

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΔΟΪΡΑΝΗΣ. ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ – ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δημόπουλος Γ.¹ και Μπαρούτη Β.²

¹ Τομέας Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ, 541 24, Θεσσαλονίκη, gdimop@geo.auth.gr

² Γεωλόγος, Msc, 4χιλ. Δράμας-Παρανεστίου 66100, Δράμα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετώνται οι υδρογεωλογικές συνθήκες των Τεταρτογενών αποθέσεων της λεκάνης της λίμνης Δοϊράνης και υπολογίζονται το επιφανειακό και υπόγειο υδατικό ισοζύγιο, για τα υδρολογικά έτη 1988-1990.

Το διάστημα 1985-1998 παρατηρήθηκε στη λίμνη μια αυξανόμενη πτώση της στάθμης της, συνολικού εύρους 3,77 m. Το γεγονός ότι η λίμνη δεν παρουσιάζει τάσεις ανάκτησης της στάθμης της, οδηγεί σε προβληματισμούς όσον αφορά την ύπαρξή της και ερωτήματα σχετικά με το υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής, τις υδραυλικές συνθήκες που επικρατούν στη λεκάνη απορροής και την εκμετάλλευση των υπογείων νερών από τον άνθρωπο.

Από την αξιολόγηση των διαθέσιμων υδρολογικών και γεωλογικών, λιθολογικών στοιχείων διαπιστώνεται ελλειμματικό ισοζύγιο της τάξης των $101,23 \cdot 10^6$ m³/έτος για την περίοδο 1988-90 που οφείλεται στην υπεράντληση των υπογείων νερών. Την ίδια περίοδο η απώλεια νερού, υπολογισθείσα από τις μεταβολές της στάθμης της λίμνης, έφθασε τα $90,58 \cdot 10^6$ m³/έτος.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λίμνη Δοϊράνη αποτελεί διασυνοριακή λίμνη, τμήμα της οποίας ανήκει στην Ελλάδα και στην ΠΓΜΔ (FYROM). Η υγρή επιφάνεια της λίμνης, είναι 39,5 km². Από αυτά, τα 14,4 km² ανήκουν στο Νομό Κιλκίς και τα 25,1 km² ανήκουν στη FYROM. Η λεκάνη απορροής έχει έκταση 270 km² μαζί με την επιφάνεια της λίμνης. Το 29,6 % της συνολικής επιφάνειας απορροής ανήκει στη FYROM και το υπόλοιπο 70,4 % ανήκει στην Ελλάδα.

Το Μάρτιο του 1956, ύστερα από συμφωνία των κυβερνήσεων Ελλάδας και πρώην Γιουγκοσλαβίας, αποφασίστηκε η ανώτατη και κατώτατη στάθμη της λίμνης να βρίσκεται στα 146 m και στα 144,8 m αντίστοιχα. Ως χωροσταθμική αφετηρία πάρθηκε η κεφαλή της σιδηροτροχιάς, κοντά στη γέφυρα του σιδηροδρομικού σταθμού Δοϊράνης, με υψόμετρο 149,27 m. Εφόσον η γείτονα χώρα δε χρησιμοποιήσει νερό από τη λίμνη για αρδεύσεις ή άλλους σκοπούς, η Ελλάδα θα δικαιούται να εκμεταλλευτεί ολόκληρο το απόθεμα νερού, που αντιστοιχεί σε διακύμανση στάθμης 1,20 m μεταξύ των συμφωνηθέντων ορίων, για τις ανάγκες της.

Η στάθμη της λίμνης μέχρι το 1987, βρισκόταν με μικρές αποκλίσεις πολύ κοντά στην κατώτερη στάθμη, που καθορίστηκε μεταξύ των δύο χωρών. Από το 1988 και μετά παρατηρείται μια συνεχής πτώση της στάθμης. Οι οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις που αποφέρει η μείωση του υδατικού αποθέματος της λίμνης, δεν είναι απειλή μόνο για τους Έλληνες που ζουν από τη λίμνη, αλλά και για τους κατοίκους της Δημοκρατίας των Σκοπίων.

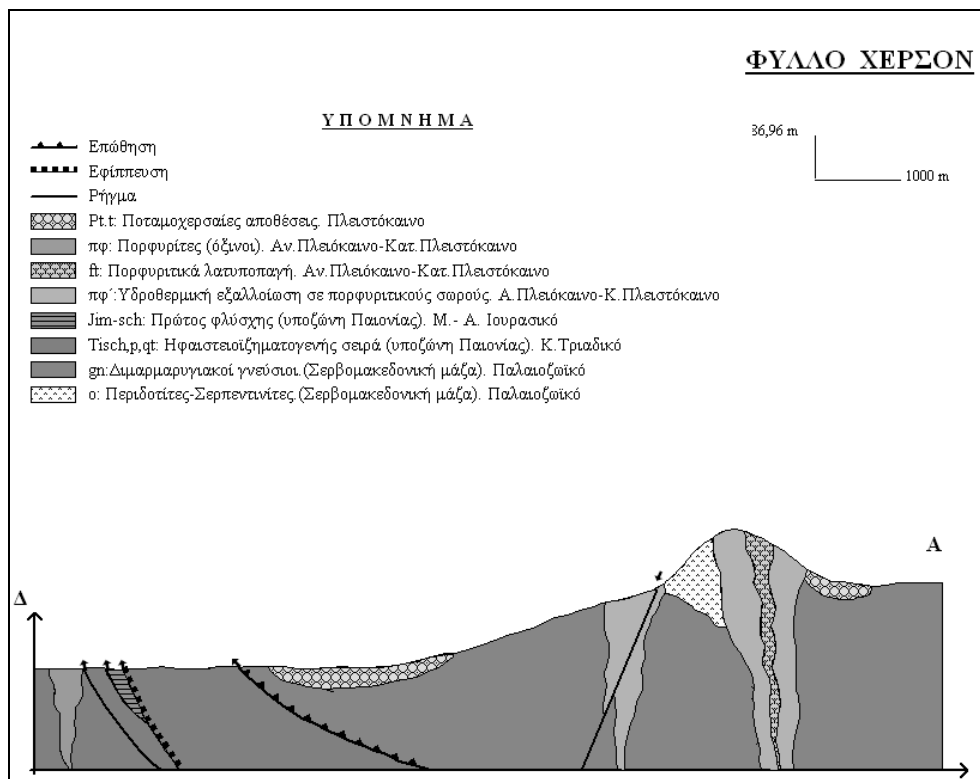
2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη της Δοϊράνης χαρακτηρίζεται από το έντονο ορεινό ανάγλυφο (όρος Μπέλες) στο βόρειο τμήμα της, που το διαδέχεται το ήπιο λοφώδες και διαδοχικά πεδινό ανάγλυφο στα νότια. Η συνολική επιφάνεια απορροής της λίμνης, στο Ελληνικό τμήμα, που ανέρχεται σε 190 km², κατανέμεται ως εξής (Καλούση, 1994): α) πεδινή: 57,3 km² (30,17 %), β) λοφώδης: 72,2 km² (37,97 %), γ) ορεινή 60,5 km² (31,84 %). Η πετρολογική σύσταση της περιοχής σε συνδυασμό με το έντονο

