

Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΧΕΛΩΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ*

Ν. ΣΚΟΥΛΙΚΙΔΗΣ¹, Ν. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ², Ε. ΖΑΓΓΑΝΑ¹ & Π. ΠΕΡΓΙΑΛΙΩΤΗΣ³

ΣΥΝΟΨΗ

Σ' αυτή την εργασία παρουσιάζεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την εκτίμηση της συνεισφοράς της γεωργίας στη ρύπανση των νερών στον κάτω ρού του Αχελώου. Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν, ότι η περιοχή έρευνας υδροχημικά χαρακτηρίζεται από μεγάλη ανομοιομορφία, λόγω της διαφορετικής προέλευσης των επιφανειακών νερών και της μεγάλης ποικιλομορφίας των υδροφόρων. Καθοριστικό παράγοντα παίζει η υπαλάμυνση των υπόγειων νερών, η οποία δεν παρουσιάζει συγκεκριμένη γεωγραφική κατανομή, και η διάλυση της γύψου των τριαδικών λατυποπαγών. Τα υπόγεια νερά είναι ποιοτικά επιβαρυνμένα, ιδιαίτερα όσον αφορά τα νιτρικά, σε αντίθεση με τα επιφανειακά, τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα ενώσεων του Ν και του Ρ γεγονός που αποδίδεται αντίστοιχα σε διεργασίες απονιτροποίησης και προσρόφησης του φωσφόρου στα ιζήματα. Τέλος, οι συγγεντώσεις των θρεπτικών στην βροχή είναι συγγερίσιμες με αυτές των επιφανειακών νερών.

ABSTRACT

The methodology used to evaluate the contribution of agriculture to the pollution of the lower part of Acheloos River is described. This work is a collaboration of the Hellenic Ministry of Agriculture and the National Centre for Marine Research. The methodology used in this study has four components. (1) determination of the hydrologic and geochemical conditions, the interaction between surface and ground water and the hydrologic budget of the area; (2) determination of point and diffused sources of pollution, and quantification of nutrient fluxes from point and non-point sources. (3) water quality monitoring of surface waters, groundwater and atmospheric deposition, and (4) hydrologic and water quality modelling.

Preliminary results indicate that the region is hydrologically and hydrochemically heterogeneous, due to the different origin of surface water, and the heterogeneity of the subsurface of the delta environment. It appears that Acheloos River is recharging the groundwater in the region of the alluvial deposits. Significant role plays the salinisation of groundwater and the dissolution of gypsum from the triassic breccia formation. Surface water from river, irrigation channels and drainage channels has a similar geochemical composition. Groundwater exhibits high nitrate concentrations in contrast to the surface water that shows low N and P contents. It is postulated that this is due to denitrification and phosphorous adsorption of soil occurring at the groundwater/surface water interface. Finally, nutrient concentrations in rainwater are comparable to those of surface water. In conclusion, it appears that significant nutrient contamination is restricted to groundwater while the general water quality of the surface water is good.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Αχελώος, Ρύπανση, Υδροχημεία, Απονιτροποίηση.

KEY WORDS: Acheloos River, Pollution, Hydrochemistry, Denitrification

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία είναι τμήμα του ερευνητικού έργου "Αξιοποίηση υδροχημικών δεδομένων του Αχελώου: Εκτίμηση της συνεισφοράς της γεωργίας στην υδατική ρύπανση", το οποίο χρηματοδοτείται από το Υπουργείο Γεωργίας (Γενική Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων & Γεωργικών Διαρθρώσεων). Σκοπός του

* THE CONTRIBUTION OF AGRICULTURE TO THE AQUATIC POLLUTION OF THE LOWER PART OF ACHELOOS RIVER: METHODOLOGY AND PRELIMINARY RESULTS

1. National Centre for Marine Research, Institut for Inland Waters, Agios Kosmas, 166 04 Hellinikon, Athens, nskou@nmmr.gr, eleza@ncmr.gr

2. Environmental Research Institute, The University of Connecticut, Storrs, CT 06269, 2037 USA

3. Geology and Hydrology Department, Hellenic Ministry of Agriculture

έργου είναι η εκτίμηση της συνεισφοράς της γεωργίας στη ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων στην περιοχή του κάτω ρού του Αχελώου. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε ειδική μεθοδολογία που περιγράφεται στη συνέχεια. Επίσης, παρουσιάζονται και τα πρώτα αποτελέσματα.

