

**ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΕ ΕΝΟΤΗΤΕΣ
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ.
– ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΙΕΡΙΑ ΛΕΚΑΝΗ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ)**

ΛΑΜΠΡΙΝΟΣ Ν.

Τομέας Γεωλογίας - Φυσικής Γεωγραφίας,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 540 06 Θεσ/νίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται η μεθοδολογία της διαχωριστικής ανάλυσης (discriminant analysis) και παρουσιάζονται οι δυνατότητες που παρέχει για σωστή και ακριβή ταξινόμηση γεωλογικών και γεωμορφολογικών δεδομένων. Μετά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας, δίνεται ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου στα υδρογραφικά συστήματα που αναπτύσσονται στη λεκάνη της Πιερίας στην Ανατολική Μακεδονία.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου έδωσαν σωστή ταξινόμηση των λεκανών (βασισμένη στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών) με ακρίβεια 99% και συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα που έδωσαν άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ίδια ταξινόμηση.

ABSTRACT

The present paper presents the method of discriminant analysis. This method helps us to classify and/or geomorphological data, depending on the morphometric characteristics of the sites of measurement.

The method is outlined briefly and then is applied on the drainage systems developed on the Pierria basin, east Macedonia, North Greece.

The method classified the drainage systems into two units (unit of high relief and unit of low relief) with high accuracy (99%) compared to the accuracy obtained from other methods (factor analysis, 92%).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε προηγούμενη ερευνητική εργασία (Λαμπρινός, κ.α., 1992) είχε γίνει δυνατός ο εντοπισμός συγκεκριμένων περιοχών που παρουσιάζουν φαινόμενα έντονων διεργασιών σε μία λεκάνη τροφοδοσίας φράγματος. Η έρευνα τότε είχε βασιστεί στην επεξεργασία των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών που απαρτίζουν την

λεκάνη τροφοδοσίας με την μέθοδο της παραγοντικής ανάλυσης.

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η βελτίωση του τρόπου ταξινόμησης των επιμέρους λεκανών με τη βοήθεια της διαχωριστικής ανάλυσης και η σύγκριση των αποτελεσμάτων που δίνουν η μέθοδος αυτή και η μέθοδος της παραγοντικής ανάλυσης.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, μέχρι σήμερα, ο διαχωρισμός σε ενότητες συγκεκριμένων γεωμορφολογικών ή και γεωλογικών δομών ή χαρακτηριστικών βασιζόταν στην ποιοτική αξιολόγηση αυτών, βάσει της εμπειρίας του εκάστοτε ερευνητή. Ένας τέτοιος διαχωρισμός μπορεί να οδηγούσε σε αξιόλογα συμπεράσματα, άφηνε όμως αρκετά ερωτηματικά για περιοχές όπου τα χαρακτηριστικά τους ήταν τέτοια που δεν μπορούσαν να ενταχθούν με σιγουριά σε κάποια από τις ενότητες. Ετσι, αυτές οι περιοχές ή δεν εντάσσονταν καθόλου ή εντάσσονταν σε μία από τις ενότητες με αρκετή όμως επιφύλαξη.

Η εργασία αυτή αποσκοπεί στο να παρουσιάσει μία μέθοδο ποσοτικής αξιολόγησης τέτοιων χαρακτηριστικών/δεδομένων, ώστε ο διαχωρισμός τους να μπορεί να γίνει πλέον με σιγουριά.

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (DISCRIMINANT ANALYSIS)

Η διαχωριστική ανάλυση χρησιμοποιείται σε κείνες τις περιπτώσεις που θέλουμε να διαχωρίσουμε σε δύο ή περισσότερες ομάδες ένα αριθμό παρατηρήσεων που προέκυψαν από συγκεκριμένες θέσεις παρατήρησης. Πρόκειται για μία μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιεί γραμμικούς συνδυασμούς των παραμέτρων που μετρήθηκαν στις θέσεις παρατήρησης, κατά τρόπο ώστε να μεγιστοποιούνται οι διαφορές μεταξύ των θέσεων (DeCoursey, 1973). Στην τεχνική αυτή γνωρίζουμε πόσες και ποιές είναι οι ομάδες και προσπαθούμε να εντάξουμε σε μία από αυτές τις θέσεις εκείνες από τις οποίες έχουν προκύψει οι μετρήσεις μας.

Οι κύριοι στόχοι της διαχωριστικής ανάλυσης είναι η εύρεση της διεύθυνσης ή των διευθύνσεων (σε ένα σύστημα συντεταγμένων) κατά μήκος των οποίων οι ομάδες διαφοροποιούνται, και η εύρεση της συνάρτησης ή των συναρτήσεων, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την τοποθέτηση των θέσεων παρατήρησης στις ομάδες. Αυτό γίνεται είτε με βάση τη θεωρία, σχετικά με το ποιές παράμετροι της συνάρτησης μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τη συμμετοχή μιας θέσης σε κάποια ομάδα, είτε με βάση την πρακτική πλευρά του προβλήματος, όπως π.χ. σε συνδυασμό με τα έξοδα που πιθανόν να απαιτούνται για την μέτρηση κάποιων παραμέτρων ή με τον χρόνο που χρειάζονται οι μετρήσεις (Tabachnick and Fidell, 1989).

Εάν οι παρατηρήσεις μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες τότε, υπάρχει μία συνάρτηση που διαχωρίζει αυτές τις ομάδες. Αν K είναι ο αριθμός των ομάδων τότε $K-1$ είναι ο αριθμός των συναρτήσεων που διαχωρίζουν αυτές τις ομάδες.

Οι διαχωριστικές συναρτήσεις (discriminant functions) είναι ανάλογες με τις εξισώ-

σεις γραμμικής παλινδρόμησης. Το αποτέλεσμα (discriminant function score) από την εφαρμογή της συνάρτησης υπολογίζεται από το άθροισμα των γινομένων των παραμέτρων της συνάρτησης επί του συντελεστή κάθε παραμέτρου. Για κάθε συνάρτηση υπάρχει ένα σετ συντελεστών. Έτσι, για κάθε θέση παρατήρησης λαμβάνεται ένα αποτέλεσμα (score) από κάθε συνάρτηση (function) όταν οι συγκεκριμένες τιμές των παραμέτρων εισαχθούν στις συναρτήσεις.

