

# δελτίο

ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ

ΤΟΜΟΣ XXXVIII - 2005

# *bulletin*

OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF GREECE

VOLUME XXXVIII - 2005





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ - CONTENTS

**1<sup>η</sup> Επιστημονική Συνεδρία  
της Επιτροπής Γεωμορφολογίας και Περιβάλλοντος  
της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας  
Θεσσαλονίκη 4 Νοεμβρίου 2005**

1.	<b>ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ Κ., ΚΟΤΑΜΠΑΣΗ Χ. , ΣΚΕΝΤΟΣ Α.</b> Γεωμορφολογική εξέλιξη του λεκανοπεδίου των Αθηνών .....	1
2.	<b>ΜΙΧΑΗΛΙΔΟΥ Α., ΧΑΤΖΗΠΕΤΡΟΣ Α., ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ.</b> Ποσοτική ανάλυση – μορφοτεκτονικοί δείκτες για τις περιοχές των ρηγμάτων Στρατωνίου – Βαρβάρας και Γοματίου – μεγάλης Παναγιάς (Ανατολική Χαλκιδική) ..	14
3.	<b>ΖΕΡΒΟΠΟΥΛΟΥ Α., ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ.</b> Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσ/νίκης για τη χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων .....	30
4.	<b>ΖΑΡΚΑΔΑΣ Π., ΜΑΡΓΩΝΗ Σ., ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ ΑΡ. &amp; ΔΑΛΕΖΙΟΣ Ν.</b> Εκτίμηση και μοντελοποίηση του κινδύνου διάβρωσης στη λεκάνη απορροής του Ξηροπόταμου Καστορίας με χρήση ΓΣΠ .....	42
5.	<b>ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ Κ., ΘΕΟΔΩΡΑΚΟΠΟΥΛΟΥ Κ., ΗΑΥΔΕΝ Β., ΤΣΟΥΡΟΥ Τ., ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Μ., ΚΟΥΛΗ Κ., ΜΠΑΣΙΑΚΟΣ Ι., ΒΑΝΔΑΡΑΚΗΣ Δ.</b> Γεωμορφολογική εξέλιξη της παράκτιας περιοχής του Ίστρου-Καλού Χωριού του νομού Λασιθίου Κρήτης από το Μέσο Ολόκαινο μέχρι σήμερα .....	54
6.	<b>ΣΤΑΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ, Α.</b> Ο κίνδυνος πλημμυρών από τον χείμαρρο Διακονιάρη του πολεοδομικού συγκροτήματος της πόλεως των Πατρών, ΒΔ Πελοπόννησος, Ελλάδα .....	69
7.	<b>ΑΛΜΠΑΝΑΚΗΣ Κ., ΣΤΥΛΛΑΣ Μ., ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ Κ., ΣΥΡΙΔΗΣ Γ.</b> Γεωμορφολογικές μεταβολές στην περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου σαν αποτέλεσμα της Ολοκαινικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας .....	77
8.	<b>ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ Κ., ΣΦΕΙΚΟΣ Α., ΠΑΡΑΣΧΟΥ Θ., ΚΕΧΑΓΙΑ Χ., ΨΩΜΙΑΔΗΣ Δ.</b> Η επίδραση της γεωλογίας και της τεκτονικής στην εξέλιξη του υδρογραφικού δικτύου και της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου της Θεσσαλίας .....	86
9.	<b>ΓΚΟΥΡΝΕΛΟΣ Θ., ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ Ν. ΚΑΙ ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ Α.</b> Ένα παράδειγμα σύζευξης γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (Γ.Σ.Π) με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης (ασαφής λογική & νευρωνικά δίκτυα): εφαρμογή στη γεωμορφολογία .....	101

10.	<b>ΓΚΟΥΣΗΣ, Κ., ΚΟΝΙΣΠΟΛΙΑΤΗΣ Ν.</b> Γεωχημική περιβαλλοντική μελέτη εδαφών της περιοχής Οινοφύτων, Ν. Βοιωτίας ...	108
11.	<b>ΣΙΓΑΛΟΣ Γ., ΑΛΕΞΟΥΛΗ-ΛΕΙΒΑΔΙΤΗ Α.</b> Εκτίμηση της τρωτότητας στη διάβρωση των γεωλογικών σχηματισμών και της παραγωγής φερτών υλών στη λεκάνη απορροής του Εσωτερικού Μαλιακού Κόλπου .....	115
12.	<b>ΜΠΑΘΡΕΛΟΣ Γ., ΣΚΥΛΟΔΗΜΟΥ Χ., ΛΕΙΒΑΔΙΤΗΣ Γ., ΚΑΙ ΒΕΡΥΚΙΟΥ-ΠΑΠΑΣΠΥΡΙΔΑΚΟΥ Ε.</b> Γεωμορφολογική και μορφοτεκτονική ανάλυση της λεκάνης απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος (Δυτ. Θεσσαλία-νομός Τρικάλων) .....	123
13.	<b>ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ Α., ΜΑΡΓΩΝΗ Σ., ΜΟΥΜΟΥ Χ., ΜΟΥΡΤΖΙΟΣ Π., ΠΕΧΛΙΒΑΝΙΔΟΥ Σ. και ΤΣΙΛΙΟΣ Σ.</b> Συμβολή στη μελέτη των γεωπυραμιδικών σχηματισμών (γεωμυθότοπων) της κοιλάδας της Ποτάμιας των δυτικών Καμβουνίων (Τρανόβαλτου Σέρβιων Κοζάνης).	134
14.	<b>ΜΠΑΘΡΕΛΟΣ Γ., ΣΚΥΛΟΔΗΜΟΥ Χ. και ΚΑΚΑΛΙΚΑ Π.</b> Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας και η χρήση της στον φυσικό και αστικό σχεδιασμό. Παράδειγμα εφαρμογής η πεδιάδα Τρικάλων – Καλαμπάκας .....	147
15.	<b>ΑΣΤΑΡΑΣ Θ., ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ Δ. και ΜΟΥΡΑΤΙΔΗΣ Α.</b> Η συμβολή των δορυφορικών πολυφασματικών εικόνων στη Γεωμορφολογία, από τη δεκαετία του '70 (δορυφόροι LANDSAT) μέχρι σήμερα (δορυφόροι IKONOS, QuickBird). Παραδείγματα από την Ελλάδα .....	157
16.	<b>ΚΑΡΥΜΠΑΛΗΣ Ε., ΓΑΚΗ-ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ Κ. και ΜΑΡΟΥΚΙΑΝ Χ.</b> Η συμβολή των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην εκδήλωση πλημμύρων .....	171
17.	<b>ΤΣΑΝΑΚΑΣ Κ., ΚΑΡΥΜΠΑΛΗΣ Ε. και ΠΑΡΧΑΡΙΔΗΣ Ι.</b> Διαχρονική παρατήρηση των μεταβολών της ακτογραμμής τμήματος της παράκτιας ζώνης του νόμου Πιερίας και εκτίμηση των επιπτώσεων από την μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης .....	182
18.	<b>ΤΡΙΚΟΛΑΣ Κ. και ΑΛΕΞΟΥΛΗ-ΛΕΙΒΑΔΙΤΗ Α.</b> Τεκτονικά ελεγχόμενα υδρογραφικά δίκτυα: η γεωλογική ιστορία των ποταμών Βουραϊκού και Λαδοπόταμου (Β. Πελοπόννησος) .....	194

**1<sup>η</sup> Επιστημονική Συνεδρία  
της Επιτροπής Γεωμορφολογίας και Περιβάλλοντος  
της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας**

**Θεσσαλονίκη 4 Νοεμβρίου 2005**

**Αμφιθέατρο «Β. Κυριαζόπουλος», Α.Π.Θ.**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Ελληνική Γεωλογική Εταιρία με ιδιαίτερη ευχαρίστηση παρουσιάζει τον XXXVIII τόμο του Δελτίου της Εταιρίας. Ο τόμος αυτός, όπως και ο προηγούμενος, XXXVII, έχει μια σημαντική ιδιαιτερότητα. Δεν προέρχεται από την Ετήσια Επιστημονική Συνεδρία της Εταιρίας. Ο τόμος XXXVIII ειδικότερα, περιλαμβάνει εργασίες που παρουσιάστηκαν σε εκδήλωση μίας από τις Επιστημονικές Επιτροπές της ΕΓΕ, της Επιτροπής Γεωμορφολογίας και Περιβάλλοντος.

Με την πρωτοβουλία αυτή της ΕΓΕ, εκτός από την περαιτέρω ανάπτυξη του Δελτίου, παρέχεται η δυνατότητα τα αποτελέσματα και άλλων εκδηλώσεων της Εταιρίας, π.χ. από την λειτουργία των Επιτροπών της ή από σημαντικές ειδικές επιστημονικές συναντήσεις, να δημοσιεύονται, να αποκτούν ευρύτερη διάδοση και να εμπλουτίζουν τα βιβλιογραφικά δεδομένα του τόπου μας. Η δημοσίευση εργασιών από τέτοιου είδους εκδηλώσεις θα γίνεται πάντοτε με τα κριτήρια που εφαρμόζει η ΕΓΕ στις δημοσιεύσεις της. Αυτό εφαρμόσθηκε και στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπου η διαδικασία επιλογής και δημοσίευσης των εργασιών που περιλαμβάνονται στον εδώ τόμο έγινε ύστερα από κρίση σύμφωνα με τα κριτήρια αυτά, με ευθύνη της Επιτροπής.

Επιθυμώ εκ μέρους του Δ.Σ. να συγχαρώ την Επιτροπή Γεωμορφολογίας και Περιβάλλοντος και την Πρόεδρό της, Καθηγήτρια Αλίκη Λειβαδίτη, για την εξαιρετική δραστηριότητά τους και τα επιστημονικά αποτελέσματα που δημοσιεύονται στον τόμο αυτό.

Πάυλος Γ. Μαρίνος  
Πρόεδρος του Δ.Σ. της ΕΓΕ





## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Επιτροπή Γεωμορφολογίας και Περιβάλλοντος με ιδιαίτερη χαρά παρουσιάζει τον τόμο XXXVIII του Δελτίου της Ε.Γ.Ε. που περιέχει τις επιστημονικές εργασίες οι οποίες ανακοινώθηκαν στην 1<sup>η</sup> Επιστημονική Συνεδρία της, που πραγματοποιήθηκε στη Θεσσαλονίκη στις 4-11-05 με μεγάλη επιτυχία και συμμετοχή.

Η Επιτροπή Γεωμορφολογίας και Περιβάλλοντος ιδρύθηκε τον Μάιο του έτους 2004, στα πλαίσια των δραστηριοτήτων της ΕΓΕ με τη δημιουργία επιτροπών στα διάφορα αντικείμενα των Γεωεπιστημών. Από τη θέση αυτή τα μέλη του εκτελεστικού γραφείου της Επιτροπής Γεωμορφολογίας και Περιβάλλοντος επιθυμούν να ευχαριστήσουν τον Πρόεδρο και το διοικητικό συμβούλιο της ΕΓΕ και όλους τους συναδέλφους που στηρίζουν τις δραστηριότητές της και να τους βεβαιώσουν ότι θα προσπαθήσουν να ανταποκριθούν στις προσδοκίες τους και να τις αναπτύξουν

Στόχος της επιτροπής Γεωμορφολογίας και Περιβάλλοντος αποτελεί η ανάπτυξη του γνωστικού αντικείμενου της γεωμορφολογίας και της μελέτης του περιβάλλοντος μέσα από την συνεργασία των ελλήνων γεωεπιστημόνων, μελών της ΕΓΕ καθώς και τρίτων. Η επιτροπή στηρίζει όλες τις επιμέρους επιστημονικές ενότητες της Γεωμορφολογίας και του Περιβάλλοντος όπως Εφαρμοσμένη Γεωμορφολογία και Γεωπεριβάλλον, Σύγχρονες τεχνικές και μέθοδοι στη Γεωμορφολογία, Μορφοτεκτονική, Ποτάμια και Παράκτια Γεωμορφολογία, Γεωαρχαιολογία, κ.α. με στόχο τη διάδοση του γνωστικού αντικείμενου στο σύνολο της επιστημονικής κοινότητας της χώρας μας αλλά και παγκοσμίως.

Η επιτροπή στηρίζει και θα συνεχίσει να στηρίζει έμπρακτα το επιστημονικό έργο των Ελλήνων Γεωεπιστημόνων με τη διοργάνωση συνεδρίων και ημερίδων καθώς επίσης και με τη στελέχωση ομάδων εργασίας που θα προάγουν την επιστημονική γνώση προς το συμφέρον της κοινωνίας. Η αρχή αυτής της προσπάθειας πραγματοποιείται με τον τόμο αυτό.

Η επιτροπή θα εργαστεί με συνέπεια και μεθοδικότητα για την συνεχή παρουσία των ελλήνων γεωμορφολόγων στα διεθνή Συνέδρια και Φόρουμ αντιπροσωπεύοντας έτσι σε διεθνές επίπεδο τους Έλληνες Γεωμορφολόγους των οποίων η παρουσία είναι ουσιαστική και αδιάλειπτη, σε ατομικό όμως επίπεδο.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Καθηγητή κ. Αντώνιο Ψιλοβίκο και στον Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. για την άριστη διοργάνωση της πρώτης μας συνάντησης, καθώς και σε όλους τους συναδέλφους που συμμετείχαν σε αυτή.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω το Πρυτανικό Συμβούλιο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, που στηρίζοντας την προσπάθειά μας, ανέλαβε την εκτύπωση του τόμου αυτού.

Με τιμή  
η Πρόεδρος της Επιτροπής  
Γεωμορφολογίας και Περιβάλλοντος

*Αλίκη Αλεξούλη - Λειβαδίτη*



## Γεωμορφολογική εξέλιξη του λεκανοπεδίου των Αθηνών

ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ Κ.<sup>(1)</sup>, ΚΟΤΑΜΠΑΣΗ Χ.<sup>(1)</sup>, ΣΚΕΝΤΟΣ Α.<sup>(1)</sup>

### ABSTRACT

This study is based on the collection, process and management of the geographical, geological and geomorphological data of the area of the basin of Athens with main objects the construction of a geomorphological map of the study area, the description and the study of the geoshapes that exist and the approach of the geomorphological evolution of the basin. The main erosion forms such as gorges and erosion surfaces are observed in the northern part of the study area at the mountain of Parnitha compare to the deposition forms that we meet in the southern part. As well as landforms like inselberg and alluvial fans give important information for the geomorphological evolution of the basin of Athens.

Keywords: geomorphology, basin of Athens, geomorphological map.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη έρευνα στηρίζεται στη συλλογή, επεξεργασία και διαχείριση γεωγραφικών, γεωλογικών και γεωμορφολογικών δεδομένων της περιοχής του Λεκανοπεδίου των Αθηνών με σκοπό την κατασκευή ενός γεωμορφολογικού χάρτη της συγκεκριμένης περιοχής, την περιγραφή και μελέτη των γεωμορφών που συναντώνται καθώς και την προσέγγιση της γεωμορφολογικής εξέλιξης του λεκανοπεδίου. Οι κυριότερες μορφές διάβρωσης (φαράγγια, επιφάνειες ισοπέδωσης) παρουσιάζονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης στον ορεινό όγκο της Πάρνηθας σε αντίθεση με τις μορφές απόθεσης που συναντώνται κυρίως στο νότιο τμήμα. Παράλληλα γεωμορφές όπως λόφοι μάρτυρες και αλλουβιακά ριπίδια δίνουν σημαντικές πληροφορίες για τη γεωμορφολογική εξέλιξη του λεκανοπεδίου των Αθηνών.

Λέξεις κλειδιά: γεωμορφολογία, λεκανοπέδιο Αθηνών, γεωμορφολογικός χάρτης.

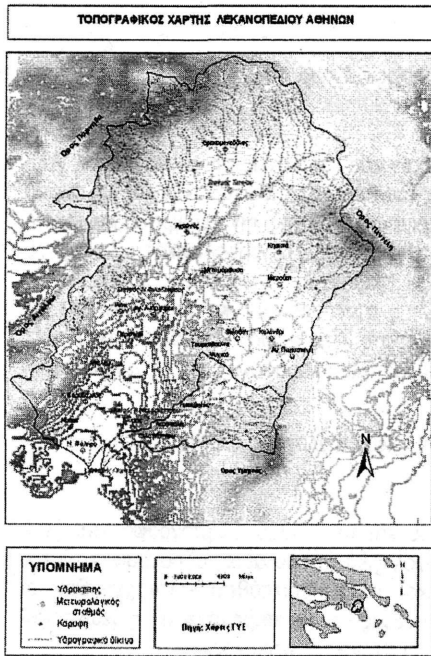
### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το λεκανοπέδιο των Αθηνών αποτελεί τη μεγαλύτερη και σημαντικότερη από τις τέσσερις πεδιάδες της Αττικής, με έκταση 383 km<sup>2</sup>. Οριοθετείται φυσικά από τους ορεινούς όγκους του Αιγάλεω, της Πάρνηθας, της Πεντέλης και του Υμηττού ενώ στο νότο καταλήγει στον Σαρωνικό κόλπο (Σχήμα 1). Εντός του λεκανοπεδίου δεν υπάρχουν ποτάμια με την έννοια της συνεχούς ροής παρά μόνο χείμαρροι που μετά από έντονες βροχοπτώσεις παρουσιάζουν εποχιακή ροή. Οι σημαντικότεροι εξ αυτών είναι ο Κηφισός και ο Ιλισός. (Α. Παπαπέτρου-Ζαμάνη κ.α., 1989, Gourmelos et al. 1990). Το μεγαλύτερο τμήμα του λεγόμενου λεκανοπεδίου των Αθηνών αποτελούν τα δύο υδρογραφικά δίκτυα του Κη-

φισού και του Ιλισού. Χαρτογραφούνται γεωμορφολογικά οι δύο αυτές υδρογραφικές λεκάνες και γίνεται προσπάθεια να συσχετισθούν οι γεωμορφές και να παρουσιαστεί η γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής.

Οι πληροφορίες για το τοπογραφικό και γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής συλλέχθηκαν από χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1:25.000 και του ΙΓΜΕ 1:50.000 αντίστοιχα. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά προέρχονται τόσο από έρευνα πεδίου όσο και από την επεξεργασία των γεωμορφολογικών πληροφοριών με τεχνικές GIS. Η συμβολή των τεχνικών GIS στην κατασκευή του γεωμορφολογικού χάρτη αφορά κυρίως στον εντοπισμό ορισμένων γεωμορφών (κρημνοί, επιφάνειες ισοπέδωσης) μέσα από τη δημιουργία χάρτη κλίσεων (Σχήμα 2) και εκθέ-

σεων (Σχήμα 3). Η συσχέτιση των δύο επιμέρους θεματικών χαρτών κλίσεων και έκθεσης δίνει πρόσθετες πληροφορίες για την παρουσία κρημνών, επιφανειών ισοπέδωσης και διεύθυνσης αυτών, αποτελώντας ένα χρήσιμο εργαλείο για την συλλογή στοιχείων στο πεδίο εντοπίζοντας στο χώρο τις περιοχές εμφάνισης των γεωμορφών. Λόγω απουσίας γεωμορφολογικών συμβόλων από το λογισμικό Arcview δημιουργήσαμε νέα σύμβολα απεικόνισης γεωμορφών βασισμένα στους Tricard J. (1972), DEMEK J. (1973), Gardiner, V. & Dackombe, R. (1983), Goudie, A. et al. (1981), Κ. Παυλόπουλο (1992).

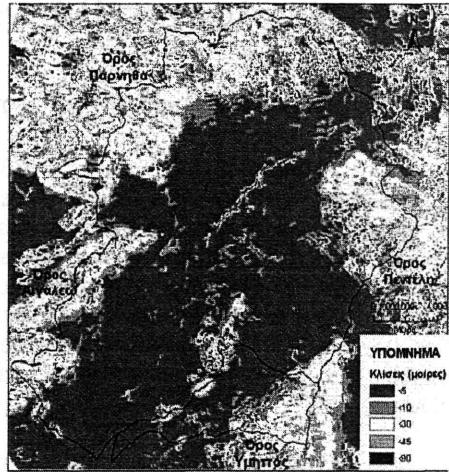


Σχήμα 1: Τοπογραφικό υπόβαθρο λεκανοπεδίου

**1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ**

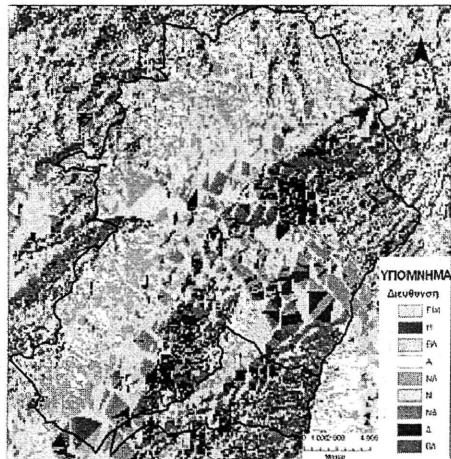
Στο λεκανοπέδιο των Αθηνών εμφανίζονται αλπικοί και μεταλπικοί σχηματισμοί, με τους δεύτερους να υπέρκεινται των αλπικών, οι οποίοι εμφανίζονται κυρίως στους ορεινούς όγκους και τους λόφους (Σχήμα 4). Οι αλπικοί σχηματισμοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες που είναι: α. η Ενότητα Αττικής και β. Η Υποπελαγονική ενότητα. Οι μεταλπικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στο λεκανοπέδιο

ΧΑΡΤΗΣ ΚΛΙΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ



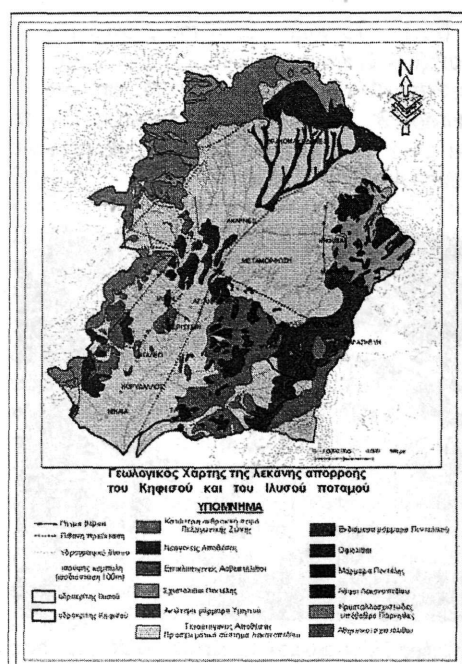
Σχήμα 2 Χάρτης κλίσεων

ΧΑΡΤΗΣ ΕΚΘΕΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ



Σχήμα 3 Χάρτης έκθεσης

διακρίνονται σε νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις (Clement et al. 1982, Παπανικολάου κá, 2004). Αναφορικά με τους ορεινούς όγκους, τόσο η Πάρνηθα όσο και το Αιγάλεω αποτελούνται από κατώτερη ανθρακική σειρά πελαγονικής ζώνης ενώ σε Πεντέλη και Υμηττό συναντώνται μεταμορφωμένα πετρώματα (μάρμαρα, σχιστόλιθοι, σχιστογενέσιοι). (Σχήμα 4).



Σχήμα 4.

Σε ολόκληρη την Αττική συναντάται ένα αλλόχθονο σύστημα πετρωμάτων που είναι επωθημένο στα σχετικά αυτόχθονα πετρώματα. Πρόκειται είτε για τα μεταμορφωμένα (άνωτερο, κατώτερο μάρμαρο, σχιστόλιθοι Καισαριανής, αθηναϊκοί σχιστόλιθοι), είτε όχι (τριαδικοί και κρητιδικοί ασβεστόλιθοι). Το σύστημα αυτό στα κατώτερα στρώματα αποτελείται από εκρηξιγενή οφιολιθικά πετρώματα και στα ανώτερα από κρητιδικούς ασβεστόλιθους. (Katsikatsos 1976, Clement et al. 1983, Katsikatsos et al. 1986).

Η γεωλογική εξέλιξη του λεκανοπέδιου της Αττικής είναι αποτέλεσμα του Αλπικού τεκτονισμού που διακρίνεται από τις ασυνεχείς παραμορφώσεις. Κατά μήκος του Κηφισού ποταμού διακρίνεται μια ρηξιγενής ζώνη με διεύθυνση BBA-NNΔ (Σχήμα 4). Η ζώνη αυτή είναι μία από τις αιτίες για τις μορφολογικές ανωμαλίες του υδρογραφικού δικτύου και την ασυμμετρία που παρουσιάζει ο ποταμός στον ανατολικό και δυτικό του κλάδο. (Goumelos et al. 1990). Επίσης, η ζώνη αυτή χωρίζει το λεκανοπέδιο σε δύο τμήματα, το ανατολικό και το δυτικό. Τα δύο αυτά τμήματα διαφέρουν όσον αφορά στην νεοτεκτονική τους δραστηριότητα. Στο δυτικό τμήμα εμφανίζονται κυρίως μεταλπηκοί σχηματισμοί καθώς το αλπικό υπόβαθρο έχει βυθιστεί. Οι μεταλπηκοί σχηματισμοί οριοθετούνται από δύο ρηξιγενείς ζώνες BBA-NNΔ διεύθυνσης κατά μήκος του Αιγάλειου και της Πάρνηθας. Στο

ανατολικό τμήμα το αλπικό υπόβαθρο είναι ανυψωμένο και δεν εμφανίζονται μεταλπηκοί σχηματισμοί παρά μόνο πολύ μικρού πάχους. (Παπανικολάου κá, 2004).

## 2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Μορφολογικά, το λεκανοπέδιο της Αττικής αποτελεί μια επιμήκη λεκάνη με διεύθυνση BBA και με χαμηλό υψόμετρο που φτάνει τα 400μ περίπου. Περιτριγυρίζεται από τέσσερις ορεινούς όγκους υψηλού ανάγλυφου: τον Υμηττό (1027μ), την Πεντέλη (1108μ), την Πάρνηθα (1413μ) και το Αιγάλεω (468μ) (Σχήμα 5).

Πέρα από τους μεγάλους ορεινούς όγκους, στο λεκανοπέδιο συναντάμε, με διεύθυνση ΒΑ, ΝΔ, μια ομάδα λόφων των οποίων το υψόμετρο μειώνεται καθώς προχωράμε προς τα ΝΔ (Σχήμα 6). Εντός της συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής δεν υπάρχουν ποτάμια με την έννοια της συνεχούς ροής παρά μόνο χείμαρροι που μετά από έντονες βροχοπτώσεις παρουσιάζουν εποχιακή ροή. Οι σημαντικότεροι εξ αυτών είναι ο Κηφισός, ο Ιλισός και οι παραπόταμοί τους, Ποδονίφτης στα ανατολικά, Βατουρίωνας στα βόρεια.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τα παραπάνω φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά το λεκανοπέδιο μπορεί να χωριστεί σε τρεις γεωμορφολογικές ενότητες, οι οποίες είναι:

### 2.1 Οι ορεινοί όγκοι (Υμηττός, Πεντέλη, Πάρνηθα, Αιγάλεω).

Ο Υμηττός, στην ανατολή και στο νότο, είναι επιμήκης αλλά όχι συνεχής. Το νότιο κομμάτι είναι διαχωρισμένο από το βόρειο και φαίνεται να έχει «μετακινηθεί» ανατολικά σε χαμηλότερο υψόμετρο. Επιφάνειες ισοπέδωσης συναντώνται εντός της λεκάνης απορροής του Ιλισού ποταμού (ΒΔ τμήμα Υμηττού) σε υψόμετρα 400-440, 680-700 και 920-980 μέτρων και συσχετίζονται βάσει υψόμετρου και λιθολογίας με τις αντίστοιχες της Πεντέλης (Σχ.8).

Στο δυτικό μέρος του βουνού και κατά μήκος του Ιλισού ποταμού συναντάται μια κοιλάδα με κατά βάθος διάβρωση σχήματος V σε ύψος 380 -520 μέτρων μήκους 1,5km (Σχ.8). Πιστεύεται ότι η «διαίρεση» του βουνού έγινε κατά μήκος ενός άξονα με διεύθυνση BBA-NNΔ σε απόσταση λίγων εκατοντάδων μέτρων δυτικά από την κορυφή, αλλά δεν έχει βρεθεί ακόμα κάποιο τεκτονικό στοιχείο που να το αποδεικνύει (Goumelos et al. 1990). Επίσης, σε μερικές

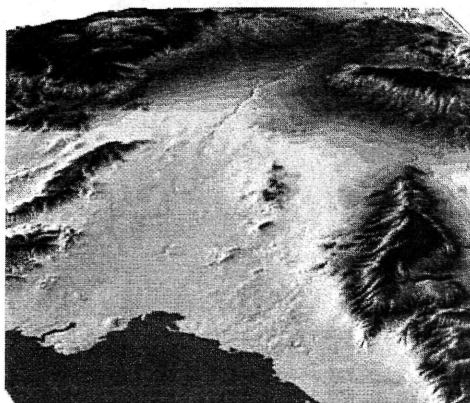
από τις πλαγιές του βουνού με μικρή σχετικά κλίση παρατηρούνται πλευρικά κορήματα. Γενικά πάντως, τα δυτικά πρηνή του βουνού στο βόρειο τμήμα τους παρουσιάζουν σταθερές κλίσεις γύρω στο 23-25%, στο κεντρικό τμήμα τους η κλίση αυξάνεται και φτάνει το 31% ενώ στο νότιο μειώνεται σταδιακά στο 4% (Αντωνίου Β., 2002). Απότομες κλίσεις, άνω των 100% (45°) παρατηρούνται στο ΒΔ τμήμα σε ύψη 700 και 900 μέτρων (Σχ.8).

Η Πεντέλη βρίσκεται στα ΒΑ του λεκανοπεδίου. Πρόκειται για ένα συμμετρικό βουνό με απότομες κλίσεις ιδιαίτερα στην ΒΑ πλευρά. Γενικά οι μέσες κλίσεις των πρηνών του βουνού κυμαίνονται μεταξύ 7 και 24%. Στο ΝΔ τμήμα υπάρχουν αβαθείς κοιλάδες με απότομα πρηνή (Αντωνίου Β., 2002). Επιφάνειες ισοπέδωσης εντός τη λεκάνης υπάρχουν στα υψόμετρα 720-800, 460-500 (Σχ.9).

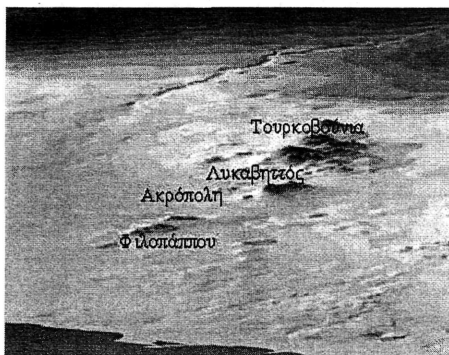
Η Πάρνηθα στα ΒΒΑ του λεκανοπεδίου είναι ο μεγαλύτερος από τους τέσσερις ορεινούς όγκους καθώς και ο υψηλότερος. Στα υψόμετρα ανάμεσα στα 800-1000μ. η επιφάνεια είναι σχετικά πολύ διαβρωμένη (Goumellos et al., 1990). Εκεί συναντώνται κοιλάδες με κατά βάθος διάβρωση σχήματος V, ενώ στις νοτιοδυτικές πλαγιές βρίσκονται 3 φαράγγια με κατά βάθος διάβρωση σχήματος V. Βρίσκονται σε υψόμετρα 500 έως 1200 μέτρα και τα μήκη τους από δυτικά προς ανατολικά είναι 2,5km, 3km, 3,2km. Το βάθος τους ποικίλει από 100 έως 300 μέτρα. (Σχ.10). Η παρουσία τους οφείλεται πιθανώς στις ανοδικές κινήσεις λόγω τεκτονισμού που έδρασε στην περιοχή την εποχή του Ανώτερου Μειόκαινου (23εκ. χρόνια πριν). Η κλίση των πρηνών του βουνού παρουσιάζει διαφορές σε κάθε τμήμα. Έτσι, στα ΝΔ φτάνει το 75%, στα κεντρικά τμήματα 65% και στα ΒΑ 22-28% (Αντωνίου Β., 2002). Επίσης συναντώνται κλιτείς με κλίση μεγαλύτερη από 100%. (Σχ.10). Τέλος, συναντάμε επιφάνειες με κλίση μικρότερη από 10% (επιφάνειες ισοπέδωσης) σε υψόμετρα 300-320, 360-440, 420-520, 540-560, 600-680, 700-780, 1020-180, 1200-1260, 1300-1320. Στις επιφάνειες αυτές παρατηρούνται καρστικές γεωμορφές (Σχ.10) και κλίνουν προς το εσωτερικό της λεκάνης απορροής.

Το Αιγάλεω είναι μια επιμήκης κορυφή που το υψόμετρό της υπερβαίνει τα 300μ. Διαιρείται σε δύο μέρη με το νότιο να είναι υψηλότερο από το βόρειο. Επιφάνειες ισοπέδωσης παρατηρούνται σε ύψη 200-260, 340-420 ενώ απότομη κλίση (>100%) παρατηρείται στο νότιο τμήμα και εφάπτεται της επιφάνειας ισοπέδω-

σης (Σχ.11). Τα νότια πρηνή του βουνού παρουσιάζουν διαφορές με κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 8% στα βόρεια και 13% στο νότιο (Αντωνίου Β., 2002). Τέλος, παρατηρείται κοιλάδα με κατά βάθος διάβρωση σχήματος V μήκους 1,4km (Σχ.11).



Σχήμα 5 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DEM



Σχήμα 6 Οι λόφοι των Αθηνών σε μεγέθυνση

## 2.2 Η πεδιάδα των Αθηνών

### 2α Υπώρειες

Μεταξύ των ορεινών όγκων και την πεδιάδα της Αθήνας συναντούμε τις υπώρειες με χαρακτηριστικές τις επιφάνειες με μικρή κλίση. Καλύπτονται από ποτάμιες αποθέσεις ενώ στα νότια του Αιγάλεω και στα νοτιοδυτικά του Υμηττού σε χαμηλότερα υψόμετρα συναντώνται νεογενείς, θαλάσσιες, υφάλμυρες αποθέσεις. Εδώ συναντώνται κώνιοι απόθεσης που είναι Ολοκαινικής ηλικίας με εξαίρεση κάποιους παλαιότερους κώνους Πλειστοκαινικής ηλικίας που συναντάμε στα νότια της Πάρνηθας και σε χαμηλότερο υψόμετρο από τους Ολοκαινικούς.

## 2β. Πεδιάδα

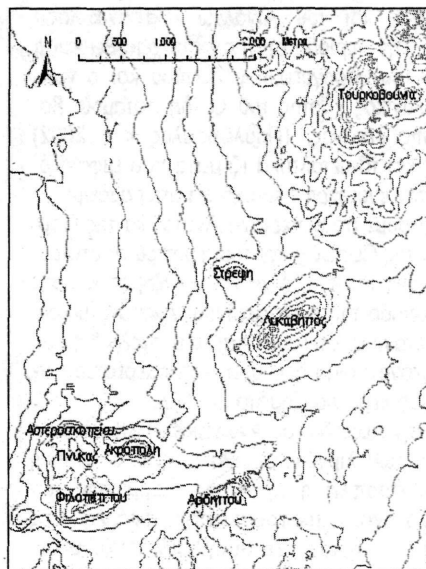
Η πεδιάδα των Αθηνών εκτείνεται πέρα από τις υπώρειες ως τα παράλια ενώ το μέγιστο υψόμετρο της στη βάση των ορεινών όγκων δεν ξεπερνά τα 400μ. Χαρακτηρίζεται από μικρές κλίσεις πρηνών που κυμαίνονται από 1,5-6,5%. Σε αυτό, φυσικά, αποτελείουν εξαίρεση οι λόφοι που εμφανίζουν πολύ μεγάλες κλίσεις. Το μεγαλύτερο μέρος της πεδιάδας βρίσκεται μπροστά από την Πάρνηθα και το Αιγάλεω. Η κλίση με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ είναι περίπου 2%. Σε υψόμετρα, 100-400μ συναντάμε περιοχές και κοιλάδες με έντονη κατά βάθος διάβρωση που φτάνει μέχρι και τα 10μ. Αυτό πρέπει να οφείλεται στην κλιματική αλλαγή της τελευταίας Παγετώδους περιόδου, όπου η στάθμη της θάλασσας βρισκόταν 120m περίπου χαμηλότερα από τη σημερινή σε συνδυασμό με τις τεκτονικές ανοδικές κινήσεις της Πάρνηθας. Τα χαμηλότερα τμήματα αυτών των «κοιλάδων» καλύφθηκαν από πιο πρόσφατες αποθέσεις. Η απόθεση στην πεδιάδα των Αθηνών φαίνεται να ήταν συνεχής τουλάχιστον κατά τη διάρκεια της Τεταρτογενούς περιόδου. Ενδεικτικά στο βόρειο τμήμα της περιοχής συναντώνται κοιλάδες με κατά βάθος διάβρωση σχήματος Π (στον άνω ρου του Κηφισού). Στην ίδια περιοχή χαρακτηριστική είναι η ύπαρξη αναβαθμιδών (Γεωμορφολογικός Χάρτης Σχ.8-11).

## 2.3 Οι λόφοι του λεκανοπεδίου

Οι λόφοι, που έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, χωρίζουν το λεκανοπέδιο σε ανατολικό και δυτικό. Από τα ΒΑ συναντάμε τους τέσσερις βασικούς λόφους που είναι: Τα Τουρκοβούνια (323m), ο Λυκαβητός (265m), η Ακρόπολη (142m) και ο λόφος του Φιλοπάππου (161m). Οι τέσσερις λόφοι που βρίσκονται στην επιφάνεια του λεκανοπεδίου είναι βραχύδη κατάλοιπα ενός προηγούμενου ανάγλυφου στον τελευταίο σχηματισμό της Αθηναϊκής πεδιάδας (Σχ. 7) και μπορούν να θεωρούνται ως λόφοι μάρτυρες inselberg.

Θεωρείται βέβαιο ότι η θάλασσα κατά το Νεογενές έφτανε μέχρι την περιοχή της Ακρόπολης και πιθανότατα να την είχε περικυκλώσει για μικρή χρονική περίοδο. Αποθέσεις του Πλειόκαινου έχει ανιχνευτεί δυτικά του Λυκαβητού σε ύψος 120 μέτρων (Goumellos et al. 1990, Παπανικολάου κ.α.,2004). Οι αποθέσεις της ίδιας περιόδου είναι πιο έντονες στα δυτικά του νότιου τμήματος του Υμηττού. Στην περιοχή αυτή εμφανίζονται πολλοί κώνοι και ριπίδια.

Τέλος, στα Τουρκοβούνια βρέθηκαν αργιλικές αποθέσεις στα ρήγματα και τις διακλάσεις των ασβεστόλιθων και χρονολογούνται στην Πλειστοκαινική Περίοδο (Sindowski K., 1949). Δευτερεύοντες λόφοι είναι αυτοί του Αρείου Πάγου (115m), του Αστεροσκοπείου (104m), της Πνύκας (109m), του Φιλοπάππου (147m) και του Κολωνού (68m). (Goumelos et al. 1990). (Σχ. 7).



Σχήμα 7. Οι λόφοι του λεκανοπεδίου

## 3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το τελικό τοπίο στο τέλος της Αλτικής ορογένεσης ήταν μια ορεινή φυσιογραφία τελείως διαφορετική από την σημερινή (Goumelos et al. 1990). Κατά την περίοδο του Ανώτερου Μειόκαινου, το ανάγλυφο ήταν πολύ εντονότερο από σήμερα, αφού τους ορεινούς όγκους γύρω από το λεκανοπέδιο διαδέχονταν βυθίσματα και λόφοι στο εσωτερικό του. Η ακτογραμμή έφτανε ως τον λόφο του Φιλοπάππου, ενώ στο κεντρικό τμήμα οι λόφοι δημιουργούσαν ένα φυσικό φράγμα που εμπόδιζε την έξοδο του νερού προς τη θάλασσα δημιουργώντας έτσι δύο λίμνες, μία στο βόρειο τμήμα και μία στο δυτικό, εποχιακές όμως αφού η ύπαρξη του νερού εξαρτιόταν άμεσα από την παροχή των χειμάρρων. Την περίοδο αυτή τοποθετούνται οι επιφάνειες ισοπέδωσης των 540-560m και 600-680m ενώ οι επιφάνειες ισοπέδωσης σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 1000m και παρατηρούνται κυρίως στην Πάρνηθα, μπορεί να θεωρηθούν παλαιότερες. Σημαντική είναι η μικρή παρουσία επιφανειών ισοπέδωσης στο ανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου και ιδιαίτερα στους ορεινούς

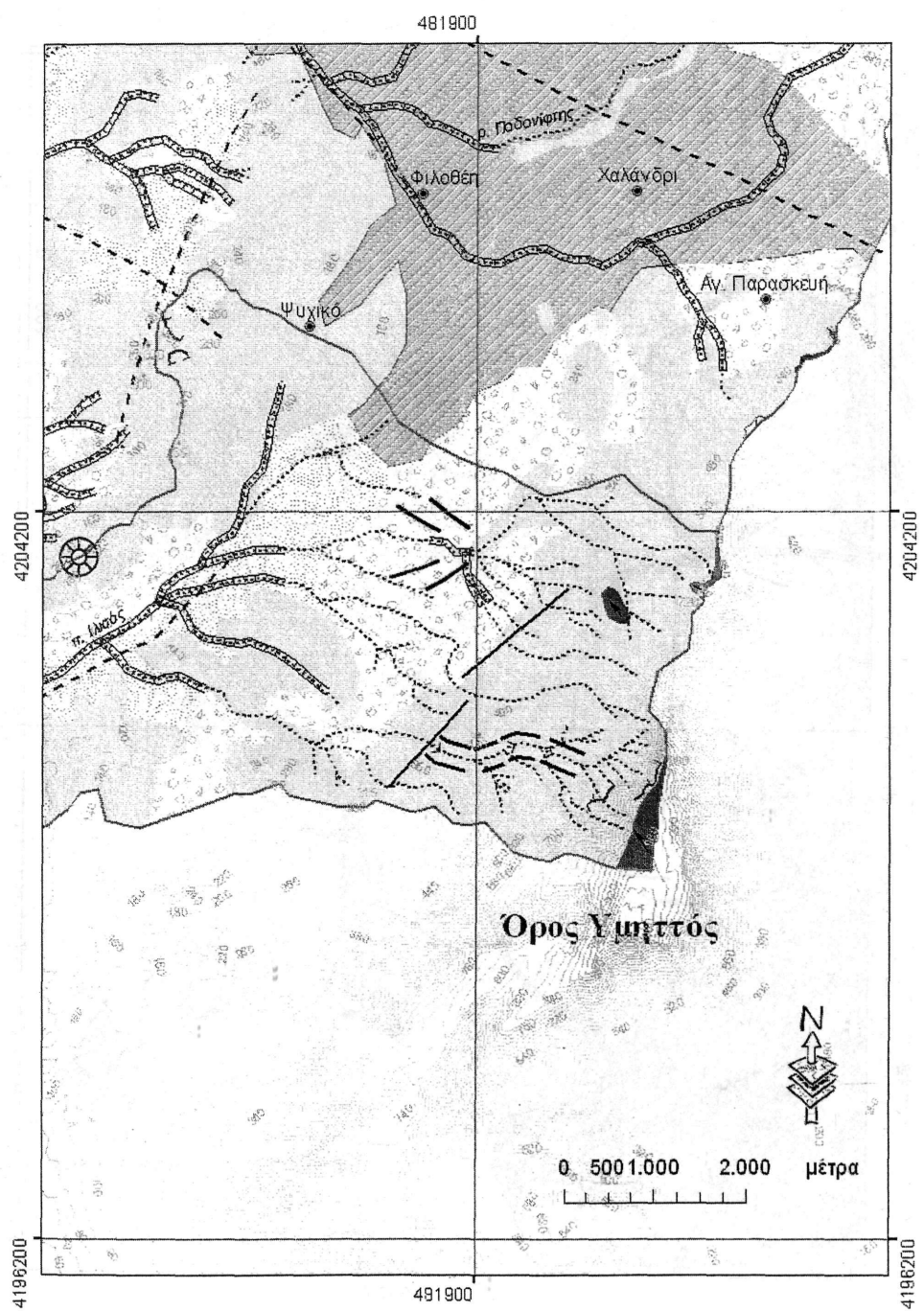
όγκους του Υμητού και της Πεντέλης σε αντίθεση με το δυτικό τμήμα Πάρνηθας και Αιγάλεω. Αυτό δικαιολογείται και με την παρουσία σχηματισμών χερσαίας φάσης στο ανατολικό τμήμα σε σχέση με τα λιμναία φάσης στο δυτικό. Όσον αφορά την τεκτονική δραστηριότητα, έχουμε την επίδραση του ρήγματος με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ που ευθύνεται για την ανύψωση της Πάρνηθας και του Αιγάλεω (Παπανικολάου, 2004). Την περίοδο αυτή αν συσχετισθεί και η εξέλιξη του υδρογραφικού δικτύου και ο γεωμορφολογικός χάρτης του Οινόη ποταμού, βόρεια της λεκάνης, (Παυλόπουλος κ.α. 2002) καθώς και τα μεταλλικά ιζήματα που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι η περιοχή Ανατολικά της Πάρνηθας, της Πεντέλης και του Υμητού αποτελούσε λεκάνη υποδοχής χερσαίων ιζημάτων κατά την περίοδο του Α.Μειοκαινού. Ανάλογη μικρότερη λεκάνη αποτελούσε και το ανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου δεχόμενη λεπτομερέστερα σε σύσταση χερσαία ιζήματα.

Στην περίοδο του Ανώτερου Πλειόκαινου η έκταση των λιμνών μειώθηκε, ενώ σημαντική εξέλιξη αποτελεί η αρχή της διάβρωσης των ορεινών όγκων, τροφοδοτώντας παράλληλα τις λίμνες με ιζήματα. Σε αυτήν την περίοδο δημιουργούνται οι επιφάνειες ισοπέδωσης στους ορεινούς όγκους και οι κοιλάδες με έντονη κατά βάθος σχήματος V. Στην περίοδο αυτή τοποθετούνται οι επιφάνειες ισοπέδωσης σε υψόμετρα 420-500m και 320-420m. Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης ήταν μικρότερο και αναπτυσσόταν μέχρι τα όρια των λόφων των Αθηνών.

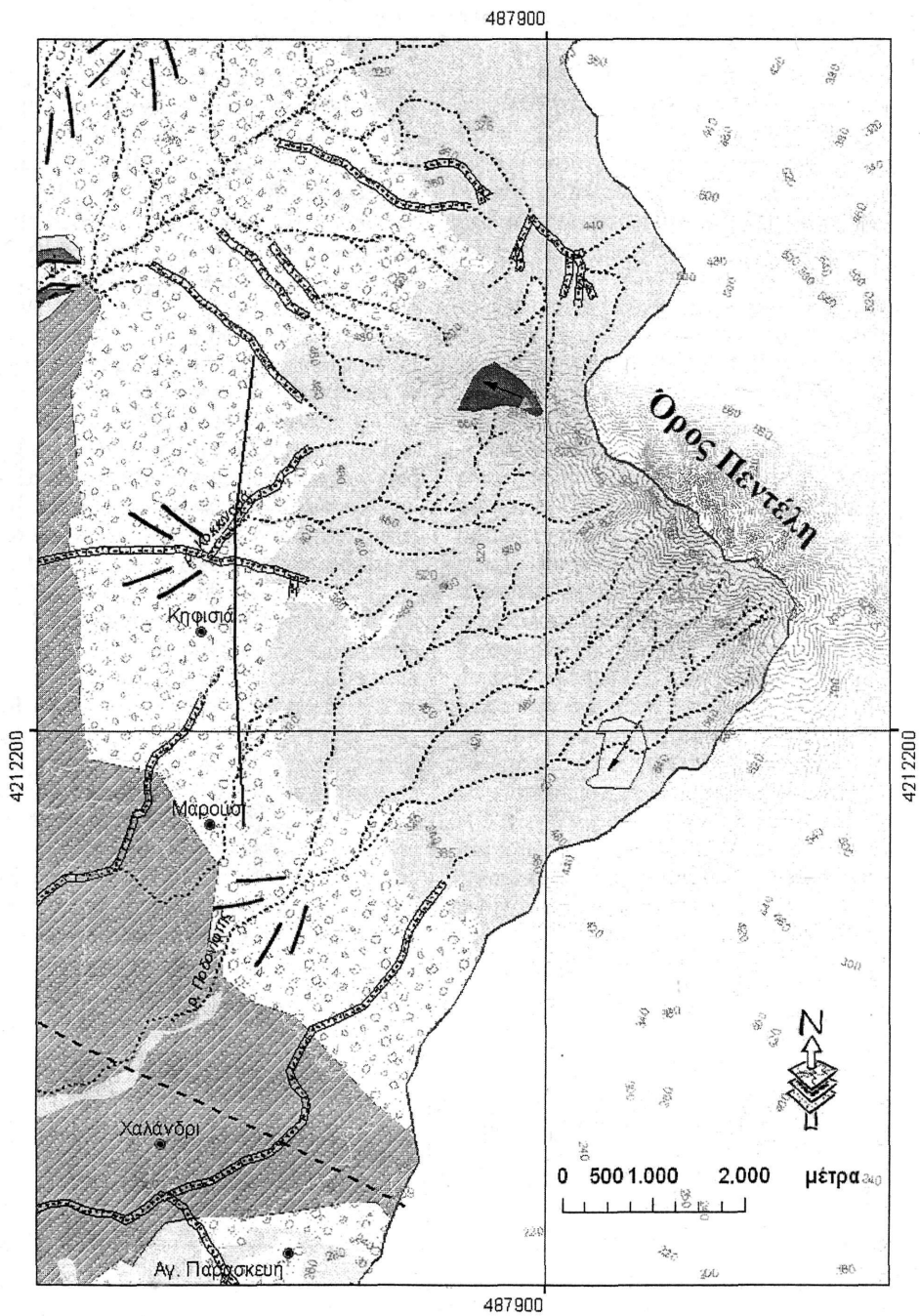
Κατά την περίοδο του Κατώτερου-Μέσου Πλειστόκαινου το λεκανοπέδιο άρχισε να παίρνει μορφή που προσεγγίζει κατά πολύ τη σημερινή. Τα βουνά υπέστησαν διάβρωση αποθέτοντας στις πλαγιές ριπίδια, κώνους κορημάτων και κορήματα και το εσωτερικό εξομαλύνθηκε. Έτσι το «φράγμα» έπαψε να υφίσταται, και το νερό βρήκε διέξοδο προς τη θάλασσα. και άρχισε να αναπτύσσεται το υδρογραφικό δίκτυο του Κηφισού, ο οποίος ακολούθησε τη ρηγιγενή ζώνη με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ. Τα κοιλαδικά δίκτυα συνέχισαν την κατά βάθος διάβρωση στις πεδινές περιοχές ακολουθώντας τις κλιματικές μεταβολές του Πλειστοκαινού ενώ παράλληλα τα φαράγγια στις ορεινές περιοχές συνέχισαν την εκβάθυνσή τους περιοδικά.

Η εικόνα του λεκανοπεδίου παραμένει περίπου ίδια τα τελευταία τρία με πέντε χιλιάδες χρόνια, με εξαίρεση την παράκτια ζώνη και τις εκβολικές περιοχές. Χαρακτηρίζεται από το χαμηλό μέσο υψόμετρο, με ομαλές κλίσεις στο εσωτερικό με μόνη εξαίρεση τους λόφους και περιβάλλεται από έντονο ανάγλυφο ορεινούς όγκους. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει ασυμμετρία αφού είναι ανεπτυγμένο στο βόρειο τμήμα ενώ στο νότιο υπάρχουν λίγοι μικρού μήκους και παροχής νερού κλάδοι. Στην περίοδο αυτή η παρουσία του ανθρώπου είναι έντονη και ιδιαίτερα τους τελευταίους δύο αιώνες όπου οι παρεμβάσεις στις υδρογραφικές λεκάνες και στις κοίτες είναι καθοριστικές εξαφανίζοντας και αλλοιώνοντας στο μεγαλύτερο μέρος τις γεωμορφές και το υδρογραφικό δίκτυο.

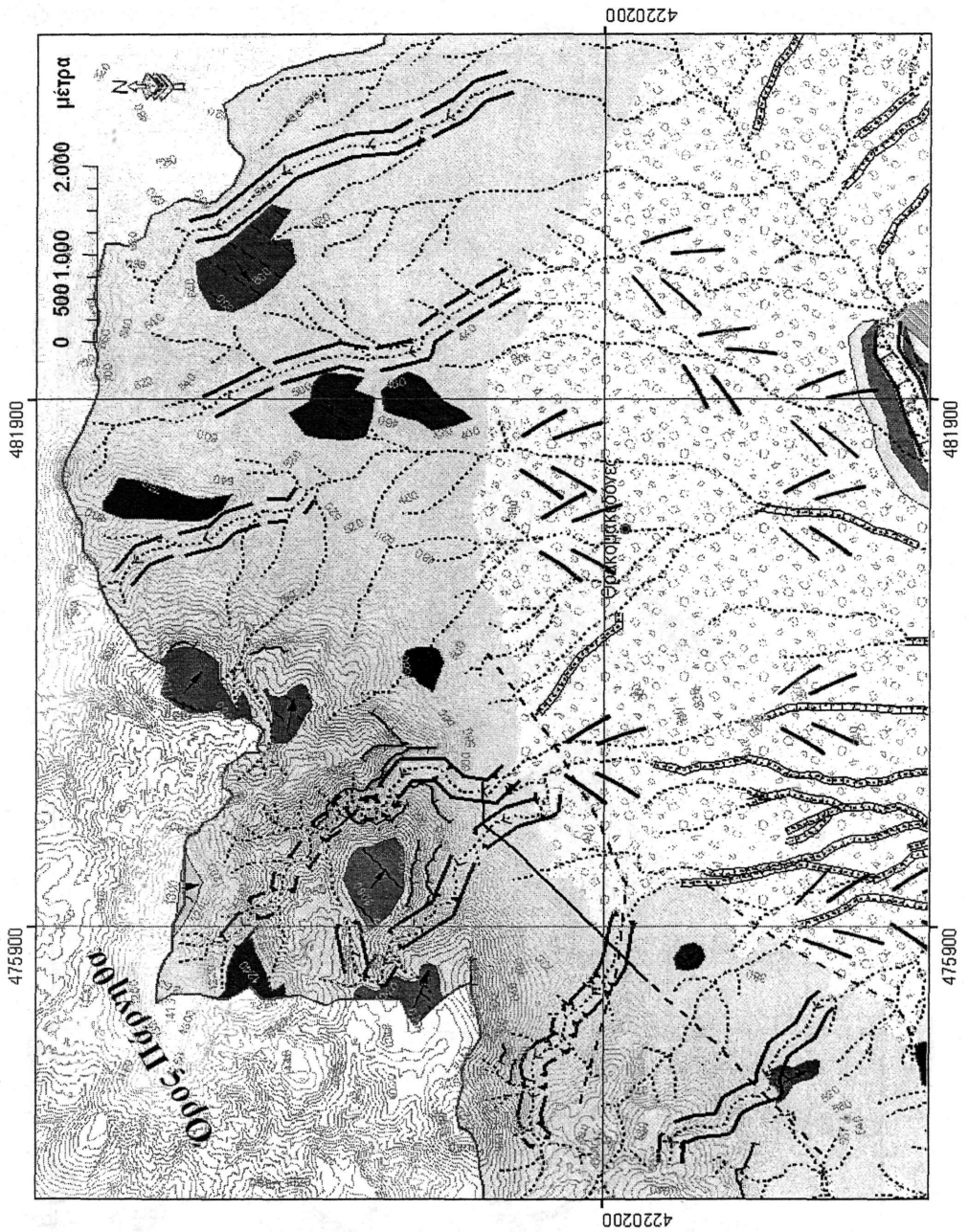




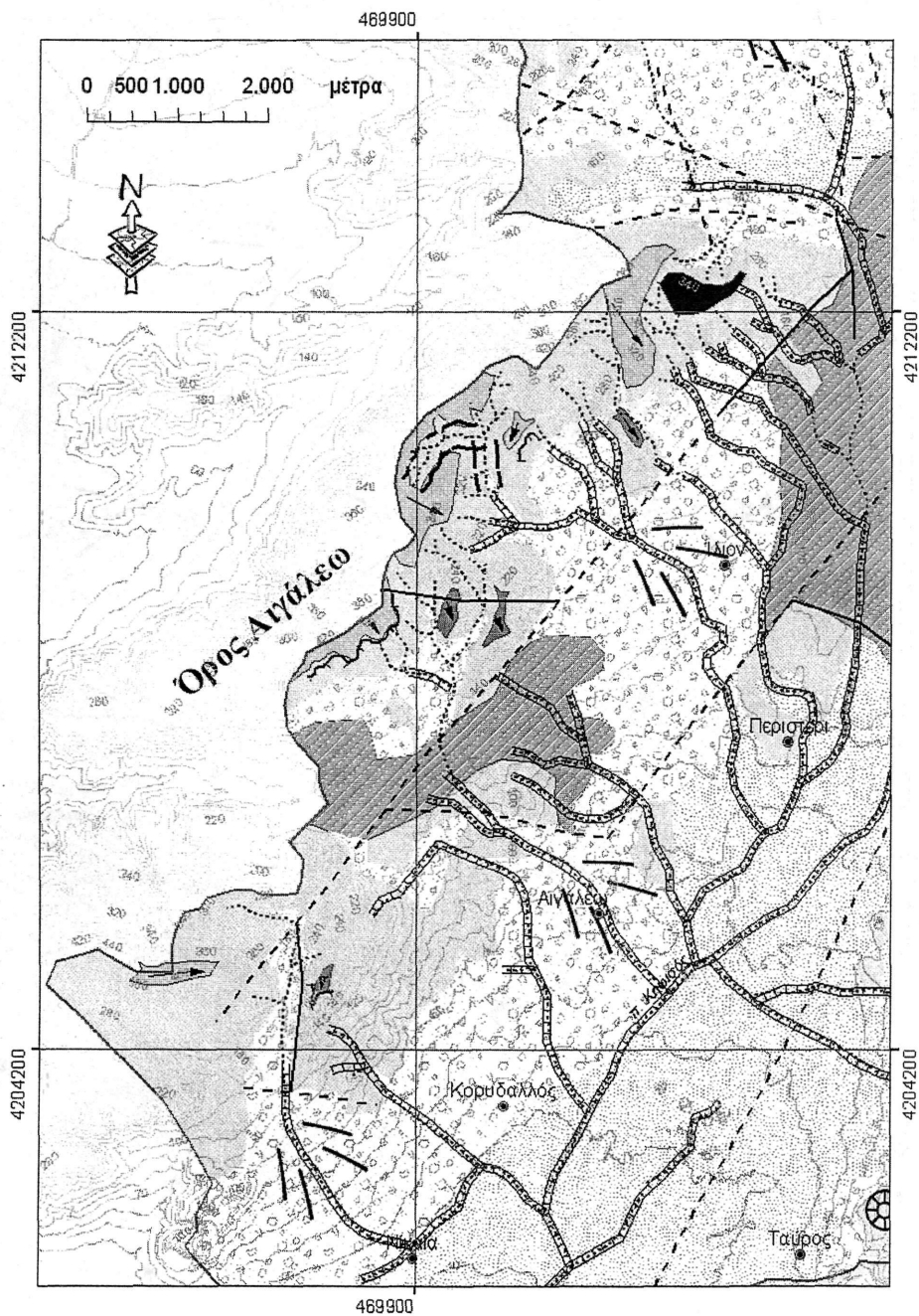
Σχήμα 8. Γεωμορφολογικός Χάρτης (Όρος Υμηττός)



Σχήμα 9. Γεωμορφολογικός Χάρτης (Όρος Πεντέλη)

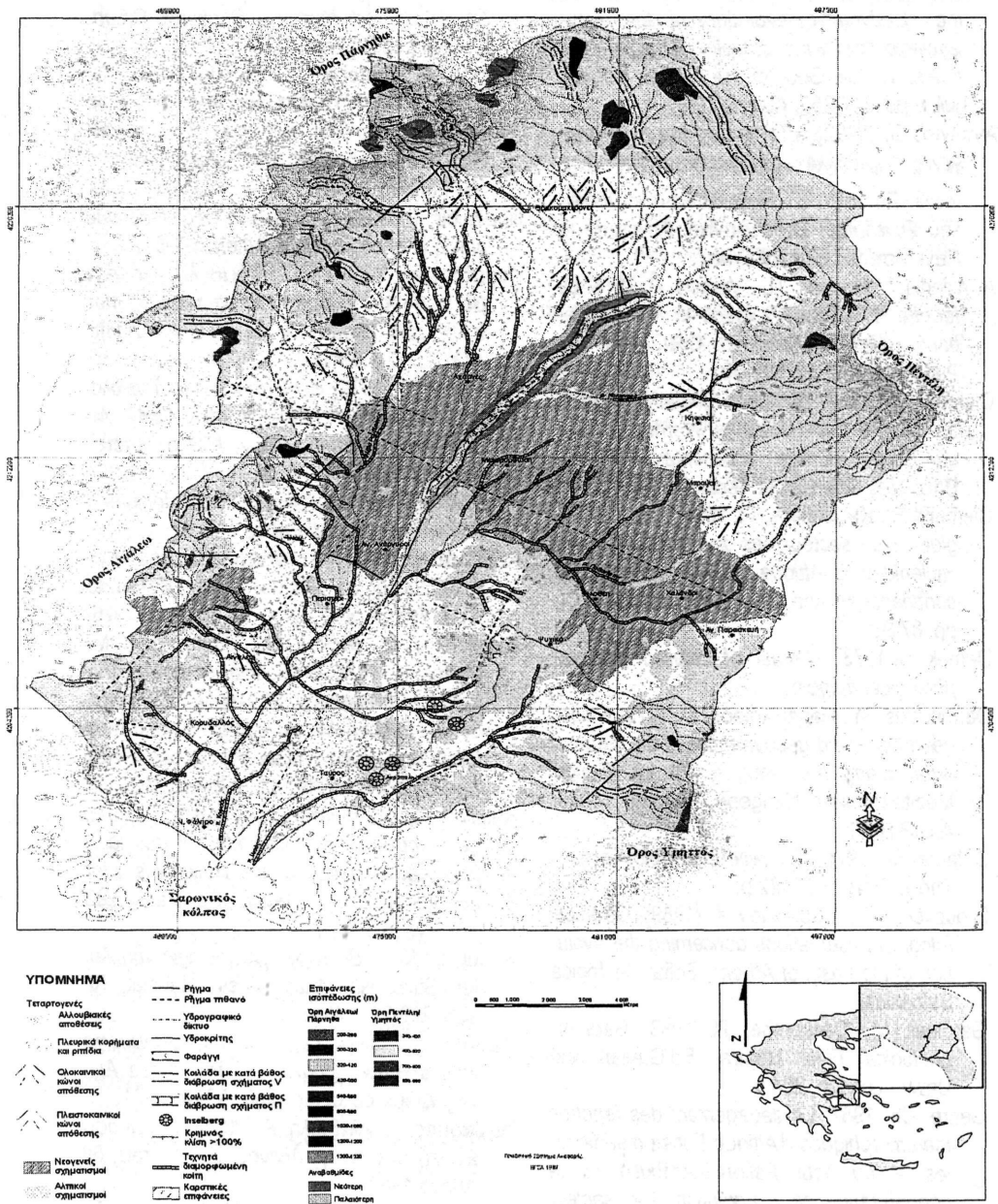


Σχήμα 10. Γεωμορφολογικός Χάρτης (Όρος Πάρνηθα)



Σχήμα11. Γεωμορφολογικός Χάρτης (Όρος Αιγάλεω)

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ



Σχήμα 12. Ολοκληρωμένος γεωμορφολογικός χάρτης του λεκανοπεδίου των Αθηνών.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Altherr, R. & Seidel, E. 1977. *Speculations on the geodynamic evolution of the Attic-Cycladic crystalline complex during Alpidic times*. VI Coll. Geol. of the Aegean Region, vol. I, pp. 347-352. Athens 1977.
- Αντωνίου Β. (2002), «Το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον του λεκανοπεδίου Αθηνών», Πρακτικά 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Argyriadis, I., Mercier, J.L., Vergely, P. 1976. *La fenetre d' Attique-Cyclades et les correlations Hellenides-Taurides*. C.R. Acad. Sc. Paris, vol. 283, pp. 599-601.
- Clement, B. 1983. *Evolution geodynamique d' un secteur des Hellenides internes: L' Attique-Boetie (Grece continentale)*. These, Univ. des Sciences et Techn. de Lille.
- Clement, B., Katsikatsos, G. 1982. *Etude geologique d'un secteur des zones internes des Hellenides: L' Attique septentrionale (Grece continentale)*. Ann. Soc. Geol. Nord. vol. CI, pp. 87-96.
- Demek, J., 1973. *Manual of detailed geomorphological mapping*
- Dermitzakis, M., Papanikolaou, D. 1979. *Paleogeography and geodynamics of the Aegean area during the Neogen*. VII Int. Congr. Mediterranean Neogene, Athens 1979. A.G.P.H. VII.
- Dufaure, J. 1975. *La relief du Peloponnese*. These, Paris IV, 1422 p.
- Γκουρνέλος Θ., Μαρουκιάδης Χ. (1989), *Geomorphological observations concerning the evolution of the basin of Athens*, Sofia: Geologica Balcanica.
- Gardiner, V., Dackombe, R. 1983. *Geomorphological Field Manual*. Ed.G.Allen and Unwin, London, 254 p.
- Genre, Ch. 1987. *Le degagement des fenestres metamorphiques d'Attique Eubee meridionales et du haut Pelion*. Contribution a la connaissance de l' enolution d'un secteur des Hellenides internes (Grece), du Miocene inferieur au Quaternaire moyen. Et. Mediteraneennes, 12, pp.33-60.
- Goudie, A., Anderson, M., Burt, T., Lewin, J., Richards, K., Whalley, B., Worsley, P. 1981. *Geomorphological Techniques. Ed. for the British Geomorphological Research Group*, G.Allen and Unwin, London.
- Herforth, A., Schroder, B., Theodoropoulos, D. 1972. *Zur Jungpleistozanen und Holozanen Kustenmorphologie zwischen Korinth und Sud-Attika*. Bull. Geol. Soc. Greece, vol VIII, pp. 194-198, Athens.
- Iliopoulos, P. 1951. *L'Attique au point de vue phisique et economique*. Athenes 1951.
- Καραπιπέρης, Λ. 1960. *Συμβολή εις την μελέτην των κλιματικών συνθηκών των προς των Σαρωνικών ακτών της Αττικής*. Δελτ. Γ.Υ.Σ., Αθήνα 1960.
- Κασιόκας, Ν. (1989) «Συνοπτική γενική γεωλογική θεώρηση της Αττικής», σελ. 42-47, Αττικό τοπίο και περιβάλλον, Αθήνα: Υπουργείο Πολιτισμού.
- Κασιόκας Γ., (1986) *La structure tectonique d' Attique et de l' ile d' Eubee*.
- Katsikatsos, G. 1976. *La structure tectonique de l' Attique et de l'ile de Eubee*. Bull. Soc. Geol. France, vol. 19, pp. 75-80, Paris 1976.
- Katsikatsos, G., Migiros, G., Triantaphyllis, M., Mettos, A. 1986. *Geological structure of internal Hellenides*. (E.Thessaly, SW.Macedonia, Euboea-Attica-Northern Cyclades islands and Lesvos). Geol. & Geoph. Res. Special issue, pp. 191-212. Athens 1986.
- Katsikatsos, G., Mercier, J., Vergely, P. 1976. *La fenetre d'Attique-Cyclades et des fenestres metamorphiques des Hellenides internes (Grece)*. C. R. Acad. Sc. Paris, 283, 1613-1616, Paris.
- Kober, L. 1929. *Beitrag zur Geologie von Attika*. Sitzungsber. Akad. Wiss. Mat-Nat. Kl., 138, 299-327, Wien.
- Λειβαδίτης, Γ. 1974. *Γεωλογικά και γεωμορφολογικά παρατηρήσεις επί της νήσου Αιγίνης*. Διδακτορική διατριβή. Αθήνα 1974.
- Λειβαδίτης, Γ., Αλεξούλη, Α. 1983. *Γεωμορφολογική μελέτη της Αίγινας*. Π.Α.Α., τομ. 58, Αθήνα 1983.
- Leleu, M. & Neumann, M. 1969. *L' age des formations d'Attique: du paleozoique au mesozoique*. C.R.Ac.Sc. Paris, D, 268, pp. 1361-1363.

- Λεοντάρης, Σ. 1985. Έρευνα επι των *Beachrocks* του Αιγαίου. Παρατηρήσεις επι της παρουσίας και αναπτύξεως τών *Beachrocks* εις τα παράλια ΝΑ-ΝΔ Εύβοιας -Α.Αττικής - ΒΑ Βοιωτίας. Π.Α.Α, τόμ. 60, σελ. 625-645.
- Lepsius, R. (1893): *Geologie von Attika*. Berlin 1893.
- Μαριολλάκος Η., Παπανικολάου Δ. (1973), *Παρατηρήσεις επί της τεκτονικής του δυτικού Πεντελικού - Αττική*, Αθήνα: Ελληνική Γεωλογική Εταιρεία.
- Μηστάρδης, Γ. (1960): *Παλαιοτεταρτογενείς επιφανειακοί σχηματισμοί (εξ αδρομερών ιδία υλικών) εν Ανατολική Αττική*. Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, σελ 50-61.
- Mistardis, G. (1976): *Recherches sur l' evolution du relief dans le Centre-Ouestegee au Miocene et au Pliocene*. Bull. Soc. Geol. France, vol. XVIII, pp. 217-223, Paris.
- Miskovsky, J. (1987): *Geologie de la prehistoire, methodes, techniques, applications*. Ed. Assoc. *Etude Environnement Geolog. de la Prehistoire*. Paris 1987.
- Παπανικολάου, Δ. (1986): *Γεωλογία της Ελλάδας*. Αθήνα 1986.
- Παπανικολάου Δ., Μπάση Ε., Κράνης Χ., Δανάμος Γ. (2004) «*Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του λεκανοπεδίου Αθηνών από το Άνω Μειόκαινο έως σήμερα*», Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τόμος XXXVI, Θεσσαλονίκη: Πρακτικά 10<sup>ου</sup> διεθνούς συνεδρίου.
- Παπαπέτρου-Ζαμάνη Α. (1995), *Γεωμορφολογία*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία
- Παπαπέτρου-Ζαμάνη Α., Καμπούρογλου Ε. (1989) «*Γεωμορφολογικές μεταβολές του Αττικού τοπίου τα τελευταία 18.000 χρόνια*», σελ. 58-63, Αττικό τοπίο και περιβάλλον, Αθήνα: Υπουργείο Πολιτισμού
- Παρασκευαΐδη, Η., Χωριανοπούλου, Π. (1978): *Μια τομή από το βουνό Αιγάλεω. Ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος, οι λόφοι της Αθήνας*. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας. τομ. XIII/2, σελ. 116-141.
- Παυλόπουλος Κ., Καρύμπαλης Ε., Μαρουκιάν Χ. 2002. *Γεωμορφολογική εξέλιξη του Οινόη ποταμού 6<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, 2002 Θεσσαλονίκη*.
- Παυλόπουλος Κ. (1997) «*Γεωμορφολογική εξέλιξη της νότιας Αττικής*», Γαΐα No 2, Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο.
- Ρενιέρης, Κ. (1933): *Το λατεριτικόν κλίμα εις την Αττικήν*. Π.Α.Α, σελ. 271-274.
- Sindowski, K. (1949): *Der geologische Bau von Attika*. A.G.P.H., v. 2, p. 163-218, Athens.
- Sorel, D. (1976): *Etude neotectonique dans l'arc Egeen externe occidental*. These, p. 196, Paris 1976.
- Tricard J. 1972. *Normes pour l'etablissement de la carte geomorphologique detaillee de la France:classification codee, criteres d'identification et legende pratique*. pp.11-37, IN Memoirs et Documents, J.Dresch edition, CNRS 1972.
- Χαραλαμπίκης, Σ. (1951): *Συμβολή στην γνώση του Νεογενούς της Αττικής*. A.G.P.H., v. IV, Αθήνα 1951.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Altherr, R. & Seidel, E. 1977. *Speculations on the geodynamic evolution of the Attic-Cycladic crystalline complex during Alpidic times*. VI Coll. Geol. of the Aegean Region, vol. 1, pp. 347-352. Athens 1977.
- Αντωνίου Β. (2002), «Το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον του λεκανοπεδίου Αθηνών», Πρακτικά 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Argyriadis, I., Mercier, J.L., Vergely, P. 1976. *La fenetre d' Attique-Cyclades et les correlations Hellenides-Taurides*. C.R. Acad. Sc. Paris, vol. 283, pp. 599-601.
- Clement, B. 1983. *Evolution geodynamique d' un secteur des Hellenides internes: L' Attique-Boetie (Grece continentale)*. These, Univ. des Sciences et Techn. de Lille.
- Clement, B., Katsikatsos, G. 1982. *Etude geologique d'un secteur des zones internes des Hellenides: L' Attique septentrionale (Grece continentale)*. Ann. Soc. Geol. Nord. vol. Cl, pp. 87-96.
- Demek, J., 1973. *Manual of detailed geomorphological mapping*
- Demitzakis, M., Papanikolaou, D. 1979. *Paleogeography and geodynamics of the Aegean area during the Neogen*. VII Int. Congr. Mediterranean Neogene, Athens 1979. A.G.P.H. VII.
- Dufaure, J. 1975. *La relief du Peloponnese*. These, Paris IV, 1422 p.
- Γκουρνέλος Θ., Μαρουκιάδης Χ. (1989), *Geomorphological observations concerning the evolution of the basin of Athens*, Sofia: Geologica Balcanica.
- Gardiner, V., Dackombe, R. 1983. *Geomorphological Field Manual*. Ed.G.Allen and Unwin, London, 254 p.
- Genre, Ch. 1987. *Le degagement des fenestres metamorphiques d'Attique Eubee meridionales et du haut Pelion. Contribution a la connaissance de l' enolution d'un secteur des Hellenides internes (Grece), du Miocene inferieur au Quaternaire moyen. Et. Mediteraneennes*, 12, pp.33-60.
- Goudie, A., Anderson, M., Burt, T., Lewin, J., Richards, K., Whalley, B., Worsley, P. 1981. *Geomorphological Techniques. Ed. for the British Geomorphological Research Group*, G.Allen and Unwin, London.
- Herforth, A., Schroder, B., Theodoropoulos, D. 1972. *Zur Jungpleistozanen und Holozanen Kustenmorphologie zwischen Korinth und Sud-Attika*. Bull. Geol. Soc. Greece, vol VIII, pp. 194-198, Athens.
- Iliopoulos, P. 1951. *L'Attique au point de vue physique et economique*. Athenes 1951.
- Καραπιπέρης, Λ. 1960. *Συμβολή εις την μελέτην των κλιματικών συνθηκών των προς των Σαρωνικών ακτών της Αττικής*. Δελτ. Γ.Υ.Σ., Αθήνα 1960.
- Κατσίκας, Ν. (1989) «Συνοπτική γενική γεωλογική θεώρηση της Αττικής», σελ. 42-47, Αττικό τοπίο και περιβάλλον, Αθήνα: Υπουργείο Πολιτισμού.
- Κατσικάτσος Γ., (1986) *La structure tectonique d' Attique et de l' ile d' Eubee*.
- Katsikatsos, G. 1976. *La structure tectonique de l' Attique et de l'ile de Eubee*. Bull. Soc. Geol. France, vol. 19, pp. 75-80, Paris 1976.
- Katsikatsos, G., Migiros, G., Triantaphyllis, M., Mettos, A. 1986. *Geological structure of internal Hellenides*. (E.Thessaly, SW.Macedonia, Euboea-Attica-Northern Cyclades islands and Lesvos). Geol. & Geoph. Res. Special issue, pp. 191-212. Athens 1986.
- Katsikatsos, G., Mercier, J., Vergely, P. 1976. *La fenetre d'Attique-Cyclades et des fenestres metamorphiques des Hellenides internes (Grece)*. C. R. Acad. Sc. Paris, 283, 1613-1616, Paris.
- Kober, L. 1929. *Beitrag zur Geologie von Attika*. Sitzungsber. Akad. Wiss. Mat-Nat. Kl., 138, 299-327, Wien.
- Λειβαδίτης, Γ. 1974. *Γεωλογικά και γεωμορφολογικά παρατηρήσεις επί της νήσου Αιγίνης*. Διδακτορική διατριβή. Αθήνα 1974.
- Λειβαδίτης, Γ., Αλεξούλη, Α. 1983. *Γεωμορφολογική μελέτη της Αίγινας*. Π.Α.Α., том. 58, Αθήνα 1983.
- Leleu, M. & Neumann, M. 1969. *L' age des formations d'Attique: du paleozoique au mesozoique*. C.R.Ac.Sc. Paris, D, 268, pp. 1361-1363.



- Λεοντάρης, Σ. 1985. Έρευνα επι των *Beachrocks* του Αιγαίου. Παρατηρήσεις επι της παρουσίας και αναπτύξεως των *Beachrocks* εις τα παράλια ΝΑ-ΝΔ Εύβοιας -Α.Αττικής - ΒΑ Βοιωτίας. Π.Α.Α, τόμ. 60, σελ. 625-645.
- Lepsius, R. (1893): *Geologie von Attika*. Berlin 1893.
- Μαριολλάκος Η., Παπανικολάου Δ. (1973), *Παρατηρήσεις επί της τεκτονικής του δυτικού Πεντελικού - Αττική*, Αθήνα: Ελληνική Γεωλογική Εταιρεία.
- Μηστάρδης, Γ. (1960): *Παλαιοτεταρτογενείς επιφανειακοί σχηματισμοί (εξ αδρομερών ίδια υλικών) εν Ανατολική Αττική*. Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, σελ 50-61.
- Mistardis, G. (1976): *Recherches sur l' evolution du relief dans le Centre-Ouestegee en au Miocene et au Pliocene*. Bull. Soc. Geol. France, vol. XVIII, pp. 217-223, Paris.
- Miskovsky, J. (1987): *Geologie de la prehistoire, methodes, techniques, applications*. Ed. Assoc. *Etude Environnement Geolog. de la Prehistoire*. Paris 1987.
- Παπανικολάου, Δ. (1986): *Γεωλογία της Ελλάδας*. Αθήνα 1986.
- Παπανικολάου Δ., Μπάση Ε., Κράνης Χ., Δανάμος Γ. (2004) «*Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του λεκανοπεδίου Αθηνών από το Άνω Μειόκαινο έως σήμερα*», Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τόμος XXXVI, Θεσσαλονίκη: Πρακτικά 10<sup>ου</sup> διεθνούς συνεδρίου.
- Παπαπέτρου-Ζαμάνη Α. (1995), *Γεωμορφολογία*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία
- Παπαπέτρου-Ζαμάνη Α., Καμπούρογλου Ε. (1989) «*Γεωμορφολογικές μεταβολές του Αττικού τοπίου τα τελευταία 18.000 χρόνια*», σελ. 58-63, Αττικό τοπίο και περιβάλλον, Αθήνα: Υπουργείο Πολιτισμού
- Παρασκευαΐδη, Η., Χωριανοπούλου, Π. (1978): *Μια τομή από το βουνό Αιγάλεω. Ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος, οι λόφοι της Αθήνας*. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας. τομ. XIII/2, σελ. 116-141.
- Παυλόπουλος Κ. , Καρύμπαλης Ε., Μαρουκιάν Χ. 2002. *Γεωμορφολογική εξέλιξη του Οινόη ποταμού 6<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, 2002 Θεσσαλονίκη*.
- Παυλόπουλος Κ. (1997) «*Γεωμορφολογική εξέλιξη της νότιας Αττικής*», Γαία No 2, Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο.
- Ρενιέρης, Κ. (1933): *Το λατεριτικόν κλίμα εις την Αττικήν*. Π.Α.Α, σελ. 271-274.
- Sindowski, K. (1949): *Der geologische Bau von Attika*. A.G.P.H., v. 2, p. 163-218, Athens.
- Sorel, D. (1976): *Etude neotectonique dans l'arc Egeen externe occidental*. These, p. 196, Paris 1976.
- Tricard J. 1972. *Normes pour l'etablissement de la carte geomorphologique detaillee de la France:classification codee, criteres d'identification et legende pratique*. pp.11-37, IN Memoirs et Documents, J.Dresch edition, CNRS 1972.
- Χαραλαμπίκης, Σ. (1951): *Συμβολή στην γνώση του Νεογενούς της Αττικής*. A.G.P.H., v. IV, Αθήνα 1951.

## Ποσοτική ανάλυση – μορφοτεκτονικοί δείκτες για τις περιοχές των ρηγμάτων Στρατωνίου – Βαρβάρας και Γοματίου – μεγάλης Παναγιάς (Ανατολική Χαλκιδική)

ΜΙΧΑΗΛΙΔΟΥ Α<sup>1</sup>., ΧΑΤΖΗΠΕΤΡΟΣ Α<sup>1</sup>., ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ<sup>1</sup>.

### ABSTRACT

The study area is located at the NE part of Chalkidiki peninsula. Geologically it belongs at Servomacedonian mass. The faults of Stratoni - Barbara and Gomati - M. Panagia have an important role at the surface morphology of the area. These are typically active faults and they are the most important neotectonic structures at Eastern Chalkidiki. For the study of surface morphology a quantitative morphotectonic analysis has been done with the contribution of Geographical Information Systems G.I.S. The morphological indicators we have studied are: hypsometric curve and hypsometric integral, drainage basin asymmetry, mountain - front sinuosity, stream length - gradient index, transverse topographic symmetry, radio of valley - floor width to valley height and fault scarp morphology. This morphotectonic analysis has confirmed the field observations. Major role in this research had the use of satellite pictures and 3D models (Digital Elevation Model - D.E.M.).

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο Α -ΒΑ τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής. Γεωλογικά ανήκει στη Σερβομακεδονική μάζα και δομείται από λιθολογικούς σχηματισμούς της ενότητας των Κερδυλίων και του Βερτίσκου. Τα ρήγματα Στρατωνίου -Βαρβάρας και Γοματίου -Μεγάλης Παναγιάς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του αναγλύφου της. Πρόκειται για τυπικά ενεργά ρήγματα, τα σπουδαιότερα της Ανατολικής Χαλκιδικής. Για τη μελέτη της συμπεριφοράς των ρηγμάτων και της επίδρασής τους στην επιφανειακή γεωμορφολογία, έγινε ποσοτική ανάλυση συγκεκριμένων μορφοτεκτονικών δεικτών με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information Systems - G.I.S.). Οι μορφολογικοί δείκτες που αναλύθηκαν είναι οι ακόλουθοι: υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα, ασυμμετρία λεκάνης απορροής, δαντέλωση στους πρόποδες των ρηγιγενών πρηνών, μήκος ρέματος - δείκτης κλίσης, ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας και ο λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος. Η μορφοτεκτονική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε βοήθησε στην επιβεβαίωση των υπαίθριων παρατηρήσεων. Σημαντικό ρόλο στην έρευνα είχε η χρήση της δορυφορικής εικόνας και η τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου (Digital Elevation Model - D.E.M.).

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται ανάλυση μορφοτεκτονικών δεικτών σε δύο μεγάλα ρήγματα της Ανατολικής Χαλκιδικής, το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας και το ρήγμα Γοματίου - Μεγάλης Παναγιάς. Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για την εξαγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση ενός ρήγματος στη μορφολογία, και ο υπολογισμός τους βασίζεται σε μετρήσεις γεωμορφολογικών στοιχείων. Ορισμένοι από αυ-

τούς εύκολα μπορούν να μετρηθούν απευθείας από έναν απλό τοπογραφικό χάρτη, όμως στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτούνται στοιχεία τα οποία μπορούν να υπολογιστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

Για την κατασκευή των μορφοτεκτονικών και γεωλογικών χαρτών και την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS Desktop 8.3 και πιο συγκεκριμένα οι εφαρμογές ArcMap και ArcCatalog, καθώς επίσης και τα υποπρογράμματα 3D Analyst και

**QUANTITATIVE ANALYSIS -TECTONIC GEOMORFOLOGY INDICATORS OF THE FAULTS AT THE REGION OF STRATONI - VARVARA GOMATI - M. PANAGIA IN THE EASTERN CHALKIDIKI**

<sup>1</sup> Τομέας Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 541 24 Θεσσαλονίκη, [anamich@geo.auth.gr](mailto:anamich@geo.auth.gr), [ac@geo.auth.gr](mailto:ac@geo.auth.gr), [pavlidis@geo.auth.gr](mailto:pavlidis@geo.auth.gr)

Spatial Analyst. Για την εισαγωγή των τοπογραφικών και άλλων δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν πληθώρα πηγών.

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

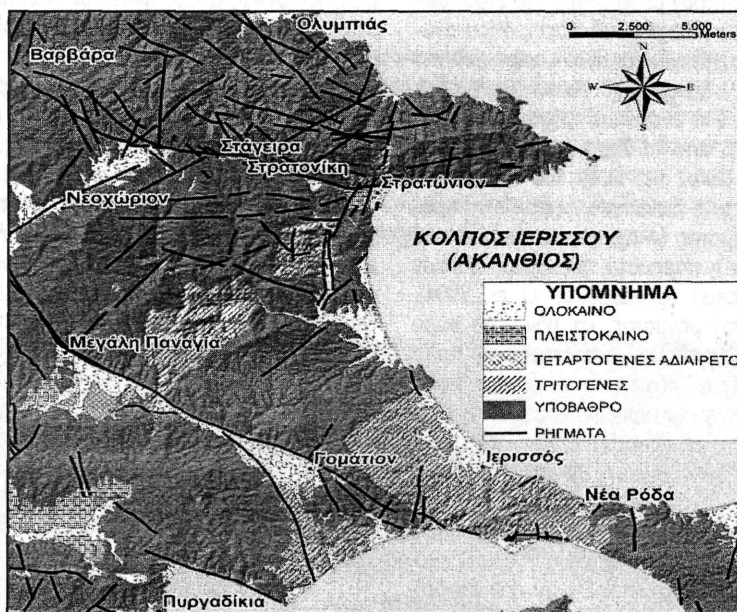
Η περιοχή μελέτης γεωλογικά ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα, δομείται από λιθολογικούς σχηματισμούς της ενότητας των Κερδυλλίων και του Βερτίσκου (Μουντράκης 1985).

Η σειρά των Κερδυλλίων αποτελείται από βιοτιπικό γνεύσιο με παρεμβολές βιοτιπικών – κεροστιλβικών γνευσίων, αμφιβολιτών και λεπτών ενστρώσεων μαρμάρων και από τρεις οριζόντες μαρμάρου (Δημητριάδης 1974).

Η σειρά του Βερτίσκου συνίσταται από μια ακολουθία γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους οριζόντες της επικρατούν οι

μεταγάρβροι – μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών πετρωμάτων (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978). Συχνά επίσης παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα σερπεντινικά σώματα.

Τα μεγάλα ρήγματα που δεσπόζουν ευρύτερο χώρο της ΒΑ Χαλκιδικής παρουσιάζουν τρεις γενικές διευθύνσεις ανάπτυξης (Pavlidis & Kiliias 1987, Χατζηπέτρος 1998, Capeta 1999, Οικονομίδης 2000): ένα μεγάλο μέρος από αυτά προσανατολίζονται σε μία ΒΔ-ΝΑ ως ΒΒΔ-ΝΝΑ κατεύθυνση, ένα δεύτερο σύστημα έχει διεύθυνση περίπου Α-Δ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ και ένα τρίτο σύστημα έχει μία ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση, ενώ μερικά ρήγματα τείνουν περίπου σε μία Β-Ν κατεύθυνση (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Τόσο τα πετρώματα όσο και τα ρήγματα προέρχονται από ψηφιοποίηση των 1:50.000 γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε. (φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, Ι.Γ.Μ.Ε., 1978) και των γεωλογικών χαρτών από τους Pavlidis & Kiliias (1987), Capeta (1999) και Pavlidis & Tranos (1991).

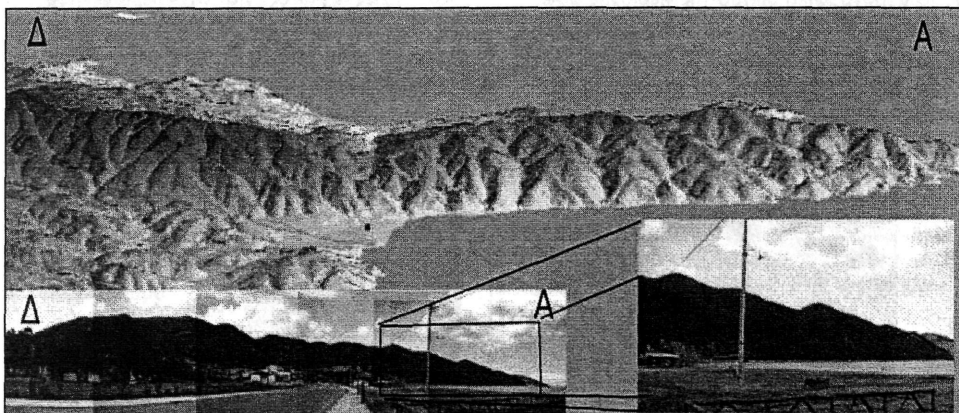
### 2.1 Ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας

Το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας είναι γενικά δυνατό να διαχωριστεί σε δύο μεγάλα τμήματα με βάση την γεωμετρία του: το ρήγμα

του Στρατωνίου και το ρήγμα της Βαρβάρας. Το ρήγμα Στρατωνίου είναι μία Α-Δ (Σχήμα 2) γενικής διεύθυνσης μεγάλη ρηξιγενής γραμμή μήκους μεγαλύτερου των περίπου 25 km (εκ των οποίων 15 km στην ξηρά), που αποτελεί σε

σημαντικό μήκος και το χαρτογραφικό όριο της κατώτερης ενότητας Κερδυλλίων με την ανώτερη ενότητα Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής μάζας και με το οφειολιθικό σύμπλεγμα Βόλβης – Γοματίου (Dixon & Dimitriadis 1984). Το ρήγμα διέρχεται από τα χωριά Στάγειρα, Στρατονίκη και Στρατώνι και στα Δυτικά φαίνεται να ενώνεται με το ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγμα Βαρβάρας, το οποίο λόγω αυτής της αλλαγής στην παράταξη διαφοροποιείται ως ένα ανεξάρτητο τμήμα ρήγματος (Pavlidis & Tranos 1991). Το ρήγμα του Στρατωνίου παρουσιάζει μετάπτωση του νότιου τεμάχου του και αποτελεί το προς Βορρά φυσικό όριο του Ακάνθιου κόλπου (κόλπος Ιερισσού), αφού διαχωρίζει γεωμορφολογικά την περιοχή σε δύο τμήματα: το βόρειο (footwall block) χαρακτηρίζεται από το υψηλό ανάγλυφο του Στρατωνικού όρους, του οποίου οι νότιες πλευρές συμπίπτουν με το ρήγμα του Στρατωνίου, και το νότιο (hangingwall block), όπου αναπτύσσεται ένα χαμηλό και ομοιόμορφο ανάγλυφο με εκτενές υδρογραφικό δίκτυο (Pavlidis & Tranos 1991). Στο ανατολικό τμήμα του ρήγματος (Σχήμα 2), από το Στρατώνι έως τη θέση Λιβάδι, κατά μήκος της ακτής του Στρατωνίου και σε μία γενική διεύθυνση παράλληλη προς αυτή του ρήγματος (Α-Δ), χαρακτηριστικό του πρηνούς είναι η παρουσία τριγωνικών κλιτύων (triangular facets) (Chatzipetros et al. 2004). Κατά μήκος του ρήγματος, και μόνο στο χώρο της άμεσης ζώνης αυτού, παρατηρούνται αρκετές, σημαντικές σε πάχος, τεταρτογενείς αποθέσεις συνεκτικών πλευρικών κορημάτων ερυθρού χρώματος με γωνιώδη τεμάχη από τα πετρώματα του υποβάθρου. Τέτοιες αποθέσεις όπως αυτές στο χώρο των οικισμών Σταγείρων και Στρατωνίου είναι πιθανό να δημιουργήθηκαν λόγω της νεοτεκτονικής δράσης του ρήγματος. Άλλωστε το ρήγμα του Στρατωνίου συνδέεται με τη σεισμική ακολουθία της Ιερισσού του 1932, με μέγεθος κύριου σεισμού M 7.0 (Μαραβελάκης, 1933; Georgalas & Galanopoulos, 1953; Pavlidis & Tranos, (1991). Τα ίχνη της νέας δραστηριοποίησης του ρήγματος στο σεισμό της Ιερισσού εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν από τους Μαραβελάκη (1933), Georgalas & Galanopoulos (1953) και πιο πρόσφατα από τους Pavlidis & Tranos (1991).

Το ρήγμα της Βαρβάρας αποτελεί την προς τα ΒΔ συνέχεια του ρήγματος Στρατωνίου, δυτικά του οικισμού Στάγειρα μέχρι και τον οικισμό Βαρβάρα. Παρουσιάζει όμως ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση γεγονός που μας επιτρέπει να το θεωρήσουμε ως ένα ιδιαίτερο ρήγμα ή τουλάχιστον τμήμα ρήγματος (fault segment) στη συνολική ρηξιγενή γραμμή, η οποία έχει ένα μήκος περί τα 25 km από το χωριό Βαρβάρα στα δυτικά έως τη νησίδα Ελευθερόνησος στα ανατολικά (Pavlidis & Tranos 1991). Το ρήγμα της Βαρβάρας με μήκος περίπου 6 km και μετάπτωση προς τα ΝΔ, διαμορφώνει μια μεγάλη κοιλάδα ή χαράδρα (ρέμα Ξηρόλακος), παραμορφώνοντας μάρμαρα και γνεύσιους της ενότητας των Κερδυλλίων, αλλά οριοθετώντας στα βόρεια το οφειολιθικό σύμπλεγμα της Βόλβης. Σε επιφάνειες του ρήγματος εντός του μαρμάρου εντοπίστηκαν ασβεστικές τεκτονικές αναβαθμίδες με ινώδεις ασβεστικές γραμμώσεις ολίσθησης, οι οποίες αντιστοιχούν σε δύο φάσεις τεκτονικής παραμόρφωσης: μία αριστερόστροφης οριζόντιας μετατόπισης και μία νεότερη μεταπτωτική (Τρανός 1998). Παρατηρήθηκαν επίσης και γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που προσδιόριζαν μια δεξιόστροφη κίνηση οριζόντιας μετατόπισης (νεότερη της αριστερόστροφης και παλαιότερη της κανονικής), όμως οι γραμμώσεις αυτές είναι ισχνές σε παρουσία και με μικρό μήκος ανάπτυξης, μην επιτρέποντας έτσι ασφαλή και γενικά συμπεράσματα. Οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που προσδιορίζουν την αριστερόστροφη κίνηση είναι κυρίαρχες και χαρακτηρίζονται από μεγάλο μήκος ανάπτυξης. Οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης αυτές επικαλύπτονται από τις κανονικές γραμμώσεις ολίσθησης, γεγονός που με ασφάλεια τις προχρονολογεί σε σχέση με τις τελευταίες (Τρανός 1998).

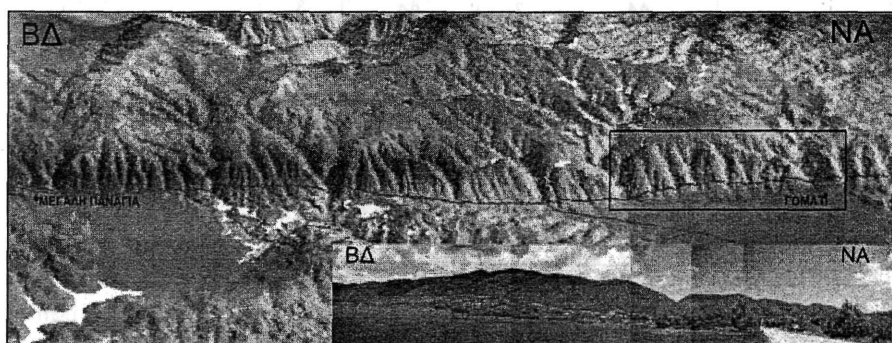


Σχήμα 2: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους και φωτογραφίες υπαίθρου του ανατολικού τμήματος του ρήγματος Στρατωνίου. Είναι ιδιαίτερα εμφανείς οι τριγωνικές κλιτύες (triangular facets) κατά μήκος της ακτογραμμής.

## 2.2 Ρήγμα Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας

Το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας είναι μία ΒΔ–ΝΑ γενικής διεύθυνσης μεγάλη ρηξιγενής γραμμή μήκους περίπου 15,5 km και μετάπτωση προς τα ΝΔ (Σχήμα 3). Συγκεκριμένα, η παράταξη του ρήγματος είναι Β130° με κλίση 65°ΝΔ, ενώ παρουσιάζει πλαγιοκανονικές

αριστερόστροφες ολισθογραμμώσεις με γωνία pitch 50°ΝΑ. Η συνολική ρηξιγενής γραμμή ξεκινάει από τον οικισμό Μεγάλη Παναγία με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, διέρχεται από τον οικισμό Γομάτι και ένα τμήμα του ρήγματος (fault segment) καταλήγει στην περιοχή Ξηροποτάμι με μήκος περίπου 15,5 km.



Σχήμα 3: Τρισδιάστατο μοντέλο αναγλύφου (ΤΙΝ) της περιοχής Μεγάλη Παναγία – Γοματίου.

## 3. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το υδρογραφικό δίκτυο αποτελεί θεμελιώδη γεωμορφολογικό παράγοντα. Ως υδρογραφικό δίκτυο νοείται το σύνολο των ρεμάτων τα οποία αποστραγγίζουν μια λεκάνη απορροής.

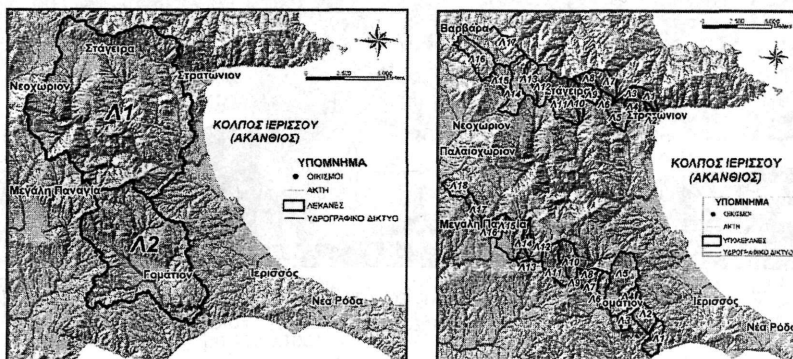
Στην περιοχή μελέτης, το υδρογραφικό δίκτυο ψηφιοποιήθηκε από τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ., φύλλα Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη σε κλίμακα 1:50.000, καθώς και δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών.

Η ταξινόμηση των κλάδων του δικτύου έγινε με τη μέθοδο του Strahler, αυτή έδειξε πως το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης είναι παροδικής αλλά και μόνιμης ροής και κάποια από τα ρέματα αυτά είναι 6<sup>ης</sup> τάξης.

Το δίκτυο παρουσιάζεται πολύ καλά ανεπτυγμένο σε όλη την περιοχή μελέτης, η δε

μορφή του είναι, σύμφωνα με την ταξινόμηση του Howard, δενδρική.

Οι κύριες λεκάνες για την περιοχή του Στρατωνίου και Γοματίου είναι 6<sup>ης</sup> τάξης (Σχήμα 4) σύμφωνα με τη μέθοδο Strahler και οι τάξεις των υπολεκανών φαίνονται στον Πίνακα 1.



Σχήμα 4: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (hillshade) με την κατανομή του υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή μελέτης και τις κύριες λεκάνες για την περιοχή του Στρατωνίου και Γοματίου (πάνω) και τις υπολεκάνες για τις περιοχές του Στρατωνίου και Γοματίου (κάτω).

ΥΠΟ-ΛΕΚΑΝΕΣ ΣΤΡΑΤΩΝΙΟΥ	ΤΑΞΗ	ΥΠΟ-ΛΕΚΑΝΕΣ ΓΟΜΑΤΙΟΥ	ΤΑΞΗ
Λ1	2	Λ1	4
Λ2	1	Λ2	3
Λ3	3	Λ3	2
Λ4	2	Λ4	3
Λ5	4	Λ5	4
Λ6	3	Λ6	2
Λ7	4	Λ7	2
Λ8	2	Λ8	2
Λ9	2	Λ9	2
Λ10	3	Λ10	4
Λ11	4	Λ11	4
Λ12	3	Λ12	3
Λ13	2	Λ13	4
Λ14	2	Λ14	4
Λ15	2	Λ15	3
Λ16	4	Λ16	2
Λ17	3	Λ17	3
		Λ18	3

Πίνακας 1. Οι τάξεις των υπολεκανών με τη μέθοδο Strahler.

#### 4. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Για τον υπολογισμό των μορφοτεκτονικών δεικτών χρειάστηκε η ψηφιοποίηση της περιο-

χής μελέτης και η απεικόνισή τους σε τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους (Digital Elevation Models) DEM. Για την ψηφιοποίηση χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες της ΓΥΣ με κλίμακα

1:50.000 καθώς και οι αντίστοιχοι χάρτες του ΙΓΜΕ. Για την επεξεργασία τους στον υπολογιστή χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS 8.3 και τα υποπρογράμματα 3D-Analyst, Topology και Spatial Analyst.

## 5. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Οι κυριότεροι ποσοτικοί μορφοτεκτονικοί δείκτες που μελετήθηκαν περιγράφονται και αναλύονται στη συνέχεια.

### 5.1 Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

Πολύ σπουδαίο μορφομετρικό στοιχείο του αναγλύφου είναι η υψομετρική καμπύλη και το υψομετρικό ολοκλήρωμα. Η υψομετρική καμπύλη εκφράζει την κατανομή των υψομέτρων σε μια περιοχή (Keller & Pinter 2000). Αυτή υπολογίζεται με δύο τρόπους:

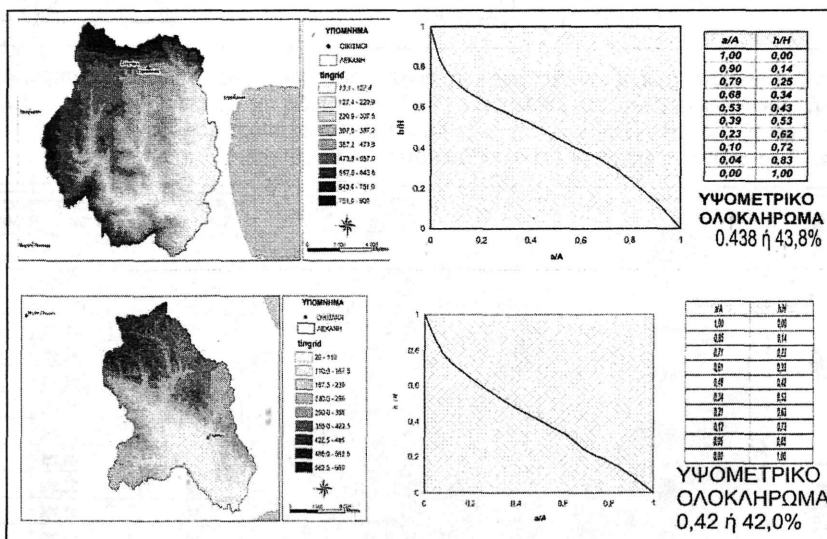
Ως μαθηματική έκφραση είναι το εμβαδόν της υψομετρικής καμπύλης.

Από τον παρακάτω τύπο, όπου το ελάχιστο και το μέγιστο υψόμετρο μπορούν να υπολογιστούν απευθείας από το χάρτη:

$$\frac{\text{μέσο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}{\text{μέγιστο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}$$

Η μετάβαση από το «στάδιο της νεότητας» στο «στάδιο της ωριμότητας» ανταποκρίνεται κατά προσέγγιση στο υψομετρικό ολοκλήρωμα,  $\int=60\%$  και από το «στάδιο της ωριμότητας» στο «στάδιο του γήρατος» στο  $\int=35\%$  (Strahler 1957, Αστάρας 1980). Υψηλές τιμές του ολοκληρώματος δείχνουν ότι η τοπογραφία είναι υψηλή σε σχέση με τη μέση τιμή υψομέτρου της περιοχής. Μέσες έως και χαμηλές τιμές σχετίζονται με περισσότερο ομαλές περιοχές.

Αυτή η υψομετρική ανάλυση αποτελεί ένα ισχυρό δείκτη για το διαχωρισμό τεκτονικά ενεργών και μη ενεργών περιοχών.



Σχήμα 5. Κύριες λεκάνες της περιοχής μελέτης. Υψομετρικές καμπύλες των λεκανών 1 και 2 (σχετίζονται με τα ρήγματα Στρατωνίου – Βαρβάρας και Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας αντίστοιχα). Και οι δύο λεκάνες βρίσκονται στο «στάδιο της ωριμότητας».