Μεταξύ των μη σημειακών πηγών ρύπανσης (γεωργία, βιομηχανία, βιοαποβλήματα κ.τ.λ.) η σημαντικότερη είναι η γεωργία. Οι γεωργικές δραστηριότητες επιβαρύνουν τα εδάφη και τα νερά με ενώσεις του αζώτου και του φωσφόρου, φυτοφάρμακα και βάρεα μέταλλα. Ρύπανση των υδάτινων αποδεκτών προκαλούν και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες (αστικά λύματα, απορρίμματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζητηνοτροφικές μονάδες), που όμως έχουν σημειακό χαρακτήρα, με αποτέλεσμα να είναι σχετικά εύκολος, τόσο ο προσδιορισμός των επιπτώσεων τους, όσο και ο έλεγχός τους. Αντίθετα, η γεωργική ρύπανση δεν είναι εύκολο να ελεγχθεί, γιατί οι πηγές της αναφέρονται σε μεγάλες εκτάσεις. Παράλληλα, οι ρύποι που προέρχονται από τις γεωργικές απορρίψεις μεταφέρονται από το έδαφος, στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, αναμειγνύονται συχνά με ρύπους από άλλες πηγές και υπόκεινται σε ποικίλες βιογεωχημικές δράσεις και μεταβολές. Έτσι, δεν είναι εύκολο να προσδιορισθεί η συνεισφορά της γεωργίας στην ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Επιπρόσθετα, οι ιδιαιτερότητες της περιοχής έρευνας, μεγάλο πεδινό τμήμα με ασαφές υδρογεωλογικό καθεστώς. (ΜΑΡΤΙΝΟΣ 1993, ΝΙΚΟΛΑΟΥ 1993) καθιστούν το όλο εγχείρημα ιδιαίτερα σύνθετο.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στο τελευταίο τμήμα της υπολεκάνης του Κάτω Αχελώου, η οποία αποτελεί μία από τις τρεις κύριες υπολεκάνες της λεκάνης απορροής του ποταμού. Έχει έκταση 314 km² και συμπεριλαμβάνει την περιοχή, η οποία περιλαμβάνεται μεταξύ της γέφυρας της Δ.Ε.Η. κοντά στην Λίμνη του Οξερού και του σημείου πριν την εκβολή του ποταμού, που δεν χαρακτηρίζεται από περιοδική διείσδυση της θάλασσας (Σχήμα 1). Το ανάντη όριο της περιοχής ορίστηκε έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη, τόσο ο ρόλος της Διώρυγας Δίμηλου, η οποία συνδέει την λίμνη Λυσιμαχίας με τον Αχελώο, όσο και τον κανάλι του Οξερού, το οποίο συνδέει τον Οξέρο με τον Αχελώο. Το κατάντη όριο της περιοχής έρευνας προκύπτει από το γεγονός ότι η επίδραση του θαλασσινού νερού αλλοιώνει τις τιμές των ρυπαντικών φορτίων, που εξέρχονται μέσω του Αχελώου προς τη θάλασσα.

Η έρευνα για τη συμβολή της γεωργίας στη ρύπανση των νερών εντοπίζεται κυρίως κατάντη της γέφυρας Γουριάς – Πενταλόφου (κυρίως περιοχή έρευνας). Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει το αγρόκτημα Λεονίου και την πεδιάδα Κατοχής-Νεοχωρίου, εκτάσεις που δημιουργήθηκαν ύστερα από εξετασμένες αποξηράνσεις και στις οποίες λειτουργεί ένα πυκνό εγγειοβελτιωτικό δίκτυο (αρδευτικά και στραγγιστικά έργα), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι ο φυσικός υδρολογικός κύκλος του Αχελώου έχει διαταραχθεί από την λειτουργία των φραγμάτων (Στρούτος, Κασοράκι, Κρεμαστά), τα οποία βρίσκονται στην υπολεκάνη του μέσου ρου του Αχελώου, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η περιοχή παρουσιάζει ένα μη φυσικό, αλλά ανθρωπογενές, υδρογραφικό δίκτυο.

Τη γεωλογική δομή της περιοχής έρευνας συνθέτουν: Τριαδικά ασβεστολιθικά δολομιτικά και λαυτοπλαγή με γύψους, ασβεστόλιθοι του Παντοζράτορα (ελαφρώς δολομιτωμένοι). Πλειοκαινικές αποθέσεις λημιάας φάσης και οι λεπτομερείς Τεταρτογενείς αποθέσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν ένα μεγάλο φάσμα ποτίμων-ποταμοθαλάσσιων-λιμνοθαλάσσιων-βαλτωδών και θαλάσσιων ιζημάτων (ΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1993).

