



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

*Διπλωματική εργασία*

*του φοιτητή Παπαγεωργίου Δημήτρη*

*A.E.M. 3757*

### ***Τίτλος Εργασίας***

***«ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ  
ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ  
ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΟΡΕΣΤΕΙΩΝ,  
ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ»***

*Επιβλέποντες καθηγητές*

*Παυλίδης Σπυρίδων, Καθηγητής Νεοτεκτονικής*

*Τσάπανος Θεόδωρος, Καθηγητής Σεισμολογίας*

Φεβρουάριος 2008



## Περιεχόμενα

|                                                         |         |
|---------------------------------------------------------|---------|
| Περιεχόμενα.....                                        | σελ. 1  |
| Πρόλογος.....                                           | σελ. 2  |
| <b>Κεφάλαιο 1</b>                                       |         |
| 1.1. Γενικά Στοιχεία.....                               | σελ. 4  |
| 1.2. Γεωγραφία - Γεωμορφολογία της Δυτικής Μακεδονίας.. | σελ. 4  |
| 1.2.1. Υδρογραφικό δίκτυο της Δυτικής Μακεδονίας.....   | σελ. 9  |
| 1.2.2. Λίμνες.....                                      | σελ. 10 |
| <b>Κεφάλαιο 2</b>                                       |         |
| 2.1. Γεωλογία της Δυτικής Μακεδονίας.....               | σελ. 15 |
| 2.1.1. Αλπικοί Σχηματισμοί .....                        | σελ. 19 |
| 2.1.2. Μεταλπικοί Σχηματισμοί.....                      | σελ. 21 |
| 2.1.3. Γεωλογία της περιοχής μελέτης.....               | σελ. 24 |
| 2.2. Τεκτονική της Δυτικής Μακεδονίας.....              | σελ. 27 |
| <b>Κεφάλαιο 3</b>                                       |         |
| 3.1. Σεισμικότητα της Δυτικής Μακεδονίας.....           | σελ. 31 |
| 3.2. Ιστορικοί Σεισμοί.....                             | σελ. 32 |
| 3.3. Ο σεισμός της 13 <sup>ης</sup> Μαΐου 1995.....     | σελ. 35 |
| 3.4. Σεισμικότητα της περιοχής μελέτης.....             | σελ. 35 |
| 3.4.1 Μέτρα Σεισμικότητας της Περιοχής Μελέτης.....     | σελ. 46 |
| <b>Κεφάλαιο 4</b>                                       |         |
| 4.1. Σεισμοτεκτονικός Συσχετισμός.....                  | σελ. 52 |
| <b>Συμπεράσματα.....</b>                                | σελ. 61 |
| <b>Βιβλιογραφία.....</b>                                | σελ. 63 |

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

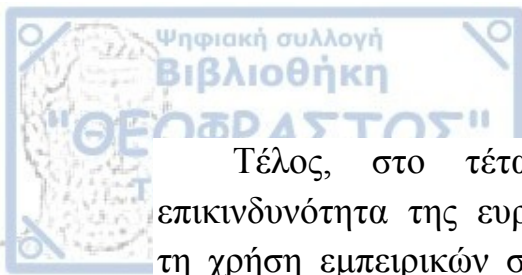
Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος των προπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κατά το ακαδημαϊκό έτος 2006/2007. Ανατέθηκε από τον καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας Παυλίδη Σπύρο και η εκπόνηση της έγινε υπό την επίβλεψη των κ. Σπ. Παυλίδη, καθηγητή Νεοτεκτονικής και του κ. Θ. Τσάπανου, καθηγητή Σεισμολογίας.

Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια να προσεγγίσουμε από γεωλογική και σεισμολογική σκοπιά την θέση κατασκευής του γεωφράγματος αλλά και την ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, με σκοπό την ασφαλέστερη κατασκευή του τεχνικού έργου, το οποίο θα δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη των υφιστάμενων γεωργικών καλλιεργειών καθώς και την ανάπτυξη νέων και θα αναβαθμίσει σε σημαντικό βαθμό την γεωργική οικονομία της περιοχής.

Στο πρώτο κεφάλαιο που αποτελεί και την εισαγωγή της εργασίας, δίνονται στοιχεία για τον σκοπό κατασκευής του φράγματος καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Επίσης γίνεται μια εκτεταμένη αναφορά στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και στο υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής της Δυτικής Μακεδονίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτεταμένη γεωλογική και τεκτονική μελέτη της Δυτικής Μακεδονίας αλλά και, ποιο συγκεκριμένα, της περιοχής κατασκευής του φράγματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετήθηκε η σεισμικότητα της περιοχής σε ακτίνα 50 Km από την θέση θεμελίωσης. Δίνεται χάρτης με τα επίκεντρα όλων των σεισμών που έπληξαν την ευρύτερη περιοχή μελέτης από το 800 μ.Χ μέχρι και το 2003. Επίσης χαρτογραφήθηκαν οι μικροσεισμοί που έγιναν στην Δυτική Μακεδονία και όλα τα γνωστά ενεργά ρήγματα αυτής. Με τη βοήθεια των δεδομένων που πήραμε από τον σεισμολογικό σταθμό και τη χρήση μαθηματικών σχέσεων υπολογίσαμε σημαντικές σεισμικές παραμέτρους για την περιοχή μελέτης και κατασκευάσαμε τις γραφικές παραστάσεις αυτών. Επίσης υπολογίσαμε τα μέτρα σεισμικότητας για την περιοχή μελέτης. Ακόμη καταγράψαμε τους ιστορικούς σεισμούς που έπληξαν την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας και αναφερθήκαμε αναλυτικότερα στον σημαντικό σεισμό της 13<sup>ης</sup> Μαΐου 1995.



Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο υπολογίσαμε την σεισμική επικινδυνότητα της ευρύτερης περιοχής της Δυτικής Μακεδονίας, με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων που συνδέουν το μέγεθος του σεισμού που μπορούν να δώσουν τα ενεργά ρήγματα της περιοχής με το μήκος των ρηγμάτων.

### ***Ευχαριστίες***

Με την ολοκλήρωση της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου κ. Σπύρο Παυλίδη και κ. Θεόδωρο Τσάπανο για την ανάθεση του θέματος και την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση τους σε όλη την διάρκεια της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Βαλκανιώτη Σωτήρη για την βοήθεια του στον σχεδιασμό των χαρτών.

Η σεισμοτεκτονική μελέτη αφορά την κατασκευή ενός γεωφράγματος στην θέση Λιβάδια του αγροκτήματος Αγίου Αντωνίου του Δήμου Κορεστίων του Νομού Καστοριάς.

Η περιοχή μελέτης είναι ορεινή με υψόμετρα που κυμαίνονται από 1000 m έως 1100 m. Η θέση του φράγματος απέχει, σε ευθεία γραμμή πάνω στον χάρτη, 16 km από την πόλη της Φλώρινας και 18 Km από την πόλη της Καστοριάς.

Η κατασκευή του έργου κρίθηκε αναγκαία για την ολοκληρωμένη εκμετάλλευση των υφιστάμενων αρδευτικών δικτύων που σε συνδυασμό με τον εκπονούμενο αναδασμό του αγροκτήματος του Αγίου Αντωνίου θα δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη των υφιστάμενων γεωργικών καλλιεργειών καθώς και την ανάπτυξη νέων.

Το γεώφραγμα θα κατασκευαστεί στο ρέμα Ροδόρεμα το οποίο παρουσιάζει αυξημένες παροχές κατά την διάρκεια της άνοιξης, της τάξης των 5 m<sup>3</sup>/sec, από το λιώσιμο του χιονιού ενώ η παροχή του πρακτικά μηδενίζεται κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος, όπως υπολογίζονται από τα διαθέσιμα στοιχεία, είναι:

- Μέγιστο ύψος στέψης 25 m
- Όγκος φράγματος 215.000,00 m<sup>3</sup>
- Χωρητικότητα ταμιευτήρα 450.000,00 m<sup>3</sup>
- Πλημμυρική παροχή 50 m<sup>3</sup>/sec
- Μήκος Στέψης 140 m
- Επιφάνεια λεκάνης υδροσυλλογής 2,5 Km<sup>2</sup>

## 1.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ & ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η Δυτική Μακεδονία βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδας και συνορεύει με την Αλβανία και την FYROM, έχει έκταση 9.451 Km<sup>2</sup> και καταλαμβάνει το 7,2 % της συνολικής έκτασης της χώρας. Αποτελείται από τους Νομούς Κοζάνης, Γρεβενών, Καστοριάς και Φλώρινας.





Σχήμα 1.1. Χάρτης της περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας

Η Δυτική Μακεδονία είναι περιοχή κατ' εξοχήν ορεινή, με το 82 % του εδάφους της να καλύπτεται από ορεινές και ημιορεινές εκτάσεις. Δεσπόζουσα θέση στο δυτικό τμήμα της περιφέρειας κατέχει η οροσειρά της Πίνδου με επιβλητικές, ψηλές κορυφές, όπως του Σμόλικα (2637 m), το οποίο είναι το δεύτερο σε ύψος βουνό της Ελλάδας, του Γράμμου (2520 m), του Βοίου (1805 m), της Βασιλίτσας (2249 m) και του Αυγού (2177 m), κορυφή της οροσειράς Λύγκος. Βορειοδυτικά βρίσκονται το Τρικλάριο με υψηλότερη κορυφή το Μπούτσι (1776 m) και ο Βαρναούντας με υψηλότερη κορυφή την Όριζα (2334 m). Στο βορά στα σύνορα με την FYROM εκτείνεται ο όγκος του Καιμακτσαλάν, το τρίτο ψηλότερο βουνό της Ελλάδας με υψόμετρο (2524 m). Στο Νομό Φλώρινας βρίσκονται το Περιστέρι με υψηλότερη την ομώνυμη κορυφή (2117 m), το Τουτσούλι (1456 m), ο Ντέβας (1373 m). Στο βορειανατολικό τμήμα της περιφέρειας βρίσκεται το Βέρμιο με υψηλότερη κορυφή του τον Χαμίτη (2065 m) και χωρίζει την Δυτική

Μακεδονία από την Κεντρική. Η οροσειρά των *Καμβουνίων* με υψηλότερη κορυφή την *Βουνάσα* (1615 m) και τα *Χάσια* με υψηλότερη κορυφή το *Κράτσοβο* (1564 m) κλείνουν το νότιο τμήμα της Δυτικής Μακεδονίας και την χωρίζουν από την Θεσσαλία. Μια άλλη επιμήκης οροσειρά, που κόβει στη μέση τη Δυτική Μακεδονία με κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, αρχίζει από τον *Βαρνούντα* με τον ορεινό όγκο του *Βιτσίου* (2128 m) και συνεχίζει με το *Μουρίκι*, το οποίο ενώνεται με τον ορεινό όγκο του *Ασκίου* με υψηλότερη κορυφή το *Σινιάτσικο* (2111 m). Ένα από τα σπουδαιότερα βουνά, το οποίο αποτελεί το τελευταίο τμήμα αυτής της οροσειράς, είναι ο *Βούρινος* με υψηλότερη κορυφή τον *Ντρισινίκο* (1866 m) και χωρίζεται από τα *Καμβούνια* με την βαθιά χαράδρα που σχηματίζει ο ποταμός *Αλιάκμονας*.

Η έντονη τεκτονική δράση στην περιοχή είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός έντονου ανάγλυφου, το οποίο εκτός από την παρουσία των μεγάλων ορεινών όγκων συμπληρώνεται και από την εμφάνιση τεκτονικών λεκανών και μικρών οροπεδίων. Οι λεκάνες που εμφανίζονται στην περιοχή αναπτύσσονται με μια γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, παράλληλη προς τον ορογραφικό άξονα των Ελληνίδων οροσειρών.

Μια σημαντική λεκάνη στην περιοχή, η οποία βρίσκεται στους νομούς Φλώρινας και Κοζάνης, είναι η επιμήκης νεογενής λεκάνη *Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας* με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Ξεκινάει από το Μοναστήρι (Bitola) και διαμέσου της Φλώρινας, Αμυνταίου και Πτολεμαΐδας φτάνει μέχρι την Κοζάνη. Στο σύνολο της η λεκάνη έχει μήκος 100 Km περίπου και ένα μέσο πλάτος 15 Km. Το μέσο υψόμετρό της είναι 600 m .

Από τα δυτικά η λεκάνη ορίζεται από το ορεινούς όγκους του Βέρνου και του Ασκίου. Στα ανατολικά εκτείνονται οι όγκοι του Βόρα και το Βέρμιο και προς το νότο η λεκάνη κλείνει από τη παρουσία λοφοσειρών.

Η λεκάνη στο σύνολο της δεν εμφανίζεται ενιαία. Η παρουσία εξαρμάτων και λοφοσειρών την χωρίζουν σε επιμέρους υπολεκάνες. Στα βόρεια βρίσκεται η λεκάνη της *Φλώρινας* και στο νότιο τμήμα η λεκάνη *Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας*. Υπάρχουν και άλλα μικρότερης σημασίας εξάρματα που δημιουργούν μικρότερες υπολεκάνες.

Επίσης, στην περιοχή αναπτύσσεται και η λεκάνη *Σαριγκιόλ (Κίτρινη λίμνη)* που αποτελεί τη νότια λιγνιτοφόρο λεκάνη της Πτολεμαΐδας. Έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και περιβάλλεται από τους

ορεινούς όγκους του Βερμίου ανατολικά και του Ασκίου στα δυτικά ανάμεσα στους οποίους εκτείνονται και οι μεγάλες πεδιάδες της Πτολεμαΐδας και του Αμυνταίου, όπως αναφέραμε και πιο πάνω. Έχει μήκος περίπου 16 Km και πλάτος που φτάνει τα 10 Km. Το μέσο υψόμετρο της είναι 952 m και έχει συνολική έκταση 430 Km<sup>2</sup> περίπου. Η μορφολογία και το ανάγλυφο της περιοχής στο βόρειο τμήμα έχει αλλοιωθεί λόγω της ανάπτυξης των λιγνιτορυχείων. Νότια της λεκάνης *Σαριγκίολ* βρίσκεται η λεκάνη *Κοζάνης - Σερβίων*.

Άλλη μια λεκάνη που αναπτύσσεται στην Δυτική Μακεδονία και σε ένα μέσο υψόμετρο 700 m περίπου είναι η *λεκάνη των Γρεβενών* με διεύθυνση ΒΒΔ. Το πλάτος της είναι 50 Km και το μήκος της 150 Km. Η λεκάνη προς δυτικά οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Βέρνου, του Ασκίου και του Βούρινου. Στα νοτιοδυτικά βρίσκεται ο ορεινός όγκος της Πίνδου, ενώ προς τα ανατολικά βρίσκεται ο όγκος των Καμβουνίων.

*Σχήμα 1.2* Δορυφορική εικόνα Landsat - TM που καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας. Συνδυασμός καναλιών 3:2:1 (R:G:B) που αποδίδει την περιοχή με φυσικά χρώματα και τονίζει τη χρήση της Γης. Τονίζεται η οικιστική και η γεωργική χρήση καθώς και η παρουσία λατομείων στην περιοχή. Στις λίμνες τονίζεται το βάθος τους. Μια τέτοια σύνθεση είναι χρήσιμη για την παρακολούθηση των φυσικών λιμνών και των ταμιευτήρων της περιοχής αφού μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για τις αυξομειώσεις της στάθμης τους.

Οι δομημένες περιοχές φαίνονται με γκριζόμαυρα χρώματα.

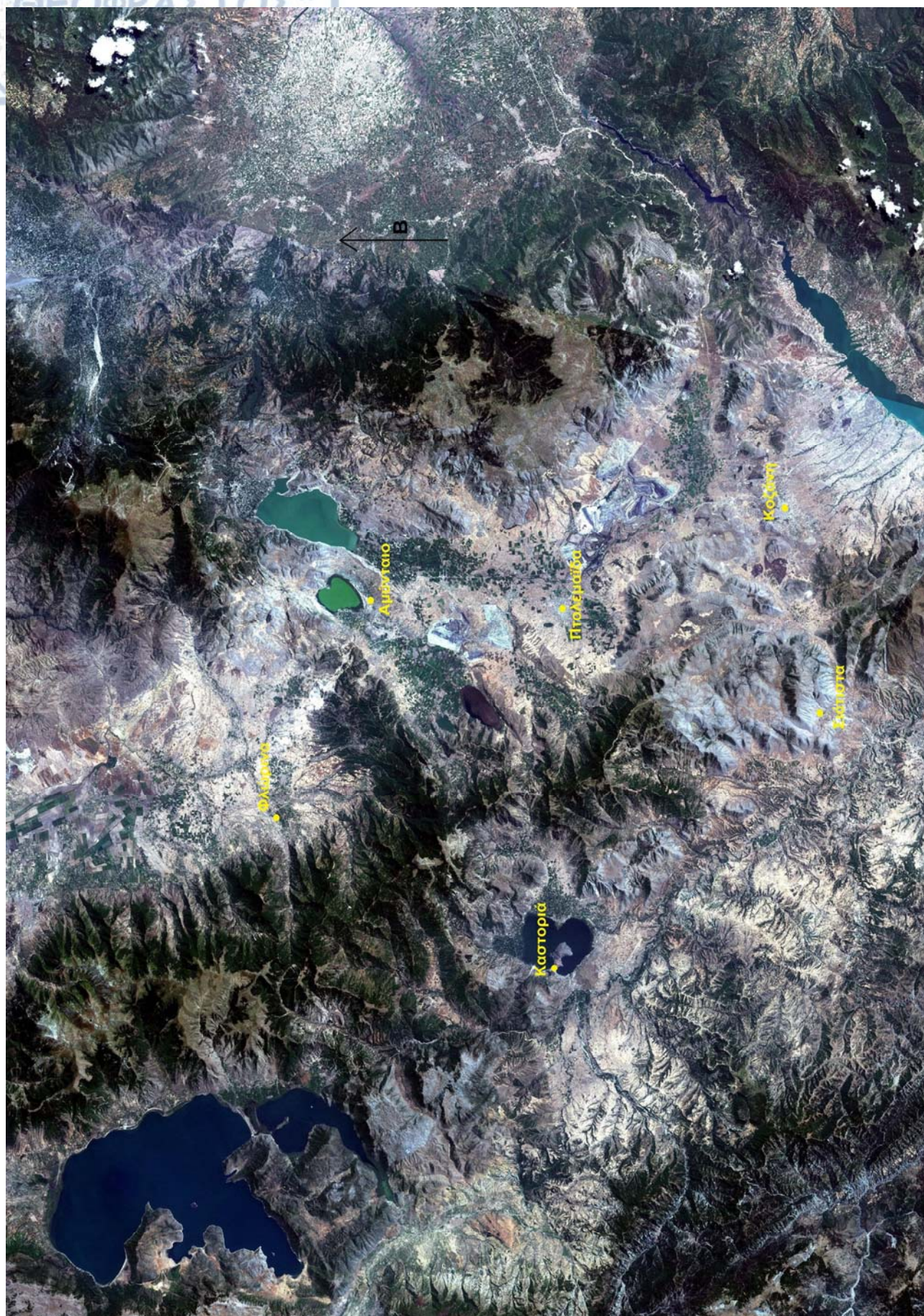
Τα ανθρακικά πετρώματα φαίνονται με λευκότερα χρώματα.

Εμφανής είναι και η υφή του καρστικού τοπίου.

Μεγαλύτερο βάθος αντιστοιχεί σε βαθύτερο μπλε χρώμα.

Η λήψη της δορυφορικής εικόνας έγινε στις 26/05/2003.







### 1.2.1 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Η Δυτική Μακεδονία, λόγω της ποικίλης εδαφικής της μορφολογίας, εμφανίζει διάφορες λεκάνες, όπως αναφέραμε και παραπάνω, μέσω των οποίων σχηματίζονται διάφοροι ποταμοί.

Στη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας λόγω της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της γεωτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής, έχουμε τη δημιουργία έντονων και πυκνών ρεμάτων που τροφοδοτούν με ύδατα τους κύριους ποταμούς της περιοχής. Όλοι οι ποταμοί που βρίσκονται στην περιοχή, όπως ο Σιατιστινός, ο Γρεβενίτικος, ο Βενέτικος, ο Εδεσσαίος, ο Στραβοπόταμος και άλλοι αποτελούν παραποτάμους του Αλιάκμονα. Ο Αλιάκμονας είναι ο μεγαλύτερος ποταμός στην Ελλάδα, με μήκος 297 Km και μέση ετήσια απορροή  $2,03 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ . Πηγάζει από την περιοχή του Γράμμου που ανήκει στον Ν. Καστοριάς και εκβάλλει στο Θερμαϊκό κόλπο, κοντά στην παραλία της νέας Αγαθούπολης. Η λεκάνη απορροής του φθάνει τα  $6.016 \text{ km}^2$ . Ο Αλιάκμονας κατά την πορεία του προς την θάλασσα εκτός από τα νερά των παραποτάμων, που αναφέραμε παραπάνω, συγκεντρώνει σχεδόν όλα τα ύδατα της Δυτικής Μακεδονίας, εκτός από αυτά της λεκάνης της Φλώρινας. Τροφοδοτείται από τις λεκάνες της περιοχής, όπως την λεκάνη Καστοριάς - Γρεβενών που διοχετεύεται μέσω του Αλιάκμονα, καθώς και από την λίμνη της Καστοριάς όπου τα πλεάζοντα νερά εκφορτίζονται στον ποταμό μέσω κάποιων ρεμάτων.

Ο Αλιάκμονας κατά την ροή του προς την θάλασσα ακολουθεί αρχικά την νοτιοανατολική διεύθυνση. Τη διεύθυνση αυτή ακολουθεί μέχρι το σημείο όπου συναντά εμπόδιο από την ανάδυση του υποβάθρου (Καμβούνια) όπου κάμπτεται ανατολικά και βορειοανατολικά. Στην περιοχή αυτή τα Καμβούνια διαχωρίζονται από το βορειότερο τμήμα του Βούρινου από μία χαράδρα που δημιουργήσε ο ποταμός σε σημείο που ήταν ευπαθές από παλαιότερη διάβρωση. Μέσω της διόδου αυτής εισέρχεται στην λεκάνη της Κοζάνης και ρέει με κατεύθυνση βόρειο ανατολική στο νότιο άκρο της και βόρεια της λεκάνης των Σερβίων. Στη συνέχεια διασχίζει την ανατολική οροσειρά της λεκάνης και δημιουργώντας στενή και φαραγγώδη κοιλάδα μεταξύ των ορέων Βερμίου και Πιερίων, εισέρχεται στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης.

Κατά μήκος της κοίτης του ποταμού Αλιάκμονα αναπτύσσεται η σημαντικότερη νεοτεκτονική ρηξιγενής ζώνη στον χώρο της Δυτικής Μακεδονίας που προεκτείνεται μέχρι την Κεντρική Μακεδονία, με συνολικό μήκος μεγαλύτερο των 70 km. Η ρηξιγενής αυτή ζώνη ακολουθεί στενά την κοίτη του ποταμού από την περιοχή των Γρεβενών με γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και καταλήγει στην πεδιάδα Βέροιας - Θεσσαλονίκης. Έχει κόψει εγκάρσια τις οροσειρές του Βούρινου και του Βερμίου για να δημιουργηθεί η δίοδος του Αλιάκμονα. Αποτελείται από συνεχόμενα αυτόνομα τμήματα που σχηματίζουν μεταξύ τους γωνίες.

