται η πρόσβαση στα υπόλοιπα προγράμματα. Καλείται με την εντολή ARC και μόνο μέσα σε αυτό μπορούν να εκτελεσθούν εντολές λειτουργικού συστήματος. Επίσης στο περιβάλλον ARC επιτυγχάνεται η γρήγορη δημιουργία και διαχείριση ψηφιακών χαρτογραφικών αρχείων και η αναγωγή σε περιβάλλοντα διόρθωσης και παρουσίασης των χαρτών, ενώ μπορεί να πραγματοποιηθεί η μετατροπή δεδομένων raster σε vector και αντίστροφα. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι η απεικόνιση χαρτών στο ARC είναι ιδιαίτερα γρήγορη.

- **Περιβάλλον ARCEDIT**

Στο περιβάλλον ARCEDIT δημιουργείται η ψηφιοποιημένη μορφή χαρτών, με την οποία εισάγονται στον Η/Υ και πραγματοποιούνται εργασίες όπως η διόρθωση λαθών, η συγχώνευση χαρτών και η απόδοση των χαρακτηριστικών (attributes) στα δεδομένα διανυσματικών χαρτών.

- **Περιβάλλον ARCPLOT**

Είναι το κατεξοχήν σχεδιαστικό περιβάλλον του ARCINFO, με δυνατότητα απεικόνισης στοιχείων ενός χάρτη σε διδιάστατη ή τρισδιάστατη μορφή. Οι εμφανίσεις των χαρτών στην οθόνη σώζονται από το χρήστη, ώστε να είναι δυνατή η εκτύπωση τους.

- **Περιβάλλον GRID**

Το περιβάλλον GRID είναι ουσιαστικά ένα υποπρόγραμμα επεξεργασίας κανναβικών χαρτών με δυνατότητα μετατροπής τους σε άλλες μορφές. Στο περιβάλλον GRID ισχύουν και όλες οι σχεδιαστικές εντολές του ARCPLOT, ενώ διατίθεται και μεγάλος αριθμός συναρτήσεων βιβλιοθήκης για επεξεργασία των καννάβων και αλγεβρικές πράξεις μεταξύ των χαρτών.

- **Περιβάλλον ARCVIEW**

Το περιβάλλον αυτό είναι ιδιαίτερα φιλικό στο χρήστη, με παράθυρα και έτοιμες επιλογές και χρησιμεύει για την εμφάνιση γεωγραφικών δεδομένων και την άντληση πληροφοριών από το σύστημα.

### **3.4. Ψηφιακά μοντέλα εδάφους**

Η δυνατότητα υδρολογικών εφαρμογών σε μια λεκάνη απορροής προϋποθέτει να είναι γνωστό το υψόμετρο σε κάθε σημείο της, πράγμα πολύ δύσκολο, αφού είναι αδύνατο μετά την ψηφιοποίηση του αντίστοιχου χάρτη να μην υπάρχουν σημεία χωρίς υψομετρική ένδειξη. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους DTM (Data Terrain Models), τα οποία εξάγονται από τους αρχικούς χάρτες και συμπληρώνουν τα απαραίτητα στοιχεία υψομέτρων.

Οι πιο σημαντικές μορφές ψηφιακών μοντέλων εδάφους είναι οι μορφές TIN και LATTICE. Υπάρχουν και άλλες μορφές ψηφιακών μοντέλων, που είναι συμβατές με το ARCINFO, αλλά χρησιμοποιούνται κυρίως για εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων, παρά για την επεξεργασία τους.

#### **3.4.1. Ψηφιακό μοντέλο TIN**

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους TIN<sup>1</sup> αναπαριστά μια επιφάνεια, που δημιουργείται από ένα σύνολο χωρικά ακανόνιστα διάσπαρτων σημείων, με γνωστό υψόμετρο και συντεταγμένες  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Τα σημεία αυτά ενώνονται με πλευρές ανά δύο και σχηματίζουν γειτονικά μη επικαλυπτόμενα τρίγωνα, που αναπαριστούν την επιφάνεια με βάση τις συντεταγμένες. Πολλά τέτοια τρίγωνα έχουν ως αποτέλεσμα την κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους και τη λειτουργία του σαν ψηφιακό μοντέλο τύπου

---

<sup>1</sup>Προέρχεται από τα αρχικά του TRIANGULAR IRREGULAR NETWORK, που σημαίνει ακανόνιστο τριγωνικό δίκτυο.

TIN. Κάθε σημείο του εδάφους βρίσκεται όσο κοντύτερα γίνεται σε κόμβο τριγώνου γνωστού υψομέτρου.

Τα δεδομένα για τη δημιουργία μοντέλων TIN προκύπτουν είτε από διανυσματικούς ψηφιοποιημένους χάρτες (coverages), είτε από ψηφιοποιημένους χάρτες κανναβικού τύπου (grids).

Τα συστατικά στοιχεία του μοντέλου TIN είναι:

- ♦ Κόμβοι (nodes): σημεία με γνωστές συντεταγμένες  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .
- ♦ Πλευρές (edges): ευθύγραμμα τμήματα που συνδέουν τους κόμβους, με δεδομένη κλίση, λόγω του γνωστού υψομέτρου των κόμβων.
- ♦ Τρίγωνα (triangles): αναπαριστούν την επιφάνεια και έχουν δεδομένη κλίση, προσανατολισμό και εμβαδό, καθώς είναι γνωστά το υψόμετρο και οι συντεταγμένες των 3 κόμβων - κορυφών τους.
- ♦ Περιβάλλοντα πολύγωνα (hull polygons): τα πολύγωνα αυτά είναι ουσιαστικά κελύφη, που καθορίζουν τις περιοχές στις οποίες γίνεται τριγωνοποίηση.

#### 3.4.1.1. Συνοριακές γραμμές (breaklines)

Η ύπαρξη υδάτινων σωμάτων (λίμνες, θάλασσα, ποτάμια) σε μια περιοχή, δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να οριοθετήσει τα σώματα αυτά σαν συνοριακές γραμμές πριν την εκτέλεση της τριγωνοποίησης, εφόσον δεν επιθυμεί να συμπεριληφθούν στο παραγόμενο μοντέλο εδάφους TIN. Οι γραμμές αυτές που ονομάζονται breaklines και υποχρεώνουν το μοντέλο να μην επεκταθεί πέρα από αυτές, προσφέρουν μεγάλη βοήθεια<sup>2</sup>, όταν το ψηφιακό μοντέλο εδάφους χρησιμοποιείται για την εξαγωγή πληροφοριών υδρογραφικού δικτύου.

Υπάρχουν τρία είδη breaklines:

- ♦ **Καθολικές συνοριακές γραμμές (hard breaklines):** Ο ρόλος τους είναι να προσδιορίσουν τις διακοπές στην ομαλότητα της επιφάνειας του εδάφους. Εισάγουν την πληροφορία ότι μεταξύ των ορίων της hard breakline, το παραγόμενο μοντέλο εδάφους διατηρεί τα υψομετρικά χαρακτηριστικά των ίδιων των ορίων.
- ♦ **Τοπικές συνοριακές γραμμές (soft breaklines):** Δεν προσδιορίζουν διακοπές στην ομαλότητα της επιφάνειας του εδάφους και εξασφαλίζουν

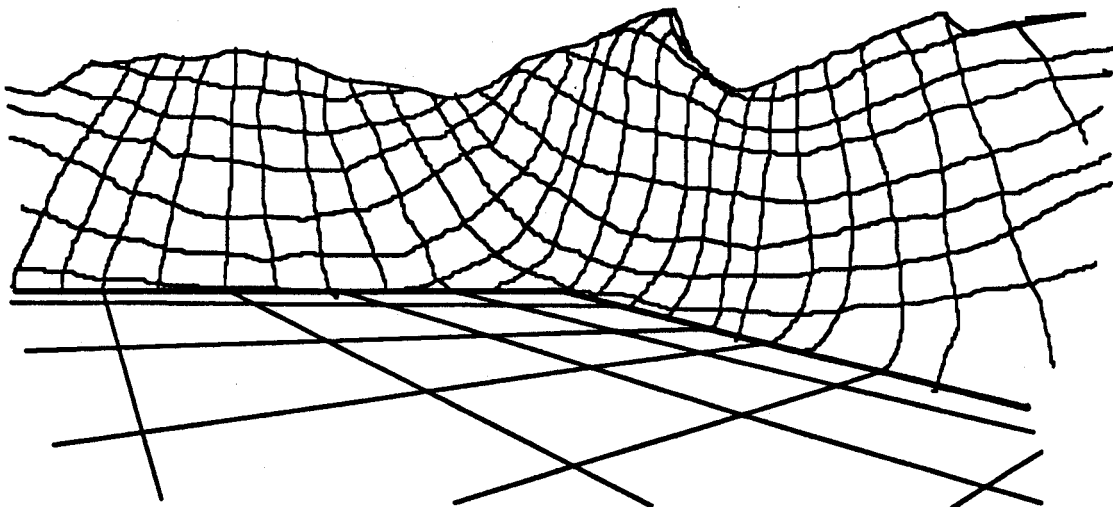
---

<sup>2</sup>Πρέπει να σημειωθεί ότι το ψηφιακό μοντέλο TIN της Στερας Ελλάδας δημιουργήθηκε από χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, με χρησιμοποίηση των ποταμιών ως breaklines.

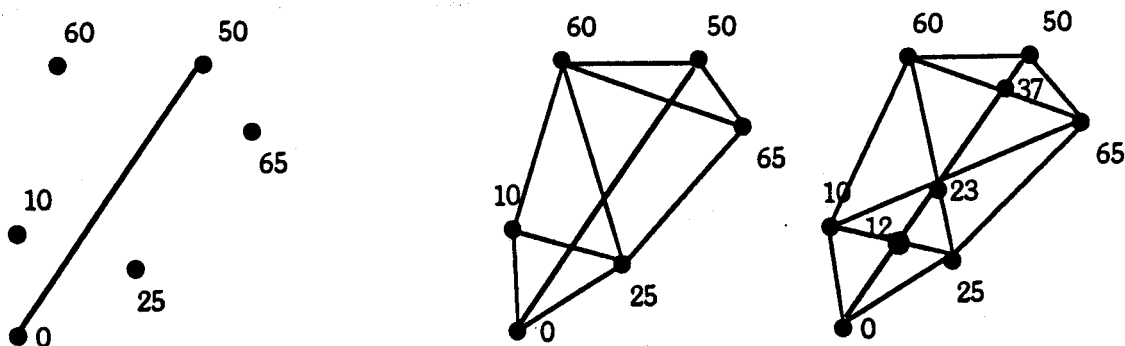


ότι το μοντέλο TIN συμπεριλαμβάνει γνωστές τιμές υψομέτρων κατά μήκος μιας γραμμής, λόγω της ενιαίας κλίσης της.

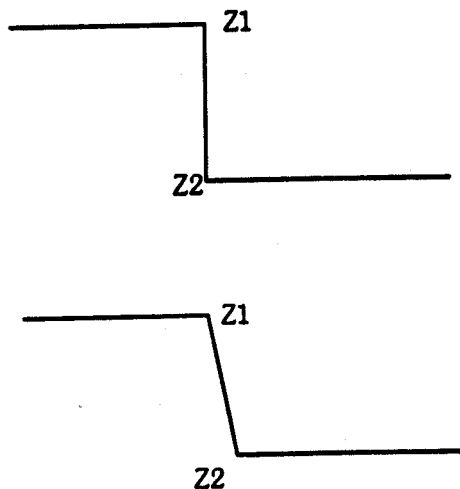
- ♦ **Ασυνέχειες (faults):** Πρόκειται για διακοπές στη συνέχεια του εδάφους, όπως πχ γεωλογικές ασυνέχειες. Στις ασυνέχειες, το μοντέλο δημιουργεί ένα σκαλοπάτι, στη θέση του οποίου υπάρχουν περισσότερες από μία τιμές υψομέτρου.



Σχήμα 3.3: Παράδειγμα χρήσης hard breakline που προσδιορίζει το όριο, ανάμεσα στη θάλασσα και μια πλαγιά, δηλαδή δύο διαφορετικούς τύπους επιφανειών. Η περιοχή από την ακτογραμμή (hard breakline) προς τη θάλασσα, διατηρεί τα υψομετρικά χαρακτηριστικά του ορίου.



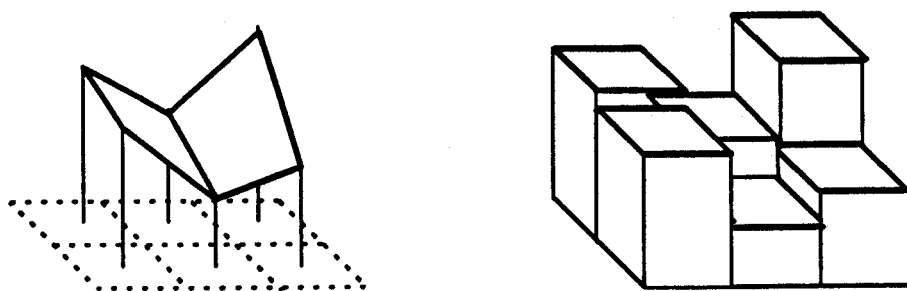
Σχήμα 3.4: Παράδειγμα εφαρμογής soft breakline, για δημιουργία νέων κόμβων με γνωστά υψόμετρα, κατά μήκος ενός κλάδου ποταμού



Σχήμα 3.5: Παράδειγμα ασυνέχειας στο μοντέλο επιφάνειας του εδάφους, με την ύπαρξη θέσης στην οποία αντιστοιχούν δύο διαφορετικές τιμές υψομέτρου

### 3.4.2. Ψηφιακό μοντέλο LATTICE

Το ψηφιακό μοντέλο τύπου LATTICE είναι ένα κανονικά διατεταγμένο σύνολο σημείων, που βρίσκονται στο κέντρο τετραγώνων και έχουν γνωστή τιμή υψομέτρου. Το μήκος της πλευράς των τετραγώνων αυτών καθορίζει την ανάλυση του μοντέλου και είναι επιλογή του χρήστη του συστήματος. Είναι προφανές ότι όσο μικρότερο είναι το μήκος της πλευράς του τετραγώνου, τόσο υψηλότερο είναι το επίπεδο ανάλυσης του μοντέλου και επομένως ακριβέστερη η αποτύπωση της επιφάνειας.



Σχήμα 3.6: Σχηματική παρουσίαση της διαφοράς lattice και grid

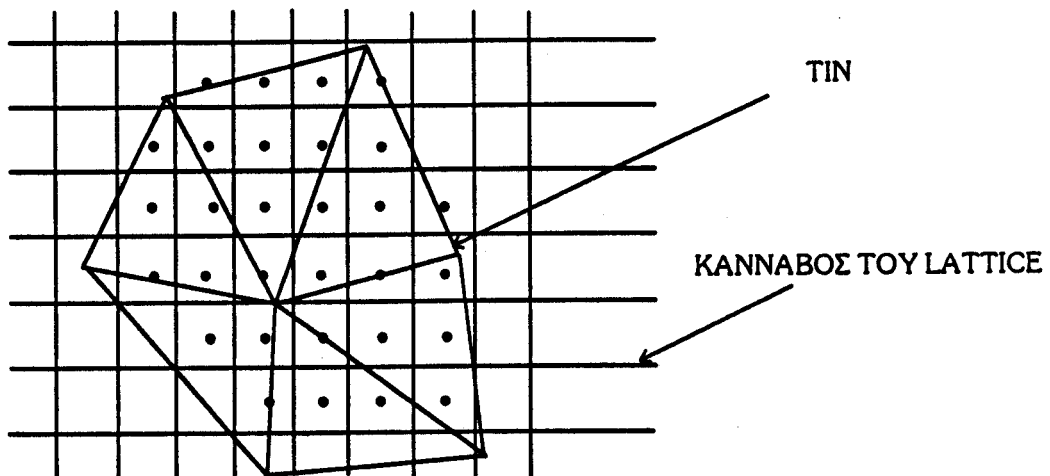
Ουσιαστικά το ψηφιακό μοντέλο LATTICE είναι η επιφανειακή απεικόνιση ενός κανναβικού χάρτη, δηλ. ενός GRID. Η κύρια διαφορά ανάμεσα στους δύο αυτούς τύπους αποτύπωσης μιας επιφάνειας είναι ότι, ενώ το GRID θεωρεί ότι κάθε τετράγωνο έχει ενιαίο υψόμετρο (δηλαδή πρόκειται για ένα οριζόντιο επίπεδο), το LATTICE θεωρεί το υψόμετρο αυτό στο κέντρο του τετραγώνου, οπότε ενώνοντας τα κέντρα των γειτονικών επιφανειών, είναι γνωστά (μέσω μεθόδων παρεμβολής) τα υψόμετρα και όλων των ενδιάμεσων σημείων.

Το μοντέλο LATTICE δεν αναγνωρίζει γραμμές, όπως το TIN και αποτελείται αποκλειστικά και μόνο από σημεία.

Η αποθήκευση του μοντέλου LATTICE γίνεται σε σημειακό χάρτη τύπου GRID, ενώ οι τιμές των υψομέτρων δεν είναι ακέραιες και βρίσκονται σε πίνακες που δεν μπορούν να διαβαστούν από το χρήστη. Είναι προφανές ότι το υψηλό επίπεδο ανάλυσης του μοντέλου απαιτεί μεγάλο χώρο αποθήκευσης και επιπλέον μειώνει σημαντικά την ταχύτητα επεξεργασίας των δεδομένων του.

### 3.5. Μετατροπή των ψηφιακών μοντέλων από τη μία μορφή στην άλλη

Σε πολλές περιπτώσεις, ένας χρήστης του ARCINFO αναγκάζεται να μετατρέψει τα δεδομένα του από τη μία μορφή ψηφιακού μοντέλου στην άλλη. Αυτό συμβαίνει κυρίως για τους εξής λόγους:



Σχήμα 3.7: Παραγωγή ενός ψηφιακού μοντέλου LATTICE από ένα άλλο τύπου TIN

- Το μοντέλο TIN, παρά τη μεγάλη ακρίβεια με την οποία αναπαριστά την επιφάνεια, παρουσιάζει προβλήματα στην επεξεργασία, λόγω ακατάστατης μορφής των σημείων, σε αντίθεση με το μοντέλο LATTICE, που συνδέει κάθε χαρακτηριστικό σημείο της επιφάνειας με έναν κάρναβο,

διευκολύνοντας την επεξεργασία των δεδομένων. Γι' αυτό το λόγο, αρκετές φορές, ο χρήστης του ARCINFO υποχρεώνεται να προχωρήσει στη μετατροπή των TIN δεδομένων σε LATTICE, μέσω διαδικασίας που θα αναφερθεί λεπτομερειακά σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας.

- Το μοντέλο LATTICE έχει μεγάλες απαιτήσεις μνήμης, για αποθήκευση, σχεδίαση ή τύπωση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας. Γι' αυτό το λόγο, συχνά οι κανναβικοί χάρτες μετατρέπονται σε διανυσματικοί (coverages), μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται διανυσματοποίηση (vectorization).

### 3.6. Υπαρξη και διαχείριση δεδομένων στο ARCINFO

Η εργασία που παρουσιάζεται παρακάτω βασίζεται κυρίως σε δεδομένα που προϋπήρχαν και δημιουργήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ. Οι διανυσματικοί χάρτες που χρησιμοποιούνται ως αρχικά δεδομένα είναι:

- Χάρτης ισοϋψών καμπυλών

Περιέχει ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση 200 m και κλίμακας 1:100.000. Οι καμπύλες αυτές αποτελούνται από τόξα (arcs), αριθμημένα, με τα αντίστοιχα υψόμετρα και μήκη τους.

- Χάρτης περιμέτρου λεκάνης

Περιέχει μόνο μια κλειστή πολυγωνική γραμμή, χωρίς υψομετρικά δεδομένα (polygon coverage).

- Χάρτης υδρογραφικού δικτύου περιοχής

Περιέχει το πλήρες υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, δηλαδή τα ποτάμια, χωρισμένα σε κλάδους. Καθένας από τους κλάδους αυτούς, αποτελεί και ένα τόξο, ενώ είναι δεδομένοι και οι κόμβοι των κλάδων αυτών, αλλά χωρίς υψόμετρα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα αυτά προέκυψαν με ψηφιοποίηση από φύλλα χάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, στην περιοχή της Στερεας Ελλάδας. Στη συνέχεια, μέσω της διαδικασίας *Createtin*, από τους διανυσματικούς χάρτες αυτούς προέκυψε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους TIN για τη Στερεά Ελλάδα, στη δημιουργία του οποίου χρησιμοποιήθηκαν τα ποτάμια, ως τοπικές συνοριακές γραμμές (soft breaklines).

Η διαδικασία *Createtin* ουσιαστικά στηρίζεται σε μετατροπή των δομικών στοιχείων του διανυσματικού συστήματος από γραμμές σε σημεία (δηλαδή από line coverage σε point coverage). Τα σημεία αυτά που έχουν δεδομένο

υψόμετρο, ανήκουν στις προϋπάρχουσες ισοϋψείς (γραμμικά στοιχεία) του διατιθέμενου αρχικού χάρτη. Κατ' αυτόν τον τρόπο η επιφάνεια του εδάφους προκύπτει σε τριγωνοποιημένη μορφή και με τη μέθοδο των παρεμβολών δίνονται υψόμετρα και στα νέα σημεία που προκύπτουν.

Εκτός από τα ποτάμια της περιοχής που χρησιμοποιούνται ως soft breaklines, γίνεται και παραδοχή ότι η θάλασσα και οι λίμνες είναι επιφάνειες σταθερού υψομέτρου, δηλαδή θεωρούνται καθολικές συνοριακές γραμμές (hard breaklines).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΩ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GIS

#### 4.1. Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.6., ως αρχικό δεδομένο για τη δημιουργία υδρογραφικού δικτύου υπήρξε το ψηφιακό μοντέλο TIN της Στερεάς Ελλάδας. Από αυτό, με τη μέθοδο που περιγράφεται παρακάτω, αποσπάστηκαν ("κόπηκαν") οι λεκάνες του Μόρνου και του Ευήνου, έτσι ώστε να εξαχθούν τα υδρογραφικά τους δίκτυα και να μελετηθεί η κλασματική δομή τους. Η εξαγωγή των δικτύων αυτών έγινε κυρίως με χρήση του προγράμματος Hydro.aml (προϋπήρχε από σχετική εργασία του συναδέλφου Γ. Γράψα), το οποίο συμπληρώθηκε με μία υπορουτίνα, προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες της παρούσας εργασίας

#### 4.2. Μετατροπή του μοντέλου TIN της Στερεάς Ελλάδας σε Lattice

Η μετατροπή ενός ψηφιακού μοντέλου τύπου TIN σε LATTICE γίνεται με εφαρμογή της εντολής TINLATTICE, η οποία εκτελείται σε περιβάλλον ARC και η σύνταξη της είναι:

*TINLATTICE <IN-TIN> <OUT-LATTICE>*

Η σύνταξη της εντολής συνοδεύεται από ένα ερωτηματολόγιο, που ζητάει να καθορισθεί η περιοχή επεξεργασίας και η ανάλυση του δημιουργούμενου Lattice. Η ανάλυση (resolution) του Lattice, δηλαδή η απόσταση μεταξύ των σημείων του, προκύπτει με την εισαγωγή του αριθμού των σημείων που καλύπτουν το μέγεθος της περιοχής, κατά τη διεύθυνση x.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση εισήχθη ο αριθμός 3700 για τα σημεία κατά τη διεύθυνση x, ώστε η μεταξύ τους απόσταση (ανάλυση) να προσδιορίζεται περίπου σε 100 m. Το δεδομένο μοντέλο TIN ονομάζονταν STERDTM και αυτό που προέκυψε ονομάστηκε STERLAT100. Η ακριβής εκτέλεση της εντολής ήταν:

ARC: Tinlattice sterdtm sterlat100

#### 4.3. Αποκοπή επιμέρους τμημάτων από μοντέλο Lattice

Κατά την πορεία των εργασιών του προγράμματος ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ προέκυψαν οι διανυσματικοί χάρτες των κυριότερων υδρολογικών λεκανών

της Στερεάς Ελλάδας. Οι διανυσματικοί χάρτες (coverages) του Μόρνου και του Ευήνου, ονομάστηκαν MORNBAS και EYHNBAS αντίστοιχα.

Η τοποθέτηση των διανυσματικών χαρτών των μικρότερων λεκανών επάνω στον κανναβικό χάρτη STERLAT100 γίνεται με εφαρμογή της εντολής LATTICECLIP (εκτελείται στο ARC), η σύνταξη της οποίας είναι:

*LATTICECLIP <IN - LATTICE> <IN - TIN> <OUT - LATTICE>*

και πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση μας:

ARC: Latticeclip sterlat100 mornbas mornlat100

ARC: Latticeclip sterlat100 eyhnbas eyhnl100

Τα ψηφιακά μοντέλα τύπου LATTICE mornlat100 και eyhnl100 είναι αποθηκευμένα σε ψηφιακούς χάρτες τύπου GRID, με ανάλυση 100 m.

#### 4.4. Απεικόνιση ψηφιακού μοντέλου τύπου LATTICE

Η απεικόνιση ενός ψηφιακού μοντέλου τύπου LATTICE μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

- Με χρήση πινάκων REMAP

Το ψηφιακό μοντέλο τύπου LATTICE είναι ουσιαστικά ένα υψομετρικό GRID με τιμές από 0 έως 2500, ενώ τα χρώματα που διατίθενται για την απεικόνιση όλων των υψομέτρων είναι μόλις 256. Επειδή γίνεται προφανές ότι η απεικόνιση αυτή δεν είναι δυνατή, χρησιμοποιούνται οι πίνακες ανακατανομής REMAPTABLES, που μπορεί να είναι ASCII ή INFO αρχεία. Με τους πίνακες αυτούς δημιουργείται μια ομάδα ή ζώνη υψομετρικών τιμών (πχ. από 0 - 50 m) του GRID, που αντιστοιχεί σε ένα χρώμα. Η αντιστοίχιση αυτή μπορεί να είναι προσωρινή για τη χρωματική απεικόνιση ενός grid ή και μόνιμη για τη δημιουργία ενός νέου grid.

Η βασική εντολή απεικόνισης σε περιβάλλον GRID είναι η GRIDSHADES. Προηγουμένως πρέπει να αποδοθεί στο μοντέλο μια από τις πολλές παλλέτες χρωμάτων (shadeset), που υπάρχουν για την απεικόνιση των ζωνών υψομετρικών τιμών. Η εντολή GRIDSHADES στην περίπτωση μας συντάσσεται ως εξής:

GRID: gridshades mornlat100 value morn.rmp

GRID: gridshades eyhnl100 value eyhn.rmp

- Με την εντολή HILLSHADE



Αμέσως μετά τη δημιουργία του LATTICE, μπορεί να γίνει απεικόνιση του ανάγλυφου της περιοχής που καλύπτει το ψηφιακό μοντέλο, μέσω της εντολής HILLSHADE, η οποία δημιουργεί σκιές σε κάθε σημείο του grid, με βάση τη θέση του ήλιου στο χώρο. Η θέαση του grid γίνεται εντελώς κάθετα, δηλαδή δεν μεταβάλλονται οι συντεταγμένες του, αλλά η δημιουργία σκιών αποδίδει εξαιρετικά το ανάγλυφο.

Η εντολή HILLSHADE συντάσσεται στο ARC και στην περίπτωση μας είναι:

```
ARC: hillshade mornlat100 mornshade  
ARC: hillshade eyhnlat100 eyhnshade
```

```
GRID: display 9999 (εμφάνιση οθόνης)
```

```
GRID: gridshades mornshade value hillshade.rmp  
GRID: gridshades eyhnshade value hillshade.rmp
```

#### 4.4. Χρήση μακροεντολών - Το πρόγραμμα Hydro.aml

Η εξαγωγή των υδρογραφικών δικτύων των λεκανών Μόρνου και Ευήνου, θα γίνει με αρχικά δεδομένα τα αντίστοιχα Lattice ψηφιακά μοντέλα και με χρήση των κατάλληλων μακροεντολών AML του ARCINFO. Οι σημαντικότερες από τις μακροεντολές αυτές<sup>1</sup> θα περιγραφούν αναλυτικά παρακάτω, καθώς παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την υδρολογική ανάλυση των λεκανών. Η εκτέλεση τους γίνεται σε περιβάλλον GRID και έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αρκετών χαρτών με υδρογραφικά και τοπογραφικά στοιχεία.

Το πρόγραμμα Hydro.aml, που είχε συνταχθεί πριν την εκπόνηση αυτής της εργασίας, ενσωματώνει όλες τις μακροεντολές που απαιτούνται για την εξαγωγή υδρογραφικού δικτύου. Χρειάστηκαν μόνο ορισμένες τροποποιήσεις<sup>2</sup>, ενώ δημιουργήθηκε και μια υπορουτίνα, κατάλληλη για την εξαγωγή και τη στατιστική επεξεργασία των στοιχείων ενός υδρογραφικού δικτύου. Το πρόγραμμα εκτελείται σε περιβάλλον GRID, αφού πληκτρολογηθεί: *&t hydro*.

Τα στοιχεία που πρέπει να δοθούν ως δεδομένα για το τρέξιμο του προγράμματος είναι:

---

<sup>1</sup>Στο πρόγραμμα HYDRO.AML υπάρχει μεγάλο πλήθος μακροεντολών, αλλά εδώ θα παρουσιασθούν μόνο αυτές που είναι απαραίτητες για την κατανόηση της διαδικασίας εξαγωγής του υδρογραφικού δικτύου

<sup>2</sup>λόγω αλλαγής στην έκδοση του υποπρογράμματος GRID του ARCINFO

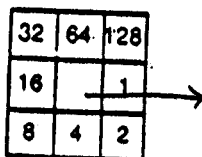
- Το υψομετρικό (elevation) grid της επιφάνειας, που είναι γνωστό, αμέσως μόλις εισαχθούν τα ψηφιακά μοντέλα `mornlat100` και `eyhlat100`.
- Το μέγεθος της `threshold area` (βλ. παρ. 2.6.), που καθορίζει τη μορφή και την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις μονάδες με τις οποίες εισάγεται στο πρόγραμμα (στρ.,  $m^2$ ,  $Km^2$ , κλπ).

