

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ) ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ ΣΤΟ
ΑΡΓΟΛΙΚΟ ΠΕΔΙΟ**

Τ Ε Ι Κ Α Λ Α Μ Α Τ Α Σ
Τ Μ Η Μ Α
Ε Κ Δ Ο Σ Ε Ω Ν & Β Ι Β Λ Ι Ο Θ Η Κ Η Σ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΠΟ ΤΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ**

ΒΑΣΙΛΕΙΟ ΤΟΜΠΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

κ. ΛΙΝΑΡΔΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Καλαμάτα, Φεβρουάριος 2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ		Σελίδ
ΠΡΟΛΟΓΟΣ		4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ		
ΔΟΜΗ, ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΡΓΟΛΙΚΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ		
1.1 Εισαγωγικά στοιχεία		5
1.2 Λιθολογική σύσταση του αργολικού πεδίου		7
1.3 Υδροφόροι σχηματισμοί		8
1.3.1 Υδρογεωλογικά περιβάλλοντα		8
1.3.2 Υδροφόρα συστήματα		9
1.4 Περίληψη – Συμπεράσματα		14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ		
ΕΔΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ		
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία		15
2.2 Ανάγλυφο – Κλίσεις		16
2.3 Εδαφικοί τύποι – Φυσικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά τους		16
2.4 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά		22
2.5 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά		22
2.5.1 Εισαγωγή		22
2.5.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά		23
2.5.3 Χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου.		25
2.5.4 Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά		25
2.6 Υδατικό ισοζύγιο των λεκανών		26
2.7 Περίληψη – Συμπεράσματα		27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ		
ΠΗΓΑΙΑ ΥΔΑΤΑ		
3.1. Γενικά χαρακτηριστικά των πηγών		29
3.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των πηγαίων υδάτων		31
3.3. Στατιστική επεξεργασία παροχών		32
3.3.1. Στατιστική ανάλυση		32
3.4. Περίληψη – Συμπεράσματα		38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ		
ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ		
4.1. Εισαγωγή		39
4.2. Στοιχεία καλλιεργειών – κάλυψη αργολικής γης		39
4.3. Υδατικό ισοζύγιο των υδροφόρων σχηματισμών		42
4.3.1. Συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου των υδροφόρων σχηματισμών		42

4.3.2. Εκτίμηση εισροών στους υδροφόρους σχηματισμούς	42
4.3.2.1. Επιστρεφόμενες αρδευτικές ροές	42
4.3.2.2. Διήθηση χειμαρικών υδάτων	43
4.3.2.3. Απώλειες αρδευτικών δικτύων	44
4.3.2.4. Τεχνητός εμπλουτισμός	44
4.3.2.4.1. Εισαγωγή	44
4.3.2.4.2. 1 ^η Φάση εμπλουτισμού	45
4.3.2.4.3. 2 ^η Φάση εμπλουτισμού	47
4.3.2.5. Εισροή θάλασσας	51
4.3.2.6. Υπόγειες πλευρικές τροφοδοσίες	52
4.3.3. Εκτίμηση εκροών των υδροφόρων σχηματισμών	52
4.3.3.1. Γεωτρήσεις άρδευσης	52
4.3.3.2. Γεωτρήσεις ύδρευσης	53
4.3.3.3. Αντιπαγετική προστασία	54
4.3.3.4. Έξοδος στη θάλασσα	54
4.3.3.5. Έξοδος σε πηγές και τριμέρια	54
4.4. Περίληψη – Συμπεράσματα	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

5.1. Ιστορικά στοιχεία	58
5.2. Έλεγχος στάθμησης και ποιότητας των υπογείων ναρών	60
5.3. Υδραυλικές ιδιότητες των υδροφόρων σχηματισμών	63
5.3.1. Διαθέσιμα στοιχεία των υδραυλικών ιδιοτήτων	63
5.3.2. Εκτίμηση υδραυλικών ιδιοτήτων από στοιχεία τεχνητού εμπλουτισμού	64
5.4. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπογείων νερών	69
5.4.1. Η υπαλμύρωση του αργολικού πεδίου	69
5.4.2. Υφιστάμενη κατάσταση ρύπανσης	73
5.5. Περίληψη – Συμπεράσματα	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

6.1 Σενάρια προσομοίωσης	77
6.1.1 Ανακατανομή των αντλήσεων τις τελευταίες δεκαετίες	77
6.1.2 Σενάρια αποκατάστασης της φυσικής ισορροπίας	77
6.1.3 Σενάρια τεχνητού εμπλουτισμού	79
6.2 Συμπεράσματα	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

84

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται αναφορά στα εδάφη και στα υπόγεια νερά που συναντάμε στο αργολικό πεδίο

Το περιεχόμενο χωρίζεται σε 7 κεφάλαια από τα οποία τα 2 πρώτα αναφέρονται στα εδάφη της αργολικής γης και ειδικότερα στη δομή, τη λιθολογική σύσταση και τις ιδιότητες που έχουν σχέση με τη γεωργική δραστηριότητα και τα εδαφογενετικά τους χαρακτηριστικά

Στα κεφάλαια αυτά επίσης περιγράφονται και τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των υδρολογικών λεκανών της ευρύτερης περιοχής.

Στο 3^ο, 4^ο και 5^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα πηγαία ύδατα και στους υδροφόρους σχηματισμούς του αργολικού πεδίου. Στα πηγαία ύδατα περιγράφονται οι κυριότερες πηγές (Κεφαλαρίου, Λέρνης, Κρόης και Κιβερίου) της περιοχής, ενώ στους υδροφόρους σχηματισμούς παρατίθεται το υδατικό τους ισοζύγιο και οι μηχανισμοί λειτουργίας τους.

Το 6^ο κεφάλαιο παραθέτει σενάρια αποκατάστασης της στάθμης και της ποιότητας των υπογείων νερών της αργολικής γης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνεται η περίληψη της εργασίας καθώς και τα συμπεράσματα από τη παρουσίαση του θέματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1. ΔΟΜΗ, ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΡΓΟΛΙΚΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ

1.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Η υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων νερών από την υπαλμύρωση στο τέλος της δεκαετίας του 1950, προσέλυσε το ενδιαφέρον διαφόρων υπηρεσιών και επιστημόνων. Μετά από προκαταρκτικές εργασίες, τον Απρίλιο του 1962 συστάθηκε ομάδα εργασίας αποτελούμενη από εκπροσώπους των ενδιαφερόμενων Υπουργείων η οποία κατάρτισε ένα γενικό πρόγραμμα ερευνητικών εργασιών και μελετών για τον προσδιορισμό των υδατικών πόρων της λεκάνης του Αργολικού Πεδίου και την αντιμετώπιση της υπαλμύρωσης των υδροφόρων οριζόντων.

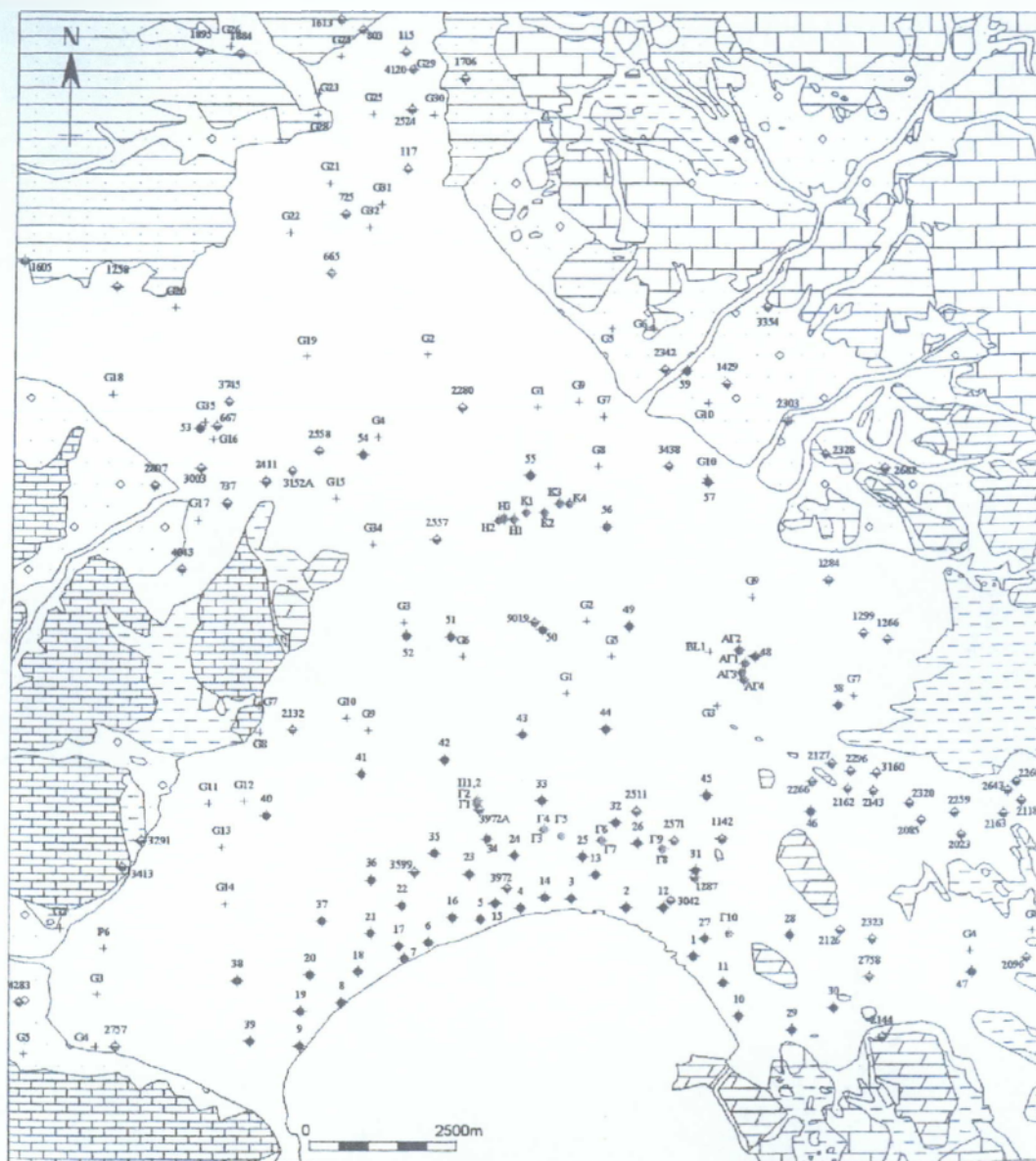
Το σχετικό πρόγραμμα καταρτίστηκε τα έτη 1962 – 63 οπότε και άρχισε άμεσα η εφαρμογή του.

Το πρόγραμμα αυτό μεταξύ των άλλων περιλάμβανε την εκτέλεση 60 ερευνητικών γεωτρήσεων (Πουλοβασίλης, 1963) με σκοπό τη λεπτομερή στρωματογραφική έρευνα των αλλουβιακών αποθέσεων, τον καθορισμό τροφοδοσίας των υδροφόρων σχηματισμών, και των υδραυλικών τους ιδιοτήτων (S, Sy, T, K).

Από τις 59 γεωτρήσεις που τελικά έγιναν (Οκτώβριος 1962 – Μάιος 1964) πάρθηκαν 938 δείγματα τα οποία εξετάστηκαν μακροσκοπικά και εν μέρει μικροσκοπικά. Για την ακριβέστερη διάγνωση της λιθολογικής τους σύστασης και την διάκριση ανάμεσα σε ασβεστόλιθο – μαργαϊκό ασβεστόλιθο – μάγμα – μαργαϊκή άργιλο πραγματοποιήθηκαν ασβεστομετρήσεις σε όλα τα δείγματα. Η μικροπαλαιοντολογική εξέταση των απολιθωμάτων κατέστη αδύνατη με αποτέλεσμα να γίνουν μόνο μακροσκοπικές παρατηρήσεις με σκοπό το καθορισμό χερσαίων, θαλάσσιων ή και λιμναίων φάσεων καθώς και τη συσχέτιση των τομών των γεωτρήσεων. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών έγινε τελικά από το γεωλόγο κ. Γαλέο (1967) ο οποίος συνέταξε μια σειρά λεπτομερών στρωματογραφικών τομών. Οι παραπάνω γεωτρήσεις έφταναν σε βάθος 60 – 70 m περίπου και σε σύγκριση με τα σημερινά δεδομένα εκμετάλλευσης των υδροφόρων σχηματισμών μπορούν να χαρακτηριστούν στην πλειοψηφία τους ως αβαθείς με εξαίρεση τη 5^η ερευνητική, βάθους 300 m, στη μέση περίπου της παραλιακής ζώνης (βλ. Σχήμα 1.1) και αυτή στην πλατεία του οικισμού Ανυφί, βάθους 617 m (Α.Μ. 3438). Οι παραπάνω γεωτρήσεις συγκεντρώνονταν κυρίως στην παραλική και στην κεντρική ζώνη της Αργολικής πεδιάδας.

Στην Αργολική πεδιάδα παρ' ότι έχουν γίνει περισσότερες από 15.000 γεωτρήσεις ελάχιστες από αυτές διαθέτουν γεωλογικές τομές. Τομές υπάρχουν για τις 59 ερευνητικές γεωτρήσεις της περιόδου 1962 – 64 και για 70 περίπου παραγωγικές υδρογεωτρήσεις που έγιναν στο παρελθόν από την ΥΕΒ (Σχ. 1.1). Οι πρώτες ερευνητικές γεωτρήσεις έδωσαν λεπτομερή στοιχεία γιατί έγιναν με λήψη πυρήνα σε όλο τους το μήκος ή με κρουστικά γεωτρήματα ενώ στις μετέπειτα υδρογεωτρήσεις καταγράφηκαν, από την ΥΕΒ του ΥΠ.ΓΕ, στοιχεία σε ότι αφορά στη θέση των υδροφόρων σχηματισμών που διατρήθηκαν, στο πάχος τους και περιγραφικά στοιχεία για τους στρωματογραφικούς ορίζοντες που απαντήθηκαν όχι όμως τόσο ακριβή όσο αυτά των ερευνητικών γεωτρήσεων. Η αξιολόγηση όλων αυτών των τομών των γεωτρήσεων μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη γεωμετρία αλλά και για το είδος των υδροφόρων σχηματισμών.

Οι θέσεις των 59 ερευνητικών γεωτρήσεων ή «Δεσμών» (βλ. Σχήμα 1.1) ήταν γνωστές με ακρίβεια, ενώ αντίθετα στις τομές των υδρογεωτρήσεων της ΥΕΒ μόνο περιγραφικά στοιχεία για τον ιδιοκτήτη καθώς και τοπωνύμια αναφέρονταν. Έτσι, εντοπίστηκαν στο πεδίο και χαρτογραφήθηκαν όλες οι υδρογεωτρήσεις της ΥΕΒ που διέθεταν γεωλογικές τομές. Η όλη στρωματογραφική εικόνα συμπληρώθηκε ακόμη με τομές 10 ερευνητικών γεωτρήσεων που έγιναν στα πλαίσια πρόσφατου ερευνητικού προγράμματος καθώς και με δέκα τομές γεωτρήσεων εμπλουτισμού που εκτελέστηκαν το 1994 κατά μήκος της διώρυγας Κιβερίου (βλ. Σχήμα 1.1).



◆ Ερευνητική γεώτρηση (Δέσμη) ◆ Υδρογεώτρηση -ΥΕΒ ◆ Ερευνητική γεώτρηση (ΓΠΑ) ◆ Γεώτρηση εμπλουτισμού + Πληροφορίες γεωεπιστημονών

Σχήμα 1.1 Θέσεις ερευνητικών γεωτρήσεων, υδρογεωτρήσεων κλπ. που χρησιμοποιήθηκαν στη λιθοστρωματογραφική έρευνα των Τεταρτογενών ιζημάτων του Αργολικού πεδίου
(Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

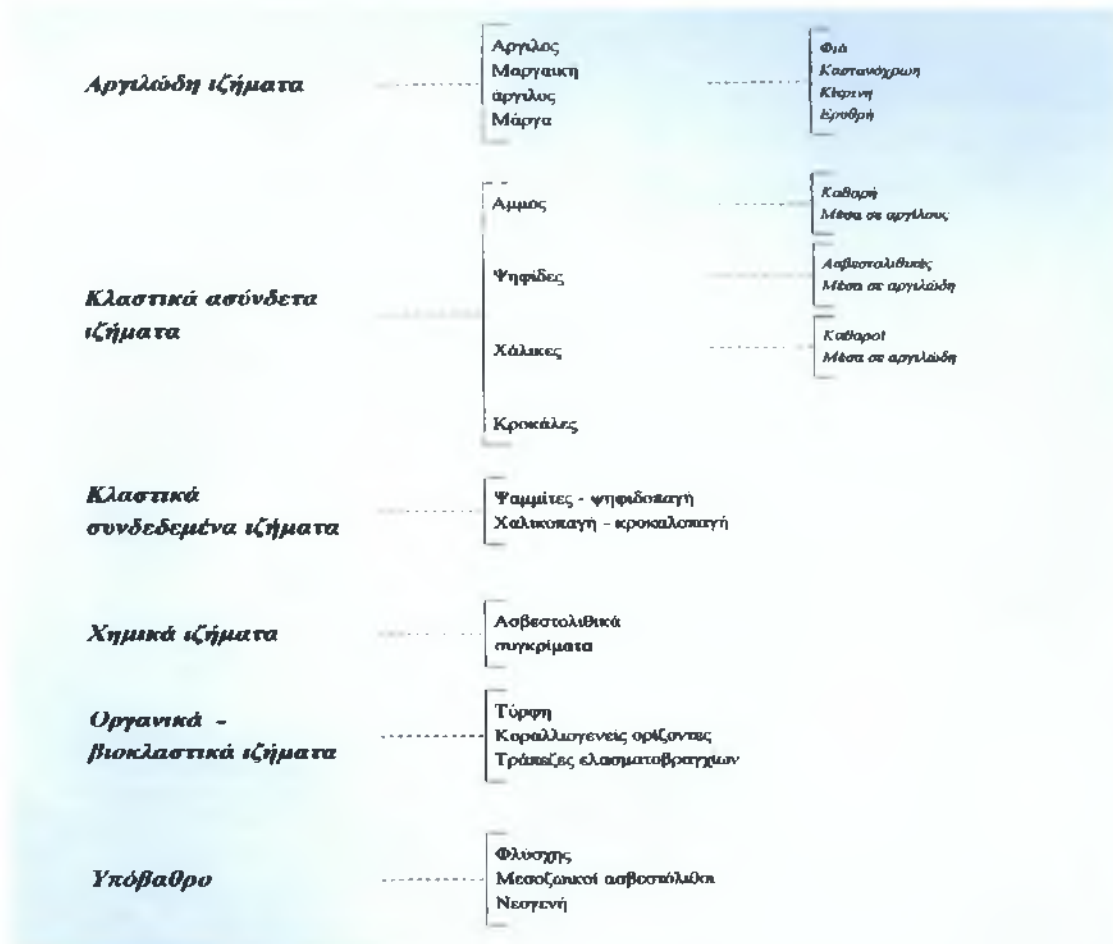
1.2 Λιθολογική σύσταση του Αργολικού πεδίου

Οι λιθολογικοί χαρακτήρες των ιζημάτων που δομούν το Αργολικό πεδίο ήταν ένα από τα αντικείμενα της στρωματογραφικής έρευνας των 59 ερευνητικών γεωτρήσεων της περιόδου 1962 – 64. Την πρώτη θέση σε αφθονία καταλαμβάνουν τα αργιλώδη ιζήματα, και ακολουθούν τα κλαστικά ασύνδετα ιζήματα με σημαντική εξάπλωση, τα κλαστικά συνδεδεμένα ιζήματα με σχετικά μικρότερη εξάπλωση, τα χημικά ιζήματα και τέλος τα οργανικά – βιοκλαστικά ιζήματα τα οποία παρουσιάζουν περιορισμένη εξάπλωση στο Αργολικό πεδίο αλλά αποτελούν αντιπροσωπευτικές στρωματογραφικές φάσεις.

Στα αργιλώδη ιζήματα επικρατέστερη είναι η καστανόχροη μαργαϊκή άργιλος και ακολουθεί η ερυθρή άργιλος. Η φαιά μάργα επικρατεί κυρίως σε γεωτρήσεις που έγιναν κοντά στην παραλία και ακολουθούν σε σειρά αφθονίας η καστανόχροη, η κίτρινη και τέλος η ερυθρή άργιλος.

Τα κλαστικά ασύνδετα ιζήματα παρουσιάζουν σημαντική εξάπλωση και αποτελούνται από άμμο, χαλίκια, ψηφίδες και κροκάλες. Απαντούν είτε σε καθαρή μορφή είτε αναμειγμένα με πάσης φύσεως αργιλικά υλικά ενώ στην πρώτη περίπτωση αποτελούν τα κατ' εξοχήν υδροφόρα στρώματα. Η καθαρή άμμος είναι εξ' ολοκλήρου πυριτική, αφθονεί περισσότερο στις πρώτες ερευνητικές γεωτρήσεις (Νότια) και είναι ισχυρό υδροφόρο στρώμα. Τη μεγαλύτερη εξάπλωση σε αυτή την κατηγορία των ιζημάτων παρουσιάζουν οι χάλικες που αποτελούν ισχυρά υδροφόρα στρώματα.

Στα κλαστικά συνδεδεμένα ιζήματα εντάσσονται οι ψαμμίτες, τα ψηφιδοπαγή τα χαλικοπαγή, τα κροκαλοπαγή. Αποτελούν και αυτά υδροφόρα στρώματα αλλά όχι τόσο ισχυρά όσο τα προηγούμενα υλικά τα οποία βρίσκονται σε καθαρή μορφή.



Σχήμα 1.2 Λιθολογικές ενότητες των Τεταρτογενών ιζημάτων του Αργολικού πεδίου (Πηγή: Νομαρχία Αργολίδας, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)

Τα χημικά ιζήματα αντιπροσωπεύονται από τα ασβεστολιθικά συγκρίματα. Είναι αρκετά διαδεδομένα και απαντούν σε ποικίλες μορφές, άλλοτε ως συγκεχυμένα συγκρίματα εντός αργιλιωδών ιζημάτων δίνοντας μια θρομβώδη υφή στη μάργα, άλλοτε σε μορφή ευδιάκριτων μικρών συγκριμάτων μεγέθους 2-10 mm, και άλλοτε σε μορφή συμφυρμάτων, με απολιθώματα, μεγέθους έως 5 cm τα οποία δεν είναι πάντα ασβεστολιθικά αλλά και ψαμμιτικά.

Τα οργανικά – βιοκλαστικά ιζήματα περιλαμβάνουν την τύρφη, τους κοραλλιογενείς ορίζοντες και τις τράπεζες ελασματοβραγχιών. Αυτά παρ' ότι παρουσιάζουν περιορισμένη ανάπτυξη στο Αργολικό πεδίο, αποτελούν αντιπροσωπευτικές φάσεις.

Το υπόβαθρο της Αργολικό πεδιάδας αποτελείται στην πλειοψηφία του από φλύσχη, τοπικά από μεσοζωικό ασβεστόλιθο και πιθανώς Νεογενή κροκαλοπαγή.

1.3 Υδροφόροι σχηματισμοί

1.3.1 Υδρογεωλογικά περιβάλλοντα

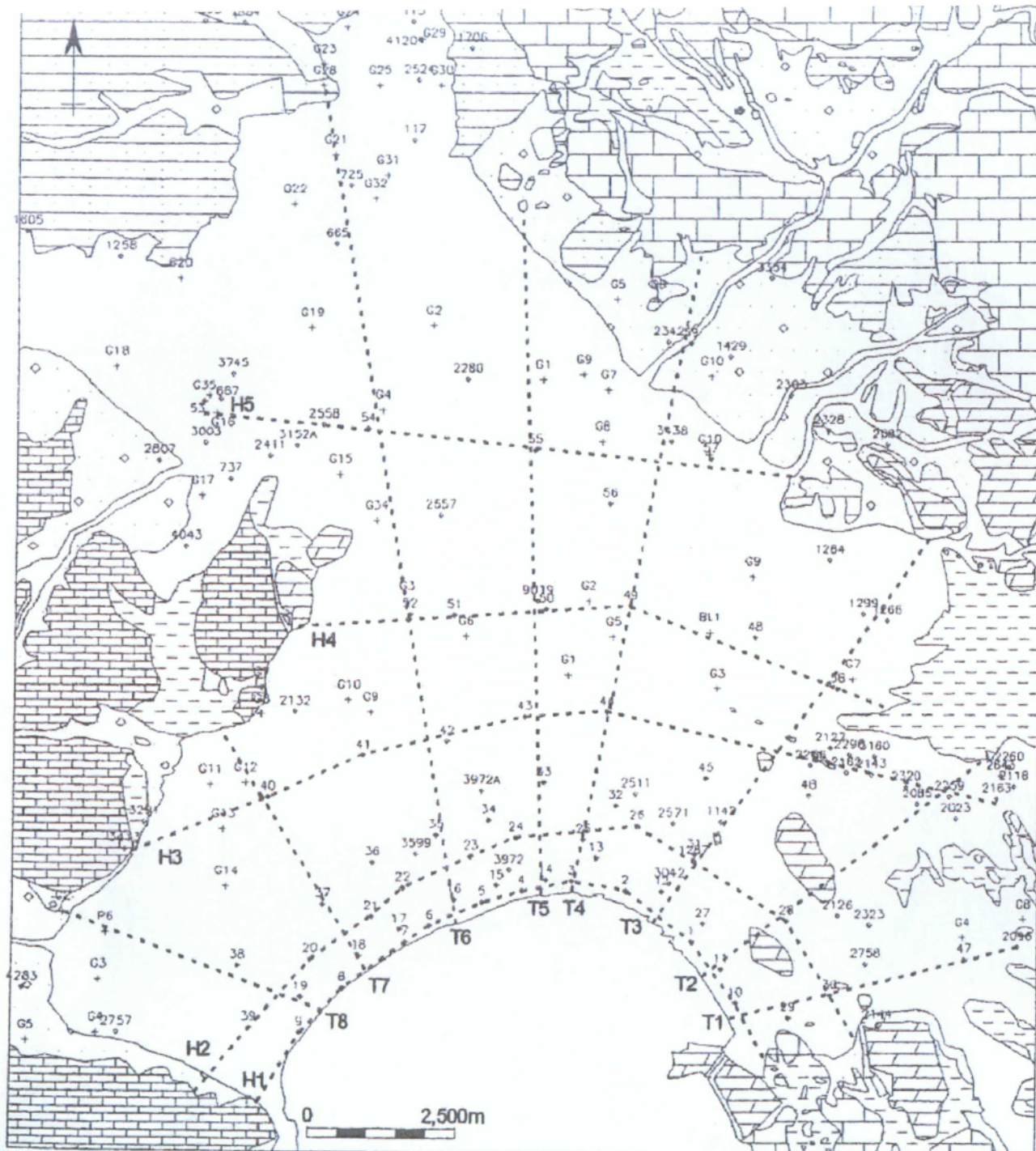
Οι τύποι των υδροφόρων σχηματισμών που απαντούν στην περιοχή είναι χαρακτηριστικοί αλλουβιακοί υδροφόροι σχηματισμοί. Σε παρόμοια υδρογεωλογικά περιβάλλοντα οι υδροφόροι σχηματισμοί συνήθως ταξινομούνται ανάλογα με το περιβάλλον απόθεσης των ιζημάτων τους σε:

1. Κώνους αλλουβιακών αποθέσεων. Αναπτύσσονται στις περιοχές που οι χειμάρροι εισέρχονται στην πεδιάδα αποθέτοντας το μεγάλο φορτίο ιζημάτων τους λόγω μείωσης της ταχύτητας ροής.
2. Αλλουβιακές πεδιάδες. Η κατανομή και η ανάπτυξη των διαφόρων ιζημάτων μέσα σε αυτές σχετίζεται έμμεσα με το καθεστώς λειτουργίας και ροής των διαφόρων χειμάρρων καθώς και με τα υλικά τροφοδοσίας τους. Αδρομερέστερα υλικά απαντούν συνήθως κοντά σε κοίτες ή σε παλαιοκοίτες των χειμάρρων
3. Δελταϊκές αποθέσεις. Δελταϊκά ιζήματα αναπτύσσονται εκεί όπου οι χειμάρροι αποθέτουν περισσότερα υλικά από αυτά που μπορούν να απομακρυνθούν με την ενέργεια των κυμάτων. Δελταϊκές αποθέσεις δεν σχηματίζουν απαραίτητα όλες οι ποτάμιες εκβολές. Σε τέτοιες περιοχές τα ιζήματα δομούνται κυρίως από λεπτή άμμο και ιλύ. Άργιλος και ιλύς αποτίθεται σε παλιρροιακά και λιμνοθαλάσσια περιβάλλοντα.

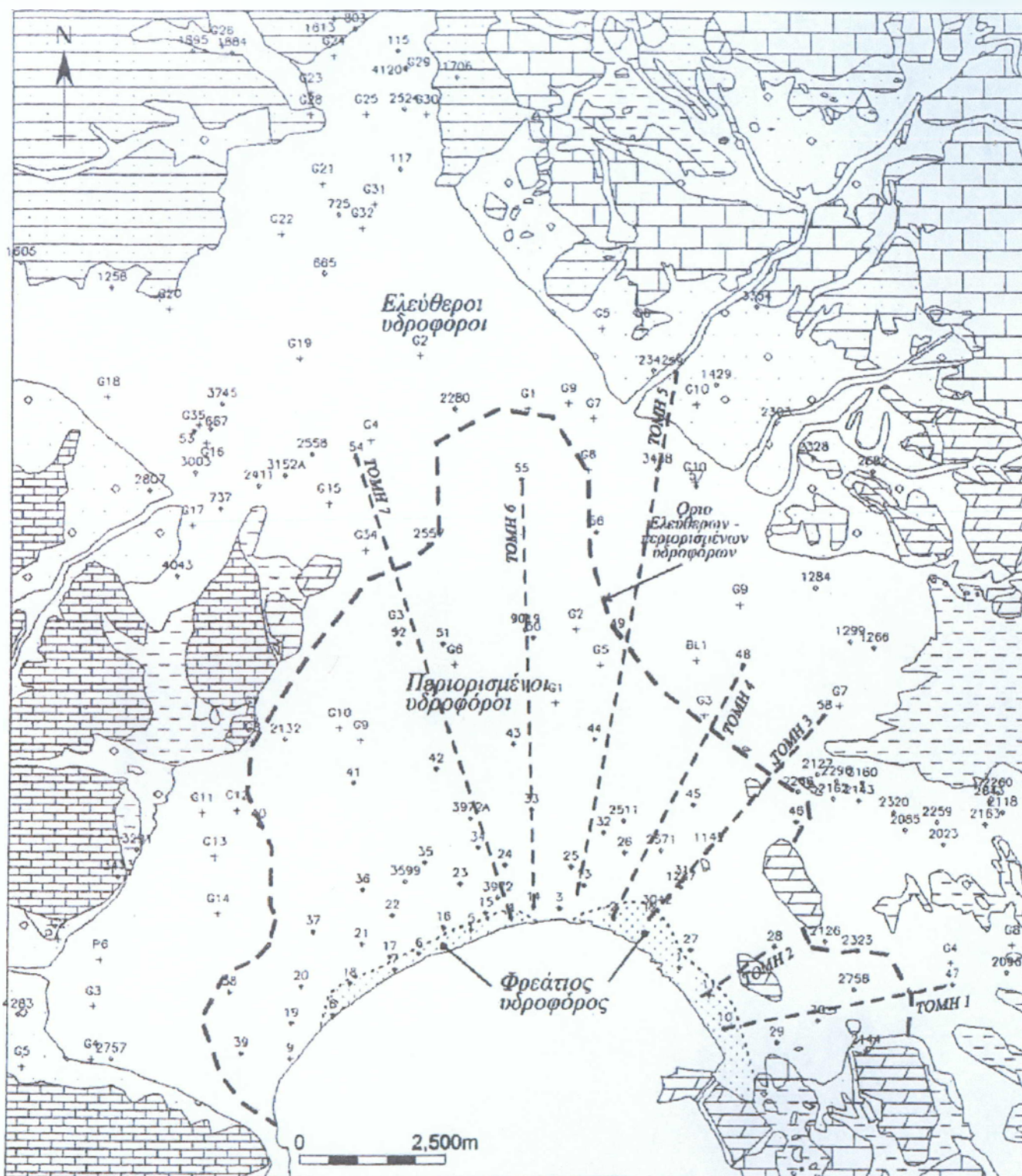
1.3.2 Υδροφόρα συστήματα

Στην Αργολική πεδιάδα αναπτύσσεται μια αλληλουχία υδροφόρων σχηματισμών διαχωριζομένων από αργιλικά και αργιλώδη ιζήματα. Σε γενικές γραμμές μπορούν να ενταχθούν «συμβατικά» στα ακόλουθα υδροφόρα συστήματα:

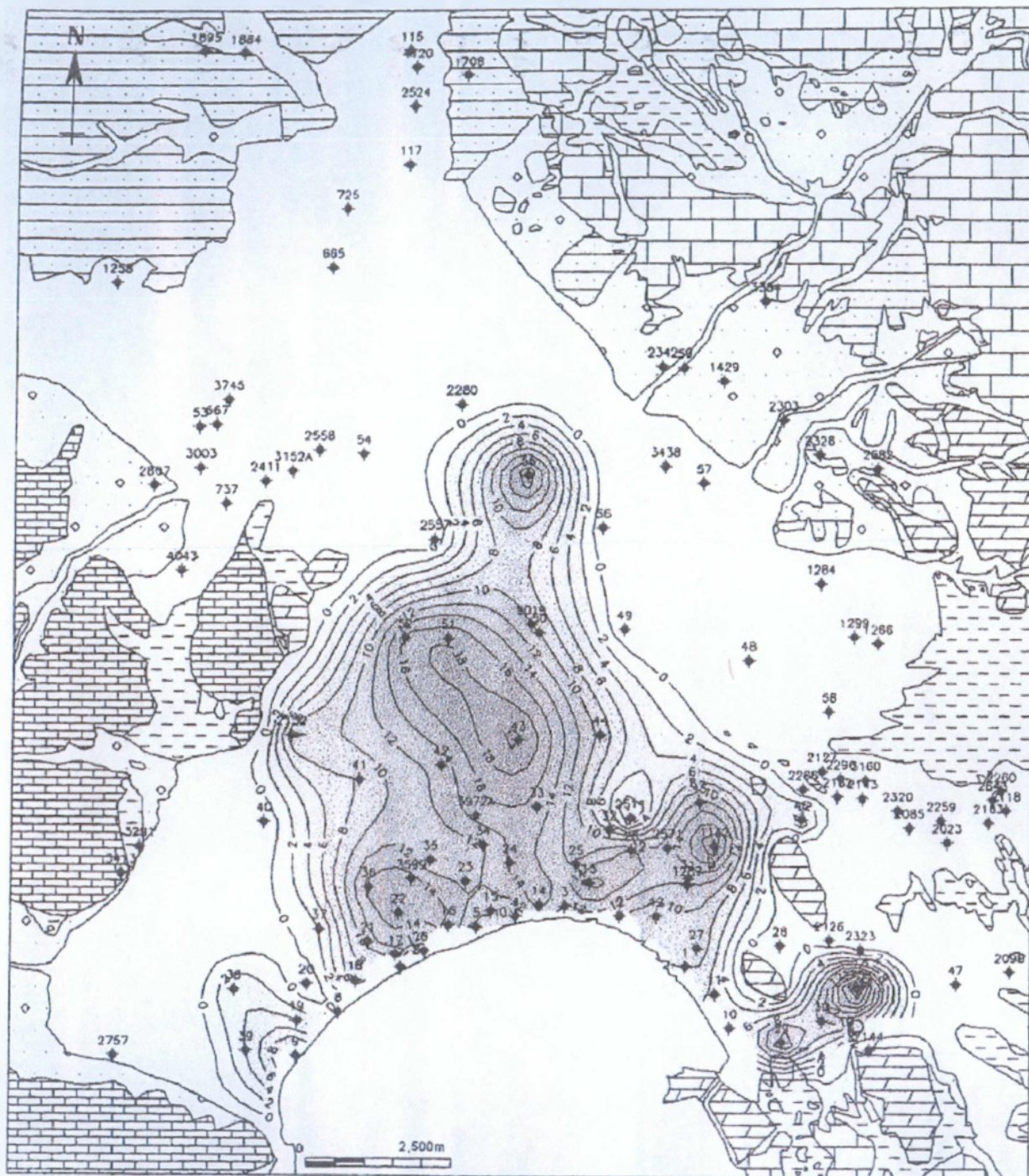
- Φρεάτιο υδροφόρο σύστημα : αναπτύσσεται σε μια στενή λωρίδα κατά μήκος της παραλιακής ζώνης από την παραλία μέχρι και 200 – 300 m προς την πεδιάδα (Σχήμα 1.4) και εκτείνεται από το Ναύπλιο μέχρι τη μέση περίπου του Αργολικού κόλπου. Η διάκριση του φρεατίου αυτού υδροφόρου από τη χαλαρή επιφανειακή αργιλική, στρώση πάχους 2-3m, που περιγράφεται συνήθως σε γεωλογικές τομές γεωτρήσεων και ως «φυτική γη» δεν είναι πολλές φορές σαφής. Συνεπώς είναι ασφαλέστερο ο «φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας στην περιοχή αυτή να περιγράφεται» ως «ζώνη εδαφικού νερού» αφού δεν αποδίδει εκμεταλλεύσιμες ποσότητες νερού για να χαρακτηριστεί με την κλασική έννοια ως υδροφόρος σχηματισμός



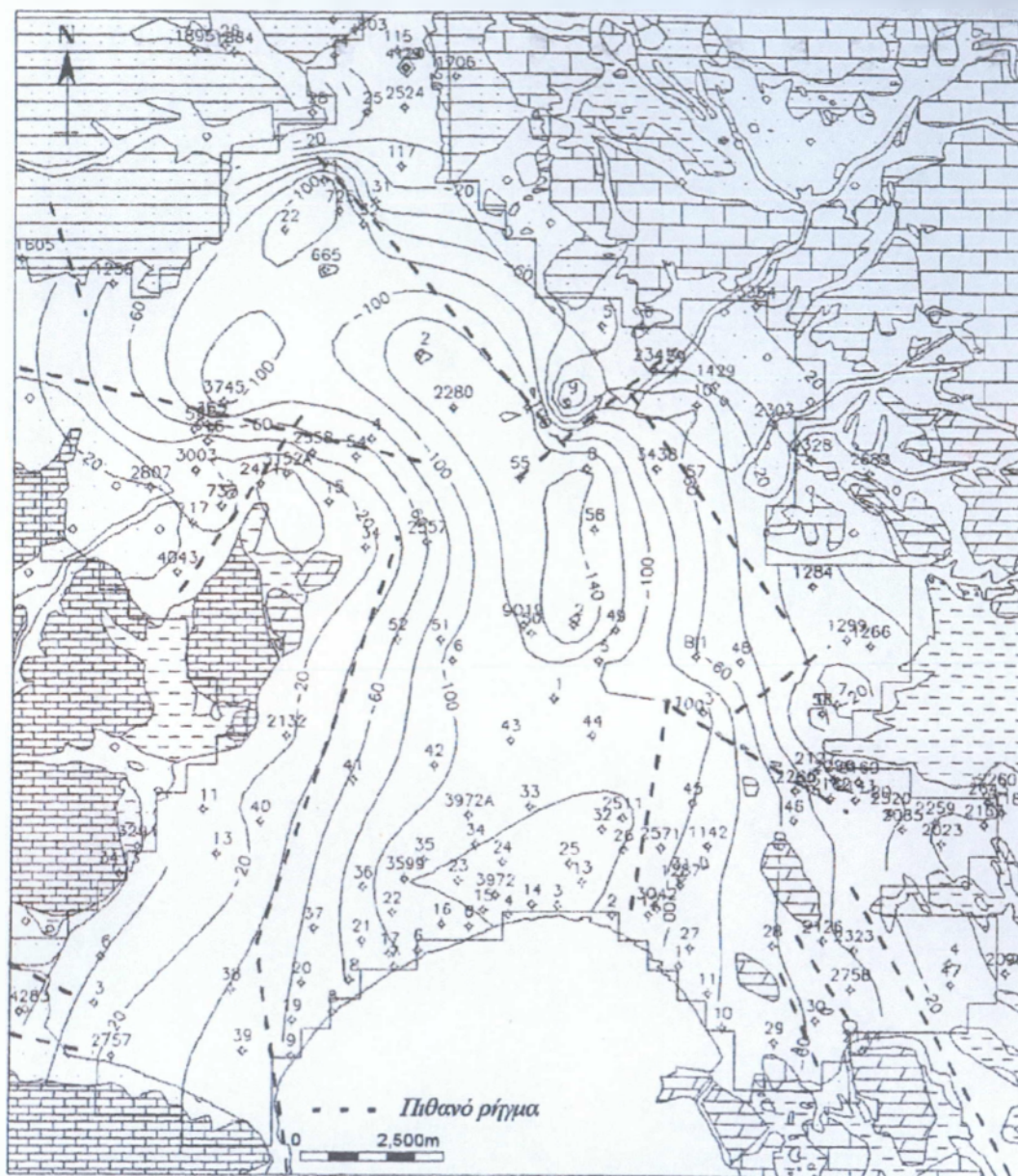
Σχήμα 1.3 Θέσεις στρωματογραφικών γεωτρήσεων και τομών
(Πηγή: Νομαρχία Αργολίδας, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)



Σχήμα 1.4 Κατανομή υδροφόρου Αργολικού πεδίου και θέσεις τομών της ΥΕΒ
 (Πηγή: Νομαρχία Αργολίδας, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)



Σχήμα 1.5 Πάχος και όρια αργλικού καλύμματος
(Πηγή: Νομαρχία Αργολίδας, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)



Σχήμα 1.6 Ισοβαθείς καμπύλες του αδιαπέραστου υπόβαθρου
(Πηγή: Νομαρχία Αργολίδας, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)

- Το πρώτο υδροφόρο σύστημα, αναπτύσσεται από τη βάση του αργίλικου καλύμματος (15-20 m) μέχρι βάθος 28 m περίπου και δομείται από ασβεστολιθικές ψηφίδες, ασβεστολιθικά συγκρίματα, αμμοχάλικα, κροκάλες και τοπικά από παρόλιθο (δυτικά). Η συνεκτικότητα των υλικών που τον απαρτίζουν είναι μεταβαλλόμενη αλλά επικρατούν οι χαλαροί έως ημισυνεκτικοί σχηματισμοί. Επίσης απαντούν εκτεταμένες εναλλαγές των παραπάνω σχηματισμών με αργίλους.
- Το δεύτερο υδροφόρο σύστημα, αναπτύσσεται σε βάθος από 50 – 70 m περίπου και συνιστάται από ασβεστολιθικά αμμοχάλικα και κροκάλες με συνδετικό υλικό

ερυθρά άργιλο και φαία απολιθωματοφόρο μάγμα. Περιέχει επίσης ενστρώσεις ποικίλης σύστασης από υπόλευκους ψαμμίτες κροκαλοπαγή και χαλικοπαγή.