ανάγλυφο αυτής στα βόρεια, συντελεί στην ανάπτυξη ενός πυκνού υδρογραφικού δικτύου στο συγκεκριμένο τμήμα της λεκάνης απορροής. Τελικός αποδέκτης των νερών αυτών είναι η λίμνη. Σε αυτήν αποστραγγίζουν τα νερά του όρους Μπέλες μέσω του Ρέματος, καθώς και τα νερά του ανατολικού και νότιου τμήματος, τα οποία είναι μικρά υδρορέματα με σποραδική επιφανειακή απορροή, κυρίως μετά από έντονες βροχοπτώσεις.

3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η λεκάνη της Δοϊράνης βρίσκεται γεωτεκτονικά στο όριο της Σερβομακεδονικής μάζας με την Περιοδοπική. Η λίμνη της Δοϊράνης τοποθετείται πάνω στην επώθηση που οριοθετεί τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Σερβομακεδονικής από τα ηφαιστειοϊζηματογενή της ζώνης της Παιονίας (Σχ. 1), ενώ στα Ανατολικά οριοθετείται από τα κανονικά ρήγματα της Σερβομακεδονικής ζώνης. Τα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου της Σερβομακεδονικής έχουν γενικά διεύθυνση κλίσης προς ΒΑ, με μέση κλίση 40°.



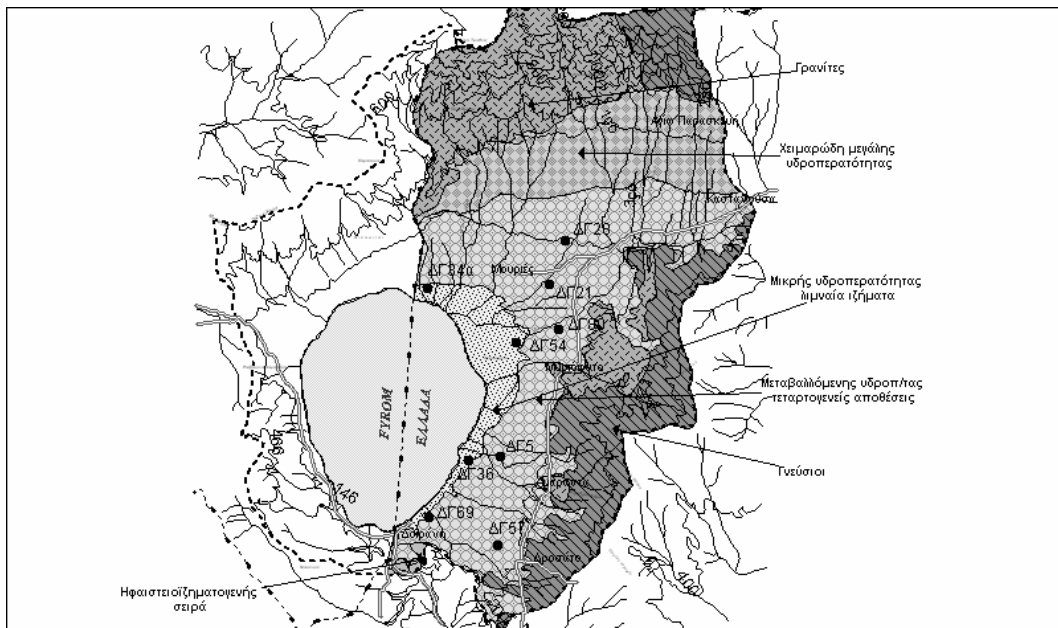
Σχήμα 1. Γεωλογικό όριο της Σερβομακεδονικής και της υποζώνης Παιονίας

Οι βασικοί γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης Δοϊράνης (Σχ. 2) είναι:

Κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Σερβομακεδονικής (με παρεμβολές περιδοτιτών, μαρμάρων, γρανιτών), που δομούν το ανατολικό και νότιο τμήμα της.

Γρανίτες, τοπικά μεταμόρφωμένοι σε γνευσιογρανίτη που απαντούν στην περιοχή Μυριόφυτου, και στο δυτικό τμήμα του ορεινού συγκροτήματος Μπέλες. Μικροί όγκοι περιδοτιτών-σερπεντινιτών, μαρμάρων και παρεμβολές σχιστολίθων. Ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά Ακρίτα - Μεταλλικού, πολύ μικρής έκτασης στο νότιο τμήμα της λεκάνης.

Τεταρτογενείς σχηματισμοί στο πεδινό τμήμα της λεκάνης με μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση. Διακρίνονται σε κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα, στις παρυφές του όρους Μπέλες, αλλουβιακές αποθέσεις από αργιλικά, αργιλοαμμούχια, αμμώδη χαλαρά υλικά, χαλίκια και κροκάλες, λιμναία και παραλίμνια ιζήματα με ιλύ, αργίλους, αμμούχους αργίλους και άμμους που εντοπίζονται στην παραλίμνια περιοχή της λίμνης Δοϊράνης.