#### 4.5. Εξαγωγή της κατεύθυνσης ροής

Το σημαντικότερο βήμα στη διαδικασία σχηματισμού υδρογραφικού δικτύου είναι ο καθορισμός της διεύθυνσης από την οποία θα υπάρξει ροή από ένα κελί προς ένα άλλο. Για κάθε κελί υπάρχουν 8 πιθανές διευθύνσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 και για τον καθορισμό της διεύθυνσης της ροής λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη κλίση, σύμφωνα με τον τύπο:

μέγιστη κλίση = μέγιστη υψομετρική διαφορά / εκάστοτε απόσταση ,

όπου η εκάστοτε απόσταση είναι η πλευρά ή η διαγώνιος του τετραγωνικού κελιού.



Σχήμα 4.1: Δυνατότητα κατεύθυνσης της ροής προς τα 8 γειτονικά κελιά

Η εντολή `FLOWDIRECTION` συντάσσεται ως εξής:

*GRID: flowdir = <ELEVATION GRID> {drop grid} {normal / force}*

Η εκδοχή `force` που προτιμάται συνήθως παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα ότι απορρέει πάντα μέσα στην εξεταζόμενη λεκάνη, ενώ οι μικρές λεκάνες που διακόπτονται στις άκρες του κανναβικού χάρτη απορρέουν έξω απ' αυτόν.

Η περίπτωση του `drop grid` χρησιμεύει όταν θέλουμε να υπολογίσουμε την υψομετρική πτώση στη διεύθυνση με τη μεγαλύτερη κλίση στο κάθε κελί.

## 4.6. Η περίπτωση των κοιλοτήτων - βυθισμάτων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 2.6.1., τα βυθίσματα μιας λεκάνης αποτελούν ένα ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στην εξαγωγή του υδρογραφικού της δικτύου. Πριν την αναίρεση των κοιλοτήτων (είναι απαραίτητη για λόγους που έχουν ήδη παρουσιασθεί) πρέπει να γίνει ο εντοπισμός και η σχεδίαση τους.

Η σχεδίαση των κοιλοτήτων γίνεται με την εντολή SINKS, που συντάσσεται ως εξής:

*GRID: SINKS = SINK (FLOWDIR)*

όπου flowdir είναι το grid, που έχει ήδη δημιουργηθεί με δεδομένη την κατεύθυνση της ροής για κάθε κελί.

Στη συνέχεια πρέπει να γίνει η σχεδίαση των επιφανειών που απορρέουν προς τα βυθίσματα αυτά και όχι προς την έξοδο της λεκάνης. Αν οι επιφάνειες αυτές είναι σημαντικές και έχουν ως αποτέλεσμα τον κατακερματισμό του υδρογραφικού δικτύου και τη διακοπή της ροής σε κύρια υδατορεύματα, είναι αναπόφευκτη η διαδικασία αναίρεσης ("γεμίματος") των κοιλοτήτων.

### 4.6.1. Αναίρεση των κοιλοτήτων

Η διαδικασία απομάκρυνσης των "ενοχλητικών" βυθισμάτων πραγματοποιείται μέσω της εντολής "γεμίματος" FILL, που είναι επαναληπτική και αρκετά χρονοβόρα. Η σύνταξη της εντολής αυτής έχει ως εξής:

*GRID: FILL <ELEV GRID> <FILLED GRID> {sink / peak} {maxfill}*

Η εκδοχή peak<sup>3</sup> εφαρμόζεται για την εξομάλυνση μιας προεξοχής, στην αρκετά σπάνια περίπτωση που αυτή είναι ψηλότερη από τις γειτονικές, ενώ όλα τα γειτονικά κελιά έχουν την ίδια τιμή υψομέτρου και επομένως είναι απροσδιόριστη η διεύθυνση της ροής της (flowdirection).

Η τιμή που παίρνει το όρισμα maxfill είναι η μέγιστη υψομετρική διαφορά για την οποία θα επιτραπεί η διαδικασία FILL. Σε περίπτωση υψομετρικής διαφοράς που υπερβαίνει την τιμή maxfill, η λεκάνη παρουσιάζει κοιλότητα στην οποία απορρέει τμήμα του υδρογραφικού δικτύου. Η επιφάνεια αυτή του υδρογραφικού δικτύου (υπολεκάνη ή και υπολεκάνες) μπορεί να απορρέει

<sup>3</sup>Όταν μετά από αλεπάλληλη εφαρμογή της διαδικασίας FILL, ένα σημείο συνεχίζει να εμφανίζεται σαν κοιλότητα, είναι πολύ πιθανό να ανήκει στην κατηγορία των εξάρσεων (peak), οπότε δεν επηρεάζεται από τη διαδικασία με την εκδοχή sink, παρά μόνο με τη εντολή peak. Όμως η μη αναίρεση της εξάρσης αυτής δεν πρόκειται να έχει δυσμενή αποτελέσματα στην εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου.

πραγματικά στην κοιλότητα, αν αυτή διαπιστώνεται στο τοπογραφικό υπόβαθρο, οπότε η αναίρεση της αποτελεί σημαντικό σφάλμα.



Σχήμα 4.2: Περίπτωση προεξοχής (peak) και βυθίσματος (sink) σε ένα grid

Οι κυριότερες περιπτώσεις πραγματικών βυθισμάτων είναι:

- I. Ο σχηματισμός μιας λίμνης μικρών ή μεγάλων διαστάσεων που συγκεντρώνει μέρος του υδατικού δυναμικού της λεκάνης.
- II. Ο σχηματισμός λίμνης πολύ μικρού βάθους, που υπερχειλίζει στη λεκάνη.
- III. Ο σχηματισμός υπόγειας λίμνης, δηλαδή ένας υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας που δεν επικοινωνεί με τις γύρω από την υπολεκάνη περιοχές (περίπτωση αδιαπέρατου στρώματος κάτω από υδροπερατό).
- IV. Ο σχηματισμός επιφανειακής λίμνης, που όμως συγκοινωνεί μέσω υπόγειας ροής με τη γύρω από την υπολεκάνη περιοχή, είτε τροφοδοτώντας τον "κατάντι" υδροφορέα, είτε σχηματίζοντας πηγή, οπότε το νερό (που αποθηκεύει προσωρινά) κινείται επιφανειακά προς την έξοδο της λεκάνης.

Ο προβληματισμός που αναπτύσσεται σχετικά με το αν πρέπει να γίνει εξάλειψη ή όχι του βυθίσματος, ώστε να υπάρχει ενιαίο υδρογραφικό δίκτυο, είναι απόλυτα δικαιολογημένος, ενώ απάντηση μπορεί να δοθεί μόνο μετά από πολύ προσεκτική εξέταση της λεκάνης. Πάντως στις περιπτώσεις I. και III. η εκτέλεση της εντολής FILL αποτελεί σημαντικό σφάλμα, καθώς υπερεκτιμά την ποσότητα του νερού που απορρέει προς την έξοδο της λεκάνης. Αντίθετα στις άλλες δύο περιπτώσεις (ειδικά στη II.) είναι δυνατή η εκτέλεση της FILL, που απλοποιεί το υδρογραφικό δίκτυο, θεωρώντας το ως συνεχές.

Η καλύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος των βυθισμάτων, όταν δεν ενδείκνυται η αναίρεση τους μέσω της FILL, είναι η χρήση καθολικών συνοριακών γραμμών (hard breaklines), κατά τη διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου TIN.

#### 4.7. Συσσώρευση της ροής (FLOWACCUMULATION)

Η διαδικασία συσσώρευσης της ροής γίνεται μέσω της εντολής FLOWACCUMULATION και δημιουργεί έναν κανναβικό χάρτη, που ονομάζεται flowacc και σε κάθε κελί του περιέχει τις εξής πληροφορίες:

- Τον αριθμό των ανάντι κελιών που απορρέουν σε κάθε κελί.
- Την έκταση απορροής ανάντι του κάθε κελιού, καθώς το εμβαδόν του κάθε κελιού είναι δεδομένο σε στρ., m<sup>2</sup> ή Km<sup>2</sup>.

Είναι προφανές ότι οι περιοχές που έχουν μεγάλες τιμές flowaccumulation στο grid flowacc, ανήκουν σε στοιχεία του υδρογραφικού δικτύου. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή συσσώρευσης ροής, τόσο σημαντικότερο και με μεγαλύτερη τάξη είναι το υδατόρευμα, στο οποίο ανήκει το εν λόγω κελί. Τα κελιά εκείνα που βρίσκονται επάνω στο υδατόρευμα της μεγαλύτερης τάξης της δικτύου και κοντά στην έξοδο της λεκάνης έχουν τιμή flowaccumulation περίπου ίση με τη συνολική έκταση της λεκάνης. Ακόμα τα κελιά που έχουν τιμή flowaccumulation ίση με μηδέν, δεν δέχονται απορροή από κανένα άλλο κελί και άρα αποτελούν τμήματα του υδροκρίτη μίας υπολεκάνης.

#### 4.8. Επιλογή ελάχιστης επιφάνειας απορροής (threshold area) και εξαγωγή υδρογραφικού δικτύου

Σε αυτό το σημείο εισέρχεται και η κρίσιμη επιλογή του μεγέθους της threshold area, καθώς επιλέγοντας ένα συγκεκριμένο μέγεθος για αυτήν και σε συνδυασμό με την τιμή flowaccumulation του κάθε κελιού εξάγεται το υδρογραφικό δίκτυο. Αν θεωρήσουμε πχ. ότι η ελάχιστη έκταση απορροής για το σχηματισμό ποταμιού 1ης τάξεως είναι 0.5 Km<sup>2</sup>, ο κλάδος του εν λόγω υδατορεύματος εμφανίζεται στο πρώτο κελί που έχει τιμή flowaccumulation ίση με 0.5 Km<sup>2</sup> και συνεχίζεται προς τα κατάντι κατά μήκος των κελιών με συσσώρευση ροής μεγαλύτερη από 0.5 Km<sup>2</sup>.

Το grid που δημιουργείται με συνδυασμό της threshold area και του grid flowacc, ονομάζεται streamnet, περιλαμβάνει το υδρογραφικό δίκτυο σε κανναβική μορφή και προκύπτει με εκτέλεση της εντολής:

*GRID: STREAMNET = CON (FLOWACC > 0.5, FLOWACC)*

#### 4.9. Καθορισμός της τάξης των υδατορευμάτων του υδρογραφικού δικτύου

Οι τάξεις των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου περιέχονται σε ένα grid που ονομάζεται streamorder. Για να επιτευχθεί η δημιουργία του grid streamorder

πρέπει να προηγηθεί η δημιουργία ενός ενδιάμεσου grid, που ονομάζεται streamlink και δημιουργείται μέσω της εντολής:

*GRID: STREAMLINK\_GRID = STREAMLINK (STREAMNET, FLOWDIR)*

Το grid streamorder, προκύπτει με εκτέλεση της εντολής:

*GRID: STREAMORDER = STREAMORDER (STREAMLINK\_GRID, FLOWDIR, {STRAHLER / SHREVE})*

#### 4.10. Γραμμικοποίηση (vectorization) του υδρογραφικού δικτύου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.6. ένα κανναβικό μοντέλο, όπως είναι το grid streamnet του υδρογραφικού δικτύου έχει μεγάλες απαιτήσεις μνήμης, για αποθήκευση, σχεδίαση ή τύπωση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας. Γι' αυτό το λόγο θα προχωρήσουμε σε μια διαδικασία γραμμικοποίησης του δικτύου, για την οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο εντολές, η STREAMLINE και η GRIDLINE. Στην περίπτωση μας προτιμάται η εντολή STREAMLINE, που έχει δημιουργηθεί ειδικά για τα υδρογραφικά δίκτυα και συντάσσεται ως εξής:

*GRID: STREAMCOVER = STREAMLINE (STREAMNET, FLOWDIR, {OUT\_ITEM}, {WEED})*

#### 4.11. Εξαγωγή των αποτελεσμάτων σχετικά με την τάξη και το μήκος των υδατορευμάτων του υδρογραφικού δικτύου

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση του προγράμματος hydro.aml μπορούν να εξετασθούν μέσω των χαρτών του υδρογραφικού δικτύου, αλλά και από πίνακες με τιμές χαρακτηριστικών στοιχείων του δικτύου.

Στην περίπτωση ενός vector συστήματος, οι πίνακες αυτοί συνδέουν καθένα από τα δομικά στοιχεία<sup>4</sup> του με ένα σύνολο πληροφοριών. Οι πίνακες αυτοί, που ονομάζονται πίνακες ιδιοτήτων των χαρακτηριστικών, αποτελούνται από:

-*Στήλες*: περιέχουν τις ιδιότητες που ισχύουν για όλα τα στοιχεία.

-*Γραμμές*: περιλαμβάνουν τα γεωμετρικά στοιχεία (κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα μόνο σημείο).

---

<sup>4</sup> Τα δομικά στοιχεία ενός διανυσματικού συστήματος είναι σημεία, γραμμές (τόξα) και πολύγωνα.

Πιο συγκεκριμένα οι πίνακες αυτοί μπορούν να διακριθούν σε PAT (point attribute table), AAT (arc attribute table), PAT (polygon attribute tables), ανάλογα με το αν περιγράφουν τις ιδιότητες σημείων, τόξων ή πολυγώνων.

Στην περίπτωση ενός raster συστήματος, οι πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του συνδέονται με τη βάση δεδομένων, μέσω των πινάκων απόδοσης τιμών VAT (value attribute table).

Για την εξαγωγή των πληροφοριών σχετικά με την τάξη και το μήκος του υδρογραφικού δικτύου, δημιουργήθηκε η ρουτίνα<sup>5</sup> order.aml, η σύνταξη της οποίας δίνεται στο τέλος του κεφαλαίου. Μέσω της ρουτίνας αυτής προκύπτει το μήκος για τους μεμονωμένους κλάδους όλων των τάξεων του υδρογραφικού δικτύου, καθώς και το εμβαδόν των αντίστοιχων υπολεκανών. Τα στοιχεία για κάθε τάξη του δικτύου περιγράφονται στους πίνακες sorder1.aat, sorder2.aat, sorder3.aat, κλπ., που μπορούν να ανοιχθούν, αφού "τρέξει" η ρουτίνα order.aml.

Η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων αυτών πραγματοποιείται με την εντολή STATISTICS του ARCINFO, που εκτελείται στο περιβάλλον GRID. Η σύνταξη της εντολής (πχ. για τους κλάδους 4ης τάξης του δικτύου) έχει ως εξής:

```
GRID: statistics sorder4.aat
```

```
STATISTICS: mean length  
STATISTICS: sum length  
STATISTICS: mean flowacc  
STATISTICS: end
```

Τα στατιστικά στοιχεία αυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη μορφή των δύο υδρογραφικών δικτύων που εξετάζουμε και παρουσιάζονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

#### 4.12. Υπολογισμός του μήκους του κύριου υδατορεύματος

Το μήκος του κύριου υδατορεύματος μπορεί να υπολογισθεί γραφικά μέσω της εντολής του GRID:

```
LINE *
```

Για την εκτέλεση της εντολής αυτής πρέπει να επιλεγούν (οπτικά) οι δυνατές μεγαλύτερες διαδρομές του νερού, μέσω των κλάδων του δικτύου. Στη συνέχεια πρέπει να "ακολουθηθούν" οι γραμμές των κλάδων αυτών με το ποντίκι. Το

---

<sup>5</sup>Η ρουτίνα έχει δημιουργηθεί έτσι ώστε να βρίσκει εφαρμογή σε υδρογραφικά δίκτυα με μέγιστη τάξη λεκάνης ίση με 6. Για λεκάνες μεγαλύτερης τάξης, η ρουτίνα πρέπει να τροποποιηθεί.

μήκος των γραμμών που σχηματίζονται εξάγεται αυτόματα (όπως μπορεί να εξαχθεί και το εμβαδόν μιας πολυγωνικής επιφάνειας, αν εφαρμοσθεί η εντολή POLYGON \*, ακριβώς με τον ίδιο τρόπο).



## Η ρουτίνα ORDER.AML

Η ρουτίνα `order.aml` αξιοποιεί τα αποτελέσματα που προκύπτουν από εκτέλεση του προγράμματος `hydro.aml` και παρουσιάζει τη λίστα με όλα τα υδατορεύματα του υδρογραφικού δικτύου.

```
&sv elev [response 'ENTER ELEVATION GRID']  
&sv ordergrid [response 'Enter name of integer streamorder grid', intorder]
```

```
&type ***** Computing 6th order river *****  
&if [exists ss6 -directory] &then kill ss6  
&if [exists ss6.svg -info] &then &sv status = [delete ss6.svg -info]  
ss6 = select (%ordergrid%, 'value = 6')  
&if [exists sorder6 -directory], &then kill sorder6  
&if [exists sorder6.svg -info] &then &sv status = [delete sorder6.svg -info]  
sorder6 = streamline (ss6, flowdir2)
```

```
&type ***** Computing 5th order river *****  
&if [exists ss5 -directory] &then kill ss5  
&if [exists ss5.svg -info] &then &sv status = [delete ss5.svg -info]  
ss5 = select (%ordergrid%, 'value = 5')  
&if [exists sorder5 -directory], &then kill sorder5  
&if [exists sorder5.svg -info] &then &sv status = [delete sorder5.svg -info]  
sorder5 = streamline (ss5, flowdir2)
```

```
&type ***** Computing 4th order river *****  
&if [exists ss4 -directory] &then kill ss4  
&if [exists ss4.svg -info] &then &sv status = [delete ss4.svg -info]  
ss4 = select (%ordergrid%, 'value = 4')  
&if [exists sorder4 -directory], &then kill sorder4  
&if [exists sorder4.svg -info] &then &sv status = [delete sorder4.svg -info]  
sorder4 = streamline (ss4, flowdir2)
```

```
&type ***** Computing 3th order river *****  
&if [exists ss3 -directory] &then kill ss3  
&if [exists ss3.svg -info] &then &sv status = [delete ss3.svg -info]  
ss3 = select (%ordergrid%, 'value = 3')  
&if [exists sorder3 -directory], &then kill sorder3  
&if [exists sorder3.svg -info] &then &sv status = [delete sorder3.svg -info]  
sorder3 = streamline (ss3, flowdir2)
```

```
&type ***** Computing 2th order river *****  
&if [exists ss2 -directory] &then kill ss2  
&if [exists ss2.svg -info] &then &sv status = [delete ss2.svg -info]  
ss2 = select (%ordergrid%, 'value = 2')  
&if [exists sorder2 -directory], &then kill sorder2  
&if [exists sorder2.svg -info] &then &sv status = [delete sorder2.svg -info]  
sorder2 = streamline (ss2, flowdir2)
```

```
&type ***** Computing 1th order river *****  
&if [exists ss1 -directory] &then kill ss1  
&if [exists ss1.svg -info] &then &sv status = [delete ss1.svg -info]
```

```
ss1 = select (%ordergrid%, 'value = 1')
&if [exists sorder1 -directory], &then kill sorder1
&if [exists sorder1.svg -info] &then &sv status = [delete sorder1.svg -info]
sorder1 = streamline (ss1, flowdir2)
```

```
list sorder6.aat
list sorder5.aat
list sorder4.aat
list sorder3.aat
list sorder2.aat
list sorder1.aat
```

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 5.1. Έλεγχος των εξαγόμενων υδρογραφικών δικτύων

Τα υδρογραφικά δίκτυα των λεκανών Μόρνου και Ευήνου, όπως προέκυψαν στη διάρκεια της παρούσας εργασίας πρέπει να ελεγχθούν, καθώς η ορθότητα τους εξαρτάται:

- ♦ Από την εισαγωγή των δεδομένων στο ARCINFO, δηλαδή την ψηφιοποίηση από φύλλα χάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, στην περιοχή της Στερεας Ελλάδας.
- ♦ Από την ακρίβεια των ψηφιακών μοντέλων εδάφους τύπου Lattice.
- ♦ Από την ορθότητα των διαδικασιών που πραγματοποιούνται κατά την εκτέλεση της ρουτίνας Hydro.aml.

Το καλύτερο κριτήριο για την εξέταση του παραγόμενου υδρογραφικού δικτύου είναι το οπτικό, δηλαδή η απλή απεικόνιση των αποτελεσμάτων στην οθόνη και η εστίαση (zoom) σε διάφορα σημεία. Στη συνέχεια πρέπει να γίνει σύγκριση με το ψηφιοποιημένο δίκτυο της Γ.Υ.Σ., με απλή τοποθέτηση του ενός δικτύου επάνω στο άλλο.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη σύγκριση των δύο δικτύων μπορούν να χαρακτηρισθούν ικανοποιητικά, καθώς δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις κατά μήκος των κύριων υδατορευμάτων, ανεξάρτητα από το μέγεθος της threshold area που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα Hydro.aml. Αντίθετα υπάρχουν αρκετές διαφορές κατά μήκος των κλάδων 2ης τάξης του δικτύου, όταν αυτοί προκύπτουν με χρήση threshold area μικρού μεγέθους. Τέλος για τους κλάδους 1ης τάξης του δικτύου είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί σύγκριση, καθώς η μορφή τους - ακόμη και η ύπαρξη τους - είναι αλληλένδετα συνδεδεμένη με το μέγεθος της threshold area.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η αρχική πηγή δεδομένων είναι χάρτης με ισοδιάσταση 200 m. Έτσι μετά την εφαρμογή της εντολής TINLATTICE δημιουργούνται εκτεταμένες επίπεδες επιφάνειες<sup>1</sup> με υψομετρική τιμή αυτή των ψηφιοποιημένων ισοϋψών.

---

<sup>1</sup>Βέβαια αυτό ισχύει για το TIN μοντέλο που προκύπτει μόνο από το χάρτη των ισοϋψών, καθώς τα αρχεία MORNLAT100 και EYHNLAT100, που χρησιμοποιούνται στην εργασία, διαθέτουν περισσότερα υψομετρικά στοιχεία, αφού έχει γίνει παραδοχή των στοιχείων του υδρογραφικού δικτύου, ως soft breaklines.

Επιπλέον σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια του υδρογραφικού δικτύου, κυρίως όσον αφορά τους κλάδους μικρών τάξεων έπαιξε η ύπαρξη σημαντικού αριθμού βυθισμάτων (sinks) και η υποχρεωτική κάλυψη τους. Ο αριθμός των κοιλοτήτων ήταν μεγαλύτερος στη λεκάνη του Ευήνου<sup>2</sup> και η αναίρεση τους ήταν επιβεβλημένη, καθώς σε καμμία από τις δύο λεκάνες<sup>3</sup> δεν εμφανίζονται οι περιπτώσεις I. και III. της παραγράφου 4.6.1.

Οι κοιλότητες των λεκανών Μόρνου και Ευήνου, όπως αυτές προκύπτουν με χρήση μοντέλου Lattice φαίνονται στις εικόνες 4 και 5 αντίστοιχα. Είναι προφανές ότι τα βυθίσματα της λεκάνης Ευήνου είναι περισσότερα και σημαντικότερα από αυτά της λεκάνης Μόρνου. Αυτή είναι και η αιτία που όταν δεν αναιρεθούν οι κοιλότητες, τα περισσότερα υδατορεύματα του δικτύου του Ευήνου είναι κυρίως 1ης τάξης και μικρού μόνο μήκους. Τα μεγαλύτερα από τα διεσπαρμένα αυτά δίκτυα της λεκάνης είναι 3ης τάξης και περιορίζονται σε 2. Αντίθετα το υδρογραφικό δίκτυο του Μόρνου παρουσιάζεται λιγότερο κατακερματισμένο, λόγω της μη αναίρεσης των βυθισμάτων και μάλιστα διαθέτει 5 κλάδους με τάξη 3. Το μεγαλύτερο από τα διεσπαρμένα υδατορεύματα της λεκάνης Μόρνου βρίσκεται στο κέντρο της και έχει μέγιστο μήκος μισγάγγειας 38.4 Km.

Στις εικόνες 8 και 9 φαίνονται τα μεμονωμένα δίκτυα που προκύπτουν χωρίς εκτέλεση της εντολής fill. Σχεδόν κανένα από αυτά δεν καταλήγει στη φυσική έξοδο των δύο λεκανών, αλλά στα διάφορα βυθίσματα που συγκεντρώνουν όλο τον όγκο απορροής των αντίστοιχων ανεξάρτητων υπολεκανών.

## 5.2. Τάξεις υδρογραφικών δικτύων - Αριθμός και μέσο μήκος υδατορευμάτων ανά τάξη

Η εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου και των δύο λεκανών έγινε για διάφορες threshold area, η μεγαλύτερη από τις οποίες ήταν 1 Km<sup>2</sup> και η μικρότερη 0.025 Km<sup>2</sup>. Τα μεγέθη αυτά κρίθηκαν ως οριακά και για τις δύο λεκάνες (με συνολική έκταση περίπου ίση με 800 Km<sup>2</sup> και στις δύο περιπτώσεις), καθώς το δίκτυο που προκύπτει για threshold area μεγαλύτερες από 1 Km<sup>2</sup>, είναι πολύ αραιό και για μικρότερες από 0.025 Km<sup>2</sup>, είναι πολύ πυκνό.

Στους πίνακες 1 και 2, καθώς και στο σχετικό διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή της τάξης του υδρογραφικού δικτύου, σε σχέση με το μέγεθος της

---

<sup>2</sup>Τα βυθίσματα της λεκάνης του Ευήνου υπολογίζονται σε 203, ενώ αυτά της λεκάνης του Μόρνου σε 99. Πάντως ο αριθμός των βυθισμάτων εξαρτάται όχι μόνο από την ακρίβεια των εισαγόμενων δεδομένων, αλλά και από την ανάλυση του μοντέλου Lattice.

<sup>3</sup>Τα υδρογραφικά δίκτυα και των δύο λεκανών εξετάζονται ως προς τη φυσική ροή τους, με αποτέλεσμα, στοιχεία όπως οι τεχνητές λίμνες να αγνοούνται.

threshold area. Επίσης φαίνεται ο αριθμός των pixels (ψηφίδες) που σχηματίζουν την threshold area.

Στους πίνακες 3 και 4 φαίνεται η μεταβολή του μέσου, αλλά και του συνολικού μήκους των κλάδων για κάθε τάξη του δικτύου και πάλι σε σχέση με το μέγεθος της threshold area. Επιπλέον στη δεύτερη στήλη των πιν. 3 και 4 μπορούμε να παρατηρήσουμε τη συνεχή μείωση του αριθμού των κλάδων κάθε τάξης, όσο αυξάνεται το μέγεθος της threshold area.

### **5.3. Συνολικό μήκος υδρογραφικού δικτύου - Πυκνότητα και αποχετευτική ικανότητα δικτύου**

Το συνολικό μήκος των υδρογραφικών δικτύων Ευήνου και Μόρνου μειώνεται συνεχώς, όσο αυξάνεται το μέγεθος της threshold area. Ανάλογη είναι και η μείωση στην πυκνότητα, που φέρεται να έχει το δίκτυο, όπως φαίνεται και στους πίνακες 5 και 6. Με δεδομένο ότι η ροή του νερού γίνεται με μεγαλύτερη ταχύτητα μέσα σε υδατορεύματα, από ότι όταν αυτό κινείται επάνω στο έδαφος (επιδερμικά ή επιφανειακά), είναι προφανές ότι το πυκνό δίκτυο, δηλαδή η ύπαρξη πολλών κλάδων, κυρίως 1ης τάξης, γίνεται αιτία να αυξάνεται η "αποχετευτική ικανότητα" και να μειώνεται ο χρόνος συρροής της λεκάνης. Για το λόγο αυτό, η δημιουργία ενός πλημμυρογραφήματος απαιτεί την παραδοχή του κατάλληλου μεγέθους threshold area, για την εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου της ανάντι λεκάνης.

Πάντως εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι παρά την αύξηση του αριθμού και του συνολικού μήκους των κλάδων 1ης τάξης, που συνεπάγεται η μείωση του μεγέθους της threshold area, δεν ισχύει το ίδιο και για τη βαρύτητα τους (από πλευράς μήκους) μέσα στο υδρογραφικό δίκτυο. Στον πίνακα 8 φαίνεται καθαρά ότι και στις δύο εξεταζόμενες λεκάνες, το ποσοστό του συνολικού μήκους κλάδων 1ης τάξης στο υδρογραφικό δίκτυο είναι συνήθως λίγο μεγαλύτερο από 50%, ανεξάρτητα από το μέγεθος της threshold area.

### **5.4. Υδατόρευμα μέγιστης τάξης**

Στον πίνακα 7 φαίνεται η επίδραση του μεγέθους της threshold area στο μήκος του κλάδου μέγιστης τάξης των δύο δικτύων. Είναι προφανές ότι και στις δύο περιπτώσεις, το μήκος αυτό είναι ανεξάρτητο από την επιλογή threshold area και εξαρτάται μόνο από τις τοπογραφικές ιδιαιτερότητες της λεκάνης. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μείωση της τάξης του δικτύου που επιφέρει η αύξηση του μεγέθους της ελάχιστης επιφάνειας απορροής κλάδων 1ης τάξης. Για παράδειγμα, όταν η threshold area είναι 0.05 Km<sup>2</sup>, στη λεκάνη του Μόρνου η συμβολή δύο υδατορευμάτων 5ης τάξης δημιουργεί τον κλάδο 6ης τάξης με μήκος 38.9 Km. Όταν η threshold area γίνει 0.075 Km<sup>2</sup>, η τάξη των δύο συμβάλλοντων κλάδων μειώνεται από 5 σε 4, οπότε η ύπαρξη και ενός 3ου

κλάδου 4ης τάξης, μετατοπίζει τη δημιουργία του υδατορεύματος μέγιστης (5ης) τάξης λίγο προς τα ανάντι, με αποτέλεσμα την αύξηση του μήκους του από 38.9 Km σε 40.2 Km.

