



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων»

Προσομοίωση ροής και διαχείριση αρδευτικού νερού σε παράκτιο υδροφόρο σύστημα.

Κωνσταντίνος-Στυλιανός Παναγιωταρόπουλος

Αθήνα Φεβρουάριος 2023

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ανδρέας Καλλιώρας

Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ανδρέας Καλλιώρας (Επιβλέπων)

Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών ΕΜΠ

Ευάγγελος Μπαλτάς

Καθηγητής Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

Συμεών Μαλαμής

Αναπληρωτής Καθηγητής Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο " Προσομοίωση ροής και διαχείριση αρδευτικού νερού σε παράκτιο υδροφόρο σύστημα" ,εκπονήθηκε από τον μεταπτυχιακό φοιτητή Κωνσταντίνο-Στυλιανό Παναγιωταρόπουλο, κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών του Διεπιστημονικού-Διατμηματικού προγράμματος "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων" του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, υπό την καθοδήγηση και επίβλεψη του κ.Ανδρέα Καλλιώρα, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Η βασικότερη αιτία της επιτυχούς εκπόνησής από πλευράς μου της διπλωματικής εργασίας , ήταν η συνεχής και πολύτιμη καθοδήγηση του καθηγητή κ.Ανδρέα Καλλιώρα, τον οποίο ευχαριστώ και για την εμπιστοσύνη που έδειξε προς το πρόσωπό μου για την εκπόνηση αυτής της διατριβής. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Χρήστο Πουλιάρη μεταδιδακτορικός και μέλος του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του καθηγητή κ.Καλλιώρα, η βοήθεια του οποίου ήταν επίσης πολύτιμη τόσο στο κομμάτι της έρευνας όσο και στο κομμάτι της κατανόησης του υδρογεωλογικού καθεστώτος της περιοχής μελέτης.

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° Σκοπός και μεθοδολογία	10
Κεφάλαιο 2° Διαχείριση υδατικών πόρων και αρδευτικού νερού	13
Νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.....	13
ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ που αφορά: Τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων	13
ΟΔΗΓΙΑ 98/93/ΕΚ : Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης	15
Υπόγεια Ύδατα.....	17
ΟΔΗΓΙΑ σχετικά με την Προστασία των Υπόγειων Υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση 2006/118 ΕΚ	17
ΟΔΗΓΙΑ για τα Νιτρικά Ιόντα 91/676 ΕΚ.....	18
Προστασία και διαχείριση Υπογείων Υδάτων	19
Η έννοια του μοντέλου.....	21
Κατηγοριοποίηση των μοντέλων προσομοίωσης	24
Φυσικά μοντέλα.....	25
Αναλογικά μοντέλα	26
Μαθηματικά μοντέλα.....	27
Υπολογιστικοί κώδικες	33
Κώδικας Modflow	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° Διαχείριση και προσομοίωση αρδευτικού με τον κώδικα Farm	39
Εισαγωγή.....	39
Τρόπος λειτουργίας του μοντέλου	42
Καθορισμός ελλείμματος	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° Γεωλογικά και υδροχημικά χαρακτηριστικά του πεδινού τμήματος της Άρτας.....	46
Γεωλογικό καθεστώς του νομού Άρτας.....	46
Ιόνια Ενότητα	47
Ενότητα Γαβρόβου-Πύλου.....	51
Ενότητα Πίνδου	54
Υδρογεωλογικό καθεστώς της Άρτας	57
Καρστικό σύστημα Άρτας.....	59

Κοκκώδες σύστημα των προσχωσιγενών αποθέσεων της πεδιάδας της Άρτας.....	66
Υδροχημικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών πεδινού τμήματος Άρτας	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° Δημιουργία βάσης δεδομένων με τη χρήση SQL για την ποιότητα των υπόγειων νερών .	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7° Εφαρμογή του μοντέλου Farm για τη διαχείριση του αρδευτικού νερού	91
Εισαγωγή.....	91
Εφαρμογή μοντέλου φάρμας στην πεδιάδα της Άρτας	97
Προπεξεργασία	97
Σχεδιασμός του μοντέλου φάρμας.....	101
Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	107
Κεφάλαιο 10° Συμπεράσματα.....	117
Βιβλιογραφία	118

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία, έχει ως στόχο την ανάδειξη της αξίας μοντέλων προσομοίωσης στην επιστήμη της υδρογεωλογίας και τη συμβολή αυτών στην μελέτη, ανάλυση και πρόβλεψη τόσο της ποιοτικής όσο και της ποσοτικής κατάστασης των υδατικών πόρων, ώστε να υπάρξει επιτευχθεί η τήρηση των ορίων που θέτονται από την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60), και από την εθνική νομοθεσία.

Το πρώτο πλάνο αναφέρεται στην έννοια του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης καθώς και του υπόγειου νερού. Έπειτα αναφέρεται στην ανάγκη διασφάλισης της ποιότητάς του, όπως επίσης και η ανάγκη ορθής διαχείρισης του. Για να καλυφθούν αυτοί οι στόχοι παρουσιάζονται οι ισχύουσες νομοθεσίες που θέτουν κάποιες οριακές τιμές σε μια σειρά από παραμέτρους σχετικά με τη χρήση του νερού, με σκοπό σε κάθε υδατικό σώμα, είτε υπόγειο είτε επιφανειακό, να διασφαλιστεί η καλή ποιοτική και ποσοτική του κατάσταση.

Έπειτα, αρχικά περιγράφεται η έννοια του μοντέλου προσομοίωσης, ο τρόπος λειτουργίας τους καθώς και τη συμβολή τους ως προς την επίλυση κρίσιμων ζητημάτων που αφορούν την υδρογεωλογία και στη συνέχεια αναφέρονται οι κατηγορίες αυτών ανάλογα με την μέθοδο εφαρμογής τους.

Στη συνέχεια ως υπολογιστικός κώδικας παρουσιάζεται ο κώδικας Modflow και ο τρόπος λειτουργίας του. Η χρησιμότητα του οποίου αφορά την προσομοίωση της ροής του υγρού μέσου (στην προκειμένη περίπτωση του υπόγειου νερού).

Σε επόμενο στάδιο παρουσιάζεται και αναλύεται το υδρολογικό μοντέλο Farm Process, το οποίο καθίσταται ως το κύριο εργαλείο προσομοίωσης του νερού που προορίζεται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών.

Όλα τα παραπάνω στην παρούσα εργασία, εφαρμόζονται σε μία περιοχή μελέτης, όπου αρχικά αναφέρονται κάποιες πληροφορίες που αφορούν το υφιστάμενο γεωλογικό, υδρογεωλογικό και υδροχημικό καθεστώς της περιοχής. Έπειτα γίνεται από όλη την περιοχή συλλέχθηκαν δείγματα υπόγειου νερού προκειμένου να γίνει χημική ανάλυση αυτού και τα αποτελέσματα ερμηνεύονται με τη χρήση του πακέτου Akva-GIS.

Σε τελικό στάδιο με βάση τις υφιστάμενες καλλιέργειες και τις υδρολογικές και υδρογεωλογικές

συνθήκες της περιοχής, εφαρμόζεται το μοντέλο FARM που στοχεύει στην προσομοίωση της προσφοράς και ζήτησης νερού σε συνθήκες άρδευσης, για την βελτίωση της διαχείρισης του.

Abstract

The thesis, aims to highlight the value of simulation models in the science of Hydrogeology and their contribution to the study, analysis and prediction of both the qualitative and quantitative status of Water Resources, in order to achieve the the limits set by the Water Framework Directive (2000/60) and the national law.

The first point refers to the meaning of drinking water and groundwater. Then it refers to the need to ensure water's quality, as well as the need for its proper management.

In order to fulfil these aims, a reference is made to the existing legislation which sets certain limit values on a number of parameters relating to the use of water, in order to ensure its good qualitative and quantitative condition in every body of water, whether underground or surface.

Then, primary there is a description to the meaning of the Simulation Models, their mode of operation and their contribution to the resolution of critical issues concerning hydrogeology and secondary their categories are listed according to their method of application.

At the following point, as computational code the Modflow code is presented, and its mode of operation. The utility of the code concerns the simulation of the flow of liquid element (in this thesis concerns groundwater).

In order to achieve the fulfilling irrigation needs, at next point there is a presentation of Farm Process hydrological model, which is the main water's simulation tool, concerning irrigation.

All of the above, in this paper have been applied in a study area which is the valley of Arta region, where primary, some information of the existing geological, hydrogeological and hydrochemical status of the area have been mentioned,

Then in all over area groundwater samples have been collected in order to make a chemical analysis and the results have been interpreted using the Akva-GIS package. At the final stage, based on the existing crops, the hydrological and hydrogeological conditions of the area, the Farm Process model is applied, for simulating the irrigation's supplies and demands, in order to improve water's management.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο Σκοπός και μεθοδολογία

“Το νερό είναι πεπερασμένος και ευαίσθητος φυσικός πόρος, απαραίτητος για τη διατήρηση της ζωής, την ανάπτυξη και το περιβάλλον. Η διαχείριση του πρέπει να βασίζεται στην αρχή της συμμετοχής της κοινωνίας.”

Η ποιότητα τόσο του πόσιμου νερού όσο και του νερού των λιμνών, ρεμάτων, ποταμών, θαλασσών και ωκεανών είναι μια από τις βασικές παραμέτρους που καθορίζουν τόσο την καταλληλότητά του ως προς τη χρήση, όσο και τη συνολική ποιότητα της ζωής μας. Καθορίζεται από το σύνολο των φυσικών, χημικών, βιολογικών και ραδιενεργών χαρακτηριστικών του νερού και εξαρτάται από:

α) τα στερεά συστατικά και αέρια που είναι διαλυμένα στο νερό, και β) από τα συστατικά που αιωρούνται ή βρίσκονται σε κολλοειδή κατάσταση μέσα σ'αυτό. Η ποιότητα του νερού είναι επακόλουθο της φύσης του, δηλαδή των φυσικών και χημικών του ιδιοτήτων και της δράσης του στο φυσικό περιβάλλον, καθώς και κάθε τροποποίησης που επέρχεται στη φυσική του κατάσταση εξαιτίας πολυάριθμων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Εάν οι ανθρώπινες δραστηριότητες μεταβάλλουν τη φυσική του ποιότητα έτσι ώστε αυτό να μη μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλέον για τον σκοπό που μέχρι τότε χρησιμοποιούταν, τότε λέμε ότι το νερό έχει υποστεί ρύπανση.

Παράλληλα οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν εκτός από την ποιοτική και την ποσοτική κατάσταση των υπογείων και επιφανειακών υδάτων. Πιο συγκεκριμένα το κύριο αίτιο της μεταβολής της ποσοτικής κατάστασης των υδάτων είναι η αλόγιστη χρήση του νερού για άρδευση (υπεραντλήσεις).

Προκειμένου λοιπόν να διατηρηθεί τόσο η ποιοτική όσο και η ποσοτική κατάσταση του νερού, απαιτείται ορθότερη διαχείριση των υδατικών πόρων. Τα τελευταία χρόνια, λόγω και της αύξησης της χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα υδρογεωλογικά και υδρολογικά φαινόμενα μπορούν να ερμηνευτούν με μεγαλύτερη ακρίβεια. Για τον λόγο αυτό, στην επιστήμη της υδρογεωλογίας εντάσσεται η εφαρμογή των υδρογεωλογικών μοντέλων. Το μοντέλο συνιστά ένα εργαλείο έρευνας που προσεγγίζει αποτελεσματικά ένα χωροχρονικά

μεταβαλλόμενο φυσικό φαινόμενο, με σκοπό να προβεί σε αναγνώριση, ανάλυση και κυρίως προβλέψεις σχετικά με το εν λόγω φαινόμενο. Τα μοντέλα που σχετίζονται με την ροή του υπόγειου νερού, ως επί το πλείστον συνιστούν ντετερμινιστικά μαθηματικά μοντέλα, δηλαδή μοντέλα που περιγράφουν τις σχέσεις αίτιας και το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας και βασίζονται στην αρχή διατήρησης α) της μάζας, β) της ορμής και γ) της ενέργειας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη, η ερμηνεία και τέλος η πρόβλεψη τόσο των ποιοτικών όσο και των ποσοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού μέσω της εφαρμογής των μοντέλων προσομοίωσης στον κάμπο της Άρτας.

Για την εφαρμογή των μοντέλων αλλά και ως βιβλιογραφικές αναφορές για το σύνολο της εκπόνησης της διπλωματικής, χρησιμοποιήθηκαν:

- Οι εν ισχύ νόμοι και οδηγίες που ρυθμίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, δηλαδή τα ανώτατα όρια των συγκεντρώσεων χημικών στοιχείων και τα όρια εκμετάλευσής του όσων αφορά την αστική χρήση δηλαδή το πόσιμο νερό και όσων αφορά την κάλυψη των αναγκών της άρδευσης (δηλαδή το υπόγειο νερό).
- Οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες της περιοχής που εκπονήθηκαν στο παρελθόν.
- Οι βασικές αρχές λειτουργίας των μοντέλων προσομοίωσης ανάλογα με τον υπολογιστικό κώδικα και τον τρόπο λειτουργίας αυτών.

Αρχικά, σε περιβάλλον Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) συλλέχθηκαν οι πληροφορίες σχετικά με το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής και πιο συγκεκριμένα της ροής του υπογείου νερού με βάση προϋπάρχων μοντέλο ροής του υπογείου νερού. Στη συνέχεια έγινε η συλλογή δειγμάτων υπόγειου νερού από υδροσημεία της περιοχής δηλαδή από αρδευτικές γεωτρήσεις και από πηγές, προκειμένου να γίνει σε εργαστηριακό περιβάλλον η χημική ανάλυση αυτών.

Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης στη συνέχεια εισήχθησαν σε περιβάλλον GIS για την υδροχημική ανάλυση με τη χρήση του εργαλείου Akva-GIS, ενός εργαλείου το οποίο διαχειρίζεται και απεικονίζει υδροχημικά και υδρογεωλογικά τυποποιημένα δεδομένα.

Σε τελικό στάδιο εξετάζονται οι αρδευτικές ανάγκες συνολικά εννέα καλλιεργειών στον κάμπο της Άρτας μέσω της χρήσης του μοντέλου Farm, το οποίο στοχεύει στην κάλυψη των αναγκών

άρδευσης. Μέσω αυτής της εφαρμογής εκπληρώνεται και ο απώτερος σκοπός της διατήρησης των ποσοτικών χαρακτηριστικών του υπογείου νερού, δηλαδή της ορθής διαχείρισής του.

Κεφάλαιο 2^ο Διαχείριση υδατικών πόρων και αρδευτικού νερού

Νερό ανθρώπινης κατανάλωσης

Ως νερό ανθρώπινης κατανάλωσης, καλείται το νερό που προορίζεται οικιακή χρήση, παραγωγή και προπαρασκευή τροφής, ανεξάρτητα από τη προέλευσή του και από το αν παρέχεται από δίκτυο διανομής, βυτίο ή φιάλες.

Η παροχή πόσιμου νερού για τους πολίτες αποτελεί το μείζον ζήτημα για τη δημόσια υγεία. Για το λόγο αυτό είναι κρίσιμο να διατηρηθεί η ποιότητα του ακατέργαστου ύδατος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή καθαρού νερού για ανθρώπινη κατανάλωση.

Ωστόσο, όλες τις χώρες της ΕΕ, πολλά επιφανειακά ύδατα και συστήματα υπόγειων υδάτων επηρεάζονται από τα θρεπτικά συστατικά (άζωτο και φώσφορο) ή τα φυτοφάρμακα, κυρίως λόγω της γεωργικής δραστηριότητας.

Για να διασφαλιστεί τόσο η καλή ποιότητα του ύδατος που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση όσο και τα πρότυπα πόσιμου νερού, οι δημόσιοι φορείς τείνουν συνήθως να προτιμούν μεθόδους βελτίωσης της ποιότητας. Ωστόσο, μόνο τα προληπτικά μέτρα με στόχο την προστασία των ακατέργαστων υδάτων από τη διάχυτη ρύπανση μπορούν να συμβάλουν στην προστασία των υδάτινων πόρων με βιώσιμο τρόπο και στον περιορισμό του κόστους επεξεργασίας αυτών.

Για την επίτευξη των παραπάνω θεσπίστηκαν αρχικά μια σειρά από Νόμους-Οδηγίες, που έχουν ως στόχο τη προστασία των Υδατικών Πόρων σε ολόκληρη την Ευρώπη.

ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ που αφορά: Τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων

Σε κάθε λεκάνη ποταμού, απαιτείται από τα κράτη μέλη ο προσδιορισμός όλων των υδατικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για υδροληψία με σκοπό την ανθρώπινη κατανάλωση και παρέχουν κατά μέσον όρο άνω των 10 κυβικών μέτρων ημερησίως ή εξυπηρετούν περισσότερα

από 50 άτομα όπως και των υδατικών συστημάτων που προορίζονται για μελλοντική χρήση. Στη συνέχεια τα κράτη μέλη οφείλουν να παρακολουθούν τα υδατικά συστήματα τα οποία παρέχουν κατά μέσο όρο άνω των 100 κυβικών μέτρων ημερησίως.

