

## ΙΣΟΤΟΠΙΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΟΝΙΤΣΑΣ\*

Ι.Α. ΛΕΟΝΤΙΑΔΗΣ<sup>1</sup> & Ε. ΝΙΚΟΛΑΟΥ<sup>2</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ισοτοπική σύσταση των επιφανειακών και υπόγειων νερών στο βόρειο τμήμα του υδατικού διαμερίσματος **Ηπείρου** χρησιμοποιήθηκε για την οριοθέτηση των **περιοχών** τροφοδοσίας και την **εκτίμηση** του δυναμικού των υδρογεωλογικών λεκανών των κυριότερων πηγών, την αποσαφήνιση της **επικοινωνίας** μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων νερών και την διερεύνηση της αλληλεπίδρασης των διαφόρων υπόγειων οριζώντων, στην ευρύτερη περιοχή **Κόνιτσας**.

### ABSTRACT

Depending upon the altitude effect on the isotopic composition of precipitation, isotopes may be used for the identification of waters coming from each of the potential sources of recharge to the groundwater.

The present study was conducted by the National Center for Scientific Research "Demokritos" (NCSR"ID") in collaboration with the Greek Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME). Objective of the study was the investigation of the mechanism of recharge of the aquifers feeding the main springs and/or developed in the plains at different levels in the major area of the basin of Konitsa.

The Geology of the area under investigation in general lines is given in Fig. 1.

The sampling covers 20 springs, 3 rivers and a borehole, for the time period from August 1989 to February 1991. The sampling locations are shown in Fig. 2. The results of the analyses performed in Demokritos are presented in Table 1. The analytical errors are 0.1 ‰ for  $\delta^{18}\text{O}$ , 1 ‰ for  $\delta\text{D}$  and 2 TU for the tritium content.

The correlation between  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  values of all samples having both data available is expressed by equation (2). The correlation between  $\delta^{18}\text{O}$  and the mean recharge altitude (mean altitude of the recharge area weighted by the surface and the precipitation) of the springs in the north part of Epirus is expressed by equation (3), providing an estimate of  $-0.142 \pm 0.003$  ‰  $\delta^{18}\text{O}$  per 100 m for the groundwater altitude effect (Leontiadis and Nikolaou, 1997). By means of this effect, the origin of groundwaters and the interrelation of the major aquifers between each others or between them and the surface waters were determined. Furthermore, the extent of the carbonic rocks and the amount of precipitation effective in recharge to the main springs of the area under investigation were estimated.

Generally, the limestones of "Vigles" facies in the area under investigation are hydraulically interconnected with the limestones of Paleocene - sup. Eocene and Senonian age and the respective groundwater divides are extended beyond the surface water ones.

Water leaking from the river Aaos is contributing to the replenishment of the aquifer developed in the Quaternary deposits covering the plain of Konitsa (sampling point 15), as well as to the recharge of the springs corresponding to the sampling points 14 and 17.

All the big springs along the river Voidomatis (sampling points 2, 3, 5 and 8) are real karstic springs.

\* ISOTOPE HYDROLOGY STUDY OF THE MAJOR AREA OF THE BASIN OF KONITSA, EPIRUS, GREECE.  
1 Δρ. Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ», 15310 Αζα Παρασκενή Αττικής.

2 Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Παράρτημα Ηπείρου, Διτ. Στεριάς για Ιονίων νήσων, Λεωφ. Ελευθ. Βενιζέλου 71, Θεσσαλονίκη. Τερόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

By means of the tritium concentrations of the groundwaters and according to the method described by Leontiadis (1981), Kallergis and Leontiadis (1983) and Leontiadis et al. (1984), the mean transit times of the different groundwater aquifers were determined. The respective results are presented in Table 2 and may be used in estimating the ground water reserves. Furthermore, the speed of the movement of the water through the disintegrated upper part of the flysch surrounding the springs corresponding to the sampling points 13 and 16 was estimated at  $2.2 \pm 0.3 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ .

**KEY WORDS:** ισότοπα-isotopes, Ελλάδα-Greece, Κόνιτσα-Konitsa, τροφοδοσία υπόγειων νερών/υδατικό ισοζύγιο-groundwater recharge/water budget, αλληλεπίδραση υπόγειων/επιφανειακών νερών-ground/surface water relations.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση των ισοτοπικών χαρακτηρισιστικών των υπόγειων νερών βοηθάει στην επίλυση προβλημάτων σχετιζομένων με την ορθολογιστική αξιοποίησή τους, όπως είναι ο μηχανισμός τροφοδοσίας των υπόγειων οριζόντων, το δυναμικό τους, η ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού, η σχέση μεταξύ διαφόρων οριζόντων, κ.ά. (Bradley et al., 1972, Payne, 1972, Δημήτριουλας και Λεοντιάδης, 1973).

Σε προηγούμενες έρευνες είχε διερευνηθεί η επίδραση του υψομέτρου της περιοχής τροφοδοσίας στην τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  των υπόγειων νερών σε όλη την έκταση του ραβδίου διαμερισμάτος Ηπείρου. Η επίδραση αυτή είχε βρεθεί  $-0.142 \pm 0.003 \text{ ‰} \cdot 100 \text{ m}^{-1}$  (Λεοντιάδης και Νιζολάου, 1997) σε όλο το βόρειο τμήμα του υδατικού διαμερισμάτος Ηπείρου, ενώ στο νότιο τμήμα του ήταν  $-0.178 \pm 0.008 \text{ ‰} \cdot 100 \text{ m}^{-1}$  (Leontiadis et al., 1997).

Στόχος της παρούσας έρευνας ήταν η χρησιμοποίηση της ισοτοπικής σύστασης των επιφανειακών και υπόγειων νερών για την οριοθέτηση των περιοχών τροφοδοσίας και την εκτίμηση του δυναμικού των υδρογεωλογικών λεκανών των κυριότερων πηγών, η αποσαφήνιση της επικoinωνίας μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων νερών και η διερεύνηση της αλληλεπίδρασης των διαφόρων οριζόντων, στην ευρύτερη περιοχή Κόνιτσας.

## 2. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Από μορφολογική άποψη, η περιοχή παρουσιάζει ένα έντονο ανάγλυφο, με βαθιές χαράδρες, στενά φαράγγια και απότομες κλίσεις των πρανών. Γενικότερα, η μορφολογική εικόνα είναι χαρακτηριστική των κρομμυδιών περιοχών.