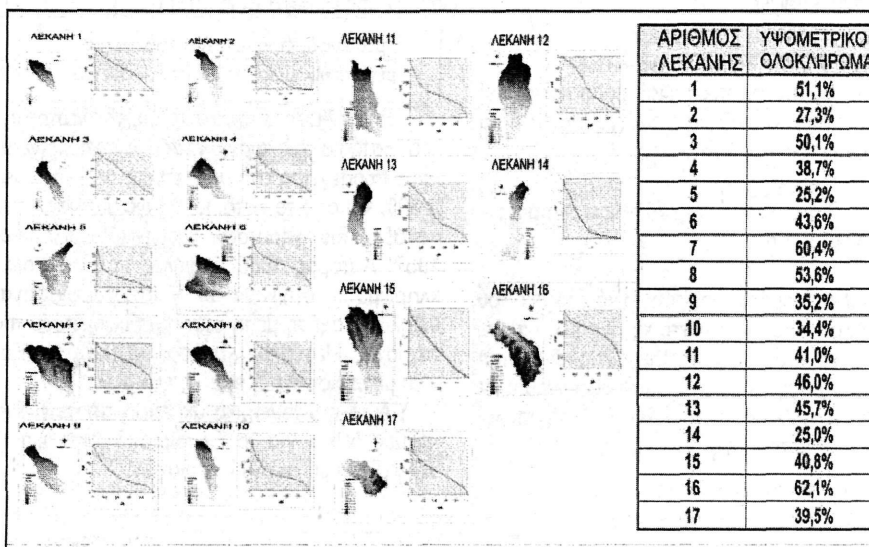
Για την περιοχή του Στρατωνίου η κύρια λεκάνη 1 βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας (Σχήμα 5). Με βάση τα υψομετρικά ολοκληρώματα των υπολεκανών 1 – 17 (Σχήμα 6), συμπεραίνεται ότι στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 7 και 16, στο

«στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, και 17, ενώ οι λεκάνες απορροής 2, 5 και 14 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος».

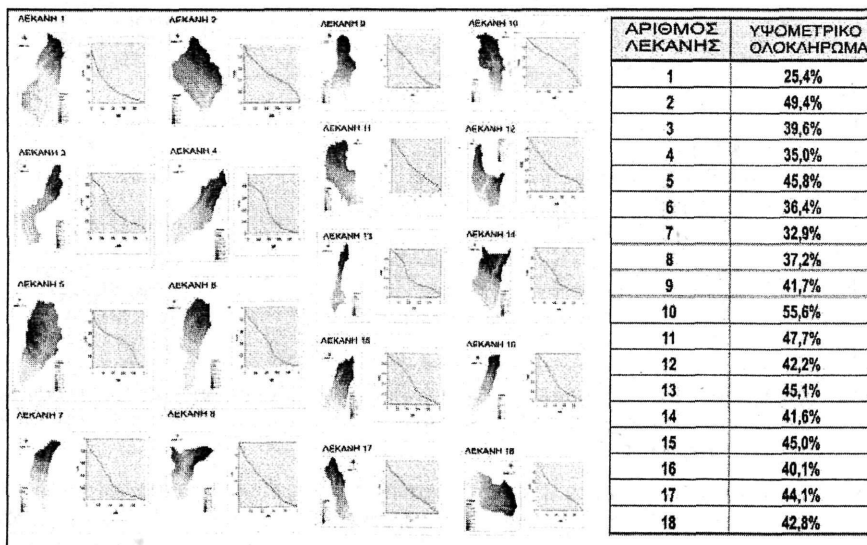
Για την περιοχή του Γοματίου η κύρια λεκάνη 2 βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας

(Σχήμα 5), ενώ λαμβάνοντας υπόψη τα υψομετρικά ολοκληρώματα των υπολεκανών 1 – 18 (Σχήμα 7), οι λεκάνες απορροής από 2 έως και

18 βρίσκονται στο «στάδιο της ωριμότητας» και η λεκάνη απορροής 1 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».



Σχήμα 6. Υπολεκάνες μελέτης του σχήματος 4 και οι αντίστοιχες υψομετρικές καμπύλες (αριστερά) και τα υψομετρικά ολοκληρώματα (δεξιά) των υπολεκανών 1 – 17. Στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 7 και 16, στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, και 17, και οι λεκάνες απορροής 2, 5 και 14 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος».



Σχήμα 7. Υπολεκάνες μελέτης του σχήματος 4 και οι αντίστοιχες υψομετρικές καμπύλες (αριστερά) και τα υψομετρικά ολοκληρώματα των υπολεκανών 1 – 18 (πάνω δεξιά). Στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής από 2 έως και 18, και η λεκάνη απορροής 1 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».



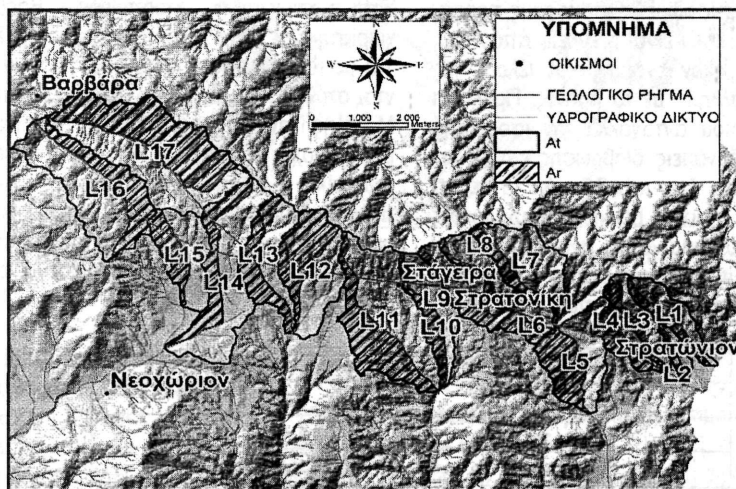
## 5.2 Ασυμμετρία λεκάνης απορροής

Ο παράγοντας ασυμμετρίας (Asymmetry Factor AF) δείχνει την τεκτονική περιστροφή ή κλίση (tilting) μιας λεκάνης απορροής ή γενικότερα μιας οποιαδήποτε περιοχής (Keller & Pinter 2000) και υπολογίζεται από το τύπο  $AF = 100 (A_r / A_t)$ . Με  $A_r$  συμβολίζεται το εμβαδό της υπολεκάνης δεξιά (κοιτάζοντας προς τα κατάληξη) του κύριου ποταμού και με  $A_t$  το συνολικό εμβαδό της λεκάνης. Όταν το ποτάμιο σύστημα δημιουργείται και παραμένει σε σταθερή θέση, τότε ο AF είναι περίπου 50. Περιστροφή (Tilt) προς τα αριστερά του κύριου ποταμού δίνει τιμές μεγαλύτερες από 50. Η εφαρμογή της μεθόδου προϋποθέτει ότι η μορφολογική εξέλιξη και η συμμετρία της λεκάνης δεν επηρεάζεται από lithολογικούς παράγοντες ή από το τοπικό κλίμα, τα οποία θεωρούνται αμετάβλητα, παρά μόνο από την τεκτονική περιστροφή (tilting).

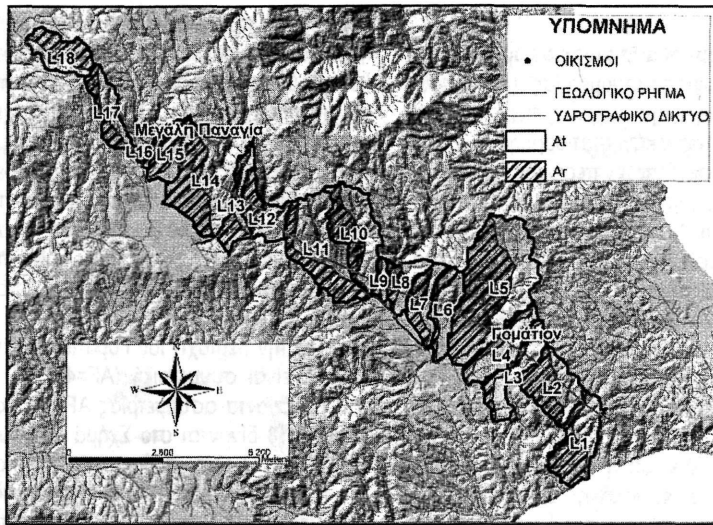
Για την περιοχή του Στρατωνίου η κύρια λεκάνη 1 είναι ασύμμετρη με βάση την τιμή του δείκτη AF η οποία είναι 33,81 και δείχνει μια

περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού, η οποία δε σχετίζεται με τεκτονική περιστροφή (tilting). Οι τιμές του παράγοντα ασυμμετρίας AF για τις υπολεκάνες 1-17 δίνονται στο Σχήμα 8. Οι υπολεκάνες 5, 12, 13 και 17 είναι συμμετρικές, στις υπολεκάνες 1 - 3, 6 - 16 παρατηρείται μια περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού, ενώ μια μικρή περιστροφή προς τα αριστερά παρατηρείται στην υπολεκάνη 4. Με τεκτονική περιστροφή (tilting) σχετίζονται οι υπολεκάνες 4, 7, 8, 9, 16 και 17.

Για την περιοχή του Γοματίου η μεγάλη λεκάνη 2 είναι συμμετρική ( $AF=47,24$ ). Οι τιμές του παράγοντα ασυμμετρίας AF για τις υπολεκάνες 1-18 δίνονται στο Σχήμα 9. Οι υπολεκάνες 12 και 17 είναι συμμετρικές, οι υπολεκάνες 2 - 4, 6, 8 - 11, και 13 - 16 παρουσιάζουν μία δεξιόστροφη περιστροφή του κύριου ποταμού, ενώ μια μικρή αριστερόστροφη περιστροφή παρατηρείται στις υπολεκάνες 1, 5, 7 και 18. Με τεκτονική περιστροφή (tilting) σχετίζονται οι υπολεκάνες 2, 11, 17 και 18.



Σχήμα 8. Ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας. Χάρτης με την ασυμμετρία των υπολεκανών απορροής 1 - 17 και οι αντίστοιχοι παράγοντες ασυμμετρίας AF.



Σχήμα 9. Ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας. Χάρτης με την ασυμμετρία των υπολεκανών απορροής 1 – 18 και οι αντίστοιχοι παράγοντες ασυμμετρίας AF.

### 5.3 Δαντέλωση στους πρόποδες των τεκτονικών πρανών

Η δαντέλωση (Keller & Pinter 2000) εκφράζεται με τη σχέση  $S=L/l$ , όπου,  $L$  είναι το μήκος μίας επιλεγμένης ισοϋψούς στους τους πρόποδες του βουνού και  $l$  είναι η ευθεία απόσταση μεταξύ των σημείων έναρξης και τέλους της ισοϋψούς παράλληλα με το πρανές. Πρόκειται για το δείκτη που αντανακλά την ισορροπία ανάμεσα στις δυνάμεις διάβρωσης και τις τεκτονικές δυνάμεις. Διαπιστώθηκε ότι τα περισσότερα ενεργά πρανή βουνών έχουν μικρές τιμές του  $S$  που κυμαίνονται ανάμεσα στο 1.0 και 1.6, εκείνα με μικρότερη ενεργό δράση τιμές από 1.4-3.0 και τα μη ενεργά τιμές από 1.8 μέχρι και μεγαλύτερες από 5.0. Η δαντέλωση απο-

τελεί ένα πολύ καλό κριτήριο για την αναγνώριση ενεργών ρηγμάτων.

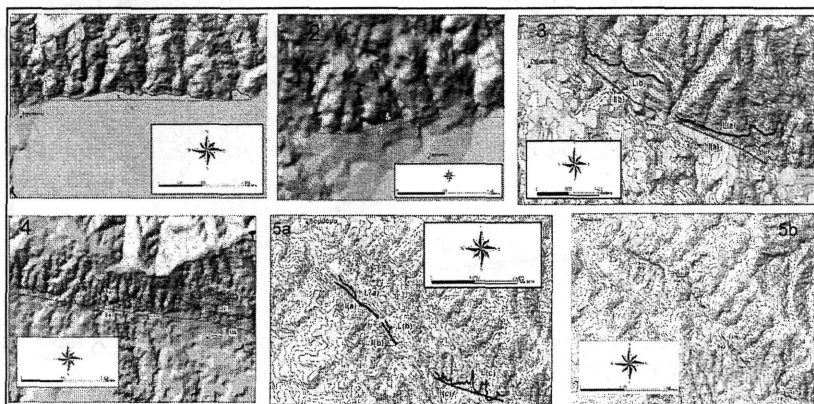
Για τον υπολογισμό του δείκτη της δαντέλωσης τους πρόποδες των βουνών οι περιοχές μελέτης χωρίστηκαν σε μικρότερες περιοχές. Έτσι η περιοχή του Στρατωνίου – Βαρβάρας χωρίστηκε σε πέντε μικρότερες περιοχές (Σχήμα 10) με τα αποτελέσματα του δείκτη  $S$  να δίνονται στον Πίνακα 2, ενώ η περιοχή Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας χωρίστηκε σε τρεις μικρότερες περιοχές (Σχήμα 11) και τα αποτελέσματα του δείκτη  $S$  δίνονται στον Πίνακα 3. Από τις τιμές του δείκτη  $S$  τόσο το ρήγμα του Στρατωνίου – Βαρβάρας όσο και το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας χαρακτηρίζονται ως ενεργά ρήγματα.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ S
1	1,11
2	1,43
3	1,25 ΚΑΙ 1,17
4	1,45 ΚΑΙ 1,22
5A	1,11 1,14 ΚΑΙ 2,13
5B	1,13, 1,38, 1,54, 1,37, 1,26 ΚΑΙ 1,36

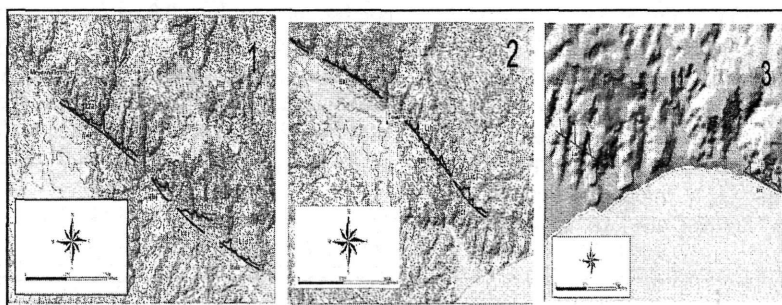
Πίνακας 2. Οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ S
1	1,53, 1,31, 1,17 ΚΑΙ 1,42
2	1,31, 1,59 ΚΑΙ 1,32
3	1,35 ΚΑΙ 1,85

Πίνακας 3. Οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας.



Σχήμα 10. Η δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή Στρατωνίου – Βαρβάρας, η περιοχή χωρίστηκε σε 5 μικρότερες περιοχές για την μελέτη του δείκτη S.



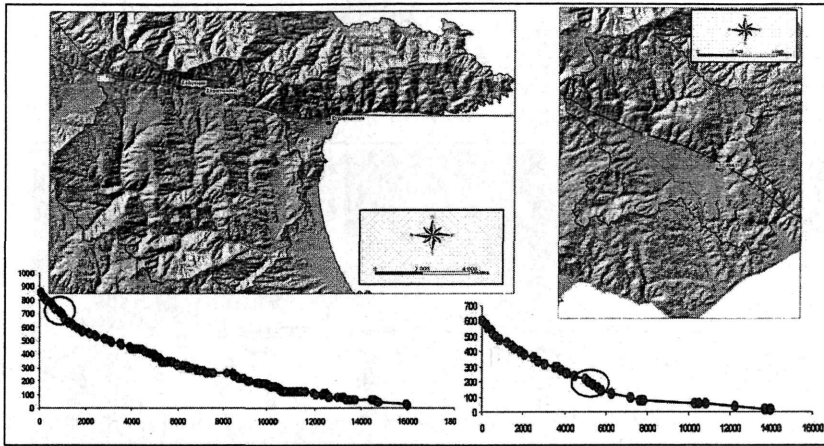
Σχήμα 11. Η δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας, η περιοχή χωρίστηκε σε 3 μικρότερες περιοχές για την μελέτη του δείκτη S.

#### 5.4 Μήκος ρέματος (κλάδος υδρογραφικού δικτύου – δείκτης κλίσης)

Η σχέση (Keller & Pinter 2002);  $SL = (\Delta H / \Delta L) * L$ , όπου ο λόγος  $\Delta H / \Delta L$  είναι η κλίση του ρέματος ( $\Delta H$  είναι η υψομετρική διαφορά και  $\Delta L$  είναι το αντίστοιχο μήκος του) και το  $L$ : είναι το συνολικό μήκος του ποταμού από το σημείο που μας ενδιαφέρει, προς τα ανάντι,

εκφράζει το λόγο του μήκους ενός υδρογραφικού κλάδου ως προς το μήκος του.

Ο δείκτης κλίσης (SL) για την περιοχή του Στρατωνίου – Βαρβάρας έχει τιμή  $SL = 128,35$  ( $\Delta H = 600 \text{ m} - 580 \text{ m} = 20 \text{ m}$ ,  $\Delta L = 243,97 \text{ m}$ ,  $L = 1565,81 \text{ m}$ , (Σχήμα 12) και η τιμή του δείκτη κλίσης για την περιοχή Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας είναι  $SL = 253,82$  ( $\Delta H = 140 \text{ m} - 120 \text{ m} = 20 \text{ m}$ ,  $\Delta L = 472,18 \text{ m}$ ,  $L = 5992,61 \text{ m}$  (Σχήμα 12).



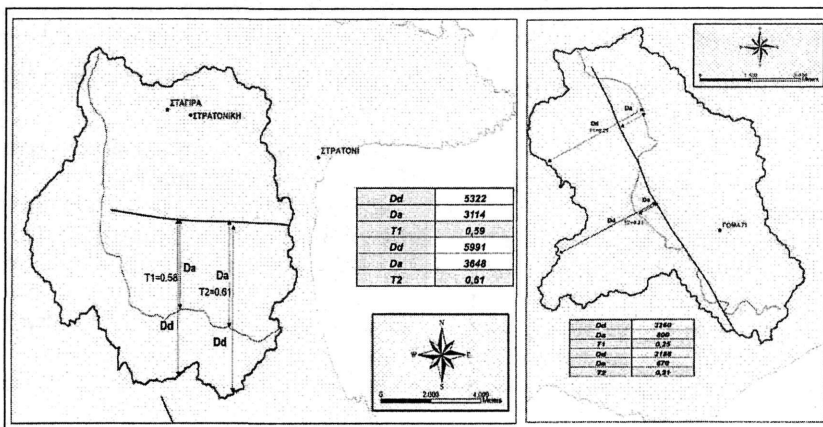
Σχήμα 12. Ο δείκτης κλίσης (SL) για τις περιοχές των ρηγμάτων Στρατωνίου – Βαρβάρας (αριστερά) και Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας (δεξιά).

**5.5 Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας**

Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας δίνεται από τη σχέση  $T = D_a/D_d$ , κατά Keller & Pinter (2002), όπου  $D_a$ : η απόσταση από τη (μέση) γραμμή που χωρίζει τη λεκάνη σε δύο ίσα μέρη έως την αντίστοιχη μέση γραμμή που χωρίζει σε ίσα μέρη τη ζώνη του ενεργού μαιανδρισμού (ουσιαστικά ίδιος ο ποταμός) και  $D_d$  η απόσταση από τη μέση γραμμή της λεκάνης έως τον υδροκρίτη. Για

ιδανική συμμετρία προκύπτει,  $T = 0$ . Όσο η ασυμμετρία αυξάνει το  $T$  πλησιάζει την τιμή 1.

Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τη λεκάνη Στρατωνίου – Βαρβάρας έχει τιμές περίπου 0,6 και έτσι χαρακτηρίζεται ως ασύμμετρη. Αντίθετα, ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τη λεκάνη Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας έχει τιμές περίπου 0,2 και χαρακτηρίζεται έτσι τη λεκάνη ως συμμετρική (Σχήμα 13).



Σχήμα 13. Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τις περιοχές του Στρατωνίου – Βαρβάρας (αριστερά) και Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας (δεξιά).

### 5.6 Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος

Ο λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος δίνεται από τη σχέση (Keller & Pinter 2002):  $V_f = 2\pi / [(h_1 \cdot h_3) + (h_2 \cdot h_3)]$ , όπου  $\pi$  είναι το πλάτος της κοιλάδας,  $h_1$ ,  $h_2$  τα υψόμετρα του αριστερού και δεξιού υδροκρήτη και  $h_3$  το υψόμετρο της κοιλάδας. Αυτός ο δείκτης διαφοροποιεί τα μεγάλα σε πλάτος φαράγγια (canyons) δίνοντας σχετικά υψηλές τιμές, από τις κοιλάδες σχήματος V με χαμηλές τιμές όπου εκεί παρατηρούμε και ανύψωση

(έντονη διάβρωση σε ενεργά τεκτονικές περιοχές). Οι τομές σε κάθε λεκάνη, με τη βοήθεια των οποίων μετρήθηκαν οι δείκτες  $V_f$ , επιλέχθηκαν (όπου ήταν δυνατόν) σε τοπογραφικά ανώτερες θέσεις από αυτές των ρηγμάτων.

Οι πολύ μικρές τιμές που παρατηρούνται στις υπολεκάνες Στρατωνίου – Βαρβάρας 8, 13, 16 και 17 (Πίνακας 4) και στις υπολεκάνες Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας 12 και 14 (Πίνακας 5) δείχνουν μια μεγάλη κατά βάθος διάβρωση λόγω ανύψωσης (uplift).

ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΥΔΡΟΚΡΗΤΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΔΕΞΙΟΥ ΥΔΡΟΚΡΗΤΗ	ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΜΙΣΓΑΓΓΕΙΑΣ	$V_f$
1	124	110	52	80	1.41
2	110	130	77	100	3.85
3	150	170	65	112	1.35
4	240	240	80	180	1.33
5	300	287	85	277	5.15
6	350	310	50	300	1.67
7	440	470	80	380	1.07
8	460	475	65	390	0.84
9	510	500	60	495	6.00
10	540	540	77	530	7.70
11	660	620	90	600	2.25
12	680	670	43	640	1.23
13	700	740	40	650	0.57
14	713	710	50	700	4.35
15	640	650	40	636	4.44
16	700	670	30	600	0.35
17	720	700	25	620	0.28

Πίνακας 4. Ο δείκτης  $V_f$  στις υπολεκάνες Στρατωνίου – Βαρβάρας.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΥΔΡΟΚΡΗΤΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΔΕΞΙΟΥ ΥΔΡΟΚΡΗΤΗ	ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΜΙΣΓΑΓΓΕΙΑΣ	$V_f$
1	190	190	50	180	5.00
2	260	270	60	240	2.40
3	240	270	60	240	4.00
4	250	260	80	230	3.20
5	210	200	82	140	1.26
6	260	270	53	220	1.18
7	230	240	70	200	2.00
8	220	230	115	160	1.77
9	220	230	56	210	3.73
10	260	280	110	230	2.75
11	340	330	73	310	2.92
12	440	480	76	390	1.09
13	510	500	55	470	1.57
14	600	600	37	480	0.31
15	550	560	80	520	2.29

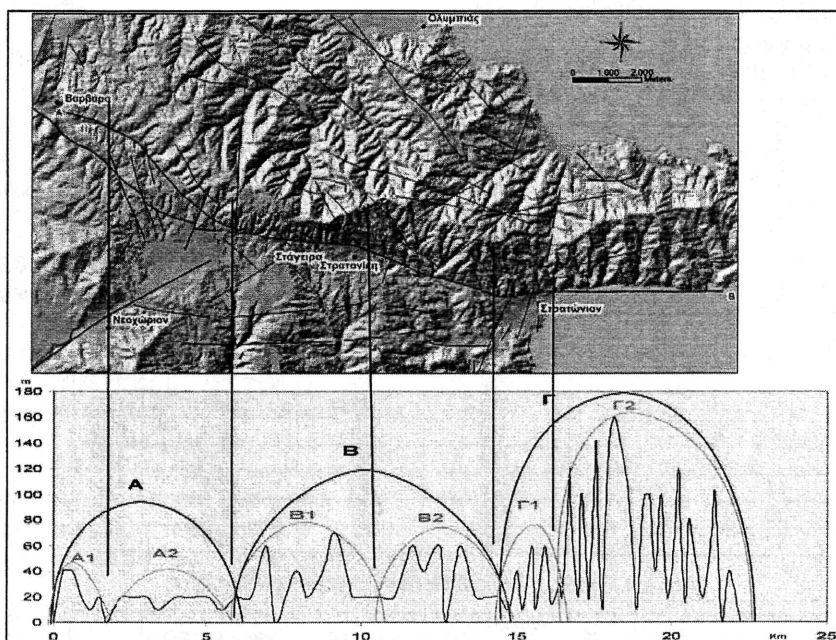
16	565	570	38	560	5.07
17	630	640	45	610	1.80
18	700	700	47	690	4.70

Πίνακας 5. Ο δείκτης  $V_f$  στις υπολεκάνες Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας.

### 5.7 Μορφολογία των τεκτονικών πρα- νών

Το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας έχει μήκος περίπου 25 km. Ωστόσο, το ύψος του πρανού δεν είναι το ίδιο σε ολόκληρο το μήκος του,

πράγμα που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την τμηματοποίησή του (segmentation). Το καθαρό ύψος του πρανού φαίνεται στο Σχήμα 14 και οι θεωρητικές μορφολογίες των πρανών σημειώνονται στο ως τόξα έλλειψης.

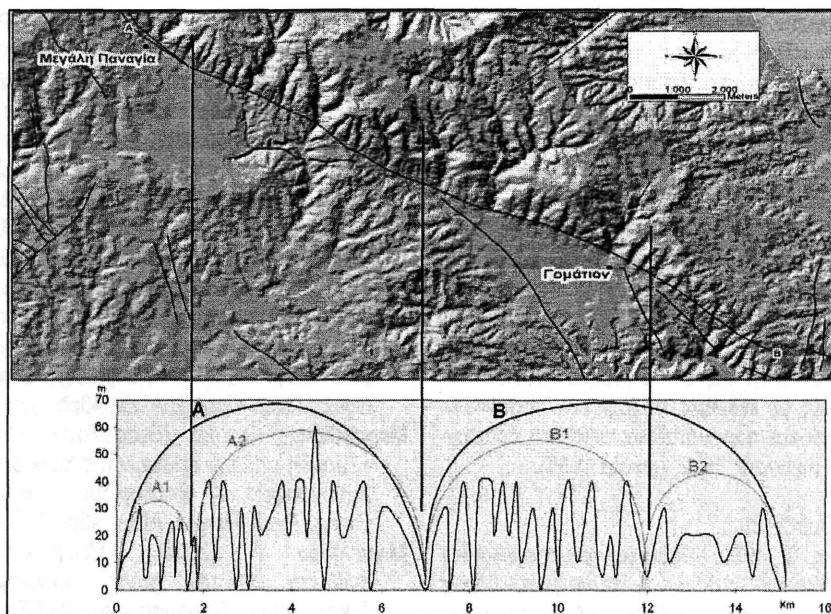


Σχήμα 14. Ύψος του πρανού του ρήγματος Στρατωνίου - Βαρβάρας και οι αντίστοιχες θεωρητικές μορφές του πρανού, όπως προκύπτει από τα μοντέλα ενεργοποίησης των κανονικών ρηγματίων (κάτω).

Με βάση τα παραπάνω, το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας χωρίστηκε σε τρία τμήματα (segments), ενώ το καθένα από αυτά μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε δύο άλλα μικρότερα τμήματα (Σχήμα 14). Έτσι το τμήμα Α μπορεί να υποδιαιρεθεί σε άλλα δύο, το Α1 και το Α2 τα οποία ανήκουν ανήκουν στο ρήγμα της Βαρβάρας. Αντίστοιχα, τα τμήματα Β και Γ υποδιαιρούνται σε άλλα δύο υποτμήματα το καθένα (Β1-Β2 και Γ1-Γ2 αντίστοιχα). Το τμήμα Β είναι η συνέχεια του ρήγματος της Βαρβάρας έως το Στρατώνι και το τμήμα Γ είναι το τμήμα του ρή-

ματος του Στρατωνίου που ξεκινά από το οικισμό Στρατώνι και συνεχίζει υποθαλάσσια.

Αντίστοιχα, το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας μπορεί να διαιρεθεί σε δύο τμήματα (segments) σύμφωνα με το Σχήμα 15. Το τμήμα Α ξεκινάει από τη Μεγάλη Παναγία και έχει μήκος περίπου 7 km ενώ το τμήμα Β είναι το τμήμα του ρήγματος του Γοματίου με μήκος περίπου 8,5 km. Τα τμήματα Α και Β μπορούν να υποδιαιρεθούν σε άλλα δυο μικρότερα τα Α1-Α2 και Β1-Β2 αντίστοιχα.



Σχήμα 15. Ύψος του πρσανούς του ρήγματος Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας και η αντίστοιχη θεωρητική μορφή του πρσανούς, όπως προκύπτει από τα μοντέλα ενεργοποίησης των κανονικών ρηγμάτων (κάτω).

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται πλήθος νεοτεκτονικών ρηγμάτων τα οποία έχουν ιδιαίτερα σημαντική μορφολογική έκφραση. Τα ρήγματα αυτά διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του ανάγλυφου, ιδιαίτερα τα ρήγματα του Στρατωνίου - Βαρβάρας και Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας, τα οποία θεωρούνται τυπικά ενεργά ρήγματα και είναι τα σπουδαιότερα της Ανατολικής Χαλκιδικής.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ανάλυση μορφοτεκτονικών δεικτών, με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

Οι τιμές των μορφοτεκτονικών δεικτών δείχνουν ότι τόσο το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας όσο και το ρήγμα Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας είναι ενεργά. Οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης κυμαίνονται από 1,1 έως 1,4 και χαρακτηρίζονται ως ενεργά ρήγματα, παρόλο που το ρήγμα Γοματίου - Μεγάλης Παναγίας δε συνδέεται με κάποιο γνωστό μεγάλο σεισμό.

Από τα υψομετρικά ολοκληρώματα των λεκανών απορροής στην περιοχής μελέτης διαπιστώνεται ότι οι περισσότερες υπολεκάνες βρί-

σκονται στο "στάδιο της ωριμότητας" και οι τιμές υψομετρικού ολοκληρώματος κυμαίνονται από 45% - 55% (Strahler 1952,1957,1964).

Για το δείκτη τις ασυμμετρίας λεκανών, οι συνηθισμένες τιμές κυμαίνονται από 30% - 40%, δηλαδή παρατηρείται μια δεξιόστροφη περιστροφή του κύριου ποταμού, ενώ σε τέσσερις λεκάνες απορροής παρατηρείται μια μικρή αριστερόστροφη περιστροφή του κύριου ποταμού με τιμές περίπου ~60%. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ασυμμετρία των λεκανών απορροής που παρατηρείται δεν οφείλεται σε τεκτονική περιστροφή (tilting).

Για τον δείκτη λόγου πλάτους κοιλάδας προς ύψος, οι τιμές κυμαίνονται από ~ 0,2 έως ~8,0. Σε αρκετές όμως λεκάνες απορροής παρατηρούνται πολύ μικρές τιμές και δείχνουν μια μεγάλη κατά βάθος διάβρωση λόγω ανύψωσης (uplift).

Η μορφοτεκτονική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε βοήθησε στην επιβεβαίωση των υπαίθριων παρατηρήσεων. Σημαντικό ρόλο στην έρευνα είχε η χρήση της δορυφορικής εικόνας και η τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου (DEM).

Από την ποσοτική ανάλυση των μορφοτεκτονικών δεικτών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης διαπιστώθηκε ότι το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας μαζί αποτελείται από τρία κύρια τμήματα, ενώ το ρήγμα Γοματίου-Μεγάλης Παναγίας αποτελείται από δύο κύρια τμήματα.

Η υπαίθρια παρατήρηση των ρηγμάτων, τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μορφοτεκτονικών δεικτών που έγινε σε τμήμα της μεγάλης ρηγιγενούς επιφάνειας του κυρίου ρήγματος του Στρατωνίου - Βαρβάρας, συγκλίνουν στην άποψη ότι στην περιοχή υπάρχουν νεοτεκτονικές δομές με ενδείξεις πρόσφατων τεκτονικών κινήσεων και παρουσιάζουν σεισμική δραστηριότητα (Ιερισσός 1932, Αρναία 1995).

#### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αστάρας, Θ., 1980. «Ποσοτική γεωμορφολογική μελέτη τμήματος των Δ. πλευρών του όρους Βερτισκον (Κ.Μακεδονία)», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη, Σελ. 40-43,50-54.
- Cepeda, A., 1999. "General Geological Map of *Kassandra*". T. V. X. HELLAS EXPLORATION GEOLOGY AND MINING PROPERTY Dept. Scale, 1: 20000 Revision Date: 24/07/1999.
- Chatzipeiros A., Keramydas D., Michailidou A., Tsapanos Th. and Pavlides S., 2004. «Morphotectonics and seismic potential of Straton active fault (Chalkidiki, Northern Greece)», 4<sup>th</sup> National Geophysical Conference, Sofia. pp.58-60.
- Γ. Υ. Σ., (1983, 1982, 1970, 1982). *Τοπογραφικοί χάρτες, Φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, κλίμακα: 1:50.000*, Αθήνα.
- Georgalas, G. and Galanopoulos, A. (1953). «Das Grosse Erdbeben Der Chalkidike Vom 26 September 1932». Bull. Geol. Soc. Greece, 1, (1953-58).
- Δημητριάδης, Σ. 1974. «Πετρολογική μελέτη των μγματιτικών γενεσιών και αμφιβολιτών των περιοχών Ρενίνας - Ασπροβάλας, Σταυρού - Ολυμπιάδος», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Dixon, J. E. & S. Dimitriadis. 1984. «Metamorphosed ophiolitic rocks from the Serbomacedonian Massif, near Lake Volvi, North-east Greece». Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 17, 603-618.
- Ι. Γ. Μ. Ε., 1978. *Γεωλογικοί χάρτες, Φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, κλίμακα: 1:50.000*, Αθήνα.
- Keller, a. E., Pinter, N., (1996). *ACTIVE TECTONICS, Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice Hall (ISBN 0-02-304601-5) N. Jersey -pp. 377. (Second Edition 2002).
- Μαραβελάκης, Ι. Μ. (Θεσσαλονίκη 1933). «Οι Γεωλογικοί και Μακροσεισμικοί Χαρακτήρες Των Σεισμών Της Χαλκιδικής». Τυπογραφείο Ο. Θεοδωρίδου. Εργαστ. Ορυκτ.-Γεωλ.-Πετρολ. ΑΠΘ, 43pp.
- Μαραβελάκης, Ι. Μ. (Θεσσαλονίκη 1936). «Σπουδή επί των σεισμών της Χαλκιδικής». Τυπογραφείο Κ Θεωδορίδου. Εργαστ. Ορυκτ.-Γεωλ.-Πετρολ. ΑΠΘ, 43pp.
- Μιχαηλίδου Α (2005). «Μορφοτεκτονική ανάλυση με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) και μικροτεκτονική των ρηγμάτων Στρατωνίου - Βαρβάρας και Γοματίου (Ανατολική Χαλκιδική)». Α.Π.Θ. Διατριβή Ειδίκευσης.
- Μουντράκης, Δ. 1985. «Γεωλογία της Ελλάδας», University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Οικονομίδης, Δ. 2000. «Συμβολή της τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών πληροφοριών (G.I.S.) στη γεωλογική, κοιτασματολογική και περιβαλλοντική έρευνα της Β.Α. Χαλκιδικής», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη. Σελ. 3-20.
- Pavlides, S. B. & M. D. Tranos. 1991. «Structural characteristics of two Strong earthquakes in the North Aegean: Ierissos (1932) and Agios efstratios (1968)». J. Struct. Geol. 13, 2:205-214.
- Pavlides, S. - Kiliias, A. 1987. «Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (SE Chalkidiki, northern Greece)», *Annales Tectonic*, Vol. 1- n. 2: 97-104.
- Strahler, A., 1952. «Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography». Geol. Soc. Amer. Bull., 63.
- Strahler, A., 1957. «Quantitative analysis of watershed geomorphology». Amer. Geophys. Union. Trans. 38(6), 279-300.



- Strahler, A., 1964. «*Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*». Section 14, 54, New York.
- Τρανός, Μ. 1998. «Συμβολή στη μελέτη της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας και του βόρειου Αιγαίου», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη. Σελ.15-20, 212-226.
- Χατζηπέτρος, Α. 1998. «Παλαιοσεισμολογική-Μορφοτεκτονική μελέτη και Μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων ενεργών διαρρήξεων, Μυγδονίας, Ανατολικής Χαλκιδικής, Κοζάνης-Γρεβενών», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη. Σελ. 118-128.

## Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσ/νίκης για τη χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων.

ΖΕΡΒΟΠΟΥΛΟΥ Α.<sup>1</sup>, ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

At this paper studied the neotectonic active faults of the broader area of Thessaloniki with morphotectonic criteria. We have studied three main faults of Anthemounta, Asvestophori and Pylaia - Panorama with the contribution of cartography, digital elevation models, drainage patterns, and the morphotectonic indices like drainage basin asymmetry, mountain front sinuosity, knick points and stream length-gradient index. Those faults show elements of activity.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετώνται με μορφοτεκτονικά κριτήρια, τα νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Θεσσαλονίκης. Με την βοήθεια της χαρτογράφησης του υδρογραφικού δικτύου και των μορφοτεκτονικών δεικτών, όπως η ασυμμετρία της λεκάνης απορροής, η δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών, τα σημεία κάμψης ρέματος και ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας, εντοπίστηκαν, χαρτογραφήθηκαν και εξετάστηκαν τρία κυρίως ρήγματα αυτά του Ανθεμούντα, του Ασβεστοχωρίου και της Πυλαίας – Πανοράματος. Από την παραπάνω μελέτη διαπιστώθηκε ότι τα ρήγματα αυτά είναι εμφανίζονται στοιχεία ενεργότητας.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια εκτίμησης του φυσικού κινδύνου των σεισμών αλλά και της σεισμικής τρωτότητας για το Πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Αρχικά εντοπίστηκαν πιθανά ενεργά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης τα οποία είναι ήδη χαρτογραφημένα σε δημοσιευμένες εργασίες (Tranos et al 2003, Goldsworthy et al 2002, Parazachos et al 2000, Μουντράκης et al 1996, Paradisopolou et al 2004) και τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν σε πιθανή ενεργοποίησή τους το πολεοδομικό συγκρότημα. Το έναυσμα για την εργασία αυτή δόθηκε από το ερευνητικό πρόγραμμα SRM-LIFE με θέμα την "Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας δικτύων κοινής ωφελείας, υποδομών, κτιρίων στρατηγικής σημασίας για την διαχείριση του σεισμικού κινδύνου σε πολεοδομικά συγκροτήματα. Εφαρμογή στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης".

Η πρώτη προσέγγιση των ρηγμάτων έγινε με την αποτύπωση του ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης (Πολεοδομικό

συγκρότημα, λεκάνη Ανθεμούντα, περιοχή Ασβεστοχωρίου και Πανοράματος), την χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου και τέλος έγινε αξιολόγηση της μορφολογίας με βάση μορφοτεκτονικούς ποσοτικούς δείκτες.

Πιο αναλυτικά, ερευνήθηκε η γεωλογία της περιοχής, όπως αυτή εξάγεται από γεωλογικούς χάρτες, επιτόπια χαρτογράφηση αλλά και γεωτρήσεις όπου η σύγχρονη κάλυψη του αστικού περιβάλλοντος κάνει αδύνατη την χαρτογράφηση των σχηματισμών. Αποτυπώθηκε το υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο στην περιοχή μας επηρεάζεται και από ρήγματα, από τοπογραφικούς χάρτες, δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες νεότερων αλλά και παλαιότερων εποχών. Για την αποτύπωση των ρεμάτων κυρίως μέσα στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης όπως αυτό ήταν πριν τις ανθρωπογενείς επεμβάσεις χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες του 1939 και του 1945, ιστορικά στοιχεία αλλά και τοπογραφικοί χάρτες του 1900.

Το ανάγλυφο, οι γεωλογικοί σχηματισμοί, το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα τοποθετήθηκαν ως επίπεδα (layers) σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών G.I.S. και σε τρισδιά-

### MORPHOTECTONIC STUDY OF THE BROADER AREA OF THESSALONIKI FOR THE CARTOGRAPHY OF NEOTECTONIC FAULTS

<sup>1</sup> Τομέας Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 541 24 Θεσσαλονίκη, annzervo@geo.auth.gr, pavlides@geo.auth.gr

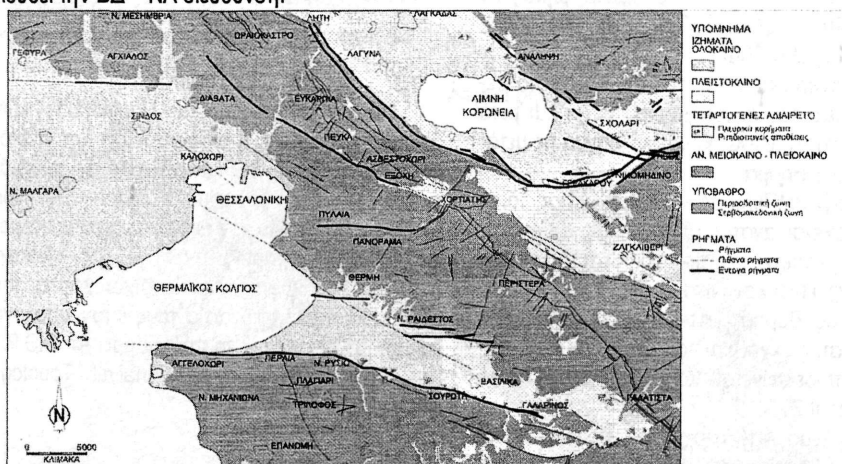
στατα μοντέλα εδάφους (Digital Elevation Models - DEM). Από τα DEM χωρίστηκαν για την περιοχή μελέτης τρεις κύριες υδρολογικές λεκάνες του Ανθεμούντα, του Δενδροποτάμου και των ρεμάτων του Πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Τα κύρια ρήγματα που εντοπίστηκαν στις λεκάνες αυτές είναι του Ανθεμούντα, του Ασβεστοχωρίου και της Πυλαίας - Πανοράματος αντίστοιχα. Στην συνέχεια μελετήθηκαν τα ρήγματα αυτά με τη βοήθεια των μορφοτεκτονικών δεικτών όπως: την ασυμμετρία της λεκάνης απορροής (Δείκτης AF), την δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών (Δείκτης S), τα σημεία κάμψης ρέματος και τον παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας (Δείκτης Σ).

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η πόλη της Θεσσαλονίκης και γενικότερα η περιοχή μελέτης, ανήκει γεωλογικά κυρίως στην Περιοδοτική Ζώνη και μερικώς στη Σερβομακεδονική Μάζα (Σχ. 1). Πιο συγκεκριμένα για την Περιοδοτική εμφανίζονται οι ενότητες Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη με την μαγματική σειρά Χορτιάτη, και Μελισσοχωρίου - Χολομώντα. Στην Σερβομακεδονική εμφανίζεται ο σχηματισμός Βερτίσκου. Το υπόβαθρο καλύπτουν νεογενείς με τεταρτογενείς αποθέσεις. Η διάταξη των ζωνών και των πετρωμάτων υποβάθρου ακολουθεί την ΒΔ - ΝΑ διεύθυνση.

Πιο αναλυτικά το υπόβαθρο αποτελούν: οι διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι και σχιστόλιθοι της Σερβομακεδονικής ζώνης, οι αμμούχοι αργιλικόι σχιστόλιθοι και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι της ενότητας Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη με χαλαζίτες, φυλλίτες και ασβεστόλιθους της ενότητας Μελισσοχωρίου - Χολομώντα. Στα παραπάνω πετρώματα εμφανίζονται ως παρεμβολές εκρήξηγενή πετρώματα όπως οι γνεύσιοι, πρασινοσχιστόλιθοι και οι περιδοτίτες της οφειολιθικής σειράς (Μουντράκης 1985, χάρτες ΙΓΜΕ).

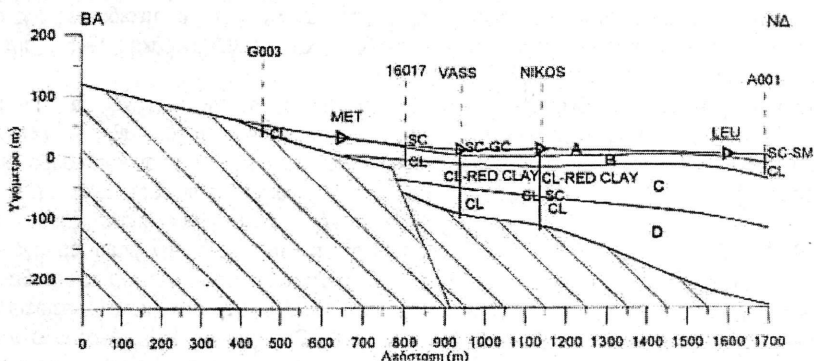
Τα πετρώματα της περιοχής μελέτης τα οποία και καλύπτουν το υπόβαθρο με έκταση πολύ μεγαλύτερη από αυτή που καταλαμβάνουν τα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι τα Άνω Μειοκαινικά - Κάτω Πλειοκαινικά ιζήματα τα οποία αποτελούνται από την φαμιτομαργαϊκή σειρά βαθύτερα και από την σειρά των ερυθρών αργίλων στα ανώτερα στρώματα (Anastasiadis et al 2001, Ρόζος et al 1998). Ακολουθούν οι Πλειστοκαινικές σειρές αναβαθμίδων στην περιοχή του Ανθεμούντα και τα Ολοκαινικά ιζήματα (άμμοι, άργιλοι, ιλύες, χαλαρές αποθέσεις, αλλουβιακά και ιστορικά ιζήματα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης), κατά μήκος των αναβαθμίδων παρατηρείται σειρά κώνων κορημάτων χειμάρων και πλευρικών ριπιδίων.



Σχήμα 1: Συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Χάρτες ΙΓΜΕ)

Η έκταση που καταλαμβάνουν τα Ολοκαινικά ιζήματα γίνεται περισσότερο κατανοητή στο Πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, αλλά και σε κατοικημένες περιοχές γενικότερα, από τις γεωτρήσεις και τις γεωφυσικές διασκοπήσεις (Θανάσουλας 1983). Στο Σχ. 2 φαίνεται τομή η οποία προήλθε από την καταγραφή μικροθούβου και από δειγματοληπτικές

γεωτρήσεις, από το κέντρο της Θεσσαλονίκης, όπου φαίνεται το υπόβαθρο αλλά και η διαστρωμάτωση των νεότερων αποθέσεων. Επίσης γίνεται ορατή η ύπαρξη του ρήγματος κατά μήκος της οδού Αγ. Δημητρίου, το οποίο γεωμετρικά ανήκει στην ομάδα των παλιών μη ενεργών ρηγματών.



Σχήμα 2: Τομή του κέντρου της Θεσσαλονίκης κατά μήκος των ανατολικών Τειχών (Αποστολίδης, 2002)

Τα ρήγματα τα οποία μελετήθηκαν είναι:

Το ρήγμα του Ανθεμούντα, το οποίο βρίσκεται νότια και νοτιοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης (απέχει περίπου 14 km), έχει γενική διεύθυνση Α-Δ και συνολικό μήκος 32 km περίπου (Μουντράκης et al 1996, Goldsworthy et al 2002).

Το ρήγμα εκτείνεται από την θαλάσσια περιοχή βόρεια του Αγγελοχωρίου μέχρι και μετά το Γαλαρινό. Αποτελεί κανονικό ρήγμα με μετάπτωση προς Βορρά.

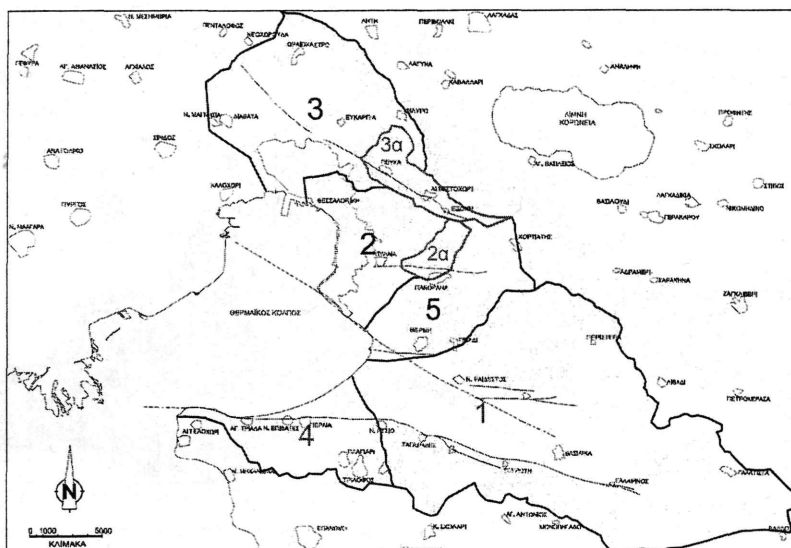
Το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος το οποίο βρίσκεται ανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης (απέχει περίπου 6 km από το κέντρο της πόλης), είναι κανονικό με διεύθυνση Α-Δ και κλίση προς Βορρά. Εκτείνεται ανατολικά του Πανοράματος μέχρι και τον Δήμο της Πυλαίας, πιθανά προεκτείνεται και μέσα στην πόλη (Tranos et al 2003).

Το ρήγμα Ασβεστοχωρίου που βρίσκεται βόρεια και βορειοανατολικά και απέχει από την

πόλη της Θεσσαλονίκης 6 km περίπου. Η διεύθυνσή του είναι ΑΝΑ-ΔΒΔ με μετάπτωση προς ΒΒΑ. Είναι κανονικό ρήγμα με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης (Tranos et al 2003, Papazachos et al 2000).

### 3. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Για τον υπολογισμό των μορφοτεκτονικών δεικτών χρειάστηκε η ψηφιοποίηση της περιοχής μελέτης και η απεικόνισή τους σε τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους (Digital Elevation Models - DEM). Για την ψηφιοποίηση χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες της ΓΥΣ με κλίμακα 1:50.000 καθώς και οι αντίστοιχοι χάρτες του ΙΓΜΕ. Για την επεξεργασία τους στον υπολογιστή χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS 9.1 και τα υποπρογράμματα 3D-Analyst, Topology και Spatial Analyst.

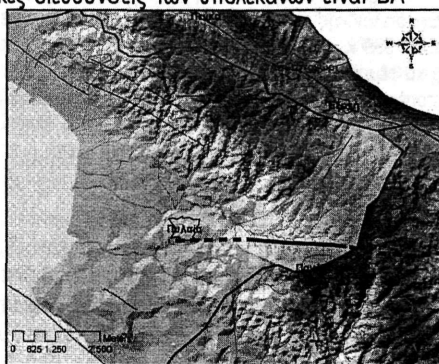


Σχήμα 3: Υδρολογικές λεκάνες περιοχής μελέτης, από τις οποίες μελετήθηκαν με μορφολογικούς δείκτες οι λεκάνες 1 και 4 και οι υπολεκάνες 2α και 3α, λόγω του συσχετισμού τους με ενεργά ρήγματα.

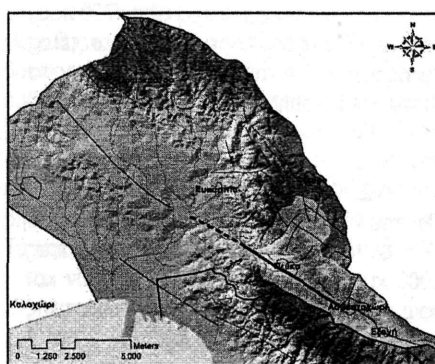
Η περιοχή μελέτης έχει χωριστεί, για την επεξεργασία των μορφολογικών δεικτών, με βάση το υδρογραφικό δίκτυο, σε πέντε υδρολογικές λεκάνες (Σχ. 3). Η πρώτη (1) είναι η λεκάνη του Ανθεμούντα με έκταση 318 km<sup>2</sup> και ανάπτυξη ΒΔ-ΝΑ και η τρίτη (3) του Δενδροποτάμου με έκταση 175 km<sup>2</sup> και ανάπτυξη κατά πρώτο λόγο ΒΔ-ΝΑ και κατά δεύτερο Β-Ν. Η δεύτερη (2) υδρολογική λεκάνη είναι του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης με έκταση 66 km<sup>2</sup> η οποία αποτελείται από μικρότερης έκτασης υπολεκάνες που αντιπροσωπεύουν τους χείμαρρους ή ρέματα της Θεσσαλονίκης. Οι γενικές διευθύνσεις των υπολεκανών είναι ΒΑ-

ΝΔ και Α-Δ. Η τέταρτη (4) υδρολογική λεκάνη με έκταση 54,5 km<sup>2</sup>, αποτελείται επίσης από μικρότερες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα ρέματα των περιοχών από Ν. Ρύσιο έως Αγγελοχώρι. Η διεύθυνση των υπολεκανών αυτών είναι Β-Ν. Ενώ τέλος η πέμπτη (5) είναι η λεκάνη της Θέρμης με έκταση 58,3 km<sup>2</sup> και γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

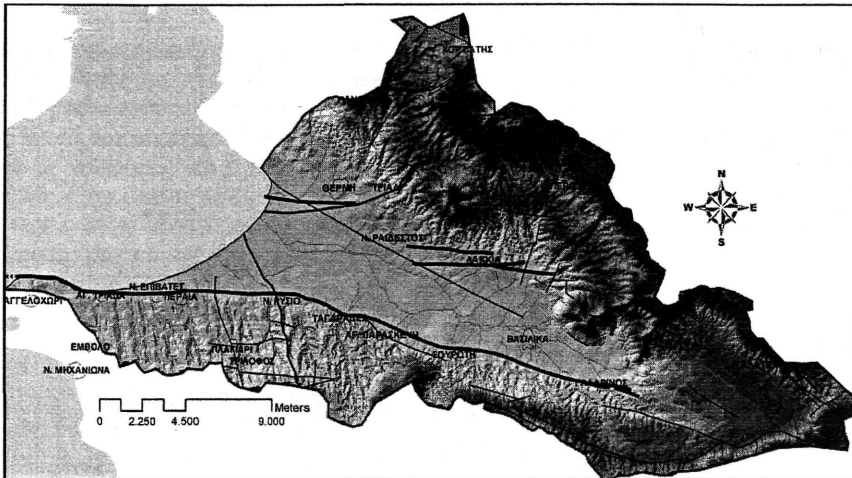
Τα μοντέλα εδάφους DEM που προέκυψαν για τις υδρολογικές αυτές λεκάνες φαίνονται στο σχ. 4 (με έντονο μαύρο χρώμα σημειώνονται τα ενεργά ρήγματα):



Σχήμα 4α: Υδρολογική λεκάνη Θεσσαλονίκης (2)



Σχήμα 4β: Υδρολογική λεκάνη Δενδροποτάμου (3)



Σχήμα 4γ: Ευρύτερη υδρολογική λεκάνη Ανθεμούντα (1, 4 & 5)

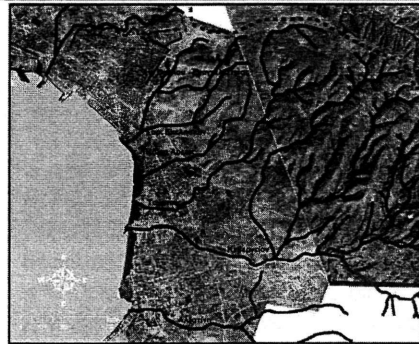
Από την επεξεργασία των τρισδιάστατων μοντέλων προκύπτουν συμπεράσματα για το ανάγλυφο των υδρολογικών λεκανών. Έτσι για την ευρύτερη υδρολογική λεκάνη του Ανθεμούντα (λεκάνες 1 & 4) παρατηρούνται στο βόρειο τμήμα του υψόμετρα μέχρι 1.210 m με έντονες κλίσεις (15-35° στο μεγαλύτερο ποσοστό), ενώ στο νότιο τμήμα οι κλίσεις είναι ηπιότερες (<15°) και τα υψόμετρα φτάνουν μέχρι τα 900 m. Το μέσο υψόμετρο όλης της λεκάνης είναι 540 m ενώ το μέσο υψόμετρο του βόρειου και νότιου τμήματος αντίστοιχα είναι 605 m και 450 m. Γενικά η λεκάνη του Ανθεμούντα μπορεί να χαρακτηριστεί ως πεδινή – λοφώδης με το μεγαλύτερο ποσοστό να βρίσκεται κάτω των 600 m (Φουρνιάδης 2002).

Για την υδρολογική λεκάνη του Δενδροποτάμου παρατηρούνται υψόμετρα μέχρι 720 m με εντονότερες κλίσεις στο βόρειο τμήμα. Και τέλος για την υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλονίκης τα υψόμετρα είναι χαμηλότερα με μέγιστο τα 560 m.

#### 4. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Η αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου έγινε από τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000 καθώς και δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών. Λόγω της έντονης οικιστικής ανάπτυξης των υδρολογικών λεκανών 2 και 4 (Θεσσαλονίκης και Περαιάς) χρησιμοποιήθηκαν επίσης χάρτες 1:5.000 των οποίων η αποτύπω-

ση έγινε το 1938 και 1980 αντίστοιχα, καθώς και αεροφωτογραφιών λήψης 1939 και 1945 για το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης κυρίως.



Σχήμα 5: Η υδρολογική λεκάνη της πόλης της Θεσσαλονίκης όπου φαίνονται οι αεροφωτογραφίες του 1939 και 1945 (φωτομοσαϊκό) καθώς και τα αρχικά ρέματα της πόλης πριν την πυκνή δόμηση όπως προέκυψαν ύστερα από βιβλιογραφική έρευνα (Vitti 1990, Δημητριάδης 1983, Λεβεντάκης 2003, Μπλιώνης 1996, Στεφανίδης 2000). Επίσης φαίνεται η παλιά ακτογραμμή της πόλης ανατολικότερα στην νέα παραλία (Vouvalidis et al. 2005).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν (Σχ. 3) σε σχέση με τους μορφοτεκτονικούς δείκτες και τα ενεργά ρήγματα, οι υδρολογικές λεκάνες του Ανθεμούντα (1) και της Περαιάς (4) καθώς και οι υπολεκάνες του Ελαιορέματος (2α) (υδρολογική λεκάνη Θεσσαλονίκης, περιοχή Πυ-

λαίας - Πανοράματος) και του Ξηροποτάμου (3α) (υδρολογική λεκάνη Δενδροποτάμου, περιοχή Ασβεστοχωρίου).

Το υδρογραφικό δίκτυο της υδρολογικής λεκάνης του Ανθεμούντα είναι 6ης τάξεως κατά Strahler (1952) (Αστάρης 1980) με πυκνό δίκτυο

ρεμάτων σε περίπου 18 υπολεκάνες (Sotiriadis 1974). Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου (σχ. 6) χαρακτηρίζεται ως δενδριτική και τα μήκη των κλάδων του φαίνονται στον πίνακα 1:

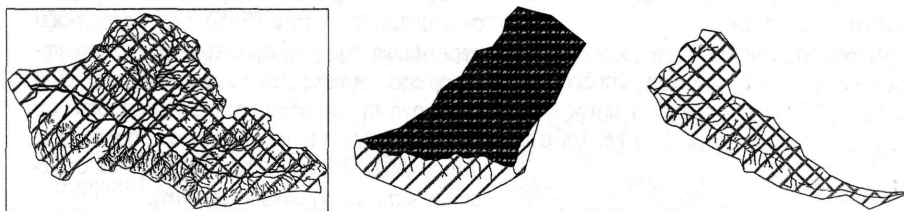
Κλάδοι Ανθεμούντα	Μήκος (m)
1 <sup>ης</sup> τάξης	338.382
2 <sup>ης</sup> τάξης	185.406
3 <sup>ης</sup> τάξης	88.610
4 <sup>ης</sup> τάξης	69.862
5 <sup>ης</sup> τάξης	12.138
6 <sup>ης</sup> τάξης	17.770
<b>Σύνολο Μήκους Κλάδων</b>	<b>712.168</b>
<b>Ποταμός Ανθεμούντας</b>	<b>37.933</b>

Πίνακας 1. Μήκη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ανθεμούντα.

Συγκρίνοντας τα μήκη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου στο βόρειο τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα και στο νότιο παρατηρείται μία ανισοκατανομή. Δηλαδή ενώ στο σύνολο το μήκος των κλάδων είναι 712 km, στο βόρειο τμήμα κατανέμεται το μεγαλύτερο ποσοστό με 444 km σε μια έκταση 191,6 km<sup>2</sup> και στο νότιο τμήμα σχεδόν το μισό με 268 km σε έκτα-

ση 126,5 km<sup>2</sup>. Το μήκος του κυρίου ποταμού είναι 38 km.

Γενικότερα για την υδρολογική λεκάνη έχουμε συνολικό εμβαδόν: EA=318,1 km<sup>2</sup>. Όπου το βόρειο τμήμα είναι EN=191,6 km<sup>2</sup> και το νότιο τμήμα ES=126,5 km<sup>2</sup>. Δηλαδή παρουσιάζεται μία άνιση κατανομή έκτασης EN>ES.



Σχήμα 6: Η υδρολογική λεκάνη του Ανθεμούντα (α), και οι υπολεκάνες του Ελαιορέματος (β) και του Ξηροποτάμου (γ).

Η υδρολογική λεκάνη της Περαίας αποτελείται από υπολεκάνες με χείμαρρους κυρίως 3ης τάξης κατά Strahler, αλλά κυμαίνονται από 1ης στην περιοχή του Αγγελοχωρίου μέχρι και 4ης τάξης στο Ν. Ρύσιο (χάρτες ΓΥΣ, 1:5.000). Οι χείμαρροι εμφανίζουν κυρίως παράλληλη μορφή με ανάπτυξη από τον νότο προς τον βορρά όπως φαίνεται και στο Σχ. 3.

Για την υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλονίκης επελέγη η υπολεκάνη του Ελαιορέματος, κατά μήκος του οποίου εμφανίζεται το ίχνος του

ρήγματος Πυλαίας – Πανοράματος, η οποία είναι 3ης τάξης όπως φαίνεται και στο σχ. 6. Στο βόρειο τμήμα η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική ενώ στο νότιο εμφανίζει παράλληλη μορφή με κοίτες μικρότερου μήκους. Είναι εμφανής η άνιση ανάπτυξη της λεκάνης, καθώς το βόρειο τμήμα της έχει πολύ μεγαλύτερη έκταση με 7,2 km<sup>2</sup> και το νότιο με 2,7 km<sup>2</sup>. Τα μήκη των κλάδων φαίνονται στον πίνακα 2.

Κλάδοι Ελαιορέματος	Μήκος (m)
1 <sup>ης</sup> τάξης	16.791
2 <sup>ης</sup> τάξης	8.445
3 <sup>ης</sup> τάξης	3.168
<b>Σύνολο Μήκους Κλάδων</b>	<b>28.404</b>
<i>Ελαιόρεμα</i>	4.813

Πίνακας 2. Μήκη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της υπολεκάνης Ελαιορέματος.

Διαχωρίζοντας τα μήκη των κλάδων στο βόρειο και στο νότιο τμήμα της υπολεκάνης παρατηρούμε μία ανισοκατανομή με μήκος κλάδων στο βόρειο τμήμα ίσο με 18,5 km και στο νότιο με 5 km μόνο.

Για την υδρολογική λεκάνη του Δενδροποτάμου εξετάστηκε η υπολεκάνη του Ξηροποτάμου κατά μήκος του οποίου εμφανίζεται το ίχνος του ρήγματος Ασβεστοχωρίου (σχ. 6), η οποία είναι 4ης τάξης και αποτελεί την τελευταία υπολεκάνη του προς τα ανατολικά. Στο βόρειο τμήμα της με έκταση 15 km<sup>2</sup> το υδρογραφικό δίκτυο εμφανίζει δενδρική ανάπτυξη ενώ στο νότιο με έκταση πολύ μικρότερη (5,6 km<sup>2</sup>) η μορφή του είναι κυρίως παράλληλη. Φαίνεται δηλαδή μία άνιση ανάπτυξη της λεκάνης. Τα μήκη των κλάδων φαίνονται στον πίνακα 3.

Διαχωρίζοντας επίσης τα μήκη των κλάδων στο βόρειο και στο νότιο τμήμα της υπολεκάνης παρατηρούμε μία ανισοκατανομή με μήκος κλάδων στο βόρειο τμήμα ίσο με 26,2 km και στο νότιο με 10,8 km.

Κλάδοι Ξηροποτάμου	Μήκος (m)
1 <sup>ης</sup> τάξης	23.806
2 <sup>ης</sup> τάξης	12.174
3 <sup>ης</sup> τάξης	9.567
4 <sup>ης</sup> τάξης	583
<b>Σύνολο Μήκους Κλάδων</b>	<b>46.130</b>
<i>Ξηροπόταμος</i>	9.101

Πίνακας 3. Μήκη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της υπολεκάνης Ξηροποτάμου.

## 5. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες αποτελούν ποσοτικές μετρήσεις της γεωμορφολογίας των περιοχών και χρησιμοποιούνται για να μελετηθούν και να συγκριθούν μεταξύ τους οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν μία περιοχή όπως π.χ. η ενεργότητα (Keller & Pinter 2002). Στην εργα-

σία αυτή μελετήθηκαν τέσσερις μορφοτεκτονικοί δείκτες: η ασυμμετρία της λεκάνης απορροής (Δείκτης AF), η δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών (Δείκτης S), τα σημεία κάμψης ρέματος και ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας (Δείκτης Z).

### 5.1. Ασυμμετρία λεκάνης απορροής

Ο παράγοντας ασυμμετρίας μιας λεκάνης AF (Asymmetry Factor) δείχνει την τεκτονική περιστροφή (tilting) ή κλίση της (Hare & Gardner 1985, Cox 1994). Ο τύπος που την εκφράζει είναι:  $AF=100 (A_r/A_t)$  όπου:  $A_r$  είναι το εμβαδό της υπολεκάνης δεξιά (κοιτάζοντας προς τα κατάντι) και  $A_t$  το ολικό εμβαδό της λεκάνης. Το ποτάμιο σύστημα δημιουργείται και παραμένει σε σταθερή θέση όταν  $AF=50$ , ενώ παρουσιάζει περιστροφή προς τα αριστερά του κυρίου ποταμού όταν οι τιμές είναι μεγαλύτερες από 50. Η εφαρμογή της μεθόδου βασικά προϋποθέτει ότι δεν μεταβάλλονται οι λιθολογικοί παράγοντες (όπως αλλαγή πετρώματος, κλίσεις των στρωμάτων κ.ά.), παρά μόνο η τεκτονική.

Για την υδρολογική λεκάνη του Ανθεμόντα παρατηρείται περιστροφή του κύριου ποταμού του Ανθεμόντα (σχ. 6) προς τα αριστερά ή προς το νότο και ο παράγοντας ασυμμετρίας είναι  $AFA=100*(191,6/318,1)=60>50$ . Η λεκάνη αυτή καλύπτεται στο μεγαλύτερο τμήμα της από ιζήματα, ενώ το υπόβαθρο εμφανίζεται κυρίως στο βόρειο τμήμα της.

Για την υδρολογική λεκάνη του Δενδροποτάμου με συνολικό εμβαδόν  $EΔ=175$  km<sup>2</sup> επελέγη η υπολεκάνη του ρέματος Ξηροποτάμου με εμβαδόν  $EΔ1=20,8$  km<sup>2</sup>. Ο παράγοντας ασυμμετρίας είναι ίσος με  $AFΞ = 100*(15,1/20,8) = 73>50$ . Παρουσιάζεται δηλαδή μία ασυμμετρία προς τα αριστερά (σχ. 6). Η υπολεκάνη αυτή καλύπτεται στο μεγαλύτερο τμήμα της από το υπόβαθρο ενώ ιζήματα εμφανίζονται σε μικρή

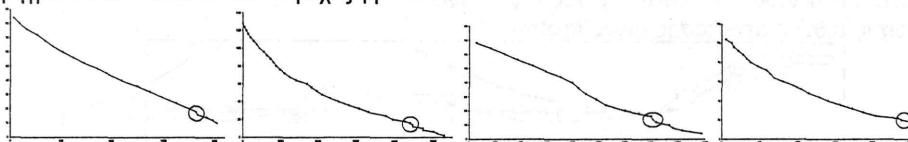


έκταση μόνο παράλληλα στο ρήγμα και κατά μήκος του ποταμού.

Τέλος, από την υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλονίκης με συνολικό εμβαδόν  $E\theta=66\text{km}^2$  επελέγη η υπολεκάνη του Ελαιορέματος με εμβαδόν  $E\theta 1=10\text{km}^2$ . Ο παράγοντας ασυμμετρίας είναι ίσος με  $AFE=100 \cdot (7,2/10)=72 > 50$ . Παρουσιάζεται επίσης ασυμμετρία προς τα αριστερά (σχ. 6). Στην υπολεκάνη αυτή το ρέμα βρίσκεται στα Μειοκαινικά ιζήματα, ενώ το υπόβαθρο εμφανίζεται στα υψηλότερα τμήματά της εκατέρωθεν του ρέματος.

### 5.2. Σημεία κάμψης ρέματος

Τα τοπογραφικά σημεία κάμψης ρέματος αποτελούν μορφολογικές εξάρσεις κατά μήκος της έκτασης του ρέματος. Μπορούν να δημιουργηθούν από ευστατικές κινήσεις, διαφορετική διάβρωση του υποβάθρου του ρέματος ή τεκτονισμό (Burbank & Anderson 2001). Τα κανονικά ρήγματα στα οποία το άνω τέμαχος βρίσκεται



Σχήμα 7: Διαγράμματα υψομέτρου (x) και αποστάσεων (y) τομής ρέματος με την αντίστοιχη ισοϋψή (χάρτης ΓΥΣ 1:5.000). Στους κύκλους τα σημεία κάμψης ρέματος.

### 5.3. Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας

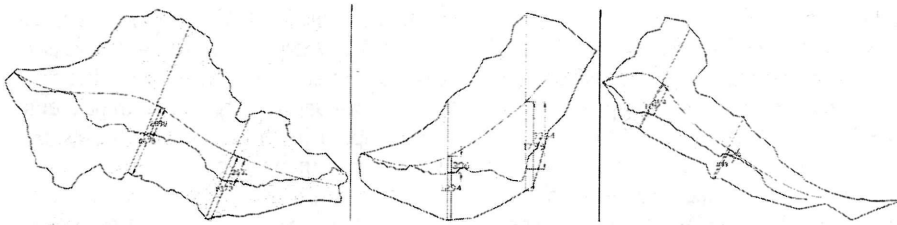
Αυτός ο δείκτης δίνει αποτελέσματα για την αναγνώριση πρόσφατης πιθανής τεκτονικής περιστροφής και κατά συνέπεια ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων. Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας δίνεται από τη σχέση (Transverse Topographic Symmetry, Keller & Pinter 2002):  $T=Da/Dd$  όπου:  $Da$  η απόσταση, από τη (μέση) γραμμή που χωρίζει τη λεκάνη σε δύο ίσα μέρη έως την αντίστοιχη μέση γραμμή που χωρίζει σε ίσα μέρη τη ζώνη του ενεργού μαιανδρισμού (ουσιαστικά ο ίδιος ο ποταμός), και  $Dd$  η απόσταση από τη μέση γραμμή της

στον κάτω ρου του ρέματος, προκαλούν σ' αυτό ένα σημείο κάμψης (step - knickpoint). Στη συνέχεια η διάβρωση ανάλογα με τα υποκείμενα πετρώματα μπορεί να προκαλέσει μετανάστευση αυτού του σημείου κάμψης. Τα σημεία αυτά γίνονται ορατά με τα διαγράμματα υψομέτρου και οριζόντιας απόστασης.

Για τα ρήγματα Ασβεστοχωρίου και Πυλαίας - Πανοράματος ο δείκτης σημείου κάμψης ρέματος δε δίνει αποτελέσματα μια και τα ρήγματα βρίσκονται παράλληλα στην κοίτη τους και δεν τέμνουν κάθετα κάποιο ρέμα. Για το ρήγμα του Ανθεμούντα και ειδικότερα για το τμήμα του στην περιοχή Περαίας, το μήκος ρέματος σε τέσσερα διαδοχικά ρέματα (σχ. 7) κάθετα στο ίχνος του ρήματος εμφανίζει μία απότομη διαφοροποίηση στα υψόμετρα από 12 έως 18 μέτρα.

λεκάνης έως τον υδροκρίτη. Για ιδανική συμμετρία προκύπτει,  $T=0,0$  ενώ όσο η ασυμμετρία αυξάνει, το  $T$  πλησιάζει την τιμή 1,0.

Έτσι για την υδρολογική λεκάνη του Ανθεμούντα (λεκάνη 1) ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας είναι: 0,40-0,44, για την υπολεκάνη του Ελαιορέματος 0,76-0,26 και για την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου 0,17-0,66. Παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη τοπογραφική ασυμμετρία με τιμή 0,76 την έχει το Ελαιόρεμα και την μικρότερη 0,17 ο Ξηροπόταμος (Σχ. 8).

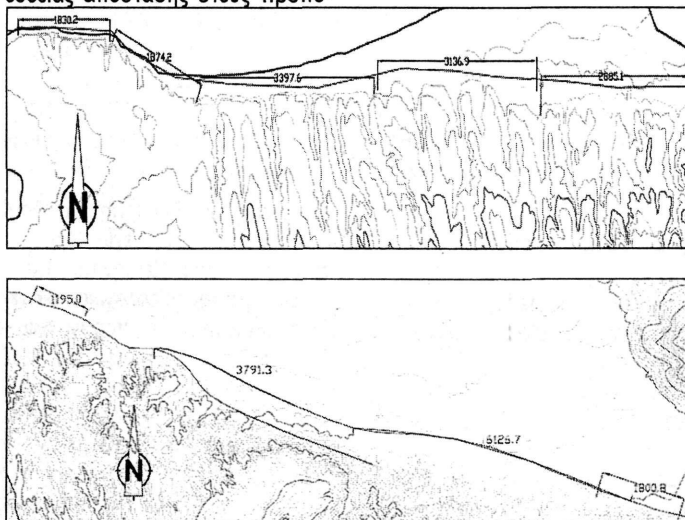


Σχήμα 8: Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τις λεκάνες του Ανθεμούντα, του Ελαιορέματος και του Ξηροποτάμου.

#### 5.4. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών

Πρόκειται για το δείκτη που εκφράζει την ισορροπία ανάμεσα στις δυνάμεις διάβρωσης και τις τεκτονικές δυνάμεις. Η δαντέλωση (Mountain – Front Sinuosity, Bull 1977, 1978) εκφράζεται με τη σχέση:  $S=L/l$ , όπου  $L$  είναι το μήκος μίας συγκεκριμένης ισοΰψους στους πρόποδες του βουνού, και  $l$  είναι το μήκος της αντίστοιχης ευθείας απόστασης στους πρόπο-

δες. Πρόποδες βουνών που δημιουργήθηκαν από ρήγματα με ενεργό δράση και πρόσφατη ανύψωση είναι σχετικά ευθείς και έχουν χαμηλές τιμές του  $S$  (1,0-1,6). Αν η ανύψωση μειώνεται (μικρός ρυθμός ανύψωσης) ή σταματά τότε οι διεργασίες διάβρωσης δημιουργούν μια περισσότερο ανώμαλη όψη στους πρόποδες και ο  $S$  αυξάνεται (1,4-3,0). Για μη ενεργό δράση οι τιμές του  $S$  παίρνουν τιμές από 1,8 μέχρι και  $>5,0$ .



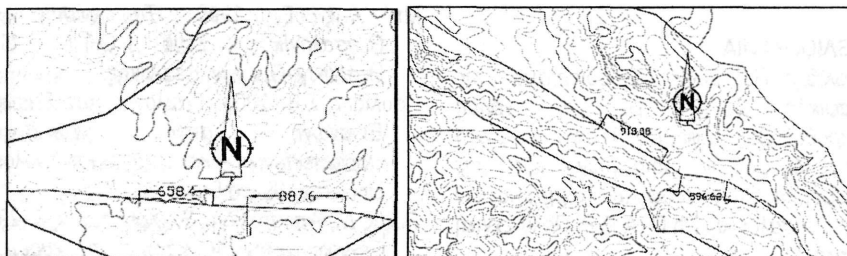
Σχήμα 9: Μετρήσεις δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Ανθεμούντα στην περιοχή Αγγελοχωρίου – Περαίας και Ν. Ρυσίου έως Γαλαρινού.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας 4 με τις τιμές του δείκτη δαντέλωσης σε ενδεικτικές περιοχές για τα τρία ρήγματα. Από τον πίνακα 4 ως πιο ενεργό ρήγμα εμφανίζεται το ρήγμα του

Ανθεμούντα στο τμήμα του από Αγγελοχώρι έως Ν. Ρύσιο με μικρές τιμές δαντέλωσης από 1,03-1,23 για μεγάλα τμήματα κατά μήκος του.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΑΝΤΕΛΩΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΠΡΟΠΟΔΕΣ ΒΟΥΝΩΝ				
α/α	ΙΣΟΥΨΕΙΣ	L	I	S
<b>ΡΗΓΜΑ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ</b>				
1	0	1.880,78	1.830,20	1,03
2	20	2.067,60	1.874,20	1,10
3	20	5.499,80	3.397,64	1,62
4	20	3.861,80	3.136,95	1,23
5	40	4.735,39	2.885,14	1,64
6	40	2.883,03	1.194,97	2,41
7	60	3.900,42	3.791,29	1,03
8	100	11.009,95	6.126,69	1,80
9	120	2560,33	1.800,75	1,42
<b>ΡΗΓΜΑ ΠΥΛΑΙΑΣ - ΠΑΝΟΡΑΜΑΤΟΣ</b>				
1	220	1.020,63	658,40	1,55
2	280	1.132,78	887,60	1,28
<b>ΡΗΓΜΑ ΑΣΒΕΣΤΟΧΩΡΙΟΥ</b>				
1	360	659,41	596,62	1,11
2	320	996,06	918,08	1,08

Πίνακας 4. Τιμές του δείκτη δαντέλωσης κατά μήκος των ρηγμάτων.



Σχήμα 10: Μετρήσεις δαντέλωσης κατά μήκος των ρηγμάτων Πυλαίας – Πανοράματος και Ασβεστοχωρίου.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη της μορφολογίας, του υδρογραφικού δικτύου και των μορφοτεκτονικών δεικτών, προκύπτει ότι το ρήγμα του Ανθεμούντα (υδρολογικές λεκάνες 1&4) είναι ενεργό. Πιο συγκεκριμένα η λεκάνη του Ανθεμούντα εμφανίζει ασυμμετρία ως προς το ρήγμα, σύμφωνα με τον δείκτη ασυμμετρίας ( $AF=60$ ) και τον παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας ( $T=0,4$ ), με άνιση κατανομή των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου. Η δαντέλωση στους πρόποδες βουνών δηλώνει επίσης ενεργότητα με τιμές κυρίως κάτω του 1,4. Πιο ενεργό τμήμα παρουσιάζεται αυτό στην περιοχή Αγγελοχωρίου – Περαίας όπου και ο δείκτης των σημείων κάμψης ρέματος δίνει ενδείξεις ενεργότητας (activity).

Στην υπολεκάνη του Ελαιορέματος οι μορφοτεκτονικοί δείκτες δίνουν επίσης θετικά αποτελέσματα για την ενεργότητα του ρήγματος Πυλαίας – Πανοράματος. Η υπολεκάνη εμφανίζει ασυμμετρία σύμφωνα με τον δείκτη ασυμμετρίας ( $AF=72$ ) και τον παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας ( $T=0,26-0,76$ ) προς το ρήγμα αλλά και άνιση κατανομή των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου. Ο δείκτης δαντέλωσης στους πρόποδες των βουνών δηλώνει επίσης ενεργότητα με τιμές 1,28 έως 1,55.

Τέλος το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου εμφανίζει επίσης στοιχεία ενεργότητας με ασυμμετρία της υπολεκάνης απορροής του Ξηροποτάμου σύμφωνα με τον δείκτη ασυμμετρίας ( $AF=73$ ) και τον παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας ( $T=0,17-0,66$ ) προς το ρήγμα αλλά και άνιση κατανομή των κλάδων

του υδρογραφικού δικτύου. Ο δείκτης δαντέλωσης στους πρόποδες των βουνών δηλώνει επίσης ενεργότητα με τιμές κάτω του 1,2.

Η χαρτογράφηση των τριών αυτών ρηγμάτων ως ενεργών δηλώνει την ανάγκη για περαιτέρω μελέτη και ακριβή αποτύπωσή τους μέσα στο δομημένο περιβάλλον, έτσι ώστε να συμβάλουν στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης.

#### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τον Αλέξη Χατζηπέτρο για τις πολλές και ουσιαστικές διορθώσεις του στο κείμενο και κατά την διάρκεια εκπόνησης της μελέτης. Επίσης το ερευνητικό πρόγραμμα SRM-LIFE που χρηματοδοτείται από την Γ.Γ.Ε.Τ. με κωδικό έργου ΔΠ19-ΕΕ10168

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αποστολίδης Π.Ι. 2002. Προσδιορισμός της εδαφικής δομής με τη χρήση μικροθρύβου. Εφαρμογή στην εκτίμηση των δυναμικών ιδιοτήτων και της γεωμετρίας των εδαφικών σχηματισμών στη Θεσσαλονίκη, Ph.D. Α.Π.Θ. Πολυτεχνική Σχολή.
- Ασάρας Θ.Α. 1980. Ποσοτική γεωμορφολογική μελέτη τμήματος των Δ. πλευρών του όρους Βερτίσκον (Κ. Μακεδονία). Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.
- Γ.Υ.Σ. Φύλλα Χαρτών, Κλίμακας 1:50.000 (Θεσσαλονίκη, Θέρμης, Επανομής, Ζαγκλιβερίου, Πολυγύρου, Βασιλικών) και Κλίμακας 1:5.000.
- Δημητριάδης Β. 1983. Τοπογραφία της Θεσσαλονίκης κατά την εποχή της Τουρκοκρατίας 1430-1912. Εταιρεία μακεδονικών Σπουδών.
- Θανάσουλας Κ. 1983. Γεωφυσική μελέτη περιοχής Ανθεμούνα (Γεωηλεκτρικά). ΙΓΜΕ.
- Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλα Χαρτών, Κλίμακας 1:50.000, Θεσσαλονίκης, Θέρμης, Επανομής, Ζαγκλιβερίου, Πολυγύρου, Βασιλικών.
- Λεβεντάκης Γ.-Α.Ν. 2003. Μικροζωνική μελέτη της πόλης της Θεσσαλονίκης. Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.
- Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Σωτηριάδης Λ., Ψιλοβίκος Α., Ασάρας Θ., Βαβλιάκης Ε., Κουφός Γ., Δημόπουλος Γ., Σούλιος Γ., Χρηστάρας Β., Σκορδύλης Μ., Τρανός Μ., Σπυρόπουλος Μ., Πάτρας Δ., Συρίδης Γ., Λαμπρινός Ν., Λαγγάλη Θ. 1996. Νεοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδας. Κλίμακας 1:100.000, Φύλλα: Θεσσαλονίκη, Λαγκαδά. Ο.Α.Σ.Π.
- Μουντράκης Δ., Συρίδης Γ., Πολυμενάκος Λ., Παυλίδης Σ. 1993. Η νεοτεκτονική δομή του ανατολικού περιθωρίου του Βυθίσματος Αξιού - Θερμαϊκού στην περιοχή Δυτικής Χαλκιδικής (Κ. Μακεδονία). Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXVIII/1, pp.379-395, Αθήνα.
- Μουντράκης Δ.Μ. 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press.
- Μπλιώνης Γ. 1996. Τα ρέματα της Θεσσαλονίκης. Σύνδ. Ο.Τ.Α. Μειζ. Θεσ/νίκης-Οικ. Κίν. Θεσ/νίκης.
- Παυλίδης Σ.Β. 2003. Γεωλογία των Σεισμών, Εισαγωγή στην νεοτεκτονική, μορφοτεκτονική και παλαιοσεισμολογία. University Studio Press.
- Ρόζος Δ., Αποστολίδης Ε., Χρηστάρας Β. 2000. Τεχνικογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Θεσσαλονίκης. Θωράκιση της Θεσσαλονίκης από Φυσικές Καταστροφές. Ημερίδα 24-2-2002.
- Ρόζος Δ., Χατζηνάκος Ι., Αποστολίδης Ε. 1998. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης. Κλίμακας 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Στεφανίδης Π. 2000. Η αντιπλημμυρική προστασία του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Θωράκιση της Θεσσαλονίκης από Φυσικές Καταστροφές. Ημερίδα 24-2-2002.
- Συρίδης Γ.Ε. 1990. Λιθοστρωματογραφική, βιοστρωματογραφική και παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών - Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής. Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.
- Τ.Ε.Ε. Τμ. Κεντρ. Μακεδονίας 1994. Τα Ρέματα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Ημερίδα 15-12-1994, ΤΕΕ.

- Φουρνιάδης Ι. 2002. *Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική εξέλιξη της κοιλάδας του Ανθεμούντα, με τη χρήση μεθόδων GIS και τηλεπισκόπησης*. Διατριβή Ειδικεύσεως, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Burbank D.W., Anderson R.S. 2001. *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science USA.
- Hare P.W., Gardner T.W. 1985. *Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins*. Tectonic Geomorphology: Proceedings 15<sup>th</sup> Annual Binghamton Geomorphology Symposium, Boston: Allen & Unwin, pp. 75-104.
- Goldsworthy M., Jackson J. 2001. *Migration of activity within normal fault systems: examples from the Quaternary of mainland Greece*. Journal of Structural Geology 23 pp.489-506.
- Goldsworthy M., Jackson J., Haines J. 2002. *The continuity of active fault systems in Greece*. Geophys. J. Int. 148, pp.596-618.
- Keller E.A., Pinter N. 2002. *Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape*. Second Edition, USA.
- Massimo Vitti 1990. *Το πολεοδομικό σχέδιο της Αρχαίας Θεσσαλονίκης και η εξέλιξη του*. Διδ. Διατριβή, Ρώμη – Θεσσαλονίκη.
- Papazachos C., Soupios P., Savaidis A., Roumelioti Z. 2000. *Identification of small-scale active faults near metropolitan areas: An example from the Asvestochori fault near Thessaloniki*. XXVII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC) 10-15/9/2000.
- Paradisopoulou P.M., Karakostas V.G., Papadimitriou E.E., Tranos M.D., Papazachos C.B., Karakaisis G.F. 2004. *Microearthquake study of the broader Thessaloniki area*, 5<sup>th</sup> Int. Symp. On Eastern Mediterranean Geology, Vol.2, pp. 623-626, Thessaloniki.
- Sotiriadis L.D. 1974. *Die Geomorphologie des Tales von Anthemous (Griechisch Makedonien)*. Ann. Mus. Goulandris 2: 141-163.
- Strahler A. 1952. *Hypsometric (area – altitude) analysis of erosional topography*. Geol. Soc. Amer. Bull., 63, pp.1117-42.
- Tranos M.D., Papadimitriou E.E., Kiliass A.A. 2003. *Thessaloniki-Gerakarou fault zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (northern Greece) and seismic hazard assessment*. Journal of Structural Geology, 25, pp.2109-2123.
- Vouvalidis K.G., Syrides G.E., Albanakis K.S. 2005. *Holocene morphology of the Thessaloniki Bay: Impact of sea level rise*. Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Vol.137, pp.147-158.

## Εκτίμηση και μοντελοποίηση του κινδύνου διάβρωσης στη λεκάνη απορροής του Ξηροπόταμου Καστορίας με χρήση ΓΣΠ.

ΖΑΡΚΑΔΑΣ Π.1, ΜΑΡΓΩΝΗ Σ.2, ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ ΑΡ.3 & ΔΑΛΕΖΙΟΣ Ν.3

### ABSTRACT

The hazard of erosion in the Xeropotamos river drainage basin on the eastern side of Kastoria lake is examined in this paper, through G.I.S. techniques (methodology). Eight levels of information were taken into account: The channel network, the Digital Elevation Model (DEM through TIN), the surface slope degree and orientation, the lithology, the vegetational cover, the rainfall distribution and the wind blown factors. The combination of the above levels of information allowed the production of two alternative erosional hazard assessment maps. One counts for equal and another counts for not equal influence of all the above factors in the model. The erosional capacity of Xeropotamos is reflected on the flatlands of the eastern side of Kastoria lake, where the river deposits heavy sediment loads, thus forming a deltaic lobe into the lake. It threatens to split the lake, unless antierosional measures on the drainage basin reduces its capacity.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται ο βαθμός επικινδυνότητας, που παρουσιάζεται σε περιοχές επιδεκτικές στη διάβρωση, στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηροπόταμου Καστορίας. Ο Ξηροπόταμος είναι ο μεγαλύτερος από τους χειμάρρους του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστορίας, εκβάλλει στο ανατολικό της τμήμα και εμφανίζει τα εντονότερα φαινόμενα στερεομεταφοράς μέσα στη λίμνη με αποτέλεσμα να τείνει να τη διαχωρίσει σε δύο τμήματα. Με τη βοήθεια Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών, δημιουργήθηκαν επίπεδα πληροφορίας με τα εξής στοιχεία: α) Λεκάνη απορροής και υδρογραφικό δίκτυο του Ξηροπόταμου, β) TIN & DEM της λεκάνης απορροής, γ) Κλίσεις του αναγλύφου της λεκάνης, δ) Προσανατολισμός των κλίσεων, ε) Είδη των πετρωμάτων, στ) Φυτοκάλυψη και χρήσεις γης ζ) Χάρτης κατανομής της βροχόπτωσης και η) Τελικός συγκεντρωτικός χάρτης των επιδεκτικών σε διάβρωση περιοχών, από το συνδυασμό όλων των παραπάνω δεδομένων. Δύο εναλλακτικά σενάρια έχουν αναλυθεί θεωρώντας ως α) ισοβαρείς και β) ανισοβαρείς τους επιμέρους παράγοντες του κινδύνου διάβρωσης. Ο χάρτης αυτός, αποτελεί εργαλείο λήψης αποφάσεων αν χρησιμοποιηθεί σωστά από τους αρμόδιους Φορείς.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κίνδυνος διάβρωσης στη χώρα μας είναι ιδιαίτερα αυξημένος με δεδομένο την πολισιχιδή γεωμορφολογία και τις απότομες αλλαγές του αναγλύφου. Ο κίνδυνος αυτός σε συνδυασμό με το γεγονός των ραγδαίων βροχοπτώσεων, προκαλούν φυσικές καταστροφές όπως πλημμυρικά φαινόμενα και λασπορροές με τα οποία έρχεται ο άνθρωπος αντιμέτωπος ανήμπορος να αντι-

δράσει. Οι περιορισμένοι για την πατρίδα μας φυσικοί πόροι που είναι το έδαφος και το νερό, είναι κεφαλαιώδους σημασίας για την προστασία του περιβάλλοντος και ο μόνος τρόπος για να αποφύγουμε την υποβάθμισή τους είναι η αειφορική τους διαχείριση (Ψιλοβίκος Αρ., 2005).

Στην παρούσα μελέτη, δίνεται έμφαση στην επικινδυνότητα της διάβρωσης στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηροπόταμου Καστο-

### EROSION HAZARD IN THE CATCHMENT'S AREA OF XIROPOTAMOS RIVER – KASTORIA USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.

<sup>1</sup> Περιβαλλοντολόγος Π.Σ.Ε. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, [ppzarkad@fastmail.fm](mailto:ppzarkad@fastmail.fm)

<sup>2</sup> Τομέας Φυσικής & Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, [margon@geo.auth.gr](mailto:margon@geo.auth.gr)

<sup>3</sup> Τμήμα Γεωπονίας Ζωικής Παραγωγής & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, [psiloviko@uth.gr](mailto:psiloviko@uth.gr), [dalezios@uth.gr](mailto:dalezios@uth.gr)

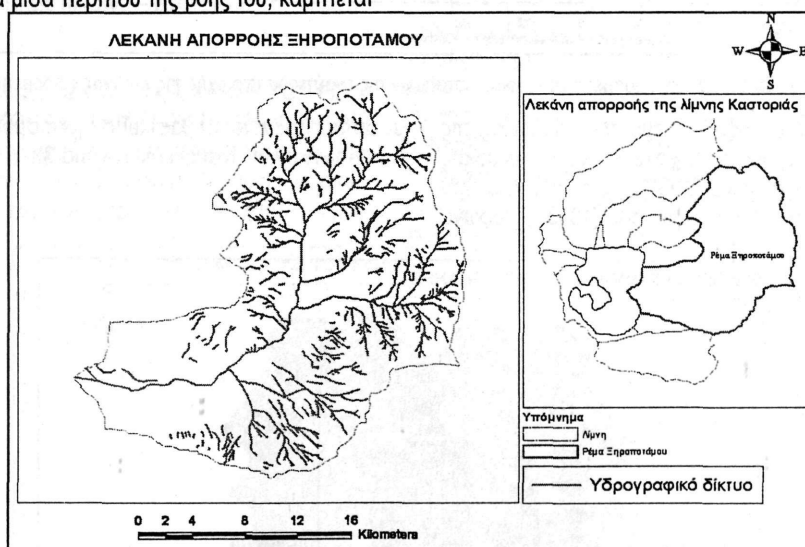
ριάς. Ο χειμάρρος αυτός τροφοδοτεί την λίμνη με σημαντική ποσότητα νερού, αλλά και με άφθονα φερτά υλικά τα οποία προσχώνουν τη λίμνη και συντελούν στην ελάτπωση του όγκου, ενώ είναι χαρακτηριστικός ο σχηματισμός δελταϊκών αποθέσεων στην περιοχή Πολύκαρπης – Μαυροχωρίου, οι οποίες τείνουν να διαχωρίσουν τη λίμνη σε δύο τμήματα, στο Βόρειο και στο Νότιο (Ζαρκάδας, 2005).

## 2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ, ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ, ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ & ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηροποτάμου, καλύπτει επιφάνεια 112,50 km<sup>2</sup>. Η διεύθυνσή του κυρίου κλάδου του υδρογραφικού δικτύου είναι αρχικά Β – Ν και στη συνέχεια, στα μισά περίπου της ροής του, κάμπτεται

προς τα δυτικά (Σχήμα 1). Το ανάγλυφο της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ημιορεινό στο μεγαλύτερο τμήμα της ροής μέχρι τις εκβολές του οι οποίες βρίσκονται σε υψόμετρο περίπου 629 m (στάθμη της λίμνης της Καστοριάς) και ορεινό στα ΒΑ και ΒΔ της λεκάνης απορροής του ανάμεσα στους ορεινούς όγκους στους οποίους εγκιβωτίζεται.

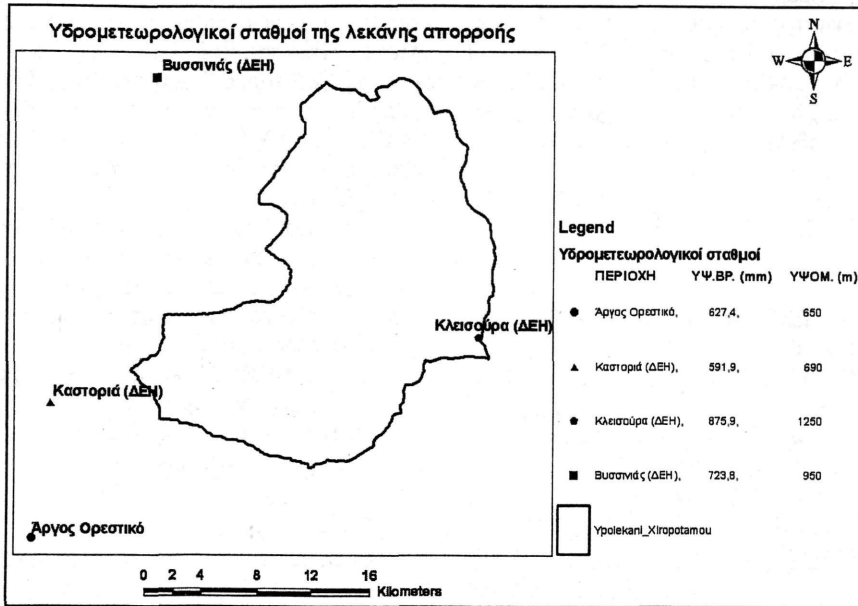
Σε ότι αφορά τα μετεωρολογικά και υδρολογικά στοιχεία, αυτά εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια δεδομένων από ορισμένους υδρομετεωρολογικούς σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται σε μία περίοδο 33 ετών από το έτος 1961 έως το 1994 (Σακκάς, 1994). Οι σταθμοί αυτοί με το γεωγραφικό τους υψόμετρο και το μέσο ετήσιο ύψος των κατακρημνισμάτων τους, φαίνονται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 1. Η λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο του χειμάρρου Ξηροποτάμου.

Ο χειμάρρος Ξηροποτάμος διακρίνεται σε δύο τμήματα : Το ψηλότερο ορεινό τμήμα στο οποίο αναπτύσσονται οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου, οι οποίοι διαβρώνουν και μεταφέρουν φερτά υλικά και στο χαμηλότερο πεδινό τμήμα στο οποίο διασκορπίζονται νερό και υλικά και σχηματίζουν δελταϊκές αποθέσεις, οι οποίες προσχώνουν τη λίμνη. Υπάρχει κίνδυνος σταδιακά να δημιουργηθεί μια λωρίδα ξηράς

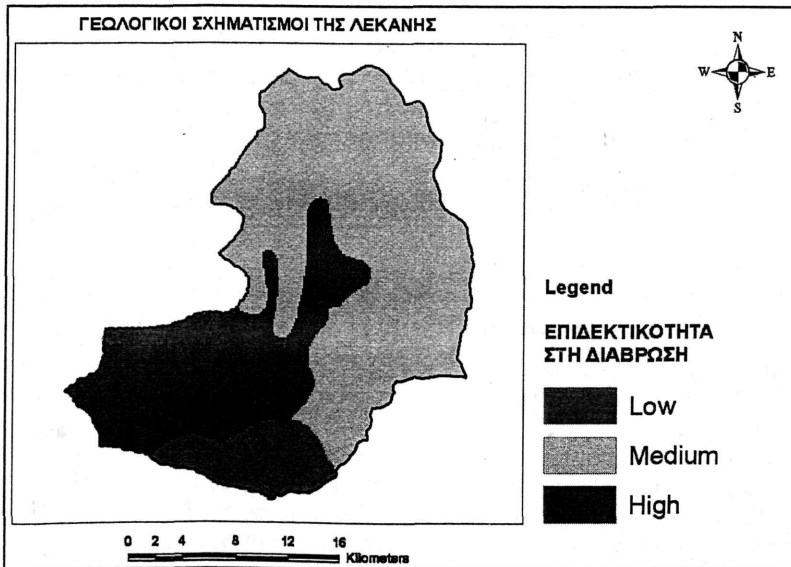
που θα αποκόπτεται το βόρειο από το νότιο τμήμα της λίμνης, με σημαντικές επιπτώσεις τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Επισημαίνεται βέβαια ότι έχει πραγματοποιηθεί μια εκτροπή του στομίου του χειμάρρου προς τα βόρεια, ενώ η φυσική του εκβολή είχε προσανατολισμό προς τα δυτικά, βελτιώνοντας σε κάποιο βαθμό την κατάσταση.



Σχήμα 2. Το δίκτυο των υδρομετεωρολογικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής.

Για τον προσδιορισμό της γεωλογίας της περιοχής χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης κλίμακας 1:500.000 του ΙΓΜΕ (1982), και τα στοιχεία από τη Διδ. Διατριβή του Βαφειάδη (1983). Σύμφωνα

με αυτά, τρεις είναι οι βασικοί σχηματισμοί που απαντούνται και είναι οι εξής (Σχήμα 3):



Σχήμα 3. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης απορροής του Ξηροποτάμου (ΙΓΜΕ, 1982)



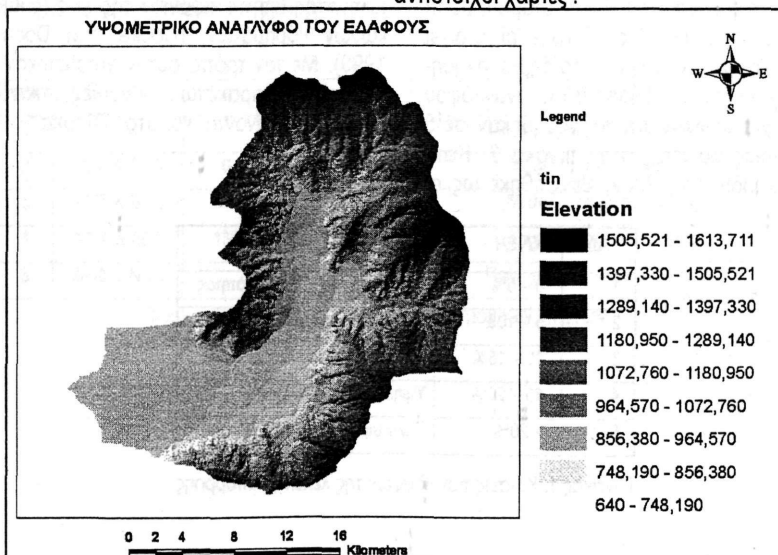
- Το **μεταμορφωμένο σύστημα** γενέσεων σχιστόλιθων και αμφιβολίτων που παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη Διακρίνονται δύο οριζόντες, από τους οποίους ο ανώτερος περιλαμβάνει κυρίως σχιστόλιθους και ο κατώτερος γενέσιους με παρεμβολές σχιστόλιθων (Παλαιοζωικό).
- **Ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι** μεσοστρωματώδεις και παχυστρωματώδεις ανοικτότεφρου και τεφρού χρώματος (Μέσο Τριαδικό).
- Οι **αλλουβιακές αποθέσεις** ασύνδετων υλικών και δελταϊκές προσχώσεις που εμφανίζονται στα πεδινά και εκατέρωθεν του Ξηροποτάμου στις περιοχές με ήπιες κλίσεις (Ολόκαινο – Πλειστόκαινο – Νεογενές).

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ & ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των γεωγραφικών πληροφοριών και την εξαγωγή του τελικού χάρτη, είναι

Arcview 3.2 & ArcGis 8.3. Συγκεκριμένα η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

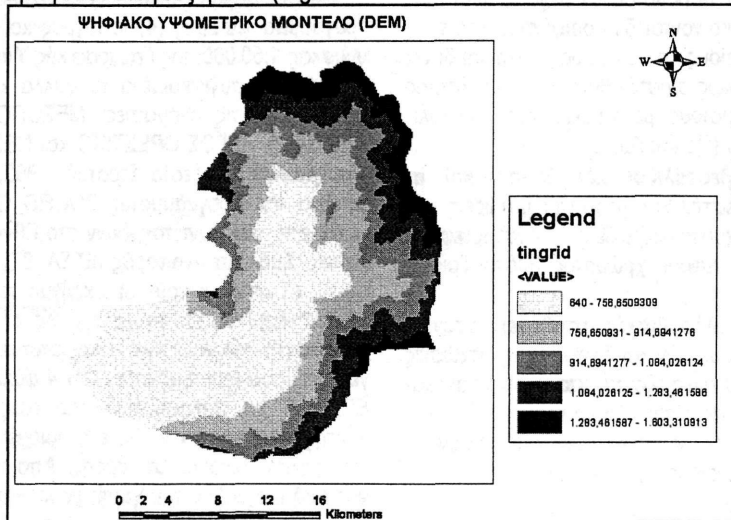
Μέσω σαρωτή (scanner) εισήχθησαν στο πρόγραμμα τέσσερις (4) τοπογραφικοί χάρτες, κλίμακας 1:50.000, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και συγκεκριμένα τα φύλλα κλίμακας 1:50.000 με τις ονομασίες: ΜΕΣΟΠΟΤΑΜΙΑ, ΚΑΣΤΟΡΙΑ, ΑΡΓΟΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟ και ΝΕΣΤΟΡΙΟ (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, 1982). Με τη βοήθεια του προγράμματος COORD\_GR έγινε μετατροπή των συντεταγμένων στο Εθνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ' 87) προκειμένου να υπολογιστούν με ακρίβεια τα γεωμετρικά δεδομένα. Με τη χρήση της επέκτασης (extension) Image analyst πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά (georeference) των 4 φύλλων στο ΕΓΣΑ' 87 και σχηματίστηκε έτσι ένας ενιαίος χάρτης από τον οποίο έγινε η οριοθέτηση της υπό μελέτη λεκάνης απορροής. Από το τοπογραφικό υπόβαθρο του χάρτη έγινε ψηφιοποίηση (digitizing) των ισοϋψών καμπυλών ανά 20 μέτρα και δημιουργήθηκε το υψομετρικό ανάγλυφο του εδάφους ή TIN (Triangulated Irregular Network) (Σχήμα 4). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν με τη σειρά που ακολουθεί τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας και παρήχθησαν οι αντίστοιχοι χάρτες :



Σχήμα 4. Το υψομετρικό ανάγλυφο του εδάφους (TIN)

**1ο Στάδιο Επεξεργασίας** από χάρτη ισοϋψών : Από το αρχείο TIN δημιουργήθηκε το ψηφιακό ανάγλυφο του εδάφους ή DEM (Digital

Elevation Model) (Σχήμα 5), από το οποίο εξήχθη το μέσο υψόμετρο της λεκάνης ( 902 m).