Τα κράτη μέλη τέλος οφείλουν να εξασφαλίζουν την προστασία των προσδιοριζόμενων υδατικών συστημάτων με σκοπό να αποφευχθεί η υποβάθμιση της ποιότητάς τους, με σκοπό να μειωθεί το επίπεδο επεξεργασίας καθαρισμού που απαιτείται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος. Τα κράτη μέλη μπορούν να καθιερώνουν ζώνες ασφαλείας για τα υδατικά αυτά συστήματα.

Πιο συγκεκριμένα για τα Υπόγεια Υδατικά συστήματα απαιτούνται τα εξής:

A) Ορισμός των υπόγειων υδατικών συστημάτων εντός των περιοχών λεκάνης απορροής ποταμών . Κατόπιν του ορισμού πρέπει να αναφέρονται στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή από τα κράτη μέλη. Στη συνέχεια απαιτείται ταξινόμηση αυτών, αναλύοντας τις πιέσεις και τις επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας στην ποιότητα των υπόγειων υδάτων, με σκοπό τον προσδιορισμό των συστημάτων που παρουσιάζουν κίνδυνο μη επίτευξης των περιβαλλοντικών στόχων.

B) Δημιουργία μητρώων των προστατευόμενων περιοχών στο εσωτερικό κάθε λεκάνης απορροής για τα υπόγεια ύδατα ή τους οικοτόπους και επιπλέον τα είδη που εξαρτώνται άμεσα από το νερό. Τα μητρώα πρέπει να περιλαμβάνουν όλα τα συστήματα νερού που χρησιμοποιούνται για την άντληση πόσιμου νερού.

Γ) Δημιουργία δικτύων παρακολούθησης των υπόγειων υδάτων με βάση τα αποτελέσματα της ταξινόμησης, ώστε να παρέχεται η συνολική επισκόπηση της χημικής και της ποσοτικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων.

Δ) Δημιουργία ενός Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής ποταμών για κάθε λεκάνη απορροής , το οποίο πρέπει να περιλαμβάνει μια σύνοψη των πιέσεων και επιπτώσεων των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων , στην κατάσταση των υπόγειων υδάτων, μια παρουσίαση σε

μορφή χάρτη των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης, τη περίληψη της οικονομικής ανάλυσης της χρήσης ύδατος, τη περίληψη των προγραμμάτων για την προστασία, τον έλεγχο ή μέτρα αποκατάστασης των υδάτων.

Ε) Να ληφθεί υπόψη, η αρχή της ανάκτησης του κόστους για τις υπηρεσίες ύδατος, συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού και του κόστους των πόρων, σύμφωνα με την αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει".

Στ) Η δημιουργία έως το τέλος του 2009, προγραμμάτων μέτρων για την επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων της Οδηγίας 2000/60 (π. χ. ο έλεγχος άντλησης, η πρόληψη ή ο έλεγχος της ρύπανσης), τα οποία εφαρμόζονται έως το τέλος του 2012.

ΟΔΗΓΙΑ 98/93/ΕΚ : Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης:

Η οδηγία θεσπίζει τα βασικά πρότυπα ποιότητας σε επίπεδο ΕΕ. Συνολικά 48 μικροβιολογικοί, χημικοί και δείκτες θα πρέπει να παρακολουθούνται και να ελέγχονται τακτικά.

Στη συνέχεια τα κράτη μέλη οφείλουν να καθορίζουν τιμές για τις παραμέτρους του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, οι οποίες αν ξεπεραστούν τότε το νερό τίθεται ακατάλληλο για χρήση. Επιπλέον πρέπει να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλιστεί ότι το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης είναι υγιεινό και καθαρό. Για τους παραπάνω σκοπούς το νερό απαιτείται να είναι απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς και παράσιτα ή άλλες ουσίες, σε συγκεντρώσεις ενδέχεται να το καθιστούν ακατάλληλο για την ανθρώπινη υγεία.

Ωστόσο θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι τα μέτρα που λαμβάνονται για τη προστασία του νερού, δε θα πρέπει να υποβαθμίζουν τη σημερινή ποιότητα του, ούτε στην αύξηση της ρύπανσης του νερού που χρησιμοποιείται για τη παραγωγή πόσιμου νερού. Στη συνέχεια

τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα που αφορούν τη τακτική

παρακολούθηση της ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, προκειμένου να ελέγχεται αν το διατιθέμενο στους καταναλωτές νερό πληρεί τις απαιτήσεις της παρούσας οδηγίας, και ιδίως τις παραμετρικές τιμές που καθορίζονται (εξετάζοντας δείγματα καθ' όλη τη περίοδο του έτους) .

Επιπλέον πρέπει να λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα που αφορούν τον έλεγχο της αποτελεσματικής απολύμανσης του νερού, όταν αυτή αποτελεί μέρος της επεξεργασίας ή διανομής του νερού και τέλος τα στοιχεία της επιμόλυνσης που προέρχεται από υποπροϊόντα απολύμανσης , πρέπει να βρίσκονται σε όσο το δυνατών χαμηλότερες συγκεντρώσεις.

Προστασία του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης στη περιοχή Βαλκανικής Χερσονήσου

Η κατανόηση των φυσικών συνθηκών στη ζώνη επαναφόρτισης καθώς και η γνώση για τις υπάρχουσες τεχνικές εγκαταστάσεις, που εμπíπτουν στην άντληση πόσιμου νερού, είναι σημαντική για την εφαρμογή των κατάλληλων, χρήσιμων και αποδοτικών μέτρων για προστασία του πόσιμου νερού. Ο σχεδιασμός των ζωνών προστασίας του πόσιμου νερού εξαρτάται από τη φύση της πηγής πόσιμου νερού.

Στη περιοχή της Αδριατικής, τόσο τα υπόγεια όσο και τα επιφανειακά υδατικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την παροχή νερού (πίνακας 1). Σε όλες τις χώρες η προμήθεια από τα

επιφανειακά ύδατα εξαρτάται από τη σύγκριση των επιφανειακών με τα υπόγεια ύδατα. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το Μαυροβούνιο όπου η παροχή πόσιμου νερού εξαρτάται σε βαθμό 60 – 90% της συνολικής ποσότητας, προέρχεται μόνο στα επιφανειακά ύδατα.

Στις περισσότερες χώρες (Ελλάδα, Βοσνία Ερζεγοβίνη, Ιταλία) η παροχή πόσιμου νερού προέρχεται από τα επιφανειακά ύδατα σε βαθμό 10 – 30%. Στο ίδιο πλαίσιο είναι και η Σερβία, όπου το 30% της ύδρευσης προέρχεται από τα επιφανειακά υδατικά σώματα. Στην Κροατία και τη Σλοβενία λιγότερο από το 10% του πόσιμου νερού προέρχεται από επιφανειακά υδατικά σώματα.

Υπόγεια Ύδατα

Με τον όρο υπόγειο νερό νοείται το νερό Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν πολύτιμο φυσικό πόρο, και ως τέτοιος πόρος θα πρέπει να προστατεύεται από την υποβάθμιση και από τη χημική ρύπανση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα οικοσυστήματα που εξαρτώνται από τα υπόγεια ύδατα καθώς και για τη χρήση των υπογείων υδάτων για παροχή νερού για ανθρώπινη κατανάλωση.

ΟΔΗΓΙΑ σχετικά με την Προστασία των Υπόγειων Υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση 2006/118 ΕΚ:

«Η παρούσα οδηγία θεσπίζει ένα <<καθεστώς>> που θέτει ορισμένα πρότυπα για τη ποιότητα των υπογείων υδάτων και επιπλέον λαμβάνει μέτρα για την πρόληψη και τον περιορισμό της εισαγωγής ρύπων στα υπόγεια ύδατα. Η οδηγία θεσπίζει ποιοτικά κριτήρια που λαμβάνουν υπόψη τις τοπικές συνθήκες και παράλληλα επιτρέπει περαιτέρω βελτιώσεις με βάση τα δεδομένα παρακολούθησης και τη χρήση νέων επιστημονικών μεθόδων. Ουσιαστικά αποτελεί μια αναλογική και επιστημονικά ορθή ανταπόκριση στις απαιτήσεις της Οδηγίας 2000/60 , όσον αφορά την αξιολόγηση της χημικής κατάστασης των υπογείων υδάτων και τον εντοπισμό και την αναστροφή των ανοδικών τάσεων στις συγκεντρώσεις των ρύπων. Τα κράτη μέλη θα πρέπει

να θεσπίσουν πρότυπα στο καταλληλότερο επίπεδο λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές ή περιφερειακές συνθήκες.

Για τα παραπάνω απαιτούνται:

A) Τα πρότυπα για τη ποιότητα των υπόγειων υδάτων που πρέπει να έχουν τεθεί μέχρι το τέλος του 2008

B) Οι μελέτες των ανοδικών τάσεων ρύπανσης πρέπει να διενεργούνται με τη χρήση των υπαρχόντων δεδομένων καθώς και από δεδομένα τα οποία αναφέρονται ως" βασικά επίπεδα από την Οδηγία για τα Ύδατα, και ελήφθησαν την περίοδο 2007-2008

Γ) Οι τάσεις της ρύπανσης πρέπει να αναστραφούν, ώστε οι περιβαλλοντικοί στόχοι να επιτευχθούν έως το 2015 με τη χρήση των μέτρων που καθορίζονται στην οδηγία.

Δ) Πρέπει να παρθούν μέτρα για την πρόληψη ή τον περιορισμό της εισροής ρύπων στα υπόγεια ύδατα ώστε να επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι έως το 2015.

Γ) Οι τεχνικές διατάξεις της Οδηγίας πρέπει να επανεξεταστούν το 2013 στη συνέχεια θα εξετάζονται ανά 6 χρόνια.

Δ) Απαιτείται συμμόρφωση με τα κριτήρια καλής χημικής κατάστασης (με βάση τα πρότυπα της ΕΕ για τα νιτρικά ιόντα , τα φυτοφάρμακα και με τις οριακές τιμές που καθορίζονται από τα κράτη μέλη)».

ΟΔΗΓΙΑ για τα Νιτρικά Ιόντα 91/676 ΕΚ:

«Έχει σκοπό τη μείωση και πρόληψη της ρύπανσης των υδάτων που προκαλείται από τα νιτρικά ιόντα λόγω της γεωργικής δραστηριότητας. Υποχρεώνει τα κράτη μέλη να ορίσουν τις ευπαθείς ζώνες όλων των περιοχών των οποίων τα ύδατα συμπεριλαμβανομένων των υπόγειων υδάτων επηρεάζονται ή ενδέχεται να επηρεαστούν από τη νιτρορύπανση. Ως ευπαθείς ζώνες χαρακτηρίζονται τα ύδατα που περιέχουν νιτρικών αλάτων σε συγκεντρώσεις άνω των 50 mg / l

Για τη προστασία των υδάτων των οποίων το νερό προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση , ορίζονται αρχικά οι προστατευόμενες περιοχές. Αυτές προορίζονται συχνά για την άντληση νερού για ανθρώπινη κατανάλωση, είτε χαρακτηρίζονται ως ύδατα αναψυχής ή και ως ύδατα κολύμβησης και κατά κύριο λόγο είναι ευαίσθητες στην παρουσία θρεπτικών ουσιών .

Η έκτασή τους μπορεί να καλύπτει ολόκληρα υδατικά σώματα και φυσικά τις εν ενεργεία περιοχές άντλησης νερού. Εντός αυτών σχεδιάζονται οι ζώνες προστασίας, που συνήθως συνδέονται με τις υφιστάμενες περιοχές άντλησης πόσιμου νερού που βρίσκονται σε κίνδυνο λόγω ρύπανσης.

Μέσα στα όρια τώρα των ζωνών προστασίας εφαρμόζονται τα κατάλληλα μέτρα προστασίας από τη ρύπανση.

Αυτό βέβαια δεν αποκλείει την εφαρμογή μέτρων σε ολόκληρη την έκταση της προστατευόμενης περιοχής , όπως π.χ σε μια περιοχή που προσδιορίζεται για μελλοντικές αντλήσεις».

Προστασία και διαχείριση Υπογείων Υδάτων

Τα υπόγεια ύδατα συνιστούν έναν πολύτιμο φυσικό πόρο, που χρήζει προστασίας από την από τη χημική ρύπανση και κατά συνέπεια από τη μόλυνση. Αυτό είναι πολύ σημαντικό τόσο για τα οικοσυστήματα που εξαρτώνται άμεσα από τη ποιότητα και τη ποσότητα των υπογείων υδάτων, όσο και για τις προοπτικές χρήσης των υπογείων υδάτων για άρδευση ή για ανθρώπινης κατανάλωση.

Η ανάγκη επίτευξης αξιόπιστων επιπέδων προστασίας και ορθής διαχείρισης των υπόγειων υδάτων, απαιτούν τον καθορισμό ποιοτικών προτύπων καθώς και ορισμένων ανώτερων αποδεκτών τιμών και την ανάπτυξη μεθοδολογιών ώστε να θεσπισθούν κριτήρια για την αξιολόγηση της χημικής κατάστασης των συστημάτων υπόγειων υδάτων.

Τα πρότυπα αυτά αφορούν τις ανώτερες τιμές-επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης για : α) νιτρικά

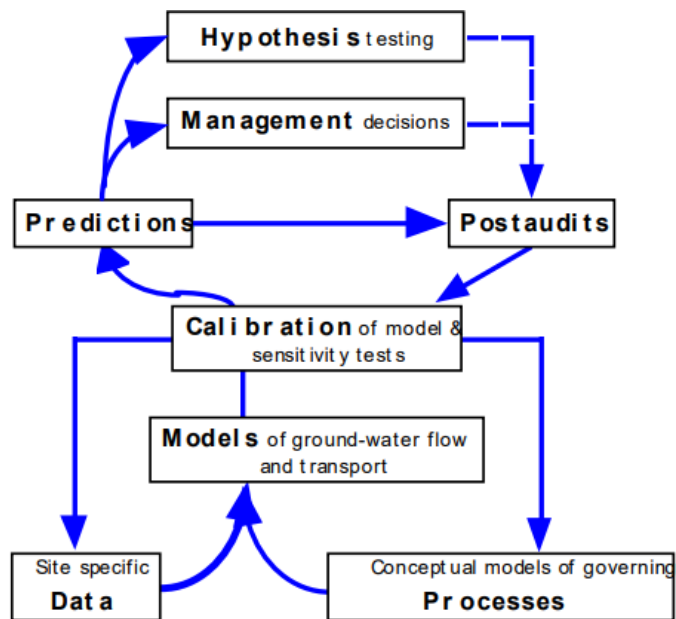
ιόντα, β) φυτοπροστατευτικά προϊόντα και βιοκτόνα, γ) εντομοκτόνα, μέσα στα υπόγεια ύδατα.

Επιπλέον απαιτείται η θεσμοθέτηση κριτηρίων για τον εντοπισμό τυχόν σημαντικών και διατηρούμενων ανοδικών τάσεων στις συγκεντρώσεις ρύπων καθώς και κριτήρια για τον καθορισμό του σημείου εκκίνησης για την αναστροφή μιας τάσης, εκτιμώντας την πιθανότητα να επηρεασθούν αρνητικά τα υδατικά οικοσυστήματα καθώς και τα άμεσα εξαρτώμενα χερσαία οικοσυστήματα.

Παράλληλα πρέπει να εξασφαλισθεί η συνεχής προστασία. Όπως προβλέπεται με την οδηγία 80/68/ΕΟΚ, που τα μέτρα για την πρόληψη ή τον περιορισμό τόσο της άμεσης όσο και της έμμεσης εισαγωγής ρύπων στα υπόγεια ύδατα. Ωστόσο αξίζει να αναφερθεί ότι η προστασία των υπογείων υδάτων μπορεί, σε ορισμένες περιπτώσεις καθώς και σε ορισμένες περιοχές, να απαιτεί την αλλαγή του τρόπου καλλιέργειας ή δασοκομίας, πράγμα που δυνητικά θα επιφέρει απώλεια εισοδήματος.

Κεφάλαιο 3^ο Μοντέλα προσομοίωσης

Η έννοια του μοντέλου



Εικόνα 1 Η λειτουργία των μοντέλων στην επίλυση προβλημάτων σχετικά με το υπόγειο νερό, (Konikow, 1996)

Η λέξη μοντέλο αναφέρεται σε μια πληθώρα και ευρέως χρησιμοποιημένους ορισμούς, που ορισμένες φορές καθίσταται δύσκολη η κατανόηση τους (Konikow και Bredehoeft 1992). Ωστόσο τις περισσότερες φορές αντιπροσωπεύει τηνεικονική αναπαράσταση μιας φυσικής κατάστασης ή διαδικασίας, μεταβαλλόμενη τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο (Πλιάκας, Χ, 1998).

Ένα εννοιολογικό μοντέλο, συνιστά την ποσοτική έκφραση (ως μαθηματικό μοντέλο), του τρόπου λειτουργίας ενός φυσικού συστήματος ή μιας διαδικασίας. Τα μαθηματικά μοντέλα, αποτελούν ένα σύνολο αφαιρέσεων που αναπαριστούν:

- Τις φυσικές ιδιότητες ως σταθερές ή συντελεστές εξισώσεων

- Τα μέτρα που αφορούν την κατάσταση ή το δυναμικό του συστήματος ως μεταβλητές.
- Την εκάστοτε διαδικασία μέσω εξισώσεων.

