

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ LANDSAT ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

Ε. Ι. Φωκάς*, Ν. Σ. Βούλγαρης** και Γ. Α. Καραντώνης**

ΣΥΝΟΨΗ

Τα γραμμικά στοιχεία της Δυτικής Ελλάδος που ανιχνεύτηκαν στις δορυφορικές εικόνες Landsat, ακολουθούν, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό, τον Αλπικό και Μεταλπικό τεκτονικό ιστό. Αυτά κατετάγησαν, με την βοήθεια γεωλογικών χαρτών σε τέσσερις κατηγορίες (τεκτονικές γραμμές, λιθολογικά όρια, μορφολογικές γραμμές, απροσδιόριστα γραμμικά στοιχεία) οι οποίες, κατά τη γνώμη μας μπορούν να εκφράσουν την γεωλογική τους σημασία.

Μετά την ψηφιοποίηση του σχετικού χάρτη και την κατασκευή καταλλήλων προγραμμάτων Η/Υ έγινε στατιστική επεξεργασία των γραμμικών στοιχείων που ανήκουν στις ανωτέρω κατηγορίες με τελικό σκοπό τον προσδιορισμό του γεωλογικού χαρακτήρα των απροσδιόριστων γραμμικών στοιχείων.

ABSTRACT

The directions of most lineaments detected on the Landsat MSS satellite images in Western Greece, appear to be controlled by those predominant in the Alpine and Post-alpine tectonic structure. A number of 262 lineaments from this region, was classified, using informations from geological maps, into four different categories (tectonic lineaments, lithological boundaries, morphological lines and undetermined lineaments), on the basis of their geological character. At the end of this first processing stage the geological character of a large number of lineaments (137) was undetermined.

Thus, a second stage based on computer processing, was introduced. After the digitization of the lineament map the essential software was developed for the statistical analysis of the lineaments, based on their length distribution in different directions.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μεθοδολογία βασισμένη σε ολοκληρωμένη σειρά προγραμμάτων Η/Υ που αποσκοπεί στην προκαταρκτική αξιολόγηση των γραμμικών στοιχείων που προκύπτουν από τη φωτογεωλογική ερμηνεία δορυφορικών εικόνων. Τα στοιχεία αυτά είναι δυνατόν ν' αντιστοιχούν σε τεκτονικές συνδέσεις (ρήγματα, επωθήσεις, εφιππεύσεις), σε λιθολογικά όρια (επαφές μεταξύ διαφορετικών πετρωμάτων), αλλά και σε μεγάλες μορφολογικές γραμμές (κοίτες ποταμών, κορυφογραμμές κ.λ.π.).

Ο τελικός χαρακτηρισμός κάθε γραμμικού στοιχείου που εντοπίζεται από τη φωτογεωλογική ανάλυση, μπορεί να γίνει μόνο με απ'ευθείας μελέτη του στο υπαίθρο. Η προσπάθειά μας αποσκοπεί όμως στην εξαγωγή μερικών αρχικών συμπερασμάτων για το είδος μεγάλου μέρους των γραμμών έτσι ώστε να διευκολυνθεί και συντομευθεί η εργασία υπαίθρου.

Πρέπει να τονίσουμε στο σημείο αυτό ότι ο διαχωρισμός των γραμμικών στοιχείων σε επί μέρους κατηγορίες δεν μπορεί να είναι απόλυτος γιατί πολλά από αυτά έχουν σύνθετο χαρακτήρα. Πιο συγκεκριμένα είναι γνωστό ότι ο τεκτονικός ιστός μιας περιοχής ελέγχει σε μεγάλο, ή μικρότερο βαθμό και τα μορφολογικά, αλλά και τα λιθολογικά όρια. Όσο μάλλον έχουμε να κάνουμε με λιγότερο σύνθετο μοντέλο τεκτονικής παραμόρφωσης τόσο η σχέση αυτή γίνεται πιο άμεση. Έτσι είναι συνήθισμένο φαινόμενο μια φλεξιγενής ζώνη

* Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, Μεσογείων 14-18, 115 10, ΑΘΗΝΑ

** Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής - Γεωθερμίας, Φηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

να φέρνει σε επαφή διαφορετικές λιθολογικές ενότητες, με διαφορετική αντοχή στη διάβρωση, δημιουργώντας συνεπώς και λιθολογική και μορφολογική γραμμή.

Στη μεθοδολογία που αναπτύσσουμε στην εργασία αυτή βασιζόμαστε στην παραπάνω σχέση αίτιου και αποτελέσματος θεωρώντας σαν πιο σημαντικό χαρακτηρισμό την τεκτονική γραμμή, στη συνέχεια το λιθολογικό όριο και τέλος το μορφολογικό γραμμικό στοιχείο. Έτσι όταν μια γραμμή την κατατάσσουμε στα ρήγματα αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν να αντιστοιχεί και με λιθωστρωματογραφική επαφή και με μια μεγάλη μορφολογική γραμμή. Αντίθετα όταν ένα γραμμικό στοιχείο το χαρακτηρίσουμε σαν λιθολογικό όριο δεν θα έχουμε βεβαιωθεί ότι αυτό ταυτίζεται με κάποιο ρήγμα, μπορεί όμως να αντιστοιχεί και με μορφολογική γραμμή. Τέλος ο χαρακτηρισμός μορφολογική γραμμή σημαίνει για το συγκεκριμένο στοιχείο, ότι δεν έχουμε πειστεί ότι ανήκει σε κάποια από τις προηγούμενες δύο κατηγορίες, αντιπροσωπεύει όμως μια γεωμορφή με γραμμική ανάπτυξη.

Προσπαθώντας να εφαρμόσουμε τη μέθοδο μας σε μια περιοχή που να μην υπάρχει πολύπλοκος τεκτονισμός επιλέξαμε κομμάτι της δυτικής Ελλάδας που περιλαμβάνει, από τα δυτικά προς τα ανατολικά, εμφανίσεις των ενοτήτων Ιονίου (μεγαλύτερο μέρος), Γαβρόβου και Πίνδου.

Στην υπό μελέτη περιοχή εμφανίζεται η κύρια διεύθυνση της αλπικής πτύχωσης, που εκφράζεται με τα διαδοχικά σχεδόν παράλληλα και με διεύθυνση ΒΒΔ - ΝΝΑ μέτωπα επώθησεων και επιπνεύσεων. Στη διεύθυνση αυτή έχουμε και την ανάπτυξη των κύριων γεωμορφολογικών δομών (οροσειρές, ποτάμια) αλλά και των κυριότερων επαφών μεταξύ διαφορετικών αλπικών σχηματισμών.

Η όλη εικόνα συμπληρώνεται από μία συζυγή ομάδα διαρρήξεων σχεδόν κάθετη προς την κύρια διεύθυνση. Οι περισσότερες από αυτές τις τεκτονικές γραμμές παρουσιάζουν μικρότερα μήκη.