Οι συναρτήσεις αυτές είναι της μορφής:

$$DF = d_1Z_1 + d_2Z_2 + \dots + d_pZ_p \text{ όπου}$$

DF: το αποτέλεσμα της συνάρτησης (score), d_i : συντελεστής (discriminant function coefficient), Z: παράμετρος της συνάρτησης, $i = 1 \dots k-1$ και $p = 1 \dots n$ όπου k: ο αριθμός των ομάδων και n: ο αριθμός των μετρήσεων σε κάθε παράμετρο.

Τα αποτελέσματα (scores) που προκύπτουν από την εφαρμογή αυτής (ή αυτών) της συνάρτησης (ή των συναρτήσεων) τοποθετούνται σε ένα διάγραμμα. Οι άξονες αυτού του διαγράμματος είναι οι ίδιες οι συναρτήσεις και αν έχει προκύψει από την ανάλυση μόνο μία συνάρτηση, τότε το διάγραμμα είναι μονοδιάστατο, ενώ για περισσότερες από μία συναρτήσεις το διάγραμμα είναι διδιάστατο (λαμβάνομένων των συναρτήσεων ανά δύο).

Αν οι συναρτήσεις αυτές διαχωρίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις παρατηρήσεις σε ομάδες, τότε οι ομάδες αυτές θα μπορούν να διακριθούν σε αυτά τα διαγράμματα, και ακόμη, θα μπορούμε να διακρίνουμε και εκείνες τις παρατηρήσεις που θα έχουν τοποθετηθεί από την ανάλυση σε λάθος ομάδα.

Η μέθοδος θα μπορούσε να γίνει πιο κοτανοητή μέσα από ένα παράδειγμα εφαρμογής στη λεκάνη της Πιερίας, Ανατολική Μακεδονία.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Στη λεκάνη της Πιερίας (σχ. 1) μελετήθηκε η μορφολογία των υδρογραφικών συστημάτων και συγκεκριμένα των λεκανών απορροής 3ης τάξης (αρίθμηση κατά Strahler, 1952a) με την βοήθεια της παραγοντικής ανάλυσης. Τα υδρογραφικά συστήματα αποτυπώθηκαν από τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1: 50.000 χρησιμοποιώντας τις μπλε γραμμές των χαρτών και τη μέθοδο των crenulation lines (σχ. 2; Λαμπρινός, κ.α., 1992).

Σε κάθε λεκάνη απορροής 3ης τάξης (σε σύνολο 100), μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν οι εξής παράμετροι (λεπτομερή περιγραφή παραμέτρων έχει γίνει από τον Αστάρα, 1980 και τον Λαμπρινό, 1989):

- 1) Τάξη u του δικτύου (Strahler, 1952a).
- 2) Αριθμός κλάδων κάθε τάξης Nu, $u = 1, 2, 3$ (Horton, 1945, Strahler, 1952a).
- 3) Αθροιστικό μήκος όλων των ρευμάτων που αναπτύσσονται σε κάθε λεκάνη απορροής 3ης τάξης ΣL (km) (Horton, 1945, Strahler, 1957).
- 4) Εμβαδόν των λεκανών απορροής 3ης τάξης A (km²) (Horton, 1945).

5) Μήκος περιμέτρου των λεκανών απορροής 3ης τάξης P (km) (Smith, 1958).

6) Μήκος λεκανών απορροής 3ης τάξης Lb (km) (Schumm, 1956, Gregory and Walling, 1973).

7) Υδρογραφική πυκνότητα των λεκανών απορροής 3ης τάξης D (km/km²) (Horton, 1945).

8) Υδρογραφική συχνότητα των λεκανών απορροής 3ης τάξης F (km⁻²) (Horton, 1945).

9) Τοπικό ανάγλυφο των λεκανών απορροής 3ης τάξης Hb (Km) (Strahler, 1952β, 1964).

10) Λόγος αναγλύφου των λεκανών απορροής 3ης τάξης RH (Schumm, 1956).

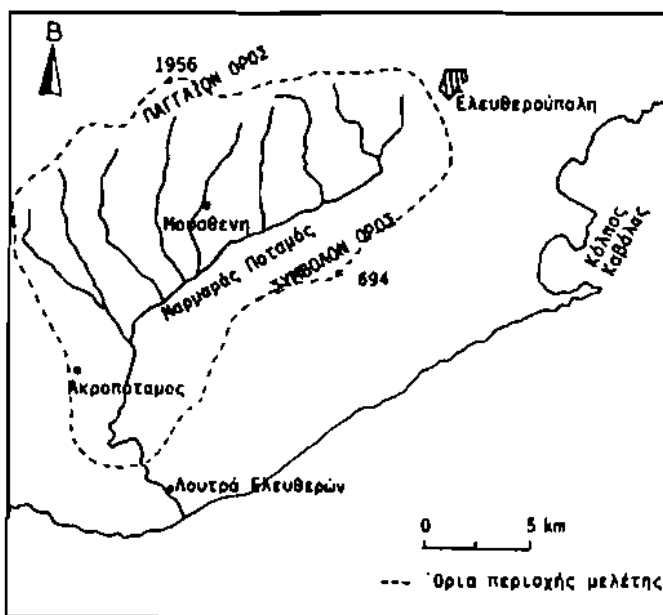
11) Βαθμός τραχύτητας του αναγλύφου των λεκανών απορροής 3ης τάξης Rn (Strahler, 1958).