### 1.2.2 ΛΙΜΝΕΣ

Στην Δυτική Μακεδονία υπάρχουν επτά φυσικές λίμνες: η *Βεγορίτιδα*, των *Πετρών*, η *Ζάζαρη*, η *Χειμαδίτιδα*, της *Καστοριάς*, η *Μικρή Πρέσπα*, ένα μέρος της οποίας ανήκει στην Αλβανία, και η *Μεγάλη Πρέσπα* που το μεγαλύτερο τμήμα της ανήκει στη FYROM και στην Αλβανία. Επίσης στον Νομό Κοζάνης, στη λεκάνη των Σερβίων από τα νερά του Αλιάκμονα σχηματίζεται η τεχνητή λίμνη του υδροηλεκτρικού φράγματος του *Πολυφύτου*.

Σπάνιας φυσικής ομορφιάς είναι και οι μικρές ορεινές λίμνες που βρίσκονται σε μεγάλα υψόμετρα όπως η *Γκιστόβα* (2300 m) στον *Γράμμο*, οι λίμνες *Μουτσάλια* (1800 m) στην *Επάνω Αρένα* του *Γράμμου* και οι λίμνες της *Φλέγγας* (1950 m) στη *Βάλια Κάλντα*.

#### *Λίμνη Καστοριάς*

Η λίμνη της Καστοριάς, έχει έκταση 30 Km<sup>2</sup> και βρίσκεται σε υψόμετρο 628 m. Το σχήμα της είναι ελλειψοειδές, η παρουσία βραχώδους ασβεστολιθικής χερσονήσου με υψόμετρο 890 m που δεσπόζει στο δυτικό τμήμα της, διαιρεί τη λίμνη σε δύο σχεδόν ίσα μέρη. Το στενότερο τμήμα της λίμνης είναι περίπου 1400 m. Η λίμνη βαθαίνει ομαλά μέχρι το βάθος των 5 m, ενώ το μέγιστο βάθος που παρατηρείται είναι 8,5 m.

Η λίμνη είναι καρστική και αποτελεί υπολλειματική μορφή των μεγάλων λιμνών του Νεογενούς - Τεταρτογενούς που δέσποζαν στο χώρο της Μακεδονίας, και κατατάσσεται στις ανοιχτές λίμνες επειδή έχει φυσική απορροή και τα πλεάζοντα νερά εκφορτίζονται στον ποταμό Αλιάκμονα.



Σχήμα 1.3. δορυφορική φωτογραφία της λίμνης της Καστοριάς

#### *Λίμνες Βεγορίτιδα, Πετρών, Χειμαδίτης και Ζάζαρη*

Στο βόρειο άκρο της κοιλάδας της Εορδαίας αναπτύσσονται σε συμμετρική διάταξη και σε υψόμετρα που κυμαίνονται από 570 m μέχρι 610 m η λίμνη Βεγορίτιδα μαζί με τις γειτονικές μικρότερες λίμνες των Πετρών, Χειμαδίτης και Ζάζαρη.

Η λίμνη Βεγορίτιδα βρίσκεται σε ένα υψόμετρο 540 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Έχει έκταση  $70 \text{ km}^2$  και μέγιστο βάθος που φτάνει τα 70 m. Έχει σχήμα επίμηκες ελλειπτικό. Το μήκος της φτάνει τα 17,8 Km και το πλάτος της κυμαίνεται από 7,1 Km έως 2,1 Km.

Η Λίμνη Πετρών βρίσκεται σε υψόμετρο 573 m από την επιφάνεια της θάλασσας, έχει έκταση  $9,77 \text{ Km}^2$  και μέγιστο βάθος που φτάνει τα 5 m. Το μήκος της είναι 3,7 Km και το πλάτος της 3,2 Km.

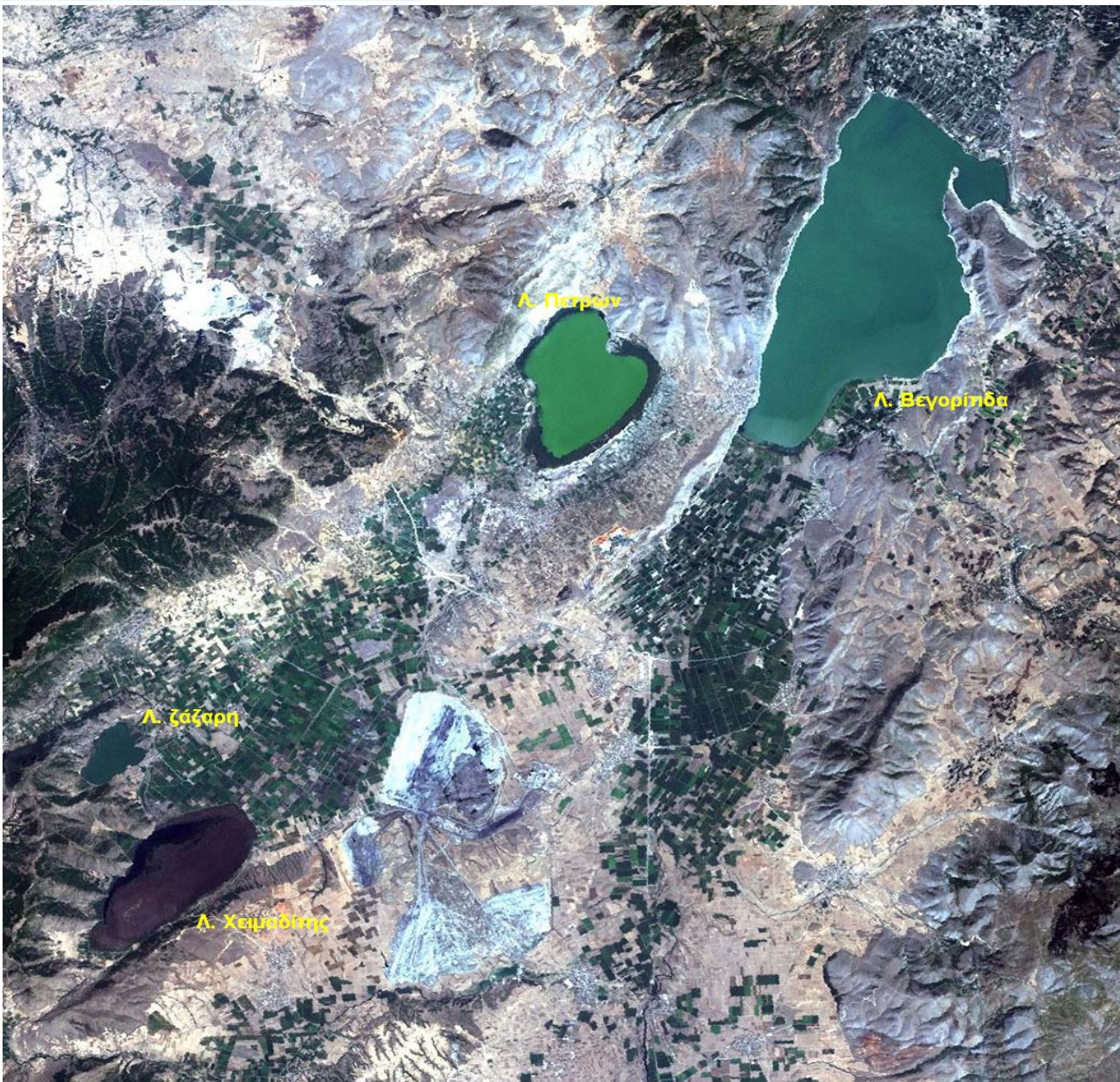
Η λίμνη Χειμαδίτης βρίσκεται σε υψόμετρο 593 m, έχει έκταση  $9,4 \text{ Km}^2$  και μέγιστο βάθος που φτάνει τα 8 m. Το μήκος της είναι 5,08 Km και το πλάτος της 2,43 Km.

Η λίμνη Ζάζαρη βρίσκεται σε υψόμετρο 602 m, έχει έκταση  $1,9 \text{ Km}^2$  και μέγιστο βάθος που φτάνει τα 6,4 m. Το μήκος της είναι 2 Km και το πλάτος της 1,31 Km.

Πιστεύεται ότι οι λίμνες αυτές αποτελούν υπολείμματα της παλιάς μεγάλης λίμνης της Εορδαίας, η έκταση της οποίας αναφέρεται ότι



έφτανε τα 1000 km<sup>2</sup> περίπου και είχε ένα βάθος 250 m. Μετά από την αποξήρανση της θεωρείται ότι προήλθε η ομώνυμη κοιλάδα.

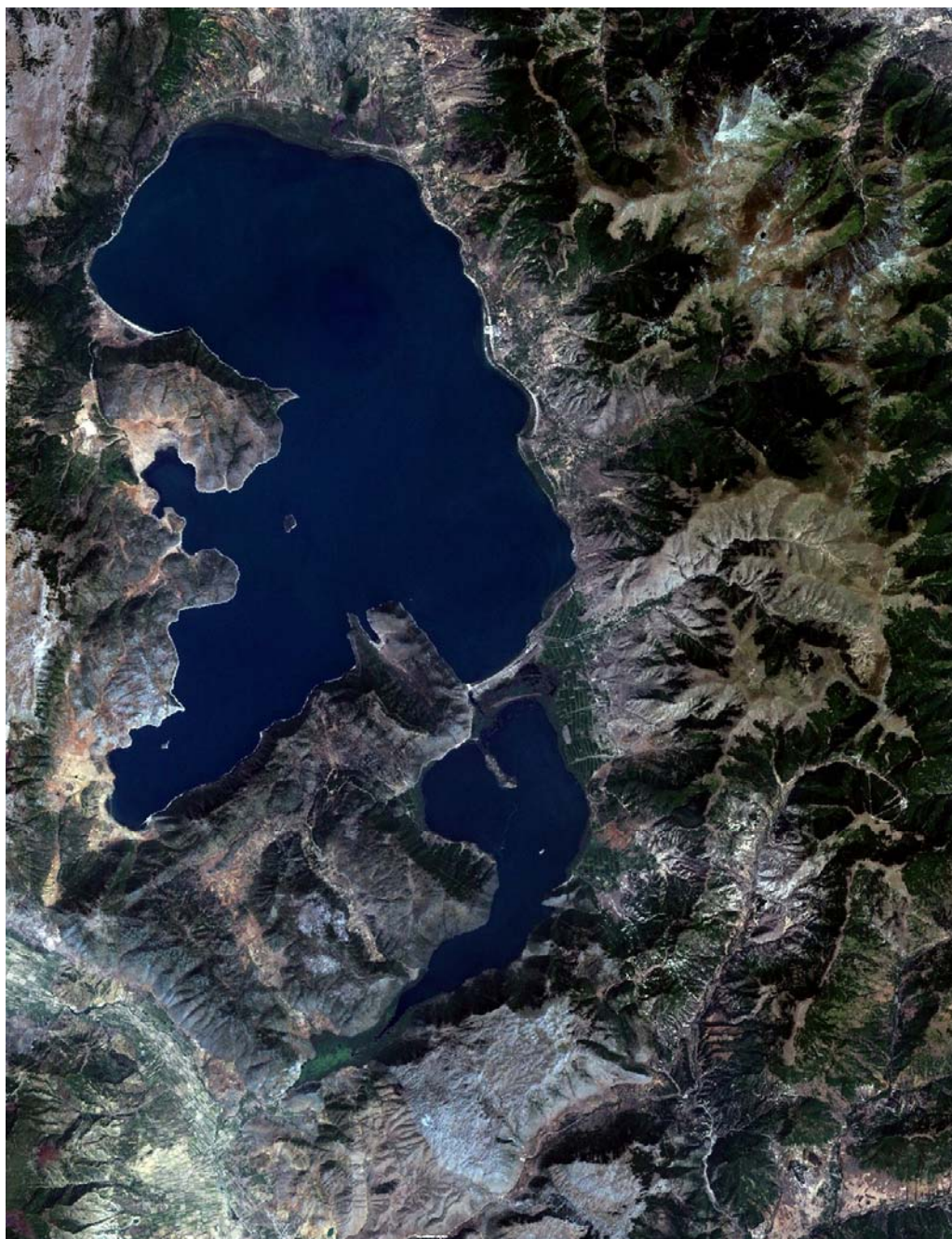


Σχήμα 1.5. δορυφορική φωτογραφία των λιμνών Βεγορίτιδα, Πετρών, Χειμάδιτης και Ζάζαρη



### *Μεγάλη και Μικρή Πρέσπα*

Στο βορειοδυτικότερο άκρο της Ελλάδας και σε υψόμετρο 853 m και 850 m αντίστοιχα βρίσκονται οι λίμνες μικρή και μεγάλη Πρέσπα με επιφάνεια 47,35 Km<sup>2</sup> και 272 Km<sup>2</sup> και με μέγιστο βάθος 8,4 m και 50 m αντίστοιχα. Οι δύο λίμνες βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και χωρίζονται από μια λωρίδα γης με μήκος 4 km και πλάτος που κυμαίνεται από 200 μέχρι 1000 m.



Σχήμα 1.4. δορυφορική φωτογραφία των λιμνών Μεγάλης και Μικρής Πρέσπας



### Τεχνητή λίμνη Πολύφυτου

Η τεχνητή λίμνη Πολύφυτου δημιουργήθηκε στον Αλιάκμονα ποταμό με την κατασκευή του ομώνυμου φράγματος το 1974. Με τα ύδατα του κατακλύεται το νότιο τμήμα της λεκάνης Κοζάνης - Σερβίων. Το μήκος της λίμνης κυμαίνεται από 31 Km έως 22 Km. Η λίμνη είναι στενόμακρη και το πλάτος της κυμαίνεται από 2,5 Km έως 1,2 Km. Η μέση έκταση της είναι περίπου 74 Km<sup>2</sup>.

Μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα παρατηρήθηκε αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή. Η έντονη σεισμική δραστηριότητα που αναπτύχθηκε οδήγησε τους επιστήμονες στην εκτενέστερη μελέτη της περιοχής, καθώς επρόκειτο για μια περιοχή με πολύ χαμηλή σεισμικότητα, όπως θα δούμε και στο κεφάλαιο 3 της εργασίας. Κατά τη διάρκεια της μελέτης αναπτύχθηκε από ορισμένους επιστήμονες η άποψη σύμφωνα με την οποία η γένεση του καταστροφικού σεισμού της 13<sup>ης</sup> Μαΐου 1995 σχετίζεται με την πλήρωση του ταμιευτήρα. Άποψη που δεν έγινε αποδεκτή από το σύνολο της επιστημονικής κοινότητας.



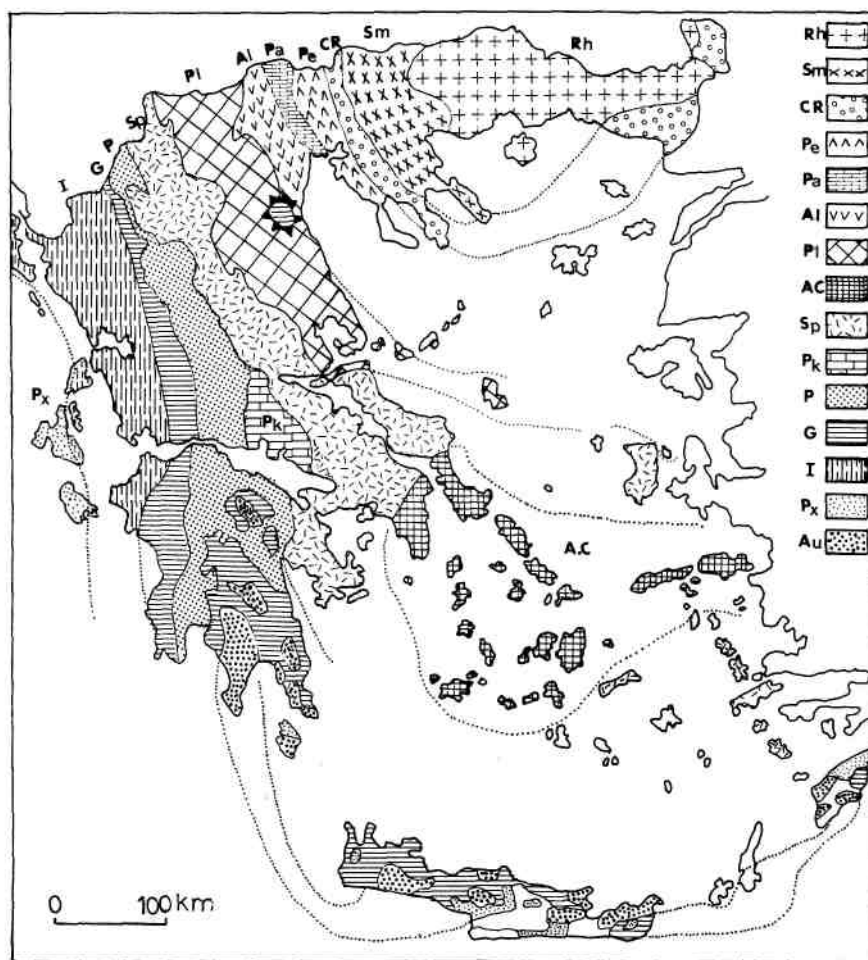
Σχήμα 1.6. δορυφορική φωτογραφία της Τεχνητή λίμνη Πολύφυτου



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, στην οποία τοποθετείται η περιοχή μελέτης, αποτελείται από πετρώματα της Πελαγονικής γεωτεκτονικής ζώνης (Bruun 1956, Μουντράκης 1985,1986), όπως φαίνεται και στον χάρτη.



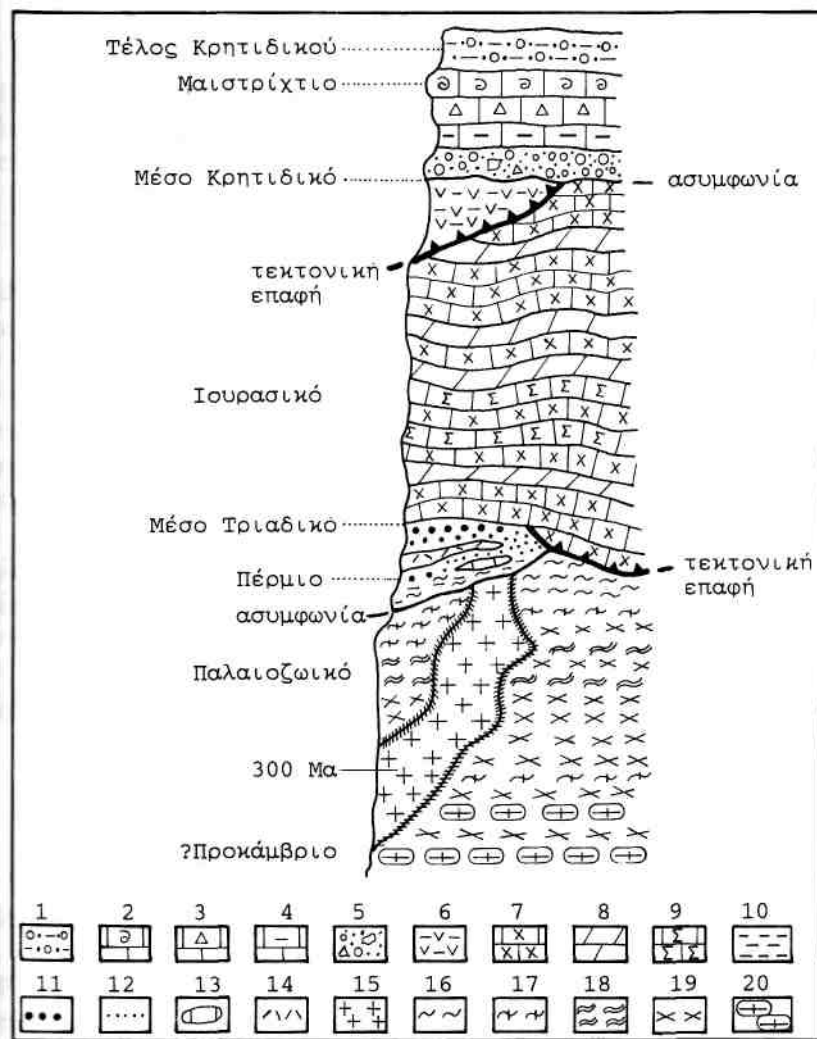
Σχήμα 2.1. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων Ζωνών. Rh: Μάζα Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική Ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Αχ: Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική Ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υπόπελαγονική Ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιόνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος Ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη - πλακώδεις Ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Μουντράκη et al., 1983)

Η Πελαγονική ζώνη εμφανίζεται ως επιμήκη ζώνη με διεύθυνση από ΒΒΔ προς ΝΝΑ. Εκτείνεται από τα Σκόπια προς τους Ελληνικούς ορεινούς όγκους του Βόρα, του Βαρνούντα, του Βέρνου, του Βερμίου, των Πιερίων, του Ολύμπου, του Πηλίου και της Βόρειας Εύβοιας. Στην συνέχεια κάμπτεται προς τις Σποράδες και περιλαμβάνει τα νησιά Σκιάθος, Σκόπελος, Σκύρος.

Όλα τα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης, αλπικά και προαλπικά ηλικίας Παλαιοζωικού, Μεσοζωικού και Τριτογενούς χαρακτηρίζονται ως το υπόβαθρο της περιοχής. Επάνω στους σχηματισμούς του υποβάθρου, κάθονται ασύμφωνα οι μεταλπικοί σχηματισμοί στους οποίους περιλαμβάνονται τα μολασσικά ιζήματα της Μέσο - Ελληνικής αύλακας και οι Πλειο - Πλειστοκαινικές χερσαίες αποθέσεις των λεκανών της Κοζάνης - Σερβίων και Γρεβενών. Επάνω από αυτούς τους σχηματισμούς βρίσκονται οι πιο νέες αποθέσεις κυρίως κώνοι κορημάτων και σύγχρονες ποτάμιες αποθέσεις.

Στο σχήμα 2.2 δίνεται η λιθοστρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής ζώνης που καλύπτει την περιοχή μελέτης ενώ στο σχήμα 2.3 δίνεται ο γενικός γεωλογικός χάρτης της Δυτικής Μακεδονίας.