- Τέλος τρίτο υδροφόρο σύστημα αποτελείται από ασβεστολιθικά απολιθωματοφόρα κροκαλοπαγή με παρεμβολές ψαμμιτικών κροκάλων. Πρόκειται για μια αλληλουχία υδροφόρων στρωμάτων που εναλλάσσονται με καστανή άργιλο και μάργα, τα σημαντικότερα από τα οποία αναπτύσσονται σε βάθη από 80 – 90 m και 100 – 112 m.

Η σαφής διάκριση αυτή των υδροφόρων σχηματισμών δεν εκτείνεται σε όλο το Αργολικό πεδίο αλλά κοντά στην παραλιακή ζώνη σε απόσταση 3 – 7 km περίπου από την ακτή. Βορειότερα, οι τρεις αυτοί υδροφόροι τείνουν να ενοποιηθούν και συνεπώς ο αριθμός τους μειώνεται. Οι υδροφόροι αυτοί σε θέσεις όπου παρεμβάλλονται εκτεταμένα αργιλικά στρώματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως υπό πίεση, αλλά σε θέσεις όπου επικρατούν αδρομερέστερα υλικά χαρακτηρίζονται ως μερικώς υπό πίεση έως ελεύθεροι. Συμβατικά μπορούμε να δεχτούμε ότι η ανάπτυξη των υπό πίεση και ελεύθερων υδροφόρων, των περιμετρικών ζωνών, οριοθετείται από τα όρια του αργιλικού καλύμματος (βλ. Σχήμα 1.4, 1.5). Έξω από την περιοχή που οριοθετεί τους παραπάνω υδροφόρους η παρουσία των αδρομερών υλικών αυξάνεται ενώ επίσης απουσιάζει και το αργιλικό κάλυμμα. Συνεπώς οι υπό πίεση υδροφόροι σχηματισμοί μεταβαίνουν σε ελεύθερους προς τις παρυφές της πεδιάδας.

Οι ελεύθεροι υδροφόροι αναπτύσσονται από τα όρια του αργιλικού καλύμματος μέχρι τα περιθώρια της πεδιάδας όπου αναπτύσσονται αλκικοί σχηματισμοί. Η βάση τους είναι ο φλύσχης ή εκτεταμένα αργιλικά στρώματα (Σχ. 1.6) και η οροφή τους προσεγγίζεται από τις ανώτερες διακυμάνσεις της ελεύθερης επιφάνειας του υπόγειου νερού.

1.4 Περίληψη – Συμπέρασμα

Στο παρόν κεφάλαιο συγκεντρώθηκαν και υπέστησαν επεξεργασία όλα τα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούν στα λιθοστρωματογραφικά χαρακτηριστικά των μεταλλικών αποθέσεων του Αργολικού πεδίου που συνδέονται με την υδρογεωλογική συμπεριφορά τους.

Οι σχετικές έρευνες που έγιναν στο παρελθόν, στις αρχές της δεκαετίας του 1960, περιλαμβάνουν την εκτέλεση 59 ερευνητικών γεωτρήσεων βάθους 60 – 70 μέτρων καθώς και τη σύνταξη γεωλογικών τομών σε διάφορες παραγωγικές υδρογεωτρήσεις που γίνονταν κατά καιρούς από την ΥΕΒ του Υπουργείου Γεωργίας. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις ερευνητικές γεωτρήσεις υπέστησαν λεπτομερή επεξεργασία από το Γαλέο (1967) ο οποίος συνέταξε και πληθώρα γεωλογικών τομών.

Συγκεντρώθηκαν όλες οι γεωλογικές τομές των παραγωγικών υδρογεωτρήσεων της ΥΕΒ καθώς και οποιεσδήποτε άλλες διαθέσιμες γεωλογικές τομές γεωτρήσεων. Επειδή οι θέσεις των γεωτρήσεων της ΥΕΒ ήταν ασαφείς (περιγράφονταν μόνο με τοπωνυμία) έγινε επιτόπου έρευνα όπου αυτές εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν. Τα λιθοστρωματογραφικά αυτά δεδομένα συμπληρώθηκαν με γεωλογικές τομές γεωτρήσεων που προέκυψαν από γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στα πλαίσια σχετικού ερευνητικού προγράμματος του ΓΠΑ καθώς και με τομές γεωτρήσεων που έγιναν από άλλους φορείς για τεχνητό εμπλουτισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2. ΕΔΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Σύμφωνα με εδαφολογική μελέτη που εκπονήθηκε από την ΥΕΒ τον Ιούλιο του 1963 (Πουλοβασίλης 1963) τα εδάφη του Αργολικού πεδίου που αναπτύσσονται κάτω από την ισούψη καμπύλη των 200 m διακρίνονται με εδαφολογικά κριτήρια σε αυτόχθονα, αλλουβιακά και κολλουβιακά.

Αυτόχθονα εδάφη. Στις πλάγιες των ασβεστολιθικών όγκων λόγω αποσάθρωσης αναπτύχθηκαν εδάφη που καταλαμβάνουν σημαντικές εκτάσεις στο ΒΔ και Α τμήμα του Αργολικού πεδίου.

Αλλουβιακά εδάφη. Αναπτύχθηκαν πάνω στις αποθέσεις των χειμάρρων που διαρρέουν την πεδιάδα. Οι αποθέσεις αυτές κοντά στις εισβολές των χειμάρρων στην πεδιάδα παρουσιάζονται αδρομερείς, συνίστανται κυρίως από κροκάλες, χαλίκια και άμμους και γίνονται πιο λεπτόκοκκες στο κέντρο της πεδιάδας.

Κολλουβιακά εδάφη. Έχουν έντονο ερυθρό χρώμα, περιέχουν σημαντικό ποσοστό λατυπών από ασβεστόλιθους καθώς και αργίλους ενώ συμπαγής ασβεστόλιθους συναντάται σε μικρό βάθος. Είναι προϊόντα της δράσης, των κατερχόμενων από τα όρη, μικρών χειμάρρων ενώ καταλαμβάνουν μικρή σχετικά έκταση στο δυτικό τμήμα.

Τα εδάφη του Αργολικού πεδίου με βάση τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους, τις ιδιότητες που έχουν σε σχέση με τη γεωργική δραστηριότητα και τα εδαφογενετικά τους χαρακτηριστικά διακρίθηκαν σε 7 εδαφοσειρές.

Η 1^η εδαφοσειρά, καταλαμβάνει έκταση 42.850 στρ. και τα εδάφη της αναπτύσσονται στις πλάγιες των ασβεστολιθικών όγκων που πλαισιώνουν το Αργολικό πεδίο. Τα εδάφη αυτά είναι αυτόχθονα, παρουσιάζονται κονιορτώδη και με βάση την περιεκτικότητά τους σε CaCO_3 , χαρακτηρίζονται ως μάργες η ασβεστώδη. Προήλθαν από την αποσάθρωση του επιφανειακού ασβεστολιθικού στρώματος και έχουν μικρό βάθος.

Η 2^η εδαφοσειρά, καταλαμβάνει έκταση 34.500 στρ. και τα εδάφη της αναπτύχθηκαν πάνω στις αδρομερείς αποθέσεις των χειμάρρων. Το πάχος του επιφανειακού στρώματος είναι 30 - 50 cm και περιέχει ποσοστό χαλικιών 20 - 30%. Τα εδάφη αυτά είναι συνήθως μέσης σύστασης, πηλώδη (L), αλλά η παρουσία των χαλικιών επιδρά στις φυσικές τους ιδιότητες.

Η 3^η εδαφοσειρά καταλαμβάνει έκταση 30.850 στρ. Περιλαμβάνει εδάφη που μπορούν να χαρακτηριστούν ως κολλουβιακά, με υψηλό ποσοστό ασβεστολιθικών θραυσμάτων μικρού μεγέθους. Η περιεκτικότητά τους σε άργιλο είναι συνήθως υψηλή, το χρώμα τους έντονο ερυθρό και η κατανομή τους εμφανίζει μεγάλες διαφορές από τόπο σε τόπο. Σε μερικές περιοχές ο συμπαγής ασβεστόλιθος εμφανίζεται σε μικρά βάθη.

Η 4^η εδαφοσειρά, καταλαμβάνει έκταση 8.500 στρ., τα εδάφη της αναπτύσσονται πάνω στις αμμώδεις αποθέσεις των χειμάρρων και περιέχουν συνήθως χαλίκια. Το βάθος τους είναι μεγαλύτερο από 2 m και δεν παρουσιάζουν στρωματογραφικές διαφοροποιήσεις. Είναι μέσης σύστασης, πηλώδη (L), αλλά η παρουσία των χαλικιών τους προσδίδει ιδιότητες ελαφρότερων εδαφών.

Η 5^η εδαφοσειρά καταλαμβάνει έκταση 25.600 στρ. και τα εδάφη της παρουσιάζουν τρεις σαφώς διαχωρισμένες στρώσεις. Η πρώτη με βάθος που κυμαίνεται από 25 - 50 cm στερείται σχεδόν παντελώς CaCO_3 και είναι αμμώδης

πηλός (SL). Η δεύτερη βάθους 30 – 70 cm περιέχει ικανό ποσοστό αργίλου ενώ περιέχει και αυτή πολύ μικρές ποσότητες CaCO₃. Η τρίτη στρώση συναντάται σε βάθος 70 – 120 cm και χαρακτηρίζεται ως μέσης μηχανικής σύστασης. Περιέχει CaCO₃ σε ποσοστό 10 – 20%. Θεωρούνται τα πιο εξελιγμένα εδάφη του Αργολικού πεδίου.

Η 6^η εδαφοσειρά, καταλαμβάνει 65.500 στρ. Τα εδάφη της χαρακτηρίζονται από το αργιλώδες υπέδαφός τους και η κατανομή τους παρουσιάζεται ελεύθερη αδρομερούς υλικού. Είναι βαθιά εδάφη και εμφανίζουν μεγάλη ποικιλομορφία ενώ διακρίνονται σε πέντε διαφορετικές ενότητες.

Η 7^η εδαφοσειρά, καταλαμβάνει έκταση 65.625 στρ. χαρακτηρίζεται από αργιλώδη εδάφη με απουσία αδρομερών υλικών. Παρά το γεγονός ότι τα εδάφη αυτά υπάγονται σε μια εδαφοσειρά, μέσα σε αυτή μπορούν να διακριθούν ομογενείς εδαφικές μονάδες οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερα γνωρίσματα. Έτσι κρίθηκε σκόπιμος ο διαχωρισμός των εδαφών της σε πέντε επιμέρους μονάδες.

2.2 Ανάγλυφο – κλίσεις

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του Αργολικού πεδίου μελετήθηκαν και κατασκευάστηκε σκιασμένο ανάγλυφο της περιοχής (Σχήμα 2.1) όπου σκιαγραφούνται όλα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του Αργολικού πεδίου και των ζωνών που το περιβάλλουν.

Προέκυψε επίσης ο χάρτης των εδαφικών κλίσεων (Σχήμα 2.2) από τον οποίο προκύπτει ότι η πεδινή περιοχή του αργολικού πεδίου παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλές μορφολογικές κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0 – 8%. Τα νότια τμήματα της πεδιάδας ιδιαίτερα, είναι σχεδόν επίπεδα αφού οι μορφολογικές τους κλίσεις είναι μικρότερες από 0,2%.

2.3 Εδαφικοί τύποι – φυσικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά τους.

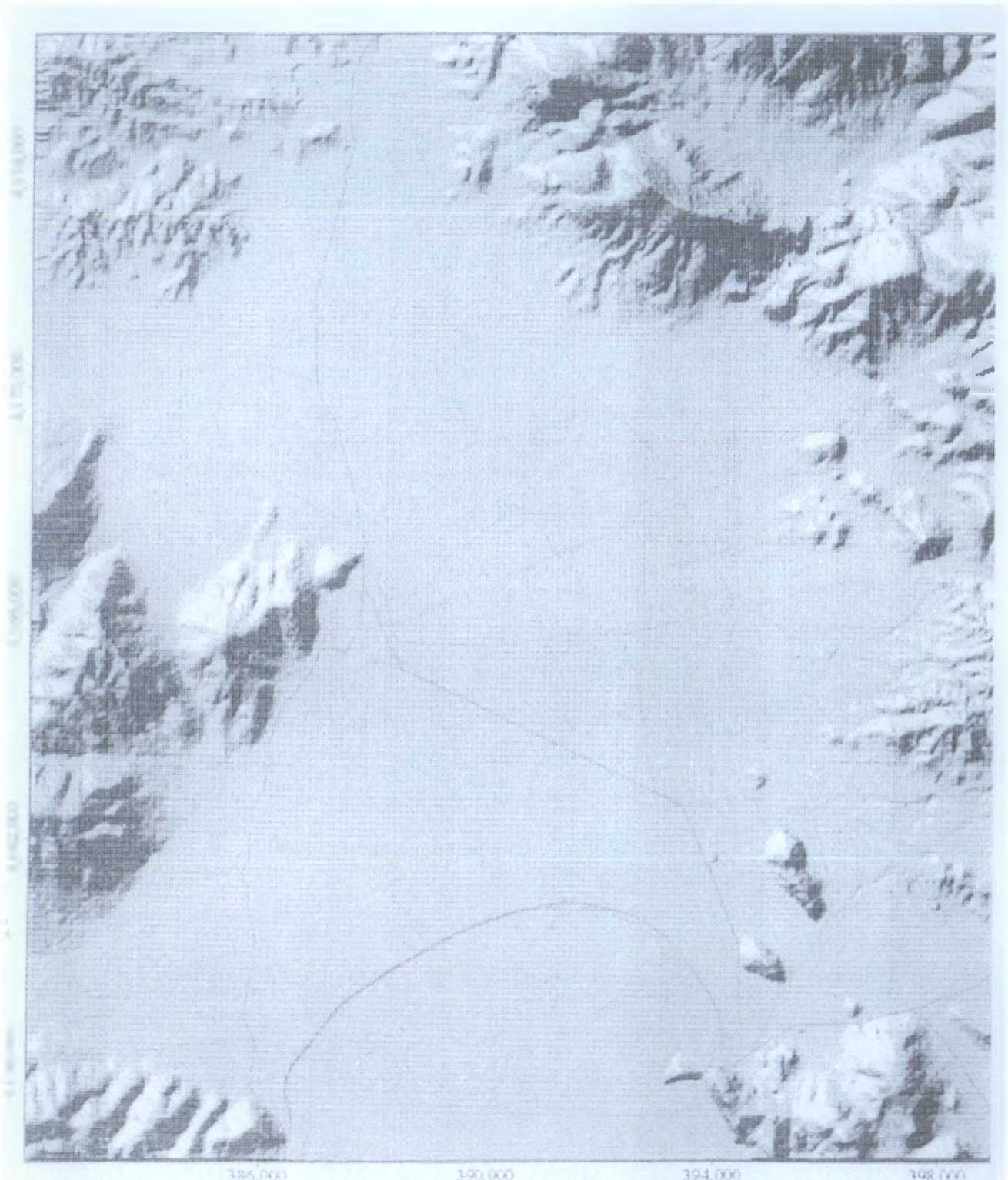
Στα πλαίσια εδαφολογικής αναγνωριστικής μελέτης (Πουλοβασιλης, 1963), τα εδάφη διακρίθηκαν στους ακόλουθους εδαφικούς τύπους:

α. Αργιλώδη εδάφη (C)	85.575 στρ.
β. Αργιλοπηλώδη εδάφη (CL)	63.025 στρ.
γ. Πηλώδη (L)	43.825 στρ.
δ. Κονιορτώδη (SiL-SiCL)	42.850 στρ.
ε. Αμμοπηλώδη (SL)	57.550 στρ.

Από την κατανομή των εδαφών όπως αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3 φαίνεται ότι το κεντρικό και νότιο τμήμα του Αργολικού πεδίου καλύπτεται από αργιλώδη εδάφη ενώ στις παρυφές του αναπτύσσονται πηλώδη και αμμοπηλώδη εδάφη. Επισημαίνεται ότι η κατανομή των αργιλωδών εδαφών στο κεντρικό και νότιο τμήμα της πεδιάδας συμπίπτει με την ανάπτυξη του αργιλικού καλύμματος όπως οριοθετήθηκε με βάση λιθοστρωματογραφικά στοιχεία (βλ. Σχήμα 1.4 και 1.5).

Η λεπτομερής εδαφολογική μελέτη του Αργολικού πεδίου (Γιάσογλου κ.α., 1983) κατέληξε με βάση τον αντίστοιχο λεπτομερή εδαφολογικό χάρτη σε καλλιεργητικές ομάδες που αποτελούν ανάλογη καλλιεργητική μεταχείριση και πρακτική (Σχήμα 2.4). Οι καλλιεργητικές αυτές ομάδες αντικατοπτρίζουν εδαφικούς τύπους και διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

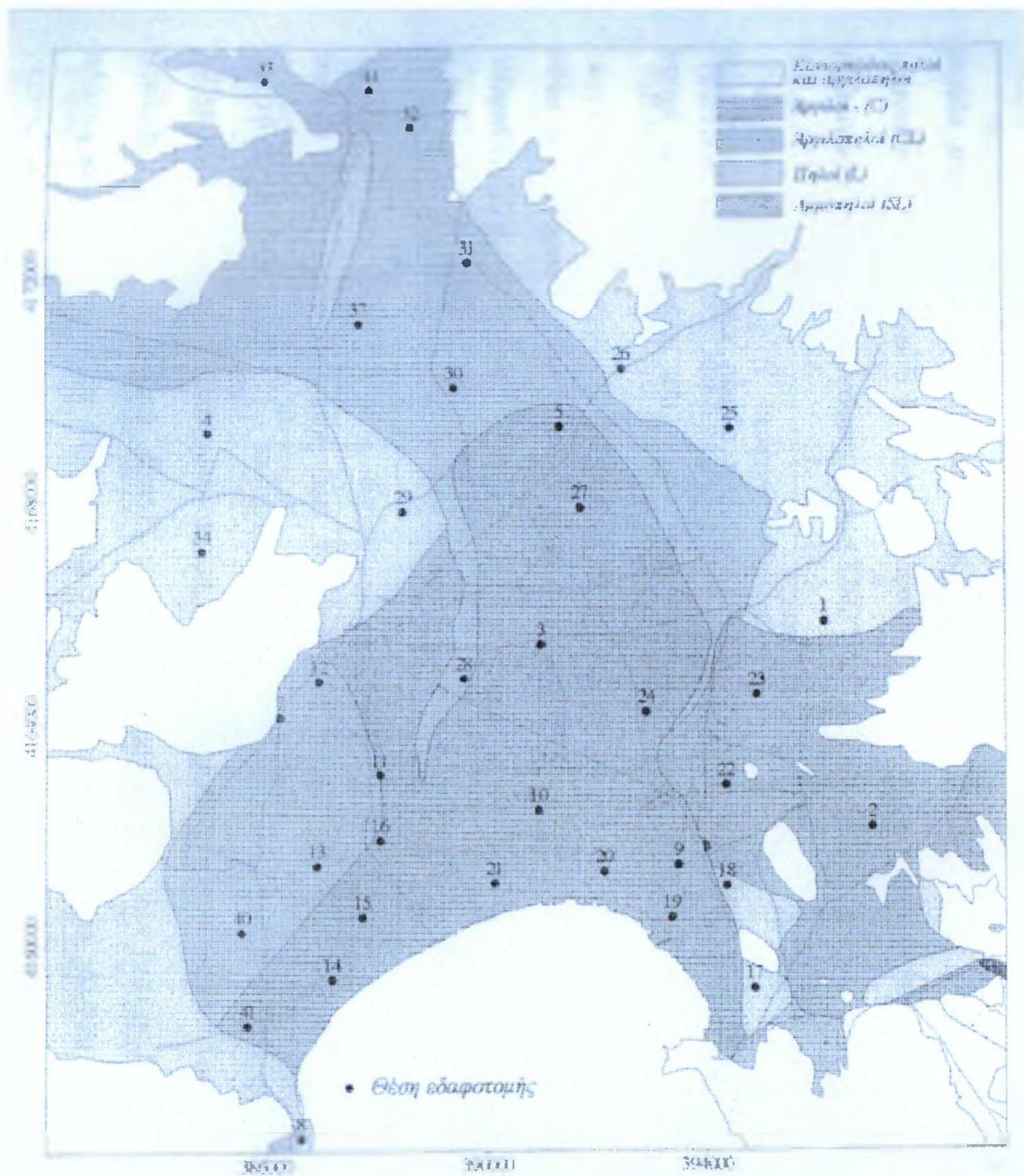
Ομάδα ΑΙΕ. Περιλαμβάνει εδάφη με μέση κοκκομετρική σύσταση, πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα. Χαρακτηρίζονται από εδαφοτομή που εμφανίζει συνθήκες πολύ καλής στράγγισης με μέση κοκκομετρική σύσταση πηλώδη (L) έως αργιλοπηλώδη (CL).



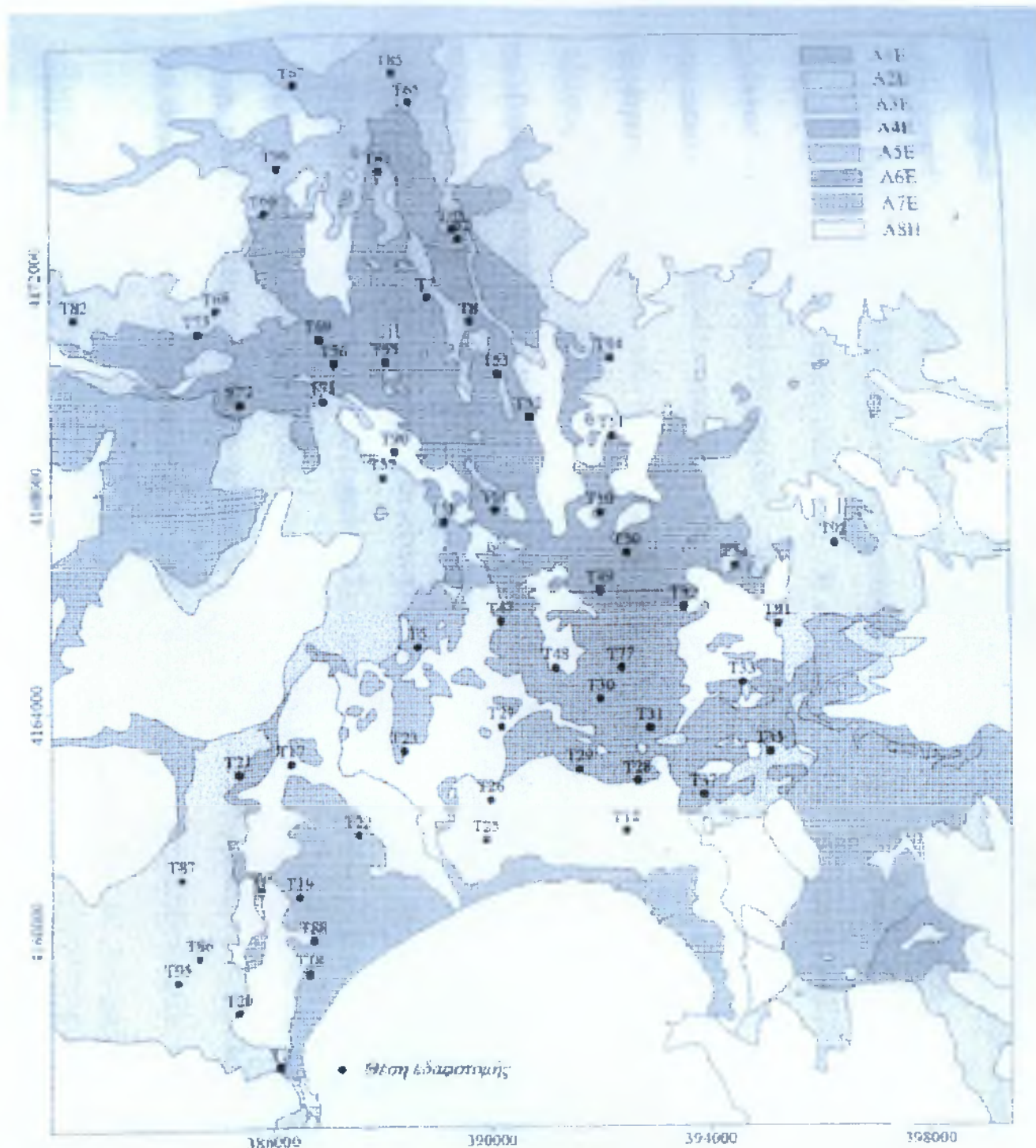
Σχήμα 2.1 Σκιασμένο ανάγλυφο του Αργολικού πεδίου
(Πηγή: Πουλοβασίλης Α. (1963), Εδαδολογική :Αναγνωριστική Έκθεση Αργολικού Πεδίου)



Σχήμα 2.2 Χάρτης εδαφικών κλίσεων του Αργολικού πεδίου
 (Πηγή: Πουλοβασίλης Α. (1963), Εδαφολογική :Αναγνωριστική Έκθεση Αργολικού Πεδίου)



Σχήμα 2.3 Χάρτης εδαφικών τύπων Αργολικού πεδίου (Πουλοβασίλης, 1963)
 (Πηγή: Πουλοβασίλης Α. (1963), Εδαδολογική :Αναγνωριστική Έκθεση Αργολικού Πεδίου)



Σχήμα 2.4 Χάρτης καλλιεργητικών ομάδων Αργολικού πεδίου (Γιάσογλου κ.α. 1983)

Ομάδα Α2Ε. Περιλαμβάνει μετριώς λεπτόκοκκα, πολύ καλά έως καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη. Χαρακτηρίζονται από εδαφοτομή που εμφανίζει συνθήκες πολύ καλής στράγγισης με μέση κοκκομετρική σύσταση αργιλοπηλώδη (CL) έως άμμο - αργιλοπηλώδη (SCL).

Ομάδα Α3Ε. Περιλαμβάνει λεπτόκοκκα εδάφη, μετριώς ή ατελώς αποστραγγιζόμενα. Εντοπίζονται στα χαμηλότερα σημεία του αλλουβιακού πεδίου και ειδικότερα στην περιοχή της Νέας Κίου σε πεδία πλημμύρων. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται η στράγγισή τους.

Ομάδα A4E. Περιλαμβάνει λεπτόκοκκα εδάφη κακώς αποστραγγιζόμενα με μόνιμη στάθμη ύδατος σε μικρό βάθος. Χαρακτηρίζονται από εδαφοτομή με λεπτόκοκκη κοκκομετρική σύσταση, που εμφανίζει συνθήκες κακής στράγγισης, καθώς και μόνιμη στάθμη ύδατος σε βάθος 20 – 80 cm. Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν έντονα τα χαρακτηριστικά αλατούχων αλκαλικών εδαφών.

Ομάδα A5E Περιλαμβάνει μετρίως λεπτόκοκκα και λεπτόκοκκα εδάφη πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα, με χαλίκια. Παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτά της ομάδας A2E με εξαίρεση τα χαλίκια.

Ομάδα A6E. Περιλαμβάνει λεπτόκοκκα εδάφη πολύ καλώς έως καλώς αποστραγγιζόμενα με κοκκομετρική σύσταση αργιλοπηλώδη (CL) έως αργιλώδη (C)

Ομάδα A7A Περιλαμβάνει λεπτόκοκκα, πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα εδάφη που έχουν σχηματιστεί σε υψηλότερα σημεία σε αναβαθμούς. Η σύστασή τους κυμαίνεται από αργιλοπηλώδη (CL) έως αμμοαργιλοπηλώδη (SCL) στην επιφάνεια, μέχρι αμμοπηλώδη (SL) έως αργιλώδη © στους κατώτερους ορίζοντες.

Ομάδες A8H. Περιλαμβάνει τα ορεινά – λοφώδη εδάφη και έχουν αναπτυχθεί κυρίως πάνω σε ασβεστόλιθους, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και μάργες.

Με βάση τα παραπάνω η διήθηση έχει ως εξής:

Η Ταχύτητα διήθησης ύδατος μετρήθηκε σε δύο διαφορετικές φάσεις διήθησης, ως αρχική και τελική ταχύτητα διήθησης. Η αρχική ταχύτητα (ΑΤΔ) αναφέρεται στο χρονικό διάστημα των 5 min από την αρχή του πειράματος και κατά συνέπεια αντανάκλα την κατάσταση που βρίσκονται οι επιφανειακοί ορίζοντες παρά οι βαθύτεροι. Η τελική ταχύτητα διήθησης αναφέρεται στο τέλος της 4^{ης} – 5^{ης} ώρας από την αρχή του πειράματος όπου το έδαφος είναι σε κατάσταση κορεσμού και η ταχύτητα διήθησης ελαχιστοποιείται σε μια σταθερή τιμή που καλείται «βαθμός βασικής ή τελικής διήθησης» (ΤΤΔ). Για παράδειγμα, στα εδάφη της κατηγορίας A4E η ΤΤΔ με βάση περιορισμένο αριθμό μετρήσεων βρέθηκε ότι είναι πολύ υψηλή. Τα εδάφη αυτά τονίζεται ότι έχουν ευρείς και μεγάλους σχετικά κατακόρυφους πόρους που προέρχονται από τη σήψη υπόγειων τμημάτων φυτών και δίνουν μεγάλες τιμές υδροπερατότητας και διηθητικότητας παρόλο ότι τα εδάφη αυτά είναι λεπτόκοκκα. Οι τιμές της ταχύτητας διήθησης ύδατος ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με την καλλιεργητική ομάδα στις κατηγορίες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1

Πίνακας 2.1 Ταχύτητες διήθησης ύδατος των εδαφών διαφόρων καλλιεργητικών ομάδων

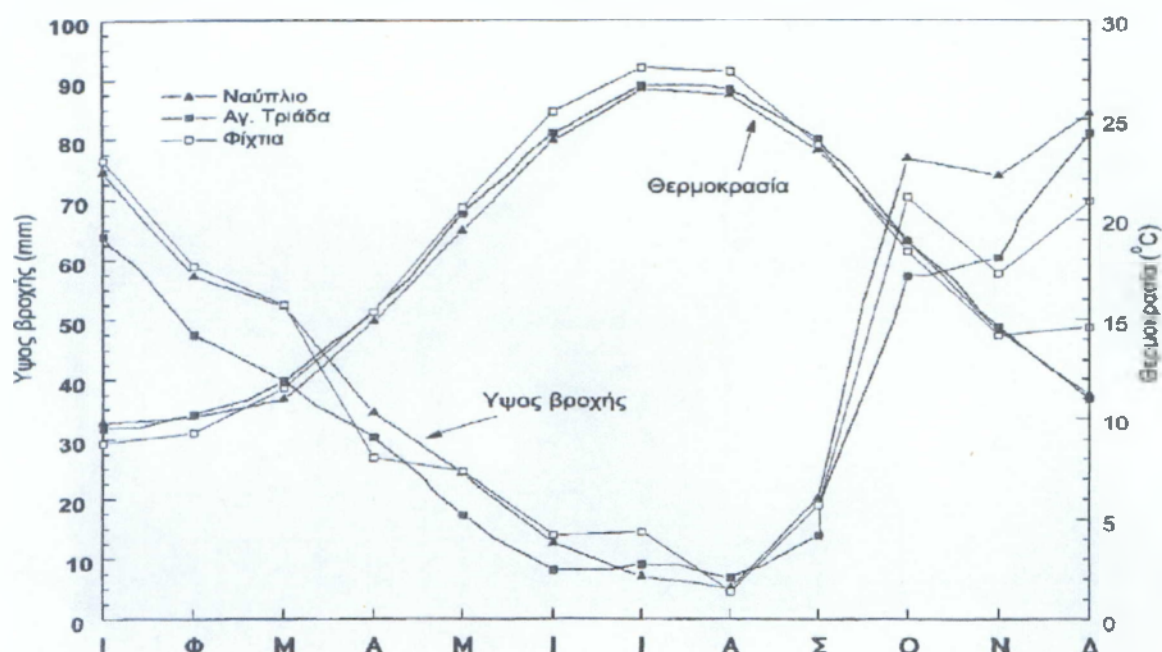
Καλλιεργητική ομάδα	Αριθμός μετρήσεων	ΑΤΔ (cm/h)		ΤΤΔ (cm/h)	
		x	S _x	x	S _x
A1E	11	20,8	15,6	3,9	3,6
A2E	15	14,5	9,8	2,8	2,9
A3E	5	19,2	8,0	1,5	1,5
A4E	3	43,8	34,1	16,7	17,8
A6E	16	19,3	14,0	1,9	1,6

Όπου x = μέσος όρος, S_x = τυπική απόκλιση
(Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Η ΑΔΤ εκτιμάται ότι λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές τη θερινή περίοδο όπου αναπτύσσονται οι σχισμές της αργίλου λόγω ξήρανσης που είναι σημαντικές στην περιοχή (Αναγνωστόπουλος και Γαλάνης, 1938) ενώ η ΤΤΔ, παρατηρήθηκε ότι μειώνεται σημαντικά με το βάθος.

2.4 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα της περιοχής είναι σε γενικές γραμμές Μεσογειακό με χαρακτηριστική την ηπειρωτική ευρωπαϊκή επίδραση σε όλες τις εποχές του χρόνου, και ιδιαίτερα αυτό που επικρατεί στα ανατολικά παράλια της Πελοποννήσου. Ο μεσογειακός τύπος αφορά στο κλίμα της ευρύτερης περιοχής της Μεσογειακής λεκάνης και αντιπροσωπεύει μια μεταβατική κατάσταση μεταξύ της εύκρατης ζώνης στα βόρεια και της τροπικής στα νότια. Βασικά χαρακτηριστικά του κλίματος αυτού είναι το ξηρό και θερμό καλοκαίρι και ο ήπιος – βροχερός χειμώνας. Ο Χειμώνας είναι δριμύς καθ' ολοκληρία ή κατά περιόδους λόγω εισβολής βόρειων ψυχρών μαζών ενώ αντίθετα το καλοκαίρι είναι ξηρό λόγω της μετατόπισης της υποτροπικής ζώνης βορειότερα.



Σχήμα 2.5 Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες (σταθμοί Αγ. Τριάδας, Αχλαδοκάμπου, Φιχτιών) (1964-85)
(Πηγή: Νομαρχία Αργολίδος, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)

2.5 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

2.5.1 Εισαγωγή

Η γεωμορφολογία εξετάζει τα φυσικά χαρακτηριστικά των διάφορων γεωμορφών και τις φυσικές διεργασίες που επιδρούν στη διαμόρφωσή τους. Από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μια υδρολογική λεκάνη σημαντικότερες είναι το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, η ένταση και διάρκεια της βροχόπτωσης, οι μηχανισμοί που υπεισέρχονται στη διάβρωση των εδαφών όπως γεωλισθήσεις στερεομεταφορά υδρορευμάτων κλπ. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου μπορεί να δώσει πληροφορίες γύρω από τη δυναμική της εξέλιξης μιας υδρολογικής λεκάνης. Τα μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά

διακρίνονται σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης (μέγεθος, σχήμα, υψόμετρο, ανάγλυφο, κλίσεις κλπ.), σε χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου (ταξινόμηση, πυκνότητα, γεωμετρία) και σε άλλα χαρακτηριστικά όπως γεωγραφική θέση, κατηγορία εδάφους, διηθητικότητα εδάφους, υδραυλικά χαρακτηριστικά κλπ.

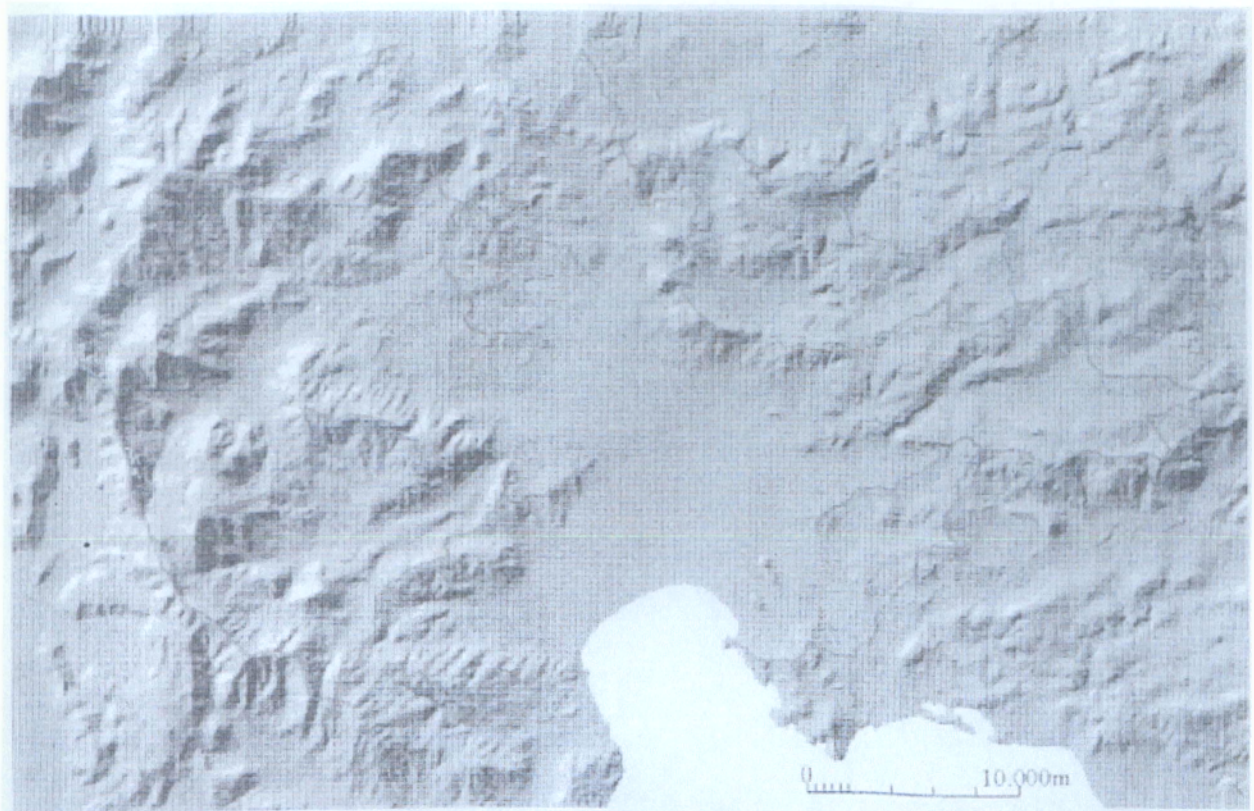
2.5.2 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά

Η υδρολογικές λεκάνες που πλαισιώνουν το Αργολικό πεδίο καταλαμβάνουν συνολικά έκταση 930 km² περίπου και οριοθετούνται δυτικά από τα όρη Κτενιάς, Αρτεμίσιο, και Κυλλήνη ή Ζήρια, τα βουνά των Δερβενακίων βόρεια και το Αραχναίο όρος ανατολικά, ενώ νότια από τον Αργολικό κόλπο.