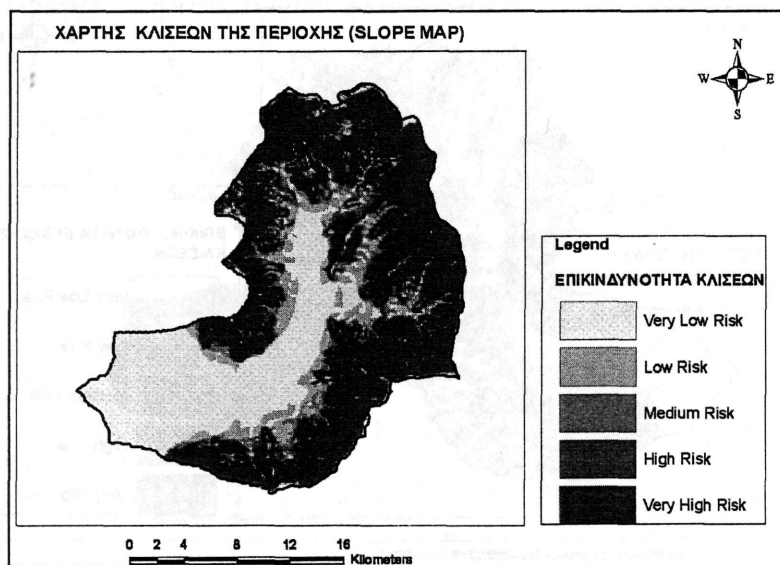
Σχήμα 5. Το ψηφιακό ανάγλυφο του εδάφους ή DEM (Digital Elevation Model)

**2ο Στάδιο Επεξεργασίας:** Από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (DEM), υπολογίστηκαν οι κλίσεις των κλιτύων της λεκάνης απορροής του Ξηροποτάμου, με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS (Spatial Analyst Extension) και με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ο χάρτης κλίσεων (Σχήμα 6) του αναγλύφου. Οι κλίσεις χωρίστηκαν και ταξινομήθηκαν σε 5 κλάσεις, όπως φαίνεται στον πίνακα 2. Κατά τους Φουρνιάδη κ.α., 2002, θεωρήθηκε ως ο-

ριακή τιμή η κλίση του 10% για τις διεργασίες της απόθεσης των κλαστικών υλικών σε συνθήκες διάχυτης ροής (λασποροής) και της ιζηματογένεσης στην επιφάνεια της γης (δημιουργία κώνων κορημάτων) (Cooke and Doorncamp, 1990). Με τον τρόπο αυτόν χωρίστηκαν οι περιοχές στις παρακάτω κατηγορίες επικινδυνότητας, όπως φαίνονται και στον Πίνακα 1.

. Α/Α	ΚΛΙΣΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
1	0 – 5%	Πολύ χαμηλής επικινδυνότητας
2	5 – 10%	Χαμηλής επικινδυνότητας
3	10 – 15%	Μέτριας επικινδυνότητας
4	15 – 20%	Υψηλής επικινδυνότητας
5	> 20%	Πολύ υψηλής επικινδυνότητας

Πίνακας 1. Κλίσεις των εδαφών της λεκάνης απορροής



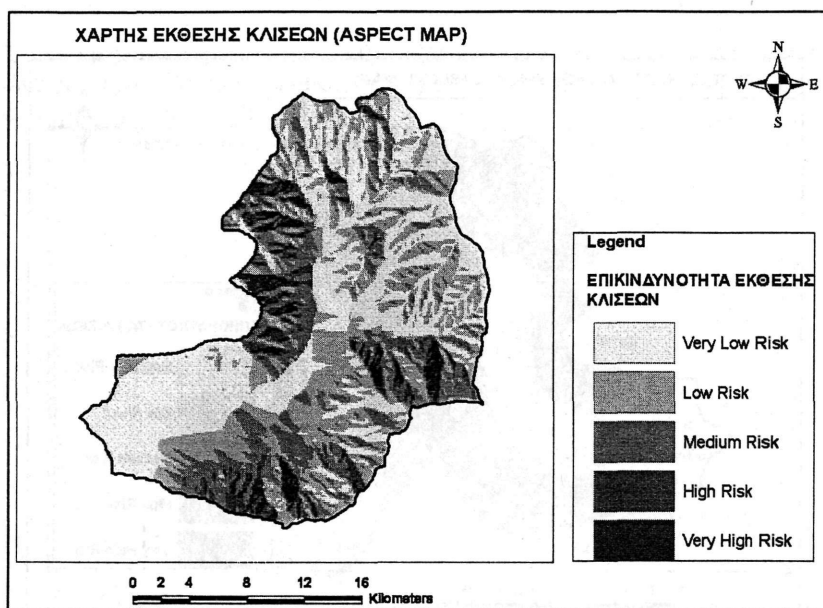
Σχήμα 6. Ο χάρτης των κλίσεων που εξήχθη από το DEM (Digital Elevation Model)

**3<sup>ο</sup> Στάδιο Επεξεργασίας :** Κατά το στάδιο αυτό δημιουργήθηκε ο χάρτης έκθεσης κλίσεων, δηλαδή ο προσανατολισμός των κλίσεων (aspect map) όπως φαίνεται στο Σχήμα 7, σε 8 διαφορετικές διευθύνσεις (B, BA, A, NA, N, ΝΔ, Δ, ΒΔ). Αυτός δημιουργήθηκε με τη χρήση της

επέκτασης Spatial Analyst του Arc View. Επειδή οι επικρατούντες άνεμοι στην περιοχή με βάση πολυετή μετεωρολογικά στοιχεία είναι ΒΑ, χωρίστηκε ο χάρτης τελικά σε 5 κλάσεις επικινδυνότητας, όπως φαίνονται στον Πίνακα 2.

Α/Α	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	ΜΟΙΡΕΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
1	BA	22,5 – 67,5	Πολύ υψηλής επικινδυνότητας
2	BBA & BAA	0 – 22,5 & 67,5 – 90	Υψηλής επικινδυνότητας
3	ANA & BBΔ	90 – 135 & 315 – 360	Μεσαίας επικινδυνότητας
4	NNA & ΔΒΔ	135 – 180 & 270 – 315	Χαμηλής επικινδυνότητας
5	ΔΝΔ & ΝΝΔ	180 – 270	Πολύ χαμηλής επικινδυνότητας

Πίνακας 2. Κλάσεις του προσανατολισμού των κλίσεων.



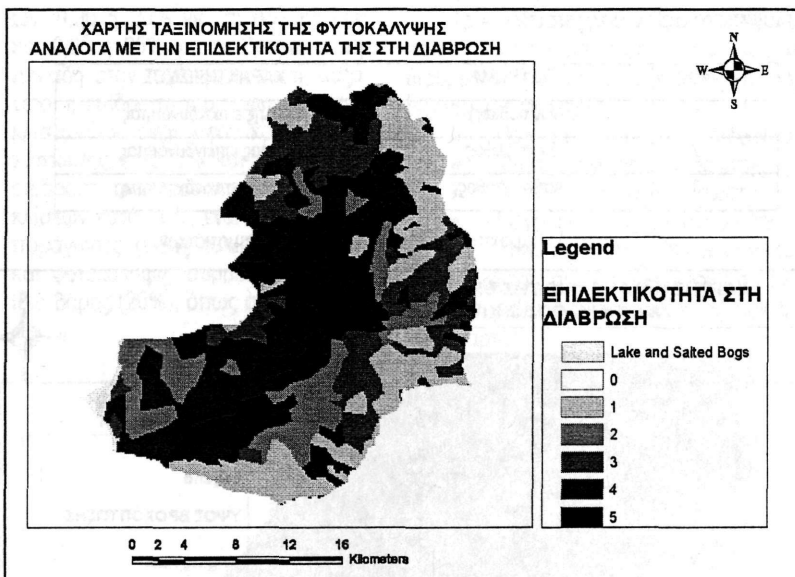
Σχήμα 7. Ο χάρτης προσανατολισμού των κλίσεων που εξήχθη από το DEM (Digital Elevation Model)

**4<sup>ος</sup> Στάδιο Επεξεργασίας :** Κατά το στάδιο αυτό, δημιουργήθηκε ο χάρτης με τη φυτοκάλυψη της λεκάνης απορροής. Χρησιμοποιήθηκε η κωδικοποίηση με τη βοήθεια της βάσης δεδομέ-

νων του CORINE, με τους κωδικούς και χαρακτηρισμούς που αναφέρονται στον Πίνακα 3 και όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.

Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
1	Χέρσα γη Μη αρδευόμενες Οργάνσιμες εκτάσεις Βοσκοτόπια	322	Πολύ υψηλής επικινδυνότητας
		211	
		231	
2	Πολύπλοκα σχέδια καλλιέργειες Φυσικά χορτολίβαδα	242	Υψηλής επικινδυνότητας
		321	
3	Εκτάσεις με σποραδική βλάστηση Παραδοσιακοί ξυλώδεις θάμνοι Σκληρόφυλλη βλάστηση Ασυνχείς αστικές κατασκευές	333	Μεσαίας επικινδυνότητας
		324	
		323	
		112	
4	Οπωροφόρα δέντρα - Ελαιώνες Εκτάσεις που καλύπτονται από αγροτικές καλλιέργειες, αγροτικές – δασικές εκτάσεις	222	Χαμηλής επικινδυνότητας
		223	
		244	
5	Δάση πλατύφυλλων Μικτά Δάση Συνχείς αστικές κατασκευές	311	Πολύ Χαμηλής επικινδυνότητας
		313	
		111	
6	Υδάτινοι όγκοι Έλη	512	Μηδενικής επικινδυνότητας
		421	

Πίνακας 3. Ομαδοποίηση και κλάσεις των χρήσεων γης



Σχήμα 8. Χάρτης χρήσεων γης της λεκάνης

Εκτός από τα προϊόντα των σταδίων επεξεργασίας, χρησιμοποιήθηκαν και τα παρακάτω ηλεκτρονικά αρχεία τα οποία κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια των ΓΣΠ :

1. Η γεωλογική δομή της περιοχής, όπως περιγράφηκε προηγουμένα και φαίνεται στο Σχήμα 2. Οι χαρακτηρισμοί για την επικινδυνότητα των περιοχών σε διάβρωση, σε αντιστοιχία με το είδος των πετρωμάτων, φαίνονται στον Πίνακα 4. Έγινε γεωαναφορά και μετατροπή των συντεταγμένων από το γεωλογικό χάρτη κλίμακα 1:500.000, στο σύστημα ΕΓΣΑ '87.
2. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής, όπως προέκυψε από τα πολυετή δεδομένα 4 υδρομετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του Ξηροποτάμου, με τη χρήση της γεωστατιστικής και της μεθόδου Kriging (Ψιλοβίκος Αρ. κ.α., 2004), οδήγησε στη δημιουργία του συνεχούς χάρτη κατανομής της βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής της λίμνης Καστοριάς (Σχήμα 9). Η επέκταση της γεωστατιστικής ανάλυσης (Geostatistical Analyst Extension) επιτρέπει προηγμένη επεξεργασία της επιφάνειας χρησιμοποιώντας στοχαστικές και γεωστατιστικές μεθόδους. Επειδή διαθέτει ένα σύνολο προηγμένων εργαλείων επεκτείνει τις

δυνατότητες των Γεωγραφικών Συστημάτων και δίδει τη δυνατότητα για λεπτομερή χωρική ανάλυση των δεδομένων και για τη δημιουργία έγκυρων στατιστικά επιφανειών. Η δημιουργία επιφάνειας χρησιμοποιώντας τον αναλυτή Geostatistical περιλαμβάνει τρία βασικά βήματα:

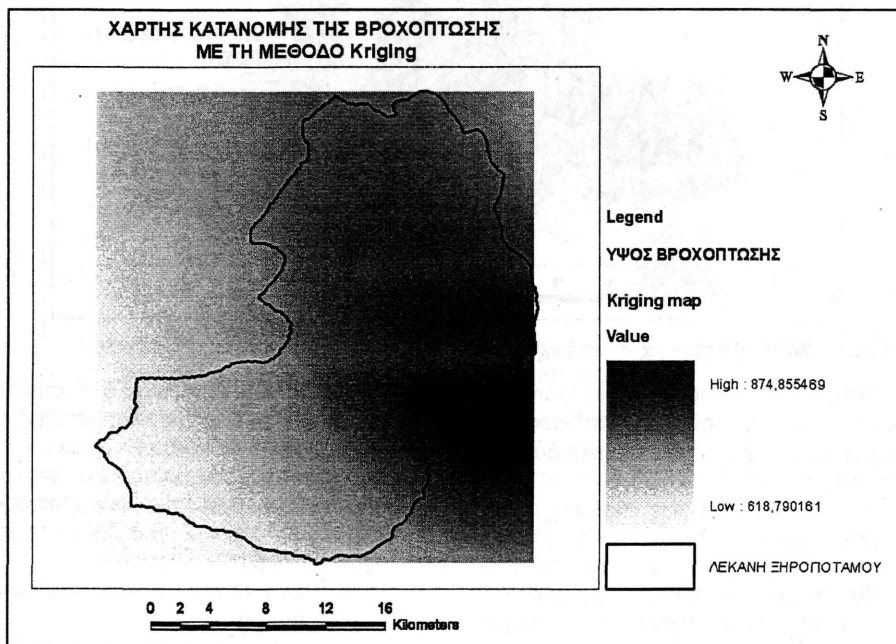
- Διερευνητική χωρική ανάλυση δεδομένων
- Δομική ανάλυση (υπολογισμός και διαμόρφωση των ιδιοτήτων επιφάνειας των κοντινών θέσεων)
- Πρόβλεψη επιφάνειας και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Η μέθοδος Kriging είναι μέθοδος πρόβλεψης επιφάνειας και ο απώτερος στόχος είναι να παραχθεί ένας χάρτης από προβλεφθείσες τιμές. Βασίζεται σε μαθηματικά και στατιστικά μοντέλα. Το πρόσθετο στοιχείο της πιθανότητας που χαρακτηρίζει ένα στατιστικό μοντέλο διαχωρίζει τη μέθοδο kriging από τις στοχαστικές μεθόδους. Στη μέθοδο kriging η πιθανότητα συνδέεται με τις προβλέψεις κι αυτό γιατί οι τιμές δε μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια από ένα στατιστικό μοντέλο. Στόχος είναι όχι μόνο να προσπαθήσει κανείς να προβλέψει τις τιμές ενός δείγματος ή μιας επιφάνειας, αλλά

και να υπολογίσει το σφάλμα της πρόβλεψης

Α/Α	ΠΕΤΡΩΜΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
1	Αλλουβιακά	Υψηλής επικινδυνότητας
2	Σχιστόλιθος	Μεσαίας επικινδυνότητας
3	Ασβεστόλιθος	Χαμηλής επικινδυνότητας

Πίνακας 4. Χαρακτηρισμοί των γεωλογικών σχηματισμών.



Σχήμα 9. Χάρτης κατανομής της βροχόπτωσης με τη μέθοδο Kriging

#### 4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ – ΧΑΡΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Από τη σύνθεση όλων των παραπάνω χαρτών και συγκεκριμένα από το

1. χάρτη των κλίσεων του αναγλύφου,
2. χάρτη του προσανατολισμού των κλίσεων,
3. χάρτη της φυτοκάλυψης της περιοχής με τη βοήθεια της βάσης του CORINE,
4. χάρτη των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής,
5. χάρτη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης

προέκυψε το τελικό προϊόν που είναι ο χάρτης με τις επιδεικτικές σε διάβρωση περιοχές.

Δύο διαφορετικές περιπτώσεις – σενάρια εξετάστηκαν για την παραγωγή του τελικού χάρτη :

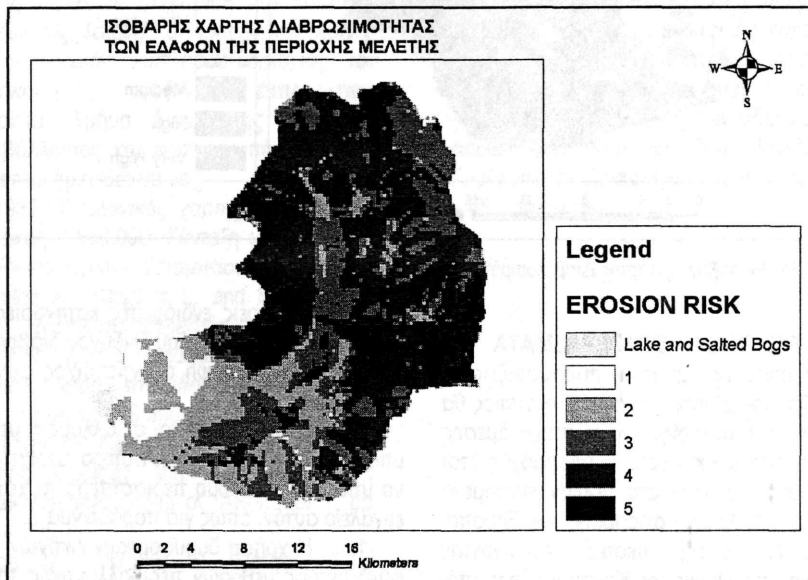
1. Οι παράγοντες που ευθύνονται για τη διάβρωση της περιοχής είναι **ισοβαρείς** μεταξύ τους και συμμετέχουν με το ίδιο ποσοστό στη σύνθεση του τελικού χάρτη
2. Οι παράγοντες **δεν είναι ισοβαρείς** μεταξύ τους και συμμετέχουν με διαφορετικό συντελεστή βάρους ο καθένας. Συγκεκριμένα, με άθροισμα των επιμέρους συντελεστών ίσων με τη μονάδα, ή επί τοις εκατό, επιλέχθηκαν οι συντελεστές 0,25 ή 25% για την κλίση του αναγλύφου, 0,20 ή 20% για το είδος των πετρωμάτων, 0,10 ή 10% για τον προσανατολισμό των κλίσε-

ων, 0,20 ή 20% για τη φυτοκάλυψη και 0,25 ή 25% για τη βροχόπτωση. Δηλαδή στην περίπτωση αυτή, αυξάνεται η επίδραση του παράγοντα των κλίσεων του αναγλύφου και της βροχόπτωσης κατά 5% και μειώνεται η επίδραση του προσανατολισμού των κλίσεων κατά 10%, ενώ οι δύο άλλοι παράγοντες (είδος των πετρωμάτων και φυτοκάλυψη) συμμετέχουν με το ίδιο βάρος (20%), όπως στο 1ο σενάριο.

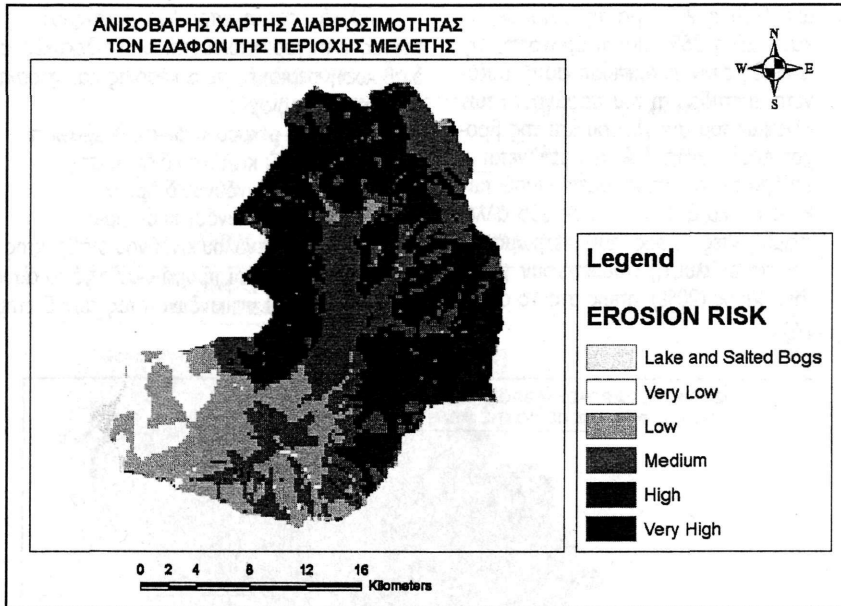
Τελικά, παράγονται δύο χάρτες στους οποίους κατηγοριοποιούνται οι επιδεκτικές στη διάβρωση περιοχές σε 5 κλάσεις και χαρακτηρίζονται ως περιοχές

- Πολύ μικρού κινδύνου διάβρωσης
- Μικρού κινδύνου διάβρωσης
- Μέσου κινδύνου διάβρωσης
- Μεγάλου κινδύνου διάβρωσης
- Πολύ μεγάλου κινδύνου διάβρωσης

Οι χάρτες αυτοί προέκυψαν από το άθροισμα του βαθμού επικινδυνότητας των 5 επιμέρους χαρτών.



Σχήμα 10. Ισοβαρής Χάρτης Διαβρωσιμότητας



Σχήμα 11. Ανισοβαρής Χάρτης Διαβρωσιμότητας

## 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται η δημιουργία ενός χάρτη – εργαλείου, ο οποίος θα μπορούσε να υποστηρίξει ένα σύστημα άμεσης λήψης αποφάσεων και μέτρων εφαρμογής, έτσι ώστε να αποφευχθούν στο μέλλον φαινόμενα διάβρωσης στη λεκάνη απορροής του Ξηροποτάμου που είναι ο σημαντικότερος παράγοντας πρόσχωσης της λίμνης της Καστοριάς και απόθεσης φερτών.

Η έρευνα στηρίχθηκε στη χρήση των ΓΣΠ και στη δημιουργία των ενδιάμεσων βημάτων οργάνωσης και αξιοποίησης όλης της ψηφιακής πληροφορίας. Χρησιμοποιήθηκαν τα υποπρογράμματα Image analyst, Spatial Analyst Extension, Geostatistical Analyst Extension. Από τους χάρτες προέκυψε ότι οι πιο επιδεκτικές στη διάβρωση περιοχές είναι αυτές για τις οποίες συνδυάζονται ταυτόχρονα όλοι οι επιμέρους παράγοντες διάβρωσης σε πολύ υψηλό βαθμό (πολύ μεγάλος κίνδυνος διάβρωσης) ενώ οι λιγότερο επιδεκτικές αντίστοιχα, είναι αυτές για τις οποίες ισχύει ο συνδυασμός των παραγόντων που προκαλούν πολύ μικρό κίνδυνο διάβρωσης. Όλοι οι ενδιάμεσοι συνδυασμοί,

ανήκουν στις τρεις ενδιάμεσες κατηγορίες του μικρού, μέσου και μεγάλου κινδύνου διάβρωσης και έχει ληφθεί υπόψη ο αντίστοιχος συντελεστής βάρους.

Περαιτέρω έρευνα και σε άλλους τομείς θα μπορούσε να δώσει περισσότερα στοιχεία και να υποστηρίξει ακόμη περισσότερο το χάρτη – εργαλείο αυτόν, όπως για παράδειγμα

1. Η χρήση δορυφορικών εικόνων και ο συνδυασμός μεθόδων περιβαλλοντικής τηλεπισκόπησης,
2. Η περαιτέρω διερεύνηση της γεωμορφολογίας, όπως των παραμέτρων υδρογραφικής πυκνότητας, συχνότητας, έντασης και υψής,
3. Η περαιτέρω υδρολογική διερεύνηση
4. Η επιτόπια έρευνα στο ύπαιθρο. Η τελευταία θα αποτελούσε και μία μέθοδος «επαλήθευσης» κατά κάποιο τρόπο των αποτελεσμάτων της έρευνας με τα ΓΣΠ με στοιχεία υπαίθρου.

Με τον τρόπο αυτό, στις περιοχές υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου και όπου το επιτρέπει το ανάγλυφο και το γεωλογικό υπόβαθρο, μπορούν να προταθούν για κατασκευή τα κατάλληλα υδραυλικά έργα (Psilonikovs Ar. et al., 2003), έτσι ώστε να προστατευθούν οι κατάντη περιοχές και κυρίως η λίμνη της Καστοριάς.



**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Βαφειάδης Π., 1983. *Υδρογεωλογική Μελέτη της Λεκάνης Καστοριάς*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, 1982. *Τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000, φύλλα Μεσοποταμία, Καστοριά, Άργος Ορεστικό και Νεστόριο*.
- Cooke R.U. and Doorncamp J.C., 1990. *Geomorphology in Environmental Management*. Clarendon Press, Oxford, 410 p.
- Ζαρκάδας Π., 2005. *Διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς και προσδιορισμός του υδατικού της ισοζυγίου*. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Διαχείρισης αγροτικού περιβάλλοντος και φυσικών πόρων, ΠΣΕ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- ΓΓΜΕ, 1982. *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000*. Σύνταξη : Μπορνόβας Ι. & Ροντογιάννη - Τσιαμπάου Θ.
- Pavlopoulos A., Katsaros K. and Stamatis G., 1997. *Hydrologic properties and resistance maps of runoff in Pendelikon region, Attica, Greece, before and after the wildfire hazards, by using GIS and RS techniques*. Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Greek National Group of IAEG, Vol 1, pp. 321 – 325.
- Psilovikos Ar., Vavliakis El., Margoni S. & Koutalou V., 2003. *Determination of the runoff coefficient in the river basins of the main torrents in Samos island after the fire of July 2000 using orthophotomaps and G.I.S*. Πρακτικά (Υπό δημοσίευση) του Διεθνούς Συνεδρίου με τίτλο «GIS AND REMOTE SENSING: ENVIRONMENTAL APPLICATIONS», Βόλος.
- Σακκάς Ιωάννης, 1994. *Υδρολογική μελέτη της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς*, Ερευνητικό Πρόγραμμα της Επιτροπής Ερευνών του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, Ξάνθη, Φεβρουάριος 1994.
- Φουρνιάδης Ι., Οικονομίδης Δ. & Αστάρης Θ., 2002. *Εντοπισμός περιοχών επιδεκτικών σε διάβρωση, με τη βοήθεια των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS) και της τηλεπισκόπησης. Ένα παράδειγμα από την υδρογραφική λεκάνη του Ανθεμούντα*. Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Τόμος II, σελ. 273 – 280.
- Ψιλοβίκος Άρης, 2005. *Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις για το ομώνυμο μάθημα του Τμήματος Γεωπονίας Ζωικής Παραγωγής & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 210, Βόλος.
- Ψιλοβίκος Άρ., Μαργώνη Σ., Βαβλιάκης Ελ., Ψιλοβίκος Αντ., 2004. Παρακολούθηση και προσομοίωση της γεωγραφικής κατανομής της ραγδαίας βροχόπτωσης της 28–29/11/2001 στη Σάμο και συμβολή στην ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών της πόρων. Πρακτικά του 7ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Τόμος Ι, σελ. 450 – 457, Μυτιλήνη.

## Γεωμορφολογική εξέλιξη της παράκτιας περιοχής του Ίστρου-Καλού Χωριού του νομού Λασιθίου Κρήτης από το Μέσο Ολόκαινο μέχρι σήμερα.

ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ.Κ<sup>1</sup>, ΘΕΟΔΩΡΑΚΟΠΟΥΛΟΥ.Κ<sup>1</sup>, HAYDEN.Β<sup>2</sup>, ΤΣΟΥΡΟΥ.Τ<sup>3</sup>, ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛ-  
ΛΟΥ.Μ<sup>3</sup>, ΚΟΥΛΗ.Κ<sup>3</sup>, ΜΠΑΣΙΑΚΟΣ.Ι<sup>4</sup>, ΒΑΝΔΑΡΑΚΗΣ.Δ<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The Istron area is located in northeastern Crete, Gulf of Mirabello, on an alluvial fan of Holocene age. The archaeological importance of this area is pointed out not only by its archaeological remains, but also by its significant location. Many important minoan sites, like Gournia, Kavousi, Pseira, have been discovered near Istro. There are indications of human installations from the Neolithic to the Roman period, proving the continuous human activity in this area. The significant geological location, as it represents an area with intense tectonic activity, the geomorphological regime of the area and the climatic changes, influenced human installations as well as the evolution of the civilization. The study of sea-land interactions during the last seven millennia in relation to the eustatic sea level oscillations and the regional neotectonic regime, as well as the geomorphologic observations and analyses on deposited sediments, aims to reveal the paleogeographic evolution of the landscape and its impact on prehistoric, classical and Roman establishments. Therefore, a geomorphological mapping of the coastal area along with the drilling of five boreholes and the excavation of six trenches, have been accomplished. Moreover, pollen and microfaunal (benthic foraminifera and ostracodes) analyses have been performed. Six samples were dated using AMS and Conventional radiocarbon techniques providing temporal control of the sediments. Sea level rise along with sea-land interactions to the landscape evolution and the transgression of sea in 5000BP have been verified. Additionally, several implications for the use of land and human impact civilization have been concluded.

**Keywords:** Geoarchaeology, coastal geomorphology, sea level changes, paleoenvironment, Crete.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παράκτια περιοχή του Καλού Χωριού βρίσκεται στη Βορειοανατολική Κρήτη, στο νότιο τμήμα του κόλπου του Μιραμπέλλου. Η παρουσία αρχαιολογικών ευρημάτων σε ολόκληρη την παράκτια ζώνη καθώς και η ύπαρξη του προϊστορικού οικισμού του Ίστρου δηλώνουν την έντονη και διαρκή παρουσία του ανθρώπου και κατά συνέπεια των επιπτώσεων που αυτή επιφέρει στην εξέλιξη του παλαιοπεριβάλλοντος κατά το ανώτερο Ολόκαινο. Η αρχαιολογική σημασία της θέσης τονίζεται όχι μόνο από τα αρχαιολογικά κατάλοιπα, αλλά και από τη γεωγραφική της θέση, δεδομένου ότι βρίσκεται κοντά σε αξιόλογες μινωικές θέσεις, όπως ο Μόχλος, τα Γουρνιά, η Ψείρα, το Καβούσι κ.α. Οι πρώτες ενδείξεις ανθρώπινης παρουσίας χρονολούνται από τη Νεολιθική εποχή, με συνεχή κατοίκηση μέχρι και τα Ρωμαϊκά χρόνια. Το γεωλογικό καθεστώς που επικρατεί στην περιοχή (έντονη τεκτονική δραστηριότητα), οι γεωμορφολογικές αλλαγές και πιθανές κλιματικές εναλλαγές, επέδρασαν σημαντικά στην διαμόρφωση του τοπίου και κατ' επέκταση στην πολιτιστική εξέλιξη και τις

### GEOMORPHOLOGICAL EVOLUTION OF THE COASTAL AREA OF ISTRON (N.E CRETE), FROM THE MIDDLE HOLOCENE UNTIL TODAY.

<sup>1</sup> Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, [kravlor@hua.gr](mailto:kravlor@hua.gr), [ktheodo@hua.gr](mailto:ktheodo@hua.gr)

<sup>2</sup> University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology

<sup>3</sup> Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών

<sup>4</sup> Εργαστήριο Αρχαιομετρίας, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, Αθήνα

ανθρώπινες δραστηριότητες. Η μελέτη της αλληλεπίδρασης θάλασσας –χέρσου, οι γεωλογικές και γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στις ιζηματογενείς αποθέσεις, αποσκοπούν στην ανασύνθεση της παλαιογεωγραφικής και παλαιοπεριβαλλοντικής εξέλιξης της περιοχής. Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε γεωμορφολογική χαρτογράφηση της περιοχής κλίμακας 1:5000 μαζί με μια σειρά ερευνητικών γεωτρήσεων-εδαφοτομών για τη μελέτη της στρωματογραφικής ακολουθίας και τη συλλογή δειγμάτων για περαιτέρω αναλύσεις. Επιπλέον, διενεργήθηκαν παλυνολογικές και μικροπαλαιοτολογικές αναλύσεις καθώς και έξι χρονολογήσεις με τη μέθοδο του ραδιοάνθρακα C14 (AMS, Conventional). Συνθέτοντας τα δεδομένα της γεωμορφολογικής χαρτογράφησης της στρωματογραφίας του Ολοκαίνου, τις ραδιοχρονολογήσεις και τις μικροπαλαιοτολογικές και παλυνολογικές αναλύσεις προσδιορίζονται οι μεταβολές της ακτογραμμής και παράλληλα παρουσιάζεται και η καμπύλη ανόδου της στάθμης της θάλασσας καθώς και ο ρυθμός της, για τη συγκεκριμένη περιοχή τοπικά.

*Λέξεις κλειδιά : γεωαρχαιολογία, μεταβολές θαλάσσιας στάθμης, παράκτια γεωμορφολογία, παλαιοπεριβάλλον, Κρήτη*

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Ίστρο βρίσκεται στη Βορειοανατολική Κρήτη, στον κόλπο του Μιραμπέλλου, σε ένα αλλουβιακό ριπίδιο Ολοκαινικής ηλικίας. Τα πρώτα ίχνη κατοίκησης εντοπίζονται ήδη από την Τελική Νεολιθική εποχή (Hayden B. 2004) ενώ η κατοίκηση ήταν συνεχής μέχρι και τα ρωμαϊκά χρόνια. Τόσο η θέση του οικισμού κοντά σε αξιόλογες μινωικές θέσεις, όπως το Καβούσι, τα Γουρνιά, η Ψείρα κ.α, όσο και τα διάφορα αρχαιολογικά ευρήματα αποδεικνύουν τη σπουδαιότητα της θέσης και τον σημαντικό ρόλο που διαδραμάτισε κατά τους προϊστορικούς και ιστορικούς χρόνους.

Οι πρώτες αρχαιολογικές έρευνες στην περιοχή άρχισαν το 1903 από τους Richard Seager και Harriet Boyd, ενώ οι πρώτες συστηματικές ανασκαφές στην περιοχή έγιναν από την Edith Hall το 1910-1912, υπό την αιγίδα του University Museum in Philadelphia. (Hall 1914). Από το 1986 έχουν αρχίσει νέες συστηματικές έρευνες που αποσκοπούν στην αρχαιολογική μελέτη και παλαιοπεριβαλλοντική ανασύσταση της ευρύτερης περιοχής του Ίστρου από τις Barbara Hayden και Jeniffer Moody, υπό την εποπτεία των Πανεπιστημίων University of Pennsylvania Museum και Baylor University.

Κατά το 2004, το Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος στην Αθήνα, που συμμετέχει στο ως άνω πρόγραμμα, ανέλαβε υπό την εποπτεία του και σε συνεργασία με το Τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκοπείου

Πανεπιστημίου, τη διεξαγωγή μιας σειράς γεωτρήσεων και εδαφοτομών, με σκοπό τη συλλογή δειγμάτων και την εφαρμογή διαφόρων τεχνικών-αναλύσεων που θα συνεισφέρουν στη γεωαρχαιολογική μελέτη της περιοχής και στην ανασύσταση του αρχαίου τοπίου.

Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην ανασύσταση του παλαιοπεριβάλλοντος τα τελευταία 7.000 χρόνια. Μικροπαλαιοτολογικές, μικρομορφολογικές και παλυνολογικές αναλύσεις σε συνδυασμό με την αξιολόγηση κάποιων χρονολογήσεων με τη μέθοδο του ραδιοάνθρακα, έδωσαν στοιχεία για τις φάσεις απόθεσης των ιζημάτων, τις κλιματικές διακυμάνσεις, και τις αλλαγές τις θαλάσσιας στάθμης,

## 2. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ- ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Το Ίστρο βρίσκεται στη Βορειοανατολική Κρήτη, στον κόλπο του Μιραμπέλλου, ανατολικά του Αγ. Νικολάου. Τα όρια των ερευνητικών προσεγγίσεων της ευρύτερης περιοχής του Ίστρου εκτείνονται από τον κόλπο του Μιραμπέλλου (κεντρικό και δυτικό μέρος) μέχρι την κοιλάδα των Μεσελερών στα νότια και από την περιοχή Κεντρομούρη, στα δυτικά της μικρής πεδιάδας γύρω από τα Γουρνιά, μέχρι την κοιλάδα του χειμάρρου Ίστρου και το Καλό χωριό στα δυτικά. Δύο κύριες οροσειρές διατρέχουν την περιοχή έρευνας: ο λόφος του Βρυόκαστρου (300μ υψόμετρο) με τις Κοπράνες που βρίσκεται 5km πίσω από τη θάλασσα και η οροσειρά που αρχίζει από τη θέση Σταυρωμένος στη νοτιοανατολική πλευρά της έρευ-

νας και εκτείνεται δυτικά προς τη Σκιναύρια κορφή.

Δύο κύριοι ποταμοί διαρρέουν στην περιοχή έρευνας: ο ποταμός Ίστρο ή Καλός ποταμός και ο Ξηροπόταμος. Ο Καλός ποταμός-Ίστρο εκτείνεται από τα δυτικά προς το Καλό χωριό και εκβάλλει στη θάλασσα από τα ανατολικά του Πρινιατικού πύργου. Ο Ξηροπόταμος πηγάζει από τους λόφους Κολούμπους και εκτείνεται ανατολικά και βόρεια ενώ εκβάλλει στη θάλασσα μέσω της μικρής κοιλάδας στο

Φρουζί, στα ανατολικά όρια της έρευνας (Hayden 2004)

Τα κύρια ακρωτήρια από τα ανατολικά προς τα δυτικά που εντάσσονται στα όρια της έρευνας είναι : το Καραβοστάσι, το Ιωαννιμίτη, το Νησί Παντελεήμων, το Ηλίας το νησί και το Βρουονήσι. Στην ακτή που σχηματίζεται ανάμεσα στο ακρωτήριο Ιωαννιμίτη και στο Νησί Παντελεήμων, βρίσκεται μια αμμώδης προεξοχή της ξηράς προς τη θάλασσα, ο Πρινιατικός Πύργος. (Σχ.1, 2)



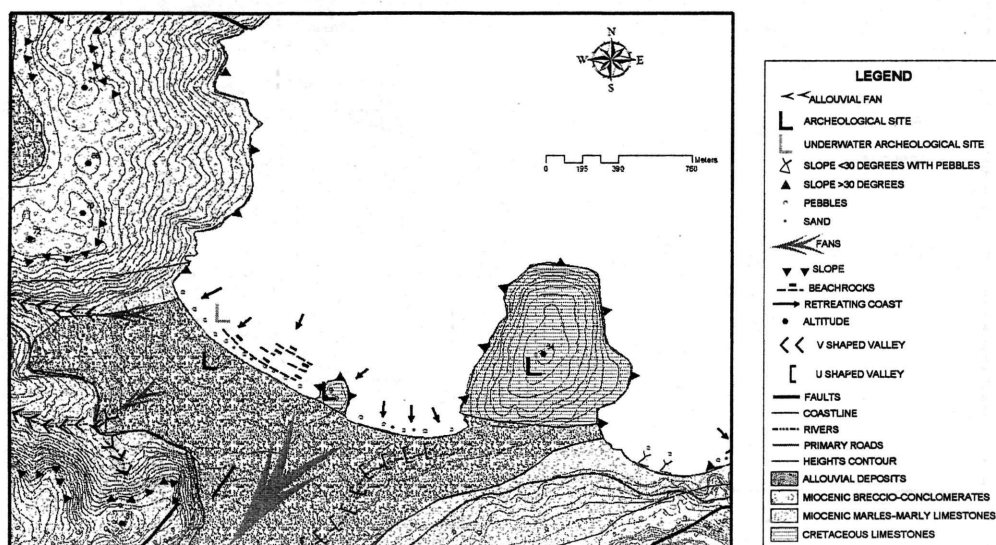
Σχήμα.1 Χάρτης της Κρήτης με την περιοχή μελέτης



σηματισμών είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ιζημάτων ιλυο-αμμώδους σύστασης κυρίως αποτελούμενα από μωσχοβίτες, γαλακτόχρωμους χαλαζίες και άσπρους-ροζ γωνιώδεις άστριους. (Hayden 2004, Myer 1984)

Η μακροδομή του ευρύτερου χώρου του κόλπου του Μιραμπέλλου χαρακτηρίζεται από την παρουσία δύο κύριων νεοτεκτονικών διευθύνσεων (Α-Δ και ΒΒΑ-ΝΝΔ), οι οποίες σχετίζονται κατά κανόνα με ρηγιγενείς γραμμές. Έτσι η περιοχή διαχωρίζεται σε επιμέρους νεοτεκτονικές μακροδομές διαφόρων τάξεων, οι

οποίες συνθέτουν μια αρκετά πολύπλοκη εικόνα. (Καροτσιέρης et al 2000). Το βύθισμα που παρατηρείται στην ακτογραμμή είναι επίσης αποτέλεσμα της τοπικής τεκτονικής δραστηριότητας, δεδομένου ότι η περιοχή αποτελεί τμήμα του βυθίσματος του κόλπου του Μιράμπελλου (Flemming 1978, Dermitzakis 1969). Η σχετική βύθιση πιστοποιείται και από το γεγονός ότι τοίχοι της Μέσης-Υστερομινωικής Ι εποχής είναι βυθισμένοι τουλάχιστον 1m στα δυτικά του Πρινιατικού Πύργου. (Σχ.3)



Σχήμα. 3 Γεωμορφολογικός χάρτης του Ισθμού

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τη διερεύνηση των ιζηματολογικών αποθέσεων κατά τη διάρκεια του Ολόκαινου, ανοίχτηκαν με τη βοήθεια μπουλντόζας 6 τρανσέρες παράλληλες προς την ακτογραμμή (T1-6), φτάνοντας η βαθύτερη σε βάθος περίπου 4 μέτρων. Επιπλέον, με τη βοήθεια γεωτρήπανου έγιναν 5 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις (C1-5), φτάνοντας η βαθύτερη σε βάθος 13 περίπου μέτρα. (Σχ.4). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι πυρήνες των γεωτρήσεων λαμβάνονταν σε αδιαφανείς, μαύρους, πλαστικούς σωλήνες, ούτως ώστε τα δείγματα να μην έρθουν σε επαφή με το ηλιακό φως, προϋπόθεση απαραίτητη για τη

χρονολόγηση των στρωμάτων με τη μέθοδο της οπτικής φωταύγειας. (Aitken 1990, Huntley et al. 1985). Οι πυρήνες ανοίχτηκαν στο Εργαστήριο

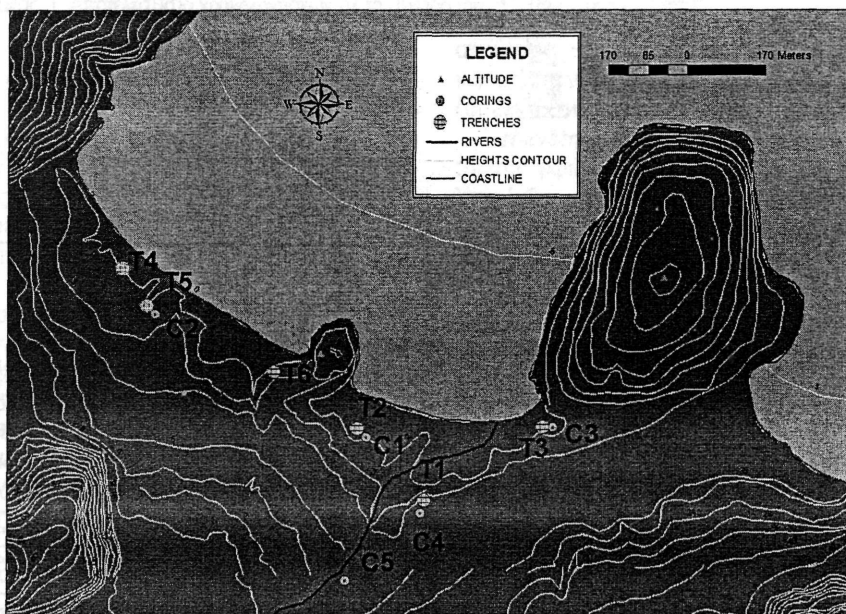
Αρχαιομετρίας του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, όπου και πάρθηκαν αδιατάρακτα δείγματα για χρονολόγηση και για άλλες αναλυτικές εφαρμογές. Μέρος των δειγμάτων μεταφέρθηκε και στο Εργαστήριο του Τμήματος Γεωγραφίας στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, όπου έγινε η μικροσκοπική ανάλυση, ταυτοποίηση και μελέτη των ιζηματολογικών φάσεων. Προσδιορίστηκαν συνολικά πέντε ιζηματολογικές φάσεις (Α-Ε) (Σχ.5).

Επιπλέον, από τις τρανσέρες και από τη γεώτρηση 2, εστάλησαν 6 δείγματα από άνθρακα και φυτικά υπολείμματα στο εργαστήριο της Beta Analytic Inc. για χρονολόγηση με τη μέθοδο του  $^{14}\text{C}$ . Τα αποτελέσματα των χρονολογήσεων αναφέρονται αναλυτικά πιο κάτω.

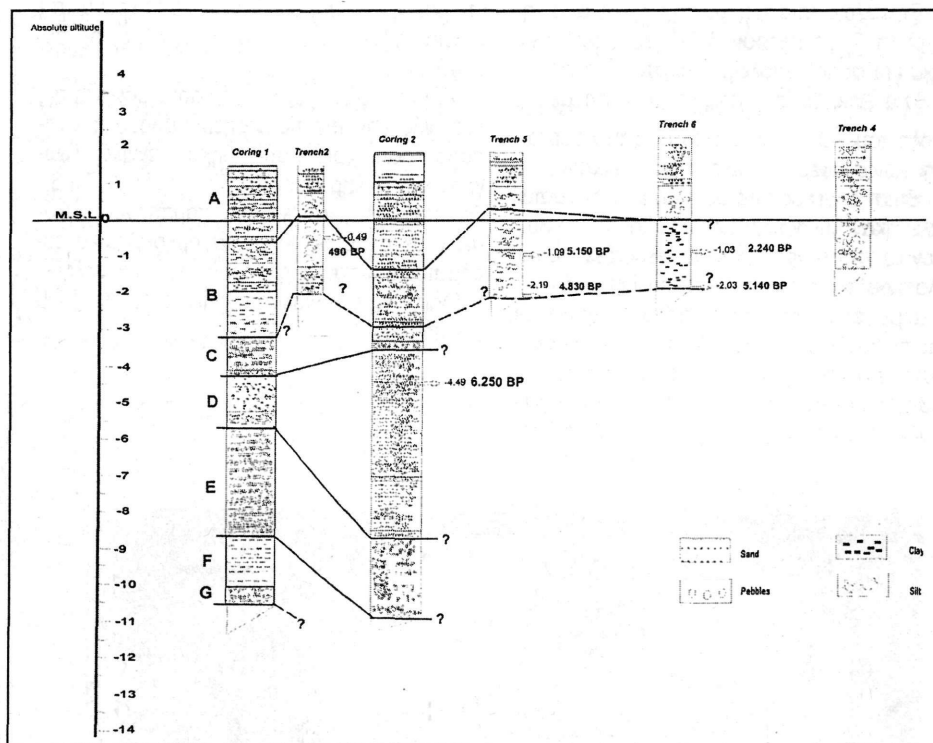
Επίσης, μέρος από αδιατάρακτα δείγματα αναλύθηκαν μικροπαλαιοντολογικά και παλυνολογικά στο εργαστήριο Ιστορικής Γεωλογίας Παλαιοντολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Η γεωμορφολογική χαρτογράφηση της παράκτιας περιοχής σε κλίμακα 1:5000, έδωσε αρκετά στοιχεία για τις παράκτιες γεωμορφές το αλλουβιακό ριπίδιο του Καλού ποταμού, τα βυθισμένα breach-rocks και τα Ρωμαϊκά ερείπια

(σε βάθος  $-0.7\text{m}$ ), βοηθώντας ταυτόχρονα στη μελέτη της γεωμορφολογικής εξέλιξης της περιοχής.

Για τη γεωμορφολογική χαρτογράφηση της περιοχής και την παλαιοπεριβαλλοντική αναπαράσταση, χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές Γεωγραφικών Πληροφορικών Συστημάτων (GIS). Τα αποτελέσματα τέλος των παραπάνω αναλύσεων σε συνδυασμό με τα αρχαιολογικά ευρήματα, έδωσαν πληροφορίες για την αλληλεπίδραση χέρσου-θάλασσης τα τελευταία 7000 χρόνια .



Σχήμα.4 Οι θέσεις των γεωτρήσεων και των τάφρων.



Σχήμα 5. Οι γεωτρήσεις και οι τάφροι με τις αντίστοιχες ιζηματολογικές ενότητες.

#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

##### 4.1 Χρονολογήσεις

Με τη μέθοδο του  $^{14}\text{C}$  και συγκεκριμένα με την τεχνική του AMS χρονολογήθηκαν έξι δείγματα από άνθρακα και φυτικά υπολείμματα, προερχόμενα από μια γεώτρηση (2) και από τις τρανσέρες 2,5 και 6. (Πιν.1)

Συγκεκριμένα από την τρανσέρα 2, σε βάθος 2μ, μέσα σε στρώμα γκρίζας ιλύος, στάλθηκε δείγμα φυτικών υπολειμμάτων για χρονολόγηση. Το στρώμα αυτό χρονολογήθηκε στα 490 Cal BP/1460μ.Χ.

Δύο δείγματα άνθρακα εστάλησαν από την τρανσέρα 5 σε βάθος 2.80 και 3.90μ αντίστοιχα, προερχόμενα από στρώμα σκούρας γκρι αμμόδους ιλύος, χρονολογούμενα 5.150 Cal BP/3180π.Χ και 4830 Cal BP/2880π.Χ α-

ντίστοιχα. Στις χρονολογήσεις αυτές παρατηρείται κάποια ασυνέχεια, δεδομένου ότι σε μεγαλύτερο βάθος η χρονολόγηση είναι νεότερη του υπερκείμενου στρώματος. Προφανώς αυτό οφείλεται σε πιθανή μεταφορά του απανθρακωμένου υλικού.

Από την τρανσέρα 6 δόθηκαν επίσης 2 δείγματα προερχόμενα από στρώμα σκούρας γκρι ιλύος, σε βάθος 3 και 4 μ αντίστοιχα. Το ανώτερο στρώμα χρονολογήθηκε στα 2240 Cal BP και το υποκείμενο στα 5150 Cal BP.

Τέλος, από τη γεώτρηση 2 εστάλη δείγμα φυτικού υπολείμματος, από βάθος 6μέτρων, προερχόμενο από στρώμα γκρίζας ιλύος, το οποίο χρονολογήθηκε στα 6.250 Cal BP.



Σημείο Δειγματοληψίας	Βάθος	Χρονολόγηση (Cal.)
Τρανσέρα 2	2m, φυτικά υπολείμματα	490 BP/1460 μ.Χ
Τρανσέρα 5	2.80m, απανθρακωμένα υλικά	5.150 BP/3180π.Χ
Τρανσέρα 5	3.90m, απανθρακωμένα υλικά	4.830 BP/2880π.Χ
Τρανσέρα 6	3m, φυτικά υπολείμματα	2.240 BP/290π.Χ
Τρανσέρα 6	4m, απανθρακωμένα υλικά	5.150 BP/3200π.Χ
Γεώτρηση 2	6.30m, φυτικά υπολείμματα	6.250 BP /4300π.Χ

Πίνακας. 1 Αποτελέσματα χρονολογήσεων με τη μέθοδο του  $^{14}\text{C}$ . (Beta Analytic Inc)

#### 4.2 Ιζηματολογικές αναλύσεις

Μετά την ταξινόμηση και μελέτη των ιζηματολογικών φάσεων των γεωτρήσεων και των τρανσερών, αναγνωρίστηκαν 5 κύριες φάσεις: A, B, C, D, και E (E, F, G). (Σχ.5) Η ιζηματολογική **ενότητα A** είναι η νεότερη και αντιπροσωπεύεται από τον εδαφικό ορίζοντα με κατάλοιπα ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Αποτελείται κυρίως από ξηρή καστανή/ καστανοπράσινη άργιλο, άμμο ή και αμμώδη ιλύ με μικρές κροκάλες, επηρεασμένη από χερσαίες διεργασίες. Μόνο στη γεώτρηση 1, κάποια στρώματα με κροκάλες, αποδεικνύουν την επίδραση του ποταμού (πιθανή παλαιοκοίτη), δεδομένου ότι αντίστοιχο στρώμα σε αυτόν τον ορίζοντα δεν εμφανίζεται στις άλλες γεωτρήσεις. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί μιας και η θέση της Γεώτρησης 1 είναι η πλησιέστερη στην ενεργό κοίτη του ποταμού.

**Η ενότητα B** (2240-5150 BP) αποτελείται κυρίως από γκρι-σκούρα γκρι άμμο ή ιλυώδη άμμο/ άργιλο με λίγες κροκάλες. Χαρακτηρίζεται από υπερόχθιες αποθέσεις του ποταμού με επίδραση υφάλμυρου-θαλάσσιου νερού.

Εντοπίστηκαν ίχνη βενθικών και πλαγκτονικών τρηματοφόρων σε άσχημη κατάσταση διατήρησης, επισημαίνοντας ότι είχαν μεταφερθεί.

**Η ενότητα C** (5000-5.500BP ?) χαρακτηρίζεται από κροκαλοπαγείς, ποταμο-χειμμάριες

αποθέσεις. Η ενότητα αυτή αντιπροσωπεύεται κυρίως στη γεώτρηση 1 παρά στις άλλες, σχετιζόμενη πιθανόν με παλαιο-κοίτη του ποταμού.

**Η ενότητα D** (5500-6250BP) χαρακτηρίζεται από γκριζα-σκούρα γκρι ιλύ /ιλυώδη άμμο. Υπερόχθιες αποθέσεις με επιδράσεις γλυκού, ρηχού και στάσιμου νερού κυριαρχούν σε αυτή την ενότητα, αποκαλύπτοντας χαμηλής ενέργειας γεγονότα και σχετικά ήρεμες συνθήκες. Αυτή η ενότητα κυριαρχεί κυρίως στη Γεώτρηση 2, αποδεικνύοντας ότι μεταξύ του 6250-5500BP στην περιοχή αυτή πρέπει να υπήρχε ένα έλος με στάσιμο γλυκό νερό.

Τέλος, **η Ενότητα E** (E,F,G) (>6500 BP) χαρακτηρίζεται από ποταμοχειμμάριες και υπερόχθιες αποθέσεις. Αυτή η ενότητα εμφανίζεται και στη γεώτρηση 2 αποδεικνύοντας πιθανή επίδραση ή και μετατόπιση της ροής του ποταμού κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Ίσως αυτή η ενότητα να αντιπροσωπεύει και το λεγόμενο 'Older fill' (Vita-Finzi, 1966, 1969)

#### 4.3 Μικροπαλαιοντολογικές αναλύσεις

Επτά δείγματα από τις τρανσέρες 2, 3, 5 και 6 στάλθηκαν για μικροπαλαιοντολογικές αναλύσεις στο Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Όλα τα δείγματα ανήκαν στην ιζηματολογική φάση B που χαρακτηρίζεται από γκριζα-σκούρα γκρι άμμο ή ιλυώδη άμμο-

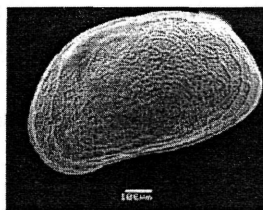
άργίλο με μικρές κροκάλες. Πρόκειται για υπερόχθιες αποθέσεις με επίδραση υφάλμυρου-θαλάσσιου νερού. Στις αναλύσεις των δειγμάτων εντοπίστηκαν βενθικά και πλαγκτονικά τρηματοφόρα καθώς και κάποια οστρακώδη.

Συγκεκριμένα, στην τρανσέρα 2 επιλέχθηκαν 2 δείγματα στα 1.7 και 2m αντίστοιχα. Στο δείγμα που αντιστοιχούσε στα 1.7m βάθος δεν εντοπίστηκαν καθόλου τρηματοφόρα, παρά μόνο 1-2 είδη οστρακωδών του τύπου *Tyrrhenocythere amnicola*. Ο τύπος αυτός χαρακτηρίζεται αποθέσεις σε υφάλμυρο περιβάλλον της περιοχής της Μεσογείου (Bate et al., 1978). Στα 2m βάθος εντοπίστηκαν πολύ λίγα (<5) βενθικά και πλαγκτονικά τρηματοφόρα, άσχημα διατηρημένα, υποδηλώνοντας ότι είχαν μεταφερθεί. Επιπλέον, εντοπίστηκαν λίγα (<5) οστρακώδη που ανήκαν στους τύπους *Tyrrhenocythere amnicola* και *Candona* spp. Αυτά τα είδη υποδηλώνουν περιβάλλον γλυκού νερού με κάποιες επιδράσεις υφάλμυρου. (Σχ.6)

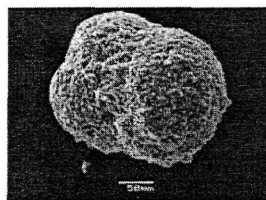
Η τρανσέρα 3 αποδείχθηκε τελείως στείρα. Δεν βρέθηκαν ούτε τρηματοφόρα ούτε οστρακώδη.

Στην τρανσέρα 5 αναλύθηκε δείγμα σε βάθος 2.8m το οποίο περιείχε πολύ λίγα (<5) βενθικά και πλαγκτονικά τρηματοφόρα, άσχημα διατηρημένα και εδώ, καθώς και λίγα (1-2 είδη) οστρακώδη του τύπου *Candona* spp που επίσης υποδηλώνουν περιβάλλον γλυκού-υφάλμυρου νερού.

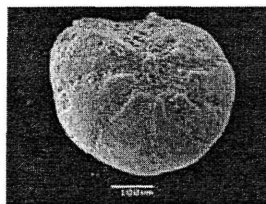
Από την τρανσέρα 6 επιλέχθηκαν 2 είδη από τα 3 και 4m βάθος αντίστοιχα. Στα 3m εντοπίστηκαν πολύ λίγα (<5) βενθικά και πλαγκτονικά τρηματοφόρα, σε άσχημη κατάσταση διατήρησης, υποδηλώνοντας μεταφορά. Επιπλέον, εντοπίστηκαν και λίγα οστρακώδη (<5) του τύπου *Tyrrhenocythere amnicola* που χαρακτηρίζουν υφάλμυρες αποθέσεις της περιοχής της Μεσογείου. (Bate et al., 1978). Στα 4m εντοπίστηκαν τα ίδια με τα ως άνω είδη.



Tyrrhenocythere  
Left valve



Globigerinoides sp



Ammonia Beccarii

Σχήμα 6. Εικόνες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο χαρακτηριστικών τρηματοφόρων και οστρακωδών.

#### 4.4 Παλυνολογικές αναλύσεις

Δείγματα για μελέτες παλυνολογικές στάλθηκαν στο Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Επιλέχθηκαν 26 δείγματα από τη Γεώτρηση 2 από διάφορα βάθη (Σχ.7). Τα 12 αποδείχθηκαν στείρα. Αρκετές συγκεντρώσεις άνθρακα βρέθηκαν στα 215, 293, 410, 450-490 και 515-520 cm. Το στρώμα σε βάθος 210-215m ήταν στείρο με άφθονη συγκέντρωση άνθρακα. Στα 270-307cm βάθος εντοπίστηκαν τα εξής είδη: *Pinus*, *Olea*, *Juniperus*, *Ericaceae*, *Helianthus*, *Sinapis*, *Tubuliflorae*, *Liguliflorae*, *Sordaria*, Type 128. Το στρώμα στα 312-390cm βάθος ήταν στείρο, με λίγα ίχνη από *Pinus* και άνθρακα. Στα 410-520cm εντοπίστηκαν διάφορα είδη όπως *Pinus*, *Ericaceae*, *Juniperus*, *Quercus*, *Poaceae*, *Sinapis*, *Teucrium*,

*Convolvulus*. Τα στρώματα στα 570-650cm και 707-713cm ήταν στείρα.

*Pinus, Poaceae, Cerealia type, Liguliflorae* εντοπίστηκαν στα 890-910cm βάθος, ενώ τα στρώματα στα 910-920cm και 1050-1060cm βάθος ήταν επίσης στείρα με οργανικά υπολείμματα.

Από τις παραπάνω αναλύσεις μπορούμε να πούμε πως οι συγκεντρώσεις γύρης είναι αρκετά χαμηλές, ενώ η διασπορά της γύρης είναι αρκετά υψηλή στο ανώτερο τμήμα του πυρήνα και χαμηλότερη στο κατώτερο (890-910cm).

Τα είδη της γύρης που εντοπίστηκαν στα ανώτερα τμήματα, υποδηλώνουν ανοικτού τύπου ξηροφυτική βλάστηση με λίγα πεύκα, αγριοκυπάρισσα, και μεγάλη ποικιλία σε βότανα. Η παρουσία της ελιάς στα 270cm βάθος παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς γίνονται διάφορες συζητήσεις για το κατά πόσο η ελιά στην Κρήτη ήταν αυτόχθονη ή μη. (Bottema and Sarpaki, 2003).

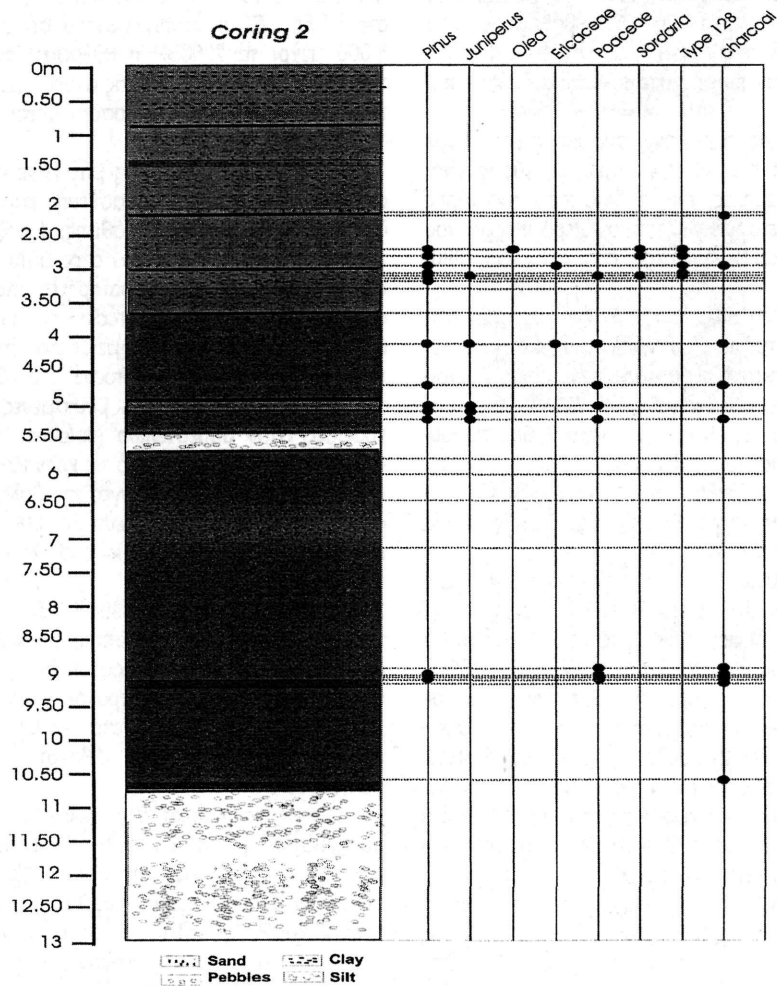
Στα ανώτερα σημεία του πυρήνα οι τιμές των ποών είναι χαμηλές ενώ δεν εντοπίστηκε γύρη από δημητριακά. Αντίθετα, στα κατώτερα σημεία του πυρήνα οι τιμές των ποών αυξάνονται ενώ εντοπίστηκε και γύρη που ανήκε σε δημητριακά. Η παρουσία σπόρων του τύπου *Sordaria* στα 270-307cm βάθος, υποδηλώνει ανθρώπινη δραστηριότητα-βόσκηση στην περιοχή. Μάλιστα η εμφάνιση σε αυτό το στρώμα του τύπου *type 128* πιθανόν να υποδηλώνει ρηχά, στάσιμα, γλυκά νερά.

Η ανάλυση των παλυνοφάσεων στα στείρα δείγματα οδήγησε στο διαχωρισμό 2 ξεχωριστών ομάδων: α) στείρα δείγματα με οργανικά υπολείμματα όπως φυτικοί ιστοί, υφές κ.α και β) τελείως στείρα δείγματα. Η τελευταία ομάδα προφανώς υποδηλώνει συνθήκες απόθεσης που δεν ευνοούσαν τη διατήρηση οργανικών υλικών (ποτάμιες αποθέσεις ή οξειδωτικές συνθήκες). Για την περιοχή της Κρήτης σύμφωνα με τη καμπύλη του Lambeck (1995, 1996), στα

18.000BP χρόνια η θαλάσσια στάθμη ήταν κατά 130m περίπου χαμηλότερα, στα 10.000BP -56m, στα 6.000BP στα -6m και στα 2.000BP στα -1.5m. Είναι λοιπόν φανερό ότι από τα 6.000 μέχρι τα 2000BP η θάλασσα ανέβηκε περίπου 4.5m, άρα ο ρυθμός ανόδου με βάση το μοντέλο αυτό προσδιορίζεται στα 1.12mm/έτος.

Για την περιοχή μελέτης μας έγινε κάποια αντίστοιχη προσπάθεια κατασκευής καμπύλης διακύμανσης θαλάσσιας στάθμης, βασιζόμενη τόσο στις χρονολογήσεις των στρωμάτων, όσο και στις υποθαλάσσιες παρατηρήσεις των ψηφιδωπαγών αιγιαλών (beachrocks) και των βυθισμένων ακτών. (Σχ.8) Σημειώνεται ότι εντοπίστηκαν τρεις σειρές beachrocks στα -0.5m, -1.2m και -1.7m καθώς και βυθισμένες ακτογραμμές στον ασβεστόλιθο (notches), στα -0.5m. Τα αποτελέσματα από τις χρονολογήσεις C14 που αφορούν τις αλλαγές της θαλάσσιας στάθμης στο Ίστρο τα τελευταία 6500chr BP, είναι: στα 6250BP θαλάσσια στάθμη -5,77m από τη σημερινή, στα 5140BP -2,7m, στα 2240BP -1,7m και στα 490BP -0,5m. Όπως προαναφέρθηκε υπάρχει κάποια ανακολουθία σε 2 χρονολογήσεις απανθρακωμένου υλικού: ένα δείγμα στα -3,47m χρονολογήθηκε στα 4830BP, ενώ ένα δείγμα στα -2,37m, στα 5150BP. Κατά πάσα πιθανότητα έχει μεταφερθεί.

Όπως φαίνεται και στο γράφημα υπάρχει συσχετισμός με την καμπύλη του Lambeck's για την Ελλάδα και την Ανατ. Μεσόγειο. Σύμφωνα με την καμπύλη του Ίστρου, από τα 6250-2240BP, η θαλάσσια στάθμη ανέβηκε γύρω στα 4m. Ο ρυθμός ανόδου για την περιοχή ανά έτος υπολογίζεται με βάση τα στοιχεία της παρούσας μελέτης, περίπου στα 0,99mm/y. Φαίνεται πως ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης τοπικά για την περιοχή του Ίστρου είναι σχετικά ίδιος με τον ρυθμό τεκτονικής ανόδου της περιοχής.



Σχήμα 7. Παλυνολογικό διάγραμμα της Γεώτρησης 2

#### 4.5 Διακύμανση θαλάσσιας στάθμης

Με το τέλος της τελευταίας Παγετώδους περιόδου και την αρχή του Ολόκαινου, η θαλάσσια στάθμη άρχισε παγκοσμίως να ανεβαίνει λόγω της τήξης των πάγων που κάλυπταν τη Βόρεια Ευρώπη και Αμερική. Κατά το λιώσιμο των πάγων η θάλασσα ανέβηκε περίπου 120-130m. Ιδιαίτερα μεταξύ του 16.000-8.000BP ο ρυθμός ετήσιας ανόδου της θαλάσσιας

στάθμης έφτανε τα 15-20mm/ανά έτος (Lambek 1996). Μελέτες για την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στην ελληνική ακτογραμμή έχουν αντλήσει στοιχεία τόσο από αρχαιολογικά όσο και γεωλογικά κατάλοιπα. ( Van Andel 1987, Flemming 1987, Kraft et al.1980). Βέβαια, η περιοχή της Ελλάδας και του Αιγαίου λόγω της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας κάνει τη μελέτη ακόμη πιο δύσκολη σε σχέση με περιοχές σχετικά σταθερές, με αποτέλεσμα συγκε-

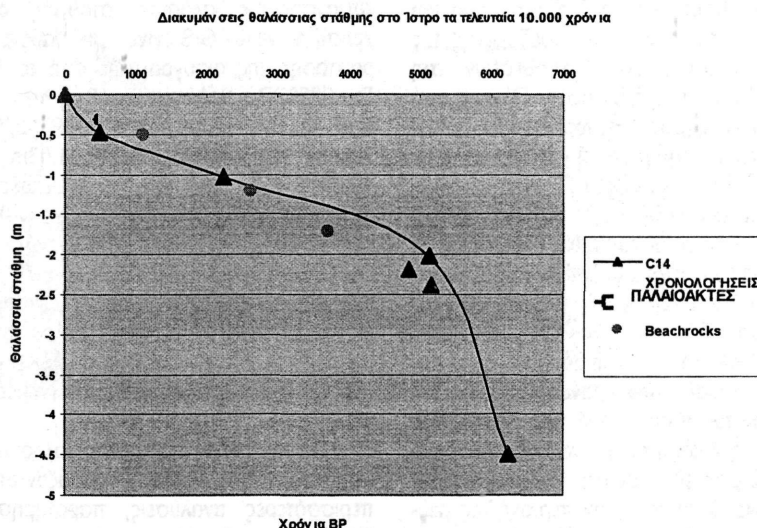
κριμένες περιοχές να έχουν διαφορετικούς ρυθμούς ανόδου σε σχέση με άλλες. (Jackson 1994).

Για την περιοχή της Κρήτης σύμφωνα με τη καμπύλη του Lambeck (1995, 1996), στα 18.000BP χρόνια η θάλασσα στάθμη ήταν κατά 130m περίπου χαμηλότερα, στα 10.000BP -56m, στα 6.000BP στα -6m και στα 2.000BP στα -1.5m. Είναι λοιπόν φανερό ότι από τα 6.000 μέχρι τα 2000BP η θάλασσα ανέβηκε περίπου 4.5m, άρα ο ρυθμός ανόδου με βάση το μοντέλο αυτό προσδιορίζεται στα 1.12mm/έτος.

Για την περιοχή μελέτης μας έγινε κάποια αντίστοιχη προσπάθεια κατασκευής καμπύλης διακύμανσης θαλάσσιας στάθμης, βασιζόμενη τόσο στις χρονολογήσεις των στρωμάτων, όσο και στις υποθαλάσσιες παρατηρήσεις των ψηφιδωπαγών αιγιαλών (bechrocks) και των βυθισμένων ακτών. (Σχ.8) Σημειώνεται ότι εντοπίστηκαν τρεις σειρές beachrocks στα -0.5m, -1.2m και -1.7m καθώς και βυθισμένες ακτογραμμές στον ασβεστόλιθο (notches), στα -0.5m. Τα αποτελέσματα από τις χρονολογήσεις

C14 που αφορούν τις αλλαγές της θαλάσσιας στάθμης στο Ίστρο τα τελευταία 6500χρ BP, είναι: στα 6250BP θαλάσσια στάθμη -4,49m από τη σημερινή, στα 5140BP -2,03m, στα 2240BP -1,03m και στα 490BP -0,49m. Όπως προαναφέρθηκε υπάρχει κάποια ανακολουθία σε 2 χρονολογήσεις απανθρακωμένου υλικού: ένα δείγμα στα -2,19m χρονολογήθηκε στα 4830BP, ενώ ένα δείγμα στα -1,09m, στα 5150BP. Κατά πάσα πιθανότητα έχει μεταφερθεί.

Όπως φαίνεται και στο γράφημα υπάρχει συσχετισμός με την καμπύλη του Lambeck's για την Ελλάδα και την Ανατ. Μεσόγειο. Σύμφωνα με την καμπύλη του Ίστρο, από τα 6250-2240BP, η θαλάσσια στάθμη ανέβηκε γύρω στα 4m. Ο ρυθμός ανόδου για την περιοχή ανά έτος υπολογίζεται με βάση τα στοιχεία της παρούσας μελέτης, περίπου στα 0,99mm/γ. Φαίνεται πως ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης τοπικά για την περιοχή του Ίστρο είναι σχετικά ίδιος με τον ρυθμό τεκτονικής ανόδου της περιοχής.



Σχήμα 8. Καμπύλη διακύμανσης θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή του Ίστρο

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω, μπορούν να εξαχθούν κάποια πρώτα συμπεράσματα για την ανθρώπινη δραστηριότητα και την επίδραση των περιβαλλοντικών αλλαγών σε αυτή. Από τα αρχαιολογικά ευρήματα πιστοποιείται ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα ήταν συνεχής από τα Τέλη της Νεολιθικής εποχής μέχρι και τα Ρωμαϊκά χρόνια στην περιοχή. Τα περισσότερα βέβαια ευρήματα κυρίως στην παράκτια ζώνη όπου και εστιάστηκε η μελέτη μας είναι επιφανειακά (όστρακα κεραμικής, εργαλεία κ.α) ενώ λίγα είναι τα αρχιτεκτονικά κατάλοιπα που έχουν εντοπιστεί βυθισμένα κοντά στο Πρινιατικό Πύργο (Μινωικής εποχής) και στην ακτή μεταξύ Ιωαννιμύτη και Πρινιατικού Πύργου (Ρωμαϊκά).

Η ιζηματολογική μελέτη των πυρήνων των γεωτρήσεων και των τρανσερών, οδήγησε στην αναγνώριση 5 κύριων ιζηματολογικών φάσεων. Είναι φανερό ότι η επίδραση του Καλού ποταμού είναι ιδιαίτερα έντονη και κυρίως στην περιοχή που βρίσκεται η Γεώτρηση 1. Σε συνδυασμό και με τις χρονολογήσεις, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τουλάχιστον μέχρι και το 6250BP η ροή του ποταμού ήταν κοντά στη θέση της Γεώτρησης 1, ανατολικά του Πρινιατικού Πύργου. Ίσως πριν το 6250BP η ροή του ποταμού να ήταν πιο δυτικά, δεδομένης της εμφάνισης κροκαλοπαγών αποθέσεων στη Γεώτρηση 2 κατ' αυτή την εποχή. Πάντως από τη μελέτη των ιζημάτων μπορούμε να πούμε ότι οι αποθέσεις στην περιοχή μεταξύ του Ιωάννη μύτη και του Πρινιατικού Πύργου φανερώνουν πιο ήρεμες συνθήκες απόθεσης, ενώ η επίδραση του ποταμού είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την περιοχή ανατολικά του Πρινιατικού Πύργου. Επιπλέον, τόσο η ύπαρξη κάποιων ειδών οστρακωδών του τύπου *Candona* spp που υποδηλώνουν περιβάλλον γλυκού-υφάλμυρου νερού στην τρανσέρα 5 και του γυρεόκοκκου του τύπου *T.128* που εντοπίστηκε στη γεώτρηση 2 και υποδηλώνει στάσιμο, ρηχό γλυκό νερό, μας οδηγούν στην πιθανή ύπαρξη κάποιου μικρού βάλτου στην περιοχή της γεώτρησης 2 κατά τη διάρκεια της Εποχής του Χαλκού. (Σχ.9,10)

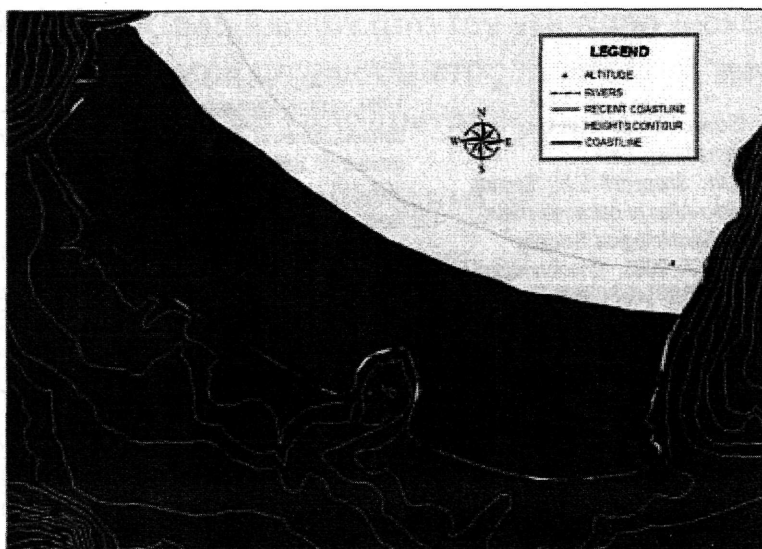
Γενικότερα, από τα αποτελέσματα των παλυνολογικών αναλύσεων μπορούμε να πούμε ότι υποδηλώνεται ανοικτού τύπου ξηροφυτική βλάστηση, με σπάνιες εμφανίσεις πεύκης και υψηλή διασπορά σε βότανα. Η παρουσία της ελιάς στο επίπεδο των 270cm, 5000BP, προκαλεί ενδιαφέρον, μιας και έχει προκαλέσει συζητήσεις το κατά πόσο αυτό το καθαρά μεσογειακό δένδρο είναι αυτόχθονο στην Κρήτη. (Bottema and Sarpaki, 2003).

Οι τιμές των *Roacea* είναι αρκετά χαμηλές, ενώ δεν εντοπίστηκαν δημητριακά. Η παρουσία τέλος σπόρων του τύπου *Sordaria* στο επίπεδο των 270-307cm υποδηλώνει ανθρώπινη δραστηριότητα-βόσκηση στην περιοχή.

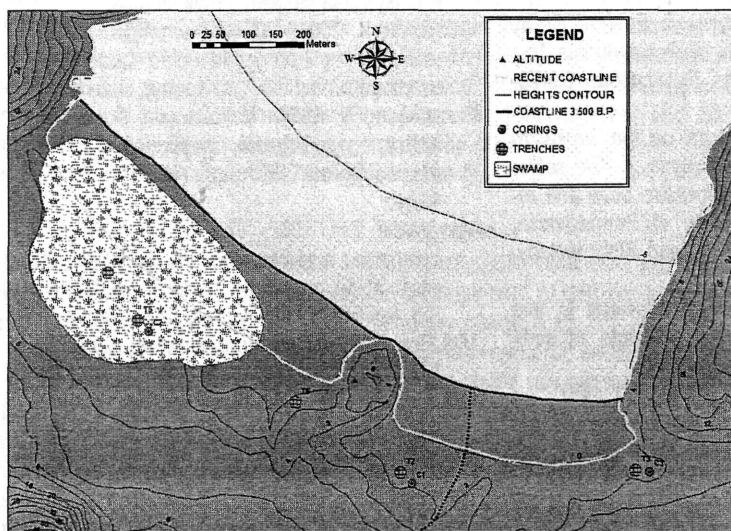
Σύμφωνα με την καμπύλη διακύμανσης της θαλάσσιας στάθμης στο Ίστρο που προέκυψε τόσο από τις χρονολογήσεις των στρωμάτων με τη μέθοδο του ραδιοάνθρακα όσο και με τις υποθαλάσσιες παρατηρήσεις, από τα 6250-2240BP, η στάθμη ανέβηκε περίπου 4m. Το ποσοστό ανόδου για την περιοχή ανά έτος υπολογίζεται περίπου 0,99mm/y, γεγονός που συμβαδίζει με άλλες καμπύλες θαλάσσιας στάθμης για την Κρήτη και την ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου (Lambek 1996). Με βάση την καμπύλη διακύμανσης της θαλάσσιας στάθμης και με τη χρήση τεχνικών GIS έγινε προσπάθεια αναπαράστασης της ακτογραμμής από το 6250BP. Στα 6250BP η θαλάσσια στάθμη ήταν -4,49m από τη σημερινή, στα 5140BP -2,7m, στα 2240BP -2,03m, στα 5140BP -1,03m και στα 490BP -0,49m. Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι ένα ακόμη στοιχείο που ενισχύει τις χρονολογήσεις και τον συσχετισμό τους με τη διακύμανση της θαλάσσιας στάθμης, είναι το γεγονός ότι ερείπια ρωμαϊκής περιόδου έχουν εντοπιστεί βυθισμένα σε βάθος -1.5m, περίπου αντίστοιχο με αυτό που μας δίνει η χρονολόγηση για τη στάθμη της θάλασσας γύρω στα ρωμαϊκά χρόνια.

Για την πλήρη παλαιοπεριβαλλοντική αναπαράσταση της περιοχής χρειάζονται ακόμα περισσότερες αναλύσεις, παρατηρήσεις και δεδομένα που θα δώσουν πλήρη εικόνα για τις γεωμορφολογικές - γεωλογικές αλλαγές και τις περιβαλλοντικές εξελίξεις που αλληλεπίδρασαν

με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και επέδρασαν στην πολιτιστική εξέλιξη της περιοχής.



Σχήμα 9. Παλιogeωγραφική αναπαράσταση στα 5700BP



Σχήμα 10. Παλαιοπεριβαλλοντική αναπαράσταση στα 3500BP

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aitken M, 1990, 'Science-based dating in archaeology', Longman, New York
- Bate R.H, Neale J.W, Sheppard L.M, Siveter D.J, 1978, 'A stereo-Atlas of ostracod shells', The British Micropaleontological Society.
- Bottema S and Sarpaki A, 2003, 'Environmental change in Crete: a 9000-year vegetation history and the effect of the Santorini eruption.' The Holocene 13.5, 733-749
- Dermitzakis M, 1969, 'Geological researches of the Neogene deposits of the Hierapetra province', Ann. Geol. Des Pays Hellen. 21, 342-484.
- Flemming N.C, 1978, 'Holocene eustatic changes and coastal tectonics in the North-east Mediterranean: implications for models of crustal consumption', Philosophical Transactions of the Royal Society of London A289:405-458
- Hall E, 1914, 'Excavations in Eastern Crete, Vrokastro', University of Pennsylvania Museum, Anthropological Publications 3:3:79-185.
- Hayden B, 2004, 'Reports on the Vrokastro area, Eastern Crete. Volume 2: The settlement history of the Vrokastro area and related studies', University of Pennsylvania, Museum of Archaeology and Anthropology, Philadelphia.
- Huntley D, Godfrey-Smith D, Thewalt M and Berger G (1985), 'Optical dating of sediments', Nature 313, 105-107
- IGME, Φύλλο .Αγ. Νικολάου 1/50.000, 1987
- ackson J.A, 1994, 'Active tectonics of the Aegean region', Ann. Rev. Earth planet. Sci. 22, 239-271.
- Καροτσιέρης Ζ, Λόζιος Σ και Δερμιτζάκης Μ, 2000, 'Η Νεοτεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής Ιεράπετρας-Αγ. Νικολάου (Λασιθίου, Κρήτης)', Annales Geologiques des pays Helleniques, T.XXXVIII, Fasc.C, 77-115
- Kraft J.C, Rapp J.C.R & Aschenbrenner S.E, 1980, 'Late Holocene paleogeomorphic reconstructions in the area of the bay of Navarino: Sandy Pylos', J.Archaeo. Sci. 7, 187-210
- Lambeck K, 1995, 'Late Pleistocene and Holocene sea-level change in Greece and South-western Turkey: a separation of eustatic, isostatic and tectonic contributions', Geophys.J.Int 122, 1022-1044
- Lambeck K, 1996, 'Sea-level change and shoreline evolution in Aegean Greece since Upper Paleolithic time', Antiquity 70, 588-610
- Moody J.A, 1997, 'The Cretan environment: Abused or just Misunderstood?' in P.N Kardulias and M.T. Shutes, eds, Aegean Strategies, 61-77.
- Myer G.H, 1984, 'Ceramic Petrography', in P.P Betancourt, ed, East Cretan White-on-Dark ware, Museum Monograph 51, University of Pennsylvania Museum, Philadelphia.
- Φασουλός Χ, 2001, 'Οδηγός υπαίθρου για τη γεωλογία της Κρήτης', Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης, Παν/μιο Κρήτης, Ηράκλειο
- Φυτρολάκης Ν, 1980, 'Η γεωλογική δομή της Κρήτης: προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα', Θέση επί Υψηγεία, ΕΜΠ, Αθήνα
- Van Andel T.H, 1987, 'The adjacent sea', in Landscape and people of the Franchthi region, 31-54, eds. Van Andel T.H& Sutton S.B, Indiana University press, Bloomington
- Vita Finzi C, 1966, 'New Elysian fields', A.J.A 70, 175-178
- Vita Finzi C, 1969, 'The Mediterranean valleys', Cambridge



## Ο κίνδυνος πλημμυρών από τον χείμαρρο Διακονιάρη του πολεοδομικού συγκροτήματος της πόλεως των Πατρών, ΒΔ Πελοπόννησος, Ελλάδα

ΣΤΑΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ, Α.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Natural hazards, on a national and international scale, have increased in the last years as a consequence of climatic changes and human activity resulting in an unfavourable impact on socio-economic conditions. Catastrophic phenomena related to river floods or slopes instability are natural hazards originating from seismic, tectonic and volcanic activity, as well as, from erosional and meteorological events, and human intervention. The Vulnerability being particularly high in the regions intensely populated, like the analyzed case study, high is the Risk. The importance of geomorphological studies in assessing natural hazards due to river floods was brought into focus with recent floods event that occurred in the Patras urban area (NW Peloponnese) and particular from Diakoniaris river. Diakoniaris river is about 11 Km long, with mouth in Patraikos gulf. His bed angle slope ranges from 17°degrees of the high basin to 1°degrees of his alluvial playing. Due to geological and geomorphological characteristics of his basin, Diakoniaris is a temporary river. During summer season it is completely dry, whereas in autumn and winter time discharge increases remarkably. The area of Patras has a mean annual rainfall ranging from 698,5 to 747.3 mm. It flows in E-W direction, traversing the Patras town. During the autumn and winter months intense rainfalls persisted for several hours producing severe flash flood mainly in the alluvial playing of Diakoniaris River. There were some loss of life and damage to buildings, transport infrastructure and agricultural crops. Similar events happened also in southwestern Patras town in 1997, October and 2001, December. The damages are mainly due to absence of good alluvial playing management practices in recent decades, concretely after the year 1960 during the urban growth of the Patras town.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι κίνδυνοι από τις φυσικές καταστροφές, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αυξηθεί σημαντικά σε εθνική και παγκόσμια κλίμακα. Η αύξηση του κινδύνου από τα καταστροφικά φαινόμενα έρχεται ως φυσικό επακόλουθο, αφ' ενός των μορφοκλιματικών αλλαγών και αφ' ετέρου της έντονης και άναρχης αστικοποίησης πολλών περιοχών. Οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις που προκύπτουν από ένα τέτοιο γεγονός είναι δυσμενείς και μεγάλες. Στο πεδίο των φυσικών καταστροφών ανήκουν τα πλημμυρικά φαινόμενα, που συνδέονται άμεσα και με γεωμορφολογικές παραμέτρους που επηρεάζουν την αστάθεια των ποταμών. Το φυσικό ποτάμιο σύστημα ελέγχεται από πολλές μεταβλητές που συνδέονται με φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες όπως η δυναμική των πλημμυρικών φαινομένων καθώς η ταχύτητα εξέλιξής τους ποικίλλει ανάλογα και με τις τοπικές μορφοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν. Η τρωτότητα μιας περιοχής συνδέεται άμεσα με τη μορφολογική αστάθεια λόγω εξέλιξης αυτής της ίδιας γεωμορφής και είναι ιδιαίτερα υψηλή σε κατοικούμενες περιοχές τις περισσότερες φορές. Οι επιπτώσεις από την επικρατούσα αστάθεια της περιοχής έχουν ως επακόλουθο αποτέλεσμα κοινωνικοοικονομικές ζημιές όπως απώλεια ζωής, ιδιοκτησίας ή υπηρεσιών. Ο Διακονιάρης είναι ένας εφήμερος χείμαρρος Μεσογειακού τύπου, 4<sup>ης</sup> τάξης κατά Horton, έχει ένα μήκος περίπου 11 Km και η λεκάνη απορροής του έχει εμβαδόν περίπου 12 Km<sup>2</sup>. Η τοπογραφική κλίση της λεκάνης είναι 17<sup>ο</sup> μοίρες στα υψηλότερα τμήματα της λεκάνης και καταλήγει ως και 1<sup>ο</sup> μοίρα στο αλλουβιακό πεδίο του. Διασχίζει το ΝΔ τμήμα του πολεοδομικού συγκροτήματος της πόλεως των Πατρών με διεύθυνση Α-Δ. και εκβάλλει στον Πατραϊκό κόλπο. Η περιοχή του πολεοδομικού συγκροτήματος της Πάτρας έχει

**THE FLOOD RISK FROM DIAKONIARIS RIVER IN URBAN AREA OF PATRAS, NW PELOPONNESE, GREECE.**

<sup>1</sup> Τομέας Γενικής Θαλάσσιας Γεωλογίας & Γεωδυναμικής, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 265 00 Ρίον Πάτρα, leonstan@upatras.gr

ένα μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης που κυμαίνεται από 698,5 έως 747.3 mm. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ο χειμάρρος είναι απόλυτα ξηρός. Το φθινόπωρο και το χειμώνα μετά από έντονη και παρατεταμένη βροχόπτωση η ροή αυξάνεται εντυπωσιακά έως επικίνδυνα και ο χειμάρρος πλημμυρίζει ιδιαίτερα στο μεσαίο τμήμα του εκεί που η ανθρώπινη παρέμβαση είναι αρκετά έντονη και ιδιαίτερα στην κοίτη του. Το πλημμυρικό αποτέλεσμα έχει οδηγήσει σε καταστροφή περιουσιών και απώλεια ζωών το Δεκέμβριο του 2001. Οι ζημιές οφείλονται κυρίως στην απουσία ορθών γεωλογικών και γεωμορφολογικών μελετών για τη διαχείριση του χειμάρρου που έκαναν αισθητή την απουσία τους ιδιαίτερα μετά το 1960 κατά τη διάρκεια της μεγάλης αστικής ανάπτυξης της πόλης των Πατρών .

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κίνδυνοι από τις φυσικές καταστροφές, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αυξηθεί σημαντικά σε παγκόσμια και σε εθνική κλίμακα. Η αύξηση του κινδύνου από τα καταστροφικά φαινόμενα έρχεται ως φυσικό επακόλουθο, αφ' ενός των μορφολογικών αλλαγών και αφ' ετέρου της έντονης και άναρχης αστικοποίησης πολλών περιοχών. Οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις που προκύπτουν από ένα τέτοιο γεγονός είναι δυσμενείς και μεγάλες.

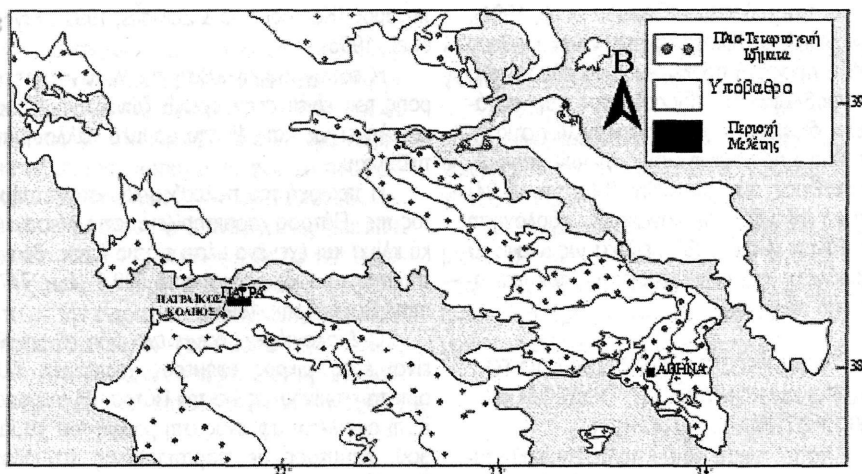
Στο πεδίο των φυσικών καταστροφών ανήκουν και τα πλημμυρικά φαινόμενα, τα οποία συνδέονται άμεσα με γεωμορφολογικές παραμέτρους που επηρεάζουν την αστάθεια του ποταμοχειμάρρειου συστήματος. Το φυσικό ποτάμιο σύστημα είναι ανοικτό σε πολλές μεταβλητές που συνδέονται με φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Η δυναμική των πλημμυρικών φαινομένων καθώς η ταχύτητα εξέλιξής τους ποικίλλει ανάλογα και με τις τοπικές μορφολογικές συνθήκες που επικρατούν. Μεταξύ των ποτάμιων διεργασιών και της ανθρώπινης δράσης και εγκαταστάσεων συντελούνται αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις.

Η τρωτότητα μιας περιοχής συνδέεται άμεσα με τη μορφολογική αστάθεια λόγω εξέλιξης της μορφολογίας του συστήματος και των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Είναι ιδιαίτερα υψηλή σε κατοικημένες περιοχές γιατί οι επι-

πτώσεις από την επικρατούσα αστάθεια στην περιοχή έχουν ως επακόλουθο αποτέλεσμα κοινωνικοοικονομικές ζημιές όπως απώλεια ζωής, ιδιοκτησίας ή υπηρεσιών .

Ο Μουλόπουλος (1929) αναφέρει, για το νομό Αχαΐας, ως σύνηθες φαινόμενο τις καταστροφές ή αποφράξεις γεφυρών, καθώς και τις διακοπές και ζημιές στο οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο Κορίνθου-Πατρών-Πύργου, μετά από κάθε ραγδαία βροχόπτωση λόγω της απόθεσης φερτών υλικών από τις κοίτες πλημμυρισμένων χειμάρρων. Ο ίδιος ερευνητής θεωρεί καταστροφικότερη τη δράση των χειμάρρων Βολιναίου και Σελινούντα στο νομό Αχαΐας, λόγω των καταστροφών που προκάλεσαν στα χωριά Δρέπανο και Παλαιά Κουλούρα αντίστοιχα, σε καλλιέργειες, ιδιοκτησίες και υποδομές από πλημμύρες που έγιναν στις 28 Νοεμβρίου του 1928.

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να δοθεί έμφαση στην αξιολόγηση των γεωμορφολογικών παραμέτρων του χειμάρρου Διακονιάρη προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός αστάθειας στις φυσικές καταστροφές ενός μικρού αλλά αρκετά επικίνδυνου χειμάρρου στο πολεοδομικό συγκρότημα της πόλεως των Πατρών (Σχήμα 1). Με απότερο σκοπό να συμβάλει στην ορθολογικότερη διαχείριση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού του χειμάρρου για την αποφυγή επικίνδυνων πλημμυρικών φαινομένων.



Σχήμα 1. Απλοποιημένο γεωλογικό σκαρίφημα με τα Πλειοκαινικά και Πλειστοκαινικά Ιζήματα ( από Doutsos & Kokkalas, 2001) και την περιοχή της λεκάνης απορροής του χείμαρρου Διακονιάρη.

## 2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ

Ο γεωμορφολογικός κίνδυνος ορίζεται ως ο κίνδυνος που προέρχεται από οποιαδήποτε αλλαγή μιας γεωμορφής ή ενός γεωμορφικού συστήματος και έχει επιπτώσεις στην σταθερότητα μιας περιοχής με άμεσες και δυσμενείς κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη διαβίωση (Schmitt, 1988). Η έννοια του κινδύνου στη γεωμορφολογία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αστάθεια των γεωμορφών. Είναι επομένως σκόπιμο να καθοριστεί η έννοια της αστάθειας και συγκεκριμένα σ' ένα ποταμοχειμάρριο σύστημα. Ως εκ τούτου κάθε σύστημα που δεν βρίσκεται σε ισορροπία με το φυσικό περιβάλλον και τείνει να αποκαταστήσει μια νέα ισορροπία εξαιτίας των αλλαγών που υπέστη, βρίσκεται σε αστάθεια.

Κατά τους Panizza & Piacente, (1978) , η αστάθεια προσδιορίζεται, αφ ενός με την ανάλυση των αιτιών που την προκαλούν αν δηλαδή αυτά είναι φυσικά, ανθρωπογενή ή και τα δύο και αφ εταίρου με τη μελέτη των αποτελεσμάτων και συνέπειών της.

Μεταξύ των φυσικών αιτιών που ευνοούν ή αποτρέπουν την αστάθεια, θα μπορούσαν να αναφερθούν οι: γεωλογικές, υδρογεωλογικές, υδραυλικές, τοπογραφικές, κλιματολογικές αιτί-

ες, καθώς και οι αιτίες που σχετίζονται με τη φυτοκάλυψη και τα δάση.

Ωστόσο δεν μπορεί κανείς να αγνοήσει και τα αίτια που συνδέονται άμεσα τις ανθρωπίνες δραστηριότητες, όπως είναι η καλλιέργεια, τα τεχνικά έργα, και οι άλλες δραστηριότητες, δεδομένου ότι όλα αυτά έχουν επίπτωση στο φυσικό περιβάλλον.

Μεταξύ των μορφολογικών κριτηρίων που χαρακτηρίζουν τη δυναμική ενός φυσικού ποτάμιου συστήματος είναι το πλάτος, το βάθος, η τοπογραφική κλίση και η μορφή του. Με άλλα λόγια είναι όλα εκείνα τα στοιχεία που καθορίζουν την ικανότητα ενός ποταμού να εκτελεί τις φυσικές λειτουργίες του στην κοιλάδα που καταλαμβάνει. Οι μορφές και τα μεγέθη των γεωμορφών ενός ποταμοχειμάρριου συστήματος, πρέπει να θεωρηθούν ως ενσωματωμένο προϊόν των φυσικών διεργασιών, της υδροδυναμικής των ποταμών ή χειμάρρων, των γεωλογικών παραγόντων, των μετεωρολογικών συνθηκών και των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις συντελούνται μεταξύ ποτάμιων διεργασιών και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Για την αξιολόγηση ενδεχόμενης απειλής γεωμορφολογικού κινδύνου είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν οι κίνδυνοι που προκαλούνται από τους ποταμούς και να συγκριθούν με την τρωτότητα και το μέγεθος των αν-

θρώπινων παρεμβάσεων (Cavallin et al., 1994). Οι συγκεκριμένοι δείκτες πρέπει να εκτιμηθούν με μεγάλη προσοχή προκειμένου να αξιολογηθεί και να προβλεφθεί η επίδραση τους στην αστάθεια των διάφορων γεωμορφολογικών συστημάτων. Μια λανθασμένη εκτίμηση των φαινομένων αστάθειας των ποταμών (Shumm, 1994) μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή αξιολόγηση των κινδύνων (Goni, 1980), ειδικά ως αναφορά την πρόβλεψη φυσικών καταστροφικών φαινομένων από πλημμύρες.

### 3. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΧΕΙΜΑΡΡΟ ΔΙΑΚΟΝΙΑΡΗΣ ΣΤΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΤΩΝ ΠΑΤΡΩΝ

Το Νότιο τμήμα του πολεοδομικού συγκροτήματος της πόλεως των Πατρών διατρέχεται από το χείμαρρο Διακονιάρης με διεύθυνση Α-Δ. Ο Διακονιάρης είναι ένας εφήμερος χείμαρρος, Μεσογειακού τύπου, 4ης τάξης κατά Horton, έχει ένα μήκος περίπου 11 Km η δε λεκάνη απορροής του έχει εμβαδόν περίπου 14 Km<sup>2</sup>. Ξεκινά από το όρος του Παναχαϊκού σε ένα ύψος 960m περίπου, στη θέση προφήτης Ηλίας κατάντη του λόφου Γούπατα και αφού διασχίσει το πολεοδομικό συγκρότημα της πόλης των Πατρών, όπως έχει ήδη αναφερθεί, εκβάλλει στον Πατραϊκό κόλπο.

Η υδρογραφική του λεκάνη αναπτύσσεται στο ανώτερο τμήμα της σε ιζήματα του φλίτση της ζώνης Ολονού – Πίνδου ενώ το υπόλοιπο τμήμα του σε λιμναίες – λιμνοθαλάσσιες Πλειστοκαινικές αποθέσεις και ιζήματα δικτυωτού

ποταμού (Kontopoulos & Zilidiis, 1992 ; Frydas et al., 1995).

Η τοπογραφική κλίση της λεκάνης απορροής του είναι στην ορεινή ζώνη της 17<sup>ο</sup> και καταλήγει ως και 1<sup>ο</sup> στο χαμηλό αλλουβιακό πεδίο του.

Η περιοχή του πολεοδομικού συγκροτήματος της Πάτρας χαρακτηρίζεται από Μεσογειακό κλίμα και έχει ένα μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης που κυμαίνεται από 698.5 έως 747.3 mm ( Βουδούρης, 1995).

Ο Διακονιάρης, όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι ένας μικρός εφήμερος χείμαρρος αλλά αρκετά επικίνδυνος για την Πάτρα. Η αντίφαση αυτή οφείλεται αφ' ενός στη μορφή του χείμαρρου, εφήμερος με παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας, συνθήκη που χαρακτηρίζει τους μεσογειακού τύπου χείμαρρους (Marchetti, 2000), και αφ' ετέρου στην αλλαγή της φυσικής κατάστασης του συστήματος από ανθρώπινη παρέμβαση μετά το 1960 με την έντονη αστικοποίηση της Πάτρας. Το μεσαίο και κατώτερο τμήμα του ρου του χείμαρρου έχει υποστεί έντονες παρεμβάσεις από τον ανθρώπινο παράγοντα όπως: εγκιβωτισμός, στένεμα και οικοπεδοποίηση μεγάλου τμήματος της φυσικής κοίτης του (Εικ. 1), δημιουργία μικρών και στενών γεφυρών, ακόμη και τη δημιουργία υποδομών όπως δρόμων εγκάρσια στη φυσική κοίτη του χείμαρρου (Εικ. 2). Το μόνο φυσικό τμήμα του πιστεύομεν πως ήταν το ανώτερο τμήμα του, που όμως αποδείχθηκε μετά από τα πλημμυρικά φαινόμενα του 1997 ότι και αυτό είχε υποστεί την ανθρώπινη επίδραση αφού χρησιμοποιείται σαν σκουπιδότοπος (Εικ. 3).



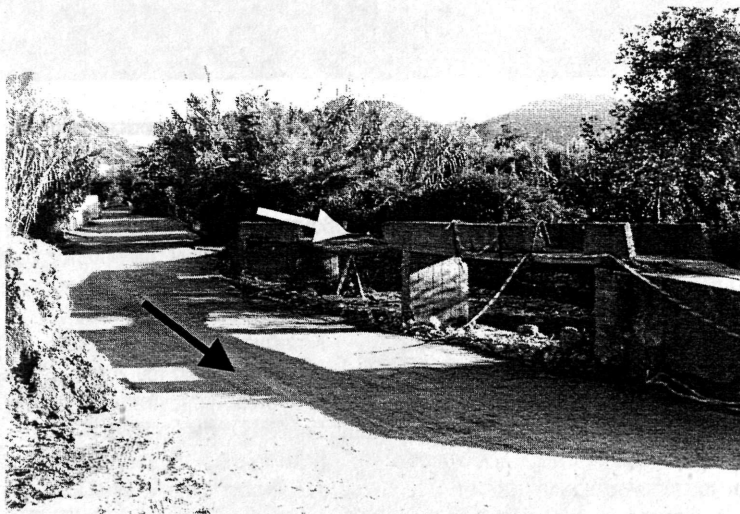
Εικόνα 1. Άποψη του μεσαίου τμήματος του χείμαρρου Διακονιάρης που φαίνεται ο εγκιβωτισμός το στένεμα (βέλη) και η οικοπεδοποίηση της κοίτης του.

Οι προαναφερθείσες ανθρώπινες παρεμβάσεις έχουν αλλάξει με τρόπο μη αναστρέψιμο τις γεωμορφολογικές συνθήκες του χειμάρρου συστήματος με αποτέλεσμα το σύστημα να μην βρίσκεται σε ισορροπία με το φυσικό περιβάλλον αλλά σε αστάθεια. Η αστάθεια του συγκεκριμένου χειμάρρου, από ανθρώπινες μαρτυρίες των κατοίκων της περιοχής, έκανε την εμφάνισή της μετά το έτος 1960. Γεγονός που συμπίπτει με την έντονη και άναρχη αστικοποίηση του πολεοδομικού συγκροτήματος της πόλεως των Πατρών. Οι κάτοικοι της περιοχής ενθυμούνται πλημμύρες και καταστροφές καλλιεργειών

στις ίδιες περίπου περιοχές που και σήμερα το φαινόμενο επαναλαμβάνεται.

Δυστυχώς όμως δεν υπάρχουν επίσημες καταγραφές του μεγέθους των ζημιών, της επανοληψιμότητας του φαινομένου προκειμένου να γίνει η σύγκριση.

Οι γεωμορφολογικές συνθήκες ενός ποτάμιου συστήματος δηλώνουν την φυσική κατάσταση των μορφογενετικών διεργασιών όπως αυτές διαμορφώνονται από την υδραυλική και μηχανική ενέργεια του επιφανειακού νερού.