Ως αρχή έχει την θεώρηση ότι σε μια διαδικασία (δίνοντας αρκετή έμφαση στη κατανόηση της) μέσω της οποίας κάθε δράση σε ένα σύστημα έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη αντίδραση, η εν λόγω αντίδραση του συστήματος μπορεί να προβλεφθεί, ακόμη και αν το μέγεθος της δράσης διαφέρει από ιστορικά παρόμοιες (Konikow, 1996)

Τα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν χρήσιμα εργαλεία είναι:

- Η ικανότητα να επιλύουν προβλήματα, μεγάλης δυσκολίας σχετικά με τη ροή των υπόγειων νερών.
- Η διαθεσιμότητα προς χρήση δίχως κάποιον περιορισμό.
- Μέσω αυτών μεταβιβάζεται η γνώση ενός μεγάλου αριθμού ατόμων, πολύ εύκολα μέσω του Η/Υ, με αποτέλεσμα την επίλυση ιδιαίτερων προβλημάτων που αντιμετωπίζουν.

(Prickett, T. A., 1979)

Τα μοντέλα χρησιμεύουν σε μία πληθώρα εφαρμογών της καθημερινότητας όπως:

- Η εκπόνηση μελετών α) πρόβλεψης, β) ερμηνείας και γ) αναγνώρισης (Mercer, J., W., 1980).
- Η εκτίμηση και ο σχεδιασμός διαφόρων στρατηγικών και σεναρίων
- Η προσομοίωση και η πρόβλεψη.
- Η ορθότερη χρήση των υδατικών πόρων (Oude Essink, 2000)
- Η προσομοίωση των υδροφορέων , προκειμένου να εξευρεθούν οι περιοχές α) κατάλληλες για εφαρμογή εμπλουτισμού και β) απώλειας νερού, για να διερευνηθεί ο τρόπος αλληλεξάρτησης των απωλειών νερού και του τοπικού εμπλουτισμού (Freeze et al, 1968).
- Η διερεύνηση της συμπεριφοράς των υδροφόρων συστημάτων για μεγάλο χρονικό

διάστημα, τόσο σε πραγματικές, όσο και σε πιθανές μελλοντικές συνθήκες εκμετάλλευσης (Prickett, T. A. Lonquist, 1971).

- Η αξιολόγηση του τρόπου που επηρεάζουν τη βασική ροή των ρευμάτων οι υπόγειοι υδροφορείς και η ανάλυση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των υπόγειων ταμιευτήρων και των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (Stephenson, G. R. and Freeze, R. A., 1974).
- Η μελέτη και αντιμετώπιση καθιζήσεων του εδάφους.
- Η αντιμετώπιση φαινομένων αντιστροφής της υδραυλικής κλίσης, που έχει ως αποτέλεσμα την θαλάσσια διείσδυση στους παράκτιους υδροφορείς (Voss C. I., 1984).
- Η προσομοίωση της διάχυσης, διασποράς ρύπων στα υπόγεια ύδατα (Ackerer, 1988).

Ο τρόπος χρήσης των υδρογεωλογικών μοντέλων διακρίνεται από το είδος του προβλήματος που μελετάται, δηλαδή αν είναι ποιοτικό ή ποσοτικό (Καλλιώρας, 2016).

❖ Για την επίλυση ποιοτικής φύσης προβλήματος, τα μοντέλα εφαρμόζουν α) η εξίσωση advection-dispersion, προκειμένου να προσομοιωθεί η μεταφορά ρύπων, αφού συμπεριληφθούν οι φυσικές και χημικές αντιδράσεις (Oude Essink, 2000) και β) η εξίσωση convection-diffusion, προκειμένου να μελετηθεί η μεταφορά θερμότητας στο υδρογεωλογικό σύστημα.

❖ Για την επίλυση ποσοτικής φύσης προβλήματος, τα μοντέλα, σχετίζονται τη χρήση εξισώσεων που αναλύουν και ερμηνεύουν τη ροή του υπόγειου νερού, όπως π.χ ο Νόμος του Darcy.

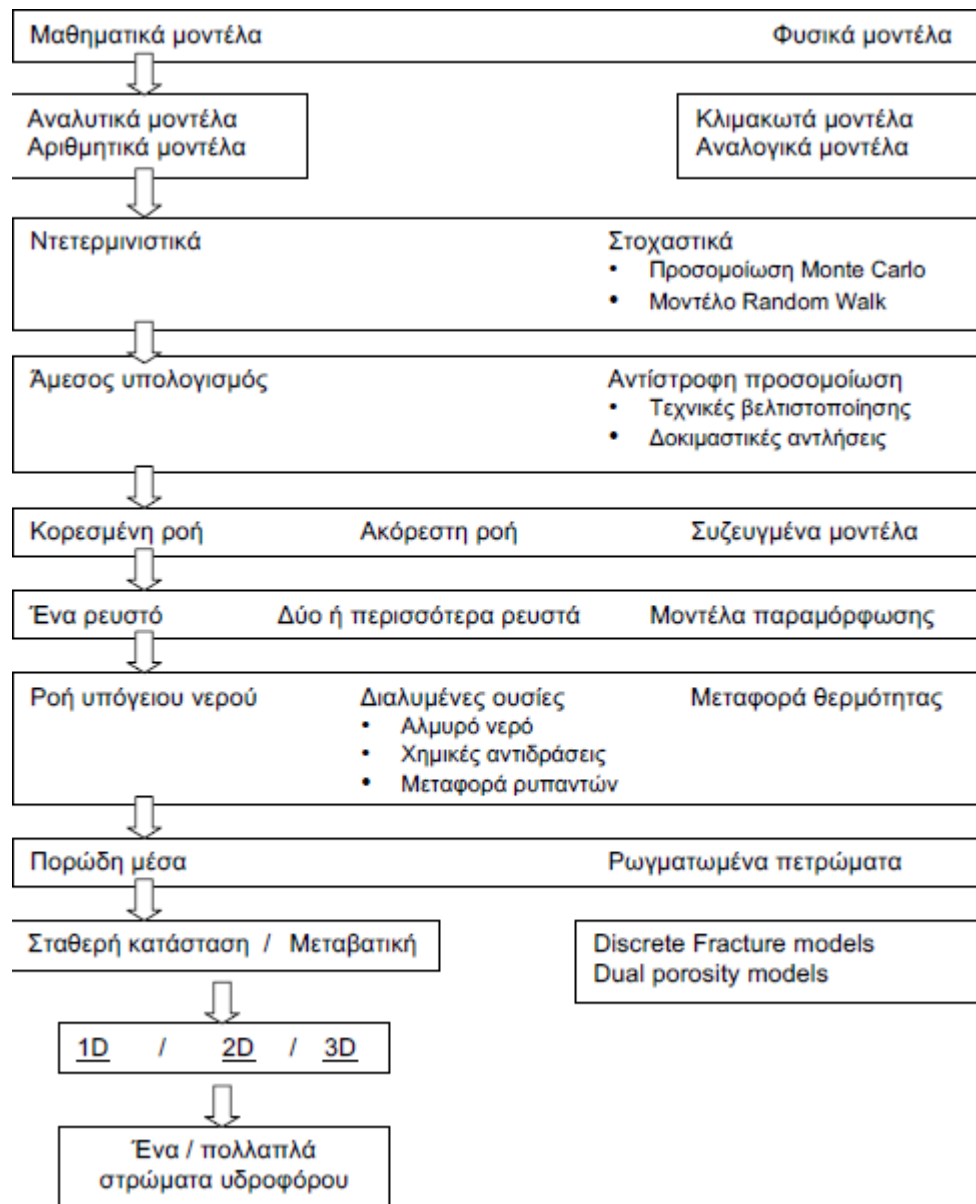
Κατηγοριοποίηση των μοντέλων προσομοίωσης

Παλαιότερα , χρησιμοποιώντας διάφορες αναλυτικές μεθόδους και φυσικά ή αναλογικά μοντέλα , μελετούταν η ροή του υπόγειου νερού.

Δεδομένης όμως της ραγδαίας ανάπτυξης της επιστήμης των Η/Υ όπως και της ύπαρξης διαφόρων περιορισμών ως προς την εφαρμογή των φυσικών μοντέλων προκειμένου να προσομοιωθεί η ροή του υπόγειου νερού, η χρήση αυτών για τον σκοπό αυτό, με την πάροδο του χρόνου μειώθηκε και διατηρείται σε ένα βαθμό μόνο για την προσομοίωση διασποράς ρύπων στους υδροφορείς (Καλλιώρας, 2016).

Στο παρόντα χρόνο, υπάρχει μια πληθώρα επιλογών όσον αφορά τα μοντέλα, προκειμένου να μελετηθεί η ροή των υπόγειων υδάτων υπό διαφορετικές συνθήκες, χάρη στην χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Επομένως για πιο ακριβή προσομοίωση της ροής του υπόγειου νερού αλλά και της διάχυσης διαφόρων ρύπων εντός αυτού, εφαρμόζονται τα μαθηματικά μοντέλα.



Εικόνα 2 Ταξινόμηση των μοντέλων υπογείων νερών, (Hemker, 1994) τροποποιημένο από (Καλλιώρας, 2016)

Τα μοντέλα προσομοίωσης είναι τα εξής:

Φυσικά μοντέλα

Συνιστούν ως επί το πλείστον μέσα εργαστηριακό περιβάλλον απλοποιημένες συνθήκες υδροφορίας, π.χ μια δεξαμενή άμμου (sand tank) ή μια στήλη εδάφους (soil column).

Προκειμένου να υπάρχει αντιστοίχιση του φυσικού μοντέλου και των πραγματικών συνθηκών,

εφαρμόζονται μια σειρά από εξισώσεις, όπως :

$$U_{\xi} = \xi_m / \xi$$

όπου U_{ξ} λόγος μεταξύ του παράγοντα ξ που αφορά τον πραγματικό υδροφόρο και του ξ_m που αφορά το μοντέλο (Oude Essink, 2000).

Αναλογικά μοντέλα

Έχουν ως βασική αρχή ότι φυσικές διαδικασίες μπορούν να εκφραστούν με μαθηματικές σχέσεις και νόμους, που έχουν κοινά χαρακτηριστικά με την ροή των υπόγειων νερών. Ωστόσο τα εν λόγω μοντέλα περιορίζονται μόνο στις υδραυλικές παραμέτρους των υπόγειων νερών, και η χρήση τους δεν αφορά την ομοίωση της κίνησης των ρυπαντών του υπόγειου νερού (Oude Essink, 2000).

Μεταβλητή	Υπόγειο νερό	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα
Δυναμικό	Φορτίο, $\phi [m]$	Ηλεκτρική τάση, $V [Volt]$	Θερμοκρασία, $T [^{\circ}C]$
Μεταφερόμενη ποσότητα	Παροχή νερού, $[m^3 / s]$	Ηλεκτρικό φορτίο, $[Coulomb]$	Θερμότητα $[calorie, Joule]$
Φυσική ιδιότητα του μέσου	Υδραυλική αγωγιμότητα, $k [m / s]$	Ηλεκτρική αγωγιμότητα, $\sigma [mhos / m]$	Θερμική αγωγιμότητα, $\lambda [Joule / (ms^{\circ}C)]$
Σχέση μεταξύ δυναμικού και πεδίου ροής	Νόμος του Darcy $[m / s]$: $q = -k grad \phi$	Νόμος του Ohm $[Ampere / m^2]$: $i = -\sigma grad V$	Νόμος του Fourier $[Joule / (m^2 s)]$: $q = -\lambda grad T$
Αποθηκευμένη ποσότητα	Ειδική αποθηκευτικότητα υδροφόρου, $S_s [1 / m]$	Χωρητικότητα πυκνωτή, $C [microfarad]$	Θερμική χωρητικότητα, $c_v [Joule / (m^3 C)]$

Εικόνα 3 Αναλογία μεταξύ ροής υπογείου νερού, ηλεκτρισμού και θερμότητας, (Canter, L, Knox, R and Fairchild, 1987) τροποποιημένο από (Καλλιώρας, 2016).

Μαθηματικά μοντέλα

Στοχεύουν, μέσω α) της γεωμετρίας του συστήματος, β) των οριακών αρχικών και των οριακών συνθηκών της μεταβατικής διαδικασίας και γ) της χρήσης διαφορικών εξισώσεων (όπως π.χ ότι ροή υπόγειου νερού εξαρτάται από την μεταφορά ρυπαντών και θερμότητας και από την πυκνότητα) , στο να επιλύουν ζητήματα που διέπουν την υδρογεωλογία. Ανάλογα τώρα με τη μέθοδο επίλυσης των προαναφερθέντων εξισώσεων, τα εν λόγω μοντέλα υποδιαιρούνται i) Αναλυτικά μοντέλα (γίνεται χρήση αναλυτικών μεθόδων) και ii) Αριθμητικά μοντέλα (μέσω χρήσης αριθμητικών μεθόδων) .

i) *Αναλυτικά μοντέλα:*

Χρησιμοποιούνταν ευρέως στο παρελθόν για την επίλυση απλών εξισώσεων άμεσα και συνεχόμενα στο χωροχρόνο, όπως της παροχής Q του υπόγειου νερού και του πιεζομετρικού φορτίου ϕ , για την επίλυση της μονοδιάστατης ροής του υπόγειου νερού και της κίνησης των διαλυμένων ουσιών σε αυτό, (Kinzelbach W. K. H, 1986) (Kinzelbach W. K. H, 1987) αλλά και για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με την υδροδυναμική διασπορά (Bear J., 1972) (Bear J., 1979).

Το βασικότερό τους πλεονέκτημα, είναι ότι μέσω αυτών, επιλύονται αρκετά αποτελεσματικά διάφορες φυσικές παράμετροι του υδροφορέα όπως η αποθηκευτικότητα και η μεταβιβατικότητα (Oude Essink, 2000).

Ωστόσο η αποτελεσματικότητα της χρήσης τους αποτελεί μόνο το 20% των περιπτώσεων (Πλιάκας, X, 1998) , διότι ο τρόπος χρήσης τους περιορίζεται σε απλοϊκά και σχηματοποιημένα προβλήματα, όπως π.χ η σταθερής κατάστασης διεπιφάνεια γλυκού-αλμυρού νερού ή περιπτώσεις ομογενών υδροφορέων μονοδιάστατης ή δισδιάστατης ροής.

Επομένως αδυνατούν να προσδώσουν αξιόπιστες λύσεις σε μια σειρά ζητημάτων όπως:

- Η περιγραφή των πεδίων ροής των οποίων τα όρια έχουν ακανόνιστη ή σύνθετη γεωμετρία.
- Η επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με α) τη λειτουργία του συστήματος μιας

υδρογεώτρησης, β) εξαιρετικά ετερογενείς παραμέτρους.

- Η εξεύρεση λεπτομερών λύσεων που αφορούν τις κύριες μορφές των διαφορικών εξισώσεων της ροής του νερού στους υδροφορείς, κυρίως για προβλήματα σε δύο ή τρεις διαστάσεις (Πλιάκας, 1998)

Για τον λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαία η χρήση των αριθμητικών μεθόδων.

ii) *Αριθμητικά μοντέλα:*

Ο σκοπός τους είναι η εξέταση και η πρόβλεψη της εξέλιξης σύνθετων ζητημάτων σχετικά με την ροή του υπόγειου νερού όπως π.χ προστασία από την εισχώρηση θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς, η πτώση στάθμης για αποστράγγιση, η εκμετάλλευση και η διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων εδαφών, κ.α (Πλιάκας, 1998).

Χρησιμοποιούνται για την επίλυση πιο σύνθετων ζητημάτων της υδρογεωλογίας όπως πχ ο σχηματισμός επαλληλίας υδροφορέων με στρώματα μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας, ανισότροποι και ανομοιογενείς υδροφορείς κ.α, μέσω αριθμητικών μεθόδων και επομένως μέσω της χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών (Καλλιώρας, 2016).

Πιο συγκεκριμένα, μέσω αυτών επιχειρείται να προσομοιωθούν τα φυσικά φαινόμενα εντός του συστήματος των υπογείων υδάτων, μέσω αρχικά επαρκή καθορισμού των γεωλογικών και υδρογεωλογικών παραμέτρων της υπό μελέτη περιοχής και λεπτομερή ορισμού των επικρατουσών φυσικών διεργασιών.

Κατόπιν τούτου, για κάθε διεργασία ορίζεται ο σχετικός φυσικός νόμος και εκφράζεται με τη μορφή διαφορικής εξίσωσης, η οποία λύνεται με την εφαρμογή των αριθμητικών μεθόδων.

Η επίλυση των διαφορικών εξισώσεων ροής με την εφαρμογή των αριθμητικών μεθόδων γίνεται ως εξής (Πλιάκας, 1998):

- Η περιοχή μελέτης διακριτοποιείται.
- Οι εν λόγω εξισώσεις μετατρέπονται σε αλγεβρικές εξισώσεις πεπερασμένων διαφορών.
- Με τη σειρά τους οι αλγεβρικές εξισώσεις επιλύονται μέσω H/Y

Οι αριθμητικές μέθοδοι επίλυσης διαφορικών εξισώσεων είναι οι εξής:

1) Μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών (Finite Difference Method):

Η περιοχή μελέτης διακριτοποιείται σε ορθογωνικό κανάβο και στα κελιά αυτού επιλύονται οι εξισώσεις.

Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου, είναι ότι α) μπορεί να εφαρμοστεί ανά πάσα στιγμή και β) σχετικά με την αριθμητική τεχνική που εφαρμόζεται, θεωρείται ότι είναι εύκολη και καθόλου δυσνόητη. Παράλληλα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όσον αφορά την επίλυση προβλημάτων σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

Ωστόσο του ότι απαιτεί η μορφή του κανάβου να είναι υποχρεωτικά ορθογωνική αλλά και κάποιων περεταίρω περιορισμών που αφορούν την ακριβή διακριτοποίηση των εξισώσεων, η μέθοδος αυτή δεν θεωρείται η βέλτιστη (Bear et al., 1987, Franz et al., 1990, Huyakorn et al., 1983, Λατινόπουλος, 1995, Leahy, 1982, McDonald et al., 1988, (Prickett, T. A. Lonquist, 1971).

2) Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method):

Σε αυτή τη περίπτωση, η περιοχή μελέτης θεωρείται ως το σύνολο των επιμέρους τμημάτων που καλούνται ως πεπερασμένα στοιχεία. Εντός κάθε στοιχείου, με τη χρήση της μεθόδου των σταθμισμένων υπολοίπων ή με τη χρήση του διαφορικού λογισμού, λύνονται οι εξισώσεις. Η λύση του αλγεβρικού προβλήματος, δίνεται κατόπιν σύνδεσης των πεπερασμένων στοιχείων (Kinzelbach W. K. H, 1986), (Λατινόπουλος, 1995), (Townley & Wilson, 1980).

Η μέθοδος αυτή έχει τα εξής πλεονεκτήματα :

- Η ανισοτροπία και η ετερογένεια των πεδίων ροής, μπορεί να προσομοιωθεί με λεπτομέρεια.
- Τα σημεία όπου αναμένεται να υπάρξουν έντονες μεταβολές του φορτίου, μπορούν να προσομοιωθούν με λεπτομέρεια.

- Οι οριακές συνθήκες και τα ακανόνιστα γεωμετρικά όρια των πεδίων, μπορούν με φυσικό τρόπο να αναπαρασταθούν.
- Ως μειονεκτήματα της μεθόδου αναφέρονται τα εξής:
- Ο προγραμματισμός καθίσταται δύσκολος.
- Οι τελικοί αλγόριθμοι είναι πολύπλοκοι.

Η εφαρμογή της μεθόδου είναι αποτελεσματική στην επίλυση προβλημάτων είτε δύο είτε τριών διαστάσεων.

Συγκεκριμένα, σε προβλήματα δύο διαστάσεων, ο χώρος κίνησης του ρευστού (π.χ ο υδροφορέας) μπορεί να αναπαρίσταται είτε κατακόρυφος σε τομή, είτε οριζόντιος, με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή κάθε εφαρμογή.

Αναφέρεται ότι τόσο η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών, όσο και αυτή των πεπερασμένων στοιχείων καλούνται ως μέθοδοι πεδίου (Πλιάκας, 1998).

Μέθοδος των οριακών στοιχείων (Boundary Element Method) :

Σε αυτή τη μέθοδο σε σχέση με τις δύο προηγούμενες:

- Τα δεδομένα ενός φυσικού προβλήματος είναι πολύ εύκολο να εισαχθούν.
- Με την διακριτοποίηση των διαφορικών εξισώσεων, προκύπτουν συστήματα αλγεβρικών εξισώσεων μικρού μεγέθους.
- Τα αποτελέσματα εντός του πεδίου είναι ιδιαίτερα ακριβή.

Παρόλα αυτά, η επίλυση μη μόνιμων ροών, δεν καθίσταται εύκολη ούτε επίσης ο τρόπος περιγραφής πεδίων που είναι έντονα ετερογενή.

Επομένως, η μέθοδος είναι ιδιαίτερα εύκολη στη χρήση , για την επίλυση προβλημάτων συγκεκριμένων κατηγοριών, κυρίως όταν λειτουργούν συστήματα γεωτρήσεων (Latinopoulos, 1986), (Λατινόπουλος, 1995), (Latinopoulos & Katsifarakis, 1991).

Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι οι διαστάσεις του προβλήματος μειώνονται κατά μια . Με άλλα λόγια ένα τρισδιάστατο πρόβλημα λύνεται ως δισδιάστατο.

Σε καταστάσεις μόνιμων φαινομένων σε υδροφορείς όπου οι υδρογεωλογικές παράμετροι σε

μεγάλες εκτάσεις είναι ομοιογενείς, η εν λόγω μέθοδος συνιστά την βέλτιστη λύση.

Τα αριθμητικά μοντέλα, ανάλογα τον τρόπο χρήσης τους, διακρίνονται σε (Ράπτη, 1995):

- **Ερμηνείας**, τα οποία χρησιμεύουν στην οργάνωση των δεδομένων υπαίθρου και για την μελέτη και περιγραφή της υδροδυναμικής κατάστασης ενός συστήματος, (Remson et al., 1980)
- **Ανάλυσης**, τα οποία χρησιμεύουν συγκεκριμένα υδρογεωλογικά συστήματα, στην ανάλυση της υπόγειας ροής τους (Carsel et al., 1988), (Hensel et al., 1990), (Winter, 1976).
- **Πρόβλεψης**, που χρησιμεύουν για τον προσδιορισμό της εξέλιξης ενός υδροφόρου συστήματος στο χρόνο. Για αυτό απαιτούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα, μετρήσεις για τη διόρθωσή του (Anderson et al., 1984), (Gerharst & Lazorchick, 1988), (Karanjac et al., 1977).
- Προκειμένου να μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά ένα αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης της ροής του υπόγειου νερού, πρέπει να ακολουθηθούν οι παρακάτω διεργασίες:
- Ο σκοπός εφαρμογής του μοντέλου πρέπει να καθοριστεί.
- Απαιτείται να καθοριστεί το μοντέλο σύμφωνα με α) τις υδρογεωλογικές ενότητες, β) τον τύπο των υδροφόρων στρωμάτων, γ) τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα, δ) τις υδραυλικές παραμέτρους, ε) τις οριακές συνθήκες και στ) τα δεδομένα υπαίθρου.
- Η επιλογή του υπολογιστικού προγράμματος και της επικρατούσας εξίσωσης .
- Ο σχεδιασμός του μοντέλου, όπου αφορά τον σχεδιασμό του κανάβου (grid), την επιλογή των χρονικών βημάτων (stress-period), τον προσδιορισμό των αρχικών και οριακών συνθηκών (primary and boundary conditions) και την εισαγωγή σε αριθμητικό κώδικα

των υδρογεωλογικών παραμέτρων και υδρολογικών δεδομένων.

- Η ρύθμιση του μοντέλου, που αφορά την επεξεργασία των εισαγόμενων στον αριθμητικό κώδικα δεδομένων υπαίθρου, με τη παράλληλη χρήση δύο τεχνικών:
- α) *Τεχνική δοκιμής και σφάλματος*: που συνιστά μια επαναληπτικού τύπου διαδικασία διαδοχικών τροποποιήσεων των παραμέτρων του μοντέλου και κατά περίπτωση, των αρχικών συνθηκών κατόπιν της εκάστοτε λύσης του προγράμματος (Freyberg, 1988), (Maclay & Land, 1988), (Peters, 1987)
- β) *Αυτόματη αντιστροφή*: μέσω της εφαρμογής των μοντέλων αντιστροφής , μέσω των οποίων προσδιορίζονται και τροποποιούνται οι υδραυλικές παραμέτρους με αυτόματες διαδικασίες (Carrera, 1988), (Carrera & Neuman, 1986), (Peck et al., 1988).
- Η επαλήθευση του μοντέλου, που αφορά τον προσδιορισμό της ικανότητάς του να προσομοιάσει την υδροδυναμική κατάσταση του συστήματος έρευνας.
- Η εφαρμογή του μοντέλου, προκειμένου να ερμηνευθεί και προβλεφθεί η ανάλυση της ροής του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας ή η εξέλιξης του συστήματος στο χώρο και το χρόνο (Πλιάκας, 1998).

Μολονότι τα σύγχρονα προγράμματα (software) των υδρογεωλογικών μοντέλων καθίστανται ευρείας χρήσης, πρακτικά αρκετές φορές εμφανίζονται δυσκολίες που σχετίζονται τόσο στην επαρκή ενημέρωσή τους όσο και στην συνεχή διάθεσή τους.

Επιπλέον ορισμένες φορές τα αριθμητικά υδρογεωλογικά μοντέλα, αποδεικνύονται δύσχρηστα , παρότι η κατασκευή τους στοχεύει στην επίλυση των προβλημάτων που σχεδιάστηκαν.

Εν κατακλείδι , αναφέρεται ότι αρκετές φορές ο χρήστης αναγκάζεται να δημιουργεί εξ αρχής το μοντέλο κάθε φορά , που αλλάζει το περιβάλλον και επομένως τα δεδομένα. Αυτό οφείλεται στη δυσκολία ορισμένων μοντέλων στην προσαρμογή και εφαρμογή τους σε διαφορετικό περιβάλλον καθώς ορισμένα από αυτά σχεδιάστηκαν για συγκεκριμένους τύπους Η/Υ .

Ωστόσο παρά την ύπαρξη των προαναφερθέντων προκλήσεων , τα αριθμητικά μοντέλα,

καθίστανται χρήσιμα "εργαλεία", αφού συνδυαστούν με επιδέξιο τρόπο, με την σχετική γεωλογική έρευνα και την υδρολογική ανάλυση (Guymon & Hromadka II, 1985).

Υπολογιστικοί κώδικες

Στον σύγχρονο κόσμο υπάρχει μια πληθώρα επιλογών σχετικά με τους υπολογιστικούς κώδικες, που οφείλεται ως επί το πλείστον στην ικανότητά απόδοσής τους με βάση τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης.

Για τον σχεδιασμό ενός υδρογεωλογικού μοντέλου, απαιτούνται:

- Ορισμένοι παράγοντες που σχετίζονται με
 - i) Υπολογιστικές έννοιες (π.χ μια αριθμητική μέθοδος, οριακές συνθήκες, παράμετροι εισόδου-εξόδου, μια ή παραπάνω διαστάσεις, κ.α.)
 - ii) Φυσικές ιδιότητες ενός υδρογεωλογικού συστήματος (γεωλογικές συνθήκες, υδροχημικές συνθήκες, υδραυλικές συνθήκες, είδος υδροφορίας κ.α.) και
 - Τα λειτουργικά συστήματα στα οποία θα «τρέξει» ο κώδικας.

Τα μοντέλα σε γενικές γραμμές, διακρίνονται σε υδραυλικά και υδροχημικά (Καλλιώρας, 2016).

Κώδικας Modflow

Το MODFLOW συνιστά έναν από τους δημοφιλέστερους υπολογιστικούς κώδικες, που αφορούν τη μελέτη και ερμηνεία της ροής του υπόγειου νερού στην επιστήμη της υδρογεωλογίας, (Καλλιώρας, 2002), (Καλλιώρας, 2008), (Διαμαντής & Πλιάκας, 2011).

Μέσω της εφαρμογής αυτού του κώδικα, το υδρογεωλογικό σύστημα προσομοιώνεται ως ένα σύνολο μαθηματικών εκφράσεων που συνιστά την αναπαράσταση τόσο των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών του υδρογεωλογικού συστήματος όσο και του φαινομένου της ροής. Με τη χρήση της αριθμητικής μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών συνδυάζεται η εξίσωση συνέχειας

και η εξίσωσης ροής του Darcy.

Με τον εν λόγω κώδικα, μπορούν να προσομοιωθούν και στις τρεις διαστάσεις συνθήκες είτε μεταβαλλόμενης είτε σταθερής ροής.

Το MODFLOW, διαθέτει ένα σύνολο μαθηματικών απλοποιήσεων και υποθέσεων, προκειμένου να μετατραπούν σε ένα μαθηματικό υδρογεωλογικό σύστημα, τα δεδομένα του ενός πραγματικού υδρογεωλογικού συστήματος.

Ο κώδικας έχει τις εξής αρχές (Oude Essink, 2000):

- Είτε συνθήκες μεταβλητής ροής είτε σταθερής, του υδρογεωλογικού συστήματος μπορούν να προσομοιωθούν.
- Για ένα block-center, εφαρμόζεται και αξιοποιείται η αριθμητική μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών από το μαθηματικό υδρογεωλογικό σύστημα.
- Εκτός των ορίων του μοντέλου δεν υπάρχει ροή.
- Το μέσο δηλαδή αρχικά το πορώδες, το οποίο θα προσομοιωθεί, μπορεί να είναι είτε ανισότροπο είτε ομοιογενές.
- Είναι δυνατόν να προσομοιωθεί αποτελεσματικά σε τρεις διαστάσεις η ροή του υπόγειου νερού.
- Το σχήμα του συστήματος ροής μπορεί να είναι ακανόνιστο, δηλαδή να περιέχει την περίπτωση ενός α) υπό-πίεση υδροφορέα, β) ελεύθερο υδροφορέα γ) μερικώς υπό-πίεση (ή υδροφορέα με διαρροές) είτε δ) συνδυασμό των παραπάνω.
- Επιπλέον ο κώδικας υποθέτει ότι :
- Το υπόγειο νερό έχει σταθερή πυκνότητα.
- Το υπόγειο νερό κινείται σε τρεις διαστάσεις.
- Κατανέμονται ομοιογενή και ομοιόμορφα οι ιδιότητες κάθε block-center.
- Αντιστοιχεί και επεξεργάζεται με μαθηματικό τρόπο τα παρακάτω χαρακτηριστικά:
- Αριθμητική επίλυση της εξίσωσης ροής του υπόγειου νερού

- τύπους στρωμάτων
- Οριακές συνθήκες
- Εξωτερικές πηγές σε block
- (Καλλιώρας, 2016).

Στη συνέχεια ο κώδικας εκτελεί της ακόλουθες ενέργειες:

Διακριτοποίηση του πεδίου ορισμού του μοντέλου

Το πεδίο ορισμού του μοντέλου (model domain), διακριτοποιείται κατά ακριβές διάστημα, διαχωρίζοντας την συνολική επιφάνεια σε επιμέρους blocks. Το μέγεθος κάθε block, τόσο κατακόρυφα όσο και οριζόντια, θεωρείται ομοιογενές κατά στήλη και κατά σειρά, και ορίζονται από τον χρήστη πριν από την επεξεργασία (Καλλιώρας, 2016).

Με αυτόν τον τρόπο, για την περιοχή μελέτης, δίνεται η δυνατότητα μιας παντός είδους χωρικής ανάλυσης. Η κατανομή των υδραυλικών παραμέτρων κάθε στοιχείου του μοντέλου είναι ομοιογενής, αλλά ο όγκος και το μέγεθος κάθε στοιχείου ενδέχεται να διαφέρει.

Προσομοίωση του χρόνου

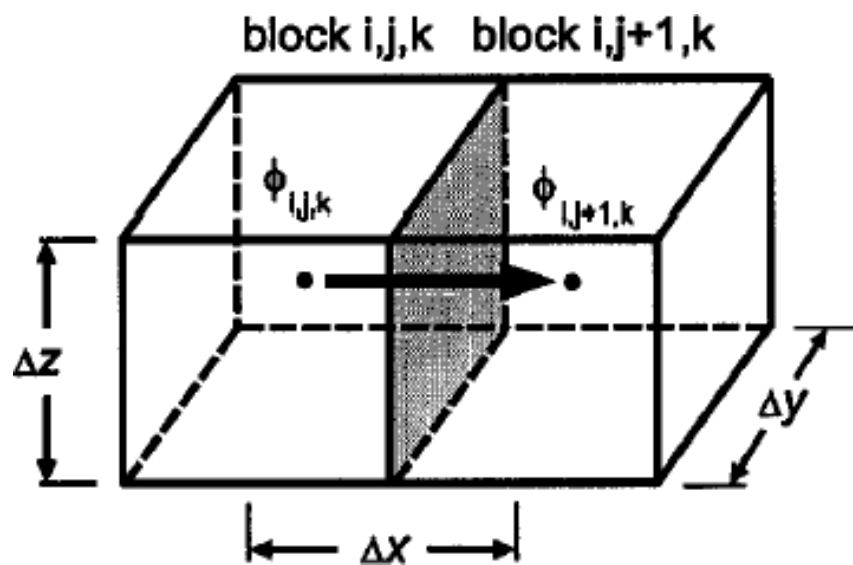
Όταν επιχειρείται να προσομοιωθεί η σταθερής κατάστασης ροή, οι τιμές του μοντέλου που εισάγονται και εξάγονται παραμένουν σταθερές. Όταν αντίθετα, επιχειρείται προσομοίωση μεταβατικής ροής, τόσο τα δεδομένα που εισάγονται όσο και τα στοιχεία αλλοιοπηγές του μοντέλου που εξάγονται, μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο. Ακτουαλιστικό πρότυπο εισαγόμενων στοιχείων του μοντέλου που εξαρτώνται από το χρόνο, συνιστά το πόσο μεταβάλλεται ο ρυθμός του φυσικού εμπλουτισμού κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (Καλλιώρας, 2016).