Στην περιοχή της έρευνας διαμετέχει ένα ευρύ φάσμα γεωλογικών σχηματισμών (Σχήμα 1), κρηπίδας της Ιονίου ζώνης και κατά μέρος της ζώνης Πίνδου και του οφιολιθικού συμπλέγματος (υποπελαγονική ζώνη). Τη γεωλογική στήλη συμπληρώνουν οι ποικίλης λιθολογικής σύστασης και κοκκομετρικής διαβάθμισης τεταρτογενείς αποθέσεις.

Η εξίσωση συσχετισμού μεταξύ του υψομέτρου (Υ) και του ύψους της βροχόπτωσης (Η), όπως προσδιορίζεται με βάση τις καταγραφές των βροχομετρικών σταθμών Μαζίου, Μονής Βελλά, Ζίτσας, Κήπων και Πολυλόφου, κατά το χρονικό διάστημα από το 1968 μέχρι το 1986, είναι η (1):

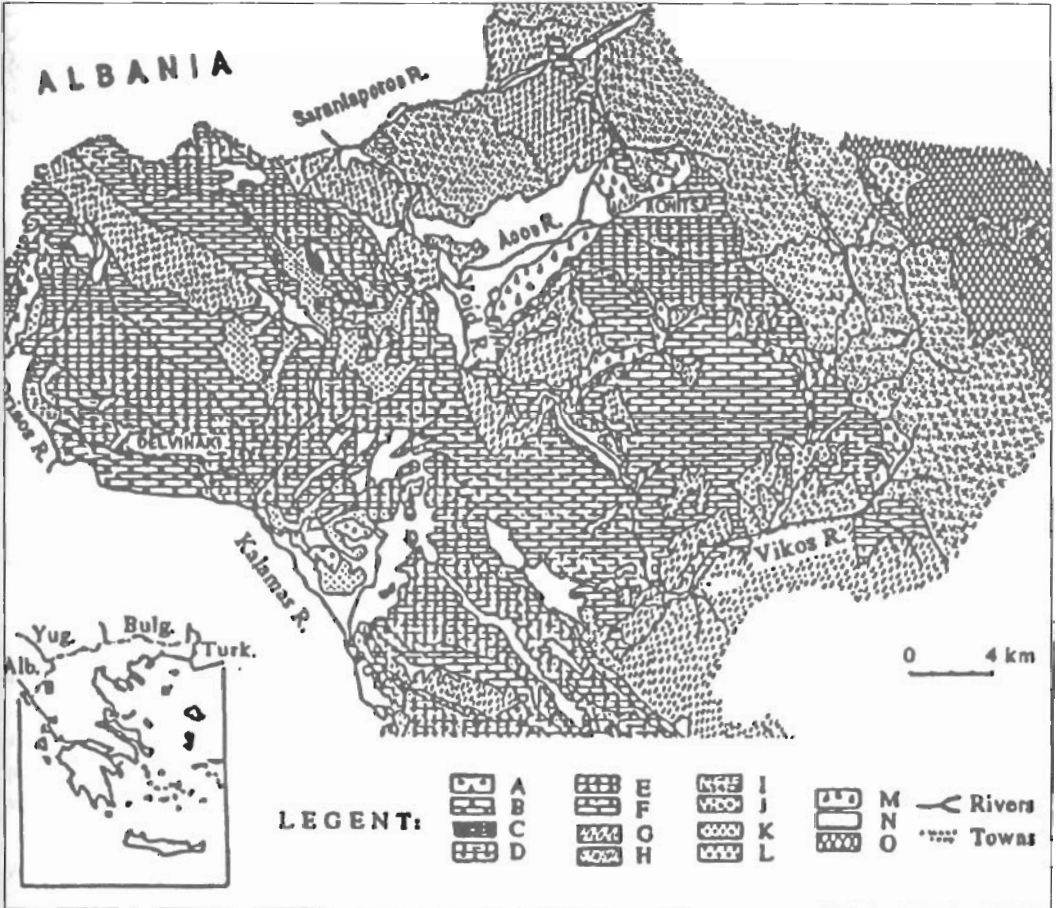
$$H = (515 \pm 304) + (1.32 \pm 0.45)Y \quad \text{συντελεστής συσχετισμού } (r) = 0.862 \quad (1)$$

Η σχετική σταθερή απόκλιση κατά τον υπολογισμό της βροχόπτωσης, με βάση την εξίσωση (1), κυμαίνεται μεταξύ 16 και 26 %, για υψόμετρα μεταξύ 500 και 1500 μέτρων.

Το ποσοστό βροχής που ενισχύει τους υπόγειους κρομμυδιών οριζόντες, εκτιμήθηκε με τη μέθοδο Kessler (1965), με βάση τα βροχομετρικά στοιχεία 28 βροχομετρικών σταθμών της περιοχής, κατά την περίοδο 1951-1988. Ο μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών που προέβλεψαν για τον καθένα από τους παραπάνω σταθμούς ήταν  $47.0 \pm 0.4 \%$ . Το αντίστοιχο μέγεθος που είχε εκτιμηθεί προεξοφλώντας για το νότιο τμήμα του υδατικού διαμερισμάτος Ηπείρου (Λεοντιάδης και Νιζολάου, 1997), ήταν  $47.6 \pm 1.4 \%$ .

### 3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ - ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για να καθορισθεί ο ισοτοπικός δείκτης του νερού τους, επανειλημμένα δείγματα πάσθησαν κατά την περίοδο Αυγούστου 1989 - Φεβρουαρίου 1991, από τα ποτάμια και υδροζέματα της περιοχής, καθώς και από τις πηγές και γεωτρήσεις, η διερεύνηση της τροφοδοσίας των οποίων αποτελούσε το ειδικό αντικείμενο της παρούσας έρευνας.



