

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΕΤΡΟΣ Α. ΚΑΡΑΝΑΣΤΑΣΗΣ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας
Ειδίκευση " Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία "

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2004

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ

ΠΕΤΡΟΣ Α. ΚΑΡΑΝΑΣΤΑΣΗΣ

Γεωλόγος

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων:	Καθηγητής	Γεώργιος Δημόπουλος
Μέλος:	Καθηγητής	Γεώργιος Σούλιος
Μέλος:	Λέκτορας	Κωνσταντίνος Βουδούρης

Η εργασία αυτή αφιερώνεται
στους γονείς μου
και στην αδελφή μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της διατριβής αυτής αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν με οποιονδήποτε τρόπο κατά την διάρκεια της εκπόνησής της.

Ευχαριστώ ειλικρινά τον Καθηγητή μου κ. Γ. Δημόπουλο για την πολύτιμη βοήθειά του και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της διατριβής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Γ. Σούλιο καθώς επίσης και τον Λέκτορα κ. Κ. Βουδούρη για τις εύστοχες επισημάνσεις του τόσο στο αρχικό όσο και στο τελικό κείμενο της διατριβής. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Καθηγητή κ. Β. Χρηστάρα για τη συνεργασία και τη βοήθειά του καθόλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τις θερμότερες ευχαριστίες μου προς τον φίλο και συνάδελφο υποψήφιο διδάκτορα κ. Χ. Μυριούνη για την πολύτιμη βοήθειά του κατά το στάδιο εκπόνησης της διατριβής αυτής, καθώς επίσης και τον μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Σ. Βαλκανιώτη για τις εύστοχες επισημάνσεις του.

Ειδικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συνάδελφο κ. Ν. Κουλούρη για την παραχώρηση δεδομένων για την περιοχή έρευνας.

Επίσης την κ. Α. Καψάλη - Σανίδα Μηχανικό της ΔΕΒ της περιφέρειας Λάρισας για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξή της.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα και εκπαιδευτικό κ. Γ. Μουζούρη για την απεριόριστη υποστήριξη που μου παρείχε καθόλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συμπαράσταση και την απεριόριστη ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	8
2.1 Γενικά	8
2.2 ΜΥΘΟΣ ΙΣΤΟΡΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ	10
2.3 ΟΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΑΡΛΑΣ	12
3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	14
3.1 Η ΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ	14
3.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	22
4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	26
4.1 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	26
4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	26
4.2.1 Οι σχηματισμοί του υποβάθρου της λεκάνης	27
4.2.2 Νεογενείς σχηματισμοί και τεταρτογενείς σχηματισμοί της λεκάνης	30
4.3 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	32
5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	37
5.1 ΓΕΝΙΚΑ	37
5.2. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	37
5.3 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	38
6. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	72
6.1 ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	72
6.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	73
6.3 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	75
6.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	78
6.5 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ	80
6.6 ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ	83
6.7 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ	83

6.8 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	84
---------------------------------------	----

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
------------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στον κλάδο ειδίκευσης «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία». Το θέμα της δόθηκε από τον Καθηγητή του Α.Π.Θ. κ. Γ. Δημόπουλο, ο οποίος ήταν και ο κύριος επιβλέπων αυτής. Τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής, ήταν ο Καθηγητής κ. Γ. Σούλιος και ο Λέκτορας Κ. Βουδούρης. Η ανάθεση της έγινε από το τμήμα Γεωλογίας.

Στόχος της εργασίας αυτής, είναι η υδρογεωλογική μελέτη της ευρύτερης περιοχής της λίμνης Κάρλας και η διερεύνηση του μηχανισμού λειτουργίας αυτής καθ' αυτής της Λίμνης Κάρλας.

Η διατριβή αποτελείται από επτά κεφάλαια. Μετά την παρούσα εισαγωγή στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε γενικά στοιχεία της περιοχής έρευνας καθώς επίσης και στη διοικητική της υπαγωγή.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η γεωμορφολογία της περιοχής και γίνεται η ποσοτικοποίηση του αναγλύφου της. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη Γεωλογία της περιοχής και παρουσιάζονται αναλυτικά οι σχηματισμοί που εμφανίζονται σ' αυτήν. Επίσης δίνονται και τα τεκτονικά επεισόδια τα οποία και έδρασαν στην ευρύτερη περιοχή.

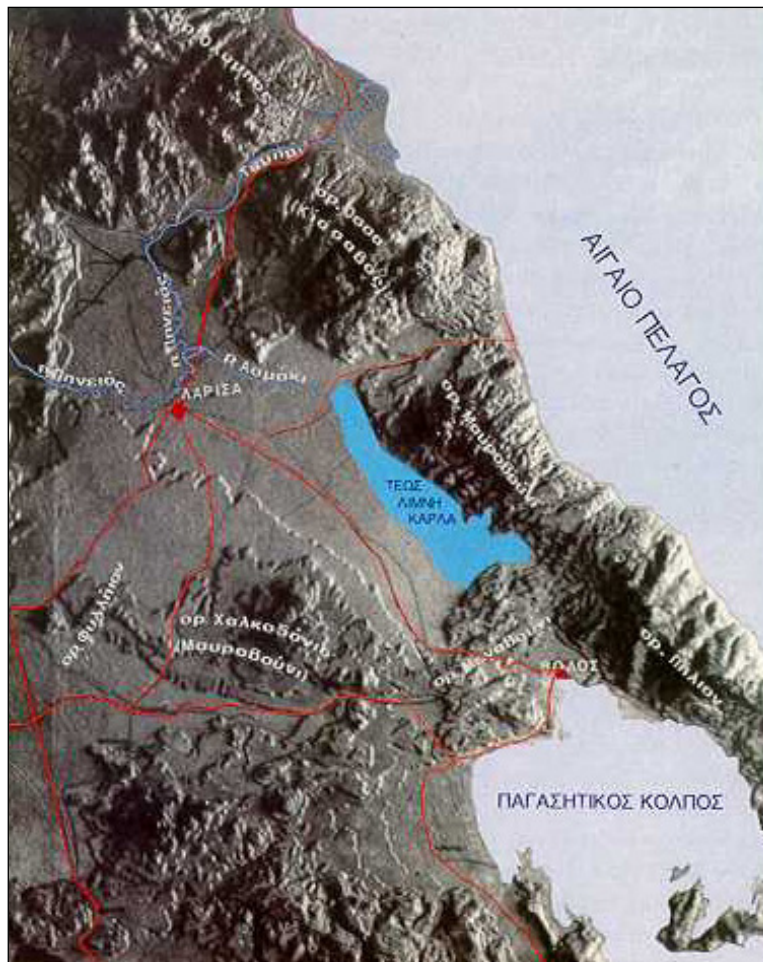
Στο πέμπτο κεφάλαιο αξιολογούνται οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Αρχικά γίνεται αναφορά στην υδρολιθολογία των σχηματισμών που δομούν την περιοχή και παρουσιάζονται οι γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την παραπάνω ανάλυση. Στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφοροι θεματικοί χάρτες, που κατασκευάστηκαν, για να διευκολύνουν την κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην ερευνούμενη περιοχή. Προσδιορίζονται οι παραμέτροι του υδρολογικού ισοζυγίου και υπολογίζεται ένα προσεγγιστικό ισοζύγιο για την περιοχή μελέτης. Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διατριβή αυτή.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 Γενικά

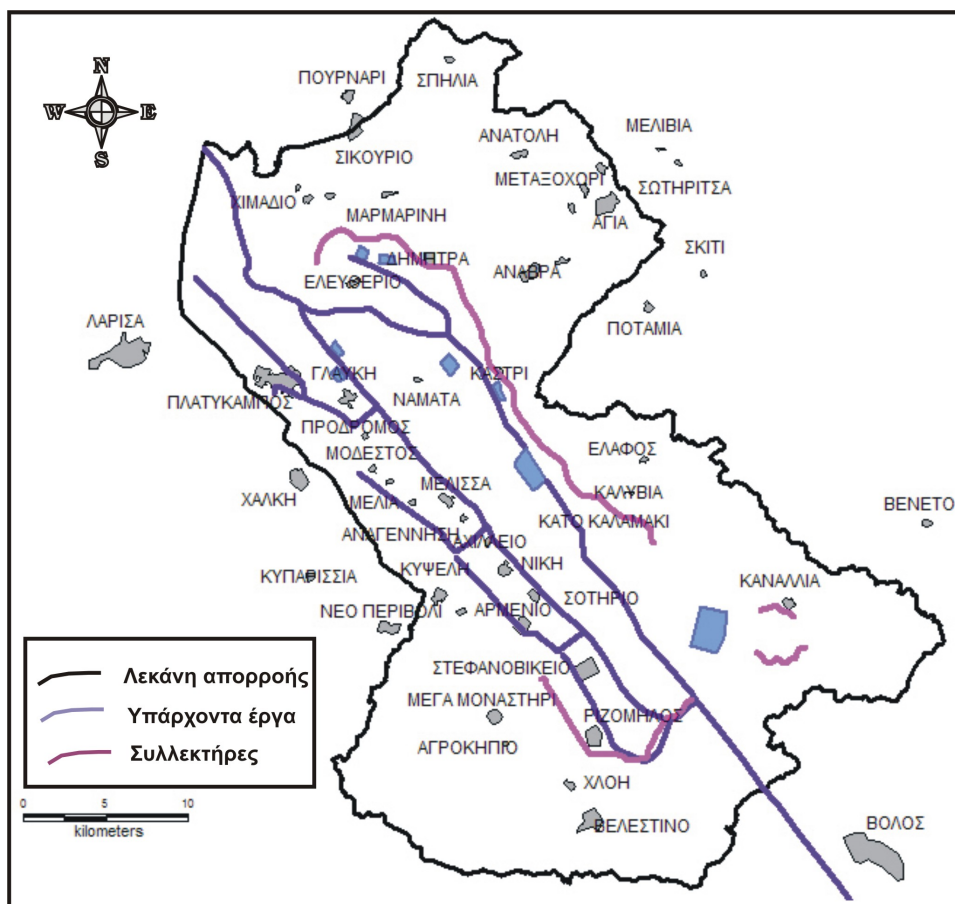
Η λίμνη Κάρλα ή Βοιβής όπως ονομαζόταν στην αρχαιότητα, κατείχε το ΝΑ τμήμα της μεγάλης λεκάνης της Θεσσαλίας. Η έκταση που καταλάμβανε δεν ήταν σταθερή αλλά μεταβαλλόταν ανάλογα με τις διακυμάνσεις της στάθμης της. Ως φυσικός ταμιευτήρας νερού είχε εισροές από τη λεκάνη απορροής της και από τον Πηνειό ποταμό, ενώ σημαντικές ήταν οι εκροές νερού που λάβαιναν χώρα, όπως πιστεύεται, μέσα από υπόγεια συστήματα καταβόθρων.



Σχήμα 2.1 : Η γεωγραφική θέση της τέως Λίμνης Κάρλας

Αποτελούσε μία από τις μεγαλύτερες λίμνες στον Ελληνικό χώρο και έναν από τους σπουδαιότερους υδροβιότοπους. Από την προϊστορική ακόμη εποχή αναπτύχθηκαν οικισμοί των οποίων η οικονομία σχετιζόταν με το υγρό στοιχείο. Οι πληθυσμοί γύρω από αυτήν ζούσαν κυρίως από την αλιεία, από την καλλιέργεια των παραλίμνιων περιοχών και από την κτηνοτροφία.

Η λίμνη Κάρλα απασχόλησε από πολύ παλιά τις Ελληνικές Κυβερνήσεις. Η πολιτική των αποξηράνσεων και της απόδοσης καλλιεργήσιμης γης στους αγρότες δεν μπορούσε να την αφήσει ανεπηρέαστη. Πολλοί ήταν αυτοί που ξεσηκώθηκαν στις αρχές του προηγούμενου αιώνα για την απόκτηση ιδιόκτητης γης στο χώρο της Θεσσαλίας. Η αποξήρανση της Κάρλας αποτελούσε για όλους μια σίγουρη λύση στο πρόβλημα αποκατάστασης ακτημόνων. Έτσι το 1962 αποξηράνθηκε με την εφαρμογή του σχεδίου κατασκευής αποστραγγιστικής τάφρου και της διοχέτευσης των υδάτων της προς τον Παγασητικό κόλπο (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 Τοποθέτηση σχηματικά των αποστραγγιστικών έργων στην περιοχή έρευνας

2.2 ΜΥΘΟΣ ΙΣΤΟΡΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η τέως λίμνη Κάρλα, όπως έχει μείνει σήμερα περισσότερο γνωστή, αρχικά ονομαζόταν Βοιβηίδα, από το όνομα της Ομηρικής πόλης Βοίβη, που βρισκόταν στις νότιες όχθες της. Είναι γνωστή από τη μυθολογία και από αρκετές αρχαίες πηγές. Ο Όμηρος, ο Ησίοδος, ο Σκύλαξ, ο Ηρόδοτος, ο Ευριπίδης, ο Πίνδαρος, ο Στράβων αναφέρονται σε αυτήν. Στις όχθες της λίμνης γεννήθηκε ο Ασκληπιός, γιος του Απόλλωνα και της Κορωνίδας, ο πρώτος γιατρός των Ελλήνων. Στα ΝΔ της, στις Φερές, βασιλεύει ο Άδμητος, η Άλκηστη και ο γιος τους Εύμηλος, που πολέμησε στην Τροία. Ενώ από τη λίμνη πέρασαν ο Ηρακλής και ο Θησέας, αλλά και οι Αμαζόνες όταν κατέβαιναν από τον Πόντο προς την Αττική για να χτυπήσουν το βασίλειο των Αθηνών (Εξαρχόπουλος, 1996).

Σε όλες τις εποχές υπάρχουν αναφορές σε ιστορικά γεγονότα που σχετίζονται με τη λίμνη Κάρλα. Δυτικά της λίμνης, το 364 π.Χ., στο όρος Κυνός Κεφαλές, ο στρατηγός των Θηβών Πελοπίδας νίκησε τον Αλέξανδρο των Φερών και το 197 π.Χ. οι Ρωμαίοι νίκησαν το βασίλειο της Μακεδονίας Φίλιππο τον Ε' (Εξαρχόπουλος, 1996).

Κατά τους Βυζαντινούς χρόνους η περιοχή υφίσταται πολλά δεινά. Γότθοι, Ούννοι, Σλάβοι, Βούλγαροι, Νορμανδοί, Φράγκοι, Καταλανοί, Αλβανοί, Σέρβοι και τέλος Τούρκοι φθάνουν στην Κάρλα ως κατακτητές. Στο Μεσαίωνα η λίμνη άλλαξε όνομα και από Βοιβηίς έγινε Κάρλα.

Το 1881 η Θεσσαλία προσαρτήθηκε στην Ελλάδα και μαζί της φυσικά και η Κάρλα. Στα χρόνια που ακολούθησαν ξεκίνησε ο μεγάλος αγώνας των αγροτών κατά των τσιφλικάδων που κορυφώθηκε στο Κιλελέρ, έναν μικρό οικισμό κοντά στη λίμνη.

Το 1962 πραγματοποιήθηκε η αποξήρανση της Κάρλας και έκτοτε αποτέλεσε παρελθόν για τη Θεσσαλία.

Η Κάρλα με το ιδιαίτερο φυσικό περιβάλλον της και το βιολογικό της πλούτο υπήρξε ταυτόχρονα και ένας χώρος πολιτισμικής εξέλιξης και ανάπτυξης ενός μοναδικού τρόπου ζωής των ανθρώπων που ζούσαν γύρω από αυτήν. Αυτός ο τρόπος ζωής που είχε τις ρίζες του πολύ βαθιά μέσα στην προϊστορία, διατηρήθηκε μέχρι την εποχή μας, κυρίως από τους κατοίκους του χωριού Κανάλια.

Οι Καναλιώτες, ψαράδες οι περισσότεροι μέχρι την αποξήρανση της λίμνης, έφευγαν από τα σπίτια τους για εννέα περίπου μήνες το χρόνο, διέμεναν μέσα στη λίμνη και ζούσαν σε καλύβες με ένα μοναδικό τρόπο. Οι καλύβες αυτές φτιάχνονταν από τους ίδιους με μια μοναδική τεχνική, από καλάμια και ραγάζια πάνω στην επιφάνεια της λίμνης. Εκτός από χώρο διαμονής, αποτελούσαν και στοιχεία ενός συγκεκριμένου τρόπου ψαρέματος ο οποίος περνούσε από πατέρα σε γιο. Εκεί έμεναν από το δεκαπενταύγουστο μέχρι το Πάσχα κάθε έτους (Εξαρχόπουλος, 1996).

Μοναδικές ήταν και οι βάρκες των Καναλιωτών ψαράδων. Δεν είχαν καρίνα και στο πίσω μέρος υπήρχε ένα κάθετο στον κορμό της δοκάρι, που υποβάσταζε τα κουπιά για να μην ακουμπούν στο βυθό της λίμνης, επειδή τα νερά της ήταν ρηχά. Τις βάρκες αυτές τις ονόμαζαν «καράβια» και έτσι τις αποκαλούν ακόμα και σήμερα στις ιστορίες τους.

Στις ιστορίες των Καναλιωτών ψαράδων γίνεται λόγος και για ένα στοιχειό, το στοιχειό της λίμνης. Η λίμνη Κάρλα συνδεόταν όπως φαίνεται, με επιφανειακά καρστικά έγκοιλα, που σε περίπτωση ανόδου της στάθμης της λειτουργούσαν ως καταβόθρες. Οι καταβόθρες αυτές άλλοτε έφραζαν και στεγανοποιούσαν τον πυθμένα της και άλλοτε άνοιγαν με αποτέλεσμα το νερό να κυκλοφορεί μέσα σε αυτές με ορμή, υπό πίεση και να κάνει δυνατό θόρυβο. Οι ψαράδες πίστευαν ότι ο θόρυβος οφείλεται στην παρουσία ενός στοιχειού, που έκανε πολλούς τότε να το φοβούνται αλλά και πολλούς να θέλουν να το γνωρίσουν και να αναμετρηθούν μαζί του. Με ιδιαίτερη γλαφυρότητα και ευαισθησία περιγράφονται τα συναισθήματα και οι αγωνίες στο έξοχο μυθιστόρημα της Μάγδας Έλληνα που έχει τον τίτλο «Το στοιχειό της λίμνης».

Μετά την αποξήρανση της Κάρλας, η οργάνωση της ζωής των κατοίκων έχασε το βασικό στοιχείο της, τη λίμνη. Αναγκάστηκε έτσι να προσαρμοστεί σε νέα πλαίσια. Οι ψαράδες έγιναν σταδιακά αγρότες και κτηνοτρόφοι, ή έφευγαν για τη θάλασσα. Τα παιδιά τους είτε προσαρμόστηκαν στην νέα κατάσταση είτε έφυγαν προς τα μεγάλα αστικά κέντρα αναζητώντας μια καλύτερη ζωή.

2.3 ΟΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΑΡΛΑΣ

Με την απελευθέρωση της Θεσσαλίας από τους Τούρκους το 1881 και την προσάρτησή της στο Ελληνικό κράτος, η κυβέρνηση άρχισε να μελετά τρόπους ανάπτυξης της ευρύτερης λεκάνης της Κάρλας. Έτσι ξεκίνησαν πολλές μελέτες με κεντρικό πυρήνα την εξυγίανση και την αξιοποίηση αυτής της περιοχής του Θεσσαλικού κάμπου.

Η πρώτη μελέτη έγινε το 1887 από Γάλλους ειδικούς και αναφερόταν σε αντιπλημμυρικά έργα προστασίας της Θεσσαλικής πεδιάδας. Τα έτη 1911-13 ο Ιταλός μηχανικός J. Mobile εκπόνησε μελέτη προστασίας της περιοχής από τις πλημμύρες του Πηνειού ποταμού, την αποξήρανση μέρους της λίμνης Κάρλας, με την διάνοιξη σήραγγας προς τον Παγασητικό και τη χρησιμοποίηση του υπολοίπου τμήματος της λίμνης για αντιπλημμυρική προστασία και για αρδευτικούς σκοπούς.

Οι μελέτες στην ευρύτερη περιοχή της Κάρλας συνεχίστηκαν και αργότερα από το μηχανικό J. Jackson το 1921, ο οποίος πρότεινε άλλη λύση και τελικά το 1931 το Υπουργείο Δημοσίων Έργων ανέθεσε στην Αγγλική εταιρία Boot & Son τη μελέτη και εκτέλεση των υδραυλικών και εξυγιαντικών έργων της Θεσσαλίας. Η εκτέλεση των έργων ξεκίνησε το 1936 και κράτησε μέχρι το 1952. Τη συνέχισή τους ανέλαβε η Ελληνική εταιρία ΑΓΕΚ μέχρι το 1961-63.

Τα έργα που εκτελέστηκαν και αφορούν την περιοχή της Κάρλας είναι:

- ✓ Προστατευτικά αναχώματα στον Πηνειό ποταμό, συγκεκριμένα της δυτικής όχθης του από την Λάρισα μέχρι την Γυρτώνη, με τα οποία αποκόπηκε η εισροή πλημμυρικών νερών του ποταμού στη λίμνη Κάρλα μέσω του ρέματος Ασμάκι (1934-40). Η τροφοδοσία της Κάρλας γινόταν πλέον μόνο από τη φυσική λεκάνη απορροής της.
- ✓ Εκτροπή μέσω συλλεκτήρα (Σ1) στον Πηνειό ποταμό του ρέματος της Ν. Λεύκης μαζί με τα νερά του χειμάρρου της Ν. Καρυάς και του συλλεκτήρα Ι₈, οι οποίοι βρίσκονταν στο δυτικό τμήμα της λεκάνης απορροής της Κάρλας και κατέληγαν σε αυτήν (1940-49).

- ✓ Κατασκευή συλλεκτήρα (Σ5) των ορεινών υδάτων του βορειοανατολικού τμήματος και διοχέτευσή τους στον Πηνειό ποταμό (1947-50).
- ✓ Στραγγιστικό δίκτυο Παρακαρλίων εκτάσεων (1948-58). Το δίκτυο αυτό περιλαμβάνει στραγγιστικά έργα των περιοχών των κοινοτήτων Ριζομύλου, Αρμενίου, Σωτηρίου, Αχίλλειου, Λοφίσκου, Μελίσσας, Μελίας μέχρι τον Πλατύκαμπο. Με τα έργα αυτά επιδιώχτηκε η διευθέτηση των πεδινών υδάτων της περιοχής και η ταχύτερη στράγγιση των αντίστοιχων περιοχών.
- ✓ Σήραγγα της Κάρλας προς τον Παγασητικό (1957-60). Κατασκευάστηκε στο νοτιοδυτικό περιθώριο της τέως λίμνης Κάρλας με σκοπό την αποξήρανση της, σε υψόμετρο 38,23m (υψόμετρο εισόδου) το οποίο αποτελεί το χαμηλότερο σημείο από το βαθύτερο της λεκάνης της Κάρλας (43,8m). Η κατασκευή της ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 1957 και τελείωσε τον Οκτώβριο του 1960, οπότε άρχισε και η εκκένωση της λίμνης, για να ολοκληρωθεί το 1962 (ΕΚΒΥ 1995). Το μήκος της σήραγγας είναι 10,12 km και η διατομή της 4,35m², πεταλοειδούς σχήματος. Έχει έξοδο τον Παγασητικό κόλπο προς τον οποίο εκτείνεται με κλίση 1,5‰. Η παροχετευτική της ικανότητα είναι 8,5 m³/sec και θεωρείται μικρή για την απομάκρυνση της απορροής της υδρολογικής λεκάνης της Κάρλας (Μπαμπατζιμόπουλος, Αντωνόπουλος 1990).
- ✓ Κύριο αποχετευτικό-αποστραγγιστικό δίκτυο (1961-63). Πρόκειται για τις τάφρους 1T, 2T, 3T, 4T, 5T, 6T, 7T, 8T και 9T με τις οποίες αποστραγγίζεται η υπόλοιπη λεκάνη προς τη σήραγγα της Κάρλας.

Στα έργα του αρχικού σχεδιασμού υπήρχαν και άλλα, τα οποία τελικά εκτελέστηκαν, μεταξύ των οποίων και η κατασκευή ενός ταμιευτήρα 35.000 στρεμμάτων περίπου για αντιπλημμυρική προστασία και άρδευση. Η παράλειψη της κατασκευής ενός τέτοιου ταμιευτήρα τελικά απέβη μοιραία για την περιοχή, με αποτέλεσμα σήμερα να συζητείται και να προτείνεται η κατασκευή του ως αναγκαίου εξυγιαντικού και αναρυθμιστικού έργου.

3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η τέως λίμνη Κάρλα, όπως αναφέρθηκε, κάλυπτε το νότιο μέρος της λεκάνης που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας ή νοτιοανατολικά της Λάρισας και βορειοδυτικά του Βόλου. Τα όρια της καθορίζονταν στα βορειοανατολικά και ανατολικά από τους πρόποδες του όρου Μαυροβουνίου, στα νοτιοανατολικά και νότια από τους πρόποδες του όρους Πηλίου και Μεγαβουνίου αντίστοιχα, στα δυτικά από τη λοφώδη ζώνη της κεντρικής Θεσσαλίας, ενώ δεν υπήρχαν σαφή όρια στα βόρεια, όπου επικοινωνούσε με τον Πηνειό.

Διοικητικά ανήκει σε δύο νομούς, στο νομό Λάρισας και στο νομό Μαγνησίας. Συγκεκριμένα η λίμνη καταλάμβανε έκταση που ανήκει σήμερα στις παρακάτω κτηματικές περιοχές των κοινοτήτων του νομού Λάρισας: Καλαμάκι, Αμυγδαλή, Καστρί, Νεοχώρι, Δήμητρα, Νάματα, Γλαύκη, Μόδεστος, Μέλισσα, Λοφίσκος, Αχίλλειο, Νίκη, Σωτήριο, Αρμένιο και Μέγα Μοναστήρι καθώς επίσης και στις κοινότητες του νομού Μαγνησίας: Κανάλια, Στεφανοβίκειο, Ριζόμυλος, Άγιος Γεώργιος και στο δήμο Βελεστίνου.

3.1 Η ΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ

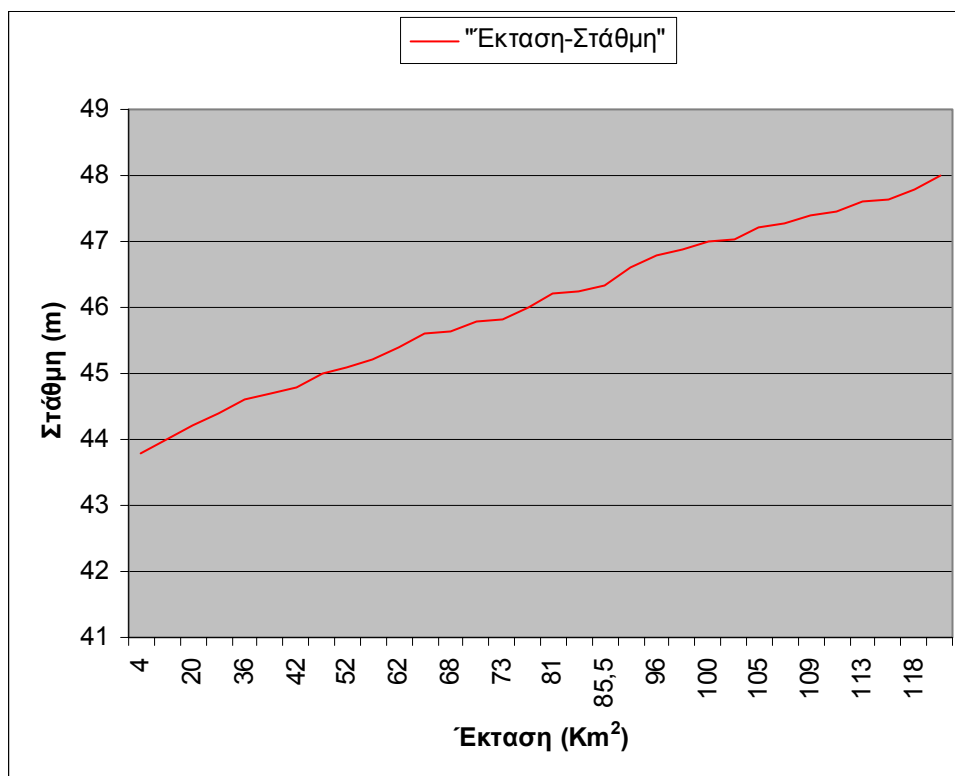
Οι περισσότερες αναφορές για την έκταση της λίμνης Κάρλας σχετίζονται με τον τελευταίο αιώνα. Σύμφωνα με αυτές η λίμνη δεν είχε σταθερή στάθμη και επομένως έκταση. Κατά καιρούς η έκτασή της μεταβάλλονταν, επηρεαζόμενη κυρίως από τα βροχομετρικά ύψη, οι οποίες καθόριζαν τις εισροές και τις εκροές. (Ανανιάδης, 1956).

Στον παρακάτω πίνακα 3.1, καθώς επίσης και στο σχήμα 3.1, δίνεται η στάθμη του νερού της λίμνης και η αντίστοιχη καλυπτόμενη έκταση για την περίοδο 1907-1953 (Ανανιάδης, 1956). Από το σχήμα 3.1 φαίνεται μια γραμμική μεταβολή της έκτασης της λίμνης με τη στάθμη της, γεγονός που δηλώνει την ομαλή επιφάνεια του αναγλύφου, πάνω στο οποίο αναπτύσσεται η υδάτινη επιφάνεια της λίμνης.

Πίνακας 3.1 Διακύμανση της ελεύθερης επιφάνειας της λίμνης και αντίστοιχη έκταση αυτής

ΕΤΟΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ (m)		ΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ Km ²	
	<u>Μέγιστο</u>	<u>Ελάχιστο</u>	<u>Μέγιστη</u>	<u>Ελάχιστη</u>
1907-1910	45,80	44,72	72,5	44,7
1921	50,10	-	179	-
1931	49,18	48,28	152	128,9
1932	49,13	-	150,1	-
1949	45,80	45,13	72,5	54,4
1950	45,05	44,71	68,3	41,3
1951	45,81	44,98	72,8	50,8
1952	46,34	45,45	85,5	63,0
1953	45,85	45,48	74,8	63,3

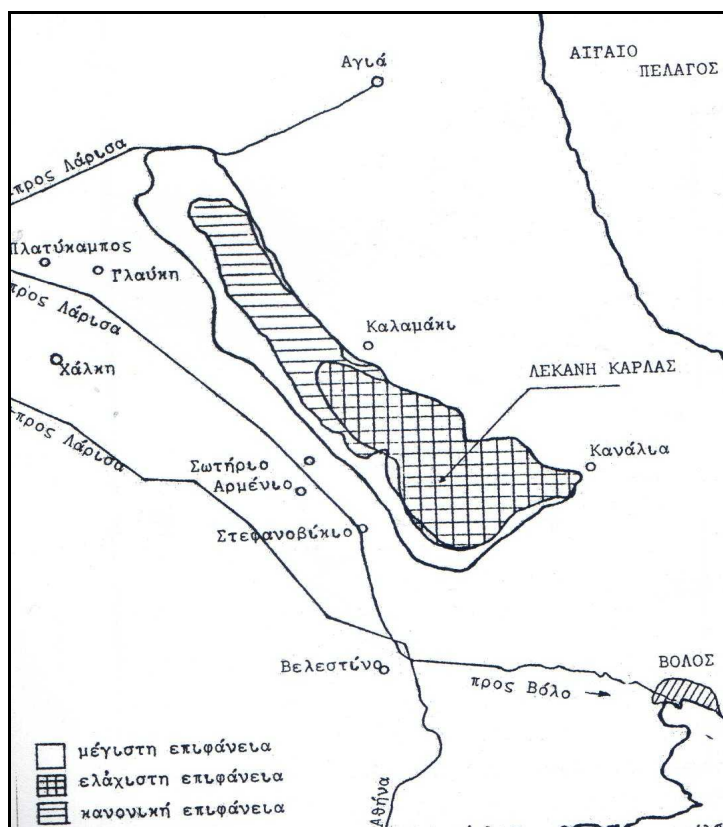
Από τον πίνακα αυτόν φαίνεται ότι το επίπεδο της λίμνης ήταν υψηλότερο το 1921, όταν η στάθμη έφτασε στα +50,1m και η έκτασή της τα 179Km². Επίσης, σύμφωνα με τον Ανανιάδη, η λίμνη Κάρλα στέγνωσε τελείως το 1908 (Ανανιάδης, 1956).