Εικόνα 2. Άποψη από το μεσαίο τμήμα του χειμάρρου Διακονιάρη που φαίνεται η μικρή και στενή γέφυρα που καταστράφηκε από τα πλημμυρικά γεγονότα του 1997 (λευκό βέλος) καθώς και η δημιουργία δρόμου εγκάρσια στην κοίτη του (μαύρο βέλος).



Εικόνα 3. Άποψη από το ανώτερο τμήμα του χείμαρρου Διακονιάρη, που φαίνονται τα σκουπίδια μετά από από τα πλημμύρικά γεγονότα του 1997.

Κατά τη διάρκεια έντονων και παρατεταμένων βροχοπτώσεων τα νερά μεταφέρουν ένα υψηλό φορτίο λάσπης, θραύσματα πετρωμάτων και φυτικών λειψάνων. Μια τέτοια δυναμική μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνα πλημμυρικά φαινόμενα και ιδιαίτερα σε εφήμερα ρέματα ή σε ρέματα που η ανθρώπινη παρέμβαση είναι μέρος μιας δυναμικής εξελικτικής διαδικασίας και οι συνέπειες των ενεργειών του ανθρώπου έχουν αλλάξει το ποσοστό και την έκταση των μορφογενετικών διεργασιών με άμεσες συνέπειες για τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

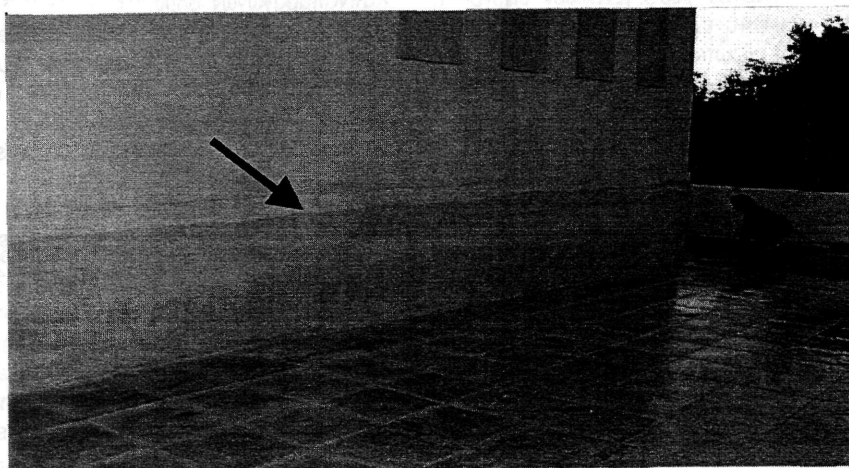
Τον Οκτώβριο του 1997 μετά από έντονες και παρατεταμένες βροχοπτώσεις είχαμε τη δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων στο μεσαίο και κατώτερο τμήμα του χείμαρρου. Κατά την διάρκεια του συγκεκριμένου πλημμυρικού

συμβάντος, πέρα από την καταστροφή καλλιεργειών και υποδομών, πλημμύρισε και ένα σχολικό συγκρότημα (Εικ. 4α, 4β), ευτυχώς χωρίς δυσάρεστες συνέπειες.

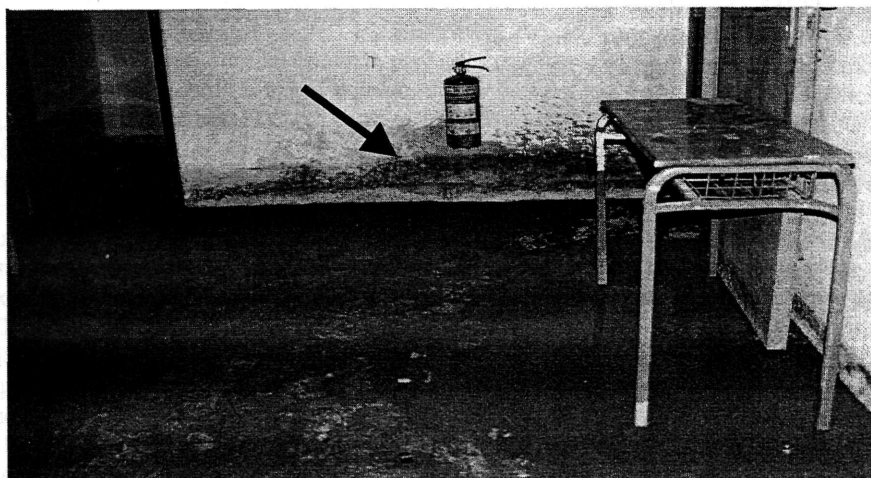
Κάτι ανάλογο συνέβη από τον ίδιο χείμαρρο και τον Δεκέμβριο του 2001. Στις 16/12/2001 η μέγιστη ένταση βροχόπτωσης σε μια ώρα (4 μμ) την ημέρα εκείνη ήταν 21,6mm/h.

Κατά τη διάρκεια του τελευταίου πλημμυρικού συμβάντος πέραν από υλικές ζημιές είχαμε και την απώλεια δυο ανθρωπίνων ζωών.

Ως εκ τούτου είναι προφανές γιατί η αστάθεια του χείμαρρου Διακονιάρη τον καθιστά αρκετά επικίνδυνο και δίνει και μια εύλογη και πειστική απάντηση στην αντίφαση μικρός αλλά αρκετά επικίνδυνος χείμαρρος.



Εικόνα 4α. Άποψη από το πλημμυρισμένο σχολικό συγκρότημα. Με το βέλος επισημαίνεται το ύψος του νερού, από το χείμαρρο Διακονιάρη, στον περιβάλλοντα προαύλιο χώρο, από τα πλημμυρικά γεγονότα του 1997.



Εικόνα 4β. Άποψη από το πλημμυρισμένο σχολικό συγκρότημα. Με το βέλος επισημαίνεται το ύψος του νερού, από το χείμαρρο Διακονιάρη, σε αίθουσα διδασκαλίας, από τα πλημμυρικά γεγονότα του 1997.

Στα προαναφερθέντα συμβάντα είναι σαφές ότι ο κίνδυνος για την εκδήλωση πλημμυρικών γεγονότων δεν είχε αξιολογηθεί επαρκώς σε σχέση με τους παράγοντες και τους μηχανισμούς που επηρεάζουν και τα προκαλούν. Με αποτέλεσμα να αγνοηθούν οι παράμετροι που καθορίζουν τη γεωμορφική αστάθεια, να μην

εκτιμηθεί η τρωτότητα προκειμένου να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα καταστροφικά αποτελέσματα των πλημμυρικών συμβάντων του χείμαρρου Διακονιάρη δείχνουν:

α. την απουσία μιας λεπτομερούς γεωμορφολογικής έρευνας που θα περιγράφει τις συνθήκες των ποτάμιων μορφογενετικών διεργασιών στο σημερινό πλαίσιο της έντονης αστικοποίησης και αθρωπογενούς παρέμβασης και που θα προσδιορίζει τις πιθανές θέσεις μέγιστης τρωτότητας.

β. την αλλαγή της γεωμετρίας της ρευματικής αύλακας λόγω της απόρριψης μπαζών, αποβλήτων και της οικοπεδοποίησής της και

γ. την απουσία αντιπλημμυρικών έργων κυρίως στα ανάγλυφα που θα διευκολύνουν στην αντιμετώπιση της πλημμυρικής δραστηριότητας στην κατάντη πλημμυρική λεκάνη.

αποτελέσματα και μέσα καταπολεμήσεως αυτών γενικώς. Θεσσαλονίκη, Τυπ. Εφημ. Καπνοπαραγωγών. 88pp.

Panizza, M., & Piacente, S., 1978. *Messa a punto concettuale per la realizzazione di una cartografia applicata alla stabilità del territorio. Geogr. Fis. Din. Quat.*, 1, 25-27.

Schumm, S. A. 1988. *Geomorphic hazards—problems of prediction. Zeitschrift für Geomorphologie, Supp. Vol. 67*, 17-24.

Schumm, S. A. 1994. *Erroneous perceptions of fluvial hazards. Geomorphology 10*, 129-138.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βουδούρης, Κ., 1995. *Υδρογεωλογικές συνθήκες του ΒΔ Τμήματος του νομού Αχαΐας*. Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, 237pp.

Cavallin, A., Marchetti, M., Panizza, M., Soldati, M., 1994. *The role of geomorphology in environmental impact assessment. Geomorphology 9*, 143-153.

Doutsos, T. & Kokkalas, S., 2001: *Stress and deformation patterns in Aegean region. Journal of Structural Geology. 23*, 455-472.

Frydas, D., Kontopoulos, N., Stamatopoulos, L., Guenet, C. & Votaggio, M., 1995. *Middle-late Pleistocene sediments in the northwestern Peloponnesus, Greece. A combined study of biostratigraphical, radiochronological and sedimentological results. Berlin geowiss. Abh., E 16, Gundolf-Ernst-Festschrift*, 589-605.

Govi, M., 1980. *L'assetto geomorfologico nella valutazione dei rischi connessi ad eventi idrologici estremi*. In: Marchi E. And Siccardi F. (Editors), *Lapianificazione di bacino Genova*, CNR, P.F. Conserv. Suolo : 5-39.

Kontopoulos, N. & Zeligidis, A., 1992. *Upper Pliocene lacustrine environments in the intramontane Rio graben basin, NW Peloponnesus, Greece. N. Jb. Palaont. Mh. 2*. 102-114.

Marchetti, M., 2000. *Geomorfologia fluviale*, Bologna, Pitagora Editrice, 247pp.

Μουλόπουλος, Χ., 1929. *Οι χείμαρροι της Π. Ελλάδος. Αίτια του σχηματισμού,*



## Γεωμορφολογικές μεταβολές στην περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου σαν αποτέλεσμα της Ολοκαινικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας

ΑΛΜΠΑΝΑΚΗΣ Κ.1, ΣΤΥΛΛΑΣ Μ.1, ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ Κ.1, ΣΥΡΙΔΗΣ Γ.2

### ABSTRACT

Thermaikos Gulf receives sediment fluxes from major rivers at its western side, where a thick Holocene deltaic sequence has been developed. The eastern site of the gulf is characterized by alternating erosional and depositional coastlines with the formation of marine terraces and lagoons respectively. Application of the Bruun equilibrium profile model to eastern side of the gulf indicated that the terraces are retreating with high rates of erosion in response to Holocene sea level rise. The mean retreat rate is approximately 0.15 m/y for the last 10000 years, but the recent rate must be lower at about 0.10 m/y. Significant part of the ancient town Aineia, which was build on the eroding terrace, has already been disappeared. The recent low depositional coastlines with lagoons are found in the axis of old valleys, where depositional processes created low morphological profile, which is in equilibrium with the wave processes, according to Bruun model. The recent form of eastern Thermaikos coastline, where the low coastal areas form headlands is the result of faster re-treat of coastal terraces, leaving the depositional low coastal regions as promontories.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Θερμαϊκός Κόλπος αποτελεί αποδέκτη μεγάλων ποσοτήτων ιζημάτων τα οποία μεταφέρονται από μεγάλα ποτάμια συστήματα που εκβάλλουν στην δυτική πλευρά του κόλπου όπου και έχει σχηματιστεί μια ταχέως προωθούμενη δελταϊκή πεδιάδα με αντίστοιχο μεγάλο πάχος ολοκαινικών προδελταϊκών αποθέσεων. Αντίθετα το ανατολικό τμήμα του κόλπου χαρακτηρίζεται από εναλλαγές διαβρωσιγενών και αποθετικών ακτών με σχηματισμό παράκτιων αναβαθμίδων και χαμηλών ακτών οι οποίες εγκλωβίζουν πίσω τους λιμνοθάλασσες και έλη. Μετά από την εφαρμογή του μοντέλου του Bruun για την ισορροπία του παράκτιου μορφολογικού προφίλ, στις ανατολικές ακτές του Θερμαϊκού φάνηκε ότι οι αναβαθμίδες υποχωρούν με ταχύτατο ρυθμό διάβρωσης ανταποκρινόμενες στην ολοκαινική συνεχή άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Ο μέσος ρυθμός διάβρωσης τα τελευταία 10000 χρόνια είναι περίπου 0.15 m/y, αλλά ο πρόσφατος ρυθμός διάβρωσης πρέπει να μικρότερος, περίπου στο 0.10 m/y. Σημαντικό τμήμα της παράκτιας αρχαίας πόλης Αίνειας, η οποία βρισκόταν κτισμένη επάνω στην αναβαθμίδα, πρέπει να έχει ήδη εξαφανιστεί. Οι σύγχρονες αποθετικές ακτές με τις λιμνοθάλασσες και τα έλη βρίσκονται σε ισορροπία με το μορφολογικό προφίλ του μοντέλου του Bruun και δεν διαβρώνονται. Οι ακτές αυτές βρίσκονται στους άζονες κοιλάδων και σήμερα προεξέχουν σαν ακρωτήρια γιατί δεν διαβρώνονται αλλά υποχωρούν με πολύ μικρότερο ρυθμό ανταποκρινόμενες στην εκάστοτε άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας. Η σημερινή μορφή της ακτογραμμής των ανατολικών ακτών του Θερμαϊκού, όπου οι χαμηλές ακτές προεξέχουν σαν ακρωτήρια οφείλεται στην πολύ μεγαλύτερη υποχώρηση, λόγω διάβρωσης, των υψηλών ακτών σε σχέση με τις χαμηλές όπου υπάρχει ισορροπία.

### GEOMORPHOLOGICAL CHANGES IN THERMAIKOS GULF REGION AS A RESULT OF THE HOLOCENE SEA LEVEL RISE

1 Department of Physical and Environmental Geography, Aristotle University of Thessaloniki, 54006, Thessaloniki, , albanaki@geo.auth.gr, vouval@geo.auth.gr

2 Department of Geology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54006 Thessaloniki, syrides@geo.auth.gr

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανταπόκριση των ακτών στις διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας εξαρτάται από τον τύπο της ακτής (ακτές απόθεσης ή ακτές διάβρωσης) καθώς και από ένα σύνολο άλλων παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί συμπεριλαμβάνουν την λιθολογική σύσταση και την κλίση των παράκτιων στρωμάτων, στην περίπτωση των ακτών διάβρωσης, την ποσότητα των μεταφερόμενων ιζημάτων, την ύπαρξη ή όχι βλάστησης, το κυματικό καθεστώς, την παράκτια μορφοδυναμική συμπεριφορά, καθώς και το τοπικό κλίμα και τις ευστατικές κινήσεις (Komar 1998). Το χρονικό εύρος μέσα στο οποίο οι γεωμορφολογικές μεταβολές έχουν ανταπόκριση στο παράκτιο περιβάλλον είναι πολύ μεγάλο και κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα ως χιλιάδες χρόνια. Οι μεταβολές παροδικού ή εφήμερου χαρακτήρα (μικρής περιόδου) οφείλονται στην δυναμική των κυμάτων, στην παράκτια κυκλοφορία και σε μεγάλα επεισόδια καταιγίδων. Ενώ οι μεταβολές μεγάλης περιόδου οφείλονται στις μεγάλης κλίμακας κλιματικές μεταβολές και στις ευστατικές κινήσεις του επιπέδου της θάλασσας. Οι μεταβολές αυτές στην διάρκεια της ζωής του ανθρώπου εμφανίζονται σαν μια συνεχόμενη εξελικτική τάση της παράκτιας γεωμορφολογίας. Η παρούσα εργασία εξετάζει την συμπεριφορά τόσο ακτών διάβρωσης όσο και ακτών απόθεσης στις ανατολικές ακτές του Θερμαϊκού Κόλπου κατά την ολοκαινική άνοδο της στάθμης της θάλασσας και έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντική μορφολογία του κόλπου.

## 2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ – ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Ο Θερμαϊκός αποτελεί έναν από του σημαντικότερους κόλπους της Ελλάδας τόσο από γεωγραφική, ιστορική όσο και από περιβαλλοντική άποψη. Η σημερινή του μορφολογία είναι αποτέλεσμα φυσικών αλλά και ανθρωπογενών διεργασιών. Οι φυσικές διεργασίες διαμορφώνουν την εξέλιξη του μετά την ολοκαινική άνοδο της στάθμης της θάλασσας και οι ανθρωπογενείς τα τελευταία 75 χρόνια (Astaras and Sotiřiadis, 1988, Αλμπανάκης et al., 1999, Psilovikos, et al., 1997, Poulos 1994). Οι ακτές γύρω από τον Θερμαϊκό Κόλπο χαρακτηρίζο-

νται με εναλλαγές μεταξύ ακτών απόθεσης και ακτών διάβρωσης.

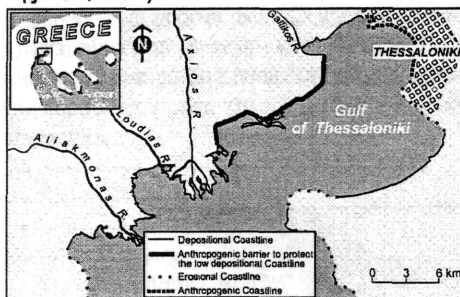
Το δυτικό περιθώριο του κόλπου χαρακτηρίζεται από τα επεκτεινόμενα δελταϊκά πεδία των ποταμών του Αξιού, Γαλλικού και Αλιάκμονα, τα οποία μεταφέρουν πολύ σημαντικές ποσότητες ιζημάτων, με έντονο εποχιακό χαρακτήρα (Poulos et al., 1994, 1992).

Σε αντίθεση με το τμήμα του κόλπου το οποίο καταλαμβάνεται από τα δελταϊκά συστήματα, το ανατολικό περιθώριο του Θερμαϊκού κόλπου χαρακτηρίζεται από παράκτιες αναβαθμίδες με στενή παραλιακή ζώνη στην βάση τους και κατά θέσεις χαμηλές ακτές απόθεσης, οι οποίες προβάλλουν προς την θάλασσα επεκτεινόμενες σαν ακρωτήρια με πολύ χαμηλό ανάγλυφο και συνήθως στο εσωτερικό τους εγκλωβίζουν λαγκούνες. Οι ακτές αυτές διατηρούν την μορφή τους εξαιτίας αντίθετων μεταφορικών τάσεων στα δύο του άκρα, με αποτέλεσμα την συσσώρευση υλικού (Χρόνης 1986)

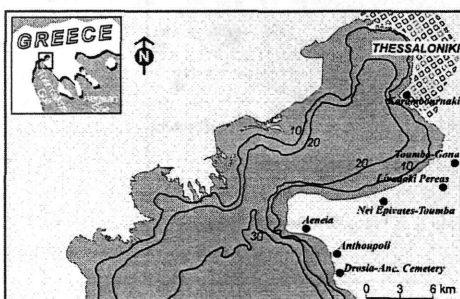
Τα υλικά από τα οποία αποτελείται ολόκληρη η ανατολική περιοχή είναι σχεδόν οριζόντια στρώματα Νεογενών ιζημάτων αποτελούμενα από εναλλαγές αργίλων – ιλύων, αργιούχων - ιλουούχων άμμων, αμμωδών μαργών, άμμων και λεπτών στρωμάτων – φακών ψαμμιτών. Τα ιζήματα αυτά έχουν πάχος ~200 m και έχουν αποθεθεί κατά τα Πλειόκαινο (Σχηματισμός Γωνιάς). Κατά θέσεις υπάρχουν ερυθροστρώματα Πλειστοκαινίου (Σχηματισμός Μουδαωνιών) τα ποία καλύπτουν ασύμφωνα τα Νεογενή (Συριδής, 1990).

Οι παράκτιες αναβαθμίδες αποτελούν το κυρίαρχο μορφολογικό στοιχείο της περιοχής και έχουν στην βάση τους αμμώδη παραλία, η οποία ανάλογα του πλάτους της προσφέρει προστασία στο κάθετο μέτωπο της αναβαθμίδας από την προσβολή των κυμάτων. Όπου το πλάτος είναι μικρό η υποσκαφή της βάσης της αναβαθμίδας επιταχύνει την διάβρωση και την υποχώρησή της. Κατά διαστήματα πολλές θέσεις του μετώπου της αναβαθμίδας περνούν από στάδια λιγότερης ή περισσότερης προστασίας τους από το μεταβαλλόμενο πλάτος της αμμώδους παραλίας στην βάση της. Τα υλικά της διάβρωσης της αναβαθμίδας είναι κυρίως άμμοι οι οποίες με την παράκτια στερεομεταφορά μετακινούνται και αποθέτονται στις χαμη-

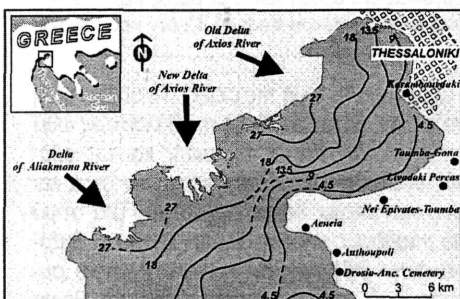
λές αποθετικές ακτές. ( Χρόνης 1986, Αλμπανάκης et al., 1999).



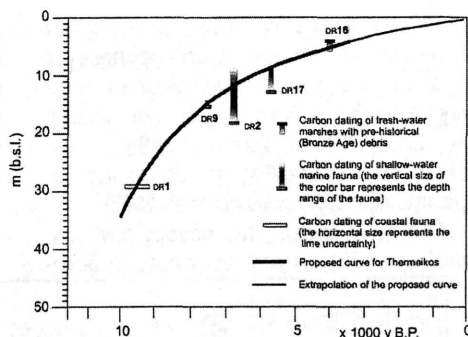
Σχήμα 1. Η περιοχή μελέτης με όπου φαίνονται οι αποθετικές, διαβρωσιγενείς και ανθρωπογενείς ακτές.



Σχήμα 2. Η Βαθυμετρία της περιοχής.



Σχήμα 3 Το πάχος των ολοκαινικών αποθέσεων από Χρόνη et al. 2005.



Σχήμα 4. Η καμπύλη ανέδου της στάθμης της θάλασσας από . Vouvalidis et al/ 2005.

Οι παράκτιες αναβαθμίδες υποχωρούν με ταχύτατους ρυθμούς που ενδεχόμενα έχουν επιταχυνθεί λόγω ανθρωπογενών επεμβάσεων. Οι επεμβάσεις, στο εσωτερικό των λεκανών απορροής έχουν αποτέλεσμα την μικρότερη στερεοπαροχή των χειμάρρων, αλλά και η προστασία σημαντικών τμήματα που μετώπου της αναβαθμίδας από την διάβρωση λόγω λιμενικών έργων κ.λ.π., οδηγεί επίσης σε μικρότερες ποσότητες διαθέσιμων παράκτιων υλικών. Ο σημερινός μετρημένος ρυθμός διάβρωσης στην περιοχή των αναβαθμίδων της Μηχανιώνας είναι της τάξεως των 10 cm/y (Αλμπανάκης et al., 1999).

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

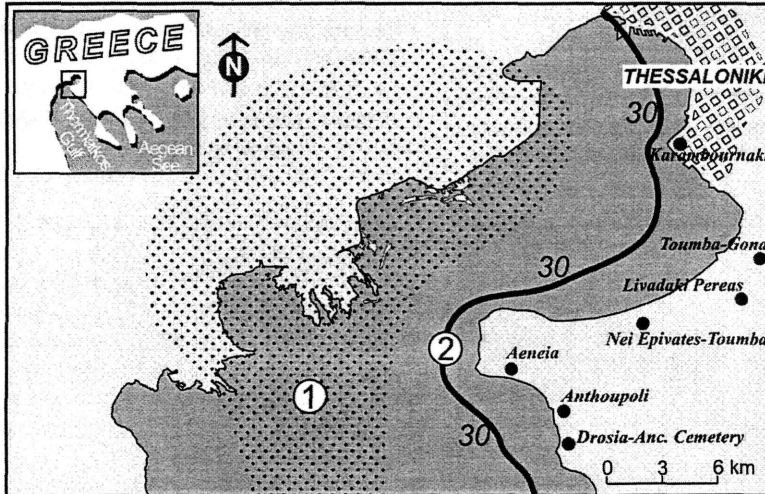
Η εξέλιξη μιας σημερινής ακτογραμμής ακολουθεί διαδικασίες σειρών Markovich (Inman, et al., 2003, Komar, 1998), έτσι λοιπόν η μελλοντική της διαμόρφωση εξαρτάται από την σημερινή κατάσταση και η σημερινή από την προγενέστερη. Είναι λοιπόν σημαντικό για να ερμηνεύσουμε την σημερινή μορφολογία, να διερευνήσουμε το παλαισανάγλυφο και τις διεργασίες που ξεκίνησαν με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την είσοδο του νερού στο βύθισμα του Θερμαϊκού.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η βαθυμετρία του Θερμαϊκού Κόλπου (Σχ. 2), ο οποίος είναι μια παλιά κοιλάδα η οποία προσχώθηκε από τις Ολοκαινικές αποθέσεις των ποταμών (Αξιός, Αλιάκμονας, Γαλλικός), δημιουργώντας μια ομαλή μορφολογία (Ρουλος et

al., 1994, Lycousis et al., 2005). Το πάχος των Ολοκαινικών αποθέσεων προσδιορίστηκε με την χρήση ακουστικών τομογραφιών και απεικονίζεται στο Σχ. 3 (Χρόνης 1986, και Lycousis et al., 2005). Τέλος χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη ανόδου της στάθμης της θάλασσας (Σχ. 4) για την περιοχή (Vouvalidis et al. 2005).

Από την αφαίρεση του πάχους των Ολοκαινικών αποθέσεων από την σημερινή βαθυ-

μετρία προέκυψε το προ-ολοκαινικό ανάγλυφο. Επάνω στο ανάγλυφο αυτό συνδυάζοντας τα στοιχεία από την καμπύλη ανόδου της στάθμης της θάλασσας στην περιοχή προέκυψε ένα σκαρίφημα της παλαιογεωγραφίας του Θερμαϊκού.



Σχήμα 5. Η παλαιογεωγραφική κατάσταση της περιοχής 9500 y/ B.P., με την διείσδυση της θάλασσας, σε μια εκτεταμένη επίπεδη περιοχή στο κέντρο (1) η οποία βρισκόταν 40m κάτω από το σημερινό θαλάσσιο επίπεδο. Η θάλασσα τότε βρισκόταν περίπου στα -30 m δημιουργώντας ένα αβαθή κόλπο με βάθος περίπου 10m στο κέντρο. Η γραμμή (2) αναπαριστά την ανατολική ακτογραμμή. (Η διείσδυση προς τα ΒΔ δεν προσδιορίζεται).

### 3.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ – Ο ΚΑΝΟΝΑΣ ΤΟΥ BRUUN

Ο κύριος μηχανισμός που έχει σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό παράκτιων αναβαθμίσεων από κυματική δράση, σχετίζεται με την απ' ευθείας δράση της διαβρωτικής ενέργειας των κυμάτων στην βάση της αναβαθμίδας. Κατά την διάρκεια της ευστατικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας διαρκώς μεταβάλλεται η ισορροπία, υποθέτοντας ελάχιστες ως μηδενικές νεοτεκτονικές κινήσεις.

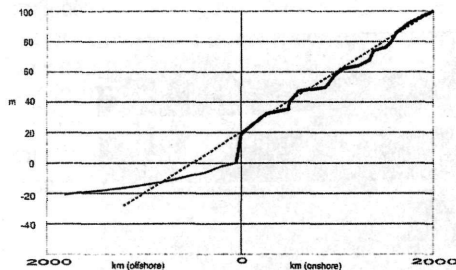
Το καλύτερο γνωστό μοντέλο για την πρόβλεψη της υποχώρησης παράκτιων αναβαθμίσεων από κυματική δράση είναι το μοντέλο του Bruun (1962). Η ανάλυση που προτάθηκε από τον Bruun είναι ένα δισδιάστατο μοντέλο (κάθε-

τη μορφολογική τομή της ακτής). Προτείνει ότι η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας ωθεί το προφίλ ισορροπίας της ακτής και της αβαθούς υποθαλάσσιας ζώνης προς την ξηρά και προς υψηλότερες θέσεις. Μέσα από μια σειρά από υποθέσεις οι οποίες έχουν εξεταστεί διεξοδικά στην βιβλιογραφία και αναφέρονται συγκεκριμενικά από τον Komar (1988), ο Bruun προτείνει την εμπειρική σχέση που περιγράφει την υποχώρηση της ακτής R, ως αποτέλεσμα της ανόδου της μέσης στάθμης S της θάλασσας:

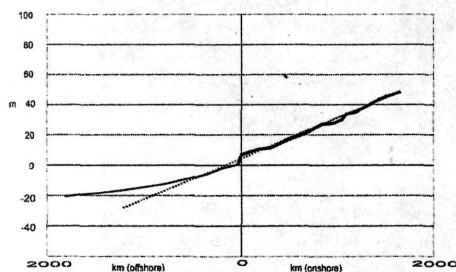
$$R = \frac{L}{P(B+h)} S \quad (1)$$

Όπου L είναι η οριζόντια, κάθετα προς την ακτή απόσταση βάθους h, από το βάθος μέχρι το οποίο τα κύματα μπορούν να μετακινήσουν

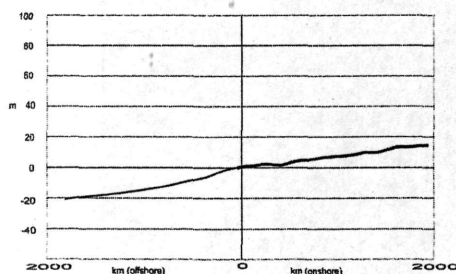
τα υλικά του πυθμένα. Το Β είναι το ύψος της αναβαθμίδας και τέλος το Ρ είναι μια παράμετρος που σχετίζεται με την πλήρωση από τα υλικά που διαβρώνονται και είναι ανάλογο των υλικών που παρήχθησαν από την διάβρωση και παραμένουν μέσα στην ζώνη του προφίλ ισορροπίας.



Α



Β



Γ

Σχήμα 6Α,Β,Γ. Μορφολογικά προφίλ σε θέσεις παράκτιων αναβαθμίδων (Α, Β) και σε θέση που βρίσκεται στον άξονα κοιλάδας (Γ). Στο υποθαλάσσιο τμήμα βρίσκεται η καμπύλη ισορροπίας που υπολογίστηκε για την περιοχή από το μοντέλο του Βρουπ.

Για να εφαρμοστεί ο κανόνας του Βρουπ στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, το

μορφολογικό προφίλ διαφόρων θέσεων της περιοχής μελέτης, επεκτάθηκε προς την θάλασσα για τουλάχιστον 2 km. Η προέκταση ακολούθησε την μέση κλίση του σημερινού ανάγλυφου. Ο ρυθμός ανόδου και οι απόλυτες θέσεις της στάθμης της θάλασσας για τα τελευταία 10000 χρόνια ελήφθησαν από την καμπύλη για τον Θερμαϊκό (Vouvalidis et al. 2005). Η παράμετρος πλήρωσης εκτιμήθηκε με ιζηματολογική ανάλυση των υλικών διάβρωσης (κοσκίνισμα) στην βάση της αναβαθμίδας.

Υπολογίστηκαν λύσεις στην εξίσωση 1 για τρία μορφολογικά προφίλ. Το πρώτο στην περιοχή της λαγκούνας του Πάλιουρα (εντός μιας παλαιοκοιλιάδας) και τα άλλα δύο σε παράκτιες αναβαθμίδες διαφορετικού ύψους στην περιοχή Μηχανιώνας.

#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΓΡΑΦΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

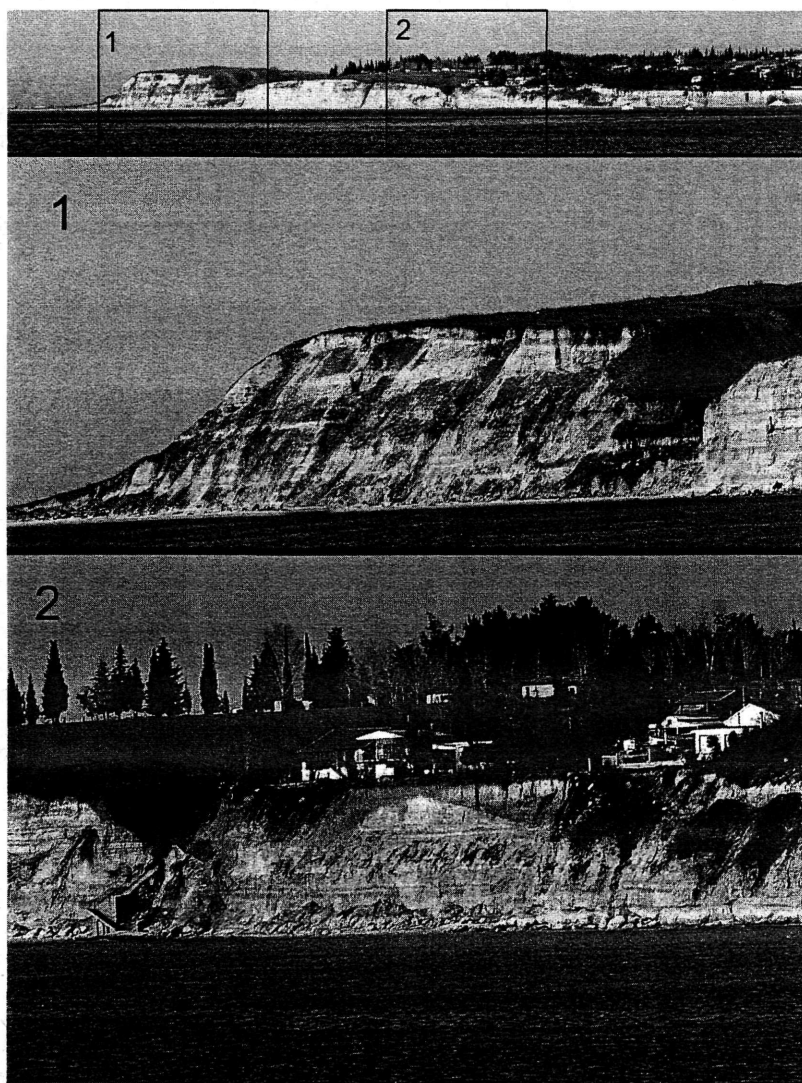
Από την εφαρμογή του προφίλ ισορροπίας του Βρουπ σε τρεις ενδεικτικές περιπτώσεις δημιουργήθηκαν τρία αντίστοιχα προφίλ ισορροπίας τα οποία συγκρίνονται με τα μορφολογικά προφίλ των αντίστοιχων περιοχών.

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται γραφικά στα Σχ. 6Α,Β,Γ. Οι περιοχές αυτές έχουν μια ομαλή κλίση προς την θάλασσα. Εφόσον η αναβαθμίδα έχει προέλθει από την έντονη θαλάσσια διάβρωση για να υπολογιστεί το προολοκαινικό ανάγλυφο έχει επεκταθεί το σημερινό ανάγλυφο, με την ίδια μέση κλίση προς την θάλασσα ως ένα σημερινό βάθος 20 – 25 m που ήταν η στάθμη της θάλασσας 10000 γ/ΒΡ. Στην υποθαλάσσια μορφολογία χρησιμοποιήθηκε το πρό-ολοκαινικό ανάγλυφο που υπολογίστηκε αφαιρώντας το πάχος των Ολοκαινικών αποθέσεων (Χρόνης 1986, Lycousis et al., 2005) από το σημερινό ανάγλυφο του πυθμένα.

Τα προφίλ ισορροπίας του Βρουπ τα οποία απεικονίζονται στα Σχ. 6Α και 6Β έχουν σαφώς μικρότερη κλίση από ότι η μορφολογία επάνω στην οποία άρχισε η επίκλυση. Αυτό δημιούργησε διαβρωτικές τάσεις, σκάβοντας και δημιουργώντας παράκτια αναβαθμίδα και αποθέτοντας τα υλικά της στον πυθμένα, σε μια προσπάθεια να δημιουργηθεί ισορροπία. Αντίθετα

οι περιοχές που βρίσκονταν στους άξονες κοιλάδων Σχ. 6Γ είχαν πολύ μικρότερη κλίση η οποία είτε πλησίαζε είτε ήταν μικρότερη από την κλίση ισορροπίας. Έτσι όχι μόνο δεν αναπτύχθηκαν διαβρωτικές τάσεις, αλλά έγινε και απόθεση ώστε να αποκατασταθεί το προφίλ ισορροπίας. Οι περιοχές αυτές, των χαμηλών

ακτών, ανταποκρίθηκαν στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας με μικρή υποχώρηση της ακτής ανάλογη της μέσης κλίσης της υποθαλάσσιας παραλιακής ζώνης, σύμφωνα με το μοντέλο για τις χαμηλές αμμώδεις ακτές που περιγράφεται από Komar, 1998.



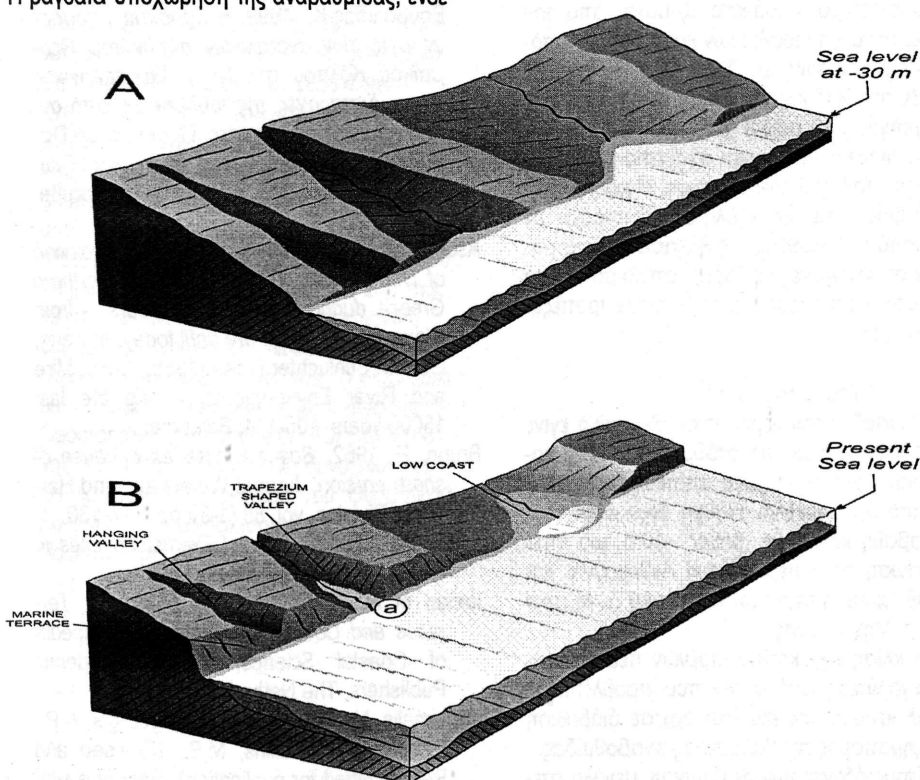
Φωτ. 1. Η παράκτια αναβαθμίδα με εμφανή τα ίχνη διάβρωσης η οποία απειλεί ακόμα και στίπια που α-νοικοδομήθηκαν πριν από 30 χρόνια (τμήμα φωτογραφίας 2).

Από τα σχήματα 6A και 6B φαίνεται ότι η υποχώρηση της ακτής είναι περίπου της τάξης των 1400 m για τα τελευταία 9500 χρόνια (για στάθμη της θάλασσας στα -30m), δίνοντας ένα ρυθμό περίπου 0.15 m/y. Ο ρυθμός αυτός πρέπει να ήταν πιο ταχύς στην αρχή και πιο ήπιος τα τελευταία 3-4 χιλιάδες χρόνια όπου υπάρχει επιβράδυνση στον ρυθμό ανόδου. Γενικά βρίσκεται σε συμφωνία με αυτόν που έχει μετρηθεί στην σημερινή αναβαθμίδα από Αλμπανάκη et al., (1999), 0.1 m/y.

Στην περιοχή υπήρχαν αρχαίοι οικισμοί και ειδικά η πόλη Αίνεια (Σχ. 5), (French, 1967). Η ραγδαία υποχώρηση της αναβαθμίδας, ενδε-

χόμενα επηρέασε την ανάπτυξη αρχαίων παράκτιων οικισμών, ενώ σήμερα παρατηρείται ότι τμήματα της Αίνειας έχουν καταστραφεί λόγω υποχώρησης της αναβαθμίδας επάνω στην οποία ήταν κτισμένη. Από προσωπικές παρατηρήσεις των συγγραφέων μέσα στα τελευταία 25 χρόνια, μικρός κιβωπίοσχημος τάφος που εξείχε στο κάθετο μέτωπο της αναβαθμίδας σήμερα έχει εξαφανιστεί (Φωτ. 1).

Με βάση τα παραπάνω προτείνεται ένα γραφικό μοντέλο εξέλιξης της ακτής στο ανατολικό περιθώριο του Θερμαϊκού Κόλπου.



Σχήμα 7A,B. Μοντέλο εξέλιξης των ανατολικών ακτών του Θερμαϊκού με την δημιουργία θαλάσσιας αναβαθμίδας η οποία διαβρώνεται συνεχώς και ένα σύστημα χαμηλών ακτών στους άξονες των κοιλάδων με πιο σταθερές παραλίες που εξέχουν ως ακρωτήρια. Μικροί χείμαρροι έχουν σχηματίσει κρεμασμένες κοιλάδες και χείμαρροι με μικρή στερεοπαροχή έχουν σχηματίσει 'πνιγμένες κοιλάδες' (a) με τραπεζοειδή διατομή.

Με βάση αυτό το μοντέλο, το σημερινό ομαλό ανάγλυφο με την ήπια κλίση επεκτεινόταν ομαλά προς το εσωτερικό βύθισμα του Θερμαϊκού, το οποίο πιθανόν να είναι προϊόν τεκτονι-

κής δράσης. Οι σημερινές κοιλάδες επεκτεινόταν επίσης προς το κέντρο του Θερμαϊκού. Η ολοκαινική άνοδος της στάθμης της θάλασσας έφτασε στην περιοχή 9000 με 10000 χρόνια

πριν και άρχισε να διαβρώνει σχηματίζοντας αναβαθμίδες Σχ. 7Α. Εισήλθε επίσης και μέσα στις παλαιοκοιλιάδες. Εκεί οι χείμαρροι με μεγάλη στερεοπαροχή δημιούργησαν αποθέσεις ελαπώνοντας την κλίση και δημιουργώντας προφίλ ισορροπίας.

Έτσι στις παράκτιες περιοχές οι οποίες βρισκόταν στους άξονες των μεγάλων ρεμάτων επήλθε ισορροπία. Ο ρυθμός υποχώρησής τους ήταν κατά πολύ μικρότερος από ότι στις περιοχές στις οποίες δημιουργήθηκε αναβαθμίδα. Με τον καιρό οι περιοχές στους άξονες των κοιλάδων ανέπτυξαν εκτεταμένες χαμηλές ζώνες ακτών με λαγούνες και έλη, συγκεντρώνοντας τα περισσότερα παρά-κτια ιζήματα, από την διάβρωση των αναβαθμίδων και από τους υπόλοιπους χείμαρρους Σχ. 7Β.

Με την διαδικασία αυτή, η οποία ήταν αρκετά γρήγορη, οι μικροί χείμαρροι δεν πρόλαβαν να ανταποκριθούν και σχημάτισαν 'κρεμασμένες κοιλάδες'. Όσοι χείμαρροι είχαν μεγαλύτερο βάθος αλλά όχι μεγάλη στερεοπαροχή, με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας μετατράπηκαν σε 'πνιγμένες κοιλάδες', απέθεσαν υλικά μέσα στις κοίτες τους και απέκτησαν τραπέζοειδή διατομή.

##### 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η είσοδος του νερού στον Θερμαϊκό έγινε πριν 10000 χρόνια (για στάθμη στα -30m) καλύπτοντας μια εκτεταμένη επίπεδη περιοχή - 40m από την σημερινή στάθμη, δημιουργώντας έναν αβαθή κόλπο με βάθος ~10m, μια ήπια εγκόλπωση στην περιοχή του Ανθεμούντα και μια ευθύγραμμη περίπου παραλιακή ζώνη στην περιοχή Μηχανιώνας.

Η κλίση των κατακλυσμένων περιοχών ήταν μεγαλύτερη από αυτήν που προβλέπει το προφίλ ισορροπίας και έτσι άρχισε διάβρωση και σχηματισμός της θαλάσσιας αναβαθμίδας.

Στους άξονες των ρεμάτων με μεγάλη στερεοπαροχή η θάλασσα ενδεχόμενα διείσδυσε κατ' αρχήν περισσότερο, αλλά με την αποθετική δράση των χείμαρρων δημιουργήθηκε κλίση μικρότερη από αυτή που προβλέπει το προφίλ ισορροπίας και έτσι επήλθε ισορροπία.

Στην ουσία το μέτωπο των αναβαθμίδων υποχωρεί με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι υποχωρούν οι χαμηλές ακτές ανταποκρινόμενα

κάθε φορά στην εκάστοτε στάθμη. Ο ρυθμός υποχώρησης είναι περίπου 1m την δεκαετία, αρκετός για να επηρεάσει και να καταστρέψει ακόμα και ιστορικούς πα-ράκτιους οικισμούς που βρισκόταν επάνω στην αναβαθμίδα.

##### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλμπανάκης, Κ., Βαβλιάκης, Ε., Ψιλοβίκος, Α. & Σωτηριάδης, Λ., 1993. *Μηχανισμοί και εξέλιξη του δέλτα του Ποταμού Αξίου κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα*. Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Αθήνα 1-3-Απριλίου σελ. 311-325.
- Αλμπανάκης Κ., Αβραμίδου Ν., Κόρου Θ., και Βουβαλιδής Κ., 1999. *Η παράκτια γεωμορφολογία των ανατολικών ακτών του Θερμαϊκού Κόλπου στο Νομό Θεσσαλονίκης και οι διαταραχές της ισορροπίας από ανθρωπογενείς παράγοντες*. Πρακτικά 5<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας. Αθήνα 11-13 Νοεμβρ. Σελ.190-200.
- Astaras, T.A., Sotiriadis I., 1988. *The evolution of Thessaloniki - Giannitsa plain in Northern Greece during the last 2500 years. - from Alexander the great era until today*. In Lang, G. & C. Schluchter (eds.) (1988): *Lake, Mire and River Environments, during the last 15000 years: 105-114*; Balkema.
- Bruun, P. 1962, *Sea-level rise as a cause of shore erosion*, Journal Waterways and Harbours Division, vol. 88 (1-3), pp. 117-130.
- French, D., 1967. *Index of Prehistoric sites in Central Macedonia*. Athens.
- Inman et al., 2003. *Modeling Platforms, Terraces and Coastal Evolution*, Encyclopedia of Coastal Science, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Kapsimalis, V., Poulos, S.E., Karageorgis, A.P., Pavlakis, P. Collins, M.B., (Revised and Re-submitted for publication). *Recent evolution of a Mediterranean deltaic coastal zone: Human impacts on Inner Thermaikos Gulf, Greece*. Journal of Geological Society of London.
- Komar P.D., 1998. *Beach Processes and Sedimentation*, Prentice Hall N.J. New Jersey.
- Lykousis, V., Karageorgis, A.P., Chronis, G., 2005. *Delta progradation and sediment*



- fluxes since the last glacial in the Thermaikos Gulf and Sporades Basin, NW Aegean Sea, Greece. In Press: *Marine Geology*, vol. (222-223) pp.381- 397..
- Poulos, S.E., Papadopoulos, A, Collins, M.B., 1994. *Deltaic progradation in Thermaikos Bay, Northern Greece and its socio-economic implications*. *Ocean and Coastal Management*, 22, 229-247.
- Poulos S., Collins M.B., and X. Ke, 1992. *Fluvial/wave interaction controls on delta formation for ephemeral rivers discharging into microtidal waters*. *Geo - Marine Letters* (13) 24-31.
- Psilivikos, An., Psilovikos, Ar., 1997. *Human versus natural processes. The case of Axios/Vardar River*. *Balkema*, 2859-2864.
- Συρίδης, Γ. (1990). *Λιθοστρωματογραφική, Βιοστρωματογραφική και Παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών-Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής*. Διδακτορική Διατριβή. Επιστημονική Επετηρίδα του Γεωλογικού Τμήματος Α.Π.Θ., Παράρτημα 11, 243 σελ., 13 πίν., 41 φωτ., 1 χάρτης. Θεσσαλονίκη.
- Βουβαλίδης, Κ., Συρίδης, Γ., Αλβανάκης, Κ., 2005. *Holocene morphology of the Thessaloniki bay: Impact of sea level rise*. *Zeitschrift für Geomorphologie*, suppl.-vol., 137, 147-158.
- Χρόνης, Γ., 1986. *Η σύγχρονη δυναμική και η Ολοκαινική ιζηματογένεση του Θερμαϊκού Κόλπου*. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών, 228 σελ.

## Η επίδραση της γεωλογίας και της τεκτονικής στην εξέλιξη του υδρογραφικού δικτύου και της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου της Θεσσαλίας.

ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ Κ.<sup>1</sup>, ΣΦΕΙΚΟΣ Α.<sup>2</sup>, ΠΑΡΑΣΧΟΥ Θ.<sup>1</sup>, ΚΕΧΑΓΙΑ Χ.<sup>1</sup>, ΨΩΜΙΑΔΗΣ Δ.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

River Pamiſos is a main tributary of Pinios River, draining the SW part of the Thessaly catchment area. The river's drainage basin comprises part of the plain as well as of the mountainous terrain that bounds the broader Thessaly Plain. In this paper we present the results of both qualitative and quantitative analyses of the drainage network and morphology through processing of digitized data with GIS software. Quantitative measurements allowed objectively to compare different landforms and to calculate less straightforward parameters (geomorphic indices) that may be useful for the identifying particular characteristics of the area, such as the level of tectonic activity and geologic control. From the analysis of the hydrographic network values for the D and F parameters were calculated. In addition, terrain analysis resulted in useful conclusions about morphologic indices, derivation of hypsographic curves and integrals for the entire study area. Similarly, the morphological study of fluvial terraces together with that of sub-basins resulted in determination of erosive activity of the river. Finally, the analysis of certain morphometric indices obtained from the hydrographic network and morphology subsequent analyses was used to define the influence of geologic formations and tectonics upon the evolution of the river system.

One of the major results of this paper is that the shape of the hypsometric curve and the calculation of the hypsometric integral indicate a mature stage of development for the Pamiſos River drainage basin. It is generally known that the landscape in recently developed - active orogens is shaped mainly by two factors, tectonic activity and surface erosion. If we accept that the denudation - erosion rates in Hellenic orogen are approximately the same, then the lack of landmass (indicated by hypsometric integral) should implicate a basin expansion due to tectonic control.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ποταμός Πάμισος αποτελεί παραπόταμο του Πηνειού ποταμού αποστραγγίζοντας μέρος του ΝΔ τμήματος της λεκάνης της Θεσσαλίας. Η υδρολογική του λεκάνη εκτείνεται τόσο στο πεδινό τμήμα της πεδιάδας όσο και στον ορεινό όγκο των περιθωρίων της λεκάνης. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης του υδρογραφικού δικτύου και της μορφολογίας της λεκάνης απορροής του. Η επεξεργασία του συνόλου των ψηφιακών δεδομένων έγινε με τη χρήση λογισμικού Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S). Η ανάλυση αυτή επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών γεωμορφών μεταξύ τους καθώς και τον υπολογισμό λιγότερο εμφανών γεωμορφικών δεικτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών της υδρολογικής λεκάνης.

Έτσι έγινε υδρογραφική ανάλυση του δικτύου και προσδιορίστηκαν οι τιμές D και F. Ακόμη, πραγματοποιήθηκε ανάλυση του μορφολογικού αναγλύφου και προσδιορισμός των υψομετρικών καμπυλών και ολοκληρωμάτων για το σύνολο της λεκάνης. Παράλληλα μελετήθηκε η μορφολογία των λεκανών απορροής, οι ποτάμιες αναβαθμίδες και προσδιορίστηκε η εξελικτική πορεία και κατανομή του μορφολογικού αναγλύφου από τη διαβρωτική δράση του Πάμισου. Τέλος, με την ποσοτική ανάλυση μορφοτεκτονικών παραμέτρων στο υδρογραφικό δίκτυο και στις λεκάνες προσδιορίστηκε ο βαθμός επίδρασης της γεωλογίας και της τεκτονικής στην εξέλιξη του ποτάμιου συστήματος.

### CONTROLS OF REGIONAL GEOLOGY AND TECTONICS ON THE EVOLUTION OF THE DRAINAGE NETWORK AND BASIN OF RIVER PAMISOS IN THESSALY, CENTRAL GREECE.

<sup>1</sup> Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Α.Π.Θ., [vouval@geo.auth.gr](mailto:vouval@geo.auth.gr)

<sup>2</sup> ΕΥΔΕ Αχελώου, ΥΠΕΧΩΔΕ, [aris3kala@yahoo.gr](mailto:aris3kala@yahoo.gr)

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού καλύπτει το Δ-ΝΔ τμήμα του δυτικού βυθίσματος της Θεσσαλίας και υπάγεται στο Νομό Καρδίτσας. Τα δυτικά της όρια βρίσκονται στο ορεινό τμήμα του κεντρικού ηπειρωτικού κορμού της Πίνδου, ενώ τα ανατολικά της στο πεδινό τμήμα της Θεσσαλίας δυτικότερα της συμβολής του Πάμισου με τον Πηνειό ποταμό. Έχει έκταση 311 km<sup>2</sup> από τα οποία τα 151,3 km<sup>2</sup> καταλαμβάνουν το ορεινό ανάγλυφο του δυτικού τμήματος ενώ τα υπόλοιπα αναπτύσσονται στο πεδινό τμήμα των αλλουβιακών αποθέσεων του ποταμού και στο χαμηλό λοφώδες ανάγλυφο δυτικά της οροσειράς του Κόζιακα.

Το υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου ποταμού είναι καλά ανεπτυγμένο ιδιαίτερα στο ορεινό τμήμα της λεκάνης και έχει συνολικό μήκος 680,2 km. Κατά την έξοδο του ποταμού προς την πεδιάδα της Θεσσαλίας διέρχεται από τον ορεινό όγκο του Κόζιακα σχηματίζοντας μια επιγενετική (διαβρωσιγενή) κοιλάδα με απότομες κλιτύς (Στενά). Το σημαντικότερο χωριό που βρίσκεται στην έξοδο αυτής της κοιλάδας προς την πεδιάδα, είναι το Μουζάκι. Το μήκος της κοίτης του ποταμού κατάντη των Στενών μέχρι τη συμβολή του με τον Πηνειό ποταμό είναι 19,43 km.

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού αναπτύσσεται στο γεωτεκτονικό όριο των ιστοπικών ζωνών της Πίνδου και των σχηματισμών της Δυτικής Θεσσαλίας (ή σειρά Κόζιακα).

Ειδικότερα το δυτικό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του Πάμισου δομείται από τους σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου. Στρωματογραφικά από τα ανώτερα μέρη προς τα κατώτερα συναντάμε:

τον *Φλύσχη της Πίνδου* (Αν. Κρητιδικό – Ανώτερο *Ηώκαινο*). Αποτελείται από εναλλαγές ιλυολίθων, αργιολίθων και ψαμμιτών με συνεχώς μεταβαλλόμενο πάχος στρώσης και διαδοχή. Τοπικά το πάχος των ιζημάτων του φλύσχη αγγίζει τα 1.200 m (Jacobshagen, 1986).

*Εναλλαγές στρώσεων από ασβεστολίθους, ιλυολίθους και ψαμμίτες* (Κρητιδικό). Αποτε-

λούν τα μεταβατικά στρώματα των υποκειμένων Κρητιδικών ασβεστολίθων, προς τον στρωματογραφικά ανώτερο φλύσχη. Οι ασβεστόλιθοι είναι μέσο- έως παχυ-στρωματώδεις με αραιές λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθων και κερατολίθων.

τον *Σχηματισμό του πρώτου φλύσχη* (Κ. Κρητιδικό). Εμφανίζεται υπό μορφή αποσφηνωμένων ενστρώσεων. Οι ρυθμικές εναλλαγές ψαμμιτών και αργίλων με λεπτές παρεμβολές μαργαϊκών ασβεστολίθων. Ερμηνεύονται σαν μία πρώιμη ορογενετική δραστηριότητα που επηρέασε τις Ελληνίδες.

*σχηματισμούς ιζημάτων βαθιάς θάλασσας* (Τριαδικό – Ιουρασικό). Αποτελούνται από ραδιοαρίτες αργιλο- ιλυο- λίθους και πυριτιωμένους αργιλο-ιλυόλιθους.

Το Ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Πάμισου δομείται από σχηματισμούς της σειράς Κόζιακα (Δυτ. Θεσσαλίας). Σύμφωνα με τους Fertiere (1974, 1982) & Jaeger (1980), η ιζηματογενής ακολουθία ξεκινά με ερυθρούς ασβεστολίθους του Μέσου Τριαδικού, ακολουθούνε ωλιθικοί ασβεστόλιθοι και εναλλαγές ωλιθικών ασβεστολίθων με ραδιοαρίτες και κερατόλιθους (Δογγέριο – Μάλμιο) και η σειρά Κόζιακα τελειώνει με ραδιοαρίτες και πυριτιωμένους ασβεστολίθους του Τιθωνίου. Η μετάβαση προς τους επωθημένους οφειολίθους χαρακτηρίζεται από τον σχηματισμό λατυποπαγών με την συμμετοχή ασβεστολίθων και οφειολιθικών τεμαχίων.

Η παραπάνω κανονική στρωματογραφική διαδοχή έχει διαταραχθεί ισχυρά από την επίδραση πολλαπλών τεκτονικών γεγονότων κατά την αλπική ορογένεση. Αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των σχηματισμών σε επαναλαμβανόμενες σειρές (λέπια), διαχωριζόμενες από επωθητικά ρήγματα ή ζώνες ισχυρής διάτμησης.

## 3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Θεσσαλίας, κυρίαρχα τεκτονικά στοιχεία μεγάλης κλίμακας είναι οι επωθητικές και τα ανάστροφα ρήγματα που δημιουργούν τη λεπιοειδή ανάπτυξη των Ελληνίδων ζωνών. Τα επωθητικά αυτά ρήγματα εμφανίζονται με παρατάξεις ΒΒΔ - ΝΝΑ και διευθύνσεις κλίσεων προς τα Δυτικά. Παράλληλα στην περιοχή αναπτύσσεται ένα

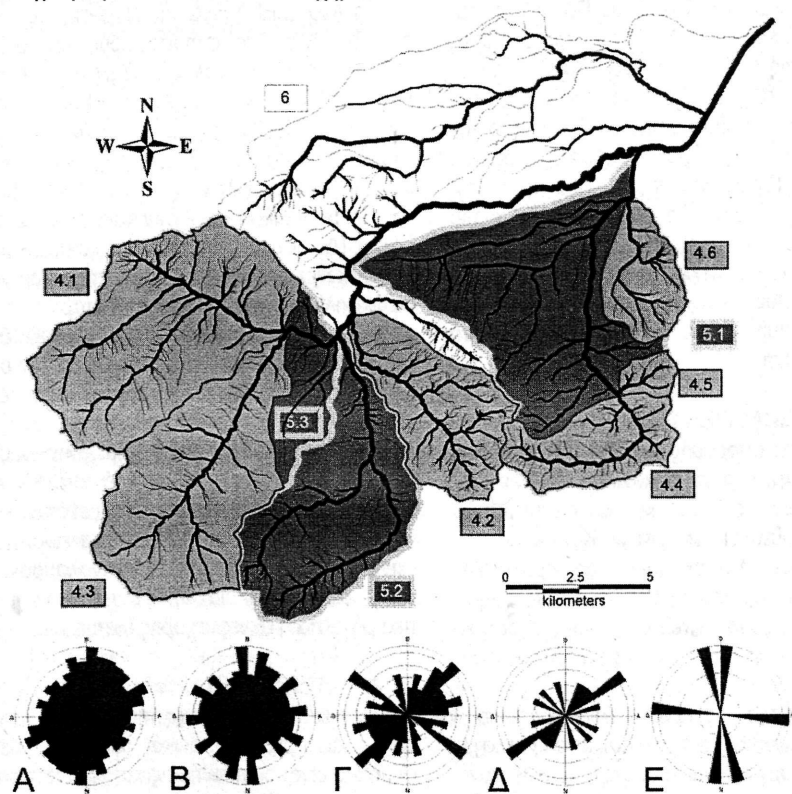
σύστημα κανονικών ρηγμάτων κλίμακας φλοιού, μεγάλου μήκους με παρατάξεις ΒΒΔ - ΝΝΑ περίπου παράλληλες προς τις παρατάξεις των επωθητικών ρηγμάτων. Τέλος, ένα νεότερο σύστημα ρηγμάτων με παρατάξεις ΒΒΑ - ΝΝΔ, περίπου κάθετες προς τις προηγούμενες αναγνωρίζεται τόσο στην υδρολογική λεκάνη του Πάμισου όσο και στην ευρύτερη περιοχή.

Στο ανατολικό περιθώριο της λεκάνης απορροής του Πάμισου ποταμού εμφανίζεται το επωθητικό ρήγμα που τοποθετεί την σειρά Κόζιακα (Δυτ. Θεσσαλίας) πάνω στη ζώνη Πίνδου και συγκεκριμένα στον φλύσχη. Στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης απορροής εμφανίζονται επωθητικά και ανάστροφα ρήγματα μεγάλης κλίμακας που αναπτύσσονται εσωτερικά της ζώνης Πίνδου και διαταράσσουν την αρχική στρωματογραφική ακολουθία των σχηματι-

σμών, δημιουργώντας λεπιοειδή ανάπτυξη και επανάληψη τους.

Οι παραπάνω δομές αναπτύσσονται με ΒΒΔ - ΝΝΑ παράταξη και 50° - 70° κλίση προς δυτικά.

Οι κύριες ορογενετικές και τεκτονικές δράσεις στην περιοχή μελέτης τοποθετούνται στην Νεοελληνική ορογενετική φάση (Ολιγόκαινο) (Jacobshagen, 1986). Κατά τη φάση αυτή δημιουργούνται τα επωθητικά και ανάστροφα ρήγματα μαζί με τις σύνοδες τους δομές. Στο εξελικτικό στάδιο της ορογένεσης η εφελευστική δράση που αναπτύσσεται στο πίσω τμήμα του ορογενετικού πρίσματος (Αιγαίο και Εσωτ. Ελληνίδες) επαναδραστηριοποίησε τις επωθήσεις σαν κανονικά ρήγματα ενώ δημιούργησε και νεότερα ρήγματα με παράταξη κάθετη στα παλαιότερα.



Σχήμα 1: Το υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου ποταμού και οι υδρολογικές λεκάνες 4ης, 5ης και 6ης τάξης που μελετήθηκαν.

Α,Β,Γ,Δ,Ε Ροδιοδιαγράμματα διευθύνσεων κλάδων υδρογραφικού δικτύου 1ης, 2ης, 3ης, 4ης, 5ης τάξης αντίστοιχα.

Σε μέσο- και μικρο- κλίμακα στην περιοχή αναπτύσσονται πτυχές και ένα σύστημα διαρρήξεων. Οι πτυχές αυτές παρουσιάζουν ανάπτυξη των  $b$  αξόνων τους παράλληλη προς τα επωθητικά ρήγματα, ενώ αντίστοιχα τα αξονικά τους επίπεδα αναπτύσσονται σχεδόν υποπαράλληλα προς τα επίπεδα των ρηγμάτων.

Μια δεύτερη ομάδα ρηγμάτων τα οποία τέμνουν όλες τις προϋπάρχουσες δομές, φέρνουν σε επαφή τους Αλπικούς σχηματισμούς με σύγχρονες αποθέσεις, δημιουργούν έντονες μορφολογικές ανωμαλίες, καλύπτονται συχνά από πλευρικά κορήματα και έχουν εν γένει όλα τα χαρακτηριστικά πρόσφατων διαρρήξεων. Η ηλικία τους πρέπει να είναι Πλειοκαινική – Τεταρτογενής και η διεύθυνσή τους ΒΑ –ΝΔ (Λέκας, 1988).

#### 4. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

##### 4.1 Νόμοι υδρογραφικής σύνθεσης

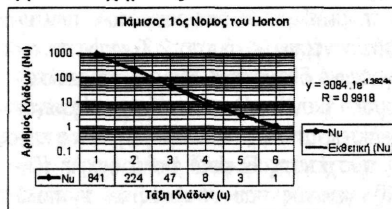
Η ανάλυση των μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου, έγινε με την εφαρμογή των νόμων του Horton (Horton, 1945). Υπολογίστηκαν ο λόγος διακλάδωσης  $R_b$  και ο λόγος του μήκους των κλάδων  $R_L$ .

Για την μορφομετρική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου του Πάμισου χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακα 1:50.000, φύλλα Μουζάκιον (ΓΥΣ, 1970) και Καρδίτσα (ΓΥΣ, 1970). Η ανάλυση και επεξεργασία των παραμέτρων του δικτύου έγινε με την χρησιμοποίηση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά MapInfo 6.0 και Vertical Mapper 3.1..

Η ψηφιοποίηση του υδρογραφικού δικτύου έγινε από τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. με κλίμακα 1:50.000. Στη συνέχεια έγιναν διορθώσεις σε ορισμένους κλάδους με βάση το ορθοδιορθωμένο σε ΕΓΣΑ87 φωτομωσαϊκό δορυφορικών εικόνων LANDSAT7/ETM της NASA (Βουβαλιδής & Αλμπανάκης 2004). Η τελική διορθωμένη απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου παρουσιάζεται στο σχήμα 1.

Εφαρμόζοντας τον 1<sup>ο</sup> νόμο του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου (Horton, 1945) για την λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού προέκυψε ο Πίνακας I, ενώ από τα

δεδομένα του Πίνακα I κατασκευάστηκε το διάγραμμα του σχήματος 2.

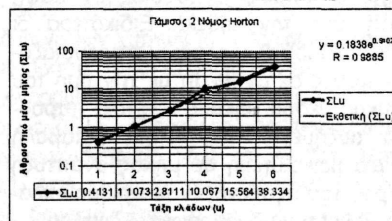


Σχήμα 2: Διάγραμμα πρώτου νόμου του Horton για την λεκάνη του Πάμισου.

Πίνακας I: Εφαρμογή του πρώτου νόμου του Horton για την λεκάνη του Πάμισου.

u (τάξη)	Nu	Rb
1	841	3.75
2	224	4.76
3	47	5.87
4	8	2.66
5	3	3
6	1	

Μέσο Rb = 4.012



Σχήμα 3: Διάγραμμα δεύτερου νόμου του Horton για την λεκάνη του Πάμισου.

Ακολούθως, για τον 2<sup>ο</sup> νόμο του μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου (Horton, 1945) προέκυψαν ο Πίνακας II και το διάγραμμα του σχήματος 3.

Πίνακας II: Εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton για την λεκάνη του Πάμισου.

u (τάξη)	S'Lu	RL
1	0.41308	
2	1.107276	2.68
3	2.811106	2.54
4	10.06736	3.58
5	15.56402	1.55
6	38.33402	2.46

Μέσο RL = 2.56

## 4.2 Αποτελέσματα της υδρογραφικής ανάλυσης.

Από τη μελέτη των διαγραμμάτων των υδρογραφικών νόμων (σχήματα 2,3) φαίνεται ότι το υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου παρουσιάζει μια ομαλή (κανονική) ανάπτυξη χωρίς μεγάλες αποκλίσεις από την ευθεία. Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης R είναι πολύ υψηλή (Πίνακας III), γεγονός που υποδηλώνει τη πολύ καλή συμμεταβολή των δυο τιμών.

Πίνακας III: Συντελεστές συσχέτισης R για τις λεκάνες 5<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> τάξης, για τον 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> Νόμο του Horton.

Λεκάνη	R - 1 <sup>ος</sup> Νόμος Horton	R - 2 <sup>ος</sup> Νόμος Horton
6	0.9918	0.9885
5.1	0.9971	0.9948
5.2	0.9693	0.9709
5.3	0.9865	0.9708

Εξαίρεση αποτελούν οι τιμές των κλάδων 4<sup>ης</sup> τάξης οι οποίες παρουσιάζουν σαφή απόκλιση από την ευθεία. Ειδικότερα οι τιμές του αριθμού των κλάδων παρουσιάζονται μειωμένες σε αντίθεση με την τιμή του αθροιστικού μέσου μήκους η οποία παρουσιάζεται αυξημένη. Μια τέτοια μεταβολή δείχνει μια μεγαλύτερη σε μήκος ανάπτυξη μικρότερου του αναμενόμενου αριθμού κλάδων 4<sup>ης</sup> τάξης του υδρογραφικού δικτύου.

Η επιλεκτική αυτή επιμήκυνση, επειδή έγινε πάνω σε σκληρά πετρώματα του υποβάθρου χωρίς τη μέγιστη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου (χαμηλές τιμές D & F) σχετίζεται άμεσα με τη δράση της τεκτονικής. Οι κλάδοι αναπτύχθηκαν ακολουθώντας τον ευκολότερο δρόμο μέσα από διαρρήξεις που αποτέλεσαν το αρχικό επιφανειακό ίχνος από το οποίο ξεκίνησε η κατά βάθος διάβρωση.

## 4.3 Υδρογραφική πυκνότητα και συχνότητα.

Δύο σημαντικοί παράμετροι που χαρακτηρίζουν τα υδρογραφικά δίκτυα και αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία είναι η υδρογραφική πυκνότητα και η υδρογραφική συχνότητα. Οι τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας και της υδρογραφικής συχνότητας για την υδρολογική

λεκάνη του Πάμισου καθώς επίσης και για τις υπολεκάνες 5<sup>ης</sup> τάξης 5.1, 5.2 και 5.3. παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Οι τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας τόσο για την υδρολογική λεκάνη του Πάμισου όσο και για τις κύριες υπολεκάνες 5<sup>ης</sup> τάξης χαρακτηρίζονται ως μικρές. Τέτοιες τιμές υποδηλώνουν την ανάπτυξη ενός υδρογραφικού δικτύου πάνω σε σκληρά αδιαπέρατα πετρώματα του υποβάθρου. Η επιφανειακή απορροή ευνοείται αναπτύσσοντας τους κύριους κεντρικούς κλάδους του δικτύου.

Πίνακας IV: Υδρογραφική πυκνότητα και υδρογραφική συχνότητα

Λεκάνη	Υδρογραφική πυκνότητα	Υδρογραφική συχνότητα
6	2.19	3.61
5.1	2.58	4.68
5.2	2.54	5.08
5.3	2.05	3.17

Όμως αν μελετηθούν οι τιμές D και F (Πίνακας V) για τις υπολεκάνες 4<sup>ης</sup> τάξης (Σχήμα 4) τότε υπάρχει μια σαφής διαφοροποίηση των τιμών μεταξύ τους. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στη μικρότερη επιφάνεια των λεκανών οι οποίες αναπτύσσονται πάνω σε επιφάνειες διαφορετικού μορφολογικού αναγλύφου και λιθολογίας.

Οι μεγαλύτερες τιμές D και F παρουσιάζονται στις λεκάνες 4.5 και 4.6. Οι λεκάνες αυτές αναπτύσσονται σε ένα χαμηλό και ήπιο ανάγλυφο σκληρών οφειολιθικών πετρωμάτων. Η επιφανειακή απορροή ευνοείται σημαντικά εξαιτίας των αδιαπέρατων σχηματισμών δημιουργώντας ένα μεγάλο μήκος και πολυάριθμων κλάδων υδρογραφικό δίκτυο.

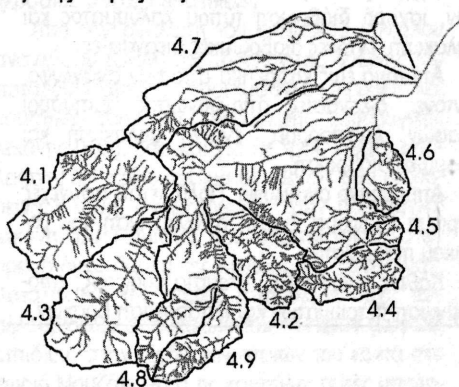
Αντίστοιχα υψηλότερες τιμές D και F παρουσιάζονται και στις λεκάνες 4.4 και 4.2. Στη λεκάνη 4.4 το ανατολικό τμήμα του δικτύου αναπτύσσεται πάνω στους οφειολίθους ενώ το δυτικό επάνω στα ανθρακικά πετρώματα της σειράς του Κόζιακα. Οι κλάδοι του δικτύου της 4.2 αναπτύσσονται ανατολικά του κύριου κλάδου πάνω στη σειρά Κόζιακα και δυτικά στον φλύσχη της Πίνδου. Υψηλές τιμές D και F όμως έχουν παρατηρηθεί και σε επιφάνειες ίδιες λιθολογίας βορειότερα του χωριού Πύλη στην

υδρολογική λεκάνη του Πορταϊκού ποταμού (Βρουχάκης κ.α., 2004).

Πίνακας V: Τιμές υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας για τις υπολεκάνες 4<sup>ης</sup> τάξης του Πάμισου ποταμού

a/a	Au (km <sup>2</sup> )	D	F
4.1	43,12	2.21	3.59
4.2	20,22	3.23	7.17
4.3	35,85	1.79	2.65
4.4	13,13	3.29	8.22
4.5	2,375	3.38	12.21
4.6	9,76	3.8	5.84
4.7	54,78	1.58	1.64
4.8	11,38	2.29	4.92
4.9	12,83	2.97	6.08

Οι υψηλότερες τιμές δικαιολογήθηκαν από μια πιθανή κληρονομημένη δομή ενός υπερκείμενου υδρογραφικού δικτύου πιθανά πάνω σε οφειόλιθους. Όμως κάτι τέτοιο δεν μπορεί να δικαιολογήσει τις αντίστοιχα υψηλότερες τιμές του δικτύου (λεκάνη 4.2) που βρίσκονται στο εσωτερικό του ορεινού όγκου της Πίνδου δυτικά της κορυφογραμμής του Κόζιακα. Παράλληλα έχουμε σημαντική δράση της τεκτονικής στην ανάπτυξη αυτού του δικτύου (παράγραφος 6). Είναι λοιπόν εξαιρετικά πιθανό οι υψηλότερες τιμές D και F να οφείλονται στην ανάπτυξη ενός υδρογραφικού δικτύου πάνω σε μια τεκτονικά καταπονημένη, λιγότερο πλαστική από τους σχηματισμούς της Πίνδου, μη αμιγή ασβεστολιθική μάζα της σειράς Κόζιακα.



Σχήμα 4: Υπολεκάνες 4<sup>ης</sup> τάξης και το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού Πάμισου

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι χαμηλές τιμές D και F των λεκανών 4.1 και 4.3 που αναπτύσσονται στα μαλακά επιδεδεικτικά στην διάβρωση πετρώματα του Φλύσχη της ζώνης της Πίνδου. Αντίθετα οι λεκάνες 4.8 και 4.9 που αναπτύσσονται πάνω στους ίδιους σχηματισμούς έχουν τιμές αρκετά υψηλότερες. Φαίνεται ότι αυτή η σημαντική διαφοροποίηση οφείλεται στο διαφορετικό μορφολογικό ανάγλυφο και στη δράση της τεκτονικής.

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ

Η ανάλυση του μορφολογικού αναγλύφου σχετίζεται άμεσα με την μορφομετρία δηλαδή τον ποσοτικό προσδιορισμό του σχήματος του αναγλύφου (Strahler, 1952, Harlin, 1978, Mayer, 1990). Με ποιο απλά λόγια το ανάγλυφο μπορεί να κατηγοριοποιηθεί και να συγκριθεί ανάλογα με το μέγεθος, το υψόμετρο (μέγιστο, μέσο, ελάχιστο) και τις κλίσεις του.

Για την πραγματοποίηση τέτοιων μετρήσεων σ' όλη την υδρολογική λεκάνη του Πάμισου ποταμού χρησιμοποιήθηκαν τα υψομετρικά δεδομένα των χαρτών της ΓΥΣ (φύλλα Μουζάκι & Καρδίτσα, 1970) τα οποία επεξεργάστηκαν σε πρόγραμμα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S). Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MapInfo v6.0 και Vertical Mapper v3.1. Από τα υψομετρικά δεδομένα στη συνέχεια δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) της λεκάνης. Ο κλίμακός του έχει διάσταση 45 m και δημιουργήθηκε με την χρησιμοποίηση της μεθόδου παρεμβολής του τριγωνισμού με εξομάλυνση (triangulation with smoothing).

### 5.1 Υψομετρικά δεδομένα

#### 1. Κατανομή επιφανειακού αναγλύφου

Η μελέτη της κατανομής του επιφανειακού αναγλύφου γίνεται για να διερευνηθεί η εξέλιξη της κοιλιάδας του ποταμού Πάμισου. Ποσοτικές μετρήσεις μας επιτρέπουν να συγκρίνουμε αντικειμενικά διαφορετικές μορφές αναγλύφου στις οποίες μπορούμε να προσδιορίσουμε συγκεκριμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά όπως ρυθμός διάβρωσης, τεκτονική δράση κλπ. (Keller & Pinter, 2002). Για αυτό το σκοπό ήταν απαραίτητο να γίνει η ανάλυση συγκεκριμένων

γεωμορφολογικών παραμέτρων - δεικτών. Έτσι μελετήθηκαν οι κλίσεις του επιφανειακού αναγλύφου, η υψομετρική καμπύλη και το υψομετρικό ολοκλήρωμα καθώς και οι αναβαθμίδες που έχουν δημιουργηθεί σε διάφορα σημεία της λεκάνης του ποταμού ως συνδυασμός ποτάμιας δράσης, γεωλογίας και τεκτονικής.

## II. Κλίσεις επιφανειακού αναγλύφου

Με τη χρήση του λογισμικού Vertical Mapper v3.1 από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους κατασκευάστηκε ο παρακάτω χάρτης κλίσεων (Σχήμα 5). Στον χάρτη αυτό με λευκό χρώμα παρουσιάζονται οι πολύ μικρές κλίσεις. Οι διαβαθμίσεις των ανοιχτών τόνων του γκρι προς το μαύρο αντιστοιχούν στην αύξηση των κλίσεων του αναγλύφου.

Όπως λοιπόν φαίνεται στο σχήμα 5 ο ποταμός Πάμισος κατά την έξοδό του στην πεδιάδα της Θεσσαλίας δημιουργεί ένα εκτεταμένο πολύ μικρών κλίσεων αλλουβιακό ριπίδιο μέχρι την συμβολή του με τον Πηνειό ποταμό. Οι αποθέσεις του δεν παρουσιάζουν τη χαρακτηρι-

στική μορφή βεντάλιας αφού σχηματίζει ένα σύνθετο αλλουβιακό ριπίδιο με τις αποθέσεις του Πορταϊκού ποταμού στα ΒΔ.

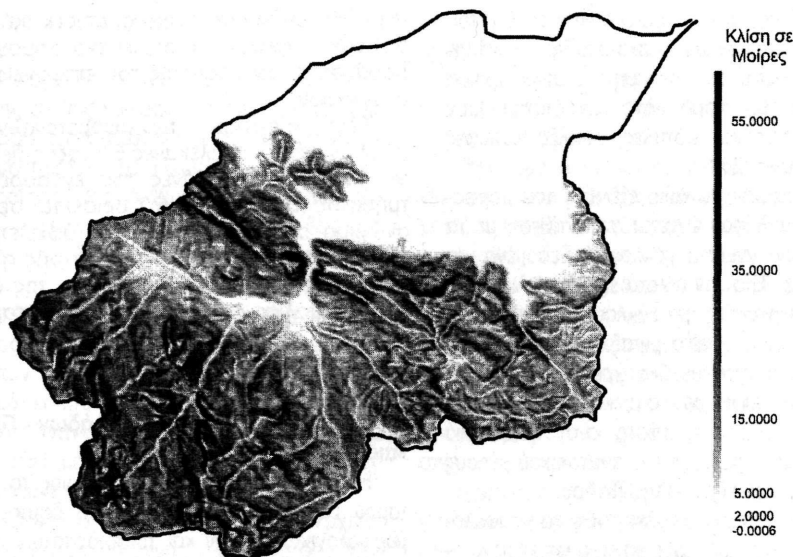
Παράλληλα οι αποθέσεις του ποταμού που αποτελούν και το όριο της χαμηλής ζώνης της Θεσσαλίας διαχωρίζονται από το ΝΔ ορεινό όγκο με μια σαφή ζώνη μεγάλων κλίσεων του μορφολογικού αναγλύφου. Η ζώνη αυτή αποτελεί το τεκτονικό του δυτικού βυθίσματος της Θεσσαλίας. Μοναδικές προεξοχές προς το εσωτερικό της λεκάνης αποτελούν οι λοφώδεις οφειολιθικοί σχηματισμοί που επικαθόνται στη σειρά Κόζιακα.

Με βάση το χάρτη κλίσεων έγινε η ταξινόμηση των κλίσεων του αναγλύφου σε έξι ομάδες σύμφωνα με την International Geographical Union (Πίνακας 5). Η κάθε μια από αυτές τις έξι ομάδες κλίσεων χαρακτηρίζει το είδος της επιφάνειας και τον τρόπο διάβρωσής της (Demek 1969).

Πίνακας VI: Η κατανομή των επιφανειακών κλίσεων στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πάμισου

Κλίσεις	Επιφάνεια σε km <sup>2</sup>	Ποσοστό % επιφάνειας με κλίση	Μορφολογικά χαρακτηριστικά επιφανειών και τρόπος διάβρωσης (Demek.1969):
0-2	97,03	31,2	Επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Έναρξη διάβρωσης τύπου καλύμματος.
2-5	13,06	4,2	Ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Διάβρωση καλύμματος και έναρξη αυλακωτής διάβρωσης
5-15	66,55	21,4	Ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Κινήσεις μαζών, ισχυρή διάβρωση τύπου καλύμματος και αυλακωτή, έντονες διαβρωτικές διεργασίες.
15-35	126,27	40,6	Απότομο έως εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο. Έντονες διεργασίες απογύμνωσης, ερπυσμοί εδαφών, λασποροές, έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση.
35-55	8,09	2,6	Απόκρημνο ανάγλυφο. Πολύ λεπτό ασυνεχές στρώμα εδάφους, έντονη απογύμνωση του μητρικού πετρώματος.
55<	0	0	Κάθετο ανάγλυφο. Απουσία εδάφους, απογύμνωση πετρωμάτων και κατάρρευση βράχων.





Σχήμα 5: Οι κλίσεις του μορφολογικού αναγλύφου στην υδρολογική λεκάνη του Πάμισου ποταμού της Θεσσαλίας.

### III. Υψομετρική καμπύλη και Υψομετρικό ολοκλήρωμα

Η υψομετρική καμπύλη της λεκάνης απορροής ενός ποταμού εκφράζει την κατανομή των υψών της υδρολογικής λεκάνης σε διάγραμμα και είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος της. Αντίστοιχα το υψομετρικό ολοκλήρωμα ( $H_i$ ) είναι η απλουστευμένη μαθηματική έκφραση αυτής της κατανομής. Η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος εκφράζει τον βαθμό απογύμνωσης της χερσαίας μάζας (land mass).

Από την ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (DEM) της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου, προέκυψαν οι υψομετρικές καμπύλες τόσο της ενδοορεινής υδρολογικής λεκάνης (ΕΟ), όσο και για τις τρεις κύριες υπολεκάνες 5<sup>ης</sup> τάξης (σχήμα 6). Με τον όρο ενδοορεινή λεκάνη, αναφερόμαστε στην υδρολογική λεκάνη του Πάμισου που αναπτύσσεται στον ορεινό όγκο δυτικά της λεκάνης της Θεσσαλίας. Καταληκτικό της σημείο αποτελεί η αρχή των αλλουβιακών αποθέσεων του ποταμού (κεφαλή ριπιδίου) στην έξοδο των στενών του κοντά στο χωριό Μουζάκι. Από τις καμπύλες αυτές υπολογίστηκε το υψομετρικό ολοκλήρωμα σε ποσοστό %. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και ο μαθημα-

τικός τρόπος υπολογισμού του υψομετρικού ολοκληρώματος ( $H_i$ ) (Pike et al., 1971, Mayer, 1990) που είναι ο ακόλουθος:

$$H_i = \frac{\text{μέσο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}{\text{μέγιστο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}$$

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο μόνο τρεις τιμές είναι απαραίτητες για να υπολογιστεί το υψομετρικό ολοκλήρωμα, από τις οποίες οι δύο είναι απλό να βρεθούν και από τον τοπογραφικό χάρτη (Keller & Pinter, 2002:122).

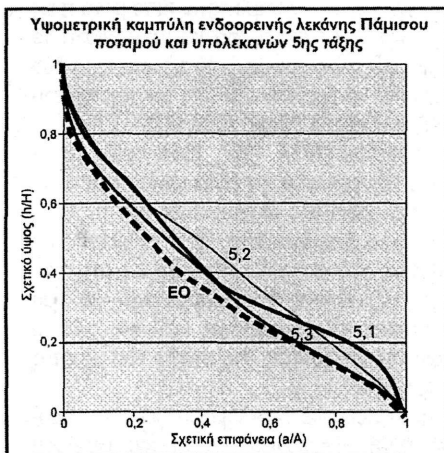
Ο Strahler (1952, 1957, 1964) ορίζει τις τιμές του υψομετρικού ολοκληρώματος έτσι ώστε να γίνεται εύκολα ο διαχωρισμός των σταδίων στον Κύκλο Απογύμνωσης. Έτσι, ορίζεται ότι η μετάβαση από το στάδιο της νεότητας στο στάδιο της ωριμότητας πραγματοποιείται για τιμή υψομετρικού ολοκληρώματος 60% και από το στάδιο της ωριμότητας στο στάδιο του γήρατος για τιμή 35%.

Το υψομετρικό ολοκλήρωμα για την ενδοορεινή (ΕΟ) υδρολογική λεκάνη του Πάμισου υπολογίστηκε σε 35% περίπου. Το ποσοστό αυτό δείχνει σαφώς ότι η υδρολογική λεκάνη βρίσκεται στο όριο μεταξύ των σταδίων **ωριμό-**

τητας και γήρατος. Παραπάνω μείωση του επιφανειακού αναγλύφου στο στάδιο του γήρατος δεν θα μεταβάλει την τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος, παρά μόνο εάν διατηρηθούν από τη διάβρωση κάποιες υψηλές κορυφές (Keller & Pinter, 2002).

Το παραπάνω στάδιο εξέλιξης του μορφολογικού αναγλύφου έρχεται σε αντίθεση με τα μέχρι σήμερα γνωστά γεωλογικά δεδομένα για την περιοχή. Έτσι αν η λεκάνη είχε εξελιχθεί με βάση τις διεργασίες του κύκλου απογύμνωσης, θα βρισκόταν στο όριο μεταξύ ωριμότητας και γήρατος μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Φυσικά κάτι τέτοιο δεν ισχύει για μια περιοχή ανυψωμένη τόσο πρόσφατα στον γεωλογικό χρόνο, όπως η περιοχή του ανατολικού μέρους του ηπειρωτικού κορμού της Πίνδου.

Είναι γενικότερα αποδεκτό ότι το μορφολογικό ανάγλυφο σε πρόσφατα ανεπτυγμένα – ενεργά ορογενή διαμορφώνεται κυρίως από δύο παράγοντες, την τεκτονική και την ποτάμια διάβρωση. Εάν δεχθούμε ότι οι μικρές τιμές υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας που αναλύθηκαν παραπάνω περιγράφουν διεργασίες διάβρωσης πάνω σε σκληρά πετρώματα του υποβάθρου, τότε το έλλειμμα χερσαίας μάζας (landmass) πρέπει να οφείλεται στην διεύρυνση της κοιλάδας εξαιτίας της τεκτονικής δράσης τουλάχιστον σε κάποιο αρχικό στάδιο σχηματισμού της. Παράλληλα και η γεωλογική δομή της



Σχήμα 6: Υψομετρικές καμπύλες της κύριας λεκάνης και των υπολεκάνων 5<sup>ης</sup> τάξης του Πάμισου ποταμού

περιοχής με τον υποκείμενο, επιδεκτικό στη διάβρωση, φλύσχη αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα διαμόρφωσης του επιφανειακού αναγλύφου.

Τέλος, η σύγκριση των υψομετρικών καμπυλών για τις υπολεκάνες 5<sup>ης</sup> τάξης δείχνει ότι από τις υπολεκάνες του ενδοορεινού τμήματος (5.2 & 5.3) η 5.2 βρίσκεται σε πιο ανώριμο στάδιο. Επίσης στην υψομετρική καμπύλη της λεκάνης 5.1 είναι σαφής η επίδραση του τεκτονικού περιθωρίου της δυτικής Θεσσαλίας καθώς επίσης και η παρουσία των οφειλοθικών σχηματισμών στα χαμηλότερα υψόμετρα.

## 5.2 Εξέλιξη ποτάμιων κοιλάδων - Παλαιοκοιλιάδες

Η εξέλιξη της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου μελετήθηκε με τη δημιουργία μορφολογικών τομών και τρισδιάστατων απεικονίσεων (3D) με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (D.E.M).

Οι τομές αυτές (Σχήμα 7) έγιναν στους κύριους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου του Πάμισου. Είναι σχεδόν ευθείες τομές γιατί ακολουθήθηκε η διεύθυνση της μέγιστης κλίσης, έτσι ώστε να εμφανιστούν καλύτερα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ποτάμια δράση. Η τομή Α αποτελεί την μορφολογική τομή του υδροκρίτη που χωρίζει την υδρολογική λεκάνη του Πάμισου με αυτή του Πορταϊκού βορειότερα. Οι τομές Β και Γ είναι μορφολογικές τομές στον κύριο κλάδο της υπολεκάνης 5.3 και η τομή Δ στο ΝΔ της τμήμα τέμνει τον κύριο κλάδο της υπολεκάνης 5.2 και στη συνέχεια φτάνει μέχρι την κορυφογραμμή του Κόζιακα στο όριο της ενδοορεινής ζώνης.

Η συγκριτική μελέτη των μορφολογικών στοιχείων που παρουσιάζονται στις τομές του σχήματος 7 καθιστά δυνατή τη σύνθεση των σταδίων εξέλιξης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου. Η σημαντικότερη μορφολογική τομή η οποία προσδιορίζει εξελικτικά τη διαβρωτική δράση του ποταμού Πάμισου, είναι η τομή στα στενά που σχηματίζει ο ποταμός κοντά στο χωριό Μουζάκι (Στενά Μουζακίου). Την ευρεία κοιλάδα με ομαλές κλίσεις που έχουν τα στενά πάνω από το υψόμετρο των 580 – 600 m τη διαδέχεται μια στενή και απότομων τοιχωμάτων κοιλάδα μέχρι τη σημερινή βάση

της κοίτης του ποταμού σε υψόμετρο 200 m περίπου.

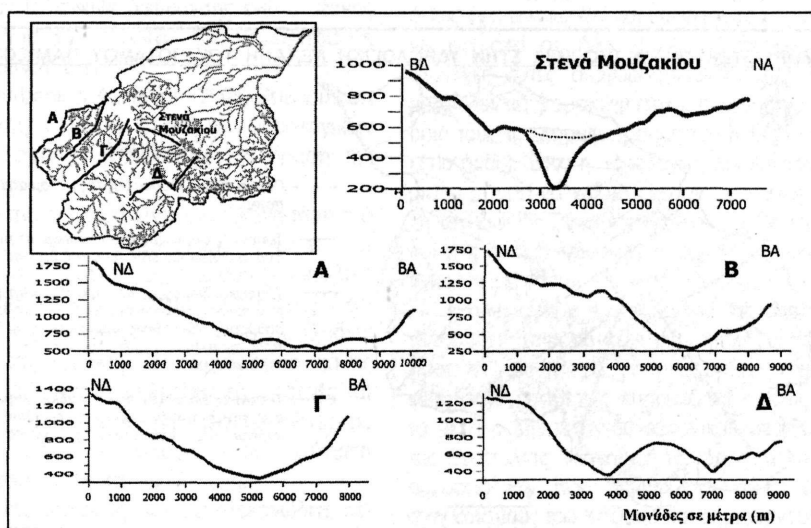
Φαίνεται λοιπόν ότι η δημιουργία αυτής της απότομης στενής κοιλάδας σχετίζεται άμεσα με μια μεταβολή στην εξελικτική πορεία του ποτάμιου συστήματος του Πάμισου. Η επαναδραστηριοποίηση της διαβρωτικής δράσης του ποταμού οφείλεται στη μεταβολή του βασικού επιπέδου στο δυτικό βύθισμα της Θεσσαλίας. Σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο 1991, μετά τη βύθιση της Αιγίδος και το σχηματισμό του Αιγαίου πελάγους αρχίζει μια φάση ταχείας αποστράγγισης των Θεσσαλικών βυθισμάτων προς το Θερμαϊκό κόλπο. Έτσι η ταχεία κατά βάθος διάβρωση αναγκάζει το υδρογραφικό δίκτυο να εγκιβωπισθεί μέσα στα στενά πετρώματα του υποβάθρου σχηματίζοντας στενές κοιλάδες.

Το υψόμετρο των 600 – 580 μέτρων έρχεται σε συμφωνία με αντίστοιχα υψόμετρα δημιουργίας άλλων στενών κοιλάδων που βρίσκονται προς τα κατάντη του υδρογραφικού δικτύου του Πηνειού. Τέτοιες είναι η κοιλάδα του Καλαμακίου στα 450-480 m και η κοιλάδα του Τιρνάβου στον παραπόταμο του Πηνειού Τιταρήσιο στα 470-500 m (Ψιλοβίκος 1991). Επίσης και ο Πορταϊκός στα βόρεια σχηματίζει επίσης στενή κοιλάδα στα 650 – 700 m (Βρουχάκης 2003). Είναι λοιπόν σαφές ότι διαβρωτική δράση του Πηνειού και των παραποτάμων του δεν περιο-

ρίστηκε στα σημεία επικοινωνίας των επιμέρους βυθισμάτων αλλά επεκτάθηκε και δυτικότερα στο εσωτερικό του ορεινού ηπειρωτικού όγκου διαβρώνοντας κατά βάθος του σχηματισμούς της σειράς Κόζιακα.

Στην τομή A αν και πρόκειται για μορφολογία του υδροκρίτη της λεκάνης βλέπουμε να μοιάζει με τομή κοιλάδας. Ειδικότερα, πρέπει να προσεχθεί το ότι τα ελάχιστα υψόμετρα που συναντάμε είναι περίπου 600 m. Πρέπει λοιπόν αυτή η υδροκριτική γραμμή η οποία μάλιστα δημιουργεί σαφή ανισοτροπία στα υδρογραφικά δίκτυα των ποταμών Πορταϊκού (Βρουχάκης κ.α., 2004) και Πάμισου να σχετίζεται άμεσα με την εξέλιξη τους και χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Παράλληλα οι τομές Β και Γ παρουσιάζουν μια πολύ διευρυμένη υδρολογική λεκάνη. Τόσο από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους όσο και από επιτόπιες παρατηρήσεις διαπιστώθηκε ότι το πολύ επιδεκτικό στην διάβρωση υλικό του φλύσχη της Πίνδου δεν επιτρέπει την παρουσία, για μεγάλο χρονικό διάστημα, των ιχνών της ποτάμιας δράσης (αναβαθμίδων). Είναι όμως σαφές και από τις δύο μορφολογικές τομές ότι η κοιλάδα είναι ιδιαίτερος διευρυμένη σε ένα άξονα ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης. Κάτι τέτοιο άλλωστε φαίνεται και από το υψομετρικό



Σχήμα 7: Μορφολογικές τομές στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πάμισου.

ολοκλήρωμά της που δείχνει ότι ένας σημαντικός όγκος υλικού έχει διαβρωθεί και απομακρυνθεί.

Αντίθετα η τομή Δ στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης δείχνει κάποιες λιγότερο διευρυμένες κοιλάδες με μεγαλύτερες κλίσεις. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο και από το υψομετρικό ολοκλήρωμα τουλάχιστον για την λεκάνη 5.2 που δείχνει το μικρότερο εύρος απογύμνωσης του αναγλύφου.

## 6. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

### 6.1 Υδρογραφικό δίκτυο

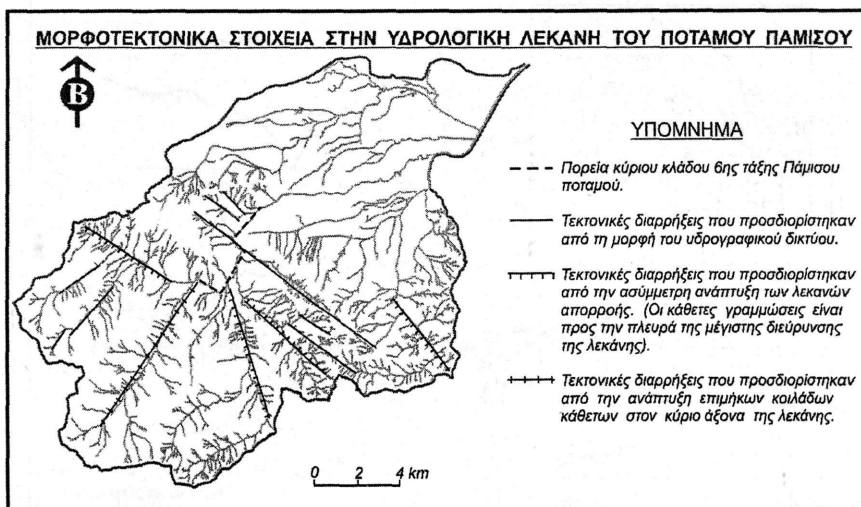
Η ασύμμετρη ανάπτυξη ενός υδρογραφικού δικτύου, πολλές φορές οφείλεται στην αλλαγή της διεύθυνσης ροής ορισμένων κλάδων του, εξαιτίας συγκεκριμένων γεωλογικών αιτιών. Ειδικότερα τέτοια φαινόμενα ασύμμετρης ανάπτυξης εμφανίζονται στο υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου και σχετίζονται άμεσα με την τεκτονική δράση.

Επειδή το υδρογραφικό δίκτυο αναπτύσσεται πάνω σε σκληρά πετρώματα του υποβάθρου, γίνεται αντιληπτό ότι για να αποκτήσουν ορισμένοι κλάδοι του δικτύου μια δυναμική εντονότερης διαβρωτικής δράσης συνήθως ακολουθούν ίχνη τεκτονικών διαρρήξεων. Οι

διαρρήξεις αυτές δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας ενός αρχικού ίχνους ανεξάρτητο των κλίσεων του αναγλύφου και της γενικότερης μορφολογίας, το οποίο ακολουθεί η κατά βάθος διάβρωση διευρύνοντάς το (Σχήμα 8).

Μια ακόμη απόδειξη της επίδρασης της τεκτονικής στο υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου είναι η σχεδόν κάθετη στέψη του κύριου κλάδου 6ης τάξης του δικτύου σε τρία σημεία και σε απόσταση μικρότερη των 3,5 km (Σχήμα 8). Η στροφή του ποταμού παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον από το γεγονός ότι πραγματοποιείται πολύ κοντά και μέσα στα στενά του ποταμού πριν από την έξοδό του στην πεδιάδα της Θεσσαλίας.

Εκτός από την μακροσκοπική παρατήρηση του υδρογραφικού δικτύου, η σαφής προτίμησή του να ακολουθεί τεκτονικές δομές φαίνεται και από τη στατιστική επεξεργασία. Στα ροδιογράμματα διευθύνσεων κλάδων του δικτύου (Σχήμα 1) υπάρχει σαφής προτίμηση ανάπτυξης κλάδων παράλληλα με τις δύο κύριες διευθύνσεις (ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΑΒΑ-ΔΝΔ) τεκτονικών διαρρήξεων που επηρέασαν την ευρύτερη περιοχή. Ειδικότερα οι κλάδοι 4ης τάξης παρουσιάζουν την μέγιστη ανάπτυξή τους κατά την διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ. Αυτή η διεύθυνση ταυτίζεται με την πιο πρόσφατη ρηξιγενή δράση ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ηλικίας Πλειόκαινου – Τεταρτογενούς.



Σχήμα 8. Η επίδραση της τεκτονικής στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Πάμισου.

## 6.2 Υδρολογικές λεκάνες

Στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πάμισου υπάρχουν υπολεκάνες που δείχνουν μια σαφή ασύμμετρη ανάπτυξη. Για αυτό το σκοπό υπολογίστηκε η περιστροφή (tilt) των λεκανών 5.2, 4.1 και 4.2 (σχήματα 1 & 4), που εμφανίζουν σαφή ασύμμετρία. Η περιστροφή υπολογίζεται μέσω του παράγοντα ασύμμετρίας AF που ορίζεται από τη σχέση  $AF = 100(Ar/At)$ , όπου Ar είναι το εμβαδόν της περιοχής της λεκάνης δεξιά (κοιτώντας προς τα κατόντη) από την γραμμή ανάπτυξης του κύριου κλάδου και At είναι το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής (Hare & Gartner, 1985, Cox, 1994). Για τα περισσότερα υδρογραφικά δίκτυα που δημιουργούν και αναπτύσσουν τη ροή τους σε σταθερές συνθήκες ο παράγοντας ασύμμετρίας AF είναι 50. Τιμές σημαντικά μεγαλύτερες ή μικρότερες από το 50 οφείλονται σε τεκτονικά αίτια (Keller & Pinter 2002:123). Για την λεκάνη 5.2 υπολογίστηκε σε  $(AF=74,90)$ , για την λεκάνη 4.1 σε  $(AF=71,68)$  και για την λεκάνη 4.2 σε  $(AF=66,91)$ .

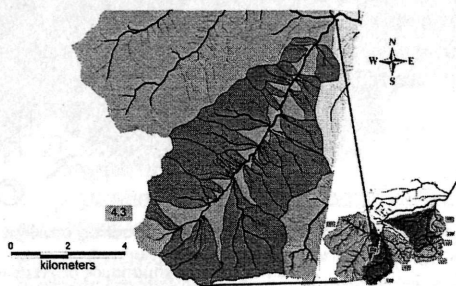
Έτσι, οι ασύμμετρες λεκάνες απορροής έχουν περιστραφεί γύρω από έναν άξονα που ταυτίζεται με γραμμή τεκτονικής διάρρηξης. Η διεύθυνση αυτών των αξόνων για τις λεκάνες 4.1 και 4.2 ταυτίζεται με το παλαιότερο σύστημα ρηγμάτων BBD-NNA διεύθυνσης ενώ ο άξονας της λεκάνης 5.2 αποκλίνει λίγο βορειότερα σε μια διεύθυνση B-N.

Οι Burbank & Anderson (2001) θεωρούν ότι η επιμήκης ή κυκλική μορφή των υδρολογικών λεκανών σχετίζεται άμεσα με την δράση της τεκτονικής.

Όσο πιο επιμήκης είναι μια λεκάνη τόσο πιο απότομες και συμπυκνωμένες είναι οι μεσολεκανώδεις περιοχές, ενώ όσο πιο κυκλική είναι μια λεκάνη τόσο ομαλότερες και διευρυμένες είναι αυτές (Mayer, 1986). Ο ίδιος συγγραφέας χαρακτηρίζει ενεργές τεκτονικά τις περιοχές στις οποίες οι λεκάνες είναι στενές και απότομες, ενώ θεωρεί λιγότερο τεκτονικές τις περιοχές όπου οι λεκάνες έχουν σύνθετη μορφή, φαρδύτερη και ακανόνιστη.

Λεκάνες απορροής και μεσολεκανώδεις περιοχές με παρόμοια μορφή και διάταξη, όπως περιγράφηκε παραπάνω, εντοπίστηκαν στη

υπολεκάνη 4.3 (Σχήμα 9). Διαπιστώνεται δηλαδή ότι η λεκάνη 4.3 αναπτύσσεται κατά μήκος ενός άξονα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ στον οποίο συμβάλλουν επιμήκεις λεκάνες σχεδόν κάθετων κλάδων. Ο βαθμός επιμήκυνσης (μήκος/πλάτος) είναι στις περισσότερες από αυτές μεγαλύτερος του 2,5.



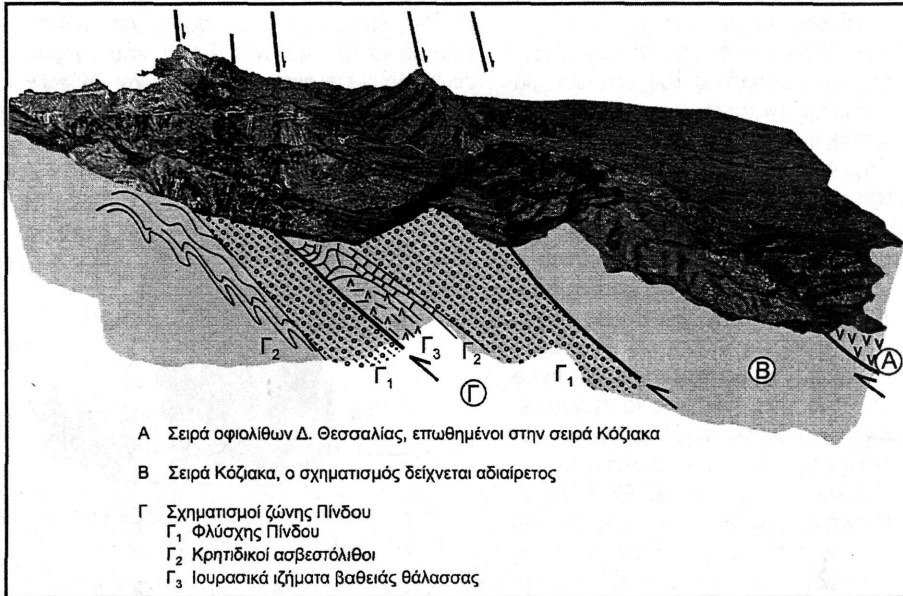
Σχήμα 9. Επιμήκης ανάπτυξη λεκανών και μεσολεκανωδών περιοχών στην υπολεκάνη 4.3.