Σχήμα 1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνών (πηγή, γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμ. 1:500.000, εκδ. ΙΓΜΕ, 1983) - Geological map of the area under investigation (source, Geological map of Greece, scale 1:500.000, pub. IGME, 1983). A, Τριασικά Λατιποταγή - Triassic Breccias. B, Ασβεστόλιθοι Στινιόν και Παντοκράτορα - Limestones of Pantokrator facies. C, Σχιτολίθοι με Ποσειδώνιες - Posidonian chert. D, Ασβεστόλιθοι Βιγλιών και Δολομίτες - Limestones of Vigles age. E, Ασβεστόλιθοι Παλαιοκαινίου και Εοκαινού - Limestones of Paleocene and Eocene age. G, Φλύσης Ιονίου ζώνης - Flysh of Ionian zone. H, Φλύσης ζώνης Πίνδου - Flysh of Pindos zone. I, Λιμνικό Πλειόκαινο - Lacustrian deposits of Pliocene age. J, Λιθόνες Παγετώνων - Glacier drifts. K, Παλαιές ποταμικές προσχώσεις - Old silicious deposits. L, Ποτάμιας αναβαθμίδες - Riparian terraces. M, Κορήματα - Talus cones. N, Σίγγχονες προσχώσεις - Alluvial deposits. O, Ορφιολιτικό σύμπλεγμα - Orphiolitic complex.

Οι θέσεις των διαφόρων σημείων δειγματοληψίας και το ανάγλυφο της περιοχής φαίνονται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2: Θέση σημείων δειγματοληψίας  
Fig.2: Location of sampling points

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων, που έγιναν στον Δημόκριτο, παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Το σφάλμα των μετρήσεων είναι 0,1 ‰ για το δ<sup>18</sup>O, 1 ‰ για το δD και 2 TU για το T. Το σφάλμα της μέσης τιμής, που αναφέρεται στον πίνακα, είναι το σταθερό σφάλμα που υπολογίζεται με βάση τις αντίστοιχες επιμέρους μετρήσεις, ή αυτό, αν είναι μεγαλύτερο, που υπολογίζεται με βάση το αντίστοιχο αναλυτικό σφάλμα. Η απόκλιση στις αναφερόμενες στο κείμενο ετήσιες παροχές των διαφόρων πηγών εκτιμάται σε 10% περίπου.

Σε ολόκληρο το βόρειο τμήμα του υδατικού διαμερίσματος Ηπείρου (Λεοντιάδης και Νικολάου, 1997), η μαθηματική σχέση που συνδέει τις τιμές δD και δ<sup>18</sup>O μεταξύ τους είναι η παρακάτω:

$$\delta D = (1,3 \pm 0,04) + (6,4 \pm 0,5) \delta^{18}O \quad r = 0,8588 \quad (2)$$

Επισημαίνεται ότι στο νότιο τμήμα του ίδιου διαμερίσματος, η αντίστοιχη τιμή κλίσεως για τις περιοχές Παμφυλίας και Κορώνης, στο ίδιο υδατικό διαμέρισμα, είναι 4,4 ± 0,3 (Leontiadis et al., 1997), ενώ για την περιοχή της λεκάνης του Λούρου είναι 5,7 ± 0,5 (Leontiadis and Smyrniotis, 1986). Στον Ελληνικό χώρο, τιμές κλίσεως μεταξύ 6 και 8 έχουν διαπιστωθεί στα υδατικά διαμερίσματα Θράκης και Αν. Μακεδονία (Leontiadis et al., 1996), Κεντρικής Μακεδονίας (Christodoulou et al., 1993) και Αν. Πελοποννήσου (Ghikas et al., 1983). Τιμές μεταξύ 4 και 6, έχουν διαπιστωθεί επίσης και στη Δυτική Στερεά Ελλάδα (Λεοντιάδης, 1987) και την Κρήτη (Leontiadis et al., 1988). Έχει μάλιστα βρεθεί και πολύ μικρότερη τιμή (2,4 ± 0,3), στη λεκάνη κάτω ρου του Ασωπού (Kallergis and Leontiadis, 1983).

Η μαθηματική σχέση που συνδέει την τιμή δ<sup>18</sup>O των πηγών νερών από το σταθμισμένο μέσο υψόμετρο της περιοχής τροφοδοσίας τους, στο βόρειο τμήμα του υδατικού διαμερίσματος Ηπείρου, όπως είχε προκύψει από τη σχετική έρευνα (Λεοντιάδης και Νικολάου, 1997), είναι η παρακάτω.

$$\delta^{18}O = (-6,3 \pm 0,01) + (0,78 \pm 0,008) \delta X \quad r = 0,9870$$

Ήπειρος - Βιβλιοθήκη "Θεοφράστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Η σταθερή απόκλιση της τιμής  $\delta^{18}\text{O}$ , που υπολογίζεται με βάση την εξίσωση (3), ανέρχεται σε 0.07 με 0.08 ‰, για μέσα υψόμετρα από 0 μέχρι 2200 μέτρα. Η αντίστοιχη σταθερή απόκλιση του Μ.Υ. που με βάση την εξίσωση (3) δίνει τιμές  $\delta^{18}\text{O}$  από -9.5 μέχρι -6.5 ‰ κυμαίνεται μεταξύ 50 και 59 μέτρα.