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα που δείχνει τη σχέση μεταξύ της στάθμης και της έκτασης της λίμνης Κάρλας, (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 1994, Μπαμπατζιμόπουλος και Αντωνόπουλος, 1990).

Το ζήτημα αυτό είχε απασχολήσει στο παρελθόν πολλούς ερευνητές. Συγκεκριμένα, η σχέση μεταξύ της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας και της έκτασης της λίμνης προσδιορίστηκε αρχικά από τις μελέτες J. Jackson το 1921 και Macdonald το 1932 (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 1994). Σύμφωνα με τις μελέτες αυτές η σχέση που ίσχυε μεταξύ της στάθμης και της έκτασης της λίμνης φαίνεται στο σχήμα 3.2 καθώς επίσης και στον πίνακα 3.2.

Τελευταία εφαρμόστηκαν νέες μέθοδοι με σκοπό τη διατύπωση μιας σχέσης μεταξύ της στάθμης και της έκτασης της λίμνης με βάση την τοπογραφία (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 1994) και προέκυψαν νέες πιο ακριβείς σχέσεις της στάθμης και της έκτασης της λίμνης (πίνακας 3.3, σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.2 Διακύμανση της επιφάνειας της λίμνης Κάρλας

Πίνακας 3.2 Η στάθμη και η έκταση της λίμνης Κάρλας όπως προσδιορίστηκε αρχικά από τις μελέτες J. Jackson (1921) και Macdonald (1932), (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 1994).

ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΕΚΤΑΣΗ km ²
43,8	4,0
44	14,0
44,2	20,0
44,4	28,0
46,6	36,0
44,71	40,0
44,80	42,0
45,00	50,0
45,08	52,0
45,20	55,0
45,40	62,0
45,60	66,0

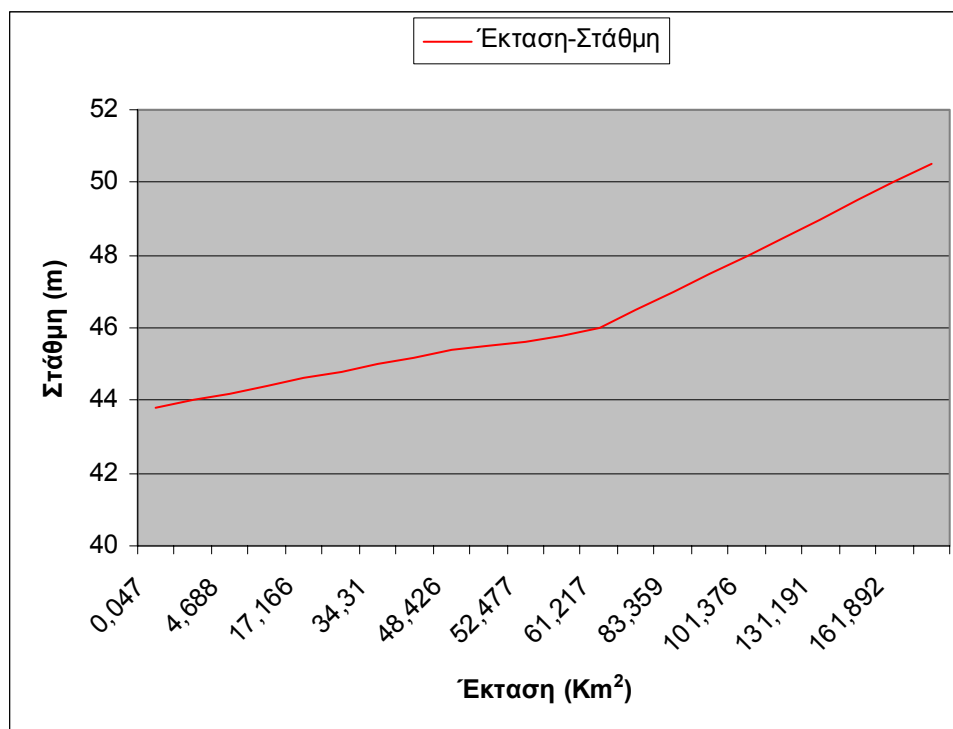
45,65	68,0
45,80	69,0
45,82	73,0
46,00	77,5
46,20	81,0
46,24	83,0
46,34	85,5
46,60	91,0
46,80	96,0
46,89	99,0
47,00	100,0
47,04	102,0
47,20	105,0
47,27	107,5
47,40	109,0
47,46	110,7
47,60	113,0
47,65	115,0
47,80	118,0
48,00	122,0

Πίνακας 3.3. Η στάθμη και η έκταση της λίμνης Κάρλας όπως προέκυψε από νεώτερες πιο ακριβείς σχέσεις. (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 1994).

ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ km ²
43,8	0,047
44,0	1,252
44,2	4,688
44,4	10,206
44,6	17,166

44,8	25,333
45,0	34,310
45,2	42,572
45,4	48,426
45,5	50,447
45,6	52,477
45,8	56,796
46,0	61,217
46,5	71,411
47,0	83,359
47,5	91,694
48,0	101,376
48,5	118,026
49,0	131,191
49,5	146,886
50,0	161,892
50,5	173,159

Από το σχήμα 3.3 φαίνεται να διαταράσσεται η γραμμικότητα στη σχέση έκταση λεκάνης / στάθμης στο απόλυτο υψόμετρο των 46m. Στο υψόμετρο αυτό η επιφάνεια της λίμνης συναντά το κρυσταλλοσχιστώδες – ασβεστολιθικό υπόβαθρο, με έντονα πραινά που περιορίζουν την επέκταση της λίμνης προς τα ανατολικά.



Σχήμα 3.3 Διάγραμμα που δείχνει την σχέση μεταξύ της στάθμης και της έκτασης της λίμνης Κάρλας σύμφωνα με νεώτερα στοιχεία (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 1994).

Στοιχεία για την έκταση της λίμνης σε παλαιότερες εποχές υπάρχουν από την βιβλιογραφία, κυρίως από αρχαιολογικές αναφορές με βάση ανασκαφές που έγιναν στην περιοχή για τον εντοπισμό οικισμών της προϊστορικής και ιστορικής περιόδου.

Σύμφωνα με τις αναφορές αυτές η λίμνη Κάρλα δεν είχε σταθερή στάθμη (Αποστολοπούλου-Κακαβογιάννη, 1979). Περισσότερες πληροφορίες αναφέρονται για τη Νεολιθική και την μετέπειτα εποχή. Δεν υπάρχουν σημαντικές αναφορές για την Παλαιολιθική και Μεσολιθική εποχή ώστε να εκτιμηθεί η έκταση της λίμνης σε εκείνες τις περιόδους. Οι έρευνες όμως συνεχίζονται, γιατί πιστεύεται ότι θα βρεθούν στοιχεία στην περιοχή αυτή.

Στην περιοχή της Κάρλας εργάστηκαν αρκετοί αρχαιολόγοι. Σημαντική όμως θεωρείται η έρευνα του Grundmann στη Νεολιθική Θεσσαλία κατά τη δεκαετία του 1930, στην οποία ο ίδιος επεσήμανε πολλούς νέους προϊστορικούς οικισμούς.

Χαρακτηριστικό στο χάρτη του Grundmann είναι ότι δίνει τα όρια της προϊστορικής λίμνης και συγκεκριμένα τα όρια της λίμνης κατά την 4^η χιλιετία.

Τα όρια αυτά είναι η ισοϋψής των 64m, άποψη την οποία πρώτος αυτός διατύπωσε, (Αποστολοπούλου-Κακαβογιάννη, 1979).

Επίσης σύμφωνα με τον ίδιο η Χατζημισιώτικη Μαγούλα, την οποία και μελέτησε εκτενώς, ήταν κατά τη Νεολιθική εποχή νησί, όπως και μέχρι πριν από την αποξήρανση της λίμνης. Το ίδιο υποστήριξε και για την Πέτρα κατά τη Νεολιθική εποχή, κάτι που επιβεβαίωσαν αργότερα και άλλοι αρχαιολόγοι.

Από μεταγενέστερες έρευνες στην περιοχή προέκυψε, ότι το όριο της στάθμης της λίμνης στα 64m δεν ήταν σταθερό κατά τους προϊστορικούς χρόνους. Συγκεκριμένα στην περιοχή της Πέτρας βρέθηκε τείχος που περιβάλλει τον ψηλότερο λόφο και έχει πάχος 5m και μήκος 4km, και ανήκει στη Μυκηναϊκή εποχή, γεγονός που σημαίνει ότι η περιοχή κατοικήθηκε κατά την περίοδο αυτήν. Το ενδιαφέρον όμως είναι, ότι παρατηρήθηκε κίνηση νερού πάνω από τα μυκηναϊκά λείψανα και πάνω από την ισοϋψή των 64m, κάτι που δείχνει ότι είχαμε άνοδο της στάθμης της λίμνης κατά τα τέλη της Μυκηναϊκής περιόδου (Αποστολοπούλου-Κακαβογιάννη, 1979).

Επίσης ένα άλλο σημαντικό στοιχείο είναι ότι στη τοποθεσία Μαγούλα Καραμουρλάρ, που βρίσκεται 2 km ANA του Στεφανοβικείου, στην ισοϋψή των 50m, στη θέση Αλμύρες, εντοπίστηκε οικισμός της Αρχαιότερης Νεολιθικής και Μέσης Νεολιθικής εποχής. Αυτό σημαίνει ότι η περιοχή αυτή εκείνη τη χρονική περίοδο δεν καλυπτόταν με νερό και επομένως η στάθμη της λίμνης ήταν χαμηλότερα από τα +50m, (Αποστολοπούλου-Κακαβογιάννη, 1979).

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω οι αρχαιολόγοι καταλήγουν στην άποψη, ότι η λίμνη Κάρλα δεν είχε σταθερή στάθμη. Συγκεκριμένα συνέβη μια άνοδος της στάθμης της πάνω από τα +50m μετά τη Μέση Νεολιθική εποχή, μια κάθοδός της μετά τις αρχές της Πρώϊμης εποχής Χαλκού κάτω από τα +50m και νέα άνοδος της γύρω στα +64m κατά τα τέλη της Μυκηναϊκής περιόδου. Η εξήγηση που δίνουν σε αυτές τις διακυμάνσεις, είναι ότι στο πέρασμα από τη Νεολιθική στην εποχή του Χαλκού, υπάρχει μια αλλαγή του κλίματος σε πιο θερμό και ξηρό. Η αλλαγή αυτή σύμφωνα πάντα με τους αρχαιολόγους, επέφερε την απόσυρση της ακτής της λίμνης χαμηλότερα από την ισοϋψή των 50m, (Αποστολοπούλου-Κακαβογιάννη, 1979).

Κάποια επιπλέον στοιχεία που προέκυψαν από πρόσφατες γεωλογικές έρευνες, αναφέρουν τον εντοπισμό μιας θέσης παράκτιων αποθέσεων στην

περιοχή του λόφου Πέτρα. Συγκεκριμένα βρέθηκε σε υψόμετρο +51m στην νοτιοδυτική πλευρά της Πέτρας, παράκτιος σχηματισμός, αποτελούμενος από άμμο με πολλά θραύσματα κοχυλιών. Από ραδιοχρονολογήσεις που έγιναν, προσδιορίστηκε ηλικία παλαιότερη από 30.000 χρόνια, (Caputo, 1994).

Κατά το Schneider εκτιμάται, ότι η λίμνη Κάρλα μερικές φορές κατά τη διάρκεια της μεταπαγετώδους περιόδου, θα πρέπει να έφτανε τα 20m βάθος (Bottema, 1979). Αυτό σύμφωνα με την τοπογραφία της περιοχής σημαίνει ότι η έκταση της λίμνης θα ήταν πολύ μεγάλη και προφανώς θα έφτανε στον Πηνειό ποταμό. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την κατανομή των Νεολιθικών οικισμών (Bottema, 1979), που αναφέρθηκε παραπάνω.

3.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η τέως λίμνη Κάρλα έχει ένα απιοειδές σχήμα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, το οποίο καθορίστηκε από τη μορφολογία της ευρύτερης λεκάνης. Η έκταση που καταλάμβανε, η στάθμη και το βάθος της δεν ήταν σταθερά. Τον τελευταίο αιώνα η μέση στάθμη της ήταν +47m και η αντίστοιχη μέση καλυπτόμενη έκταση 75km². Το μέσο μήκος της ήταν 15 km και το πλάτος της 6 km. Η κλίση του πυθμένα της λίμνης ήταν πολύ μικρή, ενώ το μέγιστο βάθος έως το 1930 ήταν 4-6 m, (Ανανιάδης, 1956). Κατείχε, όπως είναι φυσικό, το βαθύτερο τμήμα της ευρύτερης λεκάνης της.

Η λεκάνη απορροής της Κάρλας είναι αρκετά μεγάλη. Συγκεκριμένα πριν από την κατασκευή των υδραυλικών έργων που αναφέρθηκαν είχε έκταση 1700 km² περίπου. Σήμερα το εμβαδόν της έχει περιοριστεί στα 1172 km² (σχήμα 3.4) περίπου λόγω των έργων εκτροπής χειμάρρων της προς τον Πηνειό ποταμό και αποτελεί το κομμάτι εκείνο της αρχικής της λεκάνης που αποστραγγίζεται μέσω της σήραγγας προς τον Παγασητικό κόλπο. Το υπόλοιπο τμήμα της, το δυτικό και βορειοδυτικό ορεινό, αποστραγγίζονται στον Πηνειό ποταμό μέσω των συλλεκτήριων – τάφρων Σ1 και Σ5.

Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης δημιουργείται μια υπολεκάνη η οποία επιφανειακά είναι κλειστή και η απορροή της καταλήγει στο χώρο του έλους του Καλοχωρίου. Η λεκάνη αυτή θεωρείται ότι αποτελεί τμήμα της λεκάνης απορροής της τέως λίμνης Κάρλας. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει μετά από μελέτη της γεωμορφολογίας και των λοιπών τοπογραφικών στοιχείων της

περιοχής. Τόσο υψομετρικά, όσο και υδρολογικά η υπολεκάνη του Καλοχωρίου συνδέεται με τον χαμηλότερα ευρισκόμενο πυθμένα της Κάρλας, προς τον οποίο και εκφορτίζεται μέσω καρστικών πηγών. Φυσικά, στις εκτιμήσεις του υδατικού δυναμικού της Κάρλας δεν πρέπει να αγνοηθεί η συμβολή της υπολεκάνης Καλοχωρίου.

Ο τεκτονικός χαρακτήρας της Κάρλας και η παρουσία ανθρακικών πετρωμάτων στην ευρύτερη λεκάνη απορροής, επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό της ως ημιπόλγης, δηλαδή μιας ανοιχτής, από την μία πλευρά, πόλγης. Βασικό χαρακτηριστικό της πόλγης είναι η έλλειψη φυσικού επιφανειακού συστήματος εκροής των υδάτων της από το χώρο της λεκάνης απορροής της. Όπως προκύπτει από τη μελέτη της τοπογραφίας της, ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και με την περίπτωση της Κάρλας, Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές μόνο η παρουσία καταβοθρών και η αποστράγγισή τους προς τη νοτιοανατολική πλευρά της επέτρεπε την εκφόρτιση του νερού απ' αυτήν. Κατά τον Κωνσταντινίδη, (1988). Η αποστράγγιση αυτή γινόταν προς τη θάλασσα, αλλά όπως προκύπτει από την ανάλυση της γεωλογικής δομής, που πραγματοποιήσαμε εμείς, ανατολικά της λίμνης κάτι τέτοιο φαίνεται αδύνατο και ανέφικτο, καθώς παρεμβάλλονται στο χώρο αυτόν τα αδιαπέρατα πετρώματα του μεταμορφωμένου του μεταμορφωμένου της Πελαγονικής με αναθόλωση που παρουσιάζουν. Υπήρχε όμως και η επιφανειακή διέξοδος της λεκάνης προς τον Πηνειό ποταμό σε περιόδους κατά τις οποίες η εκφόρτιση ανατολικά ήταν μικρότερη από τη φόρτιση της ημιπόλγης.

Με βάση το ανάγλυφο η λεκάνη απορροής της Κάρλας και συγκεκριμένα η φυσική λεκάνη απορροής της, διακρίνεται σε επιμέρους ζώνες.

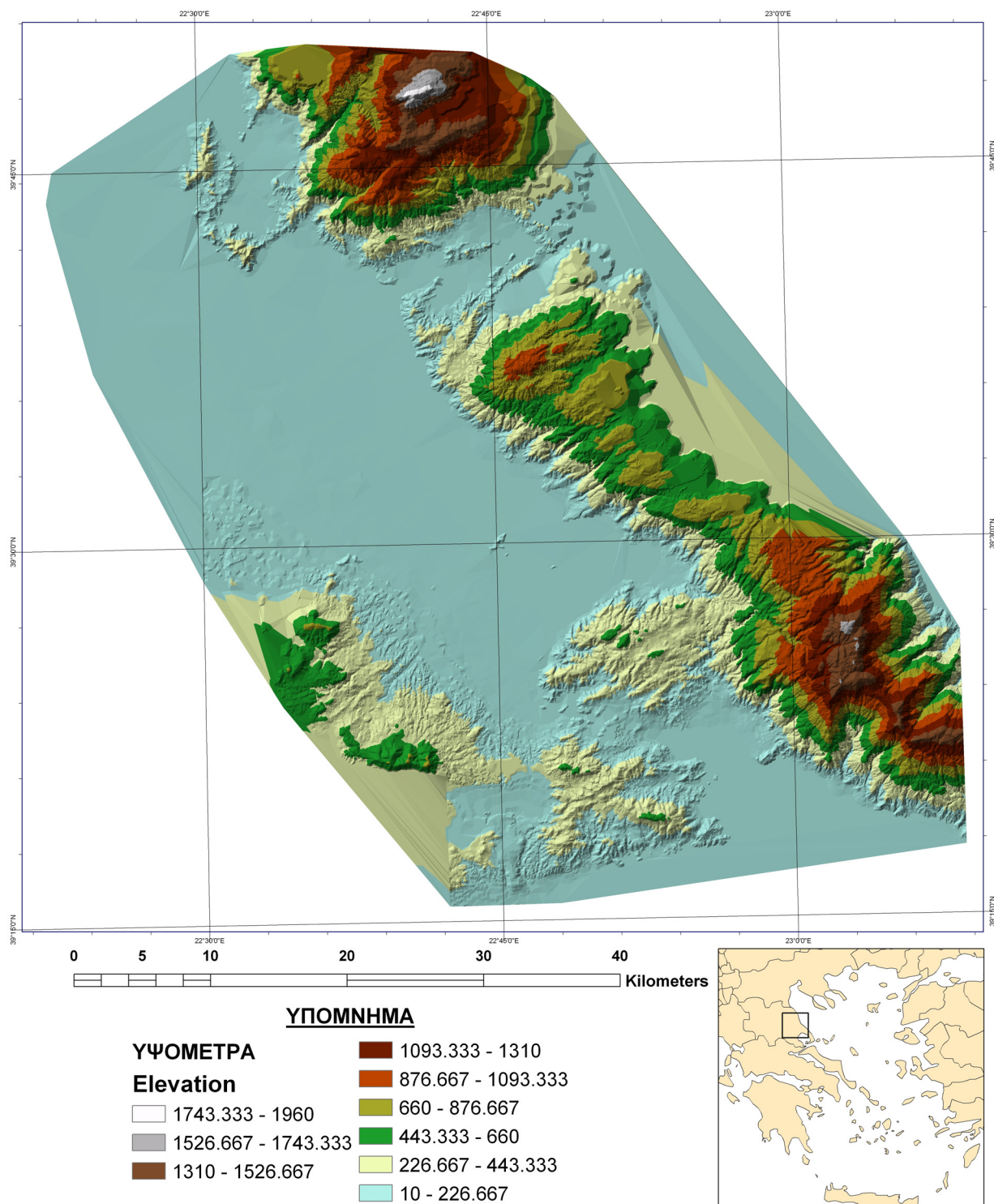
- ✓ Μια ζώνη με ορεινές και λοφώδεις περιοχές, από το υψόμετρο των 100 – 1978m, η οποία περιβάλλει το πεδινό τμήμα της ημιπόλγης και αντιστοιχεί στο 67% περίπου της συνολικής της έκτασης.
- ✓ Μια πεδινή ζώνη, μέχρι 100m υψόμετρο, που περιβάλλει τη λίμνη και καλύπτει το υπόλοιπο 33% της έκτασης της λεκάνης απορροής.

Η ορεινή ζώνη αναπτύσσεται κυρίως στο βορειοανατολικό, ανατολικό και νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής της Κάρλας. Αποτελείται από τα

πρόβουνα της Όσσας στα βορειοανατολικά, τον όγκο του Μαυροβουνίου στα ανατολικά, το Μεγαβούνι στα νότια και το Χαλκοδόνιο στα νοτιοδυτικά.

Η λοφώδης ζώνη αναπτύσσεται σχεδόν αποκλειστικά στα νοτιοδυτικά και δυτικά της λεκάνης απορροής. Αποτελείται από χαμηλούς λόφους νεογενών ιζημάτων.

Τέλος η πεδινή ζώνη αναπτύσσεται στο κέντρο της λεκάνης. Έχει επιμήκη ανάπτυξη και το βαθύτερο τμήμα της βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τομέα, όπου σχηματιζόταν και η τέως λίμνη Κάρλα.



Σχήμα 3.4 Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας

4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

4.1 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής της τέως λίμνης Κάρλας διακρίνουμε δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων τα οποία επηρεάζουν τους προαλπικούς, αλπικούς και μεταλπικούς σχηματισμούς της. Ένα με διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ το οποίο θεωρείται παλιότερο και ένα νεώτερο με διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ έως και Α – Δ (Δούτσος, 1979, Ψιλοβίκος, Μουντράκης, Παυλίδης, 1988).

Συγκεκριμένα το πρώτο σύστημα ρηγμάτων εντάσσεται σε μια γενικότερη τεκτονική κατάσταση που επικράτησε στην περιοχή πιθανόν από το ανώτερο Μειόκαινο μέχρι το κατώτερο Πλειστόκαινο και είναι σύμφωνο με τον ορογραφικό άξονα των Ελληνίδων οροσειρών. Σ' αυτό οφείλεται η δημιουργία του αρχικού τεκτονικού βυθίσματος της λεκάνης της Λάρισας.

Το δεύτερο σύστημα ρηγμάτων εντάσσεται σε μια νεώτερη κατάσταση εφελκυσμού που διαδέχθηκε μια φάση σταθερότητας στην περιοχή και η οποία ξεκίνησε κατά τη διάρκεια του μέσου-άνω Πλειστοκαίνου και είναι ενεργός ακόμη και σήμερα, όπως συμπεραίνεται από την πρόσφατη σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή (σεισμός στους Σοφάδες 1954, στο Βελεστίνο 1957, Βόλος 1980) (Caputo, 1994). Στη δράση της δεύτερης αυτής φάσης εφελκυσμού του Τεταρτογενούς αποδίδεται η δημιουργία των νεώτερων εξαρμάτων και βυθισμάτων που εμφανίζονται σχεδόν εγκάρσια στην αρχική επιμήκη διάταξη και τα οποία προκλήθηκαν με τα ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ ή ΑΒΑ-ΔΝΔ. Τα ρήγματα Α-Δ που εντοπίζονται ανάμεσα στην Όσσα και στο Πήλιο, όπως και τα ΒΒΔ-ΝΝΑ ανατολικά της λίμνης, οριοθετούν την επιμήκη διάταξη της Λίμνης.

4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Η λεκάνη της Κάρλας γεωτεκτονικά τοποθετείται στο χώρο της Πελαγονικής ζώνης (Μουντράκης, 1985).

Συνίσταται κυρίως από πετρώματα της Πελαγονικής, τα οποία αποτελούν το υπόβαθρο της λεκάνης και από ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς, τα οποία βρίσκονται ασύμφωνα τοποθετημένα πάνω στα προηγούμενα. Γενικά, τα πετρώματα του υποβάθρου εμφανίζονται κυρίως στα βορειοανατολικά, ανατολικά και νοτιοανατολικά της λεκάνης απορροής την οποία και οριοθετούν στις θέσεις αυτές. Τα νεογενή ιζήματα καλύπτουν ολόκληρο σχεδόν το δυτικό τμήμα της λεκάνης, ενώ τα τεταρτογενή εμφανίζονται στο κέντρο της.

4.2.1 Οι σχηματισμοί του υποβάθρου της λεκάνης

Το υπόβαθρο της λεκάνης της Κάρλας αποτελείται, όπως αναφέρθηκε, κυρίως από τα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης.

Η Πελαγονική ζώνη, εκτείνεται με διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ από τη Γιουγκοσλαβία προς τους Ελληνικούς ορεινούς όγκους του Βόρα, του Βέρνου, του Βέρμιου, των Πιερίων, του Ολύμπου, της Όσσας, του Πηλίου και της Βόρειας Εύβοιας (Brun, 1956). Στη συνέχεια κάμπτεται προς τις Σποράδες και περιλαμβάνει τα νησιά Σκιάθος, Σκόπελος, Σκύρος ενώ η πιθανή της προέκταση στο Αιγαίο είναι τα νησιά Οινούσες από όπου η ζώνη περνάει στη Βόρεια Μικρά Ασία (Μουντράκης, 1985).

Από τη μελέτη των γεωλογικών χαρτών 1:50.000 του ΙΓΜΕ (φύλλα Λάρισα, Πλατύκαμπος, Ραψάνη, Γόννοι, Αγιά, Βόλος, Βελεστίνο, Φάρσαλα) στην περιοχή αυτή φαίνεται ότι η Πελαγονική ζώνη συγκροτείται από τους παρακάτω γεωλογικούς σχηματισμούς:

- Το κρυσταλλικό υπόβαθρο ηλικίας Παλαιοζωϊκής και προπαλαιοζωϊκής
- Τα μετακλαστικά ιζήματα ηλικίας Περμίου – κατώτερου Τριαδικού
- Τα ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού – Ιουρασικού
- Τους οφειόλιθους και τα συνοδά ιζήματα
- Τα επικλυσιογενή ιζήματα μέσου – άνω Κρητιδικού

Ειδικότερα τα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης εμφανίζονται κυρίως στο ανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης το οποίο αποτελεί και την ορεινή περιοχή. Όπως φαίνεται και στο γεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης της Κάρλας, στον ανατολικό ορεινό βραχίονα, ο οποίος

αποτελείται από ένα τμήμα της Όσσας, από το Μαυροβούνιο και το Πήλιο εμφανίζονται με διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ οι παρακάτω σχηματισμοί:

Στην περιοχή της Όσσας υπάρχουν πετρώματα του κρυσταλλικού υποβάθρου του Παλαιοζωϊκού, όπως γνεύσιοι, γνευσιοσχιστόλιθοι και αμφιβολίτες και πάνω από αυτά ένα σύστημα από πολυφασικά μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι και αμφιβολίτες του νεοπαλαιοζωϊκού – κατώτερου μέσου Τριαδικού, που ανήκουν στα μετακλαστικά ιζήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα πετρώματα αυτά συνεχίζονται μέχρι το μισό περίπου τμήμα του Μαυροβουνίου.

Επίσης στην περιοχή της Όσσας, στη Σπηλιά, η οποία συμπεριλαμβάνεται στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης απορροής της Κάρλας, εμφανίζονται πετρώματα που ανήκουν στην <<Ενότητα Όσσας>>, η οποία αποτελεί μια ξεχωριστή γεωλογική μονάδα (Μουντράκης, 1985). Τα πετρώματα αυτά ανήκουν σε δύο διαφορετικούς ορίζοντες: έναν κατώτερο από ανακρυσταλλωμένα ανθρακικά πετρώματα, ο οποίος προς τα επάνω περνά κανονικά σε επιζωνικά μεταμορφωμένα ιζήματα φλύσχη και έναν ανώτερο ορίζοντα επωθημένο στον πρώτο, που ονομάσθηκε <<Σειρά Αμπελάκια>> (Μουντράκης, 1985), και συνίσταται από μετα – βασικά πετρώματα, πρασινίτες, γλαυκοφανιτικούς σχιστόλιθους και παρεμβολές μαρμάρων. Ο κατώτερος ορίζοντας ανήκει στη ζώνη Γαβρόβου Τριπόλεως και είναι ηλικίας Ιουρασικού – Ηωκαίνου, ενώ ο δεύτερος, πιθανόν, αποτελεί την μεταμορφωμένη βάση του επωθημένου Πελαγονικού καλύμματος (Μουντράκης, 1985).

Στη συνέχεια, σχεδόν εξ' ολοκλήρου, το νότιο τμήμα του Μαυροβουνίου καταλαμβάνουν μάρμαρα με πάχος που, κατά θέσεις υπερβαίνουν τα 800m. Αποτελούν την κανονική προς τα πάνω εξέλιξη των νεοπαλαιοζωϊκών – κατωμεσοτριάδικών πετρωμάτων. Πάνω από αυτά βρίσκονται επικλυσιογενώς τοποθετημένοι γνευσιοσχιστόλιθοι – σχιστόλιθοι ηλικίας ανώτερου Ιουρασικού.

Σε ολόκληρη την παραπάνω περιοχή εμφανίζονται, κατά θέσεις, σερπεντινίτες και μεταμορφωμένα οφειολιθικά πετρώματα μαζί με τα συνοδά τους ιζήματα, τα οποία προέρχονται κυρίως από την ωκεάνια περιοχή της ζώνης Αξιού (Μουντράκης, 1985). Γενικά τέτοιες οφειολιθικές μάζες απαντούν

και σε άλλα σημεία της λεκάνης της Κάρλας, επωθημένες πιθανόν και από την Υποπελαγονική ζώνη (Μουντράκης, 1985).

Σύμφωνα με τη χαρτογράφηση που έχει κάνει το ΙΓΜΕ στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Κάρλας, οι παραπάνω σχηματισμοί αποτελούν το προανωκρητιδικό έως Ηώκαινο-ελληνικό τεκτονικό κάλυμμα, το οποίο αποτελείται από πάνω προς τα κάτω από σερπεντινίτες, μεταμορφωμένα οφειολιθικά πετρώματα (αμφιβολίτες, πρασινίτες) και μεταμορφωμένα, ιζηματογενούς προέλευσης, πετρώματα (σχιστόλιθοι μαρμαρυγιακοί – χλωριτικοί και χαλαζιακοί – μαρμαρυγιακή – χλωριτικοί).

Η σειρά των μαρμάρων και των σχιστολίθων συνεχίζει και σε όλο το νότιο – νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης της Κάρλας, στο ορεινό συγκρότημα του Μεγαβουνίου. Συγκεκριμένα στην περιοχή αυτή τα μάρμαρα εμφανίζονται έντονα τεκτονισμένα και πτυχωμένα, ενώ το μέγιστο πάχος τους είναι περίπου 800m.