Σχήμα 2.2. Συνοπτική λιθοστρωματογραφική-τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. 1-5: Επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου-Άνω Κρητιδικού. 1: Φλύσξης Άνω Μαιστριχτίου - Κάτω Παλαιοκαίνου, 2: Ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρολατυποπαγής ασβεστόλιθοι, 4: Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλόλατυποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, 7-9: πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού - Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίνες, 10-14: πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου - Κάτω-Τριαδικού, 10: μεταπυλίτες-φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετά-κροκαλοπαγή, 12: μετά-ψαμμίτες, μετά-αρκόζες 13: φακοί ασβεστολίθων, 14: μετά-ρυόλιθοι, μετά-τόφοι, 15: γνευσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, 16-20: πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου Παλαιοζωικής ή και προ-Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι, 17: διμαρμαρυγικοί-γρανιτοειδείς σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γνεύσιοι, 20: οφθαλμογνεύσιοι. (Κατά Μουντράκη, 1985)



### Υπόμνημα

|       |                                        |     |                        |
|-------|----------------------------------------|-----|------------------------|
| Gs    | Γενεύσιοι - Σχιστόλιθοι                | O   | Οφειόλιθοι             |
| A     | Αμφιβολίτες                            | Jr  | Ιουρασικά ιζήματα      |
| Gr    | Γρανίτες                               | Kls | Κρητιδικό ασβεστόλιθοι |
| Tr    | Τριαδικό                               | F   | Φλύσχης Ηωκαίνου       |
| TrJr  | Τριαδικό-Ιουρασικό περιθώριο           |     | Ρήγματα                |
| Ms    | Ιζήματα Μεσοελληνικής αύλακας          |     | Λίμνες - Ποτάμια       |
| MioPl | Άνω Μειοκαινικά-Πλειστοκαινικά Ιζήματα |     |                        |
| Q     | Τεταρτογενή Ιζήματα                    |     |                        |

Σχήμα 2.3. Γενικός Γεωλογικός χάρτης της Δυτικής Μακεδονίας (Ράσιου, 2004)



### 2.1.1 ΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

#### Πετρώματα του υποβάθρου ηλικίας Παλαιοζωικού – Μεσοζωικού

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, στο οποίο αποτέθηκαν μεταγενέστερα τα μεταλλικά μολασσικά ιζήματα και οι χερσαίες λιμναίες αποθέσεις των λεκανών Κοζάνης - Σερβίων και Γρεβενών αποτελείται από τέσσερις μεγάλες ενότητες που θα δούμε παρακάτω:

##### α) Παλαιοζωικά και Περμοτριάδικά πετρώματα

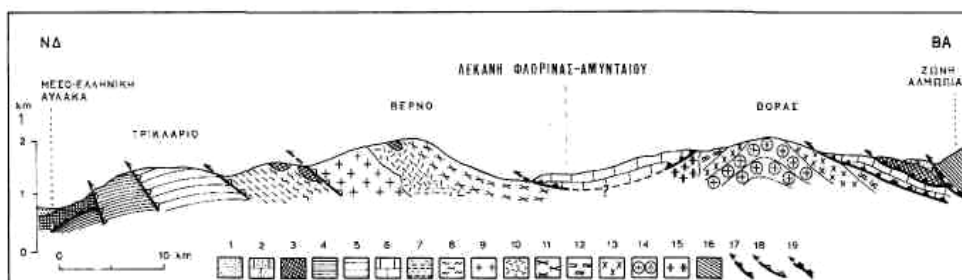
Τα παλαιοζωικά κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα θεωρούνται ηλικίας Παλαιοζωικής ή και παλαιότερης (Προκαμβρίου). Αποτελούνται από γνευσίους, αμφιβολίτες, αμφιβολιτικούς - βιοτιτικούς και μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους. Κατά το Άνω Λιθανθρακοφόρο στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα διείσδυσαν μεγάλοι γρανιτικοί όγκοι, οι οποίοι στην πλειοψηφία τους εμφανίζονται γνευσιωμένοι λόγω πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης που υπέστησαν στο Άνω Ιουρασικό - Κάτω Κρητιδικό.

Κατά το Πέρμιο - Κάτω Τριαδικό επάνω στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα και στους γνευσιωμένους γρανίτες αποτέθηκε ασύμφωνα, μια κλαστική ιζηματογενής σειρά πάχους περίπου 200 m. Μέσα στα κλαστικά αυτά ιζήματα παρεμβάλλονται ηφαιστειακά πετρώματα, όπως λάβες και τόφφοι, που αντιπροσωπεύουν την ιζηματογένεση και την ηφαιστειότητα που αναπτύχθηκε στο περιθώριο της ηπειρωτικής διάρρηξης του δυτικού περιθωρίου κατά το Περμοτριάδικό.

##### β) Ανθρακικό κάλυμμα Τριαδικού - Ιουρασικού

Κατά το Τριαδικό - Ιουρασικό η κύρια ιζηματογένεση της Πελαγονικής ζώνης είναι νηριτική, ανθρακική και τα πετρώματα της καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις της ζώνης. Τα πετρώματα αυτά αποτελούν δύο χωριστά ανθρακικά καλύμματα που αποτέθηκαν στα δυο περιθώρια, ανατολικό και δυτικό, της Πελαγονικής. Το ανθρακικό κάλυμμα στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, που αποτελεί το δυτικό κάλυμμα, είναι αυτόχθονο και αποτέθηκε από το Μέσο Τριαδικό μέχρι το Κάτω Κρητιδικό. Αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους διαφόρων τύπων με ελάχιστες λεπτές παρεμβολές πηλιτικών ενστρώσεων συνολικού πάχους 600 - 800 m (Bruun 1956, Mavrides et al. 1997, Μουντράκη 1983, 1984 από Ξανθοπούλου Α. 2006)

Το ανθρακικό κάλυμμα της περιοχής παρουσιάζει μια βαθμιαία μεταβολή προς τα δυτικά από καθαρά νηριτικές έως βαθύτερες πελαγικές ιζηματολογικές φάσεις, γεγονός που δείχνει την παλαιογεωγραφική ανάπτυξη στα δυτικά της Πελαγονικής ενός βαθύτερου χώρου ιζηματογένεσης που ήταν ο χώρος των ζωνών Υποπελαγονικής και Πίνδου.



Σχήμα 2.4. Απλοποιημένη - σχηματική γεωλογική τομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης στην οποία φαίνονται οι ενότητες Βόρα (με αντικλινική δομή) και Βέρνου (με ανεστραμμένη λεπιοειδή διάταξη). 1: μολάσσα της Μεσοελληνικής αύλακας, 2: Άνω Κρητιδικό επικλυσιογενή ιζήματα. 3: Οφειόλιθοι και συνοδά ιζήματα. 4: ιζήματα Υποπελαγονικής ζώνης, 5: ανθρακικό κάλυμμα Δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου, 6: ανθρακικό κάλυμμα Ανατολικού Πελαγονικού περιθωρίου. 7 και 8: μετακλαστικά ιζήματα Περμοτριάδικου, 9: γνευσιωμένος γρανίτης Άνω Λιθανθρακοφόρου, 10 και 11: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Βέρνου, 12-15: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Βόρα (σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, οφθαλμογενεύσιοι), 16: λέπια Αλμωπίας, 17: επωθήσεις Ανώτερου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού, 18: επωθήσεις - επιπτεύσεις Τριτογενούς, 19: επώθηση ζώνης Αλμωπίας. (Κατά Μουντράκη, 1983)

### γ) Οφειόλιθοι της Δυτικής Μακεδονίας και συνοδά ιζήματα

Στην Πελαγονική ζώνη παρατηρούνται μεγάλες οφειολιθικές μάζες μαζί με τα συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Οι μάζες αυτές είναι αλλόχθονες και προέρχονται από τις ωκεάνιες περιοχές των ζωνών Αξιού και Υποπελαγονικής. Οι οφειόλιθοι βρίσκονται επωθημένοι στα ανθρακικά καλύμματα του ανατολικού και του δυτικού περιθωρίου. Στο δυτικό περιθώριο βρίσκεται η μεγάλη οφειολιθική μάζα του Βούρινου και βορειότερα η οφειολιθική μάζα της Καστοριάς με προέλευση επίσης από την Υποπελαγονική, ενώ στο ανατολικό περιθώριο βρίσκονται οι οφειολιθικές μάζες της Άρνισσας - Βεγορίτιδας και του Βερμίου με προέλευση τη ζώνη Αξιού.

Οι οφειολιθικές μάζες αποτελούνται από όλα τα πετρώματα της οφειολιθικής ακολουθίας, δηλαδή από σερπεντινωμένους δουνίτες,



χαρτσβουργίτες και άλλα υπερβασικά, γάβρους, νορίτες και άλλα βασικά πετρώματα pillow lavas, διαβάσες και άλλα βασικά ηφαιστειακά και τόφφους (Moores 1969, Rassios et al 1983 από Ξανθοπούλου Α. 2006). Τα συνοδά ιζήματα των οφειολίθων, τα οποία είναι ιζήματα βαθιάς θάλασσας που αποτέθηκαν στον ωκεάνιο πυθμένα της Νεοτηθύος και τα οποία τοποθετήθηκαν μαζί με τους οφειολίθους κατά την επώθηση τους στο ηπειρωτικό περιθώριο της Πελαγονικής, αποτελούνται από ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, αργιλικούς σχιστόλιθους, ασβεστιτικούς πυριτιόλιθους, πελαγικούς ασβεστόλιθους και κλαστικά ιζήματα με υλικά προερχόμενα από βασικά μαγματικά πετρώματα.

#### **δ) Τα Μέσο - Άνω Κρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα**

Πρόκειται για τα ιζήματα που αποτέθηκαν με επικλυσιογενή ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα ανθρακικά πετρώματα των Τριαδικοϊουρασικών καλυμμάτων, που είχαν πτυχωθεί στην ορογενετική περίοδο, είτε πάνω στους οφειολίθους και τα συνοδά τους πελαγικά ιζήματα στο Μέσο-Άνω Κρητιδικό. Τα ιζήματα αυτά είναι κυρίως ασβεστόλιθοι που έχουν συχνά την βάση τους στο χαρακτηριστικό κροκαλοπαγές επίκλησης ή στο κροκαλοπαγές βάσης. Προς τα επάνω τα Άνωκρητιδικά ιζήματα εξελίσσονται σε φλύσχη ηλικίας Μαιστριχτίο - Παλαιοκαίνου.

Στο σχήμα 2.4 απεικονίζεται μια απλοποιημένη σχηματική τομή της βόρειας Πελαγονικής ζώνης.

### **2.1.2 ΜΕΤΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ**

#### **Μολασσικά ιζήματα της Μέσο-ελληνικής αύλακας**

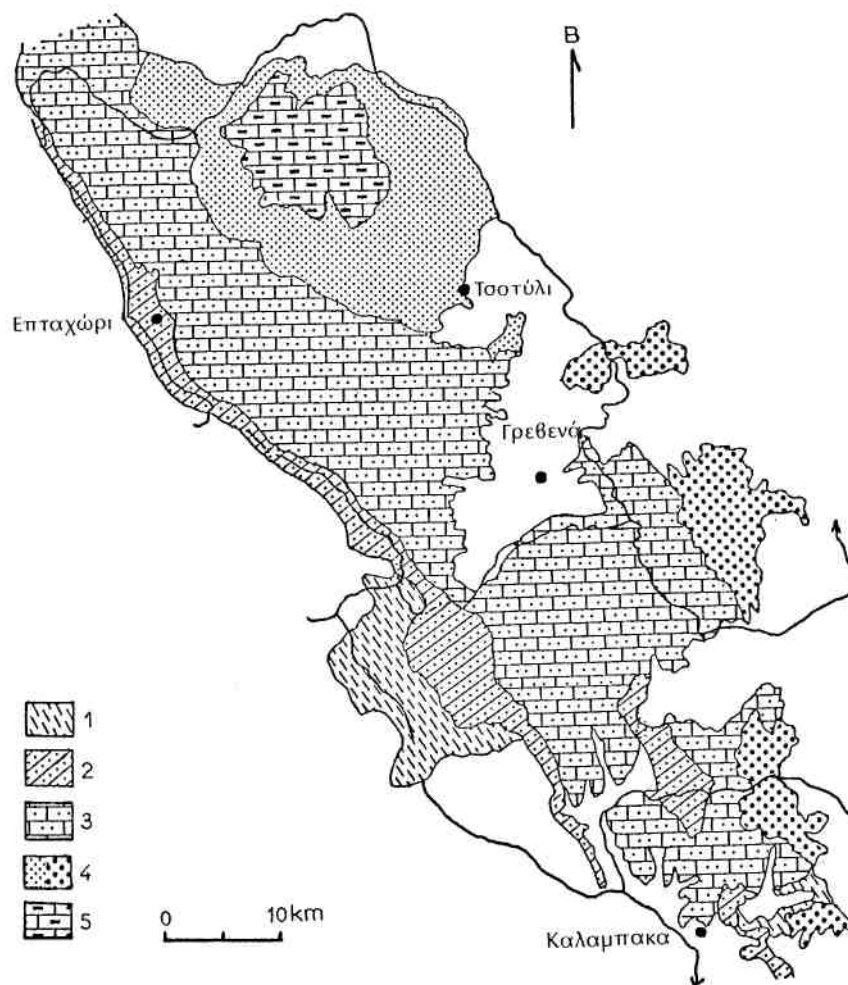
Η Μέσο-Ελληνική αύλακα είναι η σπουδαιότερη μολασσική αύλακα γιατί είναι η νεότερη και διατηρείται στην πλήρη της δομή και στρωματογραφία επειδή βρίσκεται πιο κοντά στο νέο ορογενετικό μέτωπο των Ελληνίδων. Έχει μήκος περίπου 130 Km και πλάτος που ξεπερνά τα 40 Km. Εκτείνεται με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ παράλληλα στο Ελληνικό ορογενετικό τόξο. Ξεκινάει από τα Ελληνοαλβανικά σύνορα συνεχίζει νότια προς τις περιοχές Καστοριάς, Γρεβενών, Καλαμπάκας και βυθίζεται κάτω από τις προσχώσεις της πεδιάδας της Θεσσαλίας.

Η Μέσο-Ελληνική αύλακα αναπτύσσεται στο γεωλογικό χώρο ανάμεσα στην Υποπελαγονική και στην ζώνη Πίνδου και έχει ως αλπικό

υπόβαθρο κυρίως οφειολιθικές μάζες μεγάλου πάχους αλλά και ασβεστόλιθους Μεσοζωικού που καλύπτονται ασύμφωνα από τα μολασικά ιζήματα της Μέσο-Ελληνικής αύλακας.

Η Μέσο-Ελληνική αύλακα λειτούργησε κατά το Ολιγόκαινο - Μειόκαινο με την απόθεση μεταλλικών ιζημάτων με προμήθεια υλικού από τις οροσειρές της Πίνδου και της Πελαγονικής. Οι φάσεις της ιζηματογένεσης ποικίλλουν από θαλάσσιες έως λιμναίες και ποταμοχειμάρρειες ανάλογα με το παλαιοπεριβάλλον απόθεσης.

Το συνολικό πάχος των ιζημάτων που αποτέθηκαν στην Μέσο-Ελληνική αύλακα υπολογίζεται σε 4000-5000 m.



Σχήμα 2.5. Χάρτης εξάπλωσης των μολασικών σχηματισμών της Μεσοελληνικής αύλακας. 1. Ηώκαινο (σειρά Κρανίας), 2. Άνω Ολιγόκαινο (σειρά Επταχωρίου), 3. Ακουιτάνιο (σειρά Πενταλόφου - Μετεώρων), 4. Βουρδιγάλιο (σειρά Τσοτυλίου), 5. Ελβέτιο (σειρά Όντρια) (από Μουντράκη, 1985)

## Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις

Οι Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις στην περιοχή επικάθονται ασύμφωνα πάνω στα υποκείμενα μολασσικά ιζήματα με μια επιφάνεια ασυμφωνίας η οποία έχει πολύ μικρή κλίση στην λεκάνη των Γρεβενών. Σε άλλες θέσεις η απόθεση αυτών των ιζημάτων έγινε απευθείας πάνω στο αλπικό υπόβαθρο.

Οι Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις καλύπτουν πολύ μεγάλο μέρος της περιοχής. Πρόκειται για ηπειρωτικές αποθέσεις ποταμοχειμάρρειας - ποταμολιμναίας φάσης. Μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες ομάδες: τις λιμναίες - ποταμολιμναίες αποθέσεις της λεκάνης της Κοζάνης - Σερβίων και τις ποταμοχειμάρρειες - ποταμολιμναίες αποθέσεις της λεκάνης των Γρεβενών.

Η λιθολογία των Πλειο-Πλειστοκαινικών αποθέσεων είναι εξαιρετικά ποικίλη και ανομοιογενής. Στη συνέχεια περιγράφονται οι αποθέσεις χωριστά για τις δύο λεκάνες Κοζάνης - Σερβίων και Γρεβενών.

### *Αποθέσεις της λεκάνης Κοζάνης - Σερβίων*

Στη λεκάνη Κοζάνης - Σερβίων οι αποθέσεις είναι ηλικίας Μέσου Πλειόκαινου έως Κατώτερου Πλειστοκαίνου. Τα πλειοκαινικά ιζήματα στην περιοχή εμφανίζονται σε τρεις ορίζοντες (Ι.Γ.Μ.Ε 1980). Στον κατώτερο ορίζοντα επικρατούν κροκαλοπαγή με οφειολιθικές κροκάλες, ερυθρές άργιλοι εξελισσόμενες σε άμμους και μάργες. Ο μεσαίος ορίζοντας περιλαμβάνει λεπτόκοκκα ιζήματα, αργίλους και λευκές μάργες με λεπτά λιγνιτικά στρώματα. Στον ανώτερο ορίζοντα παρατηρούνται εναλλαγές λευκών μαργών και μαργαϊκών ασβεστολίθων με περιστασιακή παρουσία στρωμάτων άμμων και κροκαλών. Όλη η στήλη των πλειοκαινικών αποθέσεων ξεπερνά τα 700 m στο κέντρο της λεκάνης. Το κατώτερο Πλειστόκαινο αντιπροσωπεύεται στην περιοχή από το ανώτερο του τμήμα. Η σειρά ξεκινάει με ερυθρές αργίλους με χαλίκια ενώ στα ανώτερα τμήματα βρίσκονται ερυθρές άργιλοι και λατυποπαγή. Οι άργιλοι είναι πιο συμπαγείς στα πιο χαμηλά σημεία του σχηματισμού, ενώ τα λατυποπαγή είναι ασβεστολιθικά με ασβεστολιθική συνδετική ύλη και πολύ συνεκτικά.



### *Αποθέσεις της λεκάνης των Γρεβενών*

Στη λεκάνη των Γρεβενών υπάρχουν τρεις μεγάλες περιοχές που εμφανίζονται τα Πλειο - Πλειστοκαινικά ιζήματα (Savina, 1993 από Ξανθοπούλου Α., 2006). Οι δύο πρώτες περιοχές, οι λεκάνες του Καρπερού και της Δεσκάτης είναι πληρωμένες κυρίως με λεπτόκοκκα λιμναία ιζήματα (Ι.Γ.Μ.Ε 1979,1987 από Ξανθοπούλου Α., 2006). Τα ιζήματα αυτά είναι μάργες, άργιλοι και ψαμμίτες με μικρές λιγνιτικές εμφανίσεις. Οι λεκάνες αυτές παρουσιάζουν όμοια χαρακτηριστικά με άλλες Νεογενείς λεκάνες του Βορειοελλαδικού χώρου και περιλαμβάνουν τις αποθέσεις της βάσης της λιθοστρωματογραφικής στήλης της λεκάνης των Γρεβενών.

Η τρίτη και η σημαντικότερη περιοχή εξάπλωσης των πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων καταλαμβάνει το βόρειο, κεντρικό και ανατολικό τμήμα του νομού Γρεβενών. Τα ιζήματα των περιοχών αυτών είναι χαλαρά κροκαλοπαγή με φακούς και ενστρώσεις λεπτόκοκκων ιζημάτων δηλαδή κυανές υποπράσινες μάργες, άμμοι και χαλαροί ψαμμίτες. Το πάχος τους φτάνει τα 200 m. Τα κροκαλοπαγή περιλαμβάνουν στοιχεία τόσο από τα οφειολιθικά πετρώματα του Βούρινου στα ανατολικά όσο και από αυτά της οροσειράς της Πίνδου στα δυτικά. Πρόκειται κυρίως για ποταμοχειμάρρειες αποθέσεις.

### **Αποθέσεις Ανώτερου Πλειστοκαίνου - Ολοκαίνου**

Επάνω από τις Πλειο - Πλειστοκαινικές αποθέσεις αποτέθηκαν κατά θέσεις νεότερα υλικά ηλικίας Ανώτερου Πλειστοκαίνου - Ολοκαίνου, κυρίως κώνοι κορημάτων διαφόρων γενεών, υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων και σύγχρονες αλλουβιακές προσχώσεις.

### **2.1.3 Γεωλογία της περιοχής μελέτης**

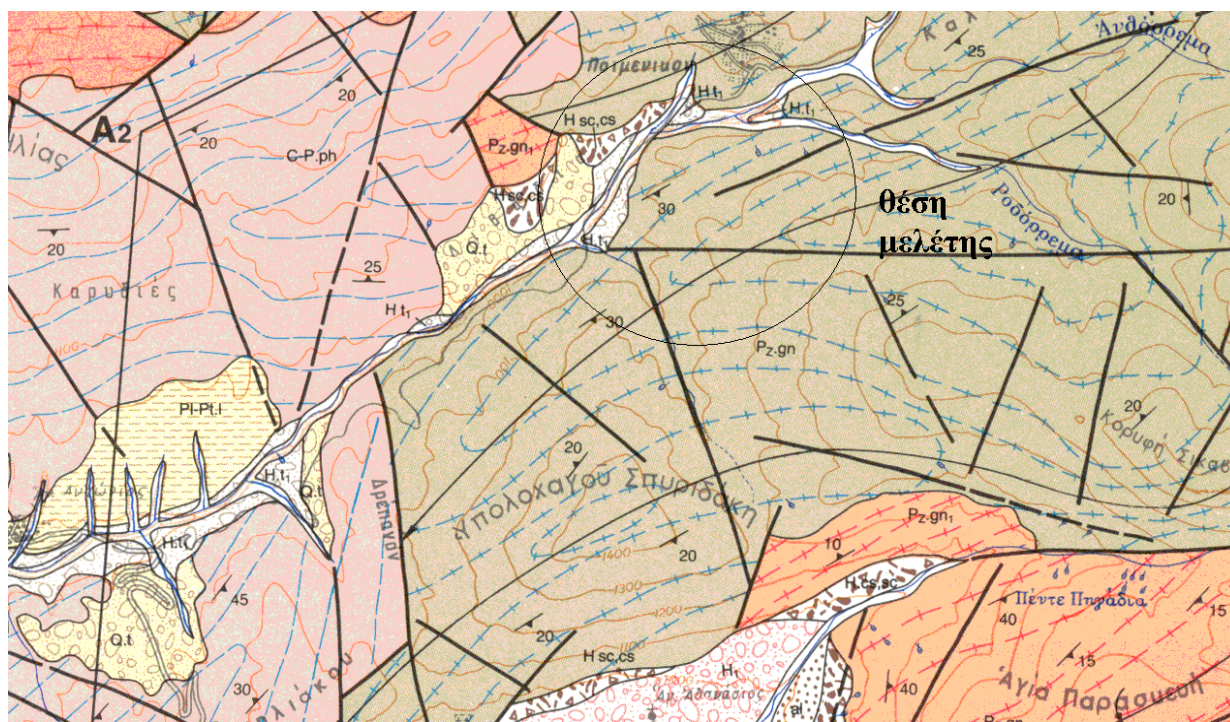
Η περιοχή μελέτης αποτελείται από τον κατώτερο λιθολογικό ορίζοντα του έντονα μεταμορφωμένα προαλπικού υποβάθρου της Πελαγονικής, το οποίο είναι Παλαιοζωικής ηλικίας, και αποτελείται από γνευσίους, αμφιβολίτες, αμφιβολιτικούς - βιοτιτικούς και μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους.

Οι γνεύσιοι συναντώνται με παρεμβολές σχιστολίθων σε μορφή φακών ή στρωμάτων και από αμφιβολίτες σε μικρότερο ποσοστό.

Επίσης στην περιοχή μελέτης έχουμε επιφανειακές εμφανίσεις γρανιτογενευσιακών πετρωμάτων.

Το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής καλύπτεται από Τεταρτογενή ιζήματα (Πλειστοκαινικά-Ολοκαινικά) μικρού πάχους, και αποτελούνται κυρίως από κώνους κορημάτων διαφόρων γενεών, υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων και σύγχρονες αλλουβιακές προσχώσεις που εμφανίζουν μέτρια εξάπλωση στην περιοχή μελέτης και τα συναντάμε κυρίως εκατέρωθεν της κοίτης των ρεμάτων.

Στην συνέχεια παραθέτουμε τμήμα του γεωλογικού χάρτη (σχήμα 2.6) και τον τοπογραφικό χάρτη (σχήμα 2.7) της ευρύτερης περιοχής μελέτης.