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο κύριος άξονας της λεκάνης με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση έχει επηρεαστεί από την πιο πρόσφατη τεκτονική ηλικίας Πλειοκαίνου – Τεταρτογενούς της ευρύτερης περιοχής.

## 6.3 Εξέλιξη αναγλύφου

Το μορφολογικό ανάγλυφο της υδρολογικής λεκάνης του Πάμισου ποταμού της Θεσσαλίας, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως μπορεί να χωριστεί σε δύο επιμέρους περιοχές. Οι περιοχές αυτές διαφοροποιούνται από σαφή μορφολογικά χαρακτηριστικά με φυσιογραφικό όριο τους την κορυφογραμμή του Κόζιακα (Κερκέτιο όρος). Έτσι η υδρολογική λεκάνη του Πάμισου μπορεί να χωριστεί στην ανατολική πεδινή και λοφώδη ζώνη της λεκάνης της Θεσσαλίας και στη δυτική ενδοορεινή περιοχή του ορεινού όγκου της Πίνδου.

Αναλυτικότερα η μορφολογία στο ανατολικό τμήμα δεν παρουσιάζει μια ομαλή μετάβαση προς τα χαμηλότερα, με ήπιες κλίσεις αναγλύφου, αλλά αντιθέτως επηρεάζεται σαφώς από τα μεγάλα ρήγματα του τεκτονικού περιθωρίου της Θεσσαλίας. Μοναδική εξαίρεση αποτελούν οι οφειόλιθοι που επωθούνται πάνω στους σχηματισμούς του Κόζιακα και δημιουργούν ένα χαμηλό λοφώδες ανάγλυφο στο δυτικό περιθώριο αυτής της χαμηλής ζώνης (Σχήμα 10).



- A Σειρά οφιολίθων Δ. Θεσσαλίας, επωθημένοι στην σειρά Κόζικα  
 B Σειρά Κόζικα, ο σχηματισμός δείχνεται αδιαίρετος  
 Γ Σχηματισμοί ζώνης Πίνδου  
 Γ<sub>1</sub> Φλύσχη Πίνδου  
 Γ<sub>2</sub> Κρητιδικό ασβεστόλιθοι  
 Γ<sub>3</sub> Ιουρασικά ιζήματα βαθείας θάλασσας

Σχήμα 10: Τρισδιάστατη απεικόνιση της μορφολογίας και της γεωλογικής δομής της υδρολογικής λεκάνης του Πάμισου ποταμού της Θεσσαλίας

Το ενδοορεινό τμήμα της λεκάνης φαίνεται να διαμορφώνεται κατά μήκος ενός άξονα παράλληλου της κορυφογραμμής του Κόζικα. Ο άξονας αυτός έχει διεύθυνση BBA-NNΔ και είναι παράλληλος με τα παλαιότερα μεγάλης κλίμακας τεκτονικά στοιχεία που δημιουργούν τη λεπιοειδή ανάπτυξη των ελληνίδων ζωνών. Ο άξονας αυτός μορφολογικά ταυτίζεται με την μεγαλύτερη κατά πλάτος διεύρυνση των κοιλάδων και δεν αποτελεί άξονα συμμετρίας της λεκάνης. Αντιθέτως υπάρχει μια σαφής ασύμμετρη ανάπτυξη της υδρολογικής λεκάνης προς τα δυτικά. Φαίνεται λοιπόν ότι τα μεγάλα αναστροφικά ρήγματα με κλίση προς τα δυτικά δημιούργησαν μια ζώνη διάρρηξης στο εσωτερικό του ορεινού όγκου. Έτσι αποκαλύφθηκαν οι πολύ επιδεκτικοί στη διάβρωση σχηματισμοί του Φλύσχη, με τους ασβεστόλιθους που είναι λιγότερο επιδεκτικοί στη διάβρωση, να αποτελούν καπέλα που εμποδίζουν την παραπάνω διεύρυνση της λεκάνης στον κύριο άξονά της (Σχήμα 10).

Η κατά βάθος διάβρωση των ιζηματογενών σχηματισμών του Φλύσχη έγινε σε γρήγορους

ρυθμούς με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρής έκτασης αναβαθμίδων.

Κάθετα στον κύριο άξονα BBA-NNΔ διεύθυνσης δημιουργήθηκαν επιμήκεις κοιλάδες που φτάνουν μέχρι τα μεγαλύτερα υψόμετρα της υδρολογικής λεκάνης. Όπως αποδείχθηκε παραπάνω οι κοιλάδες αυτές έχουν επηρεαστεί από τη νεότερη τεκτονική ΔΝΔ-ΑΒΑ διεύθυνσης. Το ανάγλυφο σε αυτές της κοιλάδες είναι λιγότερο ώριμο εξαιτίας της πιο πρόσφατης δημιουργίας τους καθώς και ότι αυτές αναπτύσσονται πάνω στον κύριο ορεινό όγκο μικρότερης ηλικίας. Οι Κρητιδικό ασβεστόλιθοι αποτελούν πετρώματα με μικρή διαβρωσιμότητα με αποτέλεσμα την σημαντική κατά βάθος διάβρωση χωρίς την αντίστοιχη πλευρική διεύρυνση των κοιλάδων.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη συγκριτική μελέτη των στοιχείων που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή, μπορεί να γίνει δυνατή η σύνθεση της εξέλιξης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου, του υδρογραφικού δικτύου και του αναγλύφου. Σε αυτή τη σύνθεση θα πρέπει να λάβουμε υ-

πόψη μας εκτός από τις φυσικές διεργασίες καταστροφής και διαμόρφωσης του επιφανειακού αναγλύφου και άλλα γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία που συνέβαλαν στη διαμόρφωση της λεκάνης του Πάμισου.

Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πάμισου της Θεσσαλίας, όπως αποδεικνύεται από την εκτεταμένη ανάλυση των ψηφιακών δεδομένων αναγλύφου, δείχνει να βρίσκεται στο όριο μεταξύ του σταδίου **ωριμότητας και γήρατος**. Τα αίτια που διαμόρφωσαν αυτό το εξαιρετικά ώριμο ανάγλυφο πρέπει να αναζητηθούν στην τεκτονική και την ποτάμια διάβρωση. Εάν δεχθούμε ότι οι μικρές τιμές υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας που αναλύθηκαν περιγράφουν διεργασίες διάβρωσης πάνω σε σκληρά πετρώματα του υποβάθρου, τότε το έλλειμμα χερσαίας μάζας πρέπει να οφείλεται στην διεύρυνση της κοιλάδας εξαιτίας και της τεκτονικής δράσης τουλάχιστον σε κάποιο αρχικό στάδιο σχηματισμού της.

Επειδή το υψομετρικό ολοκλήρωμα εκφράζει τον όγκο των υλικών που απομακρύνθηκαν από μια λεκάνη, φαίνεται ότι οι διεργασίες της διάβρωσης στο ανατολικό τμήμα του ορεινού όγκου της Πίνδου, άρχισαν και αυτές αρκετά νωρίς με αποτέλεσμα όχι μόνο την κατά βάθος διάβρωση αλλά και την κατά πλάτος διεύρυνση των κοιλάδων. Οι διεργασίες διάβρωσης σχετίζονται άμεσα με την μεταβολή του βασικού επιπέδου στο δυτικό βύθισμα της Θεσσαλίας. Από τη μορφή της κοιλάδας φαίνεται ότι η επαναστρατηριοποίηση της διαβρωτικής δράσης του ποταμού σε ένα υψόμετρο 580-600 m, ανάγκασε το υδρογραφικό δίκτυο να εγκιβωτισθεί μέσα στα σκληρά πετρώματα του υποβάθρου σχηματίζοντας μια στενή κοιλάδα πριν από την έξοδο του στην πεδιάδα της Θεσσαλίας.

Η μορφή και η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου όπως αυτές προκύπτουν από την ποιοτική και ποσοτική ανάλυσή του, δείχνουν ένα υδρογραφικό δίκτυο που αναπτύχθηκε πάνω σε αδιαπέρατα πετρώματα του υποβάθρου. Σε πολλά σημεία του υδρογραφικού δικτύου αποτυπώθηκαν ασυμμετρίες σε κλάδους που οφείλονται στη δράση ρηγμάτων καθώς και ορθογώνιες στρέψεις της πορείας της κύριας κοίτης του ποταμού.

Η εξέλιξη του μορφολογικού αναγλύφου χαρακτηρίζεται από μια διαφοροποίηση στο ορεινό σε σχέση με το πεδινό της τμήμα στην πεδιάδα της Θεσσαλίας. Οι ίδιοι παράγοντες που επηρέασαν την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου οδήγησαν και στη δημιουργία τόσο ασύμμετρων όσο και ιδιαίτερα επιμήκων λεκανών απορροής. Τόσο οι κλάδοι όσο και οι υδρολογικές λεκάνες φαίνεται να έχουν αναπτυχθεί – επηρεαστεί από τις δύο κύριες σχεδόν κάθετες διευθύνσεις ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής.

#### Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς αυτής της εργασίας νιώθουν την ανάγκη να ευχαριστήσουν θερμά τον καθηγητή κ. Αντώνιο Ψιλοβίκο για την κριτική και τις εύστοχες επισημάνσεις του που συνέβαλαν στο καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Burbank, D.W. & Anderson, R.S. (2001) *Tectonic Geomorphology*. Blackwell, p.202
- Cox, R.T., (1994) *Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas with possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment*. Geological Society of America Bulletin, 106:571-581.
- Demek, J. (ed.) (1972) *Manual for Detailed Geomorphological Mapping*. IGU Commission on Geomorphic Survey and Mapping, Academia, Prague, 320 pp.,
- Ferriere (1974) *Nouvelles données stratigraphiques sur le massif du Koziakas*. C.R.Acad. Sci. Paris (D) 278, 995-998.
- Ferriere (1982) *Paleogeographies et tectoniques superposes dans les Hellenides internes: Les Massifs de Othrys et du Pelion ( Grece Continentale)*. Soc. Geol Nord Publ. 8 970s.
- Hare, P.W., Gardner, T.W., (1985) *Geomorphic indicators of vertical neotectonism along a verging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica*. In M. Morisawa & J.T. Hack (eds), *Tectonic Geomorphology: Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual Binghamton Geomorphology Symposium, September 1984*. Boston: Allen & Unwin, 75-104.

- Harlin, J.M., (1978) *Statistical moments of the hypsometric curve and its density function*. *Mathematical Geology*, 10:59-72.
- Jacobshagen, V. (1986) *Geologie von Griechenland*. Berlin.
- Jaeger, (1980) *Novelles donnees sur la géologie de la région de Mouzaki, province de Karditsa (Grèce Continentale). Relations entre les séries pindique, beotinne et ultra pindique*. *Bull. Soc. Geol. France VII*, 22, 135-143.
- Mayer, L. (1986) *Tectonic geomorphology of escarpments and mountain fronts*. *Active Tectonics: Washington D.C., National Academy Press*, 125-135
- Mayer, L. (1990) *Introduction to Quantitative Geomorphology: An Exercise Manual*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Keller, E.A. & Pinter, N. (2002) *Active Tectonics: earthquakes uplift, and landscape*. 2<sup>nd</sup> Ed. Prentice-Hall Inc. New Jersey.
- Pike, R.J., Wilson, S.E., (1971) *Elevation – relief ratio, hypsometric intergral and geomorphic area-altitude analysis*. *Geological Society of America Bulletin*, 82:1079-1083.
- Strahler, A. N. (1952) *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*. *Bulletin Geolog. Societ. Americ.*, 63, 1117-1142.
- Strahler, A. N. (1957) *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. *Transactions, American Geophysical Union*, 38, no 6, 913-920.
- Strahler, A. N. (1964) *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. In CHOW, V. T., (Ed.) *Handbook of Applied Hydrology*, New York, Section 14, 54p.
- Βουβαλίδης, Κ., Αλμπανάκης Κ., 2004. Δημιουργία γεωμετρικά διορθωμένου σε ΕΓΣΑ 87 φωτομωσαϊκού του Ελληνικού χώρου από το GEOSET™ του LANDSAT7/ETM της NASA. Πρακτικά 14<sup>ης</sup> Συνάντησης Ελλήνων Χρηστών ARCGIS, Αθήνα.
- Βρουχάκης, Ι., Βουβαλίδης, Κ., Σφέικος, Α. & Μαργωνη, Σ. (2004) *Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Πορταϊκού ποταμού της Θεσσαλίας*. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας* τομ, XXXVI, 978-987
- Γ.Υ.Σ (1970) *Τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 Φύλλο Καρδίτσα*. Αθήνα.
- Γ.Υ.Σ (1970) *Τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 Φύλλο Μουζάκιον*. Αθήνα.
- Λεκκας, Ε. (1988) *Γεωλογική δομή και γεωδυναμική εξέλιξη της οροσειράς του Κόζιακα (Δυτική Θεσσαλία)*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. 21-25
- Ψιλοβίκος, Α. (1991) *Η εξέλιξη του Πηνειού ποταμού της Θεσσαλίας*. 2<sup>ο</sup> Συμπόσιο Τρικαλινών Σπουδών. Τρίκαλα.



## Ένα παράδειγμα σύζευξης γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (Γ.Σ.Π) με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης (ασαφής λογική & νευρωνικά δίκτυα): εφαρμογή στη γεωμορφολογία.

ΓΚΟΥΡΝΕΛΟΣ Θ.<sup>1</sup>, ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ Ν.<sup>1</sup> ΚΑΙ ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ Α.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

In this paper we are studying the erosional procedures on the basis of Geographical Information Systems (GIS) and Artificial Intelligence (AI) methods. More precisely we use fuzzy logic rules to estimate the erosion risk index for the surface rocks and a model of neural networks to spatially categorise the erosion risk index. The described procedure is applied at Zakynthos island, where a complete spatial database already exists.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία με βάση τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και με τη χρήση μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης, γίνεται μια προσπάθεια μελέτης των διαδικασιών διάβρωσης. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται κανόνες ασαφούς λογικής για τον υπολογισμό του δείκτη διάβρωσης των επιφανειακών πετρωμάτων και ένα μοντέλο νευρωνικών δικτύων για την χωρική ταξινόμηση του δείκτη επικινδυνότητας για διάβρωση. Όλη η περιγραφείσα διαδικασία εφαρμόζεται στο νησί της Ζακύνθου που ήδη υπάρχει μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαδικασία της διάβρωσης των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο και είναι αδύνατο να προσεγγιστεί ικανοποιητικά με αιτιοκρατικά μαθηματικά μοντέλα. Οι κύριες μεταβλητές που επιδρούν στο εν λόγω φαινόμενο είναι: η τοπογραφία, η γεωλογική δομή και η φύση των πετρωμάτων, το κλιματικό καθεστώς και οι βιολογικές διαδικασίες. Η τοπογραφία καθορίζει την μορφή του αναγλύφου, το επικλινές των κλιτύων. Η γεωλογική δομή και η φύση των πετρωμάτων ελέγχουν το σύστημα των ασυνεχειών (ρήγματα, διακλάσεις) και το βαθμό ευπάθειας στη διάβρωση. Το κλίμα είναι σημαντικός παράγοντας διότι καθορίζει την χρονική κατανομή και την ένταση των βροχοπτώσεων που είναι κατ'εξοχήν υπεύθυνες για την διάβρωση των επιφανειακών σχηματισμών. Τέλος, οι βιολογι-

κές διαδικασίες ελέγχουν τη φύση του εδαφικού καλύμματος και εν γένει του μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων (Barczy, et al, 1996, Centeri, 2002 a, b, c).

Σε αυτή την εργασία γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης των διαβρωτικών διαδικασιών χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των Γ.Σ.Π. και μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης.

Όλες οι μεταβλητές που υπεισέρχονται στο φαινόμενο της διάβρωσης δεν είναι σταθερές, αλλά αλλάζουν χωρικά και χρονικά. Για αυτό το λόγο προστρέξαμε στην θεωρία ασαφών συνόλων και νευρωνικών δικτύων (Klir & Yuan, 1995, Hecht-Nielsen, 1990) με τελικό στόχο την δημιουργία ενός θεματικού χάρτη που να ταξινομεί περιοχές ως προς την επικινδυνότητα διάβρωσης.

**AN EXAMPLE OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS) AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS (FUZZY LOGIC & NEURAL NETWORKS) CONJUNCTION: APPLICATION IN GEOMORPHOLOGY**

<sup>1</sup> Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α., Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου 157 84, gourmelos@geol.uoa.gr, evelpidou@geol.uoa.gr, vassilopoulos@geol.uoa.gr

**2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Οι κύριες φάσεις της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκαν σε αυτή την εργασία είναι οι εξής:

Ψηφιοποίηση και εισαγωγή όλων των δεδομένων σε Γ.Σ.Π.

Δημιουργία κανόνων ασαφούς λογικής για τον πρώτο μετασχηματισμό των μεταβλητών εισόδου

Δημιουργία ενός συστήματος Νευρωνικού δικτύου για τον περαιτέρω μετασχηματισμό των μεταβλητών εισόδου.

Τελική επανα-εισαγωγή των αποτελεσμάτων των δύο προαναφερθέντων μετασχηματι-

σμών και δημιουργία θεματικού χάρτη σε περιβάλλον Γ.Σ.Π.

Τα παραπάνω στάδια που περιγράφηκαν φαίνονται σχηματικά στο διάγραμμα ροής (Σχ. 1).

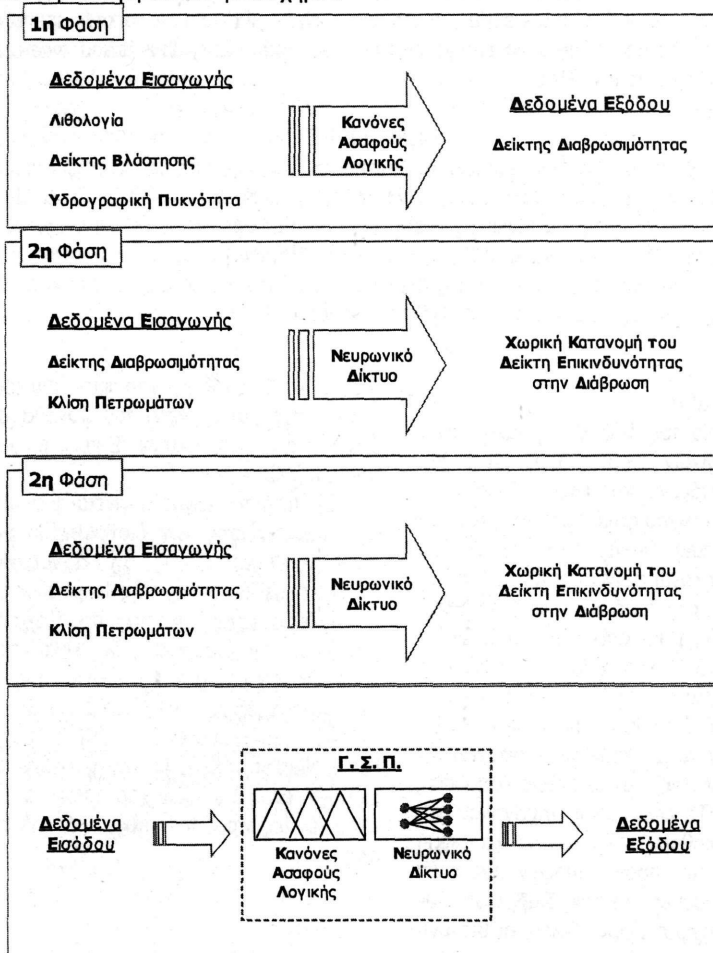
Οι μεταβλητές εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Λιθολογία πετρωμάτων (Χάρτης 1)

Δείκτης βλάστησης (Χάρτης 2)

Η υδρογραφική πυκνότητα (Χάρτης 3)

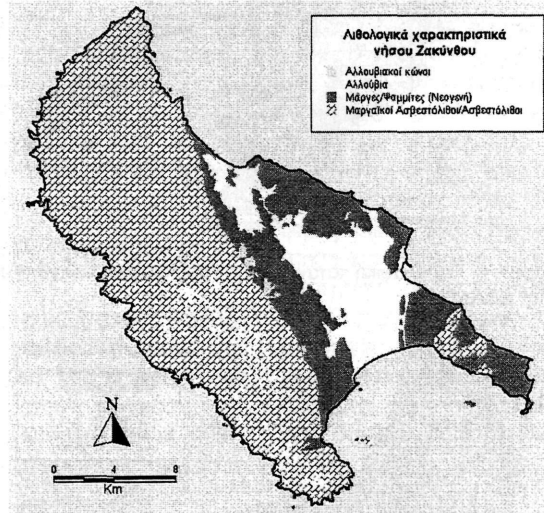
Η μορφολογική κλίση (Χάρτης 4)



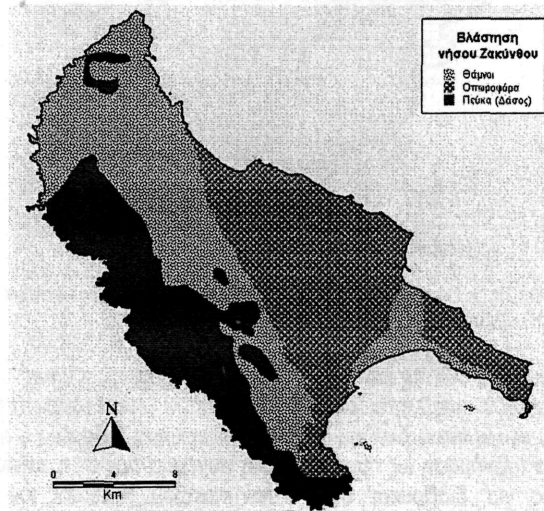
Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής εργασιών.

Αρχικά όπως προαναφέρθηκε έγινε ψηφιοποίηση των δεδομένων που προέρχονται είτε από χάρτες τοπογραφικούς, γεωλογικούς, είτε και από εργασία υπαίθρου. Στη φάση (2) της μεθοδολογίας με την χρήση εμπειρικών κανόνων ασαφούς λογικής από τις 3 πρώτες μεταβλητές εισόδου υπολογίζεται ο δείκτης διαβρωσιμότητας των επιφανειακών σχηματισμών (Πίνακας 1).

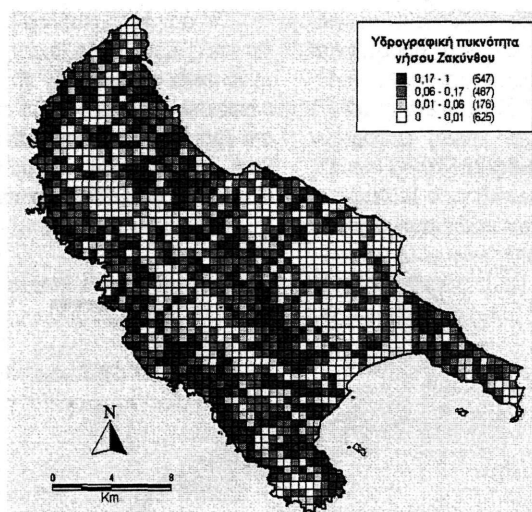
Οι αρχικές μεταβλητές μετατράπηκαν σε 'ασαφείς' μεταβλητές (fuzzy variables) έχοντας τριγωνικές συναρτήσεις κατανομής (triangular membership function). Μια παρόμοια διαδικασία έχει ήδη εφαρμοσθεί από τους συγγραφείς κατά το παρελθόν (Γκουρνέλος, κ.ά., 1999, Goumelos, et al, 2002, Goumelos, et al 2004).



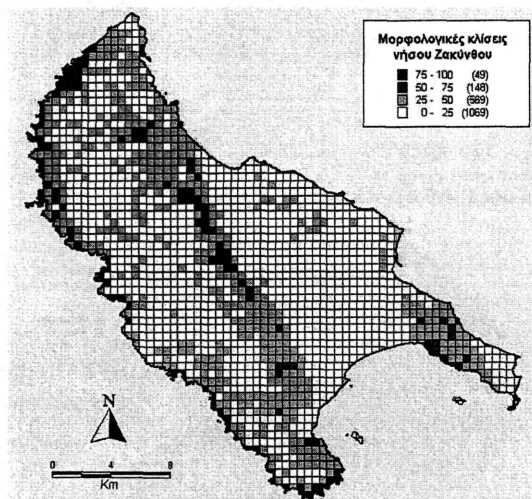
Χάρτης 1. Λιθολογικός χάρτης Ζακύνθου.



Χάρτης 2. Γεωγραφική κατανομή της βλάστησης στην Ζάκυνθο.



Χάρτης 3. Γεωγραφική κατανομή της Υδρογραφική Πυκνότητας στην Ζάκυνθο.



Χάρτης 4. Γεωγραφική κατανομή των μορφολογικών κλίσεων στην Ζάκυνθο.

Στη συνέχεια ο ανωτέρω δείκτης και η τοπογραφική κλίση αποτελούν μεταβλητές εισόδου για το μοντέλο του νευρωνικού δικτύου με τελική έξοδο (output) την ταξινόμηση ως προς το βαθμό επικινδυνότητας για διάβρωση στην περιοχή (φάση 3 της μεθοδολογίας). Το Νευρωνικό μοντέλο αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τέσσερις νευρώνες, για μετασχηματισμό των μεταβλητών εισαγωγής (δείκτης διαβρωσιμότη-

τας, τοπογραφικές κλίσεις). Στην αρχική φάση το σύστημα εκπαιδεύτηκε (training) για να προσαρμοστεί στα δεδομένα εισόδου (learning) και στη συνέχεια άρχισε η ταξινόμηση σε περιβάλλον κανάβου. Η έξοδος του μοντέλου αποδίδει σε κάθε στοιχείο του κανάβου μια διαβάθμιση για τον βαθμό επικινδυνότητας στη διάβρωση. Τα λογισμικά που δημιουργήθηκαν για την υλοποίηση των παραπάνω φάσεων είναι το GIS

MapInfo Professional και το Mat-Lab για την ανάπτυξη των κανόνων ασαφούς λογικής και των μοντέλων νευρωνικών δικτύων.

Για τη δημιουργία του Νευρωνικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η αρχιτεκτονική του συναγωνιστικού δικτύου (competitive network) (Rumelhart & Zipser, 1985, Bartkowiak, et al, 2002), που στηρίζεται στην απόσταση (negative distance) μεταξύ των δεδομένων εισόδου και των βαρών (weights). Έτσι ο επικρατέστερος νεύρωνας είναι αυτός που έχει την ελάχιστη απόσταση. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ δεδομένων και βαρών του δικτύου και κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η ταξινόμηση των δεδομένων εισόδου.

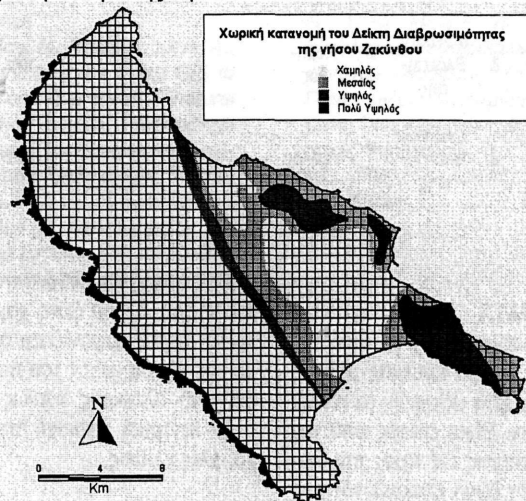
### 3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ

Για τη νήσο Ζάκυνθο υπάρχει ήδη μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων που αφορά στη γεωλογία (Ι.Γ.Μ.Ε., 1980), στη λιθολογία, την γεωμορφολογία, τη βλάστηση, τις χρήσεις γης και την τοπογραφία (Goumelos, et al, 1997, Goumelos, et al, 1999.). Η γεωλογία της νήσου

χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη δύο ισοπικών ζωνών την προ-απούλια και την Ιόνια (Aubouin & Dercourt, 1962, ΙΓΜΕ, 1980, Underhill, 1989) και από μεταλλικά ιζήματα Πλειοκαινικής και Τεταρτογενούς ηλικίας πολύ ευπαθή στην διάβρωση (Dermitzakis, et al, 1977, Dermitzakis, 1977, Livaditis, 1987).

Στους γεωλογικούς σχηματισμούς της Ζακύνθου για την ευπάθεια στη διάβρωση με βάση την λιθολογία δώσαμε την ακόλουθη διάβαση: ασβεστόλιθοι: χαμηλή ευπάθεια, φλύσχης μέση, Νεογενείς αποθέσεις και Τεταρτογενή ιζήματα υψηλή ευπάθεια στην τρωτότητα. Αντίστοιχες διαβαθμίσεις έγιναν για όλες τις μεταβλητές εισόδου. Έτσι ο δείκτης βλάστησης διαβαθμίζεται σε υψηλό, μέσο και χαμηλό. Υψηλός δείκτης βλάστησης σημαίνει πυκνή βλάστηση και επομένως μεγαλύτερο πάχος προστατευτικού εδαφικού καλύμματος.

Έτσι με την υλοποίηση της παραπάνω μεθοδολογίας πήραμε ως τελική μεταβλητή την χωρική κατανομή της επικινδυνότητας για τη διάβρωση στη νήσο Ζακύνθου όπως αυτή φαίνεται στο θεματικό χάρτη (Χάρτης 5).



Χάρτης 5. Χωρική κατανομή του Δείκτη Διαβρωσιμότητας στην Ζάκυνθο.

Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Χαμηλός				ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Υψηλός	
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Χαμηλός				ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος	
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Μέσος - Χαμηλός				ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος	
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Χαμηλός				ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Υψηλός	
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Χαμηλός				ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος	
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Μέσος				ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος	
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Μέσος		& η Υδρογραφική Πυκνότητα	είναι	Μέση - Χαμηλή	ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Χαμηλός
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Μέσος		& η Υδρογραφική Πυκνότητα	είναι	Μέση - Χαμηλή	ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Χαμηλός				ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Μέσος	
Εάν η	Λιθολογία	είναι	Πολύ Ευπαθής στη Διάβρωση	&	ο Δείκτης Βλάστησης	είναι	Υψηλός				ο Δείκτης Διαβρωσιμότητας	είναι	Χαμηλός	

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι διαβρωτικές διαδικασίες στο νησί της Ζακύνθου μελετήθηκαν με μια ευέλικτη μέθοδο χρησιμοποιώντας τη θεωρία ασαφών συνόλων και νευρωνικών δικτύων. Είναι σαφές από τον τελικό χάρτη επικινδυνότητας ως προς την διάβρωση ότι: α) η μέγιστη ζώνη επικινδυνότητας εντοπίζεται στα ανατολικά τμήματα της νήσου όπου και κυριαρχούν νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις β) μια επίσης ζώνη μέγιστης επικινδυνότητας υπάρχει στο παράκτιο δυτικό τμήμα της που κυριαρχείται από πολύ υψηλές τοπογραφικές κλίσεις γ) μια ζώνη υψηλής επικινδυνότητας οριοθετείται στα όρια της ζώνης

πολύ υψηλής επικινδυνότητας στο δυτικό τμήμα της νήσου, δ) μια ζώνη χαμηλής και μέσης επικινδυνότητας εμφανίζεται σε όλο το δυτικό τμήμα της νήσου (εκτός του παράκτιου) πώς δομείται από αλπικούς κυρίως ασβεστολίθους και στην κεντρική περιοχή που επικρατούν πολύ χαμηλές κλίσεις.

#### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Aubouin, J., Dercourt, J., 1962, *Zone preapulienne, zone ionienne et zone du Gavrovo en Peloponnese occidentale*, Bul. Soc. Geol. France, 4, No 6, 785-794pp., Paris.
- Barczl, A., Penksza, K., Czinkota, I., Nerath, M., 1996, *A study of connections between certain phytocological indicators and soil character-*

- istics in the case of the Tihany Peninsula, Acta Botanica Hungarica, Vol. 40 (1-4), 1-14pp.*
- Bartkowiak, A., Gournellos, Th., Vassilopoulos, A., Evelpidou, N., 2002, Self-organizing maps – a helpful tool in clustering areas with similar factors of erosion risk, Proceedings of the 6th Pan-Hellenic geographical congress of the Hellenic Geographical Society, October 3-6, Vol. II, 87-94pp.
- Centeri, Cs., 2002a, *Importance of local soil erodibility measurements in soil loss prediction, Acta Agronomica Hungarica, 50(1), 43-51pp.*
- Centeri, Cs., 2002b, *In situ measurements of soil erodibility factor and its effects on soil protection crop rotation, Novenytermeles, Vol. 51(2), 211-222pp.*
- Centeri, Cs., 2002c, *The role of vegetation cover in soil erosion on the Tihany Peninsula, Acta Botanica Hungarica, Vol. 44(3-4), 285-295pp.*
- Dermitzakis, M. D., Papanikolaou, D., Karotsieris, Z., 1977, *The marine Quaternary deposits of SE Zakynthos island and their paleogeographic implications, VI Inter. Congress of Aegean Region, Athens.*
- Dermitzakis, M., 1977, Stratigraphy and sedimentary history of the Miocene of Zakynthos, *Annales Geologiques des Pays Helliniques, V. 29, 47-186pp.*, Athenes.
- Gournellos, Th., Evelpidou, N., Vassilopoulos, A., 1999, *A morphometric analysis using GIS to deduce geomorphological process - natural hazards, at Zakynthos islands, Proceedings of the 6th international conference on Environmental Science and Technology, Samos, Vol. II, 371-378pp.*
- Gournellos, Th., Evelpidou, N., Vassilopoulos, A., 2004, *Developing an Erosion risk map using soft computing methods (case study at Sifnos island), Natural Hazards, Vol.31, No 1, January 2004. Kluwer Academic Publishers, 39-61pp.*
- Gournellos, Th., Vassilopoulos, A., Evelpidou, N., 1997, *Development of a GIS-based methodology to analyze Geological, Geomorphological and Environmental data of the island of Zakynthos, Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens, 1245-1251pp.*
- Gournellos, Th., Vassilopoulos, A., Evelpidou, N., 2002, *Erosional processes in the north-eastern part of Attika (Oropos coastal zone) using web-GIS and soft computing technology, Proceedings of the 3rd International conference on Risk Analysis, 19-21 June, Sintra, Portugal, WITpress, Vol. III, 416-424pp.*
- Hecht-Nielsen, R., 1990, *Neurocomputing, Addison-Wesley, Reading, MA.*
- Klir, G. J. and Yuan, B., 1995, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic theory and applications, Prentice-Hall, New Jersey.*
- Livaditis, G., 1987, *Coastal Morphology of Zakynthos island, 1st Congress of Geographical Society of Greece, 195-203pp, Athens.*
- Underhill, J., 1989, *Late Cenozoic deformation of the Hellenide foreland, western Greece, Geol. Soc. of An. Bulletin, V. 101, 613-634pp.*
- Γκουρνέλος, Θ., Βασιλόπουλος, Α., Ευελπίδου, Ν., 1999, *Μελέτη της διαβρωσιμότητας του αναγλύφου σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής, Πρακτικά 1ου Πανελληνίου συνεδρίου: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών- Δυνατότητες και Εφαρμογές, Προοπτικές και Προκλήσεις, CD-Rom.*
- Ι.Γ.Μ.Ε., 1980, *Γεωλογικός χάρτης νήσου Ζακύνθου, Αθήνα.*

## Γεωχημική περιβαλλοντική μελέτη εδαφών της περιοχής Οινόφυτων, Ν. Βοιωτίας

ΓΚΟΥΣΗΣ, Κ.<sup>1</sup>, ΚΟΝΙΣΠΟΛΙΑΤΗΣ Ν.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

In the present study we examine the concentrations and the distribution of the heavy metals Pb, Zn, Cr and Ni in the soils of the Inofyta area and the subsequent levels of the metal pollution. The concentrations of the heavy metals Pb, Zn, Cr and Ni are generally lower than the suggested upper safety limits for cultivated soils. The pollution caused by the high concentrations of Pb and Zn in certain places is probably due to the heavy traffic of the nearby national road and to the various factories, which exist in the surrounding area and belong to the industrialised zone of Inofyta

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία εξετάζονται οι περιεκτικότητες και η κατανομή των βαρέων μετάλλων Pb, Zn, Cr και Ni σε εδάφη της περιοχής Οινόφυτων, Ν. Βοιωτίας. Γίνεται επίσης προσπάθεια να εκτιμηθούν τα επίπεδα ρύπανσης των εδαφών αυτών από τα πιο πάνω βαρέα μέταλλα. Από την παρούσα έρευνα προκύπτει ότι τα εδάφη της περιοχής Οινόφυτων παρουσιάζουν περιεκτικότητες Pb, Zn, Cr και Ni, οι οποίες είναι γενικά χαμηλότερες από τα προτεινόμενα διεθνώς όρια ασφαλείας για καλλιεργήσιμα εδάφη. Η ρύπανση που παρατηρείται σε ορισμένες θέσεις, όπου οι περιεκτικότητες Pb και Zn είναι ιδιαίτερα υψηλές, οφείλεται πιθανόν σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες καθώς η περιοχή διασχίζεται από την εθνική οδό Αθηνών-Λαμίας (κατάλοιπα της καύσης της βενζίνης των αυτοκινήτων) και φιλοξενεί ένα μεγάλο αριθμό βιομηχανιών και βιοτεχνιών, που ανήκουν στη βιομηχανική ζώνη Οινόφυτων

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες το περιβάλλον στον ελληνικό χώρο έχει επιβαρυνθεί με βαρέα μέταλλα από πηγές προέλευσης κυρίως ανθρωπογενείς. Έτσι η μελέτη περιοχών με βιομηχανική δραστηριότητα, όπως τα Οινόφυτα, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Τα Οινόφυτα βρίσκονται στο μέσο της ευρύτερης περιοχής της Αττικοβοιωτίας, η οποία αποτελεί τον κυριότερο πόλο εγκατάστασης και λειτουργίας βιομηχανιών στον ελληνικό χώρο. Βρίσκονται πάνω στο μεταφορικό άξονα Βορρά-Νότου της χώρας με συνέπεια οι πεδινές περιοχές να γίνουν χώρος υποδοχής δορυφορικών δραστηριοτήτων της πρωτεύουσας. Στη ζώνη των Οινόφυτων λειτουργεί σημαντικός αριθμός βιομηχανιών όπως πλαστικών, υγραερίου, φαρμάκων, παιδικών τροφών, μεταλλικών κα-

τασκευών, μπαταριών, εκρηκτικών, σωληνοργείας, βαφεία, φινιστήρια, ορειχαλκούργεια, κ.α. (Μεθυμάκης και Μπακάλης, 1986).

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της κατανομής των περιεκτικότητων των βαρέων μετάλλων Pb, Zn και Cr σε εδάφη της περιοχής των Οινόφυτων. Επιπλέον εξετάζεται η ορυκτολογική σύσταση των εδαφών και γίνεται προσπάθεια εκτίμησης των σημερινών επιπέδων ρύπανσης από τα πιο πάνω βαρέα μέταλλα.

### 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή Οινόφυτων βρίσκεται στο Β-ΒΑ μέρος της πεδινής έκτασης του μέσου ρου της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού (σχήμα 1). Ανήκει στην υποπελαγονική ζώνη. Η ευρύτερη περιοχή έχει μελετηθεί από διάφορους ερευνητές (Βορέαδης 1952, Mitzopoulos 1961,

**GEOCHEMICAL ENVIRONMENTAL STUDY ON THE SOILS OF INOFYTA AREA, BIOTIA DISTRICT.**

<sup>1</sup>Section of Geological sciences, National Technical University of Athens



Τάταρης 1970, Κουμαντάκης 1971, Guemer 1971, Clement 1983, Δούνας 1978, Παπανικολάου 1986, Mettos 1988, κ.α.).

Τα πετρώματα που δομούν την ευρύτερη περιοχή αποτελούνται από τους σχηματισμούς του υποβάθρου και από τους νεώτερους σχηματισμούς πληρώσεως της λεκάνης. Οι σχηματισμοί του υποβάθρου εμφανίζονται επιφανειακά στα περιθώρια κυρίως της λεκάνης και αποτελούνται από ιζηματογενή και εκρηξιγενή πετρώματα. Πρόκειται δε για ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους, οφιόλιθους, σχιστοκερατόλιθους, κα.

Οι σχηματισμοί πληρώσεως της λεκάνης αποτελούνται από ιζήματα πλειοπλειστοκαινι-

κής ηλικίας και από αλλουβιακές αποθέσεις. Τα πλειοκαινικά και πλειστοκαινικά ιζήματα αποτελούνται από κροκαλοπαγή, ψαμίτες, αργίλους, μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και κοκκινόπηλους. Τα κατώτερα στρώματα είναι λιμναίας και υφάλμυρης φάσης ενώ τα ανώτερα είναι αποθέσεις χειμαρροποτάμων. Οι αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούνται κυρίως από χαλίκια, άμμους, αργίλους και πηλούς, εναλλασσόμενα σε ποικίλες αναλογίες. Το πάχος τους είναι 5-10 m. και γίνεται μεγαλύτερο πλησίον της κοίτης του Ασωπού και των παραποτάμων του.



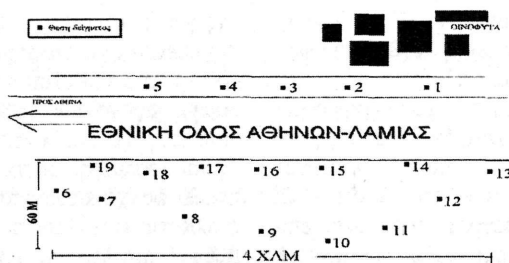
Σχήμα 1. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Οινόφυτων, (από Δούνα κ.α. 1978)

### 3. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

Η δειγματοληψία των επιφανειακών εδαφών πραγματοποιήθηκε εκατέρωθεν της εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας στο ύψος των Οινόφυτων. Αυτή έγινε σε 19 θέσεις, σε μια περιοχή εύρους 4 km., σε μικρή απόσταση από την εθνική οδό (από 5 ως 50 m.) (Γκούσης 1999)(σχήμα 2).

Στα δείγματα πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός του λεπτόκοκκου κλάσματος ιλύος και αργίλου από το κλάσμα της άμμου με τη βοή-

θεια κόσκινου 4φ. Στο λεπτόκοκκο κλάσμα πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική ανάλυση με περιθλασίμετρο ακτίνων Χ (XRD) και χημική ανάλυση με φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (ΑΑ5). Πριν από τη χημική ανάλυση τα δείγματα είχαν υποστεί εκχύλιση με 0,5N HCl σύμφωνα με τη μέθοδο Agemian and Chan (1976).



Σχήμα 2. Θέσεις δειγματοληψίας στα εδάφη της βιομηχανικής ζώνης Οινόφυτων

#### 4. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ

Από την ποιοτική ανάλυση των ακτινοδιαγραμμάτων των εξετασθέντων εδαφών εντοπίστηκαν σε όλα σχεδόν τα δείγματα τα κύρια ορυκτά χαλαζίας, ιλλίτης, μοντμοριλλονίτης, χλωρίτης, καολινίτης, ασβεστίτης, δολομίτης, αραγωνίτης, Κ-άστριοι και πλαγιόκλαστα.

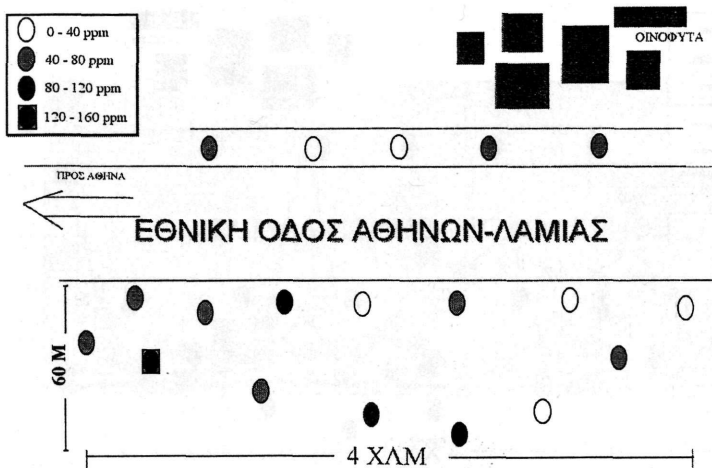
#### 5. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και στα σχήματα 3, 4, 5 και 6 παρουσιάζονται οι κατανομές των περιεκτικότητων των μετάλλων Pb, Zn, Cr και Ni.

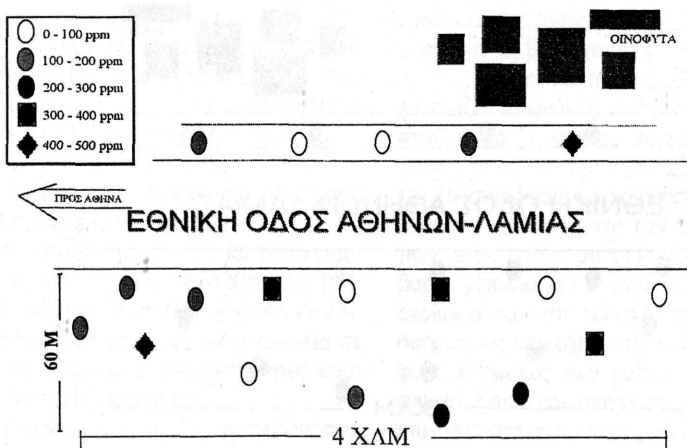
Οι περιεκτικότητες του Cr (12 – 26 ppm) και του Ni (35 – 88 ppm) παρουσιάζουν τις μικρότερες διακυμάνσεις, ενώ μεγαλύτερες παρουσιάζει ο Pb (12 – 154 ppm), και τις υψηλότερες διακυμάνσεις παρουσιάζει ο Zn (22 – 499 ppm).

Πίνακας 1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων (ppm)

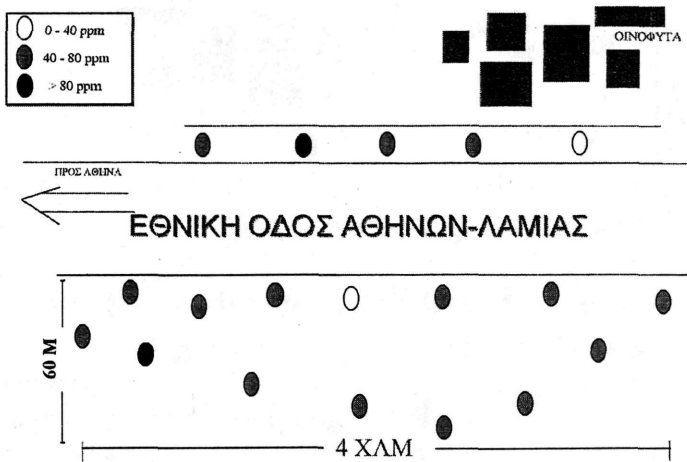
Αριθμός Δείγματος	Pb	1.1 Zn	1.2 Ni	1.3 Cr
1	45	419	35	12
2	77	143	51	18
3	14	24	64	15
4	12	22	88	23
5	75	119	54	20
6	68	126	65	25
7	154	499	88	26
8	43	89	71	21
9	118	121	52	17
10	88	266	60	20
11	38	233	63	16
12	51	328	65	16
13	22	59	47	13
14	27	93	49	12
15	70	365	55	15
16	33	61	36	23
17	110	397	72	26
18	43	104	61	18
19	59	125	59	22



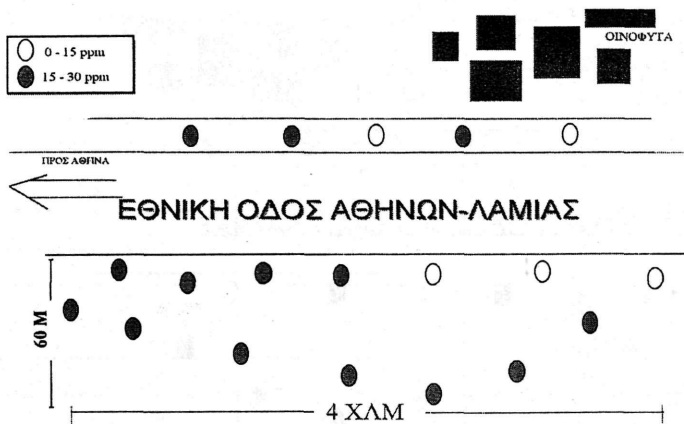
Σχήμα 3. Κατανομή του Pb στα εδάφη της βιομηχανικής ζώνης Οινοφύτων



Σχήμα 4. Κατανομή του Zn στα εδάφη της βιομηχανικής ζώνης Οινοφύτων



Σχήμα 5. Κατανομή του Νί στα εδάφη της βιομηχανικής ζώνης Οινοφύτων



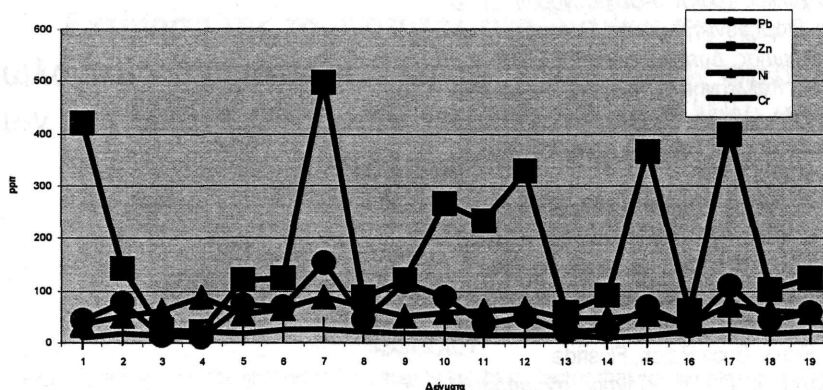
Σχήμα 6. Κατανομή του Cr στα εδάφη της βιομηχανικής ζώνης Οινοφύτων

## 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι κατανομές των περιεκτικότητων των μετάλλων Pb και Zn στα εξετασθέντα εδάφη των Οινοφύτων παρουσιάζουν γενικά ομοιότητες (σχήμα 7). Το ίδιο ισχύει και για τα μέταλλα Cr και Ni. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανόν στις κοινές πηγές προσφοράς των μετάλλων Pb και Zn, οι οποίες είναι σημειακές κυρίως πηγές, όπως οι βιομηχανίες της περιοχής και τα αυτοκίνητα που διασχίζουν την εθνική οδό με τα κατάλοιπα της καύσης της βενζίνης τους. Όσον

αφορά τα μέταλλα Cr και Ni, η προέλευσή τους είναι πιθανόν ανθρωπογενής (εργοστάσια της γύρω περιοχής) καθώς επίσης και από τη διάβρωση των οφιολίθων.

Από την παρούσα μελέτη προκύπτει ότι γενικά οι περιεκτικότητες των αναλυθέντων βαρέων μετάλλων στα εδάφη της περιοχής Οινοφύτων βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων, όπως αυτά προσδιορίζονται από τη βιβλιογραφία (Merian 1991, Levinson 1974, Kabata-Pendias and Pendias 2001).



Σχήμα 7. Συγκεντρωτική κατανομή των μετάλλων Pb-Cr-Ni-Zn

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά το Cr οι περιεκτικότητές του κυμαίνονται σε φυσιολογικά όρια (<27 ppm) και είναι σαφώς κάτω από τα προτεινόμενα όρια ασφαλείας για καλλιεργήσιμα εδάφη (100 ppm) (Merian 1991). Ομοίως και το Ni, οι περιεκτικότητές του βρίσκονται κάτω από τα προτεινόμενα όρια ασφαλείας (100 ppm) (Kabata-Pendias and Pendias 2001).

Οι περιεκτικότητες του Pb βρίσκονται γενικά κάτω από τα φυτοτοξικά επίπεδα (100 ppm). Θα πρέπει να σημειωθεί όμως ότι εντοπίστηκαν τρεις θέσεις με γεωχημική ανωμαλία σε Pb (>100 ppm) όπου οι περιεκτικότητες είναι πάνω από τα προτεινόμενα όρια.

Όσον αφορά το Zn, η πλειονότητα των δειγμάτων περιέχουν περιεκτικότητες που είναι κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια ασφαλείας για καλλιεργήσιμα εδάφη (>300 ppm). Εντούτοις πέντε θέσεις εντοπίστηκαν με γεωχημική ανωμαλία σε Zn (>300 ppm) όπου οι περιεκτικότητες είναι υψηλότερες από τα προτεινόμενα όρια.

Η γεωχημική ανωμαλία που παρατηρείται σε εδάφη της περιοχής Οινόφυτων στα μέταλλα Pb και Zn θα μπορούσε να αποδοθεί σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, κυρίως από τη λειτουργία βιομηχανικών μονάδων στην ευρύτερη περιοχή και τη διάλυση της εθνικής οδού (κατάλοιπα της καύσης της βενζίνης των αυτοκινήτων). Φαίνεται να υπάρχει δηλαδή

συνδυασμένη ρύπανση από τον αυτοκινητόδρομο και τις βιομηχανίες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σημαντικό ρόλο παίζει πιθανόν η επίδραση του ανέμου σε συνδυασμό με άλλους ατμοσφαιρικούς παράγοντες, όπως τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα προκαλούν την κατακρήμνιση των σωματιδιακών ρύπων, μέσα στους οποίους συγκαταλέγονται τα βαρέα μέταλλα και οι ενώσεις τους (καθώς και αερίων ρύπων στο έδαφος), την απόπλυση των δρόμων της περιοχής, όποτε βρέχει και τη μεταφορά επομένως των ρύπων σε συγκεκριμένα σημεία, όπου και ανιχνεύεται αυξημένη περιεκτικότητα στα αντίστοιχα βαρέα μέταλλα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agemian H. and Chan A. (1976). *Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. The Analyst*, 101, 761-767.
- Βορεάδης Γ. (1952). *Η λιγνιτοφόρος τριτογενής λεκάνη Μαλακίσσας-Ωρωπού*. Γεωλ. Γεωφ. Ε.ΙΓΕΥ, 2, 141-180.
- Clement B. (1983). *Evolution geodynamique d'un Secteur des Hellenides internes: L'Attique-Beotie*. These, Lille.

- Γκούσης Κ. (1999). *Μελέτη κατανομής μολύβδου-χαλκού-χρωμίου-ψευδαργύρου σε εδάφη βιομηχανικής ζώνης Οινόφυτων, νομού Βοιωτίας*. Διπλωμ. εργασία. Ε.Μ.Π.
- Δούνας Α., Καλλέργης Γ., Μόρφης Α. και Παγούνης Μ. (1978). *Υδρολογική έρευνα λεκάνης μέσου ρου Ασωπού ποταμού*. Αρ. Έρευνας 21, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Guemer C. (1971). *Etudes géologiques en Eubée et dans les régions voisines (Grèce)*. These Doct. Sci. Nat., Université de Paris.
- Kabata-Pendias A. and Pendias H. (2001). *Trace elements in plants and soils*. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Κουμαντάκης Ι. (1971). *Πόντιοι σχηματισμοί Χαλκουσίου Β. Απτικής*. *Ann. Géol. Pays Hellén.* 24, 274-284.
- Levinson A. (1974). *Introduction to exploration geochemistry*. Applied Publ. Calgary.
- Μεθυμάκης Γ. και Μπακάλης Γ. (1986). *Επίσημανση προβλημάτων επεξεργασίας λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων της λεκάνης Ασωπού Βοιωτίας*. Έκθεση ΥΠ.Ε.ΧΩ.ΔΕ.
- Merian E. (1991). *Metals and their compounds in the environment*. Verlag Chemie, Weinheim.
- Mettos A., Ioakim Ch. and Rontogianni Th. (1988). *Les formations néogènes lacustres au d' Attique-Beotie*. *Revue Géologie Méditerranéenne*. Tome 12-13, no. 3-4, 167-174.
- Mitropoulos M.K. (1961). *Die hipparionfanna von Tanagra bei Theben*. *Ann. Géol. Pays Hellén.* 12, 301-313.
- Παπανικολάου Δ., Μαρσιολάκος Η., Λέκκας Ε. και Λόζιος Σ. (1986). *Μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις στη λεκάνη Ασωπού και στην παραλιακή ζώνη Ωρωπού, συμβολή στη νεοτεκτονική της Β. Απτικής*. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.* 20, 251-267.
- Τάταρης Α., Κούνης Γ., Μαραγκουδάκης Ν. και Χριστοδούλου Γ. (1970). *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας*. Φύλλο Θήβα, Ι.Γ.Μ.Ε.

## Εκτίμηση της τρωτότητας στη διάβρωση των γεωλογικών σχηματισμών και της παραγωγής φερτών υλών στη λεκάνη απορροής του Εσωτερικού Μαλιακού Κόλπου

ΣΙΓΓΑΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ<sup>1</sup>, ΑΛΕΞΟΥΛΗ-ΛΕΙΒΑΔΙΤΗ ΑΛΙΚΗ<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The geomorphology and the lithology of an area is the basic factor that controls the erosional capability of the exogenic processes principally by the action of the water. In order to investigate the intensity and the erosion that can be seen in every area we followed the following methodology. We prepared a series of maps at scale 1:50.000. These maps helped us to work out and analyze the factors that affected the configuration of the relief. These maps are relative to the lithology of the formations, as well as their behavior under the affect of the exogenic processes in connection with the morphological slope. The maps that we prepared can be divided into three groups: A map providing information about the lithology and hydrogeology. In this map, two areas are distinguished according to the behavior and resistivity to erosion. Maps providing geomorphological data due to the shape and the evolution of the drainage networks of the area. In order to investigate the drainage texture, drainage density and drainage frequency maps were prepared. In each of these maps, three different areas of density and frequency values were distinguished. A combination of these maps leads to a final map of the drainage texture in which two different areas can be distinguished. A map of the slope of the valley sides. According to the gradient values of the slopes, two areas were distinguished. One area with gradient of less than 12% and one of more than 12%. The value of 12% was considered as a marginal value. The combination of the three final maps, of drainage texture, relief slopes and lithologic areas susceptible to erosion produced the erosivity map. According to erosivity three different categories of areas were distinguished. As the map shows the larger part of the area belongs to the category of low erosivity. Finally due to investigate the erosivity under present conditions we combined the erosivity map with the vegetation cover map. It is appreciated that the erosivity of the formations which are covered of forests is significantly protected from erosivity and decreased than those of uncultivated areas.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Λεκάνη απορροής, Τρωτότητα, Διάβρωση, Μαλιακός κόλπος.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εξετάζεται και εκτιμάται ο βαθμός τρωτότητας στη διάβρωση και την παραγωγή φερτών υλικών των σχηματισμών που δομούν την περιοχή στις ακραίες συνθήκες που μπορεί να υπάρξουν μετά π.χ. από πυρκαγιά ή αποψίλωση για οποιαδήποτε αιτία, αλλά και στις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Για το σκοπό αυτό έγινε διαδοχική ανάλυση και επεξεργασία των λιθολογικών, υδρολογικών και γεωμορφολογικών στοιχείων του αναγλύφου και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες ανά αντικείμενο. Στη συνέχεια με συσχέτιση των χαρτών των επιμέρους ενοτήτων προέκυψε ο χάρτης για την τρωτότητα στον οποίο παρουσιάζονται οι σχηματισμοί και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό τρωτότητας στη διάβρωση. Προκειμένου να εκτιμήσουμε

### **VULNERABILITY ESTIMATION OF THE LANDMASS EROSION AND THE SEDIMENT YIELD IN THE INNER PART OF MALIAKOS GULF DRAINAGE BASIN.**

<sup>1</sup> Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών. Ηρώων πολυτεχνείου 9, 157 80 Ζωγράφου, Αθήνα. Email: alexouli@central.ntua.gr

την τρωτότητα των σχηματισμών με τις σημερινές συνθήκες κάλυψης γης, συνδυάσαμε τον παραπάνω χάρτη με το χάρτη φυτοκάλυψης και προέκυψε ο χάρτης τρωτότητας στις σημερινές συνθήκες. Εκτιμήθηκε ότι οι περιοχές με πυκνή βλάστηση, που προστατεύονται επαρκώς, θα πρέπει να υποβιβαστούν κατά μία κατηγορία ως προς την τρωτότητα.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία αυτή αρχικά εξετάζεται ο βαθμός τρωτότητας στη διάβρωση και την παραγωγή φερτών υλικών, της περιοχής που περιλαμβάνει τη λεκάνη απορροής του Σπερχείου ποταμού καθώς και των λεκανών απορροής των ρευμάτων που εκβάλουν στον εσωτερικό Μαλιακό κόλπο.

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στο Περιφερειακό διαμέρισμα της Στερεάς Ελλάδας και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του νομού Φθιώτιδας.

Ο Μαλιακός κόλπος έχει μήκος ακτής περίπου 83 χλμ. (60 χλμ. ο εσωτερικός κόλπος) και περιβάλλεται από τα όρη Όθρυς (βόρεια) και Καλλίδρομο (νότια) τα οποία και δημιουργούν απότομα πρηνή προς την ακτή, ενώ δυτικά υπάρχει το δέλτα το Σπερχείου ποταμού.

Η περιοχή που απορρέει στον εσωτερικό Μαλιακό κόλπο και αποτελείται από την λεκάνη απορροής του Σπερχείου ποταμού και τις λεκάνες απορροής επτά μικρότερων υδατορευμάτων στο ανατολικό τμήμα της περιοχής (Δριστόρρεμα, Σαπουνόρρεμα, Βαενόρρεμα, Λατζόρρεμα, Ποταμιά, Αηβλασόρρεμα, Λιαπατόρρεμα).

Η συνολική έκταση της περιοχής αυτής είναι περίπου 1875 Km<sup>2</sup>, και το μεγαλύτερο μέρος καταλαμβάνει η λεκάνη απορροής του Σπερχείου ποταμού με έκταση 1645 Km<sup>2</sup>.

Η μορφολογία του χώρου έχει επηρεασθεί από την έντονη τεκτονική δραστηριότητα που έχει δράσει στην περιοχή. Παρατηρείται μεγάλη ποικιλία μορφολογικών περιβαλλόντων, όπου απότομες κλιτύς εναλλάσσονται με πεδινές περιοχές.

Η περιοχή χωρίζεται σε τρεις μεγάλες λιθολογικές ενότητες, όπου απαντώνται ασβεστόλιθοι, οφιόλιθοι, σχιστοκερατόλιθοι, και φλύσχης. Το σύνολο της έκτασης της λεκάνης απορροής του ποταμού καταλαμβάνουν οι νεότερες αποθέσεις (μεταλλικά ιζήματα).

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι κυριότεροι παράγοντες που ελέγχουν τη διάβρωση είναι η υφή του υδρογραφικού δικτύου, η κλίση των κλιτύων, η διαπερατότητα, η διηθητικότητα και η λιθολογική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών. Ο συνδυασμός των πιο πάνω παραγόντων καθορίζει την τρωτότητα των σχηματισμών. Για την εκπόνηση της εργασίας αυτής βασιστήκαμε στη μέθοδο που είχε εφαρμοστεί για το σκοπό αυτό από τους Μαρίνο, Π. και αλ. 1998 και στη συνέχεια από Alexouli-Livaditi, A. et al., 1999, με ορισμένες τροποποιήσεις που κρίθηκαν σκόπιμες στη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Για την πραγματοποίηση της εργασίας αυτής και τη συνολική κάλυψη της περιοχής, χρησιμοποιήθηκαν 12 φύλλα τοπογραφικών χαρτών της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000 και τα αντίστοιχα 12 φύλλα γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε. επίσης κλίμακας 1:50.000, τα οποία αποτέλεσαν πηγή και βάση πληροφοριών και συμπληρώθηκαν κατά τις υπαίθριες έρευνες.

Τα φύλλα χάρτη που χρησιμοποιήθηκαν είναι: ΑΜΦΙΚΛΕΙΑ, ΣΤΥΛΙΔΑ, ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ (ΑΝΑΒΡΑ), ΑΜΦΙΣΣΑ, ΛΑΜΙΑ, ΔΟΜΟΚΟΣ, ΛΙΔΟΡΙΚΙΟ, ΣΠΕΡΧΕΙΑΔΑ, ΛΕΟΝΤΑΡΙΟ, ΚΛΕΠΑ, ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ, ΦΟΥΡΝΑΣ.

Επειδή το φύλλο χάρτη ΛΙΔΟΡΙΚΙΟ, δεν έχει εκδοθεί από το Ι.Γ.Μ.Ε., στο τμήμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία από το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:500.000, συμπληρωμένα από επιτόπιες παρατηρήσεις.

Από τους τοπογραφικούς χάρτες, με ψηφιοποίηση των μπλε γραμμών, προέκυψε το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής και με την ψηφιοποίηση των καφέ γραμμών προέκυψε το ανάγλυφο του εδάφους.

Από τους γεωλογικούς χάρτες, με ψηφιοποίηση των σχηματισμών, προέκυψε η λιθολογική σύσταση της περιοχής.

Δημιουργήθηκε μία αρχική βάση δεδομένων, που στη συνέχεια συμπληρώθηκε από βιβλιογραφικά στοιχεία και υπαίθριες έρευνες



και επιτρέπεται να επεξεργαστούν και να αναλυθούν οι παράγοντες που επιδρούν στη διαμόρφωση του ανάγλυφου, προκειμένου να εκτιμηθεί και να διαβαθμιστεί η διαβρωτική δράση τους.

Από τα αποτελέσματα των πληροφοριών που συγκεντρώθηκαν από τα χαρτογραφικά υπόβαθρα, τις υπαίθριες έρευνες και τη βιβλιογραφία, αφού έγινε ανάλυση και επεξεργασία των στοιχείων, κατασκευάστηκαν τρεις θεματικοί χάρτες.

Στους χάρτες αυτούς απεικονίζονται οι βασικοί παράγοντες που συντελούν στην τρωτότητα

των σχηματισμών στη διάβρωση, όπως έχουν προαναφερθεί.

Οι χάρτες αυτοί είναι:

- A1) Χάρτης που αφορά στη λιθολογική και υδρολιθολογική πληροφόρηση.
- A2) Χάρτης της υψής του υδρογραφικού δικτύου και
- A3) Χάρτης μορφολογικών κλίσεων.

Ο χάρτης της πρώτης ενότητας (A1) εξετάζει και κατατάσσει τους σχηματισμούς, που δομούν την περιοχή, ανάλογα με τη λιθολογική τους σύσταση και την υδρολιθολογική συμπεριφορά τους.

Πίνακας 1: Ταξινόμηση του βαθμού αντοχής των σχηματισμών σε παράγοντες διάβρωσης από το συνδυασμό του βαθμού Διαπερατότητας και Διηθητικής Ικανότητας

Διαπερατότητα	Ταξινόμηση Διαπερατότητας	Διηθητική ικανότητα	Ταξινόμηση Διηθητικής ικανότητας	Ταξινόμηση Βαθμού αντοχής
υδροπερατό	3	μεγάλη	3	1
ημιπερατό	2	μεγάλη	3	1
υδατοστεγές	1	μεγάλη	3	2
υδροπερατό	3	μέτρια	2	2
ημιπερατό	2	μέτρια	2	2
υδατοστεγές	1	μέτρια	2	2
υδροπερατό	3	μικρή	1	2
ημιπερατό	2	μικρή	1	3
υδατοστεγές	1	μικρή	1	3

Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή: η τιμή 1 αντιστοιχεί σε μικρή αντοχή, η τιμή 2 σε μέτρια αντοχή και η τιμή 3 σε μεγάλη αντοχή των σχηματισμών.

Πίνακας 2: Ταξινόμηση της υδρογραφικής υψής από τον συνδυασμό της υδρογραφικής πυκνότητας και υδρογραφικής συχνότητας σε τρεις κατηγορίες.

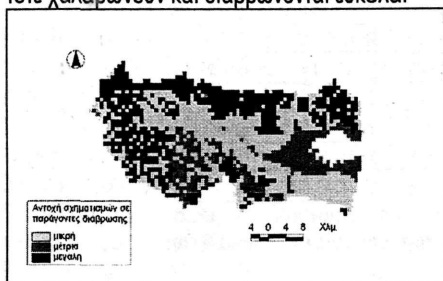
Υδρογραφική πυκνότητα	Ταξινόμηση Υδρογραφικής πυκνότητας	Υδρογραφική συχνότητα	Ταξινόμηση Υδρογραφικής συχνότητας	Ταξινόμηση υδρογραφικής υψής
μεγάλη	3	μεγάλη	3	3
μέτρια	2	μεγάλη	3	3
μικρή	1	μεγάλη	3	2
μεγάλη	3	μέτρια	2	2
μέτρια	2	μέτρια	2	2
μικρή	1	μέτρια	2	2
μεγάλη	3	μικρή	1	2
μέτρια	2	μικρή	1	1
μικρή	1	μικρή	1	1

Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή: η τιμή 1 αντιστοιχεί σε μικρή υδρογραφική υψή, η τιμή 2 σε μέτρια υδρογραφική υψή και η τιμή 3 σε μεγάλη υδρογραφική υψή.

Ο χάρτης αυτός προέκυψε από τη συνεκτίμηση της λιθολογικής σύστασης, της διαπερατότητας και της διηθητικής ικανότητας των σχηματισμών. Από το συνδυασμό των παραγόντων αυτών διακρίθηκαν τρεις κατηγορίες, όπως αυτές φαίνονται στο χάρτη A1.

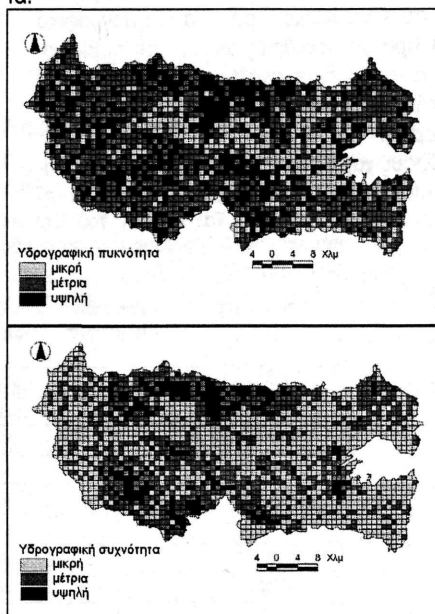
Η διαπερατότητα των σχηματισμών ελέγχει τις ποσότητες των ετήσιων επιφανειακών απορροών και της κατείσδυσης. Όπως είναι γνωστό, οι σχηματισμοί υψηλής περατότητας παρουσιάζουν υψηλούς συντελεστές κατείσδυσης, της τάξης του 30-40% και μικρούς συντελεστές επιφανειακής απορροής. Αντίθετα οι συντελεστές επιφανειακής απορροής αυξάνουν, όταν μειώνονται οι τιμές των συντελεστών κατείσδυσης. Οι συντελεστές αυτοί επηρεάζονται από το ανάγλυφο των περιοχών.

Η διηθητικότητα είναι ιδιότητα που αφορά σε εδάφη. Συνεχής διήθηση μπορεί να επιφέρει κορεσμό του εδαφικού καλύμματος ή του μανδύα αποσαθρωμάτων. Στη περιοχή μελέτης, ο μανδύας αποσαθρωμάτων είναι αναπτυγμένος, αργιλικής σύστασης και είναι δυνατόν με τις βροχοπτώσεις, η συνεχής διήθηση να οδηγήσει σε κορεσμό. Οι σχηματισμοί με υψηλή διηθητικότητα, όπως είναι τα ανθρακικά πετρώματα με διακλάσεις και ρωγμές, επιτρέπουν στο νερό να κατησθήσει δια μέσου της μάζας τους αλλά δεν χαλαρώνουν και δεν αυξάνεται ο βαθμός διάβρωσης εξ αιτίας αυτής της δράσης. Ομοίως οι σχηματισμοί με χαμηλή διηθητικότητα, όπως οι σχιστόλιθοι, δεν χαλαρώνουν και υφίστανται μικρού βαθμού διάβρωση. Αντίθετα οι σχηματισμοί μέσης διηθητικότητας, όπως χαρακτηρίσαμε τους νεογενείς σχηματισμούς και το μανδύα αποσαθρωμάτων, είναι δυνατόν να κορεστούν από παρατεταμένες βροχοπτώσεις και τότε χαλαρώνουν και διαβρώνονται εύκολα.



Χάρτης A1: που αφορά στη λιθολογική και υδρολιθολογική πληροφόρηση

Διακρίνονται οι σχηματισμοί ως προς τη υδροπερατότητα σε τρεις κατηγορίες, υψηλή, μέτρια και χαμηλή. Την ίδια ταξινόμηση ακολουθήσαμε και ως προς την διηθητικότητα.



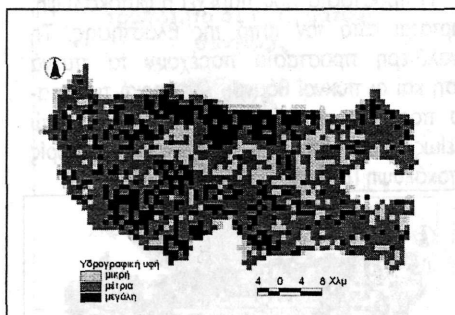
Χάρτες της υδρογραφικής πυκνότητας (άνω) και υδρογραφικής συχνότητας (κάτω).

Από το συνδυασμό του βαθμού διαπερατότητας και της διηθητικής ικανότητας των σχηματισμών, προέκυψε η τελική ταξινόμηση του βαθμού αντοχής των σχηματισμών σε παράγοντες διάβρωσης, σε τρεις κατηγορίες κατά τον πίνακα 1.

Ο χάρτης A2 της δεύτερης ενότητας αφορά στη μελέτη της υφής του υδρογραφικού δικτύου. Οι μορφομετρικές παράμετροι της υδρογραφικής πυκνότητας και υδρογραφικής συχνότητας εκφράζουν την υδρογραφική υφή. Προκειμένου να συνταχθεί ο χάρτης υδρογραφικής υφής, κατασκευάστηκαν πρώτα οι χάρτες πυκνότητας και συχνότητας του υδρογραφικού δικτύου.

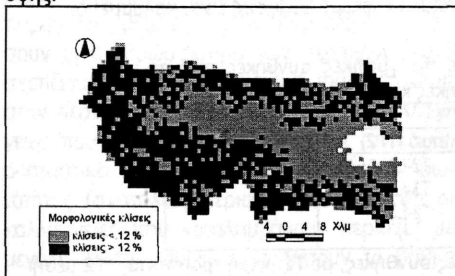
Σε κάθε ένα απ' αυτούς τους χάρτες έγινε διαχωρισμός σε τρεις κατηγορίες σχηματισμών, (υψηλής, μέσης και χαμηλής) πυκνότητας και συχνότητας.

Από το συνδυασμό των ιδιοτήτων των δύο αυτών χαρτών προέκυψε ο χάρτης A2 που αφορά την υφή του υδρογραφικού δικτύου.



Χάρτης Α2: που αφορά στην υψή του υδρογραφικού δικτύου

Στον χάρτη διακρίνονται τρεις κατηγορίες σχηματισμών, για τις οποίες η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει περιοχές με υψηλές τιμές υδρογραφικής υψής η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις περιοχές που χαρακτηρίζονται από μέσες τιμές υδρογραφικής υψής και η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τις περιοχές που χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές υδρογραφικής υψής.



Χάρτης Α3: που αφορά στη μορφολογική κλίση

Ο χάρτης της τρίτης ενότητας (Α3) εξετάζει και κατατάσσει το ανάγλυφο ανάλογα με την τιμή κλίσης των πρανών. Η ταξινόμηση έγινε σε δύο κατηγορίες όπως φαίνεται στο χάρτη Α3, οι οποίες είναι α) οι περιοχές με κλίσεις μικρότερες του 12% και β) οι περιοχές με μεγαλύτερη κλίση. Η διάκριση αυτή έγινε επειδή η γωνία αυτή αντιστοιχεί στην κλίση που παρουσιάζουν οι κώνοι κορημάτων, οι οποίοι δημιουργούνται με συνθήκες διάχυτης ροής, και θεωρήθηκε ότι αποτελεί οριακή γωνία σταθερής απόθεσης.

Κατόπιν τούτου, στις περιοχές με κλίσεις μεγαλύτερες του 12% οι διαβρωτικές διεργασίες είναι έντονες, ενώ στις περιοχές με μικρότερη κλίση είναι ηπιότερες.

Από τους συνδυασμούς των παραπάνω δεδομένων στους χάρτες Α1, Α2 και Α3, προκύπτει ο χάρτης τρωτότητας (Β1), στον οποίο δε συνυπολογίζεται η φυτοκάλυψη και γενικά η κάλυψη γης και ο οποίος αφορά σε ακραίες καταστάσεις και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τις επιπτώσεις από πυρκαγιές δασών, καταστροφή καλλιεργειών, κλπ.

Η βασική αρχή του συνδυασμού των δεδομένων ήταν ότι: α) περιοχές με μεγάλες κλίσεις, υψηλή υδρογραφική υψή και μικρή αντοχή σε παράγοντες διάβρωσης παρουσιάζουν μεγάλη τρωτότητα, ενώ β) περιοχές με μικρές κλίσεις, χαμηλή υδρογραφική υψή και μεγάλη αντοχή σε παράγοντες διάβρωσης παρουσιάζουν μικρή τρωτότητα.

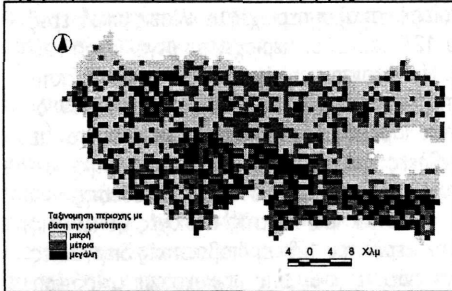
Η ταξινόμηση της τρωτότητας έγινε σε τρεις κατηγορίες ομαδοποιώντας τα αποτελέσματα, όπως αναλύονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3: Ταξινόμηση της τρωτότητας από το συνδυασμό των ιδιοτήτων των περιοχών των θεματικών χαρτών Α1, Α2 και Α3

κατηγορία συνδυασμοί	Τρωτότητα (Τ)		
	Μικρή (Τ1)	Μέτρια (Τ2)	Μεγάλη (Τ3)
	A1-Y1-S1, A2-Y1-S1	A3-Y2-S1	A3-Y3-S1
	A3-Y1-S1, A1-Y2-S1	A2-Y3-S1	A3-Y2-S2
	A2-Y2-S1, A1-Y3-S1	A3-Y1-S2	A2-Y3-S2
	A1-Y1-S2, A2-Y1-S2	A2-Y2-S2	A3-Y3-S2
	A1-Y2-S2	A1-Y3-S2	

Όπου: Α, η παράμετρος της αντοχής των σχηματισμών σε παράγοντες διάβρωσης με Α1 μεγάλη αντοχή, Α2 μέση αντοχή και Α3 μικρή αντοχή, Υ, η παράμετρος της υδρογραφικής υψής με Υ1 μικρή υδρογραφική υψή, Υ2 μέτρια υδρογραφική υψή και Υ3 μεγάλη υδρογραφική υψή, S η παράμετρος της κλίσης του εδάφους με S1 μικρή κλίση και S2 μεγάλη κλίση

Από στοιχεία των χωροταξικών μελετών του ΥΠΕΧΩΔΕ σε συνδυασμό με υπαίθρια έρευνα, κατασκευάστηκε ένας ακόμη πρωτογενής χάρτης (Α4), που αφορά στην κάλυψη γης.



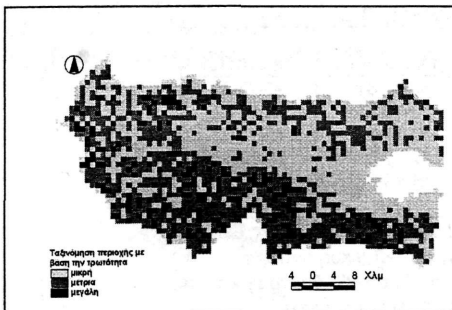
Χάρτης Β1: που αφορά στην τρωτότητα για ακραίες καταστάσεις

Η ομαδοποίηση των δεδομένων σε σχέση με την προστασία που παρέχει η κάλυψη της γης απέναντι σε διαβρωτικούς παράγοντες, οδήγησε στη δημιουργία τριών ομάδων φυτοκάλυψης: α) δάση, θαμνώδεις εκτάσεις και φυσικά λιβάδια, β) διάφορες καλλιέργειες και γ) ετερογενείς γεωργικές περιοχές, αρόσιμη γη και χωρίς βλάστηση περιοχές.

Πίνακας 4: Ταξινόμηση της τρωτότητας σε πραγματικές συνθήκες από το συνδυασμό της τρωτότητας σε ακραίες συνθήκες και της φυτοκάλυψης

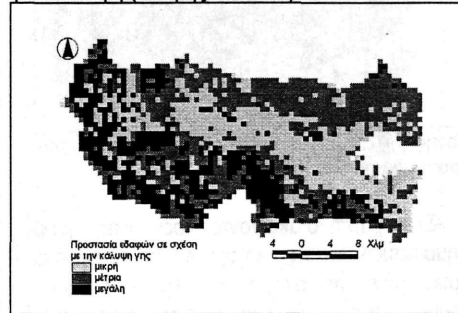
κατηγορία	Τρωτότητα (TP)		
	Μικρή (TP1)	Μέτρια (TP2)	Μεγάλη (TP3)
συνδυασμοί	T1-L1 T2-L1 T1-L2	T2-L2 T3-L2 T2-L3	T3-L3

Όπου: T, η παράμετρος της τρωτότητας σε ακραίες συνθήκες, με T1 μικρή τρωτότητα, T2 μέση τρωτότητα και T3 μεγάλη τρωτότητα, L, η παράμετρος της κάλυψης γης με L1 μικρή φυτοκάλυψη, L2 μέτρια φυτοκάλυψη και L3 μεγάλη φυτοκάλυψη.



Χάρτης Β2: που αφορά στην τρωτότητα σε πραγματικές συνθήκες

Η προστασία που παρέχει η φυτοκάλυψη, εξαρτάται από τον τύπο της βλάστησης. Τα μεγαλύτερα προστασία παρέχουν τα πυκνά δάση και οι πυκνοί θάμνοι. Ανεπαρκή προστασία παρέχουν οι διάφορες καλλιέργειες, ενώ τελείως απροστάτευτες είναι οι περιοχές χωρίς φυτοκάλυψη (Βαλμής Σ., 1990).



Χάρτης Α4: που αφορά στη κάλυψη γης

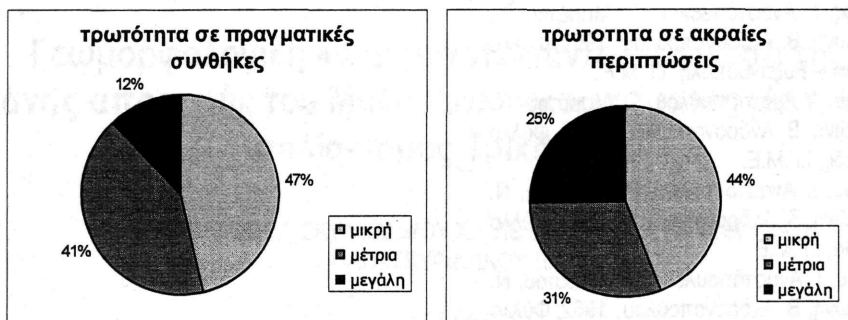
Οι οικιστικές περιοχές, αν και περιορισμένης έκτασης, για λόγους μεθοδολογίας εντάσσονται στην πρώτη ομάδα, λόγω του ότι το επιφανειακό στρώμα εδάφους είναι καλυμμένο.

Ο συνδυασμός του χάρτη τρωτότητας Β1 με το χάρτη κάλυψης γης Α4, μας δίνει τον χάρτη τρωτότητας Β2 για τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Η ταξινόμηση της τρωτότητας έγινε σε τρεις κατηγορίες ομαδοποιώντας τα αποτελέσματα, όπως αναλύονται στον πίνακα 4.

### 3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία που ακολουθήσαμε και περιγράψαμε πιο πάνω προέκυψαν τα ακόλουθα τα οποία συνοψίζονται στα διαγράμματα πίτας του σχήματος 1.



Σχήμα 1. Κατανομή της τρωτότητας σε πραγματικές (αριστερά) και ακραίες (δεξιά) συνθήκες.

Υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην κατάταξη, σε ακραίες και πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Οι περιοχές με υψηλή και μέτρια τρωτότητα, που καλύπτονται από πυκνό δάσος πρέπει να θεωρηθούν ως λιγότερο ευπρόσβλητες και να υπαχθούν σε μία κατηγορία χαμηλότερης τρωτότητας από αυτή που είχαν στο χάρτη Β1.

Αντίθετα οι καλλιέργειες λόγω του ότι παρέχουν ανεπαρκή προστασία σε διαβρωτικούς παράγοντες (Βαλμής Σ., 1990), μπορεί να αυξήσουν τη διαβρωσιμότητα των περιοχών. Αυτό σχετίζεται και με τη γεωγραφική τους κατανομή στην περιοχή και παρατηρείται ότι οι καλλιέργειες που καταλαμβάνουν επίπεδες περιοχές, ουσιαστικά δεν διαφοροποιούν το βαθμό τρωτότητας (ανατολική περιοχή έρευνας), ενώ οι καλλιέργειες που καταλαμβάνουν περιοχές με μεγάλη κλίση μπορεί να αυξήσουν το βαθμό τρωτότητας όπως στη νοτιοδυτική περιοχή έρευνας.

**Περιοχές με υψηλή τρωτότητα:** Οι περιοχές αυτές αποτελούν σε ακραίες καταστάσεις το 25% περίπου της συνολικής έκτασης ενώ όταν πρόκειται για πραγματικές συνθήκες με τη φυτοκάλυψη η έκτασή τους μειώνεται στο 12% επειδή η υπόλοιπη έκταση μεταπίπτει σε χαμηλότερη κατηγορία τρωτότητας.

Οι περιοχές αυτές έχουν μεγάλες κλίσεις, μεγάλη υδρογραφική υφή, μικρή αντοχή των σχηματισμών σε παράγοντες διάβρωσης και αραιή βλάστηση.

**Περιοχές με μέτρια τρωτότητα:** Οι περιοχές αυτές αποτελούν σε ακραίες καταστάσεις το 31% περίπου της συνολικής έκτασης ενώ σε πραγματικές συνθήκες με τη φυτοκάλυψη η

έκτασή τους αυξάνεται στο 41%, διότι ένα μεγάλο ποσοστό των περιοχών με υψηλή τρωτότητα μεταπίπτει λόγω της βλάστησης στην κατηγορία αυτή.

**Περιοχές με μικρή τρωτότητα:** Οι περιοχές αυτές αποτελούν σε ακραίες καταστάσεις το 44% περίπου της συνολικής έκτασης ενώ σε πραγματικές συνθήκες με τη φυτοκάλυψη η έκτασή τους αυξάνεται στο 47%. Οι περιοχές αυτές γενικά έχουν μικρές κλίσεις και μικρή έως μέτρια υδρογραφική υφή, ενώ η φυτοκάλυψη δεν επιφέρει ουσιαστική διαφοροποίηση ως προς τη συμπεριφορά τους προς την τρωτότητα.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ALEXOULI-LIVADITI, A., LIVADITIS, G. 1997. *Investigation and delineation of the areas where intense erosion and mass wasting may occur at Tinos Island, Greece*. Engineering Geology and the Environment, p 25-28, Balkema, Rotterdam.
- A. ΑΛΕΞΟΥΛΗ-ΛΕΙΒΑΔΙΤΗ, Γ. ΛΕΙΒΑΔΙΤΗΣ, Ε. ΛΥΚΟΥΔΗ, *Εκτίμηση της τρωτότητας στη διάβρωση των γεωλογικών σχηματισμών και της παραγωγής φερτών υλών στη Λέσβο*. I. Αναστόπουλου, Γ. Μαράτου, Ν. Μελιδώνη, Β. Ανδρονόπουλου, 1963, Στυλίδα, Ι.Γ.Μ.Ε.
- ΒΑΛΜΗΣ, Σ., 1990. *Διαβρώσεις-συντήρηση εδαφών*. Γεωργικό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Β. Αυδή, Κ. Μανάκος, 1991, Φουρνά, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Γ.Α. Καλλέρης, Κ.Ε. Koch, H.j. Nikolaus, 1970, Φύλλο Καρπενήσι, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Γ.Α. Καλλέργη, Κ.Ε. Koch, H.j. Nikolaus, 1970, Φύλλο Σπερχειάδα, Ι.Γ.Μ.Ε.

- Γ. Μαρίνος, Ι. Αναστόπουλου, Γ. Μαράτου, Ν. Μελιδώνη, Β. Ανδρονόπουλου, 1957, Φύλλο Ανάβρα – Ευξεινούπολη, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Γ. Μαρίνου, Ι. Αναστοπούλου, Γ. Μαράτου, Ν. Μελιδώνη, Β. Ανδρονόπουλου, 1957, Φύλλο Δομοκός, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Γ. Μαρίνου, Ι. Αναστοπούλου, Γ. Μαράτου, Ν. Μελιδώνη, Β. Ανδρονόπουλου, 1963, Φύλλο Στυλίδα, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Γ. Μαρίνου, Ι. Αναστόπουλου, Γ. Μαράτου, Ν. Μελιδώνη, Β. Ανδρονόπουλου, 1962, Φύλλο Λεοντάριο, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Δ. Ματαράγκα, Γ. Ζίνδρο, Γ. Κασικάτσου, D.L. Loftus, 1985, Φύλλο Κλέπα, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Ιωαν. Μπορνόβας, Θ. Ροντογιάννη-Τσιαμπάου, Γεωλογικός Χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:500.000, Αθήνα 1983.
- Ι. Παπασταματίου, Αθ. Τάταρη, Δ. Βετούλη, Γ. Κασικάτσου, Ν. Λελέχος, Α. Ελευθερίου, 1962, Φύλλο Αμφίκλεια, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Ι. Παπασταματίου, Αθ. Τάταρη, Δ. Βετούλη, Ι. Μπόρνοβα, Γ. Χριστοδούλου, Γ. Κασικάτσου, 1982, Φύλλο Άμφισσα, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Ι. Παπασταματίου, Αθ. Τάταρη, Δ. Βετούλη, Ι. Μπόρνοβα, Γ. Κασικάτσου, Ν. Μαραγκουδάκη, Ν. Λελέχου, 1967, Φύλλο Λαμία, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Τοπογραφικοί Χάρτες Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000  
 ΦΥΛΛΑ: ΑΜΦΙΚΛΕΙΑ, ΣΤΥΛΙΔΑ,  
 ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ (ΑΝΑΒΡΑ), ΑΜΦΙΣΣΑ,  
 ΛΑΜΙΑ, ΔΟΜΟΚΟΣ, ΛΙΔΟΡΙΚΙΟ,  
 ΣΠΕΡΧΕΙΑΔΑ, ΛΕΟΝΤΑΡΙΟ, ΚΛΕΠΑ,  
 ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ, ΦΟΥΡΝΑΣ.
- Χωροταξικό σχέδιο Στερεάς Ελλάδας  
 Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (Α' φάση 1998).

## Γεωμορφολογική και μορφοτεκτονική ανάλυση της λεκάνης απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος (Δυτ. Θεσσαλία-νομός Τρικάλων).

ΜΠΑΘΡΕΛΛΟΣ Γ.<sup>1</sup>, ΣΚΥΛΟΔΗΜΟΥ Χ.<sup>1</sup>, ΛΕΙΒΑΔΙΤΗΣ Γ.<sup>1</sup>, ΚΑΙ ΒΕΡΥΚΙΟΥ-ΠΑΠΑΣΠΥΡΙΔΑΚΟΥ Ε.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The Malakasiotiko stream is one of the tributaries of Pinios River in Western Thessaly. The drainage basin of Malakasiotiko stream is located in the northwestern part of the mountainous zone of Trikala Prefecture. In this paper, the drainage network of Malakasiotiko stream has been analyzed. Additionally, the relationship among the tectonism, the growth directions of the watershed lines, and the drainage network. The quantitative analysis of the drainage network has resulted that the geological and tectonic structure of the area affected, and potentially has been affecting its development. The morphotectonic analysis has shown that the watershed lines of the drainage basin and the streams of 1st to 4th order are influenced by alpine structure, whereas the 5th, 6th and the 7th order streams are influenced by neotectonic activity.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

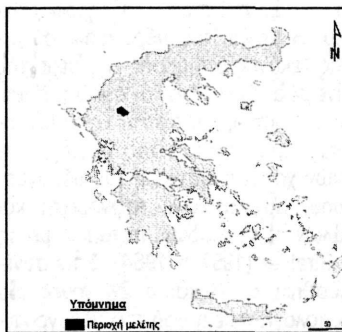
Το Μαλακασιώτικο ρέμα αποτελεί έναν από τους παραποτάμους του Πηνειού στην Δυτική Θεσσαλία. Η λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος βρίσκεται στο βορειδυτικό τμήμα της ορεινής ζώνης του νομού Τρικάλων. Στην παρούσα εργασία αναλύθηκε το υδρογραφικό δίκτυο του Μαλακασιώτικου ρέματος και διερευνήθηκε η σχέση της τεκτονικής με τις διευθύνσεις ανάπτυξης των υδροκριτικών γραμμών και του υδρογραφικού δικτύου. Η ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου έδειξε ότι η γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής έχει επιδράσει και πιθανόν επιδρά σημαντικά στην ανάπτυξη του. Η μορφοτεκτονική ανάλυση έδειξε ότι η υδροκριτική γραμμή της λεκάνης απορροής και οι κλάδοι 1<sup>ης</sup> έως και 4<sup>ης</sup> τάξης του υδρογραφικού δικτύου επηρεάζονται από αλπικές δομές, ενώ οι κλάδοι 5<sup>ης</sup>, 6<sup>ης</sup> και 7<sup>ης</sup> τάξης επηρεάζονται από νεοτεκτονικές διαρρήξεις.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Μαλακασιώτικο ρέμα αποτελεί έναν από τους παραποτάμους του Πηνειού στην Δυτική Θεσσαλία (σχήμα 1). Η λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος βρίσκεται στο

στο βορειδυτικό τμήμα της ορεινής ζώνης του νομού Τρικάλων. Επιπλέον αποτελεί το βορειδυτικό άκρο της λεκάνης απορροής του Πηνειού.

Ο υδροκρίτης, της λεκάνης απορροής μεγαλύτερο τμήμα του, ακολουθεί την κορυφογραμμή των ορέων της οροσειράς της Νότιας Πίνδου και των Χασίων. Επίσης συμπίπτει με τα γεωγραφικά όρια του νομού Τρικάλων στο βόρειο και δυτικό μέρος του.



Σχήμα 1: Η περιοχή μελέτης

Το Μαλακασιώτικο ρέμα σχηματίζεται από την συμβολή των εξής ρεμάτων: Αγριομηλιά,

### GEOMORPHOLOGICAL AND MORPHOTECTONIC ANALYSIS OF MALAKASIOSIS DRAINAGE BASIN (WEST THESSALY-TRIKALA PREFECTURE).

<sup>1</sup> Τομέας Γεωγραφίας-κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Σχολή Θετικών Επιστημών, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, 15784, Αθήνα, gbathrellos@geol.uoa.gr, hskilodimou@euf.uoa.gr

Ανδρέα, Αρκοῦδα, Ασπρόρρεμα, Εννέα Βρύσες, Καπίγυρος, Καρυδιά, Καστανιώτικο, Κατρασάββας, Κριάσα, Κρυμμένο Χάος, Κρύο, Λεόρδα, Λιβαδίων, Μακώση, Μπαλτάς, Πυξάρι, Ρέμα και Τσιόμος.

Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου, όπως και ολόκληρου του Πηνειού ποταμού εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία, ώστε να επιβεβαιώνεται η πολύπλοκη εξλεκτική του πορεία (Ψιλοβίκος 1991).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Μαλακασιώτικου ρέματος. Επίσης διερευνήθηκε η σχέση της τεκτονικής της ευρύτερης περιοχής μελέτης με τις διευθύνσεις ανάπτυξης των υδροκρικών γραμμών και του υδρογραφικού δικτύου. Για το λόγο αυτό έγινε στατιστική επεξεργασία και σύγκριση των διευθύνσεων και του μήκους των γραμμικών τους στοιχείων.

## 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα: τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ κλίμακας 1:50.000, γεωλογικοί χάρτες του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, δορυφορικές εικόνες, (11-8-84 LANDSAT 5 TM BAND:4 TRACK:184 FRAME:032 Q:3 & 11-8-84 LANDSAT 5 TM BAND:5 TRACK:184 FRAME:033 Q:1), βιβλιογραφικά δεδομένα και εργασία υπαίθρου.

Οι τοπογραφικοί χάρτες και οι γεωλογικοί μετατράπηκαν σε ψηφιακή μορφή και έγινε η γεωμετρική τους διόρθωση στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 1987 μέσω του λογισμικού του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών ARC/GIS 9.0. Η μελέτη του υδρογραφικού δικτύου και της λεκάνης απορροής της περιοχής έρευνας, έγινε με αναγνώριση και σχεδίαση των ρεμάτων και των ισοϋψών, από τους τοπογραφικούς χάρτες. Στα πλαίσια της μελέτης των μορφομετρικών χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου, αρχικά έγινε ταξινόμηση και αρίθμηση όλων των κλάδων ποταμού με τη μέθοδο του Strahler (1957 & 1964). Στην συνέχεια εφαρμόστηκε ο 1<sup>ος</sup> και ο 2<sup>ος</sup> νόμος του Horton και υπολογίστηκε η υφή του υδρογραφικού δικτύου.

Η ανάλυση του γεωλογικού υποβάθρου και των τεκτονικών δομών (επιπτώσεις, επιπτώσεις, ρήγματα) βασίστηκε στους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. Επιπλέον, στην ανάλυση των ρηγ-

μάτων χρησιμοποιήθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα (Μιγκίρος et al. 1989, Caruto 1990), υπαίθριες παρατηρήσεις και οι φωτογραμμώσεις που αναγνωρίστηκαν από τις δορυφορικές εικόνες. Η στατιστική επεξεργασία και η κατασκευή ροδοδιαγραμμάτων των διευθύνσεων και των μηκών των τεκτονικών γραμμών, του υδροκρήτη και του υδρογραφικού δικτύου έγινε με το λογισμικό πακέτο ROCKWORKS 2004.

## 3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται αλπικοί σχηματισμοί, μολассικά ιζήματα και μεταλλικές αποθέσεις. Το αλπικό λιθολογικό υπόβαθρο της υπολεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος αποτελείται από: κερατόλιθους, ασβεστόλιθους και φλύσχη της Πίνδου, καθώς και οφιολιθικούς σχηματισμούς της Υποπελαγονικής. Τα αναπτυσσόμενα μολассικά ιζήματα είναι οι κλαστικοί σχηματισμοί της Κρανιάς και μία πολύ μικρή εμφάνιση των κλαστικών σχηματισμών της σειράς Εππαχωρίου – Κηπουριού. Τέλος απαντώνται λιμναίες και ποτάμιες αποθέσεις του Πλειοκαινίου, χερσαίες Πλειστοκαινικές αποθέσεις, παλαιά και σύγχρονα πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, σύγχρονες χονδροκόκκες χαλαρές αποθέσεις των ποταμών και των χειμάρρων και μανδύας αποσάθρωσης (Aubouin 1961, Κουμαντάκης & Ματαράγκας 1980).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής έρευνας με βάση τα υδρολιθολογικά τους χαρακτηριστικά ταξινομήθηκαν σε τρεις κατηγορίες: στους υδροπερατούς, ημιπερατούς και αδιαπέρατους σχηματισμούς. Οι υδροπερατοί σχηματισμοί καταλαμβάνουν μικρή έκταση ίση με 44 km<sup>2</sup> και αντιστοιχούν στο 13% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής, οι ημιπερατοί έχουν έκταση 142 km<sup>2</sup> και ποσοστό 42%, ενώ οι αδιαπέρατοι εμφανίζουν την μεγαλύτερη έκταση ίση με 151 km<sup>2</sup> και κατέχουν το 45% της συνολικής έκτασης (Μπαθρέλλος 2005).

## 4. ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Η λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος αποστραγγίζει τα ορεινά τμήματα των Χασίων ορέων και της Πίνδου. Το σχήμα της είναι επίμηκες με διεύθυνση μεγάλου άξονα ΒΑ – ΝΔ.



Η υδρολογική λεκάνη είναι η δεύτερη μεγαλύτερη σε έκταση από τις υπόλοιπες λεκάνες των παραποτάμων του άνω ρου του Πηνειού ποταμού, με συνολικό εμβαδόν 337 km<sup>2</sup>. Η περιμέτρος της είναι 89,5 km.

Οι μορφολογικές κλίσεις που εμφανίζονται είναι σχετικά υψηλές, ενώ η μέση κλίση της λεκάνης είναι 41,98%. Το απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης απορροής είναι 1.974 m, ενώ το μέσο υψόμετρό της φτάνει τα 934,31 m (φωτογραφία 1).

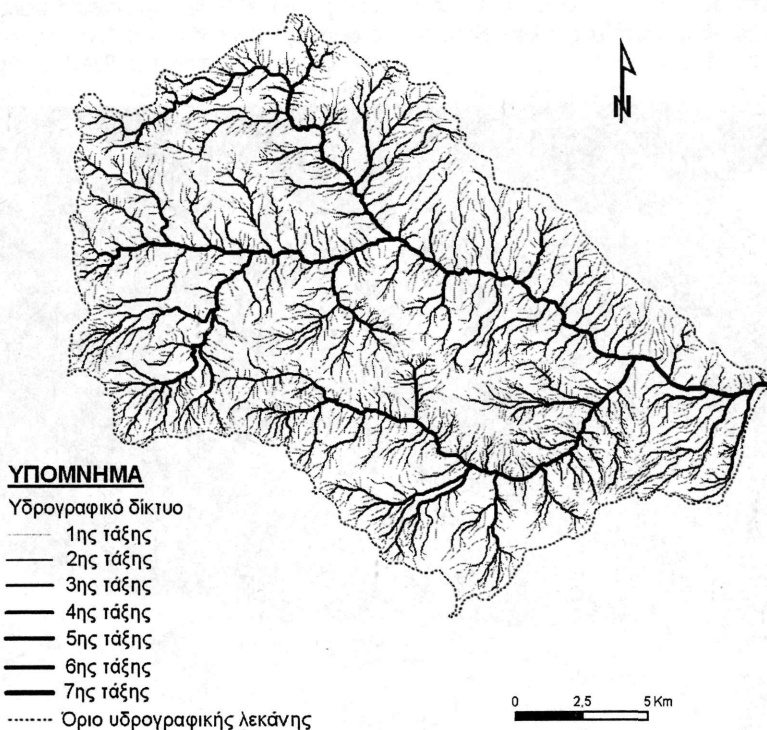


Φωτογραφία 1: Το Μαλακασιώτικο ρέμα στην περιοχή της Τρυγώνας.

## 5. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Η μελέτη του υδρογραφικού δικτύου έδειξε ότι ο κύριος κλάδος της λεκάνης απορροής είναι

7<sup>ης</sup> τάξης (σχήμα 2). Συνολικά, το υδρογραφικό δίκτυο αποτελείται από 2.803 κλάδους, οι οποίοι έχουν μήκος 1.428 km.



Σχήμα 2: Το υδρογραφικό δίκτυο του Μαλακασιώτικου ρέματος

Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι σύνθετη. Σε ορισμένα σημεία του είναι παράλληλης μορφής, όπως συμβαίνει στο βορειοανατολικό τμήμα του. Σε άλλα σημεία είναι γωνιώδους μορφής, όπως παρατηρούμε στο νοτιοδυτικό και στο δυτικό τμήμα του. Η παράλληλη μορφή του υδρογραφικού δικτύου του Μαλακασιώτικου ρέματος οφείλεται στις μεγάλες κλίσεις, ενώ η γωνιώδης μορφή σε τεκτονικά αίτια. Ο σύνθετος τύπος του υδρογραφικού δικτύου του Μαλακασιώτικου ποταμού αποδεικνύει την πολύπλοκη γεωλογική και τεκτονική δομή, καθώς και τη σύνθετη γεωμορφολογική εικόνα της περιοχής.