Δυτικότερα στην περιοχή του Αγίου Γεωργίου, του Χαλκοδόνιου και του Μαυροβουνίου, εμφανίζονται τα νεώτερα πετρώματα της Πελαγονικής – ασβεστόλιθοι επικλυσιογενείς μέσο – παχυστρωματώδεις και κατά θέσεις άστρωτοι, τεφροί κρυσταλλικοί ηλικίας Κενομανίου – μέσου Σενωνίου (ΙΓΜΕ, γεωλογικός χάρτης 1:50.000, φύλο Βόλος). Το πάχος αυτών των ασβεστολίθων είναι περίπου 150m. Πάνω από τους ασβεστόλιθους βρίσκεται ο φλύσχος της πελαγονικής, ο οποίος στην περιοχή αυτή αποτελείται κυρίως από χονδρόκοκκους ψαμμίτες, πηλίτες και ενστρώσεις κλαστικών ασβεστολίθων. Στα κατώτερα μέλη του φλύσχη εμφανίζονται, με τη μορφή ολισθολίθων, βασικά και υπερβασικά πετρώματα (περιδοτίτες, σερπεντινίτες) καθώς και ασβεστόλιθοι, κερατόλιθοι και δολομίτες. Το μέγιστο πάχος του φλύσχη είναι περίπου 150m.

Το υπόβαθρο εμφανίζεται και εσωτερικότερα στη λεκάνη της Κάρλας με τη μορφή εξαρμάτων. Ειδικότερα τέτοια εξάρματα είναι στο κέντρο της λεκάνης, η Μαγούλα, η Πέτρα και το Σιφριτζάλι, ενώ εμφανίζονται και άλλα τα οποία χαρακτηρίζονται μαγούλες σε αρκετές θέσεις της λεκάνης. Η Μαγούλα, η Πέτρα και το Σιφριτζάλι αποτελούνται από τα πετρώματα που συγκροτούν ολόκληρο το νοτιοανατολικό και νότιο τμήμα. Συγκεκριμένα, στη Μαγούλα εμφανίζονται κυρίως μάρμαρα και στο νοτιοανατολικό τμήμα της έχουμε μια μικρή εμφάνιση των επωθημένων γνευσιακών – γνευσιοσχιστολιθικών

πετρωμάτων του ηωελληνικού καλύμματος. Στο Σιφριτζάλι έχουμε την παρουσία μόνο των μαρμάρων ενώ στην Πέτρα έχουμε την εμφάνιση μοσχοβιτικών σχιστολίθων – φυλλιτών, τα οποία αποτελούν την προς τα πάνω εξέλιξη των μαρμάρων του μέσω Τριαδικού – άνω Ιουρασικού.

4.2.2 Νεογενείς σχηματισμοί και τεταρτογενείς σχηματισμοί της λεκάνης

Οι νεογενείς σχηματισμοί της λεκάνης, σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, είναι κυρίως λιμναία ιζήματα της μεγάλης λίμνης της Θεσσαλίας που δημιουργήθηκε κατά το Νεογενές. Καταλαμβάνουν κυρίως το δυτικό νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης, όπου εμφανίζονται επιφανειακά και συνεχίζονται στο κέντρο της λεκάνης, υποκείμενα των τεταρτογενών ιζημάτων.

Τα παλαιότερα ιζήματα είναι λιμναίες έως υφάλμυρες αποθέσεις του Μειοκαίνου. Αποτελούνται από μάργες τεφρές έως υπόλευκες σε στρώματα πάχους 5 – 20cm και μερικές φορές αργιλούχες. Κατά θέσεις και κυρίως στα ανώτερα στρώματα των μαργών εμφανίζονται σκληρές μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι με φυτικά λείψανα, σε στρώματα πάχους μέχρι και 15m.

Στα ανώτερα στρώματα των νεογενών αποθέσεων εμφανίζονται χερσοποτάμιοι σχηματισμοί. Φαίνεται ότι αποτελούν τη βαθμιαία προς τα επάνω μετάβαση των υποκείμενων λιμναίων μαργαϊκών μειοκαινικών αποθέσεων της περιοχής. Για τους σχηματισμούς αυτούς στους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ δίνεται πόντιο-πλειο-πλειστοκαινική ηλικία. Πρόκειται προφανώς για σχηματισμούς ερυθροστρωμάτων που αποτέθηκαν σε μια περίοδο υποχώρησης των υδάτων της αρχικής λίμνης της Θεσσαλίας (Ψιλοβίκος, 1991) και χέρσευσης της περιοχής στο τέλος του Νεογενούς και στις αρχές του Τεταρτογενούς. Η άποψη αυτή επιβεβαιώνεται και από την ανεύρεση στα αργιλορυχεία της περιοχής Σέσκλου από τον Ν. Συμεωνίδη, πλούσιας πανίδας σπονδυλωτών ηλικίας Βιλαφραγκίου (Γεωλογικοί χάρτες ΙΓΜΕ, φύλλο Βελεστίνο 1:50.000). Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται κυρίως από ρυθμικές αποθέσεις αργίλων, άμμων και κροκαλών, ερυθροφαίου χρώματος. Το μέγεθος των κροκαλών κατά θέσεις φτάνει τα 10 εκατοστά και σε μερικές περιπτώσεις και το 1 μέτρο. Το ενδιάμεσο υλικό είναι αργιλλοαμμώδες. Γενικά, χαρακτηρίζονται από χειμαρρικό χαρακτήρα

απόθεσης σε εναλλασσόμενο κλιματικό περιβάλλον, ενώ τα υλικά τους έχουν μικρή συνεκτικότητα. Εμφανίζουν μέγιστο πάχος περίπου 100m (ορατό πάχος).

Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από λιμναία ιζήματα της τέως λίμνης Κάρλας στο κέντρο και αποθέσεις αλλουβιακές στις εξόδους των χειμάρρων προς την περιλίμνια ζώνη χαμηλού αναγλύφου.

Συγκεκριμένα οι τεταρτογενείς αποθέσεις αποτελούνται από:

- ✓ Αδρομερείς χαλαρές αποθέσεις. Είναι κυρίως πλευρικά κορήματα, αλλουβιακά ριπίδια και κώνοι κορημάτων. Συνίστανται από αδρομερή υλικά, στα οποία επικρατούν ασβεστολιθικές κροκάλες και ερυθρογή. Αναπτύσσονται είτε μέσα σε χαραδροφοιλάδες, είτε στην έξοδο των χειμάρρων προς την περιλίμνια ζώνη. Τα υλικά αυτά δεν φτάνουν στο κέντρο της λεκάνης, ενώ γίνονται περισσότερο λεπτομερή (άμμος, ιλύς, άργιλος) στον παράκτιο χώρο της λίμνης.
- ✓ Αλλουβιακές αποθέσεις. Στο δυτικό κυρίως τμήμα της λεκάνης πάνω από τα ερυθροστρώματα. Πρόκειται για εκτεταμένα αλλουβιακά πεδία που σχηματίστηκαν σε μια περιοχή χαμηλού αναγλύφου. Αποτελούνται κυρίως από λεπτόκοκκα υλικά (άμμος, ιλύς, άργιλος) τα οποία προέρχονται από την διάβρωση των νεογενών ιζημάτων που εμφανίζονται στα ανάντη, αλλά πιθανόν και από υλικά που μεταφέρονταν εκεί κατά το παρελθόν από τις πλημμυρικές ροές του Πηνειού ποταμού προς τη λεκάνη της Κάρλας.
- ✓ Παράκτιες και λιμναίες αποθέσεις της Κάρλας. Τα παράκτια ιζήματα, αποτελούνται κυρίως από χονδροκλαστικό υλικό (κροκάλες και άμμος), ενώ εσωτερικότερα το υλικό γίνεται πιο λεπτόκοκκο (ιλύς και άργιλος).

Η ιζηματογένεση στην περιοχή αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι ξεκίνησε από το ανώτερο Μειόκαινο και συνεχίστηκε στο Τεταρτογενές, με τα πλειστοκαινικά και ολοκαινικά ιζήματα, μέχρι σήμερα. Αυτό πιστεύεται ότι ισχύει για τα κεντρικά βυθίσματα τα οποία σχηματίστηκαν κατά μήκος της Πελαγονικής γεωτεκτονικής ζώνης (λεκάνη Φλώρινας - Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας) (Ψιλοβίκος, Μουντράκης, Παυλίδης, 1989). Η γεωλογική δομή

των ιζημάτων και του υποβάθρου της ευρύτερης περιοχής έρευνας δίνεται σχηματικά στις παράλληλες γεωλογικές τομές ΑΑ΄ έως και ΔΔ΄ που κατασκευάσαμε από τους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. και του Caruto (1994) στις θέσεις που απεικονίζονται στο γεωλογικό χάρτη.

4.3 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η παλαιογεωγραφική εξέλιξη της Θεσσαλικής πεδιάδος αρχίζει από το ανώτερο Τριαδικό οπότε και έχει ήδη διαμορφωθεί στον Ελλαδικό χώρο, το μεγάλο Πινδικό γεωσύγκλινο με αποθέσεις Πελαγικής φάσης, ενώ εκατέρωθεν αυτού, επικρατούν συνθήκες υφαλογόνου (recifal), όπου αποτίθεντο ιζήματα νηριτικής φάσης. Στη ζώνη μετάβασης από το Πινδικό γεωσύγκλινο προς την Πελαγονική ράχη, αποτίθενται ιζήματα μεταβατικά της μία φάσης προς την άλλη φάση (Υποπελαγονική ζώνη), (Μουντράκης, 1985).

Κατά το Ιουρασικό, η ιζηματογένεση συνεχίζει να είναι πελαγική στην ζώνη της Πίνδου, και εκεί αποτίθενται ραδιολαρίτες και μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι (στροβιλώδη ρεύματα). Στην Υποπελαγονική ζώνη, στον τομέα της Θεσσαλίας, αποτίθενται επίσης ραδιολαρίτες και ασβεστόλιθοι, ενώ λαμβάνουν χώρα και οφειολιθικές εκχύσεις (Άνω Ιουρασικό).

Η Υποπελαγονική περιοχή συνεχώς ανέρχεται, ενώ κατά το τέλος του Ιουρασικού ή στην αρχή του Κρητιδικού εκδηλώνεται η πρώτη ορογενετική κίνηση, με αποτέλεσμα την δημιουργία του Πελαγονικού υβώματος.

Κατά το Τριτογενές διαμορφώνεται η Μεσοελληνική αύλακα, που αντιπροσωπεύει, ενδεχομένως, την περιοχή των διαρρήξεων από όπου εξήλθε το οφειολιθικό μάγμα, λόγω διαφορετικής τεκτονικής συμπεριφοράς της Πινδικής περιοχής και της Υποπελαγονικής

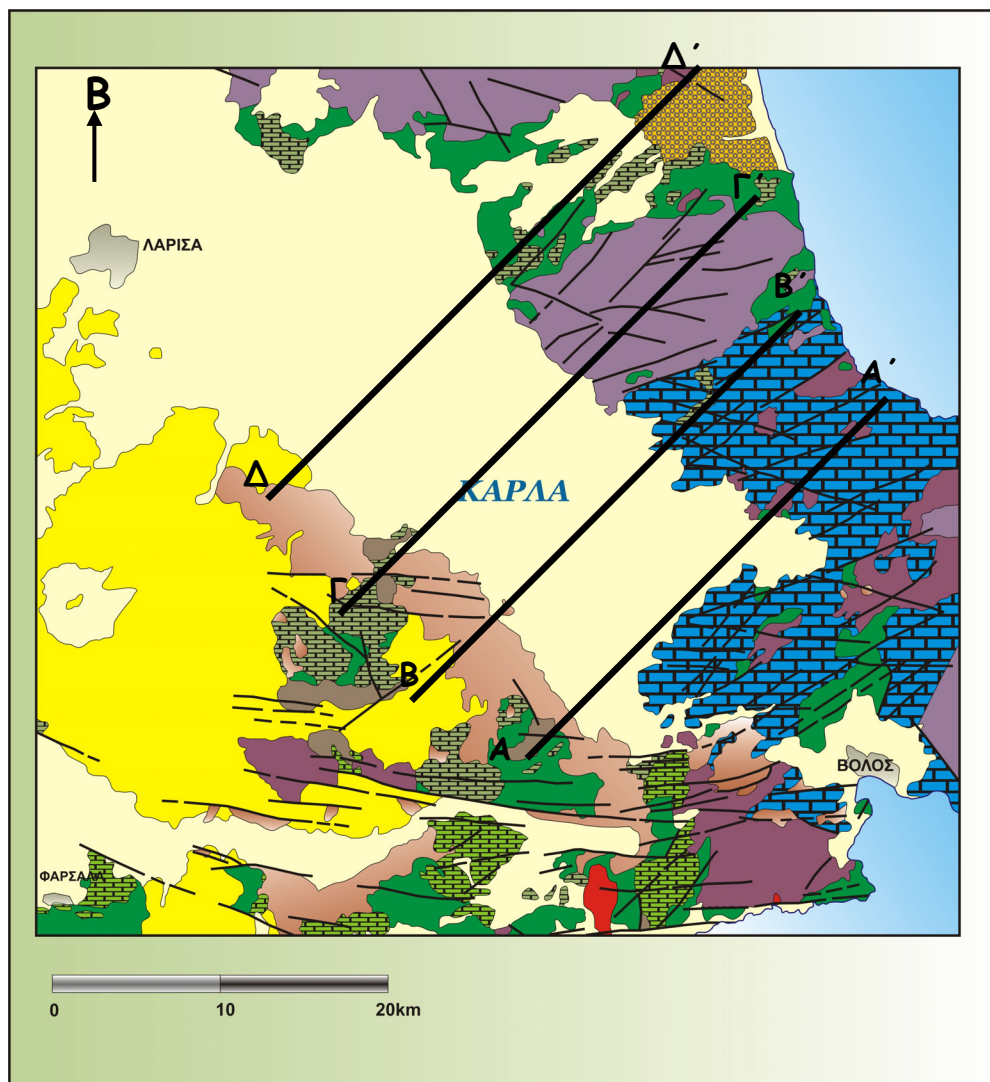
Στη συνέχεια, η ορογένεση μεταναστεύει προς ΝΔ, αναδύεται η Υποπελαγονική ζώνη, με αποτέλεσμα να υποστεί έντονη διάβρωση και να τροφοδοτήσει το Πινδικό γεωσύγκλινο με κλαστικό υλικό (μικρολατυποπαγή των εσωτερικών ζωνών). Οι κινήσεις αυτές ήταν κατακόρυφες.

Με την ανάδυση της Υποπελαγονικής ζώνης, ακολουθεί κατά το Κενομάνιο βαθμιαία καταβύθιση του Πελαγονικού υβώματος, κατά το οποίο το υποπελαγονικό ύβωμα τροφοδοτεί ακόμη με κλαστικό υλικό τους ασβεστόλιθους του Θυμιάματος και εκείνους του Κασσιδιάρη.

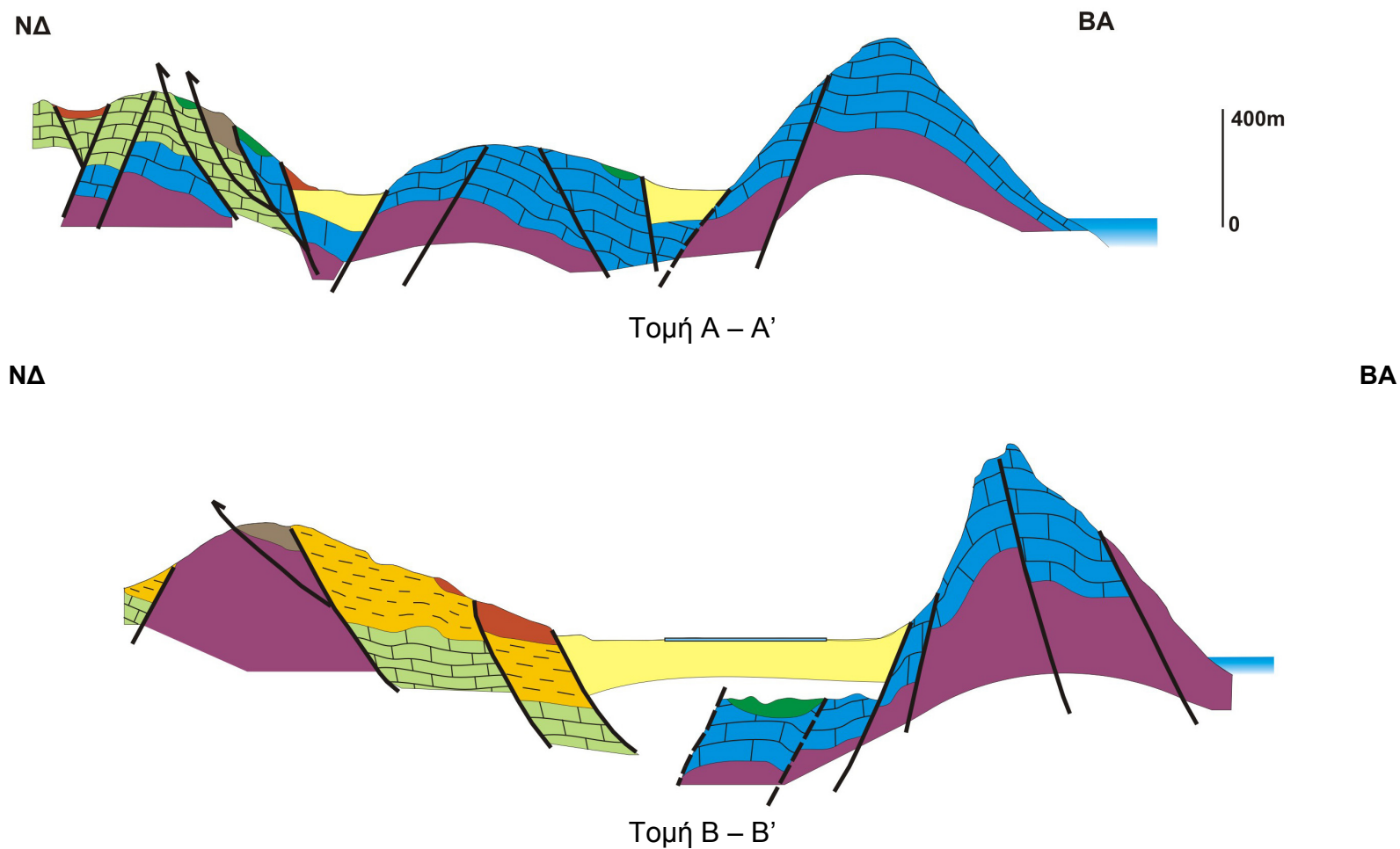
Η ορογενετική κίνηση επηρέασε μόνο την Πελαγονική και Υποπελαγονική ζώνη, και η χέρσευσης αυτών υπήρξε ιδιαίτερα αργή, με αποτέλεσμα τη δημιουργία έντονου αναγλύφου.

Η Πελαγονική ζώνη αναδύεται εκ νέου κατά το Μαιστρίχτιο και τροφοδοτεί το δυτικό περιθώριο του Πινδικού γεωσυγκλίνου (Υποπελαγονική περιοχή) με φλύσχη. Η ορογένεση μεταναστεύει προς ΔΝΔ. Κατά το Ηώκαινο αναδύεται η Υποπελαγονική ζώνη και τροφοδοτεί με τη σειρά της με κλαστικό υλικό τα ανώτερα στρώματα του φλύσχη της εσωτερικής Πίνδου (κροκαλοπαγή).

Με καταβύθιση των εξωτερικών ζωνών κατά το τέλος του Πλειοκαίνου δημιουργείται η λεκάνη της Λάρισας, ενώ η τάφος της Κάρλας δημιουργήθηκε με τις καταβυθίσεις που έλαβαν χώρα αργότερα κατά το Πλειστόκαινο.



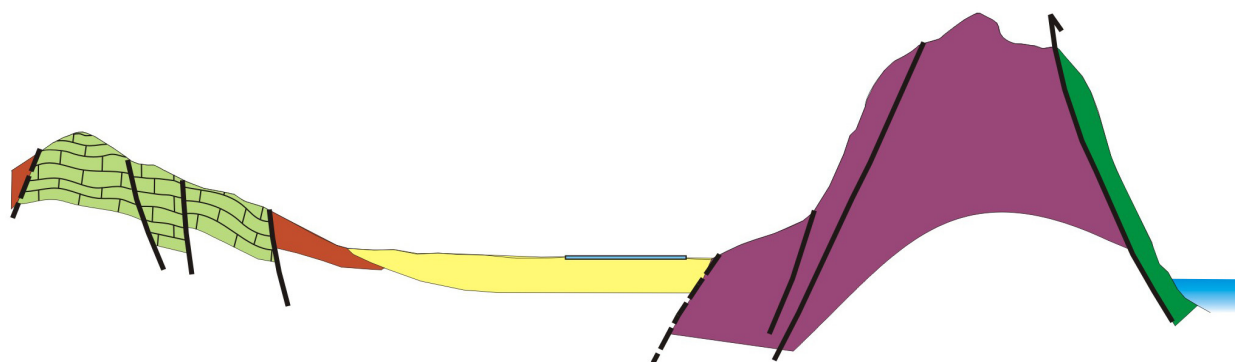
Σχήμα 4.1 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής και θέση κατασκευής των τομών



Σχήμα 4.2 Γεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας

ΝΔ

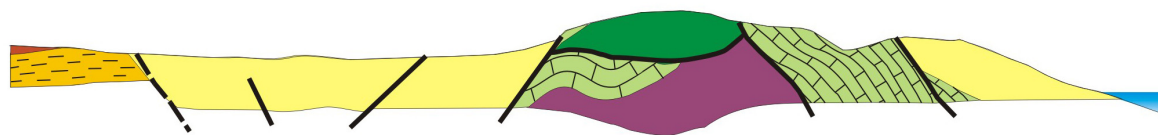
ΒΑ



Τομή Γ – Γ'

ΝΔ

ΒΑ



Τομή Δ – Δ'

Σχήμα 4.3 Γεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας

- Νεώτερα ιζήματα
Πλειόκαινο - Ολόκαινο
- Ερυθροστρώματα
Πλειόκαινο?
- Ποταμο-λιμναία ιζήματα
Πλειόκαινο
- Φλύσχης Πελαγονικής
- Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού
- Κρυσταλλικά μάρμαρα
της Πελαγονικής
- Μεταμορφωμένα
Πελαγονικής
- Οφειόλιθοι

5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής, είναι κατά κύριο λόγο, η λιθολογική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών, η κοκκομετρία των κοκκώδων πετρωμάτων, ο βαθμός διαγένεσής και ο τεκτονισμός τους. Η πυκνότητα και η μορφή του υδρογραφικού δικτύου που εμφανίζεται σε μια περιοχή εξαρτάται και ορίζεται από τη λιθογραφία των γεωλογικών σχηματισμών που απαντούν περιοχή.

5.2. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί υδρογεωλογικά διακρίνονται σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και πρακτικά αδιαπέρατους σχηματισμούς.

Η περιοχή έρευνας καλύπτεται από Ολοκαινικούς σχηματισμούς που δημιουργήθηκαν από τα φερτά υλικά που μετέφερε ο Πηνειός ποταμός, οι χείμαρροι και τα ρυάκια των ορεινών όγκων (Σχήμα 4.1).

Αποτελούνται κυρίως από λεπτόκοκκα υλικά όπως άμμους, αργίλους, ιλύ και λιγότερο από κροκαλολατύπες. Επειδή το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από σχιστόλιθους και γνεύσιους τα υδροφόρα στρώματα των προσχωσιγενών αυτών σχηματισμών, μπορούν να τροφοδοτηθούν άμεσα μόνο από την επιφάνεια, μέσω των βροχοπτώσεων ή μέσω των υπερχειλίσσεων του Πηνειού.

Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση της ποιότητας των ιζημάτων και των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης.

Όπως προκύπτει από τη μελέτη των γεωτρήσεων στην περιοχή αναπτύσσονται ασθενείς υπό πίεση υδροφορείς. Από τη διάβρωση των λεπτομερών νεογενών αποθέσεων που αναπτύσσονται στα νοτιοδυτικά περιθώρια της λίμνης, απετέθησαν στο πεδινό εσωτερικό της λεπτομερή υλικά λιμναίας κυρίως φάσης. Αυτό συνέβη εξαιτίας της βύθισης και του σχηματισμού της λίμνης κατά το Τεταρτογενές.

Το κύριο χαρακτηριστικό που παρατηρείται και εδώ όπως και σε τμήματα της πεδινής περιοχής είναι η παρουσία συχνών εναλλαγών διαπερατών αποθέσεων με ορίζοντες αργίλων και ιλύος. Στο νοτιοανατολικό τμήμα της πεδινής έκτασης, όπου πιθανόν και το βάθος της λίμνης να ήταν μεγαλύτερο, οι αδρομερείς αυτοί ορίζοντες ελαττώνονται σε πάχος και κυριαρχούν, με μερικές εξαιρέσεις, τα αργιλοϊλυώδη στρώματα (σχήμα 5.2, 5.3).

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των αλλουβίων της ευρύτερης περιοχής της Κάρλας είναι η ύπαρξη, κατά θέσεις, αλατούχων αργίλων οι οποίοι επιβαρύνουν τα υπόγεια νερά με χλωροϊόντα, ίσως μια εποχιακή επικοινωνία της περιοχής με το δίαυλο προς τη θάλασσα.

Στο τμήμα αυτό της πεδιάδας δύο είναι οι κύριες περιοχές όπου εντοπίζεται το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, οι περιοχές Χάλκης και Αρμενίου – Στεφανοβικίου – Ριζόμυλου. Στις περιοχές αυτές, οι οποίες βρίσκονται πλησιέστερα προς την πηγή τροφοδοσίας των αποθέσεων (κώνοι – κορήματα), συναντώνται υδροφόρα στρώματα που αποτελούνται από άμμους και χαλίκια εντός των αργιλικών αποθέσεων.

5.3 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για τη διερεύνηση της κίνησης του υπόγειου νερού και των διακυμάνσεων της πιεζομετρικής επιφάνειας στα υδροφόρα στρώματα της περιοχής έρευνας, συντάχθηκαν πιεζομετρικοί χάρτες ανά υδρολογικό εξάμηνο από Μάρτιο 1998 έως Σεπτέμβριο 2003 (σχήμα 5.5 – σχήμα 5.28). Για την κατασκευή των πιεζομετρικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο ο ψηφιοποιημένος τοπογραφικός χάρτης σε κλίμακα 1:200.000 και μετρήσεις στάθμης σε υδρογεωτρήσεις, η κατανομή των οποίων φαίνεται στα σχήματα 5.1 και 5.2. Οι μετρήσεις που πάρθηκαν αφορούν την περίοδο από Μάρτιο 1998 μέχρι και Σεπτέμβριο 2003.

Δεν μπορούσαμε να βρούμε και να χρησιμοποιήσουμε μετρήσεις υπόγειας στάθμης κατά το χρόνο λειτουργίας της λίμνης και αμέσως μετά την αποξήρανση αυτής. Παρόλα αυτά ο Σούλιος (1997) δίνει μερικές υδρογεωλογικές τομές των μεταβολών της υπόγειας στάθμης κατά τα έτη

1987 – 1997, οι οποίες όμως δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στην παρούσα διατριβή.

Εξετάζοντας τους πιεζομετρικούς χάρτες των περιόδων 1998 – 2003 διαπιστώνουμε μια σαφή γενική τάση τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφόρων από BBA και από Α προς τα NNΔ και προς Δ αντίστοιχα με υδραυλικές κλίσεις που κυμαίνονται από 1‰ μέχρι και 10,3‰ (περιοχή γεώτρησης SR31). Η μείωση της υπόγειας στάθμης των υδροφορέων δυτικά της λίμνης συνδέεται οπωσδήποτε με την έντονη γεωργική δραστηριότητα και τις συνθήκες υπερεκμετάλλευσης των υδροφορέων σ' αυτήν την περιοχή. Μια ακόμη γενική διαπίστωση που κάναμε εξετάζοντας τους πιεζομετρικούς χάρτες της χρονικής περιόδου 1998 -2003, είναι ότι η υπόγεια πιεζομετρική στάθμη των υδροφορέων στην περιοχή της παλιάς λίμνης Κάρλας βρίσκεται αρκετά χαμηλότερα από την αρχική στάθμη της λίμνης (Ελάχιστη Στάθμη παλαιάς λίμνης: +43,8m πάνω από τη θάλασσα (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 1994), Πιεζομετρική στάθμη: +35 – 50m πάνω από τη θάλασσα).

Εξετάζοντας παραπέρα τις υδρογεωλογικές τομές (Σχ. 5.5 έως 5.28) διαπιστώνουμε ότι κάτω από τη θέση της λίμνης έχουμε ομαλή πορεία της υπόγειας στάθμης. Δεν παρατηρείται δηλαδή καμία πιεζομετρική ανωμαλία, που να υποδηλώνει εκφόρτιση επιφανειακών νερών στους υπόγειους υδροφορείς, τόσο κατά τις περιόδους φόρτισης των υδροφορέων, όσο και στις αντίστοιχες εκφορτίσής τους.

Συνδυάζοντας τα δύο παραπάνω στοιχεία βγάζουμε το συμπέρασμα ότι η τροφοδοσία της λίμνης από τους ανθρακικούς όγκους που βρίσκονται ανατολικά τους γίνεται δευτερευενώς και μόνον τότε, όταν η στάθμη του καρστικού υδροφορέα ανέλθει πάνω από το απόλυτο υψόμετρο των +45m. Η λίμνη φορτίζεται αποκλειστικά από τα επιφανειακά νερά της περιοχής που μεταφέρονται στην κλειστή εσωτερική υδρολογική λεκάνη της Κάρλας. Έτσι δικαιολογούνται και τα ιστορικά επεισόδια εκφόρτισης της λίμνης σε επιφανειακά και υπόγεια καρστικά έγκοιλα (καταβόθρες) στα παράκτια ανθρακικά πετρώματα της Πελαγονικής.

Το γεγονός αυτό πιστοποιείται ακόμη και από τα γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία της περιοχής. Όπως φαίνεται στις γεωλογικές τομές (σχήμα 4.2 και σχήμα 4.3) που πραγματοποιήσαμε στις θέσεις κατασκευής των υδρογεωλογικών τομών σε χάρτη 1:250.000 (Caruto, 1994), ανατολικά της

παλιάς λίμνης Κάρλας αναπτύσσονται τα κρυσταλλικά μάρμαρα της Πελαγονικής, πτυχωμένα με άξονες πτυχών ABA – ΔNΔ που υπέρκειται του μεταμορφωμένου υποκείμενου συστήματος της ίδιας ζώνης. Ως κερματισμένοι, καρστικοποιημένοι και υδροπερατοί σχηματισμοί διευκολύνουν την είσοδο και κατείσδυση του νερού μέσα από τις υπόγειες καρστικές δομές και σχηματίζουν βαθύτερα καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες. Από αυτούς τους καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες τροφοδοτούνται τα νεώτερα (Μειοκαινικά – Πλειο-Πλειστοκαινικά) ιζήματα του πεδινού τμήματος της υδρολογικής λεκάνης σχηματίζοντας τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες που υπόκεινται της λίμνης Κάρλας και υδρομαστεύονται από πολλές αρδευτικές υδρογεωτρήσεις στο λιμναίο και παραλίμνιο πεδινό χώρο.

