

## ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΟΝ ΠΡΟΣΧΩΣΙΓΕΝΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΓΛΑΥΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ (ΒΔ/ΚΗ ΑΧΑΪΑ)\*

Δ. ΜΑΝΔΗΛΑΡΑΣ<sup>1</sup>, Κ. ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ<sup>1</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο προσχωσιγενής υδροφόρεας της λεκάνης του Γλαύκου ποταμού (ΒΔ/κή Αχαΐα) έχει έκταση 25 Km<sup>2</sup>. Η μέση ετήσια βροχοπτώση ανέρχεται σε 583 mm (1988-2000) και η μέση ετήσια θερμοκρασία σε 17,8 °C (σταθμός Πάτρας). Ο μέσος ετήσιος συνολικός όγκος νερού που δέχεται ο προσχωσιγενής υδροφόρεας ανέρχεται σε (15,08x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>). Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ανέρχεται περίπου σε 71% του ύψους βροχοπτώσης. Ο μέσος φυσικός εμπλουτισμός του υδροφόρου μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου ανέρχεται σε 28x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Οι ετήσιες απολήψεις για την κάλυψη των υδατικών αναγκών ανέρχονται κατά μέσο όρο την περίοδο 1994-2000 σε 17x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και την εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών εντοπίζεται η ζώνη υπαλάθρισης και διαχωρίζονται τα δείγματα ανάλογα με τον υδροχημικό τους τύπο. Τέλος επισημαίνεται η ανάγκη εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού για την ενίσχυση του υδατικού ισοζυγίου και τη βελτίωση της ποιότητας των υπόγειων νερών.

### ABSTRACT

The alluvial aquifer of Glafkos basin extends southeast of Patras and it covers 25 Km<sup>2</sup>. The average annual precipitation (1988-2000) is 583 mm and the mean annual temperature is 17,8°C. The annual precipitation amounts to 15,08x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. The evapotranspiration losses are computed to 71% of the precipitation. On the basis of a water-budget method the mean (1988-2000) wet season groundwater recharge is estimated to be 28x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Human consumption accounts for 17x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> for private, public, agricultural and industrial use.

Principal Component Analysis is used to summarise the results of chemical analyses in 61 samples collected from boreholes (October 2000). Thus, the parameters of Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, Fe, pH, EC have been used to investigate. About the 82% of the data variability can be explained using three (3) components. The summarised information is used for finding relationships for samples and seawater. The results indicate a clear discrimination between samples drawn from fresh waters (Ca-HCO<sub>3</sub> type) and brackish waters (Na-Cl type).

Finally, groundwater artificial recharge may be applied boost up water balance and upgrade water quality.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Υπαλάθριση, ισοζύγιο ύδατος, ποιότητα νερού, ανάλυση κύριων συνιστωσών, λεκάνη Γλαύκου, Αχαΐα, Ελλάδα.

**KEY WORDS:** Seawater intrusion, Groundwater balance, Water quality, Principal Component Analysis, Glafkos basin, Achaia, Greece.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λεκάνη του ποταμού Γλαύκου καλύπτει συνολική έκταση 118 Km<sup>2</sup> και εκτείνεται ΝΑ/ά της πόλης των Πατρών. 25 Km<sup>2</sup> από την παραπάνω έκταση καλύπτουν αλλουβιακές αποθέσεις, που φιλοξενούν ένα σημαντικής δυναμικότητας υδροφόρο ορίζοντα. Τη δεκαετία του 1970 άρχισε η εκμετάλλευση του υδροφόρου αυτού για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών της πόλης των Πατρών, καθώς και την κάλυψη των αναγκών για βιομηχανική και αοδευτική χρήση.

Η εντατική εκμετάλλευση σε συνδυασμό με παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας (1989-91) είχε ως αποτέλεσμα την ποσοτική μείωση και την ποιοτική υποβάθμιση (Lambrikis, et al., 1997). Αξιοσημείωτο είναι ότι μόνο η Πειραιϊκή-Πατραϊκή κατανάλωνε ετησίως κατά μέσο όρο 12x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> νερού.

Έτσι το 1992 παρατηρήθηκε σημαντική πτώση στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα των προσχωσιγενών απο-

\* THE GROUNDWATER BALANCE AND WATER QUALITY OF THE ALLUVIAL AQUIFER OF GLAFKOS BASIN, ACHAIA GREECE.

1. Παν/μο Πατρών, 261 10, Ρίο

θέσεων, μετατροπή των αρτεσιανών υδροφόρων σε ελεύθερους και εμφάνιση αρνητικής πιεζομετρίας, καθώς και διεύδυση της θάλασσας έως και απόσταση 3 Km από την ακτή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ταχύτατη αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων (περιεκτικότητα 4.000 mg/l) στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων κυρίως της παραλιακής ζώνης (Βουδούρης, 1995).