Με την βοήθεια της παραγοντικής ανάλυσης (factor analysis) οι λεκάνες αυτές χωρίστηκαν σε δύο κύριες ομάδες:

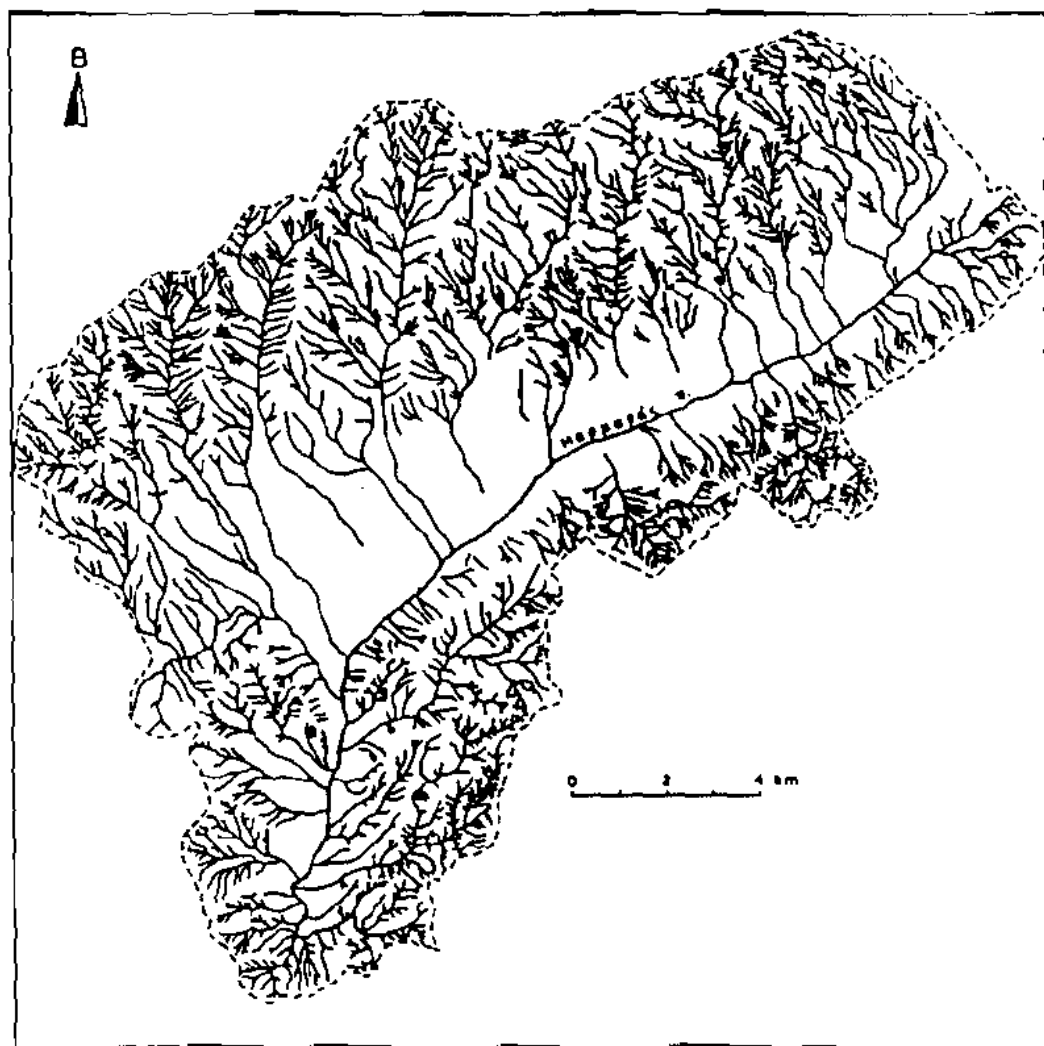
α) ομάδα έντονου ανάγλυφου και β) ομάδα ήπιου ανάγλυφου (Λαμπρινός κ.ά., 1992). Από τις 100 λεκάνες απορροής 3ης τάξης μόνο οι 78 λεκάνες μπόρεσαν να τοποθετηθούν στις δύο αυτές ομάδες γιατί, μόνο αυτές ανήκαν εξ ολοκλήρου σε μία από τις δύο ομάδες. Τα όρια των δύο ομάδων, όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση, χώριζαν τις άλλες 22 λεκάνες κατά τρόπο ώστε τμήμα αυτών (σε άλλες μικρότερο και σε άλλες μεγαλύτερο) να ανήκει σε περισσότερες από μία ομάδες. Έτσι, με την παραγοντική ανάλυση έγινε δυνατή η ταξινόμηση μόνο του 78% των λεκανών σε ομάδες, ενώ το υπόλοιπο 22% δεν μπορούσαμε να το τοποθετήσουμε με ικανοποιητική σιγουριά σε κάποια από τις δύο ομάδες.

Για να γίνει αυτό δυνατό, χρησιμοποιήθηκε η διαχωριστική ανάλυση (discriminant analysis) για τις 78 λεκάνες, ώστε να βρεθεί η συνάρτηση εκείνη που διαχωρίζει τις δύο αυτές γνωστές ομάδες και με την βοήθεια αυτής να μπορέσουμε να εντάξουμε και τις άλλες 22 λεκάνες σε κάποια από τις ομάδες.

Στην ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι παράμετροι P, Rn, ΣL, Hb και D, επειδή



Σχ. 1. Γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής μελέτης (μετο Λαμπρινό, κ.ά., 1992).



Σχ. 2. Ντύσις το υδρογραφικού δικτύου που αναπτύσσεται στη λεκάνη της Πιερίας.

οι παράμετροι αυτές αποτελούν (βάσει των αποτελεσμάτων της παραγοντικής ανάλυσης, Λαμπρινός κ.ά., 1992) τις πιο σημαντικές παραμέτρους από την αρχική ομάδα των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκε.