Τα ρήγματα αυτά μπορούν επίσης να συμπίπτουν με λιθολογικά όρια αλλά στην περίπτωση αυτή έχουμε να κάνουμε κύρια με δημιουργία μεταλπικών λεκανών ιζηματογένεσης και αντίστοιχων επαφών αλπικών και μεταλπικών σχηματισμών. Η εγκάρσια αυτή ομάδα ρηγματικών γραμμών τέλος, δημιουργεί και τοπικές μεταβολές στην κύρια διεύθυνση των μορφολογικών γραμμών, όπως ανάπτυξη παραποτάμων σε διεύθυνση Α-Δ.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η έννοια των γραμμικών στοιχείων, όπως είναι γνωστό, είναι προγενέστερη της διαστημικής τηλεπισκόπησης. Ένας από τους πρώτους που αναφέρθηκε στα γραμμικά στοιχεία ήταν ο M. Hobbs το 1904 και το 1912, ο οποίος τα όριζε σαν γραμμές του τοπίου που αποτυπώνουν την κρυμμένη αρχιτεκτονική του υπεδάφους. Έτσι ο ορισμός του Hobbs, για τα γραμμικά στοιχεία, ξαναήρθε στο προσκήνιο και γενικεύτηκε με τη μελέτη των διαστημικών εικόνων, για να εκφράσει τα γραμμικά στοιχεία που ανιχνεύονται στις εικόνες αυτές. Εν τούτοις, αν και οι διάφοροι συγγραφείς συμφωνούν γενικά με τον Hobbs για τον ορισμό που έδωσε, οι γνώμες διίστανται σε ότι αφορά την ερμηνεία.

Για ορισμένους συγγραφείς τα γραμμικά στοιχεία εκφράζουν τις ευθείες ή λίγο καμπύλες γραμμές του τοπίου (και της εικόνας), που πολλές φορές μπορούν να υποδεικνύουν την ύπαρξη κρυμμένων ρηγματιών (W. H. Hobbs - 1912, Guillemot et al - 1973, J. Brulhet et G. Frayssie - 1974, J. Chorowicz και S. Paul - 1974, A. Caire - 1975, J. C. Riverneau et al - 1977 - 1978, κ.ά.). Η πιθανότητα να εκφράζουν τα γραμμικά στοιχεία τις κρυμμένες

τεκτονικές διευθύνσεις φαίνεται ότι αυξάνει σε συνάρτηση με την έκτασή τους και τη διεύθυνσή τους (B. Bijou-Duval et al. - 1976).

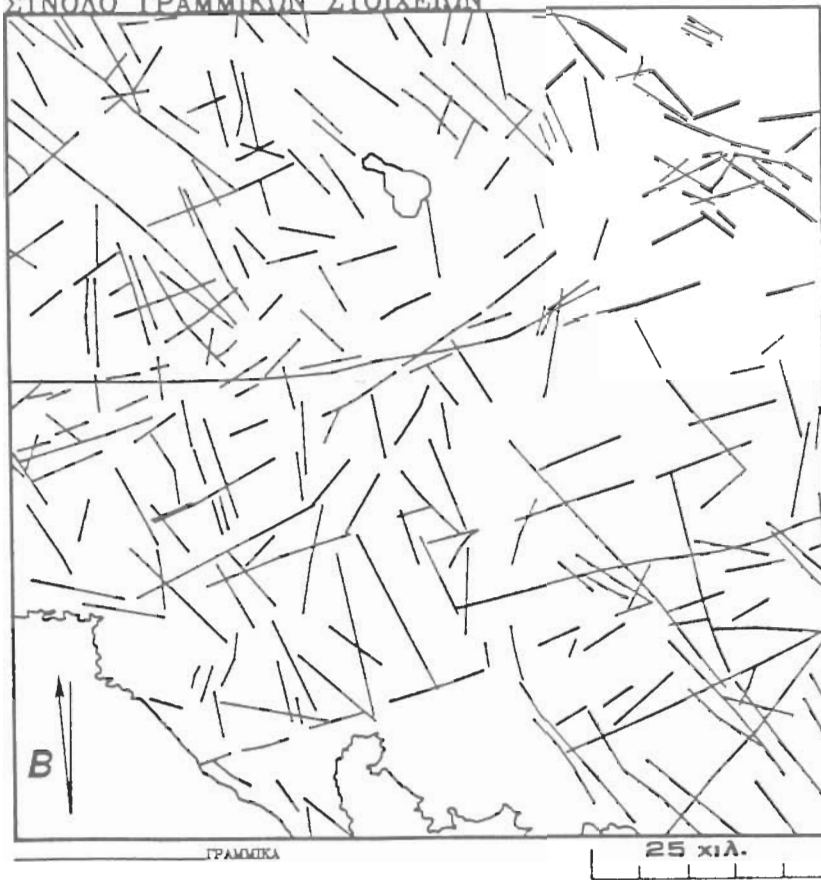
Στην παρούσα εργασία θα διατηρήσουμε στον όρο "γραμμικό στοιχείο" την έννοια που πρωτοδόθηκε από τον W. H. Hobbs (1904 & 1912), και θα θεωρήσουμε ότι πρόκειται για γραμμικά στοιχεία ευθύγραμμη ή ελαφρώς καμπύλα που ολοκληρώνουν στοιχεία διαφόρων προελεύσεων: γεωμορφολογικά, υδρογραφικά, τεκτονικά, χρήσεις γης κ.ά., ορατά στις δορυφορικές εικόνες κατά συνεχή τρόπο επί πολλών δεκάδων χιλιομέτρων. Το μήκος του γραμμικού στοιχείου είναι μία βασική φυσική του ιδιότητα. Ένα γραμμικό στοιχείο μεγάλου μήκους, από μερικές δεκάδες χιλιόμετρα και πάνω, είναι πολύ πιθανό να έχει μια γεωλογική σημασία.