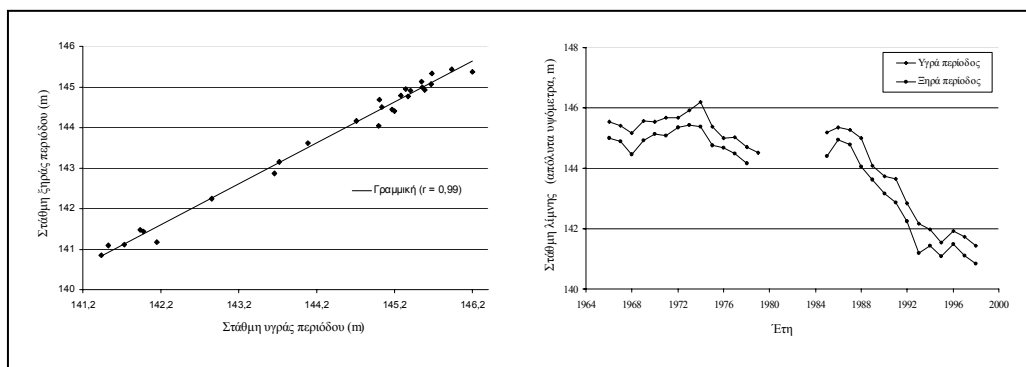
Σχήμα 2. Γεωλογικό σκαρίφημα του ελληνικού τμήματος της λεκάνης απορροής της λίμνης

4 ΣΤΑΘΜΕΣ ΛΙΜΝΗΣ

Η λίμνη Δοϊράνη είναι μικρού βάθους, μικρότερου από 8 μέτρα. Από μετρήσεις μεταβολών στάθμης λίμνης για τα έτη 1966-1979 (Υπουργείο Δημοσίων Έργων, ΕΥΥΕΚΔΜ, 1966, και 1985 έως 1991 (Καλούση, 1994), εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

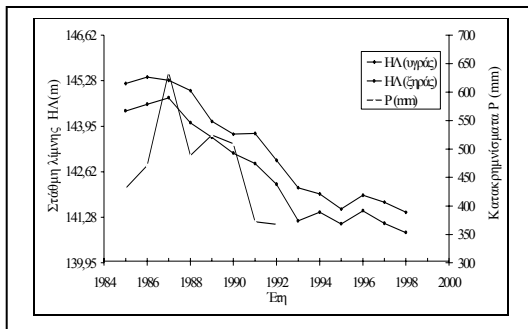
Η στάθμη της λίμνης παρουσιάζει έντονη και σταδιακή πτώση από το 1985 και μετά. Κατά το χρονικό διάστημα 1985 έως 1998 η πτώση της στάθμης έφθασε τα 3,77 m.

Υπάρχει ισχυρή συσχέτιση στάθμης υγρής και ξηρής περιόδου (Σχ. 3), γεγονός που αποδεικνύει ότι το φαινόμενο της πτώσης της στάθμης δεν είναι εποχικό και ότι επηρεάζεται καθ'όλη τη διάρκεια και για συνεχή υδρολογικά έτη, από παράγοντες που μεταβάλλουν άμεσα τα υδατικά αποθέματα του υδροφορέα της λίμνης. Η παράλληλη όμως πορεία των καμπύλων δηλώνει ότι η επαναπλήρωση των αποθεμάτων της λίμνης σε ετήσια βάση μόλις και επαρκεί για να καλύψει το έλλειμμα που σημειώνεται την προηγούμενη ξηρή περίοδο. Το γεγονός αυτό συνεχίζεται με διαρκώς αυξανόμενο ρυθμό και πιστοποιεί ότι ο ρυθμός εκφόρτισης της λίμνης είναι σημαντικά μεγαλύτερος από αυτόν του εμπλουτισμού της με νέα αποθέματα.



Σχήμα 3. Συσχέτιση στάθμης λίμνης υγρής-ξηρής περιόδου και μεταβολή στάθμης λίμνης με το χρόνο

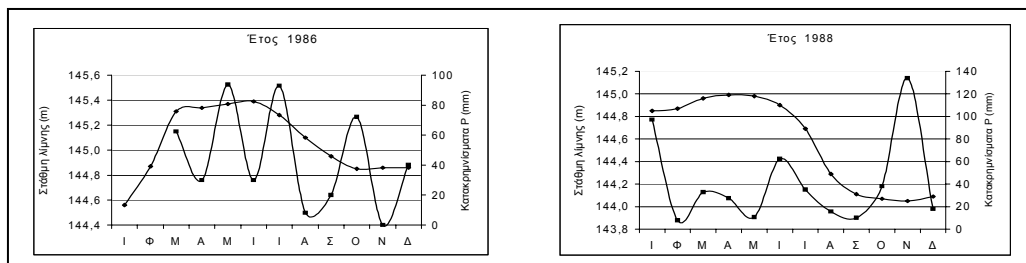
Συγκρίνοντας την πορεία των τιμών των κατακρημνισμάτων με το χρόνο σε σχέση με την αντίστοιχη πορεία της στάθμης της λίμνης (Σχ. 4), παρατηρούμε για το διάστημα 1985-1993, ένα από τα πιο ξηρά του αιώνα μας, ότι δεν υπάρχει άμεση συσχέτιση αυτών, οπότε και δεν μπορούμε να αποδώσουμε την πτώση της στάθμης της λίμνης στην έλλειψη βροχοπτώσεων. Όμοια μπορούμε να συγκρίνουμε την πορεία της αποστράγγισης και του εμπλουτισμού της λίμνης κατά το διάστημα αυτό, με την αντίστοιχη πορεία των βροχοπτώσεων (Σχ. 4).



Σχήμα 4. Διάγραμμα στάθμης λίμνης – χρόνου και μεταβολής στάθμης λίμνης (ΔΗ_L)-χρόνου (t)

Οι μεταβολές της στάθμης της λίμνης στη διάρκεια του υδρολογικού έτους είναι ένας πρώτος δείκτης της δυναμικής του υδροφόρου αυτής. Δύο δείκτες της δυναμικής της λίμνης είναι ο εμπλουτισμός και η αποστράγγισή της. Αυτοί μπορούν να εκφραστούν ποσοτικά με τη διαφορά ελάχιστης - μέγιστης και μέγιστης - ελάχιστης αντίστοιχα στάθμης της λίμνης.