Αυτές οι παράμετροι ελέγχθηκαν για το αν ακολουθούν την κανονική κατανομή με την εφαρμογή της δοκιμασίας χ^2 ως δοκιμασία καλής προσαρμογής (χ^2 test of goodness of fit; Λαμπρινός, 1989). Ακόμη ελέγχθηκαν ανά δύο ως προς την γραμμικότητα και την σκέδαση, εφαρμόζοντας απλή γραμμική παλινδρόμηση (Tabachnick

and Fidell, 1989). Από αυτούς τους ελέγχους οδηγηθήκαμε στην μετατροπή των παραμέτρων, ώστε τελικά να πληρούν τις προϋποθέσεις αυτές. Έτσι, οι παράμετροι που τελικά χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

$$\ln P, \ln \Sigma L, \sqrt{Hb}, \sqrt{Rn}, \text{ και } \frac{1}{D}$$

Όπως ειπώθηκε και πιο πάνω, ο αριθμός των συναρτήσεων που θα προκύψουν είναι όσος είναι ο αριθμός των ομάδων $- 1$. Στην συγκεκριμένη ανάλυση, δεδομένου ότι οι ομάδες είναι δύο, προέκυψε μία συνάρτηση. Η δυνατότητα αυτής της συνάρτησης να διαχωρίσει ικανοποιητικά τις δύο ομάδες φαίνεται από την τιμή του Wilk's Λ test (χαμηλή τιμή) (πιν. 1), αλλά και από την τιμή του χ^2 με 5 βαθμούς ελευθερίας (υψηλή τιμή). Σε περίπτωση που προκύψουν περισσότερες από μία συναρτήσεις, τότε πρέπει να γίνεται έλεγχος, βάσει της τιμής Λ , για το αν και ποιές από αυτές μπορούν να διαχωρίσουν αυτές τις ομάδες. Συνήθως σε αυτές τις περιπτώσεις, οι δύο πρώτες συναρτήσεις έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο διαχωριστικής ικανότητας, ενώ από τις υπόλοιπες συναρτήσεις λίγες πληροφορίες μπορούν να εξαχθούν (Tabachnick and Fidell, 1989).

Η πρώτη συνάρτηση δίνει τον καλύτερο διαχωρισμό μεταξύ των ομάδων. Αν υπάρχει και δεύτερη συνάρτηση τότε, σε ένα σύστημα ορθογώνιων συντεταγμένων αυτή θα είναι κάθετη στην πρώτη (ουσιαστικά οι δύο συναρτήσεις αποτελούν και τους δύο άξονες του συστήματος) και θα διαχωρίζει καλά τις ομάδες με βάση τις σχέσεις εκείνες που δεν χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της πρώτης συνάρτησης.

Αν και στην συγκεκριμένη περίπτωση υπήρχε μόνο μία συνάρτηση, εν τούτοις χρησιμοποιήθηκε η τιμή του Wilk's Λ test για να υπολογισθεί η τιμή του F για την συνάρτηση που προέκυψε και να συγκριθεί με την θεωρητική τιμή του F από τους στατιστικούς πίνακες της F κατανομής.

Η τιμή του δίνεται από τον τύπο

$$F(df_1, df_2) = \left(\frac{1 - y}{y} \right) \left(\frac{df_2}{df_1} \right) \quad (1)$$

και συγκριθηκε με την θεωρητικη τιμη το F για df_1 και df_2 βαθμους ελευθεριας και $\alpha=0.05$, όπου

$$df_1 = p (df_{effect}) \quad (2)$$

$$df_2 = s \left(df_{error} - \frac{p - df_{effect} + 1}{2} \right) - \left(\frac{p - df_{effect} - 2}{2} \right) \quad (3)$$

$$s = \sqrt{\frac{p^2 - (df_{effect})^2 - 4}{p^2 + (df_{effect})^2 - 5}} \quad (4)$$

$$y = \Lambda^{1/8} \quad (5)$$

p = ο αριθμός των παραμέτρων

df_{effect} = ο αριθμός των ομάδων - 1

df_{error} = ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων σε όλες τις ομάδες - τον αριθμό των ομάδων

Λ = η τιμή του Wilk's Λ test

Σύμφωνα με τους παραπάνω τύπους για τις 78 λεκάνες απορροής

$$F(5,72) = 26.1 \text{ και } f(5,72;0.05) \approx 2.35 \Rightarrow F(5,72) > F(5,72;0.05)$$

και επομένως, οι δύο ομάδες μπορούν να διαχωριστούν με βάση αυτόν τον συνδυασμό των 5 παραμέτρων. Αυτός δε ο συνδυασμός αποτελεί την διαχωριστική εξίσωση για αυτές τις λεκάνες απορροής. Οι συντελεστές αυτής της συνάρτησης δίνονται στον πιν. 2 και η συνάρτηση είναι:

$$DF = 2.88 \ln P + 0.93 \ln \Sigma L + 5.3 \sqrt{Rn} - 1.78 \sqrt{Hb} + 30.69 \frac{1}{D} - 10.31 \quad (6)$$

Πίνακας 1. Στατιστικά μεγέθη για τον έλεγχο της διαχωριστικής συνάρτησης (6)

Wilk's Λ	Chi - Square	Deg. Frdm.	Canonical correlation
0.368	73.44	5	0,795

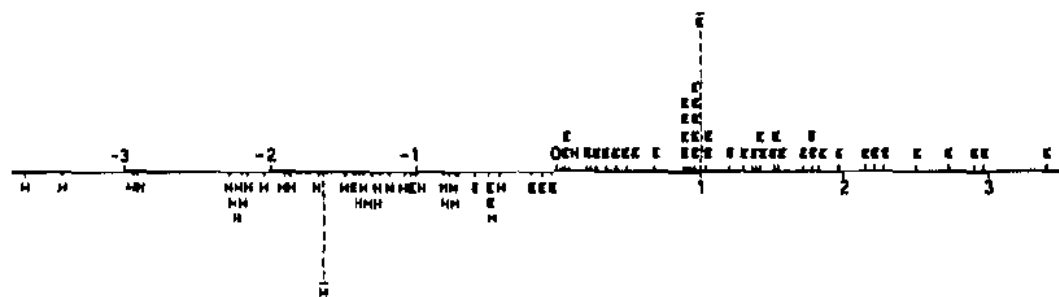
Πίνακας 2. Συντελεστές της διαχωριστικής εξίσωσης (6)