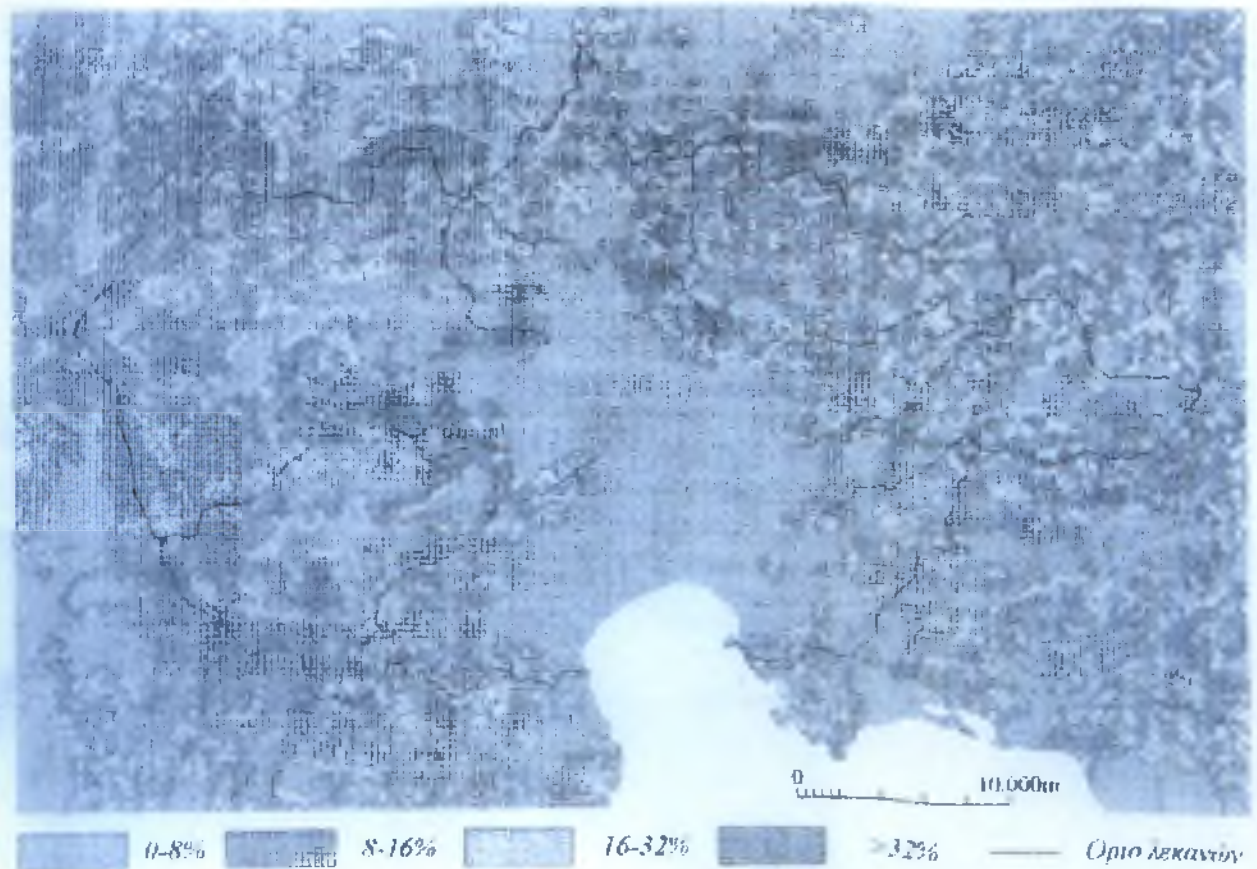


Σχήμα 2.6 Υδρολογικές λεκάνες που πλαισιώνουν το Αργολικό πεδίο και θέσεις μετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή (Πηγή: Νομαρχία Αργολίδος, Τμήμα Εγγειών Βελτιώσεων)

Αποστραγγίζονται από ένα σύνολο χειμάρρων που αναπτύσσονται σε επί μέρους ομώνυμες υδρολογικές λεκάνες. Οι λεκάνες αυτές μαζί με τη συνολική λεκάνη φαίνονται στο Σχήμα 2.6. Εκτείνονται κατάντη έως την Αργολική πεδιάδα η οποία οριοθετείται συμβατικά από την ισούψη καμπύλη των 100m. Οι βασικότερες υδρολογικές λεκάνες είναι αυτές των χειμάρρων του Κιρίμη, του Ξεριά, του Ιναχου, των Φιχτιών, του Δερβενακιώτη, της Κλεισούρας, της Κλεισούρας, του Μπέρμπακας, του Αμοργιανού, και του Ραμαντάνη.



Σχήμα 2.7 Σκιασμένο ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής (Shaded Relief)
 (Πηγή: Νομαρχία Αργολίδος, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)



Σχήμα 2.8 Χάρτης μορφολογικών κλίσεων (Slope map)
 (Πηγή: Νομαρχία Αργολίδος, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)

2.5.3 Χαρακτηριστικά δίκτυο του υδρογραφικού δικτύου

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι στο σύνολό του παροδικής ροής. Εξαιρέση αποτελεί εν μέρει ο Ερασίνοσ ο οποίος τροφοδοτείται από την πηγή του Κεφαλαρίου και αποστραγγίζει μερικώς νερά του βάλτου της Νέας Κίου. Από τους χειμάρρους αυτούς όπως προκύπτει και από τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής τους σημαντικότεροι είναι ο Ξεριάς και ο Ίναχος (ή Πάνιτσας) που κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων παρουσιάζουν πλημμυρικές απορροές προκαλώντας καταστροφικά πλημμυρικά φαινόμενα. Κατά τη διάρκεια τέτοιων γεγονότων οι απορροές των χειμάρρων αυτών καταλήγουν στη θάλασσα. Αντίθετα οι απορροές των υπόλοιπων χειμάρρων σπάνια καταλήγουν στη θάλασσα και μάλιστα σε μερικούς από αυτούς όπως στον Κλεισούρα, τον Μπέρμπακα και τον Αμμοριανό δεν υπάρχει διαμορφωμένη κοίτη προς τη θάλασσα με συνέπεια οι απορροές τους να απολήγουν και να κατεισδύουν στις αδρομερείς αποθέσεις των ανατολικών παρυφών της πεδιάδας.

2.5.4 Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά

Η λιθολογική δομή των παραπάνω λεκανών του Αργολικού πεδίου συνίσταται από υδροπερατούς ανθρακικούς σχηματισμούς και από πρακτικά αδιαπέραστους σχηματισμούς (φλύσχη, σχιστόλιθους) καθώς επίσης και από σχηματισμούς ποικίλης περατότητας όπως Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα. Στο Σχήμα 2.9 φαίνεται η κατανομή των υδρολιθολογικών αυτών τύπων, ενώ η αναλογία κάθε υδρολιθολογικής ενότητας όπως προέκυψε από εμβαδομέτρηση αναλύεται στον Πίνακα 2.1

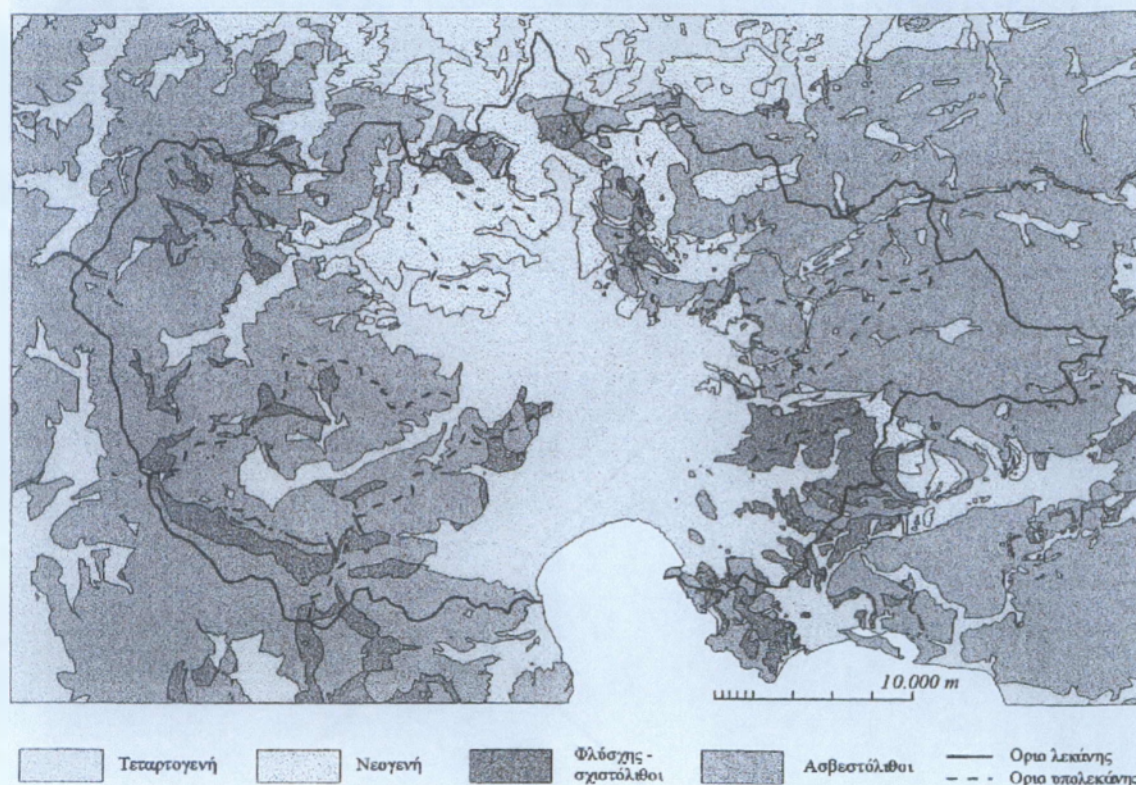
Πίνακας 2.2 Αναλογία υδρολιθολογικών σχηματισμών στις υδρολογικές λεκάνες (Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

ΛΕΚΑΝΗ	ΦΛΥΣΧΗΣ		ΝΕΟΓΕΝΗ		ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ		ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Κιρίμης	9,01	18,9	0	0,0	3,75	7,9	34,77	73,1
Ξεριάς	24,33	20,90	0	0,0	11,91	10,2	79,92	68,9
Ίναχος	14,42	6,4	26,29	11,8	34,19	15,2	149,12	66,5
Φίχτια	0	0,0	22,67	93,9	2,23	9,2	0	0,0
Δερβενακιώτης	6,30	9,1	36,83	53,5	7,44	10,9	18,23	26,5
Κλεισούρας	2,93	3,1	15,86	17,0	14,61	15,7	59,92	64,2
Μπέρμπακας	0,61	1,7	0	0	6,81	19,1	28,27	79,2
Αμμοριανός	9,91	12,2	1,10	1,4	5,80	7,3	62,17	79,0
Ραμαντάνης	22,09	64,9	2,36	7,0	4,73	14	4,85	14,2

Πίνακας 2.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (P) στις λεκάνες απορροής (Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Λεκάνη	Έκταση m ²	Μέση ετήσια βροχόπτωση (P) m ³	mm
Κιρίμη	47.540.927	33.396.162	702
Ξεριά	116.167.427	92.573.643	797

Ίναχου	224.033.105	178.021.248	795
Φιχτίων	24.153.406	12.481.715	517
Δερβενακιώτη	68.821.776	35.563.679	517
Κλεισούρα	93.334.281	53.262.683	571
Μπέρμπακα	35.703.750	23.412.923	656
Αμμοριανού	78.689.550	47.863.225	608
Ραμαντάνη	29.227.918	13.530.349	463
Πεδιάδα	213.205.453	108.389.440	508
ΣΥΝΟΛΟ	930.877.593	598.495.067	6134



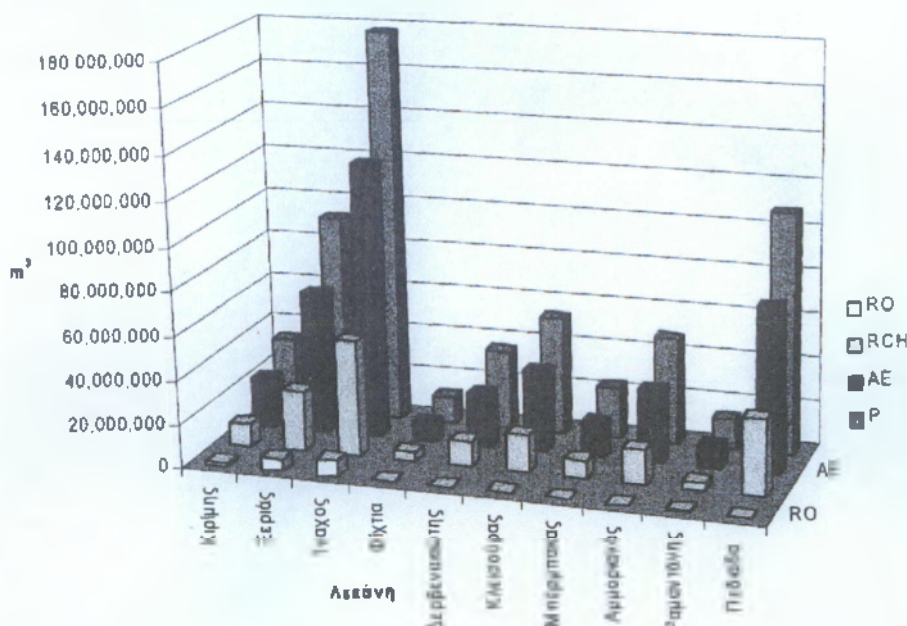
Σχήμα 2.9 Κατανομή υδρολιθολογικών ενοτήτων
(Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

2.6 Υδατικό ισοζύγιο των λεκανών

Με βάση τους υπολογισμούς και τις εκτιμήσεις που έγιναν για κάθε μια από τις επιμέρους συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου προέκυψε το συνολικό υδατικό ισοζύγιο των υδρολογικών λεκανών που πλαισιώνουν το Αργολικό πεδίο (βλ. πίνακα 2.4, Σχήμα 2.10)

Πίνακας 2.4 Συνολικό υδατικό ισοζύγιο των υδρολογικών λεκανών (μέσες ετήσιες τιμές)
(Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Λεκάνη	Έκταση m ²	Βροχ.-P		Πρ. Εξ/νοή. - ΑΕ		Επ. Απορ. - RO		Κατείσδυση -RCH	
		m ³	mm			m ³	mm	m ³	mm
Κιρίμη	47.540.927	33.396.162	702	22.913.535	482	1.669.808	35	10.482.627	220
Ξεριά	116.167.427	92.573.643	797	64.841.817	558	5.554.419	48	27.731.826	239
Ίναχου	224.033.105	178.021.248	795	125.485.466	560	7.120.850	32	52.535.782	235
Φιχτίων	24.153.406	12.481.715	517	8.453.692	350	200.000	8	4.028.023	167
Δερβενακιώτη	68.821.776	35.563.679	517	24.087.622	350	200.000	3	11.476.057	167
Κλεισούρα	93.334.281	53.262.683	571	36.703.358	393	400.000	4	16.559.325	177
Μπέρμπακα	35.703.750	23.412.923	656	15.728.698	441	100.000	3	7.684.225	215
Αμμοριανού	78.689.550	47.863.225	608	32.542.273	414	100.000	1	15.320.952	195
Ραμαντάνη	29.227.918	13.530.349	463	10.229.771	350	400.000	14	3.300.578	113
Πεδιάδα	213.205.453	108.389.440	508	74.621.909	350	?	0	33.767.531	1587
ΣΥΝΟΛΟ	930.877.593	598.495.067		415.608.141		15.745.077		182.886.926	



Σχήμα 2.10 Σχηματική απεικόνιση των συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου των λεκανών (μέσες ετήσιες τιμές)
(Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Προκύπτει ότι το μέσο συνολικό μέσο ύψος βροχής σε όλη τη λεκάνη απορροής ανέρχεται σε $600 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ περίπου από τα οποία $415 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ απορροφώνται από το μηχανισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, τα $16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ απορρέουν επιφανειακά ενώ τα $18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ αποτελούν περίσσειμα ύδατος το οποίο στην πλειοψηφία του κατεισδύει και εμπλουτίζει τα υπόγεια νερά στο καρστικό σύστημα και στο Αργολικό πεδίο.

2.7 Περίληψη – συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο συγκεντρώθηκαν και υπέστησαν επεξεργασία όλα τα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούν στα εδαφικά χαρακτηριστικά του Αργολικού πεδίου καθώς και τα χαρακτηριστικά των υδρολογικών λεκανών του.

Σε ότι αφορά στα εδαφικά χαρακτηριστικά της περιοχής συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία από υφιστάμενες μελέτες (Πουλοβασίλης, 1963, Γιάσογλου κ.α 1983). Από τις μελέτες αυτές εξήχθησαν συμπεράσματα που αφορούν στην κατανομή των εδαφικών τύπων, καθώς και στοιχεία σχετικά με τις φυσικές υδραυλικές τους ιδιότητες των διαφόρων εδαφικών τύπων (βλ. Σχ. 2.3, 2.4).

Σε ότι αφορά στον έλεγχο υδρολογικών μεγεθών, η ΥΕΒ του ΥΠ.ΓΕ, ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, εγκατέστησε και λειτούργησε ένα ευρύ δίκτυο βροχομετρικών σταθμών, και έλεγχε τακτικά τις παροχές επιλεγμένων πηγών.

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας έγινε αναφορά στα κλιματολογικά, μορφομετρικά χαρακτηριστικά των λεκανών του Αργολικού πεδίου, στα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου και στο υδατικό ισοζύγιο των λεκανών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

3. ΠΗΓΑΙΑ ΥΔΑΤΑ

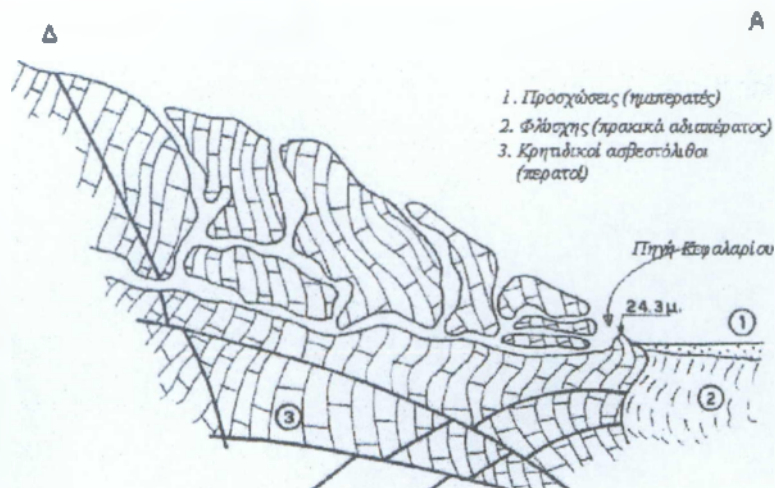
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά των πηγών

Στις δυτικές παρυφές του Αργολικού πεδίου αναπτύσσεται ένα μέτωπο πηγών που αποτελείται από τις πηγές του Κεφαλαρίου, της Λέρνης, της Κρόης ή Αμυμώνης και τις πηγές του Κιβερίου. Επίσης στην ευρύτερη περιοχή αναπτύσσονται και μια πληθώρα από μικρότερης ή τοπικές σημασίας πηγές όπως η Δούκα βρύση, οι πηγές Κεφαλόβρυσου, Αχλαδόκαμπου, οι πηγές Ίναχου Νεοχωρίου και οι πηγές Γκούρα Καπαρελίου. Οι πηγές όμως που αποτελούν βασικές συνιστώσες του υδατικού δυναμικού του Αργολικού Πεδίου από πλευρές παροχής, ποιότητας και θέσης είναι αυτές που αναπτύσσονται στις δυτικές παρυφές του (Κεφαλαίου, Λέρνης, Κρόη και Κιβέρι). Οι θέσεις των παραπάνω πηγών στην περιοχή φαίνονται στο σχήμα 3.9.

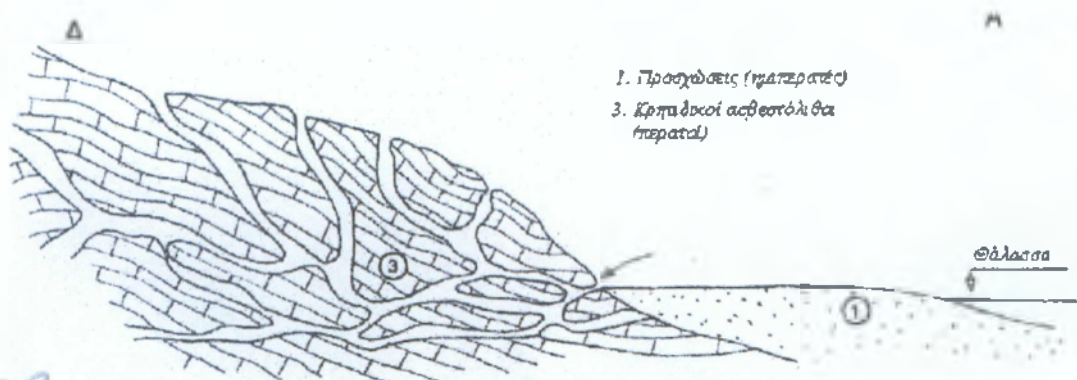
Η πηγή του Κεφαλαρίου είναι μια καρστική πηγή υπερχείλισης που αναβλύζει σε υψόμετρο +24.3m μέσα από Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ενότητας Ωλονού – Πίνδου (Σχήμα 3.1). Ο αδιαπέρατος σχηματισμός στη θέση αυτή που δικαιολογεί την παρουσία της πηγής είναι ο φλύσχης της ομώνυμης ενότητας. Οι παροχές της παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις που σχετίζονται άμεσα με τις βροχοπτώσεις στην περιοχή τροφοδοσίας της δηλ στο Αρκαδικό οροπέδιο και κυρίως στην περιοχή Στυμφαλίας – Σκοτεινής Αλέας (βλέπε επόμ. παράγραφο). Από την επεξεργασία των υδρογραφημάτων των παροχών της πηγής προέκυψε ότι οι συνολικές ετήσιες παροχές της, για τα έτη που υπήρχαν επαρκή δεδομένα, κυμαίνονται από $25 \times 10^6 - 140 \times 10^6 \text{ m}^3$ ενώ η μέση παροχή της ανέρχεται σε $2.42 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Η πηγή της Λέρνης πηγάζει σε απόλυτο υψόμετρο +0.6m από Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ενότητας της Πίνδου στο όριο μεταξύ των καρστικών αυτών ασβεστόλιθων και των σύγχρονων Τεταρτογενών αποθέσεων και χαρακτηρίζεται ως πηγή υπερχείλισης (Σχήμα 3.2). Βρίσκεται στον οικισμό Μύλοι κοντά στην εκκλησία Αγ. Δημήτριος. Οι παροχές της σε ετήσια βάση είναι ανάλογες με αυτές του Κεφαλαρίου αλλά παρουσιάζουν σαφώς μικρότερες διακυμάνσεις. Από την επεξεργασία των υδρογραφημάτων της (Πίνακας 3.1) προέκυψε ότι οι συνολικές ετήσιες παροχές της κυμαίνονται από $37 \times 10^6 - 63.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ενώ η μέση παροχή της ανέρχεται σε $1.58 \text{ m}^3/\text{sec}$.

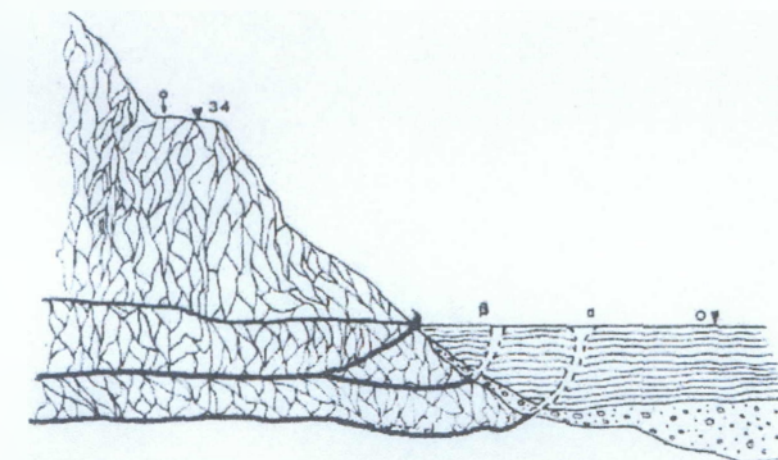
Η πηγή της Κρόης ή Αμυμώνης πηγάζει και αυτή από Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ενότητας της Πίνδου στο όριο μεταξύ των Κρητιδικών ασβεστόλιθων και των σύγχρονων Τεταρτογενών αποθέσεων λίγο βορειότερα της Λέρνης στον οικισμό Μύλοι. Χαρακτηρίζεται και αυτή καρστική πηγή υπερχείλισης (Σχήμα 3.2). Από την στατιστική επεξεργασίας των υδρογραφημάτων της προέκυψε ότι οι συνολικές ετήσιες παροχές της, κυμαίνονται από $3.8 \times 10^6 - 11.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ενώ η μέση παροχή της ανέρχεται $0,22 \text{ m}^3/\text{sec}$ παρουσιάζοντας μικρές διακυμάνσεις.



Σχήμα 3.1 Γεωλογικό σκαρίφημα της πηγής Κεφαλαρίου (Δούνας κ.α., 1978)



Σχήμα 3.2 Γεωλογικό σκαρίφημα των πηγών της Λέρνης και Κρόης (Δούκας κ.α 1978)



- | | | | |
|--|--------------------------------------|--|--------------------|
| | Κυκλοφορία νερού σε λεπτούς αγωγούς | | Υποθαλάσσιες πηγές |
| | Κυκλοφορία νερού σε μεγάλους αγωγούς | | Παρόκτια πηγή |
| | Νερό θάλασσας | | Υψόμετρα |
| | Σιγχρονές αποθέσεις πυθμένα | | Γεωτρήσεις |

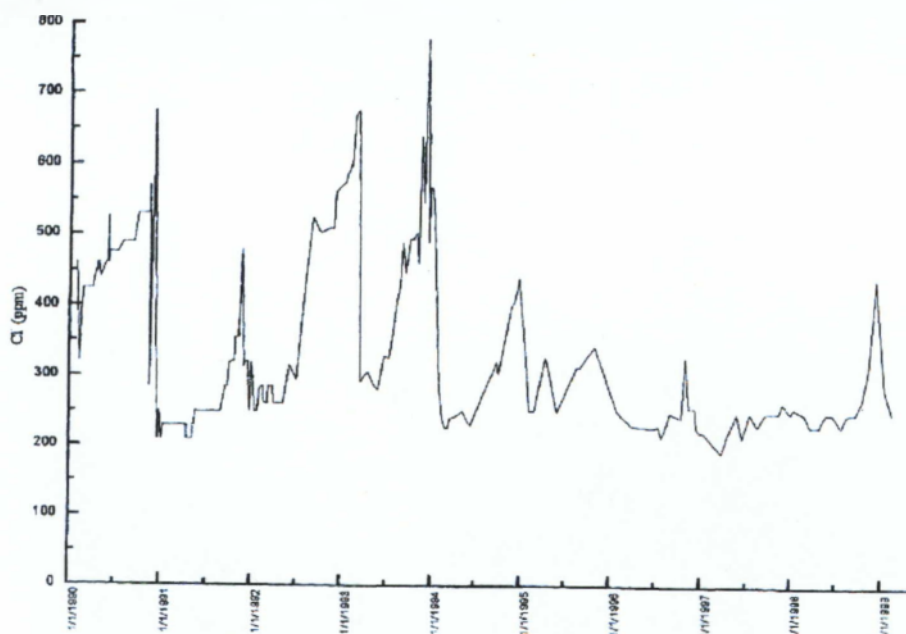
Σχήμα 3.3 Γεωλογικό σκαρίφημα των πηγών Κιβερίου (Παλάκης, 1966)

Οι πηγές Κιβερίου αποτελούν μια ομάδα καρστικών πηγών που αναβλύζουν σε απόλυτο υψόμετρο μεταξύ 0,25 και -7,5 Μ και χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους ως παράκτιες – υποθαλάσσιες πηγές. Πηγάζουν από Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ενότητας της Πίνδου. Μέχρι το 1970 οι πηγές αυτές έρεαν ελεύθερα στη θάλασσα (Σχήμα 3.3) ενώ από το 1970 και μετά ρέουν μέσα σε ημικυκλικό φράγμα. Η κατασκευή του φράγματος αυτού αποσκοπούσε στην προστασία των πηγαίων νερών από την απευθείας ανάμειξή τους με το θαλασσινό νερό, στην ευκολότερη υδρομάστευσή τους και σε πιθανή βελτίωση της ποιότητάς τους με τη διατήρηση μιας σχετικά ανυψωμένης στάθμης μέσα στο χώρο του φράγματος. Μετρήσεις παροχών στην πηγή αυτή είναι δύσκολο να γίνουν και τα μόνα διαθέσιμα στοιχεία είναι της περιόδου 1970-71 όπου οι μηχανισμοί του φράγματος (θυρίδες) ήταν λειτουργικά σε καλύτερη κατάσταση και επέτρεπαν τη διεξαγωγή τέτοιων μετρήσεων. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι για την περίοδο εκείνη η μέση παροχή των πηγών αυτών ήταν 13,58 m³/sec.

3.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των πηγαίων υδάτων

Η ποιότητα των πηγαίων υδάτων της περιοχής στο σύνολό τους υπόκειται σε υδροχημικούς μηχανισμούς που λαμβάνουν χώρα σε καρστικά υδρογεωλογικά περιβάλλοντα, δηλαδή, είναι νερά άμεσης τροφοδοσίας, πλούσια σε HCO₃ με μικρό σχετικά χρόνο παραμονής στο καρστικό μέσο.

Στην περίπτωση των πηγών Κιβερίου επιβεβαιώνεται σαφώς η μίξη γλυκών υπόγειων νερών με τη θάλασσα ενώ αντίθετα οι υπόλοιπες πηγές παρουσιάζουν χαρακτηριστικά γλυκών καρστικών υδάτων. Οι προσδιορισμοί των Cl της πηγής Κιβερίου συγκεντρώνονται στην πλειοψηφία τους στην περίοδο 1990 – 98 (ΥΕΒ, Πουλοβασίλης κ.α. 1996) κατά την οποία η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού ήταν συστηματική (Σχήμα 3.4). Τα νερά των πηγών Κιβερίου παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση σε ότι αφορά στην συγκέντρωσή τους σε Cl.



Σχήμα 3.4 Διακύμανση συγκέντρωσης Cl της πηγής Κιβερίου (Πηγή: Πουλοβασίλης Α. κ.α (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα)

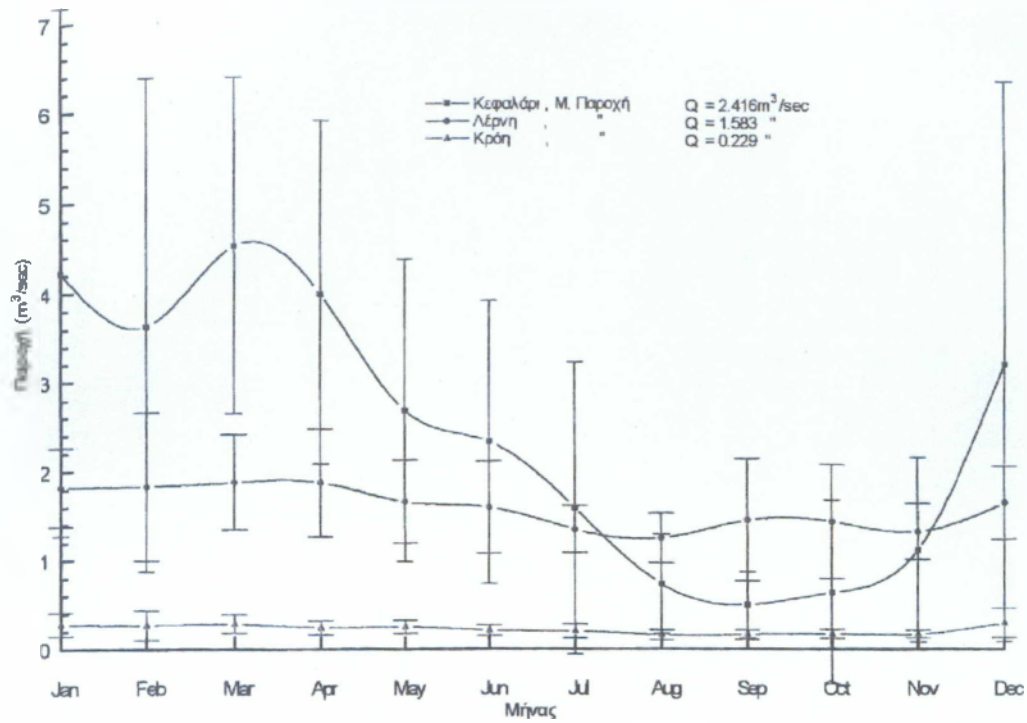
Τα νερά όλων σχεδόν των πηγών εκτός από αυτές του Κιβερίου πληρούν συνήθως τα όρια ποσιμότητας. Σε μερικές όμως περιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί έντονα φαινόμενα ρύπανσης. Η ποιότητα των πηγαίων νερών του Αργολικού πεδίου εξαρτάται από δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή τροφοδοσίας τους και ειδικότερα στο οροπέδιο της Τρίπολης. Ένα περιστατικό που αξίζει να σημειωθεί είναι αυτό του 1983. Το πρώτο δεκαήμερο του Φεβρουαρίου του 1983 στις πηγές του Κεφαλαρίου, της Κρόης και σε ορισμένες γεωτρήσεις στις δυτικές παρυφές του Αργολικού πεδίου στο Ελληνικό και στο Σκαφιδάκι παρουσιάστηκε έντονη οσμή υδρόθειου και κηλίδες ελαιώδους υφής χωρίς ιδιαίτερη αύξηση των παθογόνων οργανισμών. Η προέλευση αυτών των ρύπων αποδόθηκε τότε σε *‘‘αγροτικές δραστηριότητες και στην διάνοιξη τάφρων στο οροπέδιο της Τρίπολης όπου με την δραστηριότητα αυτή ήρθε στην επιφάνεια αρκετή οργανική ύλη’’*. Πειράματα ιχνηθέτησης όμως έδειξαν ότι υπάρχει σε μικρό ποσοστό επικοινωνία της καταβόθρας του Κανατά η οποία δέχεται τα απόβλητα της πόλεως της Τρίπολης με τις πηγές Λέρνης και Κρόης και συνεπώς με το καρστικό σύστημα που τροφοδοτεί τις παραπάνω γεωτρήσεις στο Ελληνικό και στο Σκαφιδάκι. Επίσης έχουν παρατηρηθεί τυχαία περιστατικά ανεξέλεγκτης απόρριψης υγρών λυμάτων σε διάφορες καταβόθρες που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή τροφοδοσίας των πηγών. Τα γεγονότα αυτά σε συνδυασμό με τους εκτιμώμενους μηχανισμούς λειτουργίας και ροής των υπόγειων καρστικών νερών, όπως αναλύονται σε επόμενους παραγράφους (βλ. Σχήμα 3.9), οδηγούν στην εκτίμηση ότι τα ρυπαντικά φορτία κυρίως αστικών λυμάτων καθώς και αυτών που διατίθενται ανεξέλεγκτα, δεν προλαβαίνουν να αδρανοποιηθούν στο καρστικό μέσο και καταλήγουν, εν μέρει, μοιραία στις πηγές του Αργολικού πεδίου.

3.3 Στατιστική επεξεργασία παροχών

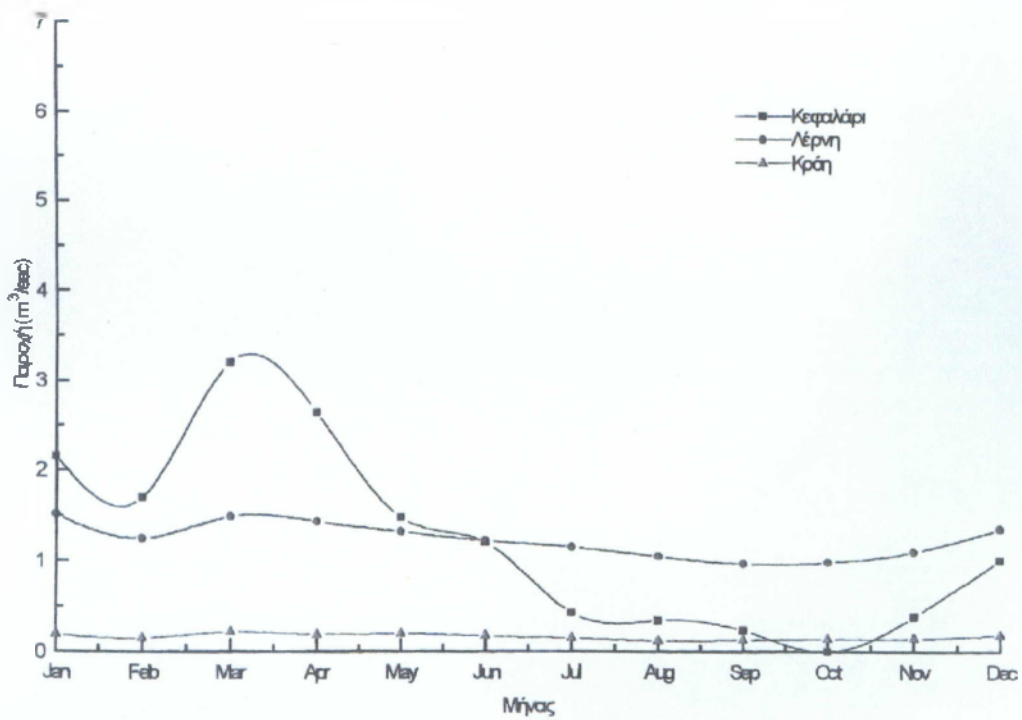
3.31 Στατιστική ανάλυση

Από τις διαθέσιμες μετρήσεις των παροχών των πηγών, που διεξήγαγε η ΥΕΒ του ΥΠ.ΓΕ, αφού κατασκευάστηκαν τα σχετικά υδρογράμματα (Σχήμα 3.6, 3.7 και 3.8), επιλέχτηκαν τα έτη εκείνα στα οποία υπήρχαν συνεχείς και επαρκείς μετρήσεις. Από τα αντίστοιχα υδρογράμματα προέκυψαν με ολοκλήρωση οι συνολικ'ες ετήσιες παροχές των πηγών (Πίνακας 3.1).

Σε μια προσπάθεια εκτίμησης των πιο πιθανών μηνιαίων διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων των πηγών αυτών, υποθέτοντας κανονική κατανομή, υπολογίστηκαν οι παροχές πιθανότητας 75%. (Σχήμα 3.5β).