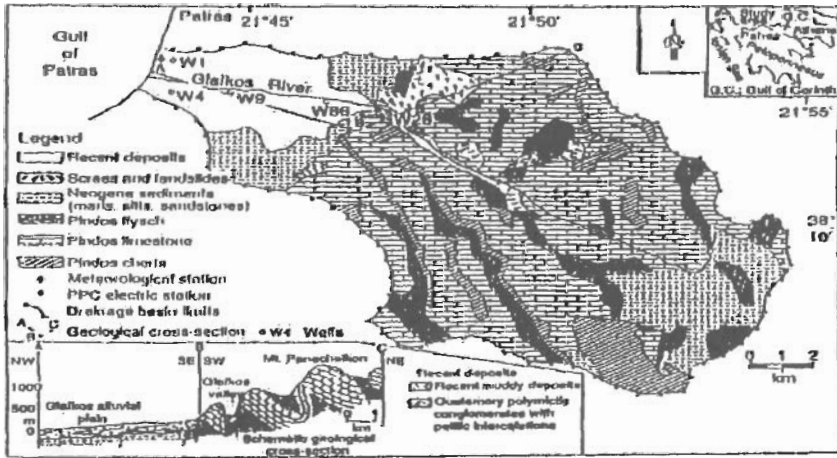
Την περίοδο 1994-95 διακόπηκε η άντληση των παραίτων δημοτικών γεωτρήσεων και σε συνδυασμό με την αποβιομηχάνιση της περιοχής και τη μετεγκατάσταση μερικών βιομηχανιών στη ΒΙΠΕ Πατρών, καθώς και την αύξηση των φυσικού εμπλουτισμού οδήγησαν στην αναστροφή των δυσμενών επιπτώσεων. Έτσι κατά την περίοδο Μαΐου 1999 εμφανίστηκαν φαινόμενα αρτεσιανισμού στην παράκτια ζώνη έως και 1.2 Km από την ακτή και η περιεκτικότητα των χλωριόντων ανήλθε σε 1.600 mg/l (Μανδηλαράς κ.α., 1999).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα καθορισμού του ισοζυγίου ύδατος του προσχωσιγενή υδροφόρου ορίζοντα της λεκάνης του Γλαύκου ποταμού σε συνδυασμό με την ποιότητα των υπόγειων νερών.

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης περιλαμβάνει τμήμα της ζώνης Πίνδου. Η ζώνη της Πίνδου αποτελείται από δύο ενότητες: η κατώτερη δομείται από τελαγραζούς αβεστούλιθους με ενστροφώσεις ραδιολαριτών και η ανώτερη από φλύση, ο οποίος συνίσταται από εναλλαγές ψαμιτών και ιλυολίθων με παρεμβολές χροαλοπαγών (Τσόφλιας, 1970, Doutsos et al, 1987).

Το Πλειοκαινογενές επικάλυμμα που εμφανίζεται στην παράκτια περιοχή αποτελείται από δύο λιθοστρωματογραφικές ενότητες. Η κατώτερη συνίσταται από αργίλους και άμμους, που αποτέθηκαν σε ένα λιμναίο έως υφάλμυρο περιβάλλον ιζηματογένεσης κατά τη διάρκεια του Πλειοζαίνου έως το Κατώτερο Πλειστόκαινο και η ανώτερη ενότητα από Καλάβριες ηλικίας δελταϊκά και χερσαία χροαλοπαγή (Ψαριανός, 1951, Zeligidis et al., 1988, Ρόζος, 1989).



Στην Εικ. 1 παρουσιάζεται ένας συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της λεκάνης, καθώς και μια σχηματική γεωλογική τομή.

Εικ. 1.: Συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Γλαύκου (Από Lambrakis et al., 1997). *Geological map of hydrogeological Glafkos river basin.*

Οι αδομερείς αποθέσεις των τεταρτογενών σχηματισμών της λεκάνης αποτελούν σημαντικούς υδροφόρους ορίζοντες (Βουδούρης κ.α, 1995, Lambrakis et al., 1997). Οι αλλουβιακές αποθέσεις μπορεί να διακριθούν στην ανώτερη και την κατώτερη ζώνη.

Η ανώτερη ζώνη καλύπτεται επιφανειακά από νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα, τα οποία αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα χροαλών και λατυπών, ψηφιδών, άμμων, μαργών και αργίλων και χαλαρών έως ισχυρής συνοχής χροαλοπαγών. Τα αδομερέστερα από τα παραπάνω ιζήματα όπως οι χροαλίτες, οι λατύπες και οι ψηφίτες, φιλοξενούν τους κύριους υδροφόρους σχηματισμούς.

Η κατώτερη ζώνη καλύπτεται επιφανειακά από τεταρτογενή ιζήματα των οποίων το κοκκομετρικό μέγεθος, λόγω διαλογής του υλικού, μειώνεται αισθητά προς την έξοδο της λεκάνης, όπου επικρατούν λεπτόκοκκα