Παραμ.	Συντ. Διαχωριστικής Εξίσωσης
$\ln P$	- 2.88
$\ln \Sigma L$	0.93
\sqrt{Rn}	5.3
\sqrt{Hb}	- 1.78
$\frac{1}{D}$	30.69
σταθερά	- 10.31

Αντικαθιστώντας τις τιμές των παραμέτρων κάθε μιας λεκάνης παίρνουμε τα αποτελέσματα (discriminant scores) για κάθε λεκάνη. Τις τιμές αυτές τις χρησιμοποιούμε πρώτα για να υπολογίσουμε την κεντρική τιμή κάθε ομάδας (group centroid). Η τιμή αυτή αποτελεί τον μέσο όρο των τιμών των αποτελεσμάτων που έχουν υπολογισθεί για κάθε ομάδα από την συνάρτηση (6). Η γραφική παράσταση της διαχωριστικής συνάρτησης (6) που προέκυψε από την ανάλυση αποτελεί τον άξονα προβολής, πάνω στον οποίο προβάλλονται τα δύο κεντρικά σημεία των ομάδων (group centroids) καθώς και τα αποτελέσματα (discriminant scores) της διαχωριστικής συνάρτησης (6).

Αν υπάρχει μεγάλη αλγεβρική διαφορά μεταξύ των κεντρικών σημείων των δύο ομάδων τότε, η συνάρτηση (6) διαχωρίζει με ευκρίνεια τις δύο ομάδες. Έτσι από τις προβολές των τιμών αυτών φαίνεται ότι από τις 48 λεκάνες που τοποθετήθηκαν αρχικά στην ομάδα των λεκανών με έντονο ανάγλυφο, οι 5 ανήκουν στην ομάδα των λεκανών με ήπιο ανάγλυφο, διότι η απόστασή τους από το κεντρικό σημείο της ομάδας των λεκανών με ήπιο ανάγλυφο είναι μικρότερη από την απόσταση από το κεντρικό σημείο της ομάδας των λεκανών με έντονο ανάγλυφο. Από τις 30 λεκάνες που είχαν τοποθετηθεί αρχικά στην ομάδα του ήπιου ανάγλυφου μόνο μία τοποθετήθηκε λάθος και ανήκει κανονικά στην ομάδα των λεκανών με έντονο ανάγλυφο (πιν. 5). Παραστατικά οι προβολές των αποτελεσμάτων της συνάρτησης (6) φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 3. Οι τιμές των αποτελεσμάτων (discriminant scores) κυμαίνονται μεταξύ min: -3.69 και max: 3.4. Οι δύο ομάδες συμβολίζονται με E (ομάδα Έντονου ανάγλυφου) και H (ομάδα Ηπιου ανάγλυφου). Τα κεντρικά σημεία των δύο ομάδων συμβολίζονται με E και H και οι τιμές τους είναι $E = 1.022$ και $H = -1.64$.

Από το διάγραμμα αυτό (σχ. 3) φαίνεται ότι 5 τιμές που αρχικά τοποθετήθηκαν στην ομάδα των λεκανών με έντονο ανάγλυφο ανήκουν, βάσει των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών, στην ομάδα των λεκανών με ήπιο ανάγλυφο. Επίσης μία μόνο λεκάνη που αρχικά είχε τοποθετηθεί στην ομάδα με ήπιο ανάγλυφο, τελικά ανήκει στην ομάδα των λεκανών με έντονο ανάγλυφο. Έτσι, από τις 78 λεκάνες μόνο οι 6 είχαν ταξινομηθεί αρχικά σε λάθος ομάδες (ποσοστό επιτυχούς ταξινόμησης 92%). Επομένως γνωρίζουμε πλέον ποιές λεκάνες ανήκουν σε ποιές ομάδες και μπορούμε να τοποθετήσουμε τις λάθος ταξινομημένες λεκάνες στις σωστές ομάδες.



Σχ. 3. Διάγραμμα που παρουσιάζει τις προβολές των αποτελεσμάτων της διαχωριστικής συνάρτησης (6).

Η μέχρι τώρα διαδικασία μας οδήγησε στον σχηματισμό μιας συνάρτησης η οποία βασίστηκε στα μορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών. Οι λεκάνες αυτές γνωρίζαμε σε ποιές ομάδες ανήκαν και η μέθοδος αυτή μας βοήθησε να τις ταξινομήσουμε σωστότερα. Επομένως μπορούμε πλέον να χρησιμοποιήσουμε την συνάρτηση αυτή για να ταξινομήσουμε και εκείνες τις λεκάνες των οποίων γνωρίζουμε τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά αλλά, δεν γνωρίζουμε με σιγουριά σε ποιά από τις ομάδες μπορούν να ενταχθούν. Οι λεκάνες αυτές είναι οι 22 λεκάνες που δεν μπόρεσαν να

χρησιμοποιηθούν εξ αιτίας του ότι, τα όρια των ενοτήτων που προέκυψαν από την παραγοντική ανάλυση χώριζαν τις λεκάνες αυτές σε δύο ή περισσότερα τμήματα.

Για το σκοπό αυτό δόθηκαν στην συνάρτηση (6) οι τιμές των παραμέτρων των 22 λεκανών και τα αποτελέσματα της συνάρτησης (discriminant scores) τοποθετήθηκαν στο διάγραμμα του σχήματος 3 και συγκρίθηκαν με τις τιμές των δύο κεντρικών σημείων (group centroids) των ομάδων. Ανάλογα με την απόσταση που είχαν τα αποτελέσματα της συνάρτησης από τα δύο αυτά σημεία, εντάχθηκαν οι λεκάνες αυτές στις δύο ομάδες με αποτέλεσμα, 6 λεκάνες να ταξινομηθούν αρχικά στην ομάδα έντονου ανάγλυφου και 16 λεκάνες στην ομάδα ήπιου ανάγλυφου.