➤ ***Επίλυση της εξίσωσης πεπερασμένης διαφοράς:***

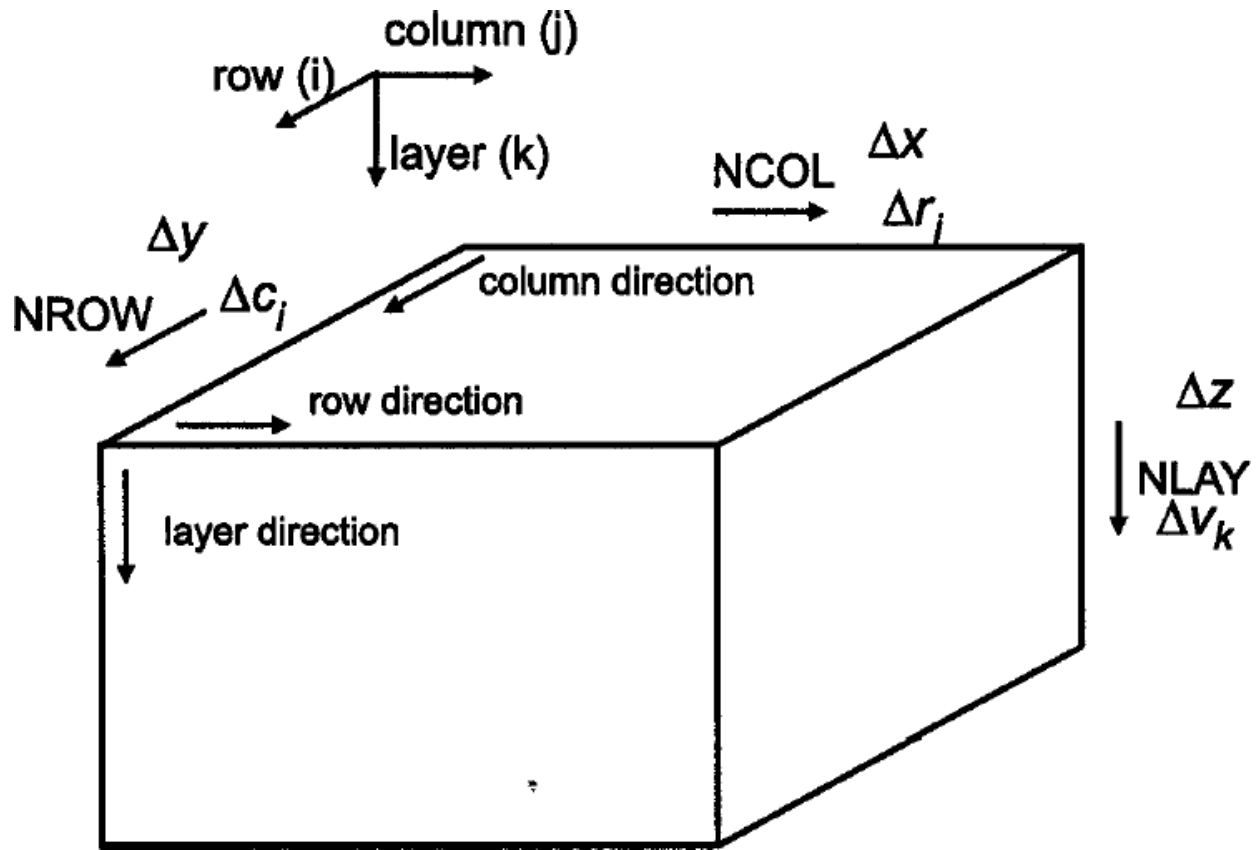
$$\Sigma Qi = Ss \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \Delta v$$

Της οποίας οι παράμετροι είναι οι εξής:

- Qi : είναι το του ρυθμού μεταβολής της παροχής για κάθε block
- Ss (Specific Storage): είναι η ειδική εναποθήκευση του πορώδους μέσου.
- $\Delta\phi$: είναι η μεταβολή του υδραυλικού φορτίου ϕ για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα Δt
- Δv : είναι η μεταβολή του όγκου για συγκεκριμένο block.
- ❖ Σημειώνεται ότι η πυκνότητα του υγρού θεωρείται σταθερή (Oude Essink G. H. P, 1996).



Εικόνα 4 Ροή μεταξύ block i,j,k και block i,j+1,k (Oude Essink, 2000) τροποποιημένο από (Καλλιώρας, 2016)



Εικόνα 5 Κατατόπιση του τριδιάστατου υπολογιστικού κώδικα Modflow: NCOL=αριθμός στηλών, NROW= αριθμός γραμμών, NLAY=αριθμός στρωμάτων ,(Oude Essink G. H. P, 1996) τροποποιημένο από (Καλλιώρας, 2016).

Υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας

$$CR_{I,J+1/2,K} = \frac{k_{i,j+1/2,k} \Delta y \Delta z}{\Delta x}$$

- $CR_{I,J+1/2,K}$ είναι ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας μεταξύ των κόμβων (i, j,k) και (i, j+1,k) στην κατεύθυνση των γραμμών. Με τον ίδιο τρόπο η παραπάνω εξίσωση και κατά τη κατεύθυνση των στηλών και των στρωμάτων.

Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας είναι αλληλοσυνδεδεμένη με τον ρυθμό κορεσμού και τα

χαρακτηριστικά των στρωμάτων.

❖ Η παραπάνω εξίσωση συνιστά την ποσοτική περιγραφή του μεγέθους της υδραυλικής αγωγιμότητας (Oude Essink, 2000).

Υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου

Ο κώδικας MODFLOW υπολογίζει για το συνολικό πεδίο ορισμού του μοντέλου, την τιμή του υδατικού ισοζυγίου, για την παροχή μιας συνολικής απεικόνισης του συστήματος ροής και για την επιβεβαίωση της αξιοπιστίας και εγκυρότητας της μαθηματικής επίλυσης.

Καθορισμός των οριακών συνθηκών

Μέσω του κώδικα, ορίζεται ένα σταθερό όριο του πιεζομετρικού φορτίου που καλείται ως Πρόβλημα Dirichlet.

Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα για υδρογεωλογικά συστήματα σταθερής ροής, οι οριακές συνθήκες να προσομοιωθούν αλλά και στην περίπτωση του Προβλήματος Neumann, αφού χρησιμοποιηθούν οι εξωτερικές πηγές στο εσωτερικό των ορίων (Καλλιώρας, 2016).

Παράλληλα, προκειμένου να απεικονιστεί αποτελεσματικά το υδρογεωλογικό σύστημα, απαραίτητα στοιχεία κάθε block του κανάβου είναι εκτός από την υδραυλική αγωγιμότητα η μεταβιβαστικότητα αλλά και η τιμή του πάχους του υδροφορέα ή των γεωλογικών στρωμάτων της περιοχής μελέτης.

Ο υπολογισμός του συντελεστή μεταβιβαστικότητας S και της τιμήστης ειδικής απόδοσης μ , σε σχέση με το είδος του υδροφορέα (ελεύθερος ή υπό πίεση) είναι απαραίτητος, ανεξετάζεται και εν συνεχεία προσομοιώνεται η μεταβατική ροή του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο Διαχείριση και προσομοίωση αρδευτικού με τον κώδικα Farm

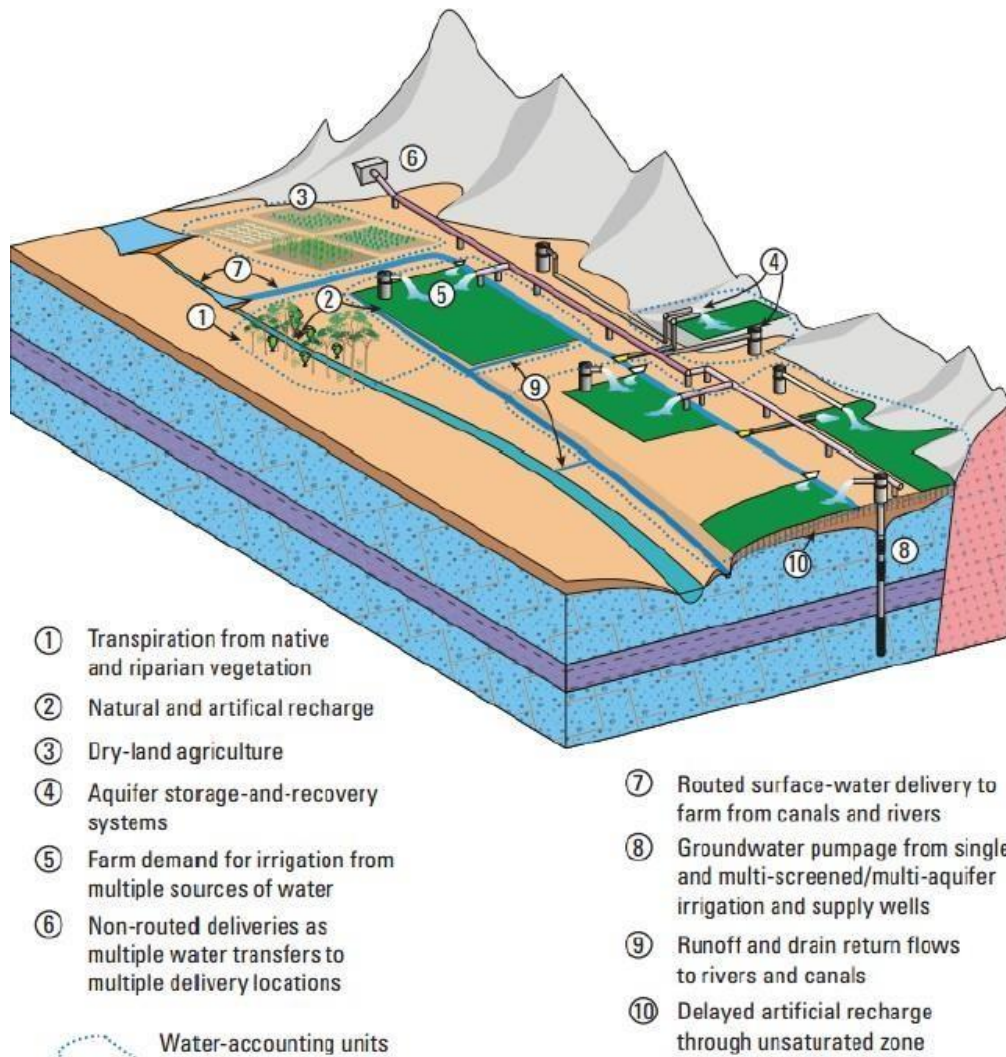
Εισαγωγή

Η ικανότητα της δυναμικής προσομοίωσης των ολοκληρωμένων συνιστωσών προσφοράς και ζήτησης της αρδευόμενης ποσότητας νερού για τη γεωργία, είναι απαραίτητη με σκοπό την πλήρη κατανόηση της αλληλεξάρτησης μεταξύ των επιφανειακών υδάτων και της ροής του υπόγειου νερού σε περιοχές όπου η πρόσληψή του από τη βλάστηση αποτελεί σημαντική συνιστώσα της συνολικής ποσότητας του.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι, σχεδιάστηκε το υδρολογικό μοντέλο ροής Farm Process (FMP) (Schmid *et al.*, 2006) προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια του μοντέλου πεπερασμένων διαφορών της ροής υπόγειων υδάτων στις ΗΠΑ, το οποίο καλείται MODFLOW.

Το Farm Process αποσκοπεί στην δυναμική εκτίμηση α) των στοιχείων προσφοράς που αντιπροσωπεύουν τις τροφοδοσίες από επιφανειακά ύδατα και επιπλέον τροφοδοσία μέσω αγωγών από υπόγεια ύδατα, β) των βασικών στοιχείων ζήτησης, τα οποία αφορούν: i) τις ανάγκες άρδευσης για το εκάστοτε φυτό, ii) τις απώλειες νερού που οφείλονται σε σφάλμα λειτουργίας της υδρογεώτρησης από την έκταση μελέτης και , επιπλέον στοιχείων όπως :1) την ποσότητα του νερού που ρέει επιφανειακά, 2) την ποσότητα του περισσευούμενου νερού που διηθείται σε βαθύτερα στρώματα και 3) τις εισροές και εκροές που βασίζονται στην κεφαλή της ροής (head-dependent) όπως εισροές/εκροές από ρυάκια-κανάλια, ως κομμάτι της προσομοίωσης της ροής των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Με άλλα λόγια συνιστά ένα ολοκληρωμένο υδρολογικό μοντέλο , με το οποίο συνδέονται : η κίνηση και η χρήση του υπόγειου νερού, τα επιφανειακά ύδατα , εισαγόμενο νερό (κατόπιν τεχνητού εμπλουτισμού), με σκοπό την κάλυψη των αναγκών άρδευσης , για την ορθότερη αστική χρήση αλλά ακόμα και για την κάλυψη των φυσικής βλάστησης.



Εικόνα 6 Απεικόνιση του υδατικού συστήματος με βάση το οποίο λειτουργεί το μοντέλο Farm , (Schmid et al., 2006)

Ως αντικείμενο μελέτης , έχει την "φάρμα" , μια υπο-περιοχή του μοντέλου, αποτελούμενη από έναν αριθμό κελιών του κανάβου του ανώτερου στρώματος (model top), εντός της οποίας υφίσταται η ανάγκη για νερό, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες άρδευσης της συγκεκριμένης καλλιεργήσιμης έκτασης. Ωστόσο μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ολόκληρη αγροτική περιοχή ή ακόμα μια περιοχή φυσικής βλάστησης . Για τον λόγο αυτό στα πλαίσια του FREEWAT καλείται ως Μονάδα Απαίτησης Νερού (Water Demand Unit ή WDU).

Παράλληλα, μέσω αυτού καθίσταται δυνατό:

- Η δυνατότητα καθορισμού της διεύθυνσης ροής μέσω επιφανειακών αρδευτικών δικτύων, προς τα σημεία ενδιαφέροντος.
- Να επιτευχθεί ορθή διαχείριση της τροφοδοσίας-παροχής του νερού, αφού μελετηθεί η ταυτόχρονη χρήση επιφανειακού και υπόγειου νερού.
- Να γίνει μελέτη, προσομοίωση και διαχείριση όλων των στοιχείων που αφορούν φυσική ή ανθρώπινη χρήση του νερού.
- Να αναλυθούν σε συνθήκες περιορισμένης τροφοδοσίας και παράλληλα απαιτούμενης ζήτησης, οι παράμετροι προσφοράς και ζήτησης που αφορούν την χρήση του νερού.
- Να προβλεφθεί υπό διαφορετικούς περιοριστικούς παράγοντες, κλιματικούς ή της παροχής, η απόδοση των καλλιεργειών όχι μόνο σε επίπεδο φ αλλά και σε επίπεδο λεκάνης απορροής (Rossetto et al., 2017).

Η σωστή χρήση του μοντέλου έχει ιδιαίτερη αξία διότι συμβάλει στη διαμόρφωση ενός βιώσιμου προϋπολογισμού αγροκτήματος.

Για τη εκτίμηση του εν λόγω προϋπολογισμού όπως και των παραμέτρων εισροής και εκροής νερού προς και από την περιοχή της φάρμας, απαιτούν την ολοκληρωμένη εκτίμηση της κατανάλωσης του νερού της βροχής από τα φυτά και το έδαφος, όπως επίσης και τη ποσότητα του νερού που προέρχεται από τροφοδοσία επιφανειακού και υπόγειου νερού. Η υδραυλική κεφαλή των υδροφορέων που υπόκεινται περιοχής με αρδευόμενη γεωργία, συνδέεται με την διαπνοή και την εξάτμιση που λαμβάνουν χώρα στην ζώνη αερισμού. Επιπλέον, η προσομοίωση των εκροών και εισροών του αγροκτήματος, μπορεί να αντιπροσωπεύουν περιοχές αγρανάπαυσης ή μη, όπως επίσης και περιοχές αστικής άρδευσης εντός του domain.

Η ικανότητα προσομοίωσης της κατανομής της ροής των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων σε μία φάρμα είναι χρήσιμη, προκειμένου να ενσωματωθούν νομικές απαιτήσεις όπως αποφάσεις που σχετίζονται με κανάλια-ρέματα ή το υπόγειο νερό σε περιβάλλον προσομοίωσης, να επιτευχθεί η διαχείριση ξηρασιών και προκειμένου να ληφθούν αγρο-οικονομικές αποφάσεις πριν τη περίοδο καλλιεργειών (Rossetto et al., 2017).

Τρόπος λειτουργίας του μοντέλου

Κάθε φάρμα που αντιστοιχεί σε μια μονάδα απαίτησης νερού (WDU) η οποία όπως προαναφέρθηκε μπορεί να αντιστοιχεί σε παραπάνω από ένα κελιά του κανάβου, στο ανώτερο στρώμα.

- Αρχικά το μοντέλο σε κάθε κελί, για κάθε φάρμα υπολογίζει την ζήτηση της καλλιέργειας σε νερό ως την ποσότητα που αντιστοιχεί στη διαπνοή και στην αντίστοιχη της εξάτμισης.
- Εν συνεχεία, καθορίζει την υπόλοιπη αναγκαία ποσότητα που απαιτεί το φυτό, η οποία δεν μπορεί να καλυφθεί από την πρόληψη υπογείου νερού από το ριζικό σύστημα ή από την καθίζηση του επιφανειακού νερού.
- Έπειτα αυτή η υπολειμματική ποσότητα, αντιστοιχίζεται με την αρδευόμενη ποσότητα που χρειάζεται η καλλιέργεια.