Συγκρίνοντας την πορεία των δύο αυτών παραμέτρων με τα κατακρημνίσματα, παρατηρούμε ότι δε μπορεί να γίνει συσχετισμός αυτών, όπως δεν μπορεί να συσχετιστεί η υδροπερίοδος της λίμνης με τα κατακρημνίσματα. Παρατηρώντας τα διαγράμματα της υδροπεριόδου και των κατακρημνισμάτων (Σχ. 5) βλέπουμε ότι η μεταβολή της στάθμης της λίμνης δεν έχει κάποια χρονική σχέση με τα κατακρημνίσματα, η κατανομή των οποίων στη διάρκεια του έτους (και για συγκεκριμένες χρονιές παρατήρησης) είναι ακανόνιστη.



Σχήμα 5. Συσχέτιση υδροπεριόδου λίμνης και κατακρημνισμάτων

5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Οι υδρογεωλογικές ενότητες που διακρίνονται στη μελετούμενη περιοχή, προσεγγίστηκαν βάσει των προφίλ των γεωτρήσεων που έχουν διανοιχτεί και των στοιχείων που μας παρέιχαν αυτές. Αναλυτικά, βάσει της λιθολογίας των σχηματισμών, παρατηρούμε τα εξής:

Στη βόρεια λοφώδη περιοχή επικρατούν μεγάλης υδροπερατότητας ($m_e = 20-25\%$) υλικά (ποταμοχειμάρειες αποθέσεις) που αποτελούν την κύρια περιοχή διήθησης του νερού, αρχίζοντας από τις παρυφές του όρους Μπέλες. Υδρογεωτρήσεις στους οικισμούς Σούρμενα, Μουριάς, Κρητικά έδωσαν ειδικές παροχές $0,25 - 7,6 \text{ m}^2/\text{h}$, (παροχή $15 - 120 \text{ m}^3/\text{h}$).

Στη νότια-ανατολική πεδινή περιοχή το πάχος του χονδρόκοκκου υλικού μικραίνει, ενώ αυξάνουν οι παρεμβολές με λεπτόκοκκο υλικό (άργιλοι-άμμοι). Υδρογεωτρήσεις στην περιοχή αυτή έδωσαν μικρές ειδικές παροχές (έως $4 \text{ m}^2/\text{h}$).

Στην κεντρική περιοχή οι έντονες εναλλαγές αδιαπέρατου (αργιλικό) - διαπερατού υλικού (άμμοι) έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη επάλληλων υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων, οι οποίοι σε ορισμένα σημεία (υψομετρικά χαμηλότερα-πλησίον της λίμνης), εκτονώνονται με μορφή αρτεσιανισμού. Αυτή η διαφοροποίηση του υλικού δικαιολογεί την ύπαρξη μεμονωμένων υδρογεωτρήσεων που παρουσιάζουν μεγαλύτερες ειδικές παροχές από τις γειτονικές γεωτρήσεις. Υδρογεωτρήσεις στην περιοχή αυτή έδωσαν τιμές ειδικής παροχής έως και 22 m²/h.

Από τη μελέτη των λιθολογικών τομών, μπορούμε να επισημάνουμε τα παρακάτω σημεία, όσον αφορά την υδροφορία των ιζημάτων της λεκάνης:

Το πάχος των προσχώσεων, αυξάνει από την περίμετρο της λεκάνης προς το κέντρο της λίμνης Δοϊράνης. Ειδικά στο βόρειο τμήμα της λεκάνης συναντάται και το μεγαλύτερο πάχος των ιζημάτων.

Η τροφοδοσία των υδροφόρων εξασφαλίζεται, εν μέρει, με απευθείας κατείσδυση των κατακρημνισμάτων, με διήθηση του νερού των χειμάρρων, με πιθανή τροφοδοσία από τις τεκτονικές δομές των μεταμορφωμένων και πλουτωνικών πετρωμάτων του όρους Μπέλες.

Η εκκένωση των υδροφόρων στρωμάτων μπορεί να εκτιμηθεί ότι συμβαίνει με μερική εκφόρτιση τους προς τη λίμνη. Απόδειξη στον ισχυρισμό αυτό αποτελούν οι λιθολογικές και γεωλογικές τομές εγκάρσια στη λεκάνη απορροής. Μια πληρέστερη εικόνα πάνω σε αυτό το ζήτημα θα μπορούσαμε να έχουμε εξετάζοντας την πιεζομετρία των υδροφόρων σχηματισμών σε αυτήν την περιοχή.

5.1 Μελέτη της πιεζομετρίας των υδροφόρων οριζόντων

Για τη μελέτη της μεταβολής του πιεζομετρικού φορτίου κατασκευάστηκαν πιεζομετρικοί χάρτες (Σχ. 6) για το διάστημα μελέτης (1987-1993), χρησιμοποιώντας στοιχεία στάθμης εννέα (9) γεωτρήσεων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού έργου του ΙΓΜΕ, για το θεωρούμενο χρονικό διάστημα, με αντιπροσωπευτικές τιμές του χειμερινού και θερινού εξαμήνου κάθε έτους. Από τον πιεζομετρικό χάρτη της λεκάνης διαπιστώνεται ότι:

Οι γραμμές ροής συγκλίνουν προς τη λίμνη της Δοϊράνης. Επιβεβαιώνεται έτσι ο ισχυρισμός μας για τον τρόπο εκφόρτισης των προσχωσιγενών υδροφόρων προς τη λίμνη. Στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης έχουμε πυκνές ισοδυναμικές γραμμές και μεγάλες υδραυλικές κλίσεις, που δηλώνουν σχετικά μικρή υδροφορία σε αντίθεση με το κεντρικό (παραλίμνιο) και νότιο τμήμα της λεκάνης, όπου παρατηρούνται μικρότερες υδραυλικές κλίσεις και υψηλότερες υδροφορίες.