Έτσι, επαναλήφθηκε η διαδικασία της διαχωριστικής ανάλυσης (discriminant analysis) χρησιμοποιώντας ως αρχική ταξινόμηση 50 λεκάνες στην ομάδα έντονου ανάγλυφου (44 λεκάνες από την πρώτη ανάλυση + 6 λεκάνες από τα αποτελέσματα (discriminant scores) που βγήκαν από την εφαρμογή της συνάρτησης (6) για τις 22 μη ταξινομημένες λεκάνες), και 50 λεκάνες στην ομάδα ήπιου ανάγλυφου (34 λεκάνες από την πρώτη ανάλυση + 16 λεκάνες από τα αποτελέσματα που βγήκαν από την εφαρμογή της συνάρτησης (6) για τις μη ταξινομημένες λεκάνες).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πιν. 3. Παρατηρούμε ότι η τιμή του Wilk's Λ test είναι μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή του Πιν. 1, η τιμή της canonical correlation είναι μεγαλύτερη από εκείνη του Πιν. 1 καθώς και η τιμή του χ^2 είναι μεγαλύτερη από εκείνη του Πιν. 1.

Πίνακας 3. Στατιστικά μεγέθη για τον έλεγχο της διαχωριστικής συνάρτησης (7)

Wilk's Λ	Chi - Square	Deg. Frdm.	Canonical correlation
0.279	121.906	5	0.849

Οι παραπάνω διαπιστώσεις αποδεικνύουν ότι η ταξινόμηση αυτή είναι καλύτερη από την πρώτη και εφαρμόζοντας τις εξισώσεις (2), (3), (4) και (5) προκύπτει ότι $F(5,94) > F(5,94;0.05)$. Επομένως η συνάρτηση που προκύπτει από τον συνδυασμό των 5 μορφομετρικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάλυση μπορούν να διαχωρίσουν τις λεκάνες στις δύο ομάδες που ορίσαμε.

Οι συντελεστές της συνάρτησης αυτής δίνονται στον πιν. 4 και η συνάρτηση που προκύπτει είναι:

$$DF = 2.52 \ln P + 0.96 \ln \Sigma L + 7.18 \sqrt{Rn} - 5.64 \sqrt{Hb} + 35.98 \frac{1}{D} - 12.06 \quad (7)$$

Πίνακας 4. Συντελεστές της διαχωριστικής εξίσωσης (7)

Παραμ.	Συντ. Διαχωριστικής Εξίσωσης
$\ln P$	- 2.52
$\ln \Sigma L$	0.96
$\sqrt{R_n}$	7.18
\sqrt{Hb}	- 5.64
$\frac{1}{D}$	35.98
σταθερά	- 12.06

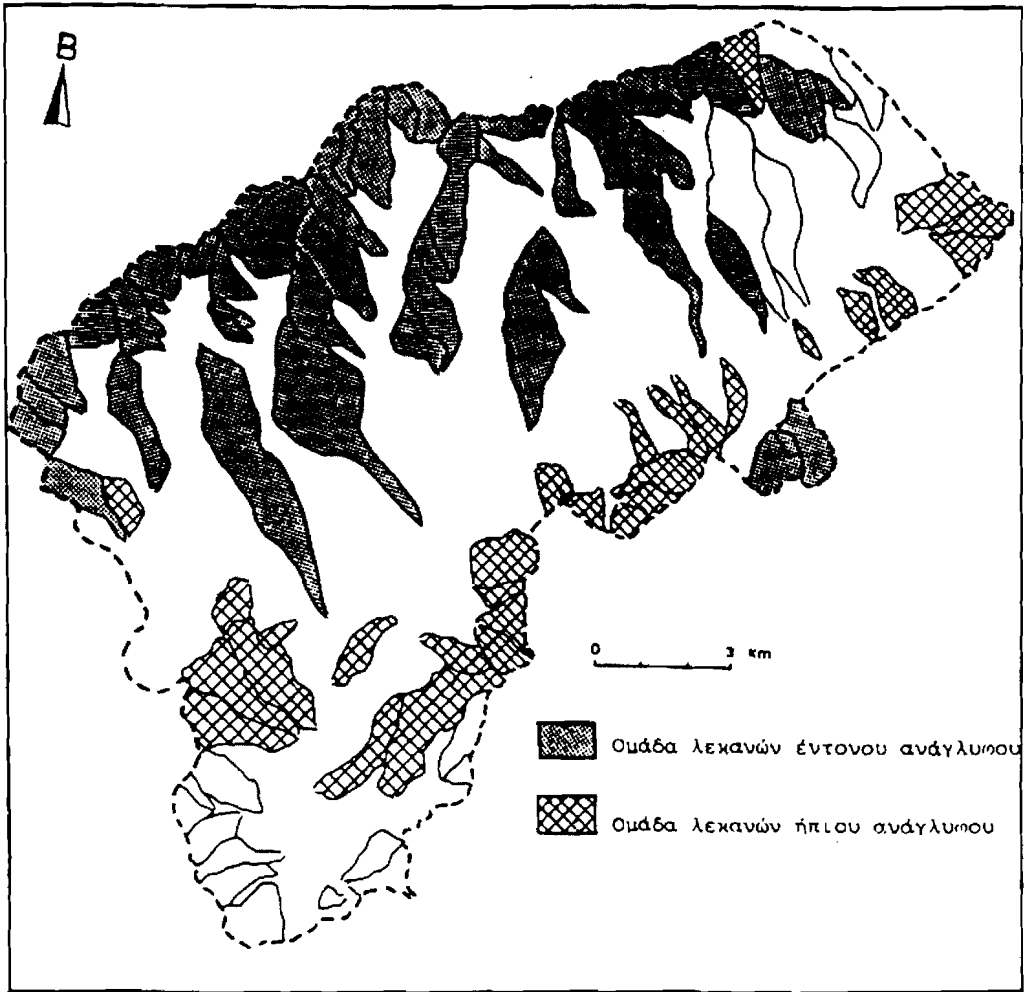
Οι προβολές των αποτελεσμάτων (discriminant scores) της συνάρτησης (7) πάνω στην γραφική παράσταση της συνάρτησης (σχ. 4) δείχνει τις δύο ομάδες να διαχωρίζονται δεξιά και αριστερά από την τιμή μηδέν (0). Μόνο μία από τις τιμές της ομάδας έντονου ανάγλυφου έχει αρνητική τιμή και βρίσκεται στην ομάδα ήπιου ανάγλυφου. Έτσι από την συνάρτηση αυτή διαπιστώθηκε ότι από τις 50 λεκάνες που αρχικά είχαν ταξινομηθεί στην ομάδα των λεκανών έντονου ανάγλυφου, μόνο μία λεκάνη ταξινομήθηκε λάθος και ανήκει κανονικά στην ομάδα ήπιου ανάγλυφου. Οι 50 λεκάνες που είχαν αρχικά ταξινομηθεί στην ομάδα ήπιου ανάγλυφου διαπιστώθηκε ότι ανήκαν όλες σ' αυτήν την ομάδα και έτσι τελικά, από τις 100 λεκάνες απορροής 3ης τάξης οι 49 ανήκουν στην ομάδα έντονου ανάγλυφου και οι 51 στην ομάδα ήπιου ανάγλυφου (ποσοστό επιτυχούς ταξινόμησης 99%). Η κατανομή τους στον χάρτη των λεκανών απορροής της λεκάνης φαίνεται στο σχήμα 6.