### 5.1 Πρώτος νόμος του Horton

Ο πρώτος νόμος του Horton εφαρμόστηκε στην λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Οι αρνητικές τιμές της απόκλισης δείχνουν ότι ο αριθμός κλάδων σε κάθε τάξη είναι μικρότερος από τον αναμενόμενο. Η υψηλότερη τιμή απόκλισης παρατηρείται στους κλάδους της 5<sup>ης</sup> τάξης. Οι κλάδοι 4<sup>ης</sup> τάξης συμβάλουν κατευθείαν με κλάδους 6<sup>ης</sup> τάξης με αποτέλεσμα να μην δημιουργούνται κλάδοι 5<sup>ης</sup> τάξης. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την υψηλή τιμή του λόγου διακλάδωσης της 5<sup>ης</sup> τάξης ( $R_b = 5$ ). Η τεκτονική δομή της περιοχής πιθανά επιδρά στην ανάπτυξη του αριθμού των κλάδων του

υδρογραφικού δικτύου. Εξάλλου, η γωνιώδης μορφή που παρατηρείται σε ορισμένα σημεία του οφείλεται στην τεκτονική δραστηριότητα.

Ο μέσος λόγος διακλάδωσης (Rb) της λεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος είναι 3,78. Η

ιδανική τιμή είναι 2 (Horton 1945), ενώ τιμές μεταξύ 2 και 5 δείχνουν ένα καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο (Alexouli-Livaditi 1999).

Τάξεις (u)	Πραγματικός αριθμός κλάδων(Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης Rb	Ιδανικός αριθμός κλάδων	Αποκλίσεις πραγματικού αριθμού κλάδων από την ιδανική τιμή (%)
1	2.136			2958	-27,79
2	522	4,09		781	-33,16
3	112	4,66		206	-45,63
4	25	4,48	3,78	54	-53,70
5	5	5,00		14	-64,29
6	2	2,50		4	-50,00
7	1	2,00		1	0,00

Πίνακας 1. Αποτελέσματα εφαρμογής του 1<sup>ου</sup> νόμου του Horton

## 5.2 Δεύτερος νόμος του Horton

Η εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton στην λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος έδωσε τα αποτελέσματα του πίνακα 2.

Τάξεις (u)	Μήκος κλάδων Lu (km)	Μέσο πραγματικό μήκος κλάδων Lu	Λόγος μήκους RL	Μέσος Λόγος Μήκους RL	Μέσο ιδανικό μήκος κλάδων Lu	Αποκλίσεις πραγματικού μήκους κλάδων από την ιδανική τιμή (%)
1	860	0,41			0,40	0,00
2	318	0,61	1,51		0,72	-15,45
3	138	1,23	2,02		1,29	-4,44
4	51	2,04	1,66	1,79	2,31	-11,59
5	29	5,8	2,84		4,13	40,46
6	26	13,0	2,24		7,39	75,92
7	6	6,00	0,46		13,22	-54,63

Πίνακας 2. Αποτελέσματα εφαρμογής του 2<sup>ου</sup> νόμου του Horton

Αρνητικές τιμές απόκλισης παρατηρούνται στους κλάδους της 2<sup>ης</sup>, 3<sup>ης</sup> και 7<sup>ης</sup> τάξης, ενώ θετικές τιμές απόκλισης υπάρχουν στους κλάδους της 5<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> τάξης. Τα μεγάλα μήκη των κλάδων αυτών πιθανά σχετίζονται με την λιθολογία και συγκεκριμένα με την εμφάνιση αδιαπέρατων σχηματισμών (φλύσσης της Πίνδου), με αποτέλεσμα να ευνοείται η επιφανειακή απορροή έναντι της κατεισδήσης. Οι κλάδοι αυτοί είναι στο στάδιο της μετάβασης σε υψη-

λότερη τάξη (Alexouli – Livaditi A. 1999). Το μικρό μήκος του κλάδου 7<sup>ης</sup> τάξης οφείλεται στο γεγονός ότι συμβάλει σε πολύ μικρή απόσταση με τους κύριους κλάδους άλλων παραποτάμων του Πηνειού ποταμού.

## 5.3 Υδρογραφική υφή

Η υφή του υδρογραφικού δικτύου, εξαρτάται από την πυκνότητα D και τη συχνότητα F. Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε η υδρογραφι-

κή πυκνότητα και η υδρογραφική συχνότητα σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής. Συγκεκριμένα, η υδρογραφική πυκνότητα της λεκάνης απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος είναι 4,239 km/km<sup>2</sup> και η υδρογραφική συχνότητα 8,322 κλάδοι/km<sup>2</sup>.

Οι τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας είναι σχετικά υψηλές, ενώ η μεταξύ τους αναλογική σχέση εμφανίζεται πολύ καλή, με την τιμή της συχνότητας να είναι μεγαλύτερη από της πυκνότητας. Υψηλές τιμές υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας αναφέρονται βιβλιογραφικά (Καλλέργης 1970, Βρουχάκης et al. 2004) και σε άλλες γειτονικές λεκάνες απορροής παραποτάμων του Πηνειού.

Η υψηλή τιμή της πυκνότητας οφείλεται κυρίως στην λιθολογία. Στην λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος πολύ μεγάλη εξάπλωση εμφανίζουν οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί με αποτέλεσμα να ευνοείται η επιφανειακή απορροή. Άλλοι παράγοντες οι οποίοι ενισχύουν την μεγάλη τιμή της πυκνότητας είναι οι υψηλές βροχοπτώσεις που παρατηρούνται στην περιοχή, η παρουσία πηγών και η μεγάλη μέση μορφολογική κλίση της λεκάνης.

Η υδρογραφική συχνότητα συγκρινόμενη με αντίστοιχες τιμές λεκανών απορροής παραποτάμων του Πηνειού εμφανίζει μέτρια τιμή (Μπαθρέλλος 2005). Επομένως, η λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος εμφανίζει μεγάλο μήκους κλάδους μέτρια αναπτυγμένους στο χώρο. Το γεγονός αυτό πιθανά οφείλεται στην τεκτονική δραστηριότητα της περιοχής που οδηγεί στην δημιουργία ρηξιγενών κοιλάδων με αποτέλεσμα η επιφανειακή απορροή να εγκλωβίζεται σε αυτές και να μην ευνοείται η ανάπτυξη άλλων κλάδων.

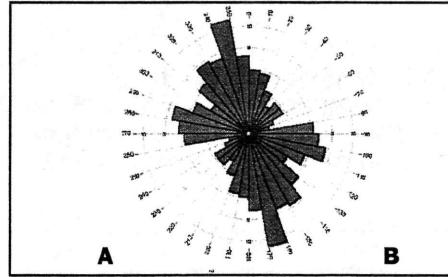
## 6. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η τεκτονική δομή της περιοχής έχει επιδράσει και πιθανόν επιδρά σημαντικά τόσο στην ανάπτυξη της κλίσης και των πρηνών, όσο και στη μορφή των βασικών υδροκριτών και του υδρογραφικού δικτύου. Με σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της τεκτονικής, του υδρογραφικού δικτύου και των διευθύνσεων ανάπτυξης των υδροκριτικών γραμμών στην περιοχή μελέτης, αρχικά αναλύθηκαν οι επωθήσεις και οι επιπτώσεις και στη συνέχεια ο ρηξιγενής ιστός της ευρύτερης περιοχής έρευνας.

Από το ροδοδιάγραμμα συχνότητας (σχήμα 3) διαπιστώνεται ότι οι επωθήσεις και οι επιπτώσεις ακολουθούν τις παρακάτω κύριες, δευτερεύουσες και τριτεύουσες διευθύνσεις:

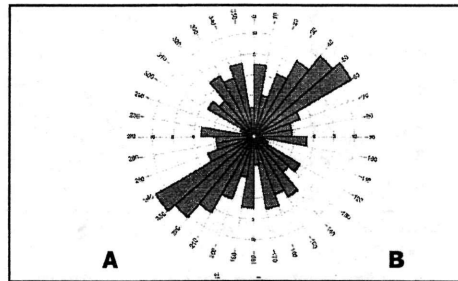
Κύρια διεύθυνση: B160°-170°, Δευτερεύουσες διευθύνσεις: B80°-110°, B140°-160°, B170°-180°, Τριτεύουσες διευθύνσεις (ή διευθύνσεις πολύ χαμηλής συχνότητας): B0°-20° και B110°-140°.

Η στατιστική επεξεργασία πυκνότητας των επωθήσεων και των επιπτώσεων παρουσιάζεται στο δεύτερο ροδοδιάγραμμα του σχήματος 3. Τα μήκη των επωθήσεων και των επιπτώσεων έρχονται σε πλήρη σχεδόν αντιστοιχία με τις κύριες, δευτερεύουσες και τριτεύουσες διευθύνσεις. Εξαίρεση αποτελεί η διεύθυνση B150°-160° που εμφανίζει μεγάλο μήκος σε σχέση με



τη διεύθυνσή της.

Σχήμα 3: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας των επωθήσεων και των επιπτώσεων.



Σχήμα 4: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας των φωτογραμμώσεων.

Τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας του ρηξιγενούς ιστού της περιοχής μελέτης δίνεται στο σχήμα 4. Οι φωτογραμμώσεις ακολουθούν τις παρακάτω κύριες, δευτερεύουσες και χαμηλές διευθύνσεις ανάπτυξης:

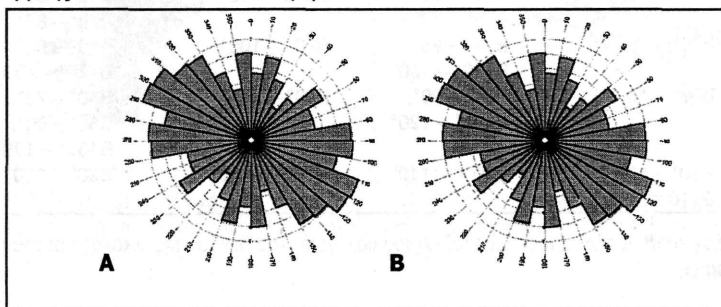
Κύρια διεύθυνση: B40°-60°, Δευτερεύουσες διευθύνσεις: B0°-10°, B30°-40°, B140°-170°, Τριτεύουσα διεύθυνση: B90°-100°.

Από το ροδοδιάγραμμα πυκνότητας των φωτογραμμώσεων του σχήματος 4 διαπιστώνεται ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις σε σχέση με τη συχνότητα. Οι επικρατούσες διευθύνσεις μηκών είναι οι:

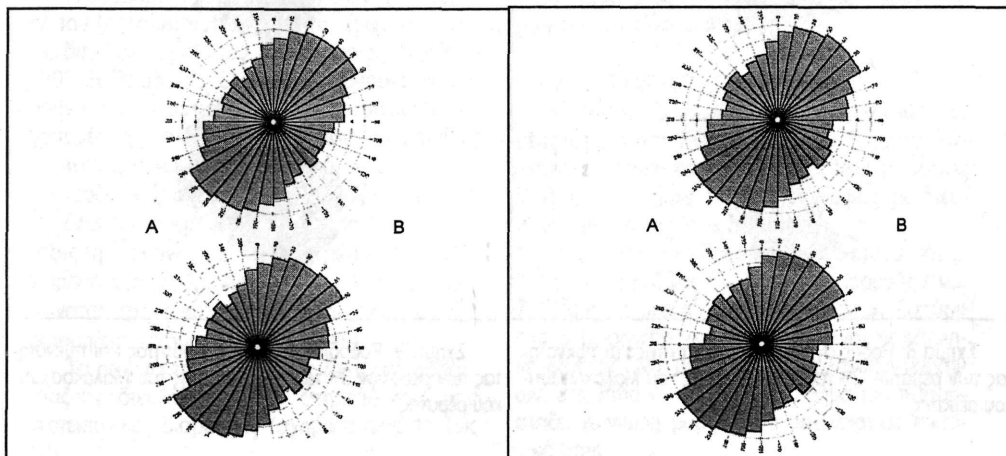
Κύρια διεύθυνση: B50°-60°, Δευτερεύουσες διευθύνσεις: B0°-10°, B40°-50°, B90°-100°, B120°-150°.

Στη συνέχεια έγινε στατιστική επεξεργασία και σύγκριση των διευθύνσεων και του μήκους των γραμμικών στοιχείων του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος.

Η στατιστική επεξεργασία του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος δίνεται στο σχήμα 5. Η υδροκρίτική γραμμή έχει κύριες διευθύνσεις ανάπτυξης τη B80°-100° και τη B110°-150°. Οι δευτερεύουσες διευθύνσεις ανάπτυξης είναι η B10°-20°, B50°-60°, η B100°-110° και η B170°-180°. Όπως έχει διαπιστωθεί στην υπολεκάνη του Ίωνα, έτσι και στην υπολεκάνη του Μαλακασιώτικου, το μήκος του υδροκρίτη του ακολουθεί τις κύριες και τις δευτερεύουσες διευθύνσεις της συχνότητας.



Σχήμα 5: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος.



Σχήμα 6: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας όλων των ρεμάτων της λεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος.

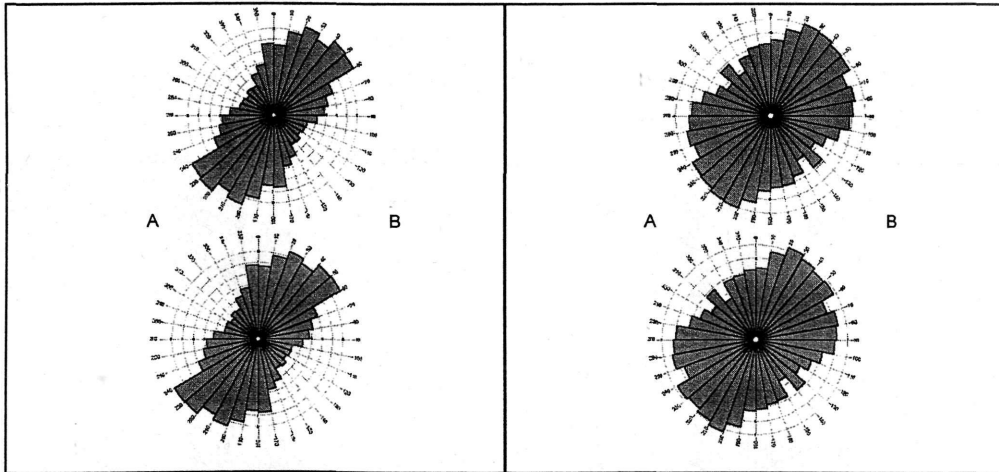
Σχήμα 7: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας των ρεμάτων 1ης τάξης της λεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος.

Στο σχήμα 6 δίνονται τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας όλων των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της υπολεκάνης απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος. Κύρια διεύθυνση ανάπτυξης και μήκους είναι η Β0°-

60°. Η ταξινόμηση κάθε τάξης του υδρογραφικού δικτύου δίνεται στα σχήματα από 7 έως 13. Οι διευθύνσεις ανάπτυξης και το μήκος των κλάδων κάθε τάξης δίνεται στον πίνακα 3.

ΤΑΞΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ		ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	
	Κύριες διευθύνσεις	Δευτερεύουσες διευθύνσεις	Κύριες διευθύνσεις	Δευτερεύουσες διευθύνσεις
1ης	B0° - 60°	B60° - 70°	B0° - 60°	B60° - 70°
2ης	B10° - 60°	B350° - 10°	B10° - 60°	B350° - 10°
3ης	B10° - 60°	B70° - 90°	B10° - 60°	B70° - 100°
4ης	B350° - 20°	B20° - 60°, B70° - 80°	B350° - 10°	B10° - 60°, B70° - 80°
5ης	B90° - 100°	B80° - 90°, B120° - 130°	B90° - 100°	B80° - 90°, B120° - 130°
6ης	B90° - 100°	B80° - 90°, B100° - 120°	B90° - 100°	B60° - 70°, B80° - 90°, B100° - 120°
7ης	B90° - 100°, B110° - 120°	B100° - 110°	B110° - 120°	B90° - 110°

Πίνακας 3. Συχνότητα & πυκνότητα των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής του Μαλακασιώτιου ρέματος.



Σχήμα 8: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας των ρεμάτων 2ης τάξης της λεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος.

Σχήμα 9: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας των ρεμάτων 3ης τάξης της λεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος.

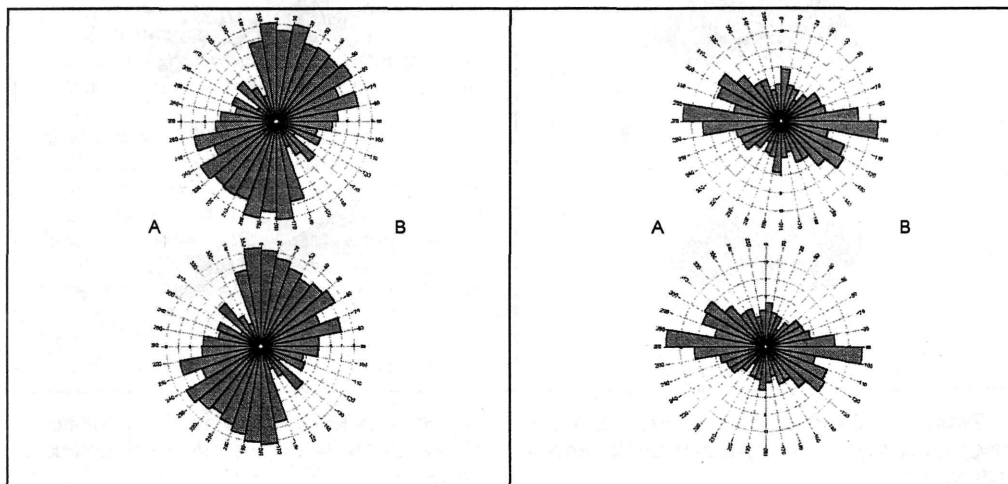
Παρατηρώντας τα ροδοδιαγράμματα των σχημάτων 3 και 4 συμπεραίνουμε ότι ο προσα-

νατολισμός των δομών (γεωδομών και γεωμορφών) επηρεάζονται από ρήγματα διεύθυνσης Α

– Δ. Τα ρήγματα αυτά ουσιαστικά κόβουν όλες τις προϋπάρχουσες σημαντικές δομές.

Αντιπαραβάλλοντας τα ροδοδιαγράμματα

ενός, και κυρίως επειδή η «σχέση» και η συμβολή του ρέματος με τον Πηνειό ποταμό είναι σχετικά πρόσφατη (Αν. Πλειστόκαινο – Ολόκαι-



Σχήμα 10: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας των ρεμάτων 4<sup>ης</sup> τάξης της λεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος.

Σχήμα 11: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας των ρεμάτων 5<sup>ης</sup> τάξης της λεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος.

της υδροκριτικής γραμμής της λεκάνης απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος (σχήμα 5) με αυτά των τεκτονικών γραμμών (σχήματα 3 & 4) καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

Η υδροκριτική γραμμή της λεκάνης απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος εμφανίζει όλες τις διευθύνσεις με πιο ευδιάκριτη τη Β110° – 130°. Η παρουσία όλων των διευθύνσεων μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι υδροκριτικές γραμμές της λεκάνης επηρεάζονται από βαθιές παλιές δομές (αλπικές) (σχήμα 5).

Τα ροδοδιαγράμματα των διευθύνσεων του συνόλου των ρεμάτων και της 1ης έως της 4ης τάξης της λεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος παρουσιάζουν διευθύνσεις με κυρίαρχο προσανατολισμό που επηρεάζονται από αλπικές διαρρήξεις (σχήματα από 6 έως 10).

Τα ρέματα της 5<sup>ης</sup> έως της 7<sup>ης</sup> τάξης παρουσιάζουν διευθύνσεις που επηρεάζονται από νεοτεκτονικές διαρρήξεις (σχήματα από 11 έως 13).

Η λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος, επειδή βρίσκεται περιφερειακά της συνολικής λεκάνης του Πηνειού ποταμού αφ'

νο), έχει καθορίσει τα χαρακτηριστικά του βάσει παλαιότερων αλπικών δομών χωρίς να πα

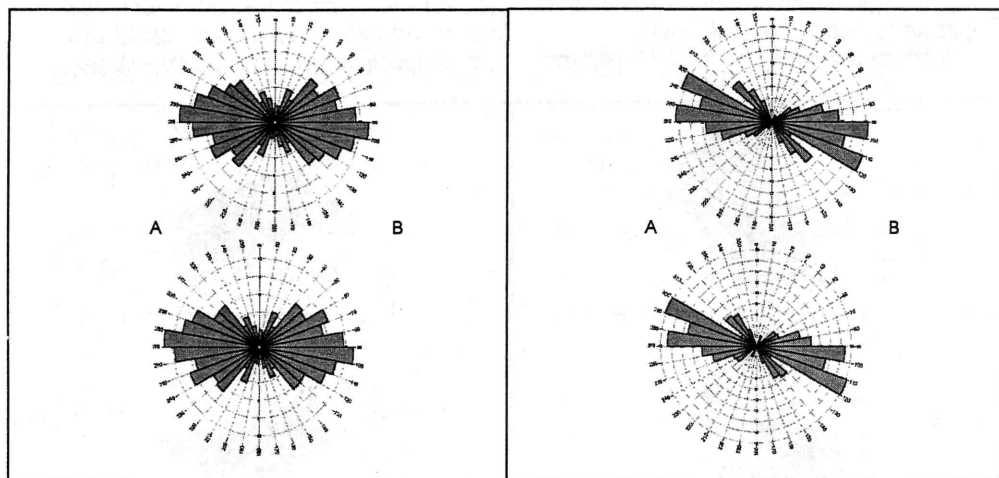
ρουσιάζει την πιο γρήγορη εξέλιξη, την οποία παρουσιάζουν άλλες λεκάνες παραποτάμων που είναι κεντρικότερες.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος αποστραγγίζει τα ορεινά τμήματα των Χασίων ορέων και της οροσειράς της νότιας Πίνδου. Το σχήμα της είναι επίμηκες με διεύθυνση μεγάλου άξονα ΒΑ – ΝΔ.

Η μελέτη του υδρογραφικού δικτύου έδειξε ότι ο κύριος κλάδος της λεκάνης απορροής είναι 7<sup>ης</sup> τάξης. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου στο βορειοανατολικό τμήμα του είναι παράλληλη εξαιτίας των μεγάλων μορφολογικών κλίσεων. Στο νότιο και νοτιοδυτικό τμήμα του παρουσιάζει γωνιώδη μορφή που οφείλεται σε τεκτονικά αίτια.

Η εφαρμογή του πρώτου νόμου του Horton έδειξε αποκλίσεις από τις ιδανικές τιμές, με υψηλότερη τιμή στον κλάδο 5<sup>ης</sup> τάξης. Η τεκτονική



Σχήμα 12: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας των ρεμάτων 6ης τάξης της λεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος.

Σχήμα 13: Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας των ρεμάτων 7ης τάξης της λεκάνης του Μαλακασιώτικου ρέματος.

δομή της περιοχής, πιθανά επιδρά στην ανάπτυξη του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται στους κλάδους της 5ης και 6ης τάξης κατά την εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton σχετίζονται με την λιθολογία και με την εμφάνιση αδιαπέρατων σχηματισμών.

Η υδρογραφική πυκνότητα παρουσιάζει υψηλή τιμή δείχνοντας την επίδραση της λιθολογίας. Η λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος δομείται κατά κύριο λόγο από αδιαπέρατους και δευτερευόντως από ημιπερατούς σχηματισμούς με αποτέλεσμα να ευνοείται η επιφανειακή απορροή έναντι της κατεΐσδησης. Όμως, η υδρογραφική συχνότητα εμφανίζει μέτρια τιμή πιθανόν εξαιτίας της επίδρασης της τεκτονικής με αποτέλεσμα η λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος να εμφανίζει μεγάλου μήκους κλάδους μέτρια αναπτυγμένους στο χώρο.

Η μορφοτεκτονική ανάλυση και ο συσχετισμός των τεκτονικών γραμμών, της υδροκριτικής γραμμής και του υδρογραφικού δικτύου έδειξε ότι:

- οι υδροκριτικές γραμμές της λεκάνης επηρεάζονται από βαθιές αλπικές δομές,
- οι κλάδοι της 1ης έως και της 4ης τάξης επηρεάζονται από αλπικές διαρρήξεις,

- οι κλάδοι 5ης, 6ης και 7ης τάξης επηρεάζονται από νεοτεκτονικές διαρρήξεις.

Η λεκάνη απορροής του Μαλακασιώτικου ρέματος, επειδή βρίσκεται στις άκρες της συνολικής λεκάνης του Πηνειού ποταμού και επειδή είναι σχετικά νέα η συμβολή του ρέματος με τον Πηνειό ποταμό διατηρεί ακόμη τα παλαιότερα χαρακτηριστικά ροής. Η πιο γρήγορη εξέλιξη, την οποία παρουσιάζουν άλλες λεκάνες παραποτάμων που είναι κεντρικότερες δεν εμφανίζεται στην συγκεκριμένη λεκάνη.

#### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Βρουχάκης Ι., Βουβαλιδής Κ., Σφέικος Α. & Μαργώνη Σ. 2004. *Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Πορταϊκού ποταμού της Θεσσαλίας*. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρίας, τ. XXXVI, 978-987.
- Καλλέργης Γ. 1970. *Υδρογεωλογική έρευνα υπολεκάνης Καλαμπάκας (Δυτ. Θεσσαλία)*. Γεωλ. Γεωφ. Μελ. ΙΓΕΥ, XIV/1, 197 σ.
- Κουμαντάκης Ι. & Ματαράγκας Δ. 1980. φύλλο «ΠΑΝΑΓΙΑ», γεωλογικός χάρτης, κλίμακα 1:50.000. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
- Μιγκίρος Γ., Μανάκος Β., Σκούρτση-Κορνωναίου Β. & Καρφάκης Ι. 1989. *Συμβολή στη γνώση της γεωλογίας του Κόζιακα, περιοχή Μουζακίου-Πύλης, Δ. Θεσσαλία*. Δελτίο ΕΛ-



- ληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, XXIII/1, 381–393
- Μπαθρέλλος Γ. 2005. *Γεωλογική, γεωμορφολογική και γεωγραφική μελέτη των αστικών περιοχών του Νομού Τρικάλων – Δυτικής Θεσσαλίας*. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, 567 σ.
- Ψιλοβίκος Α. 1991. *Η εξέλιξη του ποταμού Πηνειού της Θεσσαλίας*. Φ.Ι.Λ.Ο.Σ., Τρικαλινά, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Συμποσίου Τρικαλινών Σπουδών, 11, 441–456.
- Alexouli – Livaditi A. 1999. *Quantitative geomorphological study of Eurotas river drainage network (Greece)*. Proceedings 5<sup>th</sup> Geogr. Congr., 206–216.
- Aubouin J. 1961. Φύλλο «ΠΡΑΜΑΝΤΑ», γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000. Ι.Γ.Ε.Υ. Αθήνα.
- Caputo R. 1990. *Geological and structural study of the recent and active brittle deformation of the Neogene – Quaternary basins of Thessaly (Central Greece)*. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 252 σ.
- Horton R., 1945. *Erosional development of streams and drainage basins: hypsographical approach to quantitative morphology*. Bull. of Geological Society of America, 54, 275–370.
- Strahler A. 1964. *Quantitative analysis of drainage basins and channel networks*. In Chow, V. T. (ed.) *Handbook of Applied Hydrology*, section 14, 54, New York.
- Strahler Ar. 1957. *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Amer. Geophysys. Union Trans., 38 (6), 913–920.

## Συμβολή στη μελέτη των γεωπυραμιδικών σχηματισμών (γεωμυθότοπων) της κοιλάδας της Ποτάμιας των δυτικών Καμβουνίων (Τρανόβαλτου Σέρβιων Κοζάνης)

ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ Α.<sup>1</sup>, ΜΑΡΓΩΝΗ Σ.<sup>1</sup>, ΜΟΥΜΟΥ Χ.<sup>1</sup>, ΜΟΥΡΤΖΙΟΣ Π.<sup>1</sup>, ΠΕΧΛΙΒΑΝΙΔΟΥ Σ.<sup>1</sup> ΚΑΙ ΤΣΙΛΙΟΣ Σ.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

In recently dissected ravines of the river Potamia valley on the Mt. Kamvounia (Tranovalto village, Servia, Kozani) occur conical, or column, mushroom forms known in geomorphology as pyramids or earth pillars. Local people call them "Boucharia" meaning chimneys. The relief data reveal a two cycle development. During the first cycle the rocks on the Pliocene surface of the Mt. Kamvounia were eroded. The Pleistocene valleys thus produced gradually filled up with continental deposits mainly red beds. The climatic fluctuations towards the upper Pleistocene affected the weathered rocks of Kamvounia and produced episodic mudflows or debris flows. Various clastic material of the regolith transported during these episodic flows and deposited in the valleys as tongues of limited aerial extent. They consist of heterogenous, chaotic, graded (coarsening up) structures, carrying on their top large boulders of schist or gneiss. Younger red beds deposits covered and protected the episodic mudflow deposits. The investigated case of "Boucharia" consist of a tongue of mudflow deposits 2200 m long, 300 m wide and 2 – 11 m thick, on altitudes of 760 m to 670 m, covered with red beds. During the second cycle the Pleistocene regime of deposition was succeeded by the Holocene regime of erosion. The red beds and the enclosed mudflow deposits were eroded by surface flows and the new ravines were formed. The large boulders on the top surface of the mudflow deposits resisted to erosion and protected the underlain materials as cap rocks. In between the material was removed by erosion. So, under every large boulder an earth pillar or pyramid was formed, all along the area of a mudflow tongue. The still active erosional processes continue to remove material from the area, to weaken and gradually destroy the earth pillars all along the sides of the new ravines. The loose mudflow deposits are not able to resist erosion, so the cap rocks usually collapse and the earth pillars are destroyed. The geopyramids, or "Boucharia" in our case, are connected with local myths or superstitions. They can be developed as site views in geoparks for recreation, tourism and education as well.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε νέες διαβρωσιγενείς μικροκοιλιάδες του χειμάρρου Ποταμιά των Δυτ. Καμβουνίων ορέων (περιοχή Τρανόβαλτου, Σερβίων, Κοζάνης) αποκαλύπτονται κωνικές, αυλακοειδείς ή στυλοειδείς, μανιταροειδείς σχηματισμοί γνωστοί στη γεωμορφολογία ως γεωπυραμίδες και στους κατοίκους της περιοχής ως «Μπουχάρια». Από την ιζηματολογική και στρωματογραφική τους μελέτη προέκυψε ότι κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου υλικά αποσάθρωσης του γειτονικού υποβάθρου της Πελαγονικής (γνεύσιμοι-σχιστόλιθοι) μεταφέρθηκαν από χειμάρρους και πλήρωσαν τις κοιλάδες της περιοχής, με Ερυθροστρώματα. Υπήρξαν όμως και επεισόδια λασπορρών ή δεβριτικών ρών με μεταφορά χαστικών, ετερογενών, αταξινόμητων υλικών και μεγάλων τεμαχίων υποβάθρου στην κορυφή των ρών αυτών. Η διάβρωση που ακολούθησε κατά το Ολόκαινο, επιφανειακή και χειμάρρεια, οδήγησε στη διάνοιξη νέων μικροκοιλιάδων και στην αποκάλυψη των μορφών αυτών. Οι πρώτες είναι χαρακτηριστικές των Ερυθροστρωμάτων, ενώ οι δεύτερες (Μπουχάρια) των λασπορρών που διαβρώθηκαν ταυτόχρονα και εξακολουθούν να διαβρώνονται. Τα «Μπουχάρια»

μπορούν να θεωρηθούν ως γεωμυθότοποι γιατί συνδέονται με μύθους της περιοχής και μπορούν να αξιοποιηθούν για μορφωτικούς και τουριστικούς σκοπούς

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη δυτική πλευρά των Καμβουνίων ορέων και μεταξύ των τοπικών βυθισμάτων του Λιβαδερού (1.000m) και του Τρανόβαλτου (630m) έχει σχηματιστεί η διαβρωσιγενής λεκάνη του χειμάρρου Ποταμιάς. Αυτή συγκροτείται από μικρότερες κοιλάδες ρεμάτων και ενδιάμεσες ράχες.

Μέσα στα πρηνή των κοιλάδων αυτών και ιδιαίτερα της ΒΔ ρεματιάς (Παλιομάννα-Ποταμιά-Γάβρος ρέμα) εντοπίστηκαν γεωπυραμίδικοί σχηματισμοί, γνωστοί στην τοπική κοινωνία με τον όρο «Μπουχαρία», δηλαδή Καμινάδες.

Πρόκειται για μονήρεις ή ομαδικές στυλοειδείς μορφές ιζηματογενών αποθέσεων, των οποίων οι κορυφές φέρουν καλύμματα μεγάλων βράχων που τις προστατεύουν από τη διάβρωση και δίνουν την εντύπωση καμινάδων.

Υπήρξε ιδιαίτερα μεγάλη προβολή των «Μπουχαριών» σε εφημερίδες, περιοδικά και τηλεοπτικούς σταθμούς κατά τη διάρκεια του 2005. Η προβολή αυτή είχε στόχο την τουριστική τους αξιοποίηση από κοινοτικά κονδύλια της Περιφέρειας Δυτ. Μακεδονίας.

Είναι όμως απαραίτητο να προηγηθεί σοβαρή επιστημονική έρευνα στον τομέα της ερμηνείας του σχηματισμού και της εξέλιξης των «Μπουχαριών», έτσι ώστε να υπάρξει η επιστημονική βάση για την αξιοποίησή τους.

Την επιστημονική αυτή έρευνα επιχειρεί να φέρει σε πέρας η εργασία αυτή.

### 2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα «Μπουχαρία» βρίσκονται 3km περίπου ανατολικά του Μικρόβαλτου και του Τρανόβαλτου και 5km βορειοδυτικά του Λιβαδερού. Τα χωριά αυτά απέχουν περίπου 15-20km από τα Σέρβια Κοζάνης σε Ν/ΝΑ κατεύθυνση. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του κέντρου των σχηματισμών αυτών είναι:

Α.Γ.Μ. 21° 54' 05''

Β.Γ.Π. 40° 03' 42''

Για τους επισκέπτες η προσέγγιση γίνεται είτε μέσω της Εγνατίας οδού περιοχής Κοζάνης προς Σέρβια, είτε μέσω της Εθνικής οδού Λάρισας-Ελασσόνας-Σερβίων.

### 3. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΚΟΙΛΑΔΕΣ

Ο χειμάρρος Ποταμιά που αυλακώνει και στραγγίζει το ομώνυμο βύθισμα χύνεται στον ποταμό Αλιάκμονα στην έξοδο του από το φαράγγι της Ζάμπουρδας σε υψόμετρο περίπου 360m. Προς τα ανατολικά απλώνει τους κλάδους του με ασύμμετρη ανάπτυξη. Μικροί κλάδοι Αγριοκερασιάς, Σακοβάρας, Αρκουδόλακου προς τη Ν/ΝΔ πλευρά του βυθίσματος στην περιοχή της Ελάτης. Μεγάλοι κλάδοι Παλιομάννας, Κακόσταλου και Καρατζά λάκκος προς τη Β/ΒΑ πλευρά του βυθίσματος (σχ. 1). Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδρική, με καλή ανάπτυξη σε όλη τη λεκάνη. Οι μεγάλοι κλάδοι του δικτύου Παλιομάννα, Κακόσταλος και Καρατζά Λάκκος έχουν διανοίξει νέες κοιλάδες μέσα στο παλαιότερο ανάγλυφο. Οι κοιλάδες αυτές χωρίζονται μεταξύ τους από επιμήκεις ράχες σε υψόμετρα 700-1000m και καθοδική ανάπτυξη προς τα ΝΔ.

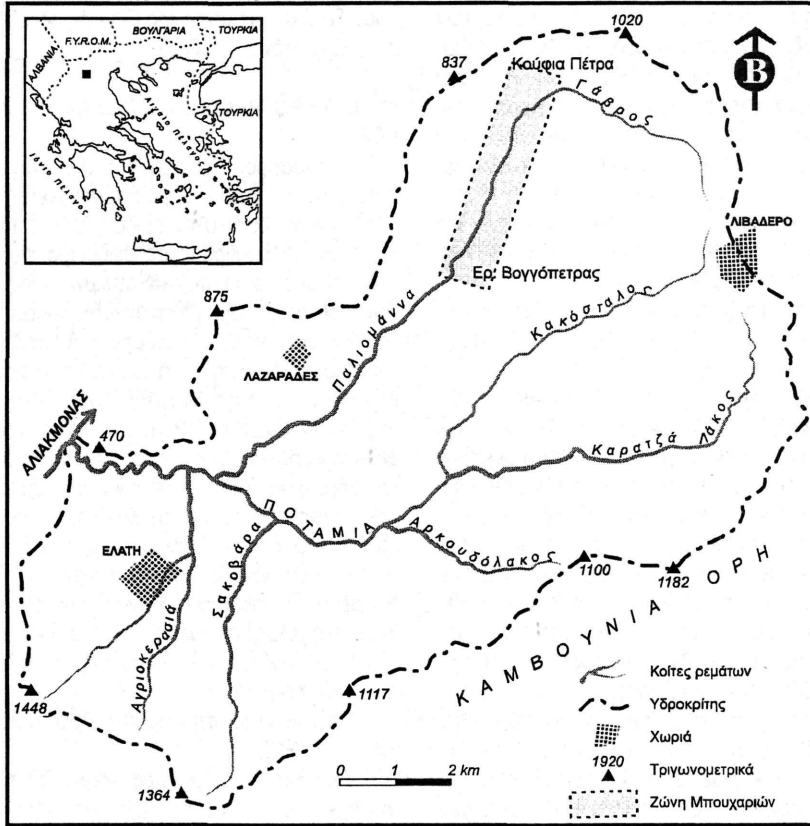
Κάθε κοιλάδα περιλαμβάνει δύο επιμέρους τμήματα (σχ. 2)

Ένα ομαλής επιφάνειας υψηλότερο τμήμα, το οποίο φαίνεται να αντιστοιχεί στη βάση μιας παλιάς ποτάμιας κοιλάδας γεμάτης με φερτά υλικά.

Ένα απότομης επιφάνειας, στενότερο, χαμηλότερο και κεντρικότερο τμήμα, το οποίο φαίνεται να αντιστοιχεί στη νεότερη φάση διάβρωσης του σημερινού χειμάρρειου συστήματος. Ακολουθεί την πορεία των σημερινών κλάδων του δικτύου. Το βάθος της νέας αυτής κοιλάδας κυμαίνεται από 20m περίπου στα ψηλότερα τμήματα μέχρι 120m περίπου στα χαμηλότερα τμήματα, όπου ενώνονται οι κλάδοι με την κύρια κοίτη της Ποταμιάς. Αντίστοιχα και το πλάτος της αυξάνεται από 100-200m στα ψηλότερα μέχρι 600-800m στα χαμηλότερα. Μέσα στα πρηνή της νέας αυτής κοιλάδας στο κεντρικό

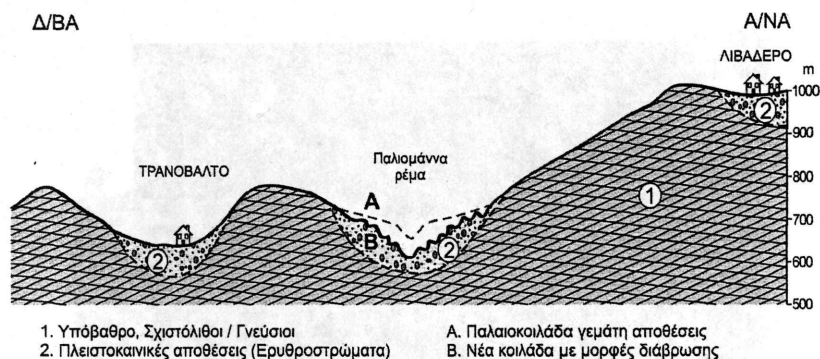
της τμήμα και στις πλευρικές της προεκτάσεις η διάβρωση έχει σχηματίσει πολύπλοκες διαβρωσιγενείς μορφές, όπως αυλακώσεις και γεωπυραμίδες. Οι πλευρές της νέας κοιλάδας είναι εξαιρετικά απότομες, βρίσκονται υπό καθεστώς επιταχυνόμενης διάβρωσης και επιτρέ-

πουν τη μεταφορά μεγάλων όγκων φερτών υλικών προς την κοίτη του ρέματος Παλιομάννα.



Σχήμα 1. Η λεκάνη απορροής και οι κύριοι κλάδοι ροής του χειμάρρου Ποταμιάς στα Καμβούνια όρη.

Figure 1. The drainage basin and the main tributaries of Potamia torrent in the Mt. Kamvounia.



Σχήμα 2. Γεωμορφολογική τομή εγκάρσια προς τον άξονα της κοιλάδας του χειμάρρου Παλιομάννα μεταξύ των καρστικών υψηλών βυθισμάτων του Λιβαδερού και του Τρανόβαλτου.

Figure 2. Cross-section of the Potamia torrent valley between the high karstic depression of Livadero and Tranovalto, W. Kamvounia Mt.

#### 4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το βύθισμα της Ποταμιάς ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη της Δυτικής Πελαγονικής (Μουντράκης, 1983) και αποτελείται από γνεύσιους και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους στο βόρειο τμήμα και στην περιοχή Ελάτης. Στο νότιο τμήμα επικρατούν τα μάρμαρα και οι ασβεστόλιθοι του πελαγονικού καλύμματος (ΙΓΜΕ 1983). Νεότερες ιζηματογενείς αποθέσεις του Νεογενούς εντοπίζονται κατά μήκος και νότια της κεντρικής κοίτης της Ποταμιάς, ενώ πρόσφατες τεταρτογενείς αποθέσεις εντοπίζονται στα βαθύτερα τμήματα των κοιλάδων των μεγάλων κλάδων του δικτύου. Όλοι οι σχηματισμοί και ιδιαίτερα οι ιζηματογενείς, έχουν διαβρωθεί από τα ρέματα της Ποταμιάς και έχουν δημιουργηθεί πολλές μορφές διαβρωσιγενών κοιλάδων μέσα στις οποίες εντοπίζονται και τα «Μπουχαρία».

#### 5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

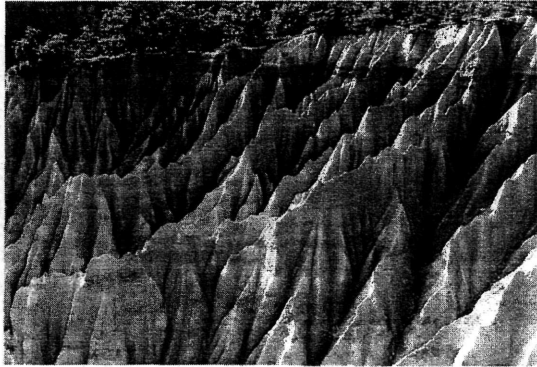
Οι μορφές που προκύπτουν από τις διαβρωσιγενείς διεργασίες στα πρηνή των νέων μορφών κοιλάδων των ρεμάτων και ιδιαίτερα αυτής της Παλιομάννας είναι δύο:

Οι κωνικές ή αυλακοειδείς μορφές, (φωτ. 1) οι οποίες αποτελούνται από πολύπλοκο δίκτυο κατακόρυφων αυλακώσεων μεταξύ των οποίων προβάλλουν κωνικές προεξοχές. Οι

μορφές αυτές ανήκουν στον τύπο Badlands και είναι χαρακτηριστικές των ημίξηρων και ερημικών περιοχών του πλανήτη μας. Στην Ελλάδα έχουν μεγάλη εξάπλωση (Psilonikos et al, 1987) και εμφανίζονται σε νέες κοιλάδες που έχουν διανοίξει οι χείμαρροι σε παλαιές αποθέσεις Ερυθροστρωμάτων (Ψιλοβίκος, 1977).

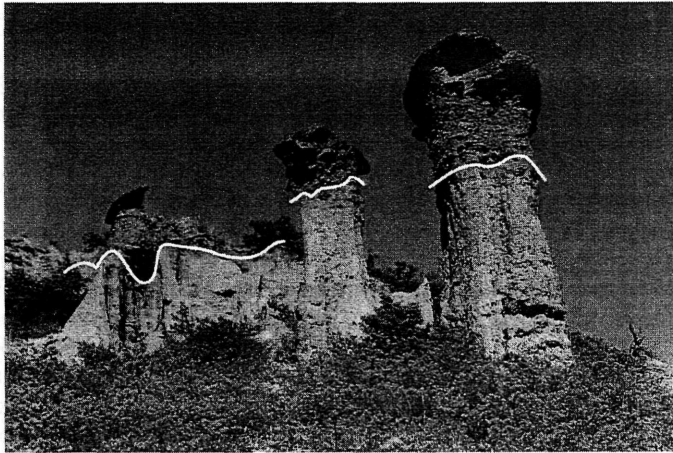
Οι στυλοειδείς ή μανιταροειδείς μορφές, (φωτ. 2) οι οποίες είναι μονήρεις ή μικρές συστάδες κατακόρυφων στύλων, η κορυφή των οποίων καλύπτεται και προστατεύεται από μεγάλα ογκώδη τεμάχια πετρωμάτων (καπέλλα).

Οι στύλοι έχουν συνήθως κυλινδρικό σχήμα με κατακόρυφες αυλακώσεις και ποικίλουν σε μέγεθος. Οι μεγάλοι έχουν περίμετρο 1,20-3,20m και ύψος 3,00-6,00m. Άλλοτε βρίσκονται στα πρηνή, άλλοτε στη βάση των νέων κοιλάδων και αποτελούν ξεχωριστές μορφές, οι οποίες προβάλλουν κατακόρυφα. Το κορυφαίο κάλυμμα των στύλων αποτελείται από τεμάχια κυρίως σχιστόλιθων με διαστάσεις 0,50-1,50m για τα μικρά και 1,5-3,5m για τα μεγάλα. Τα τεμάχια αυτά έχουν επίπεδη κάτω επιφάνεια, λόγω της ολίσθησης, κυρτή ή ανώμαλη άνω επιφάνεια λόγω αρχικής αποσάθρωσης και σαφέστατη κλίση προς τις ανάντι πλευρές των κοιλάδων. Οι μονήρεις σχηματισμοί φαίνονται ανεξάρτητοι από τις γύρω περιοχές. Οι συστάδες βρίσκονται στη διαδικασία του αποχωρισμού σε μονήρεις μορφές (φωτ 3).



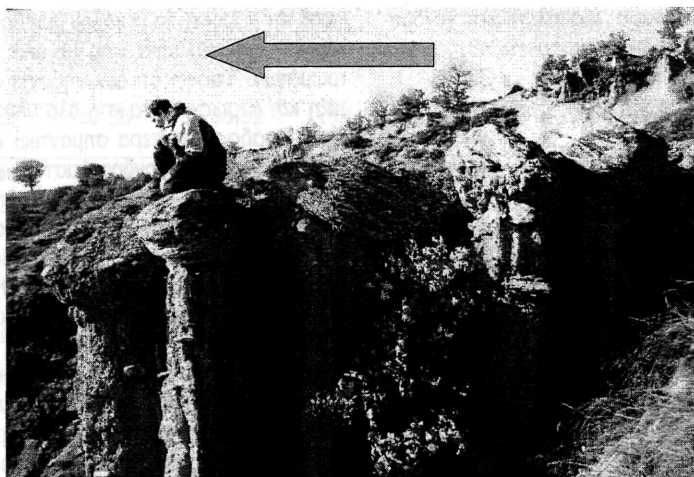
Φωτ. 1. Αυλακοειδείς ή κωνικές μορφές διάβρωσης των Ερυθροστρωμάτων στις πλευρές των νέων κοιλάδων του κλάδου Παλιομάννα Ποταμιάς, στη θέση Κούφια Πέτρα.

Plate 1. Truncated or conic forms of erosion of the Red beds on the sides of new ravines of the Paliomanna tributary of Potamia torrent valley, at the side of Koufia Petra.



Φωτ. 2. Μια ομάδα «Μπουχαριών» στην κοιλάδα του ρέματος Παλιομάννα. Με τις άσπρες γραμμές σημειώνεται η επαφή της λασπορροής (πάνω) με τις χειμάρρειες αποθέσεις (κάτω).

Plate 2. A group of stiloid or mushrooms forms of erosion "Boucharia" on the sides of the ravine of Paliomanna tributary. The white line separates the upper mudflow deposits from the lower Redbed deposits.



Φωτ. 3. Συστατικά "Μπουχαριών" στη θέση Κούφια Πέτρα πριν αποχωριστούν. Οι κλίσεις των καλυμμάτων προς τα ανάντι δείχνει ότι η λασπορροή κινήθηκε από τα Β προς Ν (βέλος)

Plate 3. A group of earth pillars before their separation. The rock blocks on the top dip to the north, indicating a southward movement of the mudflow (arrow).



Φωτ. 4. Το αποσαθρωμένο σχιστολιθικό υπόβαθρο της Πελαγονικής με μεγάλα τεμάχια παρόμοια με αυτά που έχουν τα καλύμματα των «Μπουχαριών»

Plate 4. The weathered schists of the Pelagonian basement and the regolith with large blocks, like those found on top of earth pillars.

## 6. ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΦΙΚΗ ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ

Στις κωνικές ή αυλακοειδείς μορφές υπάρχει η βασική ρυθμική διάταξη των Ερυθροστρωμάτων, η οποία περιλαμβάνει (φωτ. 1):

- Ένα στρώμα κροκαλών και χονδρόκοκκου υλικού ημισυνεκτικού ή ενίοτε με ισχυρή συγκόλληση με  $\text{CaCo}_3$ .
- Ένα στρώμα χαλικιών και άμμου ημισυνεκτικό.
- Ένα στρώμα άμμου και ιλύος με μικρότερη συνοχή.

Τα τρία αυτά στρώματα αποτελούν ένα ρυθμό, ο οποίος επαναλαμβάνεται κατακόρυφα στη στρωματογραφική στήλη.

Το πάχος των ρυθμών, αλλά και των επιμέρους στρωμάτων ποικίλει. Πρόκειται όμως για υλικά χειμάρρειας (εποχιακής) προέλευσης, προϊόντα διάβρωσης σε οξειδωτικό περιβάλλον, μεταφοράς και απόθεσης σε χερσαίο περιβάλλον. Γι' αυτό διατηρούν το κόκκινο-καφέ χρώμα τους, αφού περιέχουν οξειδία του σιδήρου

Η στρωματογραφία αυτή των ρυθμικών αποθέσεων είναι σαφής και ορατή σε όλες τις φυσικές τομές των κοιλάδων, ιδιαίτερα στα πρηνή τους ψηλότερα, κοντά στα χείλη των νέων κοιλάδων (φωτ. 1).

Αυτό συμβαίνει διότι τα στρώματα των κροκαλών έχουν μεγαλύτερη συνοχή από τα άλλα στρώματα, είναι ανθεκτικότερα στη διάβρωση, ιδιαίτερα από το επιφανειακό νερό και προεξέχουν των άλλων στρωμάτων που είναι πιο εύκολα διαβρώσιμα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα τοπίο κάθετων αυλακώσεων μέσα στα Ερυθροστρώματα η διεύρυνση των οποίων σχηματίζει πυραμιδοειδείς μορφές. Στην κεφαλή των μορφών αυτών υπάρχει το ημισυνεκτικό στρώμα των κροκαλών, του οποίου η αντοχή οδηγεί στο σχηματισμό αναβαθμιδώσεων ή γεωπυραμίδων διαφορετικού ύψους.

**Στις στυλοειδείς ή μανιπαροειδείς μορφές**, υπάρχουν δύο διακριτές ομάδες στρωμάτων (φωτ. 2)

Μια κατώτερη η οποία είναι αυτή που περιγράψαμε προηγουμένως των ερυθροστρωμάτων και μια ανώτερη, η οποία υπέρκειται της κατώτερης με ανώμαλη επιφάνεια ασυμφωνίας (λευκή οριακή γραμμή φωτ. 2)

Η ανώτερη αυτή ομάδα αποτελείται κατά βάση από ένα αταξινόμητο χαστικό, ετερογενές υλικό λατυπών, χαλικιών, άμμου και ιλύος με σαφέστατη αντίστροφη διαβάθμιση. Στη βάση βρίσκονται τα μικρότερου μεγέθους υλικά και

προς την κορυφή τα μεγάλα μεγέθους υλικά. Η κορυφή έχει κάλυμμα από μεγάλα τεμάχια πετρωμάτων. Υπόψη ότι δεν υπάρχει σαφής διάταξη και στρώση μέσα στο όλο υλικό της ανώτερης ομάδας. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η παρατήρηση ότι τα χονδροκλαστικά υλικά είναι λατύπες και όχι κροκάλες. Δηλαδή κομμάτια σπασμένου υποβάθρου (σχιστόλιθου) γωνιώδη, ακανόνιστα, χωρίς επεξεργασία κατά τη μεταφορά τους. Αυτό δείχνει ότι δεν μπορεί να μεταφέρθηκαν με κύλιση από τα νερά των χειμάρρων, αλλά με ροές βαρύτητας ως μάζες υλικών. Το ίδιο ισχύει και για τα μεγάλα τεμάχια των καλυμμάτων, όπου εκεί φαίνεται με σαφήνεια ότι ολίσθησαν κατά τη μεταφορά τους και διαμόρφωσαν πλατεία-επίπεδη κάτω επιφάνεια, ενώ η άνω επιφάνεια είναι ανώμαλη έως κυρτή. Με βάση όλα τα ανωτέρω χαρακτηριστικά προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ανώτερη ομάδα αποτελείται από υλικά μιας λασπορροής ή δεβρικής ροής. Αυτή σχηματίστηκε στο ρεγκόλιθο του αποσαθρωμένου σχιστολιθικού υποβάθρου (φωτ. 4) και με τη βοήθεια κλιματικών παραγόντων και της βαρύτητας κινήθηκε προς την κατάντη στη μικρής κλίσης επιφάνεια των Ερυθροστρωμάτων. Ολόκληρη η μάζα των ετερογενών υλικών με την πλαστικότητα που απέκτησε και το υψηλό ιξώδες οδήγησε τα μεγαλύτερα τεμάχια των σχιστόλιθων στην επιφάνεια της ροής των υλικών. Οι ροές αυτές συνήθως έχουν γλωσσοειδή ανάπτυξη και είναι καθαρά επεισοδιακές, είναι δε σε θέση να μεταφέρουν μεγάλους ογκόλιθους στην κορυφή τους (επιφάνειά της) σε μεγάλες αποστάσεις.

Οι Ψιλοβίκος και Σωτηριάδης (1982) μελέτησαν ανάλογες περιπτώσεις λασπορροών και δεβρικών ροών στην ανατολική πλευρά του Ολύμπου, στην επιφάνεια των αλλουβιακών ριπιδίων Λεπτοκαρυάς, Λιτοχώρου Δίου και Βροντούς. Οι ροές αυτές εκδηλώθηκαν προς το τέλος του Πλειστοκαίνου και τις αρχές του Ολοκαίνου, όταν έλιωναν οι παγετώνες του Ολύμπου και μετέφεραν τεράστιους βράχους (ολιστόλιθους) ασβεστόλιθων του Ολύμπου σε αποστάσεις χιλιομέτρων μέχρι τα πόδια των ριπιδίων.

Από σειρά αναλύσεων δειγμάτων των υλικών των λασπορροών στα «Μπουχάρια» προέκυψαν τα ακόλουθα στοιχεία:



Πλασματική σύσταση Παράμετρο Μεγέθους

ΜΠΟΥΧΑΡΙΑ	ΧΑΛΙΚΙΑ ΛΑΤΥΠΕΣ	ΑΜΜΟΣ %	ΙΛΥΣ	M	$\sigma$	Sk	Ku
Μπουχάρι W07	30,35	58,32	11,33	0,56	2,60	0,09	0,69
Μπουχάρι G12	28,75	65,13	6,12	0,16	2,60	0,07	0,90
Μπουχάρι M04	23,98	74,12	1,90	0,63	2,51	0,22	0,67
Μπουχάρι D09	37,98	56,57	5,45	-0,23	2,32	0,09	0,79

$M=M.O$  Μεγέθους,  $\sigma$ =Ταξινόμηση,  $Sk$ =Λοξότητα,  $Ku$ =Κύρτωση

Τα στοιχεία αυτά δείχνουν την ετερογένεια και την κακή ταξινόμηση των υλικών, με ποσοστά λεπτοκόκκων που επιτρέπουν το σχηματισμό λασποροών ή δεβριτικών ροών, όταν οι κλιματικές συνθήκες το επιτρέψουν.

## 7. ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΩΝ ΜΠΟΥΧΑΡΙΩΝ

Η εξάπλωση των Ερυθροστρωμάτων και των γεωπυραμιδικών τους κωνικών μορφών είναι μεγάλη, σε όλες τις διαβρωμένες πλευρές των κοιλάδων όχι μόνο της περιοχής που εξετάζεται αλλά και του ευρύτερου χώρου της Β. Ελλάδας (Psilonikos et al, 1987).

Αντίθετα, η εξάπλωση των στυλοειδών ή μαντιπαροειδών μορφών των «Μπουχαριών» περιορίζεται στο χώρο της κοιλάδας του χειμάρρου Παλιομάννα, από τη θέση «Κούφια Πέτρα» (Φωτ. 3) μέχρι τη θέση «Ερείπια Βογγόπετρας» (σχ. 1 και σχ. 3). Πρόκειται ουσιαστικά για μια επιμήκη ζώνη μήκους 2.200m και συνολικού πλάτους 300m περίπου, με προσανατολισμό Β-Ν, μέσα στα όρια της νέας κοιλάδας του ρέματος Παλιομάννα. Από πλευράς υψόμετρων, η βόρεια άκρη (αρχή) στην περιοχή Κούφιας Πέτρας κατέχει τα υψόμετρα των 760m (ανώτερο) έως 740m (κατώτερο), ενώ η νότια πλευρά κατέχει τα υψόμετρα των 730m (ανώτερο) έως 670m. Το πάχος όμως των αποθέσεων αυτών κυμαίνεται μεταξύ 2m στα βόρεια και 11m στα νότια. Υπάρχει επομένως μια γλωσσοειδής ανάπτυξη του σώματος της λασποροής ή δεβριτικής ροής με πάχος αυξανόμενο από Β προς Ν. Μέσα στη ζώνη αυτή σε κεντρικές και πλευρικές κοιλάδες (σχ. 4) απαντά σε διαφορετικά υψόμετρα και πάχη (ανώμαλη). Η ανώτερη επιφάνεια των καλυμμάτων των «Μπουχαριών» έχει κλίση περίπου 1-2%, ενώ η κατώτερη επιφάνεια η οποία θεωρείται και η επιφάνεια ολί-

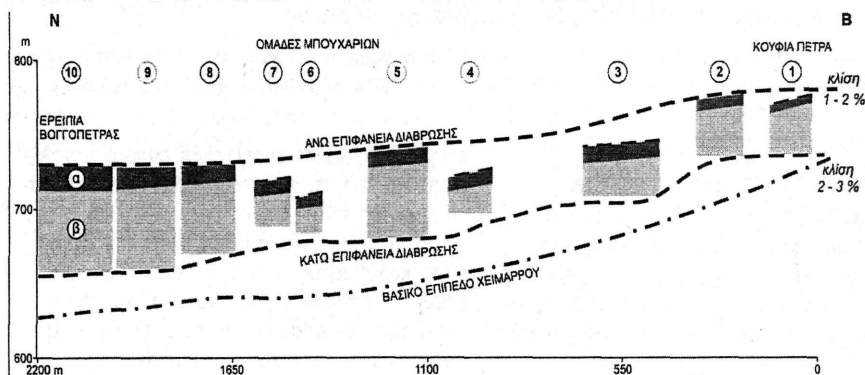
σθησης της λασποροής είναι ελαφρά μεγαλύτερη. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι επιφάνειες αυτές είναι γενικές επιφάνειες και η μεν ανώτερη αφορά καθαρά τη θέση του βραχώδους καλύμματος, ενώ η κατώτερη αφορά τη θέση της επιφάνειας ασυμφωνίας των αποθέσεων της λασποροής με τα υποκείμενα ερυθροστρώματα. Πιο κάτω υψομετρικά βρίσκεται η επιφάνεια διάβρωσης, η βάση δηλαδή όλων των σχηματισμών. Υπόψη ότι το σημερινό τοπικό βασικό επίπεδο, το οποίο αντιπροσωπεύεται από την κοίτη ροής του ρέματος Παλιομάννα βρίσκεται σε υψόμετρα 738m στην Κούφια Πέτρα και 625m στα Ερείπια Βογγόπετρας, δηλαδή έχει κλίση περίπου 5-6%.

Από τα ανωτέρω στοιχεία προκύπτει αβίαστα το συμπέρασμα ότι μέσα στο σώμα των Ερυθροστρωμάτων της κοιλάδας της Ποταμιάς έχει παρεμβληθεί το σώμα μιας επιμήκους και περιορισμένου πλάτους και πάχους λασποροής ή δεβριτικής ροής. Πρόκειται επομένως για μία επεισοδιακή απόθεση μέσα στις κανονικές χειμάρρειες αποθέσεις των Ερυθροστρωμάτων (σχ. 5). Το επεισόδιο που οδήγησε στο σχηματισμό, στην κίνηση και στην απόθεση της λασποροής κατά μήκος ενός πρανού που βρίσκεται κοντά στο απασαθρωμένο σχιστολιθικό υπόβαθρο (φωτ. 4) πρέπει να τοποθετηθεί στο πρόσφατο παρελθόν, πιθανώς στο τέλος του Πλειστόκαινου αρχές του Ολοκαινού. Η παρεμβαλλόμενη αυτή φύση της επεισοδιακής απόθεσης ερμηνεύει εν μέρει και τη θέση των «Μπουχαριών» στις πλευρές των κοιλάδων.

Είναι γνωστό (Σωτηριάδης 1966, Βαβλιάκης 1981, Ψιλοβίκος 1981) ότι στο τέλος του Πλειστοκαίνου και στις αρχές του Ολοκαίνου λόγω της τήξης των τοπικών παγετώνων στα ελληνικά όρη, εκδηλώθηκαν πολλές επεισοδικές λασπορροές και δεβρηνικές ροές στα πλευρά των κοιλάδων σε αντίστοιχα υψόμετρα (Όρβηλος, Μενοίκιο, Όλυμπος).

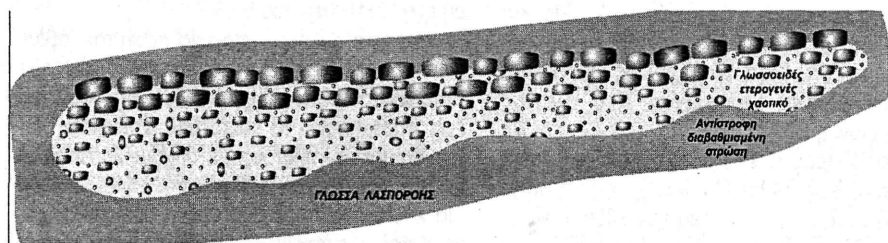
Φυσικά, η απόθεση της λασπορροής καλύφθηκε από νεώτερες χειμάρρειες αποθέσεις

και παρέμεινε εγκλωβισμένη μέχρις ότου αρχίσει το καθεστώς της διάβρωσης υλικών μέσα στις παλιές κοιλάδες. Με τη διάβρωση αυτή απομακρύνθηκαν οι αποθέσεις που κάλυπταν τα υλικά της λασπορροής και βγήκαν στην επιφάνεια τα «Μπουχαρία» ως υπολειμματικές μορφές διάβρωσης (σχ. 5).



Σχήμα 3. Σκαρίφημα κατά μήκος τομής της ζώνης εξάπλωσης των «Μπουχαριών», στην κοιλάδα του ρέματος Παλιομάννα του χείμαρου Ποταμιάς στα Καμβούνια. α. Στρώμα λασπορροής, β. Διαβρωμένο στρώμα όλων των αποθέσεων.

Figure 3. Sketch section of the zone occupied by earth pillars in the ravine of Paliomanna branch of the Potamia torrent, W. Kamvounia Mt.



Σχήμα 4. Σκαρίφημα κατά μήκος τομής των ιζηματογενών αποθέσεων της κοιλάδας του ρέματος Παλιομάννα, στην οποία φαίνεται η γλωσσουίδης λασπορροή

Figure 4. Sketch section of the mudflow deposits within the ravine of Paliomanna branch Potamia torrent, W. Kamvounia Mt.



## 8. ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Με βάση όλα τα στοιχεία που εξετασθηκαν μέχρι τώρα είναι δυνατή η ερμηνεία του σχηματισμού και της εξελίξης της ευρύτερης περιοχής των γεωμορφών αυτών, η οποία σε αδρές γραμμές ακολούθησε τις ακολούθες φάσεις (σχ. 6):

**Φάση α.** Κατά τη διάρκεια του Πλειόκαινου σε κλίμα θερμό και υγρό, με μεγάλη εξάπλωση λιμνών στη Δ. Μακεδονία, αναπτύχθηκαν στα Καμβούνια όρη ομαλές επιφάνειες επιπέδωσης και πετροπροπόδων στα πετρώματα του υπόβαθρου της Πελαγονικής (Ψιλοβίκος και Κανέτσι, 1988).

**Φάση β.** Μετά την υποχώρηση των λιμνών του Πλειόκαινου στην περιοχή των Καμβούνιων, άρχισε μια περίοδος έντονης διάβρωσης. Στο χώρο του υπόβαθρου, κυρίως των μαρμαργιακών σχιστόλιθων, οδήγησε σε κατακερματισμό και μεταφορά υλικών. Με τον τρόπο αυτό σχηματίστηκε η κοιλάδα της Ποταμιάς και οι παράπλευρες κοιλάδες των ρεμάτων Παλιομάννα, Κακόσταλος, Καρατζά, Λάκκος κ.ά. (1ος κύκλος διάβρωσης-κοιλαδογένεσης).

**Φάση γ.** Από το Βιλλαφράγκο και μέχρι το τέλος του Πλειστοκαινού έγινε έντονη αποσάθρωση, μεταφορά και απόθεση κλαστικών υλικών μέσα στις νέες κοιλάδες της Ποταμιάς. Τα υλικά αυτά πλήρωσαν τα χαμηλότερα-κεντρικά τμήματα των κοιλάδων. Αποτέθηκαν εναλλασσόμενα στρώματα κροκαλών, χαλικιών, ψηφιδών και άμμου-ιλύος, με ελαφρά κλίση προς τα κατάντη. Λόγω του χερσοχειμάρρειου χαρακτήρα των αποθέσεων αυτών και του οξειδωτικού εν γένει περιβάλλοντος απόθεσης απέκτησαν ερυθροκαφέ χρώμα και ονομάζονται σήμερα με τον περιγραφικό όρο Ερυθροστρώματα. Βασικός και συνεχής τροφοδότης σε υλικά παρέμενε το υπόβαθρο της περιοχής.

**Φάση δ.** Προς το τέλος του Πλειστοκαινού – αρχές Ολοκαινού λόγω τήξης των ορεινών παγετώνων εκδηλώθηκαν στην περιοχή σημαντικής κλίμακας φαινόμενα μεταφοράς μαζών υπό μορφή λασπορροών ή δεβριτικών ροών ή άλλων τύπων ροών (mass movements).

Λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα υλικά κινήθηκαν από τις κορυφές των Καμβούνιων (Πρ. Ηλίας, Σταυρός, κ.ά) σε γλωσσοειδούς ανάπτυξης ροές λάσπης και ανακατεμένων σε χαοτική κατάσταση λατυπών και τεμαχίων του υπόβαθρου. Η κίνηση αυτή ήταν αργή σε μια επιφάνεια με κλίση 2-4%. Λόγω της ετερογένειας του υλικού, του χαοτικού χαρακτήρα του και του υψηλού ιξώδους του, τα μεγαλύτερα υλικά κινήθηκαν στην κορυφή της ροής και παρέμειναν εκεί μετά την απόθεση με σαφή κλίση προς τα ανάντη. Ανάλογα φαινόμενα συνέβησαν στην ανατολική παρυφή του Ολύμπου την ίδια περίοδο, αλλά εκεί τα υλικά που μεταφέρθηκαν στην επιφάνεια των λασπορροών ήταν 10-50 φορές μεγαλύτερα σε μέγεθος και σε βάρος από αυτά των «Μπουχαριών» (Ψιλοβίκος, 1981 Ψιλοβίκος και Σωτηριάδης 1982).

Μετά την ολοκλήρωση της διεργασίας αυτής, η οποία μπορεί να περιλάμβανε και πολλά άλλα επεισόδια σε ένταση και χρόνο, τα υλικά των λασπορροών καλύφθηκαν από νεότερα υλικά διάβρωσης και εγκλωβίστηκαν μέσα στα γεμίσματα της κοιλάδας.

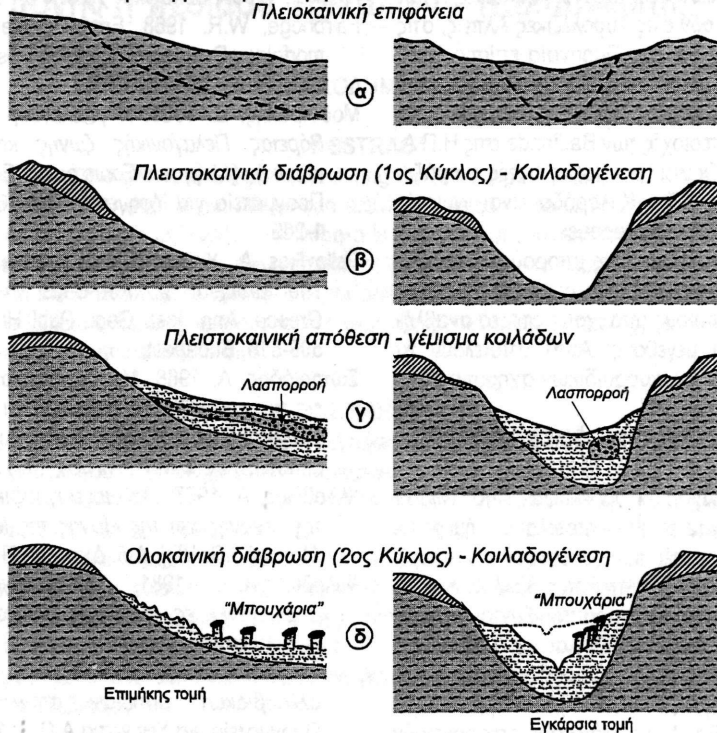
Φάση δ. Κατά τη διάρκεια του Ολοκαινού λόγω κλιματικών και τεκτονικών μεταβολών άρχισε η έντονη διάβρωση των πλειστοκαινικών αποθέσεων που είχαν γεμίσει τις κοιλάδες (μαζί με τις γλώσσες των λασπορροών). Οι νέες ποτάμιες κοιλάδες που σιγά-σιγά διανοίχτηκαν αποκάλυψαν στα πλευρά τους τα στρώματα των υλικών τόσο των Ερυθροστρωμάτων όσο και των λασπορροών (2ος κύκλος διάβρωσης-κοιλαδογένεσης). Έτσι σχηματίστηκαν οι κωνικές ή αυλακοειδείς μορφές στα Ερυθροστρώματα και οι στυλλοειδείς ή μανιταροειδείς μορφές στα «Μπουχάρια».

Λόγω της συνεχιζόμενης εκβάνυσης των κοιλάδων από τους διαβρωτικούς παράγοντες τα υλικά απομακρύνονται. Όπου όμως υπάρχει μεγάλο τέμαχος πέτρας αυτό δεν μπορεί να απομακρυνθεί αλλά παραμένει στη θέση του, προστατεύοντας κατ' αυτό τον τρόπο και το υποκείμενο υλικό που καλύπτει. Να γιατί οι κορυφές των «Μπουχαριών» έχουν τις μεγάλες πέτρες ως προστατευτικά καλύμματα, ενώ τα γύρω από αυτές υλικά απομακρύνονται. Το στυλλοειδές ή μανιταροειδές σχήμα τους δείχνει

έντονη κατά βάθος διάβρωση όλου του υλικού στα πλευρά των κοιλάδων.

Λόγω του ότι τα υλικά πλήρωσης των κοιλάδων είναι χαλαρά έως ημισυνεκτικά, απομακρύνονται εύκολα από τη διαβρωτική δύναμη

των σταγόνων της βροχής και της ροής του νερού στη βάση των στύλων και καταλήγουν στην κοίτη των ρεμάτων όπου και μεταφέρονται προς τον Αλιάκμονα.



Σχήμα 6. Φάσεις εξέλιξης της κοιλαδογένεσης και σχηματισμού «Μπουχαριών» στα Καμβούνια.

α) Αρχική κατάσταση της επιφάνειας των Καμβουνίων

β) Διάβρωση υπόβαθρου και σχηματισμός της κοιλάδας της Ποταμιάς (1ος κύκλος διάβρωσης – κοιλαδογένεσης)

γ) Απόθεση υλικών διάβρωσης και πλήρωση της κοιλάδας της Ποταμιάς. Εκδήλωση φαινομένων λασποροών και πρόσχωση αυτών.

δ) Διάβρωση υποβάθρου και υλικών πλήρωσης της κοιλάδας της Ποταμιάς, σχηματισμός «Μπουχαριών» (2ος κύκλος διάβρωσης – κοιλαδογένεσης)

Figure 6. Evolution phases of the relief and exogenic processes in the area of the Mt. Kamvounia after the Pliocene

Στις περιπτώσεις που το προστατευτικό κάλυμμα έχει απομακρυνθεί η διάβρωση των στυλοειδών μορφών είναι ταχύτατη.

Αυτό δείχνει πόσο ευάλωτα είναι τα «Μπουχάρια» στις φυσικές διεργασίες διάβρωσης.

Στη διεθνή βιβλιογραφία οι γεωμορφές αυτές είναι γνωστές ως (earth pillars or Pyramides) γήινες στήλες ή γήινοι στύλοι πυραμίδες (Fairbridge 1968). Στις περιοχές μάλιστα των Γαλλικών Άλπεων ονομάζονται «Μυθικές Καμινάδες». Απαντούν στις Τυρολέζικες Άλπεις, στις Ιταλικές Άλπεις και στα Πυρηναία επίσης. Εκεί, τα μοραϊνικά υλικά των αλπικών παγετώνων που έχουν γεμίσει τις κοιλάδες, διαβρώνονται σήμερα. Στις περιοχές των Badlands στις Η.Π.Α. (Ν. Ντακότα, Γιούτα) οι μορφές αυτές ονομάζονται «Hoosdoos». Στο Κολοράδο είναι γνωστές με το ινδιάνικο όνομα «terpees».

Παρόμοιες γεωμορφές μπορούν να σχηματιστούν και σε ηφαιστειακές αποθέσεις τόφων μέσα στους οποίους υπάρχουν στερεά αναβλήματα μεγάλου μεγέθους. Αυτά αποτελούν τα καλύμματα των γεωπυραμειδικών σχηματισμών.

## 9. ΤΑ «ΜΠΟΥΧΑΡΙΑ» ΩΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ ΜΝΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ

Τα «Μπουχάρια» προέκυψαν από καθαρά φυσικές διεργασίες και αποτελούν σήμερα ιδιαίτερες γεωμορφές που διαφέρουν και ξεχωρίζουν από το τοπικό φυσικό περιβάλλον. Ανάλογες μορφές της φύσης χαρακτηρίζονται ως γεώτοποι και εφόσον συνδέονται με μύθους ως γεωμυθότοποι. Λόγω της μορφής και της κατασκευής τους έχουν μνημειακό χαρακτήρα και για το λόγο αυτό θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως μνημειακοί γεωμυθότοποι.

Τα στοιχεία αυτά επιβάλλουν την αξιολόγησή τους και την αξιοποίησή τους, στα πλαίσια βέβαια του ευρύτερου τοπίου και της φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η προσπάθεια αυτή απαιτεί ιδιαίτερα σοβαρή πολυκλαδική μελέτη, η οποία δεν μπορεί να γίνει στα πλαίσια της επιστημονικής αυτής εργασίας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βαβλιάκης, Ε. 1981. *Μελέτη των επιφανειών διάβρωσης, καρστικών, παγετωδών μορφών του όρους Μενοικίου στην Α. Μακεδονία από γεωμορφολογικής και μορφογενετικής πλευράς*. Διδ. Διατ. Α.Π.Θ. 1-192

- Γ.Υ.Σ., 1970. *Τοπογραφικοί χάρτες 1:50.000, φύλλα ΛΙΒΑΔΕΡΟ και ΔΕΣΚΑΤΗ*  
Τοπογραφικά διαγράμματα 1:5.000 φύλλο ΛΙΒΑΔΕΡΟ.
- Ι.Γ.Μ.Ε., 1983. *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας*.
- Fairbridge, W.R. 1968. *Encyclopedia of Geomorphology*. Dowden-Hutchinson-Ross, Strassburg, Penn., 1245 p.
- Μουντράκης, Δ. 1983. *Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων*. Πραγματεία για Υψηγασία, Παν. Θεσ/νίκης, 1-289.
- Psilovikos, A., Koufos G. and Syrides G. 1987. *The problem of Red-Beds in Northern Greece*. Ann. Inst. Geol. Publ. Hung. LXX, 509-516, Budapest.
- Σωτηριάδης, Λ. 1968. *Μορφογενετικά έρευνα, εις την κοιλάδα του Κρουσοβίτου παρά το Σιδηρόκαστρον Α. Μακεδονίας*. Διδ. Διατ. Επιστ. Επετ. Φ.Μ.Σ., Α.Π.Θ., 10, 1, 1-62.
- Ψιλοβίκος, Α. 1977. *Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά-Βόλβη)*. Διδ. Διατ., Α.Π.Θ. 1-156.
- Ψιλοβίκος, Α. 1981. *Γεωμορφολογικές, μορφογενετικές τεκτονικές, ιζηματολογικές και κλιματικές διεργασίες που οδήγησαν στο σχηματισμό και στην εξέλιξη συνθέτων αλλουβιακών ριπιδίων στον Όλυμπο*. Πραγματεία για Υψηγασία Α.Π.Θ. 1-160.
- Ψιλοβίκος, Α. Α. και Σωτηριάδης Λ. Δ. 1982. *Περί των χερσαίων ολισθολίθων στην ανατολική παρυφή του Ολύμπου*. Δελ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. XVI, 196-213.
- Ψιλοβίκος Α. και Κανέστη, Ε., 1989. *Εξάπλωση και παλαιογεωγραφική σημασία των επιφανειών επιπέδωσης στους ορεινούς όγκους της Πελαγονικής μάζας*. Δελτ. Ελλ. Εταιρ., XXII/1, 279-278.

## Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας και η χρήση της στον φυσικό και αστικό σχεδιασμό. Παράδειγμα εφαρμογής η πεδιάδα Τρικάλων – Καλαμπάκας.

ΜΠΑΘΡΕΛΛΟΣ Γ.<sup>1</sup>, ΣΚΥΛΟΔΗΜΟΥ Χ.<sup>1</sup> ΚΑΙ ΚΑΚΑΛΙΚΑ Π.<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Floods are part of the geomorphologic cycle during the landscape formation. The flooding events may become dangerous when affect the human activities. Hence, a certain methodology to assess the flooding risk for the basin of Trikala - Kalambaka is presented above, and a flood hazard map has been produced. The method used for the definition of locations prone to flooding combines the study of the relief with the mechanical composition of the soil. In this paper, the towns and settlements that are vulnerable to future flooding events. In this way, the contribution of geology to the urban and natural planning is of outmost importance.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πλημμύρες αποτελούν ένα τμήμα του γεωμορφολογικού κύκλου κατά τη διαμόρφωση του τοπογραφικού αναγλύφου. Τα πλημμυρικά φαινόμενα γίνονται επικίνδυνα όταν επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Για το λόγο αυτό για στην πεδιάδα Τρικάλων – Καλαμπάκας παρουσιάζεται ένας τρόπος εργασίας για την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Αντίστοιχα, σχεδιάστηκε ο χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό των ευάλωτων σε πλημμύρες θέσεις είναι συνδυασμός της μελέτης του μορφολογικού αναγλύφου και της μηχανικής σύστασης του εδάφους. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται επίσης οι πόλεις και οι οικισμοί που είναι πιθανό να πληγούν και στο μέλλον από πλημμυρικά φαινόμενα. Έτσι καταδεικνύεται η αναγκαιότητα της ανάδειξης του ρόλου της γεωλογίας στο χωροταξικό σχεδιασμό.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η πλημμυρική επικινδυνότητα του πεδινού τμήματος του Νομού Τρικάλων (σχήμα 1). Το τμήμα αυτό ονομάζεται πεδιάδα Τρικάλων – Καλαμπάκας. Η πεδιάδα αναπτύσσεται αρχικά με μια γενικευμένη διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ και ύστερα, μετά την πόλη των Τρικάλων, στρέφεται και η διεύθυνσή της γίνεται Α – Δ. Η διεύθυνση αυτή ακολουθεί τη γενική διάταξη των ορέων από τα οποία περιστοιχίζεται (Κόζιακας, Χάσια, Αντιχάσια, Ίταμος). Η πεδιάδα διαρρέετα από τον Πηνειό ποταμό και δομείται γεωλογικά από Τεταρτογενείς αποθέσεις. Τροφοδοτείται με

υλικό από τους παραποτάμους του Πηνειού ποταμού, Μαλακασιώτη, Καστανιώτη, Ίωνα, Ληθαίο, Ανάποδο, Πορταϊκό και άλλους μικρότερους. Η περιοχή, η οποία μελετήθηκε, αρχίζει βόρεια από το σημείο που συμβάλουν ο Μαλακασιώτης, ο Καστανιώτης και ο Ίωνας σχηματίζοντας τον Πηνειό ποταμό (βορειοδυτικά της πόλης της Καλαμπάκας) και φτάνει έως την φυσική παλαιά συμβολή του Πηνειού ποταμού με τον Ληθαίο.

### FLOOD RISK ASSESSMENT AND ITS USAGE IN NATURAL AND URBAN PLANNING. THE CASE STUDY OF THE PLAIN OF TRIKALA – KALAMBAKA.

<sup>1</sup> Department of Geography - Climatology, Faculty of Geology and Geo-environment, School of Sciences, National and Kapodistrian University of Athens, 15784, University Campus, Zografou, Athens, g bathrellos@geol.uoa.gr, hskilodimou@euof.uoa.gr

<sup>2</sup> University Research Institute of "Urban Environment and Human Resources", Panteion University of Athens, 14<sup>th</sup> Aristotelous str., 17671, Kallithea, Athens, panagiota@panteion.gr



Σχήμα 1: Η περιοχή μελέτης

## 2. ΠΑΛΑΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Το πεδινό τμήμα της λεκάνης απορροής του Πηνειού και των παραποτάμων του μασιζόταν παλαιότερα από το έντονο πρόβλημα των πλημμυρών, χωρίς να έχει εξαλειφθεί αυτό εντελώς και σήμερα, ύστερα από τα πολλά εγχειροβελτιωτικά έργα, τα οποία σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν.

Σε πολλά ιστορικά κείμενα καταγράφονται και αναφέρονται πολλές πλημμύρες των ποταμών Πηνειού και Ληθαίου. Οι πλημμύρες αυτές κατά την εκδήλωσή τους προκαλούσαν πάρα πολλές καταστροφές στις περιουσίες των κατοίκων (καταστήματα, πλινθόκιστα σπήτιακτίσματα, καλλιέργειες, κλπ), στα δημόσια έργα (πετρόκτιστες και ξύλινες γέφυρες, δρόμους, κλπ) και απώλειες σε ανθρώπινες ζωές και στο ζωικό κεφάλαιο.

Αποκορύφωμα αυτών των ιστορικών πλημμυρών ήταν η πλημμύρα της 5<sup>ης</sup> Ιουνίου 1907, κατά την οποία καταστράφηκε το μεγαλύτερο μέρος της πόλης των Τρικάλων και παρόλες τις διαφορετικές και αντικρουόμενες αναφορές για τα θύματα (που κάποιες τα ανεβάζουν πάνω από 500) και τις ζημιές, είναι σίγουρο ότι συνολικά περισσότερα από 100 άτομα πνίγηκαν σε αυτή και πάνω από 1200 σπίτια και μαγαζιά καταστράφηκαν (Μπαθρέλλος 2005).

Όπως αναφέρει ο Θ. Τριανταφύλλου (1976): «...η πλημμύρα εκείνη έμεινε ιστορική. Από τότε, άλλη τέτοια καταστρεπτική πλημμύρα δεν σημειώθηκε. Πάντοτε όμως κάθε φθινόπωρο, με τα δυνατά πρωτοβρόχια, και κάθε άνοιξη, όταν έλειωναν τα χιόνια και ξεσπούσαν καταιγίδες και νεροποντές, τα νερά του Ληθαίου θύμωσαν, ξεχείλιζαν αφρισμένα και τότε παρέσερναν γέφυρες και πότε κατέκλυζαν εκτάσεις στις συνοικίες .....»

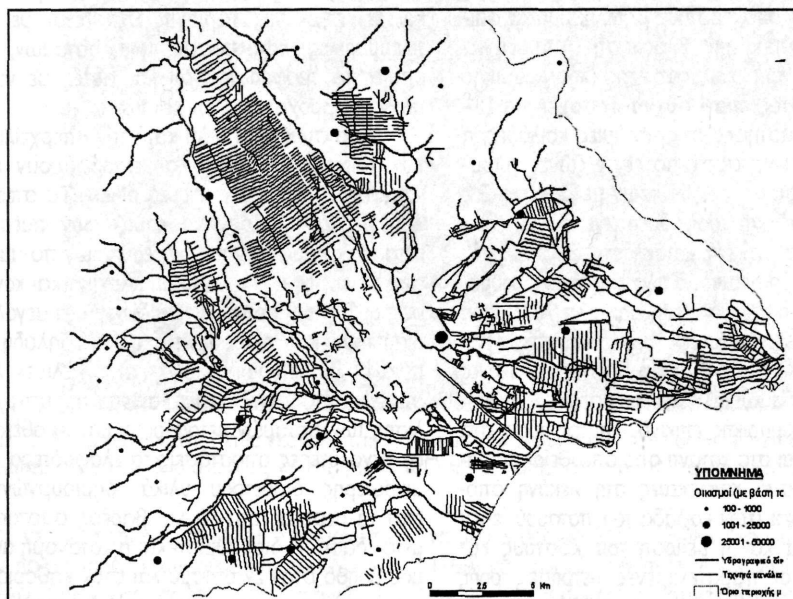
## 3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Τα τελευταία χρόνια μια σειρά μεγάλων τεχνικών έργων έχουν πραγματοποιηθεί στον Πηνειό ποταμό σε όλη τη Θεσσαλία (Ψιλοβίκος 1991). Αντίστοιχα και στην πεδιάδα Τρικάλων – Καλαμπάκας σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν σειρά εγχειροβελτιωτικών έργων. Αυτά τα εγχειροβελτιωτικά και αποστραγγιστικά έργα περιλαμβάνουν κατασκευή αρδευτικών καναλιών, φραγμάτων, λιμνο-δεξαμενή στο Λογγά, εκτροπές των κοιτών του Ληθαίου κλπ (σχήμα 2). Παρόλα αυτά τα έργα και σύμφωνα με ετήσιες εκθέσεις της Διεύθυνσης Εγγείων Βελτιώσεων της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Τρικάλων, ύστερα από επιτόπιες καταγραφές, σημαντικότερα προβλήματα από πλημμύρες αντιμετωπίζει ο Νομός Τρικάλων κάθε χρόνο, με οξύ-



τερο πρόβλημα να αντιμετωπίζουν οι περιοχές των οικισμών Ζάρκου, Πηνειάδας, Κεραμιδίου, Φαρκαδόνας, Κλοκωτού, Γριζάνου, Γεωργανάδων, Μεγάλων Καλυβίων, Δενδροχωρίου, Βαλτινού, Φήκης και Παραποτάμου.

Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να γίνει εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής. Με βάση τα αποτελέσματα της εκτίμησης είναι δυνατόν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν τα κατάλληλα συμπληρωματικά εγχειοβελτιωτικά έργα.



Σχήμα 2: Χάρτης των εγχειοβελτιωτικών έργων (καναλιών) στην πεδιάδα Τρικάλων - Καλαμπάκας (Μπαθρέλλος 2005)

### 3.1 Μεθοδολογία

Η εκδήλωση ενός πλημμυρικού φαινομένου είναι αποτέλεσμα της συνδυαστικής δράσης πολλών παραμέτρων - παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται με τον όγκο και τη ραγδικότητα των βροχοπτώσεων, την εδαφική κατείδυση, την παροχή και την επιφανειακή απορροή του υδρογραφικού δικτύου, τη μορφολογία και πολλούς άλλους παράγοντες.

Για την εκτίμηση των φυσικών κινδύνων από πλημμύρες και την πρόληψη των καταστροφών, καθώς και τον εντοπισμό και τον καθορισμό των ευάλωτων θέσεων στα πλημμυρικά φαινόμενα, έχουν διατυπωθεί διάφορες μεθοδολογικές προσεγγίσεις του προβλήματος αυτού.

Η εκτίμηση των φυσικών κινδύνων από πλημμύρες και ο σχεδιασμός χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας για μια ιδιαίτερη λεκάνη

αποστράγγισης μπορεί να αποβεί δύσκολος και δαπανηρός. Γενικά, οι χάρτες αυτοί, παράγονται από ανάλυση των δεδομένων ροής του ρεύματος με βάση αρχές υδρολογίας, από αξιόπιστους σταθμούς με αρκετά χρόνια καταγραφής. Παρόλα αυτά, τα δεδομένα ροής δεν είναι διαθέσιμα σε πολλές περιπτώσεις, ειδικά όταν πρόκειται για μικρά ρεύματα, και έτσι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές πηγές δεδομένων για να εκτιμηθεί η πλημμυρική επικινδυνότητα. Οι πλημμύρες μπορούν να χαρτογραφηθούν από αεροφωτογραφίες οι οποίες λήφθηκαν κατά τη διάρκεια πλημμυρών ή μπορούν να υπολογιστούν από την υψηλή στάθμη του νερού και από τις αποθέσεις των πλημμυρικών γεγονότων στην λεκάνη κατάκλισης, οι οποίες μετρήθηκαν στην ύπαιθρο μετά την υποχώρηση του νερού.

Προσεκτική μελέτη των εδαφών και της βλάστησης μπορεί επίσης να βοηθήσει στην εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Τα εδάφη στις λεκάνες κατάκλυσης είναι συχνά διαφορετικά από τα εδάφη στα ανάντι, και, με ευνοϊκές συνθήκες, συγκεκριμένα εδάφη μπορούν να συσχετιστούν με πλημμυρικά φαινόμενα. Ο τύπος της βλάστησης μπορεί να διευκολύνει την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας, γιατί συχνά υπάρχει μια ζώνωση της βλάστησης στις ποτάμιες κοιλάδες, η οποία μπορεί να συσχετιστεί με ζώνες πλημμύρας. Κάποιοι τύποι δέντρων με ρηχές ρίζες απαιτούν άφθονη τροφοδοσία νερού και επωφελούνται από συχνή κατάκλυση. Συνήθως, τα δέντρα αυτά βρίσκονται δίπλα στις όχθες ρευμάτων, τα οποία συχνά πλημμυρίζουν. Άλλα είδη δέντρων περιορίζονται σε καλής αποστράγγισης εδάφη, χωρίς συχνές ή παρατεταμένες πλημμύρες. Τα κύρια πλεονεκτήματα της εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας τόσο στα ανάντι όσο και στα κατόπι από απευθείας παρατήρησης ή από κατασκευές στη λεκάνη αποστράγγισης και στην κοιλάδα του ποταμού, είναι η αξιοπιστία και η μείωση του κόστους και αυτό γιατί οι παρατεταμένες μετρήσεις ροής κοστίζουν περισσότερο και, σε πολλές περιπτώσεις, είναι ανέφικτες (ΛΕΚΚΑΣ, 2000).

Στις αστικές περιοχές, η ακρίβεια της χαρτογράφησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας, η οποία βασίζεται εξολοκλήρου σε δεδομένα ροής ρευμάτων είναι αμφισβητήσιμη. Ένας βελτιωμένος χάρτης μπορεί να παραχθεί, υποθέτοντας την ύπαρξη αστικών συνθηκών με προϋπολογισμένο το ποσοστό των αδιαπέρατων επιφανειών. Έτσι, ένας θεωρητικός χάρτης, μπορεί να παραχθεί για παράδειγμα για πλημμύρες με περίοδο επανάληψης 100 χρόνια (ΛΕΚΚΑΣ, 2000).

Για την εκτίμηση των φυσικών κινδύνων από πλημμύρες και τον σχεδιασμό χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας, στην συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιήθηκε η μελέτη της μορφολογίας και της μηχανικής σύστασης του εδάφους της λεκάνης κατάκλυσης. Μελετώντας τη σύσταση του εδάφους είναι εύκολο να εντοπίσουμε τα σημεία του πεδινού τμήματος της περιοχής μελέτης, τα οποία πλημμυρίζουν και συγκερατούν ποσότητες νερών σε περιπτώσεις υπερχειλίσης των ποταμών ή ραγδαίας βροχόπτωσης.

Γενικά οι μεγάλες εμφανίσεις των εδαφών μέσης και βαριάς σύστασης οφείλονται κύρια στις πλημμυρικές εξάρσεις των ποταμών και δευτερευόντως στην ύπαρξη παλαιών ελών στην περιοχή μελέτης. Αξιοσημείωτο είναι ότι και η τροφοδότηση των παλαιών ελών, βάλτων και τελμάτων της περιοχής συνδέεται με τις πλημμυρικές καταστάσεις των ποταμών, οι οποίες τα τροφοδοτούσαν και αυτές με νερό πλην των βροχοπτώσεων και των πηγών.

Αυτό συμβαίνει διότι κατά την υπερχειλίση των ποταμών, τα νερά συμπαρασύρουν και μεταφέρουν μαζί τους στερεά υλικά. Τα στερεά αυτά υλικά αρχίζουν να καθιζάνουν αμέσως μετά την απομάκρυνση των νερών των ποταμών από τις κοίτες των τελευταίων. Αρχικά και κοντά στις όχθες των ποταμών καθιζάνουν τα μεγάλης διαμέτρου και χονδρόκοκκα υλικά, δηλαδή οι μεγάλοι διαμέτρου κροκάλες και οι χάλικες. Στη συνέχεια της πορείας τους τα νερά της υπερχειλίσης των ποταμών μεταφέρουν και αποθέτουν σε μεγαλύτερες αποστάσεις τα ελαφρότερα και μικρότερης διαμέτρου υλικά, δημιουργώντας έτσι τα μεσαία αρχικά και βαρέα σύστασης μετά εδάφη. Η διαβάθμιση και η κατανομή αυτή μας βοηθά στον εντοπισμό και στον καθορισμό των σημείων τα οποία πλημμυρίζουν και στα οποία συγκεντρώνονται νερά.

### 3.2 Κατασκευή χαρτών μηχανικής σύστασης του εδάφους της λεκάνης κατάκλυσης

Το μέγεθος των στερεών ανόργανων υλικών ποικίλει από αρκετά μεγάλο, όπως πέτρες και χαλίκια, έως πολύ μικρό, όπως κόκκοι ευδιάκριτοι μόνο με τη χρήση μικροσκοπίου. Τα στερεά υλικά του εδάφους κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους ανεξάρτητα από τη χημική και ορυκτολογική σύστασή τους. Τα υλικά αυτά διακρίνονται στους λίθους (με τεμαχίδια διαμέτρου μεγαλύτερης των 20 χιλιοστών), στους χάλικες (με τεμαχίδια διαμέτρου μεταξύ των 2 και των 20 χιλιοστών) και τη λεπτή γη (με τεμαχίδια διαμέτρου μικρότερης των 2 χιλιοστών) (φωτογραφία 1). Η λεπτή γη ενός εδάφους στην πραγματικότητα δεν αποτελείται μόνο από ένα μηχανικό κλάσμα, αλλά από μίγμα κάποιου συγκεκριμένου ποσοστού

καθ' ενός από τα τρία κλάσματα της άμμου, της ιλύος και της αργίλου. Οι δυνατοί συνδυασμοί της ποσοστιαίας κατά βάρος, συμμετοχής των τριών κλασμάτων έχουν ομαδοποιηθεί σε συγκεκριμένες κατηγορίες, τις κλάσεις μηχανικής

συστάσεως, στις οποίες και τελικώς κατατάσσονται τα εδάφη (μετά τον προσδιορισμό της επί τοις εκατό περιεκτικότητας τους σε άμμο, ιλύ και άργιλο) (Καλύβας 2003).



Φωτ. 1: Εδαφικός ορίζοντας από εκσκαφή στη πόλη των Τρικάλων, στον οποίο φαίνονται επιχώσεις (Α) στον ανώτερο ορίζοντα, δύο στρώσεις λεπτής γης (Β & Γ) και μια ανάμικτη στρώση χαλικών και λεπτής γης (Δ).

Οι αστικές περιοχές, αλλά και η πλειονότητα των πολυπληθέστερων οικισμών του Νομού Τρικάλων, βρίσκονται σήμερα στην πεδινή περιοχή του άξονα Τρικάλων – Καλαμπάκας – Φαρκαδόνας. Στο κεφάλαιο αυτό μελετήθηκε το εδαφικό κάλυμμα της περιοχής αυτής. Στο πεδινό τμήμα της περιοχής μελέτης, όπως έχει προαναφερθεί, εμφανίζονται Τεταρτογενείς αποθέσεις. Έτσι όπως γίνεται αντιληπτό είναι σημαντική η έρευνα του επιφανειακού αυτού τμήματος της γης, το οποίο φιλοξενεί την οικιστική υποδομή του ανθρώπου, αλλά και το μεγαλύτερο ποσοστό από το σύνολο των δραστηριοτήτων του. Άλλωστε είναι γνωστό το παγκόσμιο ενδιαφέρον των γεωλόγων για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.

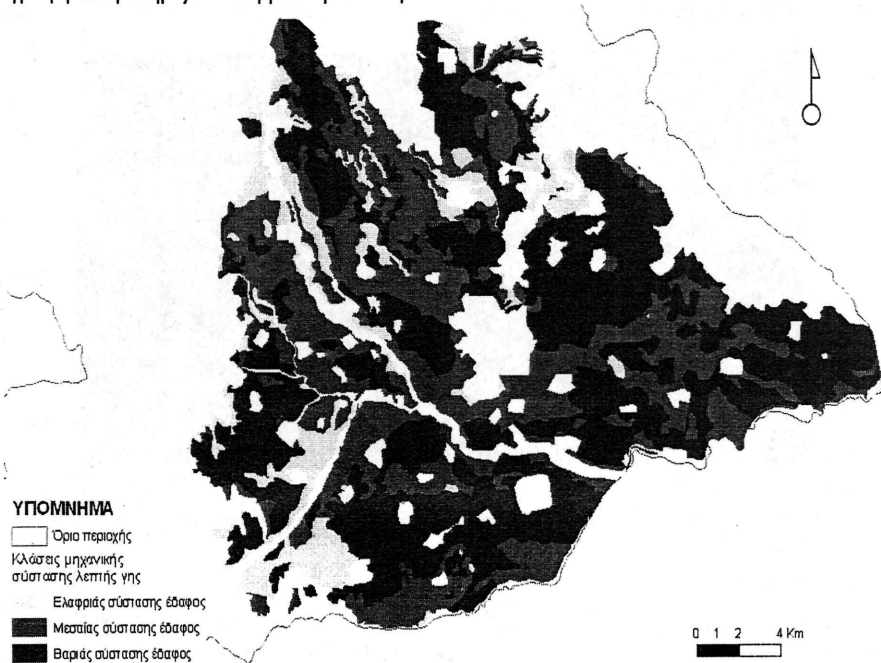
Με βάση τα πρωτογενή στοιχεία, που προέρχονται από το Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας (Ι.Χ.Τ.Ε.Λ.) του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.), τους χάρτες Κλάσεων Εδαφών, κλίμακας 1:50.000, φύλλα «Τρίκαλα», «Καλαμπάκα», «Μουζάκι» και «Καρδίτσα», έκδοσης 1999 του Ι.Χ.Τ.Ε.Λ., το «Σχέδιο δράσης των ευαίσθητων περιοχών της Θεσσαλίας, σύμφω-

να με την οδηγία 91/676/ΕΟΚ» (Καρυώτης *et al.* 1999) και την «Ομαδοποίηση εδαφικών κλάσεων για τις ανάγκες του συνταχθέντος σχεδίου δράσης νιτρορύπανσης της Θεσσαλίας» (Καρυώτης *et al.* 2001), έγινε κατάταξη των εδαφών της περιοχής μελέτης σε τρεις εδαφικές κλάσεις ελαφριάς, μέτριας και βαριάς σύστασης και αποτυπώθηκαν στο χάρτη του σχήματος 3.

Η κατάταξη και η αποτύπωση των εδαφών της περιοχής μελέτης, βασισμένη στις παραπάνω πηγές, έγινε για να καταγραφεί η διαβάθμιση του εδαφικού καλύμματος, το οποίο δεν είναι ενιαίο σε όλο το τμήμα της συγκεκριμένης περιοχής. Η διαβάθμιση αυτή είναι χρήσιμη, επικουρούμενη και από άλλα στοιχεία, για να χρησιμοποιηθεί σε γενικές γραμμές τόσο στη μελέτη και την μείωση της ρύπανσης των εδαφών (π.χ. νιτρορύπανση), όσο και στην οργάνωση και το σχεδιασμό των αγροτικών καλλιεργειών. Επίσης η γνώση της διαβάθμισης του εδαφικού καλύμματος είναι χρήσιμη για τον σχεδιασμό της εξάπλωσης του αστικού ιστού και τις θεμελιώσεις των κατασκευών σε αυτόν. Σύμφωνα με την κατάταξη των εδαφών, που απεικονίζεται στο χάρτη του σχήματος 3, ακολουθεί μια περι-

γραφή του εδαφικού καλύμματος της πεδινής περιοχής του νομού Τρικάλων, και συγκεκριμένα της πεδιάδας Τρικάλων - Καλαμπάκας. Η περιγραφή αυτή στηρίζεται στη μελέτη και στην

κατάταξη του εδάφους σε κλάσεις ή κατηγορίες μηχανικής συστάσεως των εδαφών, έως το βάθος του ενάμισι μέτρου.



Σχήμα 3: Συνθετικός χάρτης κατάταξης των εδαφών στη πεδιάδα Τρικάλων - Καλαμπάκας, βασισμένος σε στοιχεία του Ι.Χ.Τ.Ε.Λ. και τους χάρτες Κλάσεων Εδαφών, κλίμακας 1:50.000, φύλλα «Τρίκαλα», «Καλαμπάκα», «Μουζάκι» και «Καρδίτσα», έκδοσης 1999 του Ι.Χ.Τ.Ε.Λ., καθώς και σε παρατηρήσεις κατά την εργασία υπαίθρου (Μπαθρέλλος 2005).

Ελαφριάς σύστασης ή αμμώδη ή χονδρόκοκκα εδάφη εμφανίζονται κύρια κοντά στους πρόποδες των ορέων Ιτάμου, Κόζιακα και Αντιχασίων, καθώς και συνδυαστικά κοντά στις κοίτες των ποταμών Πορταϊκού, Πηγειού, Πάμισου, Αγιαμονιώτη και Ληθαίου. Έτσι μεγάλες εμφανίσεις αμμωδών εδαφών καταγράφηκαν στα νοτιοδυτικά και στα βορειοδυτικά του χάρτη του σχήματος 3, δηλαδή στην συμβολή του Πορταϊκού με τον Πηγειό Ποταμό και κατά μήκος της ροής του Πηγειού, του Ληθαίου και του Αγιαμονιώτη ποταμού.

Μέσης σύστασης ή πηλώδη εδάφη εμφανίζονται διάσπαρτα και σε μεγάλη έκταση σε όλα τα τμήματα της πεδινής περιοχής μεταξύ Τρικάλων - Καλαμπάκας. Κύρια οι εμφανίσεις των

εδαφών αυτών καταγράφονται μεταξύ αυτών της ελαφριάς και εκείνων της βαριάς σύστασης.

Τα βαριάς σύστασης ή αργιλώδη ή λεπτόκοκκα εδάφη καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση από αυτά που μελετήθηκαν. Μεγάλες εμφανίσεις αυτών των εδαφών παρουσιάζονται στο ανατολικό, στο βορειοανατολικό και το νοτιοδυτικό τμήμα του χάρτη του σχήματος 3. Αξιοσημείωτο είναι οι εμφανίσεις των εδαφών αυτών στο δυτικό και στο βορειοδυτικό τμήμα του χάρτη. Η μεγάλη εμφάνιση των λεπτόκοκκων εδαφών στο βορειοανατολικό και στο ανατολικό τμήμα του χάρτη οφείλεται στην παλαιή ύπαρξη εκτάσεων με έλη, τα οποία προϋπήρχαν στην περιοχή αυτή.