Η εκφόρτιση των καρστικών υδροφόρων ανατολικά προς τη θάλασσα εμποδίζεται εξαιτίας της παρουσίας του υποκείμενου μεταμορφωμένου συστήματος της Πελαγονικής, το οποίο, ως αδιαπέρατο υπόβαθρο, δεν επιτρέπει την είσοδο και την κίνηση του νερού μέσα σ' αυτό. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από την παρατήρηση των πιεζομετρικών χαρτών είναι και το γεγονός ότι γύρω από τη γεώτρηση SR31 παρατηρείται μια συγκέντρωση των πιεζομετρικών γραμμών, χωρίς ισχυρές εποχιακές μεταβολές του επιπέδου της στάθμης. Αξιολογώντας το παραπάνω γεγονός μπορούμε να υποθέσουμε ότι στη θέση αυτή έχουμε την παρουσία ενός ρήγματος, στο οποίο έχει προηγηθεί μετάπτωση του δυτικού τεμάχους και έχει φέρει σε ανώμαλη τεκτονική επαφή υδροπερατούς σχηματισμούς (βόρεια) με λιγότερο υδροπερατούς σχηματισμούς (νοτιότερα της SR31). Η σταθερή υδραυλική κατάσταση που παρατηρείται σε αυτή τη θέση τα τελευταία χρόνια πιθανόν να οφείλεται και σε διαρροές του πυθμένα της λιμνοδεξαμενής που έχει κατασκευαστεί και λειτουργεί BBD αυτής της θέσης. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός, ότι η υδροστατική στάθμη στη θέση αυτή πολύ λίγο μεταβάλλεται στο χρόνο σε σχέση με την περιοχή που αναπτύσσεται νοτιότερα αυτής.

Αναλύοντας τους εποχιακούς πιεζομετρικούς χάρτες που κατασκευάσαμε διαπιστώνουμε ακόμη, ότι η διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού παραμένει σταθερή σε όλες σχεδόν τις θέσεις έρευνας. Χαρακτηριστικό στοιχείο είναι ακόμη η σχετική σταθερότητα του επιπέδου της πιεζομετρικής επιφάνειας στα τέλη (Μάρτιος) και τις αρχές (Οκτώβριος) του χειμερινού και θερινού υδρολογικού εξαμήνου. (Σεπτέμβριος 1998 – Μάρτιος 1999 –

Σεπτέμβριος 1999 κ.ο.κ.) με αυξομειώσεις της πιεζομετρικής στάθμης που δεν ξεπερνάει τα 5m.

Αξιολογώντας τον χάρτη του Σχ. 5.29, όπου απεικονίζεται η κατανομή του συνολικού ποσού της πτώσης στάθμης κατά τα τελευταία 31 χρόνια (1972-2003), διαπιστώνουμε μια βαθμιαία αύξηση της πτώσης στάθμης από ανατολικά προς τα δυτικά που φτάνει και υπερβαίνει τα 40m νότια και δυτικά των χωριών Ομορφοχώρι, Κυψέλη και Στεφανοβίκειο. Αυτό γίνεται εύκολα κατανοητό γιατί στις θέσεις αυτές οι αντλήσεις νερού είναι αυξημένες εξαιτίας των έντονων αρδευτικών εκμεταλλεύσεων και ταυτόχρονα του μειωμένου ρυθμού επαναφόρτισης των υδροφορέων άμεσα από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

Από την ανάλυση της πιεζομετρικής κατάστασης σ' όλα αυτά τα χρόνια στο περιβάλλον της λίμνης μπορούμε να συμπεράνουμε πως η παρουσία της λίμνης ως εσωτερικό τμήμα μιας κλειστής λεκάνης δε συνδέεται με τη στάθμη του καρστικού υδροφορέα και τις διαχρονικές αυξομειώσεις της, γιατί ποτέ οι δύο θέσεις δεν είχαν κάποια υπόγεια υδραυλική επικοινωνία. Η αρχική στάθμη της λίμνης βρίσκονταν ψηλότερα από τη στάθμη του ανθρακικού καρστικού συστήματος, στο οποίο υπερχείλιζε και εκφορτίζονταν σε υγρές περιόδους ψηλής φόρτισης μέσα από ένα σύστημα επιφανειακών και υπόγειων καρστικών δομών και εγχοίλων. Μια πιθανή επικοινωνία της λίμνης με τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα θα δικαιολογούσε την εμφάνιση νερού στον πυθμένα της λίμνης σε περιόδους ανόδου της στάθμης του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα πάνω από το υψόμετρο των +43m, κάτι το οποίο όμως δεν έχει παρατηρηθεί. Το υπόβαθρο του τεκτονικού βυθίσματος της Κάρλας δομείται από αργιλικά αδιαπέρατα υλικά που σχηματίζουν και το στεγανό πυθμένα της λίμνης. Η παρουσία της λίμνης οφείλεται αποκλειστικά στις επιφανειακές τροφοδοσίες των επιφανειακών νερών.

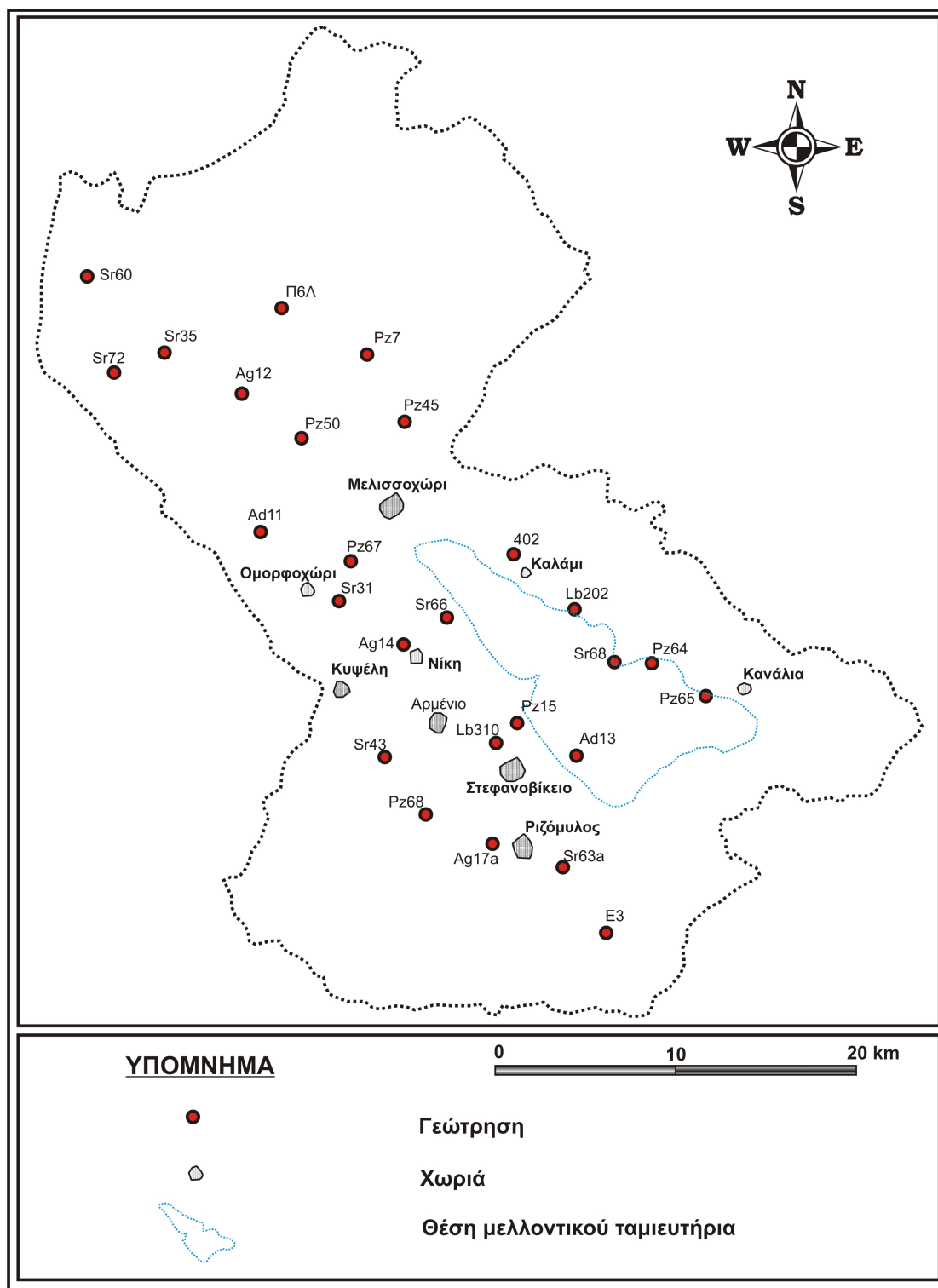
Πιστεύουμε ότι ουδεμία σχέση συνδέει την παρουσία της λίμνης με την κατάσταση των υπόγειων, υπό πίεση, υδροφορέων. Τα δύο συστήματα λειτουργούν εντελώς ανεξάρτητα στο χώρο. Η επαναλειτουργία της λίμνης, πιστεύουμε, ότι ουδόλως ή ελάχιστα μέσω φαινομένων διαστράγγισης θα συμβάλλει στην αύξηση των αποθεμάτων των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων και στη μείωση των εκμεταλλεύσεων. Ίσως η παρουσία στην περιοχή αυτή ενός επιφανειακού ταμιευτήρα, από τον οποίο θα αρδεύονται οι

παραλίμνιες αγροτικές εκτάσεις, μειώσει το ρυθμό άντλησης των βαθιών γεωτρήσεων, που έτσι έμμεσα θα συμβάλλει στη σταδιακή αύξηση των υπόγειων αποθεμάτων τους.

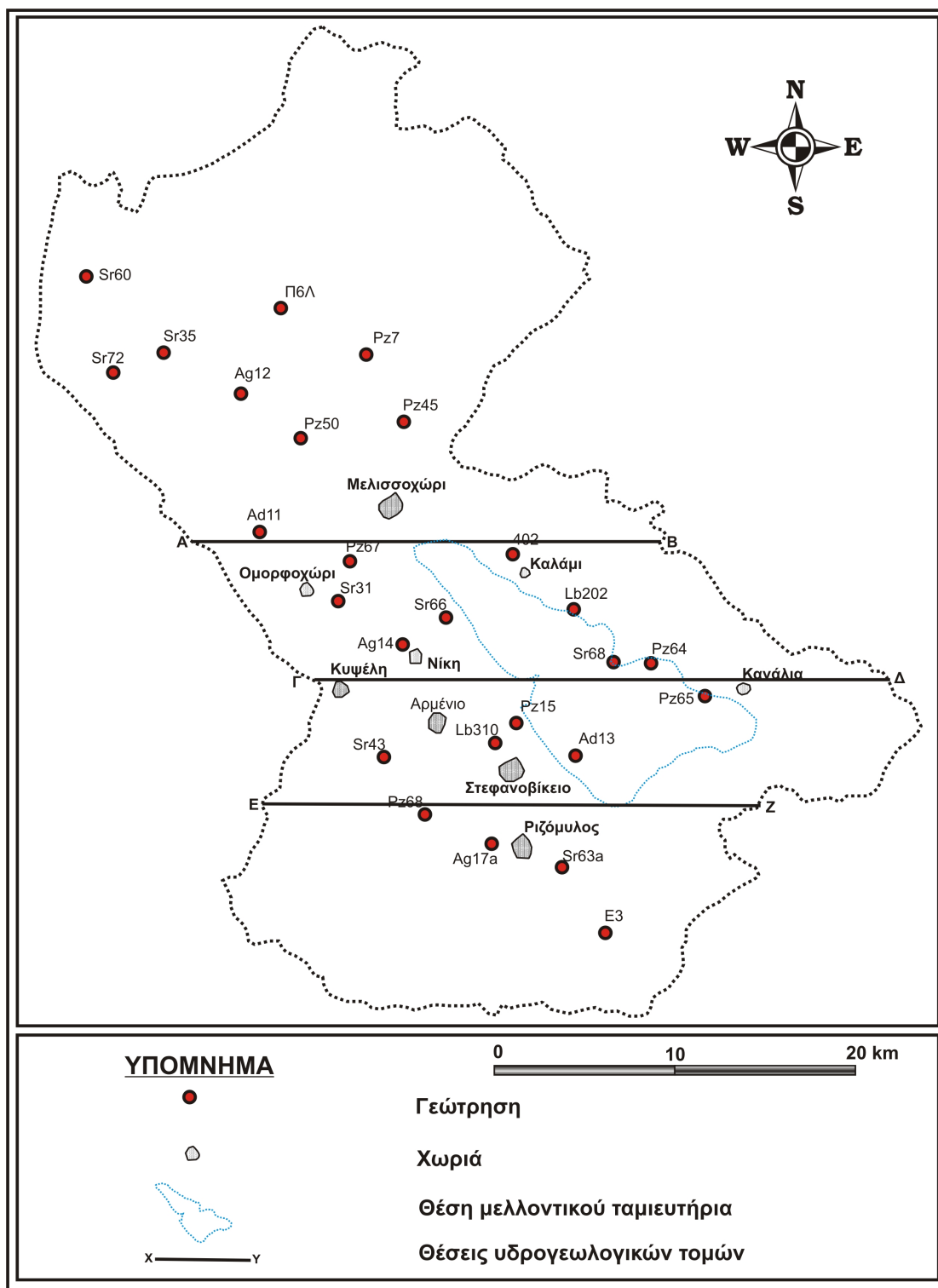
Από το σχήμα 5.4 διαπιστώνεται ότι το βάθος των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής μειώνεται από τα βόρεια προς τα νότια τμήματα της περιοχής. Ωστόσο όμως από το σχήμα 5.3 διαπιστώνεται πως το πάχος των υδροφορέων της περιοχής στα παραπάνω τμήματα λαμβάνει αντίθετες τιμές.

Διαπιστώνεται, ακόμη, πως παρόλο που τα υδροφόρα στρώματα στο νότιο τμήμα της περιοχής βρίσκονται σε μικρότερα βάθη, γεγονός που είναι θετικό από οικονομική άποψη και κατασκευαστική για την απόδοση των γεωτρήσεων στην περιοχή, τα νότια τμήματα της περιοχής παρουσιάζουν φτωχότερες υδρογεωλογικές συνθήκες από ότι τα υδροφόρα στρώματα που βρίσκονται βόρεια αυτών.

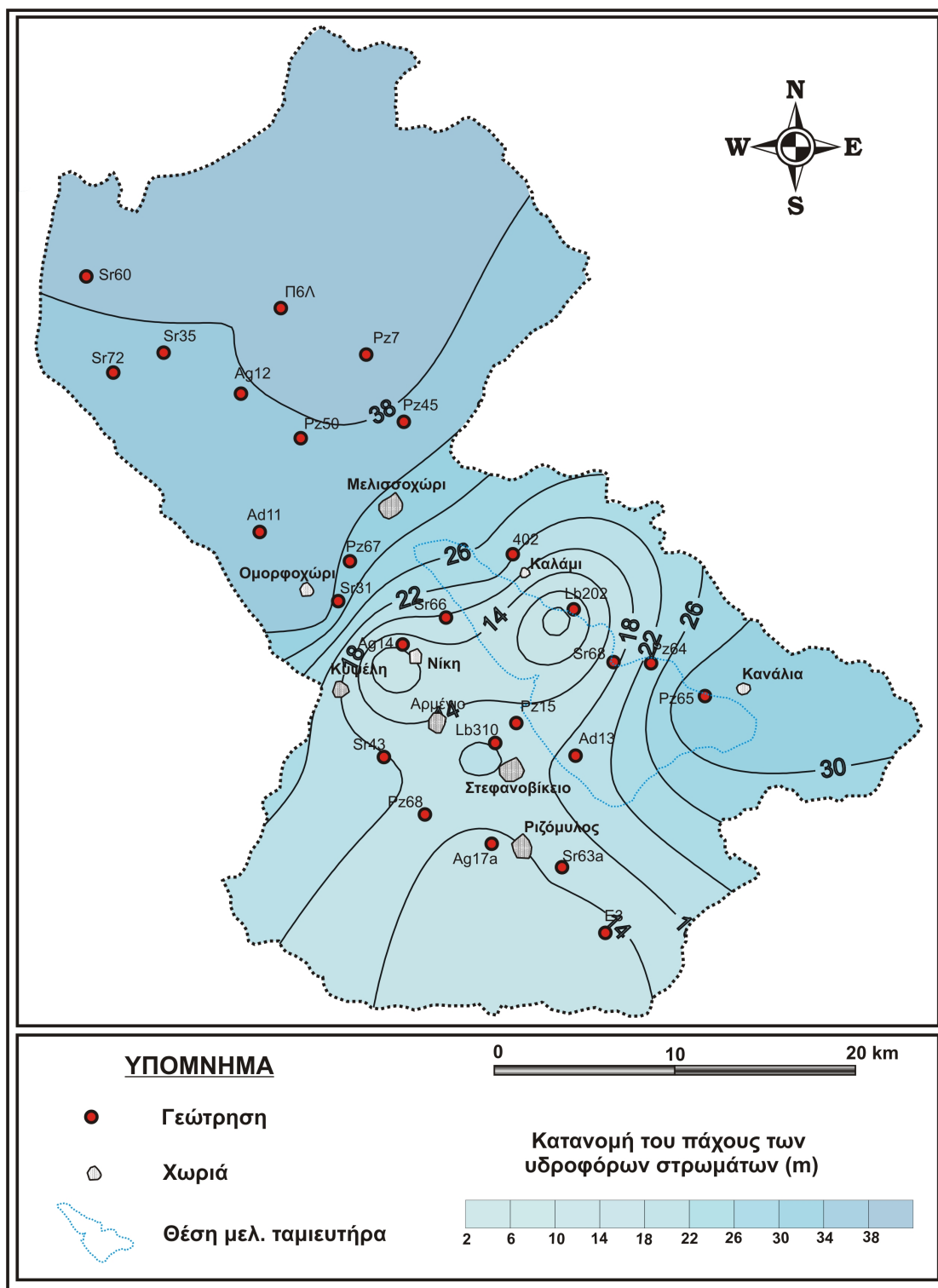
Στα βόρεια τμήματα της περιοχής οι υδρογεωλογικές συνθήκες είναι καλύτερες με τα πάχη των υδροφόρων στρωμάτων να είναι μεγαλύτερα και τις θέσεις αυτών να βρίσκονται κοντά στις περιοχές τροφοδοσίας από τον ποταμό Πηνειό. Ωστόσο όμως τα βάθη που παρουσιάζονται τα υδροφόρα στρώματα της περιοχής αυτής, είναι αρκετά μεγάλα 160 – 200m, γεγονός το οποίο καθιστά ελάχιστη, αν όχι εντελώς μηδενική, την άμεση τροφοδοσία τους από τον Πηνειό ποταμό και μόνο έμμεσα μέσα από φαινόμενα διαστράγγισης των επιφανειακών υδροφορέων.



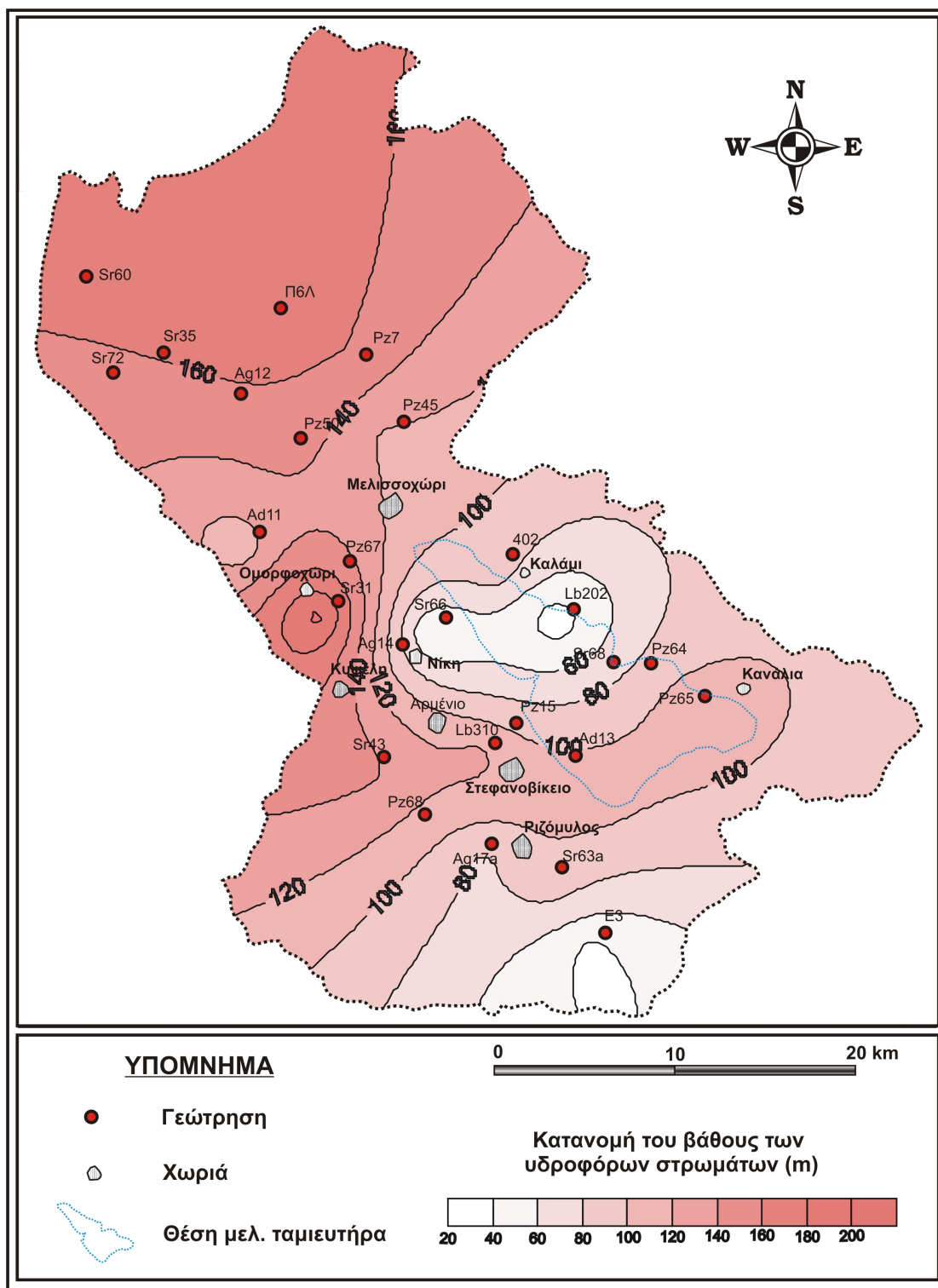
Σχήμα 5.1 Η γεωγραφική κατανομή των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής



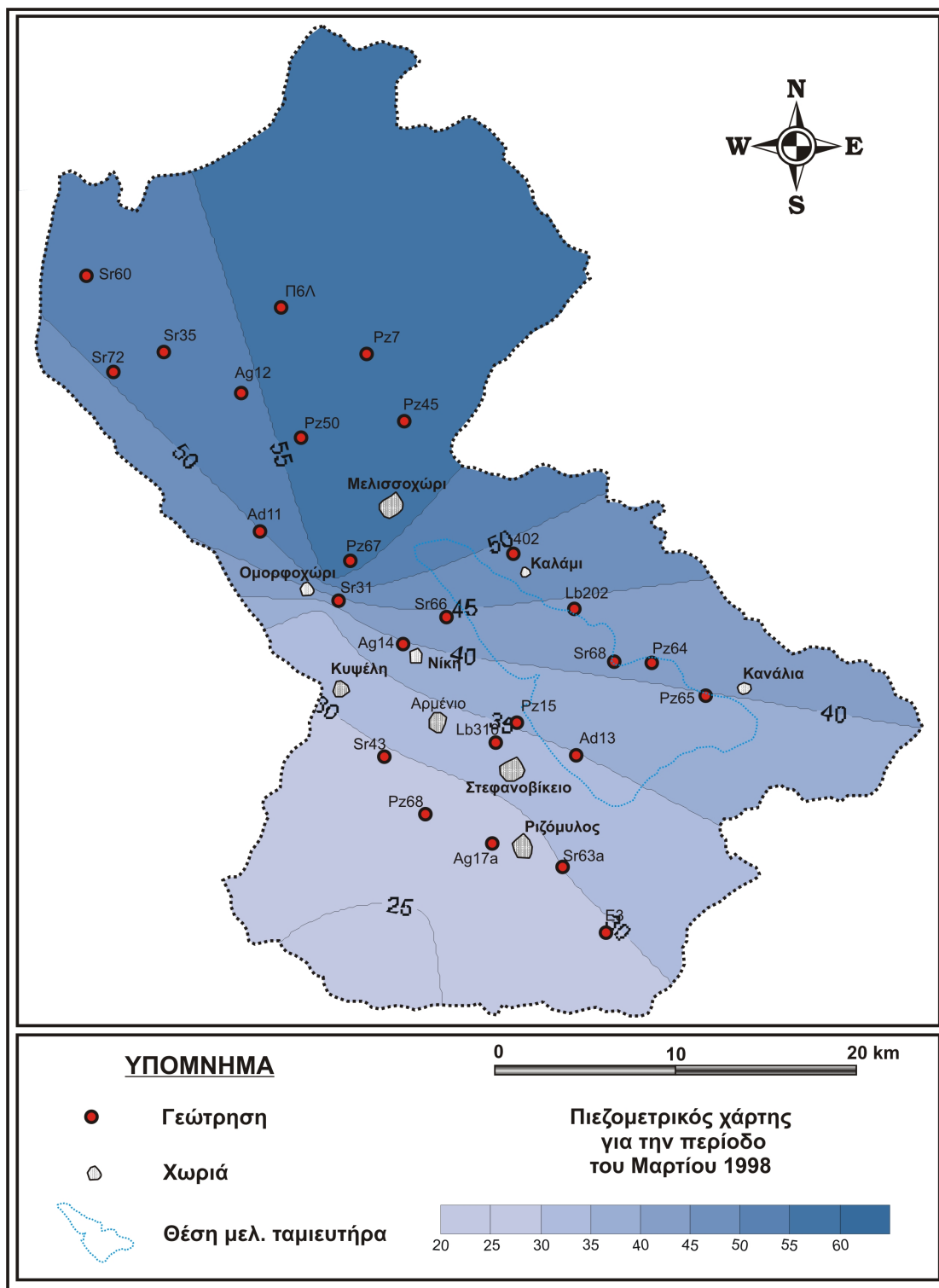
Σχήμα 5.2 Η γεωγραφική κατανομή των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής καθώς και οι θέσεις των υδρογεωλογικών τομών



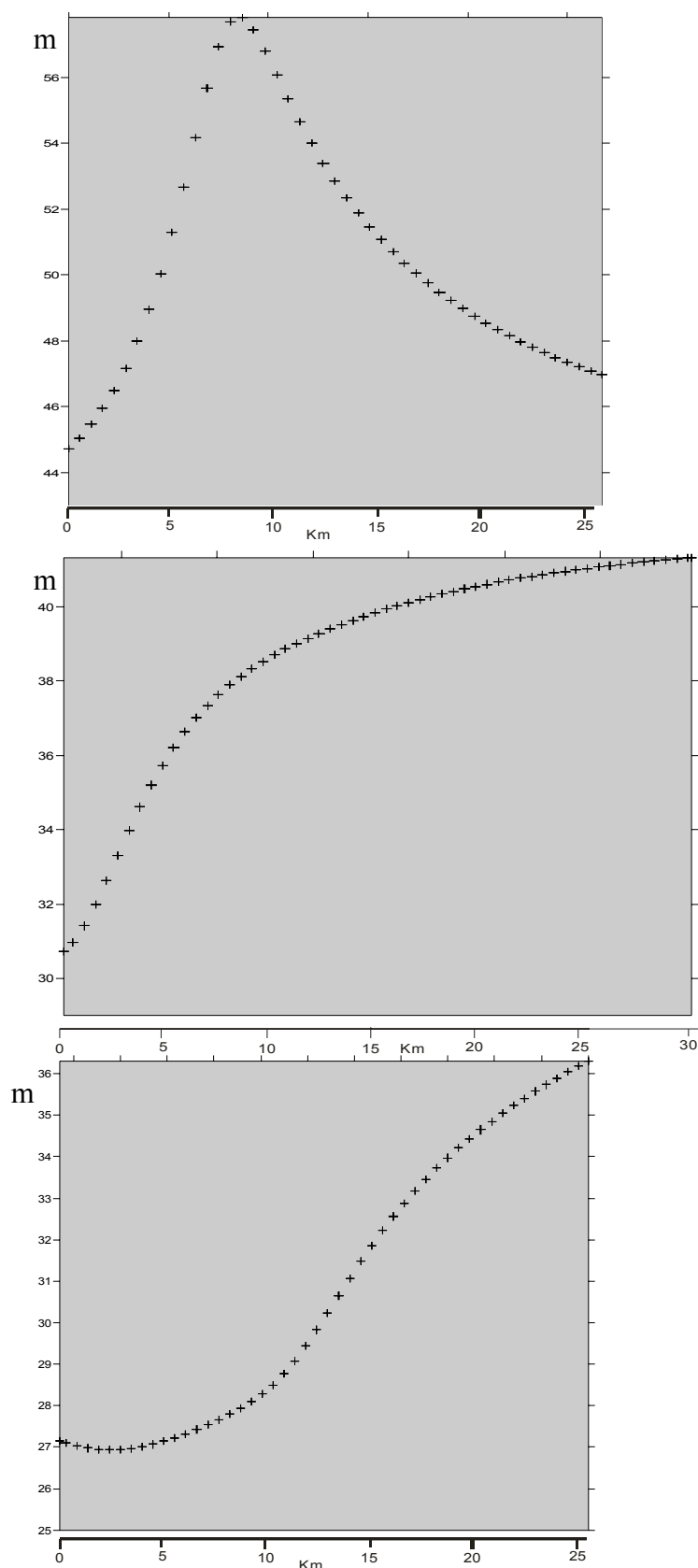
Σχήμα 5.3 Κατανομή του πάχους των αλλουβιακών υδροφόρων της περιοχής



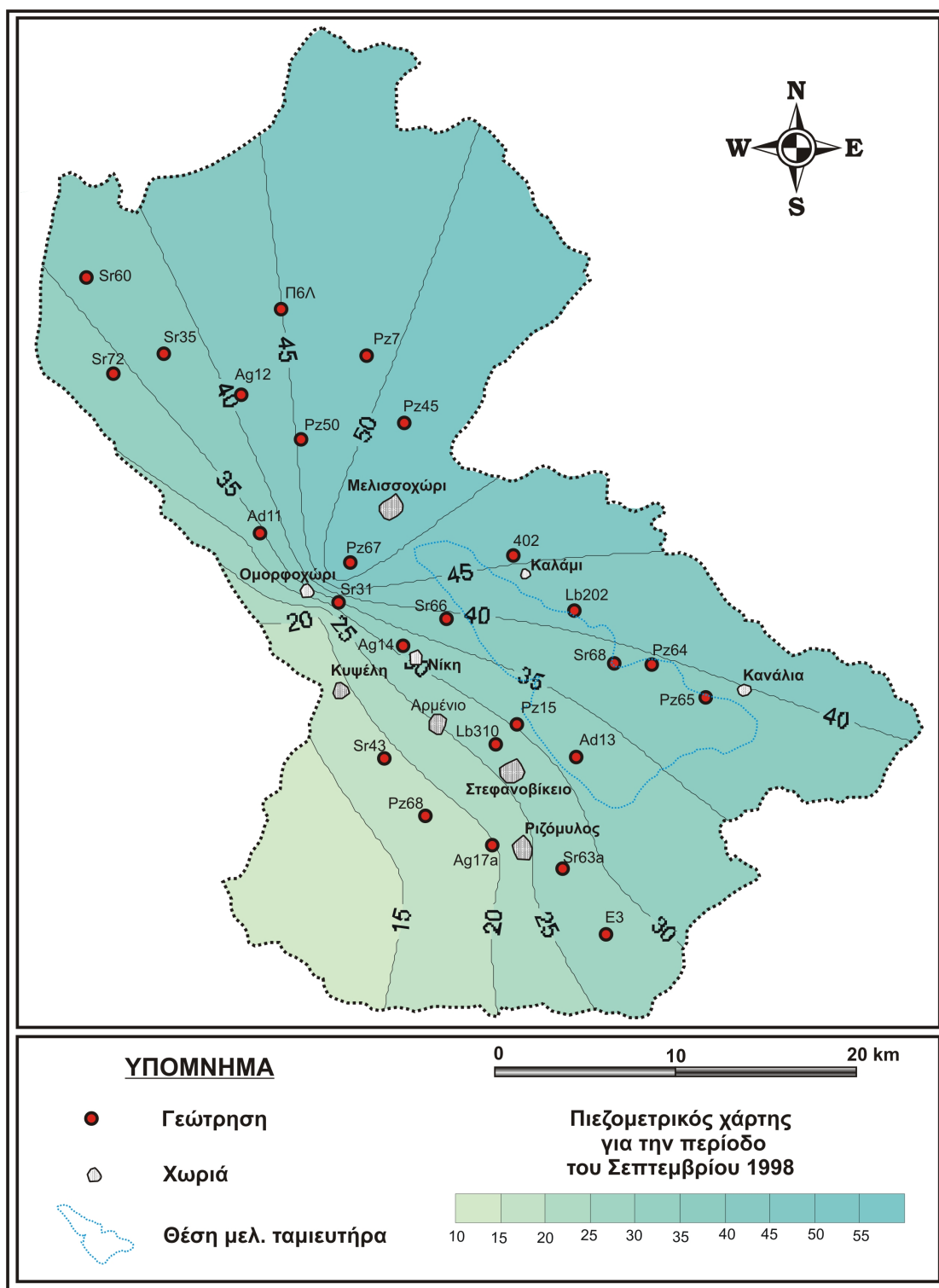
Σχήμα 5.4 Κατανομή του βάθους των υδροφόρων της περιοχής