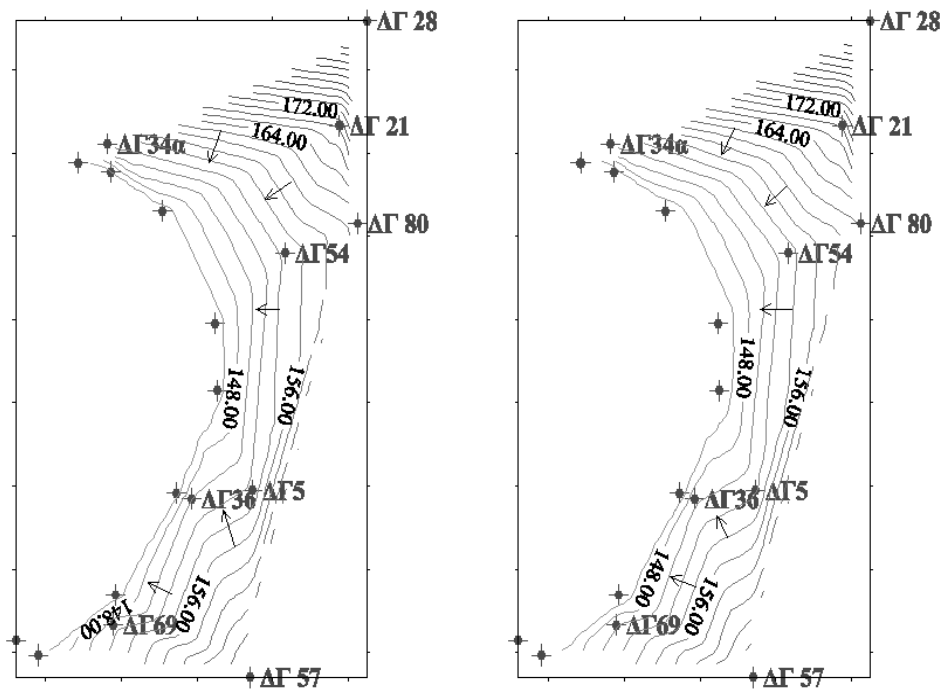
Οι κύριοι άξονες ροής κατά τα έτη 1987-1993 επιβεβαιώνονται σε όλα τα πιεζομετρικά διαγράμματα. Ωστόσο η μορφή των αξόνων ροής στο νότιο τμήμα της λεκάνης τροποποιείται, πιθανόν λόγω των ανθρωπίνων επεμβάσεων.

5.2 Μελέτη της στάθμης των υπογείων νερών

Για τη μελέτη της στάθμης των υπογείων νερών, χρησιμοποιήθηκαν οι εννέα γεωτρήσεις της πιεζομετρίας του υδροφόρου, για την κοινή περίοδο παρατήρησης 1987 έως και 1993. Οι χρονικές περίοδοι που επιλέχθηκαν για την παρατήρηση και σύγκριση της στάθμης κατά την διάρκεια κάθε υδρολογικού έτους, είναι η 1^η Απριλίου και η 1^η Οκτωβρίου.

5.2.1 Μεταβολή της στάθμης των υπογείων νερών

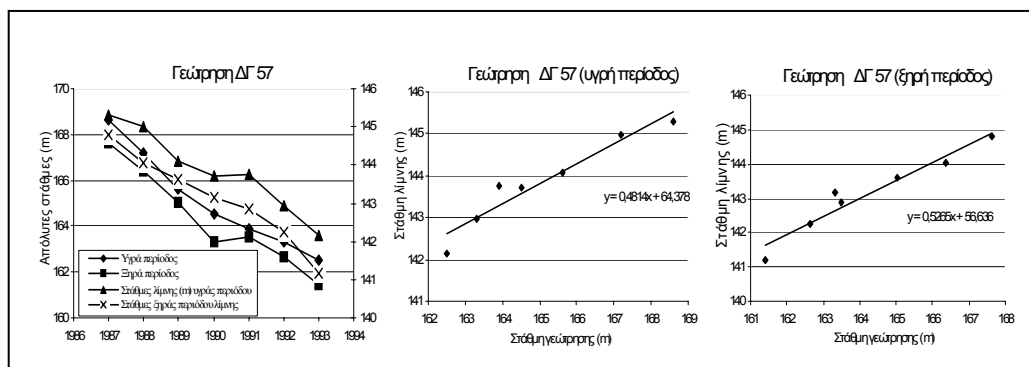
Για την παρατήρηση της στάθμης των υπογείων νερών κρίθηκε σκόπιμο να συσχετιστούν οι στάθμες υγρής και ξηρής περιόδου των εννέα πιεζόμετρων που είχαμε στη διάθεσή μας κατά τη διάρκεια των ετών 1987 έως και 1993 (Σχ.7) Από τα διαγράμματα αυτά εξάγονται τα εξής συμπεράσματα: Υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ στάθμης υγρής – ξηρής περιόδου (συντελεστής συσχέτισης $r > 80\%$) των περισσότερων γεωτρήσεων, με εξαίρεση τις αρτεσιανές γεωτρήσεις ΔΓ34α, ΔΓ21. Ο υψηλός συντελεστής συσχέτισης υποδηλώνει τις καλές συνθήκες αποστράγγισης – εμπλουτισμού του υδροφορέα της λίμνης, ενώ διαπιστώνεται εκμετάλλευση των υδροφορέων με ρυθμούς που υπερβαίνουν τη βέλτιστη απόδοση του συστήματος.



Σχήμα 6. Ενδεικτικά πιεζομετρικά διαγράμματα υγράς – ξηράς περιόδου υδρολογικού έτους 1988

5.2.2 Συσχετισμός στάθμης λίμνης – στάθμης γεωτρήσεων

Για τη συσχέτιση στάθμης λίμνης και γεωτρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές στάθμης υγρής - ξηρής περιόδου λίμνης και γεωτρήσεων και κατασκευάστηκαν σχετικά διαγράμματα (Σχ. 7) ,με τα οποία επιβεβαιώνεται η κίνηση του υπογείου νερού από τον υδροφόρο προς τη λίμνη σε όλα τα έτη παρατήρησης.



Σχήμα 7. Συσχετισμός στάθμης γεωτρήσεων και λίμνης για την υγρά και αντίστοιχα την ξηρά περίοδο

Παρατηρείται υψηλός συντελεστής συσχέτισης ($r > 80\%$), με εξαίρεση τις αρτεσιανές γεωτρήσεις ΔΓ34α, ΔΓ21. Τα παραπάνω στοιχεία συνάδουν στο γεγονός της ύπαρξης υδραυλικής επικοινωνίας υδροφόρου και λίμνης, καθώς και το ότι ο ρυθμός εκφόρτισης του υδροφόρου, στα έτη όπου παρατηρείται έντονο το φαινόμενο, σχετίζεται άμεσα με το ρυθμό εκφόρτισης της λίμνης Δοϊράνης .