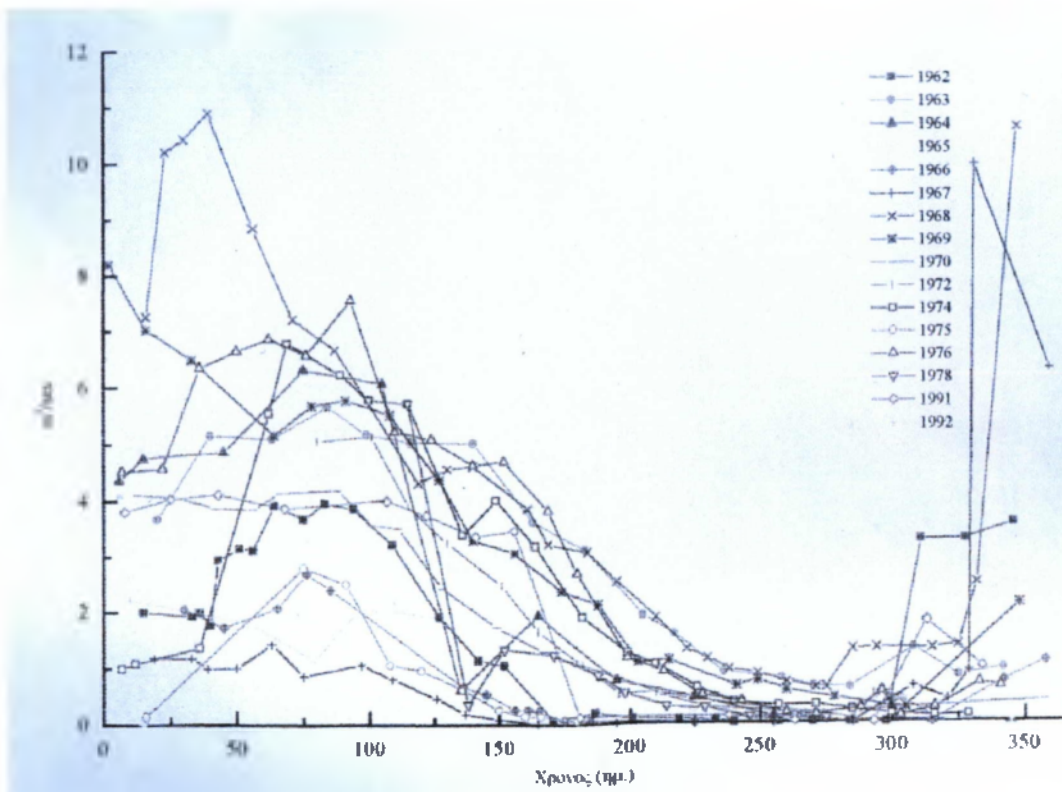


α) Μέσες τιμές παροχών και τυπικές αποκλίσεις

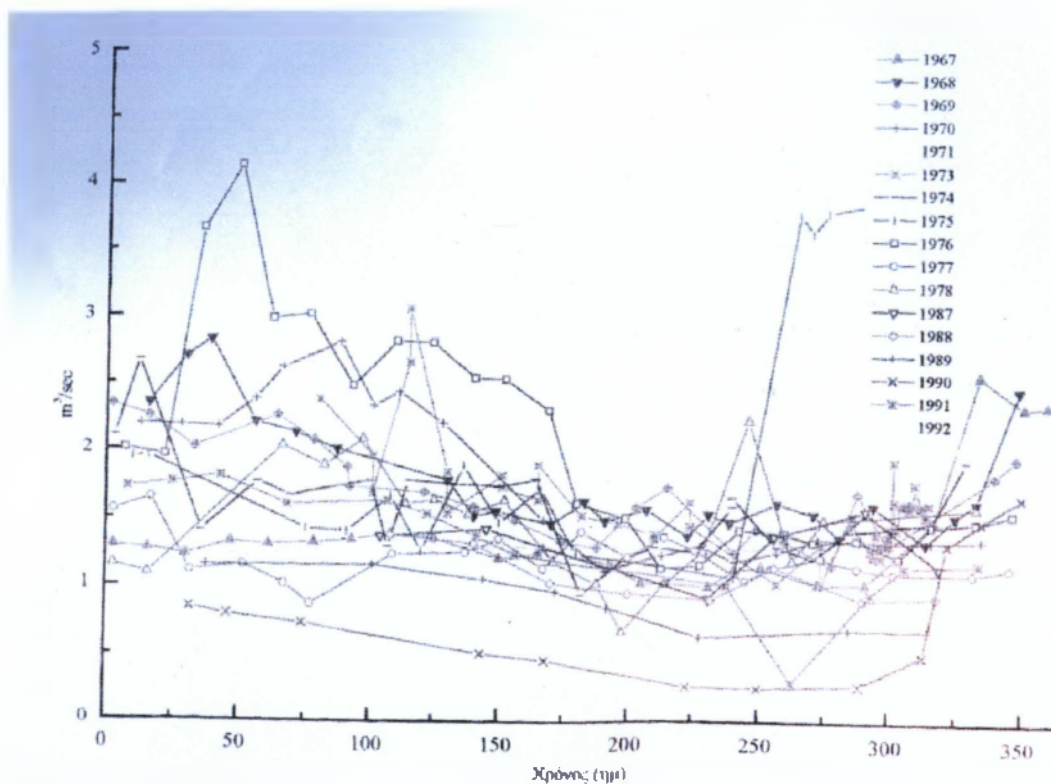


β) Παροχές πιθανότητας 75%

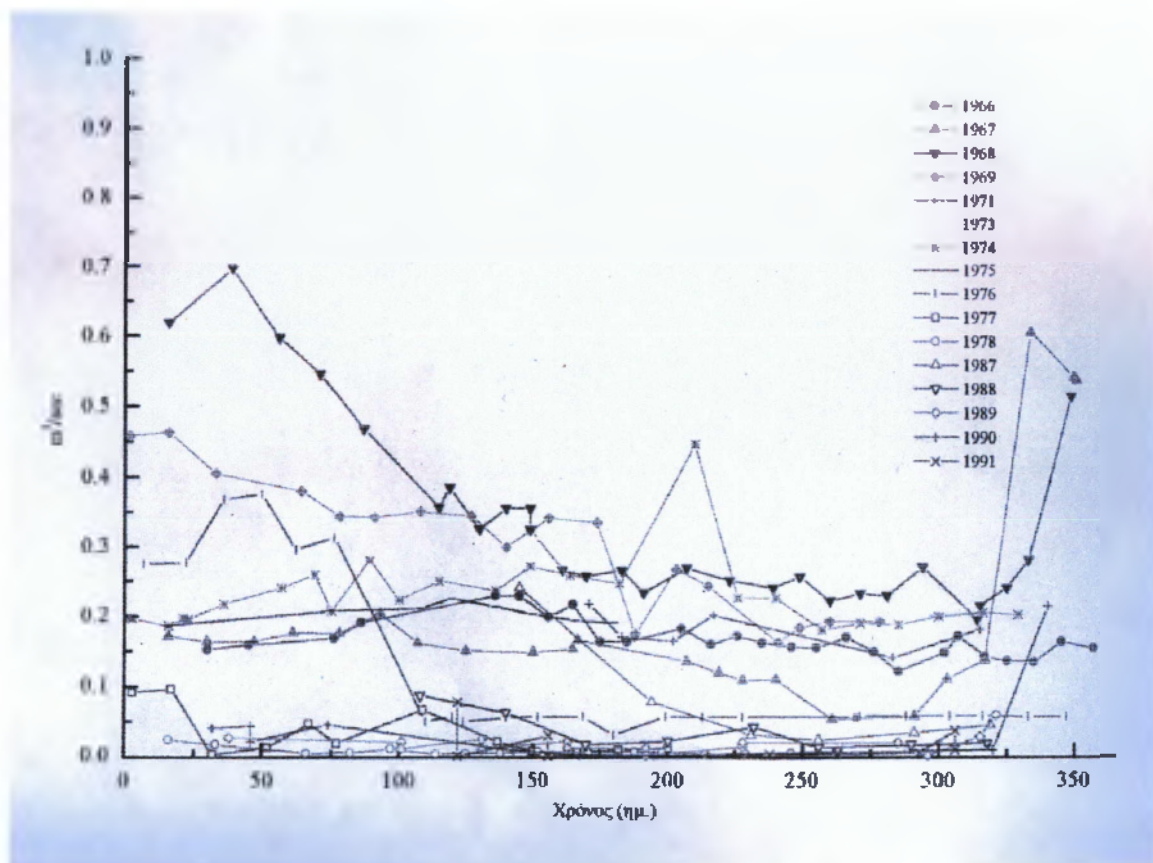
Σχήμα 3.5 Στατιστικά στοιχεία πηγών
(Πηγή: TOEB Ναυπλίου)



Σχήμα 3.6 Υδρογραφήματα πηγής Κεφαλαρίου
(Πηγή: Νομαρχία Αργολίδος, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)



Σχήμα 3.7 Υδρογραφήματα πηγής Λέρνης
(Πηγή: Νομαρχία Αργολίδος, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)



Σχήμα 3.8 Υδρογραφήματα πηγής Κροής
(Πηγή: Νομαρχία Αργολίδος, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)

Πίνακας 3.1 Ετήσιες συνολικές περιοχές των πηγών που παρατηρήθηκαν
(Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Έτος	Παροχή (m ³)	Έτος	Παροχή (m ³)
Κεφαλάρι			
1962	53,720,000	1973	51,650,000
1963	80,060,000	1974	71,920,000
1966	25,100,000	1976	64,390,000
1967	36,700,000	1987	39,100,000
1968	140,820,000	1988	39,650,000
1970	94,800,000	1991	81,330,000
Λέρνη			
1932	59,057,000	1970	53,738,000
1935	47,721,500	1973	58,410,000
1950	48,190,500	1974	50,298,000
1951	47,170,000	1975	61,532,000
1954	61,892,000	1976	63,694,000
1962	41,176,000	1977	37,069,000
1963	50,261,000	1978	47,059,000
Κρόη			
1950	6,667,000	1967	6,970,000
1962	3,869,000	1968	11,368,000
1963	6,641,000	1979	8,767,000
1966	5,212,000	1974	7,379,000

Πίνακας 3.2 Παροχές πιθανότητας 75% - στατιστικά στοιχεία (Κεφαλάρι)
(Πηγή: TOEB Ναυπλίου)

Μήνας	Αρ. Μετρ.	Μ. Μην. Παρ. (m ³ /sec)	Τ. Απόκλ. (m ³ /sec)	Παροχή πιθ. 75% (m ³ /month)	(m ³ /sec)
Ιανουάριος	24	4.227	2.95	5,572,800	2.15
Φεβρουάριος	22	3.618	2.75	4,406,400	1.70
Μάρτιος	29	4.502	1.86	8,294,400	3.20
Απρίλιος	25	3.972	1.91	6,842,880	2.64
Μάιος	28	2.658	1.68	3,836,160	1.48
Ιούνιος	28	2.306	1.58	3,110,400	1.20
Ιούλιος	27	1.567	1.63	1,114,560	0.43
Αύγουστος	26	0.736	0.55	881,280	0.34
Σεπτέμβριος	21	0.493	0.37	622,080	0.24
Οκτώβριος	21	0.631	1.02	984,960	0.00
Νοέμβριος	15	1.105	1.03	2,592,000	0.38
Δεκέμβριος	17	3.183	3.10	38,257,920	1.00
ΣΥΝΟΛΟ	283			3,188,160	
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		2.416	1,703		1.23

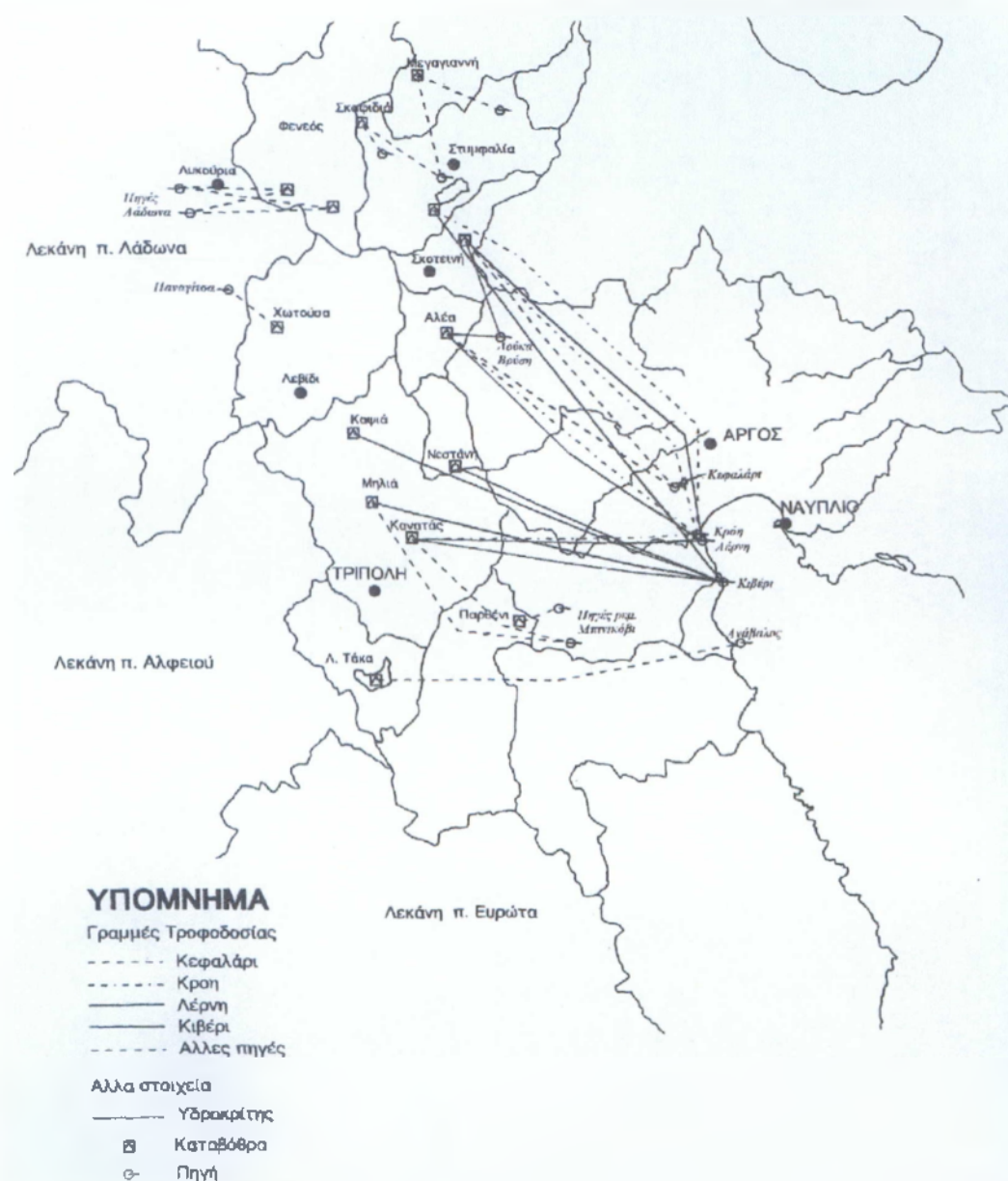
Πίνακας 3.3 Παροχές πιθανότητας 75% - στατιστικά στοιχεία (Λέρνη)
(Πηγή: TOEB Ναυπλίου)

Μήνας	Αρ. Μετρ.	Μ. Μην. Παρ. (m ³ /sec)	Τ. Απόκλ. (m ³ /sec)	Παροχή πιθ. 75% (m ³ /month)	(m ³ /sec)
Ιανουάριος	23	1,826	0,44	3.939.840	1,52
Φεβρουάριος	23	1,826	0,82	3.240.000	1,25
Μάρτιος	33	1,865	0,53	3.888.000	1,50
Απρίλιος	26	1,860	0,60	3.732.480	1,44
Μάιος	33	1,644	0,46	3.421.440	1,32
Ιούνιος	32	1,582	0,51	3.188.160	1,23
Ιούλιος	31	1,335	0,26	3.240.000	1,15
Αύγουστος	33	1,241	0,27	2.572.160	1,05
Σεπτέμβριος	31	1,441	0,68	2.514.240	0,97
Οκτώβριος	28	1,424	0,63	2.540.160	0,98
Νοέμβριος	23	1,313	0,31	2.851.200	1,10
Δεκέμβριος	25	1,634	0,40	3.499.200	1,35
ΣΥΝΟΛΟ	351			38.776.320	
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		1,583	0,493	3.231.260	1,24

Πίνακας 3.4 Παροχές πιθανότητας 75% - στατιστικά στοιχεία (Λέρνης)
(Πηγή: TOEB Ναυπλίου)

Μήνας	Αρ.Μετρ.	Μ.Μην.Παρ. (m ³ /sec)	Τ.Αποκλ. (m ³ /sec)	Παροχή πιθ. 75% (m ³ /month)	(m ³ /sec)
Ιανουάριος	16	0,285	0,13	497.664	0,19
Φεβρουάριος	17	0,274	0,17	401.760	0,16
Μάρτιος	26	0,290	0,10	567.648	0,22

Απρίλης	15	0,248	0,07	497.664	0,19
Μάιος	18	0,254	0,07	523.584	0,20
Ιούνιος	20	0,219	0,06	448.416	0,17
Ιούλιος	23	0,207	0,07	393.984	0,15
Αύγουστος	22	0,162	0,05	318.816	0,12
Σεπτέμβριος	16	0,166	0,05	333.072	0,13
Οκτώβριος	18	0,174	0,05	360.288	0,14
Νοέμβριος	18	0,175	0,04	375.840	0,15
Δεκέμβριος	15	0,298	0,16	479.520	0,19
ΣΥΝΟΛΟ	224			5.198.256	
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		0,229	0,085	433,188	0,17



Σχήμα 3.9 Σχέσεις τροφοδοσίας των πηγαίων του Αργολικού Πεδίου από τις καταβόθρες και τις πόλγες των Αρκαδικών οροπεδίων και της ορεινής Κορινθίας (Πηγή: Νομαρχία Αργολίδος, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)

Οι καταβόθρες του Φενεού και της λεκάνης Χωτούσας – Κανδήλας επικοινωνούν με τις πηγές του Λάδωνα δυτικά.

Η κύρια κατεύθυνση αποστράγγισης από όλες τις άλλες καταβόθρες είναι προς τις πηγές του Αργολικού κόλπου.

Υπάρχει άμεση σχέση επικοινωνίας των πηγών Κεφαλαρίου, Κρόης, Λέρνης και Κιβερίου με τις καταβόθρες της Στυμφαλίας, της Σκοτεινής, της Αλέας, της Καψιάς και του Κανατά. Οι καταβόθρες Σκαφίδια και Μεγαγιάννη επικοινωνούν με τις πηγές που βρίσκονται στη λεκάνη της Στυμφαλίας. Η καταβόθρα του Κανατά η οποία δέχεται τα υγρά αστικά απόβλητα της πόλης της Τρίπολης ανήκει στο ίδιο σύστημα αποστράγγισης των Αρκαδικών οροπεδίων όπως και οι καταβόθρες Μηλιά και Νεστάνη.

3.4 Περίληψη – συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο διερευνήθηκαν τα χαρακτηριστικά και το καθεστώς λειτουργίας των βασικότερων πηγών.

Σχετικές έρευνες που έγιναν στο παρελθόν επικεντρώθηκαν κυρίως στο καρστικό σύστημα που αναπτύσσεται στις δυτικές παρυφές του Αργολικού πεδίου και αποσκοπούσαν στη διερεύνηση της υδραυλικής επικοινωνίας διαφόρων πηγών της περιοχής με καταβόθρες που αναπτύσσονται στο οροπέδιο της Τρίπολης καθώς και στην δυνατότητα αναρρύθμισης της πηγής Κεφαλαρίου. Η ΥΕΒ ΤΟΥ ΥΠ.Γ.Ε., ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, έλεγχε τακτικά τις παροχές επιλεγμένων πηγών.

Αφού συγκεντρώθηκαν οι σχετικές μετρήσεις παροχών των πηγών (Σχήμα 3.6, 3.8), προσδιορίστηκαν όπου ήταν δυνατό οι μέχρι τώρα συνολικές ετήσιες απορροές τους (βλ. Πιν. 3.1) και στη συνέχεια οι μετρήσεις αυτές υπέστησαν στατιστική επεξεργασία και προέκυψαν οι παροχές πιθανότητας 75% (Πιν. 3.2, 3.4). Στη συνέχεια έγινε ανάλυση των υδρογραφημάτων των πηγών και διερευνήθηκαν τα χαρακτηριστικά των καμπυλών στείρευσης. Συγκεντρώθηκαν επίσης και αξιολογήθηκαν τα πορίσματα από τα σχετικά πειράματα ιχνηθέτησης που έγιναν στα πλαίσια παλαιότερων ερευνών για να καταδειχθεί έτσι η υδραυλική σχέση των πηγών με τις καταβόθρες που αναπτύσσονται στο οροπέδιο της Τρίπολης (Σχήμα 3.9).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4. ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου των υδροφόρων σχηματισμών και των υδατικών συστημάτων γενικότερα αποσκοπεί στην ποσοτική εκτίμηση όλων των εισροών και εκροών νερού στη μονάδα του χρόνου.

Οι εισροές νερού προέρχονται συνήθως : (Α) από το νερό της βροχής που εγκαταλείπει την εδαφική ζώνη, (β) από τις διηθήσεις επιφανειακών απορροών και χειμάρρων, (γ) από τις διάφορες υπόγειες πλευρικές τροφοδοσίες από γειτονικούς υδροφόρους σχηματισμούς, (δ) από τις επιστρεφόμενες αρδευτικές ροές καθώς και (ε) από τις απώλειες δικτύων ύδρευσης αποχέτευσης και άρδευσης.

Οι εκροές, στις οποίες περιλαμβάνονται και οι απολήψεις νερού από υδροφόρους σχηματισμούς που υφίστανται οποιοδήποτε είδους εκμετάλλευσης, λαμβάνουν χώρα: (α) είτε από διάφορα τεχνητά έργα όπως γεωτρήσεις, (β) από φυσικά σημεία εξόδου όπως οι πηγές, η θάλασσα, τα ποτάμια και (γ) προς άλλους γειτονικούς υδροφόρους σχηματισμούς ανάλογα πάντοτε με τις εκάστοτε υδροδυναμικές και οριακές συνθήκες που επικρατούν.

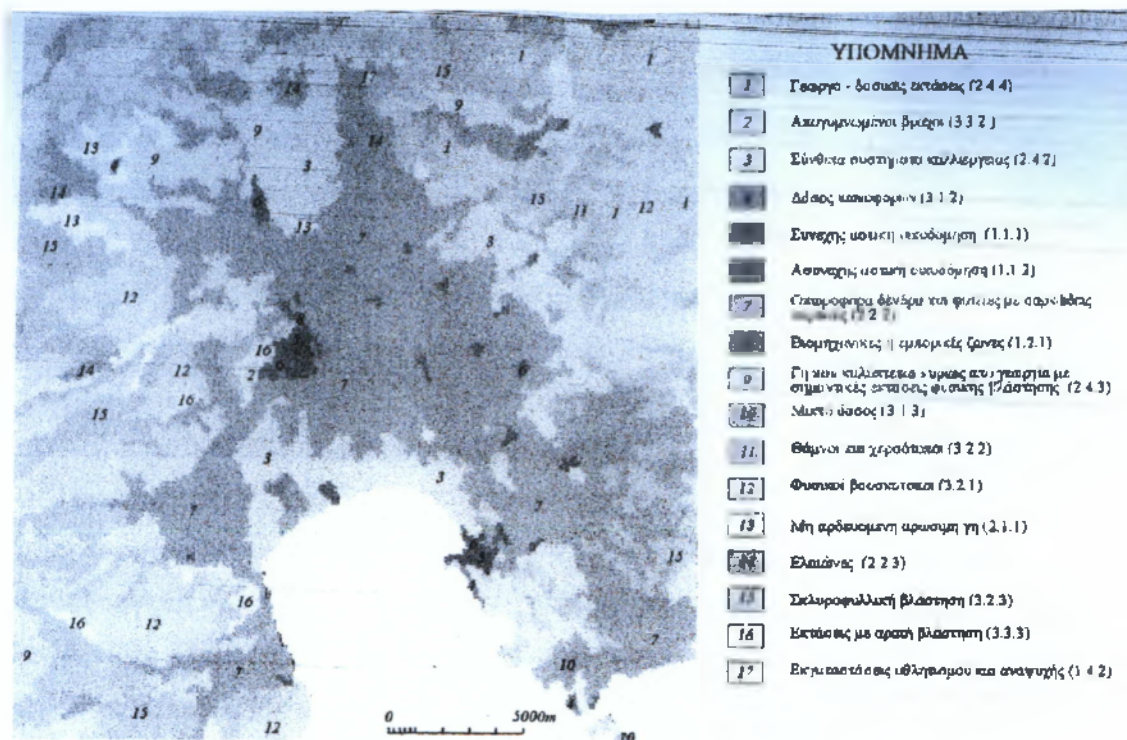
Οι βασικές συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου στα περισσότερα υδρογεωλογικά περιβάλλοντα είναι η βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή, η επιφανειακή απορροή, οι πλευρικές τροφοδοσίες και η κατείδυση. Εξέχουσας επίσης σημασίας, ανάλογα με το υδρογεωλογικό περιβάλλον, είναι συνιστώσες όπως οι παροχές πηγών, χειμάρρων καθώς και οι απολήψεις νερού για διάφορες χρήσεις όπως άρδευση, ύδρευση, βιομηχανική χρήση κλπ.

Οι παραπάνω συνιστώσες ρυθμίζονται από αρκετούς παράγοντες όπως τα κλιματικά, γεωλογικά εδαφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, η κάλυψη και χρήση γης, ανθρωπογενείς παράγοντες κ.α.

4.2 Στοιχεία καλλιέργειών – κάλυψη αργολικής γης

Η κίνηση του νερού στην εδαφική κατανομή εξαρτάται τόσο από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους το όσο και από το είδος της φυτοκάλυψης και τις ανάγκες της σε νερό.

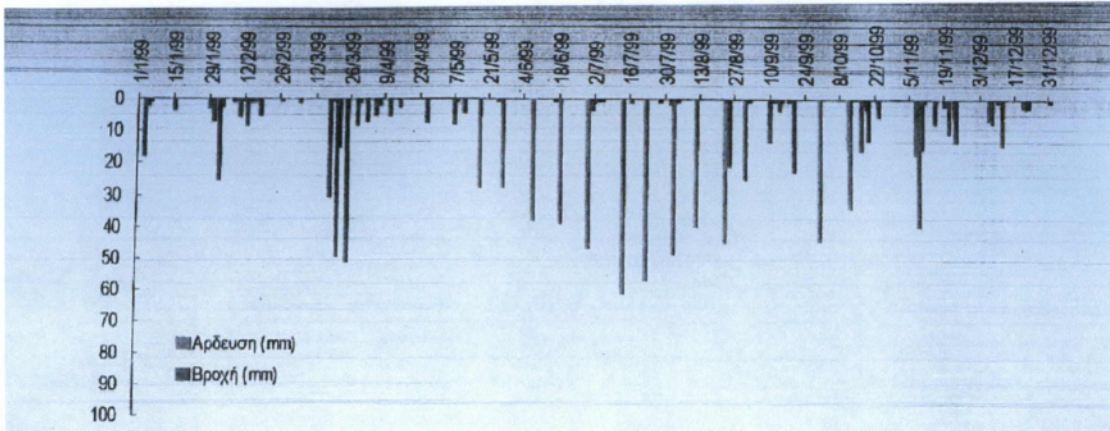
Όπως προκύπτει από δεδομένα της Αγροτικής Τράπεζας (Αναγνωστόπουλος και Γαλάνης 1938), πριν από το 1983 η αρδευόμενη καλλιέργεια ήταν τότε ο καπνός (43%) και ακολουθούσαν οι τομάτες (13,5%), το βαμβάκι (13,4%), και άλλες καλλιέργειες ανάμεσα στις οποίες τα εσπεριδοειδή (1,8%). Οι ετήσιες ανάγκες των καλλιεργειών αυτών σε νερό ήταν $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ και καλύπτονται κυρίως από υπόγεια νερά.



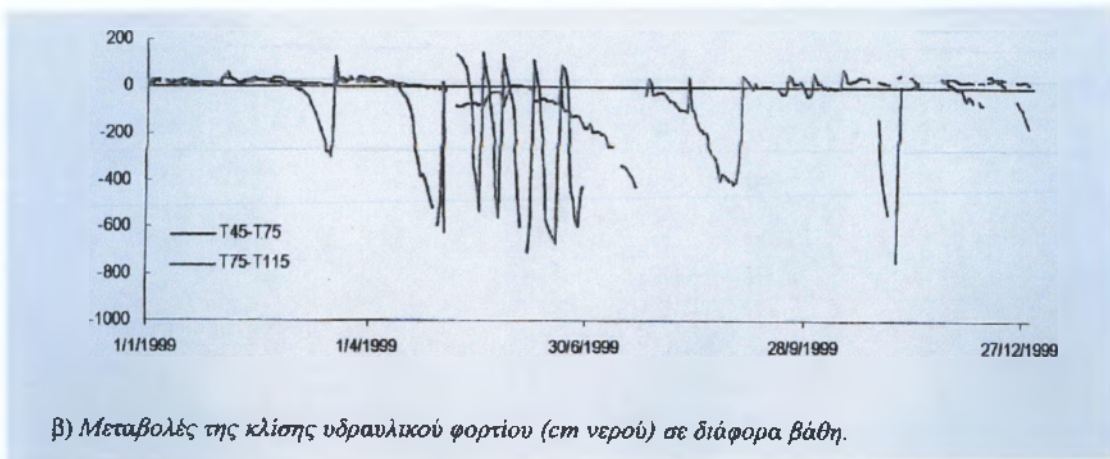
Σχήμα 4.1 Κάλυψη γης της ευρύτερης περιοχής του Αργολικού πεδίου.
(Πηγή: Νομαρχία Αργολίδος, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)

Τη δεκαετία του 1950 έλαβε χώρα μια σημαντική ανάπτυξη των αρδευόμενων καλλιεργειών και ιδιαίτερα των εσπεριδοειδών. Η αύξηση αυτή συνεχίστηκε και στη δεκαετία του 1960 και αργότερα. Σύμφωνα με στοιχεία του ερευνητικού προγράμματος CORINE (European Environmental Agency, 1996), η κάλυψη γης στην περιοχή είναι αυτή που δίνεται στο Σχήμα 4.1

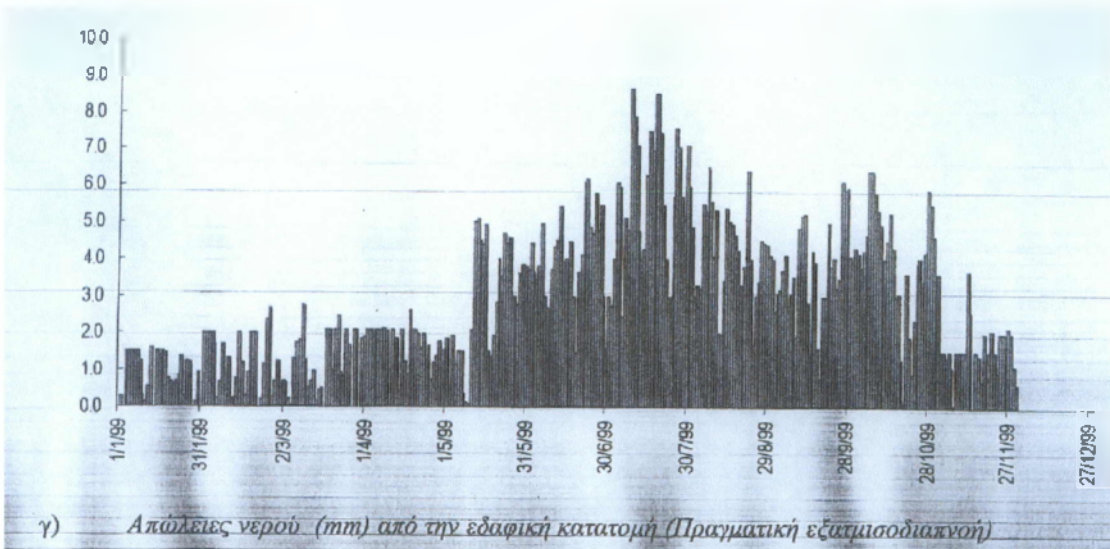
Το Αργολικό πεδίο, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του ΥΠ.ΓΕ, καλύπτεται σήμερα στην πλειοψηφία του από εσπεριδοειδή (107.000στρ) ενώ στα περιθώριά του αναπτύσσονται άλλες καλλιέργειες, κυρίως ελιές (66.000 στρ). Στο νότιο κυρίως τμήμα του Αργολικού πεδίου που γειτνιάζει με τη θάλασσα καλλιεργούνται κηπευτικά (18.700 στρ.), αγκινάρες (5.200 στρ.), καπνός (5.000 στρ.) κλπ.



α) Ημερήσια ύψη βροχής και άρδευσης (mm)



β) Μεταβολές της κλίσης υδραυλικού φορτίου (cm νερού) σε διάφορα βάθη.



γ) Απώλειες νερού (mm) από την εδαφική κατατομή (Πραγματική εξατμισοδιακνοή)

Σχήμα 4.2 Χαρακτηριστικά του υδατικού ισοζυγίου της εδαφικής κατατομής το έτος 1999

(Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

4.3 Υδατικό ισοζύγιο των υδροφόρων σχηματισμών

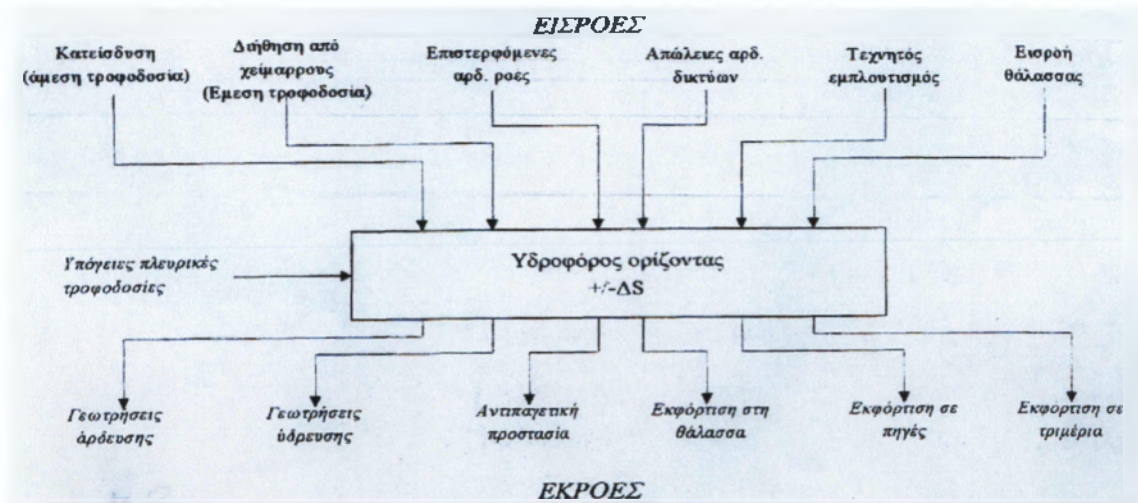
4.3.1 Συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου των υδροφόρων σχηματισμών

Η εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου των υδροφόρων σχηματισμών αποσκοπεί στον προσδιορισμό όλων των εισροών και εκροών νερού σε συνδυασμό με τις μεταβολές του εναποθηκευμένου όγκου του σε συνθήκες μόνιμης ή μη μόνιμης ροής.

Το υδατικό ισοζύγιο των υδροφόρων σχηματισμών περιγράφεται από την σχέση :

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} \pm \text{Μεταβολή Αποθεμάτων}$$

ενώ αναλύεται σχηματικά στο Σχήμα 4.3



Σχήμα 4.3 Σχηματική απεικόνιση του υδατικού ισοζυγίου στο Αργολικό πεδίο (Πηγή: Πουλοβασιλίας Α. κα (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα)

Όπως προκύπτει από το παραπάνω σχήμα, στους υδροφόρους σχηματισμούς του Αργολικού πεδίου λαμβάνουν χώρα πολυάριθμες εισροές και εκροές οι οποίες ποικίλουν σημαντικά τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Στις αμέσως επόμενες παραγράφους γίνεται προσπάθεια ποσοτικής εκτίμησης όλων των παραπάνω επιμέρους συνιστωσών.

Οι συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου των υδροφόρων σχηματισμών εκτιμώνται είτε ως μέσες υπερετήσιες τιμές σε συνθήκες μόνιμης ροής είτε σε διακριτά χρονικά βήματα δηλαδή σε συνθήκες μη μόνιμης ροής. Ακόμη υπολογίζονται είτε ως μέσες ενιαίες τιμές σε επίπεδο υδροφόρου ορίζοντα ή υδρολογικής ενότητας, είτε ως διακριτές και κατανεμημένες τιμές στο χώρο.

4.3.2 Εκτίμηση εισροών στους υδροφόρους σχηματισμούς

4.3.2.1 Επιστρεφόμενες αρδευτικές ροές

Στο Αργολικό Πεδίο εφαρμόζονται διαφορετικές ποσότητες νερού άρδευσης ανά εδαφικό τύπο. Μεμονωμένες μετρήσεις έδειξαν ότι σε περιοχές όπου επικρατούν αδρομερή υλικά η ποσότητα νερού άρδευσης ανέρχεται σε 700 – 900

m^3 /στρέμμα/έτος, σε αντίθεση με αργιλώδη εδάφη που απαντούν για παράδειγμα στην περιοχή της Δαλαμανάρας όπου η αντίστοιχη ποσότητα είναι 500 – 600 m^3 /στρέμμα/έτος.

Όπως προέκυψε από τις επιτόπου καταγραφές των μεταβολών της εδαφικής υγρασίας και των κλίσεων του υδραυλικού φορτίου, το περίσσειμα ύδατος σε αργιλώδη εδάφη είναι σχεδόν αμελητέο. Παρόλα αυτά εκτιμάται ότι στα αμμοπηλώδη εδάφη το περίσσειμα ύδατος είναι της τάξης του 10-15% του ύψους του νερού άρδευσης. Δεδομένου ότι τα εδάφη αυτά καταλαμβάνουν έκταση 57500 στρ προκύπτει ότι το περίσσειμα νερού ανέρχεται περίπου σε $7-10 \times 10^6 m^3$ /έτος. Δεδομένου ότι στο κεντρικό και νότιο τμήμα του Αργολικού Πεδίου αναπτύσσεται το «αργιλικό κάλυμμα», με τις πιο συντηρητικές εκτιμήσεις εκτιμάται ότι η παραπάνω ποσότητα αποτελεί κατ ελάχιστον το πλεόνασμα του ύδατος που ακολουθεί η βαθιά διήθηση και καταλήγει στα υπόγεια νερά. Οι τιμές αυτές, όπως προέκυψε και από την παρουσία των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά, εκτιμάται ότι είναι υψηλότερες στα αδρομερέστερα εδάφη που αναπτύσσονται στα περιθώρια της πεδιάδας.

4.3.2.2 Διήθηση χειμαρρικών υδάτων

Είναι η τροφοδοσία των υδροφόρων σχηματισμών από χειμαρρικές απορροές που διηθούνται κυρίως στα ανατολικά περιθώρια της πεδιάδας από τους χειμαρρους Κλεισούρα, Μπέρμπακα, Αμμοριανό και Ραμαντάνη και κατά ένα μέρος από τους χειμαρρους των δυτικών περιθωρίων Κιρίμη, Ξεριά, Ίναχο, χειμαρρο Φιχτίων και Δερβενακιώτη.

Σε μια προσπάθεια εκτίμησης της ποσότητας του νερού που διηθείται από την κοίτη του Ίναχου προς τα υπόγεια νερά μετρήθηκαν οι παροχές του σε διαφορετικά σημεία, ανάντη της γέφυρας Σχινοχωρίου και στη γέφυρα Κουτσοποδίου. Από τις μετρήσεις αυτές προέκυψε ότι οι αντίστοιχες παροχές ήταν $4700 m^3/h$ ενώ προέρχονταν εξολοκλήρου από τις πηγές Σχινοχωρίου. Με βάση τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι στην περίπτωση αυτή $950 m^3/h$ αποτελούσαν τις διηθήσεις του χειμαρρου αυτού προς τα υπόγεια νερά. Οι απορροές του χειμαρρου Ξεριά είναι μικρής διάρκειας και καταλήγουν αμέσως στη θάλασσα χωρίς να εμπλουτίζουν σημαντικά τα υπόγεια νερά. Οι υπόλοιποι χειμαρροι παρουσιάζουν μικρότερες σχετικά απορροές που τις περισσότερες φορές είναι μηδενικές. Επί πλέον δεν παρουσιάζουν διαμορφωμένη κοίτη προς τη θάλασσα και τα νερά τους διηθούνται στα αδρομερή υλικά των ανατολικών και βόρειων περιοχών της πεδιάδας. Συνεπώς εκτιμάται ότι οι απορροές τους καταλήγουν ολοκληρωτικά στα υπόγεια νερά και συνεπώς τα τροφοδοτούν. Ο μοναδικός χειμαρρος των ανατολικών παρυφών της πεδιάδας που παρουσιάζει διαμορφωμένη κοίτη προς τη θάλασσα είναι ο Ραμαντάνης. Και αυτός όμως παρουσιάζει ανάλογη συμπεριφορά με τους προηγούμενους και μόνο μετά από έντονες και παρατεταμένες βροχοπτώσεις οι απορροές του καταλήγουν στη θάλασσα.

Με βάση τα παραπάνω εκτιμάται ότι η συνολική ετήσια τροφοδοσία (έμμεση τροφοδοσία) από τους χειμαρρους για υγρά υδρολογικά έτη είναι της τάξης των $5 \times 10^6 m^3$ από τις οποίες το 50% περίπου αντιστοιχεί στις χρονικά παρατεταμένες απορροές του Ίναχου. Για μέσα όμως υδρολογικά έτη οι συνολικές ετήσιες διηθήσεις νερού από τις κοίτες των χειμαρρων εκτιμάται ότι δεν ξεπερνούν τα $3 \times 10^6 m^3$.