Το ποσοστό του μήκους του υδατορεύματος μέγιστης τάξης στο υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει μια μικρή αύξηση όταν αυξάνεται το μέγεθος της threshold area, και στις δύο εξεταζόμενες λεκάνες, όπως φαίνεται και στα σχετικά διαγράμματα.

### 5.5. Εφαρμογή των σχέσεων Horton

Οι νόμοι του Horton, σχετικά με το μήκος και τον αριθμό διακλαδώσεων αποτελούν το σημαντικότερο δείκτη αυτοομοιότητας υδρογραφικών δικτύων. Στους πίνακες 9 και 10 φαίνεται η μεταβολή των δεικτών  $R_b$  και  $R_L$ , ανά τάξη των υδρογραφικών δικτύων Μόρνου και Ευήνου, για κλιμάκωση του μεγέθους της threshold area από 0.025 Km<sup>2</sup> μέχρι 1 Km<sup>2</sup>. Οι τιμές των δεικτών αυτών υπολογίζονται με βάση τα δεδομένα μήκους και αριθμού κλάδων των δύο λεκανών και με εφαρμογή των σχέσεων (8) και (9).

Η εξέταση των πινάκων αυτών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, ο νόμος του Horton για τα μήκη βρίσκει καλύτερη εφαρμογή από αυτόν για τον αριθμό κλάδων, και για τις δύο εξεταζόμενες λεκάνες. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχει μεγάλη απόκλιση στην τιμή των δεικτών όταν αυτοί εφαρμόζονται ανάμεσα στην τελευταία και προτελευταία τάξη των δικτύων.

### 5.6. Υπολογισμός της κλασματικής διάστασης των υδρογραφικών δικτύων Μόρνου και Ευήνου

Η κλασματική διάσταση Hausdorff των δύο εξεταζόμενων δικτύων φαίνεται στους πίνακες 11 και 12. Στην περίπτωση του Μόρνου η fractal διάσταση κυμαίνεται από 1.69 έως 2.04, ενώ για τον Ευήνο από 1.85 έως 2.17. Οι τιμές αυτές μπορούν να χαρακτηρισθούν σχετικά υψηλές, αφού η τιμή 2 θεωρείται ως άνω όριο για τη fractal διάσταση ενός δικτύου. Πάντως και τα δύο δίκτυα (και ειδικά αυτό του Ευήνου) μπορούν να θεωρηθούν space filling, δηλαδή γεμίζουν πλήρως την επιφάνεια της λεκάνης. Αυτή η υψηλή τιμή κλασματικής διάστασης οφείλεται σε σημαντικό βαθμό και στην κάλυψη των βυθισμάτων των δύο λεκανών, που όμως ήταν αναπόφευκτη.

Η τιμή της κλασματικής διάστασης υπολογίσθηκε με εφαρμογή της σχέσης (14) και θεωρώντας για κάθε μέγεθος της threshold area, μία μέση τιμή για τους δείκτες  $R_b$  και  $R_L$  του Horton. Οι μέσες τιμές αυτές προέκυψαν, χωρίς να ληφθούν υπόψη οι δείκτες ανάμεσα στην τελευταία και προτελευταία τάξη των δικτύων, λόγω της σημαντικής απόκλισης τους από τους υπόλοιπους.

Εξετάζοντας το δείγμα των μέσων αυτών δεικτών  $R_b$  και  $R_L$  βρίσκουμε:

	Μέση τιμή δείκτη $R_b$	Μέση τιμή δείκτη $R_L$	Τυπική απόκλιση δείκτη $R_b$	Τυπική απόκλιση δείκτη $R_L$
Μόρνος	5.34	2.40	0.51	0.12
Εύηνος	5.36	2.31	0.55	0.15

### 5.7. Υπολογισμός της κλασματικής διάστασης του μήκους του κύριου υδατορεύματος των λεκανών Μόρνου και Ευήνου

Σε αντιστοιχία με τα παραπάνω υπολογίσθηκε και ο μέσος δείκτης Horton  $R_A$  για τις υπολεκάνες απορροής, η διακύμανση του οποίου για μεταβολή της threshold area παρουσιάζεται στους πίνακες 13 και 14.

Η κλασματική διάσταση του μήκους του κύριου υδατορεύματος φαίνεται στους πίνακες 15 και 16. Η διακύμανση της είναι από 1.00 έως 1.20 και για τις δύο λεκάνες, απόλυτα σύμφωνη με τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα. Πάντως ο υπολογισμός της διάστασης κατά Nikora μπορεί να χαρακτηριστεί πιο ρεαλιστικός από τον υπολογισμό κατά Feret, αφού προσεγγίζει περισσότερο το 1.20, και για τα δύο δίκτυα, όπως πρέπει να συμβαίνει σε λεκάνες τέτοιου μεγέθους.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ◆ Mandelbrot Benoit: "The fractal geometry of nature"
- ◆ Briggs John και Peat David: "Ο ταραγμένος καθρέφτης" (Μετάφραση: Κωνσταντόπουλος Νίκος)
- ◆ Peterson Ivars: "Ταξίδι στον κόσμο των Μαθηματικών" (Μετάφραση: Κουσουλάκου Βίβιαν)
- ◆ Γράψας Γ.: "Εφαρμογή Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στην Υδρολογία", διπλωματική εργασία στον ΤΥΠΥΘΕ του ΕΜΠ
- ◆ Λαζαρίδου Π. και Μίχας Σ.: "Κατάρτιση μοναδιαίου υδρογραφήματος με τη βοήθεια Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών", διπλωματική εργασία στον ΤΥΠΥΘΕ του ΕΜΠ
- ◆ Ξανθόπουλος Θ.: "Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία"
- ◆ Hemlinger K., Praveen K., Foufoula-Georgiou E.: "On the use of DEM data for river network analysis"
- ◆ Williams S.: "Scaling and fractals"
- ◆ Band L.: "Topographic partition of watersheds with digital elevation models", Water Resources Research, vol 22, No 1, Pages 15-24, January 1986
- ◆ Marani A.: "A note on Fractal Channel Networks", Water Resources Research, vol 27, No 12, Pages 3041-3049, December 1991
- ◆ Rosso R., Baldassare B., La Barbera P.: "Fractal relation of Mainstream length to Catchment area in River networks", Water Resources Research, vol 27, No 3, Pages 381-387, March 1991
- ◆ Ichoku C. and Chorowicz J.: "A numerical approach to the analysis and classification of channel network patterns", Water Resources Research, vol 30, No 2, Pages 161-174, February 1994
- ◆ Tarboton D., Bras R. and Rodriguez-Iturbe I.: "The Fractal Nature of River networks", Water Resources Research, vol 24, No 8, Pages 1317-1322, August 1988
- ◆ Nikora V.: "On self-similarity and self-affinity of drainage basins", Water Resources Research, vol 30, No 1, Pages 133-137, January 1994
- ◆ ARC/INFO, "AML User's Guide"
- ◆ ARC/INFO, "Arc Commands Reference", Τόμοι I και II



- ◆ ARC/INFO, "Arcplot Commands Reference", Τόμοι I και II
- ◆ ARC/INFO, "Data Model Concepts and Key Terms"
- ◆ ARC/INFO, "Grid Commands Reference", Τόμοι I και II
- ◆ ARC/INFO, "Managing Tabular data"
- ◆ ARC/INFO, "Surface Modeling with TIN"
- ◆ ARC/INFO, "Network Analysis"

Μέγεθος threshold area		Τάξη δικτύου
Km <sup>2</sup>	Αριθμός pixels	(Μόρνος)
0.025	2.5	6
0.05	5	6
0.075	7.5	5
0.1	10	5
0.2	20	5
0.5	50	5
1.0	100	4

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Επίδραση του μεγέθους της threshold area στην τάξη του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Μόρνου.

Μέγεθος threshold area		Τάξη δικτύου
Km <sup>2</sup>	Αριθμός pixels	(Εύηνος)
0.025	2.5	6
0.05	5	5
0.075	7.5	5
0.1	10	5
0.2	20	5
0.5	50	4
1.0	100	4

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Επίδραση του μεγέθους της threshold area στην τάξη του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ευήνου.

Threshold area	Αριθμός κλάδων / τάξη δικτύου	Μέσο μήκος για κάθε τάξη	Συνολικό μήκος για κάθε τάξη
(Km <sup>2</sup> )		(Km)	(Km)
0.025	1 / 6	38.9	38.9
	2 / 5	15.7	31.4
	12 / 4	5.7	68.5
	57 / 3	2.8	158.5
	298 / 2	1.4	438.1
	1312 / 1	0.6	800.3
0.05	1 / 6	38.9	38.9
	2 / 5	15.7	31.4
	8 / 4	7.3	58.9
	31 / 3	3.4	106.0
	194 / 2	1.8	356.9
	886 / 1	0.8	691.0
0.075	1 / 5	40.2	40.2
	3 / 4	11.6	34.8
	18 / 3	5.3	95.4
	111 / 2	2.4	266.4
	606 / 1	1.0	606.0
0.1	1 / 5	40.2	40.2
	3 / 4	12.2	36.6
	13 / 3	6.0	78.0
	79 / 2	2.8	221.2
	519 / 1	1.1	570.9

0.2	1 / 5	38.9	38.9
	2 / 4	14.6	29.2
	9 / 3	7.7	69.3
	50 / 2	3.4	170.0
	346 / 1	1.3	449.8
0.5	1 / 5	38.9	38.9
	2 / 4	15.7	31.4
	7 / 3	8.3	58.1
	36 / 2	3.9	141.1
	195 / 1	1.5	292.5
1.0	1 / 4	40.2	40.2
	3 / 3	12.1	36.3
	17 / 2	4.8	81.6
	102 / 1	1.8	183.6

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Επίδραση του μεγέθους της threshold area στον αριθμό των κλάδων, στο μέσο και συνολικό μήκος τους για κάθε τάξη του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Μόρνου.

Threshold area	Αριθμός κλάδων / τάξη δικτύου	Μέσο μήκος για κάθε τάξη	Συνολικό μήκος για κάθε τάξη
(Km <sup>2</sup> )		(Km)	(Km)
0.025	1 / 6	31.2	31.2
	2 / 5	17.7	35.4
	8 / 4	4.8	38.4
	46 / 3	2.3	105.8
	246 / 2	1.3	319.8
	1089 / 1	0.5	544.5
0.05	1 / 5	46.4	46.4
	4 / 4	9.9	39.6
	27 / 3	4.2	113.4
	139 / 2	2.1	291.9
	590 / 1	0.8	472.0
0.075	1 / 5	46.4	46.4
	3 / 4	10.9	32.7
	18 / 3	4.7	84.6
	99 / 2	2.3	227.7
	413 / 1	0.9	371.7
0.1	1 / 5	46.4	46.4
	3 / 4	11.7	35.1
	12 / 3	5.6	67.2
	70 / 2	2.6	182.0
	338 / 1	1.0	338.0
	1 / 5	31.2	31.2
	2 / 4	14.2	28.4

0.2	8 / 3	6.9	55.2
	47 / 2	3.3	155.1
	259 / 1	1.2	310.8
0.5	1 / 4	46.4	46.4
	4 / 3	8.4	33.6
	25 / 2	3.9	97.5
	168 / 1	1.4	235.2
1.0	1 / 4	46.4	46.4
	3 / 3	11.0	33.0
	15 / 2	4.5	67.5
	97 / 1	1.7	164.9

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Επίδραση του μεγέθους της threshold area στον αριθμό των κλάδων, στο μέσο και συνολικό μήκος τους για κάθε τάξη του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ευήνου.

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Συνολικό μήκος υδρ. δικτύου (Km)	Πυκνότητα υδρ. δικτύου (Km/Km <sup>2</sup> )
0.025	1535.7	1.79
0.05	1283.1	1.50
0.075	1042.8	1.22
0.1	946.9	1.10
0.2	757.2	0.88
0.5	562.0	0.66
1.0	341.7	0.40

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Επίδραση του μεγέθους της threshold area στο συνολικό μήκος και την αποχετευτική πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου του Μόρνου

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Συνολικό μήκος υδρ. δικτύου (Km)	Πυκνότητα υδρ. δικτύου (Km/Km <sup>2</sup> )
0.025	1075.1	1.33
0.05	963.3	1.19
0.075	763.1	0.94
0.1	668.7	0.83
0.2	580.7	0.72
0.5	412.7	0.51
1.0	311.8	0.38

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Επίδραση του μεγέθους της threshold area στο συνολικό μήκος και την αποχετευτική πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου του Ευήνου

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Μήκος κλάδου μέγιστης τάξης στο δίκτυο Μόρνου (Km)	Μήκος κλάδου μέγιστης τάξης στο δίκτυο Ευήνου (Km)
0.025	38.9	31.2
0.05	38.9	46.4
0.075	40.2	46.4
0.1	40.2	46.4
0.2	38.9	31.2
0.5	38.9	46.4
1.0	40.2	46.4

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Επίδραση του μεγέθους της threshold area στο μήκος του υδατορεύματος μέγιστης τάξης για τα δίκτυα Μόρνου και Ευήνου.

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Ποσοστό συνολικού μήκους κλάδων 1ης τάξης στο υδρογραφικό δίκτυο (%)	
	ΜΟΡΝΟΣ	ΕΥΗΝΟΣ
0.025	52.1	50.6
0.05	53.9	49.0
0.075	58.1	48.7
0.1	60.3	50.5
0.2	59.4	53.5
0.5	52.0	56.9
1.0	53.7	52.9

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Επίδραση του μεγέθους της threshold area στο ποσοστό του υδρογραφικού δικτύου που κατέχουν οι κλάδοι 1ης τάξης στις λεκάνες Μόρνου και Ευήνου.



Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης Rb	Δείκτης RL
0.025	2 / 1	4.4	2.33
	3 / 2	5.2	2.0
	4 / 3	4.8	2.04
	5 / 4	6.0	2.75
	6 / 5	2.0	2.48

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης Rb	Δείκτης RL
0.05	2 / 1	4.6	2.25
	3 / 2	6.3	1.89
	4 / 3	3.9	2.15
	5 / 4	4.0	2.15
	6 / 5	2.0	2.48

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης Rb	Δείκτης RL
0.075	2 / 1	5.5	2.40
	3 / 2	6.1	2.21
	4 / 3	6.0	2.69
	5 / 4	3.0	3.47

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης Rb	Δείκτης RL
0.1	2 / 1	6.6	2.55
	3 / 2	6.1	2.14
	4 / 3	4.3	2.03
	5 / 4	3.0	3.30

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης R <sub>b</sub>	Δείκτης R <sub>L</sub>
0.2	2 / 1	6.9	2.62
	3 / 2	5.6	2.26
	4 / 3	4.5	1.90
	5 / 4	2.0	2.66

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης R <sub>b</sub>	Δείκτης R <sub>L</sub>
0.5	2 / 1	5.4	2.60
	3 / 2	5.1	2.13
	4 / 3	3.5	1.89
	5 / 4	2.0	2.48

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης R <sub>b</sub>	Δείκτης R <sub>L</sub>
0.1	2 / 1	6.0	2.67
	3 / 2	5.7	2.52
	4 / 3	3.0	3.32

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Μεταβολή των δεικτών R<sub>b</sub> και R<sub>L</sub> του Horton, ανά τάξη του υδρογραφικού δικτύου, σε σχέση με το μέγεθος της threshold area, για τη λεκάνη του Μόρνου.

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης Rb	Δείκτης RL
0.025	2 / 1	4.4	2.60
	3 / 2	5.3	1.77
	4 / 3	5.7	2.09
	5 / 4	4.0	3.69
	6 / 5	2.0	1.76

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης Rb	Δείκτης RL
0.05	2 / 1	4.2	2.63
	3 / 2	5.1	2.00
	4 / 3	6.7	2.36
	5 / 4	4.0	4.69

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης Rb	Δείκτης RL
0.075	2 / 1	4.2	2.56
	3 / 2	5.5	2.04
	4 / 3	6.0	2.32
	5 / 4	3.0	4.26

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης Rb	Δείκτης RL
0.1	2 / 1	4.8	2.60
	3 / 2	5.8	2.15
	4 / 3	4.0	2.09
	5 / 4	3.0	3.97

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης R <sub>b</sub>	Δείκτης R <sub>L</sub>
0.2	2 / 1	5.5	2.75
	3 / 2	5.9	2.10
	4 / 3	4.0	2.06
	5 / 4	2.0	2.20

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης R <sub>b</sub>	Δείκτης R <sub>L</sub>
0.5	2 / 1	6.4	2.79
	3 / 2	6.2	2.15
	4 / 3	4.0	5.52

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Τάξεις δικτύου	Δείκτης R <sub>b</sub>	Δείκτης R <sub>L</sub>
0.1	2 / 1	6.4	2.65
	3 / 2	5.0	2.44
	4 / 3	3.0	4.22

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Μεταβολή των δεικτών R<sub>b</sub> και R<sub>L</sub> του Horton, ανά τάξη του υδρογραφικού δικτύου, σε σχέση με το μέγεθος της threshold area, για τη λεκάνη του Ευήνου.

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Μέσος δείκτης Rb	Μέσος δείκτης RL	Fractal διάσταση logRb /logRL
0.025	4.85	2.54	1.69
0.05	5.33	2.34	1.96
0.075	5.23	2.31	1.97
0.1	4.87	2.28	1.92
0.2	5.13	2.31	1.95
0.5	6.30	2.47	2.04
1.0	5.70	2.55	1.86

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Μέσοι δείκτες Rb και RL και διακύμανση της τιμής της κλασματικής διάστασης του δικτύου του Μόρνου, για διάφορα μεγέθη threshold area

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Μέσος δείκτης Rb	Μέσος δείκτης RL	Fractal διάσταση logRb /logRL
0.025	5.10	2.28	1.99
0.05	4.63	2.14	2.01
0.075	5.87	2.43	1.99
0.1	5.73	2.24	2.17
0.2	5.73	2.27	2.13
0.5	4.67	2.20	1.95
1.0	5.85	2.60	1.85

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Μέσοι δείκτες Rb και RL και διακύμανση της τιμής της κλασματικής διάστασης του δικτύου του Ευήνου, για διάφορα μεγέθη threshold area

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Μέσος δείκτης RA
0.025	4.98
0.05	4.66
0.075	4.49
0.1	4.76
0.2	4.99
0.5	5.04
1.0	5.52

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Διακύμανση της μέσης τιμής του δείκτη  $R_A$  σε σχέση με το μέγεθος της threshold area, για το δίκτυο του Μόρνου

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	Μέσος δείκτης RA
0.025	4.67
0.05	4.54
0.075	4.84
0.1	4.32
0.2	5.09
0.5	4.88
1.0	5.24

ΠΙΝΑΚΑΣ 14: Διακύμανση της μέσης τιμής του δείκτη  $R_A$  σε σχέση με το μέγεθος της threshold area, για το δίκτυο του Ευήνου

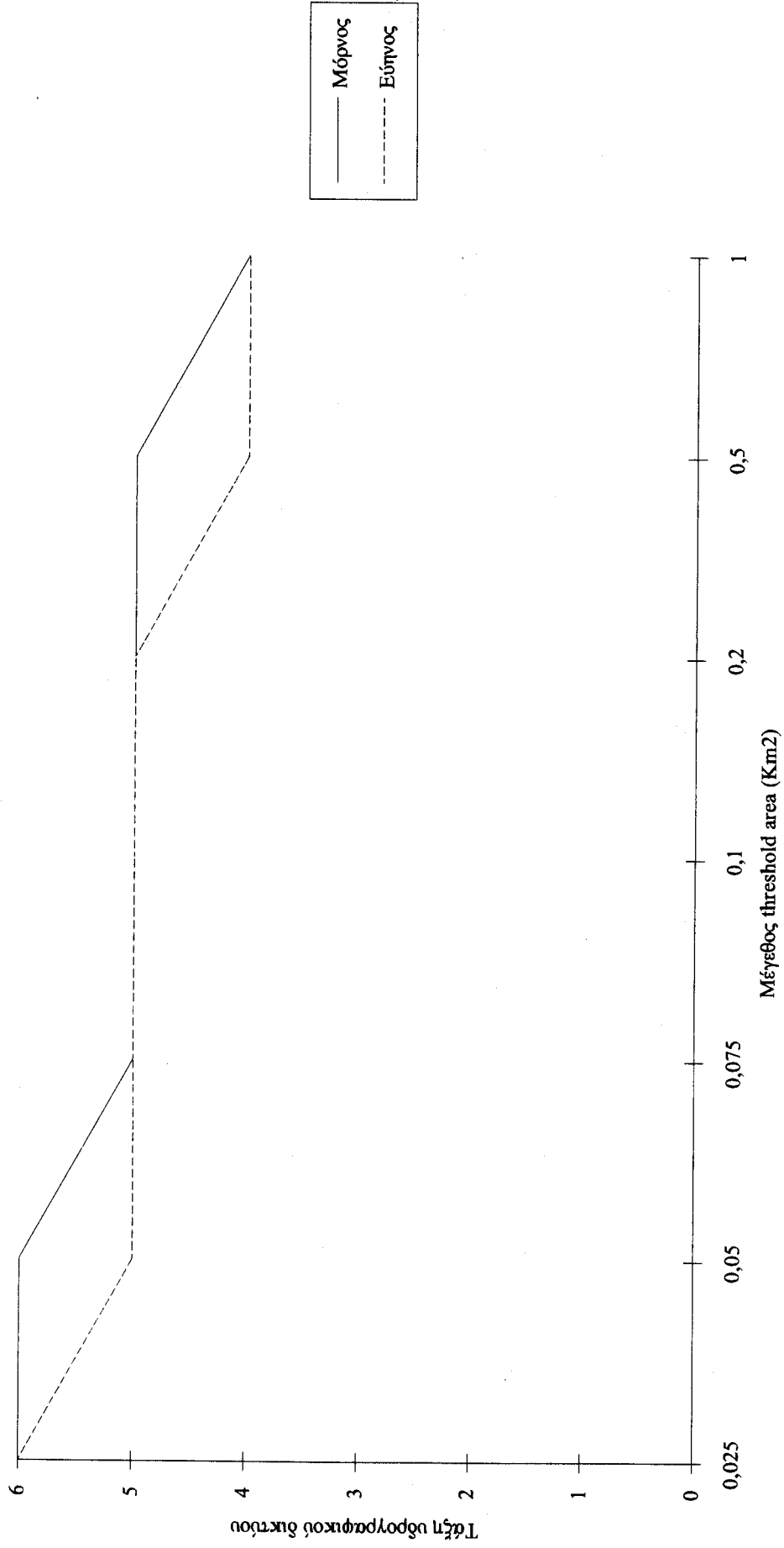
Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	$2 \log R_L / \log R_b$	$2 \log R_L / \log R_A$	D (Feder)	D(Nikora)
0.025	1.18	1.16	1.18	1.16
0.05	1.02	1.10	1.02	1.10
0.075	1.02	1.11	1.02	1.11
0.1	1.04	1.06	1.04	1.06
0.2	1.03	1.04	1.03	1.04
0.5	0.98	1.12	1.00	1.12
1.0	1.08	1.10	1.08	1.10

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: Διακύμανση της κλασματικής διάστασης, κατά Feder και Nikora, του μήκους του κύριου υδατορεύματος της λεκάνης Μόρνου

Μέγεθος threshold area (Km <sup>2</sup> )	$2 \log R_L / \log R_b$	$2 \log R_L / \log R_A$	D (Feder)	D(Nikora)
0.025	1.01	1.07	1.01	1.07
0.05	1.00	1.04	1.00	1.04
0.075	1.01	1.13	1.01	1.13
0.1	0.92	1.08	1.00	1.08
0.2	0.94	1.01	1.00	1.01
0.5	1.03	0.99	1.03	1.00
1.0	1.08	1.15	1.08	1.15

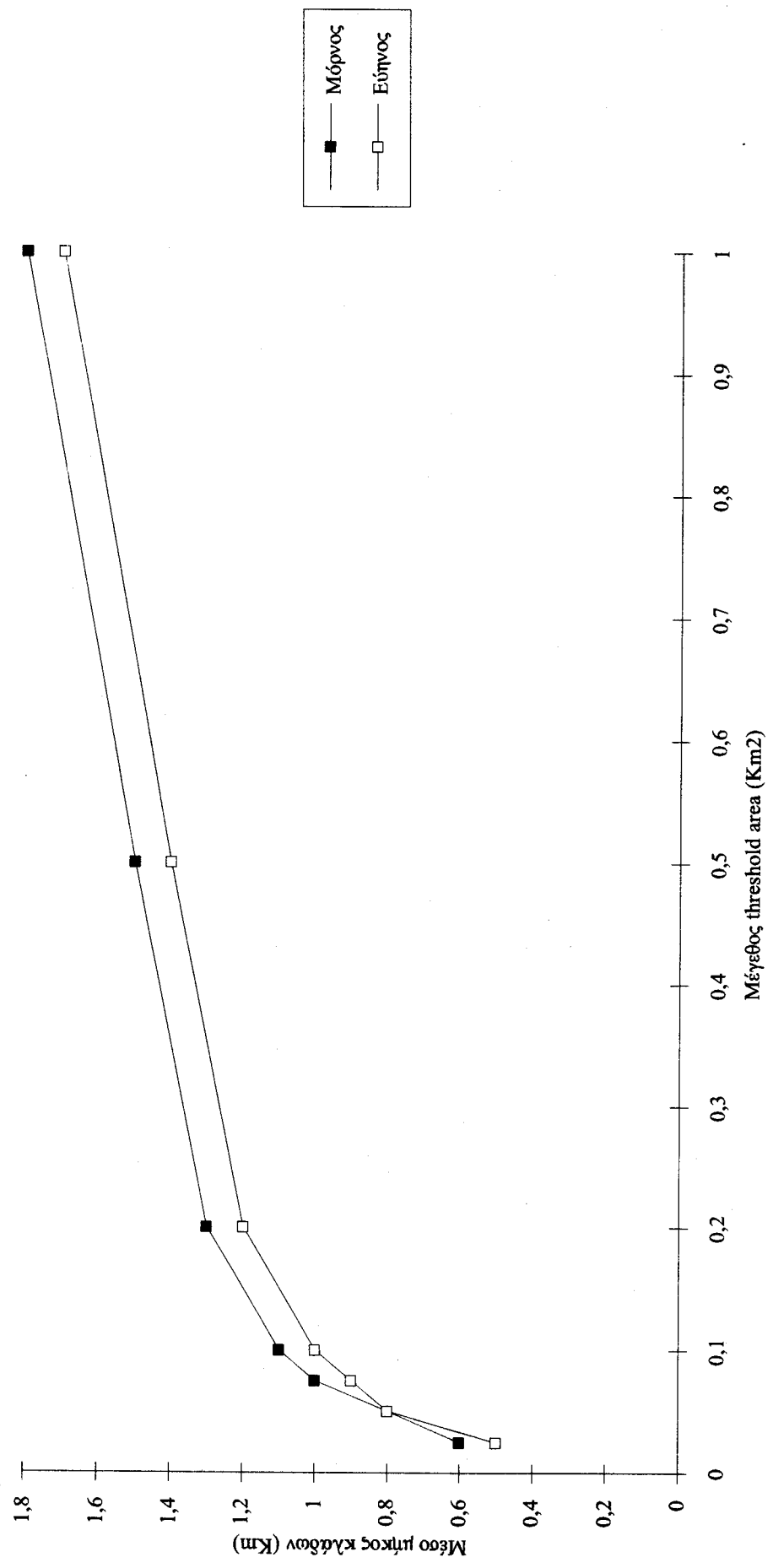
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: Διακύμανση της κλασματικής διάστασης, κατά Feder και Nikora, του μήκους του κύριου υδατορεύματος της λεκάνης Ευήνου

ΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΟΡΦΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA



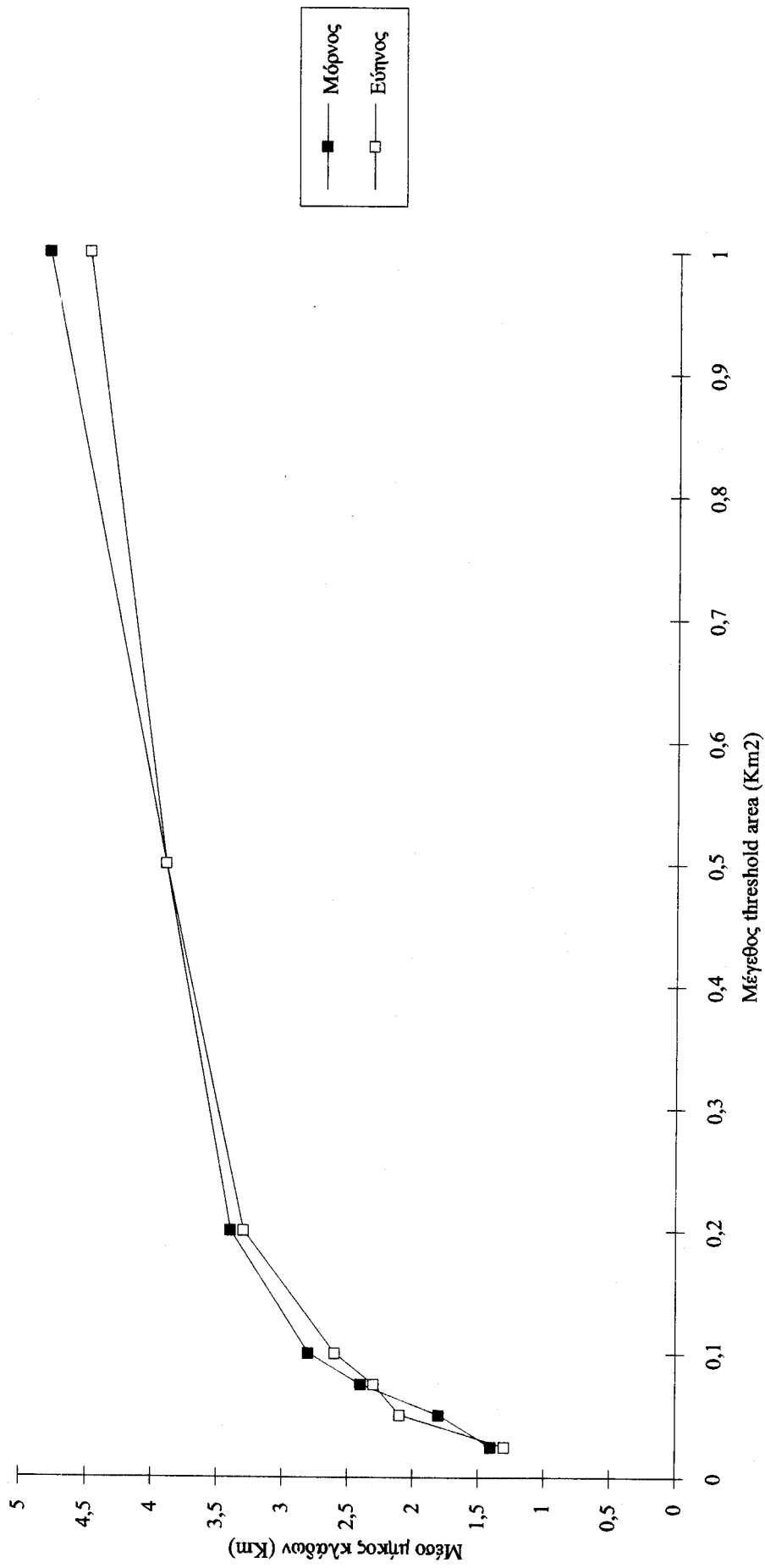


**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΩΝ ΚΛΑΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ Ι ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΘΡΗΣΟΛΔ  
 AREA ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ**