Σχήμα 2.6. Απόσπασμα από γεωλογικό χάρτη (ΙΓΜΕ 1:50.000, 1990). Σημειώνεται η περιοχή μελέτης.

Σχήμα 2.7. Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής (Γ.Υ.Σ 1:50.000), σημειώνεται η περιοχή μελέτης.





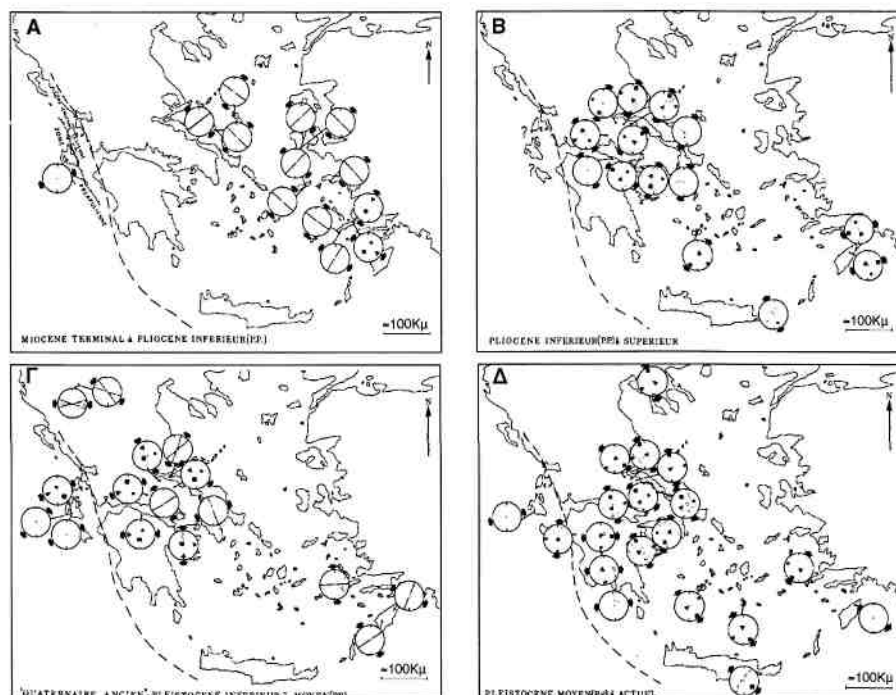


## 2.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας έχει υποστεί πολλές τεκτονικές διεργασίες στην διάρκεια της εξέλιξης του γεωλογικού χρόνου οι οποίες προκάλεσαν διάφορες παραμορφώσεις των πετρωμάτων των σχηματισμών της και του ανάγλυφου της (Mountrakis 1982, 1983, 1984, 1986, Κίλιας και Μουντράκης 1989, Mountrakis et al 1995). Τα τεκτονικά αυτά γεγονότα και οι αντίστοιχες διεργασίες, που εντάσσονται στην γεωτεκτονική εξέλιξη του χώρου της Δυτικής Μακεδονίας, περιγράφονται ως παραμορφωτικές φάσεις.

Η πρώτη μεγάλη τεκτονική φάση συνδέεται με την τεκτονική τοποθέτηση των οφειολίθων. Η επώθηση των οφειολίθων του Αξιού πάνω στα ανθρακικά πετρώματα των περιθωρίων της Πελαγονικής έγινε κατά το Άνω Ιουρασικό και συνδέεται με την καταστροφή των ωκεάνιων περιοχών του Αξιού και της Υποπελαγονικής - Πίνδου. Οι παραμορφωτικές φάσεις των επωθήσεων συνοδεύτηκαν και από την ανάπτυξη αντίστοιχων σχιστοτήτων και πτυχώσεων στα πετρώματα. Επίσης συνδέονται με την ύπαρξη παγιδευμένων τεμαχών συνοδών ωκεάνιων ιζημάτων (σχιστόλιθοι) καθώς και οφειολιθικών μιγμάτων.

Η συμπιεστική φάση που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του Άνω Κρητιδικού - Μέσο - Άνω Ηωκαίνου είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλων πτυχώσεων με αξονικές διευθύνσεις κυρίως ΒΔ-ΝΑ. Η δημιουργία των μεγάλων αυτών πτυχώσεων είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία των μεγάλων δομών (αντικλίνων, συγκλίνων - βυθισμάτων) που εμφανίζονται στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας κατά την κύρια αξονική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Επίσης οι συμπιεστικές τάσεις που αναπτύχθηκαν προκάλεσαν τη δημιουργία συνεχών επωθήσεων, εφιπτεύσεων και έντονων λεπιώσεων των σχηματισμών προς τα δυτικά. Τα λέπια αυτά έχουν πολλές φορές σαν αποτέλεσμα την πλήρη αναστροφή των σχηματισμών, ιδιαίτερα στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής, όπου συχνά οι παλαιότεροι σχηματισμοί εμφανίζονται επωθημένοι πάνω στους νεότερους.



Σχήμα 2.8. Σταδιακή αναπαράσταση της νεοτεκτονικής και παλαιογεωγραφικής εξέλιξης του ελληνικού χώρου από το Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι σήμερα. Δίνονται οι διευθύνσεις των κυρίων αξόνων εφελκυσμού (αποκλίνοντα βέλη) και συμπίεσης (συγκλίνοντα βέλη). Οι κύκλοι παριστάνουν στερεογραφικές προβολές δικτύου Wulf. (Κατά Mercier 1977, από Παυλίδη, 1985)

Ένα εφελκυστικό γεγονός με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΒΔ που έλαβε χώρα κατά το Κάτω Ολιγόκαινο, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της Μέσο-Ελληνικής αύλακας στην οποία αποτέθηκαν οι μολассικές σειρές ιζημάτων. Η Μεσσοελληνική αύλακα με πλάτος τουλάχιστο 40 Km έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, εγκάρσια στην διεύθυνση εφελκυσμού του κάτω Ολιγοκαίνου και αποτελεί την νεότερη και σημαντικότερη μολассική αύλακα της Ελλάδας, όπως έχουμε αναφέρει και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Επίσης κατά την διάρκεια αυτής της φάσης δημιουργήθηκαν μεγάλα κανονικά ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης τα οποία εκτός της δημιουργίας της αύλακας επηρέασαν σε βάθος τις οφειολιθικές μάζες, και προκάλεσαν την τοποθέτησή τους στις θέσεις που είναι σήμερα ορατές.

Στο Μέσο-Ανώτερο Μειόκαινο μια συμπιεστική φάση με διεύθυνση Α-Δ προκάλεσε ανάστροφες δομές και λεπίωση των οφειολίθων με γενική αξονική διεύθυνση των δομών αυτών Β-Ν. Η ίδια φάση προκάλεσε μεγάλα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης στις διευθύνσεις ΔΒΔ-ΑΝΑ και ΔΝΔ-ΑΒΑ. Πολλά από αυτά τα ρήγματα

επαναδραστηριοποιήθηκαν ως κανονικά στις μετέπειτα εφελκυστικές φάσεις της νεοτεκτονικής.

Κατά το Ανώτερο Μειόκαινο η συμπιεστική παραμόρφωση ολοκληρώθηκε με ένα συμπιεστικό τεκτονικό επεισόδιο κατά την διάρκεια του οποίου η διεύθυνση της μέγιστης συνιστώσας σ1 ήταν BBA-NNΔ. Το επεισόδιο αυτό προκάλεσε τη δημιουργία ανάστροφων ρηγμάτων με διεύθυνση Α-Δ στο εσωτερικό των οφειολιθικών μαζών καθώς και την επαναδραστηριοποίηση με ανάστροφη συνιστώσα των μεγάλων ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης που είχαν δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια του Μέσου Ανώτερου Μειόκαινου.

Στο σχήμα 2.8 παραθέτουμε τις τεκτονικές φάσεις που λαμβάνουν χώρα από το ανώτερο Μειόκαινο μέχρι σήμερα. Οι τεκτονικές αυτές κινήσεις αποτελούν φάσεις της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης.



Σχήμα 2.9. Χάρτης με τα μεγάλα ενεργά ρήγματα του Βόρειου Ελληνικού Χώρου, και τις διευθύνσεις των εφελκυστικών τάσεων που υπολογίστηκαν από σεισμολογικά δεδομένα (πράσινα βέλη) και από τεκτονικές μετρήσεις (μαύρα βέλη). (Μουντράκης, 1988)

Η τεκτονική φάση ηλικίας Ανώτερου Μειόκαινου - Πλειόκαινου είναι εφελκυστική με διεύθυνση μέγιστου εφελκυσμού BBA-NNΔ. Από τον εφελκυσμό αυτό δημιουργήθηκαν ή επαναδραστηριοποιήθηκαν κανονικά ρήγματα κατά της διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Η παρουσία μεγάλου αριθμού τεκτονικών βυθισμάτων - λεκανών ίδιας διεύθυνσης που



εντοπίζονται στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας όπως είναι η λεκάνη Φλώρινας Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας - Κοζάνης - Σερβίων και η λεκάνη Γρεβενών δημιουργήθηκαν από τη δράση τέτοιων ρηγμάτων με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

Η τεκτονική φάση που εκδηλώθηκε κατά το τεταρτογενές, είναι και αυτή εφελκυστική με κύρια διεύθυνση εφελκυσμού ΒΒΔ-ΝΝΑ. Συνέπεια αυτής της φάσης ήταν η δημιουργία ή η επαναδραστηριοποίηση μεγάλων κανονικών ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ διεύθυνσης τα οποία έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των λεκανών που αναφέραμε παραπάνω. Η δράση των νεότερων αυτών ρηγμάτων είχε ως αποτέλεσμα να τεμαχιστούν σχεδόν εγκάρσια οι μεγάλες λεκάνες που υπήρχαν στην περιοχή και να δημιουργηθούν οι λεκάνες που αναφέραμε πιο πάνω.

Η εφελκυστική φάση που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του τεταρτογενούς και τα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης διαδραμάτισαν το σημαντικότερο ρόλο στην νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής, η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα.

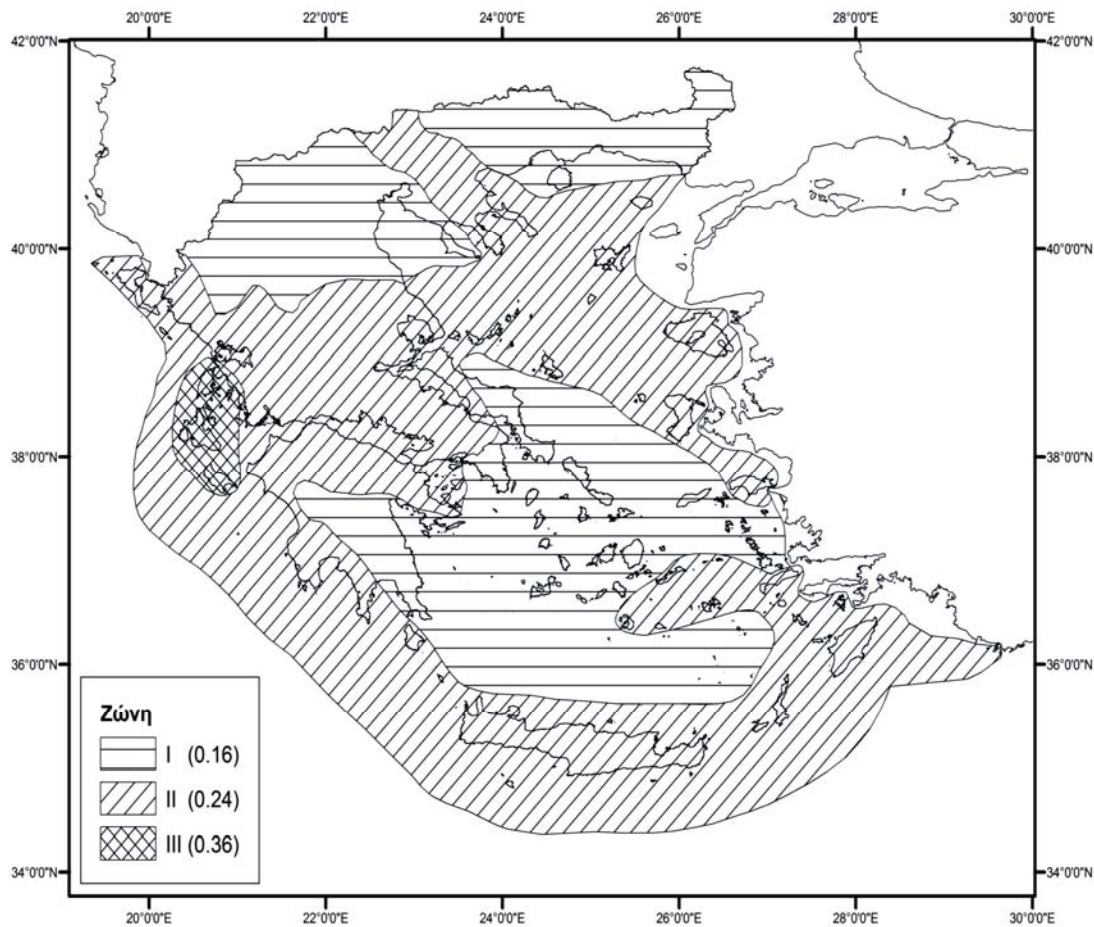
Στο σχήμα 2.9 φαίνονται τα μεγάλα ενεργά ρήγματα που υπάρχουν σήμερα στον Βόρειο Ελλαδικό χώρο.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

### 3.1 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Η ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, στην οποία ανήκει και η περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τον Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό εντάσσεται στην ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I με οριζόντια επιτάχυνση εδάφους  $A=0,16g$ .



Σχήμα 3.1. Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας στον Ελλαδικό χώρο σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. 2000 (αναθεώρηση 2004)

Πριν από τον μεγάλο και καταστροφικό σεισμό της 13<sup>ης</sup> Μαΐου 1995 στην περιοχή της Κοζάνης, η Δυτική Μακεδονία εθεωρείτο «ασεισμική». Εξαιτίας της ασεισμικότητας που παρουσίαζε ήταν μια από τις περιοχές που είχαν προταθεί και μελετηθεί για την εγκατάσταση σταθμών πυρηνικής ενέργειας, αφού βρισκόταν στην κατηγορία I, τη χαμηλότερη από άποψη σεισμικού κινδύνου, σύμφωνα με τον Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό. Για τον λόγο αυτό η σεισμική δραστηριότητα του 1995 αποτέλεσε μια μεγάλη έκπληξη για την επιστημονική

κοινότητα. Πράγματι, είναι μια περιοχή στην οποία ο μεγαλύτερος σεισμός που γνωρίζουμε ότι συνέβη κατά την ιστορική περίοδο ήταν πριν από 1000 περίπου χρόνια (στην περιοχή της Βέροιας το 900 με μέγεθος που υπολογίζεται περίπου στο  $M_s=6.3$ , σύμφωνα με τους Παπαζάχος και Παπαζάχου, 1989 από Ξανθοπούλου Α. 2006). Κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα οι καταγραφές από ενόργανες μετρήσεις κυρίως των τελευταίων δεκαετιών έδειξαν περιορισμένα σεισμικά γεγονότα μικρών κυρίως μεγεθών, με εξαίρεση τρεις ισχυρούς σεισμούς (Makropoulos et al., 1989 από Ξανθοπούλου Α., 2006), που συνέβησαν με επίκεντρα πολύ κοντά σε αυτό του καταστροφικού σεισμού της 13<sup>ης</sup> Μαΐου 1995.

### 3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ

Στη συνέχεια δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των ιστορικών σεισμών που αναφέρονται για την ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας. (Ambraseys 1999, Παπαζάχος & Παπαζάχου 2002):

Για αυτή την περιοχή δεν υπάρχουν ιστορικές αναφορές για σεισμούς πριν από το 800 μ.Χ.

Στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με ιστορικά στοιχεία έχουμε αναφορές για 3 μεγάλους σεισμούς. Στον χάρτη του σχήματος 3.3 απεικονίζονται τα επίκεντρα των τριών μεγάλων σεισμών καθώς και η απόστασή τους από τη θέση θεμελίωσης του φράγματος.

#### **1709, 40.6° N, 21.3° E, $M=6.0$ , (Καστοριά)**

Καταστροφικός σεισμός στην Καστοριά. Υπάρχουν αναφορές ότι ο σεισμός κατέστρεψε μέρος του μουσουλμανικού τεμένους των σουλτάνων Mehmet και Suleyman.

#### **1812, 29 Μαΐου, 40.5° N, 21.3° E, $M=6.5$ , (Καστοριά)**

Χειρόγραφο σε εκκλησία της Καστοριάς αναφέρει ισχυρό σεισμό που προκάλεσε μεγάλες καταστροφές σε σπίτια και σε μουσουλμανικά τεμένη. Οι κάτοικοι εγκατέλειψαν τα σπίτια τους και αναγκάστηκαν να καταφύγουν στα βουνά. Οι μετασεισμοί κράτησαν 3 μήνες.

#### **1894, 23 Αυγούστου, 40.3° N, 21.4° E, $M=6.1$ , (Σιάτιστα)**

Πρόκειται για ισχυρό σεισμό που αναφέρεται ότι προκάλεσε καταστροφές στην περιοχή ανάμεσα στην Σιάτιστα και στην Καστοριά. Η δόνηση έγινε αισθητή μέχρι το Μοναστήρι (Bitola).



Οι αναφορές για σεισμούς στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας είναι:

**<904 μ.Χ. (Βέροια)**

Η πρώτη αναφορά σε καταστροφικό σεισμό κοντά στην Βέροια δίνεται από τον Καμενιάτη (1863), χρονικογράφος εκείνης της εποχής στην περιγραφή του που αφορούσε την λεηλασία που υπέστη η Θεσσαλονίκη από τους Άραβες στα τέλη του Αυγούστου του 904 αναφέρει ότι: «...ειπώθηκε ότι η γειτονική πόλη της Βέροιας καθώς και η ευρύτερη περιοχή σείστηκε από σεισμό ...» ως αποτέλεσμα αυτού η πόλη έγινε ευάλωτη στους Βούλγαρους επιδρομείς όπου αιχμαλώτισαν πολλούς από τους επιζήσαντες και τους μετέφεραν στην Κρήτη.

**Αρχές του 1200 μ.Χ. (Βέροια).**

Μια ακόμα αναφορά για σεισμό προέρχεται από έναν συγγραφέα από την Οχρίδα ο οποίος αναφέρει την καταστροφή του Ιερού Ναού της Παναγίας Ελεούσα από σεισμό. Η πληροφορία αυτή αναφέρεται στην πρώτη δεκαετία του 1200 μ.Χ. Η εκκλησία αυτή ξαναχτίστηκε και αργότερα μετατράπηκε σε μοναστήρι.

**1395, Οκτώβριος (Βοδενά)**

Όπως προκύπτει από διάφορες πηγές από το σεισμό βυθίστηκε ένα μέρος της πόλης των Βοδενών και κατέρρευσε ένα μέρος των τειχών της Θεσσαλονίκης. Ο σεισμός επιβεβαιώνεται και από έναν αυτόπτη μάρτυρα στο όρος Άθως, μέσω της γραπτής του μαρτυρίας.

**1514-1515 (Δυτική Πίνδος)**

Κατά το 1514-1515 αναφέρεται ένας τρομακτικός σεισμός στη Δυτική Πίνδο όπου καταστρέφει ολοκληρωτικά την γέφυρα του Κόρακα στον Αχελώο ακριβώς μετά την κατασκευή της.

**1582, 22 Φεβρουαρίου (Μετεώρα)**

Ένα χειρόγραφο της μονής Βαρλαάμ αναφέρει ένα σεισμό που έγινε αισθητός την έβδομη ώρα προς τα ξημερώματα της 22 Φεβρουαρίου.

**1621, 6 Μαρτίου (Μετεώρα)**

Ο Παπαϊωάννου (1988b), βασιζόμενος σε εγγραφή στο βιβλίο της μονής Βαρλαάμ των Μετεώρων, αναφέρει ότι στις 24 Φεβρουαρίου ισχυρός σεισμός δόνησε την περιοχή. Οι δονήσεις κράτησαν μερικές μέρες και σειόταν ο τόπος τη μέρα και την νύχτα.

**1661, 31 Μαρτίου (Μετεώρα)**

Σε χειρόγραφο της μονής Βαρλαάμ των Μετεώρων αναφέρεται ότι έγινε σεισμός μεγάλος και παντού.

**1674, 25 Ιανουαρίου (Μετεώρα)**

Σε χειρόγραφο της μονής του Αγ. Στεφάνου των Μετεώρων, αναφέρεται ότι στις 15 Ιανουαρίου (παλ. ημερομηνία) και ώρα 10 το πρωί, έγινε σεισμός μεγάλος και αρκετές δονήσεις ακολούθησαν. Μετά από 30 ημέρες περίπου στις 14 Φεβρουαρίου (παλ. ημερομηνία), έγινε ξανά δύο φορές τρομακτικός σεισμός.

**1674, 24 Φεβρουαρίου (Μετεώρα)**

Σεισμός τρομακτικός αναφέρεται από τα Μετέωρα στις 13 Φεβρουαρίου (παλ. ημερομηνία) στις 8 το βράδυ.

**1695, 10 Σεπτεμβρίου (Κοζάνη)**

Πρόκειται για τον μεγαλύτερο σεισμό που έχει γίνει στην ευρύτερη περιοχή της Κοζάνης με μέγεθος  $M_s = 6.5$ . Η αναφορά που υπάρχει σχετικά με τον σεισμό αυτό είναι σε μια ρητορική επιγραφή στη εκκλησία του Αγ. Νικολάου που μαρτυρά μεγάλης κλίμακας οικοδομικές εργασίες το 1721. Σώζεται μάλιστα σουλτανικό φερμάνι του ίδιου έτους που παρέχει την άδεια της επισκευής τους ναού.

**1766, 9 Νοεμβρίου (Ελασσόνα)**

Σε ενθύμηση μοναχού του μοναστηριού Ολυμπιώτισσα (κοντά στην Ελασσόνα) αναφέρεται ότι στις 29 Οκτωβρίου (παλ. Ημερομηνία) του 1766 περί την πέμπτη νυκτερινή ώρα έγινε μεγάλος σεισμός, ώστε πολλά σπίτια έπαθαν σημαντικές βλάβες και οι καπνοδόχοι έπεσαν από την ρίζα τους.

**1784, 25 Αυγούστου (Ελασσόνα)**

Ισχυρός σεισμός στην περιοχή της Ελασσόνας. Χειρόγραφο μαρτυρία στο μοναστήρι της Ολυμπιώτισσας.

**1889, 10 Φεβρουαρίου (Κολινδρός)**

Ισχυρός σεισμός στην περιοχή του Κολινδρού. Μεγάλες καταστροφές στα σπίτια.

**1900, 1 Μαρτίου (Φλώρινα)**

Ισχυρός σεισμός που προκάλεσε μεγάλες καταστροφές στην Φλώρινα και σε πολλά χωριά της γύρω περιοχής.

**1901, Δεκέμβριος (Ελασσόνα).**

Πρόκειται για ισχυρό σεισμό που αναφέρεται ότι έγινε και προκάλεσε καταστροφές στην περιοχή της Ελασσόνας. Οι μετασεισμοί έγιναν αισθητοί μέχρι την Καστοριά.