**Πίνακας 1:** Αποτελέσματα αναλύσεων

**Table 1:** Analytical data

Σημ. δειγ. Sampling point	Υψόμε./βάθος Elev./depth (m)	T (TU)	$\delta^{18}\text{O}$ (o/oo)	$\delta\text{D}$ (o/oo)	Cl- (ppm)
1(r)	850	9±1.1 (10)	-7.9±0.07 (20)	-52.8±1.0 (1)	8±1 (10)
2(s)	500	14±0.9 (6)	-8.8±0.09 (10)	-	7±1 (6)
3(s)	500	15±0.9 (6)	-8.7±0.10 (10)	-56.0±1.0 (1)	6±1 (6)
4(s)	1100	10±1 (2)	-8.9±0.07 (3)	-53.2±1.0 (1)	6±1 (2)
5(s)	450	14±0.5 (8)	-8.8±0.06 (14)	-54.1±1.9 (2)	8±1 (8)
6(r)	450	13±0.8 (5)	-8.8±0.03 (9)	-54.0±1.4 (3)	7±1 (5)
7(s)	1100	14±1.3 (4)	-9.1±0.03 (11)	-53.2±1.0 (1)	6±2 (4)
8(s)	407	15±0.8 (10)	-8.3±0.04 (12)	-51.1±3.0 (2)	9±1 (10)
9(s)	530	10±1.2 (3)	-8.4±0.08 (6)	-52.8±1.0 (1)	26±5 (3)
10(s)	600	17±1.3 (3)	-8.7±0.10 (6)	-	9±2 (3)
11(s)	388	16±0.7 (8)	-8.7±0.02 (26)	-52.6±1.4 (2)	12±1 (8)
12(r)	436	15±0.9 (14)	-8.5±0.06 (26)	-53.8±1.4 (2)	8±1 (14)
13(s)	723	18±0.7 (13)	-7.7±0.04 (26)	-44.3±0.7 (2)	9±1 (13)
14(s)	370	12±0.7 (8)	-8.3±0.04 (20)	-53.1±1.9 (2)	8±1 (8)
15(g)	404/30	10±0.8 (11)	-7.8±0.16 (22)	-52.4±0.7 (2)	14±2 (11)
16(s)	661	8±0.5 (14)	-7.7±0.03 (26)	-46.3±0.07 (2)	8±1 (14)
17(s)	367	17±0.6 (13)	-7.7±0.04 (25)	-51.2±0.7 (2)	9±1 (13)
18(s)	402	11±0.7 (14)	-8.0±0.03 (26)	-50.0±0.7 (2)	9±1 (14)
19(s)	860	22±1.2 (3)	-8.8±0.09 (3)	-	8±1 (3)
20(s)	420	-	-8.6±0.1 (1)	-	9±1 (1)
21(s)	523	12±1 (3)	-7.7±0.07 (8)	-49.0±1.2 (2)	11±2 (3)
22(s)	532	13±0.6 (12)	-8.0±0.03 (29)	-50.4±0.9 (5)	11±0.6 (13)
23(s)	417	14±0.7 (7)	-7.8±0.03 (13)	-47.3±0.8 (2)	12±1 (7)
24(s)	396	12±0.5 (10)	-7.9±0.03 (24)	-48.4±0.5 (3)	12±1 (10)

s, πηγή-spring; r, ποταμός-river; w, γεώτρηση-well, (..), αριθμ. αναλύσεων-number of analysed samples

Σύμφωνα με την εξίσωση (3), μεταβολή του σταθμισμένου ως προς την επιφάνεια και τη βροχόπτωση μέσου υψόμετρον μιας περιοχής κατά 100 μ. συνεπάγεται ελάττωση της τιμής  $\delta^{18}\text{O}$  του υπόγειου νερού, που τροφοδοτείται από αυτήν την περιοχή, κατά 0,142±0.003 ‰. Το μέγεθος αυτό ήταν 0,178±0.008 ‰ στο νότιο τμήμα του ίδιου υδατικού διαμερίσματος (Leontiadis and Smyrniotis, 1986, Leontiadis et al., 1997), 0,21±0,01 ‰ σε ολόκληρο το υδατικό διαμέρισμα της Θράκης (Leontiadis et al., 1996) και στη Δυτική Στερεά Ελλάδα (Λεοντιάδης, 1987), 0,24±0,01 ‰ στην Κρήτη (Leontiadis et al., 1988), 0,26±0,02 ‰ στην Αττική (Kallergis and Leontiadis, 1983), 0,27±0,01 ‰ στη Δυτική Μακεδονία (Leontiadis et al., 1992), 0,28±0,01 ‰ στην Κεντρική Μακεδονία (Christodolou et al., 1993), 0,29±0,01 ‰ στην Ανατολική Πελοπόννησο (Ghikas et al., 1983) και 0,44±0,01 ‰ στο υδατικό διαμέρισμα Ανατολικής Ήπειρου (Λεοντιάδης, 1987).

#### 4. ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Με βάση τη σχέση (3) και το ανάγλυφο της περιοχής μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα, σχετικά με την τροφοδοσία των διαφόρων πηγών και γεωτόρισων της ευρύτερης περιοχής Κόνιτσας, όπως αυτά που παρατίθενται παρακάτω.

Στη νοτιοδυτική πλευρά του όρους Δούσοζου, στην απόληξη ασβεστολίθων Παλαιοζαίνου-αν. Ηωζαίνου, σε υψόμετρο 523 μ., αναβλύζει η πηγή Κεφαλοβούσου (ζωδ., 21). Η τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού της πηγής ( $-7,7 \pm 0,07 \text{‰}$ ) αντιστοιχεί σε Μ.Υ.  $966 \pm 51$  μ.. Με βάση το στοιχείο αυτό, τη γεωλογία και το ανάγλυφο της περιοχής, συμπεραίνεται ότι για την τροφοδοσία της πηγής είναι υπεύθυνο το τμήμα ασβεστολίθων Παλαιοζαίνου-αν. Ηωζαίνου και Σενωνίου που οριοθετείται από τον τοπικό επιφανειακό υδροκόρητη (μέγιστο υψόμετρο, περίπου 1400 μ., Μ.Υ. 980 μ.). Η έκταση της περιοχής αυτής ( $8,4 \text{ Km}^2$ ) αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού που εμπλουτίζει τον αντίστοιχο υδροφόρο  $8 \pm 1,4$  εκ. κυβ. μ., σε συμφωνία με την ετήσια παροχή της πηγής ( $4 \pm 0,4$  εκ. κυβ. μ.).

Ενάμιον περίπου χιλιόμετρο δυτικά της πηγής Κεφαλοβούσου, αναβλύζουν οι πηγές Γκλάβας (ζωδ., 22). Ελήφθησαν δείγματα από τρία διαφορετικά σημεία του μετώπου των πηγών. Οι τιμές όλων των μετροθέντων μεγεθών υπήρξαν μέσα στο στατιστικό σφάλμα ταυτόσημες και για τα τρία σημεία, γεγονός που υποδηλώνει ενιαία προέλευση. Οι τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα 1 αναφέρονται στους μεσασες όρους του συνόλου των μετροθέντων δειγμάτων και από τα τρία σημεία. Το Μ.Υ. που αντιστοιχεί στην τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  των πηγών ( $-8,0 \pm 0,03 \text{‰}$ ) είναι  $1178 \pm 50$  μ.. Με βάση το στοιχείο αυτό, η τροφοδοσία των πηγών αποδίδεται στο υπόλοιπο τμήμα των ασβεστολίθων Παλαιοζαίνου-αν. Ηωζαίνου και Σενωνίου της δυτικής πλευράς του όρους Δούσοζου, που οριοθετείται από τον ευρύτερο επιφανειακό υδροκόρητη (μεγ. υψόμετρο 2207 μ.), με τη συμμετοχή και μέρους των ασβεστολίθων Παλαιοζαίνου-αν. Ηωζαίνου της ανατολικής πλευράς του όρους Πογωνιανής. Η έκταση της εν προκειμένο περιοχής ( $35$  περίπου  $\text{Km}^2$ ) αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού που εμπλουτίζει τον αντίστοιχο υδροφόρο  $34 \pm 7$  εκ. κυβ. μ., σε συμφωνία με την ετήσια παροχή των πηγών ( $30 \pm 3$  εκ. κυβ. μ.).