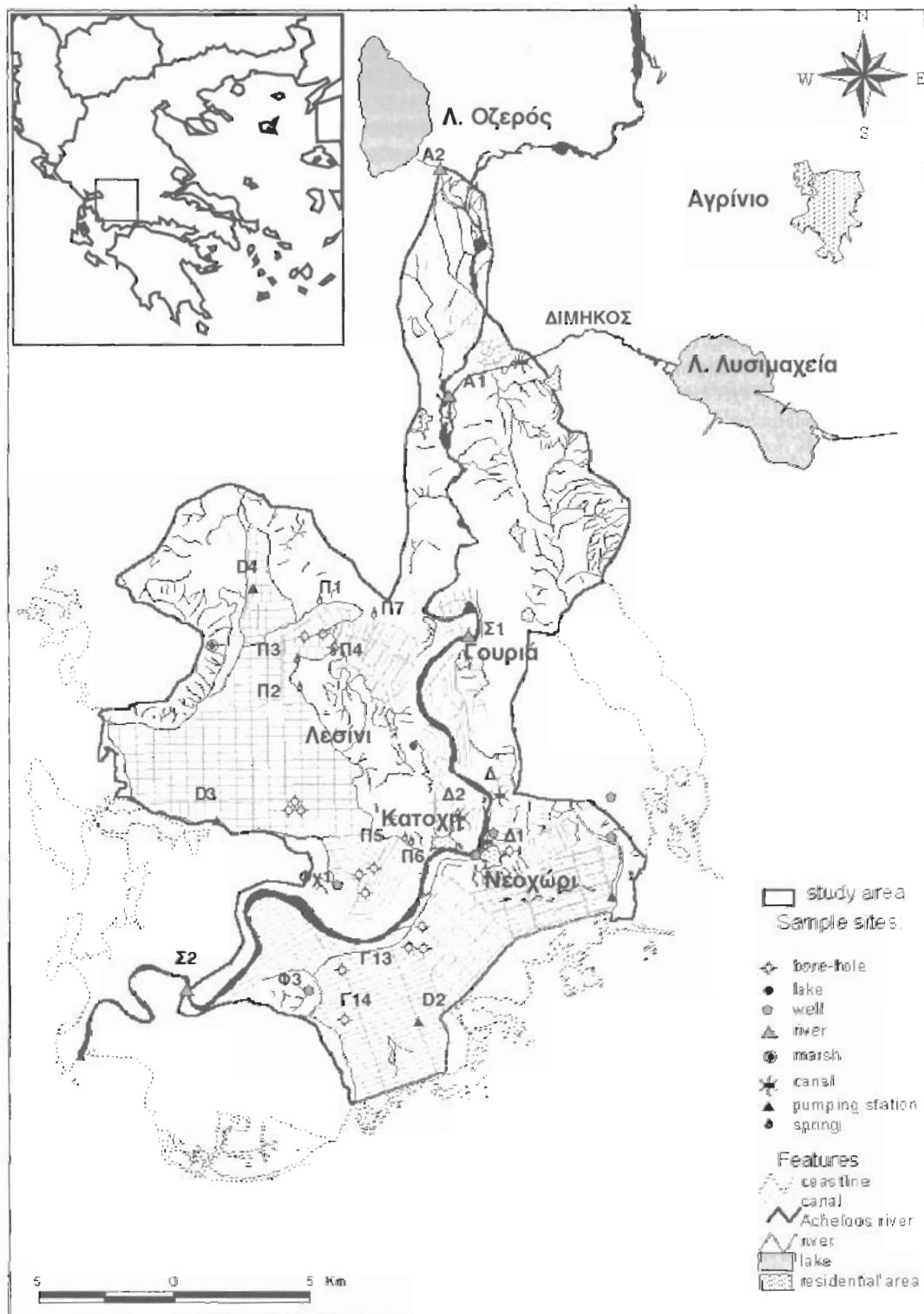
Στην περιοχή έρευνας υπάρχουν αρজেτοί κωστοικοί (Λάμπρας, Αζαροναϊκών ορέων, Παναγίας) και προσχηματικοί υδροφόροι.

Η περιοχή έρευνας συγκεντρώνει τις περισσότερες οικονομικές δραστηριότητες ολόκληρης της λεκάνης. Τα αστικά απόβλητα και τα ρυπαντικά φορτία από αγροτικές δραστηριότητες αποτελούν τις σημαντικότερες πηγές ρύπανσης. Καθώς ο δευτερογενής τομέας δεν είναι αναπτυγμένος, τα βιομηχανικά απόβλητα είναι περιορισμένα.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΠΡΩΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση της γεωργίας στη ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας ακολουθείται η παρακάτω μεθοδολογία (ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ et al. 1998):

Α) Προσδιορισμός του υδρολογικού και υδρογεωλογικού καθεστώτος της περιοχής, της αλληλεπίδρασης μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και του υδατικού ισοζυγίου. Ο κύριος φυσικός φορέας γλυκών επιφανειακών υδάτων στην κυρίως περιοχή έρευνας είναι ο Αχελώος. Άλλη βασική πηγή επιφανειακών υδάτων είναι η διώρυγα Δ20, η οποία οδηγεί τα νερά της Λυσιμαχίας στην περιοχή έρευνας. Καθώς η κυρίως περιοχή έρευνας δεν αποτελεί μια κλειστή υδρολογική λεκάνη, για να προσδιορισθεί το υδατικό ισοζύγιο,



Σχήμα 1: Περιοχή Έδεσσας και σημεία διεγνατοληψίας
 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεοφράστου" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
 Fig. 1: Study area and sample sites

πρέπει να υπολογισθούν οι ποσότητες των εισερχόμενων και εξερχόμενων υδάτων. Συγκεκριμένα: (α) η ποσότητα του νερού που εισέρχεται από ανάντη περιοχές, μέσω επιφανειακής απορροής (Αχελώος, Δ20), (β) η ποσότητα των ατμοσφαιρικών καταζηρηνισμάτων που δέχεται η περιοχή έρευνας, (γ) η ποσότητα που εξέρχεται από την περιοχή έρευνας επιφανειακά ή υπόγεια και μέσω του Αχελώου ή των αποστραγγιστικών τάφρων προς τη Θάλασσα (δ) η ποσότητα που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισσοδιαπνοής και (ε) αυτή που κατεισδύει στο υπέδαφος τροφοδοτώντας τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

Για τον υπολογισμό της ποσότητας του νερού, που εισέρχεται και εξέρχεται επιφανειακά μέσω του Αχελώου στην κυρίως περιοχή έρευνας, εγκαταστάθηκαν στην είσοδο και στην έξοδο της δύο μόνιμοι αυτόματοι σταθμοί συνεχούς μέτρησης της στάθμης του Αχελώου (Σχ. 1). Στις δύο αυτές θέσεις έγιναν μετρήσεις για τον υπολογισμό της διατομής του ποταμού. Για τον προσδιορισμό της παροχής του ποταμού στις δύο θέσεις θα πραγματοποιηθούν υδρομετρήσεις από τη Δ.Ε.Η.