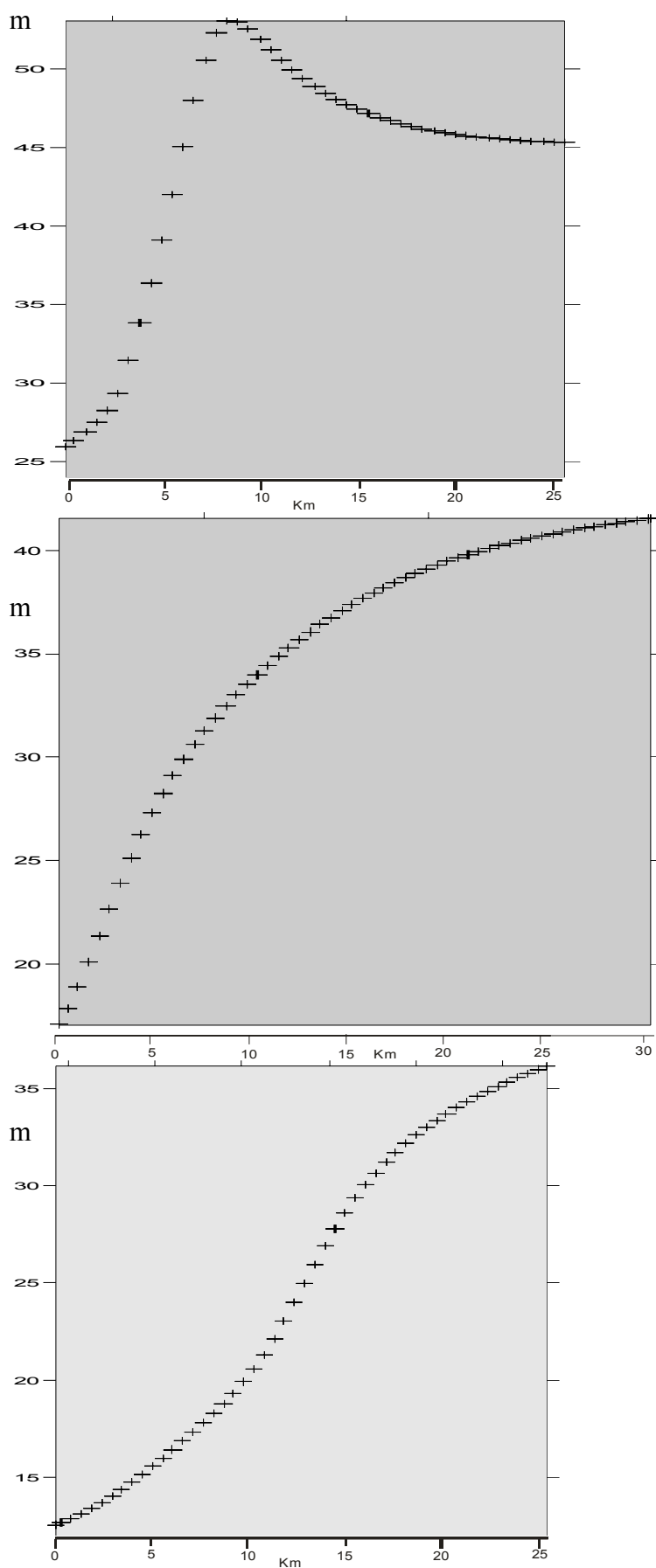
Σχήμα 5.5 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Μαρτίου 1998



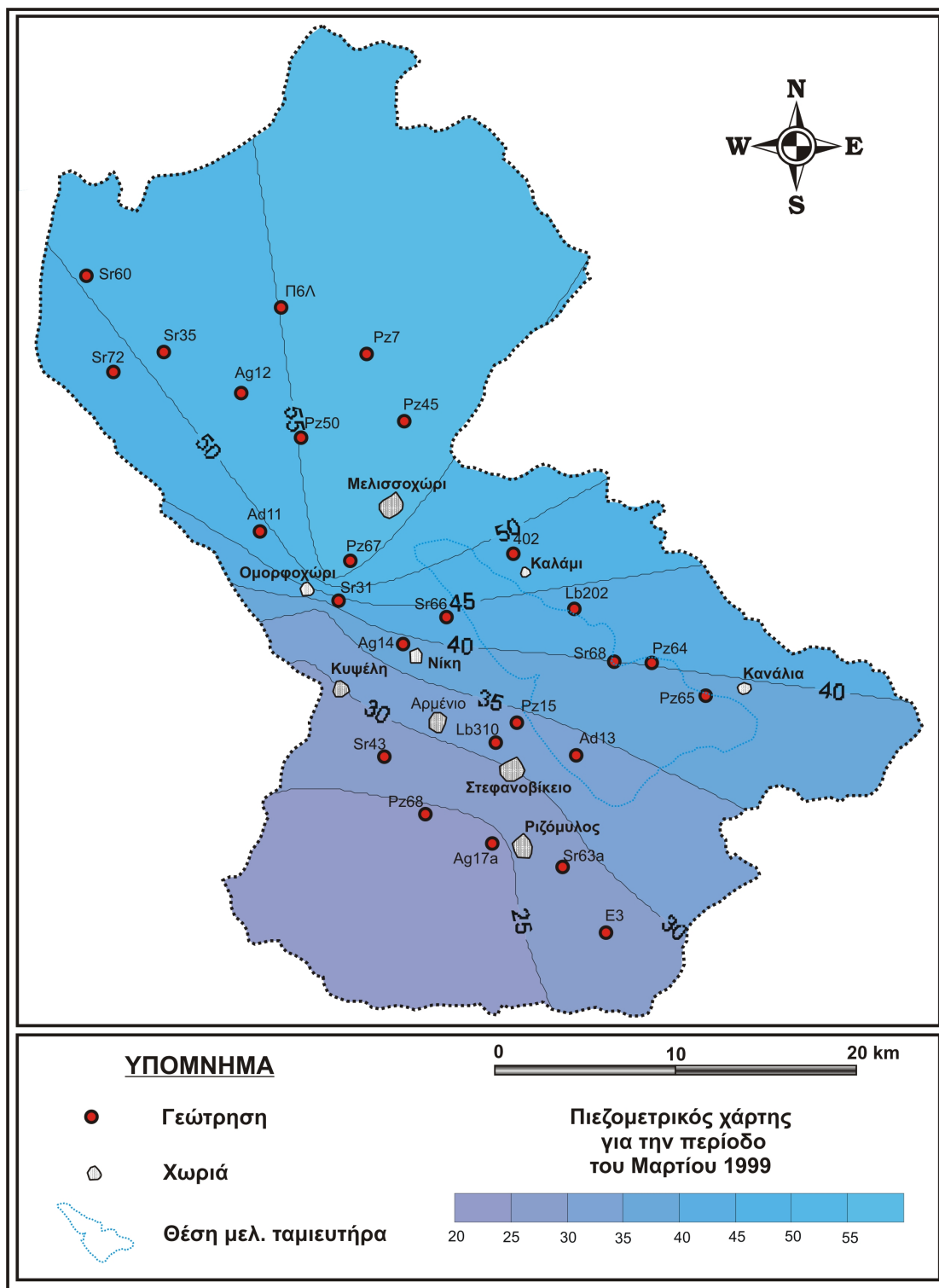
Σχήμα 5.6 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Μάρτιος 1998) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



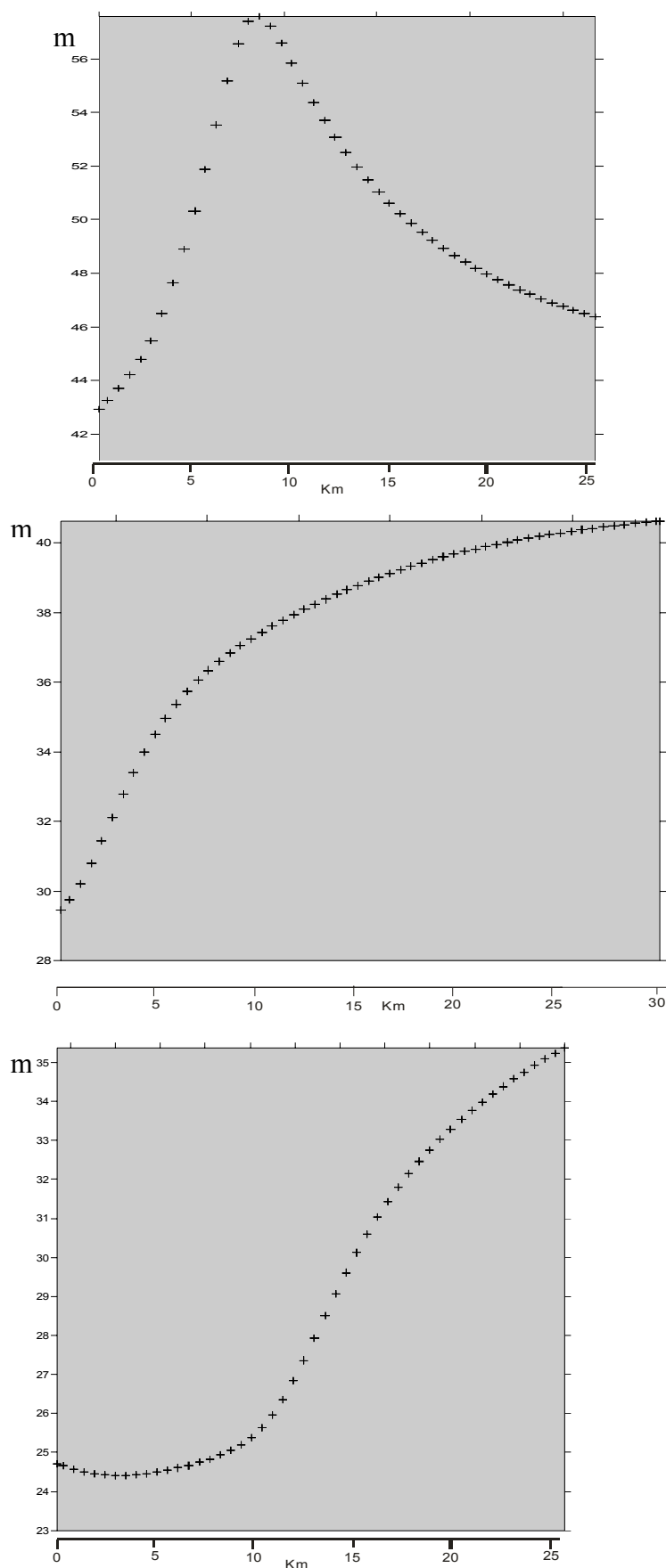
Σχήμα 5.7 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 1998



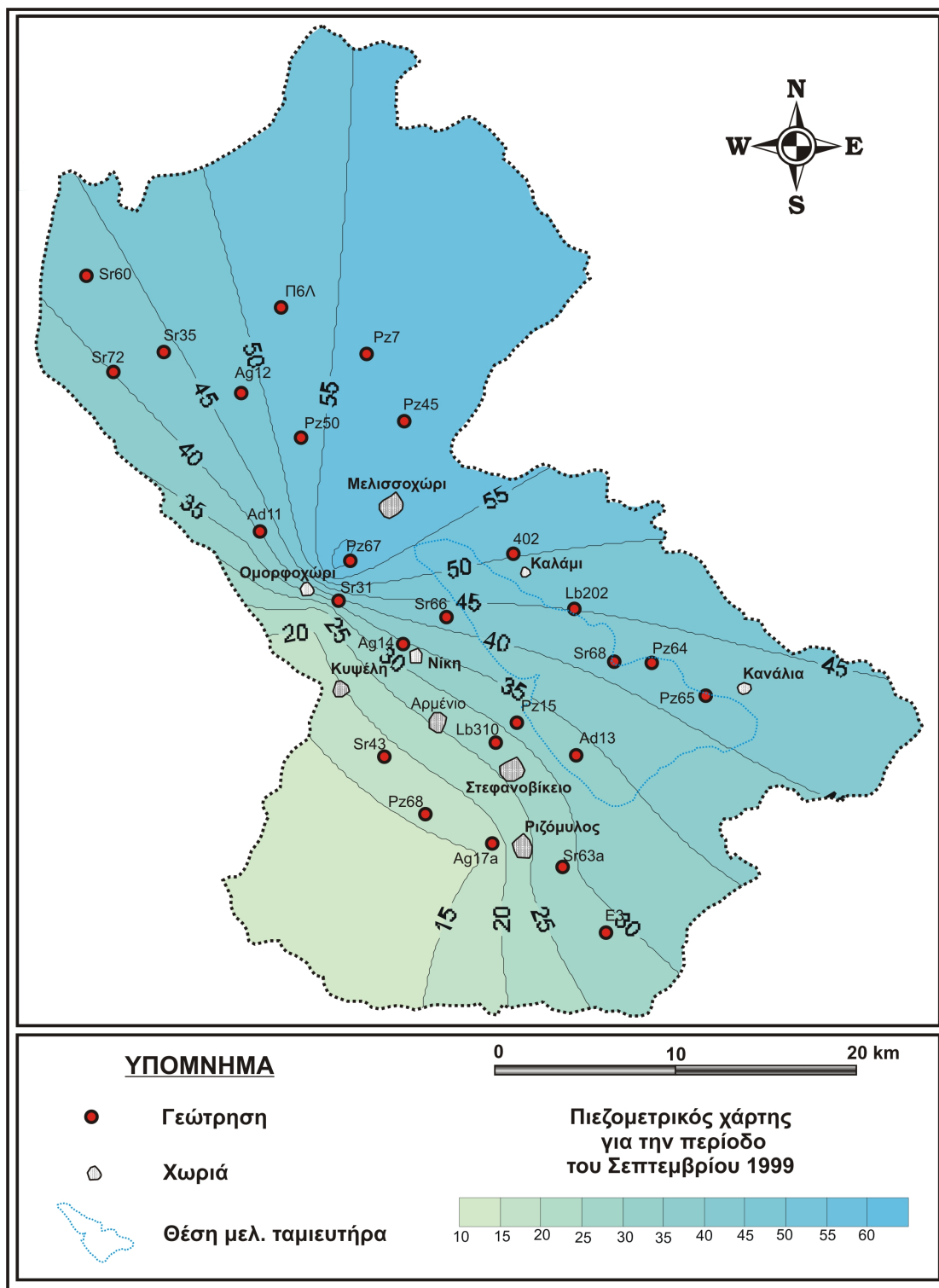
Σχήμα 5.8 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Σεπτέμβριος 1998) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



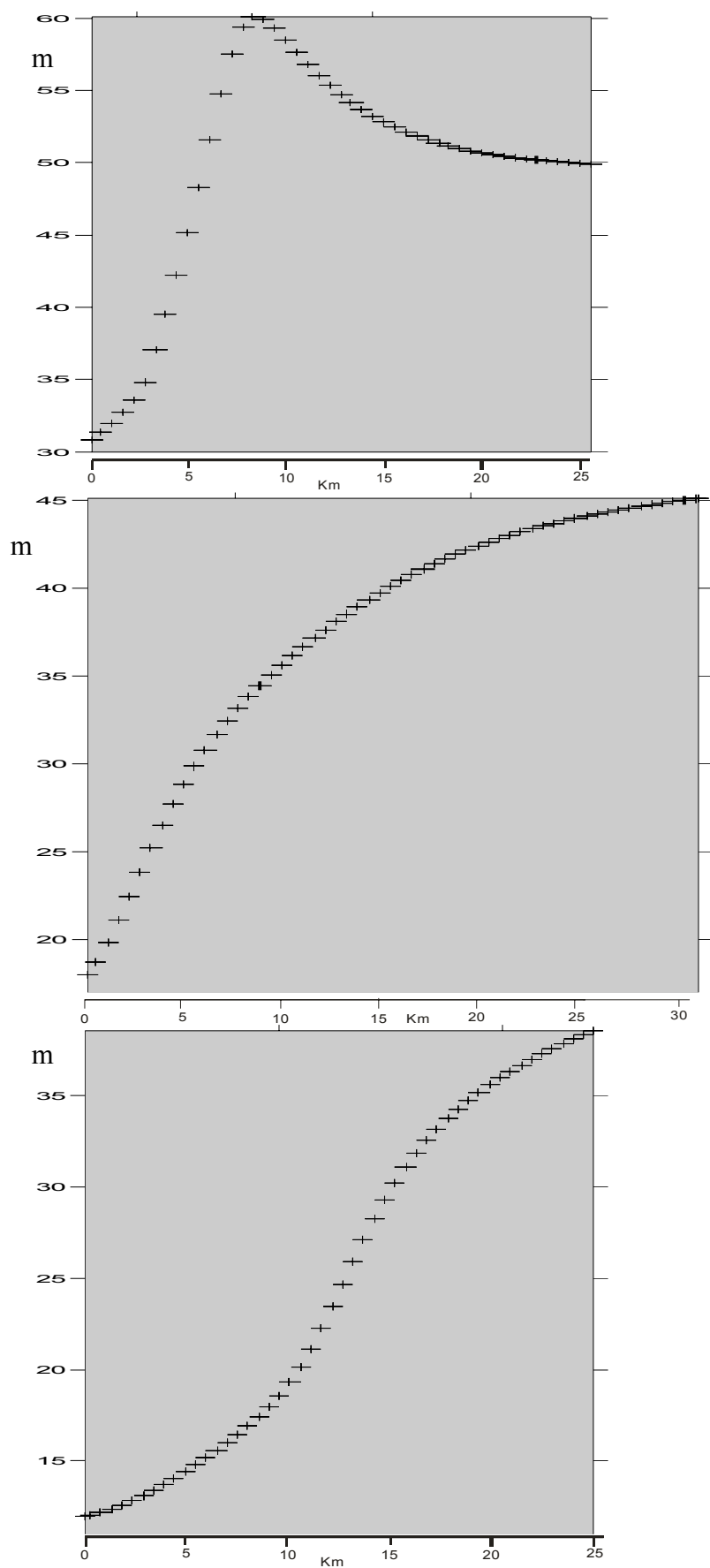
Σχήμα 5.9 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Μαρτίου 1999



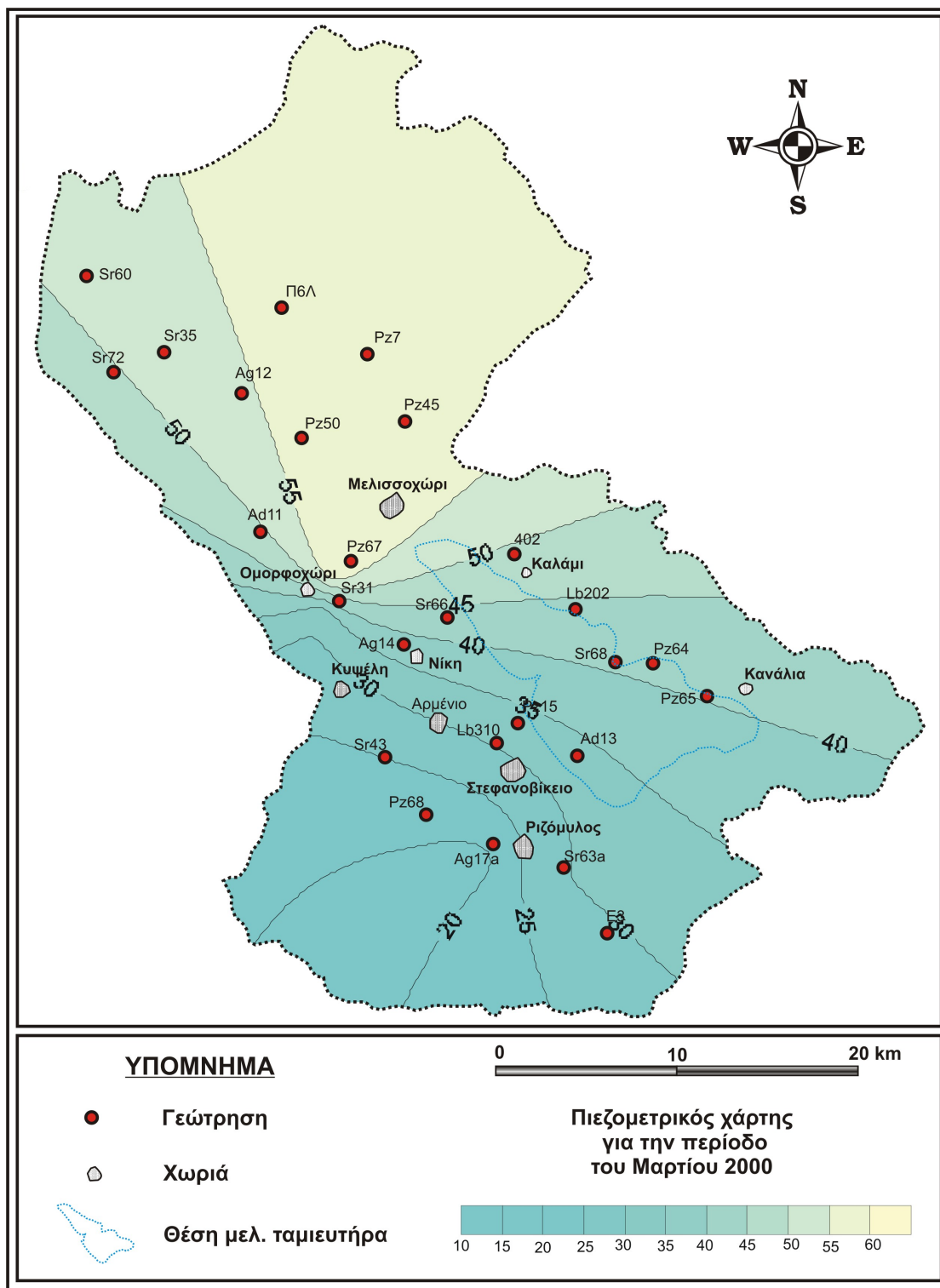
Σχήμα 5.10 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Μάρτιος 1999) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



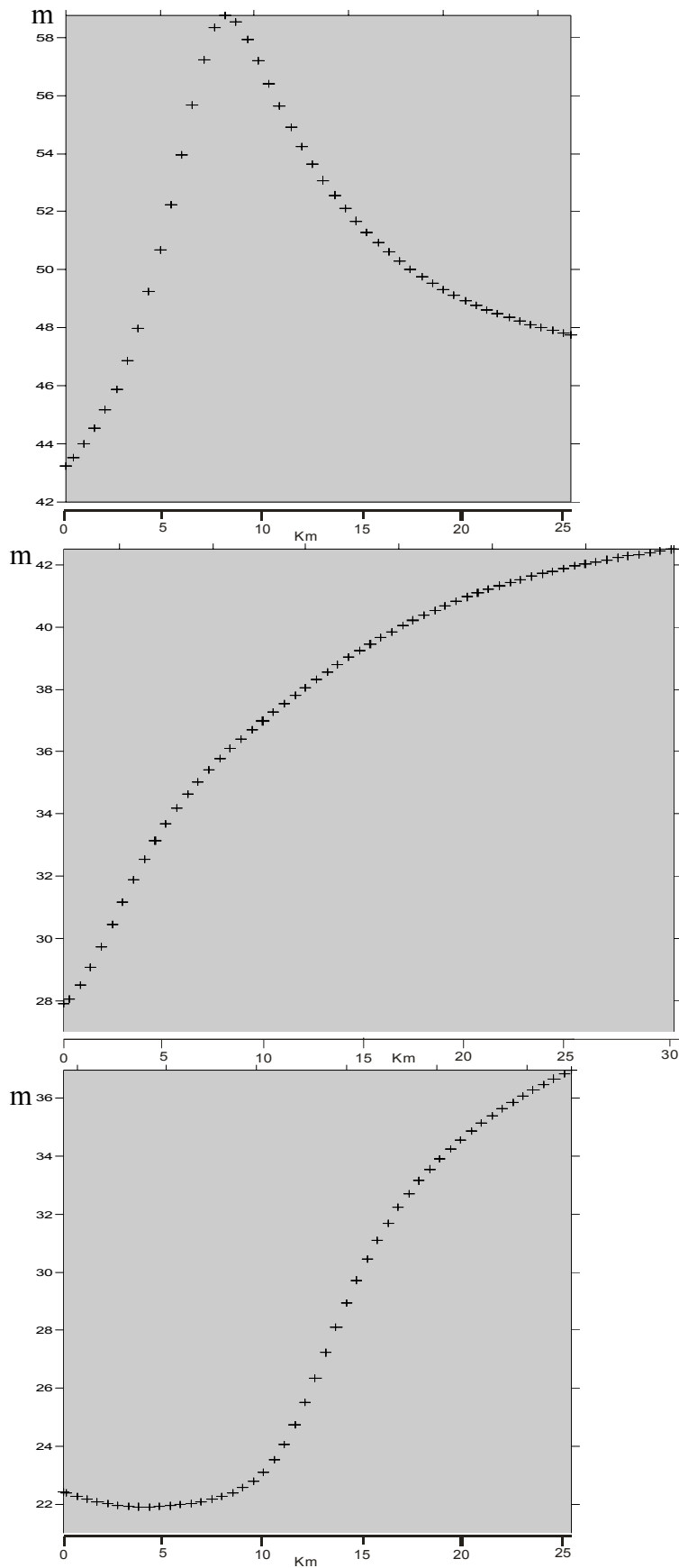
Σχήμα 5.11 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 1999



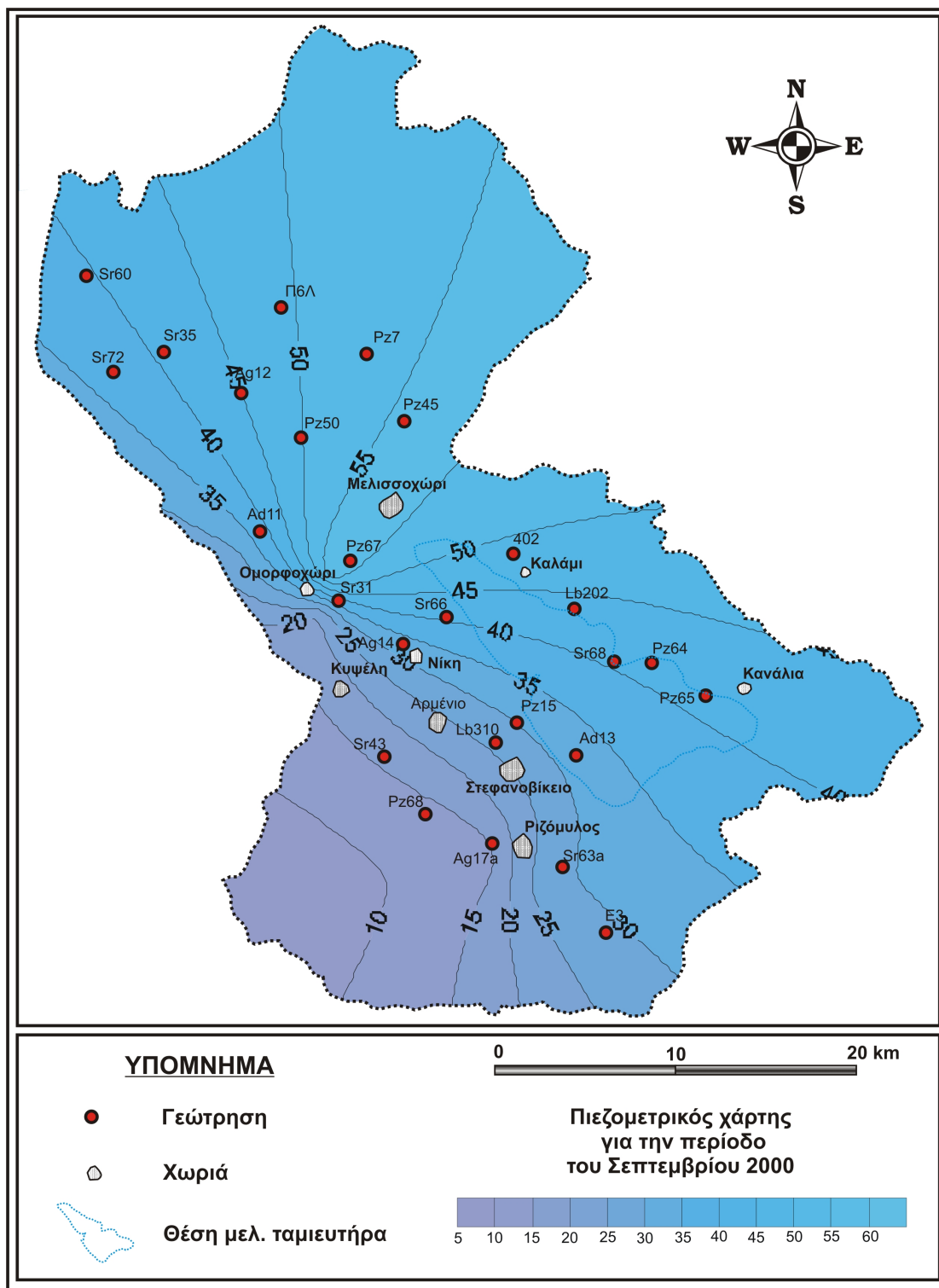
Σχήμα 5.12 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Σεπτέμβριος 1999) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