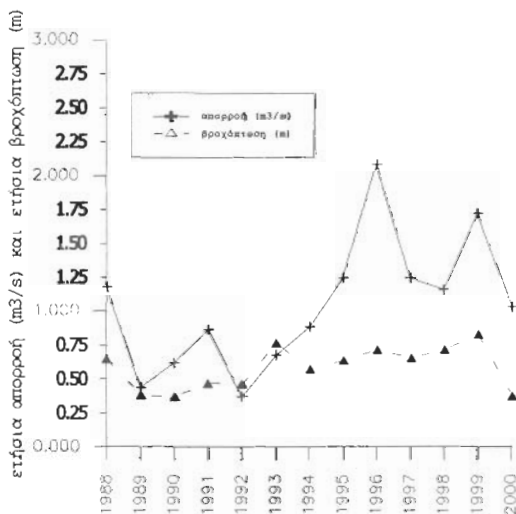
υλικά (αργίλοι, αργιλοίλες και μάργες), σε αναλλεξή με αδρμερέστερα υλικά (άμμοι, ψηφίτες και ψροάλες). Η αύξηση του πάχους των αργιλοπηλιτικών στρωμάτων προς την έξοδο της λεκάνης συμβάλλει στη δημιουργία φαινομένων αρτεσιανισμού στους υποκαίμενους αδρμερέστερους υδροφόρους σχηματισμούς. Ετοι ο ελεύθερος υδροφόρος ορίζοντας της ανώτερης ζώνης μεταπίπτει σε επάλληλους υπό πίεση υδροφόρους στην κατώτερη ζώνη.

Την περίοδο 1992 παρατηρήθηκαν αρνητικές τιμές της πιεζομετρικής επιφάνειας μέχρι και απόσταση 3 Km στην ενδοχώρα, λόγω υπερεκμετάλλευσης. Την περίοδο Απριλίου 1999 επανεφανίσθησαν φαινόμενα αρτεσιανισμού στην παράκτια ζώνη έως και 1,2 Km από την ακτή, ενώ παράλληλα παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση της ποιότητας των υπόγειων νερών. Από την υγρή περίοδο του Απριλίου 1999 μέχρι την ξηρή περίοδο του Νοεμβρίου του ίδιου έτους παρατηρήθηκε μια μέση πτώση στάθμης της τάξης των 5,17 m στις γεωτρήσεις της παράκτιας ζώνης, η οποία ανξάνεται κατά τη μετάβαση στην ανώτερη ζώνη, όπου η μέση πτώση έφθασε τα 8,4 m.

Η αντίστοιχη μέση πτώση στάθμης μεταξύ της υγρής και ξηρής περιόδου του 2000 ανήλθε σε 1,42 m στις γεωτρήσεις της παράκτιας ζώνης και σε 2,23 m στις γεωτρήσεις της ανώτερης ζώνης, ενώ ελάχιστες γεωτρήσεις εμφάνιζαν φαινόμενα αρτεσιανισμού σε ένα εύρος 200 m από την ακτή.

### 3. ΚΑΙΜΑΤΙΚΑ-ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Με βάση τα βροχομετρικά στοιχεία της περιόδου 1988-2000 του σταθμού της Πάτρας (υψόμετρο 1 m α.ε.θ.) η μέση ετήσια βροχοπτώση είναι 563 mm. Ποσοστό 78% της ετήσιας βροχοπτώσης σημειώνεται κατά την υγρή περίοδο (Οκτώβριος-Μάρτιος). Η περιοχή κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχει υποστεί δύο ισχυρές ξηρασιές (1989-92 και 2000). Η βροχοβαθμίδα για τη λεκάνη του Γλαύκου είναι +48,5 mm ανά 100 m (Βουδούρης, 1995). Έτοι το κατώτερο τμήμα του υδροφορέα (μέσο υψόμετρο 20 m και έκταση 9 Km<sup>2</sup>) δέχεται ετήσια 573 mm βροχοπτώση (5,16x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>) και το ανώτερο (μέσο υψόμετρο 120 m και έκταση 16 Km<sup>2</sup>) 620 mm (9,92x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>).



**Εικ. 2: Πορεία της ετήσιας βροχοπτώσης (mm) του σταθμού Πατρών και η ετήσια παροχή του ποταμού Γλαύκου (m<sup>3</sup>/sec) στη θέση ΥΗΣ. The fluctuation of the annual precipitation (mm) at the meteorological station of Patras combined with the annual runoff (m<sup>3</sup>/sec).**

Ο μέσος ετήσιος συνολικός όγκος νερού που δέχεται ο προσχωογενής υδροφορέας ανέρχεται σε (15,08x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>).

Η μέση ετήσια θερμοκρασία στο σταθμό Πατρών ανέρχεται σε 17,8 °C. Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στον ίδιο σταθμό χρησιμοποιήθηκαν οι κάτωθι μέθοδοι, που έδωσαν τους εξής συντελεστές πραγματικής εξατμισο-διαπνοής:

Turc (82,7%), Coutagne (80,1%), Penman (92,5%), Thornthwaite (71,3%).