Στο νότιο τμήμα του όρους Πογωνιανής, μέσα σε ασβεστολίθους Σενωνίου, αναβλύζει η πηγή Αγίοι (ζωδ. 23). Η τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού της πηγής ( $-7,8 \pm 0,03 \text{‰}$ ) αντιστοιχεί σε Μ.Υ.  $1037 \pm 51$  μ., γεγονός που υποδηλώνει ότι στην τροφοδοσία της πηγής συμμετέχουν κυρίως οι ασβεστόλοθοι Σενωνίου του όρους Πογωνιανής. Το τμήμα των ασβεστολίθων αυτών που οριοθετείται από τον επιφανειακό υδροκόρητη (Μ.Υ. 1032 μ.) έχει έκταση περίπου  $30 \text{ km}^2$  και αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού που εμπλουτίζει τον αντίστοιχο υδροφόρο  $27 \pm 5$  εκ. κυβ. μ.. Ολόκληρο το τμήμα των ασβεστολίθων Σενωνίου του Ελληνικού τμήματος του όρους Πογωνιανής (Μ.Υ. 1000 μ.) έχει έκταση  $46$  περίπου  $\text{km}^2$  και αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού που εμπλουτίζει τον αντίστοιχο υδροφόρο  $41 \pm 6$  εκ. κυβ. μ..

Στην ανατολική πλευρά του όρους Δούσοζου, αναβλύζει η πηγή Μάνα Νερού Αδού (ζωδ., 18), μέσα σε λιθώδες παρεπίπλων, σε μικρή απόσταση από μια νηίδα ασβεστολίθων Παλαιοζαίνου-αν. Ηωζαίνου, σε περιβάλλον γλυκύη, μέσης ετήσιας παροχής  $7,3 \pm 0,7$  εκ. κυβ. μέτρα. Το Μ.Υ. ( $1178 \pm 51$  μ.) που αντιστοιχεί στην τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού της πηγής ( $-8,0 \pm 0,03 \text{‰}$ ) υποδηλώνει ότι η τροφοδοσία της πηγής οφείλεται κυρίως στον ορεινό όγκο του όρους Δούσοζου, γεγονός που σημαίνει ότι η ασβεστολιθική νηίδα που γειτνιάζει της πηγής δεν είναι απομονωμένη, αλλά συνδέεται υδρογείως με τους αντίστοιχους όγκους του όρους Δούσοζου και ότι στην τροφοδοσία της πηγής συμμετέχουν και οι ασβεστολίθοι της Βίγλας. Η συνολική έκταση της περιοχής που ως εκ του ανάγλυφου είναι δυνατό να συμμετέχει στην τροφοδοσία της πηγής ανέρχεται σε  $54$  περίπου  $\text{km}^2$  (Μ.Υ. 1195 μ.) και η ποσότητα νερού που εμπλουτίζει τον αντίστοιχο υδροφόρο σε  $57 \pm 12$  εκ. κυβ. μέτρα. Από αυτά, τα  $7,3 \pm 0,7$  εκ. κυβ. μέτρα βρίζουν διεξοδο δια της πηγής Μάνα Νερού Αδού και το υπόλοιπο, μαζί με το νερό που προέρχεται από τους ασβεστολίθους Παλαιοζαίνου-αν. Ηωζαίνου και Σενωνίου, που αποτελούν τη νότια συνέχεια του όρους Δούσοζου, τροφοδοτούν την πηγή Γράμιωστη (ζωδ., 24,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $-7,9 \pm 0,03 \text{‰}$ ). Η συνολική έκταση των περιοχών που συμμετέχουν στην τροφοδοσία των δύο πηγών ανέρχεται σε  $71 \text{ km}^2$ , η ποσότητα νερού που εμπλουτίζει τους αντίστοιχους υδροφόρους σε  $67 \pm 13$  εκ. κυβ. μέτρα και το Μ.Υ. σε  $1115$  μ.. Στο σενάριο αυτό συνήγορει και η χημική σύσταση του νερού αμφοτέρων των πηγών (πλούσια σε θεϊά Ψηφιακή Βιβλιοθήκη «Θεόφραστος» - Ετήσιμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. οίλων πηγών της περιοχής.

Ο εμπλουτισμός σε θειϊκά πρέπει να οφείλεται στο γεγονός ότι ο αντίστοιχος υδροφόρος οριζάντα το εζ. λατυποπαγών υπόβαθρο, το οποίο εμφανίζεται στην επιφάνεια πλησίον της πηγής Γράβουστη.

Η τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού του ποταμού Αώου, στο ύψος της γέφυρας Κόνιτσας, είναι  $-8.5 \pm 0.06$  ‰ (ζωδ. 12). Εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρου των αλλοιβίων του κάμπου της Κόνιτσας από το ποτάμι, υποδηλώνουν οι τιμές  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού της γεώτρησης που αντιστοιχεί στον ζωδ. 15, οι οποίες διακυμαίνονται μεταξύ  $-8.4$  και  $-5.8$  ‰. Οι λιγότερο αρνητικές τιμές οφείλονται στην ανακύκλωση του νερού άρδευσης, το οποίο κατά τη θερινή περίοδο υφίσταται έντονη εξάτμιση, κατά την παραμονή του στα κανάλια αποστράγγισης. Σε εμπλουτισμό από τα νερά του Αώου οφείλεται σε σημαντικό ποσοστό και η τροφοδοσία των πηγών Λετοβουνίου (ζωδ. 14) και Παναγιάς (ζωδ. 17), όπως συμπεραίνεται από τις τιμές  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού τους ( $-8.3 \pm 0.04$  και  $-7.7 \pm 0.04$  ‰).