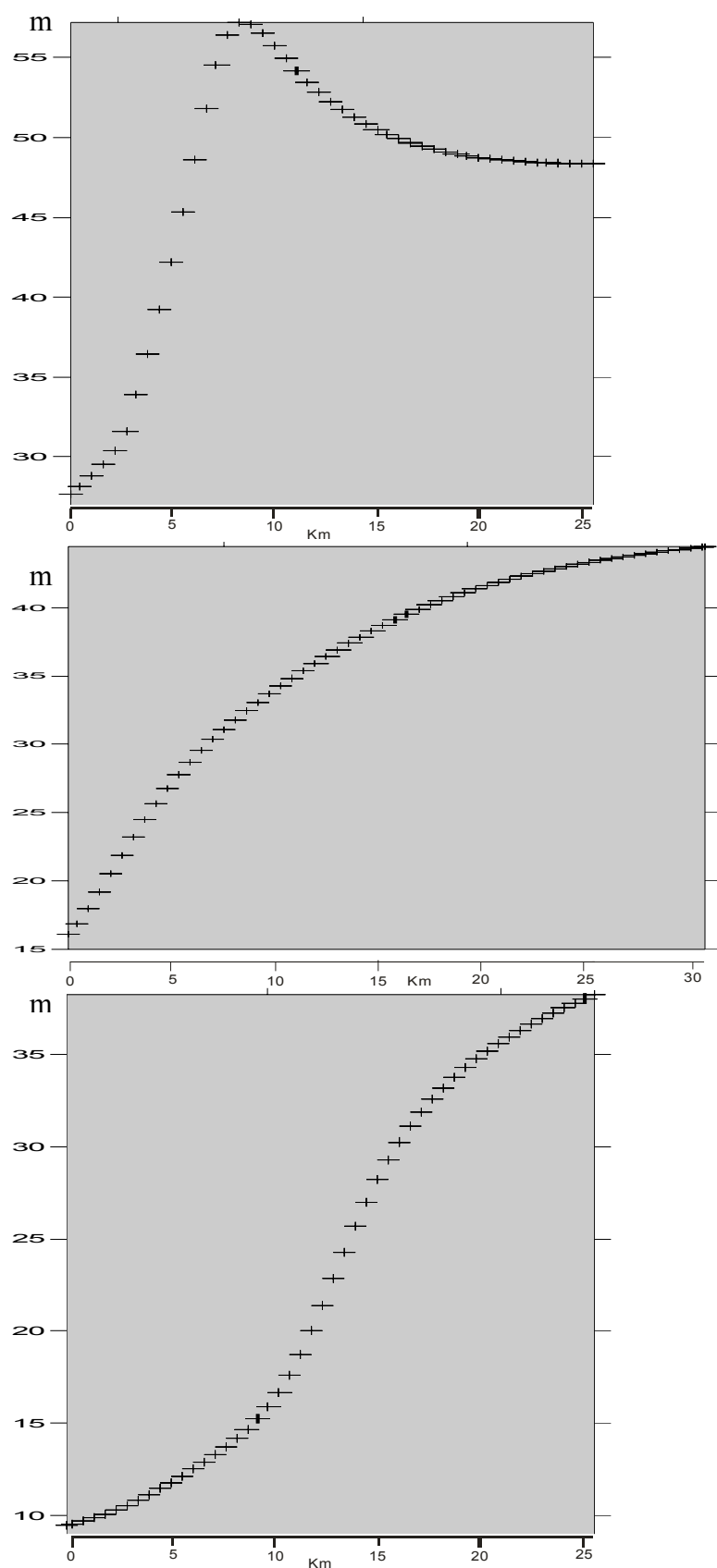
Σχήμα 5.13 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Μαρτίου 2000



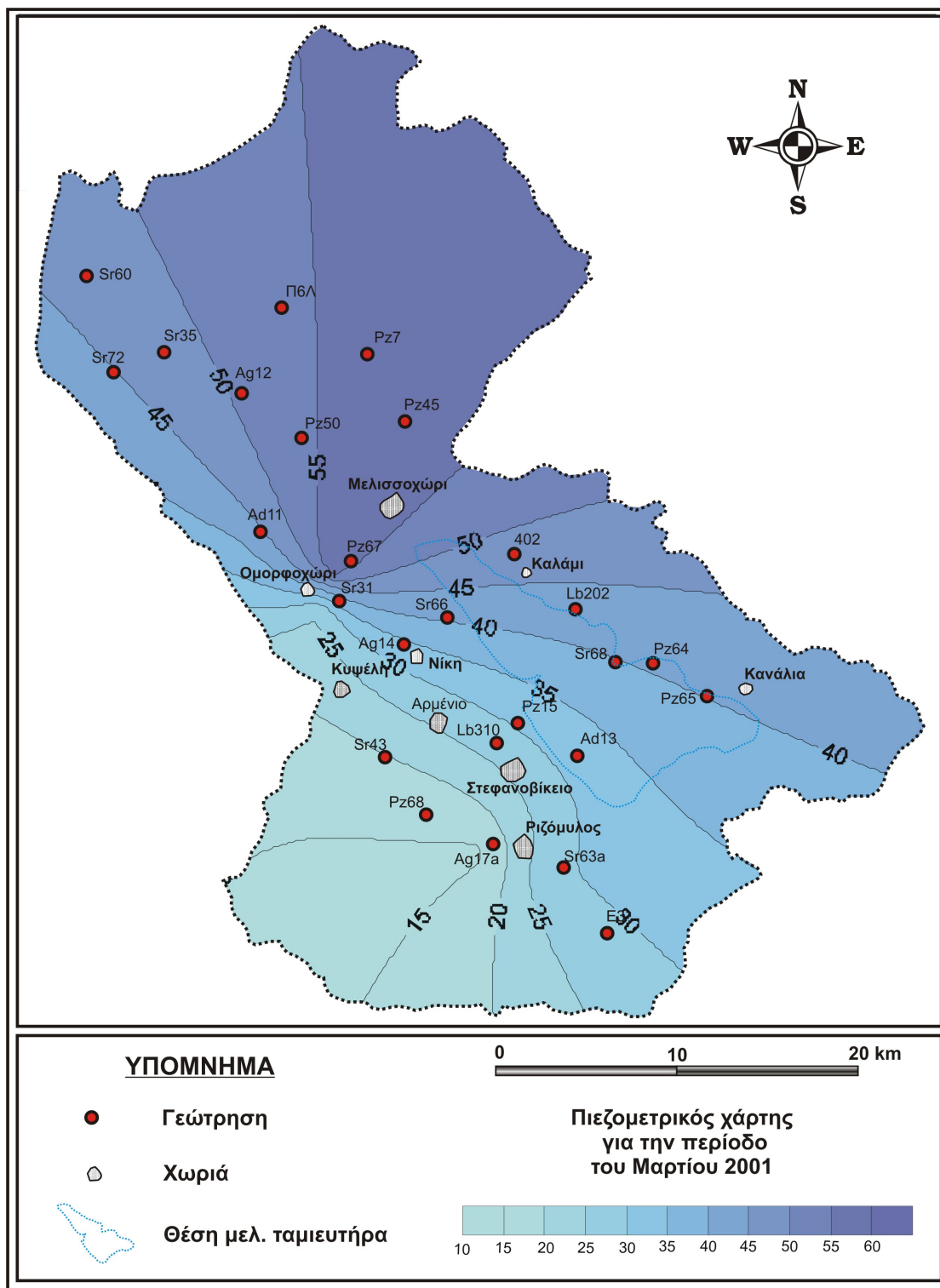
Σχήμα 5.14 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Μάρτιος 2000) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



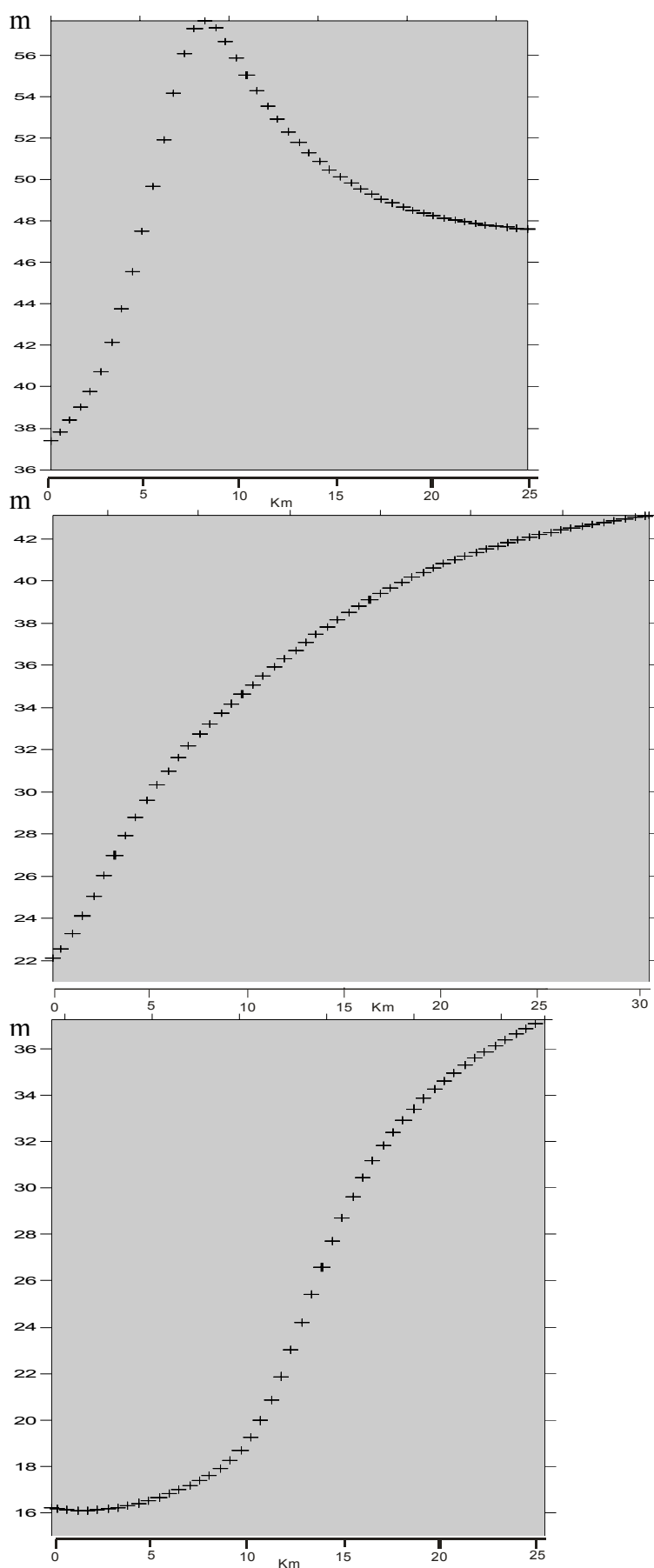
Σχήμα 5.15 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2000



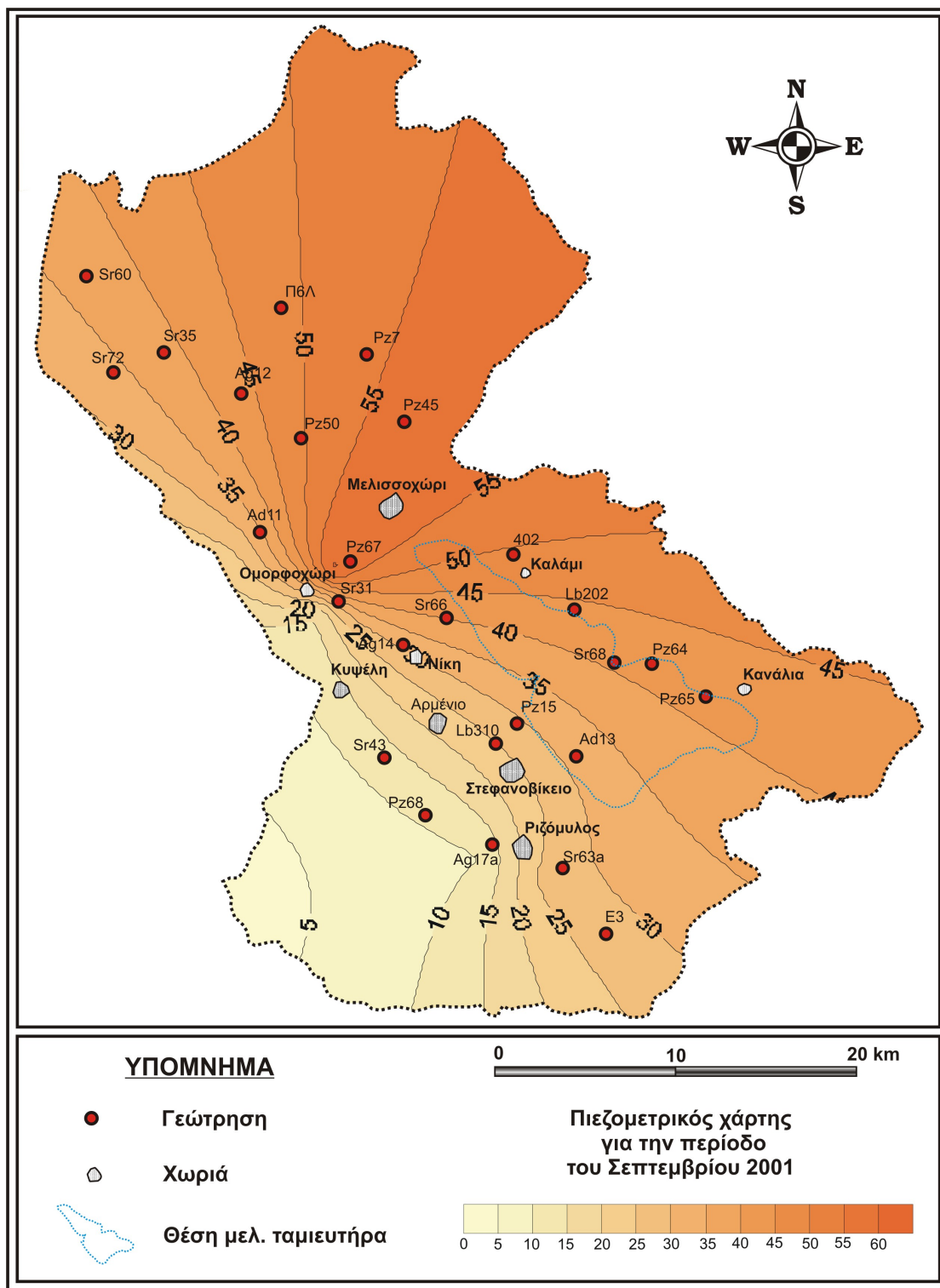
Σχήμα 5.16 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Σεπτέμβριος 2000) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



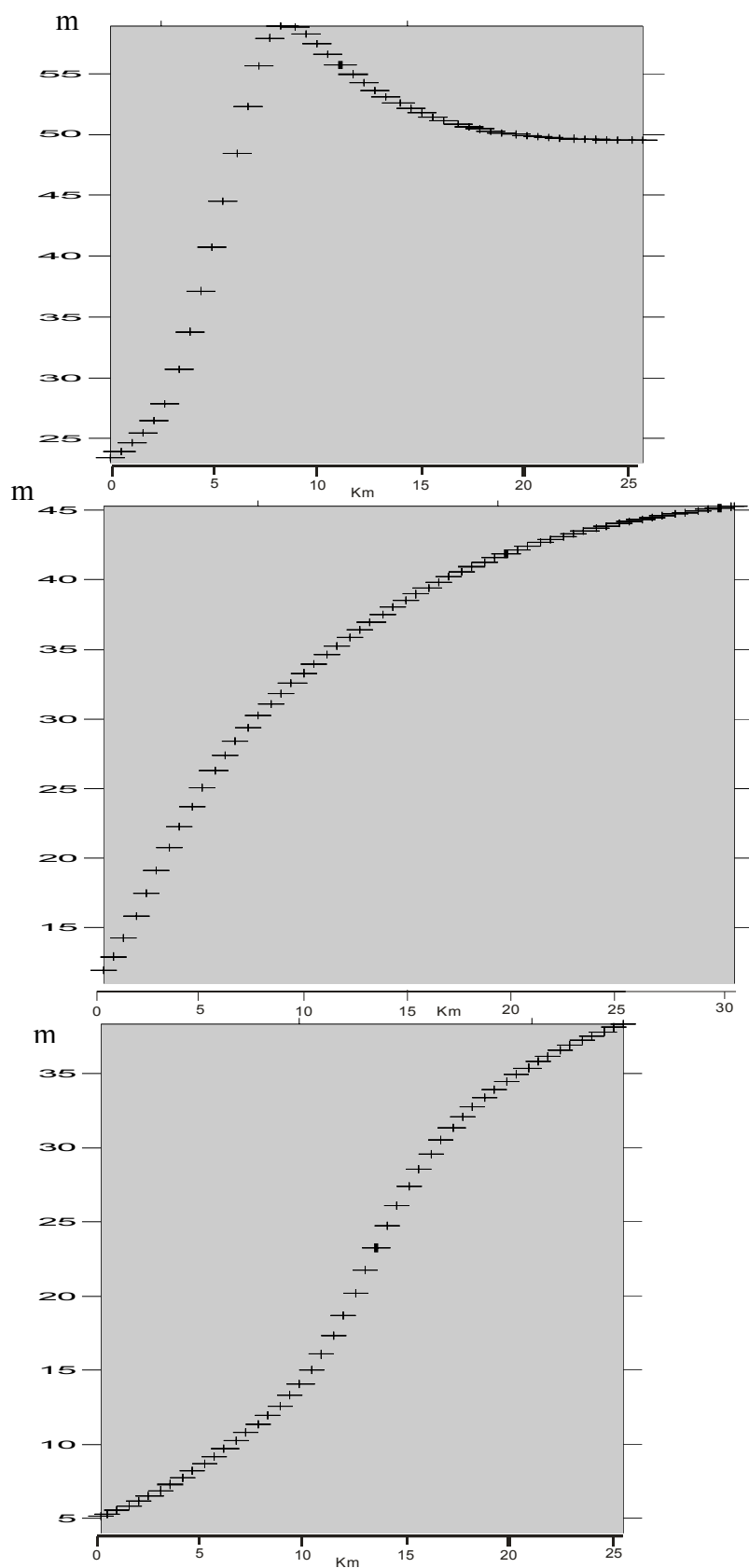
Σχήμα 5.17 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Μαρτίου 2001



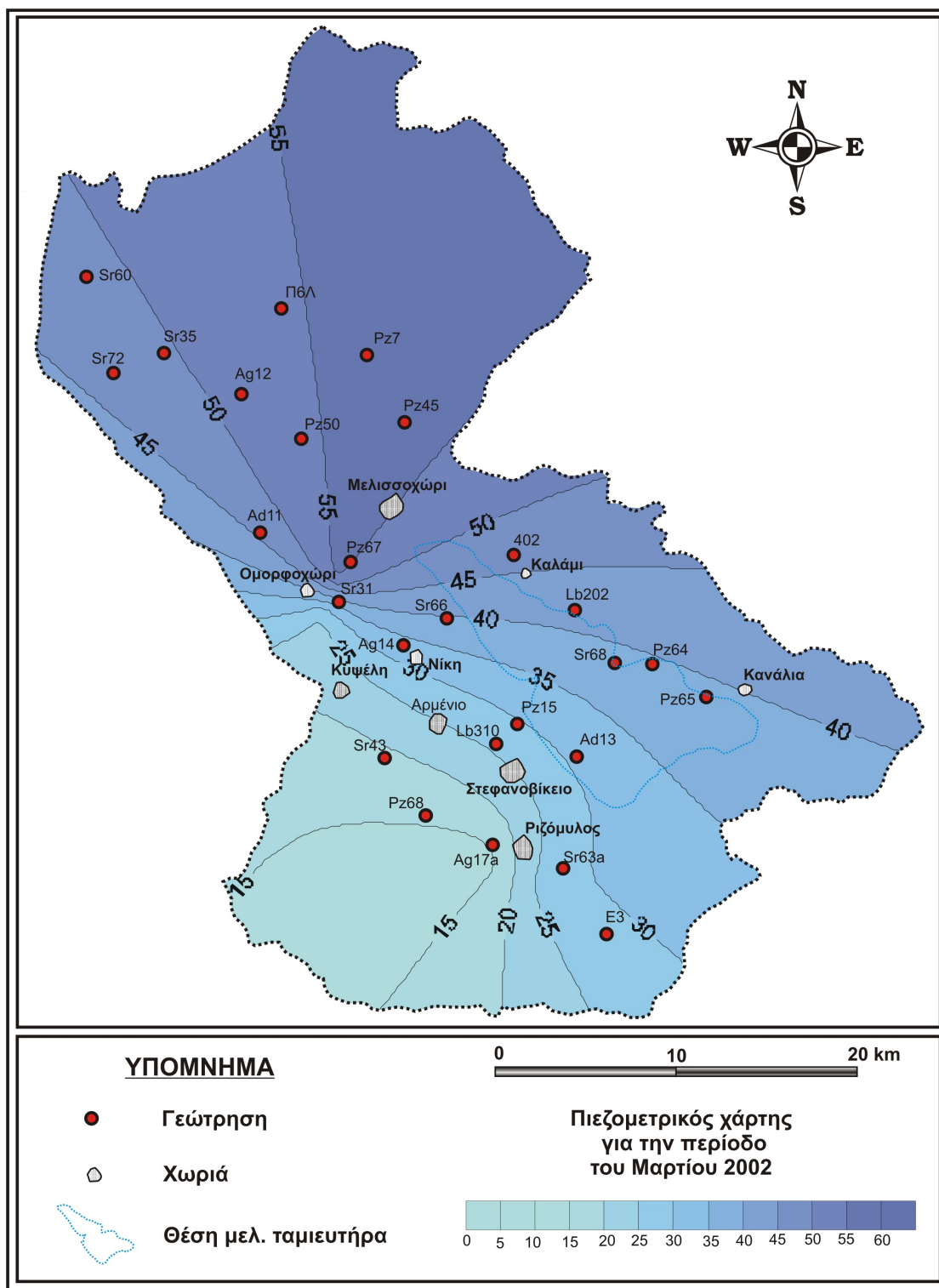
Σχήμα 5.18 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Μάρτιος 2001) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



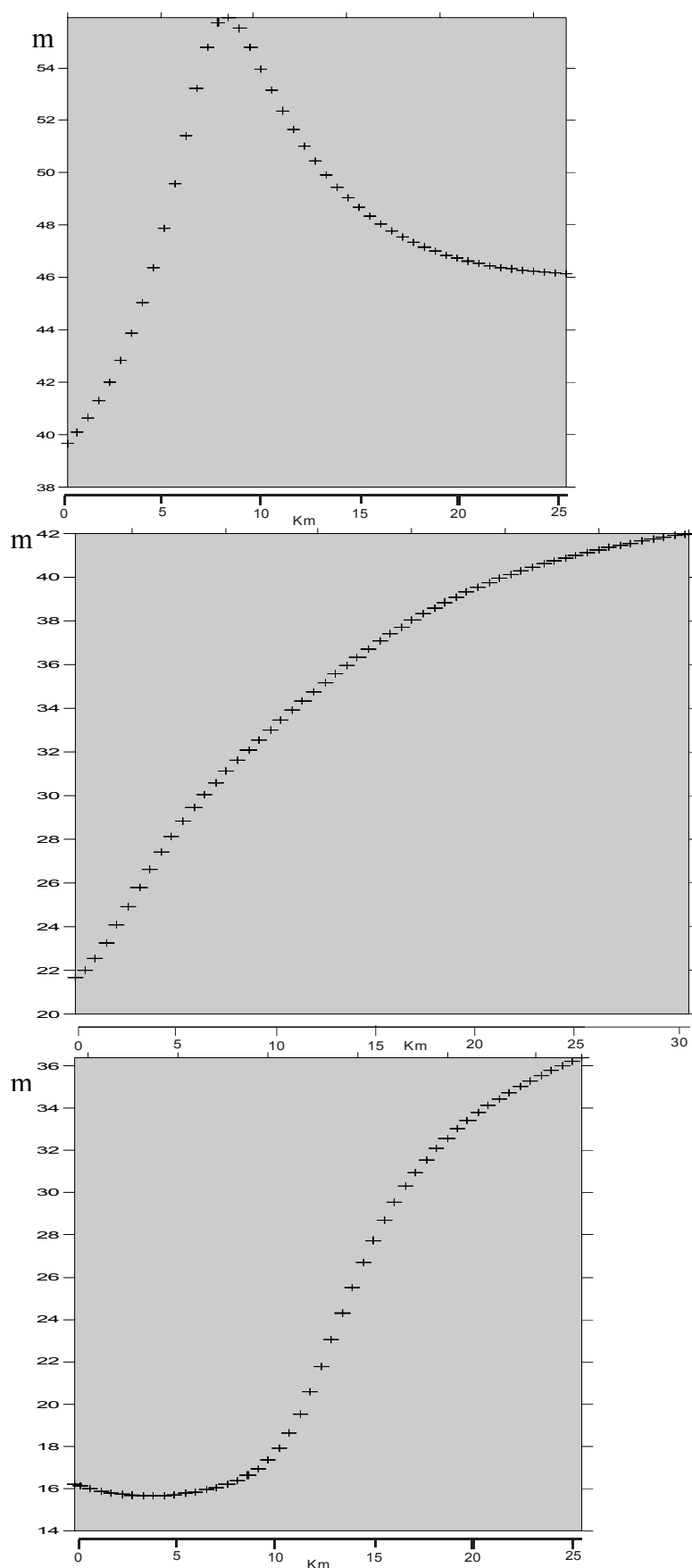
Σχήμα 5.19 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2001



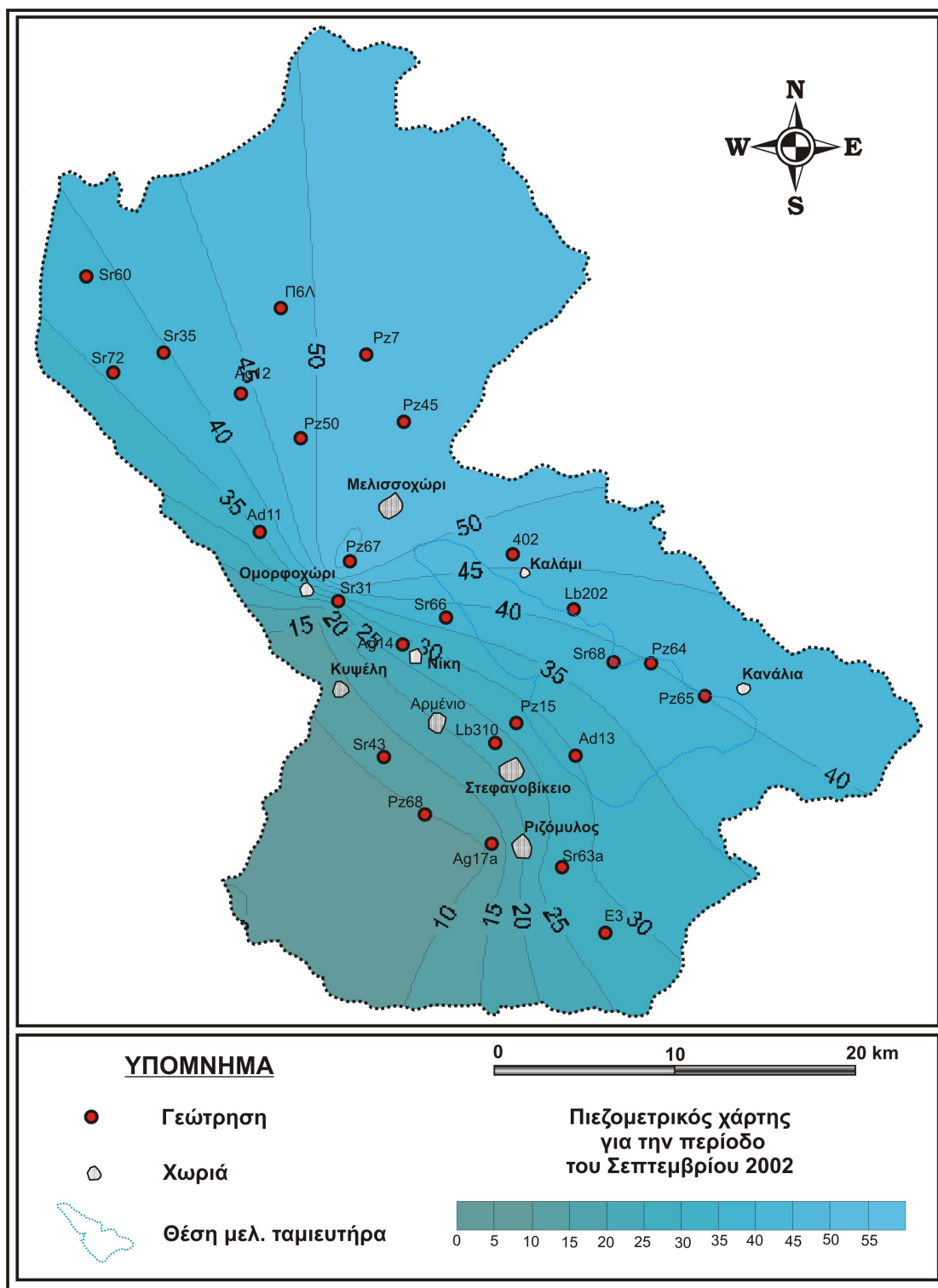
Σχήμα 5.20 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Σεπτέμβριος 2001) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



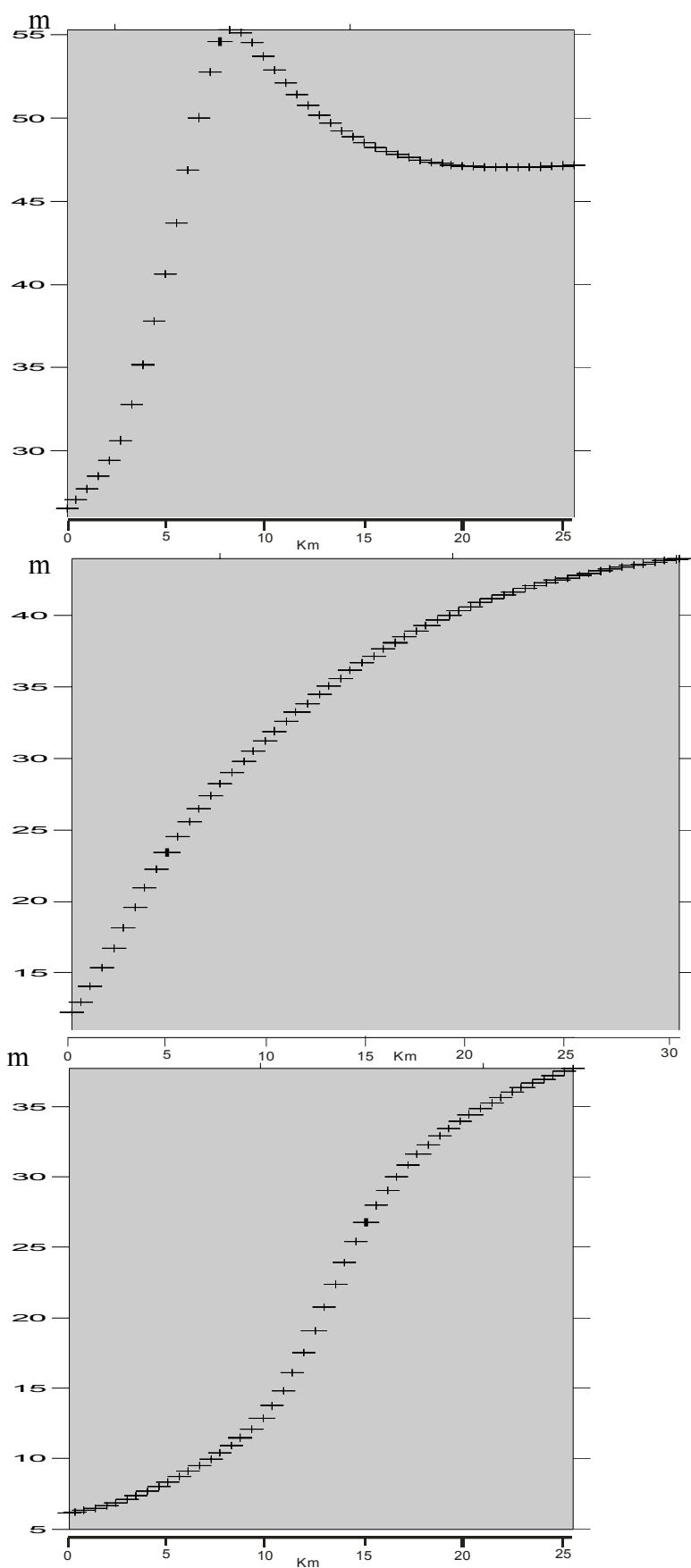
Σχήμα 5.21 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Μαρτίου 2002