6 ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Εξετάζοντας τις υδρολογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής, μελετήθηκαν οι παράμετροι εκείνες που διαμορφώνουν την επιφανειακή υδρολογία της λεκάνης και η οποία εκφράζεται με τη σχέση του υδρολογικού ισοζυγίου.

6.1 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Μέσα στη λεκάνη απορροής υπάρχει μόνο ένας βροχομετρικός σταθμός, αυτός της Δοϊράνης. Γύρω του υπάρχουν αρκετοί σταθμοί, τα στοιχεία των οποίων όμως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξαιτίας των μεγάλων χρονικών κενών που παρουσιάζουν με το σταθμό της Δοϊράνης. Συνεχή και πλήρη στοιχεία έχουμε μόνο για τα έτη 1988-1990 από την αξιολόγηση των οποίων προέκυψε μια μέση ετήσια τιμή του υετού ίση προς 507,40 mm/έτος, και ο μέσος ετήσιος όγκος του ίσος προς $136,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

6.2 Επιφανειακές εισροές

Ως επιφανειακές εισροές λαμβάνονται οι ποσότητες νερού που απορρέουν κυρίως από τις πηγές του όρους Μπέλλες και καταλήγουν στη λίμνη, μέσω του ρέματος Χίλια Δένδρα. Από μετρήσεις (Καλούση 1994, 1998) στο σημείο εκβολής του ρέματος στη λίμνη υπολογίστηκε συνολική απορροή των πηγών (για τα έτη 1988-1990) $7.675.054,2 \text{ m}^3$.

6.3 Εξατμισοδιαπνοή

Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Thornthwaite & Mather (1977), για τα έτη 1988-1990. Υπολογίστηκε έτσι η μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή προς $E=448,08 \text{ mm}/\text{έτος}$, ίση δηλ. με το 88% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Μέσος ετήσιος όγκος εξάτμισης $V_E = 103,28 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ (για επιφάνεια $270-39,5=230,5 \text{ km}^2 \times 448,08 \text{ mm}$). Πέραν όμως της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους πρέπει να ληφθεί υπόψη και η εξάτμιση από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού της λίμνης. Λαμβάνοντας ως μέση ετήσια εξάτμιση λίμνης τα 1200 mm και για εμβαδόν λίμνης ίσο με $39,5 \text{ km}^2$, υπολογίστηκε μέσος ετήσιος όγκος εξάτμισης λίμνης ίσος με $E_L = 47,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Συνοπτικά λοιπόν για τις παραμέτρους του επιφανειακού υδρολογικού ισοζυγίου έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 1. Παράμετροι επιφανειακού υδρολογικού ισοζυγίου

Παράμετροι	$\text{m}^3 / \text{έτος}$
Μέσος ετήσιος όγκος βροχόπτωσης V_P	$136,9 \times 10^6$
Μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακών εισροών V_Q	$2,558 \times 10^6$
Μέσος ετήσιος όγκος εξάτμισης V_E	$103,28 \times 10^6$
Μέσος ετήσιος όγκος εξάτμισης λίμνης E_L	$47,4 \times 10^6$
Μέσος ετήσιος συνολικός όγκος εξάτμισης $V_{Eολ}$	$150,68 \times 10^6 \quad [(103,28+47,4) \times 10^6]$

6.4 Καταναλισκόμενες ποσότητες

Για να προσδιοριστεί η καταναλισκόμενη ποσότητα νερού, κρίνεται αναγκαίος ο υπολογισμός της αστικής, αγροτικής και βιομηχανικής κατανάλωσης νερού, αφού αποτελούν δείκτες της ανάπτυξης μιας περιοχής και αντίστοιχα του ρυθμού κατανάλωσης του νερού.

1) Αστική κατανάλωση: Καταμετρημένες ποσότητες νερού που καταναλώθηκαν στην περιοχή της Δοϊράνης, δεν υπάπχουν διαθέσιμες. Είναι γνωστό ωστόσο, από την τελευταία απογραφή του '91, ότι οι 6 κοινότητες που περιλαμβάνονται στη λεκάνη υπάρχει της Δοϊράνης (Μουριές, Σ.Σ.Μουριών, Αγία Παρασκευή, Μυριόφυτο, Αμάραντα και Δροσάτο) έχουν συνολικά πληθυσμό 5164 άτομα. Οι απαιτούμενες ποσότητες πόσιμου νερού, λαμβάνοντας υπόψη μια μέση ημερήσια ειδική κατανάλωση νερού $200 \text{ lt}/\text{κάτοικο}$ (Δημόπουλος & Σαρρηκωστής 1993) υπολογίζονται σε $376.972 \text{ m}^3 / \text{έτος}$.

2) Γεωργική κατανάλωση: Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι κατά το πλείστον αρδευόμενες. Οι κυριότερες καλλιέργειες είναι: σίτος (μαλακός, σκληρός), καπνός, αραβόσιτος, μηδική, και ακόμα οι ροδακινιές και οι αμυγδαλιές. Η συνολικά καλλιεργούμενη γη είναι 58773 στρέμματα. Τη μεγαλύτερη έκταση κατέχει ο σίτος ο μαλακός και ο σκληρός. Στη συνέχεια έρχονται ο καπνός και η μηδική ποτιστική. Η καταναλισκόμενη ποσότητα νερού για άρδευση υπολογίστηκε με ειδικές παροχές ανά

καλλιέργεια, βάσει βιβλιογραφικών αναφορών και εμπειρικών συσχετίσεων (Σφήκας 1987, Σφήκας 1988). Απολήψιμος όγκος νερού λόγω άρδευσης 18.260.400 m³ ετησίως.

3) Ζωική κατανάλωση: Συνοπτικά το ζωικό κεφάλαιο ανέρχεται σε 28931 ζώα (Διεύθυνση Γεωργίας), ενώ η συνολική ετήσια κατανάλωση νερού σε 164166 m³ /έτος. Στις ανωτέρω ποσότητες πρέπει να προστεθούν και 5000 m³ απολήψιμος όγκος νερού για άρδευση του κάμπου της Θεσσαλονίκης το 1988.