### 3.3 Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ 13<sup>ης</sup> ΜΑΙΟΥ 1995

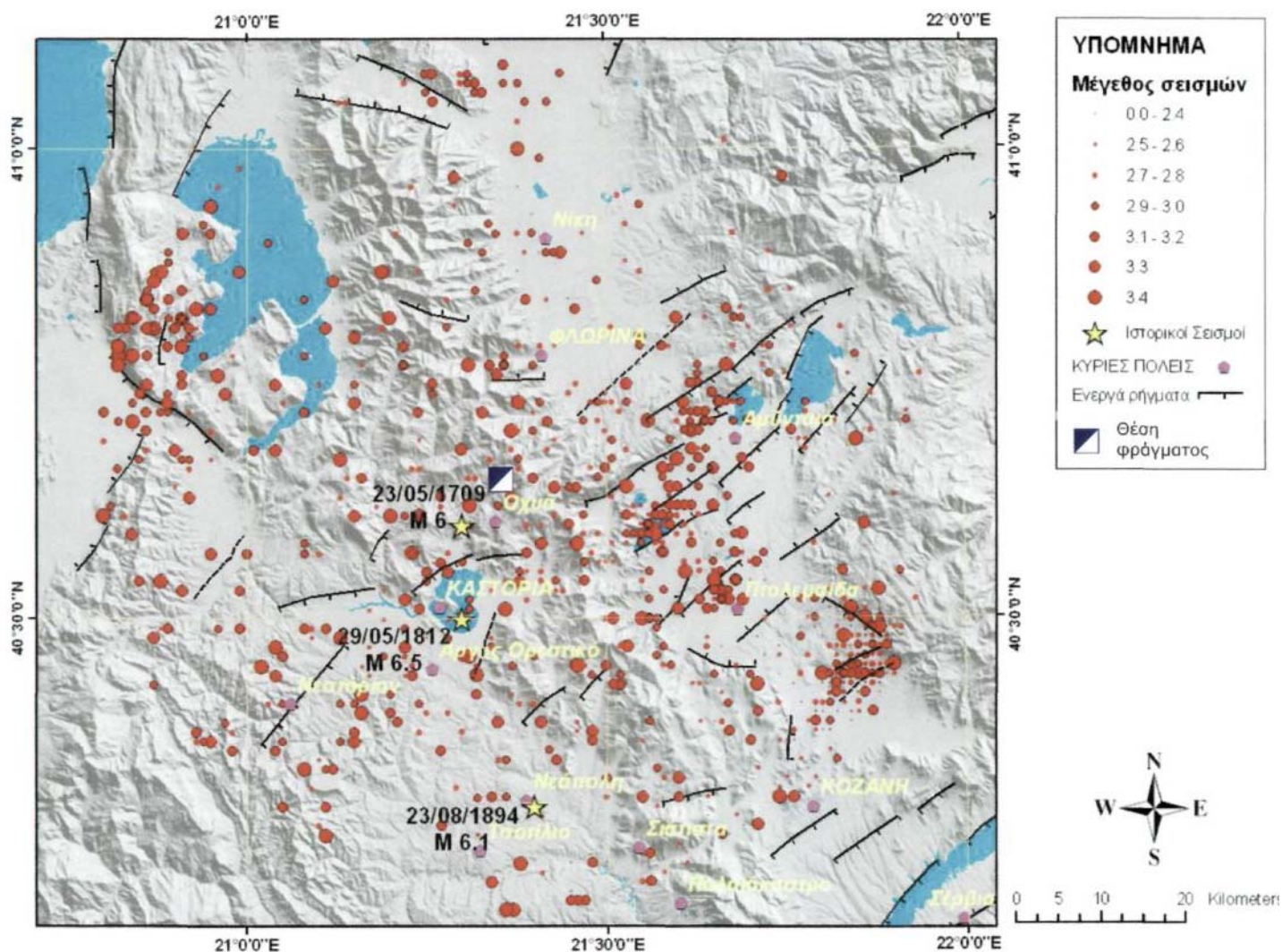
Το Σάββατο 13 Μαΐου 1995 στις 11:47 τοπική ώρα (08:47 GMT) συνέβη ένας ιδιαίτερα ισχυρός και καταστροφικός σεισμός στην Δυτική Μακεδονία, ο οποίος συνοδεύτηκε από μια ακολουθία αρκετών μετασεισμών. Το επίκεντρο της κύριας δόνησης με μέγεθος  $M=6.6$  εντοπίστηκε στην περιοχή Κοζάνης - Γρεβενών (Βούρινος) ( $40.13^0$ - $21.67^0$ ) και προήλθε από ένα βάθος περίπου 13 Km. Η μέγιστη ένταση υπολογίζεται σε  $I_0=IX$  (MSK). Πρόκειται για τον μεγαλύτερο σεισμό που έχει καταγραφεί στην περιοχή καθώς έγινε αισθητός στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα, όπως επίσης και στην ευρύτερη περιοχή του νότιου τμήματος της Βαλκανικής χερσονήσου. Δεν υπήρξαν ανθρώπινες απώλειες όμως η έκταση των ζημιών και των συνεπειών στην ευρύτερη περιοχή ήταν δραματική, αφού πολλά χωριά που βρισκόταν στην επικεντρική περιοχή καταστράφηκαν σχεδόν ολοσχερώς, ενώ ζημιές σημειώθηκαν και σε τμήματα των πόλεων Κοζάνης και Γρεβενών. Πριν από τον κύριο σεισμό, και για λίγα λεπτά, προηγήθηκαν αρκετές προσεισμικές δονήσεις  $M=3.8 - 4.5$ .

### 3.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Με τον όρο Σεισμικότητα μίας περιοχής εννοούμε μία ποσότητα που είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερα είναι τα μεγέθη των σεισμών και όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα εμφάνισής τους στη περιοχή.

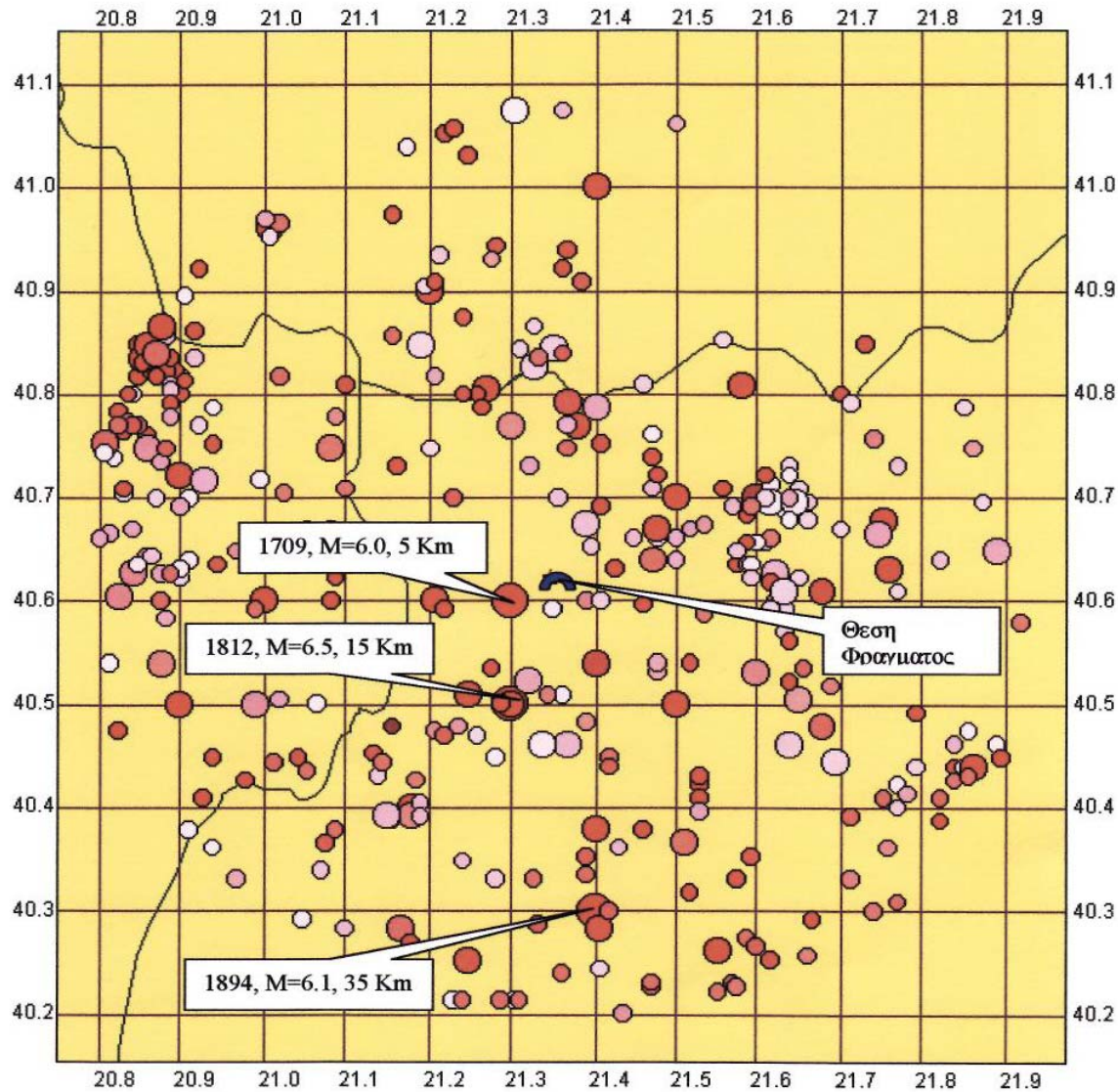
Στον χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 3.2) χαρτογραφήσαμε τους μικροσεισμούς που έγιναν στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, με μεγέθη που κυμαίνονται από  $0.0 < M < 3.4$ , όλα τα γνωστά ενεργά ρήγματα της περιοχής, την θέση του φράγματος καθώς και τα επίκεντρα των τριών ιστορικών σεισμών με μεγέθη  $M \geq 6.0$  που έγιναν κοντά στη θέση θεμελίωσης του φράγματος.





Σχήμα 3.2. Ο χάρτης δείχνει τα ενεργά ρήγματα και τους μικροσεισμούς που έγιναν στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας.

Στην συνέχεια στον χάρτη της επόμενης σελίδας (Σχήμα 3.3) χαρτογραφήσαμε τους σεισμούς που έγιναν στην περιοχή μελέτης και σε ακτίνα 50 Km από την θέση του φράγματος από το 800 μ.Χ. μέχρι το 2003. Σημειώνονται α.) η θέση του φράγματος και β.) οι 3 μεγάλοι ιστορικοί σεισμοί  $M \geq 6.0$  που έγιναν κοντά στη θέση του φράγματος.



Σχήμα 3.3. Οι σεισμοί που έπληξαν την ευρύτερη περιοχή μελέτης από το 800 μ.Χ. μέχρι το 2003. Δεν συμπεριλαμβάνονται ο κύριος σεισμός, οι προσεισμοί και οι μετασεισμοί από τον σεισμό της 13<sup>ης</sup> Μαΐου 1995.

Για να εκφράσουν την σεισμικότητα οι Gutenberg και Richter διατύπωσαν το 1944 τον ομώνυμο νόμο σύμφωνα με τον οποίο ο αριθμός των σεισμών από ορισμένο μέγεθος και πάνω που συμβαίνουν σε μία περιοχή κατά την διάρκεια ορισμένου χρονικού διαστήματος συνδέονται με γραμμική σχέση με το μέγεθος των σεισμών. Η σχέση αυτή είναι η:

$$\text{Log}N = a_t - bM \quad (1)$$

όπου  $a_t$  και  $b$  παράμετροι. Η παράμετρος  $b$  έχει μεγάλη σημασία για την σεισμολογία και εξαρτάται από το πεδίο των τάσεων της περιοχής και τις

μηχανικές ιδιότητες του υλικού στον εστιακό χώρο. Μεταξύ των άλλων βρέθηκε ότι η τιμή της παραμέτρου αυτής είναι μεγαλύτερη στους μετασεισμούς. Η παράμετρος  $a_i$  εξαρτάται από την σεισμικότητα της περιοχής, το εμβαδόν που καλύπτουν τα επίκεντρα και από το χρονικό διάστημα  $t$  στο οποίο έγιναν οι σεισμοί. Στην συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακα 3.1.

| F     | L     | Ev | Md | dpap1.dat |      | Mmax | a    | b    | M1   |
|-------|-------|----|----|-----------|------|------|------|------|------|
|       |       |    |    | dat1      | dat2 |      |      |      |      |
| 40.20 | 21.00 | 11 | 8  | 1988      | 2005 | 4.4  | 3.11 | 0.96 | 3.24 |
| 40.20 | 21.10 | 13 | 8  | 1961      | 2005 | 4.4  | 3.11 | 1.04 | 2.99 |
| 40.20 | 21.20 | 15 | 9  | 1894      | 2005 | 6.1  | 2.01 | 0.85 | 2.36 |
| 40.20 | 21.30 | 18 | 10 | 1894      | 2005 | 6.1  | 2.25 | 0.97 | 2.47 |
| 40.20 | 21.40 | 20 | 11 | 1894      | 2004 | 6.1  | 1.80 | 0.76 | 2.34 |
| 40.20 | 20.50 | 14 | 11 | 1975      | 2004 | 4.6  | 3.03 | 0.99 | 3.06 |
| 40.20 | 21.60 | 11 | 10 | 1981      | 2001 | 3.9  | 5.62 | 1.45 | 3.87 |
| 40.20 | 21.70 | 12 | 8  | 1981      | 2001 | 4.2  | 4.64 | 1.43 | 3.24 |
| 40.30 | 20.90 | 14 | 11 | 1964      | 2005 | 4.7  | 2.63 | 0.89 | 2.96 |
| 40.30 | 21.00 | 18 | 11 | 1977      | 2005 | 4.4  | 3.72 | 1.10 | 3.38 |
| 40.30 | 21.10 | 18 | 9  | 1977      | 2005 | 4.4  | 3.59 | 1.08 | 3.32 |
| 40.30 | 21.20 | 13 | 6  | 1975      | 2005 | 4.6  | 2.07 | 0.73 | 2.84 |
| 40.30 | 21.30 | 13 | 10 | 1894      | 1999 | 6.1  | 2.55 | 1.01 | 2.52 |
| 40.30 | 21.40 | 15 | 15 | 1894      | 2004 | 6.1  | 1.84 | 0.80 | 2.30 |
| 40.30 | 21.50 | 11 | 13 | 1970      | 2004 | 4.8  | 2.21 | 0.77 | 2.87 |
| 40.30 | 21.60 | 16 | 8  | 1976      | 2001 | 4.8  | 2.93 | 0.93 | 3.15 |
| 40.30 | 21.70 | 22 | 8  | 1981      | 2005 | 4.3  | 4.27 | 1.30 | 3.28 |
| 40.30 | 21.80 | 11 | 10 | 1986      | 2005 | 4.3  | 4.12 | 1.27 | 3.24 |
| 40.40 | 20.80 | 13 | 11 | 1964      | 2003 | 4.7  | 1.75 | 0.65 | 2.69 |
| 40.40 | 20.90 | 13 | 12 | 1964      | 2005 | 4.9  | 2.17 | 0.75 | 2.89 |
| 40.40 | 21.00 | 14 | 14 | 1968      | 2005 | 4.9  | 2.78 | 0.90 | 3.09 |



| F     | L     | Ev | Md | dat1 | dat2 | Mmax | a    | b    | M1   |
|-------|-------|----|----|------|------|------|------|------|------|
| 40.40 | 21.10 | 18 | 16 | 1709 | 2005 | 6.0  | 2.00 | 0.91 | 2.19 |
| 40.40 | 21.20 | 19 | 6  | 1709 | 2003 | 6.5  | 1.18 | 0.62 | 1.90 |
| 40.40 | 21.30 | 19 | 8  | 1709 | 1999 | 6.5  | 2.54 | 0.94 | 2.70 |
| 40.40 | 21.40 | 14 | 15 | 1964 | 2002 | 4.7  | 2.47 | 0.86 | 2.87 |
| 40.40 | 21.50 | 19 | 11 | 1966 | 2005 | 4.8  | 2.41 | 0.77 | 3.13 |
| 40.40 | 21.60 | 16 | 8  | 1976 | 2005 | 4.8  | 2.19 | 0.71 | 3.08 |
| 40.40 | 21.70 | 16 | 8  | 1983 | 2005 | 4.3  | 4.31 | 1.30 | 3.32 |
| 40.40 | 21.80 | 11 | 8  | 1986 | 2005 | 4.3  | 4.10 | 1.27 | 3.23 |
| 40.50 | 20.80 | 24 | 7  | 1964 | 2002 | 4.7  | 2.65 | 0.82 | 3.23 |
| 40.50 | 20.90 | 17 | 8  | 1964 | 2003 | 4.9  | 2.56 | 0.84 | 3.05 |
| 40.50 | 21.00 | 9  | 5  | 1968 | 2003 | 4.9  | 1.79 | 0.68 | 2.63 |
| 40.50 | 21.10 | 8  | 15 | 1968 | 1994 | 4.5  | 2.71 | 0.94 | 2.88 |
| 40.50 | 21.20 | 15 | 6  | 1709 | 1997 | 6.5  | 1.32 | 0.71 | 1.86 |
| 40.50 | 21.30 | 23 | 7  | 1709 | 2004 | 6.5  | 1.08 | 0.61 | 1.77 |
| 40.50 | 21.40 | 29 | 8  | 1964 | 1999 | 4.7  | 3.20 | 0.96 | 3.33 |
| 40.50 | 21.50 | 47 | 7  | 1966 | 2004 | 4.8  | 4.26 | 1.16 | 3.67 |
| 40.50 | 21.60 | 39 | 6  | 1966 | 2005 | 4.8  | 4.12 | 1.13 | 3.65 |
| 40.50 | 21.70 | 8  | 3  | 1981 | 1997 | 5.2  | 1.47 | 0.54 | 2.72 |
| 40.50 | 21.80 | 6  | 5  | 1981 | 1998 | 5.2  | 1.03 | 0.49 | 2.10 |
| 40.60 | 20.80 | 40 | 5  | 1972 | 2004 | 5.2  | 3.45 | 0.97 | 3.59 |
| 40.60 | 20.90 | 22 | 6  | 1972 | 2004 | 4.7  | 3.90 | 1.15 | 3.39 |
| 40.60 | 21.00 | 15 | 7  | 1968 | 2004 | 4.9  | 2.49 | 0.83 | 2.94 |
| 40.60 | 21.10 | 10 | 11 | 1968 | 2002 | 4.3  | 3.99 | 0.27 | 3.20 |
| 40.60 | 21.20 | 17 | 8  | 1709 | 2004 | 6.0  | 1.04 | 0.65 | 1.60 |
| 40.60 | 21.30 | 26 | 7  | 1709 | 2005 | 6.0  | 1.87 | 0.82 | 2.28 |
| 40.60 | 21.40 | 30 | 8  | 1967 | 2005 | 4.7  | 4.19 | 1.22 | 3.43 |
| 40.60 | 21.50 | 41 | 6  | 1966 | 1997 | 4.7  | 4.39 | 1.21 | 3.63 |

| F     | L     | Ev | Md | dat1 | dat2 | Mmax | a    | b    | M1   |
|-------|-------|----|----|------|------|------|------|------|------|
| 40.60 | 21.60 | 33 | 5  | 1966 | 2003 | 4.7  | 4.15 | 1.16 | 3.58 |
| 40.60 | 21.70 | 13 | 4  | 1981 | 2003 | 5.2  | 1.95 | 0.65 | 3.00 |
| 40.60 | 21.80 | 9  | 5  | 1981 | 2003 | 5.2  | 3.16 | 1.02 | 3.10 |
| 40.70 | 20.80 | 53 | 4  | 1972 | 2004 | 5.2  | 3.53 | 0.98 | 3.60 |
| 40.70 | 20.90 | 23 | 4  | 1972 | 2004 | 4.7  | 3.64 | 1.10 | 3.31 |
| 40.70 | 21.00 | 12 | 10 | 1958 | 2004 | 5.4  | 1.54 | 0.61 | 2.52 |
| 40.70 | 21.10 | 14 | 13 | 1974 | 2005 | 4.5  | 3.30 | 1.04 | 3.17 |
| 40.70 | 21.20 | 22 | 8  | 1958 | 2005 | 5.4  | 2.16 | 0.76 | 2.84 |
| 40.70 | 21.30 | 20 | 8  | 1972 | 2005 | 4.6  | 2.76 | 0.84 | 3.28 |
| 40.70 | 21.40 | 11 | 12 | 1967 | 2005 | 4.6  | 2.49 | 0.86 | 2.90 |
| 40.70 | 21.50 | 4  | 11 | 1966 | 1989 | 4.6  | 2.31 | 0.80 | 2.88 |
| 40.70 | 21.60 | 12 | 9  | 1966 | 2003 | 4.5  | 3.35 | 1.11 | 3.02 |
| 40.70 | 21.70 | 8  | 6  | 1967 | 2003 | 3.9  | 3.48 | 1.23 | 2.83 |
| 40.70 | 21.80 | 4  | 4  | 1981 | 1993 | 5.2  | 4.12 | 1.32 | 3.12 |
| 40.80 | 20.80 | 24 | 3  | 1983 | 2001 | 4.9  | 3.17 | 0.92 | 3.44 |
| 40.80 | 20.90 | 14 | 4  | 1983 | 2003 | 4.7  | 3.10 | 0.96 | 3.23 |
| 40.80 | 21.00 | 10 | 10 | 1974 | 2003 | 4.7  | 2.78 | 0.90 | 3.09 |
| 40.80 | 21.10 | 15 | 11 | 1958 | 2005 | 5.4  | 1.75 | 0.65 | 2.70 |
| 40.80 | 21.20 | 20 | 7  | 1958 | 2005 | 5.4  | 2.18 | 0.74 | 2.95 |
| 40.80 | 21.30 | 11 | 5  | 1920 | 1996 | 5.3  | 1.84 | 0.77 | 2.39 |
| 40.90 | 21.00 | 7  | 4  | 1981 | 2002 | 4.7  | 2.30 | 0.80 | 2.70 |
| 40.90 | 21.10 | 11 | 5  | 1974 | 2004 | 5.3  | 2.15 | 0.74 | 2.90 |
| 40.90 | 21.20 | 15 | 6  | 1920 | 2004 | 5.4  | 1.55 | 0.66 | 2.58 |
| 40.90 | 21.30 | 8  | 8  | 1920 | 2004 | 5.3  | 2.57 | 1.03 | 2.50 |
| 40.90 | 21.40 | 4  | 4  | 1920 | 2003 | 5.3  | 2.11 | 0.99 | 2.13 |

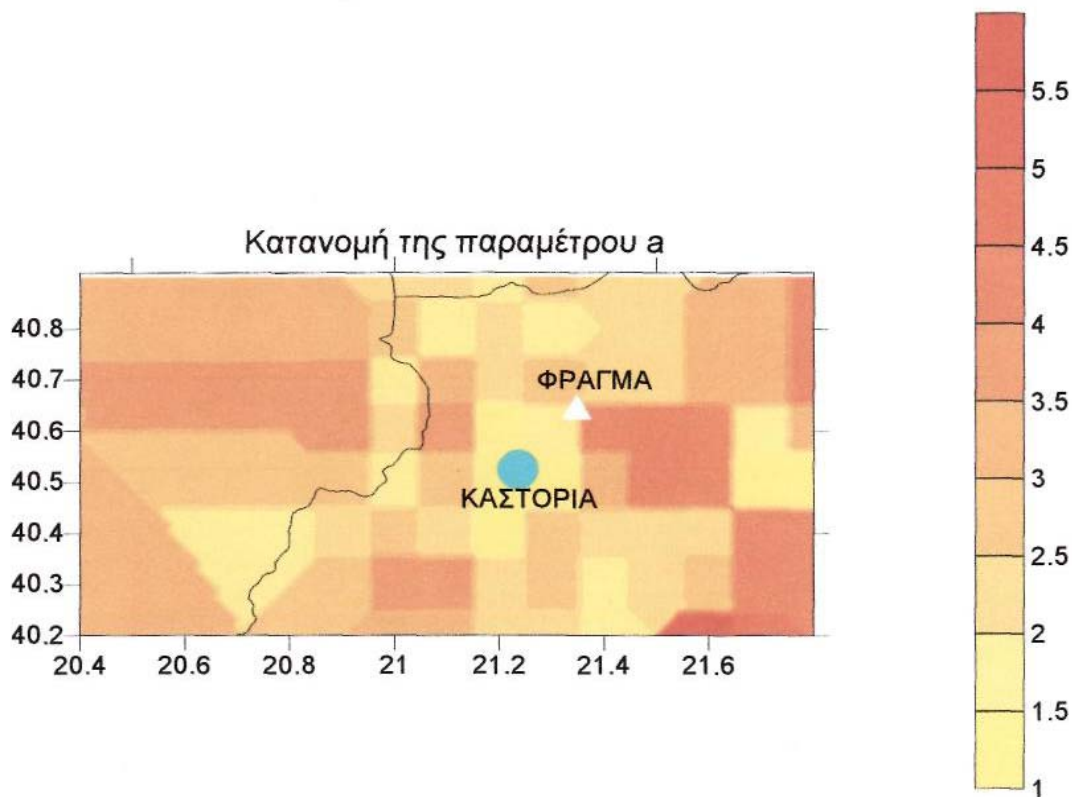
Πίνακας 3.1. Στον πίνακα καταγράφηκαν τα πλήθη των σεισμικών γεγονότων που έχουν εκδηλωθεί στην περιοχή μελέτης, οι παράμετροι  $a$  και  $b$  καθώς και οι τιμές του πιθανότερου μέγιστου ετήσιου μεγέθους  $M1$  που μπορεί να μας δώσει κάθε σεισμική εστία. Τα στοιχεία που περιέχει κάθε στήλη αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω.