Η τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  ( $-8.6 \pm 0.1$  ‰) του νερού της πηγής Καβάσιλα (ζωδ., 20), στις όχθες του Σαρωνιάτορου, αντιστοιχεί σε Μ.Υ.  $1602 \pm 54$  μέτρα. Το γεγονός αυτό είναι σύμφωνο με το σενάριο που τοποθετεί την περιοχή που ενθύνεται κυρίως για την τροφοδοσία της πηγής, στο βόρειο άκρο του όρους Τύμφης. Εντούτοις, χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση για να αποβλαστίει, πέρα από κάθε αμφιβολία, η πιθανότητα να προέχεται απλά για ψευδοπηγή του Σαρωνιάτορου.

Από τους Περιδοτίτες-Σερπεντίνες της νοτιοανατολικής απόληξης του όρους Σμόλικα, απ' ευθείας ή δια μεσολαβήσεως των ρεμάτων που αποστράγγιζον τα πετρώματα αυτά, τροφοδοτείται η πηγή Διοτράτου (ζωδ., 19). Η τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού της ( $-8.8 \pm 0.09$  ‰) αντιστοιχεί σε Μ.Υ.  $1743 \pm 54$  μ., ενώ από που προέχεται αντιστοιχεί στα συγγεγραμμένα πετρώματα, έκτασης  $34$  περίπου  $\text{km}^2$ , είναι  $1785$  μ..

Στη βορειοανατολική πλευρά του όρους Τύμφης αναβλύζει η πηγή Γράβου (ζωδ. 10), σε υψόμετρο  $600$  περίπου μ., μέσα σε δολομίτες. Η τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού της πηγής αυτής ( $-8.7 \pm 0.1$  ‰) αντιστοιχεί σε Μ.Υ.  $1673 \pm 54$  μ.. Αυτό υποδηλώνει ότι η τροφοδοσία της πηγής οφείλεται κατά κύριο λόγο στο σύνολο των ασβεστολιθικών όγκων Βίγλας, Σενωνίου και Παλαιοζαίνου-αν. Ηωζαίνου, έκτασης  $15$  περίπου  $\text{km}^2$ , που καταλαμβάνουν το βόρειο άκρο του όρους Τύμφης (Μ.Υ.  $1729$  μ., ποσότητα νερού που εμπλουτίζει τον αντίστοιχο υδροφόρο,  $21 \pm 6$  εζ. κυβ. μ.). Στην ίδια περιοχή οφείλεται κυρίως και η τροφοδοσία της πηγής Βουβίου (ζωδ., 11), που αναβλύζει σε υψόμετρο  $388$  μ., στα περιθώρια μιας μικρής νησίδας ασβεστολιθών Παλαιοζαίνου-αν. Ηωζαίνου, σε περιβάλλον αλλοιβίων, στην πεδιάδα Κόνιτσας ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $-8.7 \pm 0.02$  ‰). Σημαντική επίσης προσφορά έχει και στην παροχή της πηγής Νέλες (ζωδ., 9,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $-8.4 \pm 0.08$  ‰).

Στη βορειοανατολική πλευρά του όρους Τύμφης, μέσα σε δολομίτες, αναβλύζει και η πηγή Αγ. Τριάδος (ζωδ., 7), σε υψόμετρο  $1100$  μ.. Και σ' αυτή την περίπτωση, η τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού της πηγής ( $-9.1 \pm 0.03$  ‰), που αντιστοιχεί σε Μ.Υ. ( $1955 \pm 56$  μ.), υποδηλώνει τροφοδοσία κυρίως από τους ασβεστολιθικούς όγκους Βίγλας, Σενωνίου και Παλαιοζαίνου-αν. Ηωζαίνου του όρους Τύμφης, που επτείνονται νοτιοανατολικά της πηγής (έκταση, περίπου  $37$   $\text{km}^2$ , Μ.Υ.  $2057$  μ., ποσότητα νερού που εμπλουτίζει τον αντίστοιχο υδροφόρο,  $60 \pm 19$  εζ. κυβ. μ.).

Στην περίπτωση της πηγής Κορυτσόμπα (ζωδ., 4), που αναβλύζει μέσα από χροαλοπαγή, σε υψόμετρο επίσης  $1100$  μ., το Μ.Υ. ( $1814 \pm 55$  μ.) που αντιστοιχεί στην τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού της ( $-8.9 \pm 0.06$  ‰), υποδηλώνει τροφοδοσία από τους ασβεστολιθούς Παλαιοζαίνου-αν. Ηωζαίνου που οριοθετούνται από τον επιφανειακό υδροζοιτή (έκταση,  $1.5$   $\text{km}^2$ , Μ.Υ.  $1806$  μ., ποσότητα νερού που εμπλουτίζει τον αντίστοιχο υδροφόρο,  $2.3 \pm 0.7$  εζ. κυβ. μ.)

Η τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  ( $-8.3 \pm 0.04$  ‰) του νερού της πηγής Λράτη (ζωδ., 8), που αναβλύζει στην νότια όχθη του ποταμού Βοϊδομάτη, σε υψόμετρο  $407$  μ., όπως και η παροχή της ( $23.6 \pm 2.4$  εζ. κυβ. μ.), δεν μπορούν να δικαιολογηθούν από τον ασβεστολιθικό όγκο του αμέσου περιβάλλοντος της πηγής (αναμενόμενη τιμή  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $-7.2 \pm 0.14$  ‰). Από την άλλη μεριά δεν μπορεί να θεωρηθεί και σαν ψευδοπηγή (τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού του ποταμού, ζωδ. 6,  $-8.8 \pm 0.03$  ‰). Η μόνη συμβατή εξήγηση με την τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού της πηγής είναι ότι η τροφοδοσία της οφείλεται κατά κύριο λόγο στον ασβεστολιθικό όγκο νοτιο-νοτιοανατολικά της πηγής, που φθάνει μέχρι τα  $1620$  μ. (έκταση,  $28$   $\text{km}^2$ , αναμενόμενη τιμή  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $-8.2 \pm 0.14$  ‰, ποσότητα νερού που εμπλουτίζει τον αντίστοιχο υδροφόρο,  $31 \pm 7$  εζ. κυβ. μ.).