Σε πρώτη φάση η ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων περιλαμβάνει την αποτύπωση όλων των γραμμικών στοιχείων τα οποία διακρίνονται σ' αυτές (η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε κατά την αποτύπωση αναφέρεται πιο κάτω), για να τους δοθεί σε δεύτερη φάση μία γεωλογική σημασία, εάν βέβαια υπάρχει. Ένας έμπειρος παρατηρητής, θα μπορούσε να διακρίνει τις εξής κατηγορίες γραμμικών στοιχείων:

1. Γραμμικά στοιχεία των οποίων η σημασία είναι προφανής: Πρόκειται για την περίπτωση κατά την οποία μπορούμε με σιγουριά να μιλήσουμε για τη φύση του γραμμικού στοιχείου όπως π.χ. ένα σιγουρο ρήγμα, μία συμφωνία, μία επώθηση. Στην περίπτωση ενός ρήγματος πολλές φορές μπορούμε να διακρίνουμε και την οριζόντια μετατόπιση (δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη).
2. Γραμμικά στοιχεία των οποίων η σημασία είναι πιθανή: Πρόκειται για την περίπτωση γραμμικών στοιχείων που εκδηλώνονται από μία συνάθροιση στοιχείων διαφορετικής φύσεως (μορφολογία, βλάστηση, υδρογραφικό δίκτυο, κ.λ.π.) τα οποία ελέγχονται όμως από τη γεωλογία.
3. Γραμμικά στοιχεία των οποίων η σημασία είναι αμφίβολη: Στις περιπτώσεις αυτές η αμφιβολία μπορεί να φύγει όταν:
 - α. Το γραμμικό στοιχείο βρίσκεται στην προέκταση ενός ρήγματος ή άλλου γραμμικού στοιχείου του οποίου η σημασία είναι βέβαιη.
 - β. Το γραμμικό στοιχείο είναι παράλληλο σε ένα ρήγμα ή σ' ένα άλλο γραμμικό στοιχείο του οποίου η σημασία είναι βέβαιη.
 - γ. Το γραμμικό στοιχείο μπορεί να συνδεθεί με γεωφυσικές ανωμαλίες. Τέτοια γραμμικά στοιχεία μπορεί να συνδέονται με μεγάλες γεωτεκτονικές δομές κρυμμένες από τα ανώτερα στρώματα, παλαιογεωγραφικές ασυνέχειες, παλαιοηφαίστειακές εκδηλώσεις και γενικά κάθε στοιχείο του οποίου χαρακτηριστικό είναι να εισάγει μία γραμμική ασυνέχεια.
4. Γραμμικά στοιχεία τα οποία δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Είναι ευνόητο ότι στη φωτοερμηνεία και τη στατιστική ανάλυση των γραμμικών στοιχείων δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη γραμμικά στοιχεία όπως δρόμοι, δενδροστοιχίες, όρια αγρών και κάθε άλλο γραμμικό στοιχείο το οποίο δεν έχει σχέση με τη γεωλογία.

Η αποτύπωση των γραμμικών στοιχείων της περιοχής έρευνας έγινε με ταυτόχρονη παρατήρηση, με τη βοήθεια κατοπτρικού στερεοσκοπίου, ζεύγους εικόνων του πολυφασματικού σαρωτή Landsat MSS (όχι στερεοσκοπικού ζεύγους). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η ψευδοχρωματική σύνθεση των φασματικών ζωνών 4, 5, 7 και η αντίστοιχη εικόνα στη φασματική ζώνη 5 (0.6 - 0.7 μ).

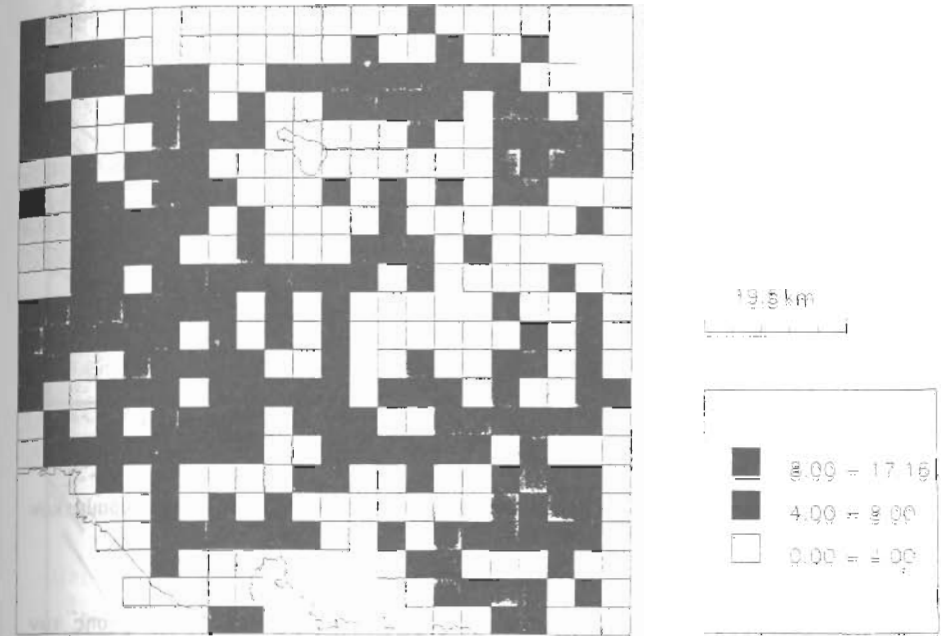
ΣΤΥΝΟΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



Σχ. 1 Χάρτης γραμμικών στοιχείων που προέκυψαν από τη φωτογεωλογική ερμηνεία.

Το αποτέλεσμα της αποτύπωσης είναι ο "Χάρτης Γραμμικών Στοιχείων" (Σχήμα 1). Στο χάρτη αυτό η περιοχή μελέτης εμφανίζει ένα μεγάλο αριθμό γραμμικών στοιχείων προς όλες τις διευθύνσεις. Επίσης στο σχήμα 2 παρουσιάζεται χάρτης πυκνότητας γραμμικών στοιχείων που απεικονίζει το συνολικό μήκος τους ανά στοιχειώδη επιφάνεια. Ο χάρτης αυτός έγινε με τη βοήθεια ειδικού αλγορίθμου Η/Υ ο οποίος μας δίνει τη δυνατότητα να εντοπίσουμε περιοχές που παρουσιάζουν υψηλή πυκνότητα γραμμικών στοιχείων και είναι συνεπώς πιο ενδιαφέρουσες για περαιτέρω έρευνα.

Στη συνέχεια κατασκευάστηκε διάγραμμα συχνότητας διευθύνσεων για το σύνολο των γραμμικών στοιχείων (Σχήμα 3), στο οποίο απεικονίστηκε το



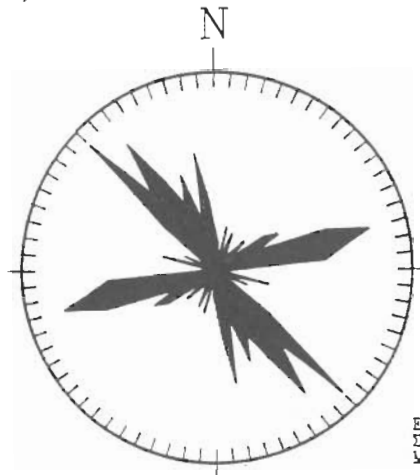
Σχ. 2 Χάρτης πυκνότητας γραμμικών στοιχείων. (Εμβαδόν στοιχειώδους επιφάνειας 15.6 km²)

συνολικό μήκος αυτών ανά διεύθυνση. Στο διάγραμμα αυτό χρησιμοποιήθηκε βήμα εύρους 5 μοιρών. Σ'αυτή την επιλογή καταλήξαμε μετά από θιασθηχικές δοκιμές με βήματα διαφορετικού εύρους, αξιοποιώντας τις δυνατότητες που παρέχουν τα προγράμματα Η/Υ που κατασκευάστηκαν για το σκοπό αυτό.