4.3.2.3 Απώλειες αρδευτικών δικτύων

Οι απώλειες νερού από αρδευτικά δίκτυα αποτελούν σε μερικές περιπτώσεις σημαντικές συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου. Το Αργολικό πεδίο διασχίζεται από δύο αρδευτικές διώρυγες, αυτή της Ν. Κίου και η νέα διώρυγα Κιβερίου. Μετρήσεις παροχών που διεξήχθησαν στη νέα διώρυγα Κιβερίου έδειξαν ότι υπάρχουν σημαντικές απώλειες σε δύο βασικά ζώνες, στο σύμφωνο του Άργους και κατά μήκος της διώρυγας από το Άργος μέχρι τη Ν. Τίρυνθα. Σε ορισμένα τμήματα πλησίον των οικισμών Ηρα, Ανυφί, Αγ. Τριάδα και Αργολικό επισημάνθηκαν ρωγματώσεις και καθιζήσεις στην αρδευτική διώρυγα του Κιβερίου ενώ άλλες θέσεις ατελείς στεγανοποιήσεις που ευνοούν τις απώλειες.

Πίνακας 4.1 Μετρήσεις απωλειών νερού (m³/h) στη διώρυγα του Κιβερίου (Πηγή: Πουλοβασιλης Α. κα (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα)

Ημ/νία μέτρησης	Σύμφωνας Άργους	Άργος – Αγ. Τριάδα	Αγ. Τριάδα – Ν. Τίρυνθα	Σύνολο
26/1/1994	920	750	400	2070
10/2/1994	1000	1500	400	2900
8/3/1994	345	-	-	345
16/5/1994	520	630	-	1150
20/3/1998	380	1690	-	2070

Από τις παραπάνω μετρήσεις προκύπτει ότι οι απώλειες νερού της διώρυγας, ιδίως στα πρώτα στάδια της λειτουργίας της ξεπερνούν και το 50% ενώ αυτές σχετίζονται άμεσα και με το υδραυλικό φορτίο του νερού μέσα στα διώρυγα. Η διώρυγα εδράζεται κατά το μεγαλύτερο τμήμα της σε αργιλώδη υλικά τα οποία αφού κορεστούν κατά τα πρώτα στάδια λειτουργίας της, στη συνέχεια οι απώλειες μειώνονται και αποκτούν σταθερό ρυθμό ο οποίος είναι ανάλογος της στάθμης του νερού σε αυτή. Με βάση τα παραπάνω η λειτουργία της διώρυγας για πέντε μήνες περίπου το χρόνο θα σήμαινε απώλειες νερού της τάξης των $5-7 \times 10^6 \text{ m}^3$. Το νερό αυτό άμεσα θα κατέληγε στην πλειοψηφία του στα υπόγεια νερά αφού η διώρυγα στο μεγαλύτερο τμήμα της πεδιάδα ανατολικά του Άργους διέρχεται προσεγγιστικά στα όρια του αργυλικού καλύμματος.

Στη διώρυγα της Νέας Κίου δεν έχουν γίνει σχετικές μετρήσεις. Όμως και εκεί έχουν επισημανθεί στο παρελθόν φαινόμενα αστοχίας τα οποία αντιμετωπίστηκαν και συνεπώς εκτιμάται ότι οι απώλειες νερού σε αυτή είναι ασήμαντες έως μηδαμινές.

4.3.2.4 Τεχνητός εμπλουτισμός

4.3.2.4.1 Εισαγωγή

Ο τεχνητός εμπλουτισμός αποτελεί διεθνώς την ενδεικνυόμενη πρακτική αντιμετώπισης ποσοτικών και ποιοτικών προβληματισμών που έχουν επέλθει από τη διατάραξη του υδατικού ισοζυγίου υπόγειων υδροφόρων σχηματισμών. Η μέθοδος αυτή παρόλο ότι έχει υιοθετηθεί στο Αργολικό πεδίο από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, συνεχίζει να προσελκύει το επιστημονικό και πολιτικό ενδιαφέρον και για το λόγο αυτό σχολιάζεται περισσότερο στα πλαίσια της παρούσας έρευνας.

Κατά τη διάρκεια αναγνωριστικών εργασιών, ο Αρώνης (1962) επισημαίνει ότι «..η λύση του αρδευτικού προβλήματος του Αργολικού πεδίου δύναται να

επιτευχθεί δια της συντονισμένης εκμεταλλεύσεως των πηγαίων, επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της περιοχής...». Με γραφικό τρόπο προτείνει, «...το ύδωρ του Κεφαλαρίου, θα διοχετεύεται, εις τα ένθεν φρέατα της διαδρομής Άργους – Μπέρμπακα δια των εκατέρωθεν της οδού αυλάκων, οι οποίοι πρέπει να διευρυνθούν και να εκβαθυνθούν. Επειδή η οδός διέρχεται δια γεφυρών θα απαιτηθεί η κατασκευή υδρογεφυρών εις τα αντίστοιχα σημεία δια την διοχέτευσης του ύδατος. Εκ παραλλήλου προς τα ιδιωτικά φρέατα, εντός των οποίων θα γίνεται παροχέτευσις του ύδατος του Κεφαλαρίου δια βαρύτητας, θα ανορυχθούν εις την αυτήν διαδρομήν και νέα μεγάλα φρέατα μετά στοών, εις θέσεις όπου η περατότης του εδάφους είναι υψηλή...»

Μετά από διάφορες προκαταρκτικές εργασίες, τον Απρίλιο του 1962 συστάθηκε αποτελούμενη από εκπρόσωπους των ενδιαφερόμενων Υπουργείων η οποία κατάρτισε ένα γενικό πρόγραμμα ερευνητικών εργασιών και μελετών για τον καθορισμό των υδατικών πόρων της λεκάνης του Αργολικού Πεδίου και την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης των υδροφόρων οριζόντων.

Στη συνέχεια το ΥΠ.ΓΕ έχοντας υπόψη όλα τα χαρακτηριστικά των υδατικών συστημάτων της περιοχής, έθεσε τις βάσεις ενός σχεδιασμού αξιοποίησής τους έτσι ώστε να καλύπτονται οι αρδευτικές ανάγκες της περιοχής αλλά παράλληλα να εξασφαλίζεται και μια βιώσιμη αρδευόμενη γεωργία. Ο σχεδιασμός αυτός προέβλεπε ότι τα υπόγεια νερά με κατάλληλη διαχείριση και εμπλουτισμό θα εξακολουθούσαν να είναι η βασική πηγή νερού άρδευσης. Προέβλεπε επίσης τη χρησιμοποίηση εαρινών και θερινών παροχών των πηγών Λέρνης και Κεφαλαρίου για άρδευση καθώς και την περιορισμένη χρήση του νερού Κιβερίου λόγω της αμφίβολης ποιότητάς τους.

Ο εμπλουτισμός των υδροφόρων σχηματισμών θα γινόταν με τα χειμερινά νερά του Κεφαλαρίου και η μεταφορά τους στην πεδιάδα θα γινόταν με ελεύθερη ροή αφού η πηγή εκβάλλει σε υψόμετρο 24 m περίπου, και δευτερευόντως με χειμερινά νερά της Λέρνης που η μεταφορά τους απαιτεί ανύψωσή τους με άντληση. Τα πρώτα πειράματα τεχνητού εμπλουτισμού έγιναν το 1964 στην περιοχή του Αγ. Ανδριανού, Λευκακίων, Ασίνης και Δρεπάνου. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε σωληνωτός αγωγός για την μεταφορά νερών του Κεφαλαρίου και δευτερευόντα δίκτυα παροχέτευσης του νερού σε υπάρχοντα φρέατα και γεωτρήσεις των παραπάνω περιοχών. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών ήταν πολύ ενθαρρυντικά ενώ η άμεση βελτίωση της ποιότητας των υπόγειων νερών είχε ευεργετική επίδραση στα εσπεριδοειδή. Αργότερα όμως, όπως αναφέρθηκε προηγουμένα, επικράτησε η αντίληψη ότι η κύρια πηγή νερού άρδευσης θα ήταν οι πηγές Κιβερίου και σχεδιάστηκε η διώρυγα μεταφοράς των νερών τους στην Αργολική πεδιάδα. Ο αρχικός σχεδιασμός της διώρυγας δεν προέβλεπε τη διασύνδεσή της με την πηγή του Κεφαλαρίου. Με παρέμβαση ειδικών γύρω στο 1980 εξασφαλίστηκε η διασύνδεση αυτή και κατέστη δυνατή η μεταφορά προς την πεδιάδα και νερού άριστης ποιότητας. Από το 1990 και μετά άρχισαν και πάλι πειράματα εμπλουτισμού με νερά της πηγής του Κεφαλαρίου που μεταφέρονταν στην πεδιάδα με τη διώρυγα της Νέας Κίου (βλ. Γιαννουλόπουλος και Πουλοβασίλης, 1999). Οι λεπτομερείς εργασίες καθώς και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των δύο αυτών φάσεων εμπλουτισμού περιγράφονται στη συνέχεια.

4.3.2.4.2 1^η Φάση εμπλουτισμού

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, πειράματα εμπλουτισμού έγιναν για πρώτη φορά το 1964 στην περιοχή του Αγ. Ανδριανού, Λευκακίων, Ασίνης και Δρεπάνου. Ο

Θάνος (1994) περιγράφει λεπτομερώς τις διάφορες φάσεις του εμπλουτισμού κατά την περίοδο αυτή (1964-1968). Για την εφαρμογή του κατασκευάστηκε σωληνωτός αγωγός για τη μεταφορά νερού του Κεφαλαίου στις παραπάνω περιοχές. Ο αγωγός αυτός τροφοδοτούσε υπάρχοντα αρδευτικά δίκτυα από τα οποία το νερό με πλαστικούς σωλήνες κατέληγε πάντα κάτω από την υπάρχουσα στάθμη των φρεάτων για να αποφεύγεται η δημιουργία φυσαλίδων αέρα οι οποίες θα ήταν δυνατό να εκφράζουν τους πόρους των υδροφόρων σχηματισμών στο άμεσο περιβάλλον των φρεάτων.

Ο τεχνητός εμπλουτισμός της περιόδου 1964 άρχισε από το Μάιο και ήταν μικρής διάρκειας λόγω έλλειψης νερού εξ αιτίας της χρησιμοποίησης των εαρινών παροχών του Κεφαλαρίου για αρδύσεις. Επαναλήφθηκε το Φεβρουάριο του 1965 σε ευρύτερη κλίμακα και ήταν διάρκειας τριών μηνών περίπου. Το δίκτυο εμπλουτισμού περιελάμβανε 22 φρέατα στην περιοχή Πολυγώνου – Άριας, 6 φρέατα στα Λευκάκια και 25 φρέατα στην Ασίνη και Δρέπανο(βλ. Πίνακα 4.2)

Πίνακας 4.2 Ποσότητες νερού εφαρμόστηκαν για τεχνητό εμπλουτισμό την περίοδο 1965-67

(Πηγή: Πουλοβασίλης Α. κα (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα)

Έτος	Περιοχή	Φρέατα	Ποσ. Νερού (m ³)	Ημέρες
1965	Πολύγωνο	22	320000	90
	Ασίνη-Δρέπανο	25	736000	90
	Λευκάκια	6	104000	90
	ΣΥΝΟΛΟ	53	1160000	
1966	Πολύγωνο	5	54000	60
	Ασίνη-Δρέπανο	36	471000	60
	Λευκάκια	11	220000	60
	ΣΥΝΟΛΟ	52	745000	
1967	Άρια	διάφορα	70000	120
	Αγ. Ανδριανός		150000	120
	Ασίνη-Δρέπανο		950000	120
	Λευκάκια		220000	120
			1390000	

Το 1966 ο εμπλουτισμός άρχισε πάλι το Φεβρουάριο και ήταν διάρκειας 60 ημερών.

Τα εμπλουτιζόμενα φρέατα ήταν κατανεμημένα στις περιοχές Πολυγώνου – Άριας (5 φρέατα), Λευκακίων (11 φρέατα) και Ασίνης-Δρεπάνου (36 φρέατα). Το νερό και στην περίπτωση αυτή δεν επαρκούσε για να καλύψει την απορροφητική ικανότητα των φρεάτων.

Από το Δεκέμβριο του 1966 μέχρι τον Απρίλιο του 1967 ο εμπλουτισμός επαναλήφθηκε για 120 ημέρες σε στάδιο πλέον πρακτικής εφαρμογής, με δαπάνες του ΤΟΕΒ υπό τις οδηγίες της ΥΠΓΕ, στις περιοχές Άριας, Αγ. Ανδριανού, Λευκακίων, Ασίνης και Δρεπάνου. Στην περίπτωση αυτή τα φρέατα εμπλουτισμού δεν ήταν σταθερά αλλά πολλά από αυτά άλλαζαν συνέχεια. Τέλος την Άνοιξη του 1968 ο ΓΟΕΒ επανέλαβε τον τεχνητό εμπλουτισμό σε επίπεδο πρακτικής εφαρμογής με οδηγίες της ΥΕΒ του ΥΠΓΕ.

Πριν από την έναρξη του εμπλουτισμού μετρήθηκαν οι στάθμες και η συγκέντρωση των χλωριόντων σε όλα τα φρέατα εμπλουτισμού και παρατηρήσεων.

Κατά τη διάρκεια του εμπλουτισμού καταγράφονταν επίσης τακτικά η παροχή εμπλουτισμού σε κάθε φρέατο καθώς και οι στάθμες και η συγκέντρωση των χλωριόντων στα παραπάνω φρέατα σε ημερήσια βάση. Τα δεδομένα όμως αυτά δεν βρέθηκαν. Οι συνολικές ποσότητες νερού που εφαρμόστηκαν για τεχνητό εμπλουτισμό τα έτη 1965, 1966 και 1967 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2

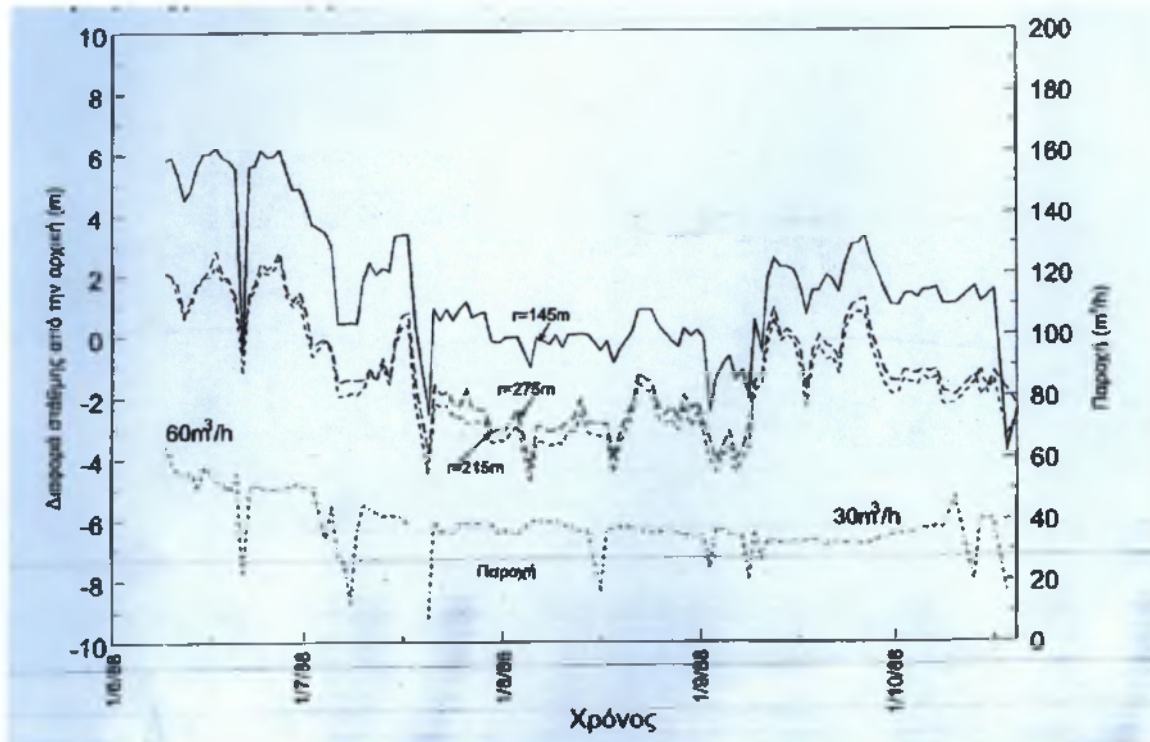
Παρατηρήθηκε ότι τα φρέατα εμπλουτισμού στην περιοχή της Ασίνβης και ιδιαίτερα στις αδρομερείς αποθέσεις του Δαφνοπόταμου στις παρυφές της πεδιάδας είχαν πολύ μεγαλύτερη απορροφητική ικανότητα από αυτά της περιοχής του Πολυγώνου. Ακόμη παρατηρήθηκε ότι ο ρυθμός απορρόφησης σε φρέατα κοντά στην παραλία ήταν μικρότερος από αυτόν που επιτεύχθηκε σε άλλα κείμενα μακρύτερα. Επίσης παρατηρήθηκε ότι με την πάροδο του χρόνου η απορροφητική ικανότητα των φρεάτων ελαττωνόταν. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανότερα στην άνοδο της στάθμης των υπόγειων νερών και συνεπώς στην μικρότερη διαφορά δυναμικού μεταξύ της στάθμης του φρέατος και αυτής του υδροφόρου ορίζοντα και όχι στην απόφραξη των πόρων δεδομένου ότι το νερό ήταν διαυγές.

Η μέση απορροφητική ικανότητα των φρεάτων προέκυψε ότι κυμάνθηκε από 10m³/h τις περισσότερες περιοχές μέχρι 30 m³/h στην περιοχή της Ασίνης και ιδιαίτερα του χείμαρρου Δαφνοπόταμου.

4.3.2.4.3 2^η Φάση εμπλουτισμού

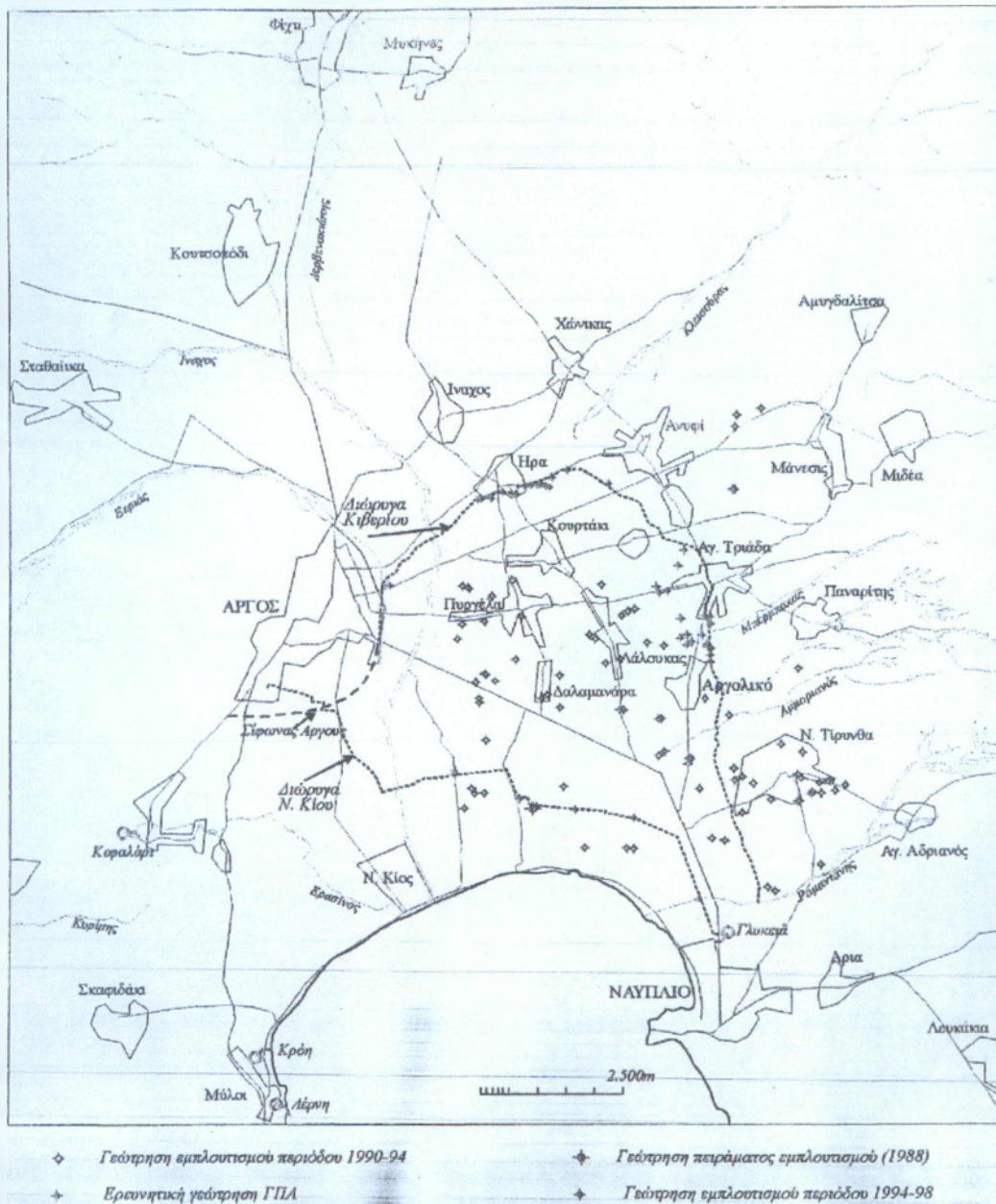
Το καλοκαίρι του 1988 στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος (Πουλοβασίλης κ.α 1996) το εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του ΓΠΑ, διενέργησε πείραμα εμπλουτισμού σε γεώτρηση που βρίσκεται στην χαμηλή περιοχή του Αργολικού πεδίου (βλ./ Σχήμα 4.5). Στη γεώτρηση αυτή εισέρεε νερό από την παρακείμενη διώρυγα της Νέας Κίου για διάστημα τεσσάρων μηνών περίπου. Η συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε στη γεώτρηση αυτή ήταν 100.000 m³ περίπου. Η γεώτρηση ήταν εφοδιασμένη με υδρομετρητή και το εισρεόμενο νερό (με σιφωνισμό) ήταν μίγμα νερού των πηγών Κιβερίου και Κεφαλαρίου. Η παροχή εμπλουτισμού καταγραφόταν καθημερινά (με χρήση σταθμημέτρου) όπως επίσης και η στάθμη σε τρεις γεωτρήσεις που βρίσκονταν σε αποστάσεις 145, 215 και 275 m. Στο Σχήμα 4.4 φαίνεται γραφικά η διακύμανση της παροχής εμπλουτισμού καθώς και της στάθμης στις παρακείμενες γεωτρήσεις. Η παροχή εμπλουτισμού ήταν αρχικά 65 m³/h ενώ σύντομα μειώθηκε στα 40 -50 m³/h. Το γεγονός αυτό αποδίδεται περισσότερο στην άνοδο της στάθμης των υπόγειων νερών που είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της υδραυλικής κλίσης μεταξύ της διώρυγας και της πιεζομετρικής επιφάνειας του υποκείμενου υδροφόρου σχηματισμού και λιγότερο σε κάποια πιθανή έμφραξη των πόρων αφού το νερό φιλτραριζόταν.

Στα πλαίσια του παραπάνω ερευνητικού προγράμματος έγιναν επίσης 10 γεωτρήσεις κατά μήκος της διώρυγας της Νέας Κίου κατανεμημένες σε τέσσερα διαφορετικά ζεύγη γεωτρήσεων που βρίσκονται σε αποστάσεις 1000 - 2000 m μεταξύ τους από τον χείμαρρο Ίναχο μέχρι το Ραμαντάνη (βλ. Σχήμα 4.5). Η διάνοιξη των γεωτρήσεων αυτών αποσκοπούσε στη συγκέντρωση στοιχείων σχετικά με τις υδραυλικές ιδιότητες των υδροφόρων σχηματισμών καθώς και τη δημιουργία, μετά την απομάκρυνση του υφάλμυρου νερού, ενός μετώπου υψηλών πιέσεων με εμπλουτισμό.



Σχήμα 4.4 Σχετική διακύμανση της στάθμης σε παρακείμενες γεωτρήσεις κατά τη διάρκεια περάματος εμπλουτισμού.
(Πηγή: Πουλοβασίλης Α. κα (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα)

Η δεύτερη ουσιαστική φάση τεχνητού εμπλουτισμού άρχισε το 1990 μετά από τις έντονες και παρατεταμένες ανομβρίες που επικράτησαν την περίοδο 1998 -90. Αρχικά εμπλουτισμός εφαρμόστηκε σε 130 ιδιωτικές γεωτρήσεις και φρέατα (βλ. Σχήμα 4.5) σε ευρύτερη πλέον ζώνη από αυτή της πρώτης φάσης που κάλυπτε όχι μόνο τις περιοχές της Ασίνης - Δρεπάνου - Λευκανκίων αλλά κυρίως όλη τη χαμηλή περιοχή του Αργολικού πεδίου από το Ναύπλιο και την Νέα Τίρυνθα μέχρι τη Νέα Κίο και βορειότερα. Η τροφοδοσία των γεωτρήσεων αυτών γινόταν αποκλειστικά από τη διώρυγα της Νέας Κίου με νερό Κεφαλαρίου, με λειτουργία αντλιοστασίων και προώθηση του νερού σε γεωτρήσεις και σε φρέατα εμπλουτισμού.

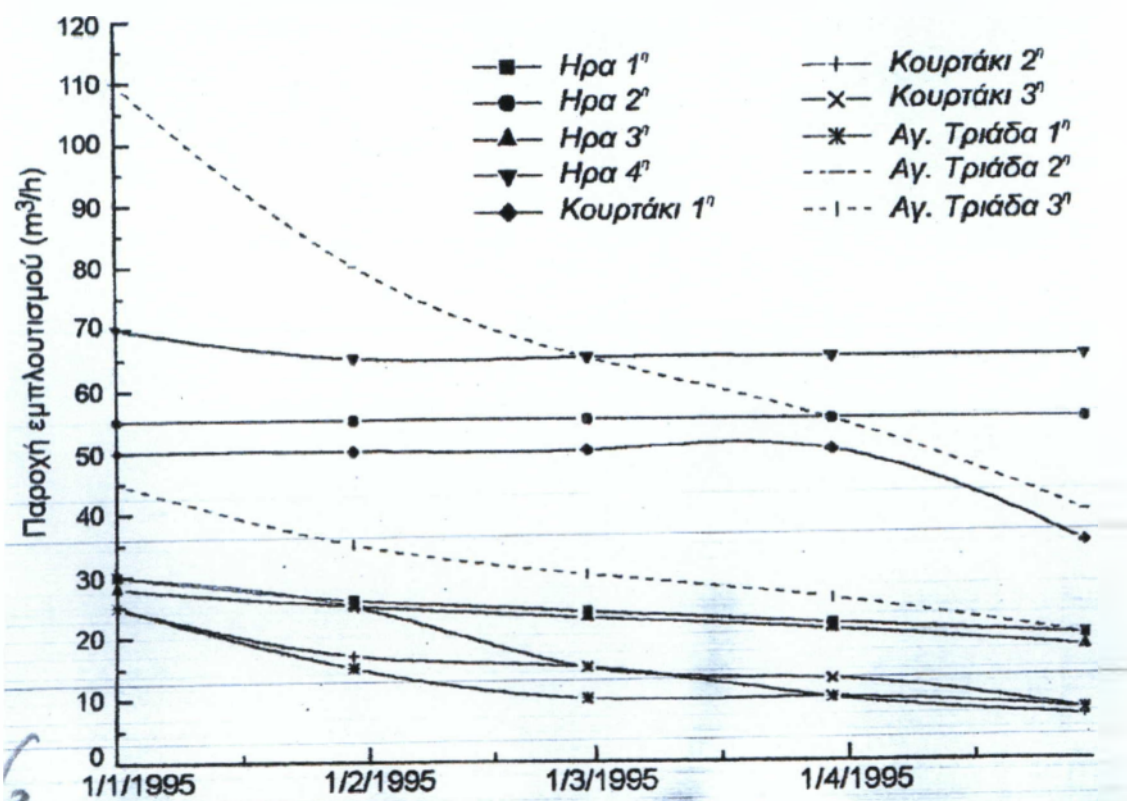


Σχήμα 4.5 Θέσεις γεωτρήσεων εμπλουτισμού περιόδου 1990 – 98
(Πηγή: Πουλοβασιλής Α. κα (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα)

Το πρόγραμμα αυτό του εμπλουτισμού συνεχίστηκε μέχρι και το 1994. Στη συνέχεια με την περάτωση των εργασιών κατασκευής της νέας διάωρυγας Κιβερίου, την Άνοιξη του 1994 εφαρμόστηκε τεχνητός εμπλουτισμός σε ιδιωτικές γεωτρήσεις κατά μήκος της διάωρυγας αυτής σε ποσότητες νερού μεγαλύτερες από αυτές που εφαρμόζονταν τα προηγούμενα έτη. Έτσι από το 1994 και μετά ο εμπλουτισμός άρχισε να γίνεται σχεδόν αποκλειστικά από τη νέα διάωρυγα Κιβερίου, με νερά της πηγής Κεφαλαρίου, σε παρακείμενες γεωτρήσεις με φυσική ροή και σιφωνισμό νερού από τη διάωρυγα ενώ η τροφοδοσία γεωτρήσεων και φρεάτων από τη διάωρυγα της Νέας Κίου περιορίστηκε στην περιοχή της Ασίνης – Δρεπάνου. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μετατόπιση της ζώνης εμπλουτισμού βορειότερα και την δυνατότητα εφαρμογής μεγαλύτερης ποσότητας νερού χωρίς κατανάλωση ενέργειας και συνεπώς με μηδαμινό κόστος.

Η αναγκαιότητα για άμεση αύξηση της δυναμικότητας των υπογείων νερών της περιοχής καθώς και τα πρώτα ικανοποιητικά αποτελέσματα του τεχνητού εμπλουτισμού, όχι μόνο αυτά που σχετίζονται με τις τελευταίες εργασίες αλλά και αυτά της πρώτης φάσης (1964-68), ενθάρρυνε τους τοπικούς αγροτικούς συνεταιρισμούς και προέβηκαν στη διάνομιση 10 γεωτρήσεων εμπλουτισμού σε τρεις περιοχές κατά μήκος της νέας διώρυγας Κιβερίου στους οικισμούς Ήρας, Κουρτακίου και Αγ. Τριάδας.

Έτσι αυξήθηκε σημαντικά η δυνατότητα τεχνητής τροφοδοσίας των υδροφόρων σχηματισμών. Οι παροχές εμπλουτισμού σε αυτές τις γεωτρήσεις καθώς και η μεταβολή τους με το χρόνο παρουσιάζονται γραφικά στο Σχήμα 4.6



Σχήμα 4.6 Παροχές γεωτρήσεων εμπλουτισμού
(Πηγή: Πουλοβασιλής Α. κα (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα)

Ανάλογες διακυμάνσεις στην παροχή εμπλουτισμού παρατηρήθηκαν και τα επόμενα έτη, γεγονός που επιβεβαιώνει και σε αυτή την περίπτωση ότι η μείωση της παροχής εμπλουτισμού, σε μερικές γεωτρήσεις αποδίδεται όχι στην έμφραξη των πόρων στο άμεσο περιβάλλον των τοιχωμάτων των γεωτρήσεων αλλά στη μείωση της υδραυλικής κλίσης μεταξύ της στάθμης στη διώρυγα και της στάθμης του υδροφόρου σχηματισμού στο άμεσο περιβάλλον της γεώτρησης. Παρόλα αυτά, εντυπωσιακή είναι η σταθερότητα της παροχής εμπλουτισμού σε διάφορες γεωτρήσεις. Επισημαίνεται ότι σε μερικές από αυτές (π.χ. στη 2ª της Ήρας) οι παροχές εμπλουτισμού δεν αντιπροσωπεύουν τις μέγιστες δυνατές παροχές αλλά τις παροχές που επέτρεπε η διατομή του αγωγού τροφοδοσίας από διώρυγα στη γεώτρηση.

Οι ποσότητες νερού που εφαρμόστηκαν την περίοδο 1990-98 για τεχνητό εμπλουτισμό μετρήθηκαν τόσο με χρήση υδρομετρητών που είχαν τοποθετηθεί σε

αντιπροσωπευτικές γεωτρήσεις όσο και με μετρήσεις της παροχής που διοχετεύονταν στην πεδιάδα από τη διώρυγα Κιβερίου.

Παρατηρήθηκε ότι η διώρυγα Κιβερίου σε διάφορα στάδια της λειτουργίας της παρουσίαζε σημαντικές απώλειες. Σχετικές μετρήσεις (βλ. Πίνακα 4.6) έδειξαν ότι οι απώλειες αυτές μειώνονται σε σχέση με το χρόνο παρουσίας νερού στη διώρυγα και επίσης εξαρτώνται και από τη στάθμη νερού σε αυτή.

Με βάση τα στοιχεία αυτά και θεωρώντας ότι οι απώλειες από τη διώρυγα Κιβερίου ανέρχονται κατά μέσο όρο στο 50% περίπου, οι ποσότητες νερού που εφαρμόστηκαν από το 1990 μέχρι το 1998 για εμπλουτισμό στο Αργολικό πεδίο διαμορφώνονται σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Ποσότητες νερού (m³) που εμφανίστηκαν για τεχνητό εμπλουτισμό την περίοδο 1990-98
(Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Έτος	Διώρυγα Ν. Κίου	Διώρυγα Κιβερίου		Σύνολο
		Εμπλουτισμός σε γεωτρήσεις	Εκτιμώμενες απώλειες	
1990	3.094.000	-	-	3.094.000
1991	6.930.000	-	-	6.930.000
1992	5.685.370	-	-	5.685.370
1993	3.890.000	-	-	3.890.000
1994	4.500.000	4.750.000	4.750.000	14.000.000
1995	-	6.800.000	6.800.000	13.600.000
1996	-	3.610.000	3.610.000	7.220.000
1997	-	1.000.000	3.000.000	4.000.000
1998	598.920	1.980.000	2.330.000	4.908.920
ΣΥΝΟΛΟ	24.698.290	18.140.000	20.490.000	63.328.290

Από δεδομένα αυτά προκύπτει ότι από τις ποσότητες νερού που διοχετεύονται στη διώρυγα Κιβερίου ένα μόνο μέρος καταλήγει στα υπόγεια νερά μέσω γεωτρήσεων εμπλουτισμού (άμεσος εμπλουτισμός) ενώ μια εξίσου σημαντική ποσότητα αποτελεί τις διαρροές σημαντικό μέρος των οποίων καταλήγει μοιραία στα υπόγεια νερά.

4.3.2.5 Εισροή της θάλασσας

Η ποσότητα αυτή αποτελεί βασική συνιστώσα στο υδατικό ισοζύγιο γιατί υπεισέρχεται στο βασικό μηχανισμό υποβάθμισης των υπόγειων νερών την «υφαλμύρωση». Η ποσοτική της εκτίμηση απαιτεί ανάλυση με εφαρμογή του νόμου του Darcy. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η παραλιακή ζώνη, ή η ζώνη υφαλμύρωσης, χωρίζεται σε διακριτές ζώνης γνωστής υδραυλικής αγωγιμότητας, υδραυλικής κλίσης και πάχους του υδροφόρου ορίζοντα. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο νόμο του Darcy και εκτιμάται ποσοτικά η κίνηση του υπόγειου νερού (εισροή της θάλασσα) στη μονάδα του χρόνου στις παραπάνω συνθήκες. Οι εισροές αυτές βέβαια ποικίλουν χρονικά ανάλογα με τις υδραυλικές κλίσεις που επικρατούν στην παραλιακή ζώνη αφού η ροή δεν λαμβάνει χώρα σε συνθήκες μόνιμης ροής αλλά σε συνθήκες μη μόνιμης ροής.

4.3.2.6 Υπόγειες πλευρικές τροφοδοσίες

Λαμβάνουν χώρα κυρίως στο δυτικό ασβεστολιθικό μέτωπο του Αργολικού Πεδίου. Η εκτίμηση των πλευρικών εισροών σε ένα υδροφόρο σχηματισμό αποτελεί, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση της εισροής της θάλασσας, ένα υδραυλικό πρόβλημα μη μόνιμης ροής και απαιτεί ανάλογη μεθοδολογία υπολογισμού.

Στις μέχρι τώρα έρευνες δεν έχει γίνει καμιά σημαντική προσπάθεια υπολογισμού των πλευρικών εισροών στους υδροφόρους σχηματισμούς του Αργολικού πεδίου. Οι περισσότεροι ερευνητές που ασχολήθηκαν με το πρόβλημα του Αργολικού πεδίου αντιμετώπιζαν τις εισροές νερού στο σύνολό τους χωρίς να διακρίνουν τις κατακόρυφες από τις πλευρικές τροφοδοσίες.

Οι πλευρικές όμως εισροές διακρίνονται σε εισροές από την θάλασσα και σε εισροές από γειτονικούς καρστικούς υδροφόρους σχηματισμούς που αναπτύσσονται στο περιβάλλον της πεδιάδας. Θεωρώντας τις εισροές από τη θάλασσα μικρές σε σχέση με τις υπόλοιπες πλευρικές εισροές εκτιμάται ότι οι μέσες ετήσιες πλευρικές εισροές δεν πρέπει να ξεπερνούν τα $30-40 \times 10^6 \text{m}^3/\text{έτος}$. Οι εκτιμήσεις αυτές αποτελούν μια πρώτη προσέγγιση των πλευρικών εισροών στους υδροφόρους σχηματισμούς του Αργολικού πεδίου.

4.3.3 Εκτίμηση εκροών των υδροφόρων σχηματισμών

4.3.3.1 Γεωτρήσεις άρδευσης

Οι τρέχουσες αρδευτικές ανάγκες στο Αργολικό πεδίο καλύπτονται στην πλειοψηφία τους από υπόγεια νερά και κατά ένα μέρος από πηγαία νερά (πηγές Κιβερίου, Κεφαλαρίου και Λέρνη). Η εξέλιξη της αρδευόμενης γεωργίας στην περιοχή συνδέεται άμεσα με την αύξηση της κατανάλωσης νερού από τα υπόγεια νερά.

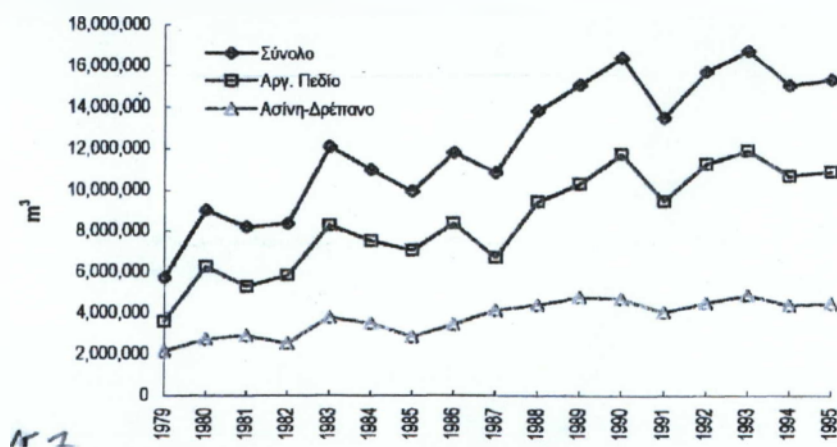
Το 1937 οι αρδευόμενες εκτάσεις ήταν 56.000 στρ. από τα οποία τα 42.000 στρ. αρδεύονταν με υπόγεια νερά και τα 17.000 στρ. με πηγαία νερά.