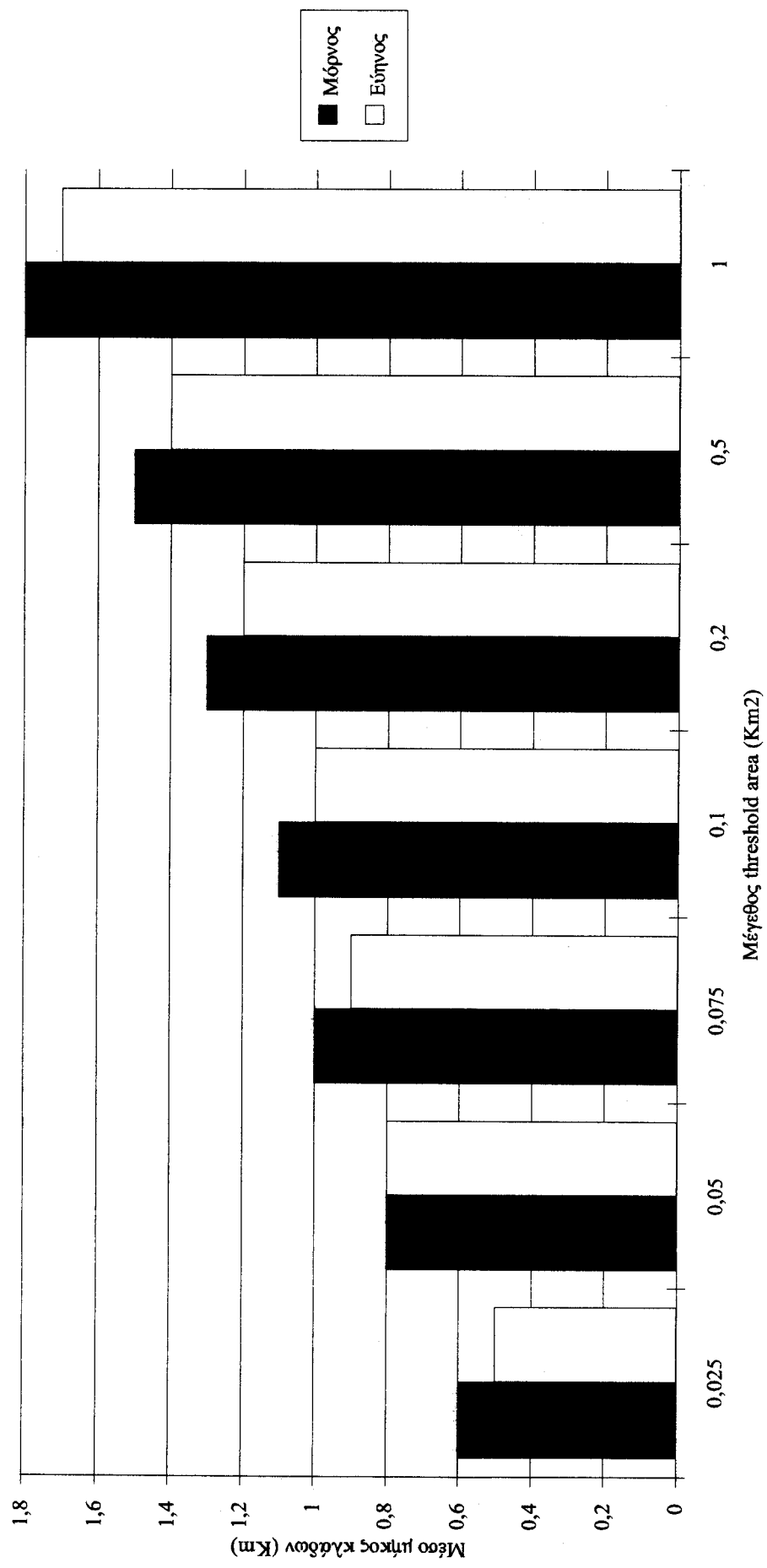


Μόρνος  
 Εύηνος

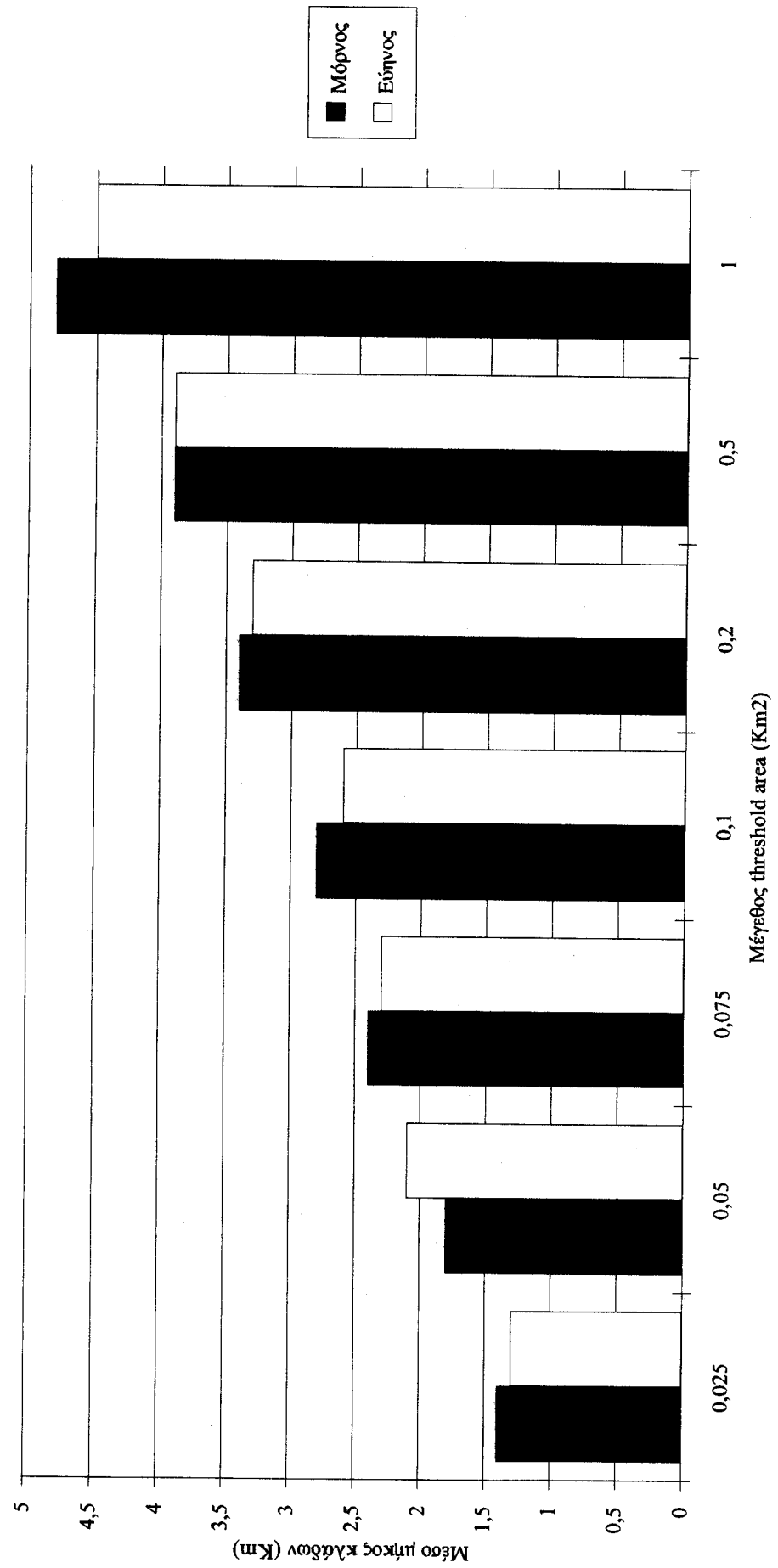
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 2 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΘΡΗΣΗΟΛΔ  
ΑΡΕΑ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ



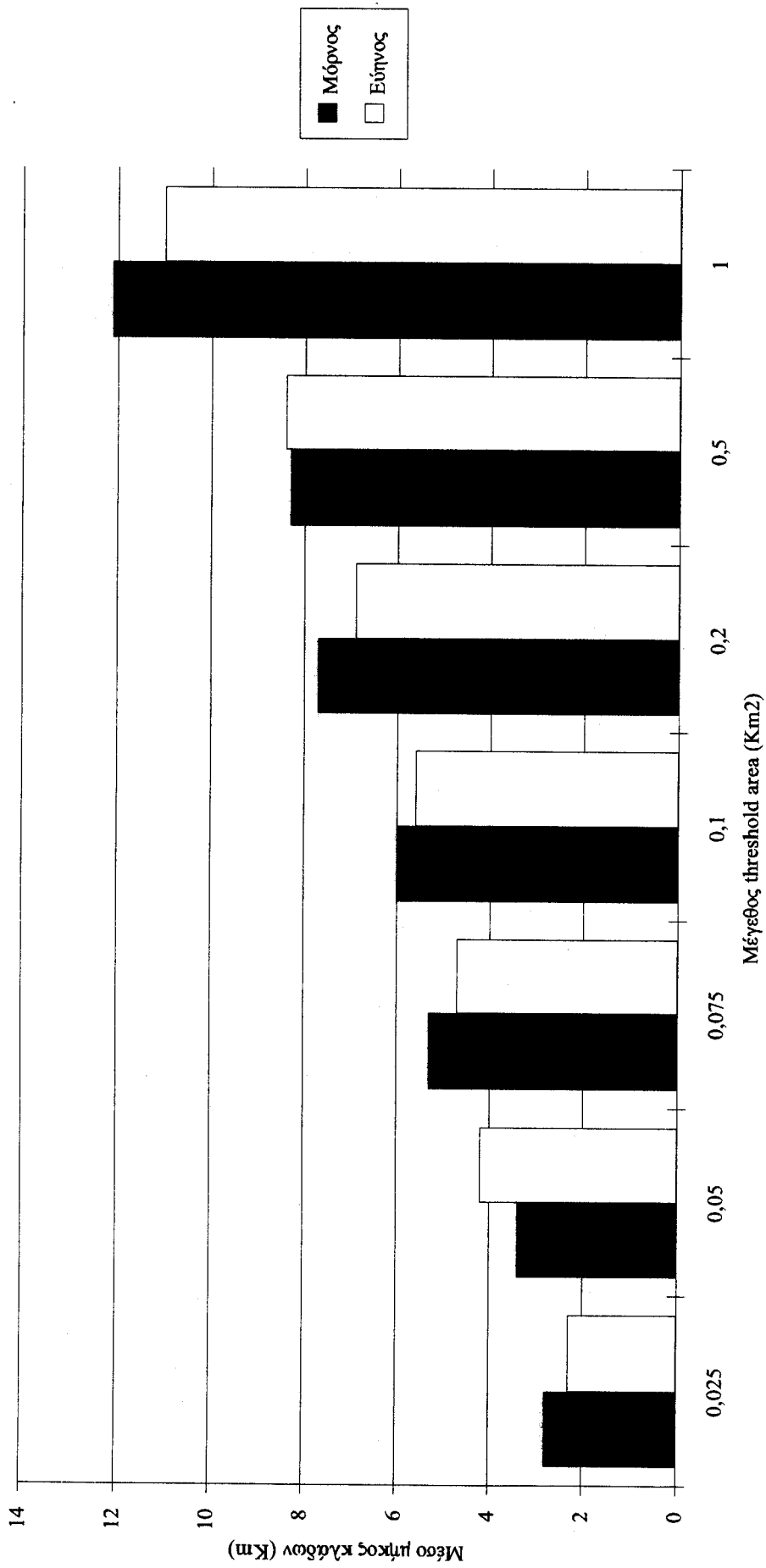
ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΚΛΑΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 1 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ



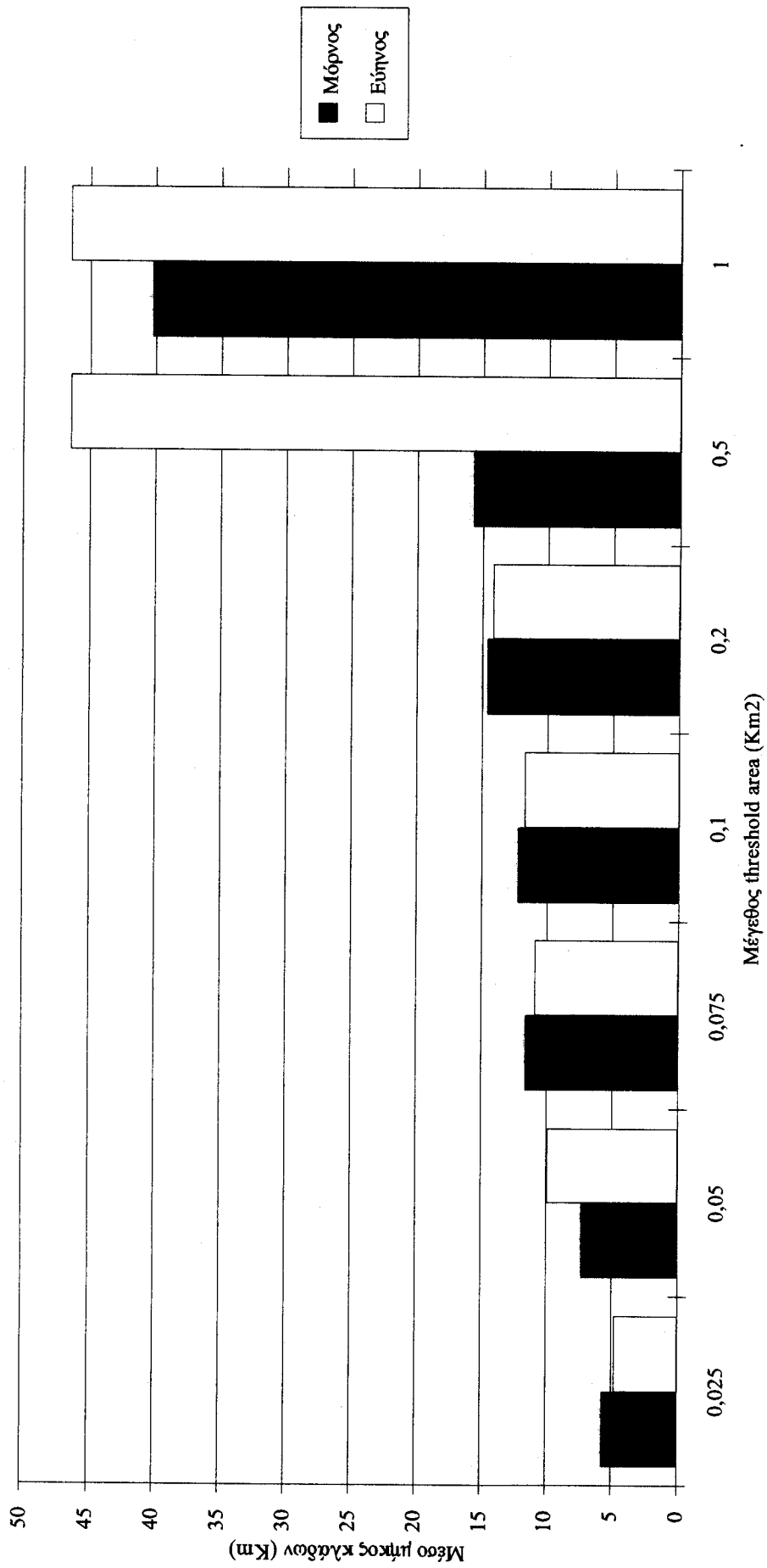
ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 2 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ



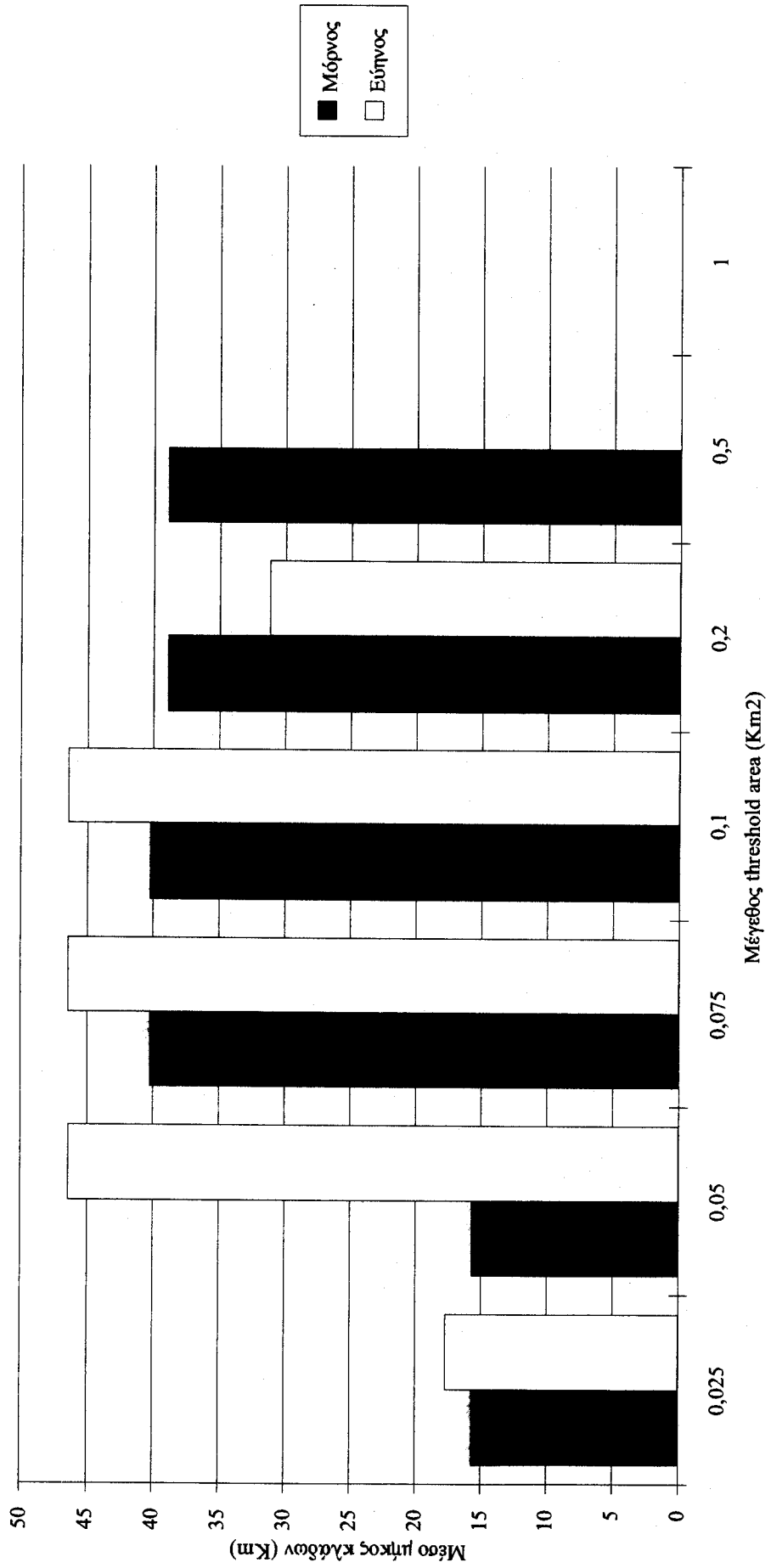
ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΚΛΑΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 3 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ



**ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΚΛΑΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 4 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ**

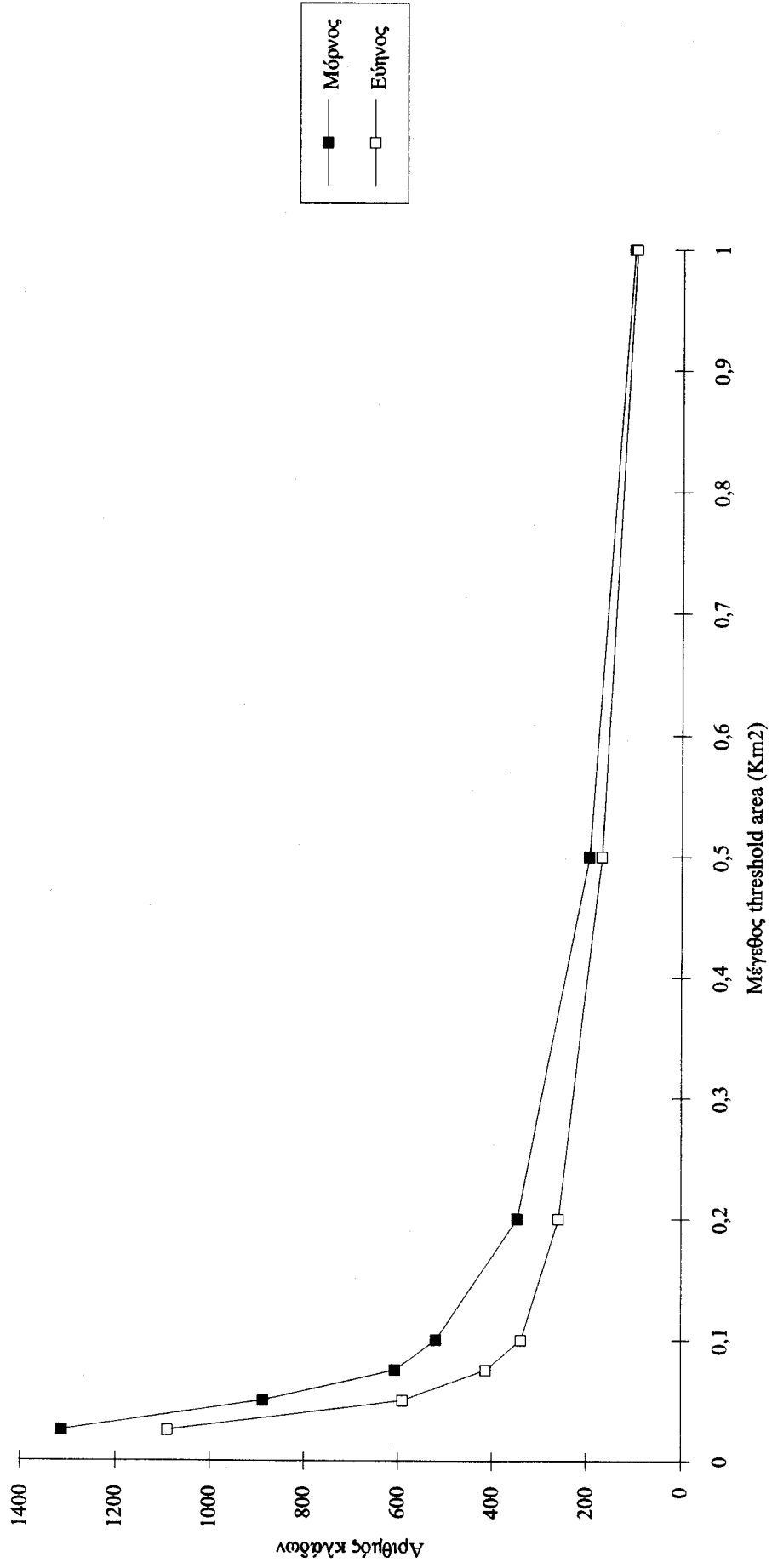


**ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΚΛΑΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 5 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ**



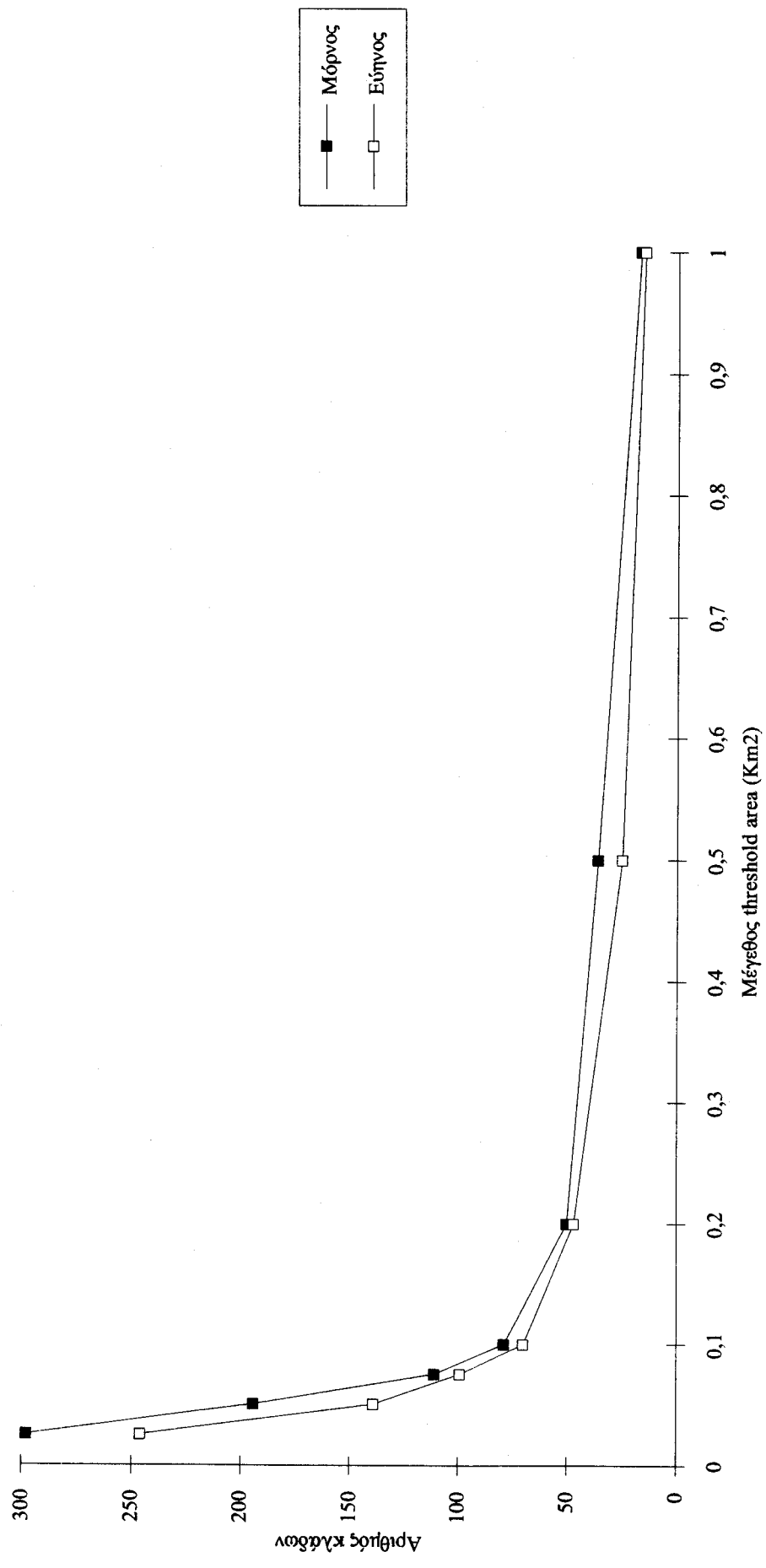
■ Μόρνος  
□ Εύηνος

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΚΛΑΔΩΝ ΙΗΣ ΤΑΞΗΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΘΡΗΣΟΛD AREA ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΦΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ



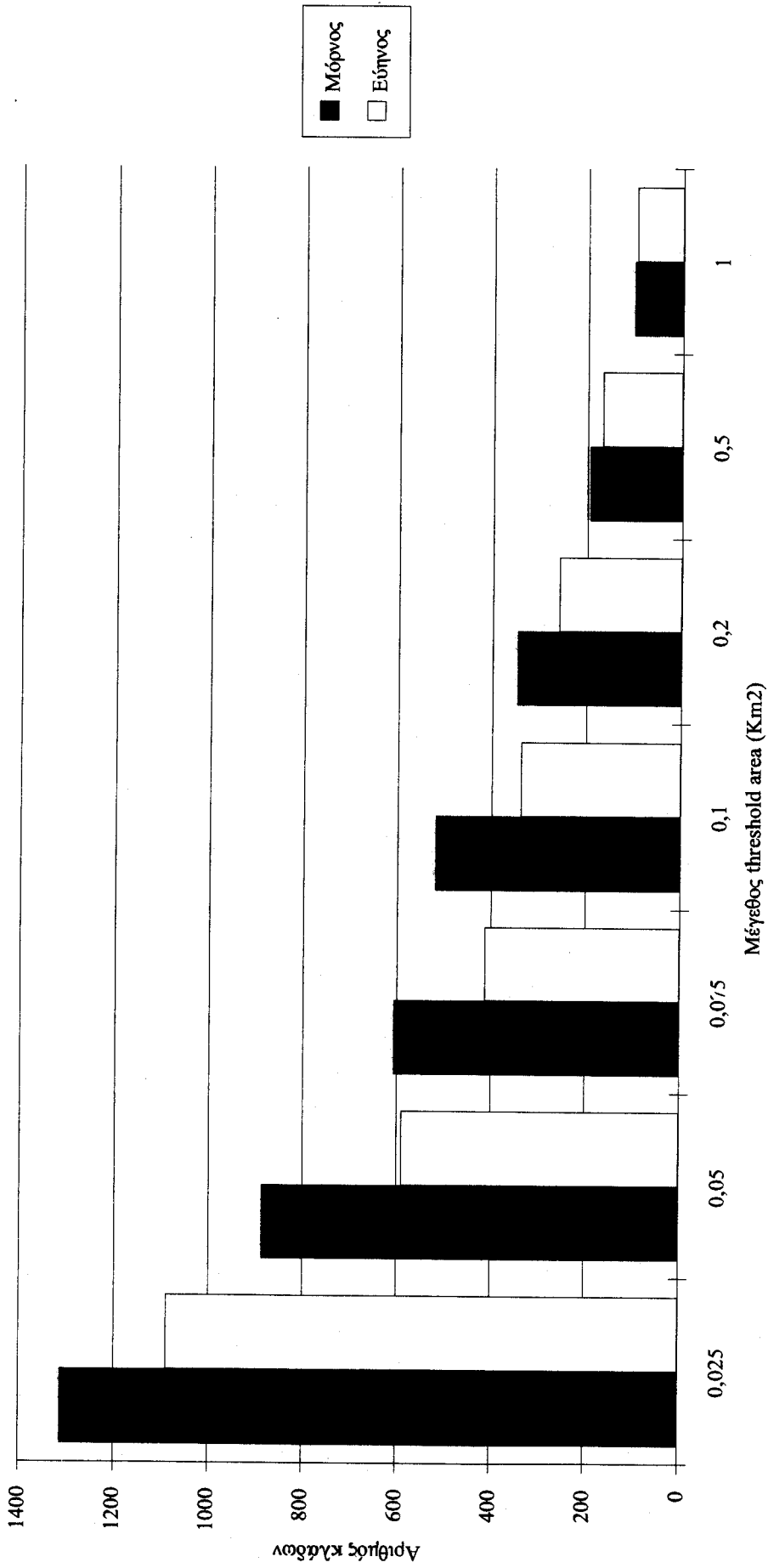


ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΚΛΑΔΩΝ 2ΗΣ ΤΑΞΗΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΘΡΗΣΗΟΛΔ ΑΡΕΑ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ

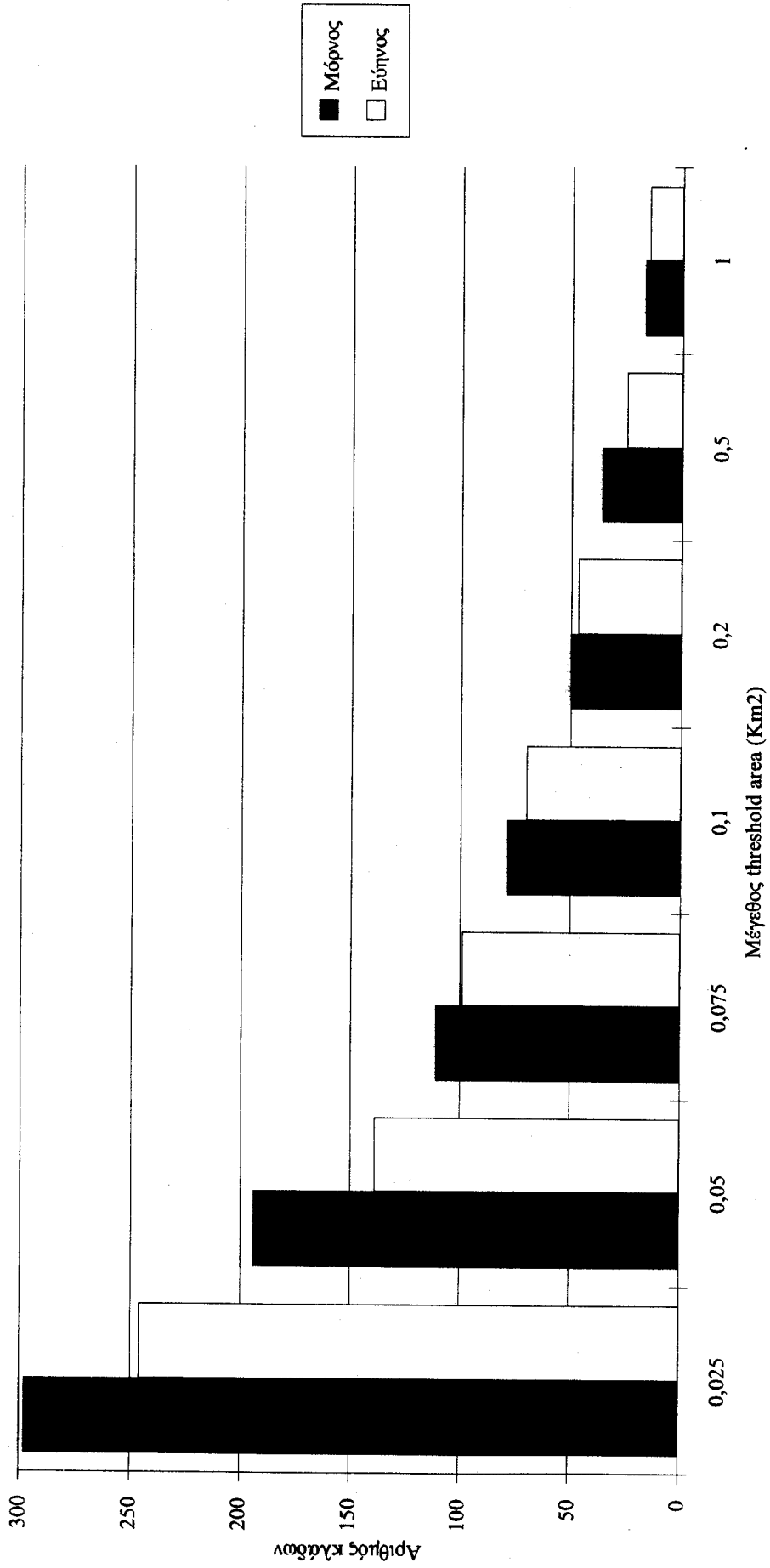


■ Μόρνος  
□ Εύηνος

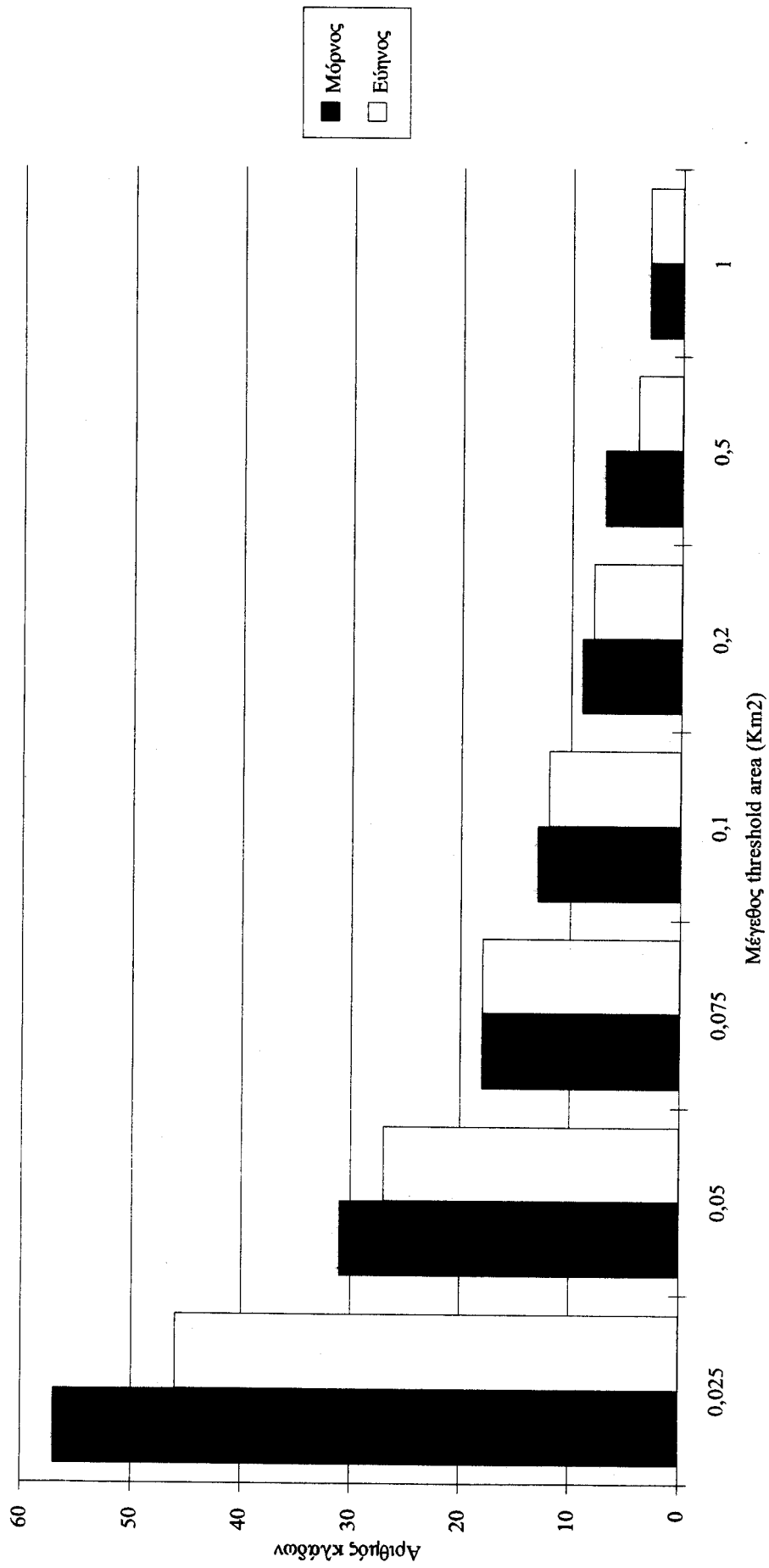
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΛΩΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ Ι ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ



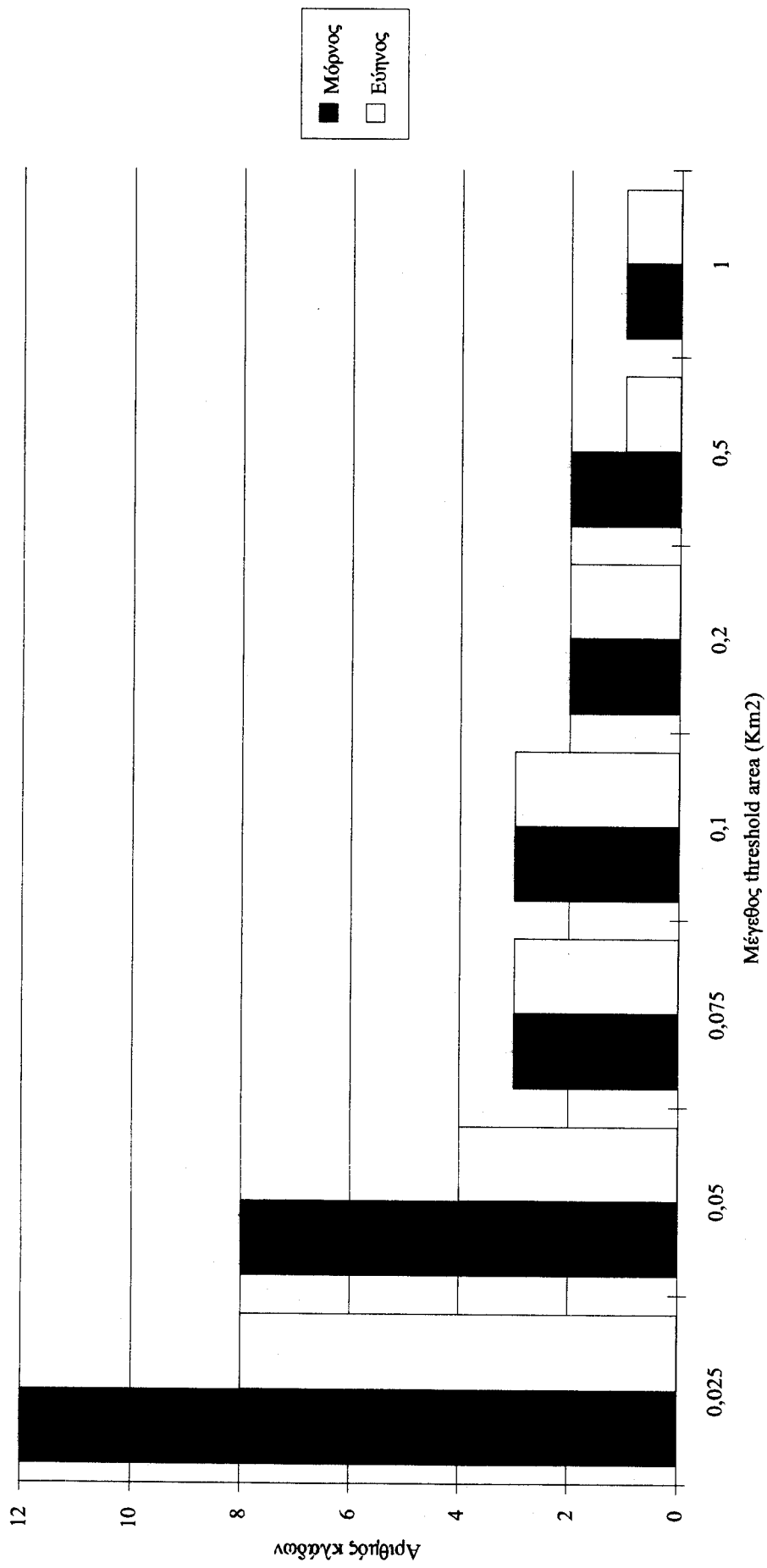
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΛΛΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 2 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ



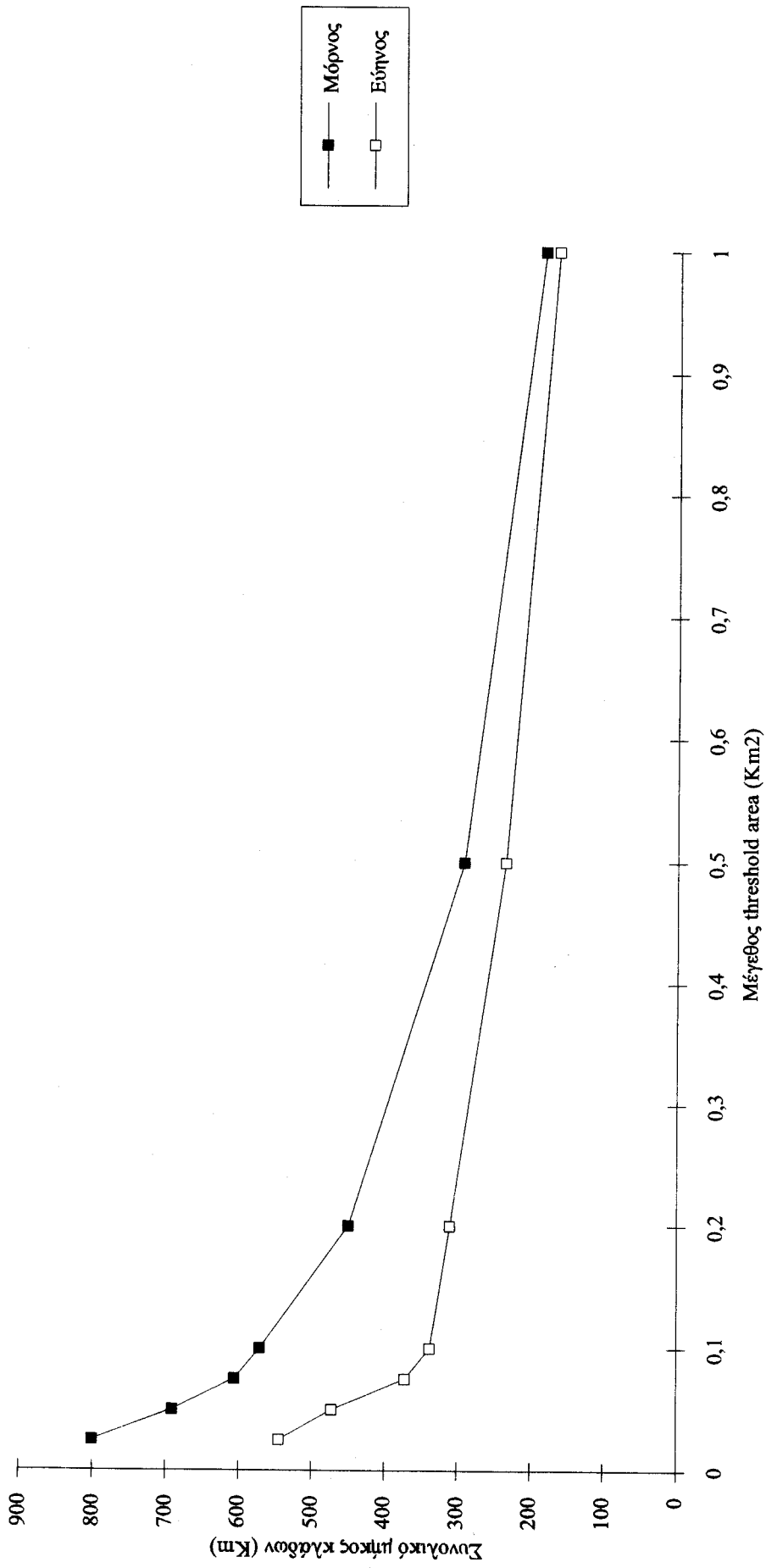
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΛΩΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 3 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ



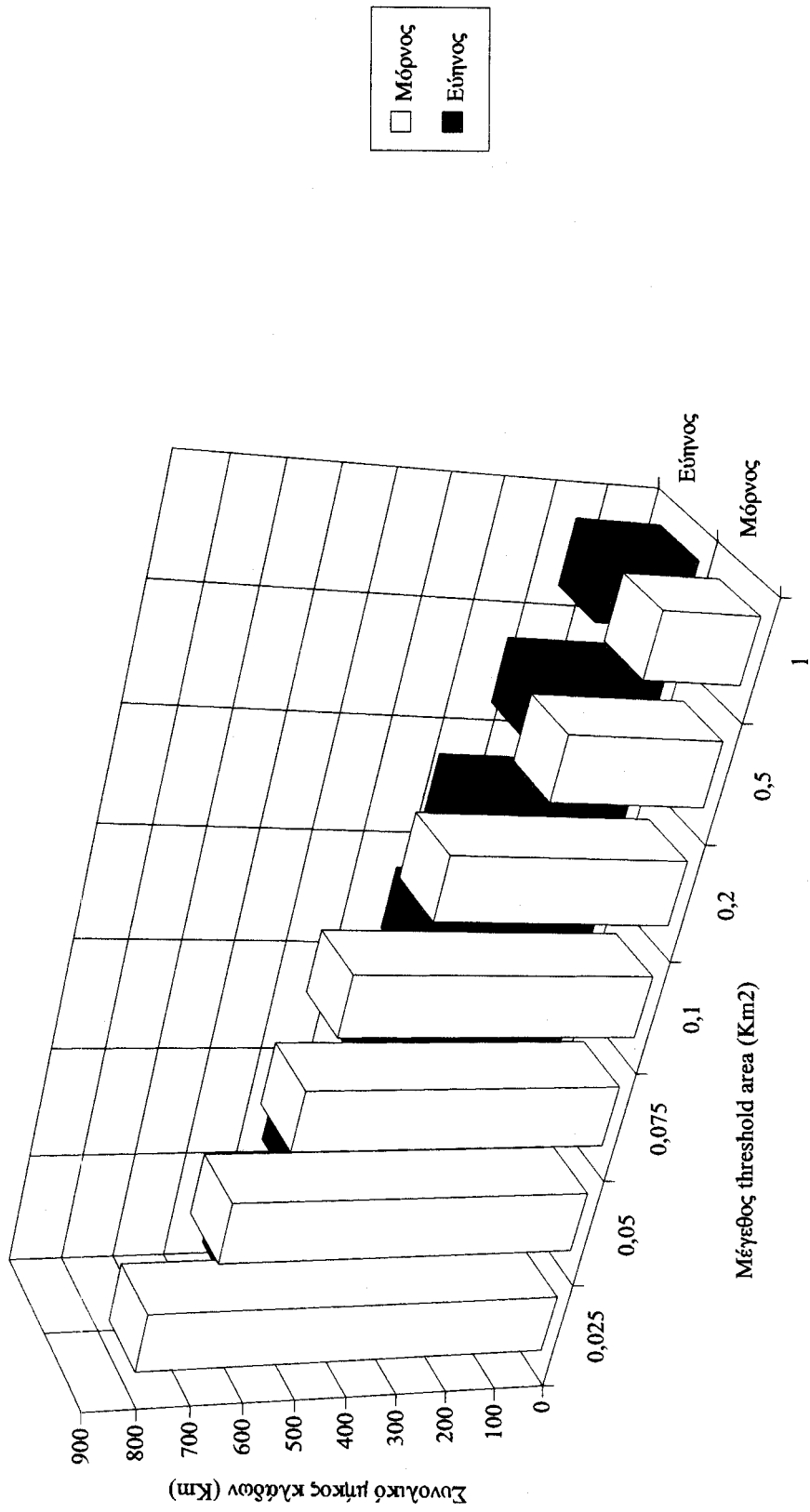
**ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΑΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 4 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΦΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ**



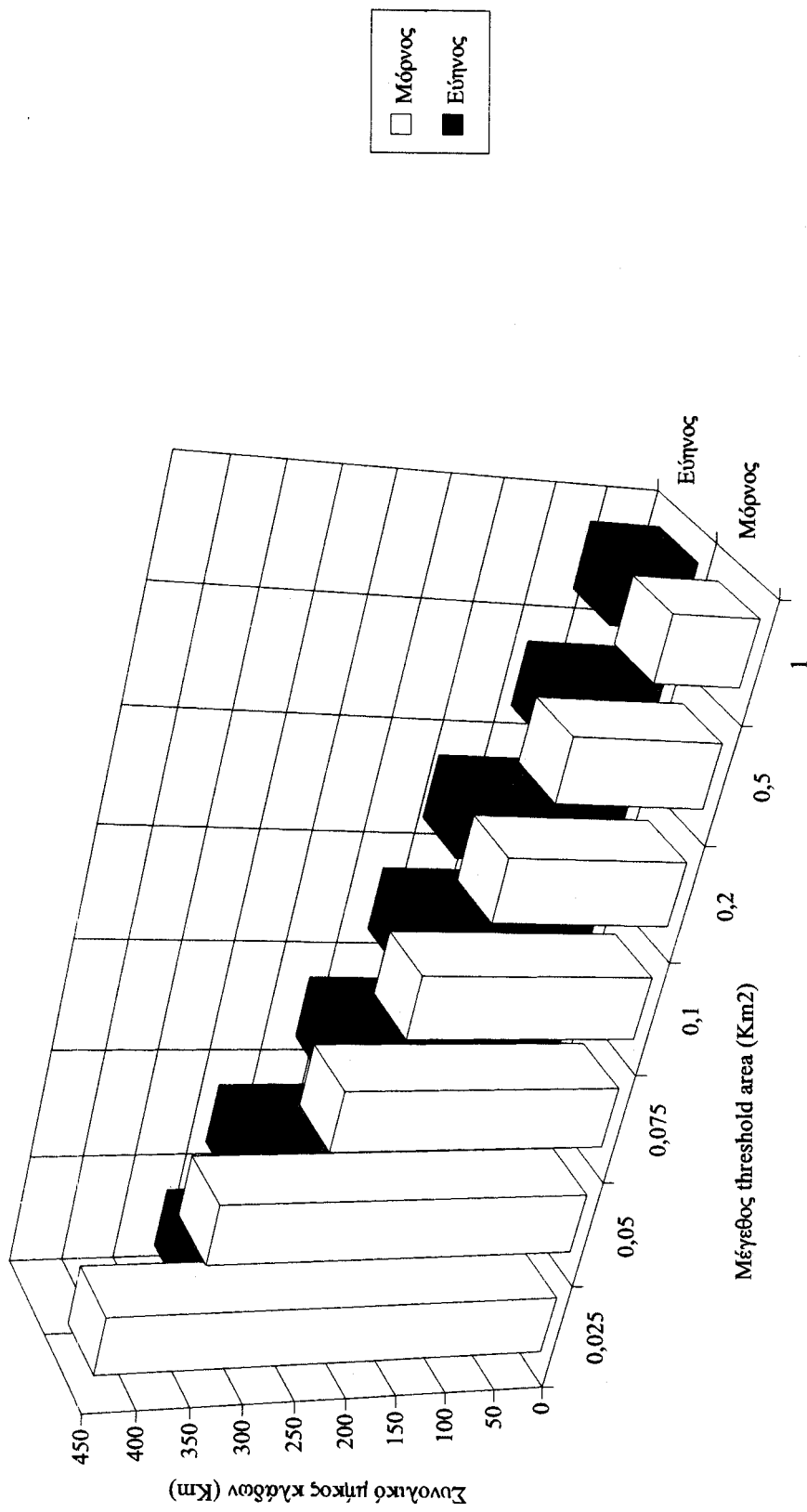
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΩΝ ΚΛΑΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 1 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ  
THRESHOLD AREA ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ



ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΛΩΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ Ι ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ

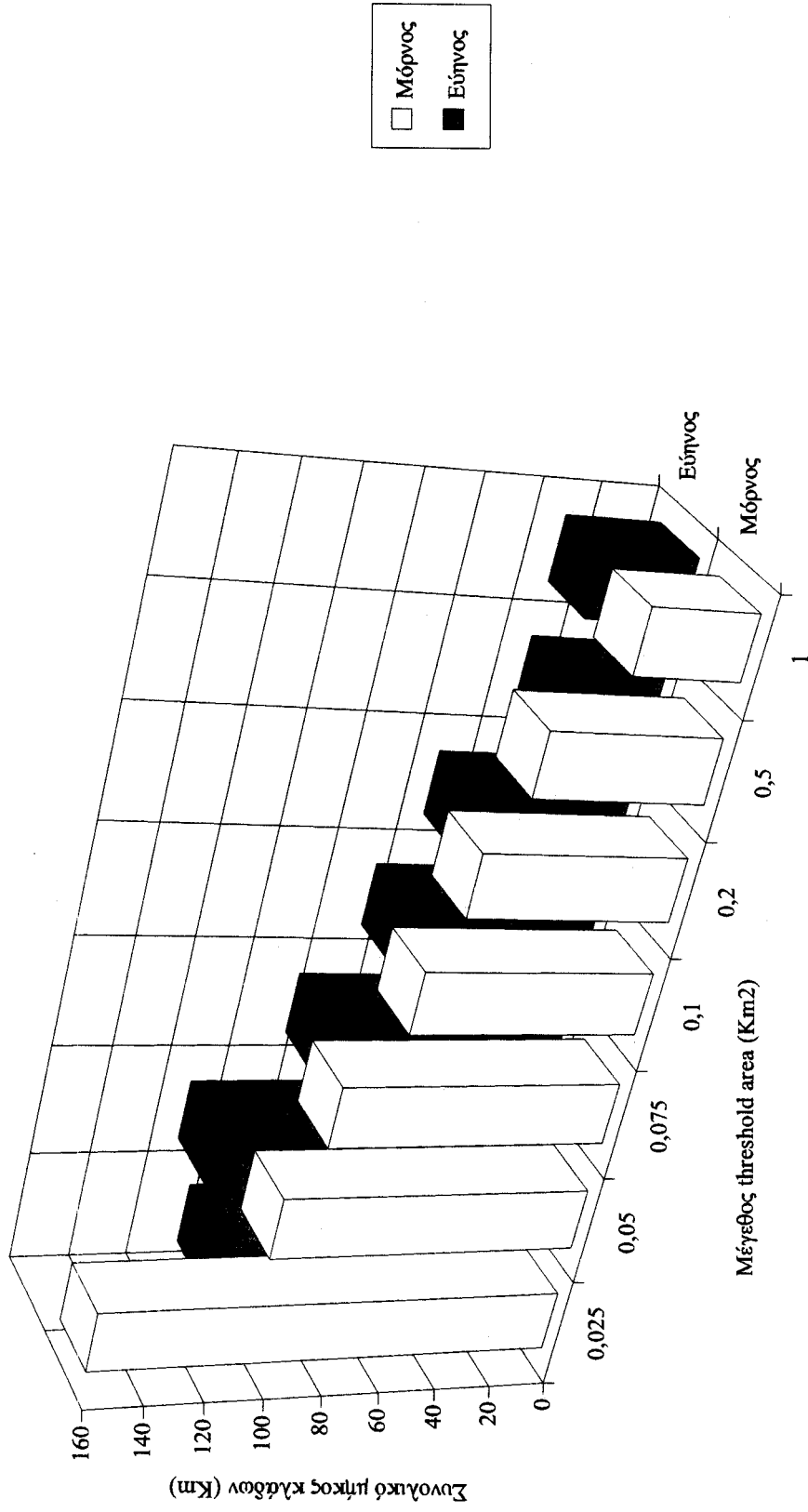


ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΛΩΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 2 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΘΡΗΣΟΛΔ ΑΡΕΑ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ

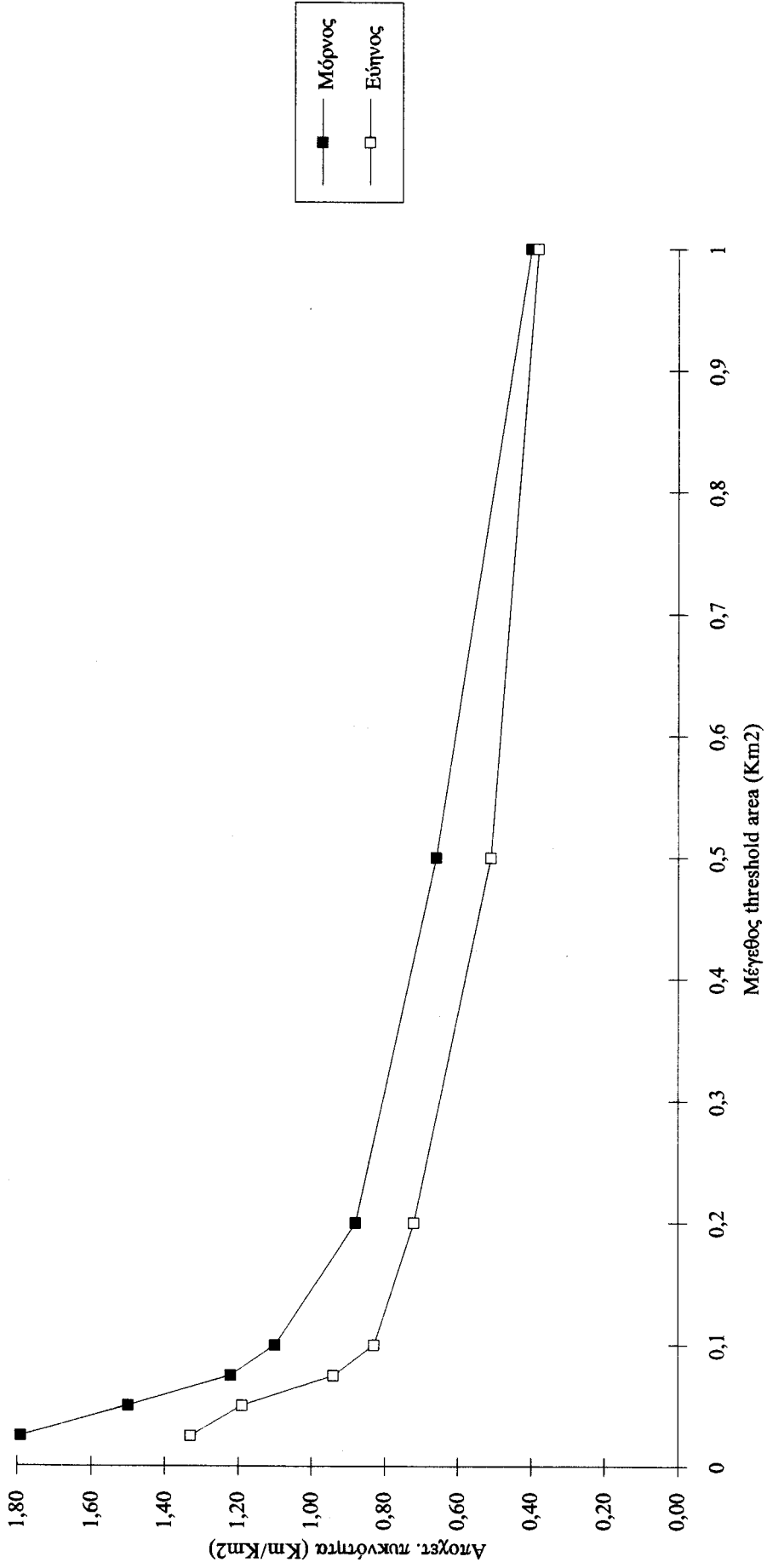




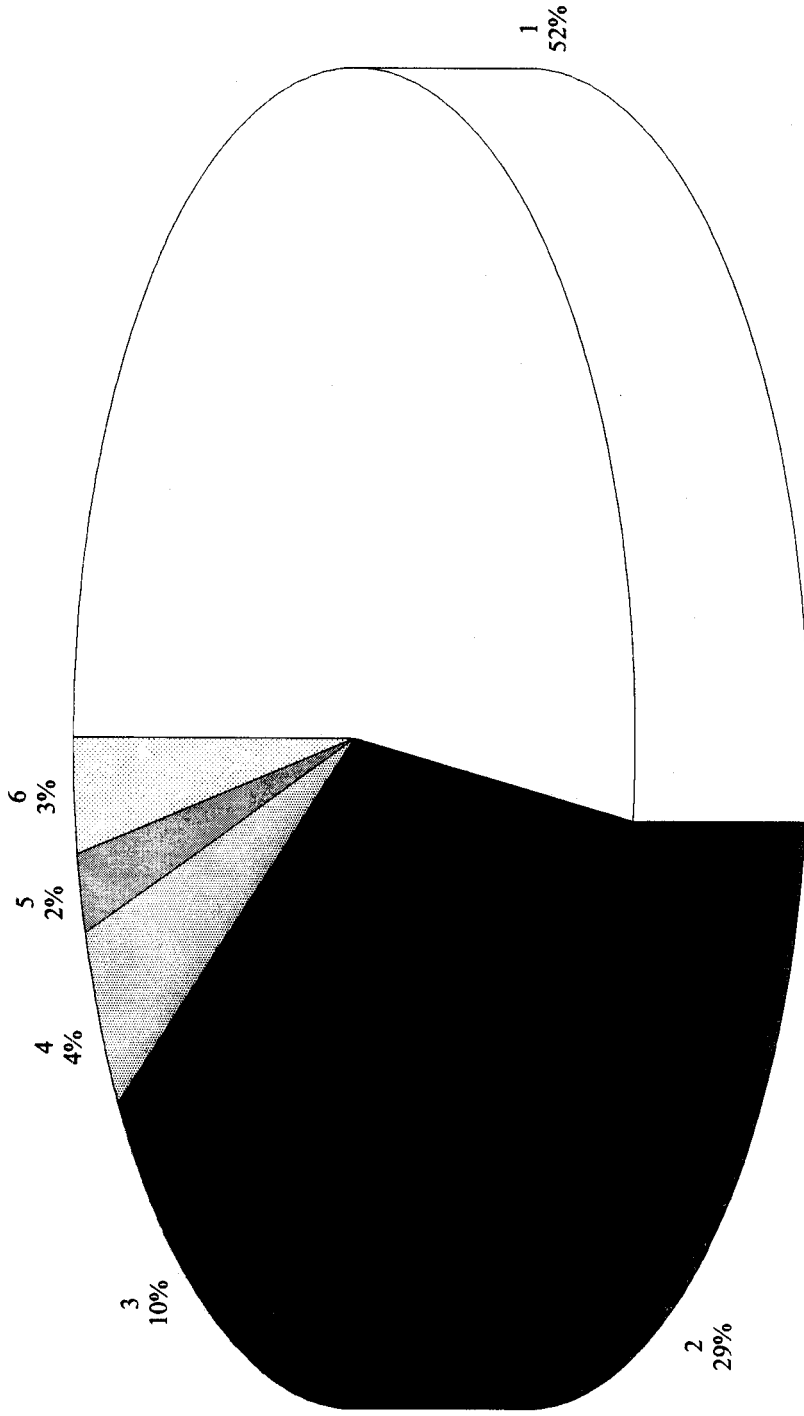
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΛΩΔΩΝ ΜΕ ΤΑΞΗ 3 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΘΡΗΣΗΟΛΔ ΑΡΕΑ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ



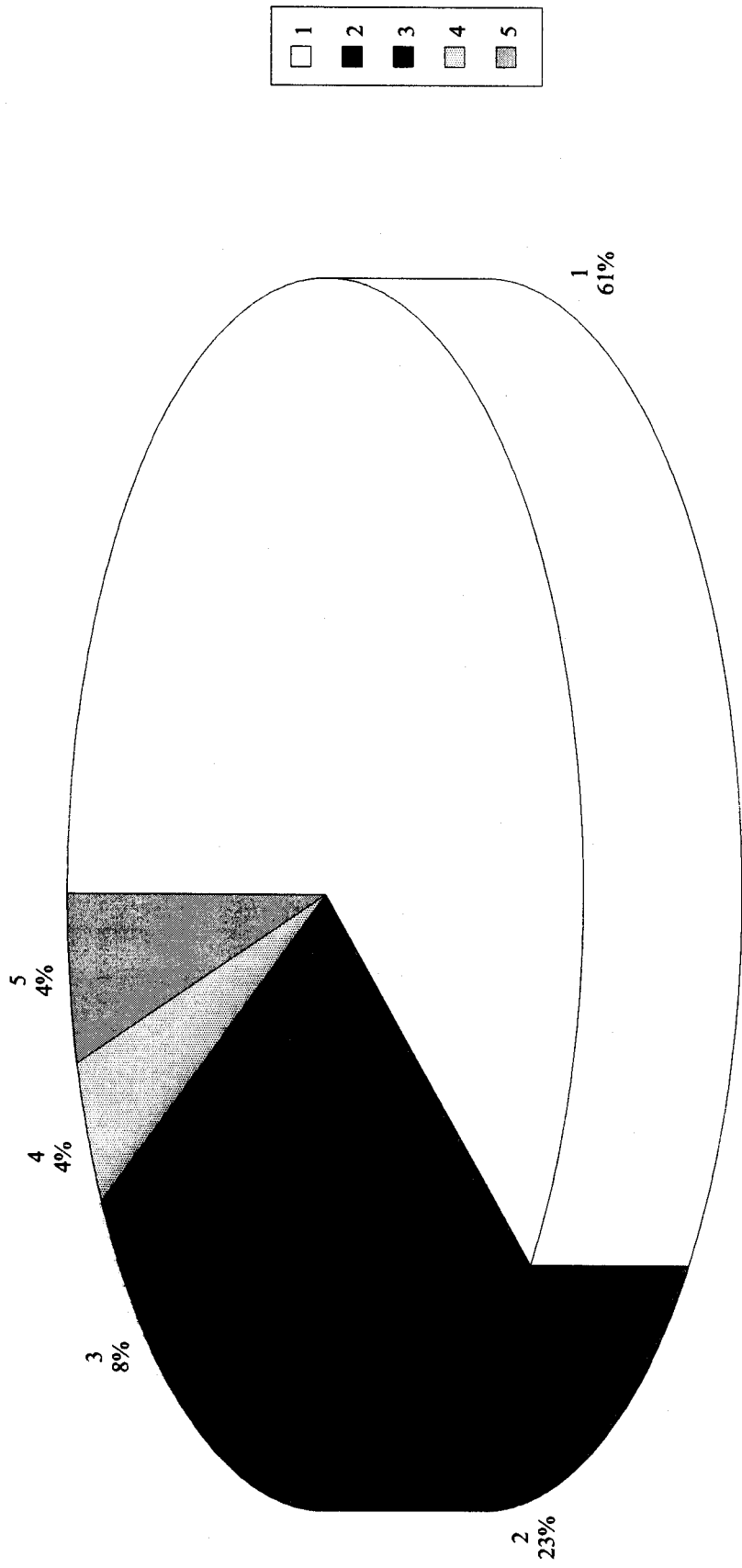
ΑΠΟΧΕΤΕΥΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΘΡΗΣΗΟΛ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΡΗΣΗΟΛ



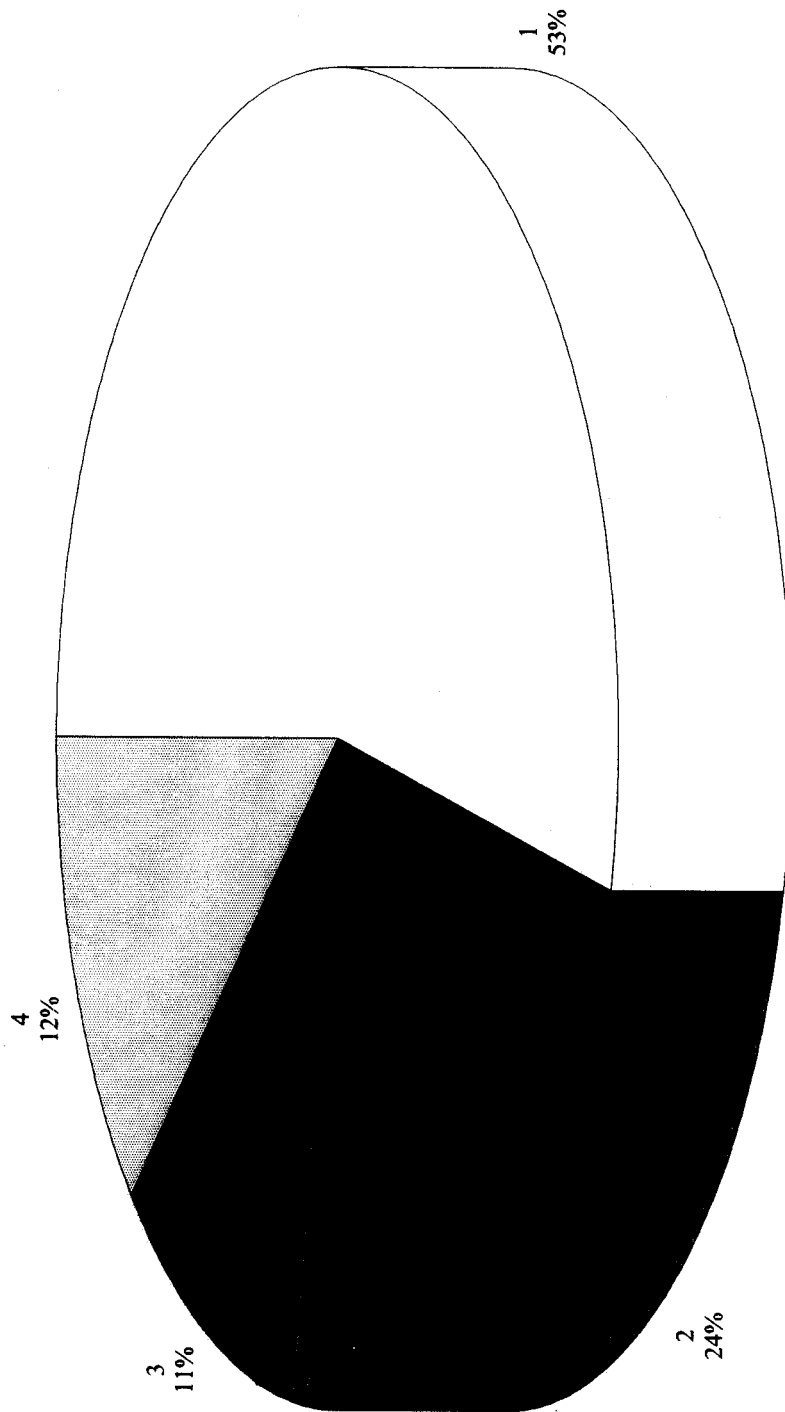
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΘΕ ΤΑΞΗΣ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΟΡΦΟΥ ΓΙΑ THRESHOLD  
AREA 0.025 Km<sup>2</sup>



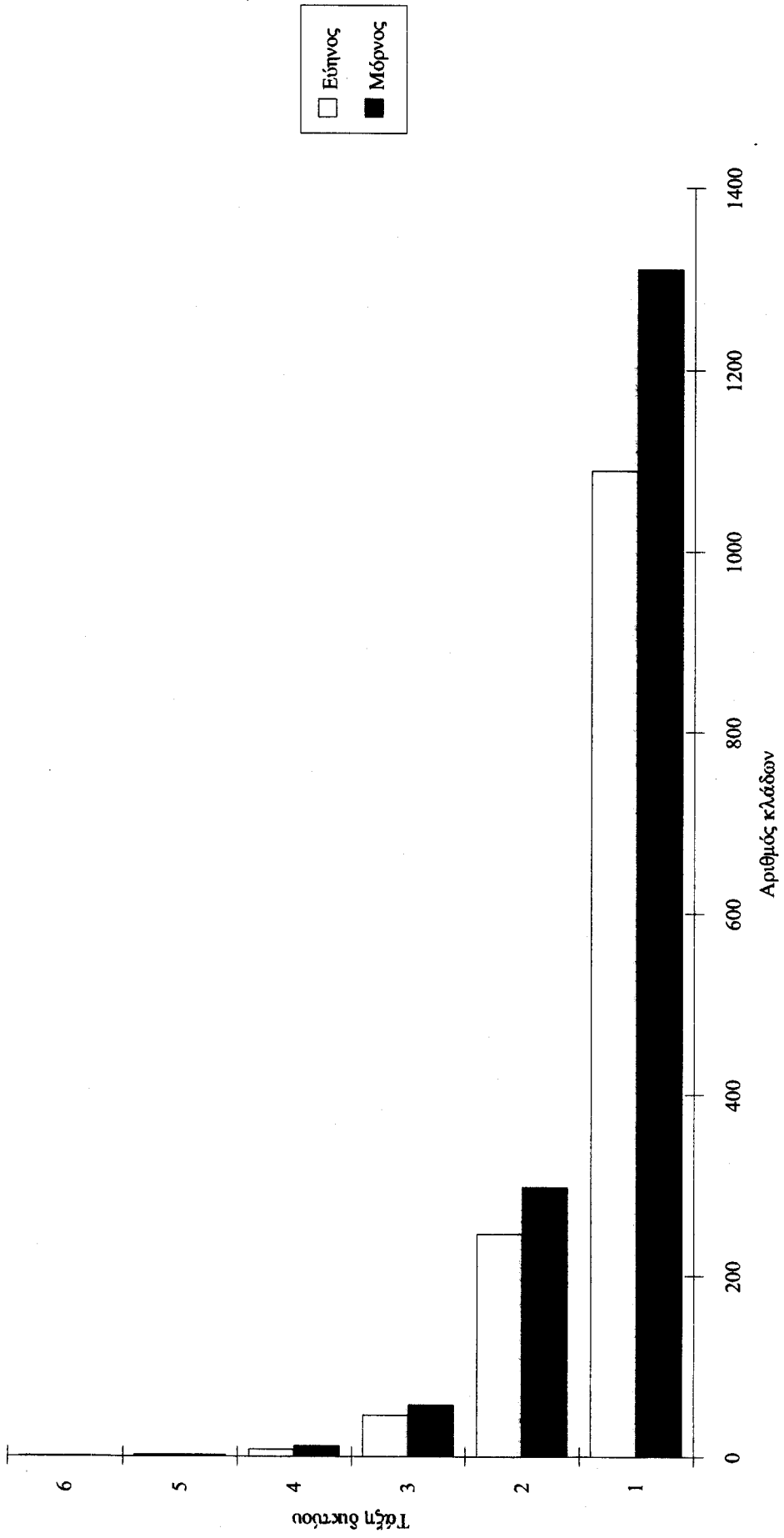
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΘΕ ΤΑΞΗΣ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΟΡΦΟΥ ΓΙΑ THRESHOLD  
AREA 0.1 Km<sup>2</sup>



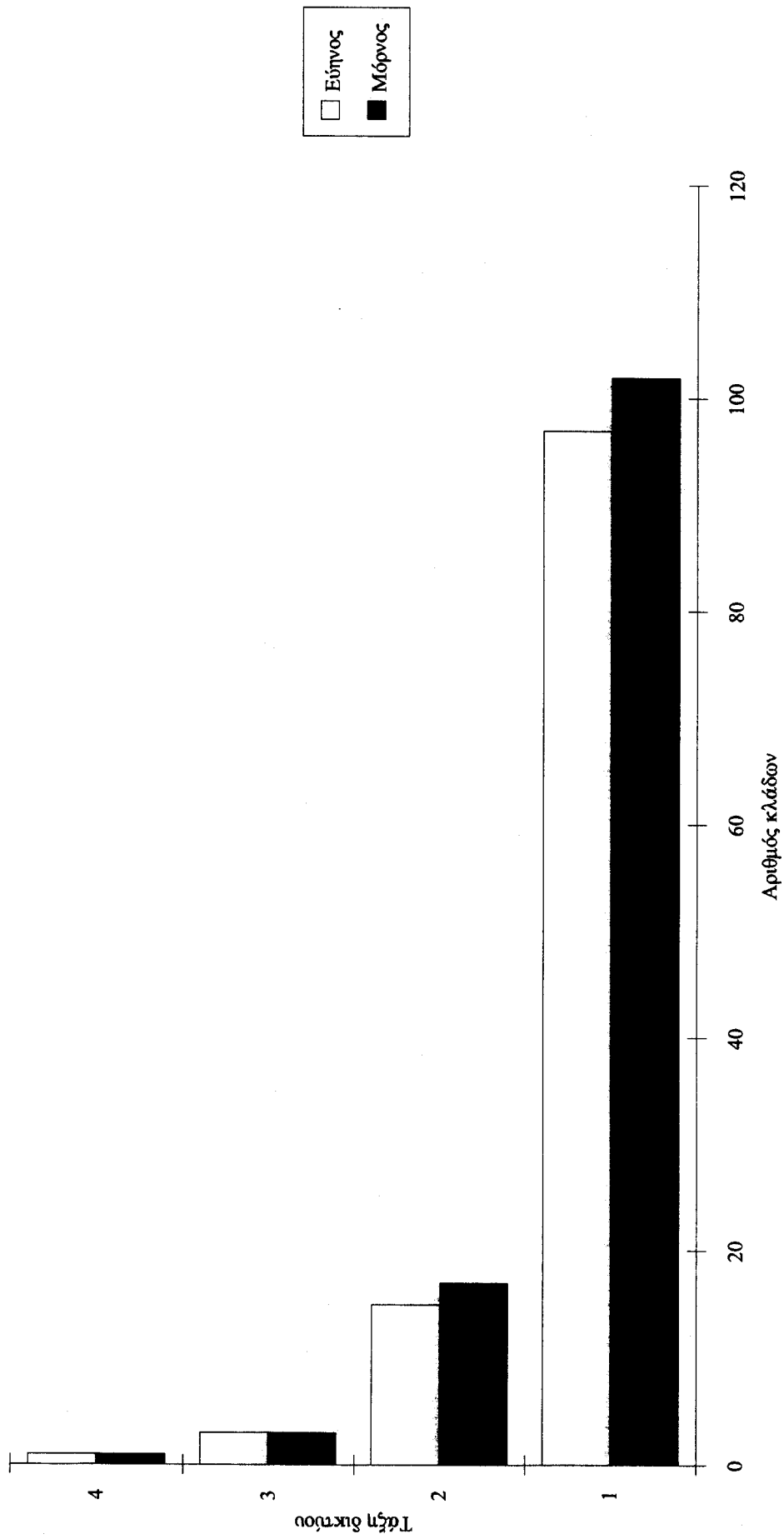
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΘΕ ΤΑΞΗΣ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΥΑΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΟΡΝΟΥ ΓΙΑ THRESHOLD  
AREA 1.0 Km<sup>2</sup>



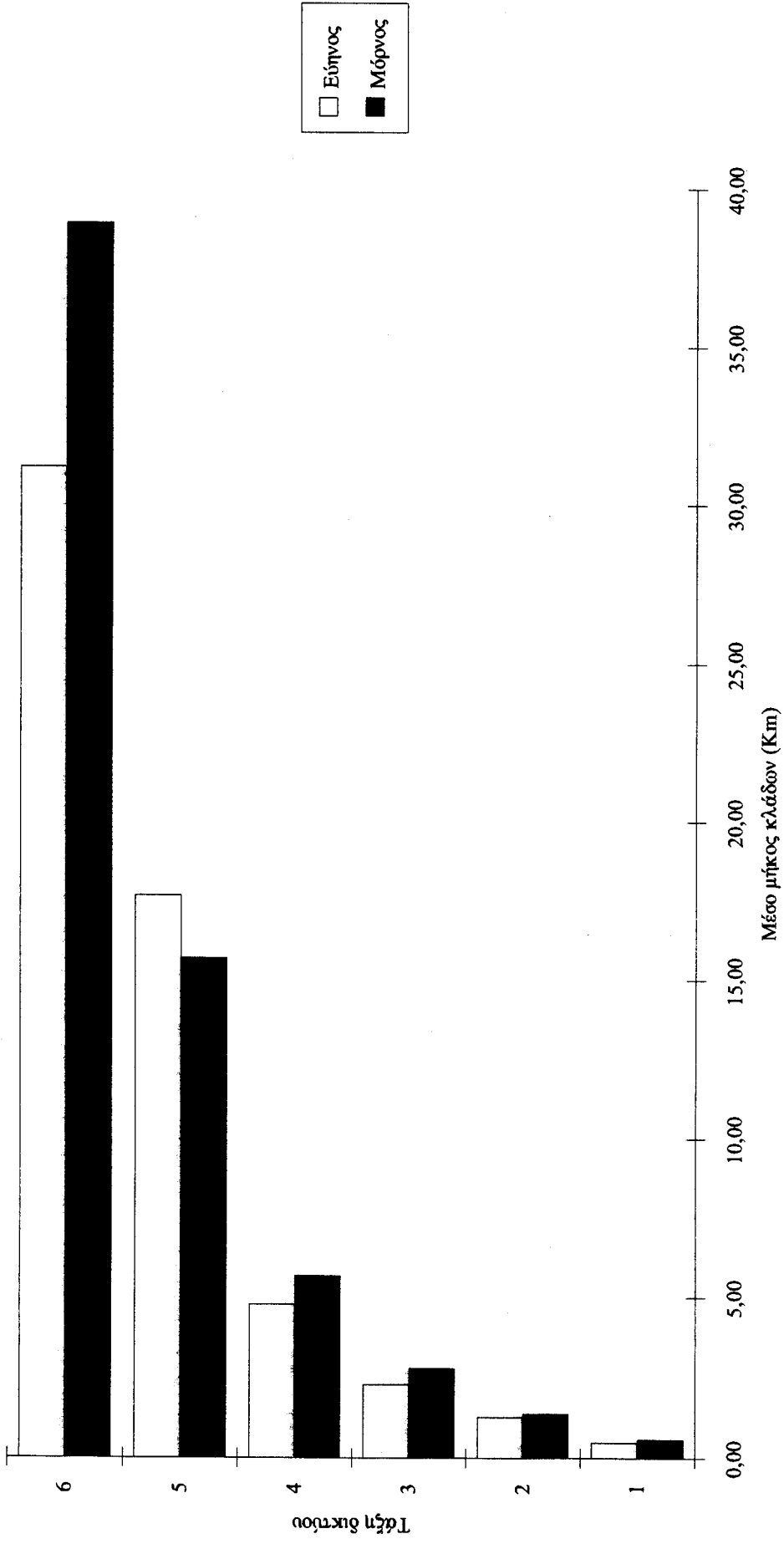
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΑΔΩΝ ΑΝΑ ΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ THRESHOLD AREA 0.025 KM<sup>2</sup>



ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΑΔΩΝ ΑΝΑ ΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ THRESHOLD AREA 1.0 KM2

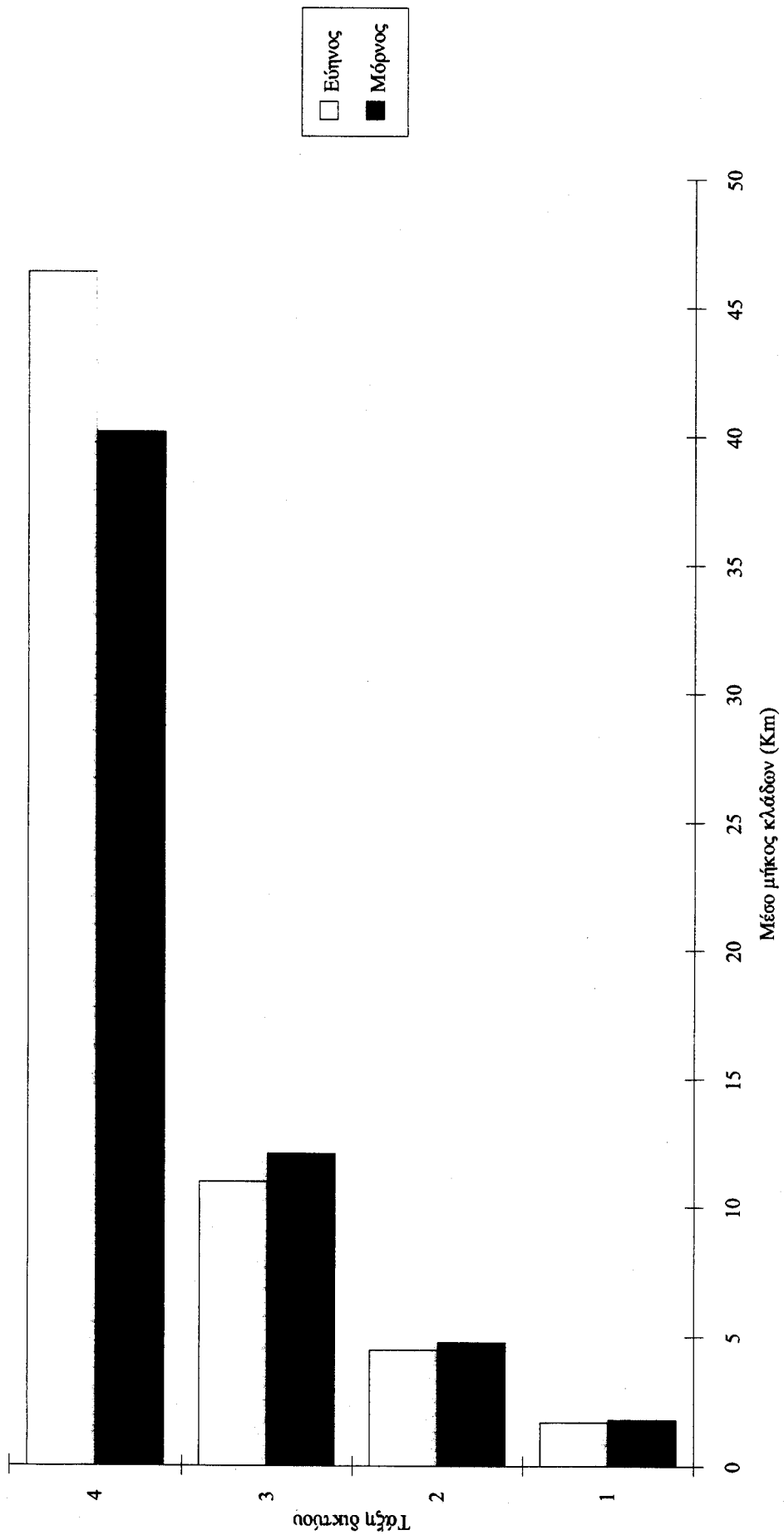


ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΚΛΑΔΩΝ ΑΝΑ ΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ THRESHOLD AREA 0.025 KM<sup>2</sup>