7 ΥΔΑΤΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ

Για να διαπιστωθεί η δυναμική των υδροφόρων στρωμάτων όσον αφορά τη φυσική τους τροφοδοσία υπολογίστηκαν τα ρυθμιστικά και εκκενώσιμα αποθέματα για τη χρονική περίοδο παρατήρησης 1988 έως 1990 (Πιν. 2). Αυτά υπολογίστηκαν από τους χάρτες κατανομής $\Delta h \times m_e$ που έγιναν με το βοηθητικό πρόγραμμα Vertical Mapper του Map info και οι οποίοι προέκυψαν με στοιχεία που πάρθηκαν από τα πέντε πιεζόμετρα της ΥΕΒ Κιλκίς, (1392, 1460, 1248, 156, 1360, αντίστοιχα κωδικοί ΙΓΜΕ ΔΓ54, ΔΓ5, ΔΓ57, ΔΓ69, ΔΓ80) για τα οποία υπάρχουν πλήρη λιθολογικά στοιχεία αλλά και στοιχεία διακύμανσης της στάθμης υγρής - ξηρής περιόδου των υπογείων νερών.

Η πτώση της στάθμης (συμβολιζόμενη με μείον) κατά τη διάρκεια του χειμερινού εξαμήνου του 1988 είχε ως αποτέλεσμα την εκκένωση παρά την επαναπλήρωση του υδροφόρου. Πτώση της στάθμης παρατηρείται και στα επόμενα έτη παρατήρησης με αποτέλεσμα να προκύπτουν μικρές ποσότητες ρυθμιστικών αποθεμάτων.

Πίνακας 2. Υπόγειο υδατικό ισοζύγιο για τα υδρολογικά έτη 1988-1990 στη λεκάνη της Δοϊράνης

Υδρολογικά έτη	Ρυθμιστικά αποθέματα ΔRr (m ³)	Εκκενώσιμα αποθέματα ΔRe (m ³)	Μεταβολή αποθεμάτων ΔR (m ³)
1988	- 605.370	- 4.407.317	- 5.012.687
1989	+ 1.215.606	- 3.500.013	- 2.284.407
1990	+ 594.417	- 4.456.512	- 3.862.095
1988/1990	+ 1.204.653	-12.453.842	-11.159.189

8 ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την αξιολόγηση των διαθέσιμων υδρολογικών, γεωλογικών, λιθολογικών και υδρογεωλογικών στοιχείων, προέκυψαν τα συμπεράσματα που συνοψίζονται παρακάτω.

1. Από τη μελέτη της λιθολογίας των σχηματισμών του υδροφορέα και από τις λιθολογικές τομές των γεωτρήσεων προκύπτει ότι η υδροφορία βαίνει αυξανόμενη από την παραλίμνια περιοχή προς τα ΒΑ. Στην παραλίμνια περιοχή αναπτύσσονται επάλληλοι υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες, που συνίστανται από εναλλαγές άμμων, αργίλων και ιλύων.

2. Από την αξιολόγηση των στοιχείων της στάθμης της λίμνης για την περίοδο των ετών 1966 έως 1979 και 1985 έως 1998, για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία, προκύπτουν τα εξής:

Συγκρίνοντας τις στάθμες της λίμνης (υγρής και ξηρής περιόδου) με τα κατακρημνίσματα, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει καμία συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών παραμέτρων. Για το λόγο αυτόν δε μπορεί να αποδοθεί η πτώση της στάθμης στην έλλειψη και μόνο των βροχοπτώσεων. Τον παραπάνω συλλογισμό επιβεβαιώνει και η σύγκριση της υδροπεριόδου της λίμνης με την πορεία των κατακρημνισμάτων για κάθε υδρολογικό έτος.

Αντίθετα υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ στάθμης υγρής και ξηρής περιόδου, γεγονός που αποδεικνύει τη δυνατότητα του υδροφόρου συστήματος να αναπληρώνει τα υδατικά του αποθέματα, αλλά με ρυθμούς έντονης εκμετάλλευσης των υδροφόρων πέραν των ορίων της βέλτιστης απόδοσης του συστήματος.

3. Τα υδατικά αποθέματα υπολογίστηκαν κατά τα υδρολογικά έτη 1988 - 1990. Παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια και των τριών υδρολογικών ετών παρατήρησης (που ήταν και από τα πιο άνυδρα του περασμένου αιώνα), τα υδατικά αποθέματα ελαττώθηκαν κατά 11.159.189 m³

4. Από τη μελέτη του επιφανειακού υδρολογικού ισοζυγίου για τα υδρολογικά έτη 1988-1990 για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία, υπολογίστηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

Πίνακας 3. Παράμετροι υδρολογικού ισοζυγίου

Εισερχόμενες ποσότητες νερού (m ³ / έτος)	Εξερχόμενες ποσότητες νερού (m ³ / έτος)
Κατακρημνίσματα: 136.900.000	Εξατμ/νοή (εδάφους+λίμνης): 150.680.000
Επιφανειακές εισροές: 2.558.351,4	Κατανάλωση νερού: 18.803.205
	Μεταβολή αποθεμάτων: 3.719.729,66
Σύνολο εισροών: 139.458.351,4	Σύνολο εκροών: 173.202.934,66
	Διαφορά: (-) 33.744.583,26

Από τον πίνακα 3 προκύπτει αρνητικό ισοζύγιο της τάξης των 33.744.583,26 m³/έτος. Συνολικά λοιπόν για τα τρία έτη παρατήρησης, το έλλειμμα του νερού είναι 101.233.749,78 m³.

5. Η απώλεια σε νερό της λίμνης από το μέγιστο ύψος στάθμης του έτους 1988 έως το ελάχιστο του έτους 1990 υπολογίζεται σε 90.585.000 m³.

Συγκρίνοντας τις απώλειες σε νερό της λίμνης με το έλλειμμα σε νερό του υδρολογικού ισοζυγίου, για τα υδρολογικά έτη 1988-1990, παρατηρούμε διαφορά 10.648.749,78 m³. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε 13,14 mm/έτος, που θεωρείται ότι είναι αμελητέα και προσεγγίζει τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στη λεκάνη.