Θεωρώντας τη μέθοδο Thornthwaite πιο αντιπροσωπευτική για την περιοχή έρευνας (Βουδούρης, 1995) προκύπτει ότι, 10,7x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> (Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφράστου Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.) υπόλοιπα 4,38x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> νερού απορρέουν επιφανειακά ή κατεισδύουν εμπλουτίζοντας τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Η μέση ετήσια απορροή του ποταμού Γλαΐζου, με βάση τις μετρήσεις της ΔΕΗ στον Υδροηλεκτρικό σταθμό, ανέρχεται σε  $1,04 \text{ m}^3/\text{sec}$  (στοιχεία ΔΕΗ), που αντιστοιχεί σε  $32,7 \times 10^6 \text{ m}^3$  νερού. Μέρος από αυτήν την ποσότητα χρησιμοποιείται για την ύδρευση της πόλης των Πατρών και για άρδευση. Επίσης μέρος από την ανωτέρω ποσότητα διηθείται κατά τη διαδρομή του ποταμού προς τη θάλασσα. Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι τμήμα του ποταμού Γλαΐζου έχει εγκιβωτισθεί σε μήκος 3 Km από την ακτή προς την ενδοχώρα και αυτό επιδρά δυσμενώς στη φυσική αναπλήρωση του προσχωσιγενή υδροφόρου οριζοντα.

Στην Εικ. 2 παρουσιάζονται η πορεία της ετήσιας βροχοπτώσεως (mm) του σταθμού Πατρών και η ετήσια παροχή του ποταμού Γλαΐζου ( $\text{m}^3/\text{sec}$ ) στη θέση ΥΗΣ, για την περίοδο 1988-2000.

#### 4. ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ

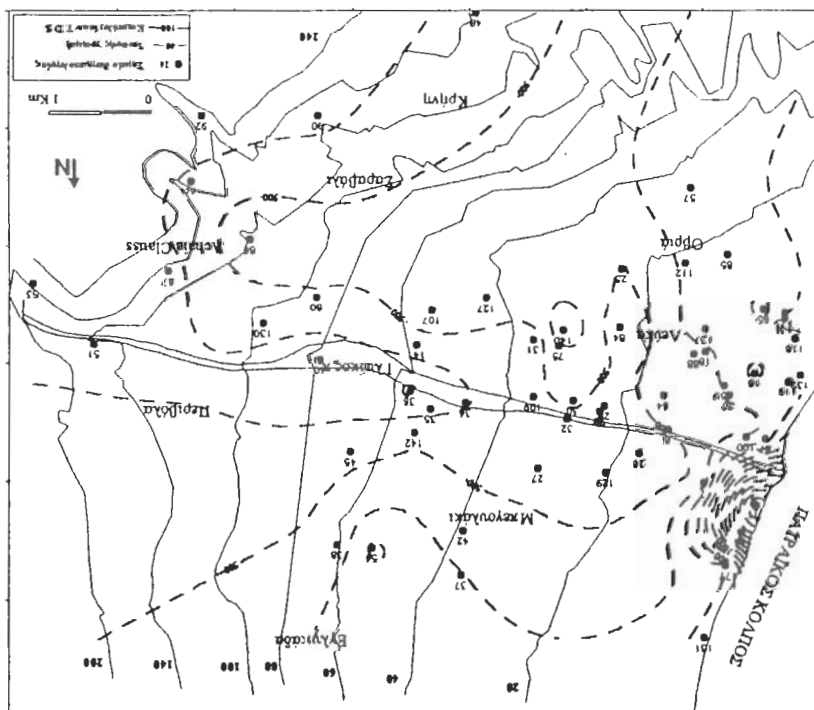
Οι κύριοι μηχανισμοί τροφοδοσίας του προσχωσιγενή υδροφόρου οριζοντα είναι:

- με πλευρική διήθηση κατά μήκος της κοίτης του ποταμού Γλαΐζου, που αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα τροφοδοσίας,
- με άμεση καταισίδωση του νερού της βροχής διαμέσου των επιφανειακών υδροπερατών στρωμάτων και
- με πλευρική μετάγγιση από τους αβεσπολιθούς κατάντη του Υδροηλεκτρικού σταθμού, καθώς και στην περιοχή Σαραβαλιού-Κρήνης. Λόγω της τεκτονικής της περιοχής οι μεταγγίσεις νερού από τους γαλαζιζούς υδροφορείς της ανάντη ζώνης προς τον προσχωσιγενή υδροφόρο είναι περιορισμένες.

Η ποσότητα εμπλουτισμού ( $Q_e$ ) υπολογίζεται από την ζάτωθη εξίσωση (Goes, 1999):

$$Q_e = S_e \Delta s A + Q_a + Q_{\text{out}}$$

όπου:  $S_e$  = η ειδική απόδοση,  $\Delta s$  = η διακύμανση της στάθμης μεταξύ υγής και ξηρής περιόδου,  $A$  = η επιφάνεια του υδροφόρου,  $Q_a$  = οι απολήψεις την περίοδο εμπλουτισμού,  $Q_{\text{out}}$  = οι εκροές από τον υδροφόρο.