Η κάθε στήλη του πίνακα 3.1 περιέχει τα εξής στοιχεία :

|            |                                                                                                                                                                     |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F          | γεωγραφικό πλάτος της σεισμικής εστίας                                                                                                                              |
| L          | γεωγραφικό μήκος της σεισμικής εστίας                                                                                                                               |
| Ev         | πλήθος σεισμικών γεγονότων που έχουν καταγραφεί σε μια σεισμική εστία                                                                                               |
| Md         | Το εστιακό βάθος των σεισμικών γεγονότων                                                                                                                            |
| dat1       | Χρονολογία καταγραφής πρώτου γεγονότος                                                                                                                              |
| dat2       | χρονολογία καταγραφής τελευταίου γεγονότος                                                                                                                          |
| $M_{\max}$ | μέγιστο μέγεθος που παρατηρείται σε κάθε σεισμική εστία                                                                                                             |
| $a$        | παράμετρος που εξαρτάται από την σεισμικότητα της περιοχής, το εμβαδόν που καλύπτουν τα επίκεντρα και από το χρονικό διάστημα $t$ στο οποίο έγιναν οι σεισμοί.      |
| $b$        | παράμετρος που έχει μεγάλη σημασία για την σεισμολογία και εξαρτάται από το πεδίο των τάσεων της περιοχής και τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού στον εστιακό χώρο. |
| $M1$       | οι τιμές του πιθανότερου μέγιστου ετήσιου μεγέθους                                                                                                                  |



Στα σχήματα (3.4) και (3.5) απεικονίζεται η κατανομή των παραμέτρων  $a_i$  και  $b$ , αντίστοιχα, στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.



Σχήμα 3.4. Κατανομή της παραμέτρου  $a_i$  στην ευρύτερη περιοχή της θέσης μελέτης.

Από το παραπάνω σχήμα (3.4) συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μια έντονη μεταβολή των τιμών της παραμέτρου  $a_i$  στην περιοχή. Υπάρχουν αρκετές περιοχές όπου οι τιμές της παραμέτρου κυμαίνονται από  $1.0 < a_i < 2.0$ . Οι μέγιστες τιμές του  $a_i$  παρατηρούνται στις ανατολικές και νοτιοανατολικές περιοχές του χάρτη. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο μεγάλα τμήματα τα οποία εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές. Το ένα βρίσκεται ανατολικά του φράγματος και σε πολύ κοντινή απόσταση από αυτό και το άλλο βρίσκεται στα νοτιοανατολικά του χάρτη σε μεγαλύτερη απόσταση.

Επίσης παρατηρούμε ότι οι μεταβολές των τιμών δεν είναι ομαλές, δηλαδή βλέπουμε περιοχές που εμφανίζουν μέγιστες και ελάχιστες τιμές να γειτνιάζουν, χωρίς να παρεμβάλλονται περιοχές που να εμφανίζουν ενδιάμεσες τιμές.

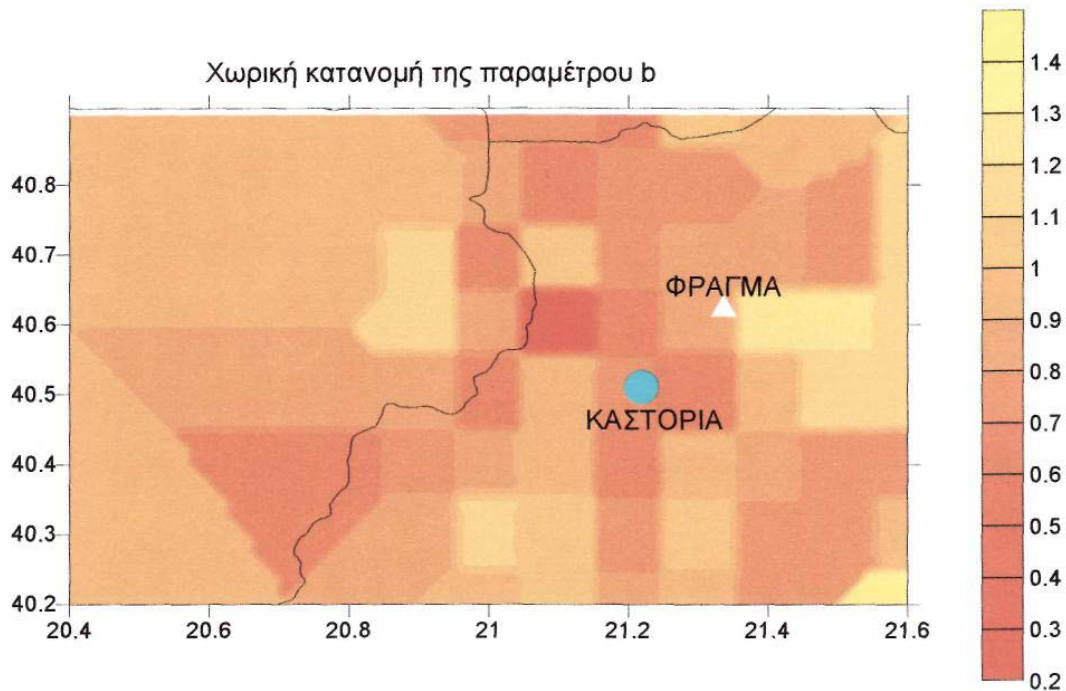
Αναλυτικότερα οι τιμές του  $a_i$  στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Καστοριάς βλέπουμε ότι κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Καθώς πλησιάζουμε προς την θέση του φράγματος οι τιμές βλέπουμε ότι



αρχίζουν να αυξάνονται, αλλά όχι σε μεγάλο βαθμό. Μεταξύ της πόλης της Καστοριάς και της θέσης του φράγματος οι τιμές της  $a_t$  κυμαίνονται από  $1 < a_t < 3$ .

Στην θέση του φράγματος οι τιμές της παραμέτρου είναι χαμηλές, με εξαίρεση την περιοχή νοτιοανατολικά του φράγματος που παρατηρείται μια έντονη αύξηση της τιμής, που καλύπτει μια μεγάλη περιοχή.

Στις περιοχές δυτικά και βόρεια του φράγματος η διακύμανση των τιμών παρουσιάζει ένα σημαντικό εύρος που κυμαίνεται μεταξύ  $1 < a_t < 4$ .



Σχήμα 3.5. Χωρική κατανομή της παραμέτρου **b** στην ευρύτερη περιοχή της θέσης μελέτης.

Όπως βλέπουμε στον χάρτη (σχήμα 3.5) οι τιμές της παραμέτρου **b** εμφανίζουν μεγάλο εύρος τιμών. Στο δυτικό τμήμα του χάρτη εμφανίζονται μεγάλες περιοχές με σταθερές τιμές του **b**, ενώ στο ανατολικό τμήμα του οι τιμές του **b** μεταβάλλονται συνεχώς. Στην περιοχή βλέπουμε ότι υπάρχουν μόνο δυο τμήματα που εμφανίζουν υψηλές τιμές. Το ένα βρίσκεται στα ανατολικά του φράγματος, σε πολύ κοντινή απόσταση από αυτό και το άλλο βρίσκεται νοτιοανατολικά του φράγματος σε μεγαλύτερη απόσταση.

Επίσης παρατηρούμε ότι οι μεταβολές των τιμών είναι ομαλές, δηλαδή οι τιμές μεταξύ των περιοχών που συνορεύουν μεταβάλλονται ομαλά και δεν παρατηρούνται απότομες μεταβολές μεγάλης κλίμακας.

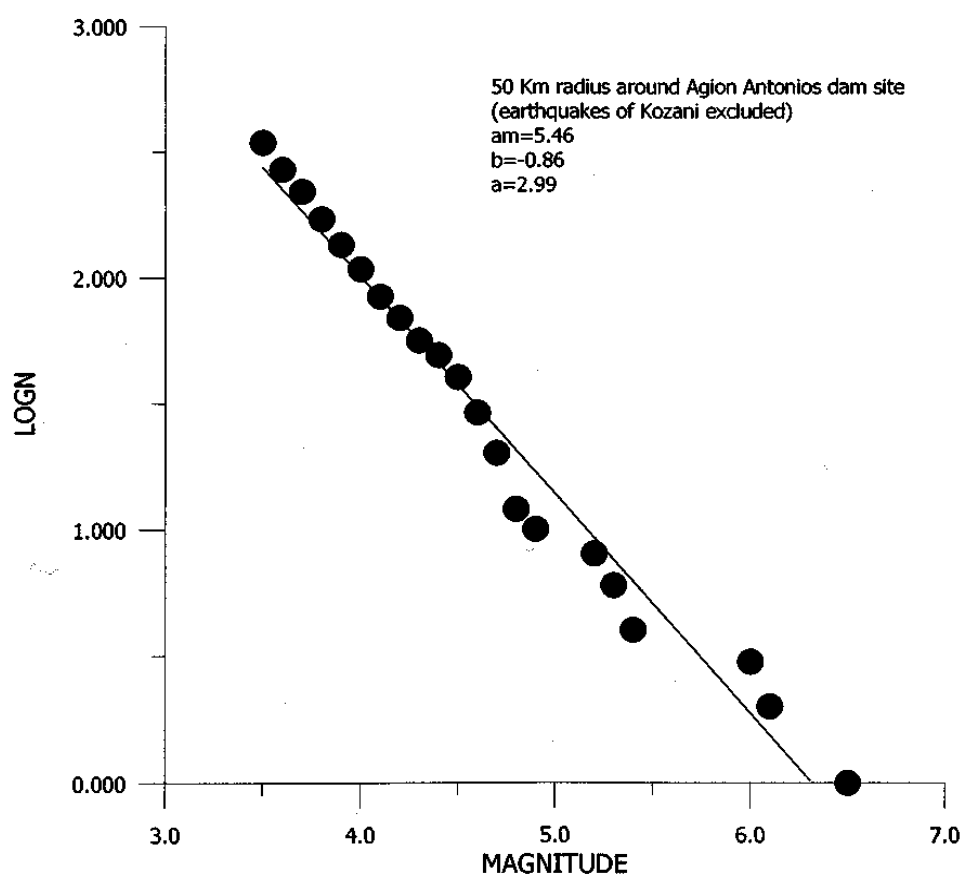
Στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Καστοριάς οι τιμές της παραμέτρου **b** μεταβάλλονται σημαντικά με τιμές που κυμαίνονται από  $1.2 > b > 0.6$ . Στα ανατολικά της πόλης οι τιμές του **b** αυξάνονται καθώς απομακρυνόμαστε από αυτή, ενώ στα δυτικά οι τιμές αυξομειώνονται κατά την απομάκρυνσή μας από την πόλη. Η ίδια κατάσταση επικρατεί και κατά την διεύθυνση B-N.

Στην περιοχή του φράγματος οι τιμές μεταβάλλονται, και κυμαίνονται μεταξύ  $1.4 > b > 0.5$ . Στα ανατολικά του φράγματος παρατηρούνται υψηλές τιμές του **b**. Από την άλλη πλευρά, στο δυτικό



τμήμα του, οι τιμές εμφανίζονται αρκετά μειωμένες. Στην θέση του φράγματος η τιμή του  $b$  κυμαίνεται μεταξύ των τιμών  $0.9 > b > 0.8$ . Στο βόρεια τμήμα της θέσης μελέτης οι τιμές του  $b$  παραμένουν σχεδόν σταθερές για ένα μεγάλο τμήμα και στην συνέχεια εμφανίζουν μείωση. Στο νότιο τμήμα της περιοχής οι τιμές εμφανίζονται μειωμένες σε ένα μικρό τμήμα και στην συνέχεια αυξομειώνονται μεταξύ των τιμών  $1.2 > b > 1.0$ .

Η κατανομή των κύριων σεισμών στη περιοχή σύμφωνα με τον νόμο των Gutenberg-Richter δίνεται στο σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6. Κατανομή των μεγεθών των κύριων σεισμών στην ευρύτερη περιοχή της θέσης μελέτης.

### 3.4.1 ΜΕΤΡΑ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Συνήθως η παράμετρος  $a_t$  ανάγεται στο 1 έτος, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$a = a_t - \log t \quad (2)$$

Η παράμετρος  $a$  είναι πολύ χρήσιμη γιατί με αυτήν μπορούμε να υπολογίσουμε της σεισμικότητα από ποσοτική άποψη.

Για την ποσοτική εκτίμηση της σεισμικότητας μιας περιοχής χρησιμοποιούνται διάφορα μέτρα σεισμικότητας. Αυτά είναι:

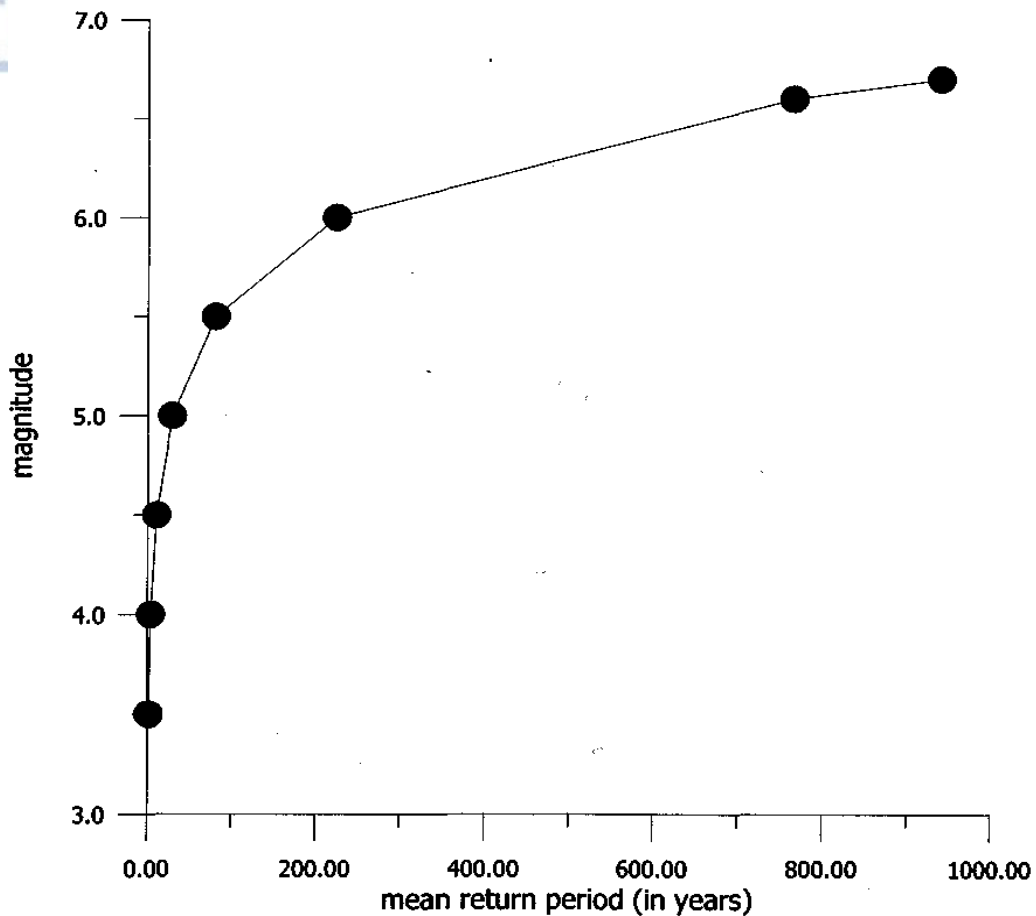
- ✓ Η μέση περίοδος επανάληψης  $T_m$  (σε έτη) των σεισμών οι οποίοι έχουν μέγεθος  $M$  ή μεγαλύτερο και δίνεται από τη σχέση

$$T_m = \frac{10^{bM}}{10^a} \quad (3)$$

Πίνακας 3.2. Στον πίνακα φαίνονται οι μέσες περίοδοι επανάληψης για διάφορα μεγέθη σεισμών στην περιοχή μελέτης.

| M   | $T_m$  |
|-----|--------|
| 3.5 | 1,33   |
| 4.0 | 3,71   |
| 4.5 | 10,35  |
| 5.0 | 28,84  |
| 5.5 | 80,35  |
| 6.0 | 223,87 |
| 6.6 | 765,6  |
| 6.7 | 939,73 |

Η μέση περίοδος επανάληψης  $T_m$  (σε έτη) των σεισμών σύμφωνα με την σχέση 3 δείχνεται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7. Μέση περίοδος επανάληψης για διάφορα μεγέθη στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

- ✓ Άλλο μέτρο που χρησιμοποιείται είναι η πιθανότητα  $P_t$ , να γίνει σεισμός μεγέθους  $M$  ή μεγαλύτερου κατά το χρονικό διάστημα,  $t$ , υποθέτοντας χρονική κατανομή Poisson, δίνεται από την σχέση

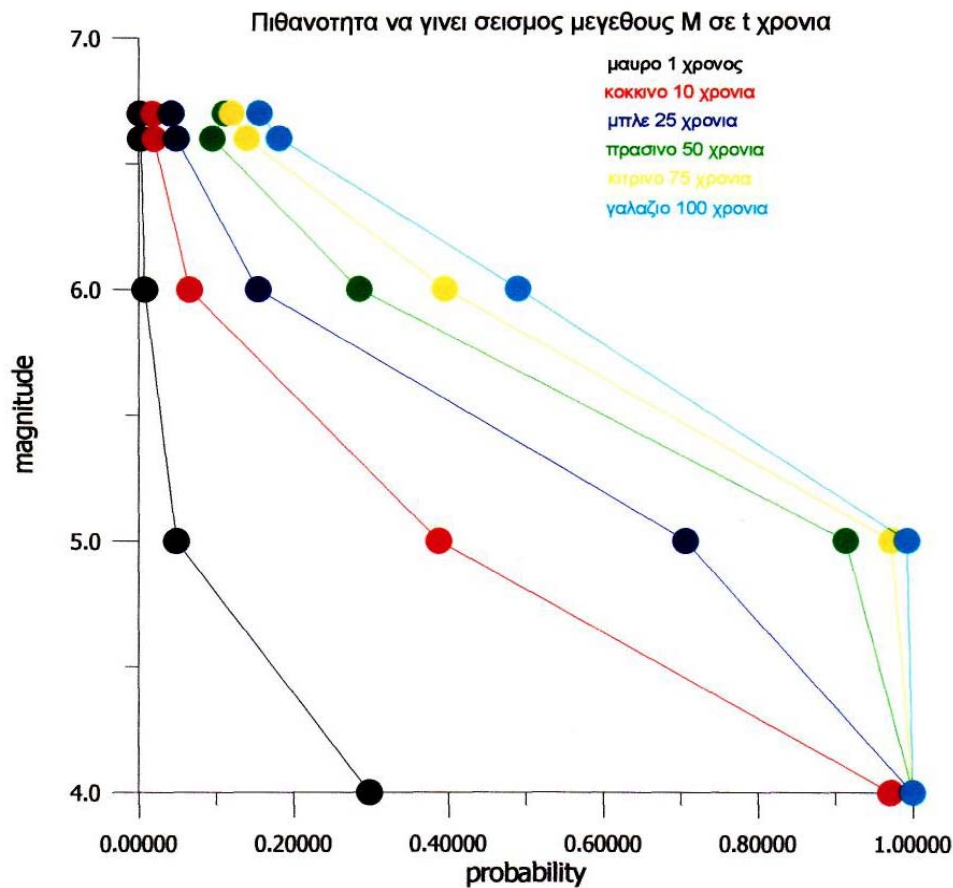
$$P_t = 1 - e^{(-10^{a-bM})} \cdot t \quad (4)$$

Πίνακας 3.3 Πιθανότητα γένεσης σεισμού μεγέθους 4.0, 5.0, 6.0, 6.6 και 6.7 για διάφορες χρονικές περιόδους.

| M   | P1     | P10    | P25     | P50     | P75     | P100    |
|-----|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 4.0 | 0.298  | 0.9712 | 0.99986 | 0.99989 | 0.99997 | 0.99999 |
| 5.0 | 0.048  | 0.387  | 0.706   | 0.913   | 0.972   | 0.992   |
| 6.0 | 0.007  | 0.065  | 0.154   | 0.284   | 0.395   | 0.489   |
| 6.6 | 0.002  | 0.019  | 0.048   | 0.095   | 0.139   | 0.181   |
| 6.7 | 0.0017 | 0.017  | 0.041   | 0.811   | 0.119   | 0.155   |



Στο παρακάτω σχήμα (3.8) χαρτογραφήθηκε η πιθανότητα  $P_t$  να γίνει σεισμός ορισμένου μεγέθους.



Σχήμα 3.8. Πιθανότητα να γίνει σεισμός μεγέθους M σε t χρόνια.