Η τιμή της, λαμβάνοντας υπόψη για απώλειες λόγω εξάτμισης και περαιτέρω απώλειες λόγω κάποιου σφάλματος στη λειτουργία της υδρογεώτρησης, αυξάνεται προκειμένου εν τέλει να αποδοθεί η τελική, Συνολική Απαίτηση σε νερό για την φάρμα- Total Farm Delivery Requirement (TFDR) με βάση τον τύπο :

$$\text{TFDR} = \text{CIR} / \text{OFE}$$

- CIR είναι η ανάγκη του φυτού για άρδευση (Crop Irrigation Requirement): Συνιστά την συμπληρωματική αρδευτική ποσότητα που χρειάζεται προκειμένου να καλυφθεί η ποσότητα που νερού που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω διαπνοής, κατόπιν πρόσληψης υπογείου νερού από το ριζικό σύστημα και αποτελεσματικής καθίζησης του αρδευόμενου νερού.
- OFE, είναι η απόδοση της φάρμας (On-Farm Efficiency): Είναι ένας αριθμός μεταξύ 0 και 1, που δείχνει το πόσο αποτελεσματικά χρησιμοποιεί η φάρμα το νερό για την ανάγκη της εξατμισοδιαπνοής, για την συγκεκριμένη καλλιέργεια. Ο εν λόγω αριθμός-κλάσμα καθορίζεται

από τον χρήστη για κάθε φάρμα (Rossetto et al., 2017).

- Το μοντέλο εν συνεχεία, προσπαθεί να επιλύσει την παραπάνω εξίσωση ως εξής:
 - 1) Με βάση τα μέσα παροχής νερού μη καθορισμένης ροής (non-rootedsupplycomponents). Ουσιαστικά αφορά την είσοδο και έξοδο νερού στη φάρμα από ένα πλήθος πηγών, χωρίς να γίνεται προσομοίωση της διαδικασίας μεταφοράς νερού.
 - 2) Με βάση τις μερικής ή πλήρως καθορισμένης ροής πηγές . Αφορά την είσοδο επιφανειακού νερού, μέσω εκτροπής σε διάφορα σημεία του κύριου κλάδου ενός υδρογραφικού δικτύου ώστε το νερό να καταλήγει εντός των ορίων της φάρμας (μερικώς καθορισμένη ροή) , είτε απευθείας μέσω ρέματος προς την φάρμα (πλήρως καθορισμένη ροή).
- Αναφέρεται ότι στην περίπτωση ύπαρξης νομοθεσίας που καθορίζει τη χρήση του επιφανειακού νερού "ιεραρχικά" , τα στοιχεία παροχής (supplycomponents), ρυθμίζονται αναλόγως.
- 3) Με βάση την ποσότητα του υπογείου νερού που αντλείται μέσω των υδρογεωτρήσεων.
- Κατόπιν το μοντέλο υπολογίζει την περίσσεια νερού, δηλαδή την προερχόμενη είτε από βροχόπτωση είτε από άρδευση ποσότητα που δεν προσλαμβάνεται από το φυτό αλλά αντίθετα , κατεισδύει στο υπέδαφος ή ρέει επιφανειακά.
 - Τέλος όλα τα στοιχεία παροχής και ζήτησης πινακοποιούνται για τον προϋπολογισμό της φάρμας οποίος εμπλουτίζει τον προϋπολογισμό της ροής του υπογείου νερού.

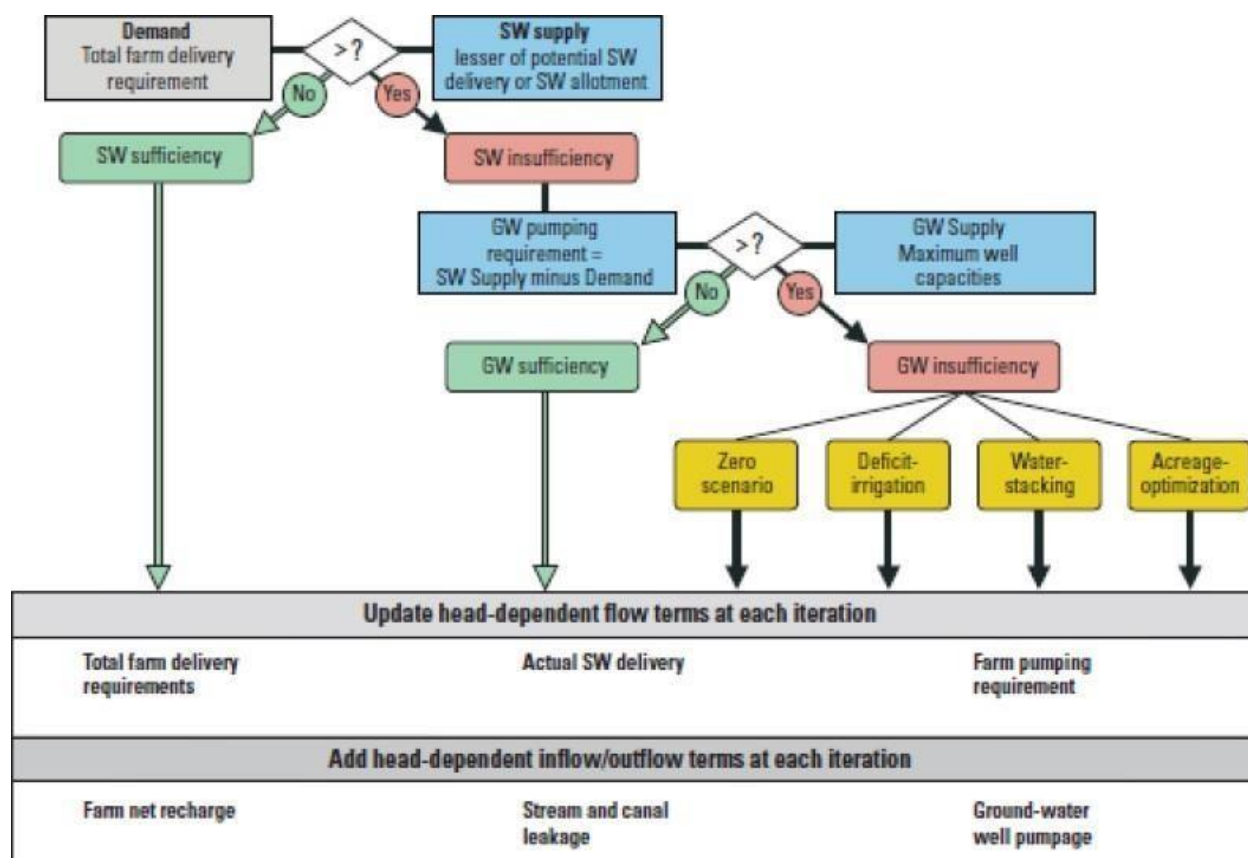
Καθορισμός ελλείμματος

Το μοντέλο, στην περίπτωση που η απαίτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφορά νερού,

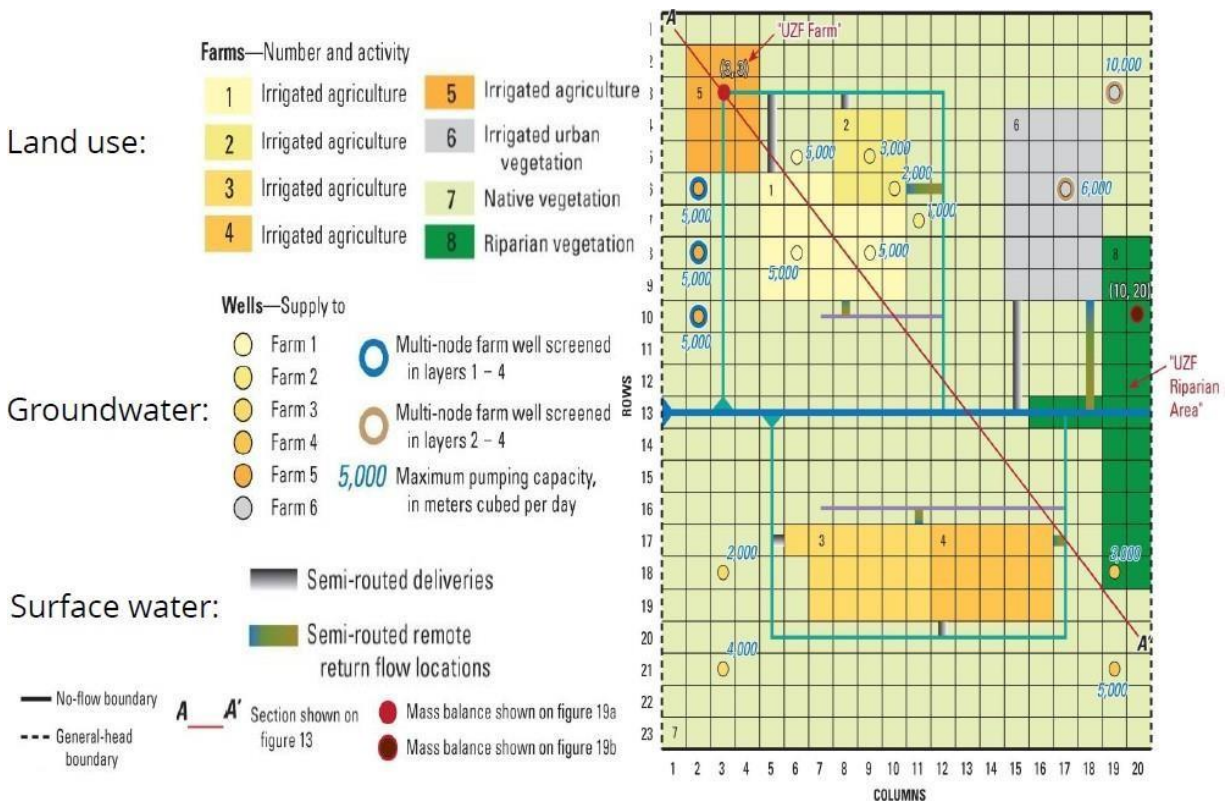
επιτρέπει την εκτίμηση της βέλτιστης κατανομής των στοιχείων παροχής νερού, προκειμένου να καλυφθεί αυτό η διαφορά ως εξής (Rossetto et al., 2017).

Ο χρήστης έχει 2 επιλογές:

- **Βελτίωση κατά προτεραιότητα καλλιέργειας (Crop-priority based)**: όπου ο χρήστης καθορίζει μια σειρά προτεραιότητας ανάλογα τη καλλιέργεια, με βάση την οποία το νερό κατανέμεται αναλόγως.
- **Οικονομική βελτιστοποίηση (Economic Optimization)**: όπου ο χρήστης καθορίζει α) το κόστος παροχής νερού της εκάστοτε πηγής στη φάρμα και β) το κέρδος από τη παραγωγή της εκάστοτε καλλιέργειας, όπου το νερό κατανέμεται με βάση τη δυναμικότητα.



Εικόνα 7 Σχηματική απεικόνιση της διανομής νερού ανάλογα με τη ζήτηση και το ελλείμμα, (Schmid et al., 2006), (Schmid and Hanson, 2009)



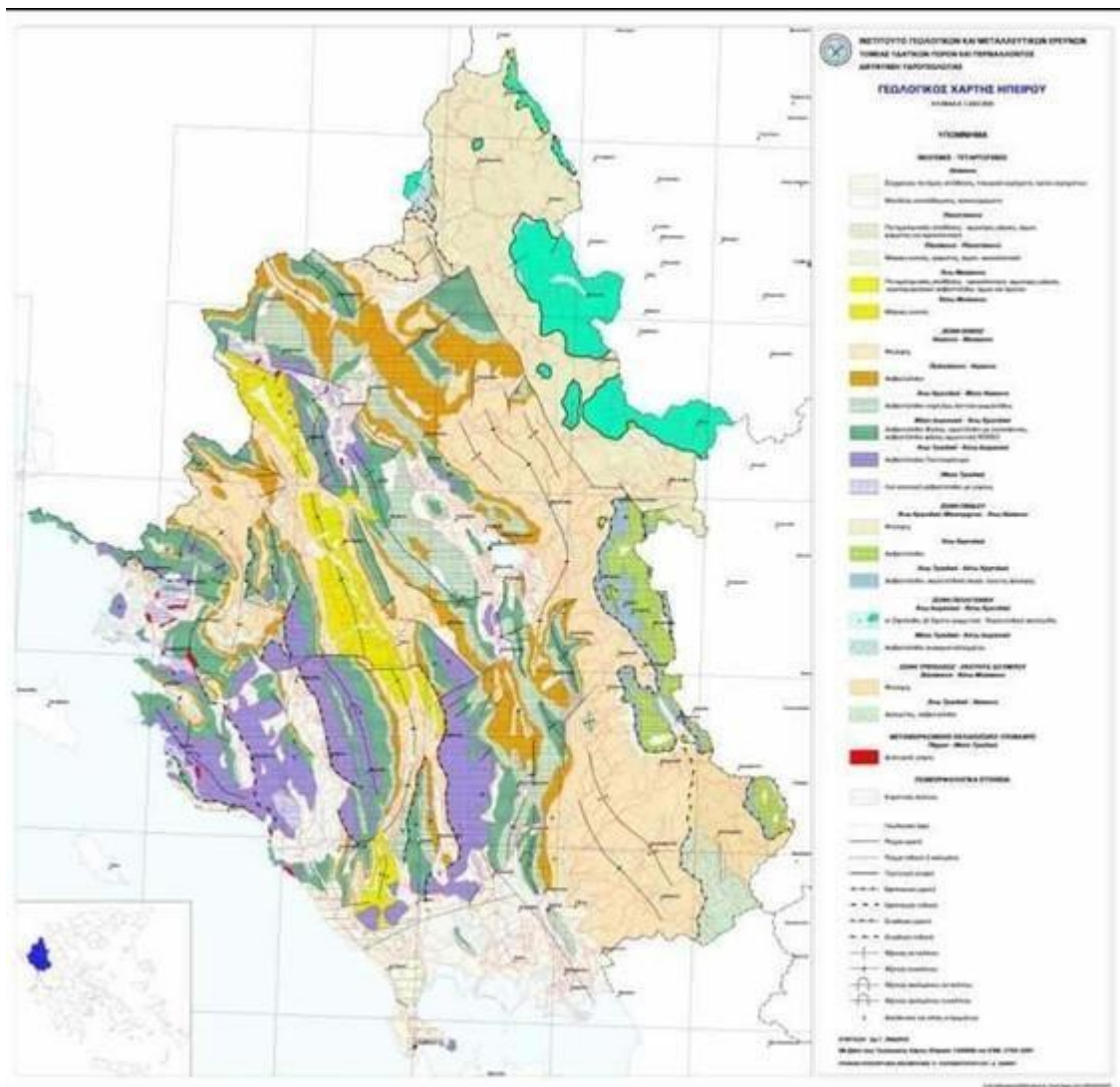
Εικόνα 8 Παρουσίαση τρόπου λειτουργίας του μοντέλου Farm Process (Schmid *et al.*, 2006) και (Schmid and Hanson, 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο Γεωλογικά και υδροχημικά χαρακτηριστικά του πεδινού τμήματος της Άρτας

Γεωλογικό καθεστώς του νομού Άρτας

Ο νομός Άρτας αποτελείται από 2 γεωτεκτονικές ενότητες: Την Ιόνια Ενότητα, της οποίας οι γεωλογικοί σχηματισμοί καλύπτουν σχεδόν εξ ολοκλήρου το νομό και την ενότητα Γαβρόβου-Τρίπολης που εμφανίζεται κατά τόπους. Επιπλέον έχουμε μια μικρή εμφάνιση της ενότητας της Πίνδου στα Αθαμάνια όρη (Τζουμέρκα) όπου βρίσκεται να είναι επωθημένη επί του φλυσχικού συγκλίνου του Αράχθου της Ιόνιας ενότητας.

Η γεωργική διαδικασία έχει σχεδιαστεί για να διεγείρει τα στοιχεία ζήτησης που αντιπροσωπεύουν την απαίτηση άρδευσης καλλιεργειών και τις απώλειες αναποτελεσματικότητας της εκμετάλλευσης και τα στοιχεία παροχής που αντιπροσωπεύουν τις παραδόσεις επιφανειακών υδάτων και τη συμπληρωματική άντληση υπόγειων υδάτων, καθώς και πρόσθετες εισροές και εκροές που εξαρτώνται από το κεφάλι, όπως απώλειες/κέρδη καναλιών, ροές επιστροφής επιφανειακών υδάτων και βαθιά διήθηση περίσσειας νερού



Εικόνα 9 Χάρτης των γεωτεκτονικών ενότητων του Υδ. διαμερίσματος της Ηπείρου (κατά IFP-IGFY , με τροποποιήσεις από J, AUBOUINet. al, 1977) , (IGME, 2010).

Ιόνια Ενότητα

Αποτελεί την δεύτερη εσωτερική ενότητα (κατόπιν της ενότητας Παξών) των Εξωτερικών Ελληνίδων που στα ανατολικά (μαζί μεμήματα του νομού Άρτας) επωθείται από την Ενότητα Γαβρόβου-Τρίπολης, εντός και των δύουπάρχει φλυσχομόλλασα Ηπείρου-Ακαρνανίας. Η στρωματογραφία της ενότητας είναι σχετίζεται άμεσα με την ανάπτυξη της από το στάδιο της πλατφόρμας ανθρακικής ιζηματογένεσης σε λεκάνη πελαγικής ιζηματογένεσης στο Μέσο

Λιάσιο(190 εκατ. χρόνια).