Εξετάζοντας το διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι τα γραμμικά στοιχεία της υπό εξέταση περιοχής προσανατολίζονται εκλεκτικά προς ορισμένες διευθύνσεις. Πιο συγκεκριμένα εντοπίζεται ένα ζεύγος διευθύνσεων που προσανατολίζεται ΒΔ-ΝΑ και ένα δεύτερο με προσανατολισμό ΑΒΑ-ΔΝΔ.

Η πρώτη ομάδα διευθύνσεων φαίνεται να συμπίπτει με την επικρατούσα διεύθυνση του αλπικού ιστού της ευρύτερης περιοχής ενώ η δεύτερη φαίνεται να εκφράζει τον εγκάρσιο ρηξηγενή τεκτονισμό. Η εικόνα αυτή, σε μία πρώτη εκτίμηση, συμβαδίζει με το γενικό γεωλογικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε προηγουμένως.

Σε ότι αφορά τη γεωλογική σημασία των γραμμικών στοιχείων μπορούμε να αναφέρουμε την ταξινόμηση του Rowan et al (1974) ο οποίος προτείνει να ταξινομούνται σε σχέση με τα ρήγματα που απεικονίζονται στους χάρτες με κριτήριο τη μερική αντιστοιχία ενός γραμμικού στοιχείου με ένα ρήγμα ή με ένα σύστημα ρηγμάτων, με τη συνθήκη ότι η απόκλιση τους δεν ξεπερνά τα δύο χιλιόμετρα. Η ταξινόμηση αυτή είναι βέβαια αντικειμενική αλλά φαίνεται πολύ περιοριστική. Πράγματι, έχουν σημειωθεί πολλές περιπτώσεις όπου ένα γραμμικό στοιχείο το οποίο εντοπίζεται σε μία δορυφορική εικόνα αντιστοιχεί σε ένα γνωστό ρήγμα το οποίο έχει εντοπισθεί μόνο από γεωφυσικές μελέτες, ρήγμα το



ΕΤΡΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ = 5.0
 ΣΤΡΩΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ = 1897.3
 ΜΕΓΙΣΤΟ ΜΗΚΟΣ = 156.7

Σχ. 3 Διάγραμμα συχνότητας διευθύνσεων του συνόλου (262) των γραμμικών στοιχείων.

οποίο δεν υπάρχει στους γεωλογικούς χάρτες κ.λ.π.

Στην παρούσα εργασία έγινε κατ'αρχήν προσπάθεια ταξινόμησης των γραμμικών στοιχείων σε τέσσερις κατηγορίες, με τη βοήθεια γεωλογικών χαρτών. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι παρακάτω:

- Τεκτονικές γραμμές (ρήγματα, επωθήσεις, εφιππεύσεις)
- Λιθολογικά όρια
- Μορφολογικές γραμμές
- Απροσδιόριστα γραμμικά στοιχεία

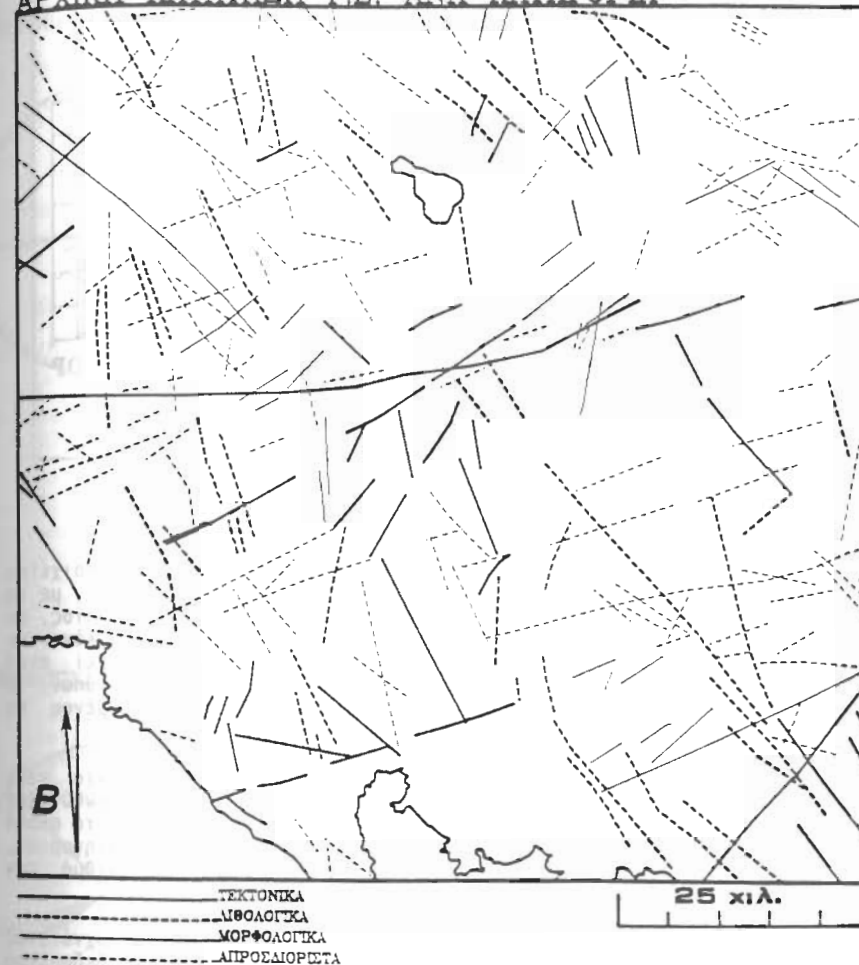
Η ταξινόμηση αυτή έγινε με μεγάλη δυσκολία και ο χαρακτήρας πολλών γραμμικών στοιχείων παρέμεινε απροσδιόριστος, δηλαδή στην τετάρτη κατηγορία. Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στο ότι οι γεωλογικοί χάρτες έχουν ελλιπή στοιχεία. Έτσι, ρήγματα τα οποία θα μπορούσαν να θεωρηθούν σίγουρα, δεν εμφανίζονται σ'αυτούς. Επίσης σε ορισμένους γεωλογικούς χάρτες δεν χαρτογραφούνται καθόλου τα ρήγματα.

Σαν μεθοδολογία για τη σύγκριση και ταξινόμηση των γραμμικών στοιχείων, χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη :

Σε πρώτη φάση, δημιουργήθηκε ένας χάρτης (σε διαφανές) στην ίδια κλίμακα με το χάρτη γραμμικών στοιχείων (1:500.000), στον οποίο χαράχτηκαν τα όρια των υπαρχόντων γεωλογικών χαρτών (κλίμακα 1:50.000). Ο χάρτης αυτός τοποθετήθηκε κάτω από το χάρτη γραμμικών στοιχείων με αποτέλεσμα, τα γραμμικά στοιχεία να τοποθετηθούν μέσα στα όρια των γεωλογικών χαρτών, πράγμα που διευκόλυνε πάρα πολύ τη σύγκρισή τους.