Για να υπολογισθούν οι ποσότητες των νερών που εισέρχονται επιφανειακά μέσω της διώρυγας Δ20, γίνονται επίσης υδρομετρήσεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι η Δ20, λειτουργεί μόνο κατά τους θεινοίς μήνες, ανάλογα με τις ανάγκες άρδευσης της περιοχής. Για να υπολογισθούν οι ποσότητες του νερού, που εισέρχονται στην περιοχή με τη βροχή, έχει εγκατασταθεί ένας μετεωρολογικός σταθμός και σε ένα δεύτερο σημείο της περιοχής ένας βροχομετρικός σταθμός. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν και δεδομένα άλλων υψοστάμενων μετεωρολογικών σταθμών (Σταθμός Αγρινίου, Λεσινίου, Νεοχωρίου και Μεσολογγίου).

Η ποσότητα του νερού, που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισσοδιαπνοής και αυτή που κατεισδύει στο υπέδαφος τροφοδοτώντας τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, θα υπολογισθεί με τη βοήθεια μετεωρολογικών δεδομένων και της εξίσωσης Penmann-Montheith (BRAS, 1990). Για τον υπολογισμό της ποσότητας των ατμοσφαιρικών καταζηρηνισμάτων που κατεισδύουν στο έδαφος πραγματοποιούνται και μετρήσεις στο πεδίο.

Η ποσότητα νερού, που εξέρχεται από τη περιοχή, μέσω των αποστραγγιστικών τάφρων θα υπολογισθεί από τις παροχές των αποστραγγιστικών αντλιοστασίων.

Για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, η περιοχή έρευνας θα μελετηθεί λεπτομερέστερα σε μικρότερες υπολεκάνες.

Με σκοπό να διερευνηθεί το υδρογεωλογικό καθεστώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων νερών, μετά την απογραφή των σημείων εμφάνισης νερού (πηγές, πηγάδια, γεωπηρήσεις), εγκαταστάθηκε δίτυπο ερευνητικών γεωφίσεων μικρού βάθους (καθώς ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ υψηλός) σε τριγωνική διάταξη, έθνη και ένθεν του ποταμού, στις θέσεις που φαίνονται στο χάρτη (Σχήμα 1). Συνολικά ανοιχθήκαν 18 πιεζόμετρα (9 στο ΒΔ και 9 στο ΝΑ τμήμα του Αχελώου). Η μέτρηση της στάθμης, τόσο στα πιεζόμετρα, όσο και στα πηγάδια γίνεται σε μηνιαία βάση για τουλάχιστον ένα υδρολογικό έτος. Στις περισσότερες γεωφίσεις εκτελέθηκαν αντλητικές δοκιμές για τον προσδιορισμό της περατότητας. Έτσι, είναι δυνατόν να γίνει κατανοητή η κίνηση του υπόγειου νερού και η ύπαρξη ή όχι υδραυλικής σχέσης μεταξύ των διαφόρων υδροφόρων και υδρογεωλογικών ενοτήτων της περιοχής. Για το σκοπό αυτό θα ουνεξιολογηθούν τα φυσιοχημικά και τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των νερών της περιοχής.

Από τις μέχρι σήμερα μετρήσεις της στάθμης (Ιούνιος – Δεκέμβριος 2000) καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα: Οι χαμηλότερες στάθμες εμφανίζονται σχεδόν σε όλα τα πιεζόμετρα το μήνα Οκτώβριο ενώ οι υψηλότερες το Δεκέμβριο. Επίσης, φαίνεται ότι οι υδροφόροι ορίζοντες κατά κανόνα τροφοδοτούνται από τον Αχελώο και τα νερά άρδευσης, όπως και τη βροχή, ενώ αντίστροφη υδροφορία από τους υπόγειους υδροφόρους προς τον Αχελώο συμβαίνει σε μικρότερο βαθμό.

Β) Προσδιορισμός των σημειακών και εκτατικών πηγών ρύπανσης, τον είδους και τον ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων. Η λεπτομερής καταγραφή των σημειακών και εκτατικών πηγών ρύπανσης της περιοχής έρευνας έχει είδη πραγματοποιηθεί. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε σε δεδομένα που αφορούν το είδος και τις ποσότητες των λυασιμάτων και φυτοφαρμάκων, τα οποία χρησιμοποιούνται ανά καλλιέργεια και στο χρόνο εφαρμογής τους. Οι πηγές ρύπανσης που έχουν καταγραφεί στην περιοχή είναι οι εξής:

Σημειακές πηγές: Τα λύματα της πόλης του Αγρινίου αποχετεύονται στη Ανομιχεμία και, αφού υποστούν αραίωση, καταλήγουν μέσω της διώρυγας της Δήμητρον στον Αχελώο και μέσω της αδευτικής διώρυγας Δ20 στις καλλιεργούμενες εκτάσεις του Δήμου Οινιάδων. Οι οικισμοί εξυπηρετούνται από απορροφητικούς βόθρους. Δεν υπάρχουν χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, αλλά ανοιχτές χωματερές (Κατοχή, Νεοχώρι, Γοργιά, Πεντάλοφος, Λεσίνι, Μάστρο). Στην περιοχή λειτουργούν αρχαία ελαιοτριβεία, τυροκομεία και σφαγεία. Επίσης, έχουν καταγραφεί 5 οργανωμένες κτηνοτροφικές μονάδες.