Η στρωματογραφική της στήλη λόγω της αλλαγής των συνθηκών ιζηματογένεσης, διακρίνεται από τη βάση προς τη κορυφή σε α) προ-ταφροσιγενή, β) συν-ταφροσιγενή και γ) μετα-ταφροσιγενή πετρώματα. Η διαφοροποίηση αυτή ήταν αποτέλεσμα ενός εφελκυστικού επεισοδίου που πιθανά συνδέεται με το άνοιγμα του ωκεανού της Τηθύος.

A) Προταφροσιγενείς σχηματισμοί:

Σε αυτούς περιλαμβάνονται:

- i) Εβαπορίτες (γύψοι με μικροκρυσταλλική υφή και πάχος άνω των 3 km),
- ii) Τριαδικά λατυποπαγή
- iii) Ασβεστόλιθοι Φουσταπήδημα, με πάχος 150 m και ηλικίας

Λαδίνιου-Ραίτιου, οι οποίοι σηματοδοτούν το τέλος της εβαποριτικής ιζηματογένεσης και την αρχή της αμιγούς θαλάσσιας ιζηματογένεσης.

- iv) Δολομίτες πάχους 200 m

v) Υπερκείμενα βρίσκονται οι ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα (600 m πάχος), οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως λεπτοκοκκώδεις και παχυστρωματώδεις, συμπαγείς, με ασβεστοφύκη, ηλικίας Κατώτερου-Μέσου Λιάσιου.

Οι ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα αντιστοιχούν σε πολύ ρηχή πλατφόρμα στο όριο της ανάδυσης. Το πάχος τους δείχνει την ταχεία βύθιση της πλατφόρμας η οποία αντισταθμίζεται με γρήγορη ιζηματογένεση.

B) Συν-ταφροσιγενείς σχηματισμοί:

Αποτελούνται από:

- i) Ασβεστόλιθους Σινιών, που είναι υπολιθογραφικοί ασβεστόλιθοι με ακτινόζωα και

ενδιαστρώσεις πυριτιολίθων και βρίσκονται στην αξονική περιοχή της λεκάνης

- ii) Ασβεστόλιθους Λούρου, που είναι μικριτικοί ασβεστόλιθοι με βραχιονόποδα και αμμωνίτες ηλικίας Κατώτερου-Μέσου Ιουρασικού,
- iii) Τη φάση Ammontitico Rosso
- iv) Κατώτερων πελαγικών ασβεστολίθων με filaments
- v) Σχιστολίθων με Posidonia ηλικίας Τοάρσιου-Ααλένιου
- vi) Ανώτερους σχιστόλιθους με Posidonia (πάχους 50 m), οι οποίοι είναι πλούσιοι σε πυρίτιο και ακτινόζωα, ηλικίας Οξφόρδιου-Τιθώνιου.

Γ) Μετα-ορογενετικοί σχηματισμοί:

i) Πλακώδεις ασβεστόλιθοι Βίγλας (πάχους 300 m), με ακτινόζωα και ενστρώσεις πυριτιολίθων. Στην βάση υπάρχουν άφθονες Calpionelles, ενώ στο ανώτερο τμήμα επικρατούν διάφορα είδη Globotruncana ηλικίας Βερριάσιου – Κατώτερου Σενώνιου.

Η απόθεση των ασβεστολίθων της Βίγλας σηματοδοτεί την ομογενοποίηση των συνθηκών ιζηματογένεσης.

ii) Ανώτερα βρίσκονται οι σχιστόλιθοι της Βίγλας (πάχους μικρότερου των 150m), που χαρακτηρίζονται από εναλλαγές μαργών, ασβεστολίθων και αργιλικών σχιστολίθων, ηλικίας Αν.Κρητιδικού.

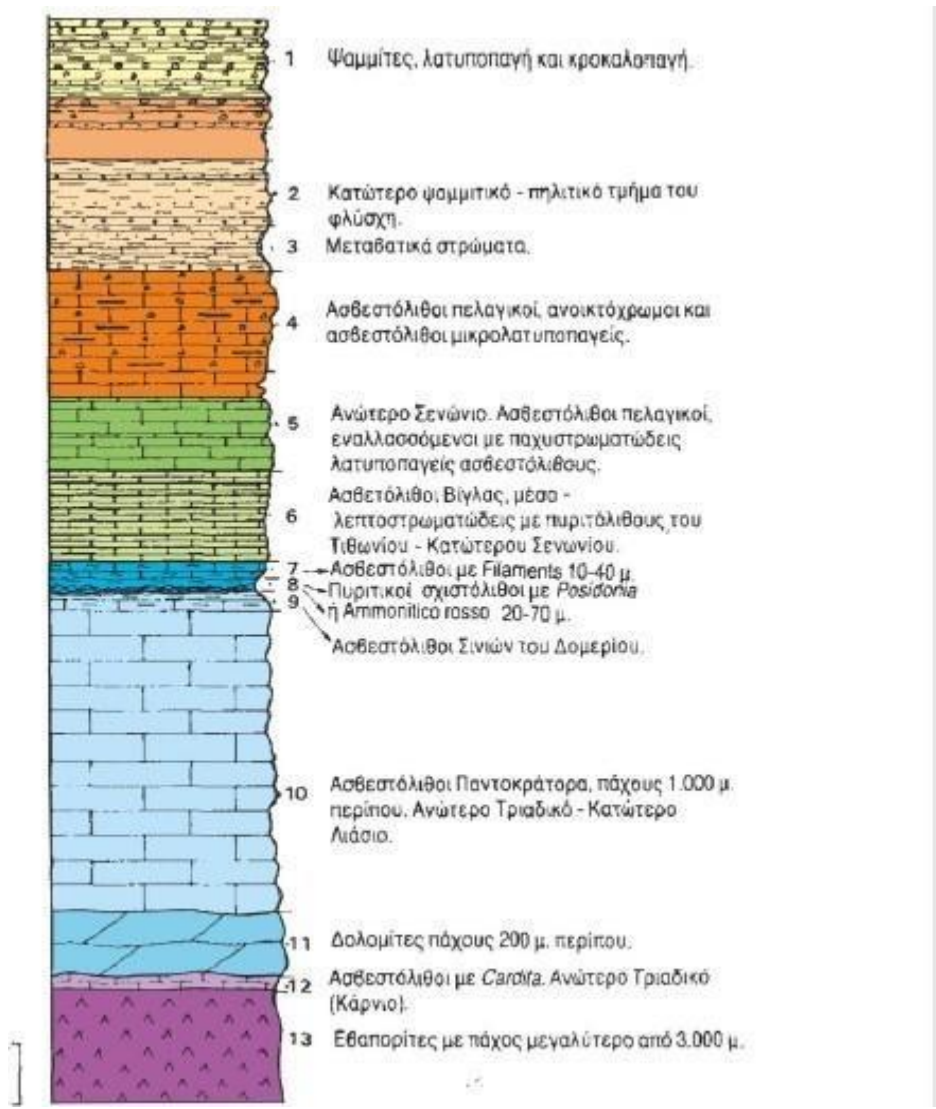
Η απόθεση των σχιστολίθων της Βίγλας σηματοδοτεί την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

iii) Ακολουθούν οι ασβεστόλιθοι του Σενωνίου με πάχος μικρότερο των 300 m.

Χαρακτηρίζονται ως μικρολατυποπαγείς, συμπαγείς, με θράυσματα Ρουδιστών και Orbitoides, καθώς και ένα ακόμη στρώμα ασβεστολίθων με 300 m πάχος, λεπτοπλακώδες, με Globigerines και μικρολατυποπαγείς ορίζοντες με Nummulites, Alveolines και ενστρώσεις πυριτολίθων, ηλικίας Παλαιόκαινου-Ηώκαινου.

iv) Τέλος, υπάρχει ο φλύσχος της Ιόνιας ενότητας με πάχος πάνω από 2km, ο οποίος αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών, πηλιτών, κροκαλοπαγών με λιθοκλάστες ανθρακικής,

πυριτικής και σπανιότερα υπερβασικής σύστασης, ηλικίας Αν. Ηώκαινο - Κατ. Ολιγόκαινο μέχρι το Αν. Ολιγόκαινο-Κατ. Μειόκαινο. Τα μεγαλύτερα πάχη του φλύσχη απαντούν στο σύγκλινο Ηπείρου – Ακαρνανίας, δίπλα από το μέτωπο της επώθησης της Πίνδου.



Εικόνα 10 Στρωματογραφική στήλη Ιόνιας Ενότητας (Κατά J.Dercourtetal. 1980), (Λόζιος and Σκούρτσος, 2017).

Ενότητα Γαβρόβου-Πύλου

Συχνά αναφέρεται ως Γαβρόβου-Τρίπολης, με αποτέλεσμα η στρωματογραφική ακολουθία να θεωρείται ίδια με τη στήλη της ενότητας της Τρίπολης, όπου οι όποιες διαφορές να εντοπίζονται σε συγκεκριμένα μόνο σημεία.

Στο ανώτερο σημείο της ενότητας βρίσκεται η ολιγοκαινική-μειοκαινική φλύσχομόλασσα, πράγμα που μαρτυρά την ύπαρξη ενιαίου φλύσχη στο σύγκλινο Ηπείρου – Ακαρνανίας, που αναπτύχθηκε μαζί με την Ιόνια ενότητα από το Ανώτερο Ηώκαινο και ύστερα.

Η ενότητα χαρακτηρίζεται από ήπιο τεκτονισμό, δίχως μεταμορφικές φάσεις, εν αντίθεση με αυτή της Τρίπολης που διακρίνεται από έντονο τεκτονισμό και στα χαμηλότερα τμήματά της είναι έντονα κρυσταλλική και παρατηρείται και τεκτονικός σχισμός.

Επομένως, με βάση τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι αρχικά και οι δύο ενότητες είχαν ενιαίο παλαιογεωγραφικό χώρο, που έπειτα από τις περιόδους ιζηματογένεσης, οι παλαιογεωγραφικοί χώροι των δύο ενότητων διαφοροποιήθηκαν.

Χαρακτηριστικό της ενότητας Γαβρόβου - Πύλου είναι η συνεχής νηριτική ανθρακική ιζηματογένεση και οι ασυμφωνίες από το Κρητιδικό έως το Ηώκαινο. Ο φλύσχος αποτέθηκε με ασυμφωνία υπερκείμενων ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων στο όρος Γάβροβο. Παράλληλα, παρατηρήθηκε ότι η απόθεση των ηωκαινικών ασβεστολίθων έγινε με ασυμφωνία υπερκείμενων βωξιτικών οριζόντων, οι οποίοι σχηματίστηκαν πάνω σε ηωκαινικούς ασβεστόλιθους.

Η στρωματογραφική στήλη της ενότητας είναι η εξής:

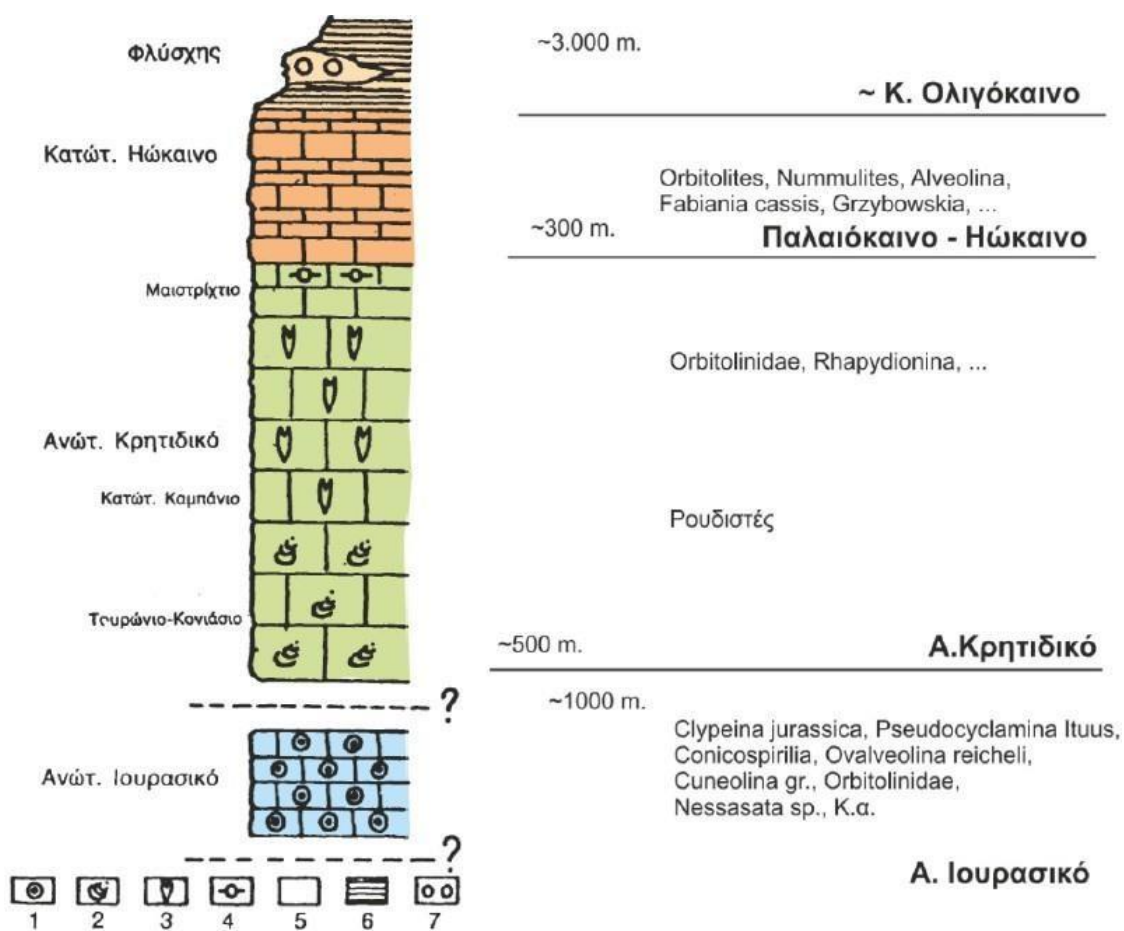
i) Στη βάση εμφανίζονται τα στρώματα Τυρού, που συνιστούν ένα σύμπλεγμα ηφαιστειο-ιζηματογενές που εντός του εμπεριέχονται πυροκλαστικά πετρώματα, νηριτικοί ασβεστόλιθοι και ανδειστικές λάβες, ενώ τα κυρίαρχα πετρώματα είναι πηλίτες και ψαμμίτες ηλικίας Λιθανθρακοφόρου-Μ.Τριαδικού.

Το χαρακτηριστικό της γνώρισμα είναι η ύπαρξη νηριτικής ιζηματογένεσης με δολομίτες και ασβεστόλιθους συνεχώς από το Αν. Τριαδικό μέχρι το Ηώκαινο με μεγάλο πάχος. Η αλλαγή που

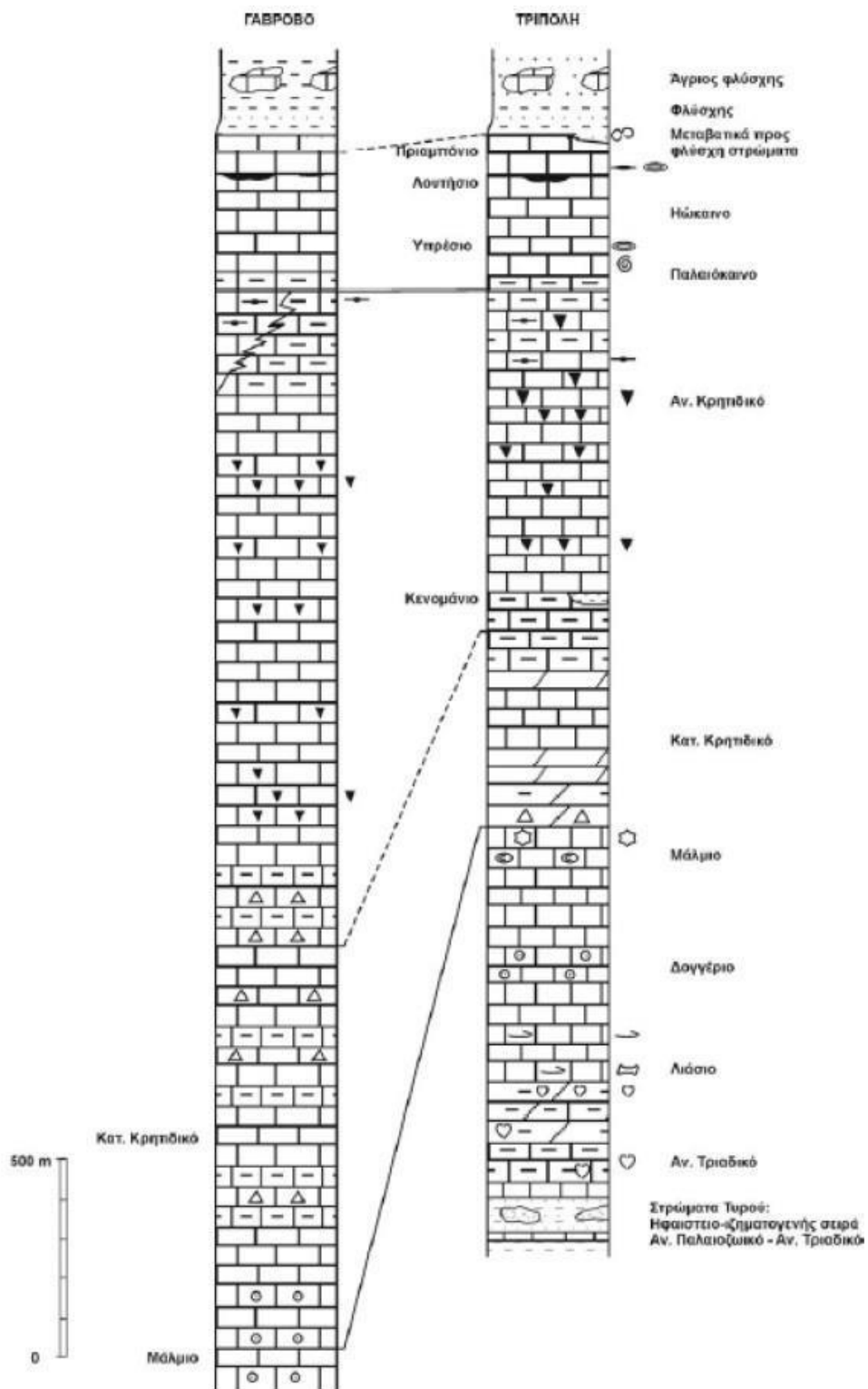
παρατηρείται αφορά τα απολιθώματα, όπου στο Τριαδικό επικρατούν τα *Megalodon* και στο Ιουρασικό *Clypeines*. Στη συνέχεια έχουμε δολομίτες με ρουδιστές και στο Ηώκαινο βιτουμενιούχους στρωματώδεις ασβεστολίθους με *Nummulites*.

ii) Οι βωξιτικοί ορίζοντες αναπτύσσονται εντός των ηώκαινικών ασβεστολίθων εξαιτίας της ασυμφωνίας κατά το Ηώκαινο. Υπερκείμενα, με επίκλυση, βρίσκονται λατυποπαγείς υπολιθογραφικοί ασβεστολίθοι του Αν. Ηώκαινου, μαύρου χρώματος.