Κατά την υγρή περίοδο υπάσχει συνέχεια ροής μεταξύ των ποταμών Βίζου και Βοϊδομάτη. Κατά την ξηρά περίοδο η ροή του ποταμού Βίζου διακόπτεται στο Τσεπέλοβο (κωδ., 1) και η ροή του ποταμού Βοϊδομάτη αρχίζει από τις πηγές Γκαστρομένης (κωδ., 2 και 3), οι οποίες εμφανίζονται και στις δύο όχθες του ποταμού. Με βάση την τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού τους ( $-8,8 \pm 0,09$  και  $-8,7 \pm 0,1$  ‰), το αναμενόμενο Μ.Υ των περιοχών τροφοδοσίας τους είναι στατιστικά ταυτόσημο ( $1743 \pm 54$  και  $1673 \pm 54$  μ.). Επίσης και από τις δύο δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν "επανεμφάνιση" του νερού του ποταμού Βίζου (τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού του ποταμού,  $-7,9 \pm 0,07$  ‰). Το Μ.Υ των ασβεστολιθικών όγκων που δεσπόζουν της νότιας όχθης του ποταμού, έκτασης 38 km<sup>2</sup>, υπολογίστηκε σε 1268 μ. (αναμενόμενη τιμή  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $-8,1 \pm 0,07$  ‰), ενώ εκείνο της βόρειας όχθης, συνολικής επιφάνειας 60 περίπου km<sup>2</sup>, υπολογίστηκε σε 1980 μ. (αναμενόμενη τιμή  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $-9,1 \pm 0,07$  ‰). Η αναμενόμενη τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού, στην περίπτωση που οι δύο αυτοί όγκοι σχηματίζουν έναν ενιαίο υδροφόρο υπολογίστηκε σε  $-8,7 \pm 0,07$  ‰. Είναι φανερό λοιπόν ότι οι δύο αυτοί όγκοι επικοινωνούν μεταξύ τους υδραυλικά. Από τον ίδιο ενιαίο υδροφόρο τροφοδοτείται και η πηγή Οικονόμου (κωδ., 5,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $-8,8 \pm 0,06$  ‰), η οποία αναβλύζει και αυτή στη νότια όχθη του ποταμού Βοϊδομάτη.

## 5. ΗΑΙΚΙΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Με βάση την περιεκτικότητα σε τρίτιο των υπόγειων νερών και σύμφωνα με τη μέθοδο που έχει προταθεί από τους Leontiadis (1981), Kallergis and Leontiadis (1983) και Leontiadis et al. (1984), υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος υπόγειας παραμονής των νερών των διαφόρων πηγών. Τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Λυσιτελώς, στις περισσότερες περιπτώσεις, το επίπεδο της περιεκτικότητας σε τρίτιο, σε συνδυασμό με τη σχετικά μικρή περίοδο δειγματοληψίας, είχε σαν αποτέλεσμα δύο πολύ διαφορετικές ηλικίες να ανταποκρίνονται εξίσου καλά στην περιεκτικότητα του νερού σε τρίτιο. Σαντιές τις περιπτώσεις, η τελική επιλογή για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς το μέγεθος του υπόγειου ταμιευτήρα, πρέπει να βασιστεί σε συμπληρωματικά ισοτοπικά ή/και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά.

**Πίνακας 2:** Μέσος χρόνος παραμονής του νερού υπογείως

**Table 2:** Mean transit time of groundwater

Σημείο δειγματοληψίας- Sampling point	Μέσος χρόνος υπόγειας παραμονής- Mean transit time (years)
2	6,4-9,4 ή 46-57
3	7,5-10 ή 45-58
5	8-10,5 ή 47-57
8	9,3-11,3 ή 45-50
11	9,5-12 ή 47
12	8-11 ή 57
13	11,8-13,1
14	6-9 ή 49-77
15	3-4 ή >52
16	56-69
17	9,5-12 ή 45-49
18	5,5-7,5 ή 50-82
23	8-10,5 ή 46-58
24	6-9 ή 49-79

Στην ανατολική πλευρά του όρους Δούσικου, οι πηγές με κωδ. 13 και 16 αναβλύζουν μέσα σε φλύσση, αλλά τροφοδοτούνται από τον ασβεστολιθικό σχηματισμό Παλαιοκαίνου - αν. Ηωκαίνου και αν. Κρητιδικού της Ιονίου Ζώνης που δεσπόζει οπίσθεν των πηγών. Η κοινή προέλευση και οι



διαφορετικοί χρόνοι μέσης υπόγειας παραμονής των νερών των δύο αυτών πηγών (12-13 και 56-69 χρόνια αντίστοιχα) δεν είναι πράγματα ασυμβίβαστα, δεδομένου ότι οι δύο αυτές πηγές εμφανίζονται μέσα σε φλύσχη, σε διαφορετική απόσταση από τα χωράσια του ασβεστολιθικού σχηματισμού. Με βάση την διαφορά της απόστασης που διανύουν τα νερά των πηγών μέσα στο φλύσχη και την διαφορά των "ηλικιών" τους, η ταχύτητα κίνησης του νερού μέσα στην αποσαθρωμένη επιφάνεια του φλύσχη, στη συγκεκριμένη περίπτωση, εκτιμήθηκε σε  $2,2 \pm 0,3 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ .

Στην περίπτωση των πηγών Μάνας Νερού Λάου (ζωδ., 18) και Γραμιούτη (ζωδ., 24), στην τροφοδοσία των οποίων συμμετέχουν και οι ασβεστόλιθοι Βίγλας του όρους Λούσκου, από τους δύο πολύ διαφορετικούς μέσους χρόνους υπόγειας παραμονής, που ανταποκρίνονται εξίσου καλά στην περιεκτικότητα του νερού τους σε τρίτιο, οι μεγαλύτεροι θεωρήθηκαν περισσότερο πιθανοί. Με αυτή τη βάση, το δυναμικό των αντίστοιχων υπόγειων ρεζερβουάρ εκτιμήθηκε σε 402-559 και 2210-3560 εκ. καθ. μ. αντίστοιχα. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος παρατήρησης, για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί Βίγλας, Σενώνιου και Παλαιοζαίνου - αν. Ηωζαίνου της περιοχής ερευνητών παρουσιάζουν πλήρη υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους και οι αντίστοιχοι υπόγειοι υδροκρίτες συνήθως εκτείνονται και πέραν των επιφανειακών.

2. Με βάση την τιμή  $\delta^{18}\text{O}$  του νερού των πηγών, οριοθετήθηκαν οι περιοχές τροφοδοσίας τους και εκτιμήθηκε η μέση ετήσια απόδοσή τους.

3. Ο αλλοιψιαζός υδροφόρος του κάμπου Κόνιτσας (ζωδ. 15) εμπλουτίζεται από τον ποταμό Λάου.