Εκτατικές πηγές: Έχουν καταγραφεί με λεπτομέρεια οι καλλιεργούμενες εκτάσεις και τα είδη των καλλιεργειών ανά έκταση. Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

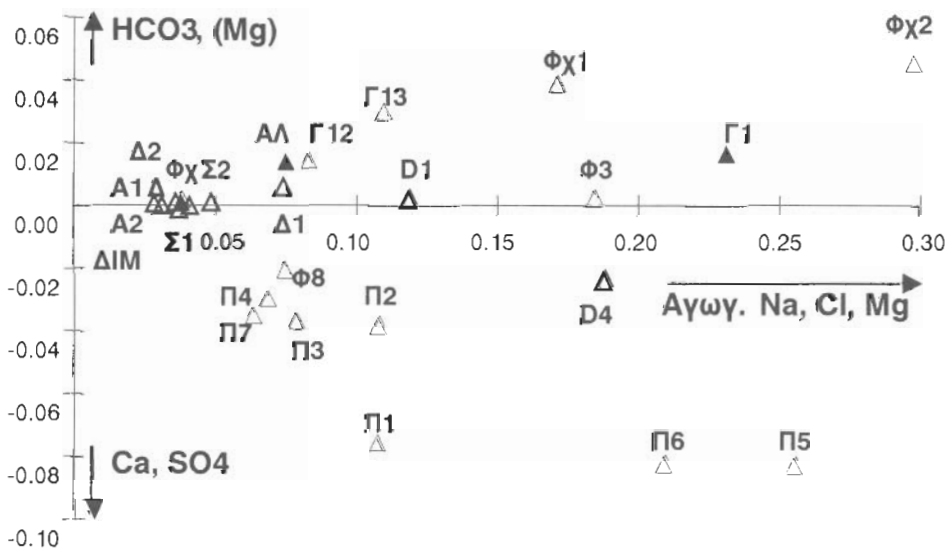
προέρχεται από την ελεύθερη κτηνοτροφία. Για την καταγραφή του αριθμού των ελεύθερων ζώων (δηλ. αυτών που δεν ανήκουν στις παραπάνω οργανωμένες κτηνοτροφικές μονάδες) και των βοσκοτοπιών τους διασταυρώνονται πληροφορίες αρχών και κατοίκων της περιοχής.

Γ) Προσδιορισμός της ποιότητας των υπόγειων και των επιφανειακών νερών και των ατμοσφαιρικών καταρτηνισμάτων. Για το σκοπό αυτό εκτελούνται σε μηνιαία βάση δειγματοληψίες επιφανειακών σημείων εμφάνισης νερού και πηγιδιών και κάθε δύο μήνες δειγματοληψίες γεωτρήσεων. Οι θέσεις δειγματοληψίας (Σχ. 1) έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να επηρεάζονται από διαφορετικές πηγές ρύπανσης (εκτάσεις με διαφορετικά είδη καλλιέργειας, κτηνοτροφικές μονάδες, αστικά λύματα κ.τ.λ.). Αυτό θα βοηθήσει στον υπολογισμό της συμμετοχής κάθε διαφορετικής πηγής ρύπανσης στην επιβάρυνση των νερών. Για τον υπολογισμό της συνεισφοράς των εκπτώσεων γεωργικών εκτάσεων στην ποιότητα των νερών του Αχελώου έχουν εγκατασταθεί, στις ίδιες θέσεις με τους αυτόματους σταθμηγράφους, και δύο αυτόματοι σταθμοί δειγματοληψίας με σκοπό τη συλλογή δειγμάτων νερού σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά την εκδήλωση βροχοπτώσεων.

Για τον έλεγχο της ποιότητας των ατμοσφαιρικών καταρτηνισμάτων έχουν εγκατασταθεί βροχοσυλλέκτες σε τέσσερα σημεία της περιοχής από τους οποίους λαμβάνεται δείγμα βροχής μετά από κάθε επεισόδιο.