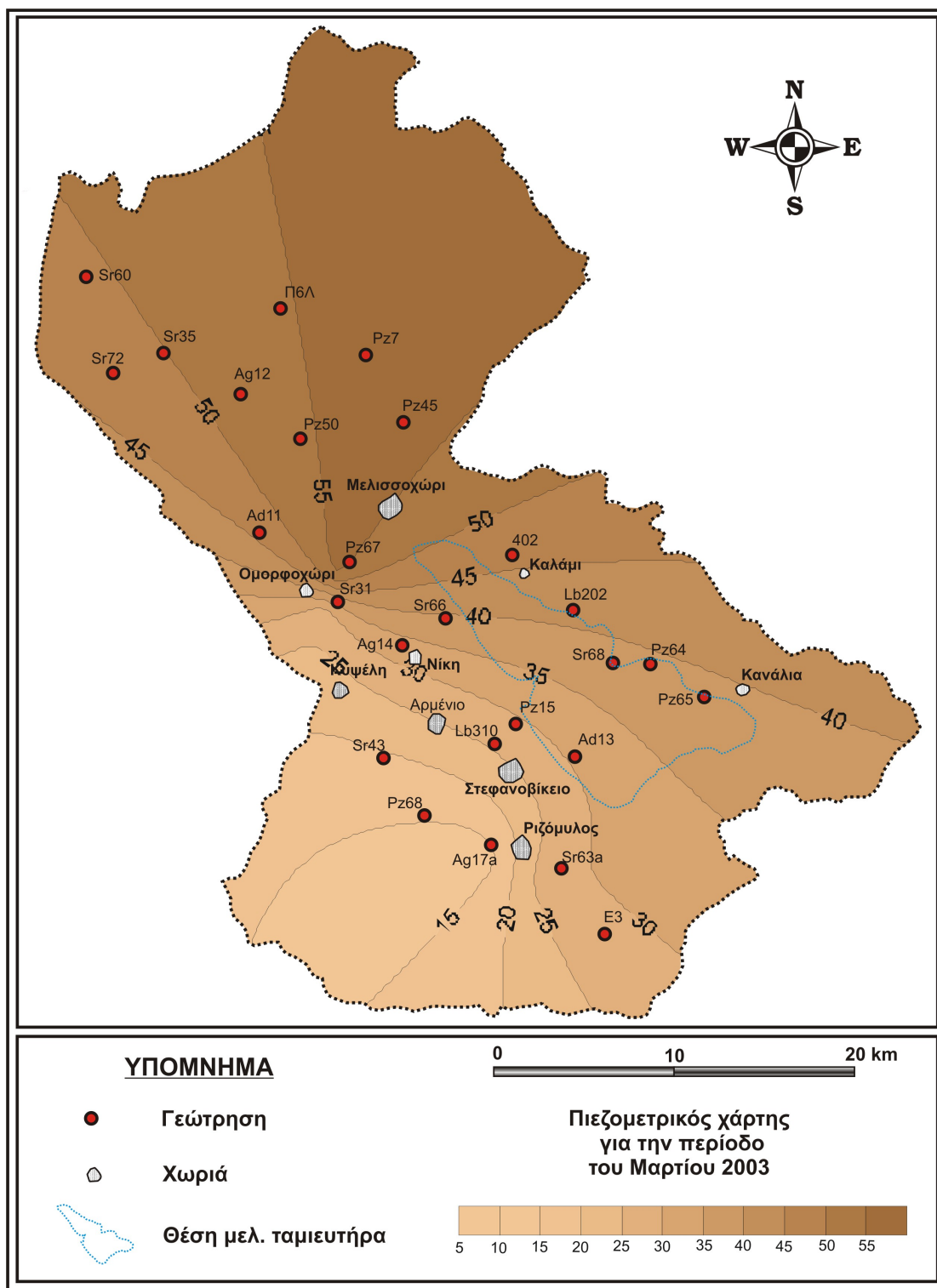
Σχήμα 5.22 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Μάρτιος 2002) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



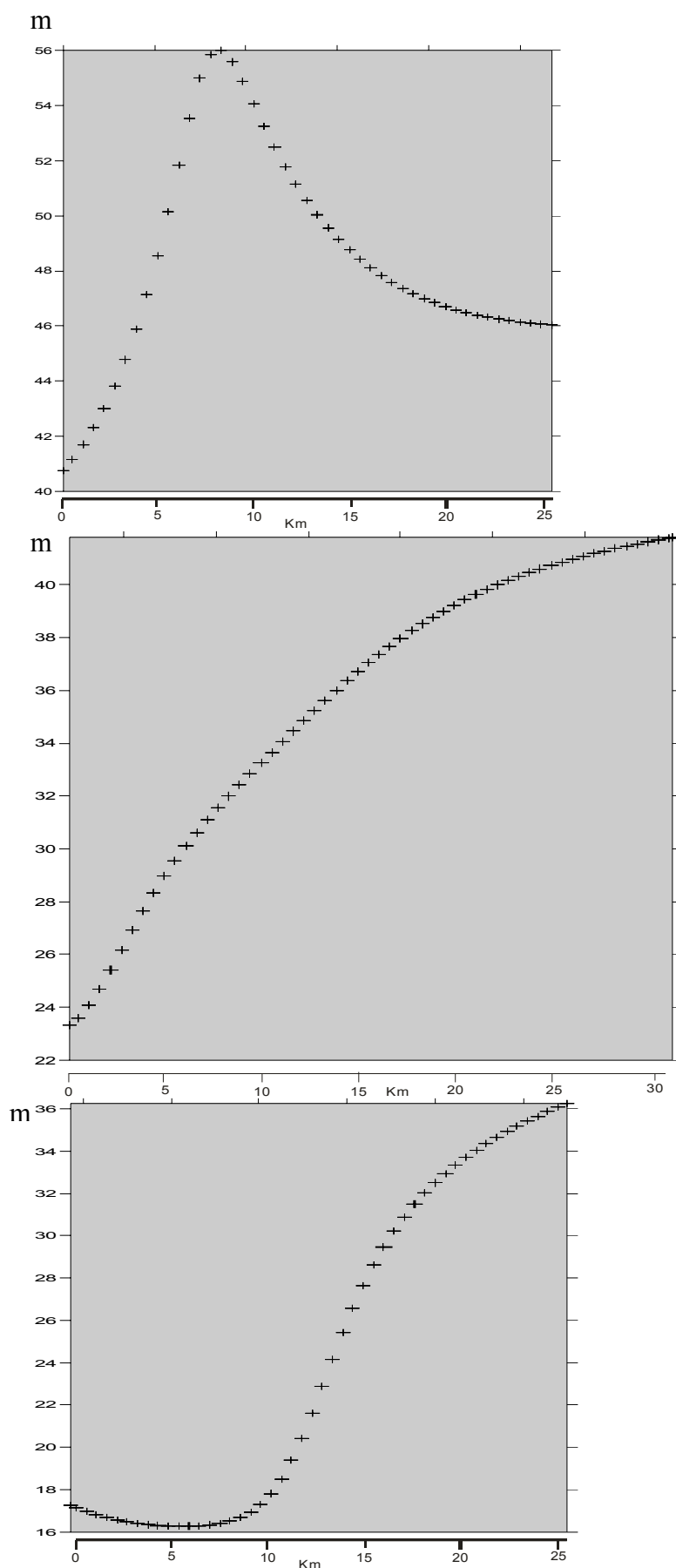
Σχήμα 5.23 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2002



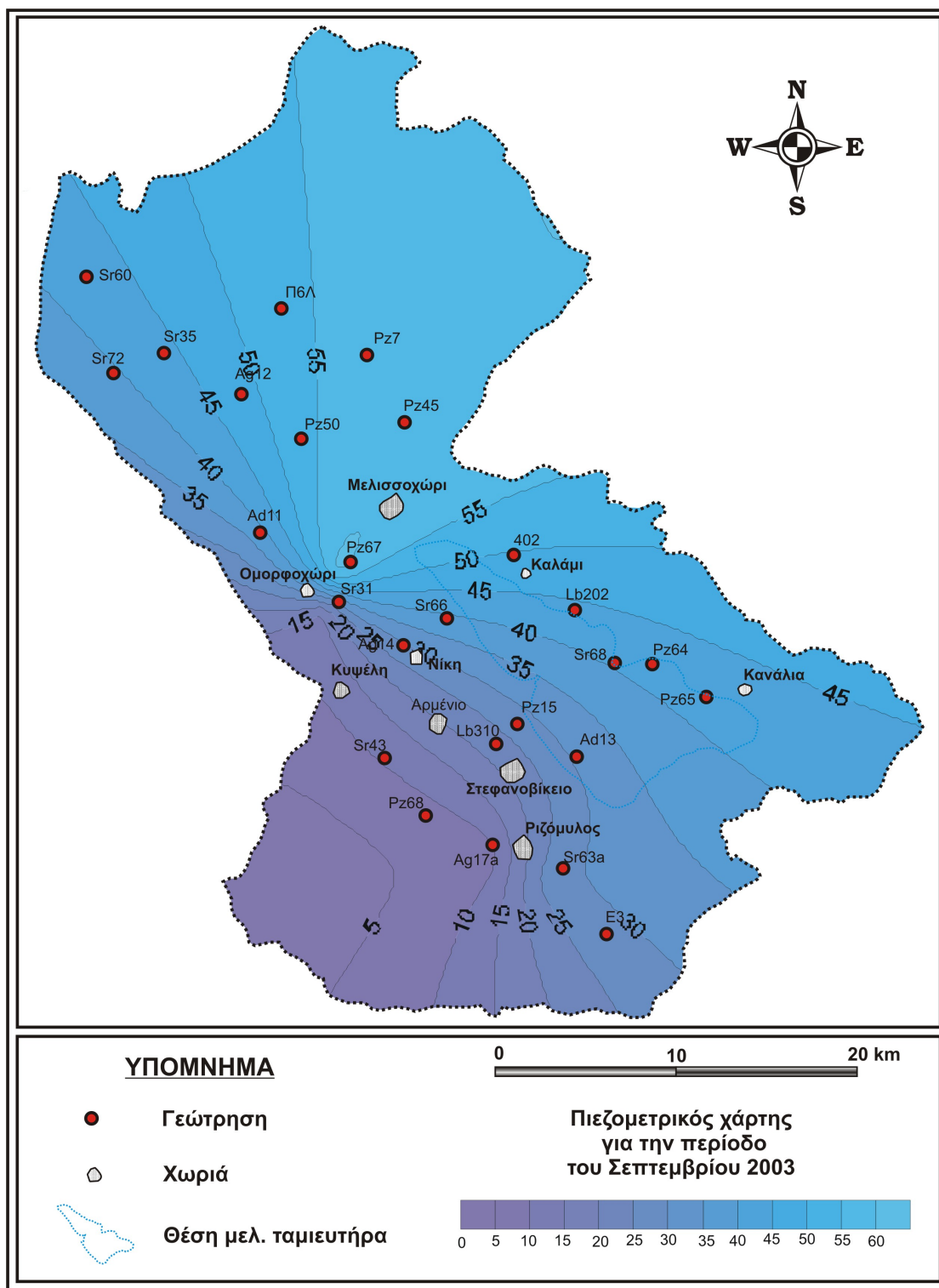
Σχήμα 5.24 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Σεπτέμβριος 2002) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



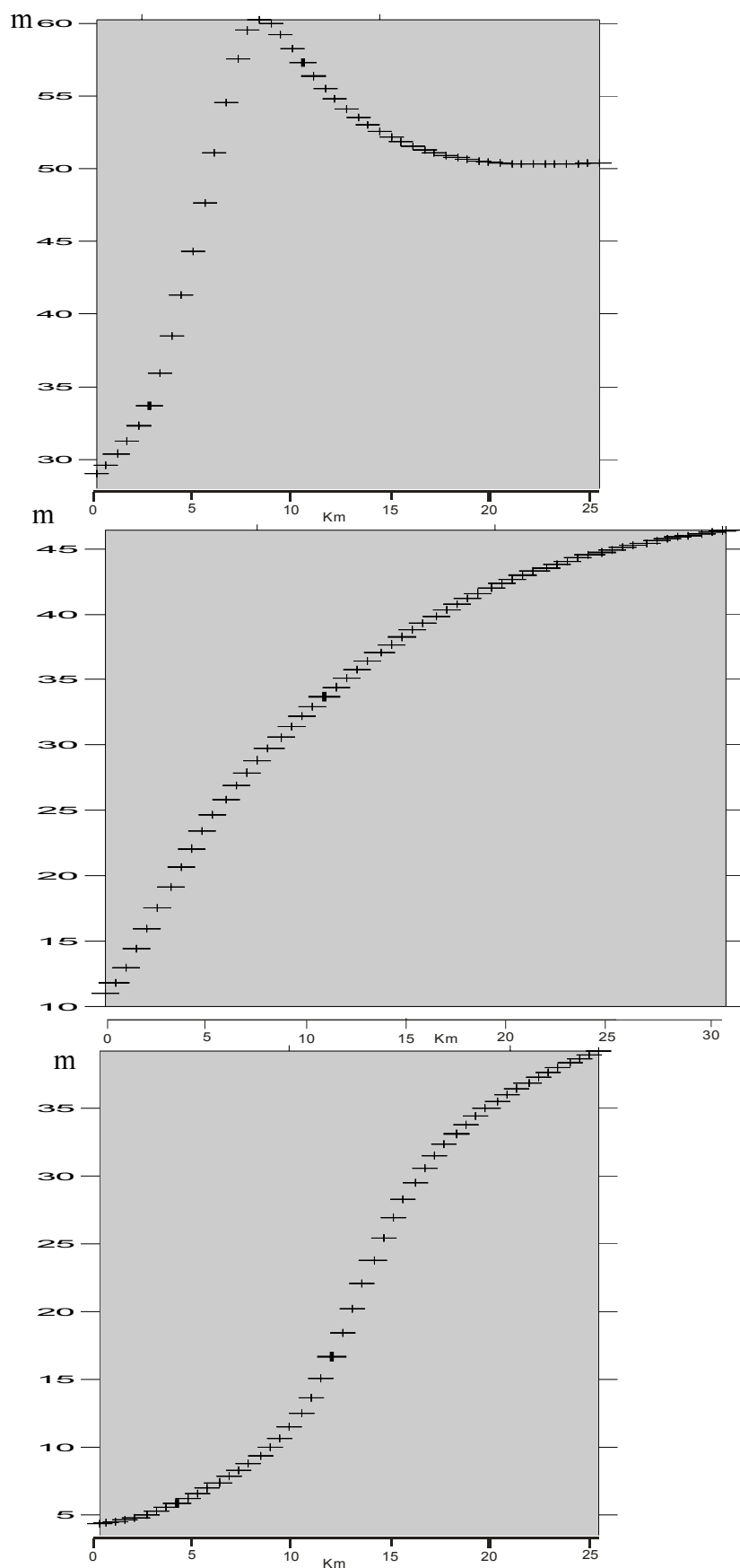
Σχήμα 5.25 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Μαρτίου 2003



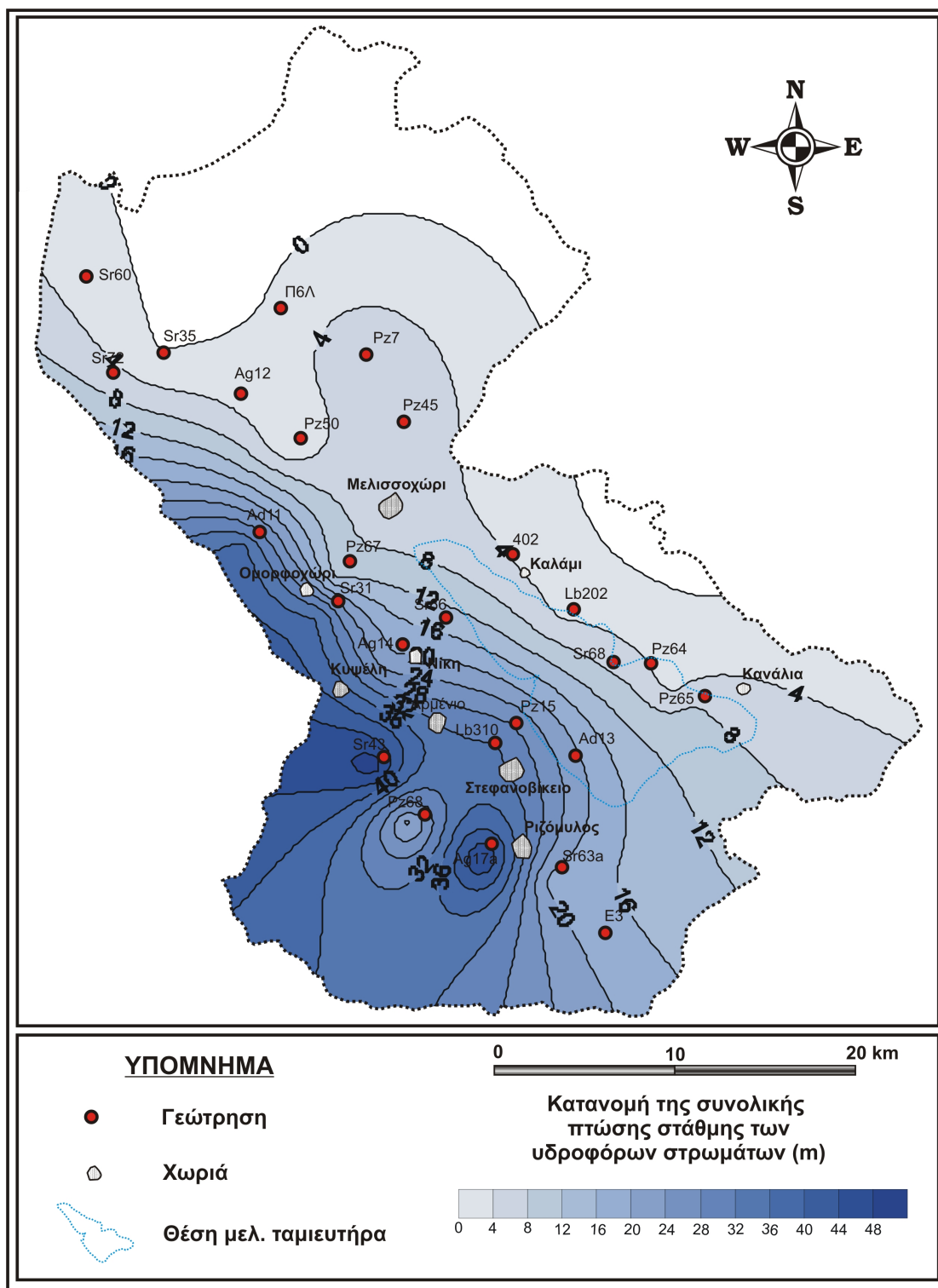
Σχήμα 5.26 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Μάρτιος 2003) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



Σχήμα 5.27 Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2003



Σχήμα 5.28 Υδρογεωλογικές τομές στην περιοχή έρευνας με διεύθυνση Δ-Α (Σεπτέμβριος 2003) α) τομή Α-Β, β) τομή Γ-Δ, γ) τομή Ε-Ζ



Σχήμα 5.29 Κατανομή της συνολικής πτώσης στάθμης των υδροφόρων στρωμάτων για την χρονική περίοδο 1972 - 2003

6. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

6.1 ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Το κλίμα μιας περιοχής αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη διαμόρφωση της γεωμορφολογίας της. Σε περιοχές λιμνών οι κλιματολογικές συνθήκες επηρεάζουν αναμφισβήτητα την διαμόρφωση των παράκτιων ζωνών. Ο ρόλος του είναι κυρίως έμμεσος. Τα στοιχεία του κλίματος που κυρίως επηρεάζουν την διαμόρφωση των ακτών μιας λίμνης είναι ο άνεμος, η θερμοκρασία και τα κατακρημνίσματα.

Ο άνεμος αποτελεί την κύρια γενεσιουργό αιτία των κυμάτων τα οποία αποτελούν σημαντικό παράγοντα διαμόρφωσης των ακτών. Επίσης αποτελεί τον κύριο παράγοντα διαμόρφωσης της ζώνης των θινών σε μια ακτή.

Η θερμοκρασία και τα κατακρημνίσματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην διακύμανση της στάθμης της λίμνης καθώς ρυθμίζουν σημαντικά τις απώλειες (εξάτμιση) νερού από τη λίμνη και τις εισροές νερού προς τη λίμνη. Επιπλέον τα κατακρημνίσματα συνδέονται με την επιφανειακή κυκλοφορία του νερού που ευθύνεται για τη διαμόρφωση χαρακτηριστικών μορφών διάβρωσης και απόθεσης στο χώρο των ακτών της λίμνης.

Γενικά η ευρύτερη περιοχή όπου ανήκει και η περιοχή της τέως λίμνης Κάρλας, έχει εύκρατο κλίμα Μεσογειακού τύπου. Χαρακτηριστικό αυτού του κλίματος είναι ξηρό και θερμό καλοκαίρι και ήπιος βροχερός χειμώνας. Επηρεάζεται άμεσα από το αντικυκλωνικό σύστημα του Ατλαντικού μετά την επέκταση του προς τη ΝΑ Ευρώπη. Χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση δύο ομάδων ανέμων:

1. Των Ετησίων ανέμων που αρχίζουν να πνέουν από τα μέσα Ιουλίου μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου. Οι άνεμοι αυτοί οφείλονται στο συνδυασμό της επέκτασης του θερινού θερμικού χαμηλού από την περιοχή της Ασίας και στον αντικυκλώνα του Ατλαντικού προς την ΝΑ Ευρώπη.
2. Των ξηρών και θερμών τοπικών ανέμων που είναι γνωστοί με το όνομα <<Λίβας>> και είναι εξαιρετικά καταστρεπτικοί για τις καλλιέργειες κατά την περίοδο του Μαΐου και Ιουνίου.

Συγκεκριμένα για το τοποκλίμα της περιοχής της τέως λίμνης Κάρλας κατά καιρούς έχουν εκτιμηθεί, σε διάφορες εργασίες, τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών της γύρω περιοχής, τα οποία όμως αναφέρονται κυρίως στα τελευταία χρόνια, λίγο πριν την αποξήρανση της λίμνης και μετά (Sogreah, 1974, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 1994, ΕΚΒΥ, 1995 και άλλοι). Κυρίως μελετήθηκαν πιθανές θερμοκρασιακές μεταβολές στην ευρύτερη περιοχή λόγω της αποξήρανσης της λίμνης Κάρλας.

Από την αξιολόγηση μετρήσεων θερμοκρασίας πριν την αποξήρανση της λίμνης προκύπτει, ότι για τη χρονική περίοδο 1946-1961 η μέση ετήσια θερμοκρασία ήταν $16,3^{\circ}\text{C}$, με τη μέση μέγιστη να φθάνει στους $34,5^{\circ}\text{C}$ το μήνα Ιούλιο και τη μέση ελάχιστη στους $1,6^{\circ}\text{C}$ το μήνα Ιανουάριο. Μετά την αποξήρανση της λίμνης (1962-1992), παρατηρήθηκε μια μείωση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά $0,7^{\circ}\text{C}$. Ειδικότερα η μέση μέγιστη αυξήθηκε κατά $0,5^{\circ}\text{C}$, ενώ η μέση ελάχιστη μειώθηκε κατά $0,9^{\circ}\text{C}$. Φαίνεται ότι η αποξήρανση της λίμνης επηρέασε το τοποκλίμα της περιοχής μεταβάλλοντάς το σε ένα κλίμα ηπειρωτικότερου χαρακτήρα (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 1994).

Η μέση τιμή της ετήσιας βροχόπτωσης στους διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς γύρω από την τέως λίμνη Κάρλα κυμαίνεται αυξανόμενη προς τα ΒΑ της λεκάνης. Ενδεικτικά από μετρήσεις στους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής Καναλίων και Σωτηρίου οι οποίοι βρίσκονται σε υψόμετρο +70m ο πρώτος και +54m ο δεύτερος, για τη χρονική περίοδο 1974-1992 και 1956-1992 αντίστοιχα, οι μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης είναι 740mm στο σταθμό Καναλίων και 430,1mm στο σταθμό Σωτηρίου.

6.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Η γνώση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής συμβάλλει στο να βελτιστοποιηθεί η διαχείριση των υδατικών πόρων στην περιοχή αυτή. Η υδρολογία των υπογείων νερών δεν είναι ανεξάρτητη εκείνης των επιφανειακών. Έτσι λοιπόν για την εύρεση του υπόγειου δυναμικού μιας περιοχής, είναι απαραίτητη η εύρεση του ισοζυγίου των επιφανειακών νερών. Είναι γνωστό ότι το υδρολογικό ισοζύγιο εκφράζεται από τη σχέση:

$$P = I + R + E + dw + dq \quad (6.1)$$

όπου: P: τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

R: η επιφανειακή απορροή

E: η εξατμισοδιαπνοή

I: η κατείσδυση

dw: η μεταβολή υπόγειων αποθεμάτων

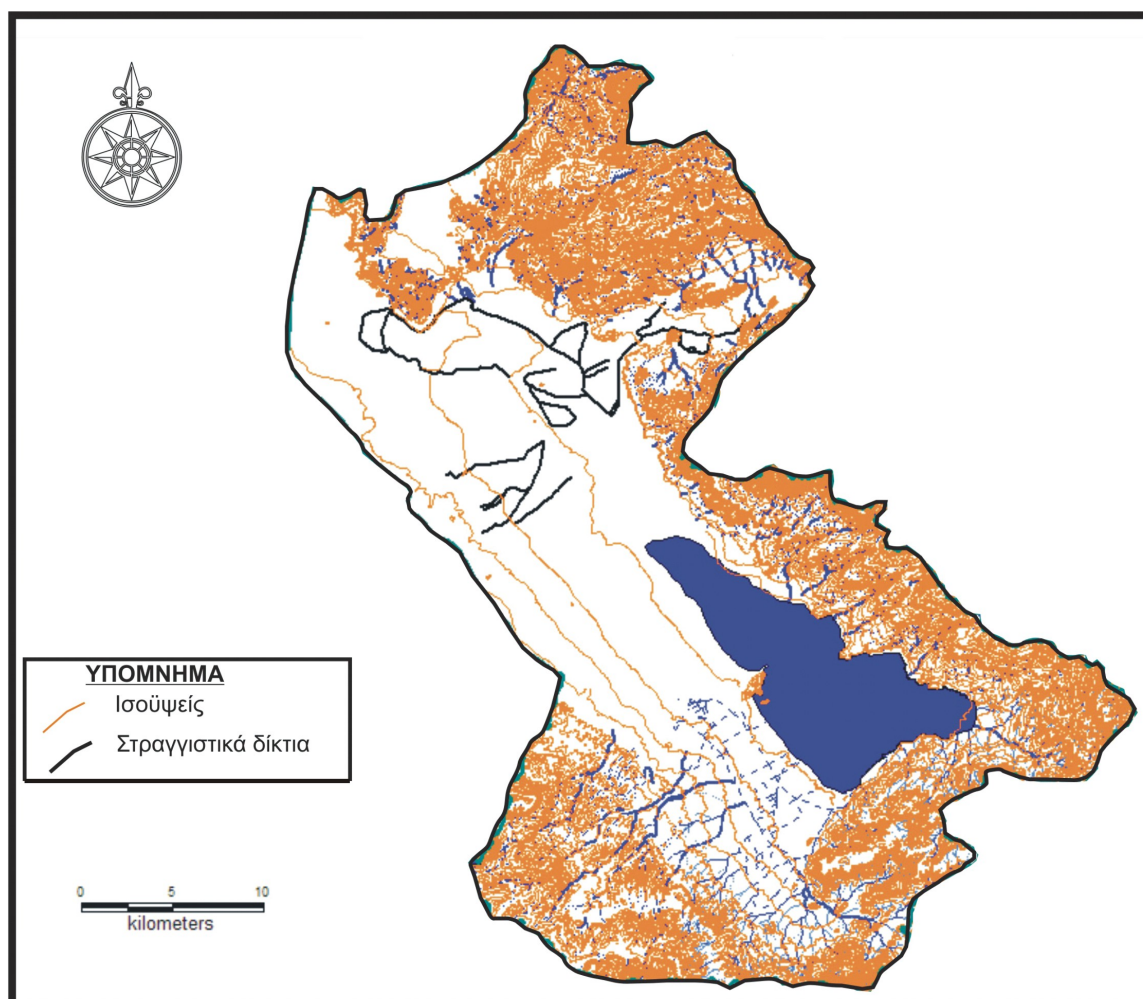
dq: το αποτέλεσμα επέμβασης του ανθρώπου

(όλα τα υδρολογικά μεγέθη εκφράζονται σε mm/έτος ή σε ποσοστά %)

Θεωρώντας ότι η υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κάρλας (σχήμα 6.1) αποτελεί αυτοτελές και αυτόνομο σύστημα επιφανειακά, είναι δυνατόν να καταρτιστεί το επιφανειακό υδρολογικό ισοζύγιο ως εξής:

$$P = I + R + E \quad (6.2)$$

Για τον υπολογισμό ενός αξιόπιστου επιφανειακού υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής είναι απαραίτητη η γνώση του ύψους της ετήσιας βροχόπτωσης, και της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί πως η σχέση 6.2 αναφέρεται στο ισοζύγιο του επιφανειακού νερού της περιοχής και όχι στο συνολικό ισοζύγιο του νερού της περιοχής, καθώς για τον προσδιορισμό του συνολικού ισοζυγίου νερού απαιτείται ο προσδιορισμός της μεταβολής των υπόγειων αποθεμάτων της (dw), καθώς και το μέγεθος των ανθρωπογενών επεμβάσεων στην ίδια περιοχή (dq).



Σχήμα 6.1 Η λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας

6.3 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ

Η εξεταζόμενη λεκάνη απορροής έχει αρκετά καλή κάλυψη από βροχομετρικούς σταθμούς. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα, από τους βροχομετρικούς σταθμούς Σωτήριο, Φάρσαλα και Μύρα. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 6.1 Βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση

α/α	Βροχομετρικοί σταθμοί	Υψόμετρο (m)
1	Σωτήριο	54
2	Φάρσαλα	434
3	Μύρα	280

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι ετήσιες τιμές βροχόπτωσης των σταθμών για την περίοδο 1992-2003 μετά τη συμπλήρωση των δεδομένων τους.