4. Σε εμπλουτισμό από τα νερά του ποταμού Λάου οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και η τροφοδοσία των πηγών Λετοβουνίου (ζωδ. 14) και Παναγιάς (ζωδ. 17).

5. Οι πηγές Γκαστρομένης (ζωδ. 2 και 3) τροφοδοτούνται από τον ασβεστολιθικό όγκο της βόρειας όχθης του ποταμού Βοϊδομάτη με συμμετοχή και νερού του ορεινού σχηματισμού που δεσπόζει της νότιας όχθης του ποταμού. Τα ίδια ισχύουν και για την πηγή Οικονόμου (ζωδ. 5).

6. Με βάση την περιεκτικότητα σε τρίτιο των υπόγειων νερών υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος υπόγειας παραμονής και, όπου αυτό ήταν δυνατό, το δυναμικό των διαφόρων πηγών.

7. Με βάση την διαφορά της απόστασης που διανύουν τα νερά των πηγών με ζωδ. 13 και 16 μέσα στο φλύσχη και την διαφορά των "ηλικιών" τους, η ταχύτητα κίνησης του νερού μέσα στην αποσαθρωμένη επιφάνεια του φλύσχη, στη συγκεκριμένη περίπτωση, εκτιμήθηκε σε  $2,2 \pm 0,3 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ .

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.

Οι συγγραφείς ευχαριστούν την κα. Αικ. Λάκτεν-Ασημακοπούλου και τον κ. Α. Ασημακόπουλο, προσωπικό του Δημοκρίτου, για την πρόθυμη συνεργασία τους στο αναλυτικό έργο της παρούσης εργασίας. Επίσης ευχαριστούν το προσωπικό του παραρτήματος Ηλείου, Δυτικής Στεριάς και Ιονίων νήσων του ΙΓΜΕ, κ.κ. Ι. Βήζα, Γ. Τοιάπη, Ε. Λιάγκα και Κ. Σιόντη, εφοδηγούς, για τη βοήθεια τους στις εργασίες υπαίθρου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BRADLEY, E., BROWN, R.M., GONFIANTINI, R., PAYNE, B.R., PRZEWLOCKI, K., SAUZAY, G., YEN, C.K. and YURTSEVER, Y., 1972. Nuclear techniques in groundwater Hydrology. In: Groundwater Studies - An International Guide for Research and Practice, Unesco, Paris, Chap.10.
- CHRISTODOULOU, TH., LEONTIADIS, I.L., MORFIS, A., PAYNE B.R. and TZIMOURTAS S., 1993. Isotope Hydrology study of Axios River plain in northern Greece. Journal of Hydrology, 146: 391-404.

ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑΣ, Χ. και ΛΕΟΝΤΙΑΔΗΣ, Ι., 1973. Τα φυσικά ισότοπα του περιβάλλοντος ως ιχνιθέτα δια την μελέτη των μετακινήσεων των υδάτων. Εξ. τ. 1973. Κέντρο Ηερηνικών

Ερευνών «Δημόζοιτος», Demo 73/42G.

- GHIKAS, I.CH., KRUSEMAN, G.P., LEONTIADIS, I.L. and WOZAB, D.H., 1983. Flow pattern of a Karst aquifer in Molai area, Greece. *Ground Water* 21: 445-455.
- KALLERGIS, G. and LEONDIADIS, I.L., 1983. Isotope hydrology study of Kalamos Attikis and Assopos river plain areas in Greece. *Journal of Hydrology*, 60: 209-225.
- KESSLER, H., 1965. Water balance investigation in the karstic region of Hungary. In: Proc. Assoc. Int. Hydrol. Sci. (A.I.H.S.), UNESCO Symp. on Hydrology of Fractured Rocks, Dubrovnik, 1: 90-105.
- LEONTIADIS, I.L., 1981. Isotope hydrology study of Laconia. Nucl. Res. Cent. «Demokritos», Inter.Rep., Demo 81/4.
- LEONTIADIS, I.L., PAYNE, B.R., LETSIOS, A., PAPAGIANNI, N., KAKAREFLIS D., and CHADHAGORAKIS D., 1984. Isotope hydrology study of Kato Nevrokopi of Drama. In: Proc. Symp. on Isotope hydrology 1983, I.A.E.A., Vienna, pp. 193-206.
- LEONTIADIS, I. and SMYRNIOTIS, CH., 1986. Isotope hydrology study of the Louros Riverplain area, Epirus, Greece. In: Proc. of 5th International symposium on underground water tracing, Athens, pp. 75-90.
- ΛΕΟΝΤΙΑΔΗΣ, Ι.Α., 1987. Αναλύσεις της ισοτοπικής σύστασης του νερού για τη διερεύνηση πιθανών διαρροών στο Φράγμα Μόλωνα. Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών «Δημόζοιτος», Demo 87/5G.
- LEONTIADIS, I.L., PAYNE, B.R. and CHRISTODOULOU, TH., 1988. Isotope hydrology of the Aghios Nikolaos area of Crete, Greece. *J. Hydrol.*, 98: 121-132.
- LEONTIADIS, I.L., STAMOS, A. and MANAKOS, A., 1992. Isotope hydrology study of the wider area of Kozani, Greece. In: *Tracer Hydrology 1992*, Proc. 6th International Symposium on water tracing, Karlsruhe, p.p. 233-240.
- LEONTIADIS, I.L., VERGIS, S. and CHRISTODOULOU, TH., 1996. Isotope hydrology study of areas in Eastern Macedonia and Thrace, Northern Greece. *J. Hydrol.* 182: 1-17.
- LEONTIADIS, I.L., SMYRNIOTIS, C.H., ΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ε. and ΓΕΩΡΓΙΑΔΙΣ, Ρ., 1997. Isotope hydrology study of the major areas of Paramythia and Koroni, Epirus, Greece. In: *Karst Waters & Environmental Impacts*, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, p.p. 239-247.
- PAYNE, B.R., 1972. Isotope Hydrology. In: *Advances in Hydrosciences*, Academic, New York, pp. 95-138.
- ΛΕΟΝΤΙΑΔΗΣ, Ι.Α. και ΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ε., 1997. Ισοτοπική υδρολογική έρευνα βορείου τμήματος ευρύτερης περιοχής Λεκάνης Ιωαννίνων. Υπό παρουσίαση στο 4ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Θεσσαλονίκη.