Στο πεδίο γίνονται άμεσα μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων (pH, αγωγιμότητα, διαλυμένο οξύγονο). Τα δείγματα, δηλητηριάζονται με προσθήκη $HgCl_2$, μεταφέρονται υπό ψύξη και αναλύονται στο εργαστήριο Υδροχημείας του Ινστιτούτου Εσωτερικών Υδάτων του Εθνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών ως προς όλα τα κύρια κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), ανιόντα (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), τις ενώσεις N (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , και ολικό N) και P (PO_4^{3-} , ολικός P). Στην πορεία του έργου, σε επιλεγμένα δείγματα θα γίνουν αναλύσεις για φυτοφάρμακα, όπως και μικροβιολογικές αναλύσεις. Τέλος, για να μελετηθεί η επιβάρυνση του εδάφους από τους ρύπους θα γίνουν αναλύσεις εδάφους σε διαφορετικά σημεία της περιοχής. Σημειώνουμε ότι, οι προσδιορισμοί γίνονται με διάφορες επικαλυπτόμενες μεθοδολογίες (Capillary Ion Analyzer, φωτομετρικά, τιτλοδοτήσεις), ενώ ακολουθείται ειδική διαδικασία διασφάλισης της ποιότητας των εργαστηριακών αναλύσεων.

Στη συνέχεια, με βάση τα υδροχημικά δεδομένα του Σεπτεμβρίου (Πίνακας 1) γίνεται μια πρώτη ποιοτική αξιολόγηση των νερών της περιοχής έρευνας, με τη βοήθεια Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ποιότητα των νερών ελέγχεται από τρεις βασικούς παράγοντες. Το Σχήμα 2 απεικονίζει τα αποτελέσματα της PCA ως προς τον πρώτο και δεύτερο παράγοντα. Για λόγους καλύτερης απεικόνισης έχουν αφαιρεθεί οι θέσεις με τις μεγαλύτερες αγωγιμότητες, που κυμαίνονται μεταξύ 3290 και 16700 $\mu S/cm$. Κυρίαρχος παράγοντας (40% της συνολικής μεταβλητότητας) είναι η υφαλμύρωση μεγάλου τμήματος των αλλουβιακών υδροφόρων, με αποτέλεσμα οι περισσότερες γεωτρήσεις και πηγάδια να παρουσιάζουν υψηλές αγωγιμότητες που οφείλονται στις υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου. Ο δεύτερος παράγοντας (με 22% της συνολικής μεταβλητότητας) αφορά τη διάλυση της γύψου. Η διεργασία αυτή εμπλουτίζει όλες τις κατωτιές πηγές των τριαδικών λατυποπαγών και αορετές από τις γεωτρήσεις με ασβέστιο και θειικά. Ο τρίτος παράγοντας (με 15% της



Σχήμα 2. Γραφική παράσταση Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (παράγοντες 1 και 2)
 Fig. 2. Graphical presentation of Principal Analyses (factors 1 and 2)

Πίνακας 1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων Σεπτεμβρίου 2000
Table 1. Chemical Analysis, September 2000