Αποτέλεσμα της ταξινόμησης αυτής είναι ο επόμενος χάρτης τον οποίο ονομάσαμε "Χάρτη αρχικής ταξινόμησης ανά κατηγορία" (Σχήμα 4) ο οποίος παρουσιάζει τα γραμμικά στοιχεία στα οποία δώσαμε κάποια γεωλογική ερμηνεία με τη βοήθεια των γεωλογικών χαρτών, καθώς και ένα πολύ μεγάλο αριθμό γραμμικών στοιχείων των οποίων δεν γνωρίζουμε τη γεωλογική τους σημασία (απροσδιόριστα), αν και πολλές φορές την υποψιάζομαστε.

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ Γ.Σ. ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ



Σχ. 4 Χάρτης αρχικής ταξινόμησης γραμμικών στοιχείων ανά κατηγορία.

Στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 5) μπορεί να δει κανείς την κατανομή των τεσσάρων κατηγοριών γραμμικών στοιχείων του σχήματος 4. Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται καθαρά ότι ο χαρακτήρας του μεγαλύτερου μέρους των γραμμικών στοιχείων παραμένει απροσδιόριστος.

3. ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Για να καταστεί δυνατή η ψηφιακή επεξεργασία και η ολοκλήρωση του προσδιορισμού του γεωλογικού χαρακτήρα των γραμμικών στοιχείων με τη βοήθεια Η/Υ, έγινε η ψηφιοποίηση του χάρτη των γραμμικών στοιχείων.



Σχ. 5 Διάγραμμα αρχικής κατάταξης γραμμικών στοιχείων ανά κατηγορία.

Δεδομένου ότι οι κύριες φυσικές ιδιότητες ενός γραμμικού στοιχείου είναι η διεύθυνση και το μήκος του, έγιναν οι απαραίτητοι υπολογισμοί, με τη βοήθεια του Η/Υ. Για τη διεύθυνση χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος ο οποίος, σε πρώτη φάση προσεγγίζει το γραμμικό στοιχείο με ευθύγραμμο τμήμα, κάνοντας χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, ενώ στη συνέχεια προχωρεί στον υπολογισμό της διεύθυνσης κάνοντας χρήση απλών τριγωνομετρικών τύπων. Ο υπολογισμός του μήκους έγινε με τη χρήση άλλου αλγορίθμου, βασισμένου σε τύπους αναλυτικής γεωμετρίας.

Έχοντας υπολογίσει τις παραπάνω φυσικές παραμέτρους για κάθε γραμμικό στοιχείο κατασκευάσαμε τα διαγράμματα συχνότητας διεύθυνσης (ροδοδιαγράμματα ή ροδογραμματα). Το πρόγραμμα Η/Υ που γράφτηκε για το σκοπό αυτό παρέχει την δυνατότητα επιλογής του εύρους διεύθυνσεων των κατηγοριών, καθώς και τη δυνατότητα απεικόνισης με βάση το μήκος ή τον αριθμό των γραμμικών στοιχείων.

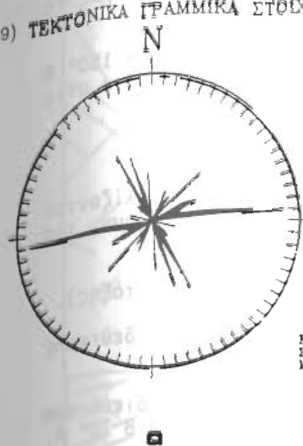
Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται διαγράμματα συχνότητας διεύθυνσεων με βάση το μήκος των γραμμικών στοιχείων ανά κατηγορία δεδομένου ότι είναι δυνατόν, κατά την ερμηνεία, ένα γραμμικό στοιχείο να γίνει αντιληπτό υπό μορφή περισσότερων μικρότερων τμημάτων. Εξάλλου, όπως προαναφέρθηκε, το μήκος ενός γραμμικού στοιχείου αποτελεί μία από τις κύριες φυσικές του ιδιότητες που είναι καθοριστική για την ερμηνεία του και τη συσχέτιση με τη γεωλογία.

Ετσι λοιπόν στο σχήμα 6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα συχνότητας διεύθυνσεων για κάθε κατηγορία γραμμικών στοιχείων χωριστά.

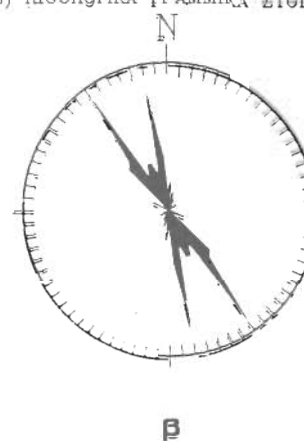
Όσον αφορά τις τεκτονικές γραμμές (Σχήμα 6α), αυτές φαίνονται να προσανατολίζονται στις ακόλουθες κύριες διευθύνσεις :

- Β 65° Α έως Β 90° Α με, ένα μέγιστο κατά τη διεύθυνση Β 85° Α

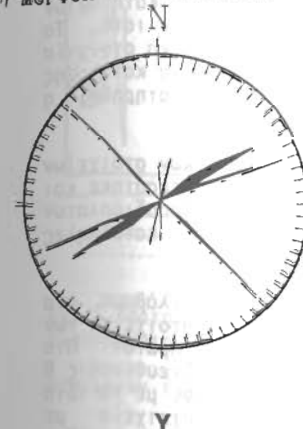
(49) ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



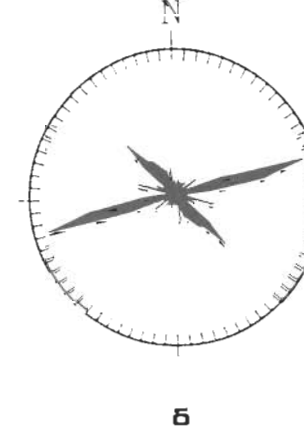
(46) ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



(28) ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



(137) ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Σχ. 6 Αρχικά διαγράμματα συχνότητας διεύθυνσης ανά κατηγορία γραμμικών στοιχείων.

(διεύθυνση πρώτης τάξης) και ένα δεύτερο κατά τη διεύθυνση B 70° A. Αυτά τα γραμμικά στοιχεία φαίνεται να ανήκουν στο εγκάρσιο, προς το αλπικό, σύστημα ρηγμάτωσης.

- B 150° A έως B 175° A με, ένα μέγιστο κατά τη διεύθυνση B 150° A (διεύθυνση δεύτερης τάξης), ένα δεύτερο στις 160° και ένα τρίτο στις 175°.
- Το εύρος αυτών των διευθύνσεων φαίνεται να αντιστοιχεί στην κύρια διεύθυνση του αλπικού τεκτονισμού.