Σχ. 4. Διάγραμμα που παρουσιάζει τις προβολές των αποτελεσμάτων της διαχωριστικής συνάρτησης (7).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαχωριστική ανάλυση (discriminant analysis) είναι μία μέθοδος που μας δίνει την δυνατότητα να ταξινομήσουμε σε ομάδες με μεγάλη ακρίβεια τις παρατηρήσεις



Σχ. 5. Ταξινόμηση των λεκανών απορροής 3ης τάξης με τη μέθοδο της παραγοντικής ανάλυσης.

που έχουν προκύψει είτε από το ύπαιθρο, είτε από άλλη πηγή (χάρτες, α/φίες, κ.λπ.).

Για να γίνει δυνατή η ταξινόμηση είναι βασικό να γνωρίζουμε ότι κάποιες από τις παρατηρήσεις μας ανήκουν σε αυτές τις ομάδες, ώστε με βάση τα χαρακτηριστικά αυτών των παρατηρήσεων να μπορούμε (μέσω της μεθόδου) να εντάξουμε και τις αταξινομήτες παρατηρήσεις σε κάποια από τις ομάδες.

Συνήθως προκύπτει πρόβλημα σχετικά με τον πιθανό αριθμό των ομάδων, καθώς και με το ποιές από τις παρατηρήσεις μας ανήκουν σε κάποια από αυτές τις ομάδες. Το πρόβλημα όμως αυτό μπορεί να λυθεί είτε από τις γνώσεις μας από άλλες έρευνες για το ποιές παρατηρήσεις ανήκουν σε ποιά ομάδα, είτε εφαρμόζοντας πριν την

διαχωριστική ανάλυση, άλλες μεθόδους, οι οποίες θα μας οδηγήσουν σε κάποιες αρχικές εκτιμήσεις.

Στην συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκε αρχικά η μέθοδος της παραγοντικής ανάλυσης (Λαμπρινός, κ.ά. 1992), με τη βοήθεια της οποίας χωρίστηκαν τα υδρογραφικά συστήματα της λεκάνης της Πιερίας σε δύο ομάδες, ανάλογα με το ανάγλυφο που παρουσίαζαν. Έτσι, έχοντας γνωστό τον πιθανό αριθμό των ομάδων στις οποίες ανήκουν οι αταξινόμητες λεκάνες, αλλά και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών αυτών, έγινε δυνατή η εφαρμογή της διαχωριστικής ανάλυσης, η οποία τελικά έδωσε ένα πολύ υψηλό ποσοστό (99%) επιτυχούς ταξινόμησης των λεκανών στις δύο ομάδες.

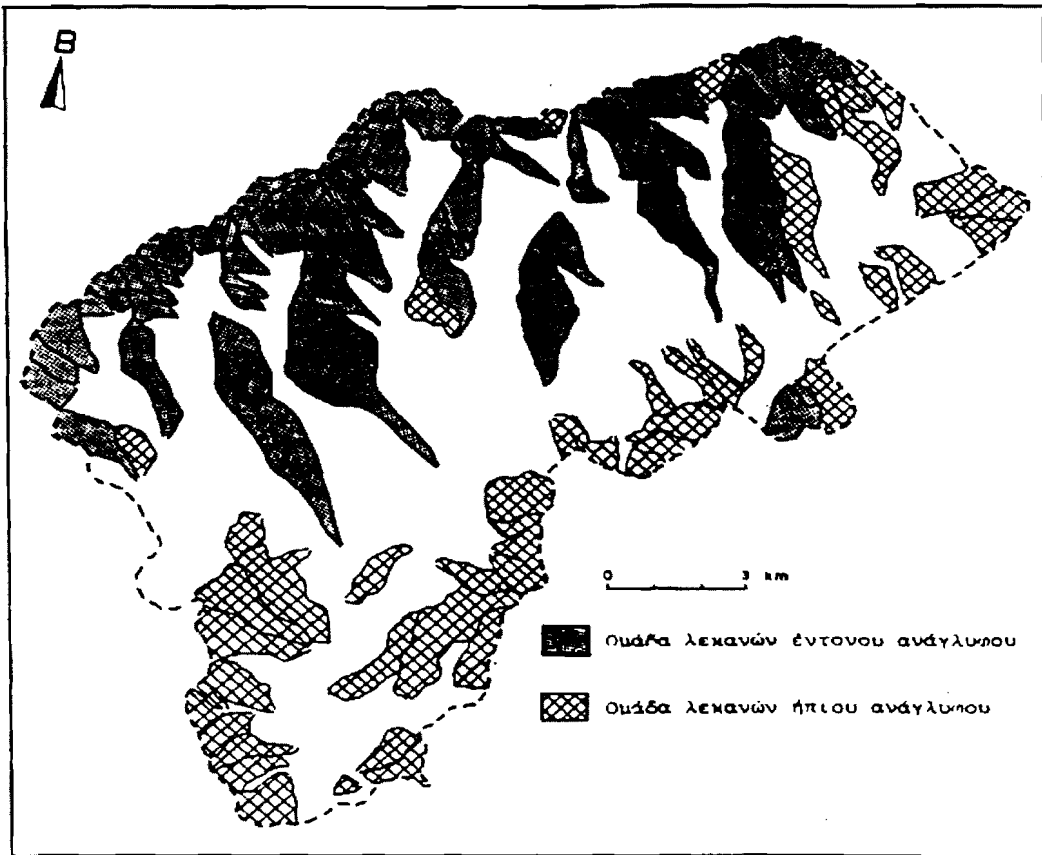
Στον Πιν. 5 φαίνεται η ταξινόμηση των λεκανών όπως εξελέχθη από το αρχικό στάδιο, που έγινε με τη βοήθεια της παραγοντικής ανάλυσης, έως το τελικό στάδιο μετά τις δύο διαχωριστικές αναλύσεις. Στα σχ. 5 και 6 φαίνεται η εξέλιξη της ταξινόμησης πάνω στο χάρτη των λεκανών απορροής 3ης τάξης, που αναπτύσσονται στη λεκάνη της Πιερίας.