Πίνακας 4.4 Κατανομή φρεάτων και εκτιμώμενες αρδευτικές ανάγκες στο Αργολικό πεδίο (Αναστασιάδης, 1964, ΥΕΒ, Αναγνωστόπουλος και Γαλάνης, 1938)

ΔΗΜΟΣ - ΚΟΙΝ	1938	1963	1964	1965	1966	1938	1963
	Ολ. Αρ. γεωτρ. Και φρ.					Καταν. νερού [m ³ /έτος(x103)]	
Αγ. Ανδριανός	10	100	58	70	85		1700
Αγ. Τριάδα	170	330	260	284	315		2500
Ανυφί	135	386	283	312	350		2000
Αργολικό	100	325	304	261	166		2700
Άργος	307	940	877	897	760		8400
Άρια	55	236	144	161	226		2300
Δαλαμανάρα	300	350	223	241	220		4000
Ελληνικό							
Ήρα		189	139	151	159		2000
Ήραίο							
Ίναχος	290	320	168	278	205		4550
Κεφαλάρι		90					1400

Κουρτάκι	75	160	156	158	147		1600
Κουτσοπόδι	250	383	284	267	250		10000
Λάλουκας	120	212	196	199	196		2000
Μάνεσι		15	22	19	18		300
Μιδέα		10		4	6		150
Μοναστηράκι				21	35		
Μυκίνες	10	108	37	8	10		1000
Μύλοι	1	36	29	31	29		1200
Ν. Κίος	110	310	220	230	245		4000
Ν. Τίρυνθα	75	313	258	251	324		5000
Ν. Ροινό							
Ναύπλιο		126	161	165	25		1000
Παναρίτης	9	64	63	64	52		800
Πουλακίδα	35	124	97	102	80		1500
Πυργέλα	100	197	203	207	200		2400
Πυργιώτικα		30	31	32	31		400
Σκαφιδάκι		50	32	29	31		1000
Φίχτι	6	68	29	35	30		1100
Χώνικας	120	191	146	141	160		3500
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	2.278	5.663	4.420	4.618	4.355	32.000	68.500

Μέχρι το 1966, ο συνολικός αριθμός των φρεάτων αυξήθηκε στα 7.355 από τα οποία το 80% περίπου ήταν εκβαθύνσεις πηγαίων (πίνακας 4.4). Η ετήσια αντλούμενη ποσότητα υπόγειου νερού το 1963 ήταν 68.500 m³, η αρδευόμενη έκταση 107.400 στρέμματα και ετήσια κατανάλωση ενέργειας 6.654.100 kWh (Αναστασιάδης, 1964). Ο συνολικός αριθμός των φρεάτων καθώς και η αναλυτική κατανομή της κατανάλωσης του αρδευτικού νερού παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.4



Σχήμα 4.7 Ετήσια κατανάλωση νερού από τη διώρυγα της Ν. Κίου (1979 – 95)

(Πηγή: ΓΟΕΒ Αργολίδας)

4.3.3.2 Γεωτρήσεις ύδρευσης

Οι υδρευτικές ανάγκες της πόλης του Ναυπλίου, της περιοχής Ασίνης – Δρεπάνου – Τολού καθώς και των οικισμών Άριας και Πυργιώτικα καλύπτονται

αποκλειστικά από την πηγή Κρόη. Επίσης μια επιπλέον ποσότητα νερού της τάξεως των $200\text{m}^3/\text{h}$ έχει δεσμευτεί παλαιότερα με απόφαση του Νομάρχη Αργολίδας για ενίσχυση της ύδρευσης των παραπάνω περιοχών.

Η πόλη του Άργους καλύπτει τις ανάγκες της σε ύδρευση σχεδόν ολοκληρωτικά από γεωτρήσεις που έχουν δυτικά της πόλης στους καρστικούς Κρητιδικούς Ασβεστόλιθους και μόνο κατά τη διάρκεια κυρίως του καλοκαιριού συμπληρωματικά τις ενισχύει από τη πηγή της Κρόης.

Όλες οι υπόλοιπες κοινότητες και οικισμοί της πεδιάδας καλύπτουν τις ανάγκες τους σε νερό ύδρευσης από υδρογεωτρήσεις που έχουν γίνει στα Τεταρτογενή ιζήματα της πεδιάδας.

Από πληροφορίες αρμόδιων φορέων (ΔΕΥΑΡ), εκτιμάται ότι η κατανάλωση του νερού ύδρευσης από την πηγή της Κρόης ανέρχεται σε $3-4 \times 10^6 \text{m}^3/\text{έτος}$ ενώ το υπόγειο νερό ύδρευσης συμπεριλαμβανομένου και αυτού της πόλης του Άργους που είναι καρστικό ανέρχεται σε $5-8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{έτος}$.

4.3.3.3 Αντιπαγετική προστασία

Ο παγετός αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τις καλλιέργειες και αντιμετωπίζεται είτε με ανεμομίκτες είτε με καταιονισμό. Όλες σχεδόν οι γεωτρήσεις είναι εξοπλισμένες με θερμοστάτη και τίθεται αυτόματα σε λειτουργία όταν η θερμοκρασία του αέρα πέσει κάτω από το μηδέν. Έχει εκτιμηθεί από στοιχεία της ΔΕΗ ότι πολλές φορές ο ρυθμός άντλησης για αντιπαγετική προστασία είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό άντλησης για άρδευση. Ποσοτικά όμως στοιχεία για το ύψος των αντλήσεων αυτών δεν υπάρχουν και γενική εκτίμηση είναι ότι οι ποσότητες νερού που εφαρμόζονται για αντιπαγετική προστασία ανέρχονται κατά μέσο όρο σε 25% του νερού άρδευσης. Με βάση τα παραπάνω οι απαιτήσεις νερού για αντιπαγετική προστασία εκτιμάται ότι κυμαίνονται μεταξύ $0-15 \times 10^6 \text{m}^3/\text{έτος}$ περίπου.

4.3.3.4 Έξοδος στη θάλασσα

Το τμήμα της ακτής μεταξύ των οικισμών Ν. Κίου και Μύλων στις περισσότερες περιπτώσεις παρατηρείται μια σαφής υδραυλική κλίση προς τη θάλασσα. Η περιοχή παρουσιάζει κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα περίσσια ύδατος με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σχετικά υψηλές στάθμες του υπόγειου νερού και εκφόρτισή του προς τη θάλασσα σε διάφορα σημεία.

4.3.3.5 Έξοδος σε πηγές και Τριμέρια

Οι τροφοδοσία σε κάποιο υδροφόρο σχηματισμό κάτω από συνθήκες φυσικής ισορροπίας όταν δεν λαμβάνει χώρα άντληση, προϋποθέτει και την εκφόρτισή του σε φυσικούς αποδέκτες όπως η θάλασσα, τα ποτάμια (συντηρώντας την βασική ροή τους) και οι πηγές. Η εκφόρτιση του υπογείου από τους υδροφόρους ορίζοντες του Αργολικού Πεδίου συνήθιζε να γίνεται οριζόντια προς τη θάλασσα και στην πηγή Γλυκιά, ενώ σε περιπτώσεις υγρών υδρολογικών περιόδων εκδηλώνονταν με τη εμφάνιση Τριμεριών.

Η πηγή Γλυκιά βρίσκεται στους πρόποδες του λόφου Πρ. Ηλίας κοντά στο Ναύπλιο.

Τα Τριμέρια έχουν περιγραφεί ως περιοχές μέσα στην πεδιάδα όπου η στάθμη του υπόγειου νερού συνήθιζε να είναι υψηλή με υδροχαρή βλάστηση. Κατά το καλοκαίρι ήταν 20cm περίπου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και κατά το

χειμώνα από τον Ιανουάριο μέχρι το Μάιο εμφανίζονταν λιμνάζοντα ύδατα και γενικά οι καλλιέργειες ήταν αδύνατες. Η παρουσία τους όμως δεν ήταν μόνιμη και παρουσία έξαρση κατά τα έτη 1913, 1918, 1922, 1927 και 1936.

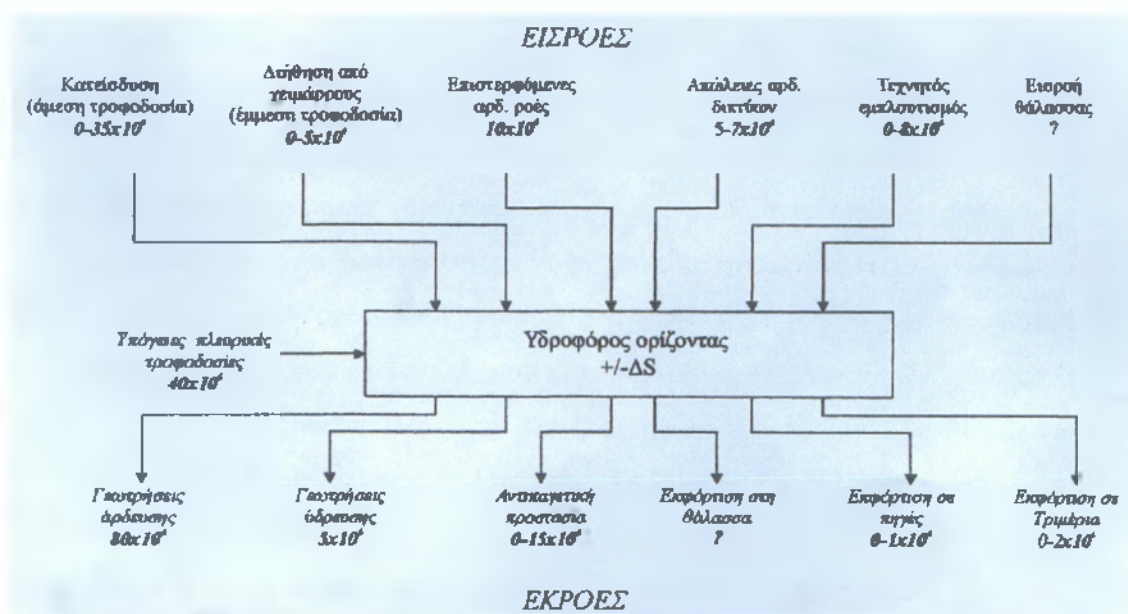
4.4 Περίληψη-συμπέρασμα

Στο παρόν κεφάλαιο έγινε μια προσπάθεια εκτίμησης του υδατικού ισοζυγίου των υδροφόρων σχηματισμών του Αργολικού πεδίου.

Το υδατικό ισοζύγιο των υδροφόρων σχηματισμών

Αφού διερευνήθηκαν όλες οι πιθανές εισροές και εκροές νερού στους υδροφόρους σχηματισμούς, στη συνέχεια έγινε μια προσπάθεια ποσοτικού προσδιορισμού της κάθε επιμέρους συνιστώσας ξεχωριστά.

- Οι εισροές νερού περιλαμβάνουν, κατείσδυση από το νερό της βροχής, διήθηση νερών χειμάρρων, επιστροφόμενες αρδευτικές ροές, απώλειες δικτύων άρδευσης, τεχνητό εμπλουτισμό, εισροές από τη θάλασσα καθώς και πλευρικές εισροές από γειτονικούς υδροφόρους σχηματισμούς.
- Οι εκροές νερού λαμβάνουν χώρα από, γεωτρήσεις άρδευσης, γεωτρήσεις ύδρευσης, αντλήσεις για αντιαετική προστασία, εκροές στη θάλασσα και σε ιδιαίτερα υγρές υδρολογικές περιόδους, σε πηγές και «Τριμέρια» (δυναμικά).



Σχήμα 4.8 Σχηματική απεικόνιση του υδατικού ισοζυγίου ($\text{m}^3/\text{έτος}$) στο Αργολικό πεδίο με ετήσιες διακυμάνσεις (Πηγή: Πουλοβασίλης Α. κα (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα)

Σε ότι αφορά στα ποσοτικά των επιμέρους συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου των υδροφόρων σχηματισμών προκύπτουν οι ακόλουθες εκτιμήσεις (βλ. Σχήμα 4,8):

- Το μέσο ετήσιο ύψος του νερού της βροχής στην πεδιάδα ανέρχεται 508 mm ή $108,4 \times 10^6 \text{ m}^3$.

- Η κατείδυση του νερού της βροχής λαμβάνει χώρα κυρίως στα περιθώρια της πεδιάδας όπου αναπτύσσονται αδρομερείς σχηματισμοί. Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από την επεξεργασία των κατατομών υγρασίας του εδάφους, σε καλλιέργεια πορτοκαλιάς, σε ότι αφορά στο περίσσειμα ύδατος της ίδιας περιόδου, προέκυψαν υψηλότερες μέσες τιμές (190mm). Η μέση τιμή της κατείδυσης εκτιμάται σε $23 \times 10^6 \text{m}^3/\text{y}$ παρουσιάζοντας διακυμάνσεις (ανάλογα με το ύψος και το καθεστώς των βροχοπτώσεων) που κυμαίνονται μεταξύ 0 και $35 \times 10^6 \text{m}^3/\text{y}$.
- Οι επιστρεφόμενες αρδευτικές ροές αποτελούν επίσης μία σημαντική συνιστώσα του υδατικού ισοζυγίου όχι μόνο από ποσοτική πλευρά αλλά και από ποιοτική αφού παρασύρουν στα υπόγεια νερά αγροτικούς ρύπους όπως νιτρικά ιόντα, ολικά διαλυμένα άλατα κλπ. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία η μέση ετήσια επιστρεφόμενη αρδευτική ροή εκτιμάται σε $10 \times 10^6 \text{m}^3/\text{y}$.
- Οι διηθήσεις χειμαρρικών υδάτων αποτελούν μια άλλη συνιστώσα εισροών στους υδροφόρους σχηματισμούς. Οι ποσότητες αυτές ποικίλουν ευρύτατα ανάλογα με το υδρολογικό έτος από μηδέν έως και περισσότερο από $5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{y}$. Μια μέση τιμή της τάξεως των $3 \times 10^6 \text{m}^3/\text{y}$ θεωρείται αντιπροσωπευτική.
- Οι απώλειες αρδευτικών δικτύων εντοπίζουν σχεδόν αποκλειστικά σε όλο το μήκος της διώρυγας Κιβερίου που διέρχεται από την πεδιάδα (βλ. Σχήμα 4.5). Σε μερικές περιπτώσεις αγγίζουν ποσοστά της τάξεως του 50% της συνολικής ροής νερού στη διώρυγα. Σε περιόδους πλήρους λειτουργίας (~ 5 μήνες) των έργων εκτιμάται ότι οι απώλειες αυτές ανέρχονται σε $5-7 \times 10^6 \text{m}^3$.
- Ο τεχνητός εμπλουτισμός σε μεγάλη κλίμακα έλαβε χώρα ουσιαστικά από τις αρχές της δεκαετίας του 1990. Οι συνολικές ποσότητες νερού που εφαρμόστηκαν άμεσα για εμπλουτισμό την περίοδο 1990 -98 εκτιμώνται σε $63 \times 10^6 \text{m}^3$ ενώ σημαντικό μέρος των απωλειών της διώρυγας του Κιβερίου που ανέρχονται σε $18 \times 10^6 \text{m}^3$ εκτιμάται ότι κατέληγε έμμεσα στα υπόγεια νερά.
- Οι πλευρικές υπόγειες εισροές από γειτονικούς υδροφόρους σχηματισμούς, που περιβάλλουν τις αλλουβιακές αποθέσεις, εκτιμώνται αρχικά κατά μέσο όρο σε $30-40 \times 10^6 \text{m}^3/\text{έτος}$. Οι εισροές αυτές κυμαίνονται ευρύτατα ανάλογα με τις οριακές συνθήκες που επικρατούν στα περιθώρια των υδροφόρων σχηματισμών.
- Οι εκροές νερού από τους υδροφόρους σχηματισμούς σε συνθήκες φυσικής ισορροπίας λαμβάνουν χώρα προς τη θάλασσα, σε πηγές (Γλυκιά) και παλιότερα σε ιδιαίτερα υγρά σε υδρολογικά έτη, προς φυσικά σημεία εξόδου στο κέντρο περίπου της πεδιάδας (Τριμέρια, βλ § 5.1). Οι ποσότητες αυτές είναι δύσκολο να προσδιοριστούν αφού αποτελούν ένα δυναμικό φαινόμενο (συνθήκες μη μόνιμης ροής) αλλά ισοδυναμούν αναμφίβολα με τις αντίστοιχες φυσικές τροφοδοσίες.
- Οι γεωτρήσεις ύδρευσης αποτελούν μια άλλη συνιστώσα εκροών στο υδατικό ισοζύγιο της περιοχής. Οι υδρευτικές ανάγκες που καλύπτονται από τα υπόγεια νερά της περιοχής εκτιμώνται κατά μέσο όρο σε $5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{έτος}$.
- Οι αντλήσεις νερού για αντισταθμιστική προστασία εξαρτώνται άμεσα από τις ελάχιστες θερμοκρασίες που επικρατούν την εκάστοτε χειμερινή περίοδο. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία εκτιμάται ότι κυμαίνονται από 0- $15 \times 10^6 \text{m}^3/\text{έτος}$.
- Η εκροή του νερού προς τη θάλασσα δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία αφού αποτελεί και αυτή ένα δυναμικό φαινόμενο και

- λαμβάνει χώρα μόνο όταν και εκεί που επικρατούν ευνοϊκές υδραυλικές κλίσεις.
- Επίσης η έξοδος νερού σε Τριμέρια αποτελεί παρελθόν για την περιοχή. Το φαινόμενο αυτό παρουσίασε έξαρση στο πρώτο μισό του τελευταίου αιώνα (1900 – 1936).

Οι παραπάνω εκτιμήσεις αποτελούν μια πρώτη ολοκληρωμένη προσέγγιση του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία ενώ τα μεγέθη που προκύπτουν αποτελούν μέσες ετήσιες τιμές. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται ευρύτατα ανάλογα με τις εκάστοτε υδροδυναμικές και οριακές συνθήκες που επικρατούν στους υδροφόρους σχηματισμούς καθώς και τις κλιματικές συνθήκες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

5. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

5.1 Ιστορικά στοιχεία

Χαρακτηριστικές ιδιαιτερότητες της περιοχής ήταν η παρουσία βαλτωδών εκτάσεων κατά μήκος της παραλιακής ζώνης, λιμνάζοντα ύδατα σε διάφορες περιοχές της πεδιάδας καθώς και πλημμυρικά φαινόμενα που συνήθιζαν να προξενούν οι πολυάριθμοι χείμαρροι στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της. Χαρακτηριστική ήταν επίσης και η αφθονία υπόγειων και πηγαίων υδάτων.

Κατά μήκος της παραλιακής ζώνης από το Ναύπλιο μέχρι τους Μύλους και σε βάθος 2-3 km αναπτυσσόταν μια ζώνη παραλιακών βαλτωδών εδαφών. Η περιοχή αυτή, που κατέληγαν συνήθως οι πολυάριθμοι χείμαρροι, αποτελούσε κατά καιρούς μια συνεχή βαλτώδη έκταση αποχωριζόμενη από τη θάλασσα με στενή λωρίδα θαλάσσιου αμμοχάλικου. Στα σημεία που το νερό παρέμενε σε όλη τη διάρκεια του έτους αναπτυσσόταν μια άφθονη υδροχαρής βλάστηση. Στις αρχές όμως τις δεκαετίας του 1930 οι περισσότερες από τις βαλτώδεις αυτές εκτάσεις αποξηράνθηκαν με την κατασκευή ενός εκτεταμένου στραγγιστικού – αποχετευτικού δικτύου.

Σε μερικά τμήματα στο εσωτερικό της πεδιάδας συνήθιζαν να αναπτύσσονται ελώδη περιβάλλοντα γνωστά στην περιοχή ως «Τριμέρια». Τα τριμέρια σε αντίθεση με τους βάλτους της παραλιακής ζώνης τροφοδοτούνταν από «κάτω» δηλαδή από βαθύτερα «ελεύθερα» υδροφόρα στρώματα. Αναπτύσσονταν στην περιοχή των οικισμών Ανυφί, Ηραίο, Ηρα, Κουρτάκι και Χώνικα (βλ. Σχήμα 4.5). Η περιοχή στην οποία παρουσιάζονταν σε μεγαλύτερη σχετικά ανάπτυξη ήταν στο τρίγωνο μεταξύ των οικισμών Ηρα, Ίναχος και Χώνικας σε μήκος 1000m περίπου και πλάτος 300m ενώ επικεντρώνονταν κυρίως μπροστά από το χείμαρρο Κλεισούρα. Στις περιοχές αυτές η στάθμη των υδάτων ήταν για την εποχή εκείνη χαμηλή (5-6m), το χειμώνα ανέβαινε σημαντικά, σχεδόν μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, ενώ συνήθως ήταν και η παρουσία υδροχαρούς βλάστησης. Κατά το καλοκαίρι η στάθμη του νερού πολλές φορές ήταν 20cm περίπου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ενώ οι γεωργοί σχημάτιζαν αποχετευτικά αυλάκια για να απομακρύνουν τα πλεονάζοντα ύδατα. Κατά άλλους τα τριμέρια εμφανίστηκαν το 1905 – 1906 παρέμειναν μέχρι το 1920 και στη συνέχεια εμφανίστηκαν πάλι το 1936. Επίσης τριμέρι αναπτύχθηκε το 1923 στην περιοχή του «παλαιού μύλου» στον οικισμό Αγ. Τριάδα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εμφάνιση των τριμεριών αποδίδεται στην άνοδο της φρεάτιας στάθμης ενώ η παρουσία των παραλιακών βαλτωδών εκτάσεων στην αδυναμία αποχέτευσης των πλεονάζοντων ομβριών υδάτων που κατέληγαν εκεί με τη βοήθεια των χειμάρρων.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1930 (1930 – 32) έγιναν από το ΥΠ.ΓΕ πέντε επιτυχήσεις γεωτρήσεις, δύο στην περιοχή του Κουτσοποδίου (γεώτρηση Α και Β) και τρεις στην περιοχή της Νέας Κίου και ήταν όλες «αρτεσιανές». Οι γεωτρήσεις Α και Β του Κουτσοποδίου απέδιδαν σε ελεύθερη ροή ποσότητες νερού οι παροχές των οποίων κυμαίνονταν μεταξύ 20 (30/9/31) και 70m³/h (21/10/32)

Η εντατική ανόρυξη γεωτρήσεων άρχισε ουσιαστικά τη μεταπολεμική περίοδο στις αρχές της δεκαετίας του 1950. Από τότε εκτιμάται ότι έχουν ανορυχθεί περισσότερες από 15.000 γεωτρήσεις στην περιοχή. Από στοιχεία της ΔΕΗ Ναυπλίου (βλ. Σχήμα 5.1, 5.2), προκύπτει ότι σε όλη την Αργολίδα λειτουργούν σήμερα 8.000 περίπου γεωτρήσεις από τις οποίες 5.000 περίπου εκτιμάται ότι λειτουργούν στην



Σχήμα 5.1 Κατανομή φρεάτων στην περιοχή του Αργολικού πεδίου που επικρατούσε μέχρι και τη δεκαετία του 60
 ((Πηγή: Νομαρχία – Αργολίδα, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)



Σχήμα 5.2 Σύγχρονη κατανομή γεωτρήσεων στην περιοχή του Αργολικού πεδίου
 ((Πηγή: Νομαρχία – Αργολίδα, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων)

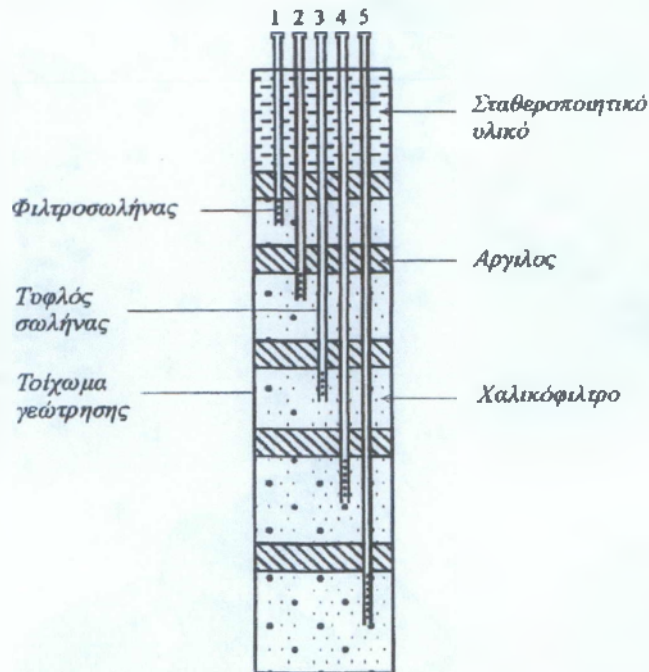
Αργολική πεδιάδα. Η εντατική ανόρυξη γεωτρήσεων από τις αρχές της δεκαετίας του 1950 οδήγησε στην υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών με επακόλουθο την εισβολή θαλάσσιου νερού στους υδροφόρους σχηματισμούς.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 άρχισε ένα εκτεταμένο πρόγραμμα παρακολούθησης υφαλμύρωσης που περιέλαβε μετρήσεις της ποιότητας και της στάθμης των υπόγειων νερών. Ένα δεύτερο πρόγραμμα παρακολούθησης άρχισε το 1985 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα.

5.2 Έλεγχος στάθμης και ποιότητας των υπόγειων νερών

Ο έλεγχος της στάθμης και ποιότητας των υπόγειων νερών άρχισε ουσιαστικά το 1963 στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου προγράμματος διερεύνησης των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών.

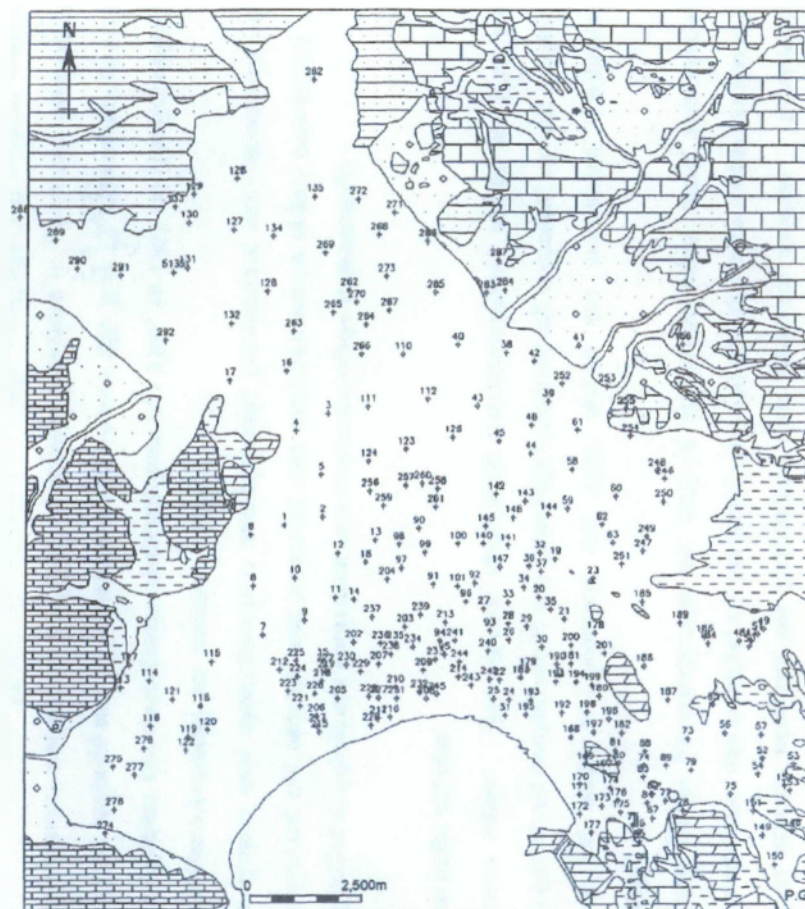
Στα πλαίσια των ερευνητικών προγραμμάτων της ΥΕΒ το 1963-64 (9 Πουλοβασίλης, 1963), μετά την ανόρυξη των 59 ερευνητικών γεωτρήσεων (βλ. Κεφ 1), εγκαταστάθηκαν σε αυτές «πολυεπίπεδα» πιεζόμετρα (Σχήμα 5.3, 5.4) ενώ παράλληλα αναπτύχθηκε ένα δεύτερο δίκτυο παρατήρησης το οποίο περιέλαβε 300 περίπου φρέατα διεσπαρμένα σε όλη την έκταση της πεδιάδας (Σχήμα 5.5). Ο αριθμός των πιεζομέτρων στις ερευνητικές γεωτρήσεις (δέσμες) κυμαινόταν από 1 μέχρι 5 ανάλογα με τον αριθμό των υδροφόρων στρωμάτων που απαντήθηκαν.



Σχήμα 5.3 Σχηματική διάταξη πολυεπίπεδου (multilevel) πιεζόμετρου

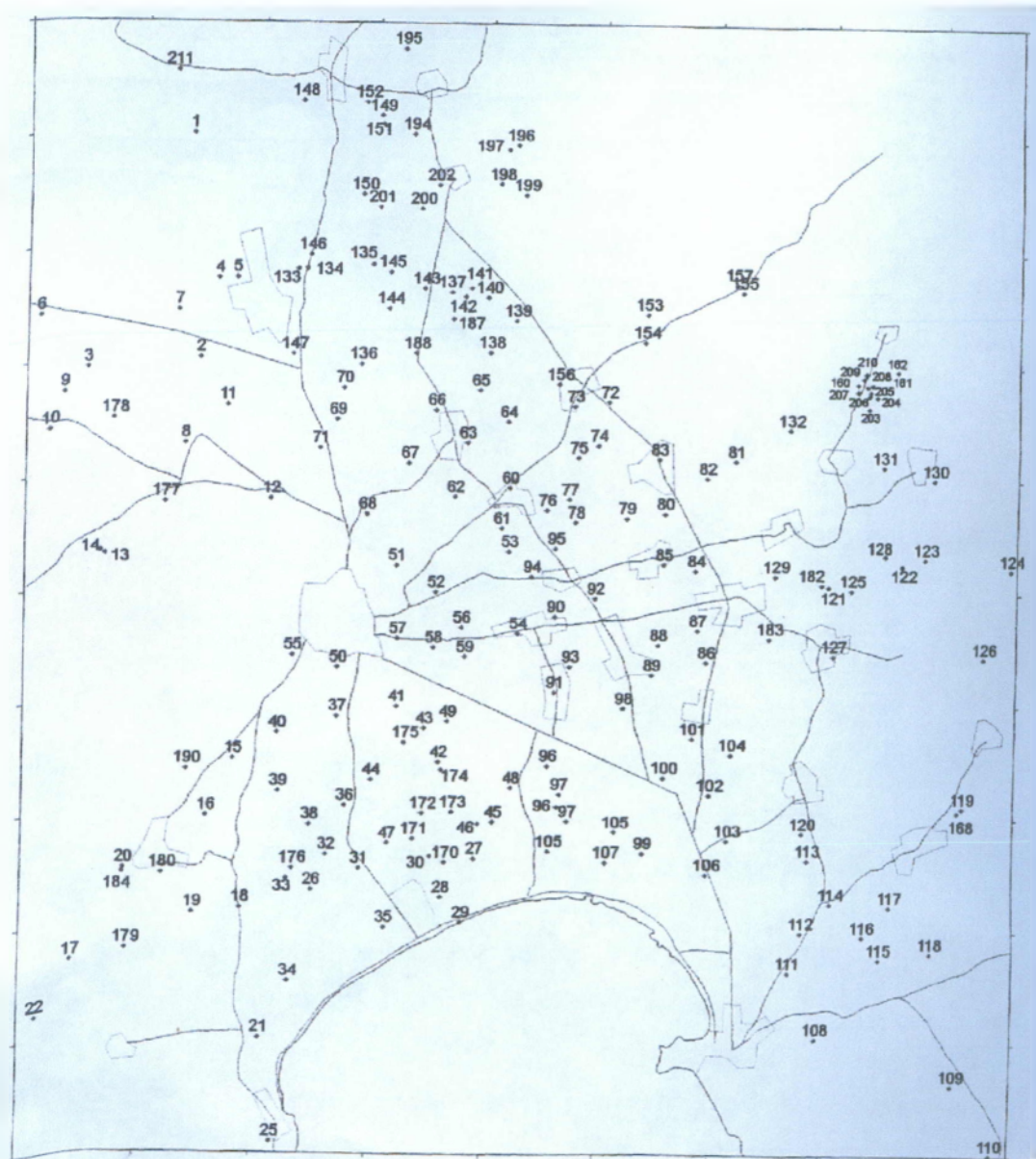


Σχήμα 5.4 Δίκτυο ερευνητικών γεωτρήσεων της περιόδου 1964 – 75
(Πηγή: Πουλοβασιλής Α. κα (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα)



Σχήμα 5.5 Δίκτυο φρεάτων παρατήρησης της περιόδου 1964 75
(Πηγή: Πουλοβασιλής Α. κα (1996) Ερευνητικό Πρόγραμμα)

Στα παρακάτω πιεζόμετρα καταγραφόταν η στάθμη και η συγκέντρωση των χλωριόντων ανά 15 ημέρες στο δίκτυο των 300 φρεάτων (βλ. Σχήμα 5.5) καταγράφονταν οι ίδιες παράμετροι σε μηνιαία βάση. Η παρακολούθηση των παραμέτρων αυτών άρχισε το 1963 και συνεχίστηκε μέχρι και το 1975. Από το 1963 μέχρι το 1969 ο έλεγχος των παραπάνω παραμέτρων γινόταν σε ολόκληρο το δίκτυο των γεωτρήσεων και φρεάτων ενώ από το 1969 μέχρι και το 1975 σε μειωμένο σχετικά αριθμό γεωτρήσεων και φρεάτων. Η μείωση αυτή του αριθμού των γεωτρήσεων ελέγχου αποδίδεται πιθανά στις ισχυρές βροχοπτώσεις της περιόδου 1967-68 που προσωρινά ανακούφισαν το υδατικό πρόβλημα της περιοχής ή και σε πολιτικές ή διοικητικές επιλογές των αρμόδιων υπηρεσιών.

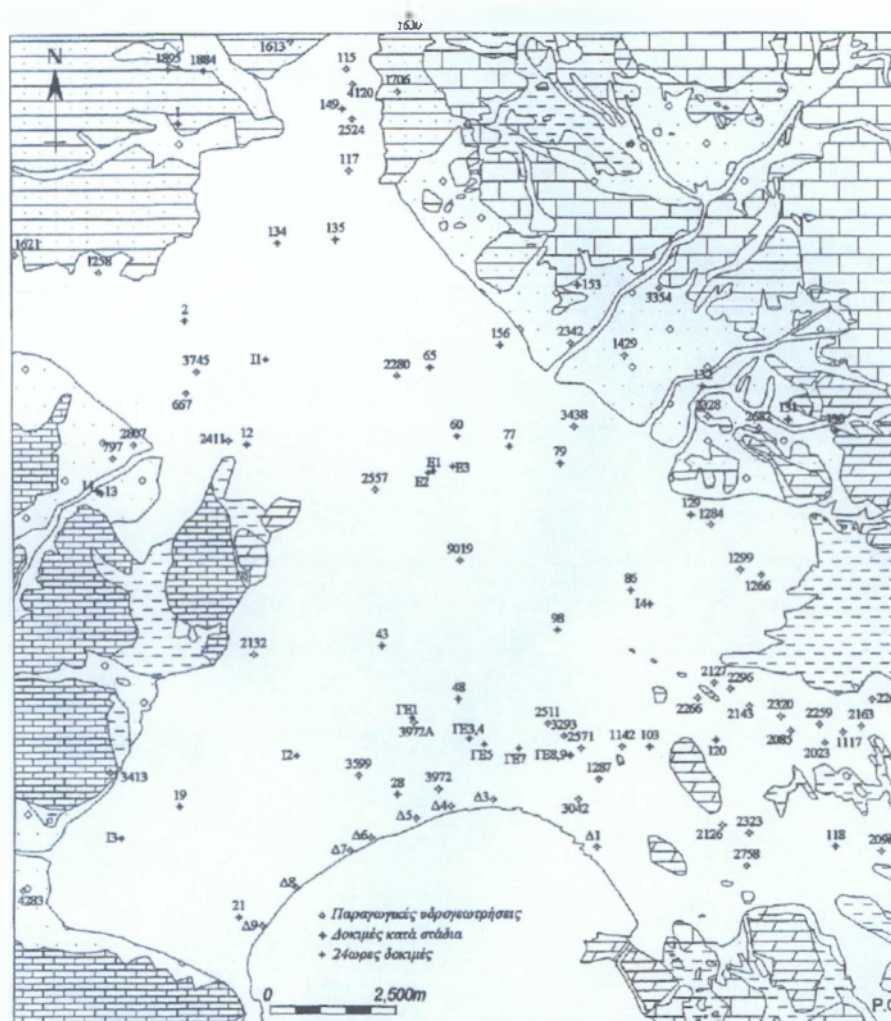


Σχήμα 5.6 Δίκτυο γεωτρήσεων παρατήρησης της περιόδου 1985 –98
(Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Η δεύτερη φάση παρακολούθησης άρχισε το 1985 στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του ΓΠΑ. (Πουλοβασίλης κ.α. 1996). Το 1985 ορίστηκε δίκτυο γεωτρήσεων παρακολούθησης στάθμης και των υπογείων νερών της πεδιάδας. Η στάθμη και η συγκέντρωση των χλωριόντων καταγραφόταν ανά έξι μήνες, δηλαδή τον Απρίλιο πριν την έναρξη των αρδεύσεων και στο τέλος της αρδευτικής περιόδου τον Οκτώβρη. Στη διάρκεια αυτής της φάσης έγιναν επίσης σειρές χημικών αναλύσεων κυρίων ανιόντων και κατιόντων καθώς και ιχνοστοιχείων.

5.3 Υδραυλικές ιδιότητες των υδροφόρων σχηματισμών

5.3.1 Διαθέσιμα στοιχεία των υδραυλικών ιδιοτήτων



Σχήμα 5.7 Θέσεις γεωτρήσεων δοκιμαστικών αντλήσεων
(Πηγή: ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Οι πρώτες προσπάθειες για τη διερεύνηση των υδραυλικών παραμέτρων των υδροφόρων σχηματισμών άρχισαν το 1964 στα πλαίσια εκτέλεσης των 59 ερευνητικών γεωτρήσεων (βλ. Κεφ. 1). Η ερευνητική εκείνη φάση επικεντρώθηκε περισσότερο στον έλεγχο του υδραυλικού φορτίου και της ποιότητας των υπόγειων νερών ενώ δεν διασώθηκαν τυχόν στοιχεία με την έρευνα των υδραυλικών παραμέτρων των υδροφόρων σχηματισμών.

Η δεύτερη προσπάθεια διερεύνησης των υδραυλικών παραμέτρων έγινε την περίοδο 1986 – 90 στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος του ΓΠΑ (Πουλοβασίλης κ.α. 1989). Στη φάση εκείνη έγιναν δοκιμαστικές αντλήσεις «κατά στάδια» σε 30 υφιστάμενες παραγωγικές υδρογεωτρήσεις (βλ. Σχήμα 5.5) με καταγραφή της μεταβολής της στάθμης μόνο στη γεώτρηση άντλησης.

5.3.2 Εκτίμηση υδραυλικών ιδιοτήτων από στοιχεία τεχνητού εμπλουτισμού

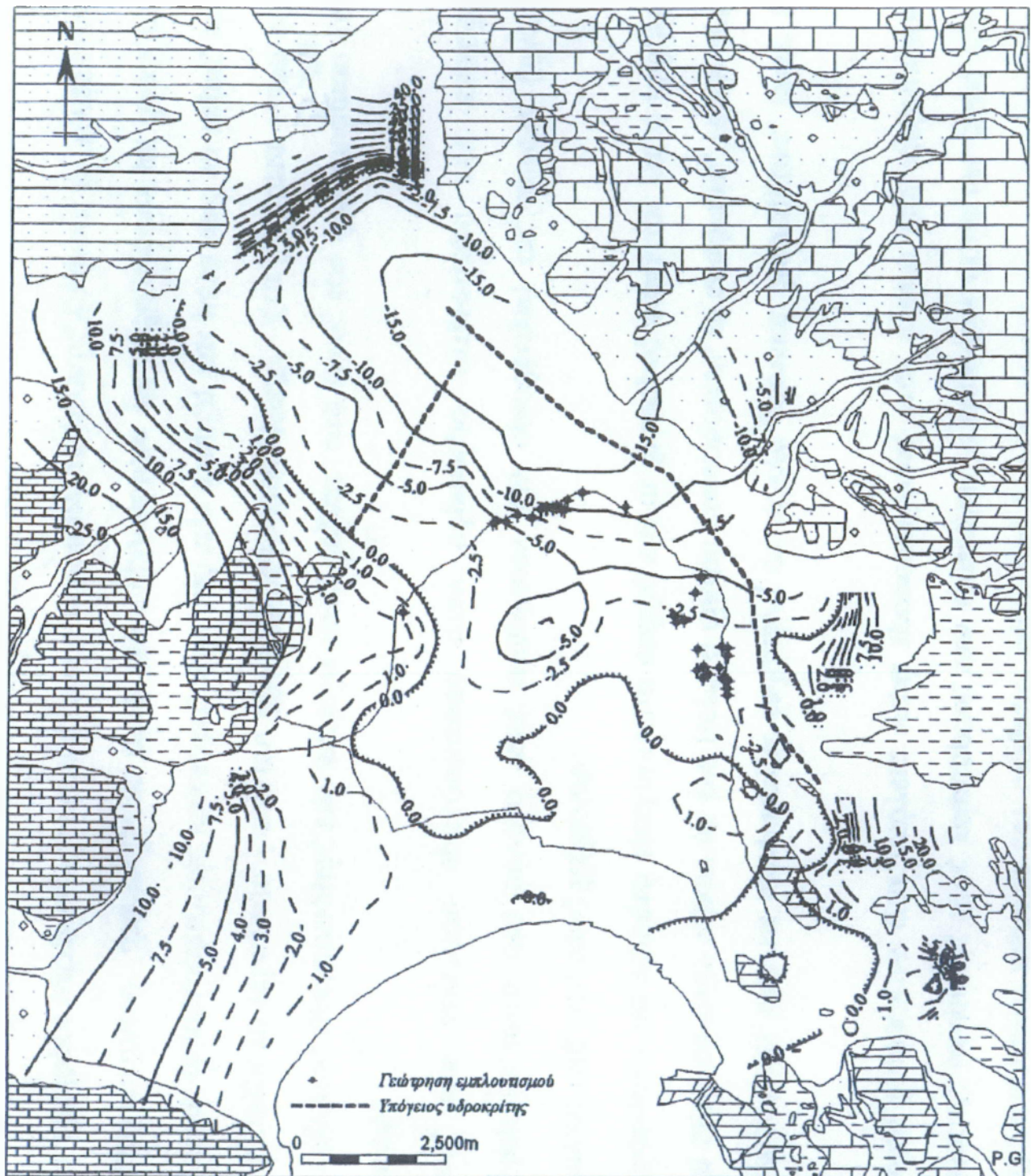
Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού την άνοιξη του 1997 και 1998 (Γιαννουλόπουλος, 1997, 1998) γινόταν συνεχής και συστηματική καταγραφή της στάθμης των υπόγειων νερών σε περισσότερες από εκατό γεωτρήσεις σε δεκαπενθήμερη βάση στην ευρύτερη ζώνη εφαρμογής του εμπλουτισμού καθώς επίσης και σε άλλες γεωτρήσεις που κάλυπταν ολόκληρη την περιοχή του Αργολικού πεδίου. Ανάλογες μετρήσεις γίνονταν και την περίοδο 1990 –96 οι οποίες για την ευρύτερη περιοχή του Αργολικού πεδίου περιοριζόνταν κυρίως σε δύο φάσεις, μια πριν από την έναρξη (το Φθινόπωρο) και μια μετά από το πέρας (την Άνοιξη) ενώ στη ζώνη εφαρμογής οι μετρήσεις ήταν συστηματικότερες.