Οι λιθολογικές γραμμές (Σχήμα 6β) φαίνεται ότι προσανατολίζονται κατά τη διεύθυνση της αλπικής πτύχωσης. Πιο συγκεκριμένα εμφανίζουν τις παρακάτω κύριες διευθύνσεις :

- B 135° A έως B 150° A με μέγιστο στις 145° (διεύθυνση πρώτης τάξης).
- B 165° A έως B 150° A με μέγιστο στις 170° (διεύθυνση δεύτερης τάξης).

Οι μορφολογικές γραμμές (Σχήμα 6γ) παρουσιάζουν μία διεύθυνση πρώτης τάξης κατά B 135° A και μία διεύθυνση δεύτερης τάξης κατά B 70° A, που περιέχεται σε ένα ευρύτερο φάσμα διευθύνσεων, B 50°-70° A

Τέλος στο διάγραμμα των απροσδιόριστων γραμμικών στοιχείων (Σχήμα 6δ) φαίνεται χαρακτηριστικά ότι το μεγαλύτερο μέρος τους θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ρηγματα δεδομένου ότι τόσο η διεύθυνση πρώτης τάξης όσο και εκείνη της δεύτερης τάξης συμπίπτουν σε γενικές γραμμές με τις πιο πάνω παρατηρηθείσες αντίστοιχες διευθύνσεις στο διάγραμμα των τεκτονικών γραμμικών στοιχείων.

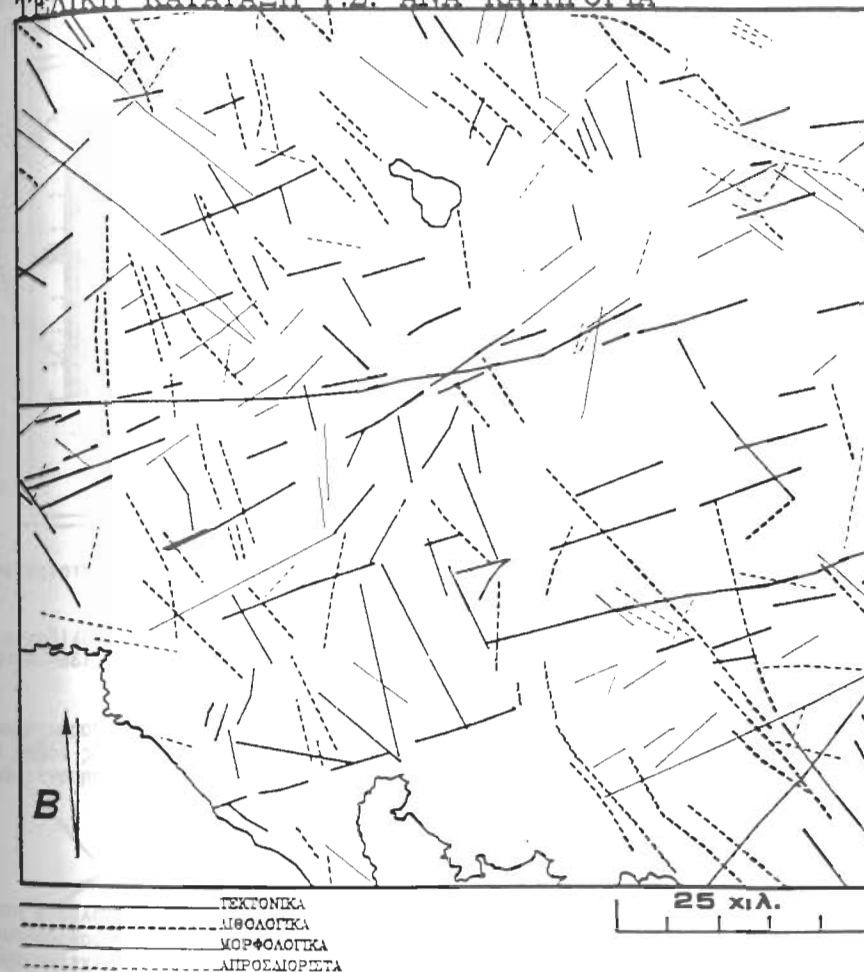
Από την παραπάνω ανάλυση των διαγραμμάτων συχνότητας διευθύνσεων είναι φανερό ότι η κατανομή των γραμμικών στοιχείων όλων των κατηγοριών ελέγχεται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό από τον τεκτονικό αλπικό ιστό. Το γεγονός αυτό μας βεβαιώνει ότι πολλά από τα απροσδιόριστα γραμμικά στοιχεία έχουν πολλαπλό χαρακτήρα. Κατά συνέπεια στην περαιτέρω προσπάθεια κατάταξης των απροσδιόριστων γραμμικών στοιχείων κρίθηκε απαραίτητο να διατηρηθεί η σχέση αιτίου -αποτελέσματος που αναφέρθηκε αρχικά.

Ο προσδιορισμός του χαρακτήρα των υπολοίπων γραμμικών στοιχείων επιχειρήθηκε με τη χρήση ειδικού γραφικού αλγορίθμου που κατασκευάστηκε και παρέχει τη δυνατότητα επαναληπτικής επιλογής και κατάταξης απροσδιόριστων γραμμικών στοιχείων συγκεκριμένου εύρους διευθύνσεων στις κατάλληλες κατηγορίες.

Κατά το πρώτο στάδιο της εργασίας αυτής συμπεριλάβαμε στα τεκτονικά γραμμικά στοιχεία όλα τα απροσδιόριστα γραμμικά στοιχεία των οποίων οι διευθύνσεις συνέπιπταν με τις κύριες διευθύνσεις των πρώτων. Πιο συγκεκριμένα προστέθηκαν τα απροσδιόριστα γραμμικά στοιχεία με διευθύνσεις B 70°-90° A και B 150°-175° A. Κατά το δεύτερο στάδιο κατετάγησαν, με τα ίδια κριτήρια, στα λιθολογικά όρια τα απροσδιόριστα γραμμικά στοιχεία με διευθύνσεις B 137.5°-150° A και B 175°-185° A. Τέλος κατά το τρίτο στάδιο χαρακτηρίσαμε σαν μορφολογικά γραμμικά στοιχεία τα απροσδιόριστα γραμμικά στοιχεία με διευθύνσεις B 50°-70° A και B 130°-137.5° A.