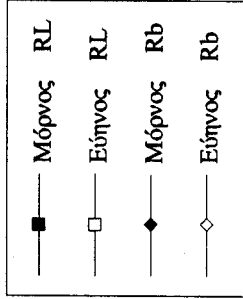
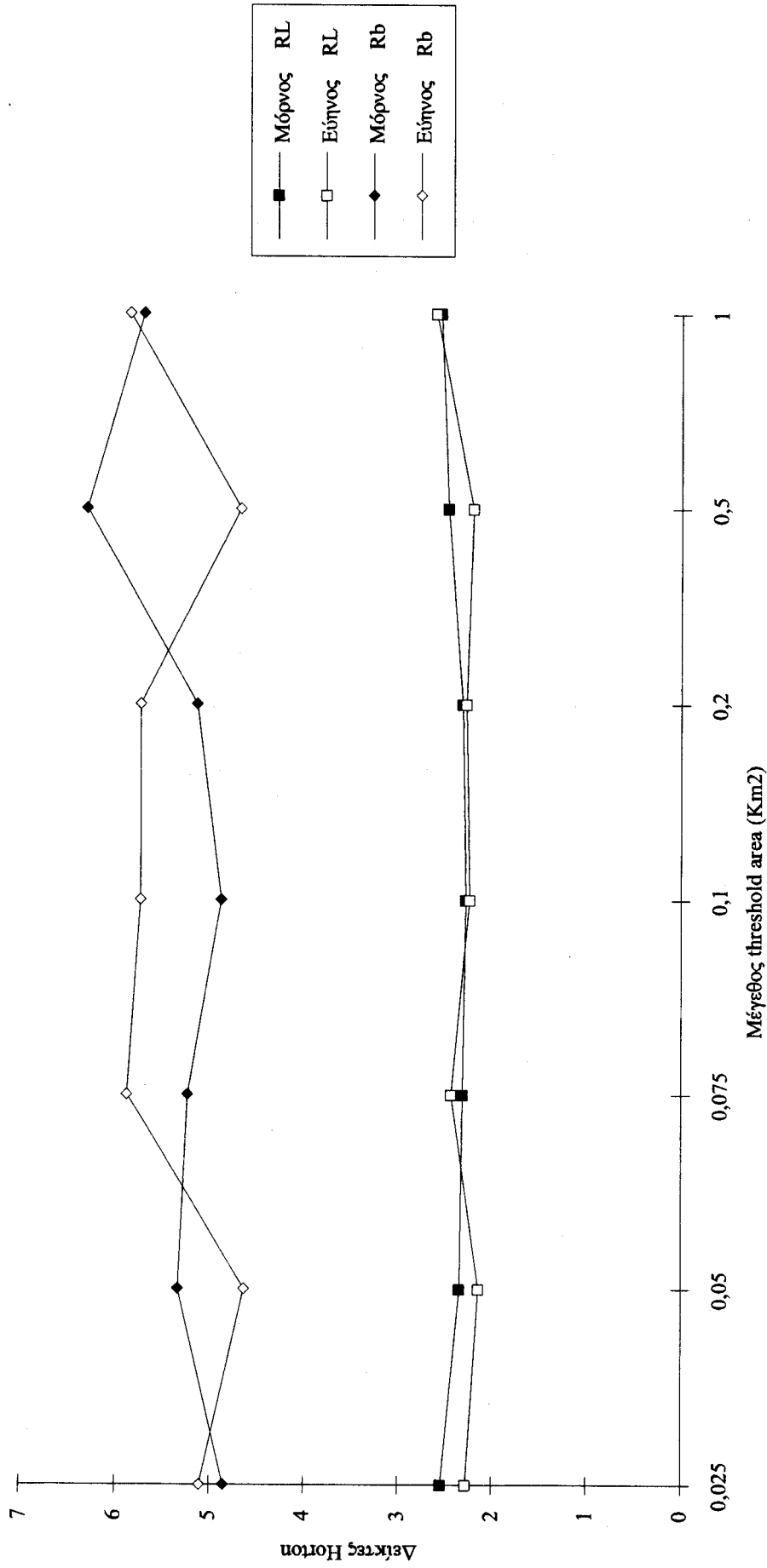




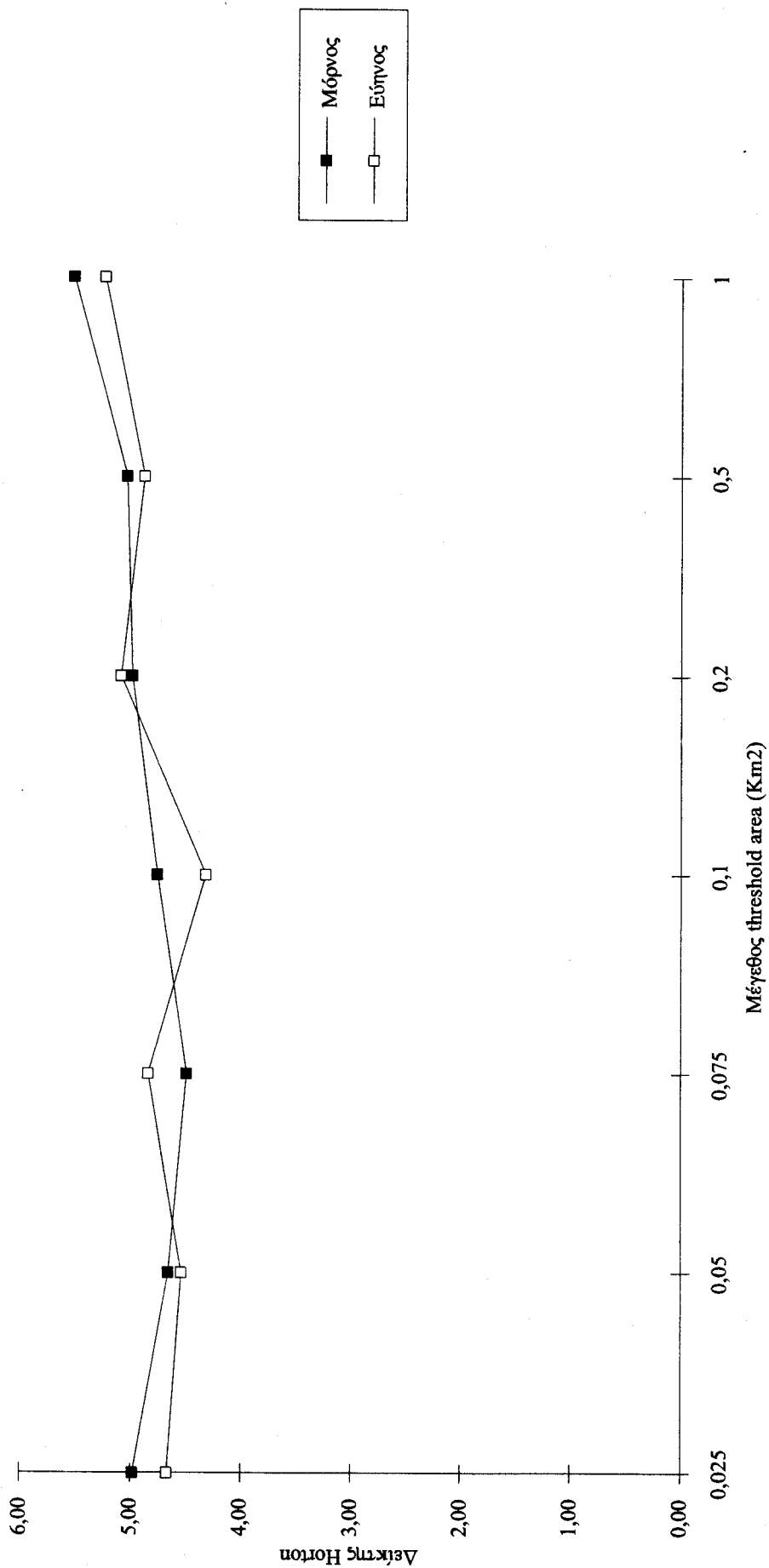
ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΚΛΑΔΩΝ ΑΝΑ ΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ THRESHOLD AREA 1.0 KM<sup>2</sup>



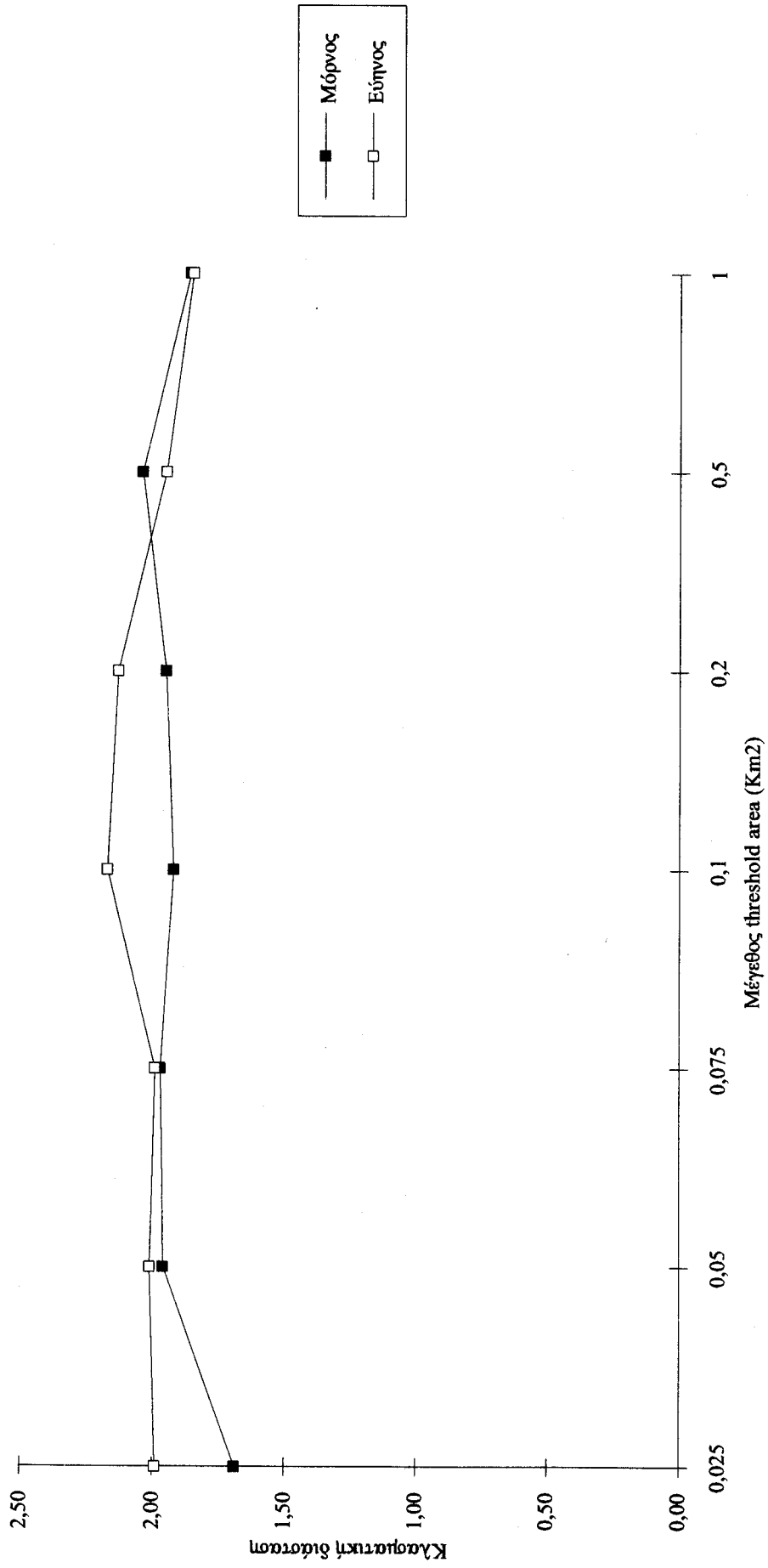
ΜΕΣΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ HORTON R<sub>b</sub> ΚΑΙ R<sub>L</sub> ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΦΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA



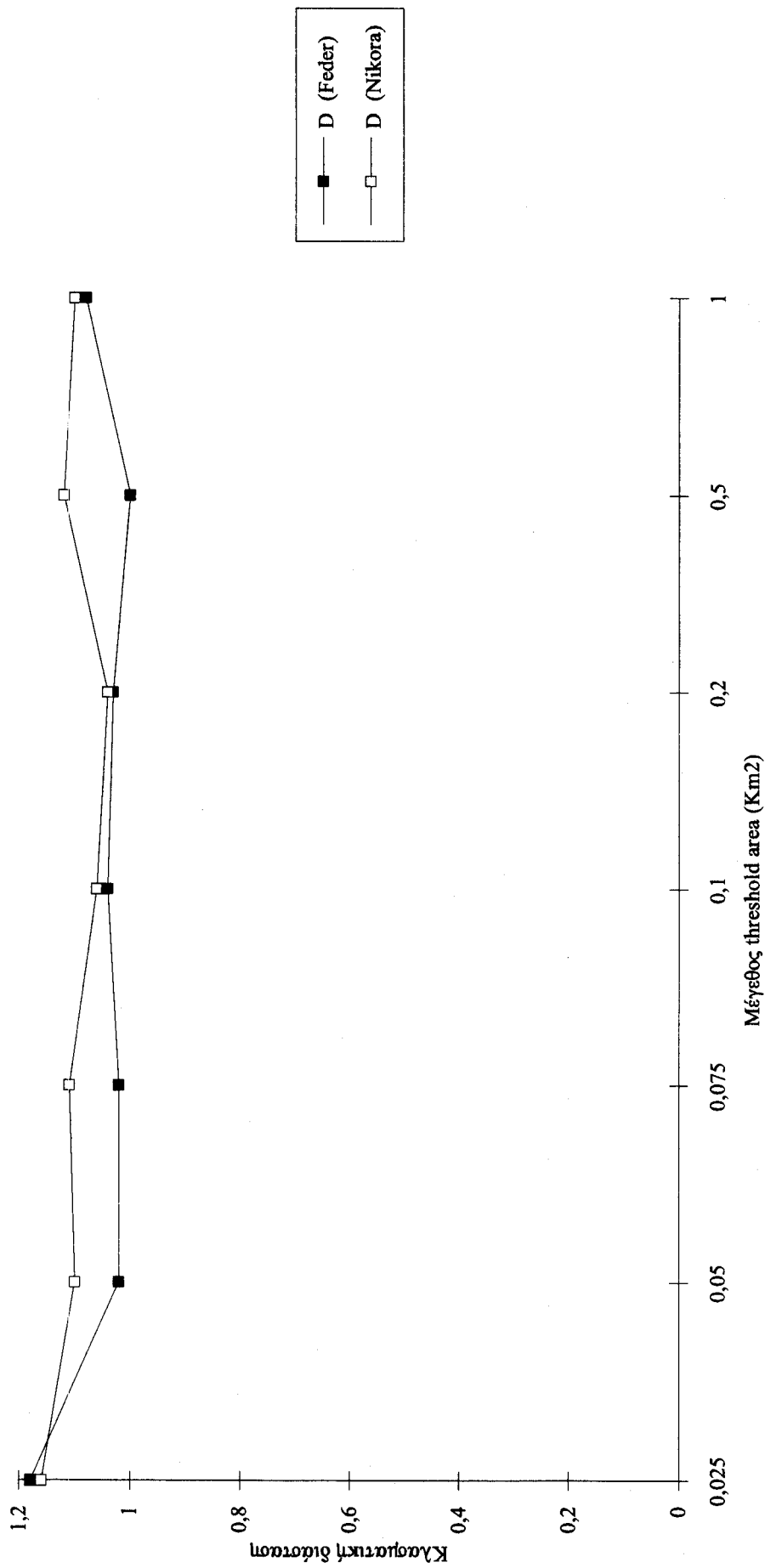
ΜΕΣΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ HORTON ΡΑ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ  
THRESHOLD AREA



Η ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΟΡΦΟΥ ΚΑΙ ΕΥΗΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ  
THRESHOLD AREA

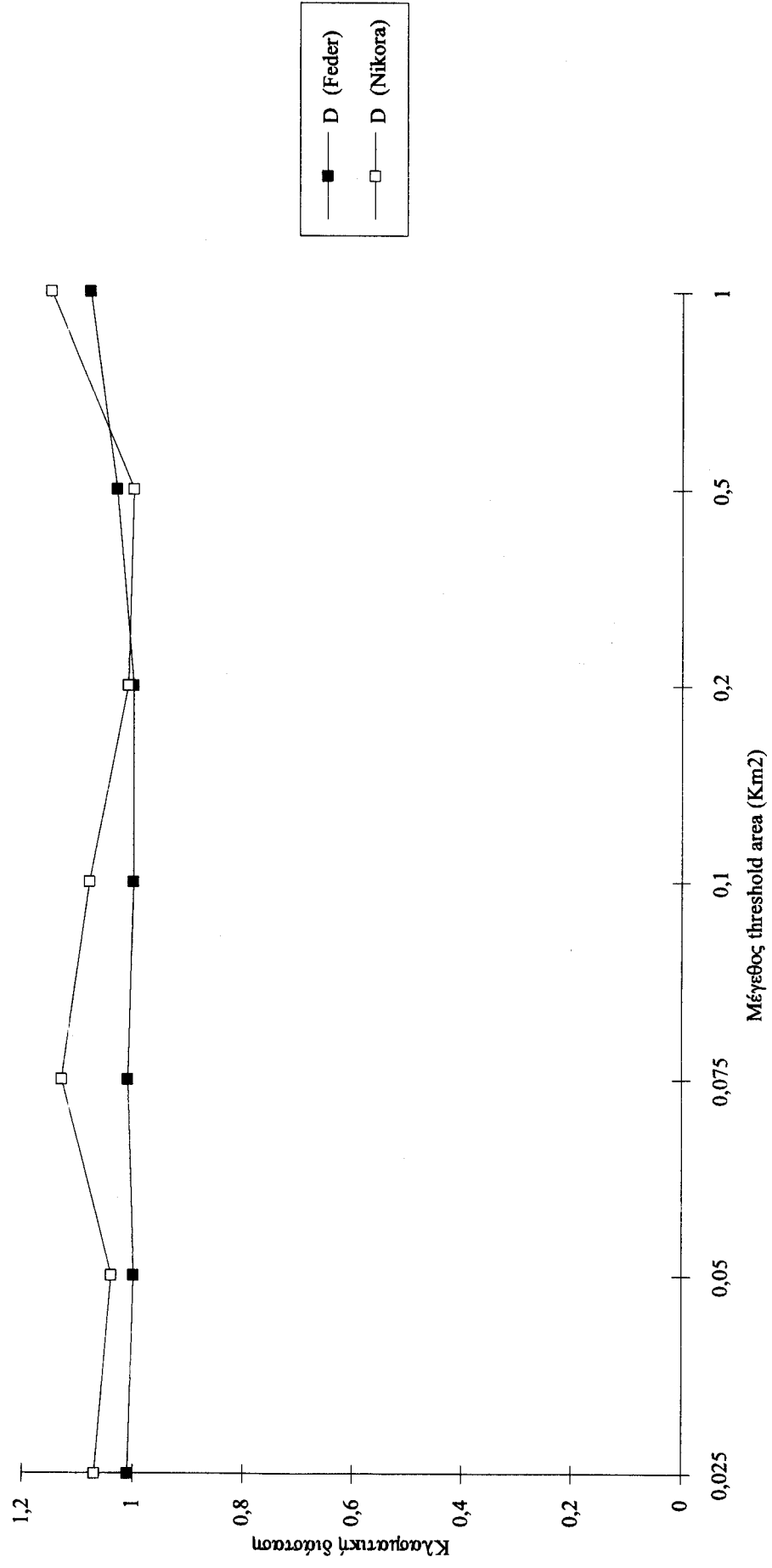


Η ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΥΛΑΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ FEDER ΚΑΙ NIKORA ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΜΟΡΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA



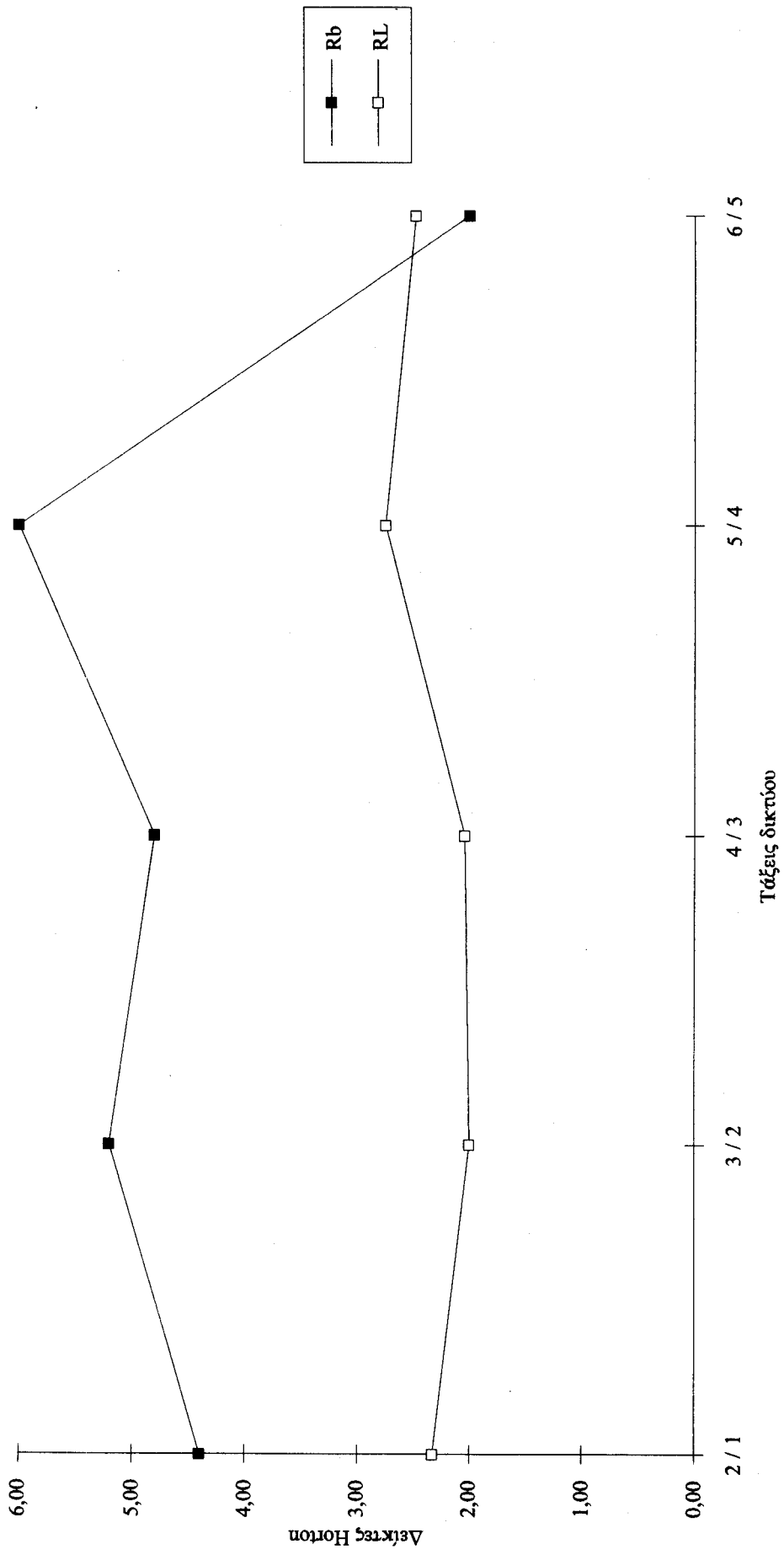
D (Feder)  
 D (Nikora)

Η ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΥΔΑΤΟΦΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ FEDER ΚΑΙ NIKORA ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΕΥΗΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ THRESHOLD AREA

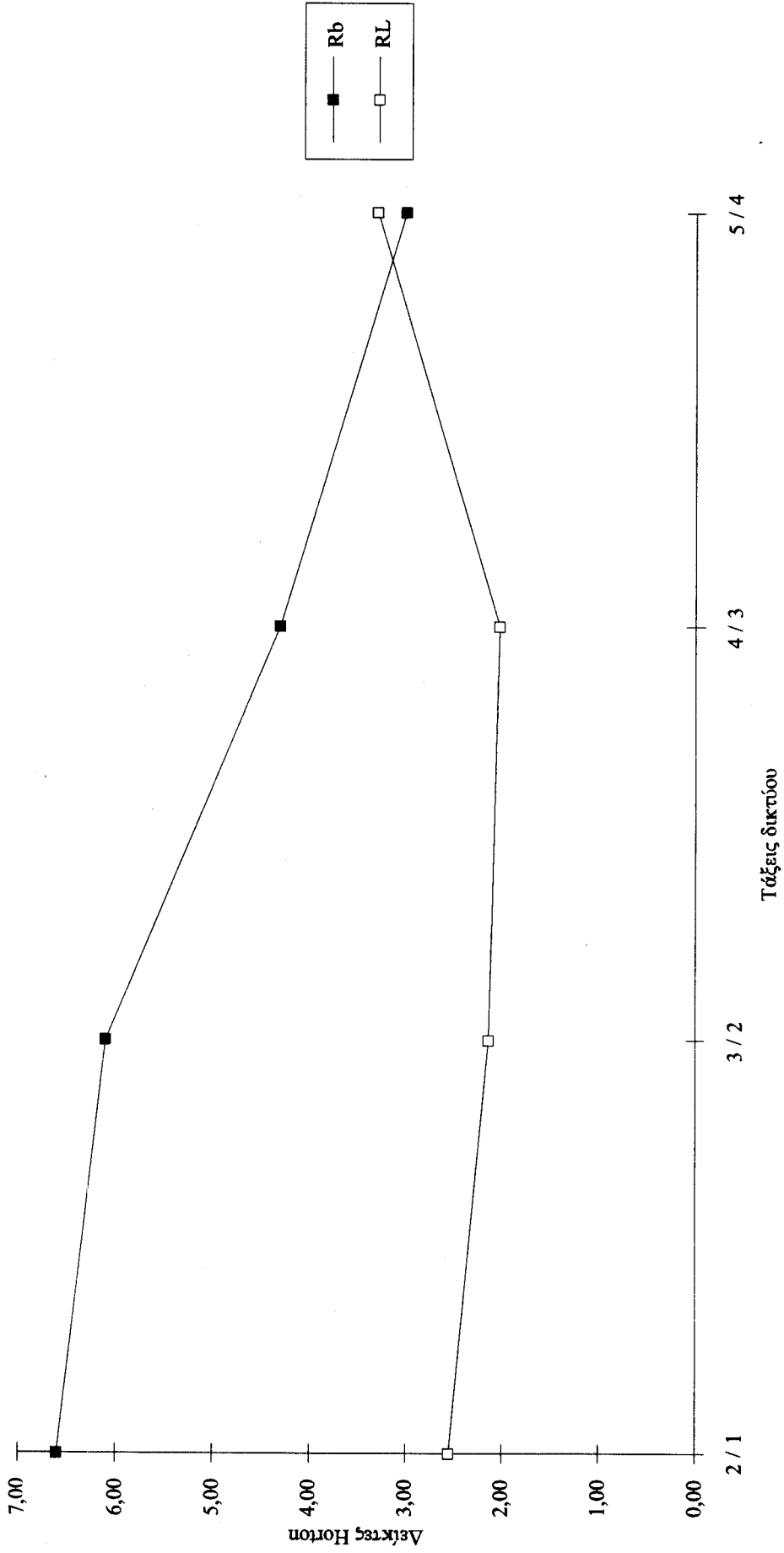


D (Feder)  
 D (Nikora)

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ HORTON Rb ΚΑΙ RL ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΜΟΡΦΟΥ ΓΙΑ ΘΡΗΣΗΟΛΔ AREA 0.025 KM<sup>2</sup>



ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ HORTON Rb ΚΑΙ RL ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΜΟΡΦΟΥ ΓΙΑ ΘΡΗΣΗΟΛD AREA 0.1 KM2