Η μεταβολή της στάθμης των υπόγειων νερών στο χώρο σε συνδιασμό με τις ποσότητες νερού που εφαρμόστηκαν μπορεί να οδηγήσει στην εκτίμηση μιας πιο αντιπροσωπευτικής τιμής της ειδικής απόδοσης σε μεγαλύτερη κλίμακα από αυτή των δοκιμών άντλησης.

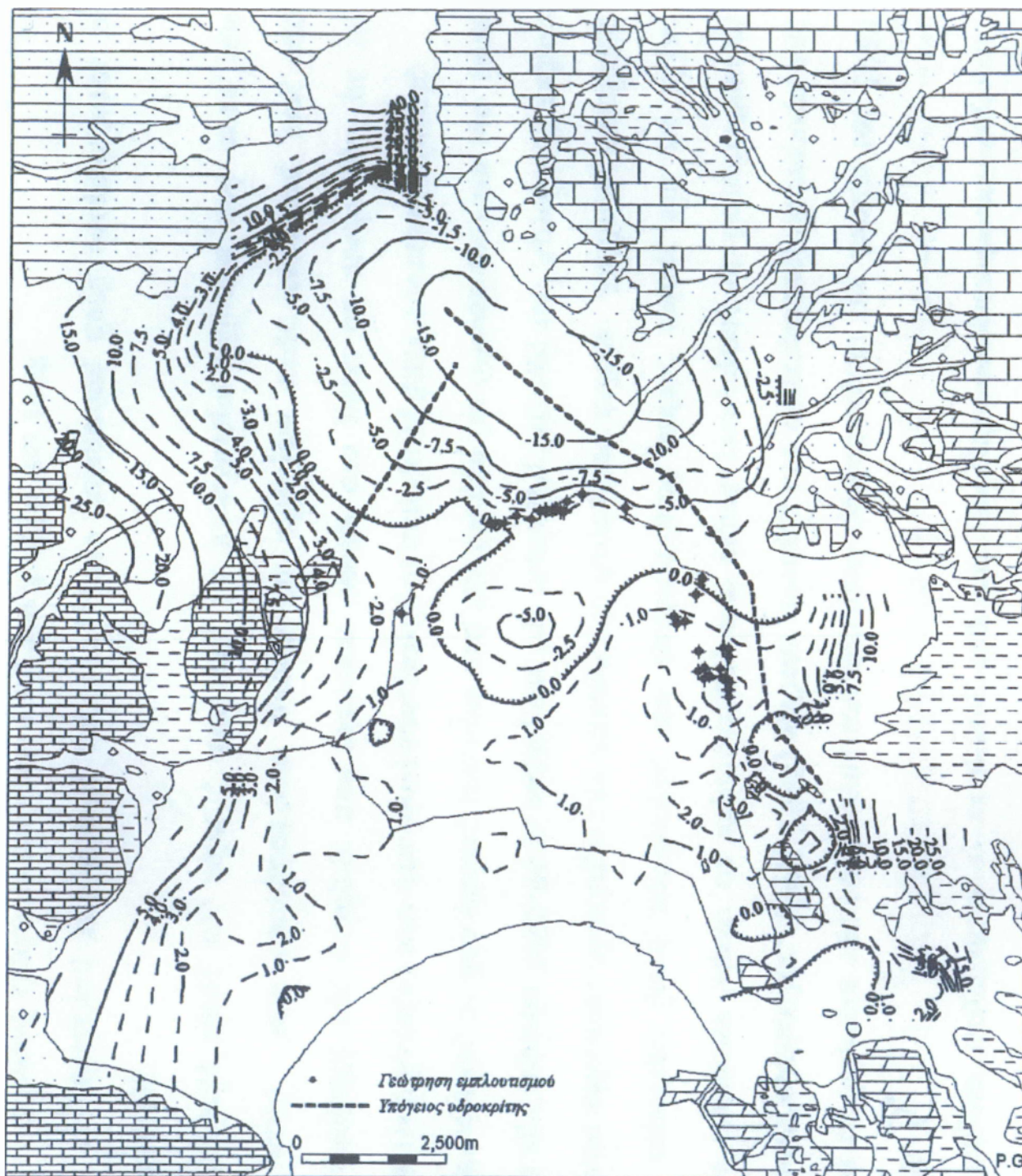
Για την εκτίμηση της ειδικής απόδοσης στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τα δεδομένα του τεχνητού εμπλουτισμού που έγινε την Άνοιξη του 1998. Τα δεδομένα αυτά επιλέγονται γιατί,

- Στην συγκεκριμένη περίοδο δεν υπήρξαν αξιόλογες βροχοπτώσεις που θα φόρτιζαν με επιφανειακές απορροές τους χείμαρρους των ανατολικών παρυφών οι οποίοι όπως έχει αναφέρει διηθούνται στα υπόγεια νερά τροποποιώντας έτσι άμεσα την πιεζομετρία τους.
- Καταγράφηκαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα σε πυκνά χρονικά διαστήματα, όπως η στάθμη των υπόγειων νερών σε ένα μεγάλο δίκτυο γεωτρήσεων, οι ποσότητες νερού που εφαρμόστηκαν για τεχνητό εμπλουτισμό καθώς και οι διάφορες απώλειες και ο ρυθμός λειτουργίας της διώρυγας Κίβεριου.
- Τα δεδομένα αυτά στο σύνολό τους επιτρέπουν την οριοθέτηση της άμεσης ζώνης επιρροής του τεχνητού εμπλουτισμού στον υδροφόρο σχηματισμό την περίοδο εφαρμογής.

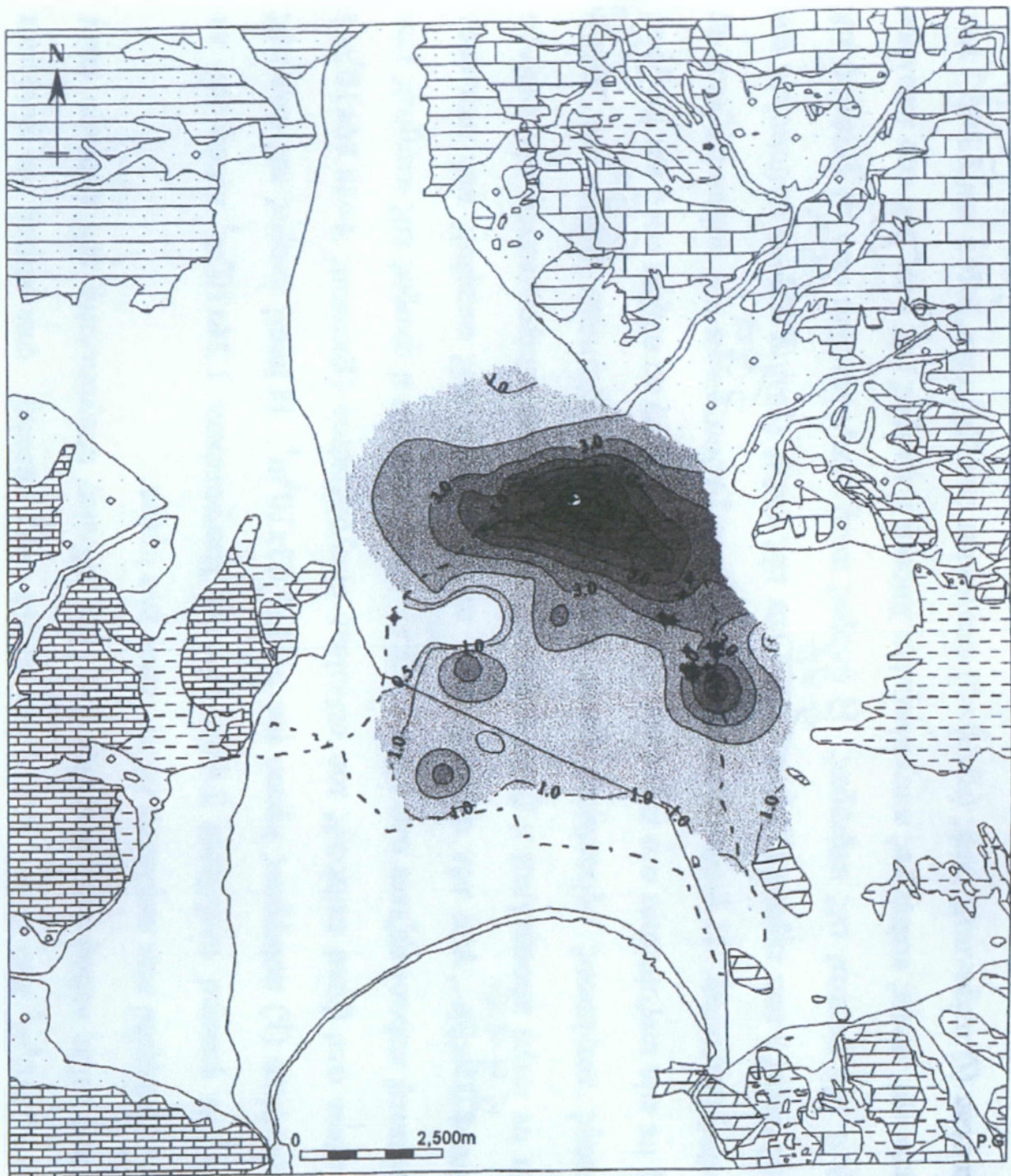
Ο τεχνητός εμπλουτισμός την περίοδο αυτή άρχισε στο τέλος του Φεβρουαρίου και συνεχίστηκε μέχρι το τέλος του Απριλίου. Στα Σχήματα 5.8α και 5.8β φαίνονται οι πιεζομετρικές καμπύλες πριν από την έναρξη και μετά από το πέρας του τεχνητού εμπλουτισμού.



Σχήμα 5.8 α Πιεζομετρικές καμπύλες πριν από την έναρξη του εμπλουτισμού (2/2/98)
(Πηγή : TOEB Ναυπλίου)



Σχήμα 5.8 β Πιεζομετρικές καμπύλες μετά το πέρας του εμπλουτισμού (30/4/98)
 (Πηγή : ΤΟΕΒ Ναυπλίου)



Σχήμα 5.9β Μεταβολή της πεζομετρίας στη ζώνη επιρροής του εμπλουτισμού όπως οριοθετήθηκε για τον υπολογισμό της ειδικής απόδοσης.
(Πηγή : ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Τα όρια (I) μηδενικής ροής ($dh/dl=0$) φαίνονται στα Σχήματα 5.8α και 5.8β. Από τις πεζομετρικές αυτές καμπύλες υπολογίστηκε χωρικά η άνοδος της στάθμης του υπόγειου νερού σε όλη την έκταση της πεδιάδας. Η άνοδος αυτή υπολογίστηκε από τη διαφορά της πεζομετρίας μεταξύ του τέλους (Σχήμα 5.8β) και της αρχής (Σχήμα 5.8^α) εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού. Η διαφορά αυτή φαίνεται στο Σχήμα 5.9α και παρουσιάζεται σε συνδυασμό με τη πεζομετρία στο τέλος του

εμπλουτισμού. Από το σχήμα αυτό και με βάση του βασικούς υπόγειους υδροκρίτες όπως φαίνονται στα Σχήματα 5.8α και 5.9β οριοθετείται με καλή προσέγγιση η ζώνη επιρροής του τεχνητού εμπλουτισμού την περίοδο αυτή (Σχήμα 5.9α,β). Από την ολοκλήρωση της μεταβολής της στάθμης των υπόγειων νερών όπως αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.9β προκύπτει ότι η άνοδος της στάθμης των υπόγειων νερών στη ζώνη επιρροής του τεχνητού εμπλουτισμού (Έκτασης $A=48.86 \times 10^6 \text{m}^2$) κατέλαβε ένα όγκο (V) πορώδους μέσου ίσο με $117,63 \times 10^6 \text{m}^3$. Η μέση άνοδος της στάθμης στην παραπάνω έκταση ανέρχεται 2.41m δηλαδή χρειάστηκαν $1.24 \times 10^6 \text{m}^3$ νερού για να ανυψώσουν τη στάθμη των υπόγειων νερών κατά ένα μέτρο.

Η ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε για τεχνητό εμπλουτισμό την περίοδο αυτή ανέρχεται σε $2 \times 10^6 \text{m}^3$ που αποτελεί και τον άμεσο εμπλουτισμό. Δεν πρέπει να αγνοείται όμως και ο έμμεσος εμπλουτισμός ο οποίος αποδίδεται στις απώλειες νερού από τη διώρυγα Κιβερίου. Η απώλειες αυτές στη ζώνη εφαρμογής ανήλθαν συνολικά σε $1.9 \times 10^6 \text{m}^3$ το μεγαλύτερο μέρος των οποίων λαμβάνει χώρα μεταξύ των οικισμών Ήρα και Αγία Τριάδα. Εκτιμώντας ότι το 50% των απωλειών αυτών καταλήγουν στα υπόγεια νερά στη διώρυγα του εμπλουτισμού ως έμμεσος εμπλουτισμός προκύπτει ότι η συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε για τεχνητό εμπλουτισμό (V_e) την Άνοιξη του 1988 ανήλθε σε $3 \times 10^6 \text{m}^3$.

5.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών

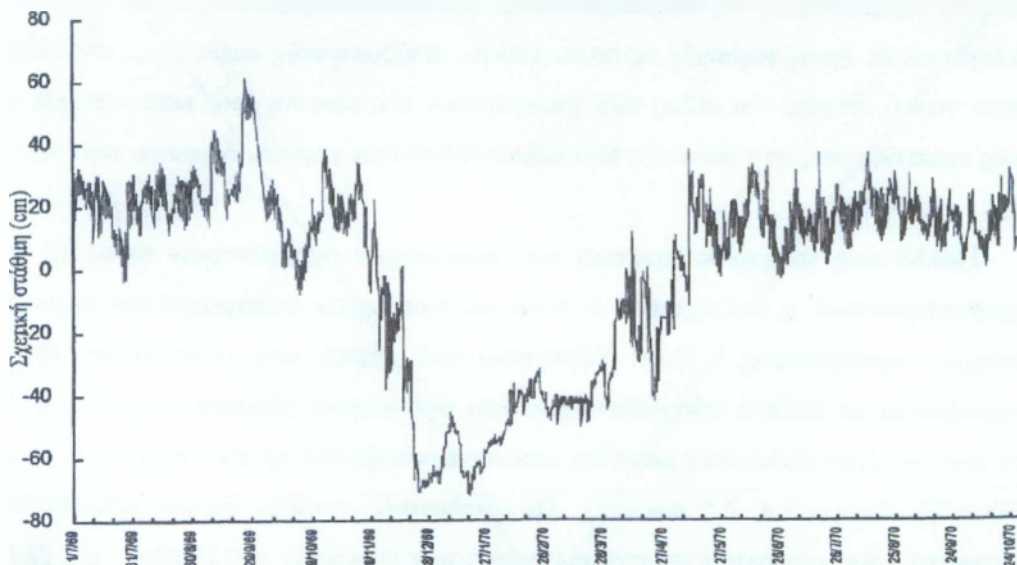
5.4.1 Η υφαλμύρωση του Αργολικού πεδίου

Όπως έχει τονιστεί η υφαλμύρωση του Αργολικού πεδίου άρχισε να γίνεται αισθητική στις αρχές της δεκαετίας του 1960 μετά από την αλματώδη ανάπτυξη των αρδευόμενων καλλιεργειών και ιδιαίτερα των εσπεριδοειδών. Ήταν εντονότερη στις ανατολικές περιοχές της Αργολικής πεδιάδας, στην περιοχή των οικισμών Ν. Τίρυνθα και Άρια καθώς και ανατολικότερα στην αλλουβιακή περιοχή της Ασίνης – Δρεπάνου - Τολού.

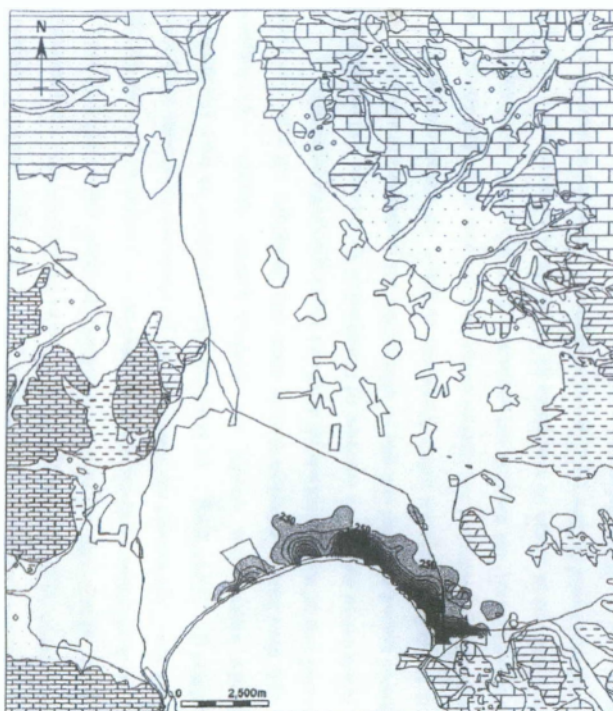
Εκτός από την υφαλμύρωση των υδροφόρων σχηματισμών του Αργολικού πεδίου επισημαίνεται ότι στις δέσμες ερευνητικών γεωτρήσεων 1 και 2 που βρίσκονται στην παραλιακή περιοχή του Αργολικού πεδίου (βλ. Σχήμα 5.4) και ιδιαίτερα στα επιφανειακά στρώματα, έχουν καταγραφεί συγκεντρώσεις χλωριόντων που κυμαίνονται μεταξύ 35.000 και 40.000 mg/l (ΥΠ.ΓΕ 1963 – 1975).

Δεδομένου ότι η συκέντρωση σε χλωρίοντα του θαλάσσιου ύδατος είναι περίπου 19.000 mg/l προκύπτει ότι οι παραπάνω τιμές είναι σχεδόν διπλάσιες περίπου από τις συνθήκες συγκεντρώσεις του χλωριόντων του θαλάσσιου ύδατος. Στρωματογραφικά στοιχεία έδειξαν ότι το παραλιακό αυτό τμήμα καλύπτεται επιφανειακά από αμμοπηλώδη εδάφη (Σχήμα 1.4) ενώ υπόκειται ένα εκτεταμένο αργιλικό κάλυμμα. Η σύσταση των υλικών αυτών σε συνδυασμό με τις μηδαμινές εδαφικές κλίσεις (βλ. Σχήμα 2.2) και τη διακύμανση της στάθμης της θάλασσας (Σχήμα 5.10) είχε ως αποτέλεσμα την επαναλαμβανόμενη κατάκλυση των εδαφών αυτών με θαλασσινό νερό. Στη συνέχεια, αφού βέβαια η στάθμη του υπόγειου νερού βρισκόταν σε βάθος μικρότερο του μισού μέτρου ακολουθούσε έντονη εξάτμιση που είχε ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση του νερού και τη συνεχή συσσώρευση αλάτων με συνέπεια τη συσσώρευση χλωριόντων στο εδαφικό νερό η οποία έφτασε έτσι τις ασυνήθιστα υψηλές τιμές των 35000 – 40000 mg/l.

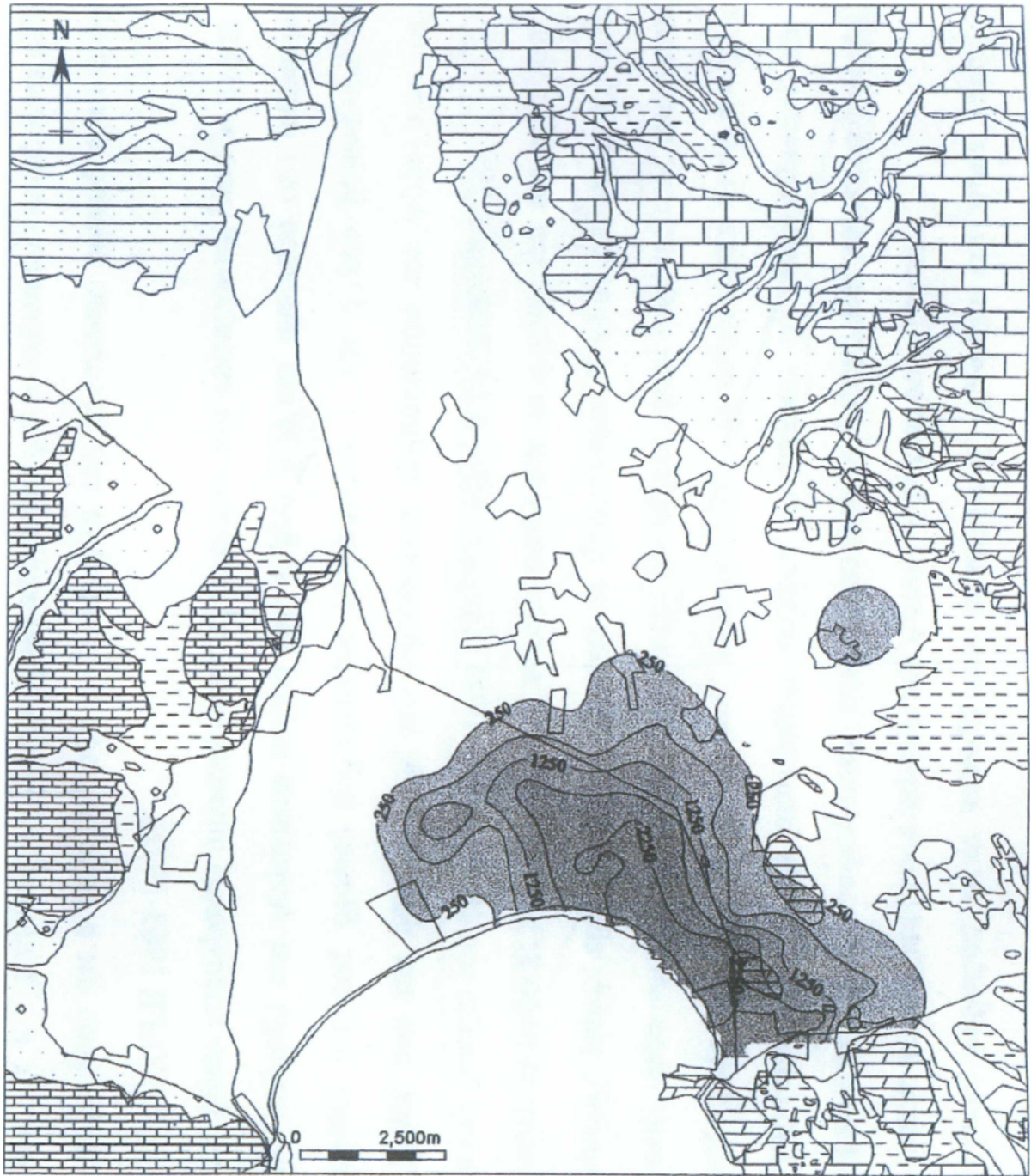
Ένα άλλο μέτωπο υφαλμύρωσης το οποίο έχει εκδηλωθεί την τελευταία δεκαετία είναι το ΒΑ μέτωπο στην περιοχή των οικισμών Μάνεσι – Μιδέα – Αμυγδαλίτσα – Μοναστηράκι (βλ. Σχήμα 5.14). Οι γεωτρήσεις που βρίσκονται σε αυτή περιοχή δεν καταλήγουν στους υδροφόρους σχηματισμούς των Τετραγώνων αποθέσεων του Αργολικού πεδίου αλλά σε καρστικούς ασβεστόλιθους της ενότητας της Ανατολικής Ελλάδας.



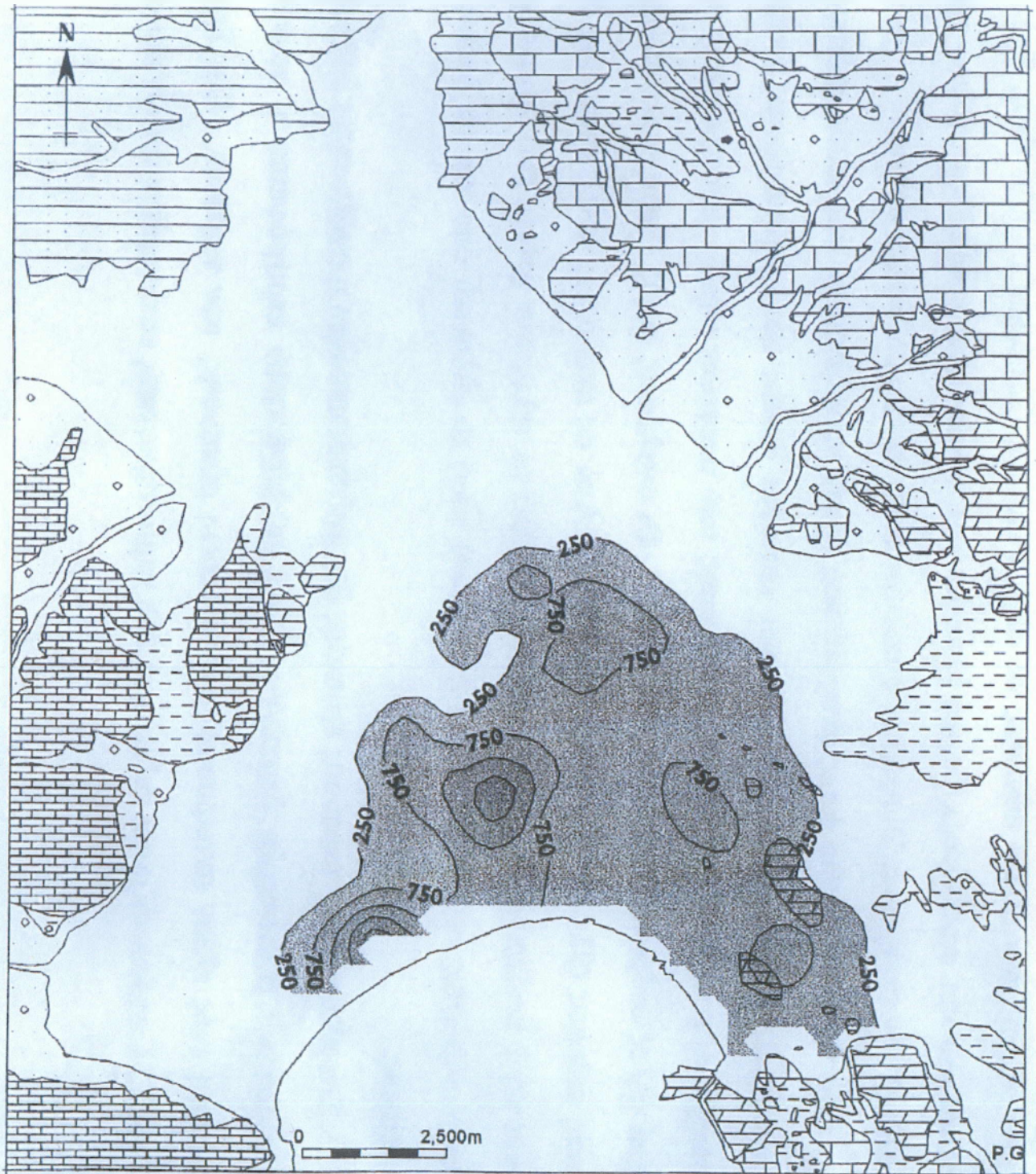
Σχήμα 5.10 Διακύμανση της στάθμης της θάλασσας στην περιοχή της Νέας Κίου (Πηγή: ΓΟΕΒ Αργολίδας)



Σχήμα 5.11 Ισοχλώριες καμπύλες – Φθινόπωρο 1965 (Πηγή: ΓΟΕΒ Αργολίδας)



Σχήμα 5.12 Ισογλώριες καμπύλες – Φθινόπωρο 1975
(Πηγή: ΓΟΕΒ Αργολίδας)



Σχήμα 5.13 Ισογλώριες καμπύλες – Άνοιξη 1989
 (Πηγή: ΓΟΕΒ Αργολίδας)



Σχήμα 5.14 Ισοχώριες καμπύλες – Άνοιξη 1990
(Πηγή: ΓΟΕΒ Αργολίδας)

5.4.2 Υφιστάμενη κατάσταση ρύπανσης

Η ρύπανση και ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών περιγράφεται από διάφορους δείκτες ποιότητας. Οι δείκτες αυτοί διακρίνονται σε δείκτες ρυπαντικής επικινδυνότητας και σε δείκτες επιπέδου ρύπανσης. Οι δείκτες ρυπαντικής

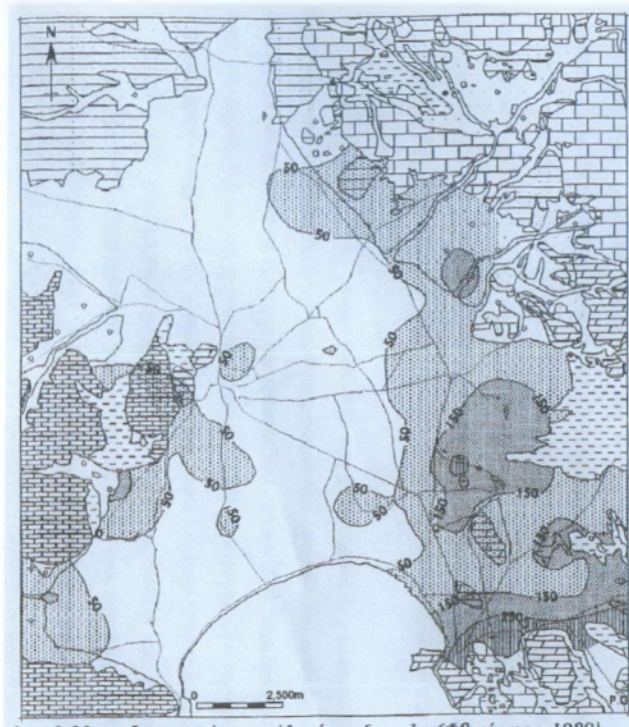
επικινδυνότητας επιτρέπουν την εκτίμηση της πιθανής ή δυνητικής ρύπανσης του νερού από διάφορες ουσίες που προέρχονται από αγροτικές κυρίως δραστηριότητες όπως νιτρικά και φωσφορικά ιόντα. Οι δείκτες επιπέδου ρύπανσης αφορούν στον προσδιορισμό των πραγματικών συγκεντρώσεων επιμέρους διαλυτών ουσιών ή ρύπων στο υπόγειο νερό.

Σε διάφορες χώρες έχουν προταθεί και θεσπιστεί διάφοροι δείκτες ρυπαντικής επικινδυνότητας ή ρυπαντικής επιδεκτικότητας, έτσι ώστε να μπορεί έγκαιρα να προβλεφθεί και να προσδιοριστεί πιθανή ρύπανση από γεωργικές δραστηριότητες.

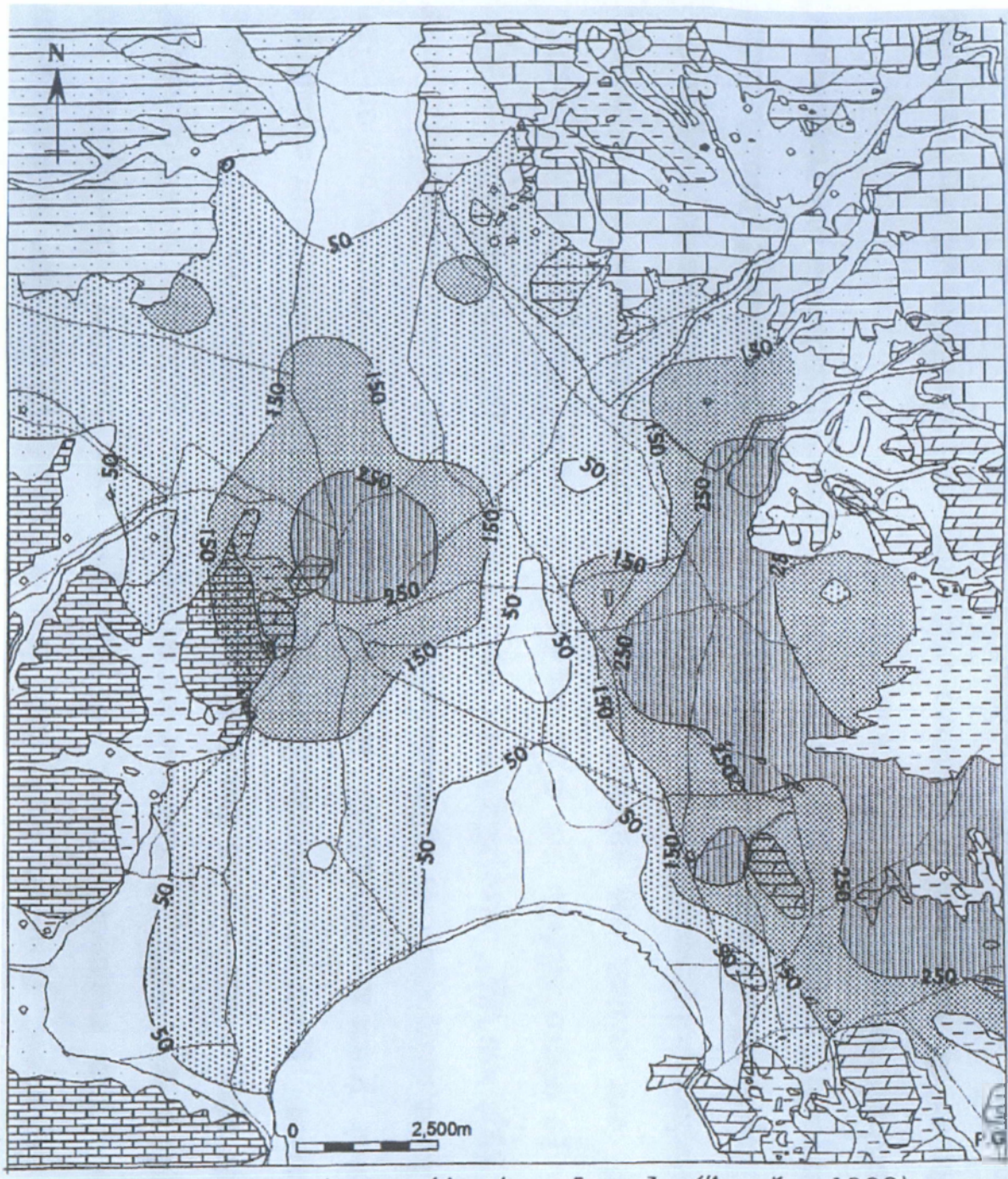
Ανάλογοι δείκτες είναι ο δείκτης ρυπαντικής επικινδυνότητας του νερού ή ο δείκτης ρυπαντικής επιδεκτικότητας των υπόγειων νερών. Δείκτες ρυπαντικής κατάστασης των υπόγειων νερών αποτελούν συνήθως οι συγκεντρώσεις διαφόρων ουσιών όπως θρεπτικές ουσίες (άζωτο και φώσφορος), βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία (μόλυβδος, κάδμιο χρώμιο και χαλκός), συγκεντρώσεις διαφόρων φυτοφαρμάκων και μικροβιακών φορτίων.

Στο Αργολικό πεδίο όπως αναφέρθηκε, έχουν προσδιοριστεί στα πλαίσια διαφόρων χημικών αναλύσεων τα κύρια ανιόντα και κατιόντα καθώς και συγκεντρώσεις διαφόρων ιχνοστοιχείων που αποτελούν δείκτες ρύπανσης των υπόγειων νερών από αγροτικές καθώς και από άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι αναλύσεις αυτές έχουν παρουσιαστεί σε σχετικές εκθέσεις (βλ. Πουλοβασιλής κ.α. 1996). Από τις αναλύσεις αυτές προκύπτει ότι τα υπόγεια νερά επιβαρύνονται σε ανησυχητικό βαθμό τα τελευταία χρόνια από νιτρικά ιόντα, σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν σημαντικά τόσο τα ελληνικά όσο και τα διεθνή όρια ποσιμότητας.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας περιγράφεται η υφιστάμενη κατάσταση ενός πλέον αντιπροσωπευτικού δείκτη ρύπανσης, των νιτρικών. Στα Σχήματα 5.15 και 5.16 παρουσιάζονται ενδεικτικά δύο χαρακτηριστικές κατανομές νιτρικών ιόντων



Σχήμα 5.15 Ισονιτρικές καμπύλες ίσης [ppm] - (Φθινόπωρο - 1989)
(Πηγή: ΓΟΕΒ Αργολίδας)



Σχήμα 5.16 Ισονιτρικές καμπύλες ίσης [ppm] - (Άνοιξης - 1999)
(Πηγή: ΓΟΕΒ Αργολίδας)

στο Αργολικό πεδίο η υποβάθμιση που έχουν υποστεί τα υπόγεια νερά τα τελευταία χρόνια όχι μόνο από το κλασικό πρόβλημα της υφαλμύρωσης αλλά και από διάφορες γεωργικές και ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Η κατάσταση αυτή δεν αποδίδεται μόνο στην υπερβολική εφαρμογή των λιπασμάτων με διάφορες μεθόδους (π.χ. στο νερό άδρευσης) αλλά και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως στην ανεξέλεγκτη διάθεση οικιακών λυμάτων σε επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες.

Η κατανομή και κίνηση των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Το άζωτο υπάρχει στη φύση σε διάφορες μορφές όπως N_2 (αέριο), N_2 (υγρό), NH_4 , NO_2 , NO_3 και NH_3 . Ανάλογα με τις γεωχημικές συνθήκες που επικρατούν συνήθως λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις οι σημαντικότερες από τις

οποιές είναι η *νιτροποίηση* και η *απονιτροποίηση*. Κατά τη νιτροποίηση, το άζωτο μετατρέπεται σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε νιτρικά ιόντα. Κατά την απονιτροποίηση, τα νιτρικά ιόντα σε αναερόβια συστήματα ανάγονται σε οξείδια του αζώτου και στη συνέχεια σε αέριο άζωτο. Από τις ισονιτρικές καμπύλες (Σχήμα 5,15 και 5,16) προκύπτει ότι τα νιτρικά ιόντα παρουσίαζαν αρχικά υψηλές συγκεντρώσεις στο ανατολικό τμήμα της πεδιάδας ενώ σύντομα εξαπλώθηκαν στο μεγαλύτερο τμήμα της. Η συγκέντρωσή τους ήταν αρχικά υψηλή εκεί όπου αναπτύσσονται ελεύθεροι υδροφόροι σχηματισμοί με αδρομερή υλικά στην ακόρεστη ζώνη. Στη συνέχεια όμως οι συγκεντρώσεις αυτές αυξήθηκαν με ιδιαίτερη έξαρση κοντά σε τμήματα των χειμάρρων Ίναχος και Ξεριάς καθώς και στις ανατολικές παρυφές. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην έκλυση λιπασμάτων καθώς και σε ρύπανση από την ανεξέλεγκτη απόρριψη διαφόρων ειδών αποβλήτων (π.χ. στερεά και υγρά αστικά απόβλητα) στις κοίτες των χειμάρρων. Η μικρή σχετικά συγκέντρωση των νιτρικών στο νότιο τμήμα του Αργολικού πεδίου μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία των περιορισμένων υδροφόρων σχηματισμών που παρεμποδίζουν την άμεση μεταφορά προς τα υπόγεια νερά των παραπάνω διαλυμάτων.