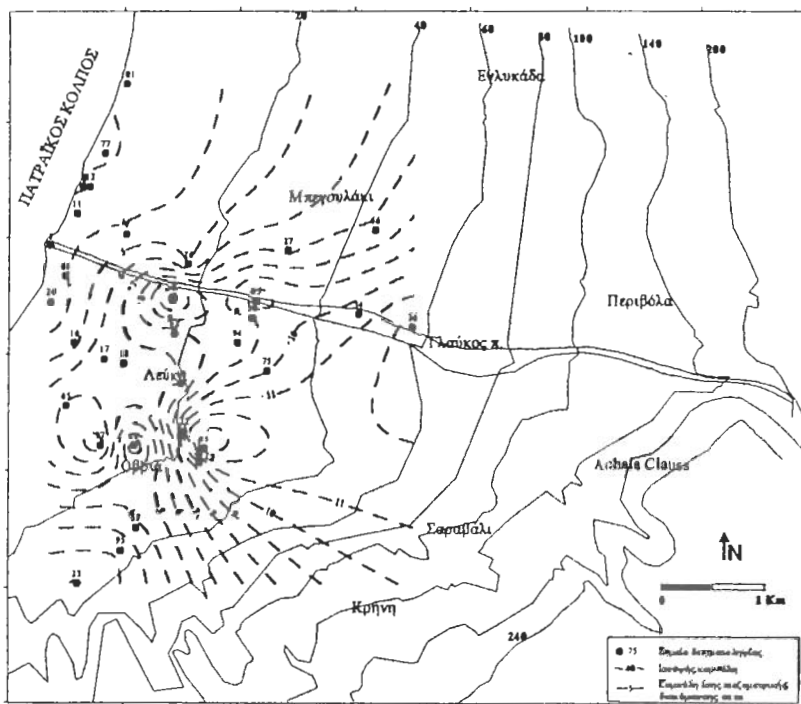
Εικ. 3: Χάρτης T.D.S. της περιόδου Οκτωβρίου 2000. T.D.S. map (October 2000).

Θεωρώντας τις ετήσιες εκροές από την αυτόματη ροή των γεωτρήσεων ίσες με  $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  (περίοδος 1998-2000), τις απολήψεις  $5 \times 10^6 \text{ m}^3$  και μέση διακύμανση της στάθμης 5,17 m στην κατώτερη παράκτια ζώνη ( $S_e = 0,05$ ) και 8,4 m στην ανώτερη ζώνη ( $S_e = 0,13$ ), ο ετήσιος εμπλουτισμός του προσχωσιγενή υδροφόρου της λεκάνης του Γλαΐζου ποταμού ίσως με  $28 \times 10^6 \text{ m}^3$  νερού (περίοδος 1998-2000).

Οι ετήσιες απολήψεις από τον προσχωσιγενή υδροφόρο έως την περίοδο 1994 ανέρχονταν συνολικά σε  $38 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Αυτό οδήγησε σε υποβίβασμό της στάθμης με συνέπεια την ποιοτική υποβάθμιση του υδροφόρου (Λαμπράκης κ.ά, 1997).

Μετά το έτος 1994 μειώθηκαν οι ετήσιες αντλούμενες ποσότητες από τον προσχωσιγενή υδροφόρο για την ύδρευση της πόλης των Πατρών από  $15 \times 10^6 \text{ m}^3$  το 1993 σε  $6 \times 10^6 \text{ m}^3$  το 1999, λόγω εξμετάλλευσης του επιφανειακού νερού του ποταμού Γλαΐζου και των υπόγειων νερών του καρστικού υδροφόρου της λεκάνης του Χάρσαδου, καθώς και μείωση των αναγκών για βιομηχανική χρήση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των απολήψεων από τον προσχωσιγενή υδροφόρο ορίζοντα της λεκάνης του Γλαΐζου και σε συνδυασμό με τις αυξημένες βροχοπτώσεις της περιόδου 1995-1999 και κατά συνέπεια του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφόρου, οδήγησε στην άνοδο της στάθμης και στην εμφάνιση φαινομένων αρτεσιανισμού (Μανδηλαράς κ.ά, 1999). Η μέση τιμή των ετήσιων απολήψεων για ύδρευση, άρδευση και βιομηχανική χρήση την περίοδο 1994-2000 ανέρχεται σε  $17 \times 10^6 \text{ m}^3$  νερού.

Η μέση βροχόπτωση που δέχεται ο προσχωσιγενής υδροφορέας ανέρχεται, όπως προαναφέρθηκε, σε  $15,08 \times 10^6 \text{ m}^3$  ετησίως και η πραγματική εξατμισοδιαπονή σε  $10,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Έτσι προκύπτει ότι η σημαντικότερη πηγή τροφοδοσίας αποτελεί η διήθηση κατά μήκος της κοίτης του ποταμού και επιπλέον μια ποσότητα απορρέει στη θάλασσα τους χειμερινούς μήνες, η αξιοποίηση της οποίας με τη βοήθεια τεχνητού εμπλουτισμού θα συνέβαλε στην ποιοτική αναβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα. Σύμφωνα με παλαιότερες μετρήσεις απορροής στον ΥΗΣ και στην έξοδο του ποταμού Γλαΐζου με μολύβιο προκύπτει ότι κατά μέσο όρο διηθούνται ετησίως  $20 \times 10^6 \text{ m}^3$  νερού (Lamprakis et al., 1997).



Εικ. 4: Χάρτης πιεζομετρικής διακύμανσης της περιόδου Απριλίου-Νοεμβρίου 1999.  
Piezometric fluctuation map between April-November 1999.