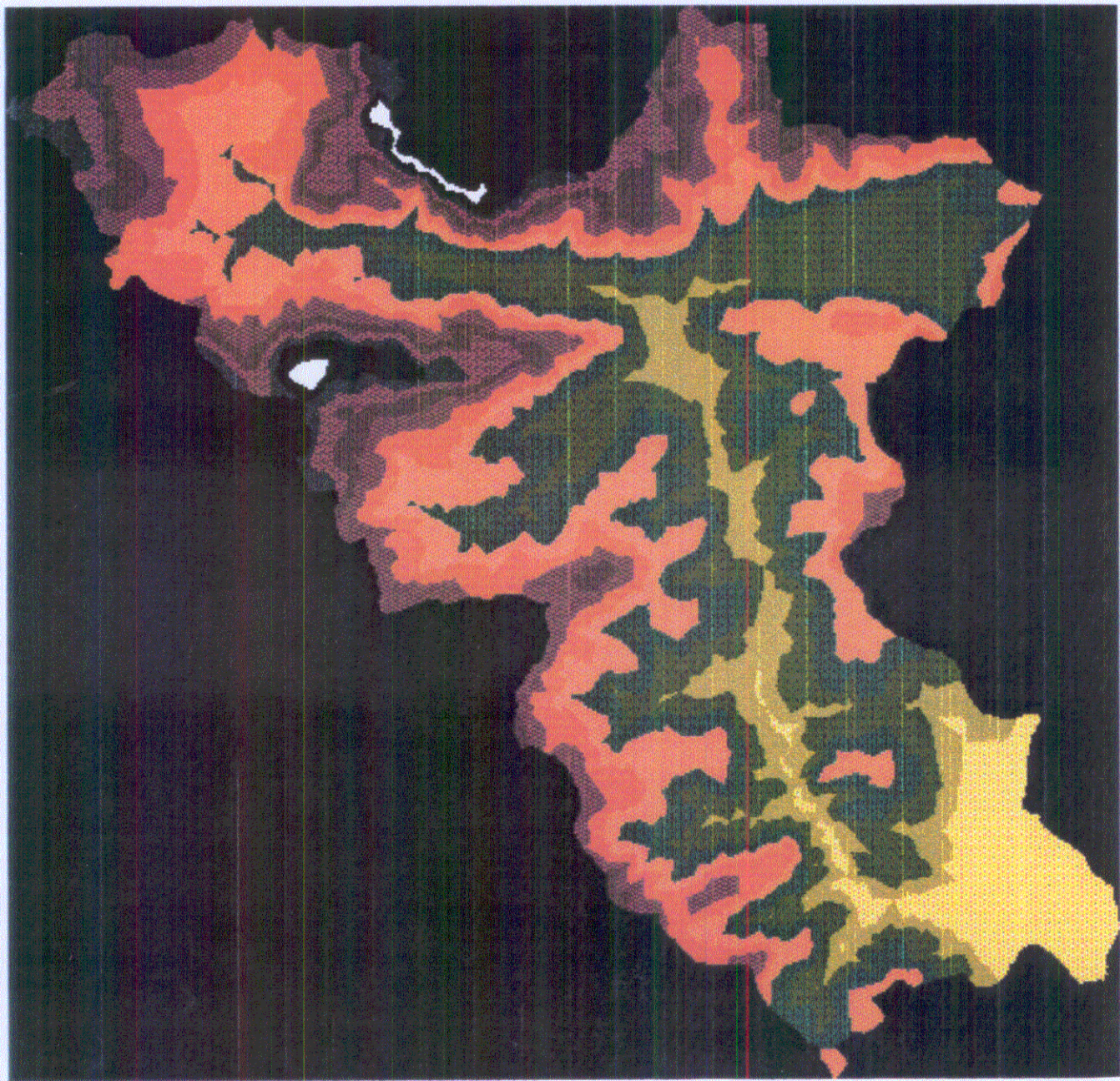




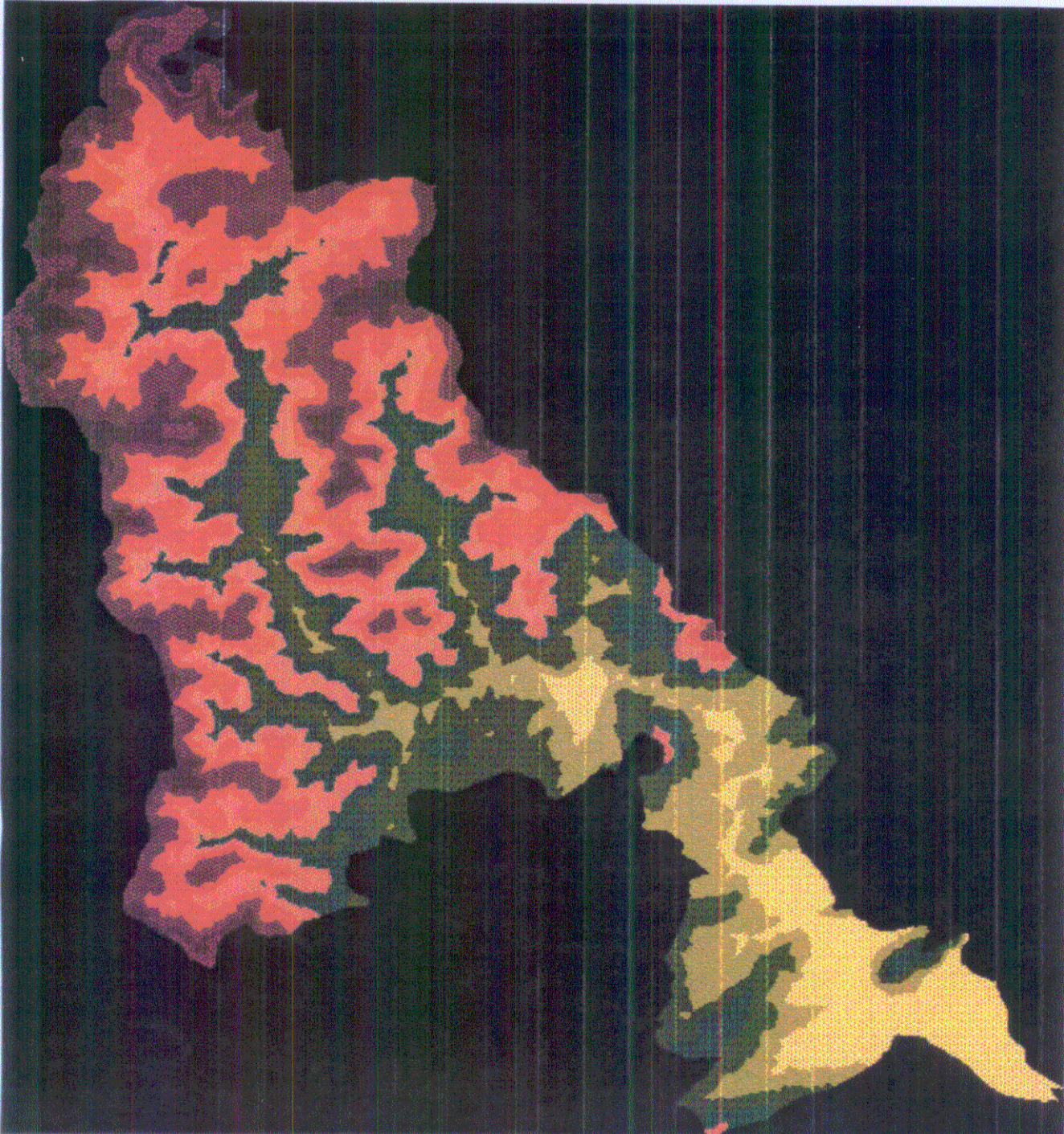


ΛΕΚΑΝΗ ΕΥΗΝΟΥ ΑΠΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΙΝ

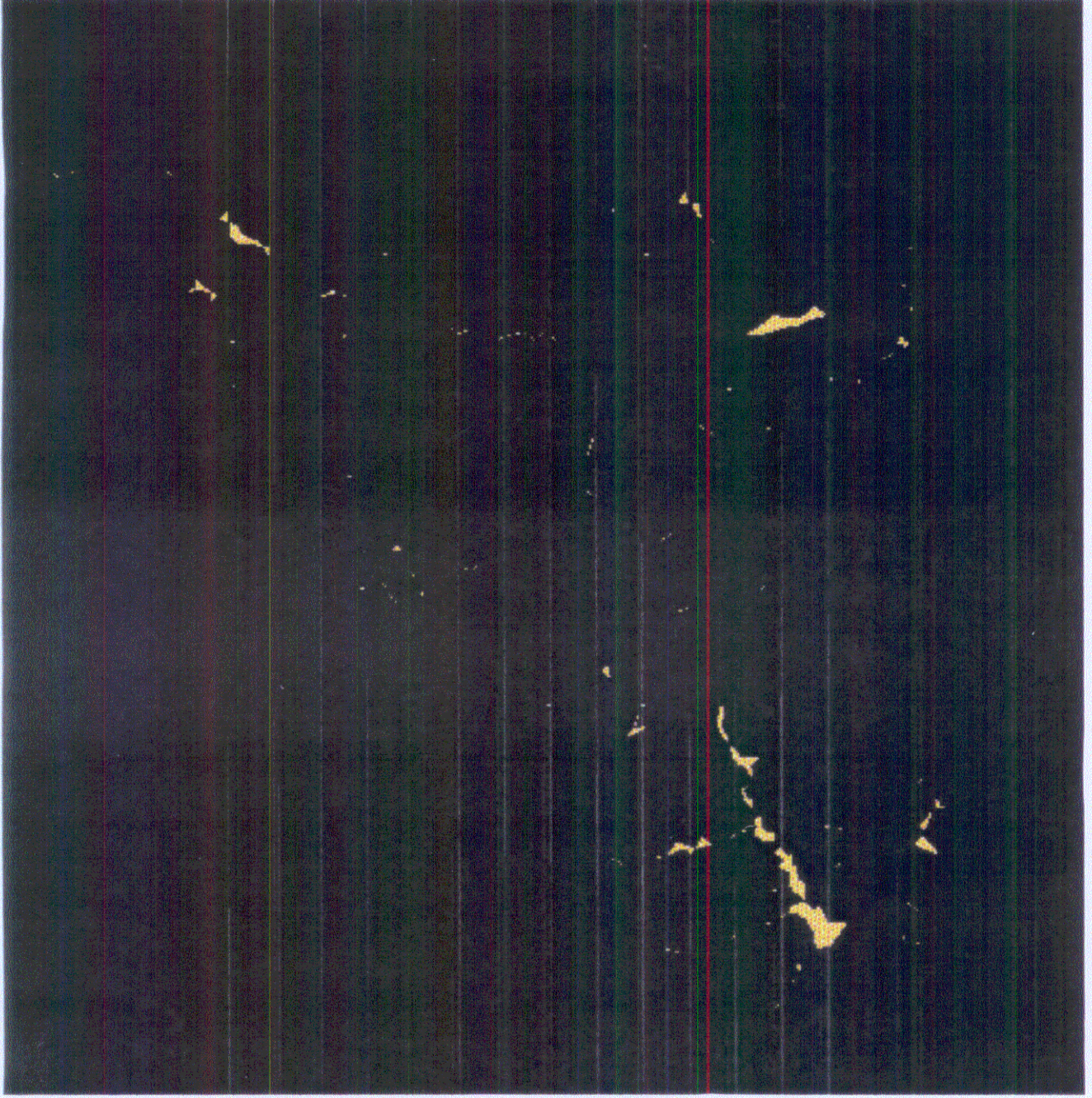
Εικόνα 1: Περιγράμμα Λεκάνης Ευήνου (έκτασης 809 Km<sup>2</sup>), από το coverage Euhbas



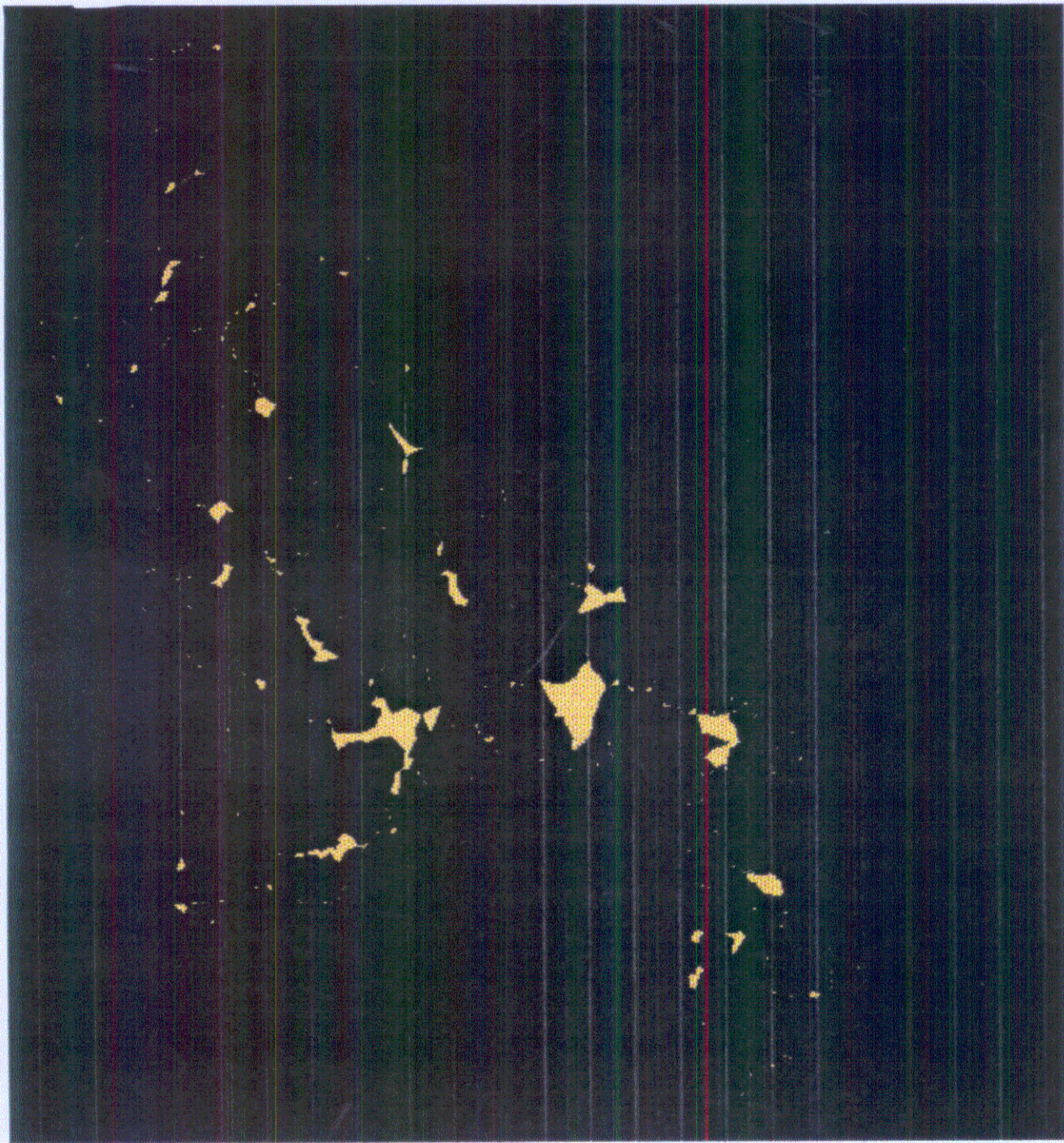
Εικόνα 2: Η λεκάνη Μόρνου από ψηφιακό μοντέλο τύπου Lattice



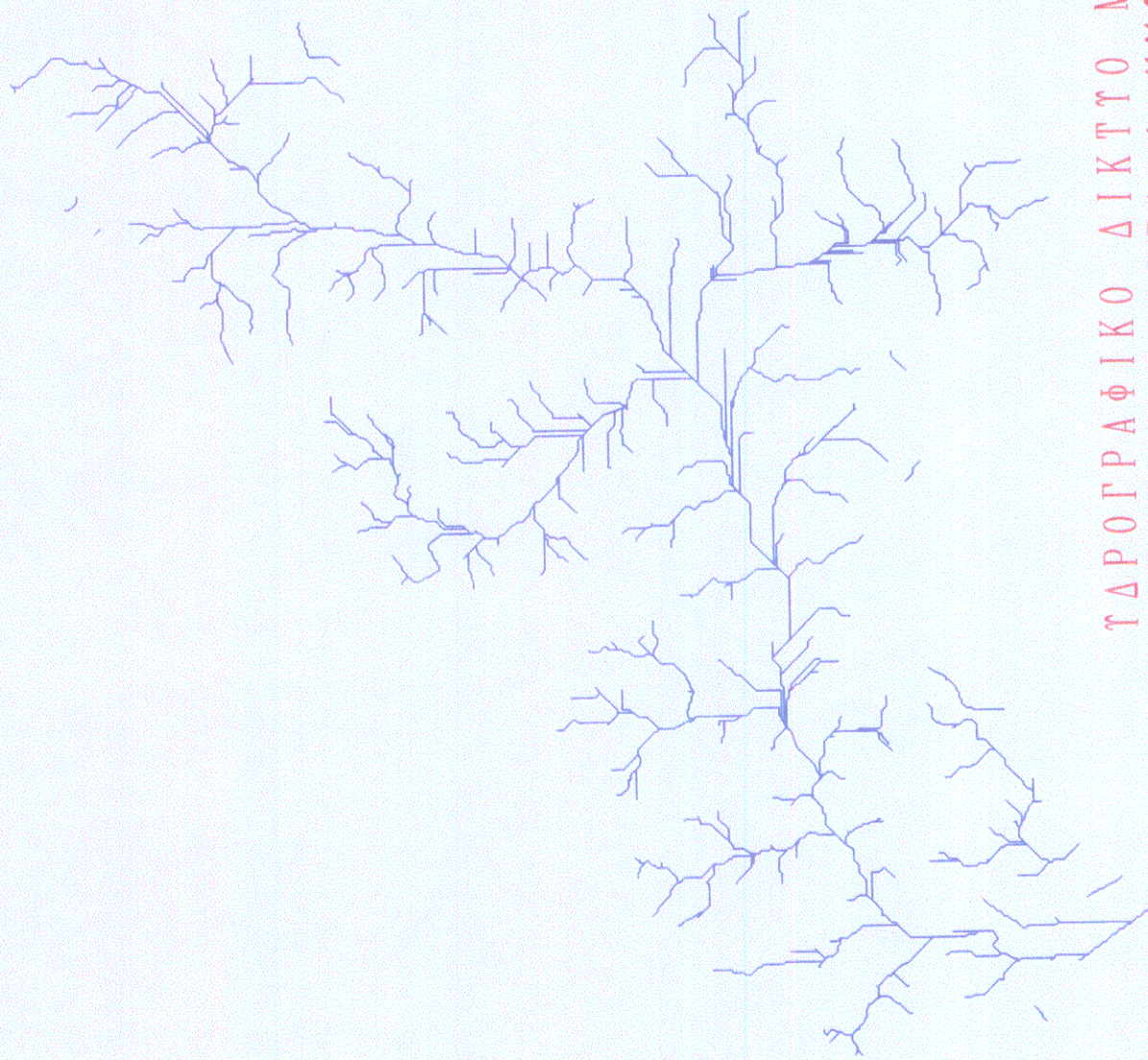
Εικόνα 3: Η Λεκάνη Εορίνου από ψηφιακό μοντέλο τύπου Lattice



Εικόνα 4: Βυθίσματα Λεκάνης Μόρνου πριν τη διαδικασία fill

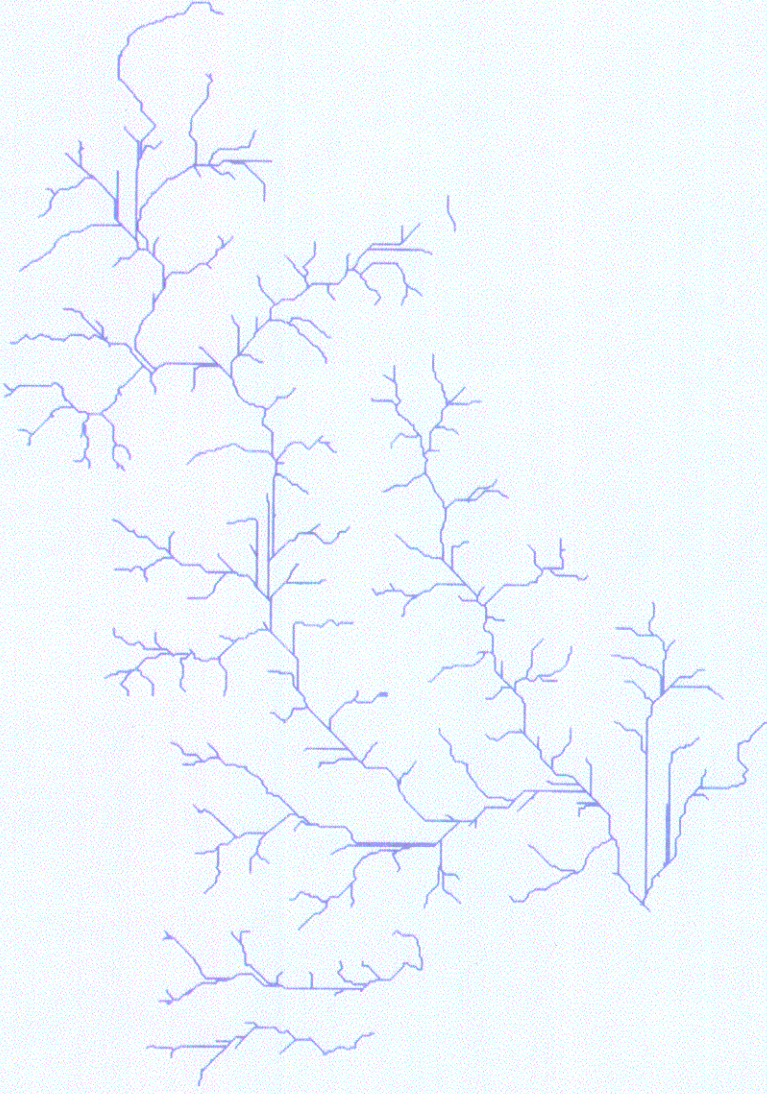


Εικόνα 5: Βυθίσματα λεκάνης Ευήνου πριν τη διαδικασία fill



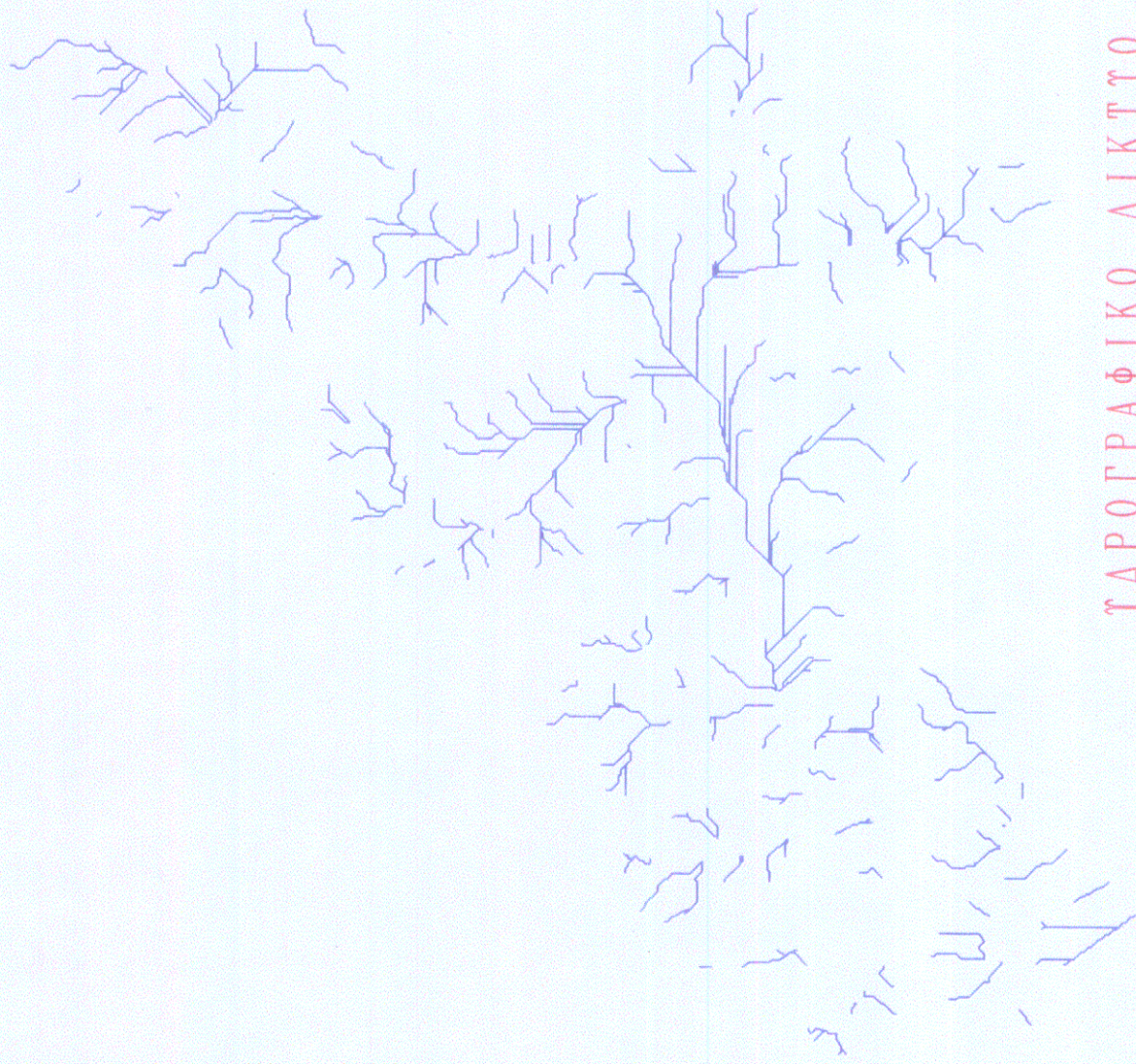
ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΟΡΝΟΥ ΓΙΑ  
THRESHOLD AREA 1 KM<sup>2</sup>

Εικόνα 6: Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης Μόρνου



ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΤΗΝΟΤ ΓΙΑ  
THRESHOLD AREA 0.1 KM<sup>2</sup>

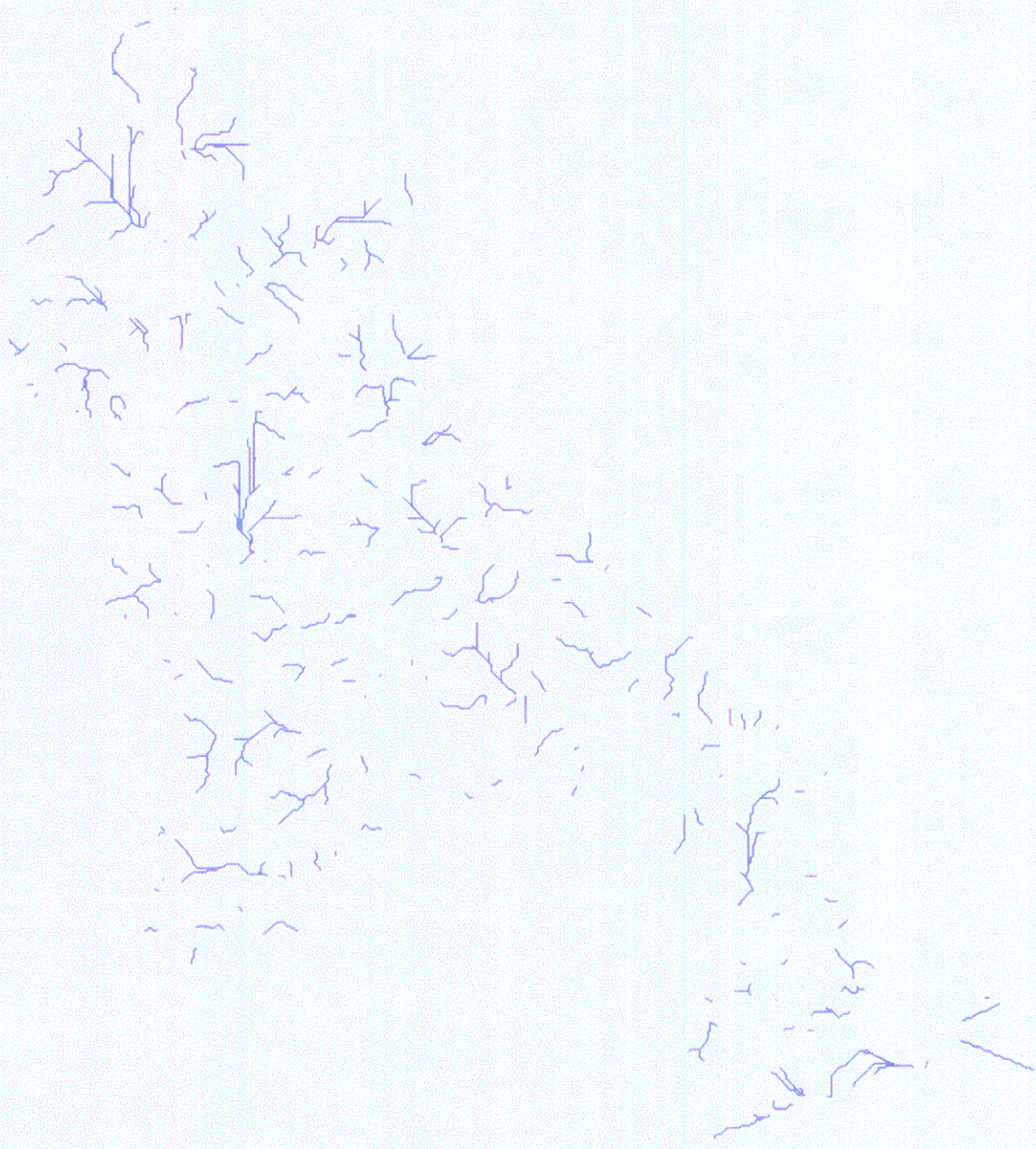
Εικόνα 7: Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης Ευήνου μέχρι τη θέση Πόρος Ρηγανίου



ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΟΡΝΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ  
ΠΟΥ ΔΕΝ ΑΝΑΙΡΕΘΟΥΝ ΟΙ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ

Εικόνα 8: Ανεξάρτητα υδρογραφικά δίκτυα που προκύπτουν στη λεκάνη Μόρνου, αν δεν αναιρεθούν οι κοιλότητες





ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΤΗΝΟΤ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ  
ΠΟΥ ΔΕΝ ΑΝΑΙΡΕΘΟΥΝ ΟΙ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ

Εικόνα 9: Ανεξάρτητα υδρογραφικά δίκτυα που προκύπτουν στη λεκάνη Ευήνου, αν δεν ανααιρεθούν οι κοιλότητες