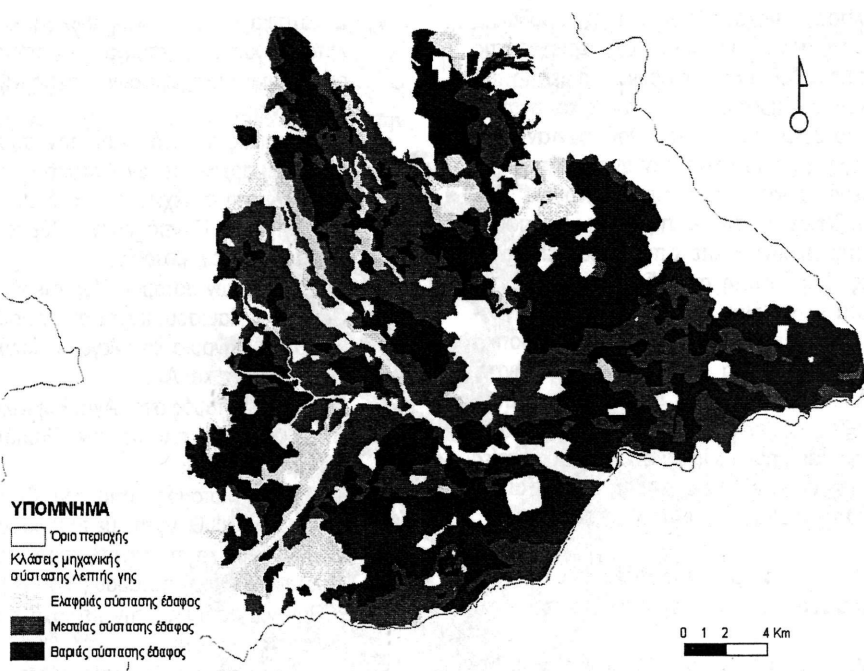
Στον χάρτη του σχήματος 3 το λευκό χρώμα μεταξύ των καταγεγραμμένων χρωματισμέ-

νων κλάσεων μηχανικής σύστασης, υποδηλώνει είτε τις αστικές και οικιστικές περιοχές στις οποίες ήταν δύσκολη έως αδύνατη η μελέτη του εδαφικού καλύμματος, είτε σε κοίτες και αναχώματα ποταμών τα οποία αποτελούνταν από αδρομερή ή φερτά υλικά των αναχωμάτων. Τα αδρομερή υλικά, όπως προαναφέρθηκε δεν περιλαμβάνονται στη λεπτή γη των εδαφών, αλλά αποτελούνται είτε από λίθους είτε από χάλικες. Στην μελέτη αυτή δεν προσμετρώνται τα φερτά υλικά, διότι θα οδηγούσαν σε λανθασμένα αριθμητικά αποτελέσματα και ποιοτικά συμπεράσματα. Στα συγκεκριμένα, άλλωστε, σημεία είναι δύσκολη έως αδύνατη η ανάπτυξη οποιασδήποτε συνήθους ανθρώπινης δραστηριότητας και η ανέγερση κατασκευών, οι οποίες θα εξυπηρετούσαν την ανάπτυξη αυτή, εξαιτίας της ύπαρξης του υδρογραφικού δικτύου.

### 3.3 Καθορισμός των ευάλωτων θέσεων σε πλημμύρες με βάση τη σύσταση του εδάφους

Με τη μέθοδο αυτή καταγράφονται οι θέσεις στις οποίες το έδαφος είναι βαριάς σύστασης και πιστοποιούνται προσεγγιστικά οι πεδινές περιοχές, οι οποίες πλημμυρίζουν. Έτσι στην πεδινή ζώνη γύρω από την πόλη των Τρικάλων, οι ευάλωτες θέσεις σε πλυμμυρικά φαινόμενα είναι:

- η περιοχή της Βασιλικής (θέση 1 του σχήματος 4),
  - η περιοχή μεταξύ της Ράξας και του Ριζώματος (θέση 2), η οποία ήταν και παλαιός βάλτος,
  - η περιοχή της Σωτήρας (θέση 3),
  - η περιοχή της Φιλύρας (θέση 4),
  - η περιοχή του Κεφαλόβρυσου (θέση 5),
  - η περιοχή μεταξύ του Δροσερού και των Μεγάλων Καλυβίων (θέση 6), στην οποία υπήρχαν και αρκετοί παλαιοί βάλτοι,
  - η περιοχή της Αγίας Κυριακής (θέση 7),
  - η περιοχή του Παλαιόπυργου (θέση 8), η οποία ήταν και παλαιός βάλτος, και
  - η περιοχή του Πετρόπορου (θέση 9), η οποία ήταν και παλαιός βάλτος.
- Συνοπτικά λοιπόν, επισημαίνονται και καταγράφονται τα σημεία στα οποία οι ποταμοί υπερχειλίζουν. Τα σημεία αυτά είναι:
  - ο Πορταϊκός ποταμός κατά την συμβολή του αρχικά με τον Ανάποδο ποταμό και στη συνέχεια σε μικρή απόσταση με τον Πηνειό ποταμό (θέσεις Α<sub>1</sub> και Α<sub>2</sub> του σχήματος 4),
  - το τρίγωνο των ποταμών Πορταϊκού – Πηνειού – Παμίσου, κοντά στα χωριά Δροσερό, Λυγαριά και Μεγάλα Καλύβια (θέσεις Α<sub>3</sub> και Α<sub>4</sub>),
  - ο Πηνειός ποταμός στην Αγία Κυριακή στην συμβολή του με τον Πάμισο ποταμό (θέση Β<sub>1</sub>),
  - ο Πηνειός ποταμός νότια του Ριζαρείου στην συμβολή του με το Αγιαμονιώτικο Ρέμα και τη τεχνητή κοίτη (κανάλι) του Ληθαίου ποταμού (θέση Β<sub>2</sub>),
  - ο Πηνειός ποταμός στην περιοχή του Πετρόπορου (θέση Γ),
  - ο Ληθαίος ποταμός βόρεια του Μεγαλοχωρίου και ανατολικά της πόλης των Τρικάλων (θέση Δ<sub>1</sub>),
  - το υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο αποστραγγίζει το νότιο τμήμα του όρους των Αντιχασίων στον Παλαιόπυργο και στο Ριζώμα (θέσεις Δ<sub>2</sub> και Ε<sub>2</sub>),
  - ο Ληθαίος ποταμός στην περιοχή νοτιοανατολικά της Ράξας (θέση Ε<sub>1</sub>),
  - ο Πηνειός ή / και ο Ληθαίος ποταμός στην περιοχή ανάμεσα στη Βασιλική και στους Αγίους Αποστόλους (θέση Ζ<sub>1</sub>),
  - ο Πηνειός ποταμός στην περιοχή της Μεγάρχης (θέση Ζ<sub>2</sub>),
  - ο Πηνειός ποταμός στην περιοχή ανάμεσα στο Κεφαλόβρυσο και το Διπόταμο (θέση Η),
  - το υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο αποστραγγίζει το ανατολικό τμήμα του Κερκήτιου όρους (Κόζιακα) στην περιοχή ανάμεσα στην Πιαλεία και τη Φιλύρα (θέση ΣΤ).



Σχήμα 4: Καθορισμός θέσεων, που είναι ευάλωτες σε πλημμύρες, με βάση την κατάταξη των εδαφών, στη περιοχής μελέτης.

#### 4. ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΦΥΣΙΚΟ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Οι πλημμύρες αποτελούν ένα τμήμα του γεωμορφολογικού κύκλου κατά τη διαμόρφωση του τοπογραφικού αναγλύφου. Τα πλημμυρικά φαινόμενα γίνονται επικίνδυνα όταν επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Ο χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας δημιουργήθηκε με τον συνδυασμό της συνεκτίμησης του μορφολογικού αναγλύφου και της μηχανικής σύστασης του εδάφους. Αρχικά επιλέχθηκαν οι θέσεις οι οποίες κατά τόπους είναι υψομετρικά υποβαθμισμένες και σε αυτές μελετήθηκε συνδυαστικά η μηχανική σύσταση του εδάφους. Έτσι καθορίστηκαν οι χαμηλότερες υψομετρικά θέσεις μιας περιοχής, όπου δημιουργούνται μορφολογικά κοιλάματα και οι οποίες εμφάνιζαν βαρέας σύστασης εδάφους. Οι θέσεις αυτές απεικονίστηκαν σε ειδικό θεματικό χάρτη.

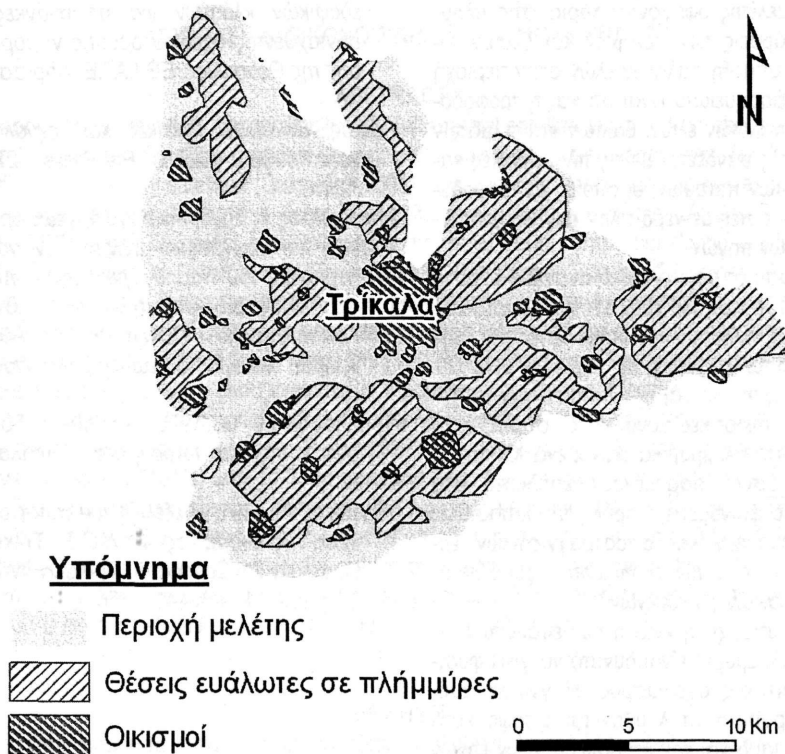
Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται ο χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας σε σχέση με τις πόλεις και τους οικισμούς στην περιοχή μελέτης, ο οποίος δημιουργήθηκε με συνδυασμό του χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας και του χάρτη των πόλεων και των οικισμών της περιοχής μελέτης. Σε αυτόν φαίνονται ποιες αστικές περιοχές και ποιες οικιστικές μονάδες είναι ευάλωτες στο να πληγούν από πλημμυρικά φαινόμενα.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του χάρτη του σχήματος 5, τα οποία επιβεβαιώνονται και από ιστορικές αναφορές και καταγραφές, καταγράφηκαν οι επικίνδυνες – ευάλωτες, για να πληγούν από πλημμυρικά φαινόμενα, αστικές περιοχές και οικιστικές μονάδες.

Παρόλη την κατασκευή εκτεταμένου δικτύου εγχειοβελτιωτικών έργων και καναλιών η παρεχόμενη προστασία στις πόλεις και στους οικισμούς είναι για φαινόμενα μικρής ή μεσαίας έκτασης. Σε περιπτώσεις σφοδρής εκδήλωσης ακραίων φαινομένων τα έργα αυτά δεν προστατεύουν επαρκώς τις πόλεις και τους οικισμούς της περιοχής μελέτης και φυσικά έχουν κατα-

γραφεί τέτοιες περιπτώσεις. Σε περιπτώσεις ραγδαίας βροχόπτωσης για μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε ανεβαίνει η στάθμη του νερού εντός των διευθετημένων κοιτών των ποταμών και των ρεμάτων, καθώς επίσης και εντός των καναλιών. Στη συνέχεια αυξάνεται η ορμή και η ταχύτητα των νερών με άμεσο αποτέλεσμα την υπερχείλιση των κοιτών και των καναλιών και τη θραύση των προστατευτικών αναχωμάτων.

Έτσι στις περιπτώσεις της σφοδρής εκδήλωσης αυτών των φαινομένων επέρχεται η πλήρωση της λεκάνης κατάκλυσης με μεγάλες ποσότητες υδάτων, τα οποία δεν έχουν συνήθως δίοδο αποστράγγισης. Τελικό αποτέλεσμα είναι να πλημμυρίζει η πεδινή ζώνη και κυρίως οι εντοπισμένες θέσεις, οι οποίες φαίνονται στο χάρτη του σχήματος 5.



Σχήμα 5: Χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας σε σχέση με τις πόλεις και τους οικισμούς στην περιοχή μελέτης (πεδιάδα Τρικάλων - Καλαμπάκας).

Μελετώντας τον χάρτη αυτό, συμπεραίνουμε ότι σε περιπτώσεις σφοδρής εκδήλωσης ακραίων φαινομένων ευάλωτες στις πλημμύρες είναι οι περιοχές της περιφερειακής ζώνης γύρω από τα Τρίκαλα, των Μεγάλων Καλυβίων, του Παραπόταμου, του Δροσερού, του Παλαιόπυργου, της Βασιλικής και γενικά ενός πολύ μεγάλου τμήματος των πεδινών κοινοτήτων - οικισμών της πεδινής ζώνης των Τρικάλων.

Για την προστασία από τις πλημμύρες κατά την κατασκευή νέων οικημάτων και έργων θα

πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ποιες είναι οι ευάλωτες θέσεις. Κατά τον φυσικό και αστικό σχεδιασμό πρέπει κατά το δυνατό να αποφεύγονται οι θέσεις αυτές και αν αυτό είναι ανέφικτο να λαμβάνονται συγκεκριμένα μέτρα πρόληψης των πλημμυρικών καταστροφών. Τα έργα πρόληψης και προφύλαξης των κατασκευών είναι υπερύψωση αυτών καθώς και η διεύρυνση και η εκβάθυνση των κοιτών και η δημιουργία καναλιών.

Είναι απαραίτητη η λήψη πρόνοιας για τις παλαιές κατασκευές που βρίσκονται στις ευάλωτες θέσεις με το σχεδιασμό και την κατασκευή αντίστοιχων έργων ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι καταστροφών.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μεγάλες εμφανίσεις των εδαφών μέσης και βαριάς σύστασης στο πεδινό τμήμα της περιοχής μελέτης οφείλονται κύρια στις πλημμυρικές εξάρσεις των ποταμών και δευτερευόντως στην ύπαρξη παλαιών ελών στην περιοχή μελέτης. Αξιοσημείωτο είναι ότι και η τροφοδότηση των παλαιών ελών, βάλτων και τελμάτων της περιοχής συνδέεται με τις πλημμυρικές καταστάσεις των ποταμών, οι οποίες τα τροφοδοτούσαν και αυτές με νερό πλην των βροχοπτώσεων και των πηγών.

Με βάση το μορφολογικό ανάγλυφο και τη μηχανική σύσταση του εδάφους κατασκευάστηκε ο χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας των πόλεων και των οικισμών της περιοχής μελέτης.

Με χρήση του χάρτη εντοπίστηκαν οι πόλεις και οι οικιστικές μονάδες, οι οποίες είναι ευάλωτες στα πλημμυρικά φαινόμενα. Οι πόλεις και οι οικισμοί παραμένουν ευάλωτες στα πλημμυρικά φαινόμενα, παρόλη την κατασκευή εγγειοβελτιωτικών και αποστραγγιστικών έργων, κύρια κατά την εκδήλωση σφοδρών ακραίων καιρικών φαινομένων.

Όταν υπάρχει η γνώση των ευάλωτων θέσεων σε πλημμύρες είναι δυνατό να γίνει φυσικός και αστικός σχεδιασμός. Η γνώση αυτή είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή νέων έργων και οικοδομών, καθώς επίσης και τη θωράκιση των παλαιών κατασκευών με τα αναγκαία έργα για την πρόληψη από τις συνέπειες των φυσικών καταστροφών.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας (Ι.Χ.Τ.Ε.Λ.). 2001. *Χάρτες Κλάσεων Εδαφών, φύλλα «Καλαμπάκα», «Καρδίτσα», «Μουζάκι» και «Τρίκαλα», κλίμακας 1:50.000. Λάρισα.*
- Καλύβας, Δ. 2003. *Εδαφολογία*. Εκδόσεις «Ίων». Αθήνα.

Καρυώτης, Θ., Γιάσογλου, Ν., Κοσμάς, Κ., Πατέρας, Δ., Δαναλάτος, Ν., Πανώρας, Α., Αγγελάκης, Κ. και Παναγόπουλος, Α. 1999. *Σχέδιο δράσης των ευαίσθητων περιοχών της Θεσσαλίας, σύμφωνα με την οδηγία 91/676/ΕΟΚ. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Λάρισα.*

Καρυώτης, Θ., Πατέρας, Δ., Παναγόπουλος, Α., Αργυρόπουλος, Γ., Τούλιος, Μ., Γεωργίου, Θ. και Κατσιλούλη, Ε. 2001. *Ομαδοποίηση εδαφικών κλάσεων για τις ανάγκες του συνταχθέντος σχεδίου δράσης νιτρορύπανσης της Θεσσαλίας. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Λάρισα.*

Λέκκας, Ε. 2000. *Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές*. Access Pre-Press, 278 σ. Αθήνα.

Μπαθρέλλος Γ. 2005. *Γεωλογική, γεωμορφολογική και γεωγραφική μελέτη των αστικών περιοχών του Νομού Τρικάλων – Δυτικής Θεσσαλίας*. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, 567 σ.

Τριανταφύλλου Θ. 1976. *Τα παλιά Τρίκαλα, αναμνήσεις και ιστορήματα*. Τρίκαλα, 254 σ.

Ψιλοβίκος Α. 1991. *Η εξέλιξη του ποταμού Πηνειού της Θεσσαλίας*. Φ.Ι.Λ.Ο.Σ., Τρικαλινά, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Συμποσίου Τρικαλινών Σπουδών, τομ. 11, σελ. 441 – 456.



## Η συμβολή των δορυφορικών πολυφασματικών εικόνων στη Γεωμορφολογία, από τη δεκαετία του '70 (δορυφόροι LANDSAT) μέχρι σήμερα (δορυφόροι IKONOS, QuickBird). Παραδείγματα από την Ελλάδα.

Θ. ΑΣΤΑΡΑΣ<sup>1</sup>, Δ. ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ<sup>1</sup> ΚΑΙ Α. ΜΟΥΡΑΤΙΔΗΣ<sup>1</sup>.

### ABSTRACT

This paper describes initially the availability of multispectral satellite images, from the launch of the first Earth Resources Satellites (Landsat series), with medium resolution capabilities (80m), to the launch of the contemporary satellites (QuickBird, 2001), with very high resolution capabilities (60cm). It reviews researches, concerning the visual and digital image analyses of the LANDSAT series, SPOT, IRS, TERRA and QuickBird satellite images that have been carried out during the last 20 years in the Department of Physical and Environmental Geography, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki. These researches are of geomorphological-geological interest and involve applications in various areas of Greece. In particular, practical examples are provided, concerning the detection and delineation of landslides in Macedonia and Epirus Provinces, the detection and classification of geomorphological units (land systems) in Peloponnesos, Thrace, Macedonia and Santorini areas and the analysis of drainage network in Central Macedonia Province with emphasis in the delineation of severe erosional phenomena. Reason for this review paper, is the contemporary use of Digital Elevation Models (DEMs) with 10-30 m accuracy, from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM / 2000) and their contribution, along with the high resolution satellite images, (from TERRA, QuickBird, etc), in the 3-D visualization of the Earths' relief. In particular, the use of 3-D satellite images will assist geoscientists and especially geomorphologists, to study the Earths' relief and its' evolution, more quickly, with better accuracy and at lower cost, compared with aerial photographs and 2-D satellite images, which have been used during the last 20 years.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αρχικά, στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η "διαθεσιμότητα" (availability) των δορυφορικών πολυφασματικών εικόνων, από την εποχή της εκτόξευσης των πρώτων δορυφόρων ανίχνευσης των φυσικών διαθεσίμων (Earth Resources Satellites), δηλαδή των δορυφόρων της σειράς LANDSAT (μέσης χωρικής διακριτικής ικανότητας 80m), μέχρι την εκτόξευση του δορυφόρου QuickBird (2001), με πολύ υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα (60cm). Στη συνέχεια, αναφέρονται παραδείγματα οπτικής και ψηφιακής ανάλυσης δορυφορικών εικόνων της σειράς LANDSAT, SPOT, IRS, TERRA και QuickBird, από εργασίες που εκπονήθηκαν την τελευταία 20ετία στον Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Οι παραπάνω αναλύσεις των πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων αναφέρονται μόνον στις εργασίες γεωμορφολογικού-γεωλογικού περιεχομένου σε διάφορες περιοχές του Ελληνικού Χώρου. Συγκεκριμένα, αναφέρονται εργασίες με αντικείμενο τον εντοπισμό και χαρτογράφηση

---

**THE CONTRIBUTION OF SATELLITE MULTISPECTRAL IMAGES IN GEOMORPHOLOGY, FROM THE 70'S (LANDSAT SATELLITES) TO THE PRESENT DAY (IKONOS, QUICKBIRD SATELLITES). EXAMPLES FROM GREECE.**

<sup>1</sup> Εργαστήριο Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών  
Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.  
E-mails: astaras@geo.auth.gr, oikonomi@geo.auth.gr, amourati@geo.auth.gr.

κατολισθήσεων σε περιοχές της Μακεδονίας και της Ηπείρου, τον εντοπισμό και ταξινόμηση γεωμορφολογικών ενότητων στην Πελοπόννησο, τη Θράκη, τη Σαντορίνη και τη Μακεδονία, καθώς και την ανάλυση υδρογραφικών δικτύων στην Κεντρική Μακεδονία, με έμφαση στον εντοπισμό περιοχών όπου απαντούν φαινόμενα έντονης διάβρωσης. Αφορμή για την παρουσίαση αυτής της εργασίας επισκόπησης (review paper), είναι η σημερινή χρήση των Ψηφιακών Μοντέλων Αναγλύφου (DEM) ακριβείας 10-30m, προερχομένων από τη διαστημική αποστολή SRTM (Shuttle Radar Topography Mission/2000) και η συμβολή τους, μαζί με τις προαναφερθείσες δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας (από τους δορυφόρους TERRA, QuickBird κ.α.), στην τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου. Συγκεκριμένα, η δημιουργία τρισδιάστατων δορυφορικών εικόνων θα βοηθήσει τους γεωεπιστήμονες και ιδιαίτερα τους γεωμορφολόγους, ώστε να μελετήσουν σήμερα το ανάγλυφο της Γης και τις διαχρονικές μεταβολές του, πιο γρήγορα, με μεγαλύτερη ακρίβεια και με μικρότερο κόστος απ' ό,τι γινόταν την τελευταία εικοσαετία με τις αεροφωτογραφίες και τις δισδιάστατες δορυφορικές εικόνες.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία της Τηλεπισκόπησης για την παρατήρηση, ανίχνευση και μέτρηση των «φυσικών διαθεσίμων της Γης» (earth resources), άρχισε συστηματικά στις αρχές της δεκαετίας του 70, με την εκτόξευση δορυφόρων, γνωστών ως "δορυφόρων ανίχνευσης των φυσικών διαθεσίμων της Γης" (Earth Resources Satellites).

Την περίοδο αυτή, οι ΗΠΑ (NASA) έθεσαν σε τροχιά μια σειρά από μη επανδρωμένους δορυφόρους, που είναι γνωστή ως πρόγραμμα LANDSAT, το οποίο συνεχίζεται μέχρι σήμερα με τους δορυφόρους LANDSAT-5 και LANDSAT-7.

Για πρώτη φορά οι δορυφόροι αυτοί διέθεταν διαχρονικά πολλαπλές πληροφορίες στους γεωεπιστήμονες από το διάστημα.

Η επιτυχία αυτή του προγράμματος LANDSAT οδήγησε στην εκτόξευση και άλλων δορυφόρων ανίχνευσης των φυσικών διαθεσίμων της Γης, τόσο από άλλες χώρες καθώς και από ιδιωτικές εταιρίες. Σήμερα, περισσότερα από 25 τέτοια δορυφορικά συστήματα περιοδικής ανίχνευσης της Γης δίδουν συνεχείς πληροφορίες σε διάφορους τομείς έρευνας, όπως τοπογραφία, γεωμορφολογία, γεωλογία, χρήση και κάλυψη της Γης, περιβαλλοντικές αλλαγές του χερσαίου και υδάτινου περιβάλλοντος, κ.α.

Κατά την τριακονταετία 1970-2000, χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τύποι δορυφόρων, τροχιών και καταγραφών/αισθητήρων (sensors), με σκοπό να ανιχνεύουν διαχρονικά τη Γη, κατακόρυφα, πλάγια ή στερεοσκοπικά.

Το τρισδιάστατο ανάγλυφο της Γης μελετήθηκε αρχικά από στερεοζεύγη δορυφορικών

εικόνων MOMS (Modular Optoelectronic Multispectral Scanner) (1983) και SPOT (1986) (Gupta, 2003). Στη συνέχεια, μετά την εκτόξευση των δορυφόρων ERS (1991), RADARSAT (1995) και ENVISAT (2001), καθώς και της διαστημικής αποστολής SRTM (2000), η σύγχρονη τεχνολογία της πληροφορικής έδωσε τη δυνατότητα στους γεωεπιστήμονες να μελετήσουν το ανάγλυφο της Γης με τη βοήθεια των ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου (DEM/Digital Elevation Models), τα οποία προκύπτουν απευθείας από τη συμβολομετρία (interferometry) διαστημικών εικόνων ραντάρ (SAR / Satellite Synthetic Aperture Radars). Συγκεκριμένα σήμερα, η διαστημική αποστολή SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) προσφέρει στους γεωεπιστήμονες τρισδιάστατα τοπογραφικά στοιχεία (σε οποιαδήποτε περιοχή της Γης, που περιλαμβάνεται μεταξύ των γεωγραφικών παραλλήλων 60° Β και 60° Ν), χωρικής διακριτικής ικανότητας 30m x 30m και 10m x 10m στις μικροκυματικές ζώνες C και X αντίστοιχα. Σε κατακόρυφο επίπεδο η ακρίβεια είναι καλύτερη από 10m και 6m στις μικροκυματικές ζώνες C και X αντίστοιχα (Gupta, 2003).

Τα DEM, συνδυαζόμενα με τις προαναφερόμενες δορυφορικές εικόνες της σειράς LANDSAT, TERRA και QuickBird δίδουν τρισδιάστατες δορυφορικές εικόνες σε οποιαδήποτε περιοχή της Γης, που περιλαμβάνεται μεταξύ των γεωγραφικών παραλλήλων 60° Β και 60° Ν. Οι παραπάνω εικόνες αναμένεται να βοηθήσουν πάρα πολύ τις γεωμορφολογικές-γεωλογικές εργασίες, μειώνοντας το συνολικό κόστος και το χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεσή τους.

## 2. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Αν συγκρίνουμε τα δορυφορικά δεδομένα (εικόνες) με τις υπαίθριες παρατηρήσεις του αναγλύφου και τις συμβατικές αεροφωτογραφίες, βλέπουμε, ότι αυτά παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα. Συγκεκριμένα, οι δορυφορικές εικόνες παρέχουν «συνοπτική κάλυψη» (synoptic view) που φτάνει μέχρι τα 185km x 185km και «επαναληψιμότητα» (repetition rate) μερικών ημερών. Επιπρόσθετα, η επαναλαμβανόμενη συγκέντρωση συγκεκριμένων δεδομένων του γήινου περιβάλλοντος με τη βοήθεια των δορυφορικών καταγραφών, κοστίζει λιγότερο, απ' ό,τι οι παραδοσιακές μέθοδοι συγκέντρωσης δεδομένων, όπως είναι η εργασία υπαίθρου και οι α/φίες.

Οι πληροφορίες που παίρνουμε από τα δορυφορικά δεδομένα περιορίζονται από τα χαρακτηριστικά τους, όπως είναι:

- α) η φασματική (spectral) ανάλυση (διακριτική ικανότητα)
- β) η διαχρονική (temporal) ανάλυση και
- γ) η χωρική (spatial) ανάλυση

Η «**φασματική ανάλυση**» των εικόνων έχει σχέση με τα δεδομένα (πληροφορίες) που καταγράφονται από τους αισθητήρες (απεικονιστές) ταυτόχρονα και σε διάφορα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που καθορίζονται από τα «ατμοσφαιρικά παράθυρα» (atmospheric windows).

Η «**διαχρονική ανάλυση**» συνδέεται με την «επαναληψιμότητα». Αυτή αναφέρεται σε δεδομένα, της ίδιας περιοχής, που λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, συνήθως ημερών, τα οποία τοποθετούνται σε μία βάση δεδομένων για την ανίχνευση και τη μέτρηση περιβαλλοντικών αλλαγών.

Η «**χωρική ανάλυση**» ή «διακριτική ικανότητα» αναφέρεται στη μικρότερη ενότητα που μπορεί να εντοπισθεί σε μία εικόνα. Αυτή περιγράφεται με το εικονοστοιχείο (Pixel/Picture Element) και μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ εκατοστών του μέτρου (πολύ υψηλή χωρική ανάλυση) μέχρι 1 km ανά εικονοστοιχείο (πολύ χαμηλή χωρική ανάλυση). Έτσι, για παράδειγμα οι μετεωρολογικοί δορυφόροι, οι οποίοι πα-

ρουσιάζουν επαναληψιμότητα μερικών ωρών, χαρακτηρίζονται από πάρα πολύ χαμηλή χωρική ανάλυση, ενώ οι δορυφόροι IKONOS και QuickBird που παρουσιάζουν επαναληψιμότητα λίγων ημερών (1-3), χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή χωρική ανάλυση (0,60-1m.)

Το πρόγραμμα LANDSAT άρχισε με τους δορυφόρους της σειράς LANDSAT 1-3 (δεκαετία 1970), προσφέροντας πολυφασματικά δεδομένα MSS 80m (μέσης χωρικής ανάλυσης). Το πρόγραμμα αυτό συνεχίστηκε με το πολυφασματικό σύστημα TM (Thematic Mapper/Θεματικό Χαρτογράφο) της σειράς LANDSAT 4-5 (δεκαετία 1980), που προσέφερε δεδομένα με 30m (υψηλής χωρικής ανάλυσης) (Αστάρας, 1986).

Το 1999 εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος LANDSAT-7, που φέρει τον «ενισχυμένο πολυφασματικό σαρωτή» (σύστημα) ETM+ (Enhanced Thematic Mapper/Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος), με 7 φασματικές ζώνες, με χωρική ανάλυση 30m (εξαιρουμένης της θερμικής ζώνης, με χωρική ανάλυση 60m) και την παγχρωματική φασματική ζώνη (PAN), με χωρική ανάλυση 15m (Kramer, 2002).

Επίσης, το 1999 εκτοξεύτηκε από τις ΗΠΑ (NASA) ο δορυφόρος TERRA, ο οποίος φέρει διάφορους πολυφασματικούς σαρωτές. Οι σαρωτές αυτοί προσφέρουν δεδομένα με χωρική ανάλυση 15m, 30m και 90m (δηλαδή μέσης μέχρι υψηλής χωρικής ανάλυσης), στο ορατό (VIS), στο μέσο υπέρυθρο (SWIR) και θερμικό υπέρυθρο (TIR) φάσμα αντίστοιχα.

Το πρόγραμμα SPOT (SPOT 1-3) άρχισε το 1986, διαθέτοντας πολυφασματικά δεδομένα (XS), με 20m χωρική ανάλυση και παγχρωματικά δεδομένα (Pan) με υψηλή χωρική ανάλυση των 10m. Το 1998 εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος SPOT-4, ο οποίος προσέφερε δεδομένα στο μέσο υπέρυθρο (SWIR), με χωρική ανάλυση 20m. Το 2002 εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος SPOT-5, που φέρει δύο πιο ενισχυμένους πολυφασματικούς σαρωτές και δύο παγχρωματικούς σαρωτές. Οι σαρωτές αυτοί διαθέτουν πολυφασματικά δεδομένα (XS/XI) 10m και 20m και παγχρωματικά δεδομένα (Pan), 5m. Με κατάλληλη επεξεργασία των εικόνων Pan, η χωρική-διακριτική τους ικανότητα μπορεί να φτάσει τα 2,5m.

Το Ινδικό Σύστημα Τηλεπισκόπησης (IRS) άρχισε το 1988 με τους δορυφόρους IRS-1A και IRS-1B, προσφέροντας δεδομένα με χωρική ανάλυση μέχρι 36,5m. Το 1995 εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος IRS-1C, που διαθέτει δεδομένα με την υψηλότερη χωρική ανάλυση (5,8m), σε σχέση με δεδομένα άλλων δορυφόρων, που ήταν διαθέσιμα στους χρήστες. Αυτό συνεχίστηκε μέχρι το 1999, οπότε εκτοξεύτηκε από τις ΗΠΑ ο δορυφόρος IKONOS, οποίος διαθέτει δεδομένα με χωρική ανάλυση 1m.

Στην ανίχνευση/καταγραφή των φυσικών διαθεσίμων της Γης συμμετείχαν δραστήρια οι Ιάπωνες με τους δορυφόρους MOS (Marine Observation Satellite) και JERS (Japanese Earth Resources Satellite) και οι Ρώσοι, με αρκετά συστήματα καταγραφής (Kramer 2002, Gupta 2003).

Στις Ρωσικές διαστημικές πτήσεις τοποθετήθηκαν αρχικά φωτογραφικές μηχανές και αργότερα πολυφασματικοί σαρωτές.

Τα πιο γνωστά δορυφορικά Ρωσικά συστήματα, των οποίων τα δεδομένα είναι διαθέσιμα σε μη στρατιωτικούς χρήστες, είναι τα εξής:

α) Το δορυφορικό σύστημα RESURS-F (έφερε φωτογραφικές μηχανές)

β) Το δορυφορικό σύστημα RESURS-O, το πρώτο μη στρατιωτικό σύστημα που μετέφερε σύστημα σαρωτών

Οι καταγραφείς (sensors) των παραπάνω (και άλλων) συστημάτων (δορυφόρων), καθώς και η χωρική ανάλυση των προσφερόμενων δεδομένων φαίνονται στον πίνακα 1.

ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΑΣ	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ
Χαμηλή (<250m)	SPOT-Vegetation	<1:1.000.000
	NOAA (Meteorological satellite)	
Μέση (80m-180m)	LANDSAT MSS MSU-SK (RESURS-O) IRS-1C/D -WiFS ASTER	1:200.000-1:1.000.000
Υψηλή (5m-30m)	LANDSAT TM/ETM/PAN SPOT-XS/XI/Pan IRS-1C/D-LISS/PAN ERS ENVISAT RADARSAT MSU-E (RESURS-O) KFA-1000 (RESURS-F) MK-4 (RESURS-F) KATE 200 (RESURS-F) TK-350 (RESURS-F/SPIN) ASTER	1:50.000-1:200.000
Πολύ υψηλή (<4m)	IKONOS QUICKBIRD KFA-3000 KVR-1000 (RESURS-F/SPIN)	1:5.000-1:25.000

Πίνακας 1. Χωρική ανάλυση (διακριτική ικανότητα) και χαρτογραφική κλίμακα διαφόρων δορυφορικών δεδομένων (Τροποποιημένος, από τον Buchroithner 1999).

### 3. ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

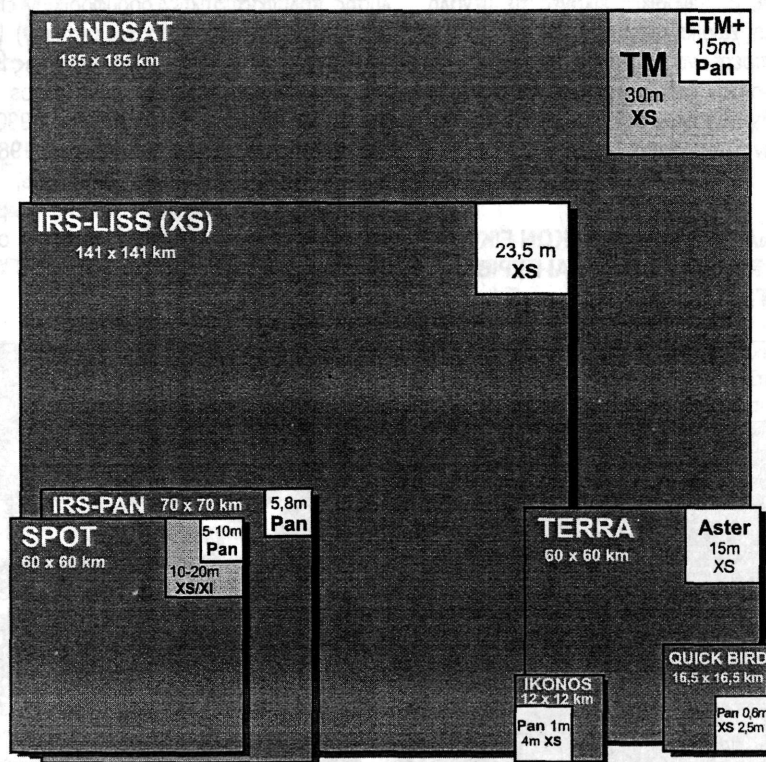
Η ταχύτατη εξέλιξη των εφαρμογών της επιστήμης της πληροφορικής και των επικοινωνιών,

καθώς και οι απαιτήσεις των χρηστών (γεωεπιστημόνων, περιβαλλοντολόγων κ.α.), οδήγησε στην ανάπτυξη νέων δορυφορικών συστημάτων, που προσέφεραν δεδομένα με καλύτερη επαναληψιμότητα (διαχρονική ανάλυση) και χωρική ανάλυση. Αυτά, τα νέας γενιάς

δορυφορικά δεδομένα, προσφέρονται την τελευταία πενταετία από τους εξής δορυφόρους:

A) Από το δορυφόρο (σύστημα) IKONOS (1999). Ο IKONOS διαθέτει πολυφασματικά δεδομένα (XS) χωρικής ανάλυσης 4m και παγχρωματικά δεδομένα χωρικής ανάλυσης 1m.

B) Από το δορυφόρο QuickBird. Ο δορυφόρος αυτός εκτοξεύτηκε το 2001 και διαθέτει πολυφασματικά δεδομένα (XS) χωρικής ανάλυσης 2,5m και παγχρωματικά δεδομένα (Pan) χωρικής ανάλυσης 0,6m (βλ. Εικ. 1)



Εικόνα 1. Περιοχή κάλυψης και χωρική ανάλυση των καταγραφών (sensors) στους κυριότερους δορυφόρους (Η ιδέα για τη σχεδίαση της εικόνας ελήφθη από τον Buchroithner, 1999).

#### 4. ΓΙΑΤΙ ΤΟΣΟΙ ΔΟΥΡΥΦΟΡΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ;

Σήμερα, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός δορυφορικών συστημάτων (πάνω από 25). Ο μεγάλος αυτός αριθμός δορυφόρων αναπτύχθηκε για να καλύψει τις ανάγκες όλων των χρηστών.

Έτσι, ένας γεωεπιστήμονας - περιβαλλοντολόγος, ο οποίος ενδιαφέρεται για τη μελέτη χαρακτηριστικών/φαινομένων που καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση (π.χ. εκτεταμένες γεωλογι-

κές δομές και ρήγματα), θα χρησιμοποιήσει δορυφόρους που δίνουν εικόνες χαμηλής ή μέσης χωρικής ανάλυσης και μεγάλης επιφανειακής κάλυψης (π.χ. εικόνες LANDSAT).

Αντίθετα, ο επιστήμονας που ενδιαφέρεται για λεπτομερή μελέτη μιας περιοχής (π.χ. καταγραφή φαινομένων διάβρωσης, ή εντοπισμό καταλισθήσεων σε μικροκλίμακα), θα χρησιμοποιήσει δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης και μικρής επιφανειακής κάλυψης (π.χ. εικόνες IKONOS, QuickBird).

Για τη μελέτη δυναμικών φαινομένων (π.χ. πλημμυρών) στην επιφάνεια της γης, απαιτούνται δορυφορικές εικόνες με μεγάλη διαχρονική ανάλυση (συχνή επαναληψιμότητα) (π.χ., SPOT, TERRA, IKONOS, QuickBird).

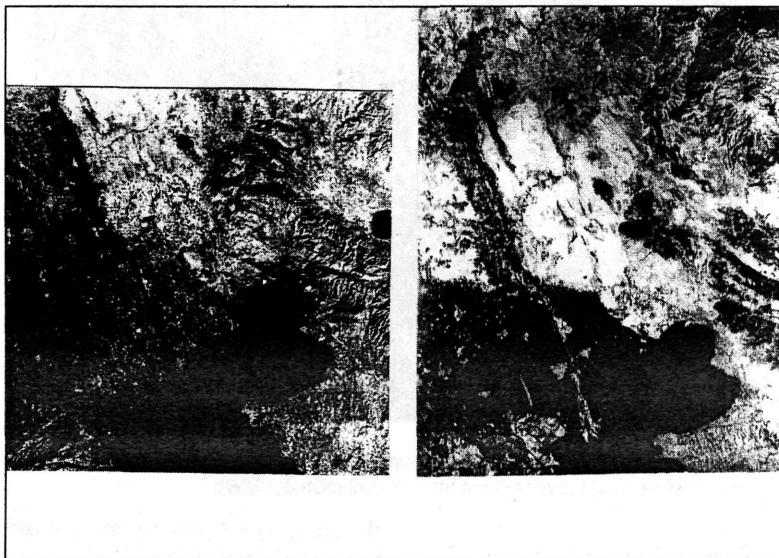
Ομοίως, για τον εντοπισμό εδαφολογικών ενοτήτων σε πεδινές περιοχές απαιτούνται πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες με μεγάλη φασματική και χωρική ανάλυση (π.χ. SPOT-5).

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί, ότι ο κάθε τύπος δορυφορικών δεδομένων δρα συμπληρωματικά και όχι ανταγωνιστικά με τα αντίστοιχα δεδομένα των άλλων δορυφόρων.

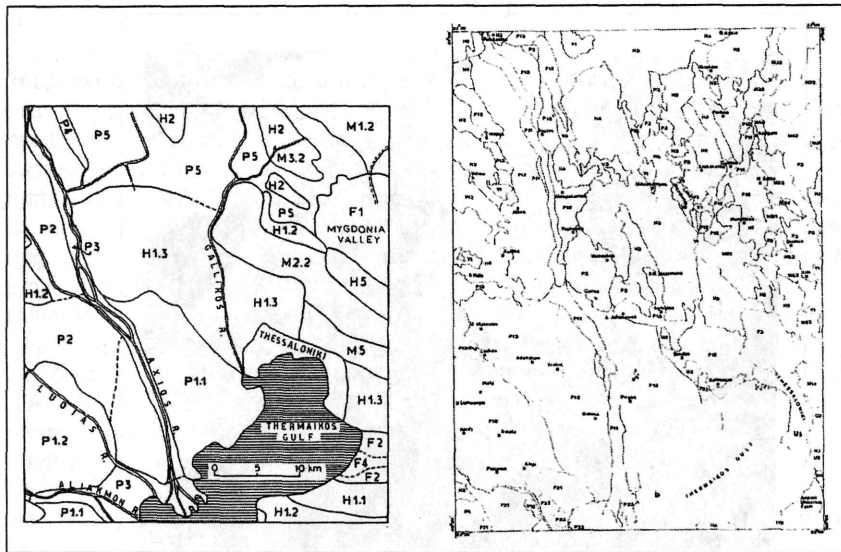
## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

### 5.1 Οπτική ανάλυση δορυφορικών εικόνων LANDSAT και SPOT

Στη δεκαετία του 1980, η δορυφορική έρευνα του Εργαστηρίου Φυσικής Γεωγραφίας προσανατολίσθηκε αρχικά στην ταξινόμηση του αναγλύφου, διαφόρων περιοχών της Ελλάδας. Συγκεκριμένα, με τη βοήθεια της οπτικής ανάλυσης πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων (ασπρόμαυρων και ψευδοχρωματικών) LANDSAT/MSS και TM, ένα μεγάλο τμήμα της Κεντρικής Μακεδονίας (Astaras and Silleos 1984, Silleos and Astaras 1986, Astaras 1990), της Πελοποννήσου (Silleos and Astaras, 1987) και της Θράκης (Astaras and Lambrinos, 1988), ταξινομήθηκε σε διάφορους τύπους γεωμορφολογικών συστημάτων (land complexes or land systems), κλίμακας περίπου 1:250.000 (Εικ. 2 και 3).



Εικόνα 2. Εικόνα LANDSAT-3/MSS (αριστερά) και LANDSAT-5/TM (δεξιά) τμήματος της Κεντρικής Μακεδονίας, στις οποίες βασίστηκε η ταξινόμηση γεωμορφολογικών ενοτήτων (βλ. Εικ. 3) (Silleos and Astaras, 1987).



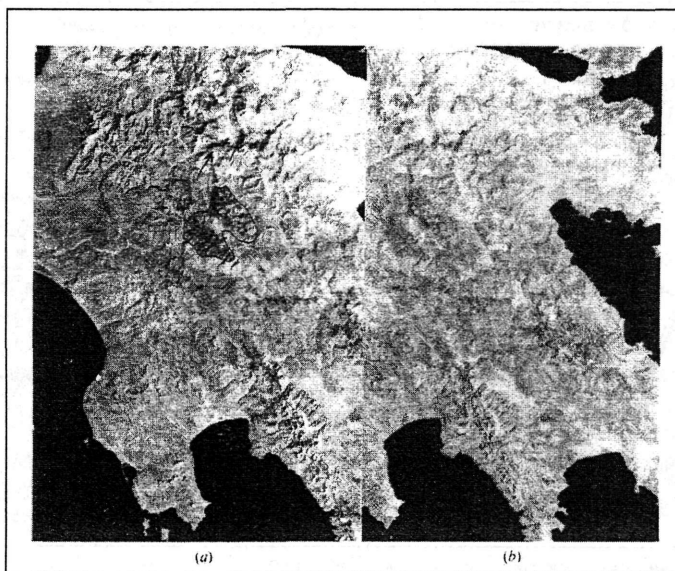
Εικόνα 3. Χάρτης γεωμορφολογικών ενότητων τμήματος της Κεντρικής Μακεδονίας, ο οποίος προήλθε από την ερμηνεία εικόνας LANDSAT-3/MSS (αριστερά) και εικόνας LANDSAT-5/TM (δεξιά) (βλ. Εικ. 2). Στη δεύτερη περίπτωση η ταξινόμηση των γεωμορφολογικών ενότητων είναι λεπτομερέστερη, καθώς βασίζεται σε δορυφορικές εικόνες με βελτιωμένη διακριτική ικανότητα (30m έναντι 80m της πρώτης περίπτωσης) (Silleos and Astaras 1986).

Τα γεωμορφολογικά συστήματα είναι γεωμορφολογικές ενότητες που αναγνωρίζονται στις δορυφορικές εικόνες (LANDSAT, SPOT), από τις συγκεκριμένες «φωτομορφικές ενότητες» (photomorphic units) που απαντούν σε αυτά και οι οποίες είναι περιοχές (πάνω στην εικόνα) με ομοίμορφη φασματική ταυτότητα (Ackerson and Fish 1985, Astaras 1990). Οι φωτομορφικές ενότητες αναπαριστούν μία περιοχή ή ομάδα περιοχών, οι οποίες παρουσιάζουν την ίδια τοπογραφία-γεωλογία, τα ίδια χαρακτηριστικά εδάφους, βλάστησης και χρήσεις γης (land use) (Astaras 1976, 1984, 1990).

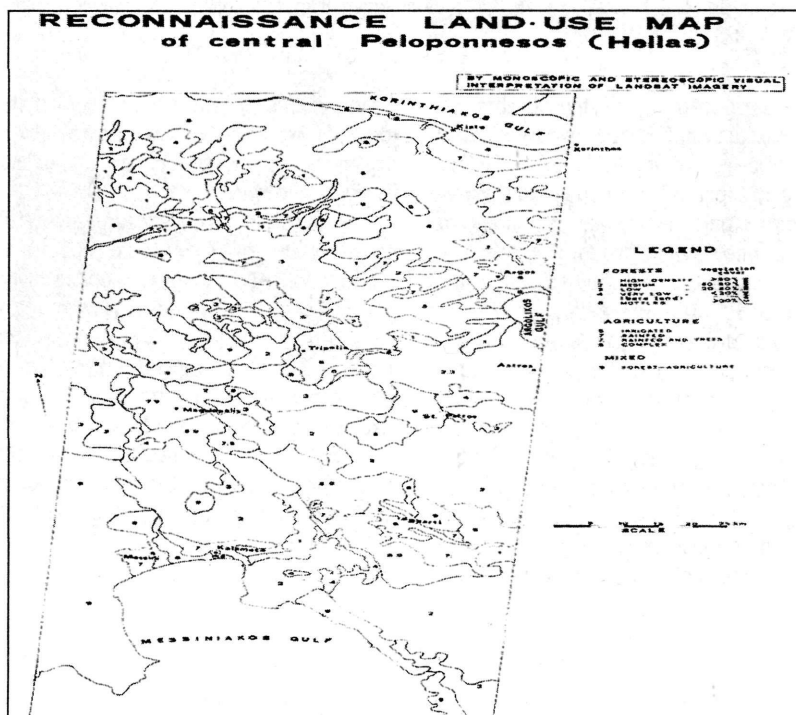
Οι χάρτες που δείχνουν την κατανομή των διαφόρων γεωμορφολογικών συστημάτων σε μία περιοχή, παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον, γιατί αποτελούν τη βάση για την αναθε-

ώρηση-βελτίωση γεωλογικών χαρτών, την κατασκευή λεπτομερέστερων γεωλογικών, γεωμορφο-τεκτονικών, εδαφολογικών και λοιπών θεματικών χαρτών.

Κατά την οπτική ανάλυση (ερμηνεία) των δορυφορικών εικόνων MSS, προέκυψαν ορισμένα προβλήματα ακριβούς οριοθέτησης των γεωμορφολογικών ενότητων, εξαιτίας της χαμηλής χωρικής ανάλυσης των 80m. Μερικά από τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίστηκαν με τη στερεοσκοπική ερμηνεία γειτονικών δορυφορικών εικόνων, που παρουσίαζαν αλληλοεπικάλυψη (side-lap), όπως στην περίπτωση των εικόνων MSS της Πελοποννήσου, που παρουσίαζαν αλληλοεπικάλυψη 37,6% (Silleos and Astaras, 1987) (βλ. Εικ. 4 και 5).



Εικόνα 4. Στερεοζεύγος εικόνων LANDSAT-3/MSS: (α) Εικόνα Νοεμβρίου, (β) Εικόνα Αυγούστου (Silleos and Astaras, 1987).



Εικόνα 5. Χάρτης χρήσεων γης της Κεντρικής Πελοποννήσου, ο οποίος κατασκευάστηκε με οπτική μονοσκοπική και στερεοσκοπική ερμηνεία εικόνων LANDSAT-3/MSS (Εικ. 2) (Silleos and Astaras, 1987).



Η έρευνα του Εργαστηρίου προσανατολίστηκε και στην ταχύτερη και ακριβέστερη λήψη μορφομετρικών παραμέτρων των υδρογραφικών συστημάτων (ρεμάτων και λεκανών απορροής) από εικόνες MSS. Από την ποσοτική ανάλυση των υδρογραφικών συστημάτων της περιοχής Ολύμπου-Πιερίων (Astaras, 1985), προερχόμενων από εικόνες MSS, διαπιστώθηκε η σημαντικότερη υπεροχή αυτών έναντι της ίδιας κλίμακας τοπογραφικών χαρτών.

Στη δεκαετία του 1990, όταν οι εικόνες LANDSAT-5/TM και SPOT ήταν διαθέσιμες και σε προσήθη τιμή για το Εργαστήριό μας, η έρευνα συνεχίστηκε και κατέληξε στην ακριβέστερη οριοθέτηση γεωμορφολογικών συστημάτων και την ποσοτική ανάλυση των υδρογραφικών συστημάτων περιοχών της Κεντρικής Μακεδονίας (βλ. Εικ. 4 και 5) (Silleos and Astaras 1986, Astaras et al. 1990), κλίμακας περίπου 1:100.000, με έμφαση στην οριοθέτηση περιοχών που παρουσιάζουν έντονα φαινόμενα διάβρωσης και τεκτονισμού και την λεπτομερέστερη οριοθέτηση υδρογραφικών συστημάτων.

## 5.2 Ψηφιακή επεξεργασία εικόνων LANDSAT και SPOT και εφαρμογές στη γεωμορφολογία

Με την απόκτηση και εγκατάσταση συστήματος ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων στο Εργαστήριο Φυσικής Γεωγραφίας (αρχικά με το λογισμικό IDRISI και στη συνέχεια με το λογισμικό EASIPACE), η οπτική ανάλυση και ερμηνεία εικόνων αντικαταστάθηκε από την ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση δορυφορικών εικόνων LANDSAT-5/TM και SPOT/XS.

Από τη ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων LANDSAT και SPOT προέκυψαν τα εξής:

Στην ευρύτερη περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης, έγινε ο εντοπισμός-οριοθέτηση και χαρτογράφηση των επιφανειών επιπέδωσης λιθολογικών ενοτήτων, ρηγμάτων και περιοχών διάβρωσης και απόθεσης (Astaras and Soulakellis 1990, Σουλακέλλης 1994).

Στην ορεινή περιοχή του Ολύμπου επιτεύχθηκε η ακριβέστερη χάραξη του υδρογραφικού δικτύου, σε σύγκριση με προηγούμενες μελέτες (Astaras and Soulakellis, 1992).

Από την ψηφιακή επεξεργασία διαχρονικών εικόνων TM, στην περιοχή της Σαντορίνης (Astaras et al., 1996a), οριοθετήθηκαν καλύτερα τα όρια γεωμορφολογικών ενοτήτων.

Στην περιοχή της Πίνδου (ευρύτερη περιοχή του Μεσοβίτικου ποταμού) (Astaras et al., 1996b), εντοπίστηκαν περιοχές που κατολήσθησαν στο παρελθόν και περιοχές, οι οποίες είναι επιδεκτικές για κατολήσθηση, με τη βοήθεια διαχρονικών εικόνων TM.

Ομοίως, στην παράκτια περιοχή Ασπροβάλας-Στρυμόνα (Δομακίνης, 2005), χρησιμοποιώντας διαχρονικές εικόνες ASTER, εντοπίστηκαν περιοχές που κατολήσθησαν στο παρελθόν και περιοχές, οι οποίες είναι επιδεκτικές για κατολήσθηση (Εικ. 6 και 7).

Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις ο εντοπισμός των κατολήσθησεων έγινε με τη βοήθεια της διαφορετικής «φασματικής ταυτότητάς» τους και του σχήματός τους, σε σχέση με τις γειτονικές σταθερές περιοχές. Τα αποτελέσματα των εργασιών αυτών χρησιμεύουν στους γεωλόγους-γεωτεχνικούς, οι οποίοι ασχολούνται με κατολήσθητικά φαινόμενα.

Επίσης, από την ψηφιακή επεξεργασία δορυφορικών εικόνων που κάλυπταν το νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης απορροής του Ανθεμούντα ποταμού (Φουρνιάδης 2002, Φουρνιάδης κ.α. 2002), εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν περιοχές με έντονα διαβρωτικά φαινόμενα (gullies) (Εικ. 8 και 9).

Τέλος, κατάλληλα επεξεργασμένες (ενισχυμένες) δορυφορικές ψηφιακές εικόνες χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό και χαρτογράφηση γραμμώσεων (lineaments), που απαντούν στην ευρύτερη περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης (Pavlidis and Soulakellis, 1990), δηλαδή πολλαπλών ρηγμάτων τα οποία είναι υπεύθυνα για τη σημερινή εμφάνιση χαρακτηριστικών αναβαθμίδων, απότομων κλιτύων (scarps) και τον έλεγχο των ρευμάτων από την τεκτονική της περιοχής (stream deviations).



Εικόνα 6. Ασπρόμαυρη εκτύπωση ψευδοέγχρωμης εικόνας (2/3, 1/3, 1/2): RGB του TERRA / ASTER, η οποία λήφθηκε στις 1/3/2003. Στην εικόνα αυτή παρατηρούμε πως στη θέση που υποδεικνύει το ορθογώνιο πλαίσιο στην περιοχή μελέτης Ασπροβάλας – Στρυμόνα δεν έχει εκδηλωθεί κατολίσθηση (Δομακίνης, 2005).



Εικόνα 7. Ασπρόμαυρη εκτύπωση ψευδοέγχρωμης εικόνας (2/3, 1/3, 1/2): RGB του TERRA / ASTER, η οποία λήφθηκε στις 11/10/2003. Στην εικόνα αυτή παρατηρούμε πως στην ίδια θέση (περιοχή μελέτης Ασπροβάλας – Στρυμόνα), που υποδεικνύεται από το ορθογώνιο πλαίσιο έχει εκδηλωθεί κατολίσθηση. Αυτό γίνεται αντιληπτό από τη μεταβολή της γεωμετρίας του σχήματός της. Στην περιοχή αυτή δεν μπορούμε να διακρίνουμε τους δρόμους γιατί δεν είχαν ακόμη οδοστρωθεί (Δομακίνης, 2005).



Εικόνα 8. Κατάλληλα επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα LANDSAT-5/TM (Δείκτης Βλάστησης-Φυτοκάλυψης NDVI), του ΝΔ τμήματος της λεκάνης του Ανθεμούνα, που καλύπτεται από φαμμινικά ιζήματα και ερυθροπηλούς. Στην εικόνα με ανοικτό τόνο είναι οι περιοχές στις οποίες απαντούν έντονα διαβρωτικά φαινόμενα (gullies) (βλ. Εικ.9) (Φουρνιάδης κ.α., 2002).



Εικόνα 9. Φωτογραφία περιοχής, στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα, με έντονα διαβρωτικά φαινόμενα (Φουρνιάδης κ.α., 2002).

## 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη σύντομη περιγραφή των δορυφόρων ανίχνευσης των φυσικών διαθεσίμων της Γης, της διαθεσιμότητας των πολυφασματικών ψηφιακών δεδομένων (εικόνων) την τελευταία 30ετία και των διαφόρων εφαρμογών τους στη γεωλογία-γεωμορφολογία, διαπιστώνονται τα εξής:

Αύξηση της ραδιομετρικής ευαισθησίας των καταγραφών (σαρωτών) από 64 (MSS) σε 256 (TM, SPOT κ.α.) διαβαθμίσεις του τεφρού χρώματος.

Αύξηση των φασματικών ζωνών τους από 4 (MSS) σε 14 (ASTER) και πλέον [υπερφασματικά (hyperspectral) συστήματα].

Αύξηση της χωρικής ανάλυσής τους από 80m (MSS) σε 0,61m (QuickBird).

Μείωση του χρόνου επαναληψιμότητας (repetition rate).

Μείωση του κόστους των δορυφορικών δεδομένων.

Διάθεση DEM ακρίβειας 15-30m, τα οποία προκύπτουν από τη συμβολομετρία (αποστολές SRTM και ERS Tandem Mission), που σε συνδυασμό με τις πολυφασματικές εικόνες δίδουν πληρέστερη απεικόνιση του αναγλύφου.

Διάθεση δορυφορικών δεδομένων από πλάγιες λήψεις, για στερεοσκοπική παρατήρηση.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά και οι βελτιώσεις των δορυφορικών δεδομένων, συνδυαζόμενα με τη ραγδαία εξέλιξη των τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων, που βελτιώνουν-ενισχύουν τις εικόνες, ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη (Gupta 2003, Vaioroulos et al. 2004), τα κάνουν να υπερέχουν έναντι των δεδομένων των φωτογραφικών συστημάτων.

Η χρήση των ψηφιακά ενισχυμένων πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων προσφέρει στους γεωεπιστήμονες τη δυνατότητα, να εξερευνούν και να καταγράφουν τα φυσικά διαθέσιμα της Γης και να παρακολουθούν περιοδικά

το στατικό και δυναμικό περιβάλλον αυτής (Sabins 1997, Prost 2001).

Έτσι, ο εντοπισμός των γεωμορφολογικών ενότητων και των υδρογραφικών δικτύων γίνεται εύκολα, καθότι οι μορφές αυτές του αναγλύφου αποτελούν τα πιο ευκρινή στοιχεία, που μπορούν να φανούν κατά την ανάλυση και ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων. Οι γεωμορφολογικές αυτές ενότητες και τα υδρογραφικά δίκτυα, σε συνδυασμό με τις σύγχρονες τεχνικές των Γ.Σ.Π., είναι πολύ χρήσιμες, γιατί αποτελούν τη βάση για την κατασκευή ίδιας κλίμακας χαρτών, όπως γεωλογικών, χρήσεων γης, διαβρωσιμότητας εδαφών, επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις, κλπ (Φουρνιάδης κ.α. 2002, Δομακίνης 2005). Επίσης, χρησιμοποιούνται για την αναθεώρηση παλαιών θεματικών χαρτών (π.χ. γεωλογικοί-γεωμορφολογικοί, τοπογραφικοί), που κατασκευάστηκαν στο παρελθόν με άλλες τεχνικές (Nikolakopoulos et al. 2004).

Με τη διαχρονική παρακολούθηση του περιβάλλοντος, από δορυφορικές εικόνες, εντοπίζονται-καταγράφονται οι διάφορες αλλαγές και υποβαθμίσεις του (Nikolakopoulos et al. 2005), οπότε δίδεται η δυνατότητα στον άνθρωπο να λάβει τα σωστά, αποτελεσματικά μέτρα προστασίας, αποκατάστασης, αξιοποίησης και ορθολογικής διαχείρισης του περιβάλλοντος.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ackerson, V. and Fish, E., 1985. *An evaluation of landscape units. In: The Surveillance Science: Remote Sensing of the Environment*, second edition, R. Holz (Editor), Wiley & sons Inc., New York, pp. 77-89.
- Astaras, Th., 1976. *A geomorphological approach to Natural Resources Surveys in the Mula area, Murcia, Southeast Spain*. Unpublished thesis for Master of Science in Applied Geomorph., Sheffield Univ., England.
- Astaras, Th., 1984. *Land complex classification of the Mula area, Murcia Province, Southeast Spain*. *Geografiska annaler*, 66A, 4, pp. 307-325.
- Astaras Th., 1985. *Drainage network analysis of LANDSAT images of the Olympus-Pieria mountain area, northern Greece*. *Intern. Journal of Remote Sensing (U.K.)*, 6, 673-686.
- Αστάρας, Θ., 1986. *Τηλεπισκόπησης Γεωπιστήμες Πανεπιστημιακές σημειώσεις*, Α.Π.Θ. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, 200 σελ.
- Astaras, Th., 1990. *The contribution of LANDSAT Thematic Mapper imagery to geological and geomorphological reconnaissance mapping in the mountain area of Kerkini - SW part of Rhodope massif and the surrounding plains (Hellenic - Bulgarian borders)*. Ανακοινώθηκε στο "2nd Hellenic-Bulgarian Symposium on the Geological and Physiological problems of the Rhodope Massif", Thessaloniki, October, 1989, *GEOGRAPHICA RHODOPICA*, volume 2, pp. 104-114.
- Astaras Th, 1994. *The present state of Remote Sensing applications to geological science in Greece*. *International Journal of Remote Sensing*, vol.15 (6), 1251-1258.
- Astaras Th. and Lambrinos N., 1988. *Land classification of part of Thrace (East Rhodope) by visual interpretation of MSS images of First and Second generation LANDSAT images*. *GeoJournal (F.R.G.)*, 17.3, 357-363.
- Astaras Th, and N. Silleos, 1984. *Land classification of part of Central Macedonia (Greece) by the use of Remote Sensing techniques*. *International Journal of Remote Sensing (U.K)* 5 (1), 289-302.
- Astaras, Th. and Soulakellis, N., 1990. *Landsat-TM data enhancement techniques for mapping geological and geomorphological features in Central Macedonia Area, N.Greece*. *Proceedings of IESCA-1990, (International Earth Sciences Congress on Aegean Regions)*, Izmir, Turkey, volume II, Tectonic Section, pp. 76-91.
- Astaras, Th. and Soulakellis, N., 1992. *Contribution of digital image analysis techniques on Landsat-5 TM imageries for drainage network delineation. A case study from the Olympus mountain, W. Macedonia, Greece*. *Proceedings of the 18th Annual Conference of the Remote Sensing Society*, 15-17 September 1992, pp. 163-172.

- Astaras Th., Lambrinos N. and N. Soulakellis., 1990. *A drainage system analysis evaluation of, and comparison between, LANDSAT-3 RBV, LANDSAT-5 TM and SPOT PA image-ries covering the Central Macedonia district, Greece*". International Journal of Remote Sensing, vol.11, 1549-1560.
- Astaras, Th., Lambrinos, N., Soulakellis, N., 1996a. *Multitemporal monitoring of the Santorini volcano by the use of the short and thermal infrared images of Landsat -5 TM*. Proceedings of International Symposium of IAEG, Athens, June 23-27, 1997. Balkema Publications, Rotterdam / Brookfield (in print).
- Astaras T., Lambrinos, N., Soulakellis, N., Oikonomidis, D., Kalathas, A., 1996b. *Delineation of landslides usiging digital image processing techniques on multitemporal TM image-ries and GIS. A case study from the Pindus mountainous area, Greece*. Proceedings of the 16th EARSel Congress, Malta, Edited by A. Spiteri, Balkema Publications, Rotterdam / Brookfield, 1997, pp. 215-222 and 360 (color plate).
- Astaras, T., Oikonomidis, D., Lambrinos, N., Filippidis, A., Dimopoulos, G., 1996. *Environmental monitoring of the Straton-Stratoniki area, Chalkidiki, Greece, using LANDSAT /TM digital imageries*. Proceedings of the 16th EARSel Congress, Malta, Edited by A. Spiteri, Balkema Publications, Rotterdam / Brookfield, 1997, pp. 145-149.
- Buchroithner, M., 1999 (Editor). *Remote Sensing for Environmental Data in Albania: A strategy for integrated Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, NATO Science Series 2, Vol. 72, 241p.
- Δομακίνης, Χρ., 2005. *Η χρήση της Τηλεπισκό-πησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη χαρτογράφηση κατολι-σθήσεων στην παράκτια περιοχή Στρυμωνι-κού κόλπου - Καβάλας*. Διατριβή ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 131 σελ.
- Gupta, R. P., 2003. *Remote Sensing Geology*. Second edition, Springer, Berlin, 655 p.
- Kramer, H. J., 2002. *Observation of the Earth and Its Environment*. 4<sup>th</sup> edition, Springer, Berlin, 1510p.
- Nikolakopoulos, K. G., Vaiopoulos, D. A., and Skianis, G. A., 2004: *Monitoring the changes of the lower Alfios River Basin with multisensor satellite data*. In Chatzipetros A.A. and Pavlides S.B. (editors): Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece, 14-20 April 2004, pp 724-725.
- Nikolakopoulos, K., Vaiopoulos, D., Skianis, G. Aim., 2005: *Monitoring the environmental changes at Lefkas Island using remote sens-ing data and GIS techniques*. Proc. SPIE Vol.5983, 299-308, Remote Sensing of Envi-ronmental Monitoring, GIS Applications and Geology V; Manfred Ehlers, Ulrich Michel; Eds.
- Pavlides, S. and Soulakellis, N., 1990. *Multifrac-tured seismogenic area of Thessaloniki 1978 earthquacke (Northern Greece)*. Proceed-ings of IESCA-1990 (International Earth Sci-ences Congress on Aegean Regions), Izmir, Turkey, volume II, Tectonic Section, pp. 64-74.
- Prost, G.L., 2001. *Remote Sensing for Geolo-gists. A Guide to Image Interpretation*. Sec-ond edition, Taylor and Francis, New York, 374 p.
- Sabins, F.F., 1997: *Remote Sensing. Principles and Interpretation*. Third edition, W.H. Free-man and Co., New York, 494 p.
- Silleos N. and Astaras Th., 1986. *Land classifi-cation for terrain resources using SGEOS images. An example from Thessaloniki-Kilkis area (Greece)*. Meeting of the I.G.O., Work-ing Group Landscape Synthesis Banyoles, August 1986, Monographies d'I'EQUIPE, 2, Universitat de Barcelona, Barcelona 1986.
- Silleos N. and Astaras Th., 1987. *Terrain re-sources survey by visual monoscopie and stereoscopic interpretation of FGEOs im-ages*. International Journal of Remote Sens-ing (U.K.), 8 (9), 1335-1348.
- Σουλακέλλης, Ν., 1994. *Συμβολή της ανάλυσης δορυφορικών εικόνων Landsat-5/TM και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφο-ριών στην τεκτονική γεωμορφολογία περιο-*

- χών του Βορειοελλαδικού Χώρου. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., 219 σελ.
- Vaioroulos, D. A., Skianis, G. A., Nikolakopoulos, K., 2004: *The contribution of probability theory in assessing the efficiency of two frequently used vegetation indices*. International Journal of Remote Sensing, 25 (20), 4219-4236.
- Φουρνιάδης, Ι., 2002. Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική εξέλιξη της κοιλάδας του Ανθεμούνα, με τη χρήση μεθόδων GIS και Τηλεπισκόπησης. Διατριβή ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 121 σελ.
- Φουρνιάδης, Ι., Οικονομίδης, Δ. και Αστάρης, Θ., 2002. Εντοπισμός περιοχών επιδεκτικών σε διάβρωση, με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και της Τηλεπισκόπησης. Ένα παράδειγμα από την υδρογραφική λεκάνη του Ανθεμούνα. Πρακτικά 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Τόμος II, σελ. 273-280.

## Η συμβολή των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην εκδήλωση πλημμύρων.

ΚΑΡΥΜΠΑΛΗΣ Ε.<sup>1</sup>, ΓΑΚΗ-ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ Κ.<sup>2</sup>, ΚΑΙ ΜΑΡΟΥΚΙΑΝ Χ.<sup>2</sup>

### ABSTRACT

In this study an investigation is carried out of the physical – geomorphological parameters of Megalo Rema drainage network, located in Rafina (east Attica) as well as human induced factors considered to be responsible for flood events in the broader area of the lower reaches of the river. For this purpose quantitative geomorphological characteristics of the Megalo Rema drainage network were estimated and analyzed. Additionally, the human interference in the channels of the lower drainage network streams as well as the diachronic urban development within the Rafina drainage basin is determined. Among the most important geomorphological flood event causes are the hierarchical draining of stream orders, the high channel gradients in the upper reaches of the tributaries and especially that of Ag. Paraskevi, the burning of significant parts of the pine forests and the narrowing or complete artificial filling of some channels.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνώνται οι φυσικές – γεωμορφολογικές παράμετροι του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας καθώς και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που θεωρούνται επικίνδυνες για την εκδήλωση πλημμυρών στην ευρύτερη περιοχή του κάτω ρου του. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκαν τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος ενώ παράλληλα καταγράφηκαν, αποτυπώθηκαν λεπτομερώς και αξιολογήθηκαν οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις που εντοπίζονται στις κοίτες του κατάντη τμήματός του ενώ επιπλέον υπολογίστηκε η διαχρονική οικιστική ανάπτυξη στον ευρύτερο χώρο της λεκάνης απορροής. Διαπιστώθηκε ότι μεταξύ των φυσικών αιτιών που ευθύνονται για την ενδεχόμενη εκδήλωση πλημμυρών περιλαμβάνονται οι ανωμαλίες στη διαδοχική κατά τάξη απορροή των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και οι μεγάλες κλίσεις των παραποτάμων και κυρίως του ρέματος της Αγ. Παρασκευής. Επιπλέον εκτιμήθηκε ότι σημαντικές είναι οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στις κοίτες του κατώτερου τμήματος του υδρογραφικού δικτύου πλησίον των εκβολών καθώς και η οικιστική ανάπτυξη της λεκάνης απορροής.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή του κάτω ρου του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας χαρακτηρίζεται από ραγδαία οικιστική ανάπτυξη και από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στις κοίτες, οι οποίες υπήρξαν ιδιαίτερα έντονες κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Επιπλέον οι πρόσφατες πυρκαγιές, που αποτέφρωσαν σημαντικό τμήμα της λεκάνης απορροής, σε συνδυασμό με την αύξηση της παροχής του Μεγάλου Ρέματος, μετά την εκτροπή σε

αυτό του ρέματος Χαλανδρίου, κατά την κατασκευή της Απικής οδού, αποτελούν σημαντική απειλή για την εκδήλωση πλημμυρών. Ο συνδυασμός των αρνητικών αυτών συνθηκών, που οφείλονται στην ανθρωπίνη παρέμβαση, με ορισμένα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου, ενδέχεται να εντείνουν και να αυξήσουν τη συχνότητα πλημμυρικών επεισοδίων παρόμοιων με αυτά που σημειώθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Ραφήνας τον χειμώνα του 2004-2005.

### CONTRIBUTION OF GEOMORPHOLOGICAL FEATURES OF THE DRAINAGE NETWORK OF MEGALO REMA (RAFINA) AND HUMAN INTERFERENCE IN OCCURANCE OF FLOOD EVENTS.

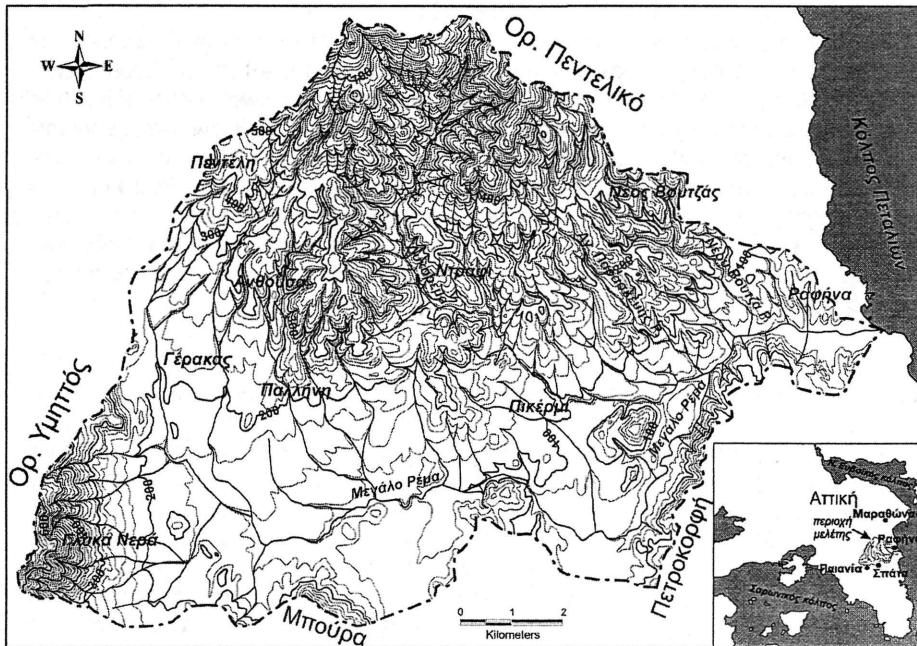
<sup>1</sup> Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελ. Βενιζέλου 70, 176 71 Αθήνα, karymbalis@hua.gr

<sup>2</sup> Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ζωγράφου, 157 84 Αθήνα.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα μορφομετρικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος με σκοπό την αποσαφήνιση των φυσικών παραμέτρων που ευθύνονται για την εκδήλωση πλημμυρών ενώ επιπλέον αποτυπώνονται οι διαχρονικές ανθρωπογενείς επεμβάσεις, στο ανάντη τμήμα του δικτύου, που εντείνουν τον κίνδυνο για την εκδήλωσή τους.

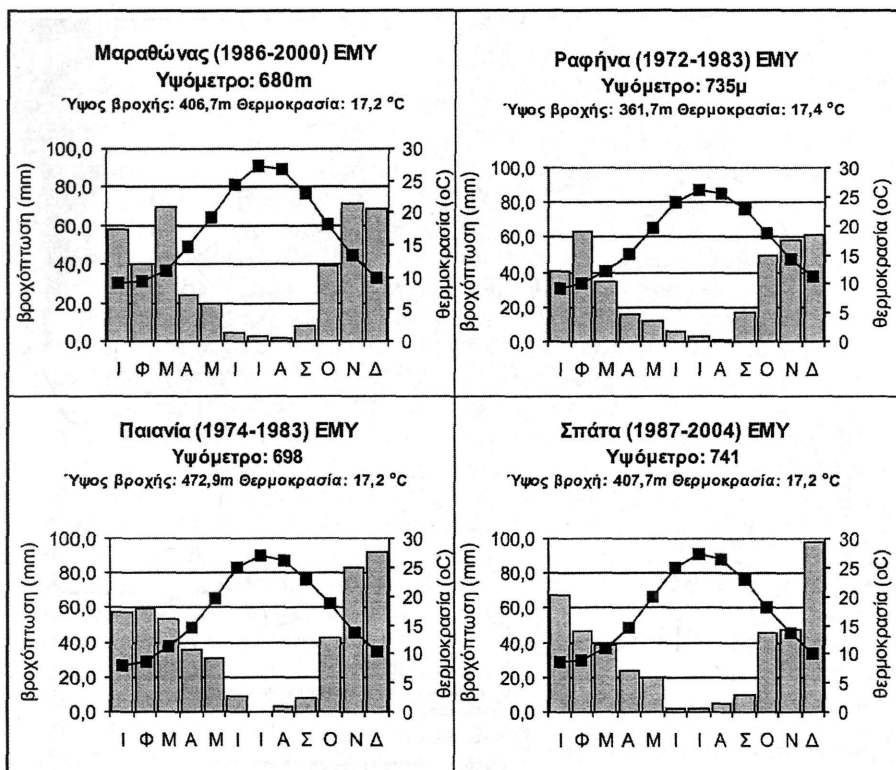
## 2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ - ΚΛΙΜΑ - ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Το Μεγάλο Ρέμα της Ραφήνας βρίσκεται στην Ανατολική Αττική. Έχει λεκάνη απορροής έκτασης 114.2 km<sup>2</sup> που οριοθετείται στα βόρεια και βορειοανατολικά από το Πεντελικό όρος (900 m), στα δυτικά και νοτιοδυτικά από τον Υμητό (728 m) και στα νότια από λόφους μικρού υψομέτρου



Σχήμα 1. Τοπογραφικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας. Στον ένθετο χάρτη της Αττικής φαίνεται η θέση των μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ στη Ραφήνα, την Παιανία, τα Σπάτα και τον Μαραθώνα.



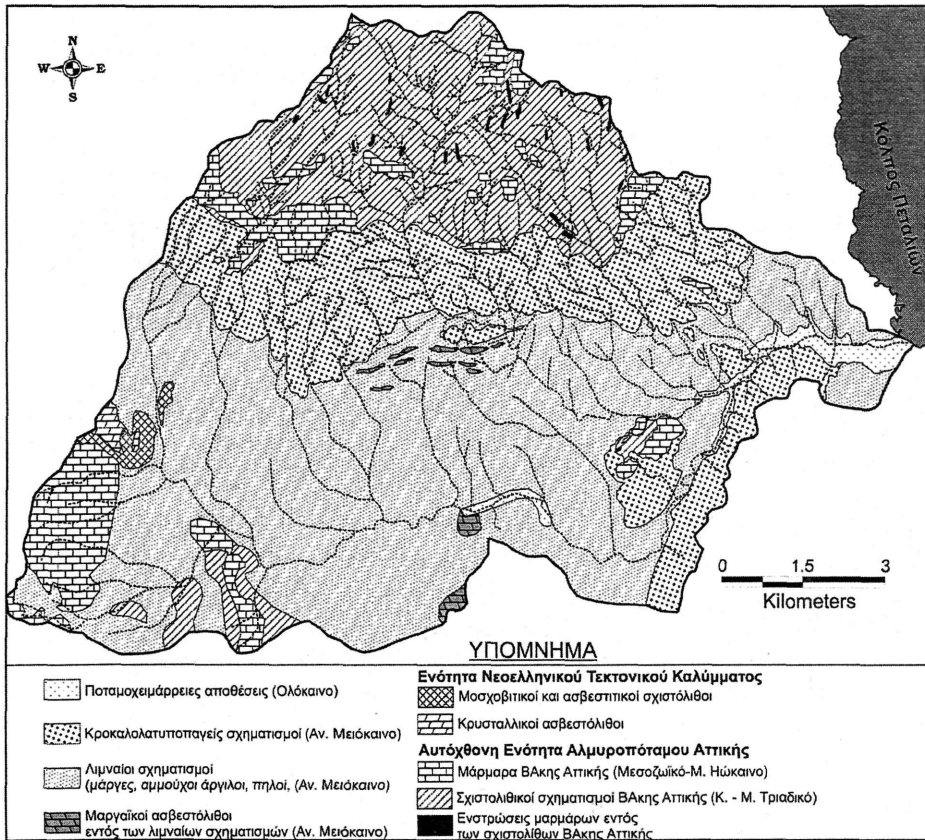


Σχήμα 2. Διαγράμματα ετήσιας κύμανσης της μέσης βροχόπτωσης και της μέσης θερμοκρασίας του αέρα για τους μετεωρολογικούς σταθμούς.

(Μπούρα (300 m), Πετροκορφή (167 m)). Έχει μήκος κεντρικής κοίτης 25.3 km, διεύθυνση ροής στο ορεινό τμήμα από Β προς Ν ενώ στη συνέχεια ρέει από Δ-ΝΔ προς τα Α-ΒΑ εκβάλλοντας στον κόλπο Πεταλιών (Νότιος Ευβοϊκός κόλπος) (Σχ. 1). Οι κυριότεροι παραπόταμοί του είναι τα ρέματα Αγ. Παρασκευής, Λυκόρεμα και Νέου Βουτζά που αποστραγγίζουν τις νότιες πλαγιές του Πεντελικού όρους. Το κύριο χαρακτηριστικό του υδρογραφικού δικτύου είναι η ασυμμετρία ώστε η κύρια ανάπτυξή του να είναι βόρεια της κεντρικής κοίτης ενώ νότια αυτής να υπάρχουν λιγότεροι μόνο κλάδοι μικρών τάξεων.

Για τη σκιαγράφηση των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής επεξεργάστηκαν πρω-

τογενή δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας του αέρα των μετεωρολογικών σταθμών Ραφήνας, Παιανίας, Σπάτων και Μαραθώνα, που είναι εγκατεστημένοι από την ΕΜΥ, περιμετρικά της υπό μελέτη υδρογραφικής λεκάνης (Σχ. 2). Η ανάλυση των κλιματικών στοιχείων έδειξε ότι η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από μικρά ετήσια ύψη βροχής που κυμαίνονται από 361.7 mm στο σταθμό της Ραφήνας έως 472.9 mm στο σταθμό της Παιανίας με το μεγαλύτερο μέρος της βροχόπτωσης να σημειώνεται από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάρτιο ενώ η μέση ετήσια θερμοκρασία στο σταθμό της Ραφήνας και της Παιανίας ανέρχεται σε 17.2 °C.



Σχήμα 3. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος (ΙΓΜΕ, 1997).

Η λεκάνη απορροής του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας δομείται από τους σχηματισμούς της αυτόχθονης ενότητας Αλμυροπόταμου – Αττικής και του Νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος ενώ ένα σημαντικό τμήμα της καταλαμβάνεται από Άνω-Μειοκαινικές αποθέσεις (Σχ. 3). Συγκεκριμένα στο βόρειο τμήμα αναπτύσσονται οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί της ΒΑκης Αττικής ηλικίας Κατωτέρου - Μέσου Τριαδικού, που ανήκουν στην αυτόχθονη ενότητα Αλμυροπόταμου Αττικής καθώς και μικρές εμφανίσεις μαρμάρων της ίδιας ενότητας. Νοτιότερα, στις παρυφές του Πεντελικού όρους, αναπτύσσονται Άνω-Μειοκαινικά κροκαλολατυποπαγή που αποτελούν αποθέσεις παλαιών αλλουβιακών κώνων και ριπιδίων. Οι αποθέσεις αυτές μεταβαίνουν σε λιμναίους σχηματισμούς (μάργες, αμμούχοι άργιλοι και πηλοι) ηλικίας Ανωτέρου Μειοκαινού που περιέχουν την περίφημη Πικερ-

μική πανίδα και καταλαμβάνουν το νότιο τμήμα της λεκάνης. Δυτικά, στην περιοχή του Υμηπτού, υπάρχει μια εμφάνιση μαρμάρων ηλικίας Μεσοζωϊκού – Μ. Ηωκαίνου της ενότητας Αττικής. Τέλος κατά θέσεις, εκατέρωθεν της κεντρικής κοίτης του Μεγάλου Ρέματος, αναπτύσσονται Ολοκαινικές αλλουβιακές ποταμοχειμάρριες αποθέσεις.

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τη διερεύνηση της συμβολής των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών στη γένεση πλημμυρών υπολογίστηκαν οι ποσοτικές μορφομετρικές παράμετροι του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας. Για την ποσοτική μελέτη και τη μέτρηση των μορφομετρικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες, κλίμακας 1:50000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Το υδρογραφικό

δίκτυο αριθμήθηκε σύμφωνα με το σύστημα του Strahler (1957) και χαράχτηκαν οι υδροκρίτες των επιμέρους λεκανών απορροής. Διερευνήθηκε η σχέση του αριθμού των κλάδων (N), του μέσου μήκους (L), και του μέσου εμβαδού των λεκανών απορροής (A) ανά τάξη (u) κατά Horton (1945) ενώ επιπλέον εκτιμήθηκε το συνολικό μήκος των κλάδων και το αντίστοιχο εμβαδόν των υδρογραφικών λεκανών κάθε τάξης που απορρέουν άμεσα σε κλάδους μεγαλύτερης τάξης. Υπολογίστηκαν οι παράμετροι της υδρογραφικής υψής (υδρογραφική συχνότητα και πυκνότητα) και σχεδιάστηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες γεωγραφικής τους κατανομής μετά την ομαδοποίηση των λεκανών απορροής σε τέσσερις κατηγορίες. Σχεδιάστηκαν οι επιμήκεις τομές τόσο της κεντρικής κοίτης του Μεγάλου Ρέματος όσο και των τριών κύριων παραποτάμων του (Λυκόρρεμα, ρέμα Αγ. Παρασκευής και ανώνυμος) και υπολογίστηκε η κλίση της κοίτης κατά μήκος της διαδρομής τους. Για την εκτίμηση των ανθρωπογενών επεμβάσεων, που ευθύνονται για τις πλημμύρες, υπολογίστηκε η έκταση της λεκάνης που έχει δομηθεί χρησιμοποιώντας πρόσφατους χάρτες. Οι κοίτες του κατώτερου τμήματος του υδρογραφικού δικτύου διακρίθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες ήτοι σε φυσικές κοίτες, σε διευθετημένες, σε μερικώς επιχωματωμένες (μπαζωμένες) και σε τελείως καλυμμένες - επιχωματωμένες (μπαζωμένες) κοίτες και χαρτογραφήθηκαν λεπτομερώς σε κλίμακα 1:5000 μετά από εργασία υπαίθρου. Για την οργάνωση, επεξεργασία και αξιολόγηση των δεδομένων, τους ποσοτικούς υπολογισμούς

καθώς και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων οργανώθηκε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών με τη χρήση του λογισμικού MapInfo.

#### 4. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ

##### 4.1 Ανάλυση του δικτύου σύμφωνα με τους νόμους του Horton

Η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του αριθμού των κλάδων ανά τάξη οδηγεί στη διαπίστωση ότι οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου είναι αριθμητικά πολύ λιγότεροι απ' ό,τι αν επικρατούσαν ιδανικές συνθήκες απορροής με τις σημαντικότερες αρνητικές αποκλίσεις να παρατηρούνται στην τέταρτη και τρίτη τάξη (Πιν. 1). Συνεπώς το δίκτυο από πλευράς πλήθους κλάδων απέχει αρκετά από την ιδανική ανάπτυξη που θα επέτρεπε την ομαλή αποστράγγιση της λεκάνης.

Για τη σχέση μεταξύ του μέσου μήκους των κλάδων καθώς και του μέσου εμβαδού των λεκανών απορροής, οι αποκλίσεις είναι θετικές και πολύ υψηλές ιδιαίτερα για την τέταρτη και τρίτη τάξη και δείχνουν μια υπερανάπτυξη του μήκους των κοιτών και των εκτάσεων που αποστραγγίζουν για όλες τις τάξεις εκτός της έκτης. Η αρνητική απόκλιση της έκτης τάξης οφείλεται στο ότι η συμβολή των δύο κλάδων πέμπτης γίνεται πολύ κοντά στις εκβολές.

Τάξη (u)	αρ. κλάδων (Nu)	λόγος Rb	μέσος λόγος (Rb)	ίδαν αρ. κλάδων	απόκλιση (%)	Μήκος (Lu)	Λόγοι (RL)	Μέσος λόγος (RL)	ίδαν τιμή μήκους	απόκλιση (%)	Εμβαδόν (Au)	Λόγοι (RA)	Μέσος λόγος (RA)	ίδαν τιμή εμβαδού	απόκλιση (%)
1	280			380	-26,3	0,5			0,5	0	0,1			0,1	0
2	69	4,1		116	-40,5	2,3	4,6		1,9	21,1	0,8	8		0,5	60
3	16	4,3		35	-54,3	9,4	4,1		7,0	34,3	3,5	4,4		2,1	66,7
4	4	4	3,28	11	-63,6	50,7	5,4	3,74	26,2	93,5	19,3	5,5	4,56	9,5	103,2
5	2	2		3	-33,3	115,9	2,3		97,8	18,5	50,2	2,6		43,2	16,2
6	1	2		1	0	269,5	2,3		365,9	-26,3	114,2	2,3		197,2	-42,1

Πίνακας 1. Σχέση αριθμού κλάδων, μέσου μήκους κλάδων και μέσου εμβαδού λεκανών απορροής ανά τάξη για το υδρογραφικό δίκτυο του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας από χάρτες κλίμακας 1:50000 της ΓΥΣ.

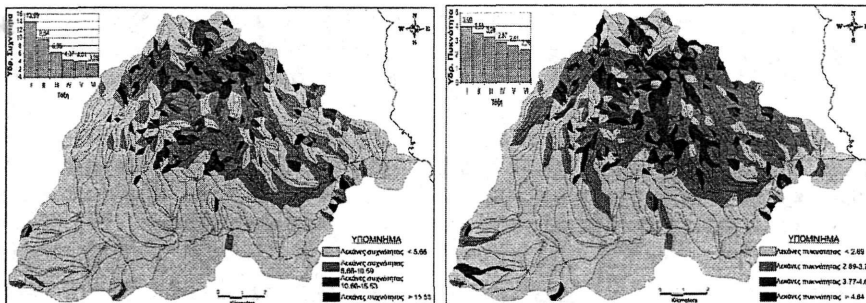
#### 4.2 Διαδοχική κατά τάξη απορροή

Στη διαδοχική κατά τάξη απορροή του υδρογραφικού δικτύου παρατηρούνται ανωμαλίες τόσο στα μήκη των κοιτών όσο και στα αντίστοιχα εμβαδά των υδρολογικών λεκανών (Πίν. 2). Συγκεκριμένα το 22.6% του μήκους των κλάδων δεύτερης τάξης και το 18.5% του εμβαδού των αντίστοιχων λεκανών απορρέει άμεσα σε κλάδους τέταρτης τάξης ενώ το 16.7% και το 14.3% του συνολικού μήκους και εμβαδού τρίτης τάξης αντίστοιχα απορρέουν άμεσα σε έκκτης. Για το αυξημένο ποσοστό των κλάδων δεύτερης τάξης ευθύνεται το Λυκόρεμα, που αποτελεί έναν αρκετά επιμήκη κλάδο τέταρτης τάξης ο οποίος δέχεται άμεσα την απορροή λεκανών δεύτερης τάξης συνολικού εμβαδού 8.3 Km<sup>2</sup>. Για την ανωμαλία στην τρίτη τάξη ευθύνεται το ρέμα του νέου Βουτζά που αποστραγγίζει έκταση 6.35 km<sup>2</sup> και απορρέει άμεσα στην έκκτης τάξης κεντρική κοίτη του Μεγάλου Ρέματος. Το

υδρογραφικό δίκτυο του Μεγάλου Ρέματος ακολουθεί το νόμο της υδρογραφικής υψής παρουσιάζοντας μια φυσιολογική μείωση των μέσων τιμών της υδρογραφικής συχνότητας και πυκνότητας με την αύξηση της τάξης (Σχ. 4, Πιν. 3). Το βόρειο τμήμα της λεκάνης εμφανίζει λεπτή υδρογραφική υφή με υψηλές τιμές συχνότητας και πυκνότητας να εντοπίζονται σε νέους κλάδους μικρών τάξεων (πρώτης και δεύτερης). Η γεωγραφική κατανομή της υδρογραφικής υψής εντός της λεκάνης ελέγχεται από τη λιθολογία των σχηματισμών στους οποίους αναπτύσσονται οι επιμέρους λεκάνες απορροής ώστε αυτές που έχουν ως υπόβαθρο τους υδατοστεγείς σχιστόλιθους να εμφανίζουν πολύ υψηλότερες τιμές απ' ό,τι λεκάνες που αναπτύσσονται σε κροκαλολατυποπαγή ενώ λεκάνες που έχουν σαν υπόβαθρο μάργες, πηλούς και αργίλους εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές.

τάξη	μήκος κοιτών (km)	%	εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	%	τάξη	μήκος κοιτών (km)	%	εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	%
1η σε 2η	88,53	71	29,46	70,7	2η σε 5η	12,59	7,8	6,28	10,8
1η σε 3η	13,33	11	3,18	7,6	2η σε 6η	5,12	3,2	1,70	2,9
1η σε 4η	12,79	10	5,12	12,3	3η σε 4η	124,80	83,3	47,41	85,7
1η σε 5η	6,22	5	2,68	6,4	3η σε 5η	0	0	0	0
1η σε 6η	3,76	3	1,20	3	3η σε 6η	24,99	16,7	7,88	14,3
2η σε 3η	107,6	66,4	39,33	67,8	4η σε 5η	202,6	100	77,18	100
2η σε 4η	36,63	22,6	10,73	18,5	4η σε 6η	0	0	0	0

Πίνακας 2. Διαδοχική κατά τάξη απορροή του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας.



Σχήμα 4. Χάρτες γεωγραφικής κατανομής των παραμέτρων της υδρογραφικής υψής (α) υδρογραφικής συχνότητας, (β) υδρογραφικής πυκνότητας, στη λεκάνη απορροής του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας.

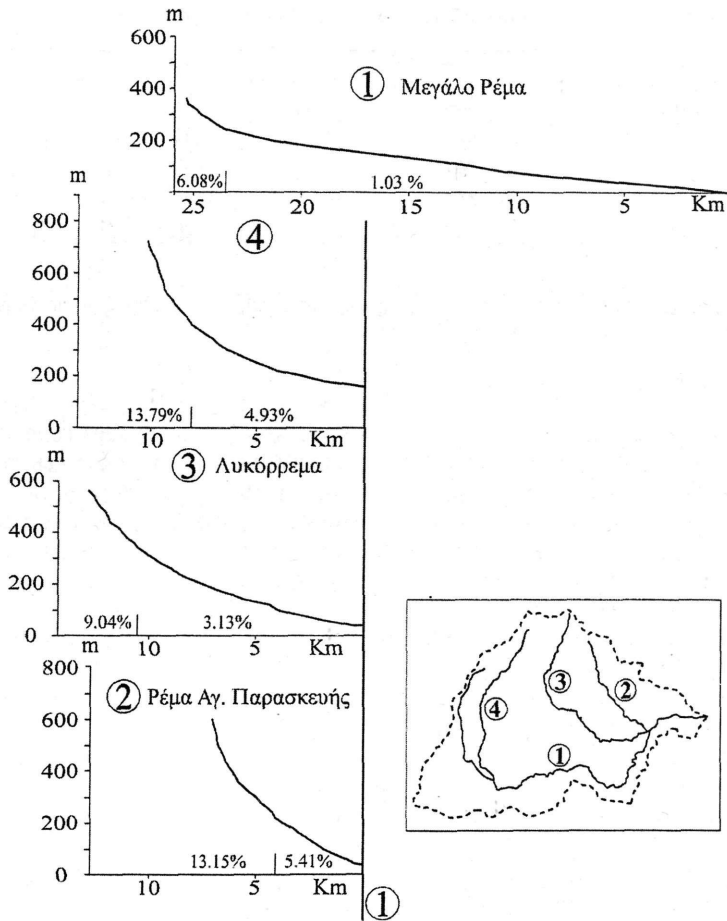
Τάξη	Υδρογραφική Συχνότητα	Υδρογραφική Πυκνότητα
1η	13,99	3,99
2η	9,54	3,55
3η	6,35	3,28
4η	4,37	2,87
5η	4,01	2,61
6η	3,26	2,36

Πίνακας 3. Μέσες τιμές των παραμέτρων της υδρογραφικής συχνότητας και πυκνότητας για τις λεκάνες των έξι τάξεων του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος.

#### 4.3 Επιμήκεις τομές

Η κεντρική κοίτη του Μεγάλου Ρέματος εμφανίζει ένα κατώτερο τμήμα μικρής κλίσης (1.03%) και ένα ορεινό τμήμα, μήκους περίπου 2 km, που διαρρέει τις υπώρειες του Πεντελικού όρους, με μέση κλίση 6.08% (Σχ. 5). Οι παραπόταμοι Αγ. Παρασκευής, Λυκόρεμα καθώς και ο παραπόταμος που στο σχήμα απεικονίζεται με τον αριθμό 4, οι οποίοι αποστραγγίζουν τις νότιες πλαγιές του Πεντελικού, εμφανίζουν μεγάλες κλίσεις στα ανάντη (9.04%-13.79%) ενώ στα κατόντη σχετικά ήπιες (3.13%-5.41%). Οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις στα ανάντη τμήματα των ρεμάτων συνηγορούν σε μια αυξημένη ταχύτητα ροής σε περιπτώσεις βροχοπτώσεων, με αποτέλεσμα τον μικρό χρόνο άφιξης των επιφανειακών νερών στην πεδινή περιοχή της συμβολής με την κεντρική κοίτη του Μεγάλου

Ρέματος. Η μεγάλη κλίση της κοίτης του ρέματος Αγ. Παρασκευής σε συνδυασμό με το γεγονός ότι συμβάλει με το Μεγάλο Ρέμα αρκετά κοντά στις εκβολές του σε μια περιοχή όπου αναπτύσσεται οικιστικά με γοργό ρυθμό θεωρείται ένα από τα σημαντικά φυσικά αίτια για την εκδήλωση πλημμυρών.



Σχήμα 5. Επιμήκεις τομές του Μεγάλου Ρέματος και των τριών μεγαλύτερων παραποτάμων του. Οι επιμήκεις τομές των παραποτάμων έχουν τοποθετηθεί στα σημεία συμβολής τους με την κεντρική κοίτη του Μεγάλου Ρέματος, η οποία αντιστοιχεί στην ευθεία γραμμή.

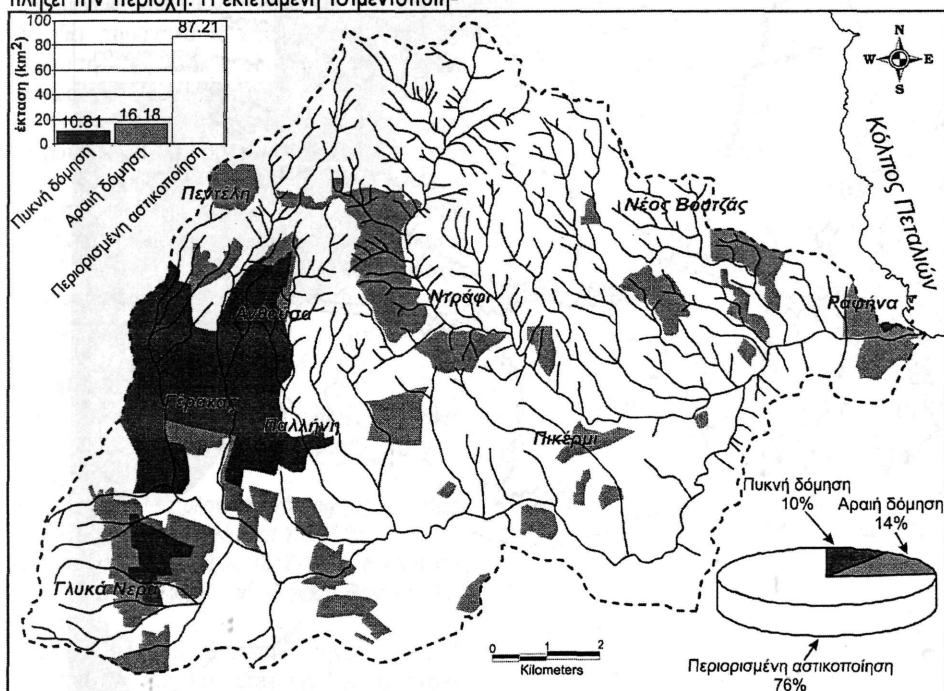
##### 5. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΚΟΙΤΕΣ ΚΑΙ ΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ

Η οικιστική ανάπτυξη της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος απεικονίζεται στον χάρτη του Σχήματος 6. Η αστικοποιημένη περιοχή διακρίθηκε σε πυκνής δόμησης που καταλαμβάνει έκταση 10.81 km<sup>2</sup> (10% της λεκάνης) και αραιής δόμησης με έκταση 16.18 km<sup>2</sup> (14% της λεκάνης). Η δομημένη περιοχή ανέρχεται συνολικά σε 26.99 km<sup>2</sup> και αντιστοιχεί στο 23.6% του συνολικού εμβαδού της λεκάνης. Η

σύγκριση πρόσφατων χαρτών με αυτούς των Curtius & Kaupert του 1878-94 δείχνει ότι η περιοχή παρουσιάζει μια δόμηση άνευ προηγουμένου τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Μεγαλύτερη αστικοποίηση εντοπίζεται στο δυτικό, ήπιας μορφολογίας, τμήμα της λεκάνης και συγκεκριμένα στις περιοχές του Γέρακα, της Ανθούσας, της Παλλήνης και των Γλυκών Νερών ενώ ραγδαία είναι η οικιστική ανάπτυξη κατά τις τελευταίες δεκαετίες στην ευρύτερη περιοχή της Ραφήνας και του Νέου Βουτζά κοντά στις εκβολές του Μεγάλου Ρέματος. Στην έξαρση της οικιστικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή συνετέλεσε σε σημαντικό βαθμό η πρό-

σφατη κατασκευή της Αττικής Οδού η οποία σχεδιάζεται να επεκταθεί μέχρι τη Ραφήνα. Σημαντική είναι η παρατήρηση ότι η μη αστικοποιημένη περιοχή της λεκάνης απορροής είναι σε σημαντικό βαθμό αποτεφρωμένη μετά τις εκτεταμένες πυρκαγιές που έχουν κατά καιρούς πλήξει την περιοχή. Η εκτεταμένη τσιμεντοποίη-

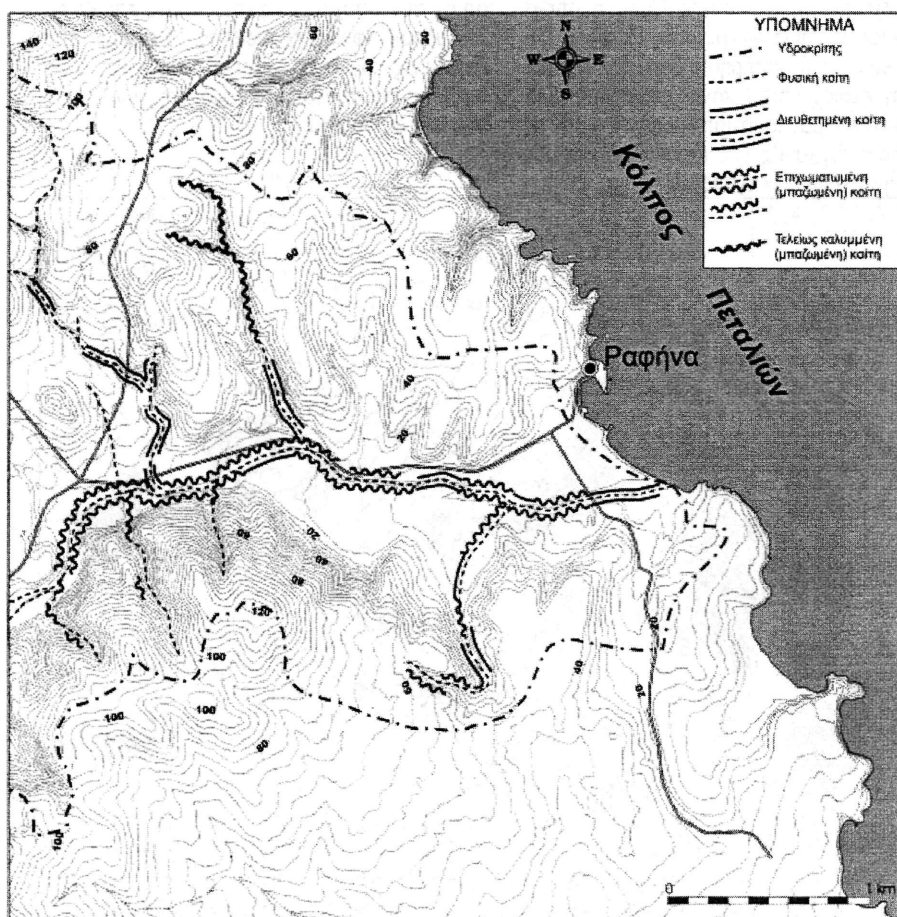
ση σε συνδυασμό με τις επεμβάσεις στις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου που διέρχεται από δομημένες περιοχές αποτελεί σημαντική αιτία αύξησης της συχνότητας εμφάνισης των πλημμυρικών φαινομένων.