## 5. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Για τον έλεγχο της ποιότητας των υπόγειων νερών χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων 61 δειγμάτων της περιόδου Οκτωβρίου 2000, που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

Από τον χάρτη κατανόησης του TDS (Εικ. 3) προκύπτουν δύο ενδιαζόμενοι τομείς: η κατώτερη παραλία ζώνη, όπου οι τιμές του TDS κυμαίνονται από 300-1900 mg/l και η άνωτερη με τιμές που κυμαίνονται από 300-500 mg/l. Από τον χάρτη πιεζομετρικής διακύμανσης περιόδου Απριλίου-Νοεμβρίου 1999 (Εικ. 4) προκύπτει

μείωση του εμπλουτισμού των προσχωσιγενών υδροφόρων με τιμές που κυμαίνονται από 2-8 m στην κατώτερη παράκτια ζώνη και από 6-13 m στην ανώτερη ζώνη.

Ο υδροχημικός τύπος των υπόγειων νερών είναι: Ca-HCO<sub>3</sub> για τα γλυκά νερά της ανώτερης ζώνης και Na-Cl για τα υφάλμυρα νερά της παράκτιας ζώνης. Για τον εντοπισμό της ζώνης υφάλμυρωσης και τη διάκριση των δειγμάτων με βάση τον υδροχημικό τους τύπο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών.

### Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Components Analysis)

Η ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) χρησιμοποιήθηκε για να συνοψίσει τα υδροχημικά δεδομένα που προήλθαν από την ανάλυση 61 δειγμάτων υπόγειου νερού από τον αλλουβιακό υδροφόρο ορίζοντα της λεκάνης του Γλαύκου ποταμού. Είναι μια τεχνική που μειώνει τις διαστάσεις (αριθμό μεταβλητών) ενός αρχειού δεδομένων από τον αριθμό των αρχικών μεταβλητών σε μικρότερο αριθμό κυρίων συνιστωσών.

Αντιζημιενικός στόχος της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες είναι να εκφρασθεί το μεγαλύτερο ποσοστό της ολικής διακύμανσης με ένα μικρό αριθμό συνιστωσών, ασυσχέτιστων μεταξύ τους, κάνοντας έτσι εύκολη την ανάλυση των δεδομένων.

Έτσι μέσω των κυρίων συνιστωσών κάθε μία από τις n αρχικές υδροχημικές παραμέτρους-μεταβλητές (Z) εκφράζεται γραμμικά με K (K=j, j<n) ασυσχέτιστες κύριες συνιστώσες, σύμφωνα με τη σχέση:

$$Z_i = a_{i1}K_1 + a_{i2}K_2 + a_{i3}K_3 + \dots + a_{in}K_n \quad (i=1,2, 3, \dots, j)$$

όπου a<sub>ij</sub> είναι η τιμή του φορτίου της μεταβλητής i στην κύρια συνιστώσα j.

Τα φορτία (loadings) αντιπροσωπεύουν τη σχετική σπουδαιότητα κάθε μεταβλητής στην κύρια συνιστώσα. Αναλυτικά η μέθοδος έχει περιγραφεί από άλλους ερευνητές (Davis, 1986, Buccianti, 1997, Laaksoharju et al., 1999). Τα κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη για την επιλογή των κύριων συνιστωσών είναι:

- 1) Η επιλογή των κυρίων συνιστωσών που σχετίζονται με ιδιοτιμές >1.
- 2) Το κριτήριο "Cattell's Scree-test".

Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας συντελεστών συσχέτισης. Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα Scree-plot μόνο τρεις (3) κύριες συνιστώσες έχουν ιδιοτιμή μεγαλύτερη από τη μονάδα και αντιπροσωπεύουν συνολικά το 81,8% της ολικής διακύμανσης. Έτσι επιλέγονται οι τρεις αυτές κύριες συνιστώσες (K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>) και καθιεμά υδροχημική παράμετρος-μεταβλητή μπορεί να εκφρασθεί ως γραμμικός συνδυασμός των 3 αυτών κυρίων συνιστωσών. Στον Πίνακα 1 με τη διατήρηση των 3 κυρίων συνιστωσών φαίνονται τα φορτία, που προκύπτουν για κάθε μία μεταβλητή (>0,65).

Η θέση κάθε δείγματος στον χώρο των 3 κυρίων συνιστωσών (the scores) μπορεί να καθορισθεί χρησιμοποιώντας την κάτωθι εξίσωση:

$$\text{Score}_i = \beta_1 \text{EC} + \beta_2 \text{Ca} + \beta_3 \text{Mg} + \beta_4 \text{Na} + \beta_5 \text{K} + \beta_6 \text{HCO}_3 + \beta_7 \text{Cl} + \beta_8 \text{SO}_4 + \beta_9 \text{NO}_3 + \beta_{10} \text{pH} + \beta_{11} \text{Fe} + \beta_{12} \text{NH}_3$$

όπου β<sub>1</sub>...β<sub>12</sub> είναι τα φορτία κάθε μεταβλητής στην i-οστή συνιστώσα (i=1,2,3).