5.5 Περίληψη - συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο αξιολογήθηκαν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία καθώς και επιπλέον στοιχεία που προέκυψαν από σχετικές εργασίες υπαίθρου και προσδιορίστηκαν οι υδραυλικές ιδιότητες των υδροφόρων σχημάτων καθώς και οι μηχανισμοί λειτουργίας τους.

Στα διαθέσιμα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν και μηχανογραφήθηκαν περιλαμβάνονται:

- Ιστορικά στοιχεία και γενικά, οποιαδήποτε βιβλιογραφικά δεδομένα σχετικά με τη συμπεριφορά των υδροφόρων σχηματισμών σε διάφορες φυσικές ή ανθρωπογενείς πιέσεις και μεταβολές (π.χ. βάλτοι, πηγές, Τριμέρια κλπ.)
- Οι μετρήσεις στάθμης και ποιότητας που διεξήγαγε η ΥΕΒ του ΥΠ.ΓΕ, από το 1963 μέχρι το 1975, σε 60 δέσμες γεωτρήσεων (ανά δεκαπενθήμερο) καθώς και σε 290 περίπου φρέατα (ανά μήνα).
- Οι μετρήσεις στάθμης και ποιότητας, της περιόδου 1986-96, που γίνονταν ανά εξάμηνο, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος του ΓΠΑ (βλ. Πουλοβασίλης κ.α 1989, 1996).
- Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης του Αργολικού πεδίου και η υφιστάμενη κατάσταση ρύπανσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

6. ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

6.1 Σενάρια προσομοίωσης

6.1.1 Ανακατανομή των αντλήσεων τις τελευταίες δεκαετίες

Η επιδείνωση του προβλήματος της υφαλμύρωσης οδήγησε τους αρμόδιους φορείς, στο τέλος τη δεκαετίας του 1970, στην κατασκευή της αρδευτικής διώρυγας της Νέας Κίου (βλ. Σχ. 4.5). Η διώρυγα αυτή κάλυψε μέρος των αρδευτικών αναγκών της περιοχής Ασίνης – Δρεπάνου – Τόλου καθώς και των Νότιων περιοχών του Αργολικού πεδίου. Οι αρδευτικές ανάγκες που καλύπτονται από τη διώρυγα αυτή, σύμφωνα με στοιχεία της ΓΟΕΒ Αργολίδας, ανέρχονται κατά μέσο όρο σε 10-15x106m³ ανά αρδευτική περίοδο (βλ. Σχήμα 4.7). Η κάλυψη μέρους των αρδευτικών αναγκών των παραπάνω περιοχών από πηγαία ύδατα σε συνδυασμό με την επέκταση των αρδευόμενων καλλιεργειών προς τα περιθώρια της πεδιάδας είχαν ως αποτέλεσμα την σταδιακή εγκατάλειψη γεωτρήσεων άρδευσης στις νότιες περιοχές, όπου το νερό ήταν υφάλμυρο, και την ανακατανομή των αντλήσεων νερού από τους υδροφόρους σχηματισμούς με κύριο χαρακτηριστικό την ανόρυξη νέων γεωτρήσεων βορειότερα και γενικά προς τις παρυφές της πεδιάδας (βλ. Σχ. 5.1, 5.2).

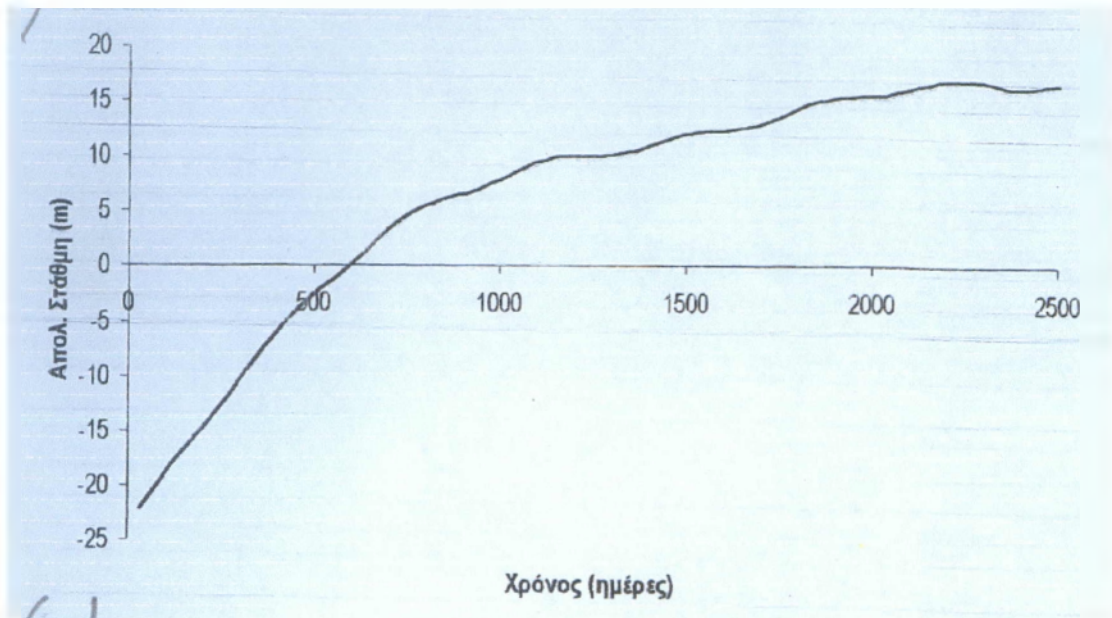
Στο παρόν σενάριο γίνεται χρήση του μαθηματικού μοντέλου ροής για να διερευνηθεί αυτή η νέα κατανομή των αντλήσεων η οποία ευθύνεται ως επί το πλείστον για τις διακυμάνσεις της πιεζομετρίας των υπόγειων νερών τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Επειδή κατά την περίοδο 1990 – 98 οι μεταβολές της στάθμης των υπόγειων νερών δεν εξαρτώνται μόνο από τη νέα κατανομή των αντλήσεων και τις φυσικές τροφοδοσίες αλλά και από τον τεχνητό εμπλουτισμό, στο παρόν σενάριο χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις στάθμης της περιόδου 1986-90 (βλ. Πουλοβασίλης κ.α., 1996)

6.1.2 Σενάρια αποκατάστασης της φυσικής ισορροπίας

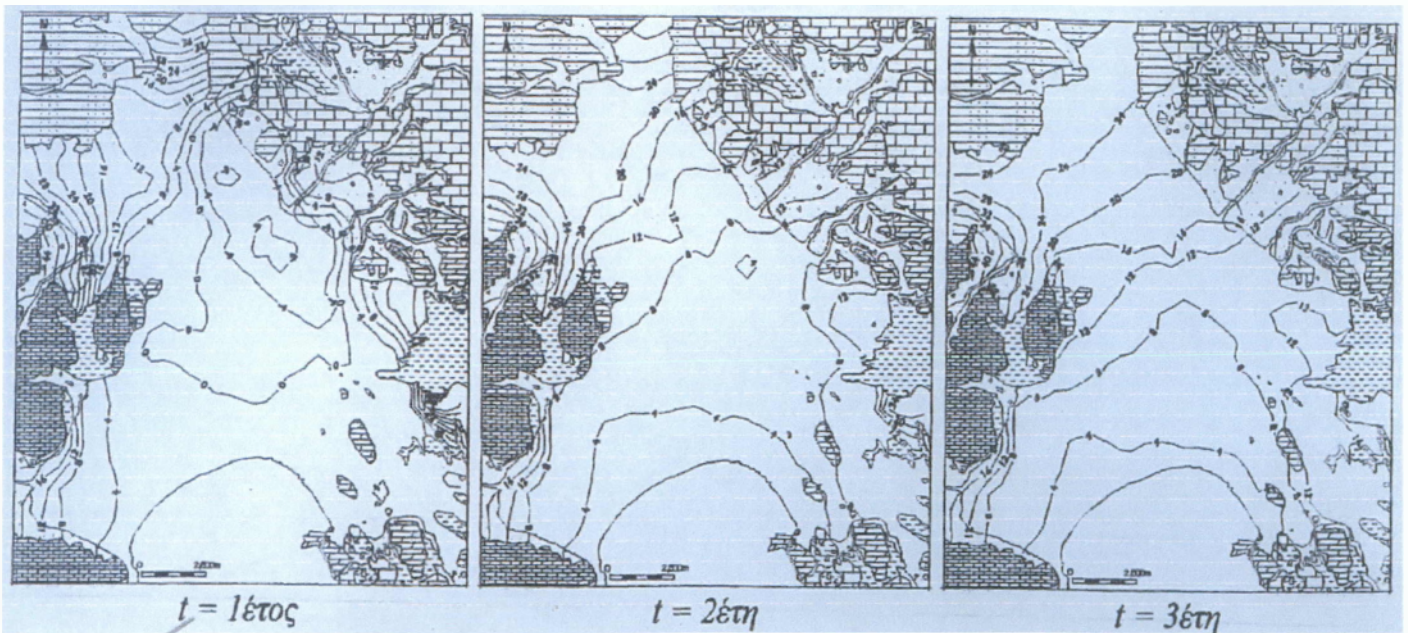
Το μέτωπο της υφαλμύρωσης θα υποχωρούσε σταδιακά και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα μπορούσε να αποκατασταθεί η ποιότητα των υπόγειων νερών.

Εξετάστηκε η αποκατάσταση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών θεωρώντας αρχικές συνθήκες αυτές του 1990, όπου η στάθμη των υπόγειων νερών είχε αγγίξει τα κατώτερα όρια ενώ μεγάλο τμήμα των υδροφόρων σχηματισμών είχε υφαλμυρωθεί.

Σε ότι αφορά στην πιεζομετρία η προσομοίωση έδειξε ότι στην περίπτωση που σταματήσουν παντελώς οι αντλήσεις η στάθμη των υπόγειων νερών θα αποκατασταθεί σύντομα, σε διάστημα δύο ετών, και στη συνέχεια θα τείνει να σταθεροποιηθεί (βλ. Σχ.6.1,6.2). Το γεγονός αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη λειτουργία της πηγής της Γλυκιάς σε δύο έτη από την παύση των αντλήσεων ενώ η περαιτέρω άνοδος της στάθμης θα μπορούσε να οδηγήσει στην εκδήλωση βαλτωδών εκτάσεων (Τριμεριών) στα όρια του αργιλικού καλύμματος, στο κέντρο περίπου της πεδιάδας.

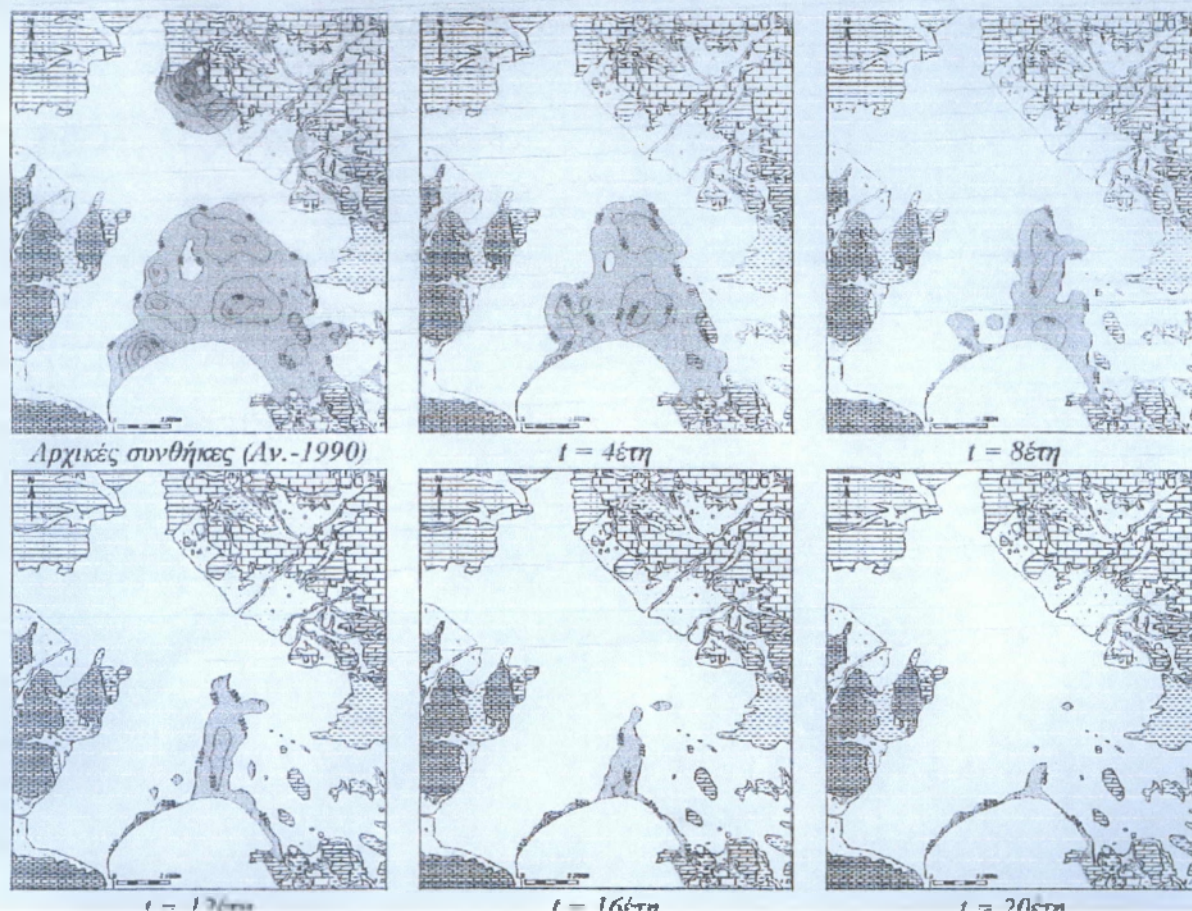


Σχήμα 6.1 Ρυθμός αποκατάστασης της στάθμης των υπόγειων νερών στη γεώτρησης υπ. Αριθμ. 112 (βλ. Σχήμα 5.5) στην υποθετική περίπτωση παύσης των αντλήσεων. (Πηγή : ΤΟΕΒ Ναυπλίου)



Σχήμα 6.2 Ρυθμός αποκατάστασης της πιεζομετρίας στην υποθετική περίπτωση παύσης των αντλήσεων (Πηγή : ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Παρά το γεγονός ότι η αποκατάσταση της στάθμης των υπόγειων νερών μπορεί να επιτευχθεί σχετικά σύντομα με την παύση των αντλήσεων, δεν ισχύει το ίδιο και για τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά.



Σχήμα 6.3 Ρυθμός αποκατάστασης της ποιότητας των υπόγειων νερών (ισοχλώριες καμπύλες (ppm))
(Πηγή : TOEB Ναυπλίου)

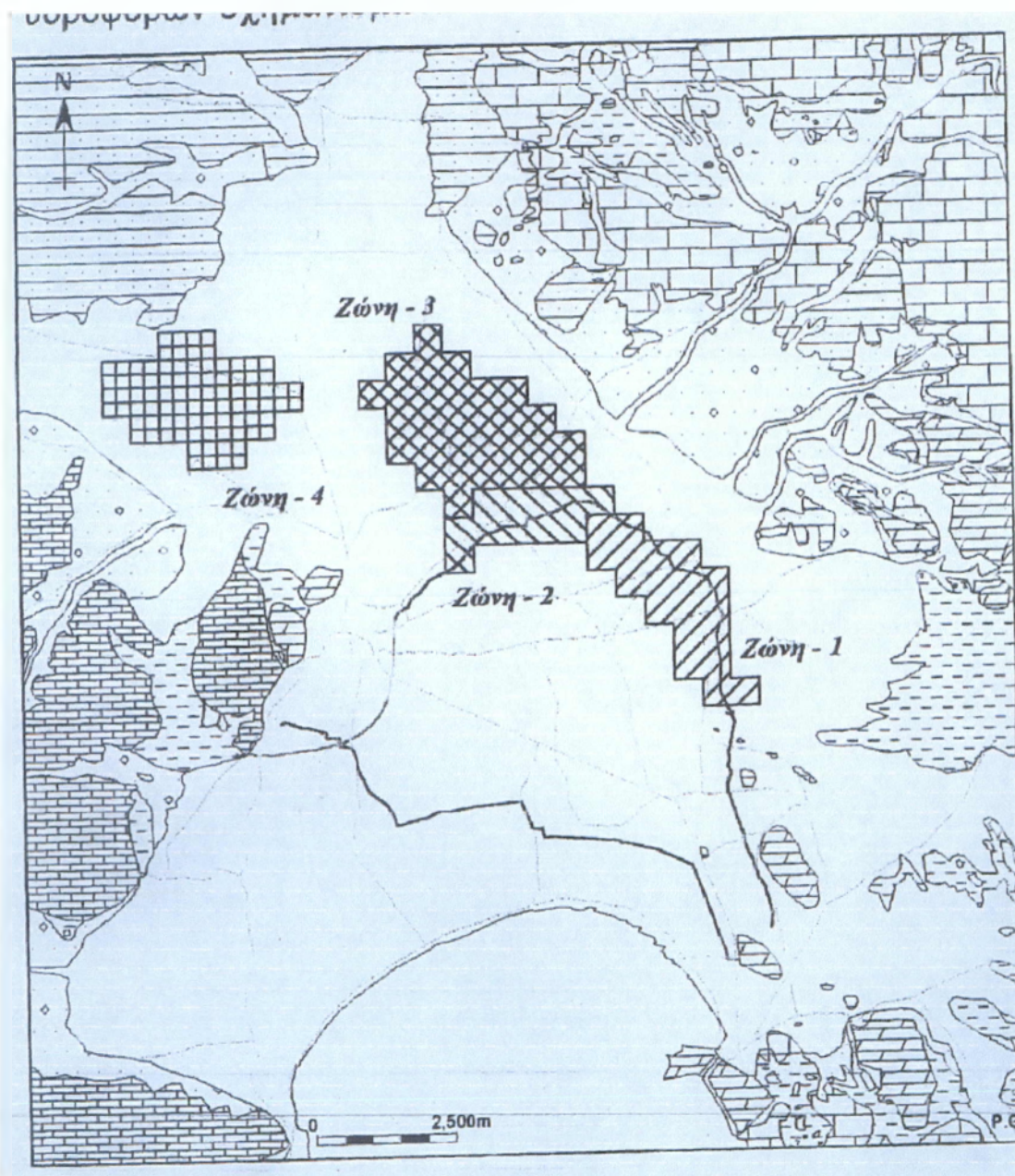
Στο **Σχήμα 6.3** φαίνεται η προοδευτική υποχώρηση του υφάλμυρου ύδατος από τα υπόγεια νερά όπως υπολογίστηκε με τη βοήθεια του μοντέλου μεταφοράς – διασποράς. Από τη σχετική προσομοίωση προκύπτει ότι η αποκατάσταση της ποιότητας των υπόγειων νερών δεν ακολουθεί τον αντίστοιχο ρυθμό αποκατάστασης των ποσοτικών του χαρακτηριστικών αλλά έναν αρκετά πιο αργό ρυθμό. Για την πλήρη εξυγίανση του υδροφόρου με το μηχανισμό αυτό μπορεί να απαιτηθούν μέχρι και 20 έτη.

6.1.3 Σενάρια τεχνητού εμπλουτισμού

Ο τεχνητός εμπλουτισμός αποτελεί διεθνώς τη βέλτιστη πρακτική αποκατάστασης ποιοτικών και ποσοτικών προβλημάτων σε υδροφόρους σχηματισμούς.

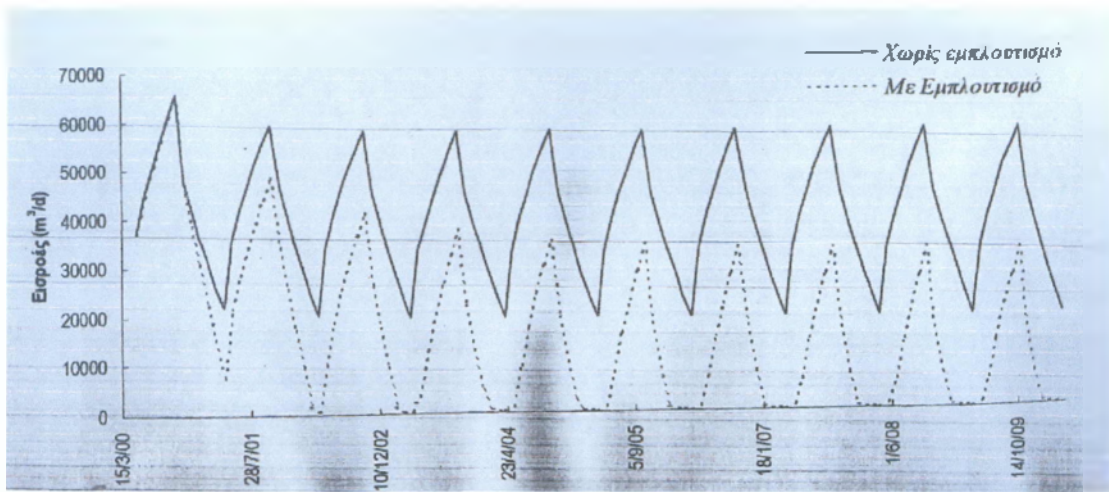
Στο παρόν σενάριο εξετάζονται οι μεταβολές των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των υπογείων νερών από την υποθετική εφαρμογή του εμπλουτισμένου σε τέσσερις διαφορετικές ζώνες ενώ διερευνώνται επίσης και οι

βέλτιστες ποσότητες που ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια σε ότι αφορά στις ανώτερες στάθμες λειτουργίας των υδροφόρων σχηματισμών.

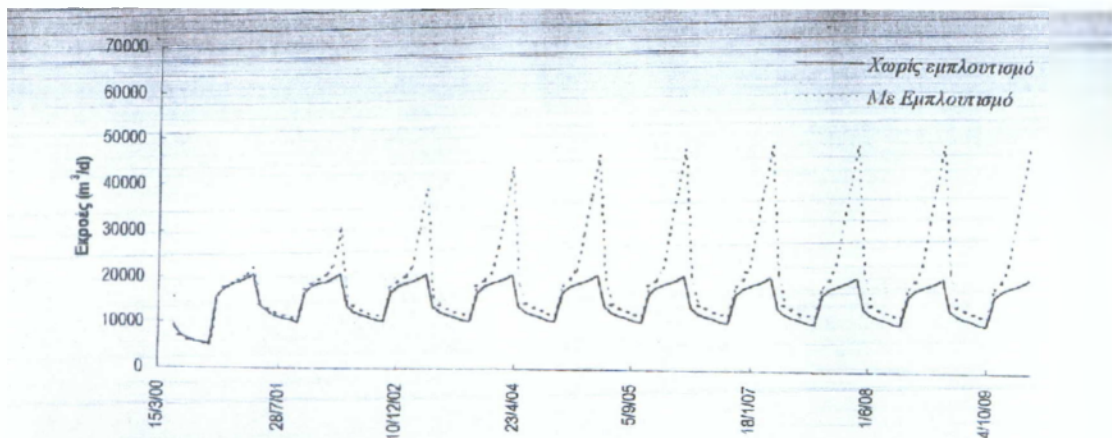


Σχήμα 6.4 Υποθετικές ζώνες τεχνητού εμπλουτισμού
(Πηγή : ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

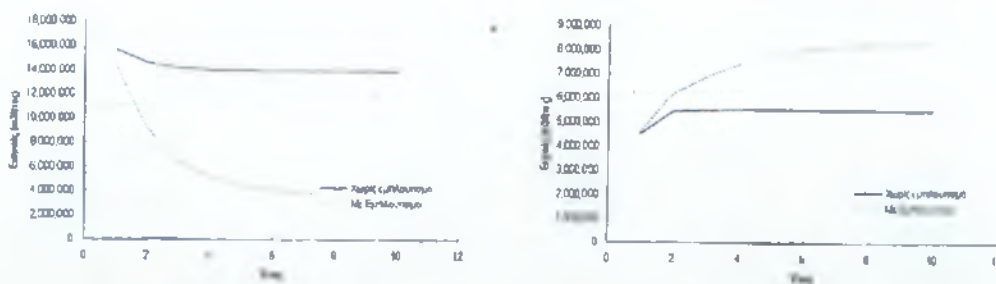
Οι ζώνες εμπλουτισμού που επιλέχθηκαν αντιπροσωπεύουν υφιστάμενες περιοχές εμπλουτισμού (ζώνη 1 και μέρος της ζώνης 2) καθώς επίσης και περιοχές (ζώνες 2 και 3) που αντιμετώπισαν έντονα προβλήματα εξάντλησης των υπογείων υδατικών αποθεμάτων τους σε περιόδους ανομβρίας. Οι βέλτιστες ποσότητες νερού εμπλουτισμένου, με νερά της πηγής Κεφαλαρίου, εκτιμάται ότι είναι αυτές που θα επαναφέρουν, σε ετήσια βάση (πριν από την έναρξη των αντλήσεων), τις στάθμες των υπόγειων νερών σε επίπεδα ανάλογα με αυτά της φυσικής ισορροπίας του 1963. Το καθεστώς των αντλήσεων



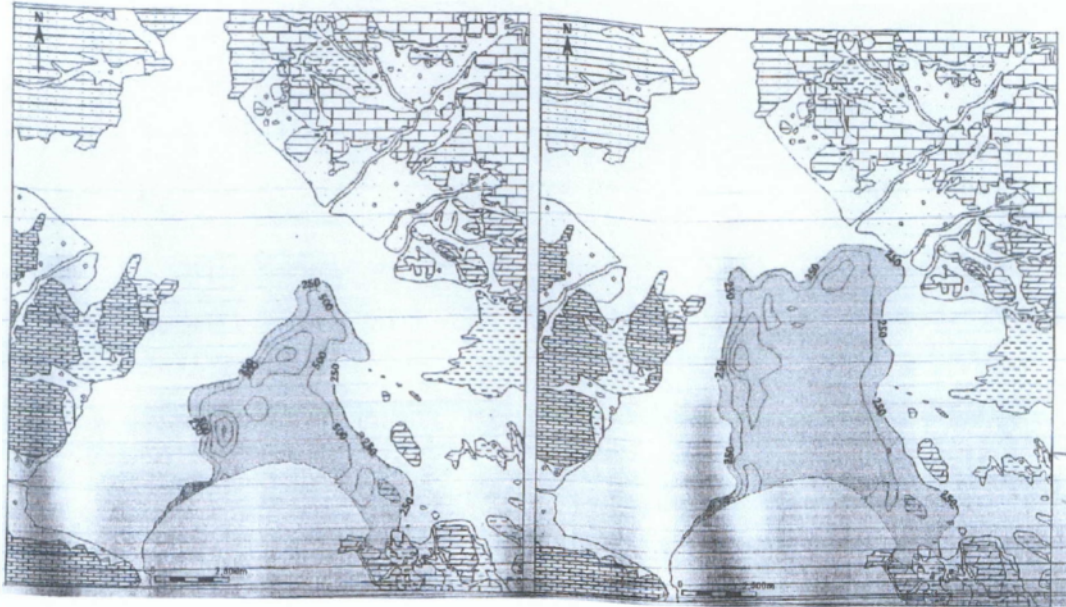
Σχήμα 6.5 Υπολογισμένες εισροές θαλάσσιου νερού με εμπλουτισμό και χωρίς εμπλουτισμό
(Πηγή : ΤΟΕΒ Ναυπλίου)



Σχήμα 6.6 Υπολογισμός εκροές υπόγειου νερού στη θάλασσα με εμπλουτισμό και χωρίς εμπλουτισμό.
(Πηγή : ΤΟΕΒ Ναυπλίου)



Σχήμα 6.7 Υπολογισμένες εισροές (α) και εκροές (β) νερού από και προς τη θάλασσα
(Πηγή : ΤΟΕΒ Ναυπλίου)



Σχήμα 6.8 Υπολογισμένες ισοχλώριες καμπύλες (ppm) μετά από μια δεκαετία με εμπλουτισμένο (α) και χωρίς εμπλουτισμό (β)
(Πηγή : ΤΟΕΒ Ναυπλίου)

Η επίδραση του εμπλουτισμού στη συγκέντρωση των χλωριόντων προσδιορίστηκε με τη χρήση του μοντέλου μεταφοράς –διασποράς. Ως αρχικές συνθήκες συγκέντρωσης τέθηκαν οι μέγιστες συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν του 1990 (βλ. Σχήμα 6,14) . Το μοντέλο εκτελέστηκε όπως και στην προηγούμενη περίπτωση για δέκα έτη, σε δύο διαφορετικά σενάρια, με εμπλουτισμό (Σχήμα 6,8 α) και χωρίς εμπλουτισμό (Σχήμα 6,8 β).

Από τις παραπάνω προσομοιώσεις, προκύπτει ότι η εφαρμογή του εμπλουτισμού στις παραπάνω ζώνες μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο στην άμεση αποκατάσταση των ποσοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών αλλά και στη σταδιακή αποκατάσταση της ποιότητας τους αφού οι εκροές υπόγειων νερών προς τη θάλασσα θα αυξηθούν σημαντικά ενώ αντίθετα οι εισροές θα μειωθούν (βλ. Σχήμα 6,7).

6.2. Συμπεράσματα

Η εφαρμογή των μοντέλων ροής και μεταφοράς διαλυτών ουσιών στα υπόγεια νερά έδειξε ότι αυτά μπορούν με αποδεκτή ακρίβεια να αναπαράγουν τις μεταβολές της στάθμης και της συγκέντρωσης των χλωριόντων των υπόγειων νερών που καταγράφηκαν στην περιοχή του Αργολικού πεδίου τα τελευταία χρόνια.

Η ρύθμιση του μοντέλου ροής έγινε σε διάφορα σενάρια για να περιοριστεί έτσι το πρόβλημα της μη μοναδικότητας που προκύπτει από την πληθώρα των παραμέτρων και μεταβλητών που χαρακτηρίζουν και περιγράφουν το περιβάλλον των υδροφόρων σχηματισμών. Η ρύθμιση σε συνθήκες μόνιμης ροής και φυσικής ισορροπίας, που εφαρμόζεται συνήθως σε ανάλογα μοντέλα, παρόλο ότι επιτυγχάνει σχεδόν απόλυτα τα κριτήρια ρύθμισης σε ότι αφορά στην προσομοίωση της στάθμης των υπόγειων νερών, εισάγει σημαντικά το πρόβλημα της μη μοναδικότητας. Αυτό αντιμετωπίζεται σε μεγάλο βαθμό με τη ρύθμιση του μοντέλου σε συνθήκες μόνιμης ροής και δυναμικής ισορροπίας.

Σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, η επιτυχία της ρύθμισης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη γνώση της χωροχρονικής κατανομής των τάσεων που ασκούνται στο σύστημα. Σημαντικότερη από αυτές είναι η κατανομή των αντλήσεων αφού με το μηχανισμό αυτό ανακατανέμεται το 90% περίπου των υπόγειων νερών στο σύστημα υδροφόροι σχηματισμοί- έδαφος- ατμόσφαιρα. Τα μοντέλα ρυθμίστηκαν και επαληθεύτηκαν στο βαθμό που επιτρέπει η μέχρι τώρα γνώση της κατανομής στο χώρο των παραπάνω τάσεων.

Η ανάπτυξη του μοντέλου μεταφοράς-διασποράς σε συνδυασμό με το μοντέλο ροής επαλήθευσε ακόμη περισσότερο το τελευταίο καθώς επίσης και το εννοιολογικό μοντέλο πάνω στο οποίο αναπτύχθηκαν τα μοντέλα στο παρόν κεφάλαιο.

Η εφαρμογή των μοντέλων σε διάφορα υποθετικά και μη σενάρια επιβεβαίωσε την ανακατανομή των αντλήσεων που έλαβε χώρα τα τελευταία χρόνια σε σχέση με την αντίστοιχη κατανομή της περιόδου της δεκαετίας του 1960. Υπολογίστηκε ότι η παύση των αντλήσεων θα επέφερε άμεση αποκατάσταση της στάθμης των υπογείων νερών σε δύο περίπου έτη ενώ η αποκατάσταση της ποιότητας σε σχέση με τα χλωριόντα θα απαιτούσε μέχρι και είκοσι χρόνια.

Επειδή η παύση των αντλήσεων θεωρείται πρακτικά αδύνατη υπολογίστηκε ότι με την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού σε τέσσερις διαφορετικές ζώνες με ποσότητες νερού των πηγών Κεφαλαρίου που ανέρχονται σε $25-30 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$, θα επέφεραν άμεση αποκατάσταση των ποσοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών, εξασφαλίζοντας έτσι τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής ενώ παράλληλα θα βελτιωνόταν σταδιακά και η ποιότητα τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

7. ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρθηκαν τα λιθοστρωματογραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής του Αργολικού πεδίου. Τα χαρακτηριστικά αυτά σε συνδυασμό με τις υδραυλικές ιδιότητες των υδροφόρων σχηματισμών, συνέβαλαν στην κατανόηση των μηχανισμών λειτουργίας των υδροφόρων σχηματισμών.

Το Αργολικό πεδίο πλαισιώνεται από ποικίλης σύστασης γεωλογικούς σχηματισμούς επικρατέστεροι από τους οποίους είναι οι ανθρακικοί. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν ένα περιβάλλον ανάπτυξης καρστικών υδροφόρων σχηματισμών που εκτείνονται από τις δυτικές παρυφές της πεδιάδας μέχρι το οροπέδιο της Τρίπολης καθώς και στην ευρύτερη ανθρακική μάζα του Αραχναίου όρους. Αποτελούν επίσης ένα περιβάλλον τροφοδοσίας και κίνησης του καρστικού υπόγειου νερού που εκφορτίζεται εν μέρει στο μέτωπο των πηγών που αναβλύζουν στις δυτικές παρυφές του Αργολικού πεδίου. Μια σημαντική επίσης ποσότητα από τα καρστικά αυτά ύδατα τροφοδοτεί πλευρικά και τους υδροφόρους σχηματισμούς των αλλουβιακών του αποθέσεων.

Οι βασικότεροι υδατικοί πόροι της περιοχής αποτελούνται από τα πηγαία καρστικά ύδατα των πηγών Κεφαλαρίου, Λέρνης, Κρόης και Κιβερίου και τα υπόγεια ύδατα που φιλοξενούνται στους υδροφόρους σχηματισμούς των αλλουβιακών αποθέσεων.

Η λιθοστρωματογραφική έρευνα οδήγησε στον προσδιορισμό των δομικών και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αλλουβιακών αποθέσεων του Αργολικού πεδίου. Οι αποθέσεις αυτές δομούνται από μια αλληλουχία αδρομερών και λεπτομερών ιζημάτων που σχηματίζουν επάλληλους υδροφόρους σχηματισμούς οι οποίοι εναλλάσσονται με λεπτομερή αργιλικά ιζήματα στο κεντρικό και νότιο τμήμα της πεδιάδας ενώ στις παρυφές της ενοποιούνται και ομογενοποιούνται. Βασικό δομικό χαρακτηριστικό των αλλουβιακών αποθέσεων όπως προέκυψε από την παραπάνω έρευνα είναι παρουσία ενός αργιλικού καλύμματος που αναπτύσσεται στο νότιο τμήμα της πεδιάδας και εκτείνεται κατακόρυφα από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθους 10-20m.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκαν δύο διαστάσιμα αριθμητικά μοντέλα. Το πρώτο αφορά στην προσομοίωση της ροής ενώ το δεύτερο στην προσομοίωση της μεταφοράς των χλωριόντων στα υπόγεια νερά και γενικότερα του φαινομένου της υφαλμύρωσης.

Η ρύθμιση του μοντέλου ροής έγινε σε συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής. Με την εφαρμογή του κατέστη δυνατή η προσομοίωση των μεταβολών των υφιστάμενων μετρήσεων στάθμης στο υδροφόρο σχηματισμό ενώ προσδιορίστηκαν ακριβέστερα συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου όπως οι πλευρικές τροφοδοσίες και οι εισροές από τη θάλασσα.

Το μοντέλο προσομοίωσης της μεταφοράς χλωριόντων στα υπόγεια νερά βασίζεται στην εξίσωση μεταφοράς – διασποράς, χρησιμοποιεί τις συνιστώσες ροής που υπολογίζονται από το προηγούμενο μοντέλο και τις τροποποιεί σύμφωνα με τους μηχανισμούς της διασποράς και διάχυσης. Αποδείχτηκε ότι το μοντέλο μεταφοράς – διασποράς όταν επικρατεί ο μηχανισμός της διασποράς και κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις μπορεί να προσεγγίσει ικανοποιητικά το φαινόμενο της υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών.

Η εφαρμογή των μοντέλων σε διάφορα υποθετικά σενάρια επιβεβαίωσε την ανακατανομή των αντλήσεων που έλαβε χώρα τα τελευταία χρόνια σε σχέση με την αντίστοιχη κατανομή της περιόδου της δεκαετίας του 1960. Υπολογίστηκε ότι η παύση των αντλήσεων θα επέφερε σύντομη (2-3 έτη) αποκατάσταση της στάθμης των υπόγειων νερών ενώ η αποκατάσταση της ποιότητας σε ότι αφορά στα χλωριόντα θα απαιτούσε μέχρι και είκοσι χρόνια.

Επειδή η παύση των αντλήσεων θεωρείται πρακτικά αδύνατη υπολογίστηκε ότι με την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού σε τέσσερις υποψήφιες περιοχές με ποσότητες νερού των πηγών του Κεφαλαρίου που ανέρχονται σε $25 - 30 \times 10^6$ m³/έτος, θα επέφεραν άμεση αποκατάσταση των ποσοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών, εξασφαλίζοντας έτσι τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής ενώ παράλληλα θα βελτιωνόταν σταδιακά και η ποιότητά τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αναστασιάδης Θ. Δ. (1964)**, Προκαταρκτική Έκθεση Αξιοποίησης Περιοχής Αργολικού Πεδίου. Κυρίως Προκαταρκτική Έκθεση. ΥΠ.ΓΕ, Αρ. Μητρ. Π. 22,23/1673
- Αρώνης Γ. (1962)**, Προγραμματισμό έργων δια την ενίσχυσιν του Αργολικού πεδίου. ΙΓΕΥ 1962, 7ρ.
- Γαλέος Α. (1967)**, Μελέτη επί των (αλλουβιακών) αποθέσεων του Αργολικού πεδίου δια την εύρεσιν της συμπεριφοράς και της χωρητικότητας των υδροφόρων αυτού. ΥΠΓΕ (ΥΕΒ), Αθήνα.
- Γιαννουλόπουλος Π. και Α. Πουλοβασίλης (1999)**, Η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού στο Αργολικό Πεδίο – Πρόσφατα αποτελέσματα και προοπτικές. «Ημερίδα Τεχνητού Εμπλουτισμού Υπόγειων Υδροφόρων». Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας, Ξάνθη, Πολυτεχνική Σχολή.
- Γιάσογλου Ν., Νύχας Α. Αποστολάκης Κ. και Κοσμάς Κ. (1983)**, Εδαφολογική Μελέτη περιοχής Αργολικού Πεδίου ΥΠ. ΓΕ
- Θάνος Μ. (1994)**, Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα από πείραμα τεχνητού εμπλουτισμού υδροφόρων στο Αργολικό πεδίο. Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας, Πρακτικά 2^{ου} Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Τόμος Α, pp. 119-134.
- Πουλοβασίλης Α., Μιμίδης Θ. Αλεξανδρής Σ. Ψυχογιού Μ. και Γερούλης Α. (1988)**, ερευνητικό πρόγραμμα: «Χρησιμοποίηση για άρδευση του φράγματος του νερού Κιβερίου Αργολίδας και παρακολούθηση και αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών του Αργολικού πεδίου». Ενδιάμεση Έκθεση. Γεωπονικό πανεπιστήμιο Αθηνών Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής. Επιστημονικός Υπεύθυνος Α. Πουλοβασίλης.
- Πουλοβασίλης Α (1963)**, Εδαφολογική Αναγνωριστική Έκθεση Αργολικού Πεδίου. Υπουργείο Γεωργίας, ΥΕΒ Δνση Ι, Τμήμα Δ.
- Πουλοβασίλης Α. κ.α. (1996)** Ερευνητικό Πρόγραμμα: «Ορθολογική Εφαρμογή της Άρδευσης και αποστράγγισης κάτω από Ελληνικές Συνθήκες. Εξαμυσοδιαπνοή». Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής. Επιστημονικός Υπεύθυνος Α. Πουλοβασίλης