Σταθμός	Τύπος	Data	pH	cond µS/cm	T C	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	Cl mg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₄ mg/l	PO ₄ mg/l	Total N mg/l	Total P mg/l
Γ1	Γεώτρηση	17/9/2000	7,52	1760	24,4	45,4	57,6	217,3	2,2	497,59	244	142	2	0	0,07	0,04	0,4	0,047
Γ5	Γεώτρηση	16/9/2000	7,59	7750	23,1	54,2	74,6	1184,7	17,2	393,56	62	1770	69	0,1	1,96	0,09	16,5	0,043
Γ6	Γεώτρηση	16/9/2000	7,94	8300	21	23,3	52	1660,2	23,8	917,70	125	2110	5,7	0,02	3,14	0,24	3,9	0,112
Γ8	Γεώτρηση	16/9/2000	7,16	9090	22	320,9	153,3	1543,3	42,6	364,52	1315	2030	5,5	0,01	<0,06	0,05	2,5	0,041
Γ9	Γεώτρηση	16/9/2000	7,18	3290	22,5	253,3	102,3	363,4	19,5	339,80	618	650	6,8	0,11	<0,06	0,07	2,7	0,047
Γ11	Γεώτρηση	17/9/2000	6,65	3000	23,8	551,5	75,8	115,4	9,7	284,95	1405	160	3,7	0,02	0,23	0,08	5	0,095
Γ12	Γεώτρηση	17/9/2000	7,68	755	21,1	45,4	20,4	37,9	3,9	313,38	36,7	24	16,1	0,15	<0,06	0,11	5,2	0,05
Γ13	Γεώτρηση	16/9/2000	7,6	901	23,7	27,4	26,6	104,7	1,2	398,20	44,8	58,69	2,8	0,02	0,34	0,13	2,2	0,055
Γ14	Γεώτρηση	16/9/2000	8,08	16700	22,8	38	162,8	3182	68,3	971,39	604	4140	28,8	1,25	0,2	0,32	8,6	0,138
Γ17	Γεώτρηση	16/9/2000	7,32	2110	23,5	130,5	42,8	88,1	112,9	292,94	232	236	114,9	0,24	<0,06	0,06	22,2	<0,5
Γ18	Γεώτρηση	16/9/2000	7,63	8380	22,8	98,9	238,7	1240,3	18,2	549,15	522	2010	7	0,06	2,3	0,08	4,6	<0,5
Φ3	Πηγάδι	19/9/2000	7,47	1430	20,8	83	22,1	146,1	11,2	346,58	43,6	193,7	<0,22	0,01	<0,06	0,09	1,3	<0,5
Φ8	Πηγάδι	20/9/2000	7,67	705	21,9	78,9	12,1	28,1	3,1	188,48	63,2	36,2	52,65	0,01	<0,06	0,06	12,2	<0,5
ΦΧ	Πηγάδι	21/9/2000	7,89	343	24,0	35,9	7,2	14	1,9	167,37	18,4	18,83	1,03	0,03	<0,06	0,21	1,7	<0,5
ΦΧ1	Πηγάδι	19/9/2000	7,54	1350	20,2	60,3	36,9	136,6	9	512,42	51,7	87,8	<0,22	0,05	0,41	0,07	1,9	<0,5
ΦΧ2	Πηγάδι	16/9/2000	7,92	2060	21,9	60,5	69,3	232,8	26,3	507,60	235,4	114,7	3,2	0,13	0,33	0,12	2,4	<0,5
Π1	Πηγή	18/9/2000	7,54	940	17,5	149,5	14,3	16,9	2	208,98	223,0	25,58	5,77	0,01	<0,06	0,07	2,4	<0,5
Π2	Πηγή	18/9/2000	7,83	821	18,0	93,4	14,2	57,9	2,6	200,56	112,7	99,01	3,48	0,02	<0,06	0,09	2,3	<0,5
Π3	Πηγή	18/9/2000	7,76	654	17,0	87,2	11,1	24,8	2	180,43	118,8	37,92	3,59	0,01	<0,06	0,06	2,1	<0,5
Π4	Πηγή	18/9/2000	7,82	591	16,9	74	8,8	21,3	1,8	181,71	106,0	28	5,1	0,02	0,03	0,08	2	<0,5
Π5	Πηγή	19/9/2000	7,42	1870	18,5	162	33,4	165,8	9,9	226,07	286,9	252,6	15,1	0,01	<0,06	0,05	4,8	<0,5
Π6	Πηγή	19/9/2000	7,33	1420	19,0	168,6	30,2	104,2	9	243,88	290,4	152,1	12,39	0,01	<0,06	0,06	4,9	<0,5
Π7	Πηγή	18/9/2000	7,83	586	17,1	88,2	9	12,2	1,7	166,21	100,9	13,95	2,7	0,006	0,06	0,06	2,3	<0,5
Σ1	A+αερίθ	19/9/2000	8,57	331	22,2	26,8	5,8	16,5	2,2	118,86	11,1	20,23	1,69	0,015	0,07	0,05	2,2	0,02
Σ2	Αχελώος	19/9/2000	8,26	323	23,6	38,4	8,6	25,7	2,3	174,14	14,0	30,89	1,97	0,018	0,09	0,07	2,5	0,02
Δ	Διάρυα	19/9/2000	8,32	307	24,9	31,7	7,4	15,3	1,8	144,98	15,3	16,83	0,7	0,054	0,12	0,07	2,8	0,02
Δ1	Διάρυα	19/9/2000	8,66	3090	25,0	26,1	7,6	14,9	1,8	145,95	16,3	15,36	0,63	0,056	0,13	0,08	2,4	0,03
Δ2	Διάρυα	19/9/2000	8,64	305	25,3	29,5	7,8	14,8	1,9	149,43	16,3	17,59	0,68	0,048	0,05	0,06	2,7	0,02
ΔΙΜ	Διάρ. Διμικας	20/9/2000	8,06	382	17,7	39,4	6,3	13	1,5	157,42	10,0	15	7,7	0,015	0,03	0,08	3,1	1
Α2	Κανάι Οζερού	20/9/2000				29,4	5,9	13,3	1,7	138,57	14,7	17	1,17	0,017	0,07	0,1	1,7	0,03
D1	Αντλιοστάσιο	20/9/2000	8,16	930	26,2	54,7	16,9	78,9	8,4	234,55	55,9	93,19	<0,22	0,007	0,03	0,6	1	0,2
D2	Αντλιοστάσιο	19/9/2000	8,96	5790	26,9	50,5	86,4	759,4	24,6	157,24	220,0	1250	3,3	0,009	0,08	0,07	1,7	0,04
D4	Αντλιοστάσιο	17/9/2000	7,72	6220	19,9	236,1	57,6	367,2	13,9	275,13	480,0	745	6,3	0,03	<0,06	0,07	2,4	<0,5

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστους" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

αποβολής μεταβλητότητας) αφορά τη ρύπανση με κάλιο, νιτρικά και ολικό άζωτο.