Η τελική κατάταξη των γραμμικών στοιχείων στις διάφορες κατηγορίες, που έγινε με την παραπάνω διεργασία παρουσιάζεται στο χάρτη "Τελική Κατάταξη ανά κατηγορία" (Σχήμα 7). Επίσης στο σχήμα 8 μπορεί κανείς να παρατηρήσει συγκριτικά ότι ο αριθμός των απροσδιόριστων γραμμικών

ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ Γ.Σ. ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ



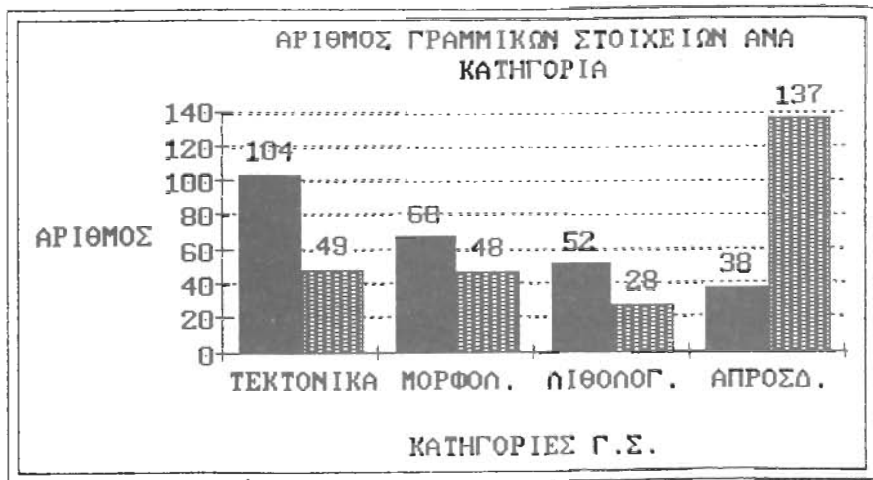
Σχ. 7 Χάρτης τελικής ταξινόμησης γραμμικών στοιχείων ανά κατηγορία. Διαγράμματα συχνότητας διευθύνσεων για κάθε κατηγορία (Σχήμα 9).

στοιχείων έχει περιοριστεί σημαντικά. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα τελικά

Εξετάζοντας τα διαγράμματα αυτά διακρίνουμε ότι τα 104 γραμμικά στοιχεία που κατετάγησαν τελικά στα τεκτονικά γραμμικά στοιχεία (Σχήμα 9α) παρουσιάζουν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό προσανατολισμό ΑΒΑ-ΔΝΔ με μέγιστο κατά τη διεύθυνση B 75° A (διεύθυνση πρώτης τάξης). Παρατηρούμε επίσης ότι το μεγαλύτερο μέρος από τα υπόλοιπα τεκτονικά γραμμικά στοιχεία έχουν διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ με διεύθυνση δεύτερας τάξης B 160° A και τρίτης τάξης B 150° A.

Τα 68 λιθολογικά γραμμικά στοιχεία (Σχήμα 9β) προσανατολίζονται

κατά δύο κύριες διευθύνσεις. Μία διεύθυνση πρώτης τάξης Β 145° Α και μία δεύτερης τάξης Β 170° Α.



Σχ. 8 Συγκριτικό διάγραμμα αρχικής και τελικής κατάταξης γραμμικών στοιχείων ανά κατηγορία.

Τα 52 μορφολογικά γραμμικά στοιχεία (Σχήμα 9γ) προσανατολίζονται κατά τρεις κύριες διευθύνσεις. Η διεύθυνση πρώτης τάξης είναι Β 135° Α, η δεύτερης τάξης είναι Β 70° Α και η τρίτης τάξης είναι Β 60° Α.

Τέλος τα 38 γραμμικά στοιχεία (Σχήμα 9δ) των οποίων ο χαρακτήρας παρέμεινε απροσδιόριστος παρουσιάζουν μία κυρίαρχη διεύθυνση πρώτης τάξης Β 105° Α και μερικές δευτερεύουσες διευθύνσεις που δεν θεωρούνται σημαντικές λόγω του περιορισμένου δείγματος στην κατηγορία αυτή.

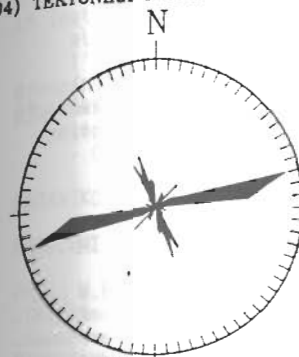
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μεθοδολογία που προτείνεται στην εργασία αυτή παρατηρούμε ότι αυτή οδήγησε στον προσδιορισμό του γεωλογικού χαρακτήρα του μεγαλύτερου μέρους των γραμμικών στοιχείων από τα οποία και ο σημαντικότερος αριθμός ανήκει στην κατηγορία των τεκτονικών.

Εξετάζοντας επίσης την τελική κατάταξη των γραμμικών στοιχείων και μελετώντας τα σχετικά διαγράμματα συχνότητας διευθύνσεως συμπεραίνουμε ότι οι κυρίαρχες διευθύνσεις που ήταν αναμενόμενες από το γεωλογικό-τεκτονικό μοντέλλο της περιοχής και επιβεβαιώθηκαν από το αρχικό στάδιο κατάταξης διατηρήθηκαν αναλλοίωτες μετά το πέρας της όλης διαδικασίας. Επιπλέον θα πρέπει να τονισθεί το μικρό μέσο μήκος που παρατηρείται για τα γραμμικά στοιχεία που παρέμειναν τελικά απροσδιόριστα. Ο τελικός έλεγχος της αξιοπιστίας της διαδικασίας είναι δυνατόν να γίνει με έρευνα υπαίθρου.

Τελειώνοντας θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η χρήση των Η/Υ κατέχει αποφασιστικό ρόλο στην υλοποίηση της εργασίας αυτής, παρέχοντας όχι μόνο μεγάλες δυνατότητες για την αποθήκευση και χειρισμό των στοιχείων, αλλά και

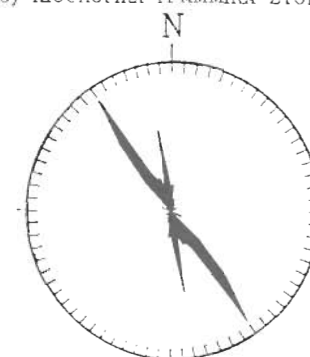
(104) ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



ΕΤΡΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ = 5.0
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ = 787.8
ΜΕΣΤΟ ΜΗΚΟΣ = 140.2

α

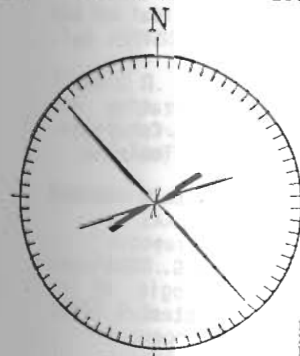
(68) ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



ΕΤΡΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ = 5.0
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ = 582.8
ΜΕΣΤΟ ΜΗΚΟΣ = 123.7

β

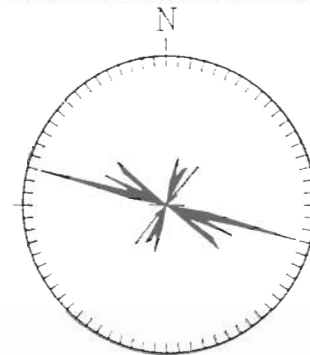
(52) ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



ΕΤΡΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ = 5.0
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ = 370.1
ΜΕΣΤΟ ΜΗΚΟΣ = 109.7

γ

(38) ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



ΕΤΡΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ = 5.0
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ = 198.8
ΜΕΣΤΟ ΜΗΚΟΣ = 37.1

δ

Σχ. 9 Τελικά διαγράμματα συχνότητας διευθύνσεως ανά κατηγορία γραμμικών στοιχείων.