Πίνακας 6.2 Ετήσιες τιμές βροχόπτωσης για τους σταθμούς Σωτήριο, Μύρα, Φάρσαλα (χρονική περίοδος 1992 – 2003)

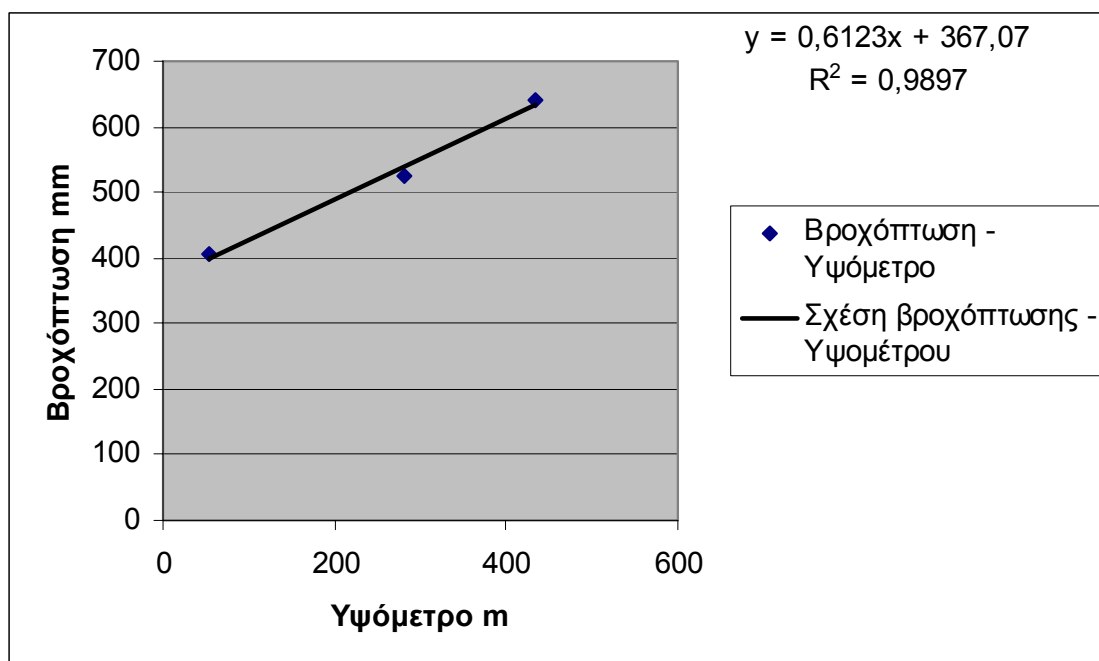
	Σωτήριο	Μύρα	Φάρσαλα
Ο	53,15	70,55	79,91
Ν	67,33	76,46	102,00
Δ	57,73	86,33	88,45
Ι	50,46	63,75	77,64
Φ	30,00	41,02	63,73
Μ	36,63	47,02	56,82
Α	31,88	37,07	36,05
Μ	42,36	50,65	51,45
Ι	9,82	17,92	15,00
Ι	20,51	11,91	29,18
Α	10,33	16,65	21,18
Σ	30,13	31,88	30,64
Σύνολο	405,70	524,77	640,96

Η ετήσια κατανομή των βροχοπτώσεων (P) επηρεάζεται αποφασιστικά από το υψόμετρο (H) της περιοχής. Για τον προσδιορισμό της βροχοβαθμίδας της περιοχής στα δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής εφαρμόσθηκε η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιείται η γραμμική έκφραση:

$$Y = aH + b \quad (6.3)$$

με ανεξάρτητη μεταβλητή το υψόμετρο των σταθμών (H) και εξαρτημένη το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης (P). Από τα δεδομένα του Πίνακα 6.3 προκύπτει η σχέση $y = 0,6123x + 367,07$ ($R = 0.99$). Το τυπικό σφάλμα εκτίμησης (standard error of the estimate) είναι μικρό και αυτό υποδηλώνει ότι η προσαρμογή των δεδομένων στην ευθεία (Σχήμα 6.2) είναι καλή και για το δοσμένο υψόμετρο μπορούμε να προβλέψουμε το ύψος βροχόπτωσης, χωρίς μεγάλο σφάλμα.

Η κλίση της ευθείας αυτής (βροχοβαθμίδα) είναι σχετικά μεγάλη (υπάρχει μια αύξηση της τάξης των 61 χιλιοστών ανά 100 μέτρα).



Σχήμα 6.2 Γραφική απεικόνιση της σχέσης ύψους βροχής – υψόμετρου στην περιοχή έρευνας

Για τον υπολογισμό του όγκου του νερού που δέχεται η λεκάνη απορροής της Κάρλας, είναι απαραίτητη η εύρεση του μέσου υψόμετρου αυτού. Με βάση την ψηφιοποίηση που πραγματοποιήθηκε προκύπτει πως το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι ίσο με 320 m. Έτσι από τη σχέση 6.3 προκύπτει ότι το συνολικό ύψος βροχόπτωσης που δέχεται η λεκάνη απορροής της Κάρλας είναι ίσο με 563,0 mm.

Επίσης αναφορικά με τις μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης που δέχεται η περιοχή, αυτές προσδιορίζονται με βάση το μέσο όρο των μηνιαίων τιμών των βροχομετρικών σταθμών Σωτήριο και Φάρσαλα με δεδομένη την μικρή απόκλιση που παρουσιάζει το μέσο υψόμετρο των σταθμών σε σχέση με το μέσο υψόμετρο την λεκάνης.

Έτσι στον παρακάτω Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται οι μηνιαίες τιμές των δύο βροχομετρικών σταθμών, καθώς επίσης και ο μέσος όρος τους.

Πίνακας 6.3 Μέσες μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων στους βροχομετρικούς σταθμούς Σωτήριο και Φάρσαλα για τα έτη 1992 – 2003.

	Σωτήριο	Φάρσαλα	Μέσος όρος
Ο	53,15	79,91	66,53
Ν	67,33	102,00	84,67
Δ	57,73	88,45	73,09
Ι	50,46	77,64	64,05
Φ	30,00	63,73	46,87
Μ	36,63	56,82	46,73
Α	31,88	36,05	33,97
Μ	42,36	51,45	46,91
Ι	9,82	15,00	12,41
Ι	20,51	29,18	24,85
Α	10,33	21,18	15,76
Σ	30,13	30,64	30,39
Σύνολο	405,70	640,96	546,19

6.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του αέρα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού Μύρα για το χρονικό διάστημα 1992 – 2003. Επίσης με δεδομένη τη μικρή υψομετρική διαφορά μεταξύ του σταθμού αυτού και του μέσου υψομέτρου της λεκάνης θεωρήθηκε πως η θερμοκρασία του σταθμού αντιστοιχεί στις τιμές της θερμοκρασίας της λεκάνης. Στον παρακάτω πίνακα 6.4 και 6.5 παρουσιάζονται οι μηνιαίες και οι ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας για τη χρονική περίοδο 1992 – 2003.

Πίνακας 6.4 Μέσες ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας σε °C του σταθμού Μύρα για τον χρονικό διάστημα 1992 – 2003

	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	Μέσος όρος
Ο	20,01	20,73	19,65	15,59	15,54	15	18,56	19,2	17,32	17,78	16,78	17,83
Ν	12,45	11,11	10,93	9,68	12,71	11	12,55	12,65	14,78	12,23	11,66	11,98
Δ	6,51	6,17	6,9	10,82	8,64	6,45	6,5	9,51	8,83	7,34	6,78	7,68
Ι	5,82	5,4	7,78	6,9	7,5	5,46	7,56	3,82	8,19	6,87	5,98	6,48
Φ	5,21	4,9	10,31	8	8,7	9,26	7,9	8,63	9,87	8,38	4,12	7,75
Μ	11,38	9,33	11,62	8,01	10,43	9,1	9,23	10,43	16,09	9,98	7,37	10,27
Α	14,74	13,86	14,88	13,48	12	16,7	14,7	17,35	15,61	16,39	13,23	14,81
Μ	17,98	17,28	20,9	19,98	21,3	20,06	18,59	21,8	20,35	19,2	18,93	19,67
Ι	25,96	20,96	27,06	26,16	25,28	26,4	25,87	25,83	25,43	26,85	25,76	25,60
Ι	27,56	22,22	26,87	27	27,1	28,5	26,67	28,53	28,5	26,54	26,78	26,93
Α	27,27	23,04	25,75	26,85	24,72	28,4	28,85	27,03	28,21	25,06	28,54	26,70
Σ	21,88	23,21	22,34	22,53	21,9	20,11	22,71	23,27	23,15	22,54	22,12	22,34
	16,40	14,85	17,08	16,25	16,32	16,37	16,64	17,34	18,03	16,60	15,67	16,50

Πίνακας 6.5 Μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας σε °C του σταθμού Μύρα για το χρονικό διάστημα 1992 - 2003

	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Σύνολο
Μύρα	17,8 3	11,9 8	7,68	6,5	7,75 0	10,27 0	14,81 0	19,67 0	25,6	26,9 3	26,7	22,3 4	16,5

6.5 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί βασική υδρολογική παράμετρο για τον καθορισμό του υδρολογικού ισοζυγίου. Για τον υπολογισμό της συντάχθηκε το ισοζύγιο κατά τη μέθοδο Thornthwaite – Mather (1955). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό τόσο της μηνιαίας, όσο και της ετήσιας δυναμικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι ο καθορισμός της μέγιστης αποθηκευτικής ικανότητας S_{t0} , η οποία εξαρτάται κυρίως από την κοκκομετρική – λιθολογική σύσταση των υδροφόρων, την πυκνότητα και το είδος της βλάστησης, το βάθος της στάθμης του υδροφόρου στρώματος από την επιφάνεια του εδάφους και την εδαφική κλίση (Βαφειάδης, 1983 - Ράπτη, 1995).

Στην περίπτωση μας για τη μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του καρστικού όγκου της περιοχής χρησιμοποιήθηκε η τιμή 100 mm.

Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (E_r) από τη δυναμική (E_p) ακολουθούνται τα εξής (Thornthwaite και Mather, 1955 – Δημόπουλος, 1979 – Μυριούνης, 2004):

Αν η βροχόπτωση (P) υπερβαίνει την E_p τότε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι ίση με τη δυναμική. Η διαφορά ($P - E_p$) αποθηκεύεται στο έδαφος μέχρις ότου κορεσθεί από υγρασία. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ικανότητα κατακράτησης κάθε μήνα σύμφωνα με τη σχέση 6.15.

$$St = S_{t0} * e^{APWL/St0} \quad (6.15)$$

όπου: St : είναι η ικανότητα κατακράτησης κάθε μήνα

$APWL$: ποσότητα που εκφράζει την απώλεια νερού που υφίσταται το έδαφος από την ελάττωση της υγρασίας του

S_{t0} : μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους

Η $APWL$ είναι μηδέν, όταν η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή. Στην αντίθετη περίπτωση για τον υπολογισμό της

APWL προστίθεται στην αρνητική τιμή ($P - E_p$) του μήνα η τιμή του APWL του προηγούμενου μήνα.

Αν οι μηνιαίες βροχοπτώσεις είναι μικρότερες από την E_p τότε η E_p είναι ίση με το άθροισμα των βροχοπτώσεων και της $|\Delta St|$. Το ΔSt εκφράζει τη μεταβολή του νερού που υπάρχει στο έδαφος από μήνα σε μήνα. Οι παραπάνω υπολογισμοί αρχίζουν από το μήνα Ιανουάριο, κατά τον οποίο το έδαφος έχει ικανοποιήσει τις ανάγκες σε νερό.

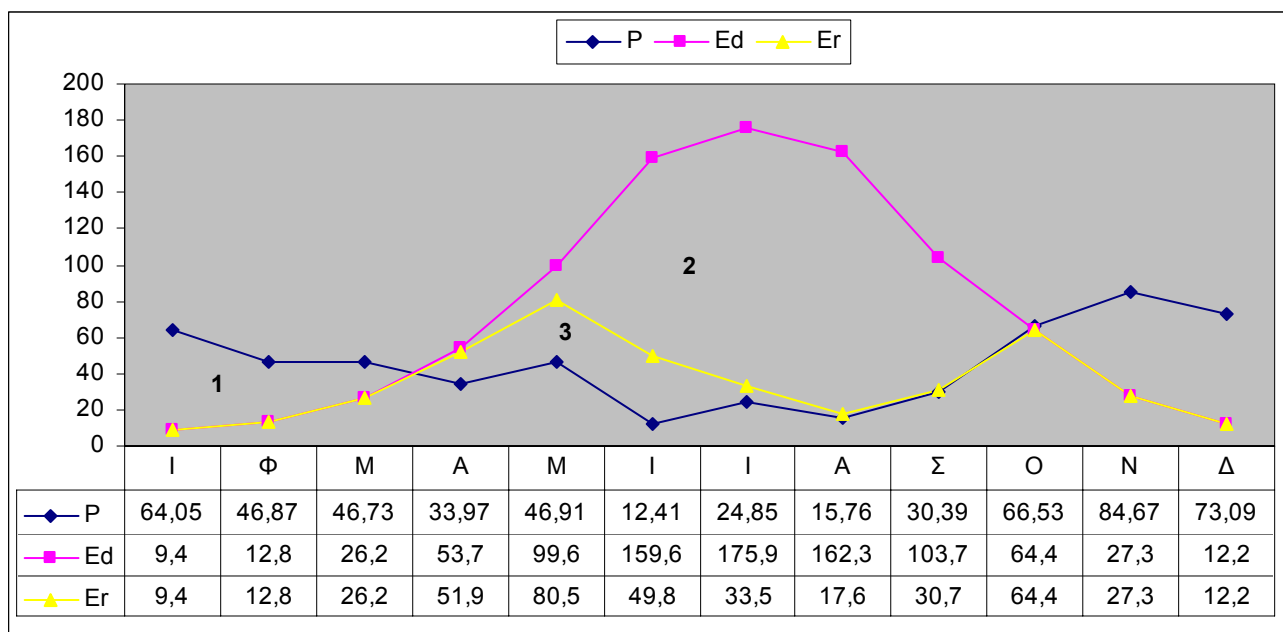
Για την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite - Mather στη λεκάνη απορροής της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας από τους Πίνακες 6.3 και 6.5 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.6 που ακολουθεί.

Εφαρμόζοντας λοιπόν τη μέθοδο του Thornthwaite - Mather στην λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας προκύπτει ότι ο συνολικός όγκος νερού που εξατμίζεται ετησίως αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ίσο με 76,2%.

Επίσης από τα διαγράμματα του ισοζυγίου του νερού (σχήμα 6.3) διαπιστώνεται ότι η κύρια τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων του καρστικού όγκου γίνεται γενικά από τις αρχές Οκτωβρίου ως τα μέσα Μαρτίου ενώ, κατά τους υπόλοιπους μήνες παρατηρείται έλλειμμα νερού και γίνεται χρήση της υγρασίας του εδάφους.

Πίνακας 6.6 Μέση μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm) κατά Thornthwaite για την λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας (χρονική περίοδος 1992 - 2003)

Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite					$S_{t0} =$	100	$\alpha =$	1,759	Συντ. Πρ. εξατμης. κατά Thornthwaite				76,2%
	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	Σ/Μ.Ο.
T °C	6,48	7,75	10,27	14,81	19,67	25,60	26,93	26,70	22,34	17,83	11,98	7,68	16,50
i	1,48	1,94	2,97	5,18	7,95	11,85	12,80	12,63	9,64	6,85	3,75	1,92	78,98
E_Δ	11,3	15,5	25,4	48,4	79,7	126,7	138,5	136,4	99,7	67,0	33,3	15,2	
n	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,8	
E_Δ	9,4	12,8	26,2	53,7	99,6	159,6	175,9	162,3	103,7	64,4	27,3	12,2	906,91
P (mm)	64,05	46,87	46,73	33,97	46,91	12,41	24,85	15,76	30,39	66,53	84,67	73,09	546,19
Έλλειμα	0,0	0,0	0,0	19,7	52,7	147,2	151,0	146,6	73,3	0,0	0,0	0,0	
Πλεον.	54,7	34,0	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	57,4	60,9	
APWL	0,0	0,0	0,0	-19,7	-72,4	-219,6	-370,6	-517,1	-590,4	0,0	0,0	0,0	
St	100,0	100,0	100,0	82,1	48,5	11,1	2,5	0,6	0,3	2,5	59,8	100,0	
ΔSt	0,0	0,0	0,0	-17,9	-33,6	-37,4	-8,7	-1,9	-0,3	2,2	57,4	40,2	
Er	9,4	12,8	26,2	51,9	80,5	49,8	33,5	17,6	30,7	64,4	27,3	12,2	416,2
Έλλ. νερού	0,0	0,0	0,0	1,8	19,1	109,8	142,3	144,7	73,0	0,0	0,0	0,0	
Ολ. Απορροή	54,7	34,0	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,7	130,0



Σχήμα 6.3 Υδρολογικό ισοζύγιο κατά Thornthwaite -Mather για τη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας (1992 – 2003). (1) αναπλήρωση του νερού του εδάφους + κατείδυση + απορροή, (2) πραγματική έλλειψη νερού, (3) χρησιμοποίηση της υγρασίας του εδάφους για εξάτμιση

6.6 ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ

Η κατείδυση αντιπροσωπεύει το μέρος εκείνο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους και φθάνοντας στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, προστιθέμενο στα αποθέματα των υπογείων νερών, μετέχει στις κινήσεις των τελευταίων (Σούλιος, 1986).

Μέτρο της κατείδυσης είναι ο συντελεστής κατείδυσης (I), ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του νερού που κατειδύει σε σχέση με την ολική βροχόπτωση. Με δεδομένη τη λιθολογία των επιφανειακών σχηματισμών της λεκάνης απορροής της Κάρλας (μαργαϊκές αποθέσεις), με το Σούλιο, (1986) προκύπτει συντελεστής κατείδυσης ίσος με 8% του μέσου ετήσιου ύψους βροχόπτωσης.

6.7 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ

Με τον όρο επιφανειακή απορροή ορίζεται το τμήμα εκείνο του νερού των κατακρημνισμάτων που μόλις πέσει στην επιφάνεια του εδάφους ρέει

επιφανειακά και εισέρχεται στο υδρογραφικό σύστημα της περιοχής από το οποίο απάγεται οδηγούμενο τελικά στη θάλασσα (ή σε λίμνη) όπου εκχύνεται (Σούλιος, 1986).

Όπως προέκυψε από το ισοζύγιο Thornthwaite – Mather ο συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στη λεκάνη απορροής της Κάρλας είναι της τάξης του 76,2% του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης. Το υπόλοιπο αντιστοιχεί στα ποσά της κατείσδυσης και της επιφανειακής απορροής. Με δεδομένο ότι η κατείσδυση αντιστοιχεί στο 8% του ύψους της βροχόπτωσης, προκύπτει ότι ο συντελεστής επιφανειακής απορροής της λεκάνης της Κάρλας είναι της τάξης του 15,8% του ετήσιου ύψους της βροχόπτωσης.

6.8 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ο υπολογισμός ενός προσεγγιστικού ισοζυγίου για την περιοχή της λεκάνης της λίμνης της Κάρλας. Με δεδομένο ότι το εμβαδόν του μελλοντικού ταμιευτήρα αυτής θα είναι περίπου ίσο με 1017,65 km² προκύπτει το παρακάτω ισοζύγιο ύδατος.

	P	E	I	R
Ποσοστό	100	76,2	8	15,8
mm	563	429,0	45,0	89,0
m ³	572,9*10 ⁶	436,6*10 ⁶	45,8*10 ⁶	90,5*10 ⁶

Συμπερασματικά, μπορούμε να αναφέρουμε εδώ, ότι οι παράγοντες που έδρασαν αρνητικά στη διατήρηση των αποθεμάτων του υπόγειου νερού και επιβάρυναν την υπάρχουσα κατάσταση είναι:

- ✓ Η μείωση των βροχοπτώσεων που παρατηρήθηκε κατά τη δεκαετία 1980 – 1990. Κατά την περίοδο αυτή είχαμε μείωση της τάξης του 30%

σε σχέση με την περίοδο 1958 – 1973, ενώ κατά τη διετία 1989 – 1990 η μείωση είναι της τάξης του 50%.

- ✓ Παρατηρήθηκε ταυτόχρονα και μείωση των αποθεμάτων των υδροφόρων στρωμάτων που οδηγεί σταδιακά στην ταπείνωση της υπόγειας πιεζομετρικής τους στάθμης, τη μείωση του πιεζομετρικού τους φορτίου και των παροχών των καρστικών πηγών, όπως και του επιπέδου ανάβλυσής τους.
- ✓ Οι γεωτρήσεις που έχουν διανοιχτεί και λειτουργούν στην περιοχή, έχουν επηρεάσει αρνητικά τα υδατικά αποθέματα του συστήματος.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη διατριβή αυτή μελετήθηκαν οι μηχανισμοί λειτουργίας της λίμνης Κάρλας. Παρακάτω δίνονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την διατριβή αυτή.

Η περιοχή διοικητικά ανήκει στο δήμο Πλατυκάμπου του νομού Λάρισας και στη νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Λάρισας. Η τέως λίμνη Κάρλα, κάλυπτε το νότιο μέρος της λεκάνης που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας ή νοτιοανατολικά της Λάρισας και βορειοδυτικά του Βόλου. Τα όρια της καθορίζονταν στα βορειοανατολικά και ανατολικά από τους πρόποδες του όρου Μαυροβουνίου, στα νοτιοανατολικά και νότια από τους πρόποδες του όρους Πηλίου και Μεγαβουνίου αντίστοιχα, στα δυτικά από τη λοφώδη ζώνη της κεντρικής Θεσσαλίας, ενώ δεν υπήρχαν σαφή όρια στα βόρεια, όπου επικοινωνούσε με τον Πηνειό.

Η τέως λίμνη Κάρλα είχε ένα απιοειδές σχήμα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, το οποίο καθορίστηκε από τη μορφολογία της ευρύτερης λεκάνης. Η έκταση που καταλάμβανε, η στάθμη και το βάθος της δεν ήταν σταθερά. Τον τελευταίο αιώνα η μέση στάθμη της ήταν +47m και η αντίστοιχη μέση καλυπτόμενη έκταση 75km². Το μέσο μήκος της ήταν 15 km και το πλάτος της 6 km. Η κλίση του πυθμένα της λίμνης ήταν πολύ μικρή, ενώ το μέγιστο βάθος έως το 1930 ήταν 4-6 m.

Ο τεκτονικός χαρακτήρας της Κάρλας και η παρουσία ανθρακικών πετρωμάτων στην ευρύτερη λεκάνη απορροής, επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό της ως ημιπόλγης, δηλαδή μιας ανοιχτής, από την μία πλευρά, πόλγης.

Η περιοχή της λεκάνης της Κάρλας γεωτεκτονικά τοποθετείται στο χώρο της Πελαγονικής ζώνης. Δομείται κυρίως από πετρώματα της Πελαγονικής, τα οποία αποτελούν το υπόβαθρο της λεκάνης και από ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς, τα οποία βρίσκονται ασύμφωνα τοποθετημένα πάνω στα προηγούμενα. Γενικά, τα πετρώματα του υποβάθρου εμφανίζονται κυρίως στα βορειοανατολικά, ανατολικά και νοτιοανατολικά της λεκάνης απορροής την οποία και οριοθετούν στις θέσεις αυτές. Τα νεογενή ιζήματα καλύπτουν ολόκληρο σχεδόν το δυτικό τμήμα της λεκάνης, ενώ τα τεταρτογενή εμφανίζονται στο κέντρο της.

Στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής της téως λίμνης Κάρλας διακρίνουμε δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων τα οποία επηρεάζουν τους προαλπικούς, αλπικούς και μεταλπικούς σχηματισμούς της. Ένα με διεύθυνση BBD – NNA το οποίο θεωρείται παλιότερο και ένα νεώτερο με διεύθυνση BA – NΔ έως και A – Δ.

Αναφορικά με τον τύπο της λίμνης, όπως προκύπτει από την τεκτονική, τις γεωλογικές τομές που κατασκευάστηκαν, καθώς και από την ερμηνεία των πιεζομετρικών χαρτών της περιοχής, διαπιστώνεται ότι αυτή είναι ένα τεκτονικό βύθισμα με αδιαπέρατο υπόβαθρο μη συνδεδεμένη άμεσα με το καρστικό υδροφορέα.

Η τροφοδοσία της λίμνης από τους ανθρακικούς όγκους που βρίσκονται ανατολικά τους γίνεται δευτερευενώς και μόνον τότε, όταν η στάθμη του καρστικού υδροφορέα ανέλθει πάνω από το απόλυτο υψόμετρο των +45m. Η λίμνη φορτίζεται αποκλειστικά από τα επιφανειακά νερά της περιοχής που μεταφέρονται στην κλειστή εσωτερική υδρολογική λεκάνη της Κάρλας. Έτσι δικαιολογούνται και τα ιστορικά επεισόδια εκφόρτισης της λίμνης σε επιφανειακά και υπόγεια καρστικά έγκοιλα (καταβόθρες) στα παράκτια ανθρακικά πετρώματα της Πελαγονικής. Η παρουσία της λίμνης οφείλεται αποκλειστικά στις επιφανειακές τροφοδοσίες των ανατολικών ρευμάτων και τις στραγγίσεις των ελεύθερων, επιφανειακών υδροφορέων.

Πιστεύουμε ότι ουδεμία σχέση συνδέει την παρουσία της λίμνης με την κατάσταση των υπόγειων, υπό πίεση, υδροφορέων. Τα δύο συστήματα λειτουργούν εντελώς ανεξάρτητα στο χώρο.

Αναφορικά με την στείρευση της καρστικής πηγής του Βελεσίνου, που παρατηρήθηκε από το 1985 και μετά, οφείλεται στη λειτουργία των υδρογεωτρήσεων που βρίσκονται στη γύρω περιοχή, που ταπεινώνουν σταδιακά κάτω από το επίπεδο ανάβλυσσης της πηγής, τη στάθμη του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα.

Εξετάζοντας τους πιεζομετρικούς χάρτες των περιόδων 1998 – 2003 διαπιστώνουμε μια σαφή γενική τάση τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφόρων από BBA και A προς τα NNA και Δ με υδραυλικές κλίσεις που κυμαίνονται από 1‰ μέχρι και 10,3‰. Η μείωση της υπόγειας στάθμης των υδροφορέων δυτικά της λίμνης συνδέεται οπωσδήποτε με την έντονη γεωργική δραστηριότητα και τις συνθήκες υπερεκμετάλλευσης και εξάντλησης των

υδροφορέων σ' αυτήν την περιοχή που επιτελείται με τη διαρκή υπεράντλησής τους.

Αξιολογώντας το συνοπτικό υδραυλικό χάρτη του Σχ. 5.29, όπου απεικονίζεται η κατανομή του συνολικού ποσού της πτώσης στάθμης κατά τα τελευταία 31 χρόνια (1972-2003), διαπιστώνουμε μια βαθμιαία αύξηση της πτώσης στάθμης από ανατολικά προς τα δυτικά που φτάνει και υπερβαίνει τα 40m νότια και δυτικά των χωριών Ομορφοχώρι, Κυψέλη και Στεφανοβίκειο. Αυτό γίνεται εύκολα κατανοητό γιατί στις θέσεις αυτές οι αγροτικές καταναλώσεις είναι αυξημένες εξαιτίας των έντονων αρδευτικών αντλήσεων και αγροτικών εκμεταλλεύσεων και ταυτόχρονα του μειωμένου ρυθμού επαναφόρτισης των υδροφορέων άμεσα από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

Αναφορικά με τις υδρολογικές συνθήκες της περιοχής, με βάση τα βροχομετρικά και μετεωρολογικά στοιχεία τεσσάρων και δύο σταθμών αντίστοιχα υπολογίστηκε ότι, η μέση βροχόπτωση και η μέση θερμοκρασία στην περιοχή του καρστικού όγκου για την περίοδο 1992 - 2003 είναι 563,0mm και 16,5 °C αντίστοιχα. Η βροχοβαθμίδα υπολογίσθηκε ίση με 61mm ύψους βροχής ανά 100 m.

Υπολογίστηκε το υδρολογικό ισοζύγιο με τη μέθοδο Thornthwaite - Mather, με την εξατμισοδιαπνοή να αποτελεί περίπου το 76,2% του συνόλου των βροχοπτώσεων. Ο συντελεστής κατείσδυσης προσδιορίστηκε ίσος με 7%, ενώ η επιφανειακή απορροή εκτιμήθηκε ίση με το 15,8% των βροχοπτώσεων.

Τέλος οι παράγοντες που έδρασαν αρνητικά στη διατήρηση των αποθεμάτων του υπόγειου νερού και επιβάρυναν την υπάρχουσα κατάσταση είναι:

Η μείωση των βροχοπτώσεων που παρατηρήθηκε κατά τη δεκαετία 1980 – 1990. Κατά την περίοδο αυτή είχαμε μείωση της τάξης του 30% σε σχέση με την περίοδο 1958 – 1973, ενώ κατά τη διετία 1989 – 1990 η μείωση είναι της τάξης του 50%.

Παρατηρήθηκε ταυτόχρονα και μείωση των αποθεμάτων των υδροφόρων στρωμάτων που οδηγεί σταδιακά στην ταπείνωση της υπόγειας πιεζομετρικής τους στάθμης, τη μείωση του πιεζομετρικού τους φορτίου και

των παροχών των καρστικών πηγών, όπως και του επιπέδου ανάβλυσης τους.

Οι γεωτρήσεις που έχουν διανοιχτεί και λειτουργούν στην περιοχή, έχουν επηρεάσει αρνητικά τα υδατικά αποθέματα του συστήματος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bottema, S., (1979):** «Limnological study of lake Karla», Bull. De l' Inst Oceanogr., 1083, 1-19.
- Brunn, J., (1956):** «Contribution a l' etude géologique du Pinde septentrional et d'une partie de la Macédoine occidentale». Ann. Geol. des Pays Hell. 7.
- Caputo, R., (1994):** «The Pliocene – Quaternary tectonic – sedimentary evolution of the Larissa Plain» (Eastern Thessaly, Greece).
- Sogreah, (1974):** «Μελέτη αναπτύξεως υπογείων υδάτων Θεσσαλίας και συναφών έργων». Τελική έκθεση. Υπ. Γεωργίας.
- Thornthwaite, C. Mather, J., (1955):** «The water Balance», Climatology, vol. VIII, No 1, New Jersey, pp. 1 -37.
- Thornthwaite, C., (1951):** «An approach toward a rational classification of climate», Geogr. Rev., Vol. 38, pp. 55 – 94.
- Ανανιάδης, Ι., (1956):** «Limnological study of lake Karla». Bul. De l' Inst. Oceanogr. 1083.
- Αποστολοπούλου-Κακαβογιάννη, Ο., 1979:** «Τοπογραφία της περιοχής των Φερών Θεσσαλίας κατά την προϊστορική περίοδο».
- Βαφειάδης, Π., (1983):** «Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Καστοριάς», Διδ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, σελ. 130.
- Δημόπουλος, Γ., (1979):** «Υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και του υδρολογικού ισοζυγίου μιας λεκάνης με τη μέθοδο του Thornthwaite», Ann. Fac. Phys. & Mathem., Univ. Thessaloniki, 19, 149, Thessaloniki.
- Δούτσος, Th., 1979:** «Zur Plio-Pleistozanen tectonik Ost-Thessaliens». Ann. Geol. Pays Hell.
- EKBY 1995:** «Ο ιδεότυπος της τέως λίμνης Κάρλας, ως βάση αξιολόγησης των προταθείσων λύσεων κατασκευής του ομώνυμου ταμιευτήρα». Συντονιστές έκδοσης: Ζαλίδης Γ., Δημητριάδης Ξ., Χατζηγιαννάκης Σ.
- Εξαρχόπουλος, Μ., (1996):** «Λίμνη Κάρλα, η αρχαία Βοιβήϊς», ΤΕΕ Μαγνησίας, Βόλος.
- Κωνσταντινίδης, Κ., (1988):** «Εγγειοβελτιωτικά έργα στη πεδιάδα Θεσσαλονίκης», ΓΕΩΤΕΕ, Θεσσαλονίκη.

- Μουντράκης, Δ., (1985):** «Γεωλογία Ελλάδος», University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 207.
- Μπαμπατζιμόπουλος, Χ., Αντωνόπουλος, Β., (1990):** «Υδρολογικά στοιχεία της τέως λίμνης Κάρλας. Προστασία και διαχείριση των Ελληνικών υγροτόπων». Πρακτικά Συνάντησης Εργασίας για τους Ελληνικούς Υγροτόπους, Απρίλιος.
- Μυριούνης, Χ., (2004):** «Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής πηγής και καρστικής περιοχής Βογατσικού Καστοριάς», Διατριβή ειδίκευσης, ΑΠΘ.
- Ράπτη, Δ., (1995):** «Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής Σκύδρας – Επισκοπής (Μακεδονία). Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης των υδροφόρων στρωμάτων», Διδ. Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Σούλιος, Γ., (1997):** «Subsidence de terrains alluviaux dans le sud-est de la plaine de Thessalie, Grèce», IAEG, Athènes.
- Σούλιος, Γ., (1986):** «Γενική Υδρογεωλογία», Πρώτος Τόμος, University Studio Press.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., (1994):** «Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο δέλτα του ποταμού Αχελώου από την εκτροπή του στη Θεσσαλία», Αθήνα.