Τα δείγματα αυτά παρουσιάζουν, σε μικρότερη κλίμακα, τα εξής κύρια χαρακτηριστικά (Σχ. 2): Υψηλότερες ωατότητες παρουσιάζουν τα πηγάδια (Φ) και κάποιες πηγές (Π), ενδιάμεσες οι υπόλοιπες πηγές και κάποιες γεωτρήσεις και χαμηλότερες τα επιφανειακά νερά (Α,Δ,Σ,ΔΙΜ). Επιπλέον, οι πηγές επηρεάζονται από τη διάλυση της γύψου, ενώ η σύσταση κάποιων γεωτρήσεων και πηγαδιών ελέγχεται περισσότερο από τη διάλυση δολομιτωμένων αοβετολίθων. Η υδροχημεία των επιφανειακών νερών παρουσιάζει ενδιάμεση σύσταση. Όσον αφορά την ποιότητα των νερών, οι γεωτρήσεις και τα πηγάδια παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη υποβάθμιση, με συγκεντρώσεις νιτρικών σε αρκετές περιπτώσεις > 50 mg/l. Ο Αχελώος, οι διόρυγες αλλά και οι αποστραγγιστικές τάφροι χαρακτηρίζονται από γενικά χαμηλές τιμές σε ενώσεις αζώτου. Τα φωσφορικά, με εξαίρεση κάποιες γεωτρήσεις και πηγάδια κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα (0,05 - 0,1 mg/l). Γενικά υψηλές τιμές καλίου εμφανίζουν τα υπόγεια νερά, οι αποστραγγιστικές τάφροι (μέχρι 27,7 mg/l) και κάποιες πηγές. Τέλος, σημειώνουμε ότι δείγματα βροχής έδωσαν σημαντικές συγκεντρώσεις ενώσεων αζώτου και φωσφόρου, συγκρίσιμες με αυτές των επιφανειακών νερών.

Δ) Εφαρμογή υδρολογικών μοντέλων και μοντέλων διάχυσης ρύπων. Με τη βοήθεια των μοντέλων θα προσομοιωθούν οι υδρολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Επίσης, θα γίνει προσομοίωση της διάχυσης των ρύπων που προέρχονται είτε από την γεωργία, είτε από αστικά λύματα, είτε από άλλες δραστηριότητες, στα επιφανειακά και υπόγεια νερά στο χώρο και στο χρόνο και θα υπολογισθεί η συνεισφορά της κάθε πηγής ρύπανσης ξεχωριστά. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας της περιοχής, η εφαρμογή των μοντέλων θα γίνει για επιμέρους περιοχές - λεκάνες.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα είναι τα εξής: Η κίνηση του υπόγειου νερού γίνεται κυρίως από τον Αχελώο προς τις αλλοιβιακές αποθέσεις. Η υδροχημεία της περιοχής έρευνας παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις που οφείλονται, τόσο στην διαφορετική προέλευση των επιφανειακών νερών (Αχελώος, Δ20, αποστραγγιστικές τάφροι), όσο και στην τοπιολομορφία των υδροφόρων (αοβετολιθικά συστήματα, αοβετολιθικά/δολομιτικά καταπολερή με γύψους, υφάλιμρες αλλοιβιακές αποθέσεις). Ο κύριος παράγοντας, που καθορίζει την ποιότητα των νερών της περιοχής έρευνας είναι η υφάλιμρωση των αλλοιβιακών υδροφόρων, η οποία δεν παρουσιάζει συγκεντρωμένη γεωγραφική κατανομή. Η διάλυση της γύψου των τριαιδιών καταπολερών επηρεάζει, τόσο τη σύσταση των πηγών τους όσο και των υπόγειων νερών στις περιωότερες θέσεις δειγματοληψίας. Τέλος κάποιες υδροφορές φαίνεται να επηρεάζονται κυρίως από τη διάλυση δολομιτωμένων αοβετολίθων.

Τα επιφανειακά νερά (Αχελώος, αοβετινικές διόρυγες) παρουσιάζουν ομοιογενή χημισμό. Οι συγκεντρώσεις των ενώσεων του αζώτου και του φωσφόρου σε όλο το σύστημα των επιφανειακών νερών βροζονται σε χαμηλά επίπεδα, σε αντίθεση με τα υπόγεια νερά που είναι επιβαρυνμένα ιδιαίτερα, με νιτρικά. Υψηλές τιμές καλίου εμφανίζονται, τόσο στα υπόγεια νερά, όσο και στις αποστραγγιστικές τάφρους. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα επίπεδα των θρεπτικών ενώσεων στη βροχή είναι συγκρίσιμα με αυτά των επιφανειακών νερών.

Συμπερασματικά η επιβάρυνση των νερών περιορίζεται κυρίως στους υπόγειους υδροφορές, ενώ η γενικά καλή ποιοτική κατάσταση των επιφανειακών νερών αποδίδεται σε διεργασίες απομιτροποίησης και στη δέμευση των φωσφορικών ενώσεων στα ιζήματα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τους κ.κ. Φατούρο, Λιανό, Δρόσο, Κέντρον, Κοστοπούλου για την συμβολή τους στην υλοποίηση του προγράμματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BRAS, R. (1990). Hydrology: An Introduction to Hydrologic Science. Addition - Wesley Publishing Company, Reading, MA pp 643.
- ΜΑΡΙΝΟΣ, Π. (1993). Επί των υδρογεωλογικών συνθηκών του Δέλτα του Αχελώου με ιδιαίτερη έμφαση στις σχέσεις του ποταμίου με τα υπόγεια νερά και τους υδροτόπους. Τεχνική Έκθεση, Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας, Αθήνα, 92 σελ.
- NIKOLAIDIS, N.P., HENG, H., SEMAGIN, R. & CLAUSEN, J.C. (1998). Non-linear response of a mixed land use watershed to nitrogen loading.- Agriculture, Ecosystems & Environment, 67, 251-265.
- ΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ε. (1993). Οι υδρογεωλογικές συνθήκες στο Δέλτα Αχελώου.- Τεχνική Έκθεση, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών Αθήνα, 18 σελ.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.