Τελικά παρατηρούμε ότι η διαχωριστική ανάλυση μπορεί να ταξινομήσει με πολύ καλή ακρίβεια τα δεδομένα μας σε ομάδες, όταν αυτά βασίζονται σε παρατηρήσεις που έχουν γίνει σε συγκεκριμένες θέσεις/δείγματα. Η παραγοντική ανάλυση μπορεί

Πίνακας 5. Εξέλιξη της ταξινόμησης των λεκανών με τις μεθόδους της παραγοντικής ανάλυσης και της διαχωριστικής ανάλυσης.

	Αριθ. Λεκανών	Έντονο ανάγλυφο		Ήπιο ανάγλυφο		Ποσοστό επιτυχίας
		Ταξινόμηση		Ταξινόμηση		
		Σωστή	Λάθος	Σωστή	Λάθος	
Παραγοντικά ανάλυση	78	48	—	30	—	—
1η Διαχωριστική ανάλυση	78	43 από 48	5	29 από 30	1	92 %
2η Διαχωριστική ανάλυση	100	49 από 50	1	50 από 50	0	99 %

επίσης να δώσει καλά αποτελέσματα, αλλά με μικρότερη ακρίβεια, δεδομένου ότι η παραγοντική ανάλυση δεν είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται καθαρά και μόνο για ταξινόμηση, σε αντίθεση με τη μέθοδο διαχωριστικής ανάλυσης (discriminant analysis). Έτσι συνιστάται η ταυτόχρονη εφαρμογή των δύο αυτών μεθόδων, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα στην διαχωριστική ανάλυση τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης.



Σχ. 6. Ταξινόμηση των λεκανών απορροής 3ης τάξης μετά την εφαρμογή των δύο διαχωριστικών αναλύσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αστάρας Θ. (1980). Ποσοτική γεωμορφολογική μελέτη τμήματος των Δ. πλευρών του όρους Βερτίσκον (Κ. Μακεδονία). Διδ. Διατριβή. Επιστ. Επετ. Φυσικομαθηματικής Σχ., Παραρτ. αρ. 18, τομ. 19 Θεσσαλονίκη, 216 pp.
- De Coursey, D.G., (1973). Application of discriminant analysis in design review. Water Resources Research, vol. 9, no. 1, 93-102.
- Gregory, K.J. and Walling, D.E., (1973). Drainage basin form and process. (A geomorphological approach). Edward Arnold, Ltd., London, 456 pp.
- Horton, R., (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrological approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Amer. Bull., 56, 275-370.
- Λαμπρινός, Μ. (1998). Συμβολή στην ποσοτική γεωμορφολογία των ποταμικών συστημάτων της Β. Ελλάδας. Διπλωματική διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Δ.Π.Θ.

- των στην παλαιογεωγραφική εξέλιξη των ορέων της Βόλβης. Διδ. Διατριβή. Επιστ. Επετ. Τμ. Γεωλογίας, Σχ. Θετικών Επιστ., παραρτ. αρ. 6, Θεσσαλονίκη, 168 pp.
- Λαμπρινός, Ν., Χρίστου, Ο., Ρεγγούζας, Χ., Δημόπουλος, Γ., (1992). Η συμβολή της γεωμορφολογίας στον εντοπισμό περιοχών δυναμικών διεργασιών σε λεκάνες τροφοδοσίας φραγμάτων. Ένα παράδειγμα από το φράγμα Ακροποτάμου, λεκάνη Πιερίας, Ανατολική Μακεδονία. Υπό δημοσίευση στα Πρακτικά του 6ου Συνεδρίου της Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας, Αθήνα.
- Schumm, S.A., (1956). Evolution of drainage systems and slopes in the badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 67, 597-646.
- Smith, K.G., (1958). Erosional processes and landforms in badlands National Park. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 69, 975-1008.
- Strahler, A., (1952a). Dynamic basis of geomorphology. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 63, 923-938.
- Strahler, A., (1952b). Hypsometric (area-altitude) of erosional topography. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 63, 1117-1142.
- Strahler, A., (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Amer. Geophys. Union Trans.*, 18(6), 913-920.
- Strahler, A., (1958). Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 69, 279-300.
- Strahler, A., (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. (Chow, V.T., ed.). *Handbook of Applied Hydrology*, section 14, 54, New York.
- Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S., (1989). Using multivariate statistics. Harper and Row publ., second ed., New York, 746 pp.