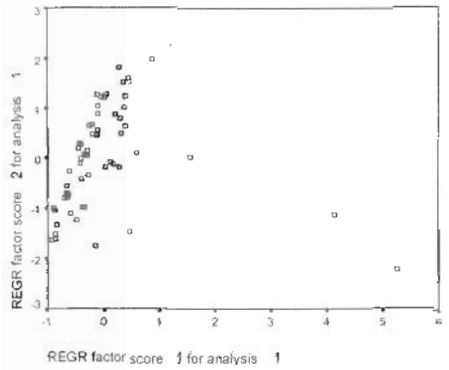
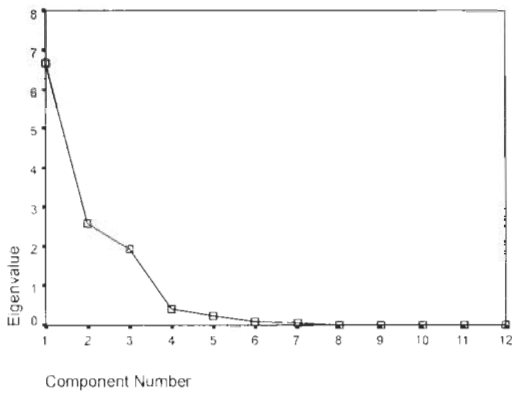
Η πρώτη συνιστώσα εκφράζει το 44,5% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και χαρακτηρίζεται ως παράγοντας αλατότητας, επειδή παρουσιάζει υψηλά φορτία στις μεταβλητές SO<sub>4</sub> (0,89), Mg (0,76), E.C. (0,97), Cl (0,91), Na (0,92), K (0,83). Η συνιστώσα αυτή συνδέεται με τη διείσδυση θαλασσινού νερού, που αυξάνει τις τιμές των ανωτέρω παραμέτρων στον υδροφόρο ορίζοντα. Από τη γεωγραφική κατανομή των παραγοντικών της τιμών φαίνεται ότι η κατώτερη παράκτια περιοχή εμφανίζει υψηλά θετικές τιμές μεταξύ 1 και 5 (Εικ. 6). Η κατανομή της συνιστώσας αυτής οριοθετεί τη ζώνη υφάλμυρωσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Η δεύτερη συνιστώσα εκφράζει το 29,9% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και παρουσιάζει υψηλά φορτία στις μεταβλητές HCO<sub>3</sub> (0,84) και Ca (0,72). Η γεωγραφική κατανομή των τιμών της οριοθετεί την περιοχή, όπου το υπόγειο νερό δεν έχει υποστεί υφάλμυρωση.

Η τρίτη συνιστώσα εκφράζει το 13,4% της ολικής διακύμανσης και παρουσιάζει υψηλά φορτία στις μεταβλητές NH<sub>3</sub> (0,72), NO<sub>3</sub> (-0,65) και Fe (0,89).

Στην Εικ. 5 φαίνεται το διάγραμμα των δύο πρώτων συνιστωσών. Η θέση κάθε δείγματος στο διάγραμμα αυτό καθορίζεται από τον υδροχημικό του χαρακτήρα. Δείγματα από υφάλμυρα νερά βρίσκονται στην περιοχή Α, ενώ αντίθετα τα δείγματα με φρέσκα νερά βρίσκονται στην περιοχή Β.

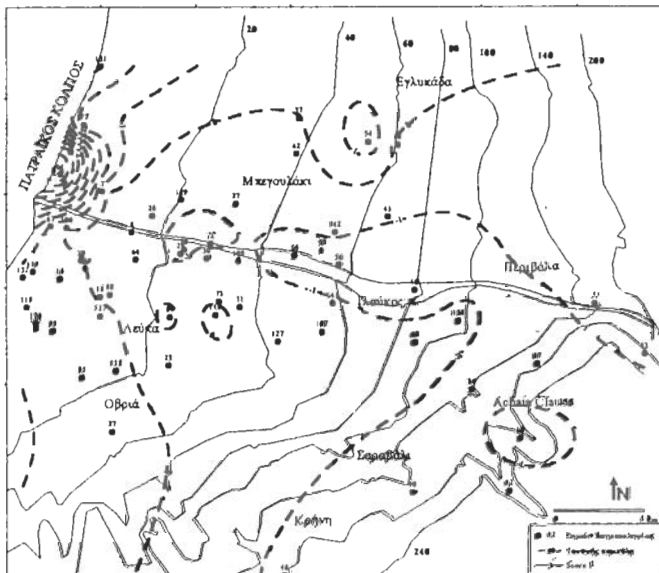
Scree Plot



**Εικ. 5: Διάγραμμα Cattell και διάγραμμα των δύο πρώτων παραγοντικών φορτίων. Cattell's Scree plot and Score 1-Score 2 diagram.**

**Πίν. 1: Παραγοντικά φορτία (>0,65) των 3 κύριων συνιστωσών (61 δείγματα).**

A/α	Παράμετρος	K1	K2	K3
1	Mg	0,76		
2	Na	0,91		
3	Ca		0,72	
4	K	0,83		
5	Cl	0,91		
6	HCO <sub>3</sub>		0,84	
7	NO <sub>3</sub>			-0,66
8	SO <sub>4</sub>	0,89		
9	NH <sub>3</sub>			0,72
10	Fe			0,84
11	EC	0,97		
12	pH			



**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**  
**ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

**Εικ. 6: Χάρτης κατανομής των scores της 1<sup>ης</sup> κύριας συνιστώσας. Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" κ Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.**

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο μέσος ετήσιος συνολικός όγκος νερού που δέχεται ο προσχωσιγενής υδροφόρος της λεκάνης του Γλαύκου ποταμού από βροχοπτώσεις, έκτασης 25 Km<sup>2</sup>, ανέρχεται σε 15,08x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Η πραγματική εξαισιοδιαπονή ανέρχεται σε 10,7x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (71% του ύψους βροχοπτώσης).