6. Είναι φανερό ότι η πτώση της στάθμης της λίμνης είναι ένα φαινόμενο άμεσα συνυφασμένο με την εκμετάλλευση του νερού της, σε μία χρονική περίοδο μάλιστα που η ανομβρία ενίσχυσε το φαινόμενο της υπερεκμετάλλευσης και κακής διαχείρισης των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής της λίμνης.

7. Από τη μελέτη της πιεζομετρίας των υδροφόρων διαπιστώνεται ότι:

Οι γραμμές ροής συγκλίνουν προς τη λίμνη της Δοϊράνης, επιβεβαιώνοντας έτσι τον ισχυρισμό μας για την εκφόρτιση των προσχωσιγενών υδροφόρων προς τη λίμνη.

Οι κύριοι άξονες ροής κατά τα έτη 1987-1993 εμφανίζονται σε όλα τα πιεζομετρικά διαγράμματα. Στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης διακρίνονται πυκνές ισοδυναμικές γραμμές και μικρές υδροφορίες, σε αντίθεση με το κεντρικό (παραλίμνιο) και νότιο τμήμα της λεκάνης, όπου παρατηρούνται μικρότερες υδραυλικές κλίσεις και υψηλότερες υδροφορίες.

8. Από τη μελέτη των διακυμάνσεων της στάθμης των γεωτρήσεων προκύπτει ότι:

Υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ στάθμης υγρής-ξηρής περιόδου των γεωτρήσεων. Ο υψηλός συντελεστής συσχέτισης υποδηλώνει τις καλές συνθήκες αποστράγγισης-εμπλουτισμού του υδροφόρα της λίμνης.

Από τη συσχέτιση στάθμης γεωτρήσεων-στάθμης λίμνης επιβεβαιώνεται η κίνηση του υπογείου νερού από τον υδροφόρο προς τη λίμνη σε όλα τα έτη παρατήρησης.

Παρατηρείται υψηλός συντελεστής συσχέτισης ($r > 80\%$), μεταξύ στάθμης γεωτρήσεων-στάθμης λίμνης.

Τα παραπάνω στοιχεία επιβεβαιώνουν το γεγονός της ύπαρξης υδραυλικής επικοινωνίας υδροφόρου και λίμνης, καθώς και το ότι ο υδροφόρος συνεχίζει να τροφοδοτεί τη λίμνη, στα χρόνια όπου παρατηρείται έντονο το φαινόμενο της πτώσης της στάθμης της, δίχως να παρατηρείται σε καμία περίοδο το αντίθετο φαινόμενο. Όμως, όπως προαναφέρθηκε, οι ποσότητες εμπλουτισμού της λίμνης από τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα είναι συνεχώς μικρότερες από αυτές που την εκφορτίζουν, με αποτέλεσμα να σημειώνεται ετησίως βαθμιαία ταπείνωση της στάθμης της.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Δημόπουλος, Γ. & Σαρρηκωστής, Μ. 1993. Διαχείριση υδατικών πόρων αναπτυξιακών συνδέσμων Σελάνων και κάμπου Νομού Καρδίτσας, Αναπτυξιακή Καρδίτσας Α.Ε., Geoservice—Εταιρεία γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών.

Καλούση Ε., 1994. Υδρογεωλογική μελέτη Νομού Κιλκίς (Αδημοσίευτη), ΙΓΜΕ, Θεσ/νίκη

Καλούση Ε., 1998. Αποτίμηση της σημερινής κατάστασης της λίμνης Δοϊράνης. Πιθανά αίτια-προτάσεις ανάσχεσης του φαινομένου, ΙΓΜΕ, Θεσ/νίκη

Κωνσταντινίδης-Δημόπουλος-Γκίκας, 1990. Έκθεση αξιολόγησης υδρολογικών στοιχείων Νομού Κιλκίς, Θεσ/νίκη.

ημερίδας, Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων, ΑΠΘ.

Μιμίκου Α., 1994. *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*, Αθήνα, Παπασωτηρίου.

- Μουσείο Γουλιανδρή-Φυσικής Ιστορίας: Σχετικό με τη στάθμη της λίμνης έγγραφο, του καθηγητή οικολογίας Π.Α. Γεράκη, Θεσ/νίκη 1993.
- Richard G. Allen, 1998: Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO *Irrigation and drainage paper* 56.
- Σφήκας Α.Γ., 1987. *Γενική Γεωργία, Σπηρά-Ψυχανθή-Χορτοδοτικά Φυτά*, Θεσ/νίκη, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ
- Σφήκας Α.Γ., 1988. *Γενική Γεωργία, Βιομηχανικά Φυτά*, Θεσ/νίκη, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ
- Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Υπηρεσία Υδραυλικών Έργων, Διεύθυνση Μελετών, 1966. Πληροφορίες περί της λίμνης Δοϊράνης, Αθήνα
- Διεύθυνση Γεωργίας, Έγγραφο του τμήματος εγγείων βελτιώσεων και της Διεύθυνσης Γεωργίας Ν. Κιλκίς. Έγγραφο 3^{ης} Περιφερειακής Υπηρεσίας Δημοσίων Έργων, 1^η ΔΕΚΕ: Γραμματεία Αξιού.

ABSTRACT

HYDRO GEOLOGICAL CONDITIONS OF DOIRANI LAKE BASIN. EXTERIOR INTERFERENCES AND RESULTS.

Dimopoulos G.¹, Barouti V.²

¹ *Department of Geology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 541 24, Thessaloniki, dmop@geo.auth.gr*

² *Geologist, Msc, 4th km access road from Drama to Paranesti, 66 100, Drama*

In this paper the hydro geological conditions of the quaternary deposits of Doirani lake basin are represented. The surface and subsurface water balance for the years 1988-1990 are also calculated. During the period 1985-1998 decline of 3,77 m of the lake's level has been noticed. The fact that the lake does not appear to have any sign of restoration leads to many questions regarding to its existence, water balance, hydraulic conditions of the basin and the groundwater overexploitation

Analyzing the available hydrological, geological, lithological data a water balance deficit of $101.23 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ for the period 1988-1990 is calculated resulted from the groundwater overexploitation. At the same time the loss of water due to the decline of the lake's level have reached the amounts of $90.58 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$.