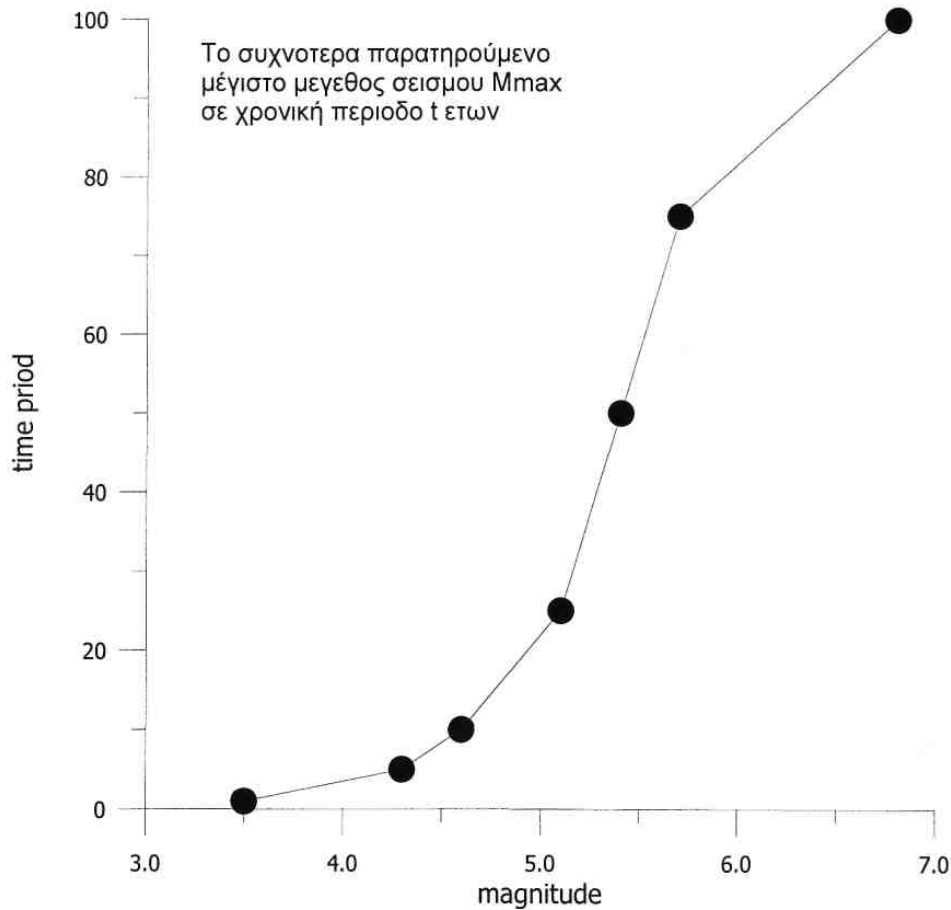
- ✓ Άλλο μέτρο σεισμικότητας θεωρείται το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος σεισμού,  $M_t$ , σε χρόνο t ετών και δίνεται από τη σχέση:

$$M_t = \frac{a}{b} + \frac{\log t}{b} \quad (5)$$

Πίνακας 3.4. Το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος σεισμού  $M_t$  που γίνεται στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος για διάφορα χρονικά διαστήματα.

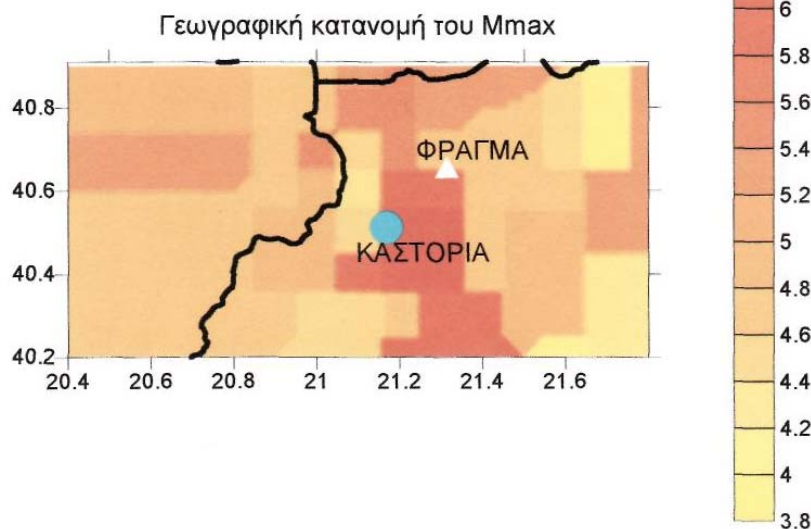
| Χρονικό διάστημα (σε έτη) | Μέγεθος σεισμού |
|---------------------------|-----------------|
| 1                         | 3.5             |
| 5                         | 4.3             |
| 10                        | 4.6             |
| 25                        | 5.1             |
| 50                        | 5.4             |
| 75                        | 5.7             |
| 100                       | 6.8             |

Τα αποτελέσματα του πίνακα (3.4) χαρτογραφήθηκαν στο παρακάτω σχήμα (3.9).



Σχήμα 3.9. Το συχνότερο παρατηρούμενο μέγιστο μέγεθος σεισμού  $M_{max}$  σε χρονική περίοδο  $t$  ετών.

Στους χάρτες που ακολουθούν, περιγράφουμε και αναλύουμε την γεωγραφική κατανομή του  $M_{max}$  (σχήμα 3.10) και την κατανομή του πιθανότερου μέγιστου ετήσιου  $M_1$  μεγέθους (σχήμα 3.11) στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.



Σχήμα 3.10. Γεωγραφική κατανομή του Mmax

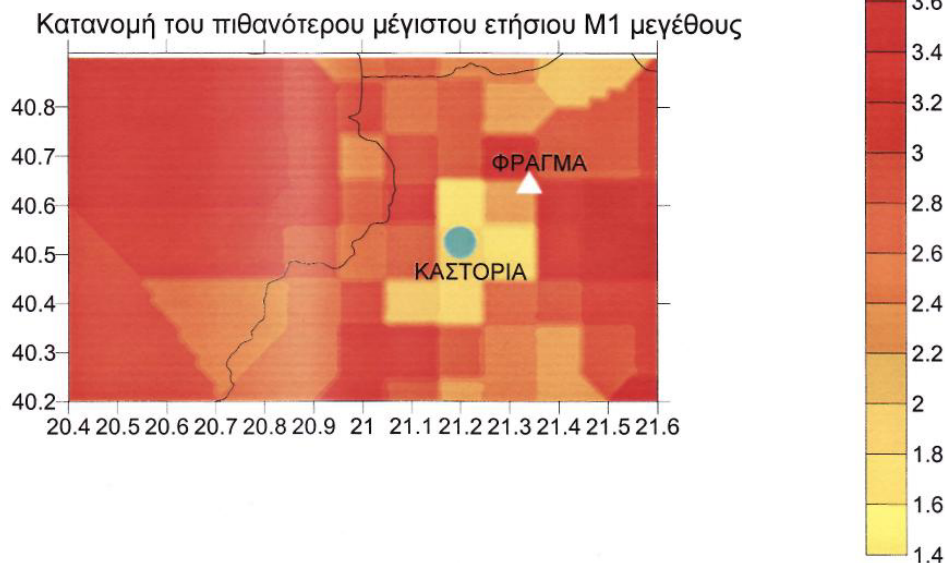
Όπως βλέπουμε στον χάρτη (σχήμα 3.10) τα μέγιστα μεγέθη των σεισμών Mmax στην περιοχή εμφανίζουν μεγάλο εύρος τιμών.

Στο δυτικό τμήμα του χάρτη παρατηρούμε ότι η διακύμανση των τιμών του Mmax είναι μικρή. Καθώς κινούμαστε προς το ανατολικό τμήμα του, βλέπουμε ότι οι μεταβολές των τιμών γίνονται εντονότερες μέχρι την μέση του χάρτη και στη συνέχεια μειώνονται ώσπου και παίρνουν τις μικρότερες τιμές στα ανατολικά τμήματα του. Χαρακτηριστικό του ανατολικού τμήματος του χάρτη είναι το ότι μεταξύ των περιοχών με τις μικρές τιμές του Mmax εμφανίζεται μία περιοχή που η τιμή του Mmax κυμαίνεται μεταξύ  $5.0 < M_{max} < 5.2$ .

Επίσης παρατηρούμε μια συσσώρευση υψηλών τιμών του Mmax στην ζώνη που περιλαμβάνει την περιοχή της Καστοριάς και την θέση του φράγματος εκατέρωθεν της οποίας οι τιμές του Mmax μειώνονται.

Η τιμή του Mmax στη θέση του φράγματος, όπως είπαμε και πιο πάνω βρίσκεται μέσα στην ζώνη των υψηλών τιμών, κυμαίνεται μεταξύ  $6.0 < M_{max} < 6.2$ . Στο νότιο τμήμα του φράγματος οι τιμές είναι αρκετά υψηλές ενώ όσο μετακινούμαστε βορειότερα οι τιμές μειώνονται.





Σχήμα 3.11. Κατανομή του πιθανότερου μέγιστου ετήσιου  $M_1$  μεγέθους

Στον χάρτη του σχήματος 3.11 βλέπουμε ότι υπάρχουν πολλά τμήματα που οι τιμές του πιθανότερου μέγιστου ετήσιου μεγέθους  $M_1$  κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα  $4.0 > M_1 > 3.4$ .

Στα δυτικά του χάρτη υπάρχουν περιοχές στις οποίες οι τιμές του  $M_1$  είναι αρκετά υψηλές και κυμαίνονται από  $4.0 > M_1 > 2.6$ . Καθώς κινούμαστε προς τα ανατολικά οι τιμές του  $M_1$  μεταβάλλονται με εύρος  $2.8 > M_1 > 2.2$ . Στο ανατολικό τμήμα του χάρτη οι τιμές εμφανίζουν μια σημαντική άνοδο την οποία και διατηρούν.

Στον χάρτη συναντάμε μόνο μία θέση που εμφανίζει τις μικρότερες τιμές και αυτή βρίσκεται στην περιοχή της Καστοριάς. Καθώς απομακρυνόμαστε από αυτή την περιοχή, οι τιμές του  $M_1$  αυξάνονται. Μία σημαντική αύξηση των τιμών εντοπίζεται στην περιοχή δυτικά της Καστοριάς.

Η τιμή του  $M_1$  στην θέση του φράγματος κυμαίνεται μεταξύ  $3.4 > M_1 > 2.4$ . Στα νοτιοανατολικά το  $M_1$  παίρνει τις μέγιστες τιμές του. Επίσης στα βόρεια της θέσης του φράγματος βλέπουμε μια σημαντική αύξηση των τιμών. Από την άλλη πλευρά στα δυτικά και νότια της θέσης του φράγματος το  $M_1$  παίρνει τις μικρότερες τιμές.

Γενικότερα θα μπορούσαμε να πούμε ότι η περιοχή που περιλαμβάνει την Καστοριά και την θέση του φράγματος αποτελεί μια ζώνη με χαμηλές τιμές  $M_1$  εκατέρωθεν της οποίας οι τιμές αυξάνονται σημαντικά.

## Κεφάλαιο 4

### 4.1 Σεισμοτεκτονικός Συσχετισμός

Για τον υπολογισμό του μέγιστου αναμενόμενου μεγέθους ( $M_{max}$ ) ενός μελλοντικού σεισμικού γεγονότος χρησιμοποιούνται ορισμένες εμπειρικές σχέσεις, οι οποίες συνδέουν το μέγεθος ενός σεισμού με διάφορες παραμέτρους, όπως το μήκος και το πλάτος διάρρηξης, την μέση και μέγιστη μετατόπιση, το εμβαδό της επιφάνειας διάρρηξης, της σεισμικής εστίας. Τέτοιου είδους εμπειρικές σχέσεις, οι οποίες αφορούν σεισμικά γεγονότα που έλαβαν χώρα σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν διατυπωθεί κατά καιρούς από πολλούς συγγραφείς και ερευνητές που δίνουν εμπειρικές σχέσεις για συγκεκριμένες περιοχές, οι οποίες συνδέουν τις διάφορες παραμέτρους μιας σεισμικής εστίας με το επιφανειακό μέγεθος ( $M_s$ ) ενός σεισμικού γεγονότος καθώς το μέγεθος αυτό αποτελεί το πιο κοινά χρησιμοποιούμενο στις σεισμολογικές μελέτες. Τελευταία έχουν δημοσιοποιηθεί από πολλούς ερευνητές σχέσεις που χρησιμοποιούν το Μέγεθος Ροπής ( $M_w$ ).

Η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας μιας περιοχής ή μιας θέσης βασίζεται σε δυο παράγοντες.

α. στο σεισμοτεκτονικό μοντέλο της περιοχής που συντίθεται από τα σεισμολογικά και τεκτονικά (κυρίως νεοτεκτονικά) στοιχεία και

β. τη σχέση απόσβεσης, που περιγράφει τη δόνηση γύρω από τη σεισμική πηγή (σεισμική κίνηση σε σχέση με τις εδαφικές συνθήκες της εξεταζόμενης θέσης και τη διαδρομή των σεισμικών κυμάτων).

Για την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, στην οποία ανήκει και η περιοχή μελέτης, υπολογίστηκε η σεισμική επικινδυνότητα χρησιμοποιώντας το μέγεθος σεισμού που μπορούν να δώσουν τα ενεργά ρήγματα της περιοχής και τις τιμές της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Η ύπαρξη εμπειρικών σχέσεων που συνδέουν το μέγεθος του σεισμού με το μήκος του ρήγματος, μας επιτρέπουν την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας μιας περιοχής γνωρίζοντας τις διαστάσεις των ρηγμάτων.

Στην εργασία μας θα χρησιμοποιήσουμε τα παρακάτω υπολογιστικά μοντέλα:

**WC94**= Wells & Coppersmith (1994)

**PC04**= Pavlides & Caputo (2004)

**AJ98**= Ambraseys & Jackson (1998)

Πίνακας 4.1. Εμπειρικές σχέσεις μεταξύ μεγέθους σεισμού και μήκος ρήγματος για κανονικά ρήγματα

|                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| Wells & Coppersmith (1994) | $M_w = 4,86 + 1,32 \log(SRL)$ |
| Ambraseys & Jackson (1998) | $M_s = 5,13 + 1,14 \log(L)$   |
| Pavlides & Caputo (2004)   | $M_s = 0,9 \log(SRL) + 5,48$  |

$M_w$  : μέγεθος ροπής

$SRL$  : μήκος επιφανειακής διάρρηξης σε Km

$M_s$  : επιφανειακό μέγεθος

$L$  : μήκος ρήγματος σε Km

Για να προσεγγίσουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι τιμές του μέγιστου σεισμού, χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις που δίνουν το κατώτερο και το ανώτερο εύρος τιμών.

Πίνακας 4.2 Ανώτερο και κατώτερο όριο εμπειρικών σχέσεων για κανονικά ρήγματα

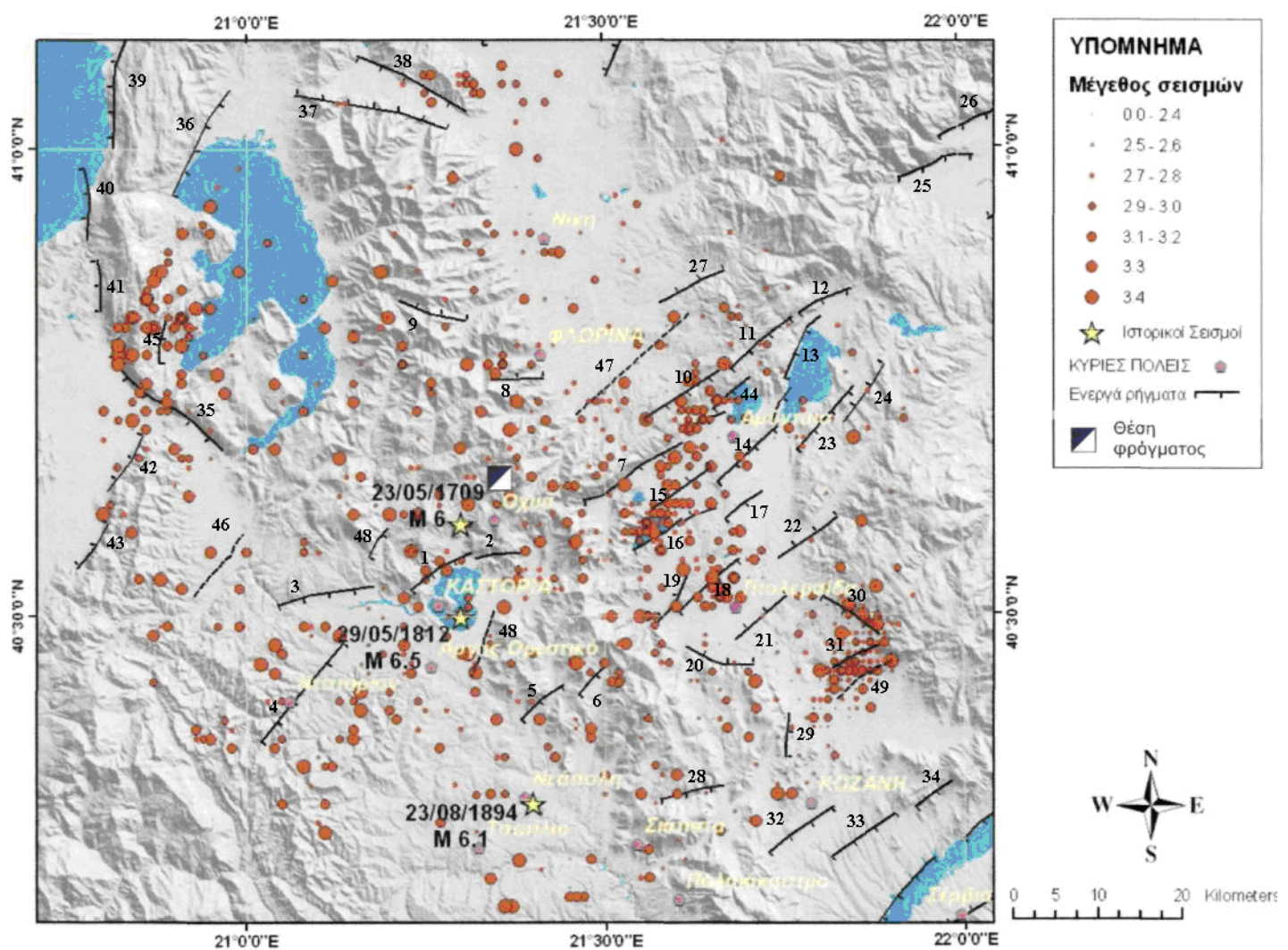
|                               |                               |                 |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Wells & Coppersmith<br>(1994) | $M_w = 4,52 + 1,06 \log(SRL)$ | ( lower $M_w$ ) |
|                               | $M_w = 5,2 + 1,58 \log(SRL)$  | (upper $M_w$ )  |
| Ambraseys & Jackson<br>(1998) | $\pm 0,15 M_s$                |                 |
| Pavlides & Caputo<br>(2004)   | $M_s = 1,42 \log(SRL) + 4,36$ | (lower $M_s$ )  |
|                               | $M_s = 1,21 \log(SRL) + 5,48$ | (upper $M_s$ )  |



Πίνακας 4.3 Εμπειρικές σχέσεις μήκους ρήγματος μέγιστης και μέσης μετατόπισης για κανονικά ρήγματα

|                               | MD (m)<br>Μέγιστη Μετατόπιση          | AD (m)<br>Μέση Μετατόπιση              |
|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| Wells & Coppersmith<br>(1994) | $\log(\text{MD}) = -5,9 + 0,89 * M_w$ | $\log(\text{AD}) = -4,45 + 0,63 * M_w$ |
| Pavlidis & Caputo<br>(2004)   | $M_s = 0,59 \log(\text{MVD}) + 6,75$  |                                        |

Στον χάρτη του σχήματος 4.1, χαρτογραφήσαμε τα ενεργά ρήγματα στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, μετρήσαμε το μήκος τους και τα αριθμήσαμε. Σκοπός της παραπάνω διαδικασίας είναι να εφαρμοσθούν οι εμπειρικές σχέσεις που αναφέραμε στους προηγούμενους πίνακες.



Σχήμα 4.1. Ο χάρτης δείχνει αριθμημένα τα ενεργά ρήγματα και τους μικροσεισμούς στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας.



Ο πίνακας 4.4 της επόμενης σελίδας, περιέχει τις θεωρητικές τιμές που προέκυψαν από την εφαρμογή των εμπειρικών σχέσεων.

*Πίνακα 4.4* Θεωρητικά αναμενόμενες τιμές για το μέγιστο μέγεθος σεισμού (M) για τα διάφορα ρήγματα και μήκη τους καθώς και η μέση και μέγιστη μετατόπιση που προέκυψαν από τις εμπειρικές σχέσεις.

| Ρήγματα | Μήκος | Εμπειρικοί τύποι |            |             |             |            |             |             |            |             |      |            |            |            |
|---------|-------|------------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|------|------------|------------|------------|
|         |       | WC94             |            |             | AJ98        |            |             | PC04        |            |             |      | MD<br>WC94 | MD<br>PC04 | AD<br>WC94 |
|         | (Km)  | lower<br>Mw      | Mw         | upper<br>Mw | lower<br>Ms | Ms         | upper<br>Ms | lower<br>Ms | Ms         | upper<br>Ms |      |            |            |            |
| 1       | 9     | 5,5              | <b>6,1</b> | 6,7         | 6,0         | <b>6,2</b> | 6,3         | 5,7         | <b>6,3</b> | 6,6         | 0,15 | 0,64       | 0,29       |            |
| 2       | 5     | 5,3              | <b>5,8</b> | 6,3         | 5,8         | <b>5,9</b> | 6,1         | 5,4         | <b>6,1</b> | 6,3         | 0,07 | 0,19       | 0,19       |            |
| 3       | 11    | 5,6              | <b>6,2</b> | 6,8         | 6,2         | <b>6,3</b> | 6,5         | 5,8         | <b>6,4</b> | 6,7         | 0,20 | 0,96       | 0,34       |            |
| 4       | 15    | 5,8              | <b>6,4</b> | 7,1         | 6,3         | <b>6,5</b> | 6,6         | 6,0         | <b>6,5</b> | 6,9         | 0,29 | 1,82       | 0,42       |            |
| 5       | 6     | 5,3              | <b>5,9</b> | 6,4         | 5,9         | <b>6,0</b> | 6,2         | 5,5         | <b>6,2</b> | 6,4         | 0,09 | 0,28       | 0,22       |            |
| 6       | 4     | 5,2              | <b>5,7</b> | 6,2         | 5,7         | <b>5,8</b> | 6,0         | 5,2         | <b>6,0</b> | 6,2         | 0,06 | 0,12       | 0,16       |            |
| 7       | 14    | 5,7              | <b>6,4</b> | 7,0         | 6,2         | <b>6,4</b> | 6,5         | 6,0         | <b>6,5</b> | 6,9         | 0,27 | 1,58       | 0,40       |            |
| 8       | 6     | 5,3              | <b>5,9</b> | 6,4         | 5,9         | <b>6,0</b> | 6,2         | 5,5         | <b>6,2</b> | 6,4         | 0,09 | 0,28       | 0,22       |            |
| 9       | 8     | 5,5              | <b>6,1</b> | 6,6         | 6,0         | <b>6,2</b> | 6,3         | 5,6         | <b>6,3</b> | 6,6         | 0,13 | 0,50       | 0,27       |            |
| 10      | 10    | 5,6              | <b>6,2</b> | 6,8         | 6,2         | <b>6,3</b> | 6,5         | 5,8         | <b>6,4</b> | 6,7         | 0,18 | 0,79       | 0,32       |            |
| 11      | 10    | 5,6              | <b>6,2</b> | 6,8         | 6,2         | <b>6,3</b> | 6,5         | 5,8         | <b>6,4</b> | 6,7         | 0,18 | 0,79       | 0,32       |            |
| 12      | 7     | 5,4              | <b>6,0</b> | 6,5         | 6,0         | <b>6,1</b> | 6,3         | 5,6         | <b>6,2</b> | 6,5         | 0,11 | 0,38       | 0,24       |            |
| 13      | 9     | 5,5              | <b>6,1</b> | 6,7         | 6,0         | <b>6,2</b> | 6,3         | 5,7         | <b>6,3</b> | 6,6         | 0,15 | 0,64       | 0,29       |            |
| 14      | 10    | 5,6              | <b>6,2</b> | 6,8         | 6,2         | <b>6,3</b> | 6,5         | 5,8         | <b>6,4</b> | 6,7         | 0,18 | 0,79       | 0,32       |            |
| 15      | 8     | 5,5              | <b>6,1</b> | 6,6         | 6,0         | <b>6,2</b> | 6,3         | 5,6         | <b>6,3</b> | 6,6         | 0,13 | 0,50       | 0,27       |            |
| 16      | 10    | 5,6              | <b>6,2</b> | 6,8         | 6,2         | <b>6,3</b> | 6,5         | 5,8         | <b>6,4</b> | 6,7         | 0,18 | 0,79       | 0,32       |            |
| 17      | 6     | 5,3              | <b>5,9</b> | 6,4         | 5,9         | <b>6,0</b> | 6,2         | 5,5         | <b>6,2</b> | 6,4         | 0,09 | 0,28       | 0,22       |            |
| 18      | 10    | 5,6              | <b>6,2</b> | 6,8         | 6,2         | <b>6,3</b> | 6,5         | 5,8         | <b>6,4</b> | 6,7         | 0,18 | 0,79       | 0,32       |            |
| 19      | 9     | 5,5              | <b>6,1</b> | 6,7         | 6,0         | <b>6,2</b> | 6,3         | 5,7         | <b>6,3</b> | 6,6         | 0,15 | 0,64       | 0,29       |            |
| 20      | 8     | 5,5              | <b>6,1</b> | 6,6         | 6,0         | <b>6,2</b> | 6,3         | 5,6         | <b>6,3</b> | 6,6         | 0,13 | 0,50       | 0,27       |            |