Σχήμα 6. Χάρτης της οικιστικής ανάπτυξης της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας.

Οι κοίτες του κάτω τμήματος του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας χαρτογραφήθηκαν λεπτομερώς προκειμένου να διαπιστωθούν οι επεμβάσεις τις οποίες έχουν υποστεί και η επίδρασή τους στην φυσική αποστράγγιση της περιοχής (Σχ. 7). Διαπιστώθηκε ότι σημαντικό μήκος των κοιτών, που διέρχονται από δομημένες περιοχές, έχει διευθετηθεί τεχνητά γεγονός που ενισχύει την επιφανειακή απορροή και περιορίζει σημαντικά την κατείσδυση. Επιπλέον η αλλοίωση των φυσικών συνθηκών απορροής οφείλεται στον περιορισμό της διατομής ή ακόμη και την πλήρη κάλυψη σημαντικού μήκους των κοιτών λόγω

επιχωματώσεων. Ο περιορισμός της κοίτης λόγω των επιχωματώσεων και της ρίψης απορριμμάτων εντός αυτών πέρα από τη μείωση της παροχευτικότητας των ρεμάτων αυξάνει την στερεοπαροχή με αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση του όγκου της επιφανειακής απορροής εντείνοντας τα αρνητικά αποτελέσματα των πλημμυρών. Άλλη μια σημαντική αιτία αύξησης της στερεοπαροχής των ρεμάτων αποτελεί η έλλειψη φυτοκάλυψης μετά τις εκτεταμένες πυρκαγιές που αποτέφρωσαν μεγάλο μέρος της ευρύτερης περιοχής.



Σχήμα 7. Χάρτης ανθρωπογενών παρεμβάσεων στις κοίτες του κατώτερου τμήματος του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η λεκάνη απορροής του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας και ιδιαίτερα ο κάτω ρους του ποταμού αποτελεί μια περιοχή μεγάλης επικινδυνότητας στην εκδήλωση πλημμυρών. Σε αυτό συντελούν τόσο τα φυσικά-γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής όσο και η ανθρωπογενής παρέμβαση στο φυσικό περιβάλλον που υπήρξε ιδιαίτερα έντονη κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Στις φυσικές αιτίες περιλαμβάνονται τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος με σημαντικότερο τις ανωμαλίες στη διαδοχική κατά

τάξη απορροή. Η σημαντική επιβάρυνση της επιφανειακής απορροής του κάτω ρου του ποταμού οφείλεται στην άμεση απορροή των επιφανειακών νερών που προκύπτουν από την αποστράγγιση λεκανών δεύτερης τάξης στην κοίτη του Λυκορέματος καθώς και της λεκάνης του τρίτης τάξης ρέματος του Νέου Βουτζά στην κεντρική κοίτη του Μεγάλου Ρέματος. Άλλη σημαντική φυσική αιτία αποτελούν οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις της κοίτης των παραποτάμων (κυρίως του ρέματος της Αγ. Παρασκευής) στο ορεινό τους τμήμα, που συντελούν στην αύξηση της ταχύτητας της επιφανειακής απορροής και τη μείωση του χρόνου άφιξης και συ-



γκέντρωσης των νερών στην κεντρική κοίτη η οποία παρουσιάζοντας μικρότερη κλίση αδυνατεί να παροχετεύσει τον συνολικό όγκο του νερού.

Στην αυξημένη πλημμυρική επικινδυνότητα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η αύξηση των δομημένων εκτάσεων, η οποία αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα έτη, λόγω της διέλευσης της Αττικής οδού από την περιοχή καθώς και η αύξηση της παροχής της κεντρικής κοίτης του Μεγάλου Ρέματος από την πρόσφατη εκτροπή του ρέματος του Χαλανδρίου. Επιπλέον ο περιορισμός ή η πλήρης κάλυψη, λόγω επιχωματώσεων, σημαντικού μήκους των ρεμάτων του κάτω τμήματος του υδρογραφικού δικτύου που διέρχονται από δομημένες κυρίως περιοχές συντελεί στην αλλοίωση των φυσικών συνθηκών αποστράγγισης.

#### **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- Γ.Υ.Σ. 1988. *Τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50000 φύλλα Αθήνα-Κοροπί, Κηφισιά, Ραφήνα.*
- Ι.Γ.Μ.Ε. 1997. *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Κηφισιά, κλίμακα 1:50.000.*
- Curtius E. & Kaupert A. 1878-1894. *Karten von Attika in 1:25.000*, ed. Dietrich Reimer, Berlin.
- Horton R. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. America Bulletin*, 56, 275-370.
- Strahler A. 1957. Quantitative analysis of watershed Geomorphology. *Am. Geophys. Union Trans.* 38(6), 913-920.

## Διαχρονική παρατήρηση των μεταβολών της ακτογραμμής τμήματος της παράκτιας ζώνης του νόμου Πιερίας και εκτίμηση των επιπτώσεων από την μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης

ΤΣΑΝΑΚΑΣ Κ.<sup>1</sup>, ΚΑΡΥΜΠΑΛΗΣ Ε.<sup>1</sup>, ΚΑΙ ΠΑΡΧΑΡΙΔΗΣ Ι.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The aim of this study is to detect shoreline changes along part of the coastal zone of Pieria during the time period between 1969 and 2000 using aerial photographs and satellite images. Additionally, a quantitative and qualitative assessment of the future sea-level rise (triggered by the global climate change) implications to the physical and socioeconomic environment of the area is attempted taking into account various sea-level rise scenarios. Retreating as well as prograding regions along the study area were defined and retreating/prograding rates for the time periods 1969-1987 and 1987-2000 were estimated using GIS and Remote Sensing techniques. Building activity rates for the coastal area of Paralía Katerinis were also estimated for the same periods. The coastline of the study area is retreating except than the area north of torrent Mavroneri where a progradation rate of 48 cm/year was estimated between 1969 and 1987. Retreating rate of the coast for the northern part of the area (Saltworks) is estimated to be 25 cm/year and 19 cm/year for the periods of 1969-1987 and 1987-2000 respectively. The broader study area is particularly vulnerable to a potential future sea-level rise due to the low-lying topography of the coastal zone and intensive socioeconomic activities such as tourism and commerce.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν οι διαχρονικές μεταβολές της ακτογραμμής κατά την χρονική περίοδο 1969-2000 τμήματος των ακτών του νομού Πιερίας με τη χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων. Επιπλέον επιχειρήθηκε μια ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των επιπτώσεων τόσο στο φυσικό-γεωγραφικό όσο και στο κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον από μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης λόγω της αλλαγής των κλιματολογικών συνθηκών σε παγκόσμια κλίμακα λαμβάνοντας υπόψη διάφορα σενάρια ανόδου. Με τη συνδυασμένη εφαρμογή μεθόδων Τηλεπισκόπησης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών υπολογίστηκαν οι ρυθμοί μετατόπισης (προέλαση-υποχώρηση) της ακτογραμμής από το 1969 έως το 2000 ενώ παράλληλα εκτιμήθηκε η διαχρονική εξέλιξη της δόμησης στον παράκτιο οικισμό της Παραλίας Κατερίνης. Διαπιστώθηκε υποχώρηση σε όλο το μήκος της ακτογραμμής με εξαίρεση την περιοχή βόρεια των εκβολών του Μαυρονερίου όπου μεταξύ 1969 και 1987 έχει λάβει χώρα προέλαση με μέσο ρυθμό 48cm/έτος. Ο ρυθμός υποχώρησης της ακτής στο βόρειο τμήμα των αλυκών υπολογίστηκε σε 25cm/έτος και 19cm/έτος για τις περιόδους 1969-1987 και 1987-2000 αντίστοιχα. Η μεγάλη έκταση της χαμηλής παράκτιας ζώνης, σε συνδυασμό με την έντονη συγκέντρωση κοινωνικοοικονομικών δραστηριοτήτων στην περιοχή, την καθιστούν ιδιαίτερα ευάλωτη στην μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

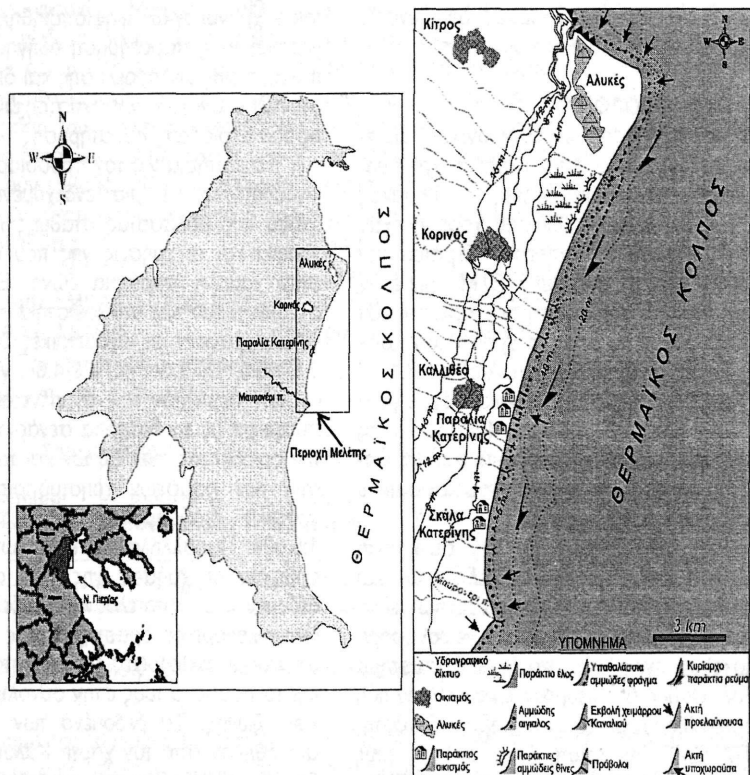
Οι παράκτιες περιοχές εμφανίζουν μεγάλη κοινωνικο-οικονομική σημασία κυρίως λόγω των έντονων ανθρώπινων δραστηριοτήτων που

### SHORELINE CHANGES ALONG PART OF THE COASTAL ZONE OF PIERIA AND ASSESSMENT OF THE FUTURE SEA-LEVEL RISE IMPACTS

<sup>1</sup> Department of Geography, Harokopio University, 70 El. Venizelou Str., 176 71, Athens, tsanakas83@yahoo.gr, karymbalis@hua.gr, parchar@hua.gr

συγκεντρώνουν. Ένας από τους μεγαλύτερους κινδύνους που απειλεί τα εύθραυστα αυτά περιβάλλοντα, είναι μια ενδεχόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης με όλες τις αρνητικές συνέπειες που αυτή συνεπάγεται (Meier & Wahr,

2002). Στην εργασία αυτή γίνεται μια απόπειρα αποτύπωσης και μέτρησης των μεταβολών της



Σχήμα 1. Χάρτης της περιοχής μελέτης με τα κυριότερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

ακτογραμμής για το χρονικό διάστημα μεταξύ των ετών 1969 και 2000 ενώ επιπλέον εκτιμώνται οι επιπτώσεις που θα επιφέρει στην περιοχή μελέτης μια ενδεχόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης.

Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα των δυτικών ακτών του Θερμαϊκού κόλπου με συνολικό μήκος ακτογραμμής 23,2 km και εκτείνεται από την περιοχή των Αλυκών Κίπρου έως τις εκβολές του χειμάρρου Μαυρονέρι (Σχ. 1). Αποτελεί τμήμα της παράκτιας ζώνης του νομού Πιερίας και περιλαμβάνει τις ακτές των οικισμών Παραλία Κατερίνης, Σκάλα Κατερίνης και Παραλία Κορινού. Η παράκτια ζώνη που μελετήθηκε

καταλαμβάνει έκταση 34,343 km<sup>2</sup> από την ακτογραμμή μέχρι την ισουψή των 4 m και αποτελεί μια εκτεταμένη, προσχλωσιγενή, αμμώδη ακτή, σχεδόν ευθύγραμμη με προσανατολισμό Β.ΒΑ – Ν.ΝΔ. Σε όλο το μήκος της χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός μεγάλου εύρους και μικρής κλίσης αιγιαλό που αποτελείται από μεσόκοκκη άμμο. Κατά μήκος αυτής εκβάλλουν αποστραγγιστικά κανάλια και μικροί χείμαρροι με σημαντικότερο από πλευράς στερεοπαροχής τον χείμαρρο Μαυρονέρι στο νότιο όριο της περιοχής (Jollouli et al. 2000).

Το κλίμα της περιοχής κατατάσσεται κατά Koerppen στον κλιματικό τύπο Cfa, είναι δηλαδή

μεσογειακό, υγρό, μεσόθερμο. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 15,2 °C, το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης στον μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στην Κατερίνη ανέρχεται σε 592,6 mm. Οι επικρατέστεροι άνεμοι που επηρεάζουν τον κυματισμό και το παράκτιο ρεύμα στην παράκτια ζώνη πνέουν από Β-ΒΔκές διευθύνσεις καθ' όλη σχεδόν την διάρκεια του έτους.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την εκτίμηση των διαχρονικών αλλαγών της ακτογραμμής στην περιοχή χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:42.000, έτους λήψης 1969 που χορηγήθηκαν από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού και δορυφορικές εικόνες Landsat 7 ETM+ των ετών 1987 και 2000. Η αξιολόγηση των πρωτογενών αυτών δεδομένων έγινε με τη χρήση των λογισμικών Erdas Imagine 8.6 και ArcMap 8.1. Η επεξεργασία των αεροφωτογραφιών έγινε μετά τη σάρωσή τους (σε ανάλυση 400dpi) και τη βελτίωση της αντίθεσης (contrast) των ψηφιακών πλέον αρχείων με τη χρήση του λογισμικού Adobe Photoshop Elements 2.0.

Βασική προϋπόθεση για την συγκριτική παρατήρηση των πρωτογενών δεδομένων και την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων είναι το κοινό προβολικό σύστημα. Η γεωαναφορά των αρχείων έγινε στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87. Οι δύο δορυφορικές εικόνες ήταν ήδη γεωμετρικά διορθωμένες στο προβολικό σύστημα UTM GMS '84 οπότε έγινε αλλαγή τους (reproject) στο ΕΓΣΑ '87 με το λογισμικό Erdas Imagine 8.6. Η γεωμετρική διόρθωση των αεροφωτογραφιών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του ίδιου λογισμικού βάσει της δορυφορικής εικόνας Landsat 7 του έτους 1987. Σε κάθε μία από τις τρεις αεροφωτογραφίες του 1969 αναγνωρίστηκαν 7 τουλάχιστον σταθερά σημεία (κυρίως διασταυρώσεις δρόμων) τα οποία ήταν κοινά με την δορυφορική εικόνα. Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών βρέθηκαν από την δορυφορική εικόνα και με μια σειρά διαδρομών στο λογισμικό έλαβε χώρα η γεωμετρική τους διόρθωση με rms error 0.1, 0.05 και 0,07 για κάθε μία από τις τρεις αεροφωτογραφίες αντίστοιχα. Η φασματική ζώνη των δορυφορικών εικόνων που επιλέχθηκε για την αναγνώριση της ακτογραμμής και τον σαφή διαχωρισμό της

ξηράς από την θάλασσα ήταν η band 7. Στην συγκεκριμένη φασματική ζώνη η θάλασσα εμφανίζεται με πολύ σκούρα (μαύρα) εικονοστοιχεία (χαμηλή αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας), και η ξηρά με πολύ φωτεινά (υψηλή αντανάκλαση). Οι ακτογραμμές των τριών χρονολογιών ψηφιοποιήθηκαν και η συγκριτική τους παρατήρηση οδήγησε στον εντοπισμό περιοχών προέλασης και διάβρωσης και στον υπολογισμό των αντίστοιχων ρυθμών για τις δύο περιόδους παρατήρησης.

Τα κριτήρια για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας σε μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης ήταν η τοπογραφία και οι χρήσεις γης που φιλοξενούνται στην χαμηλή παράκτια ζώνη. Εντοπίστηκαν, σχεδιάστηκαν και υπολογίστηκαν η έκταση που καταλαμβάνουν οι υψομετρικές ζώνες 0-0.5m, 0.5-1.0m, 1.0-2.0m και 2.0-4.0m για την εκτίμηση των περιοχών που αναμένεται να πληγούν σύμφωνα με τα διάφορα σενάρια ανόδου. Για την οριοθέτηση των ζωνών και τον προσδιορισμό των εκτάσεων χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ κλίμακας 1:5.000. Παράλληλα για κάθε ζώνη χαρτογραφήθηκαν οι χρήσεις γης που φιλοξενούνται, δεδομένου ότι αποτελούν μια ένδειξη της κοινωνικο-οικονομικής δραστηριότητας και υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες εκτάσεις που καλύπτουν και το ποσοστό τους στην συνολική έκταση της κάθε ζώνης. Τα δεδομένα των χρήσεων γης αντλήθηκαν από τον χάρτη Κάλυψης Χρήσεων Γης του (Ο.Κ.Χ.Ε) κλίμακας 1:100.000 και επιβεβαιώθηκαν από επιτόπια έρευνα. Οι χρήσεις ομαδοποιήθηκαν σε δώδεκα κατηγορίες που περιλαμβάνουν: συνεχή αστική δόμηση, διακεκομμένη αστική δόμηση, μη αρδύσιμη αρόσιμη γη, μόνιμα αρδευόμενη γη, αμπελώνες, σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, γεωργία-φυσική βλάστηση, φυσικούς βοσκότοπους, αιγιαλούς, εκτάσεις αραιής βλάστησης, παράκτια έλη και αλυκές. Ο προσδιορισμός και η χαρτογράφηση των δύο ανώτερων υψομετρικών ζωνών (1.0-2.0m και 2.0-4.0m) αν και απέχουν ακόμη και από τις πιο απαισιόδοξες για το 2100 προβλέψεις, κρίθηκε αναγκαίος διότι αναμένεται να επηρεαστούν έμμεσα από την αναδιανομή των χρήσεων γης λόγω της κατάκλισης από τη θάλασσα των χαμηλότερων υψομετρικών ζωνών.

Οι ανάγκες για αξιόπιστες και ενημερωμένες πληροφορίες γύρω από την γη, την κοινωνία και το περιβάλλον καθώς και η ομαδοποίηση, οργάνωση και αξιοποίησή τους, δεν μπορούν να ικανοποιηθούν με τους παραδοσιακούς τρόπους συλλογής, καταγραφής, ενημέρωσης και επεξεργασίας πληροφοριών (Μανιάτης 1996). Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα Γ.Σ.Π με την οργάνωση των παραπάνω δεδομένων σε θεματικά επίπεδα διανυσματικής μορφής με την χρήση του λογισμικού ArcView 8.1. Με τη βοήθεια αυτού έγιναν ποσοτικές εκτιμήσεις που αφορούν εμβαδά μήκη κ.α ενώ για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων κατασκευάστηκαν θεματικοί χάρτες.

### 3. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ

Στους χάρτες του σχήματος 2 απεικονίζονται οι ακτογραμμές της περιοχής μελέτης κατά

τα έτη 1969, 1987 και 2000, όπως προέκυψαν μετά την ψηφιοποίησή τους από τις γεωμετρικά διορθωμένες αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες. Η συγκριτική τους παρατήρηση επέτρεψε τον εντοπισμό περιοχών στις οποίες λαμβάνει χώρα υποχώρηση ή προέλαση καθώς και τον υπολογισμό των αντίστοιχων ρυθμών κάθε αντίστοιχης περιόδου παρατήρησης. Ο πίνακας 1 περιλαμβάνει τους ρυθμούς προέλασης και υποχώρησης της ακτογραμμής για τις δύο χρονικές περιόδους, όπως υπολογίστηκαν σε τρεις επιλεγμένες θέσεις. Οι θέσεις αυτές αντιστοιχούν σε περιοχές κατά μήκος της ακτογραμμής που εμφανίζουν τις μεγαλύτερες μεταβολές και οι δύο πρώτες εντοπίζονται στο βόρειο και το αολικό τμήμα της περιοχής μελέτης αντίστοιχα ενώ η τρίτη βρίσκεται στην περιοχή βόρεια των εκβολών του χείμαρρου Μαυρονέρι.

Χρονική περίοδος	Σημείο-θέση 1		Σημείο-θέση 2		Σημείο-θέση 3	
	Ρυθμός προέλασης	Ρυθμός υποχώρησης	Ρυθμός προέλασης	Ρυθμός υποχώρησης	Ρυθμός προέλασης	Ρυθμός υποχώρησης
1969-1987	-	25	-	38	48	-
1987-2000	-	19	-	34	-	29

Πίνακας 1. Ρυθμοί Υποχώρησης-προέλασης (cm/έτος) της ακτογραμμής για τις χρονικές περιόδους 1969-1987 και 1987-2000.

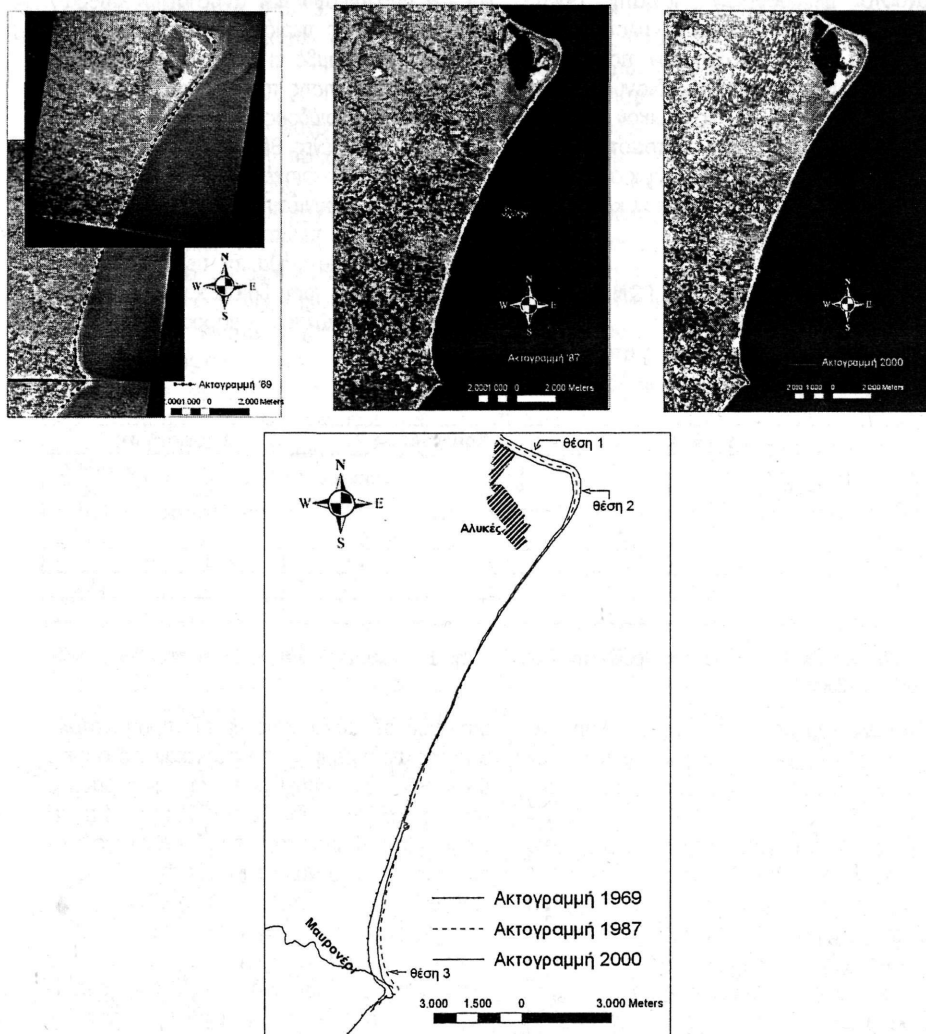
Το βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης (Α-Λυκές) κατά την χρονική περίοδο μεταξύ των ετών 1969 και 1987 έχει υποστεί σημαντική διάβρωση. Συγκεκριμένα στη θέση 1 η ακτογραμμή έχει υποχωρήσει λόγω διάβρωσης από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών κατά 450 m και ο μέσος ρυθμός υποχώρησης ανέρχεται σε 25 cm/έτος για το διάστημα των 18 αυτών ετών. Η υποχώρηση στην περιοχή αυτή πιστοποιείται και από την ύπαρξη χαμηλών παράκτιων κρημνών ως αποτέλεσμα της έντονης διάβρωσης από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών.

Η ταχύτατη διάβρωση οφείλεται στο γενικότερο κυματικό καθεστώς της περιοχής αυτής του θερμαϊκού κόλπου το οποίο κυριαρχείται από κυματισμό με κατεύθυνση από Β-ΒΑ προς Ν-ΝΔ. Η επικρατούσα αυτή διεύθυνση του κυ-

ματισμού σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό της ακτογραμμής στο συγκεκριμένο σημείο δικαιολογεί την υποχώρηση της ακτογραμμής από τις θαλάσσιες διεργασίες. Για την ίδια περίοδο η υποχώρηση στη θέση 2 ήταν μεγαλύτερη φθάνοντας συνολικά τα 684 m (ρυθμός 38 cm/έτος). Και εδώ επικρατούν παρόμοιες συνθήκες με αυτές που περιγράφηκαν για τη θέση 1 οι οποίες δικαιολογούν τους υψηλούς ρυθμούς διάβρωσης. Στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης στη θέση 3 έχει λάβει χώρα προέλαση της ακτής κατά 864m στο χρονικό διάστημα 1969-1987. Η σημαντική αυτή προέλαση με μέσο ρυθμό 48 cm/έτος, οφείλεται στην επικράτηση των μηχανισμών ποτάμιας μεταφοράς και απόθεσης στην παράκτια ζώνη των φερτών υλών του χείμαρρου Μαυρονέρι κυρίως κατά την διάρκεια της υγρής περιόδου του έτους (Οκτώ-

βριος – Απρίλιος) όποτε η στερεοπαροχή αναμένεται να είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Η συσσώρευση υλικού στην ακτογραμμή με υψηλότερους ρυθμούς από αυτούς με τους οποίους τα υλικά αυτά απομακρύνονται πλευρικά ή προς την

ανοιχτή θάλασσα λόγω της δράσης των θαλάσσιων διεργασιών (κυματισμός, παράκτια ρεύματα) οδήγησε σε προέλαση της ξηράς έναντι της θάλασσας.



Σχήμα 2. Φωτο-μωσαϊκό του 1969 και δορυφορικές εικόνες ετών λήψης 1987 και 2000. Στον χάρτη απεικονίζονται οι ακτογραμμές των διαφόρων χρονολογιών όπως προέκυψαν από τις αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες.

Για τη δεύτερη χρονική περίοδο (1987-2000), από τη συγκριτική παρατήρηση των

ακτογραμμών προκύπτει ότι σε όλο σχεδόν το μήκος της περιοχής έχει προκληθεί διάβρωση

εκτός από ένα μικρό τμήμα που εντοπίζεται ΝΑ των αλυκών το οποίο έχει μείνει ανεπηρέαστο. Συγκεκριμένα στη θέση 1 η ακτή έχει υποχωρήσει συνολικά κατά 247 m. Ο ρυθμός υποχώρησης για την περίοδο αυτή είναι 19cm/έτος και είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο ρυθμό που υπολογίστηκε για την πρώτη περίοδο. Στη θέση 2 ο ρυθμός υποχώρησης ανέρχεται σε 34cm/έτος που αυτό πρακτικά σημαίνει πως κατά τη διάρκεια των 13 αυτών ετών η ακτή διαβρώθηκε στο σημείο αυτό συνολικά κατά 442 m. Η Τρίτη θέση στην οποία κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου παρατηρήθηκε πρόελαση, μετά το 1987 άρχισε να υποχωρεί με ρυθμό που έφτασε τα 29 cm/έτος. Συνολικά μέχρι το 2000 η περιοχή αυτή των εκβολών του Μαυρονερίου διαβρώθηκε κατά περίπου 377m. Το γεγονός αυτό, είναι πιθανότατα το αποτέλεσμα της δραστηκής μείωσης της στερεοπαροχής του χειμάρρου Μαυρονέρι κατά την περίοδο από το 1987 έως το 2000. Η περιορισμένη τροφοδοσία της παραλίας με ποτάμιο ίζημα οδήγησε στην αναστροφή της δράσης των παράκτιων διεργασιών για την περίοδο αυτή και την επικράτηση των μηχανισμών θαλάσσιας διάβρωσης. Αποτέλεσμα αυτού του αρνητικού ισοζυγίου στην παραλία ήταν η διάβρωση από τις θαλάσσιες διεργασίες και η υποχώρηση της ακτογραμμής κατά το χρονικό διάστημα των 13 αυτών ετών.

#### 4. Η ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Έχει υπολογισθεί βάσει παγκόσμιων κλιματικών δεδομένων και της χρήσης μαθηματικών μοντέλων (IPCC, 2001), ότι μέχρι το έτος 2100, η μέση θερμοκρασία του αέρα του πλανήτη θα αυξηθεί από 1,3 °C έως 5,8 °C (κατά μέσο όρο 2 °C) σε σχέση με την σημερινή. Κύριος λόγος της αύξησης αυτής είναι η επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου λόγω των αυξανόμενων συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> στον ατμοσφαιρικό αέρα, που οφείλεται κυρίως στις βιομηχανικές εκπομπές. Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας θα προκαλέσει την τήξη των πάγων τόσο στους πόλους όσο και στις ενδοηπειρωτικές περιοχές και την διαστολή των μαζών του νερού των ωκεανών με αποτέλεσμα την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο. Βάσει

διαφόρων σεναρίων μελλοντικής άνοδου της θαλάσσιας στάθμης που βασίζονται στην επεξεργασία τόσο στοιχείων του παρελθόντος όσο και σύγχρονων μετρήσεων, δορυφορικών παρατηρήσεων κ.α., εκτιμάται ότι έως το έτος 2100 θα έχει αυξηθεί από 10 cm έως 85 cm (κατά μέσο όρο περίπου 50 cm) αγγίζοντας έναν μέσο ρυθμό άνοδου 4,2 mm/έτος.

Κατά καιρούς έχουν εφαρμοσθεί διάφορες μεθοδολογίες για την εκτίμηση της επικινδυνότητας παράκτιων περιοχών λόγω της μελλοντικής άνοδου της θαλάσσιας στάθμης τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε κλίμακα κρατών (El-Raey et al. 1999, Karaca 2000). Η συχνότερα χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία είναι η ονομαζόμενη «συνήθης» (Common Methodology) (Titus & Richman 2001). Σκοπός των περισσότερων μεθοδολογιών που έχουν κατά καιρούς εφαρμοσθεί είναι η αναγνώριση και η εκτίμηση των οικολογικών, φυσικογεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων από την αυξανόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, η κατανοήση του τρόπου με τον οποίο η ανάπτυξη και άλλοι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες επιδρούν στην επικινδυνότητα, η ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των αρνητικών αποτελεσμάτων και τελικά η λήψη μέτρων προστασίας.

Στην Ελλάδα οι επιπτώσεις από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης δεν έχουν εξετασθεί ικανοποιητικά και οργανωμένα σε εθνικό επίπεδο. Οι επιπτώσεις στις χαμηλές ακτές της ηπειρωτικής χώρας έχουν εξετασθεί και έχουν εξαχθεί κάποιες πρώτες εκτιμήσεις και αποτελέσματα (Gaki-Papanastasiou et al. 1997, Μαρουκιάν et al. 2001). Επίσης κάποιες μελέτες έχουν γίνει και αφορούν τις επιπτώσεις της άνοδου στον παράκτιο χώρο της ηπειρωτικής (Karymbalis & Chalkias 2005, Karymbalis & Seni, 2005 Γάκη-Παπαναστασίου et al. 2005) και νησιωτικής Ελλάδας (Georgas 2000, Παυλόπουλος et al. 2001 Doukakis 2003).

Δεδομένης της έντονης συγκέντρωσης κοινωνικο-οικονομικών δραστηριοτήτων στο παράκτιο περιβάλλον της περιοχής μελέτης επιχειρείται μια πρώτη προσπάθεια εκτίμησης των επιπτώσεων από μια πιθανή μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης υπολογίζοντας τις εκτάσεις που αναμένεται να πληγούν έως το έτος 2100 και τις χρήσεις γης που καλύπτουν.

### 5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

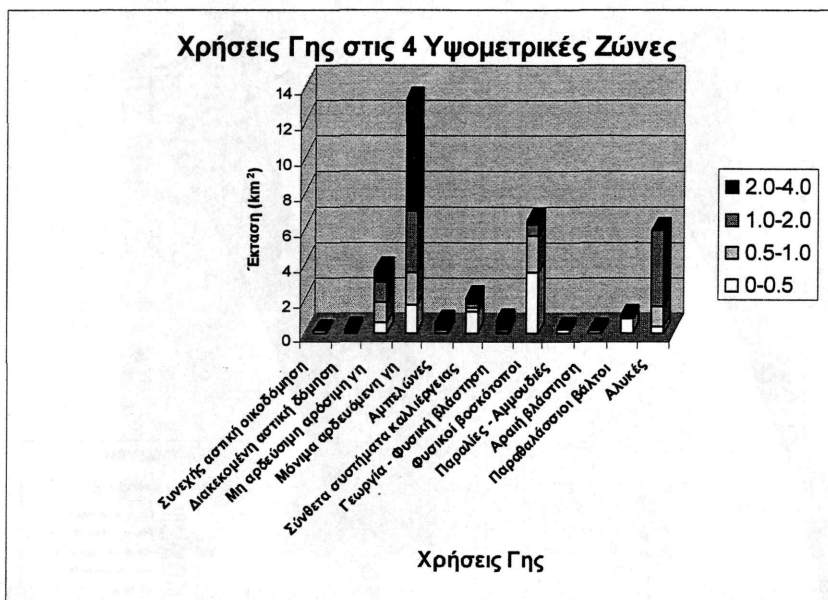
Η παράκτια ζώνη του νομού Πιερίας και ιδιαίτερα το τμήμα που μελετήθηκε αποτελεί μια πολύ χαμηλή παράκτια περιοχή. Όπως ήδη αναφέρθηκε μετρήθηκαν οι εκτάσεις των τεσσά-

ρων χαμηλών υψομετρικών ζωνών και των χρήσεων γης που τις καταλαμβάνουν. Τα αποτελέσματα περιέχονται στον πίνακα 2 και απεικονίζονται γραφικά στο διάγραμμα του σχήματος 3.

Χρήσεις Γης	0 – 0,5 m		0,5 – 1,0 m		1,0 – 2,0 m		2,0 – 4,0 m	
	Km <sup>2</sup>	(%)	Km <sup>2</sup>	(%)	Km <sup>2</sup>	(%)	Km <sup>2</sup>	(%)
Συνεχής αστική δόμηση	0,133	1,56	0	0	0	0	0	0
Διακεκομμένη αστική δόμηση	0,047	0,53	0,142	2,08	0,074	0,76	0	0
Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	0,629	7,16	1,112	16,28	1,158	11,25	0,716	8,49
Μόνιμα αρδεύσιμη γη	1,626	18,52	1,878	27,48	3,451	33,52	6,287	74,58
Αμπελώνες	0	0	0	0	0,225	2,18	0,386	4,58
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	1,21	13,77	0,255	3,78	0,213	2,07	0,365	4,33
Γεωργία-Φυσική βλάστηση	0,041	0,47	0,032	0,47	0,19	1,85	0,416	4,93
Φυσικοί βοσκότοποι	3,464	39,44	2,097	30,69	0,605	5,88	0,26	3,09
Αγιαλοί	0,23	2,62	0,037	0,55	0	0	0	0
Αραιή βλάστηση	0,166	1,89	0	0	0	0	0	0
Παράκτια έλη	0,816	9,29	0,125	1,83	0,04	0,39	0	0
Αλυκές	0,417	4,75	1,151	16,84	4,334	42,10	0	0
Σύνολο	8,783	100	6,832	100	10,296	100	8,432	100

Πίνακας 2. Έκταση (km<sup>2</sup>) και ποσοστά (%) των χρήσεων γης για τις τέσσερις υψομετρικές ζώνες.

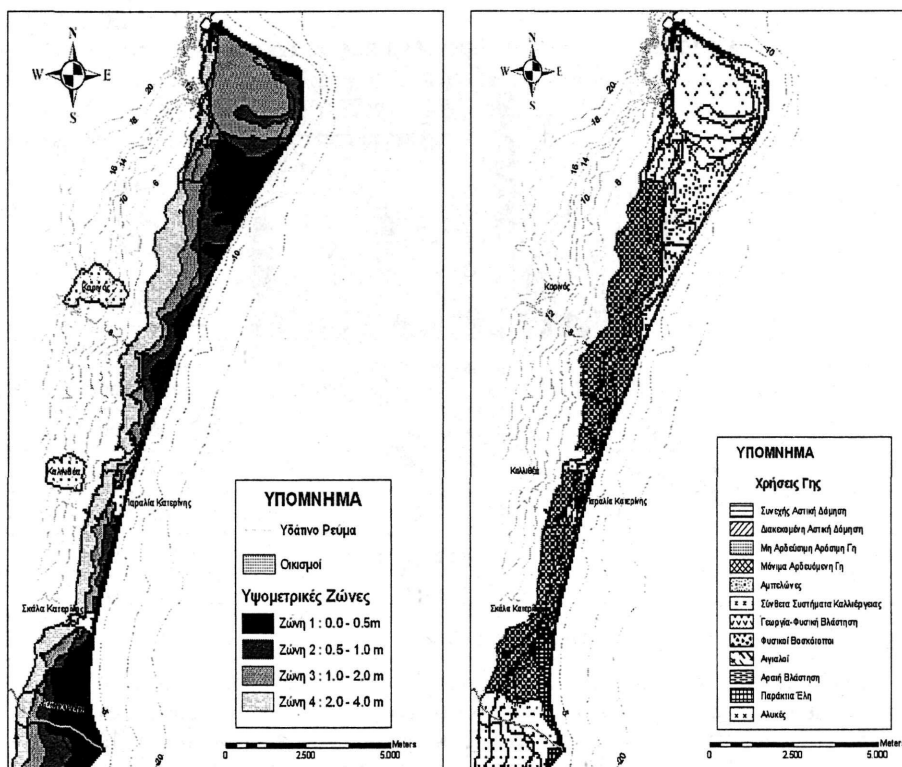




Σχήμα 3 . Διάγραμμα χρήσεων γης στις 4 υψομετρικές ζώνες.

Η συνολική έκταση της παράκτιας ζώνης με υψόμετρο μέχρι 0.5 m, που αναμένεται να αντιμετωπίσει άμεσα πρόβλημα κατάκλισης από τη θάλασσα έως το 2100, ανέρχεται σε 8,783 km<sup>2</sup>. Οι αρνητικές επιπτώσεις στη ζώνη αυτή αναμένεται να είναι σημαντικές για τον πρωτογενή τομέα διότι στην χαμηλή αυτή περιοχή η χρήση με την μεγαλύτερη έκταση είναι οι φυσικοί βοσκότοποι (3,464 km<sup>2</sup>) που αποτελούν τη μεταβατική ζώνη μεταξύ των παράκτιων άμμων και των καλλιέργειών. Οι περιοχές αυτές αδυνατούν να καλλιεργηθούν συστηματικά λόγω της έλλειψης δυνατότητας άρδευσης και κατάλληλης αποστράγγισης με αποτέλεσμα η χρήση τους να περιορίζεται στην βόσκηση. Μικρότερες εκτάσεις φιλοξενούν χρήσεις όπως μόνιμα αρδεύσιμη γη (1,626 km<sup>2</sup>), σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (1,21km<sup>2</sup>) και αιγιαλούς. Αναμφίβολα οι δύο πρώτες χρήσεις είναι μεγάλης οικονομικής σημασίας και η ενδεχόμενη κατάκλισή τους αναμένεται να επιφέρει αρνητικές συνέπειες στον πρωτογενή τομέα της παραγωγής. Σε ότι αφορά τους εκτεταμένους αιγιαλούς δεδομένου ότι αποτελούν δυναμικά μεταβαλλόμενες παράκτιες γεωμορφές δεν πρό-

κειται να εξαφανισθούν λόγω διάβρωσης με μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Σύμφωνα με τον κανόνα του Bruun (1962) θα τροποποιήσουν τα χαρακτηριστικά τους (κοκκομετρία ιζημάτων, μορφολογικές κλίσεις, πλάτος κ.α.) και θα τα προσαρμόσουν στις νέες συνθήκες στις οποίες θα κληθούν να υπάρξουν. Το αποτέλεσμα αυτής της αντίδρασης θα είναι η σταδιακή τους μετανάστευση προς το εσωτερικό της ξηράς με αρνητικές συνέπειες στην κατανομή των χρήσεων γης στις υψηλότερες υψομετρικά ζώνες. Πολύ μικρές εκτάσεις σε αυτή την ζώνη καταλαμβάνουν χρήσεις όπως αστική δόμηση, αλυκές και γεωργία-φυσική βλάστηση. Η δόμηση αν και σε μικρότερο ποσοστό από τις υπόλοιπες χρήσεις είναι μεγάλης οικονομικής σημασίας για τους οικισμούς της Παραλίας και της Σκάλας Κατερίνης διότι στο μεγαλύτερο μέρος τους αφορούν ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις, ξενώνες, ενοικιαζόμενα δωμάτια, εστιατόρια, καταστήματα λιανικής πώλησης κ.α. Η ενδεχόμενη καταστροφή τους θα αποτελέσει μεγάλο πλήγμα για την τοπική οικονομία που σε μεγάλο ποσοστό στηρίζεται στον τουρισμό.

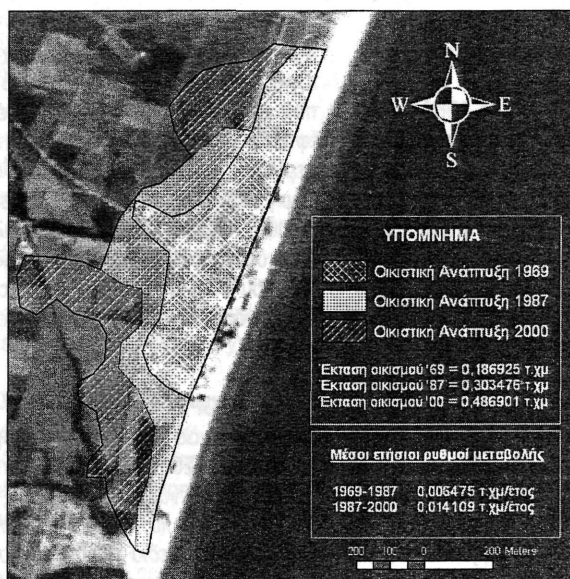


Σχήμα 4. (Αριστερά) Χάρτης υψομετρικών ζωνών. (Δεξιά) Χάρτης χρήσεων γης.

Η έκταση της δεύτερης σε επικινδυνότητα λόγω τοπογραφίας υψομετρικής ζώνης (0.5-1 m) ανέρχεται στα 6,832 km<sup>2</sup> ενώ αν συνυπολογιστεί και η έκταση της πρώτης ζώνης μιλάμε για μια περιοχή που ανέρχεται στα 15,615km<sup>2</sup>. Στην εν λόγω υψομετρική ζώνη την μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν (όπως και στην πρώτη αλλά με μικρότερες απόλυτες εκτάσεις) οι φυσικοί βοσκοτόποι και η μόνιμα αρδευόμενη γη με εκτάσεις 2,097 km<sup>2</sup> και 1,878 km<sup>2</sup> αντίστοιχα. Παραπλήσιες εκτάσεις καταλαμβάνουν οι αλυκές (1,151km<sup>2</sup>) και η μη αρδεύσιμη αρδύσιμη γη (1,112 km<sup>2</sup>).

Η τρίτη υψομετρική ζώνη (1-2 m) καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση μεταξύ των τεσσά-

ρων (10,296 km<sup>2</sup>). Χαρακτηριστική εδώ είναι η παρουσία των αλυκών οι οποίες καταλαμβάνουν έκταση 4,334 km<sup>2</sup> που αντιστοιχεί στο 42,10 % των συνολικών χρήσεων γης που φιλοξενούνται. Αν και η ζώνη αυτή δεν αναμένεται να υποστεί άμεσα συνέπειες λόγω της θαλάσσιας επίκλησης ακόμη και αν επαληθευτούν τα πιο απαισιόδοξα σενάρια ανόδου, η ενδεχόμενη καταστροφή ή μετεγκατάστασή των αλυκών θα είχε σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις αφού αποτελούν έναν διόλου ευκαταφρόνητο οικονομικό πόρο για την περιοχή. Παράλληλα θα πρέπει να επισημανθεί και η συνεχώς αυξανόμενη έκταση της μόνιμα αρδευόμενης γης (3,451 km<sup>2</sup>) στην αμέσως υψηλότερη υψομετρική ζώνη.



Σχήμα 5. Διαχρονική εξέλιξη της δόμησης στον οικισμό της παραλίας Κατερίνης. Η σχεδίαση της έκτασης της οικιστικής ανάπτυξης έχει σχεδιασθεί στην αεροφωτογραφία του 1969.

Η τέταρτη και τελευταία υψομετρική ζώνη (2-4 m) καταλαμβάνει συνολικά έκταση 8,432 km<sup>2</sup> και χαρακτηρίζεται από απουσία δομημένων περιοχών, αλυκών, ελών και αιγιαλών ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνουν οι μόλιμα αρδευόμενες εκτάσεις (74,58%) που φτάνουν τα 6,287 km<sup>2</sup>.

Ο τουριστικός χαρακτήρας του οικισμού της παραλίας της Κατερίνης είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της δόμησης λόγω της κατασκευής νέων ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων, ενοικιαζόμενων δωματίων και γενικότερα τουριστικών υποδομών που βελτιώνουν το προφίλ του οικισμού.

Στον πίνακα 2 παρατίθενται τα αποτελέσματα από την μελέτη της μεταβολής της δόμησης του οικισμού της παραλίας από το 1969 έως το 2000. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν παρατηρήσεις και εκτιμήσεις για την έκταση που καταλάμβανε ο οικισμός το 1969, 1987, και 2000 αντίστοιχα. Από τις τιμές που εκτιμήθηκαν για κάθε ένα από τα τρία αυτά έτη, υπολογίστηκαν οι μέσοι ρυθμοί και τα ποσοστά αύξησης της δόμησης για τα χρονικά διαστήματα 1969-1987 και 1987-2000 (Πίν. 3). Η διαχρονική αύξηση της έκτασης του οικισμού απεικονίζεται στο σχήμα 5.

	1969	1987	2000
Έκταση Οικισμού Παραλίας Κατερίνης (km <sup>2</sup> )	0,186925	0,303476	0,486901
	1969-1987		1987-2000
Ποσοστό Αύξησης Δόμησης (%)	38,4		37,6
M.E. Ρυθμός Αύξησης Δόμησης (km <sup>2</sup> / έτος)	0,006475		0,014109

Πίνακας 3. Έκταση του οικισμού της Παραλίας Κατερίνης (km<sup>2</sup>) για τα έτη 1969, 1987, 2000, ποσοστό (%) αύξησης της δόμησης για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα και μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της δόμησης (km<sup>2</sup>/έτος) για τα ίδια χρονικά διαστήματα.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό ότι η δόμηση στον οικισμό της Παραλίας έχει υπερδιπλασιαστεί από το 1969 έως το 2000. Η έκταση του οικισμού το 1969 ανερχόταν σε 0.186925 km<sup>2</sup>, ενώ το 1987 αυξήθηκε κατά 38,3% φθάνοντας τα 0,303476 km<sup>2</sup>. Ο αντίστοιχος ρυθμός αύξησης ήταν για την πρώτη 18ετία 0,006475 km<sup>2</sup> / έτος. Από το 1987 έως το 2000 το ποσοστό αύξησης της δόμησης ανήλθε στο 37,6 %. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η έκταση του οικισμού το έτος 2000 έφτασε τα 0,486901 km<sup>2</sup>. Ο αντίστοιχος ρυθμός για το ίδιο διάστημα ήταν 0,014109 km<sup>2</sup>/έτος. Συμπερασματικά από το 1969 έως το 2000 παρατηρήθηκε μια μεγάλη οικοδομική δραστηριότητα στον οικισμό για την κάλυψη των αναγκών σε τουριστικές κυρίως υποδομές γεγονός που καθιστά αναγκαία τη θωράκιση της περιοχής έναντι της συνεχιζόμενης διάβρωσης που αναμένεται να επιταχυνθεί με τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης

#### 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαχρονική παρατήρηση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1969 έως το 2000 έδειξε ότι η περιοχή μελέτης υποχωρεί με σημαντικούς ρυθμούς που στο βόρειο τμήμα φθάνουν τα 22 cm/έτος. Στο νότιο τμήμα της περιοχής παρά την προέλαση που έλαβε χώρα κατά το διάστημα 1969-1987 την περίοδο μετά το 1987 άρχισε η διάβρωση με ρυθμούς ανάλογους με αυτούς που παρατηρούνται για την υπόλοιπη περιοχή. Κύρια αιτία για τη διάβρωση είναι η μείωση της στερεοπαροχής των ποτάμιων ρυμμάτων που τροφοδοτούν την παράκτια ζώνη του Θερμαϊκού κόλπου με ίζημα και ο προσανατολισμός της ακτογραμμής στους επικρατούστες ανέμους.

Η ιδιαίτερα ευάλωτη, σε μια πιθανή άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, χαμηλή παράκτια ζώνη μεταξύ της ακτογραμμής και της ισουΐφους του 1.0 μέτρου καταλαμβάνει έκταση 15,615 km<sup>2</sup> και φιλοξενεί χρήσεις γης μεγάλης κοινωνικοοικονομικής σημασίας για την περιοχή. Συγκεκριμένα απαντώνται εκτάσεις αρδευόμενη γης (22,43 %), καλλιέργειες (9,38 %), δομημένες εκτάσεις (2,06 %) και βοσκοτόπια (35,61 %). Ιδιαίτερα τρωπή θεωρείται η περιοχή της παραλίας Κατερίνης λόγω της έντονης ανθρώπινης δραστηριό-

τητας που συγκεντρώνει. Η διαχρονική μελέτη της δόμησης για τον οικισμό αυτό έδειξε μεγάλα ποσοστά αύξησης της δόμησης με ρυθμούς που έφταναν τα 0,014109 km<sup>2</sup>/έτος κατά την χρονική περίοδο 1987-2000. Θεωρείται απαραίτητη η λήψη μέτρων προστασίας της περιοχής ώστε να περιοριστούν οι αρνητικές επιπτώσεις από μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης δεδομένου ότι η ανάπτυξη της περιοχής βασίζεται στον παράκτιο τουρισμό και τον πρωτογενή τομέα.

#### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Γάκη-Παπαναστασίου Κ., Καρύμπαλης Ε. & Σενή Α. 2005. *Εκτίμηση επιπτώσεων από την αναμενόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά τον παρόντα αιώνα στο Αργολικό Πεδίο (Πελοπόννησος)*. Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Αθήνα, 213-223.
- Μανιάτης Γ. 1996. *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών*, Θεσσαλονίκη.
- Μαρουκιάν Χ, Παυλόπουλος Κ., Γάκη, Παπαναστασίου Κ. & Ζαμάνη Α. 2001. *Οι επιπτώσεις από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στις χαμηλές παράκτιες περιοχές της Ηπειρωτικής Ελλάδας κατά τον επόμενο αιώνα*. Περιοδικό Γεωγραφίας τ. 1, 73-82.
- Παυλόπουλος Κ. Χ. Χαλκιάς & Καρύμπαλης Ε. 2002. *Εκτίμηση επιπτώσεων από τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στα νησιά Μύκονο Δήλο Ρήγεια*. Πρακτικά 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου τ. II Θεσσαλονίκη, 469-476.
- Bruun P. 1962. *Sea-level rise as a cause of shore erosion*. Journal of Waterways and Hourbour Division, 88, 117-130.
- Doukakis E. 2003. *The potential consequences of climate change on Kotychi lagoon*. CEST 2003, 170-175.
- El Raey M., Frihy O., Nasr S.M. & Dewidar KH. 1999b. *Vulnerability assesment of sea level rise over port Said Governorate, Egypt*. Environmental Monitoring and Assesment, 56, 113-128.

- Georgas D. 2000. *Implications of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR) for Greece*, Proceeding of SURVAS Expert Workshop on European Vulnerability and Adaptation to impacts of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR), Hamburg, 32-33.
- Jolouli G., Mickus K., Poulos SE., Chronis G., Collins, MB and V. Lykousis. 2000. *Thermaikos Coastal System NW Aegean Sea: an overview of water/sediment fluxes in relation to air-land-ocean interactions and human activities*. Journal of Marine Systems 25, 47-76.
- Karaca M. 2000. *Implications of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR) for Turkey*, Proceedings of SURVAS Expert Workshop on European Vulnerability and Adaptation to impacts of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR), 29-31.
- Karymbalis E. & Chalkias C. 2005. (2005). *A GIS – RS approach in vulnerability assessment of deltaic coastal zone due to the impact of sea-level rise*, In: Proceedings of International Symposium on GIS and Remote Sensing: Environmental Applications, Edited by Nicolas R. Dalezios and Hartwig Dobesch, Volos, Greece, 7-9 November 2003, pp 299-306.
- Karymbalis E. & Seni A. 2005. *Coastal geomorphology and future sea-level rise impacts at the eastern gulf of Argos (Greece)*. Proceedings of the 8th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST, Kusadasi, 1287-1298.
- Meler M. K. & Wahr J. M. 2002. *Sea level is rising: Do we know why?*, 99/10:6524-6526, Boulder.
- ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α. (1991) *Η εξέλιξη του Πηνειού ποταμού της Θεσσαλίας*. 2<sup>ο</sup> Συμπόσιο Τρικαλινών Σπουδών. Τρίκαλα.

## Τεκτονικά ελεγχόμενα υδρογραφικά δίκτυα: η γεωλογική ιστορία των ποταμών Βουραϊκού και Λαδοπόταμου (Β. Πελοπόννησος)

ΤΡΙΚΟΛΑΣ Κ.<sup>1</sup> ΚΑΙ ΑΛΕΞΟΥΛΗ-ΛΕΙΒΑΔΙΤΗ Α.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The geological research in the greater areas of Aigialia and Kalavryta resulted that neotectonic evolution occurred in two phases; the first one took place from Upper Miocene to Lower-Middle Pleistocene and the second from Lower-Middle Pleistocene up to now. The deposits and the flow direction of Vouraikos river are controlled by the neotectonic evolution of the region. During the first phase of neotectonic alteration in Lower Pleiocene – Lower Pleistocene, Vouraikos river deposited fluvial sediments of large width and extent, in the areas of M. Spilaio and Ano Diakopto in Kalavryta's ditch, and flowed into the greater area of Ano Diakopto – Akrata in marine or lacustrine environment. During the second phase (Lower-Middle Pleistocene till now), a part of the drainage network, lying south of Kalavryta's ditch, was detached and flowed southward to Aroanios's river. During Lower Pleistocene the flow direction of Vouraikos river progressively altered from its initial (pleiocenic) NE direction, and turned westward at the part of M. Spilaio-Lofos village. The lower part of the basin, sited close to the estuaries, was detached and formed an individual basin. The central watercourse of Vouraikos river is formed by its older sediments, as well as in the Alpine background of this region. At the same period and up to Middle Pleistocene Vouraikos river deposits at Aigialias area a Gilbert' type deltaic fan of large width and extent, while in the area of Kalavryta deposits torrential sediments. During Middle Pleistocene Vouraikos river deposits κροκαλοπαγή of M. Spilaio's area. Ladopotamos flows eastward of Vouraikos river, in the sediments that Vouraikos river had deposit over the first phase of the neotectonic evolution. Ladopotamos was formed after Lower Pleistocene, during the second phase of the neotectonic evolution of the area in the abandoned northern part of Vouraikos basin which was developed by regressed erosion to the southern direction of the faults. The upper flow of the river was formed at the length of fault after Middle Pleistocene.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Από τη γεωλογική έρευνα προέκυψε ότι η νεοτεκτονική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής Αιγιαλείας και Καλαβρύτων έγινε σε δύο φάσεις. Η πρώτη εξελίχθηκε από το Ανώτερο Μειόκαινο έως το Κατώτερο - Μέσο Πλειστόκαινο και η δεύτερη από το Κατώτερο - Μέσο Πλειστόκαινο έως και σήμερα. Η απόθεση των ποταμοχειμάρριων ιζημάτων και η κατεύθυνση ροής του Βουραϊκού ποταμού ελέγχεται από τη νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής. Κατά την πρώτη φάση της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης, ο Βουραϊκός απέθεσε μεγάλου πάχους και έκτασης ποταμοχειμάρρια ιζήματα, ηλικίας Κάτω Πλειοκαίνου-Κάτω Πλειστοκαίνου, στην τάφρο των Καλαβρύτων, στις περιοχές Μ. Σπηλαίου και Ανω Διακοφτού και εξέβαλε στην ευρύτερη περιοχή Άνω Διακοφτού-Ακράτας, σε θαλάσσιο ή λιμναίο περιβάλλον. Κατά τη δεύτερη φάση της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης (Κάτω-Μέσο Πλειστόκαινο έως και σήμερα), ένα τμήμα του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού, που βρισκόταν νότια της τάφρου των Καλαβρύτων, αποκόπηκε και συνελήφθη από τον Αροάνιο ποταμό που βρίσκεται νότια. Κατά την διάρκεια του Κατωτέρου Πλειστοκαίνου, μεταβλήθηκε σταδιακά η κατεύθυνση ροής του Βουραϊκού ποταμού και από την αρχική (κατά το πλειόκαινο) ΒΑ κατεύθυνση που ακολουθούσε στην πρώτη φάση της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης, στράφηκε προς τα δυτικά, στο τμήμα Μ. Σπηλαίου - χωριού Λόφου, ενώ το

**TECTONICALLY CONTROLLED DRAINAGE NETWORKS: THE GEOLOGICAL HISTORY OF VOURAIKOS AND LADOPOTAMOS RIVERS (N. PELOPONESSUS).**

<sup>1</sup> Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π., 157 80 Αθήνα, [ctgeo@metal.ntua.gr](mailto:ctgeo@metal.ntua.gr)

κατώτερο τμήμα της λεκάνης που βρισκόταν κοντά στις εκβολές, αποκόπηκε και αποτέλεσε αυτοτελή λεκάνη. Η κεντρική κοίτη του Βουραϊκού διαμορφώνεται μέσα σε παλαιότερα ιζημάτα του, καθώς και στο αλπικό υπόβαθρο της περιοχής αυτής. Κατά την ίδια περίοδο και μέχρι το Μέσο Πλειστόκαινο ο Βουραϊκός αποθέτει στη περιοχή Αιγιαλείας, αρχικά σε λιμνοθαλάσσιο και μετά σε θαλάσσιο περιβάλλον, μεγάλης έκτασης και πάχους δελταϊκό ριπίδιο τύπου Gilbert, ενώ στην ευρύτερη περιοχή Καλαβρύτων συνεχίζει την απόθεση ποταμοχειμάρριων ιζημάτων. Κατά τη διάρκεια του Μέσου Πλειστοκαινού ο ποταμός αποθέτει τα κροκαλοπαγή της περιοχής Μ.Σπηλαίου. Αργότερα, στο Ανώτερο Πλειστόκαινο ο Βουραϊκός διαμόρφωσε το σημερινό δελταϊκό ριπίδιο της παραλιακής περιοχής Αιγιαλείας. Ο Λαδοπόταμος ρέει ανατολικά του Βουραϊκού ποταμού, στα ιζήματα που είχε αποθέσει ο Βουραϊκός κατά την πρώτη φάση νεοτεκτονικής εξέλιξης. Δημιουργήθηκε μετά το Κατώτερο Πλειστόκαινο, κατά την δεύτερη φάση της νεοτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής, στο εγκαταλειμμένο από το Βουραϊκό βόρειο τμήμα της λεκάνης του, η οποία στη συνέχεια αναπτύχθηκε με οπισθοδρομούσα διάβρωση προς νότο κατά τη διεύθυνση ρηγμάτων. Ο άνω ρους του ποταμού διαμορφώθηκε κατά μήκος ρήγματος μετά το Μέσο Πλειστόκαινο.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή της βόρειας Πελοποννήσου αποτελεί το νότιο περιθώριο της τεκτονικά ενεργού Κορινθιακής τάφρου. Εμφανίζει έντονο μορφολογικό ανάγλυφο και διαρρέεται από σχετικά μικρούς ποταμούς, οι οποίοι εκβάλλουν στον Κορινθιακό κόλπο.

Σε ολόκληρη σχεδόν την βόρεια Πελοπόννησο έχουν αποθεθεί μεγάλοι πάχους μεταλλικά ιζήματα Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας (Dufaure, 1975, Serbier, 1977). Τα μεγάλοι πάχους μεταλλικά ιζήματα συνίστανται γενικά από στρώματα μαργών, αμμούχων μαργών, αργίλων, πηλών και κροκαλοπαγών, λιμναίας, λιμνοθαλάσσιων και ποταμολιμναίας φάσης (Tsoflias, 1989, Roulimenos, et al., 1989, Πουλημένος, 1991), ενώ σε ορισμένες περιοχές κοντά στην Κορινθιακή τάφρο συναντώνται μεγάλοι πάχους κροκαλοπαγή, τα οποία συνιστούν δελταϊκά ριπίδια τύπου Gilbert (Πουλημένος, 1991, Dart et al., 1994).

Στην περιοχή της βόρειας Πελοποννήσου παρατηρούνται κανονικά ρήγματα με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και βόρεια βύθιση, ρήγματα αντιθετικά προς αυτά, καθώς και ρήγματα μετασχηματισμού ΒΒΑ διεύθυνσης (Doutsos et al., 1988, Doutsos & Piper, 1990, Πουλημένος, 1991). Τα ρήγματα αυτά ελέγχουν την απόθεση των μεταλλικών ιζημάτων, έχουν διαμορφώσει ασύμμετρες τάφρους και ρηξιτεμάχη που εμφανίζουν στρέψη (Doutsos & Piper, 1990, Πουλημένος, 1991, Flotte, 2003). Η βόρεια Πελοπόννησος ανυψώνεται κατά το Τεταρτογενές, με αποτέλεσμα τα μεταλλικά ιζήματα να εμφανίζονται σε

υψόμετρα έως και 1800 m (Μαριολάκος, 1976). Κοντά στις νότιες ακτές της Κορινθιακής τάφρου εμφανίζονται ενεργά ρήγματα (Πουλημένος, 1991, Flotte, 2003). Οι ταχύτητες μετακίνησης των ρηξιτεμαχών των ενεργών ρηγμάτων γενικά κυμαίνονται από 1-2 mm/y (Κουκουvelas et al., 2001). Όπως προκύπτει από το υψόμετρο των θαλάσσιων αναβαθμιδών οι ταχύτητες ανύψωσης στη βόρεια Πελοπόννησο αυξάνουν από τα ανατολικά προς τα δυτικά και υπολογίζονται σε 0,3 mm/y κοντά στη περιοχή του Κιάτου (Keraudren & Sorel, 1987), 2-3 mm/y στη περιοχή Αιγίου (Πουλημένος, 1991, Flotte, 2003, Τρίκολας κ.α., 2004), και 4,5 mm/y στη περιοχή του Ρίου Πατρών (Kontopoulos & Zelliidis, 1997).

Γεωμορφολογικές έρευνες που έγιναν στα υδρογραφικά δίκτυα της ευρύτερης περιοχής της βόρειας Πελοποννήσου από τους Seger & Alexander (1993) και Zelliidis (2000), διαπίστωσαν διάφορους τύπους υδρογραφικών δικτύων κατά τη διάρκεια του Πλειο-Πλειστοκαινού. Η ανάπτυξη των υδρογραφικών δικτύων ελέγχεται από τις κινήσεις των ρηξιτεμαχών και καθορίζονται περιοχές απόθεσης ιζημάτων. Οι ερευνητές αυτοί διαπίστωσαν πειρατείες και συλλήψεις κλάδων, δηλαδή τμήματα του υδρογραφικού δικτύου που έχουν αλλάξει διεύθυνση απορροής και ρέουν προς νότο, λόγω των τεκτονικών κινήσεων.

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται η παλαιογεωγραφική εξέλιξη κατά τη διάρκεια του Πλειο-Πλειστοκαινού των ποταμών Βουραϊκού και Λαδοπόταμου, το υδρογραφικό δίκτυο των οποίων αναπτύσσεται στην ευρύτερη περιοχή

Αιγιαλείας και Καλαβρύτων (Εικ. 1), όπως προέκυψε από χαρτογράφηση και συστηματική στρωματογραφική και τεκτονική μελέτη των μεταλλικών ιζημάτων της περιοχής (Εικ. 2).

## 2. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Ο Βουραϊκός ποταμός είναι ένας από τους μεγαλύτερους ποταμούς της βόρειας Πελοποννήσου, ο οποίος ρέει στη περιοχή Καλαβρύτων και Αιγιαλείας (Εικ. 1). Στη περιοχή των Καλαβρύτων ο ποταμός βρίσκεται σε υψόμετρα της τάξης των 800 m, και αποστραγγίζει το δυτικό και βόρειο τμήμα του όρους Χελμός. Το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού αναπτύσσεται μέσα σε σχηματισμούς της ενότητας της Πίνδου αφενός, και αφετέρου μέσα σε χερσαίας και ποταμολιμναίας φάσης ιζήματα, τα οποία αποτελούνται κυρίως από στρώματα πηλών και κροκαλοπαγών (Εικ. 2). Στην περιοχή νότια της τάφρου των Καλαβρύτων ο κύριος κλάδος του ποταμού διαμορφώνεται μέσα σε σχηματισμούς της ενότητας Πίνδου, ενώ βόρεια μέσα σε χερσαία και ποταμοχειμάρρια ιζήματα, και ένα τμήμα του σε σχηματισμούς της ενότητας Πίνδου. Το τμήμα του Βουραϊκού που βρίσκεται κοντά στην Κορινθιακή τάφρο, διέρχεται μέσα από δελταϊκά κροκαλοπαγή λιμναίας - λιμνοθαλάσσιας και θαλάσσιας φάσης και στη συνέχεια διασχίζει την παραλιακή περιοχή Αιγιαλείας, όπου μαζί με τους παρακείμενους ποταμούς Κερυνίτη και Λαδοπόταμο, σχηματίζει ένα μεγάλο σύγχρονο δέλτα εκβάλλοντας στον Κορινθιακό κόλπο. Το υδρογραφικό σύστημα του Βουραϊκού είναι καλά αναπτυγμένο και επικρατεί η ορθογώνια μορφή υδρογραφικού δικτύου, που υποδηλώνει την επίδραση της γεωλογικής και τεκτονικής δομής. Η ανάπτυξη των κλάδων ακολουθεί κατά το πλείστον τις διευθύνσεις των ρηγμάτων, με ΔΒΔ-ΑΝΑ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση.

Ο Λαδοπόταμος είναι σχετικά μικρός ποταμός και αναπτύσσεται μεταξύ των ποταμών Βουραϊκού και Κράθι (Εικ. 1). Το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού αναπτύσσεται εξ ολοκλήρου μέσα σε χερσαίας-ποταμοχειμάρριας φάσης ιζήματα, τα οποία αποτελούνται από πηλούς και κροκαλοπαγή. Ο άνω ρους του ποταμού βρίσκεται σε υψόμετρα της τάξης των 1600 m στο βόρειο τμήμα του όρους Χελμός. Η λεκά-

νη απορροής του είναι εξαιρετικά επιμήκης, με μήκος 19km. Στο νότιο τμήμα η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου είναι υποτυπώδης με πολύ μικρού μήκους κλάδους 1ης τάξης, το πλάτος της δε, δεν υπερβαίνει το 1,5km. Στο βόρειο τμήμα, στην ευρύτερη περιοχή Άνω Διακοφτού κοντά στον Κορινθιακό κόλπο, η λεκάνη είναι καλύτερα ανεπτυγμένη με πλάτος που φθάνει τα 6km. Το τμήμα αυτό αποτελούσε το βόρειο τμήμα της λεκάνης του Βουραϊκού, που αποκόπηκε κατά την περίοδο του Κατώτερου Πλειστοκαίνου, κατά τη δεύτερη φάση νεοτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής και αποτέλεσε το υδρογραφικό δίκτυο του Λαδοπόταμου. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε ο κύριος κλάδος του ποταμού αυτού προς τα νότια, με οπισθοδρομούσα διάβρωση κατά τη διεύθυνση του ρήγματος, και διαμορφώθηκε η σημερινή λεκάνη απορροής του Λαδοπόταμου.

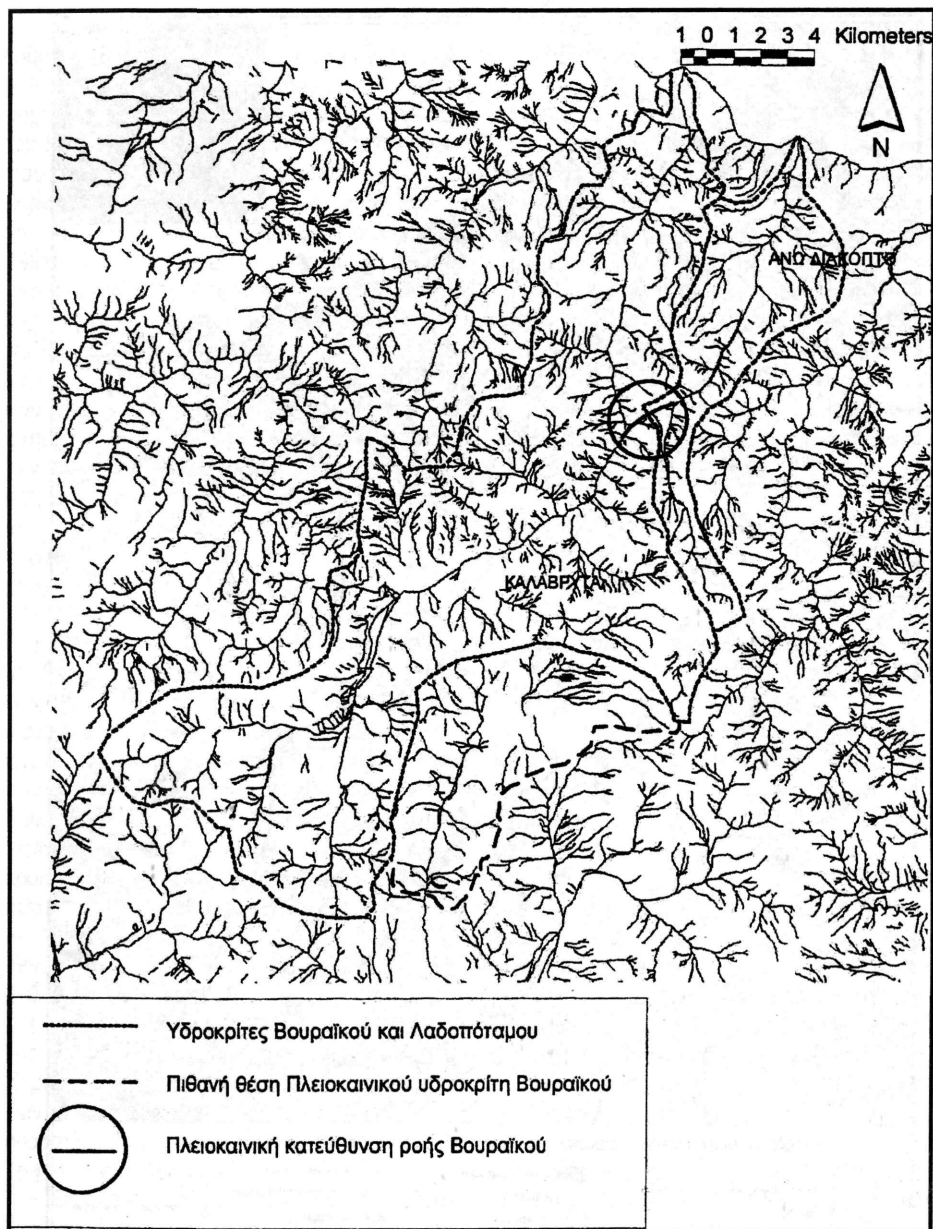
Οι κλάδοι τόσο του Βουραϊκού όσο και του Λαδοπόταμου παρουσιάζουν γωνιώδη μορφή οφειλόμενη στη νεοτεκτονική κατάτμηση της περιοχής. Η επίδραση της τεκτονικής δομής είναι εμφανής και στους ποταμούς Κράθι, Κερυνίτη και Σελινόυντα, τα υδρογραφικά δίκτυα των οποίων αναπτύσσονται εκατέρωθεν του Βουραϊκού και του Λαδοπόταμου.

## 3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Ο κύριος όγκος των μεταλλικών αποθέσεων της ευρύτερης περιοχής Αιγιαλείας και Καλαβρύτων, πληρεί τις τάφρους των Καλαβρύτων (νότια), της Βάλτας, την τάφρο του «Παλαιοκορινθιακού» (βόρεια), εκτείνεται προς τα ανατολικά και βορειανατολικά της περιοχής ροής του Βουραϊκού ποταμού και φθάνει έως τον Κορινθιακό κόλπο (Εικ. 2).

Τα αρχαιότερα ιζήματα της τάφρου των Καλαβρύτων είναι αποθέσεις μαργών και αργίλων λιμναίας φάσης οι οποίες περιέχουν στρώματα λιγνιτών (Κούκουζας κ.α., 1978, Tsoflias, 1989), η ηλικία απόθεσης των οποίων είναι ανωμειοκαινική-κατωπλειοκαινική (Ιωακείμ, 1991). Πάνω στα λιμναία ιζήματα αναπτύσσονται στρώματα πηλών και κροκαλοπαγών ποταμοχειμάρριας-χερσαίας φάσης. Τα ιζήματα αυτά διακρίθηκαν σε δύο στρωματογραφικά σύνολα, στα





Εικ. 1. Χάρτης των υδρογραφικών δικτύων των ρευμάτων Βουραϊκού και Λαδοπόταμου.

κροκαλοπαγή Κερπινής και στον σχηματισμό Καλαβρύτων. Τα κατώτερα στρώματα είναι τα κροκαλοπαγή Κερπινής που έχουν αποτεθεί τοπικά, ενώ ο σχηματισμός Καλαβρύτων καλύπτει σχεδόν ολόκληρη την τάφρο Καλαβρύτων.

Οι πηλοί και τα κροκαλοπαγή του σχηματισμού Καλαβρύτων εξελίσσονται προς τους ανώτερους οριζόντες σε συμπαγή στρώματα κροκαλοπαγών μεγάλου πάχους με περιορισμένη εμφάνιση.



Η τάφος της Βάλτας καλύπτεται από ποταμοχειμάρρια ιζήματα, τα κροκαλοπαγή Κερπινής και το σχηματισμό Καλαβρύτων. Τα ποταμοχειμάρρια ιζήματα που βρίσκονται ανατολικά του Βουραϊκού ποταμού, συνιστούν τον σχηματισμό Μ. Σπηλαίου και αναπτύσσονται με τη μορφή ενός μεγάλου ριπιδίου, μέχρι την περιοχή του Κορινθιακού κόλπου (Πουλημένος, 1991). Ο σχηματισμός Μ. Σπηλαίου και ο σχηματισμός Καλαβρύτων έχουν πλευρική σχέση ανάπτυξης. Ανατολικά του Βουραϊκού ποταμού, πάνω στα ιζήματα του σχηματισμού Μ. Σπηλαίου, αναπτύσσονται τοπικά μεγάλου πάχους συμπαγή κροκαλοπαγή τα οποία αποτελούν σχηματισμούς ριπιδίων. Το συνολικό πάχος των ποταμοχειμάρριων ιζημάτων της περιοχής φτάνει τα 700 m. Η ηλικία των ποταμοχειμάρριων ιζημάτων είναι πλειοκαινική-κάτω πλειοκαινική (Muntzos, 1990), ενώ σε ορισμένες περιοχές φτάνει και στο Μέσο Πλειστόκαινο.

Στη περιοχή της τάφρου του Παλαιοκορινθιακού και στην περιοχή ροής του σχηματισμού Μ. Σπηλαίου αναπτύσσονται στρώματα μαργών, αργίλων και κροκαλοπαγών λιμναίας-λιμνοθαλάσσιας φάσης, η ηλικία των οποίων είναι ανωπλειοκαινική-κατωπλειοκαινική (Roulimenos, et al., 1989, Πουλημένος, 1991, Τρίκολας & Λειβαδίτη, 2004a). Στην τάφρο του Παλαιοκορινθιακού ακολουθούν στρώματα κροκαλοπαγών, τα οποία αποτελούν αποθέσεις δελταϊκών ριπιδίων τύπου Gilbert (Doutsos et al., 1988, Πουλημένος, 1991, Roulimenos et al., 1993, Dart et al., 1994, Τρίκολας & Λειβαδίτη, 2004a), με πάχος ως 600 m, ηλικίας Κάτω-Μέσο Πλειστοκαίνου (Roulimenos et al., 1993, Τρίκολας & Λειβαδίτη, 2004a). Πάνω στα δελταϊκά ιζήματα αναπτύσσονται ποταμοχειμάρριες και λιμνοθαλάσσιες φάσεις, καθώς και θαλάσσιες αναβαθμίδες (Τρίκολας & Λειβαδίτη, 2004a, Τρίκολας, κ.α., 2004).

Στη περιοχή που αναπτύσσονται τα υδρογραφικά δίκτυα των ποταμών Βουραϊκού και Λαδοποτάμου, αλλά και ευρύτερα, παρατηρούνται κανονικά λιστρικά ρήγματα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης και πλαγιοκανονικά ρήγματα ΒΒΑ διεύθυνσης, τα οποία διαμορφώνουν ρηξιτεμάχη που έχουν υποστεί στρέψη και προκάλεσαν την απόθεση των μεταλλικών ιζημάτων (Roulimenos et al., 1989, Πουλημένος, 1991,

Flotte, 2003). Η στρωματογραφική και τεκτονική μελέτη της περιοχής έδειξε ότι εκτός των λιστρικών ρηγμάτων στη περιοχή αυτή, απαντώνται και ρήγματα ΔΒΔ διεύθυνσης, με κανονικό και αριστερόστροφο κινηματικό χαρακτήρα. Αυτά διαμορφώνουν δομές τεκτονικών κεράτων και βυθισμάτων και συνιστούν μεγάλα ρηξιτεμάχη, τα οποία έχουν στραφεί προς τα νότια (Τρίκολας & Λειβαδίτη, 2004 a,b). Η νεοτεκτονική δομή της περιοχής διαμορφώθηκε σε δύο φάσεις, η πρώτη από τις οποίες εξελίχθηκε από το Άνω Μειόκαινο έως το Κάτω - Μέσο Πλειστόκαινο, στην οποία έγινε απόθεση μεταλλικών ιζημάτων μέσα στις τάφρους που διαμορφώθηκαν από τα ρήγματα ΔΒΔ διεύθυνσης, και η δεύτερη από το Κάτω - Μέσο Πλειστόκαινο μέχρι και σήμερα, στην οποία προκλήθηκαν στροφές ρηξιτεμαχών, δημιουργήθηκαν νέα ρήγματα ΔΒΔ διεύθυνσης, πλαγιοκανονικά δεξιόστροφα ρήγματα Β, ΒΒΔ και ΒΒΑ διεύθυνσης, και έγινε απόθεση των νεότερων μεταλλικών ιζημάτων της περιοχής (Τρίκολας & Λειβαδίτη a,b).

#### 4. ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΒΟΥΡΑΪΚΟΥ ΚΑΙ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ

Από την κατανομή των ποταμοχειμάρριων ιζημάτων της περιοχής μελέτης (Εικ.2), διαπιστώνεται ότι ο κύριος όγκος των ιζημάτων, έχει αποθεθεί στις τάφρους Καλαβρύτων, Βάλτας και δυτικού Παλαιοκορινθιακού, καθώς και στο ανατολικό και βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής. όπου αναπτύσσονται τα υδρογραφικά δίκτυα των ποταμών Βουραϊκού και Λαδοποτάμου, αλλά και ανατολικότερα του ποταμού Κράθι. Τα ποταμοχειμάρρια ιζήματα στην περιοχή μελέτης έχουν αποθεθεί από τις μεταβολές της κύριας κοίτης του Βουραϊκού ποταμού, οι οποίες προκλήθηκαν από την ρηξιγενή δραστηριότητα κατά τις δύο φάσεις της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης. Οι αποθέσεις, οι μεταβολές της θέσης της κοίτης και η κατεύθυνση ροής του Βουραϊκού, καθώς και η διαμόρφωση της κοίτης του Λαδοποτάμου εξελίχθηκαν ως εξής:

Στη διάρκεια της πρώτης φάσης νεοτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής, κατά τη περίοδο Κατώτερου Πλειοκαίνου – Κατώτερου έως Μέσου Πλειστοκαίνου, τα ποταμοχειμάρρια ιζήμα-

τα του Βουραϊκού ποταμού αναπτύχθηκαν μέσα στην τάφρο των Καλαβρύτων. Στην τάφρο των Καλαβρύτων, αναπτύχθηκαν με δυσμφωνία χερσαίες και ποταμοχειμάρριες φάσεις πηλών και κροκαλοπαγών, πάνω από τα λιμναία ιζημάτα ηλικίας Άνω Μειοκαινού-Κάτω Πλειοκαινού (Ιωακείμ, 1991). Στη βάση των αποθέσεων αυτών, αλλά και μέσα στις μάζες των κροκαλοπαγών η παρουσία κροκαλών δείχνει την ροή παλαιορευμάτων στη τάφρο. Νότια της τάφρου των Καλαβρύτων ο Βουραϊκός ποταμός έχει διαμορφώσει στο αλπικό υπόβαθρο μια ευρείας έκτασης κοιλάδα, που καλύπτεται σήμερα από αλλουβιακές αποθέσεις και καταλήγει στη τάφρο των Καλαβρύτων. Στη περιοχή αυτή συναντώνται εκτεταμένες εμφανίσεις ποταμοχειμάρριων ιζημάτων με μεγάλο μέγεθος κροκάλες. Τα ιζημάτα αυτά προέρχονται από τον Βουραϊκό ποταμό. Το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού στη περιοχή νότια των Καλαβρύτων, παρουσιάζει έντονη ασυμμετρία με ανάπτυξη των κλάδων του μόνο προς τα δυτικά. Ανατολικά και νότια της σημερινής υδροκριτικής γραμμής που αποστραγγίζει ο ποταμός, βρίσκεται η πόλη των Λουσσών, με υποτυπώδη ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου και απορροή προς νότο (Εικ. 1). Το τμήμα της πόλης των Λουσσών κατά την περίοδο Κατωτέρου Πλειοκαινού -Κατωτέρου έως Μέσου Πλειστοκαινού αποτελούσε περιοχή του υδρογραφικού δικτύου του Βουραϊκού ποταμού.

Στην περίοδο του Πλειοκαινού ο Βουραϊκός ποταμός έρεε από την τάφρο των Καλαβρύτων προς τα ΒΑ, δηλαδή προς την περιοχή Μ.Σπηλαίου-Άνω Διακοφτού. Η εκβολή του γινόταν πιθανότατα στην ευρύτερη περιοχή του Άνω Διακοφτού-Ακράτας, σε θαλάσσιο ή λιμναίο περιβάλλον. Την άποψη αυτή ενισχύουν οι ιζηματολογικές μελέτες των ποταμοχειμάρριων ιζημάτων του σχηματισμού Μ. Σπηλαίου, στα οποία παρατηρείται μείωση του μεγέθους των κροκαλών από Ν προς Β (Πουλημένος, 1991), ανάπτυξη και παρουσία αργίλων, αμμούχων μαργών και γενικά λεπτόκοκκων ιζημάτων, που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή Προφήτη Ηλία Μ.Σπηλαίου - Άνω Διακοφτού (Τρίκολας & Λειβαδίτη, 2004 a,b), η ηλικία των οποίων είναι πλειοκαινική - κατωπλειστοκαινική (Moutzoz, 1990, Τρίκολας & Λειβαδίτη, 2004

a,b), καθώς και κατευθύνει ροής παλαιορευμάτων, που προσδιορίστηκαν από τον προσανατολισμό κροκαλών (Πουλημένος, 1991). Προς την ίδια κατεύθυνση φαίνεται ότι γίνονταν και η αποστράγγιση των ρευμάτων που βρίσκονταν στην τάφρο της Βάλτας, ένα μέρος των οποίων ήταν πιθανά τμήμα του υδρογραφικού δικτύου του Βουραϊκού ποταμού, όπως είναι και σήμερα. Η κατεύθυνση αυτή της ροής του Βουραϊκού και η ανάπτυξη των αποθέσεων του σχηματισμού Μ.Σπηλαίου, διαμορφώθηκε από την δράση των ρηγματών Αγ. Λαύρας (Ρ.ΑΛ.), Χελμού (Ρ.Χ.), Κολοκυθόκαμπου (Ρ. ΚΟ), κλπ., ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης(Εικ. 2). Ολόκληρη αυτή η περιοχή κατά την περίοδο Κατωτέρου Πλειοκαινού-Κατωτέρου Πλειστοκαινού ήταν χέρσος με μικρές αβαθείς λίμνες, και αποστραγγίζονταν από κλάδους του Βουραϊκού ποταμού, ενώ οι ανατολικότερες περιοχές αποστραγγίζονταν από το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού Κράθι.

Στη δεύτερη φάση της νεοτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής, από το Κάτω έως Μέσο Πλειοστοκαινο μέχρι και σήμερα, δημιουργήθηκαν νέα ρήγματα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης και ρήγματα ΒΒΔ έως ΒΒΑ διεύθυνσης. Στην τάφρο των Καλαβρύτων, αλλά και στις τάφρους Βάλτας και δυτικού Παλαιοκορινθιακού κατά την δεύτερη φάση της νεοτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής, διαπιστώθηκε η δημιουργία νέων ρηγμάτων και επαναδραστηριοποιήσεις παλιότερων (Τρίκολας & Λειβαδίτη, 2004b). Νότια της τάφρου των Καλαβρύτων δημιουργήθηκαν τα ρήγματα Καλαβρύτων (Ρ.ΚΑ), Ξυδιά (Ρ.ΞΥ), Ωριάς (Ρ.Ω), Μαύρου Λόγγου (Ρ.Μ.Λ) και Ξηροκάμπου (Ρ.Ξ) (Εικ.2), τα οποία προκάλεσαν ανύψωση της περιοχής ΝΑ των Καλαβρύτων. Από τα ρήγματα αυτά αποκόπηκαν κλάδοι του Βουραϊκού ποταμού, που αποστράγγιζαν τη περιοχή της πόλης των Λουσσών και συνελήφθησαν από τον Αροάνιο ποταμό που έρεε προς νότο (Εικ.1). Πειρατίες και αναστροφές κλάδων των υδρογραφικών δικτύων στην ευρύτερη περιοχή της βόρειας Πελοποννήσου, αναφέρονται και περιγράφονται επίσης από τους Seger & Alexander (1993) και Zeilicidis (2000). Η δημιουργία του ρήγματος Καλαβρύτων (Ρ.ΚΑ), προκαλεί την απόθεση νέων ποταμοχειμάρριων ιζημάτων στο νότιο τμήμα της τάφρου των Καλαβρύτων από τον Βουραϊκό ποταμό, ενώ βορειότερα, στην ευρύ-

τερη περιοχή Μ. Σπηλαίου, ο Βουραϊκός αποθέτει τα συμπαγή στρώματα κροκαλοπαγών Μ. Σπηλαίου, εξαιτίας της δράσης των ρηγμάτων Κερπινής (Ρ.ΚΕ), Κολοκυθόκαμπτου (Ρ.ΚΟ), Στόλου (Ρ.ΣΤ), καθώς και των νέων αριστερόστροφων ρηγμάτων Ψηλού Σταυρού (Ρ.Ψ.Σ.) και Άνω Ποταμιάς (Ρ.ΑΠ). Τα ρήγματα αυτά έστρεψαν τα στρώματα των κροκαλοπαγών προς Ν, ΝΝΑ διεύθυνση και διαμόρφωσαν τις επιφάνειες επιπέδωσης Τόριζας και Κολοκυθόκαμπτου, η ηλικία των οποίων υπολογίζεται σε 625 Ka (Flotte, 2003), δηλαδή στο Μέσο Πλειστόκαινο.

Κατά την περίοδο του Ανώτερου Πλειοκαίνου-Κατώτερου Πλειστοκαίνου Β και ΒΑ της τάφρου του δυτικού Παλαιοκορινθιακού (περιοχή Άνω Διακοφτού-Βαλιμής) αποτίθενται ιζήματα μαργών, αργίλων και κροκαλοπαγών λιμναίας-λιμνοθαλάσσιας φάσης και διαμορφώνεται η τάφρος του δυτικού Παλαιοκορινθιακού, με τα ρήγματα Πυργακίου (Ρ.Π), Μαμμουσιάς (Ρ.ΜΑ), Λόφου (Ρ.ΛΟ) και Καθολικού (Ρ.ΚΑΘ). Νότια, στη περιοχή του Μ. Σπηλαίου την περίοδο Κατώτερου Πλειστοκαίνου δημιουργούνται τα ρήγματα ΒΒΔ διεύθυνσης Βουραϊκού (Ρ.ΒΟΥ), Φτερωτού (Ρ.ΦΤ) και Λαδοπόταμου (Ρ.Λ), τα οποία σε συνδυασμό με τα αριστερόστροφα ρήγματα Λόφου (Ρ.ΛΟ) και Καθολικού (Ρ.ΚΑΘ) στρέφουν προς δυσμάς τον Βουραϊκό ποταμό. Η μετακίνηση προς δυσμάς της κοίτης του Βουραϊκού, φαίνεται από τα υπολείμματα των topsets του δελταϊκού ριπιδίου τύπου Gilbert, που αναπτύχθηκε από τον ίδιο τον ποταμό στη συνέχεια, μέσα στην τάφρο του δυτικού Παλαιοκορινθιακού. Τα υπολείμματα αυτά παρατηρήθηκαν στη περιοχή βόρεια του χωριού Λόφος, που βρίσκεται ανατολικά της σημερινής κοίτης του Βουραϊκού. Την ίδια περίοδο, σταδιακά η κοίτη διαμορφώνεται πάνω στο αλπικό υπόβαθρο της ενότητας της Πίνδου από την περιοχή Πόρτες μέχρι τα Νιάματα. Λόγω των ανοδικών κινήσεων της περιοχής αυτής ο ποταμός εκβαθύνει σιγά-σιγά και διαμορφώνει το τμήμα του σημερινού φαραγγιού που βρίσκεται στο αλπικό υπόβαθρο.

Κατά το Κάτω-Μέσο Πλειστόκαινο ο Βουραϊκός αποθέτει βορειότερα, στην τάφρο του δυτικού Παλαιοκορινθιακού από την περιοχή Νιάματα έως τα Ζαχλωρίτικα, σε θαλάσσιο

περιβάλλον δελταϊκό ριπίδιο τύπου Gilbert (Roullinopoulos et al., 1993, Τρίκολας & Λειβαδίτη, 2004a,b). Η απόθεση του δελταϊκού ριπιδίου γίνεται σε δύο διαδοχικές φάσεις. Η πρώτη φάση απόθεσης των δελταϊκών ιζημάτων ελέγχεται από τα ρήγματα Μαμμουσιάς (Ρ.ΜΑ) και Κάστρου (Ρ.ΚΑΣ) και η δεύτερη φάση ελέγχεται από τα ρήγματα Καστελλίων (Ρ.ΚΑΣΤ) και Δερβενίου (Ρ.ΔΕ). Με αυτό τον τρόπο σχηματίζονται τα μεγάλου πάχους (600 m) δελταϊκά ιζήματα της ευρύτερης περιοχής Καστελλίων-Φαγιάς και Αγ. Ασωμάτων-Αγ. Αποστόλων (Δελταϊκό ριπίδιο Βουραϊκού) της τάφρου του δυτικού Παλαιοκορινθιακού, μέχρι την περίοδο του Μέσου Πλειστοκαίνου, ενώ πάνω σ' αυτά αποτίθενται υλικά θαλάσσιων αναβαθμιδών.

Αργότερα στο βορειότερο τμήμα των δελταϊκών αποθέσεων του Βουραϊκού, αλλά και των άλλων δελταϊκών αποθέσεων της τάφρου του δυτικού Παλαιοκορινθιακού, αποτίθενται ποταμολιμναία-λιμνοθαλάσσια ιζήματα ηλικίας Μέσου-Ανώτερου Πλειστοκαίνου. Ο ποταμός λόγω της έντονης ανύψωσης που συμβαίνει την περίοδο αυτή, διαβρώνει σταδιακά τις δελταϊκές αποθέσεις του. Στις περιοχές κοντά στη σημερινή παραλιακή περιοχή Αιγιαλείας δημιουργήθηκαν θαλάσσιες αναβαθμιδές ηλικίας Μέσου-Ανωτ. Πλειστοκαίνου (McNeill & Collier, 2004, Τρίκολας κ.α., 2004).

Σήμερα, ο Βουραϊκός ποταμός αποθέτει και σχηματίζει ένα σύγχρονο δελταϊκό ριπίδιο στην παραλιακή και υποθαλάσσια περιοχή Αιγιαλείας (Seeger & Alexander, 1993, Ferentinis et al., 1988, Παπαθεοδώρου, 1990).

Ο λεκάνη απορροής του Λαδοπόταμου δημιουργήθηκε μετά την αποκοπή και στροφή του Βουραϊκού προς τα δυτικά (Κατ. Πλειστόκαινο), οπότε εγκαταλείφθηκε το κατώτερο τμήμα της λεκάνης του Βουραϊκού. Αυτή σήμερα είναι εξαιρετικά επιμήκης και διαμορφώθηκε σε δύο στάδια κατά τη δεύτερη φάση νεοτεκτονικής εξέλιξης. Το βόρειο τμήμα, στην ευρύτερη περιοχή Άνω Διακοφτού κοντά στον Κορινθιακό κόλπο, που το υδρογραφικό δίκτυο του Λαδοπόταμου είναι καλύτερα ανεπτυγμένο, με πλάτος που φθάνει τα 6km, αποτελούσε το βόρειο τμήμα της λεκάνης του Βουραϊκού, που αποκόπηκε κατά την περίοδο του Κατώτερου Πλειστοκαίνου. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε ο κύριος

κλάδος προς τα νότια, με οπισθοδρομούσα διάβρωση κατά τη διεύθυνση του ρήγματος Λαδοπόταμου (Ρ.Λ) και δημιουργήθηκε η σημερινή επιμήκης λεκάνη απορροής του ποταμού. Ο άνω ρους της κοίτης του ποταμού Λαδοπόταμου διαμορφώθηκε κατά μήκος του μέσο - άνω πλειστοκαινικής ηλικίας ρήγματος του Λαδοπόταμου (Ρ.Λ), το οποίο τέμνει τα στρώματα των κροκαλοπαγών Μ. Σπηλαίου και μετατοπίζει τα ρήγματα Κολοκυθόκαμπου (Ρ.ΚΟ) και Στόλου (Ρ.ΣΤ).

##### 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο Βουραϊκός ποταμός είναι ένας από τους μεγαλύτερους ποταμούς της βορείου Πελοποννήσου, στον οποίο οφείλονται τα εκτεταμένα έκτασης και μεγάλου πάχους ποταμοχειμάρρια ιζήματα ενός μεγάλου τμήματος της περιοχής Αιγιαλείας και Καλαβρύτων.

Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης νεοτεκτονικής εξέλιξης, από το Κάτω Πλειόκαινο έως το Κάτω Πλειστόκαινο, αποτέθηκαν τα πρώτα ιζήματα του Βουραϊκού ποταμού στην τάφρο των Καλαβρύτων, στην ευρύτερη περιοχή του Μ. Σπηλαίου και γενικά στο Α και ΒΑ τμήμα της περιοχής. Ο ποταμός έρεε προς τα ΒΑ και η εκβολή του βρισκόταν στην ευρύτερη περιοχή Άνω Διακοφτού-Ακράτας, σε λιμναίο ή θαλάσσιο περιβάλλον.

Κατά την δεύτερη φάση νεοτεκτονικής εξέλιξης και αποθέσεων του ποταμού, ένα τμήμα του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού, που αποστράγγιζε την περιοχή της πόλης των Λουσών στο Πλειόκαινο, κατά τη διάρκεια του Κατωτέρου-Μέσου Πλειστοκαινού συνελήφθη από τον Αροάνιο ποταμό και ρέει προς νότο, ενώ κατά το Κατώτερο Πλειστόκαινο ο κύριος ρους του ποταμού στρέφεται προς δυσμάς, στο τμήμα από το Μ. Σπήλαιο έως τη περιοχή δυτικά του χωριού Λόφος, λαμβάνοντας τη σημερινή θέση ροής του. Την περίοδο του Μέσου Πλειστοκαινού ο ποταμός αποθέτει τα συμπαγή κροκαλοπαγή της περιοχής Μ. Σπηλαίου.

Βορειότερα, κατά τη διάρκεια του Κατωτέρου-Μέσου Πλειστοκαινού αποτέθηκαν αρχικά σε λιμνοθαλάσσιο περιβάλλον και μετά σε θαλάσσιο, δυο διαδοχικές φάσεις ιζημάτων, που σχημάτισαν το δελταϊκό ριπίδιο Βουραϊκού τύπου Gilbert, που βρίσκεται σήμερα στην ευ-

ρύτερη περιοχή Καστελλίων-Φαγιάς και Αγ. Ασωμάτων -Αγ. Αποστόλων.

Κατά το Μέσο προς το Ανώτερο Πλειστόκαινο ο ποταμός μαζί με τον ποταμό Κερυνίτη αποθέτει ιζήματα ποταμολιμναίας - λιμνοθαλάσσιας φάσης, που εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα του δελταϊκού ριπίδιου του Βουραϊκού, και βρίσκονται σήμερα σε υψόμετρο 800m περίπου.

Από το Ανώτερο Πλειστόκαινο έως και σήμερα ο ποταμός σχηματίζει το σύγχρονο δέλτα της παραλιακής περιοχής Αιγιαλείας, μαζί με τους ποταμούς Κερυνίτη και Λαδοπόταμο, διαμορφώνοντας στη περιοχή αυτή και στον υποθαλάσσιο χώρο ένα σύγχρονο δελταϊκό ριπίδιο τύπου Gilbert (Ferentinos et al, 1988).

Μετά το Κατώτερο-Πλειστόκαινο, δημιουργήθηκε ο Λαδοπόταμος, που διαρρέει τις πλειοκαινικές αποθέσεις του Βουραϊκού, στην περιοχή ανάμεσα στους ποταμούς Βουραϊκό και Κράθι. Ο Λαδοπόταμος είναι ένας σχετικά νέος ποταμός που διαμορφώθηκε στο βόρειο τμήμα της λεκάνης που είχε εγκαταλείψει ο πλειοκαινικός Βουραϊκός, ενώ στο νότιο τμήμα έχει σχηματίσει ένα βαθύ φαράγγι κατά μήκος του ρήγματος Λαδοπόταμου, διαβρώνοντας εύκολα τις ποταμοχειμάρριες αποθέσεις του Βουραϊκού, που αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια του Πλειοκαινού.

##### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Ιωακείμ, Χ., 1991. *Στρωματογραφική-Παλυνολογική μελέτη της γεώτρησης. Ι.Π.6 περιοχής Καλαβρύτων.* Αθην. Έκθεση, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Κούκουζας, Κ., Μπρούσαλης, Ι., Σταμάτης, Α., και Βάγιας, Δ., 1978. *Γεωλογική-κοιτασματολογική διεύρυνση του αν. τμήματος της λιγνιτοφόρου λεκάνης Καλαβρύτων.* Αθην. Έκθεση. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
- Μαριολάκος, Η., 1976. *Σκέψεις και απόψεις επί ορισμένων προβλημάτων της γεωλογικής και τεκτονικής δομής της Πελοποννήσου.* Διατριβή επί Υψηγείας. Παν/μιο Αθηνών.
- Παπαθεοδώρου, Γ., 1990. *Διεργασίες σύγχρονης ιζηματογένεσης στο Κορινθιακό κόλπο.* Διδακτ. Διατριβή. Παν/μιο Πατρών.

- Πουλημένος, Γ., 1991. *Τεκτονική ανάλυση και ιζηματολογία του δυτικού τμήματος της Κορινθιακής τάφρου*. Διδακτ. Διατριβή Παν/μιο Πατρών. 298 σελ.
- Τρίκολας, Κ., Κοσκερίδου, Ε., Τσουρού, Θ., Νηρίνια, Χ. και Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Α., 2004. Οι θαλάσσιες πλειστοκαινικές εμφανίσεις της περιοχής Αιγιαλείας (Β. Πελοπόννησος). Δελτ. Ελλ.Γεωλ.Ετ. Τόμος XXXVI/2, 826-835.
- Τρίκολας, Κ. και Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Α., 2004a. Γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής Αιγιαλείας και Καλαβρύτων (Β.Πελοπόννησος). Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Ετ., Τόμος XXXVI/4, 1568-1577.
- Τρίκολας, Κ. και Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Α., 2004b. Νεοτεκτονική δομή και εξέλιξη της περιοχής του φύλλου ΑΙΓΙΟ (Β. Πελοπόννησος). Δελτ. Ελλην.Γεωλ.Ετ., Τόμος XXXVI/4, 1578-1587.
- Dart, C., Collier, R., Gawthorpe, R., Keller, J. and Nichols, G., 1994. *Sequence Stratigraphy of (?) Pliocene-Quaternary Syriif, Gilbert type fan deltas northern Peloponnesus, Greece*. Marine and Petroleum Geology II, N.5, 545-560.
- Doutsos, T., Kontopoulos, N. and Poulimenos, G., 1988. *The Corinth-Patras rift as the initial stage of continental fragmentation behind an active island arc (Greece)*. Basin Research. I. 177-190.
- Doutsos, T., and Piper, D., 1990. *Listric faulting, sedimentation, and morphological evolution of the Quaternary eastern Corinth rift, Greece: First stage of continental rifting*. Geol.Soc. of America Bul., v.102, 812-829.
- Dufaure, J., 1975. *Le relief de Peloponnesse*. These Univ. Paris IV. 1422 pp.
- Ferentinos, G., Papatheodorou, G., Collins, M., 1988. *Sediment transport processes on an active submarine fault escarpment: Gulf of Corinth, Greece*. Mar. Geol. 83, 43-61.
- Flotté, N., 2003. *Characterisation structurale et cinématique d' un rift sur detachment : Le rift de Corinth-Patras, Grece*. These. Univ. De Paris-sud. 197p.
- Keraudren, B. and Sorel, D., 1987. *The terraces of Corinth (Greece) – A detailed record of eustatic sea – level variations during the last 500.000 years*. Marine Geology. 77. 99-107.
- Kontopoulos, N., Zelliidis, A., 1997. *Depositional environments of the coarse-grained lower Pleistocene deposits in the Rio Antirio basin, Greece*. In. Marinou, G.C., Koukis, G.C., Tsiambaos, S.G.C. (Eds). *Engineering Geology and the Environment*. Proc.Int.Symp.Eng. Geol. Environ. A.A. Balkema, Rotterdam. Pp.199-204.
- Koukouvelas, I., Stamatopoulos, L., Katsonopoulou, D., Pavlides, S., 2001. *A palaeoseismological and geochronological investigation of the Eliki fault, Gulf of Corinth, Greece*. Jour. Struc.Geol., 23, 531-543.
- McCall, L.C. and Collier, R.E.L., 2004. *Uplift and slip rates of the eastern Eliki fault segment, Gulf of Corinth, Greece, inferred from Holocene and Pleistocene terraces*. J.Geol.Soc.London, 161, 81-92.
- Mountzos, T., 1990. *Palynologische Untersuchungen zur Paläoklimatologie und Stratigraphie der postorogenen Sedimente des NW Peloponnes*. Ph. D. thesis. Universität Münster 179 p.p.
- Poulimenos, G., Albers, G. and Doutsos, T., 1989. *Neotectonic Evolution of the central Section of the Corinth Graben*. Z. dt. geol. Hannover. Ges. 40, 173-182.
- Poulimenos, G., Zelliidis, A., Kontopoulos, N. and Doutsos, T., 1993. *Geometry of trapezoidal fan Deltas and their relationship to extensional faulting along the southwestern active Margins of the Corinth rift, Greece*. Basin Research, 5, 179-192.
- Sebrier, M., 1977. *Tectonique recente d' un-transversale a' l' arc Egean. Le golfe de Corinthe et des regions peripheriques*. These, Univ.Paris XI. Orsay, 137pp.
- Sege, M. and Alexander, 1994. *Distribution of plio-Pleistocene and Modern coarse-grained deltas South of the Gulf of the Corinth, Greece*. Spec. Pupls.Int.Ass.Sediment. 20, 37-48.
- Tsofilas, P., 1989. *Depots Lacustres du Nord Peloponnesse (Nord de l' Achaie et l' Ouest de la Corinthe)*. Bull. de la Societe belge de Geologie. 98-1. 47-55.
- Zelliidis, A., 2000. *Drainage evolution in a rifted basin, Corinth graben, Greece*. Geomorphology, 35, 69-85.







**Εκτύπωση:** Εκτυπωτική Μονάδα Ε.Μ.Π.