Ο μέσος φυσικός εμπλουτισμός του υδροφόρου μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου (1998-2000) ανέρχεται σε 28x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Οι ετήσιες απολήψεις για την κάλυψη των υδατικών αναγκών ανέρχονται κατά μέσο όρο την περίοδο 1994-2000 σε 17x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

Ο υδροχημικός τύπος των υπόγειων νερών είναι: Ca-HCO<sub>3</sub> για τα γλυκά νερά της μεσαίας ζώνης και Na-Cl για τα υφάλμυρα νερά της παράκτιας ζώνης. Με την εφαρμογή της μεθόδου της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών εντοπίζεται η ζώνη υφαλιμύρωσης και διαχωρίζονται τα δείγματα με βάση τον υδροχημικό τους τύπο.

Η διακοπή των αντλήσεων στις γεωτρήσεις της παράκτιας ζώνης από το 1994-95 και μετά συνέβαλαν στην αναστροφή της ποσοτικής μείωσης και της ποιοτικής υποβάθμισης που είχε παρατηρηθεί κατά την περίοδο 1989-1993. Τέλος επισημαίνεται η ανάγκη εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού με την αξιοποίηση των χεμεριών απορροών για τη γρηγορότερη απορύπανση του υδροφόρου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BUCCIANTI A., 1997, Multivariate analysis to investigate Cl distribution in Rocks from different settings. *Mathematical Geology*, 29, No. 3.
- ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Κ., (1995): *Υδρογεωλογικές συνθήκες του ΒΔ/κού τμήματος του νομού Αχαΐας*. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.
- ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Κ., ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., (1995): *Υδρογεωλογική έρευνα και υδραυλικές παράμετροι των πλειοτετατογενών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής της πόλης των Πατρών*. Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Υδρογεωλογικού συνεδρίου.
- DAVIS J. C., 1987, *Statistics and analysis in geology*. 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley and Sons, N.Y 656 p.
- DOUTSOS, T., KONTOPOULOS, N. and FRYDAS, D., (1987): Neotectonic evolution of Northwestern-Continental Greece. *Geol. Rundschau* 76/2, 433-450. Stuttgart.
- GOES, B.,J.M., (1999): Estimate of shallow groundwater recharge in the Hadejia-Nguru wetlands, semi-arid northeastern Nigeria. *Hydrog. Journal*, 7:294-304.
- ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., ΝΟΚΑΣ-ΖΩΓΡΑΦΟΣ, Η., ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., (1997): *Προβλήματα υφαλιμύρωσης παράκτιων υδροφόρων λόγω κακής διαχείρισής τους*. Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ.
- LAAKSOHARJOU, M., SKARMAN, C. SKARMAN, E., (1999): Multivariate mixing and mass balance calculations, a new tool for decoding hydrogeochemical information. *Applied Geochemistry*, 14, 861-871.
- LAMBRAKIS, N., VOUDOURIS, K., TINIAKOS, L., KALLERGIS, G., (1997): Impacts of drought and overpumping on the Quaternary aquifers of the Glafkos basin (Patras region, W. Greece). *Envir. Geology*, 29 (3/4) February 1997, pp. 209-216.
- ΜΑΝΔΗΛΑΡΑΣ, Δ., ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Κ., ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., (1999): *Διακίνηση της ποιότητας και της στάθμης των υπόγειων νερών στον προσχωσιγενή υδροφόρο ορίζοντα της λεκάνης του ποταμού (ΒΔ/κή Αχαΐα)*. Πρακτικά 5<sup>ου</sup> Υδρογεωλ. Συνεδρίου. Κύπρος.
- ΡΟΖΟΣ, Δ., (1989): Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο νομό Αχαΐας-Γεωμηχανικοί χωρακτήρες των πλειοπλειοκαινικών ιζημάτων. Διδ. διατριβή. Παν. Πατρών.
- ΤΣΟΦΛΙΑΣ, Π., (1970): Γεωλογική κατασκευή του βορειότερου τμήματος της Πελοποννήσου (νομού Αχαΐας). *Ann. Geol. Pays Hellen.* XI, 554-651.
- ΨΑΡΙΑΝΟΣ, Π., (1951): Αι πλειοκαινικά αποθέσεις της Αχαΐας. *Ann. Geol. des Pays Hell.* III, 193-214.
- ZELILIDIS, A., KOUKOUVELAS, I., and DOUTSOS, T., (1988): Neogene paleostress changes behind the foreact fold belt in the Patraikos Gulf area, W. Greece. *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.* 311-325. Stuttgart.