| Ρήγματα | Μήκος | Εμπειρικοί τύποι |     |             |             |     |             |             |     |             |      |            |            |            |
|---------|-------|------------------|-----|-------------|-------------|-----|-------------|-------------|-----|-------------|------|------------|------------|------------|
|         |       | WC94             |     |             | AJ98        |     |             | PC04        |     |             |      | MD<br>WC94 | MD<br>PC04 | AD<br>WC94 |
|         |       | lower<br>Mw      | Mw  | upper<br>Mw | lower<br>Ms | Ms  | upper<br>Ms | lower<br>Ms | Ms  | upper<br>Ms |      |            |            |            |
| 21      | 8     | 5,5              | 6,1 | 6,6         | 6,0         | 6,2 | 6,3         | 5,6         | 6,3 | 6,6         | 0,13 | 0,50       | 0,27       |            |
| 22      | 8     | 5,5              | 6,1 | 6,6         | 6,0         | 6,2 | 6,3         | 5,6         | 6,3 | 6,6         | 0,13 | 0,50       | 0,27       |            |
| 23      | 10    | 5,6              | 6,2 | 6,8         | 6,2         | 6,3 | 6,5         | 5,8         | 6,4 | 6,7         | 0,18 | 0,79       | 0,32       |            |
| 24      | 8     | 5,5              | 6,1 | 6,6         | 6,0         | 6,2 | 6,3         | 5,6         | 6,3 | 6,6         | 0,13 | 0,50       | 0,27       |            |
| 25      | 10    | 5,6              | 6,2 | 6,8         | 6,2         | 6,3 | 6,5         | 5,8         | 6,4 | 6,7         | 0,18 | 0,79       | 0,32       |            |
| 26      | 7     | 5,4              | 6,0 | 6,5         | 6,0         | 6,1 | 6,3         | 5,6         | 6,2 | 6,5         | 0,11 | 0,38       | 0,24       |            |
| 27      | 9     | 5,5              | 6,1 | 6,7         | 6,0         | 6,2 | 6,3         | 5,7         | 6,3 | 6,6         | 0,15 | 0,64       | 0,29       |            |
| 28      | 7     | 5,4              | 6,0 | 6,5         | 6,0         | 6,1 | 6,3         | 5,6         | 6,2 | 6,5         | 0,11 | 0,38       | 0,24       |            |
| 29      | 6     | 5,3              | 5,9 | 6,4         | 5,9         | 6,0 | 6,2         | 5,5         | 6,2 | 6,4         | 0,09 | 0,28       | 0,22       |            |
| 30      | 8     | 5,5              | 6,1 | 6,6         | 6,0         | 6,2 | 6,3         | 5,6         | 6,3 | 6,6         | 0,13 | 0,50       | 0,27       |            |
| 31      | 6     | 5,3              | 5,9 | 6,4         | 5,9         | 6,0 | 6,2         | 5,5         | 6,2 | 6,4         | 0,09 | 0,28       | 0,22       |            |
| 32      | 10    | 5,6              | 6,2 | 6,8         | 6,2         | 6,3 | 6,5         | 5,8         | 6,4 | 6,7         | 0,18 | 0,79       | 0,32       |            |
| 33      | 9     | 5,5              | 6,1 | 6,7         | 6,0         | 6,2 | 6,3         | 5,7         | 6,3 | 6,6         | 0,15 | 0,64       | 0,29       |            |
| 34      | 5     | 5,3              | 5,8 | 6,3         | 5,8         | 5,9 | 6,1         | 5,4         | 6,1 | 6,3         | 0,07 | 0,19       | 0,19       |            |
| 35      | 16    | 5,8              | 6,4 | 7,1         | 6,3         | 6,5 | 6,6         | 6,1         | 6,6 | 6,9         | 0,32 | 2,07       | 0,44       |            |
| 36      | 14    | 5,7              | 6,4 | 7,0         | 6,2         | 6,4 | 6,5         | 6,0         | 6,5 | 6,9         | 0,27 | 1,58       | 0,40       |            |
| 37      | 18    | 5,9              | 6,5 | 7,2         | 6,5         | 6,6 | 6,8         | 6,1         | 6,6 | 7,0         | 0,37 | 2,64       | 0,48       |            |
| 38      | 14    | 5,7              | 6,4 | 7,0         | 6,2         | 6,4 | 6,5         | 6,0         | 6,5 | 6,9         | 0,27 | 1,58       | 0,40       |            |
| 39      | 14    | 5,7              | 6,4 | 7,0         | 6,2         | 6,4 | 6,5         | 6,0         | 6,5 | 6,9         | 0,27 | 1,58       | 0,40       |            |
| 40      | 9     | 5,5              | 6,1 | 6,7         | 6,0         | 6,2 | 6,3         | 5,7         | 6,3 | 6,6         | 0,15 | 0,64       | 0,29       |            |

| Ρήγματα | Μήκος | Εμπειρικοί τύποι |            |             |             |            |             |             |            |             |      |            |            | AD<br>WC94 |
|---------|-------|------------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|------|------------|------------|------------|
|         |       | WC94             |            |             |             | AJ98       |             |             | PC04       |             |      | MD<br>WC94 | MD<br>PC04 |            |
|         |       | lower<br>Mw      | Mw         | upper<br>Mw | lower<br>Ms | Ms         | upper<br>Ms | lower<br>Ms | Ms         | upper<br>Ms |      |            |            |            |
| 41      | 6     | 5,3              | <b>5,9</b> | 6,4         | 5,9         | <b>6,0</b> | 6,2         | 5,5         | <b>6,2</b> | 6,4         | 0,09 | 0,28       | 0,22       |            |
| 42      | 8     | 5,5              | <b>6,1</b> | 6,6         | 6,0         | <b>6,2</b> | 6,3         | 5,6         | <b>6,3</b> | 6,6         | 0,13 | 0,50       | 0,27       |            |
| 43      | 6     | 5,3              | <b>5,9</b> | 6,4         | 5,9         | <b>6,0</b> | 6,2         | 5,5         | <b>6,2</b> | 6,4         | 0,09 | 0,28       | 0,22       |            |
| 44      | 6     | 5,3              | <b>5,9</b> | 6,4         | 5,9         | <b>6,0</b> | 6,2         | 5,5         | <b>6,2</b> | 6,4         | 0,09 | 0,28       | 0,22       |            |
| 45      | 5     | 5,3              | <b>5,8</b> | 6,3         | 5,8         | <b>5,9</b> | 6,1         | 5,4         | <b>6,1</b> | 6,3         | 0,07 | 0,19       | 0,19       |            |
| 46      | 10    | 5,6              | <b>6,2</b> | 6,8         | 6,2         | <b>6,3</b> | 6,5         | 5,8         | <b>6,4</b> | 6,7         | 0,18 | 0,79       | 0,32       |            |
| 47      | 18    | 5,9              | <b>6,5</b> | 7,2         | 6,5         | <b>6,6</b> | 6,8         | 6,1         | <b>6,6</b> | 7,0         | 0,37 | 2,64       | 0,48       |            |
| 48      | 9     | 5,5              | <b>6,1</b> | 6,7         | 6,0         | <b>6,2</b> | 6,3         | 5,7         | <b>6,3</b> | 6,6         | 0,15 | 0,64       | 0,29       |            |
| 49      | 8     | 5,5              | <b>6,1</b> | 6,6         | 6,0         | <b>6,2</b> | 6,3         | 5,6         | <b>6,3</b> | 6,6         | 0,13 | 0,50       | 0,27       |            |

όπου

$M_w$  = Μέγεθος ροπής

$M_D$  = Μέγιστη μετατόπιση

$A_D$  = Μέση μετατόπιση

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι τα ενεργά ρήγματα της Δυτικής Μακεδονίας έχουν την δυνατότητα να δώσουν σεισμούς με μεγέθη  $M_s = 5.7 - 6.6$  και μέση μετατόπιση που κυμαίνεται από 0.16 m μέχρι 0.48 m.

Το μεγαλύτερο σεισμικό δυναμικό στην περιοχή εμφανίζουν οι παρακάτω ρηξιγενείς ζώνες.

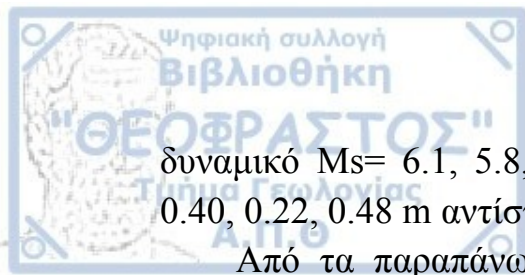
Η περιοχή βορειοανατολικά της λίμνης των Πρεσπών (αριθμός ρήγματος 37) με μέγεθος  $M_s = 6.5$  και μέση μετατόπιση 0.48 m και η ρηξιγενής ζώνη ανατολικά της πόλης της Φλώρινας (αριθμός ρήγματος 47) με μέγεθος  $M_s = 6.5$  και μέση μετατόπιση 0.48 m. Επίσης με μικρότερο σεισμικό δυναμικό είναι το ρήγμα νοτιοδυτικά της λίμνης των Πρεσπών (αριθμός ρήγματος 35) με  $M_s = 6.4$  και μέση μετατόπιση 0.44 m, η ρηξιγενής ζώνη στο βορειοδυτικό άκρο της λίμνης (αριθμός ρήγματος 36) με  $M_s = 6.4$  και μέση μετατόπιση 0.40 m και η περιοχή βορειοδυτικά της λίμνης των Πρεσπών (αριθμός ρήγματος 39) με  $M_s = 6.4$  και μέση μετατόπιση 0.40 m.

Στην περιοχή μελέτης που εκτείνεται σε ακτίνα 50 Km από την θέση θεμελίωσης του φράγματος υπάρχουν αρκετά ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ που έχουν τη δυνατότητα να δώσουν σεισμούς με μεγέθη  $M_s = 5.8 - 6.5$  και μέση μετατόπιση από 0.16 m μέχρι 0.48 m. Το μεγαλύτερο σεισμικό δυναμικό στην περιοχή μελέτης εμφανίζουν οι ρηξιγενείς ζώνες που θα αναφέρουμε αναλυτικά παρακάτω.

Η ρηξιγενής ζώνη (αριθμός ρήγματος 4) που βρίσκεται 31 Km νοτιοανατολικά του φράγματος με μέγεθος  $M_s = 6.4$  και μέση μετατόπιση 0.42 m. Η ρηξιγενής ζώνη (αριθμός ρήγματος 7) που βρίσκεται 16 Km ανατολικά του φράγματος με μέγεθος  $M_s = 6.4$  και μέση μετατόπιση 0.40 m και η ρηξιγενής ζώνη (αριθμός ρήγματος 47) που βρίσκεται 20 Km βορειοανατολικά του φράγματος με μέγεθος  $M_s = 6.5$  και μέση μετατόπιση 0.48 m.

Επίσης, θεωρώ σημαντικό να αναφέρω και τις ρηξιγενείς ζώνες (1, 2, 7, 8 και 47) οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση 12, 8.8, 16, 12, 20 Km αντίστοιχα από τη θέση του φράγματος και εμφανίζουν σεισμικό





δυναμικό  $M_s = 6.1, 5.8, 6.4, 5.9, 6.5$  και μέση μετατόπιση  $0.29, 0.19, 0.40, 0.22, 0.48$  m αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω στοιχεία συμπεραίνουμε ότι τα ρήγματα που εμφανίζουν το μεγαλύτερο σεισμικό δυναμικό τοποθετούνται στο βορειοδυτικό τμήμα της Δυτικής Μακεδονίας, στην ευρύτερη περιοχή των Πρεσπών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η γεωλογική και σεισμολογική μελέτη της περιοχής κατασκευής του φράγματος αλλά και της ευρύτερης περιοχής της Δυτικής Μακεδονίας, καθώς και η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας. Από την παρούσα μελέτη που πραγματοποιήσαμε εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- ✓ Το υπέδαφος της λεκάνης κατάκλυσης αποτελείται από έντονα μεταμορφωμένα πετρώματα του προαλπικού υποβάθρου της Πελαγονικής και καλύπτεται από Τεταρτογενή ιζήματα μικρού πάχους.
- ✓ Η πλειοψηφία των ρηγμάτων στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, όπως φαίνεται και από τον χάρτη, είναι γενικής διεύθυνσης BBA-NNΔ το οποίο αποδεικνύει ότι βρίσκεται σε συμφωνία με το ενεργό εφελκυστικό πεδίο των τάσεων.
- ✓ Η περιοχή μελέτης σύμφωνα με τον Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό εντάσσεται στην ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I με οριζόντια επιτάχυνση εδάφους  $A = 0,16g$ .
- ✓ Χαρτογραφήσαμε τους σεισμούς που έγιναν από το 800 μ.Χ. μέχρι το 2003 σε ακτίνα 50 Km από τη θέση του φράγματος. Επίσης χαρτογραφήσαμε τους μικροσεισμούς που έγιναν στην Δυτική Μακεδονία με μεγέθη που κυμαίνονται από  $0.0 < M < 3.4$ . και όλα τα γνωστά ενεργά ρήγματα της περιοχής.
- ✓ Με βάση τις τιμές των σεισμικών παραμέτρων  $a_t$  και  $b$  που υπολογίστηκαν μέσω της σχέσης των Gutenberg - Richter κατασκευάστηκε γραφική παράσταση που μας δείχνει την κατανομή των κύριων σεισμών στην περιοχή. Επίσης κατασκευάστηκαν χάρτες που δείχνουν την χωρική κατανομή αυτών των παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.
- ✓ Για την ποσοτική εκτίμηση της σεισμικότητας της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήσαμε τα εξής μέτρα σεισμικότητας. Τη μέση περίοδο επανάληψης  $T_m$ , την πιθανότητα  $P_t$  να γίνει σεισμός με

μέγεθος  $M$  ή μεγαλύτερο σε  $t$  χρόνια και το πιθανότερο  $M_t$  μέγιστο μέγεθος σεισμού σε διάστημα  $t$  ετών. Βρέθηκε ότι σεισμοί με μέγεθος  $M=6.6$  ή  $6.7$  συμβαίνουν στην περιοχή κάθε 760 και 940 περίπου χρόνια αντίστοιχα, σεισμοί με μέγεθος  $M=5.5$  συμβαίνουν κάθε 80 περίπου χρόνια ενώ σεισμοί με  $M=4.0$  ή  $5.0$  συμβαίνουν κάθε 4 ή 29 χρόνια αντίστοιχα. Οι πιθανότητες να γίνει σεισμός με μέγεθος  $M=6.7$  στην περιοχή σε διάρκεια 100 ετών είναι μικρές (περίπου 15,5%), ενώ η πιθανότητα να γίνει σεισμός με μέγεθος  $M=6.0$  είναι 49%. Επίσης υπολογίστηκε ότι το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος σεισμού για τα επόμενα 100 έτη είναι  $M=6.8$ , στα επόμενα 50 έτη το πιθανότερο μέγιστο είναι  $M=5.4$  ενώ στα επόμενα 10 έτη είναι  $M=4.6$ .

- ✓ Τα αποτελέσματα από τη χρήση εμπειρικών σχέσεων συσχέτισης του μεγέθους σεισμού με το μήκος του ρήγματος, έδωσαν για τα ρήγματα της Δυτικής Μακεδονίας δυναμικό γένεσης σεισμών μεγέθους  $M=5.7 - 6.6$  με μέση μετατόπιση από 0.16 m μέχρι 0.48 m. Για την περιοχή μελέτης, που εκτείνεται σε ακτίνα 50 Km από τη θέση του φράγματος, το δυναμικό γένεσης σεισμών είναι  $M=5.8 - 6.2$  με μέση μετατόπιση από 0.16 m μέχρι 0.48 m.
- ✓ Από την μελέτη των αποτελεσμάτων των εμπειρικών σχέσεων εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα. Οι ρηξιγενείς ζώνες που εμφανίζουν το μεγαλύτερο σεισμικό δυναμικό βρίσκονται στο βορειοδυτικό τμήμα της Δυτικής Μακεδονίας, στην ευρύτερη περιοχή των Πρεσπών. Κοντά στη θέση του φράγματος η ρηξιγενής ζώνη με το μεγαλύτερο σεισμικό δυναμικό βρίσκεται 20 Km βορειοανατολικά του φράγματος με μέγεθος  $M_s=6.5$  και μέση μετατόπιση 0.48 m.
- ✓ Κατασκευάστηκαν χάρτες που απεικονίζουν την γεωγραφική κατανομή των μέγιστων μεγεθών  $M_{max}$  και την κατανομή του πιθανότερου μέγιστου ετησίου  $M_1$  μεγέθους στην περιοχή μελέτης.

## Βιβλιογραφία

- ο Αλεξόπουλος Κ.(2005). Μελέτη των μορφομετρικών, τεκτονικών, υδρολογικών, ιζηματολογικών στοιχείων των λιμνών Ζάζαρη, Χειμαδίτης, Πετρών και της ευρύτερης περιοχής. σελίδες 2-18. Διδακτορική διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- ο Βαφειάδης Π. (1983). Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Καστοριάς. σελίδες 12-15. Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- ο Θεωδοράτου Χ. (2006). Χαρακτηριστικά της ποιότητας των επιφανειακών νερών στα ποτάμια της βόρειας Ελλάδας. σελίδες 4-8. Πτυχιακή Διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- ο ΙΓΜΕ (1990). Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος 1:50.000 - Φύλλο Καστοριάς, Η γεωλογική χαρτογράφηση έγινε από τους Δρ. Β. ΠΛΑΣΤΗΡΑ και Δρ Δ. ΡΟΖΟ, γεωλόγους του Ι.Γ.Μ.Ε., κατά τα έτη 1977-1978. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα
- ο Κίλιας Α. και Μουντράκης Δ. (1989). Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής: Τεκτονική, Μεταμόρφωση και μαγματισμός, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 23, 29-46
- ο Karakaisis F. G., Hatzidimitriou M. P., Scordilis M. E. and Panagiotopoulos G. D. (1998). J. Geodynamics Vol 26, No 2-4 pp. 297-306.
- ο Μουντράκης Δ. (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των εσωτερικών ελληνίδων, Πραγματεία για Υφηγεσία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελίδες 289.
- ο Mountrakis D. (1984). Structural evolution of the Pelagonian zone in northwestern Macedonia, Journal of Geological Society, Special Publication, 17, 581-590.
- ο Μουντράκης Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- ο Mountrakis D. (1986). The Pelagonian zone in Greece. A polyphase-deformed fragment of the Cimmerian continent and its role in the geotectonic evolution of the Eastern Mediterranean, Journal of Geology, 94, 335-347.



- ο Μουντράκης Δ. (1988). Συνοπτική Γεωτεκτονική Εξέλιξη του ευρύτερου Ελληνικού Χώρου. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., έκδοση 2005 - 2006.
- ο Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Κουφός Γ., Σπυρόπουλος Ν., Τρανός Μ., Παπαζάχος Κ., Ζούρος Ν., και Φασουλάς Χ., (1995). Χάρτης ενεργών ρηγμάτων του Ελληνικού χώρου - Περιοχή Μακεδονίας, Κλίμακα 1:300.000, Έκθεση για τον Ο.Α.Σ.Π.
- ο Ξανθοπούλου Α., (2006). Συμβολή των Γεωλογικών Δεδομένων στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας στη Δυτική Μακεδονία. Διατριβή Ειδίκευσης. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.
- ο Ο Σεισμός της 13<sup>ης</sup> Μαΐου 1995 Κοζάνης-Γρεβενών: Επιστημονική και Κοινωνική προσέγγιση (1998), Πρακτικά Διεθνούς Επιστημονικού Συνεδρίου. Ινστιτούτο Βιβλίου και Ανάγνωσης Κοζάνης.
- ο Ουζούνης Α., (1999). Γεωλογικές-Στρωματογραφικές-Ιζηματολογικές μελέτες στα Γρεβενά. Πτυχιακή Διατριβή. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.
- ο Πατρικάκη Ο., (2002). Μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής του νότιου Πεδίου Πτολεμαΐδας. σελίδες 3-5. Πτυχιακή Διατριβή. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.
- ο Πάτσιος Ε., (2006). Εφαρμογή μεθόδων βαθμονόμησης για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών και των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών. Εφαρμογή στους νομούς Κοζάνης-Γρεβενών. σελίδες 82-83. Διατριβή Ειδίκευσης. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.
- ο Παυλίδης Σ., (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας. σελίδες 11-14. Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- ο Pavlides S. and Mountrakis D. (1987). Extensional tectonics of northwestern Macedonia, Greece, since the late Miocene, Journal of Structural Geology, 9, 385 - 392
- ο Τσάπανος Μ. Θεόδωρος, (2006). Σεισμικότητα και Σεισμική Επικινδυνότητα της Δυτικής Ελλάδας. Πρακτικά Συνεδρίου Γεωλογία της Θράκης - Σεισμοτεκτονική του ΒΑ Αιγαίου.

- ο Χατζηπέτρος Α., (1998). Παλαιοσεισμολογική - Μορφολογική μελέτη και μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων ενεργών διαρρήξεων Μυγδονίας, Ανατολικής Χαλκιδικής, Κοζάνης-Γρεβενών. Διδακτορική διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- ο Χρισταφακόπουλος Ν., (2000). Διερεύνηση δυνατοτήτων αναβάθμισης του υδρότοπου στην λίμνη Πολύφυτου ως υδροβιότοπου με παρεμβάσεις μικρής κλίμακας: εμπεριέχεται αναφορά στην σεισμικότητα και την σεισμική επικινδυνότητα της ευρύτερης περιοχής, δηλαδή του Νομού Κοζάνη. σελίδες 12-14,108. Πτυχιακή διατριβή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ.
- ο Χωραφάς Δ., (1957). Η λίμνη Βεγορίτης: υδρογεωλογική διερεύνησης και υδροδυναμικής αξιοποίησης. σελίδες 10-12. Κύρια Συλλογή βιβλιοθήκης του τμήματος Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Α.Π.Θ.