μεγάλη ταχύτητα χωρίς την οποία η διαδικασία θα ήταν ασύμφορη χρονικά.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θεωρούν απαραίτητο να ευχαριστήσουν τον Αναπληρωτή Καθηγητή Δ. Παπανικολάου για την ουσιαστική συνεισφορά του κατά την ανάπτυξη της μεθόδου, και τη συμβολή του στην ολοκληρωμένη παρουσίαση της εργασίας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BAKIS H. (1978). La Photographie Aeriennne et Spatiale. - Presses Universitaires de France (Que sais je ?).
- BIJU -DUVAL B. - LAMPEREIN C. - RIVEREAU J.C. - LOPEZ N (1976). Commentaires de l' esquisse photogeologique du domaine mediterraneen. Grands traits structuraux a partir des images du satellite Landsat 1. - Rev. Inst. Fr. Pet. Vol XXXI, no 3, p. 365-400.
- B.P. Co LTD (1971). Γεωλογικά Αποτελέσματα εκ της Ερεύνης δι' αναζήτησην πετρελαίου εις Δυτικήν Ελλάδα. Ειδικά μελέται επί της Γεωλογίας της Ελλάδας. - ΥΓΕΥ, Αθήνα.
- CHOROWICZ J. - PAUL S (1974). Mise en evidance des lineaments, en Provence occidentale, sur les images obtenues par le satellite ERTS 1 ; leus signification structurale. - Bull. Soc. Geol. Fr. 7e serie, T. XVI, no 5, pp. 492-497.
- BRULHET J. - FRAYSSE Ch (1974). Utilisation des images ERTS 1 et des photographies SKYLAB 3 (NASA) en geologie: essai d' application aux Alpes externes dans le SE de la France. -Diplome de l'ENSPM, Ref. 22814, 117 p.
- CADILLAC H. (1979). Teledetection et Geologie, Essai d'Utilization den Images Landsat dans les Pyrenees, le Bassin de l' Ebre et la Catalogne. - These de Doctorat, Tome I et II, Univ. Paul Sabatier de Toulouse.
- DAVIS C. J. (1986). Statistics and data analysis in geology. -John Wiley and Sons.
- DEBRAND S. - OGIER M. - MEDIONI R. - SCANVIC J.V. - WEECKSTEEN G. Quelques exemples de correlation entre les donnees Landsat, la Geologie et les etudes geophysiques-Journees de Teledetection. -21-23 Septembre 1977, S. Mande.
- GIRARD C.M. et M.C. (1975). Application de la teledetection a l' etude de la Biosphere". - Collection Sciences Agronomiques, Paris, Masson.
- HOBBS W.H. (1904). Lineaments of the Atlantic border region. -Bull. Soc. Geol. Amer., vol. 15, pp. 483-506
- HOBBS W.H. (1912). Earth fractures and their meaning: an introduction for the student and general reader. - Mc Millan Co., New York, 506 p.
- I.Γ.Μ.Ε. Γεωλογικοί χάρτες κλίμακας (1:50.000) Φύλλα: Κληματιά, Φιλιάτες, Ιωάννινα, Πραμάντα, Καστανέα, Πάργα, Παραμυθιά, Θεσπρωτικό, Αγνάντα,

Καναλάκι, Αρτα, Πέτα, Ραυτόπουλο.

- L' Institut de Geologie et Recherches du Sous-sol-Athenes et l' Institut Francais du Petrole-mission Grece. Etude Geologique de l' Epire (Grece Nord-Occidentale). - 306 pp., 1966.
- O' LEARY D.W. - FRIEDMAN G.D. - POHN H.A. (1976). Lineament, Linear, Lineation; Some proposed new standards for old terms. - Geol. Soc. of Amer, Bul. Vol. 87, page 1467 - 1469.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ. (1986). Γεωλογία της Ελλάδας. - Αθήνα.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ. - ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1987). Νεοτεκτονική. - Θεσ/νίκη.
- PRESS W.H. - FLANNERY B.P. - TEUKOLSKY S.A. - VETTERING W.T. (1986). Numerical recipes. - Cambridge University Press.
- RIVEREAU J.C. - SOULHOL B. - DEMNATI A. - JACQUIN J.P. (1977). Contribution of Landsat imagery to geological prospecting over the Western Mediterranean areas. - The third Pecora Conference.
- ROWAN - WETLAUFER - GOETZ - BILLINGS - STUART (1974). Discrimination of rock types and altered areas in Nevada by the use of ERTS images. - Geological Survey Professional, Paper 883.
- ΣΤΕΦΟΥΛΗ Μ. - ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ Α. - ΓΕΡΟΛΥΜΑΤΟΣ Η. (1988). Συνδισμός δεδομένων τηλεπισκόπησης (Landsat - αερομαγνητικών) και γεωλογικών στην τεκτονική ανάλυση της Ν. Κρήτης. - Συνέδριο Συγχρ. εφαρμογές τηλεπισκόπησης, Θεσ/νίκη.
- ΤΣΙΤΣΑ Α.Ν. (1985). Μαθήματα γενικών μαθηματικών. - Τόμος Ι, Έκδοση Δ, Αθήνα.
- ΤΣΟΜΠΟΣ Π. - ΚΑΡΜΗΣ Π. (1988). Ρηξιγενείς δομές μεγάλου βάθους στην περιοχή μεταξύ των ποταμών Αξιού και Στρυμόνα (Β. Ελλάδα) όπως αναγνωρίζονται σε εικόνες Landsat (T.M.). - Συνέδριο Συγχρ. Εφαρμ. Τηλεπ/σης, Θεσ/νίκη.
- ΤΣΟΜΠΟΣ Π. Συγκριτικές έρευνες στη ρηξιγενή τεκτονική Δ. Ελλάδας σε δορυφορικές εικόνες 1ης και 2ης γενεάς, αεροφωτογραφίες και υπαίθρο. - Συν. Συγχρ. Εφαρμ. Τηλ/σης. Θεσ/νίκη 1988.
- ΦΟΚΑΣ Ε.Ι. (1990). Συσχέτιση των γραμμικών στοιχείων που παρατηρούνται στις δορυφορικές εικόνες Landsat της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας με γεωλογικά δεδομένα. - Διατριβή επί διδακτορία, Αθήνα.