Στα ανώτερα τμήματα της ενότητας βρίσκεται ο φλύσχος που αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτικών πετρωμάτων, μαργαϊκών πετρωμάτων, πολυγενών κροκαλοπαγών και πλακωδών ψαμμιτικών ασβεστολίθων, ηλικίας Αν. Ηώκαινου-Ολιγόκαινου (Λόζιος & Σκούρτσος, 2017).



Εικόνα 11 Στρωματογραφική στήλη Γαβρόβου (κατά Aubouin 1979), (Λόζιος and Σκούρτσος, 2017).



Εικόνα 12 Συνοπτική συγκριτική παρουσίαση των στρωματογραφικών κολόνων Γαβρόβου και Τριπόλεως (Λόζιος and Σκούρτσος, 2017).

Ενότητα Πίνδου

Η ενότητα, ανατολικά επωθείται από οφιόλιθους, από την ενότητα Παρνασσού και άλλες των Εσωτερικών Ελληνίδων, δυτικά επωθείται στην Ενότητα του Γαβρόβου, ενώ σε συγκεκριμένα σημεία επωθείται σε ολιγοκανικά ιζήματα της Μεσοελληνικής Αύλακας.

Η στρωματογραφία στήλη της ενότητας εμπεριέχει στα κατώτερα τμήματά της Τριαδικό φλύσχη, που συνίσταται από εναλλαγές στρωμάτων : ψαμμιτών, πηλιτών και ασβεστολίθων. Επίσης διακρίνεται από ορισμένα χαρακτηριστικά απολιθώματα π.χ: κωνόδοντα, Filaments , Halobiidae(ηλικίας Μ.Τριαδικού)καιDaonella(ηλικίας Τριαδικού).

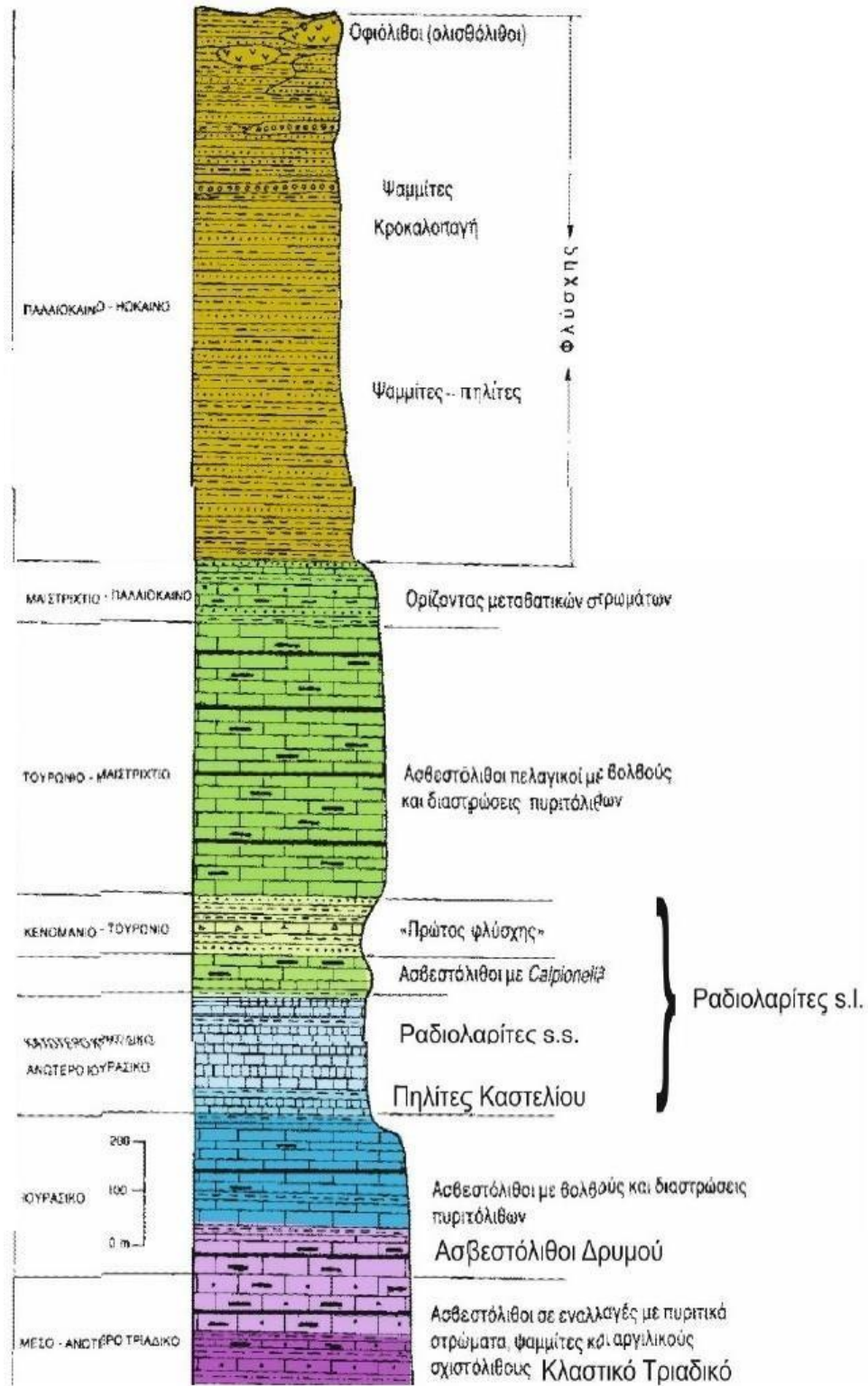
Η φλυσχική ηλικία είναι Λαδίνιο-Κάρνιο(Αν.Τριαδικό). Παράλληλα εμφανίζονται και βασικά εκρηξηγενή πετρώματα. Υπερκείμενα εμφανίζεται , ένα σύνολο από πελαγικούς ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και λίγους πηλίτες που ονομάζεται Ασβεστόλιθοι Δρυμού.

Το εν λόγω σύνολο αποτελείται από:

- Ασβεστόλιθους με λίγους κερατόλιθους και πηλίτες. Εντός των ασβεστολίθων Filaments από Halobiidae και ακτινόζωα (ηλικίας Κάρνιο – Νόριο)
- Ορίζοντα με ίαση. Εναλλαγές πυριτιολίθων με ερυθρούς πηλίτες, που όμως δεν εμφανίζονται σε όλη την ενότητα (Ραίτιο-Κατ. Λιάσιο)
- Ασβεστόλιθους με κονδύλους πυριτόλιθων και ενδιαστρώσεις πηλιτών. Τα ανώτερα τμήματα χαρακτηρίζονται ως κλαστικοί, ψευδοωολιθικοί έως ωολιθικοί ασβεστόλιθοι. Σε αρκετές περιπτώσεις περιέχουν θραύσματα από εχινόδερμα, κοράλια και φύκη.
- Στη συνέχεια υπέρκεινται οι πηλίτες Καστελίου. Πρόκειται για ερυθρούς πηλίτες στη βάση των ραδιολαριτών, με παρεμβολές ψευδοωολιθικών ασβεστολίθων και ασβεστολίθων με ακτινόζωα, ηλικίας Αν.Λιάσιο-Δογγέριο. Βρίσκονται πάνω από τους ραδιολαρίτες, οι οποίοι είναι ερυθρωποί και πρασινωποί, με μεταλλεύματα μαγγανίου και συχνές παρεμβολές αντίστοιχων χρωμάτων πηλιτών, ηλικίας Δογγέριο – Αν. Ιουρασικό (Κατ. Κρητιδικό).
- Η στρωματογραφική στήλη συνεχίζεται με τους ασβεστόλιθους με Calpionella

(Αν.Ιουρασικό-Κατ Κρητιδικό), που περιέχουν ροζ και ερυθρούς ασβεστολίθους με ραδιολαρίτες, πηλίτες και λατυποπαγείς ασβεστολίθους ηλικίας Αν Ιουρασικού-Κατ.Κρητιδικού.

- Στη συνέχεια εμφανίζεται ο πρώτος φλύσχη, που περιέχει ερυθρωπούς και πρασινωπούς ψαμμίτες, πηλίτες και βιοκλαστικούς ασβεστόλιθους. Σε πολλές θέσεις έχουν εντοπιστεί σώματα σπιλιτών και διαβασών. Η έναρξη απόθεσής του είναι ετεροχρονισμένη. Στη Δυτική Πελοπόννησο ξεκινάει στο Κενομάνιο (Αν.Κρητιδικό) και φτάνει μέχρι το Κονιάσιο ή το Σαντώνιο. Στη νότια Πίνδο η έναρξη γίνεται στο Κάτω-Μέσο Κρητιδικό και τελειώνει στο Τουρώνιο.
- Από πάνω βρίσκονται μικριτικοί, μεσοστρωματώδεις πλακώδεις ασβεστόλιθοι, με διαστρώσεις και κονδύλους πυριτόλιθων και λίγους πηλίτες. Μπορούν κι αυτοί να διακριθούν σε χαρακτηριστικούς ορίζοντες (μεταβατικοί ορίζοντες, ροζ ασβεστόλιθοι, ασβεστόλιθοι με *Globotruncanes* και γκρι ασβεστόλιθοι), με ηλικία Κονιάσιο– Σαντώνιο έως Μαιστρίχτιο.
- Τέλος, υπάρχουν κάποια μεταβατικά στρώματα προς το φλύσχη και ο Ηωκαινικός φλύσχη, ο οποίος είναι ο πιο παχύς σχηματισμός της ενότητας, φτάνοντας τα 4 km. Στο ανώτερο τμήμα του παρατηρείται ένα είδος «άγριου» φλύσχη με ολισθολίθους ποικίλης λιθολογίας.



Εικόνα 13 Στρωματογραφική στήλη της ζώνης Πίνδου (Κατά Δ. ΜΑΤΑΡΑΓΚΑ κ.α. Από γεωλογικό χάρτη φύλλου <<Κλεπάς>>, κλίμακας 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε 1985), (Σκούρτσος and Λόζιος, 2017).

Υδρογεωλογικό καθεστώς της Άρτας

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί συναρτήσκει της τιμής της υδραυλικής αγωγιμότητάς τους, δηλαδή ανάλογα με το κατά πόσο επιτρέπουν τη διέλευση και αποθήκευση του νερού στους πόρους τους, διακρίνονται σε :

α) Υδραυλικά αχώγιμους: Καλούνται οι σχηματισμοί μεγάλης τιμής υδραυλικής αγωγιμότητας, που επιτρέπουν λόγω της λιθολογικής, χημικής και ορυκτολογικής τους σύστασης στο νερό να κυκλοφορεί μέσω των διακένων και πόρων που επικοινωνούν μεταξύ τους, δηλαδή μέσω του δευτερογενούς πορώδους.

β) Σχηματισμούς μέτριας υδραυλικής αγωγιμότητας: Αφορά σχηματισμούς που επιτρέπουν μια συγκεκριμένη ποσότητα νερού να τα διαπεράσει, με βάση τη λιθολογική τους κατάσταση.

γ) Σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας-αδιαπέρατους : Είναι οι σχηματισμοί, διαμέσω των οποίων η διέλευση του νερού είναι πρακτικά αδύνατη ή η ποσότητα που εισέρχεται σε αυτούς είναι αμελητέα .

- Υδραυλικά αχώγιμοι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται τα καρστικά πετρώματα (κυρίως οι ασβεστόλιθοι).

Στον νομό Άρτας οι έντονα καρστικοποιημένοι και παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι του Σενωνίου και οι ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα, συνιστούν σχηματισμούς με μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα.

Εντός αυτών, βρίσκονται οι πλούσιοι σε αποθέματα υδροφορείς, ενώ σε αυτούς τους σχηματισμούς παρατηρούνται οι πηγαίες εκφορτίσεις μεγάλης παροχής, του Αγίου Γεωργίου και Χανόπουλου (Υπουργείο Γεωργίας, 1997).

- Σχηματισμοί με μέτρια υδραυλική αγωγιμότητα χαρακτηρίζονται:

i) Οι ασβεστόλιθοι του Ηωκαίνου της Ιόνιας ζώνης, οι ασβεστόλιθοι Βίγλας, η φάση Ammonitico-Rosso και τα δολομιτωμένα τμήματα των ασβεστολίθων του Παντοκράτορα.

Παράλληλα λόγω του ότι τα ανώτερα τμήματα και η βάση του σχηματισμού Βίγλας,

συνίστανται από υλικά αργιλικής και πυριτικής σύστασης, επομένως η υδραυλική τους αγωγιμότητα είναι μικρότερη σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα του σχηματισμού, όταν βρίσκεται υποκείμενα των ασβεστολίθων του Σενωνίου, συνιστά τη βάση προκειμένου να εκδηλωθεί η καρστική υδροφορία (Υπουργείο Γεωργίας, 1997).

ii) Οι αλουβιακές αποθέσεις μεγάλης οριζόντιας έκτασης και τα κορήματα.

Οι εν λόγω αποθέσεις αναπτύσσονται στην πεδιάδα της Άρτας, εξαιτίας του τεκτονικού βυθίσματος ενώ επιφανειακά λόγω του ότι κυριαρχεί η λεπτομερής φάση των προσχώσεων παρουσιάζουν μικρές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας.

Σε γενικές γραμμές οι προσχωματικές αποθέσεις στην πεδιάδα της Άρτας δομούνται από ενδιαστρώσεις διαφορετικού μεγέθους κόκκων, που μεταβάλλονται τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη επάλληλων υδροφορέων στις αδρομερείς φάσεις.

- Αδιαπέρατοι ή πολύ μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας σχηματισμοί μπορούν να χαρακτηριστούν:

i) Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί αργιλικής σύστασης (πυριτικές προσχώσεις, υλικά κατολισθήσεων, κοκκινόχωμα), με μικρή έκταση, μικρό πάχος (με εξαίρεση τα υλικά κατολισθήσεων) και αμελητέες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας, διότι υπέρκειται σχηματισμών με μεγαλύτερες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας.

ii) Τα ψαμμιτικά τμήματα του ενιαίου φλύσχη της Ιόνιας ενότητας και του Γαβρόβου και οι σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες.

Στα σημεία που το πέτρωμα είναι κατακερματισμένο και υπάρχουν μεγάλου πάχους ενδιαστρώσεις ψαμμίτη, έχουν αναπτυχθεί πολύ μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας υδροφορείς.

iii) Οι αργιλικής σύστασης φάσεις του φλύσχη όλων των τεκτονικών ενοτήτων (Υπουργείο Γεωργίας, 1997).

Στον νομό Άρτας έχουν διακριθεί δύο υπόγεια υδατικά συστήματα:

Καρστικό σύστημα Άρτας

Βρίσκεται στο νότιο τμήμα του νομού , συγκεκριμένα στον λόφο Βαλαώρας, που αποτελεί και το νότιο τμήμα του αντικλίνου του Ξηροβουνίου (εντός της λεκάνης του Λούρου) συνιστώντας ένα μονόκλινο ανθρακικής σύστασης πουδομείταιως επί το πλείστον, από ασβεστολίθους ηλικίας Αν.Σενώνιου. Βρίσκεται τοπογραφικά στα χαμηλότερα σημεία του συστήματος του Αράχθου, με τοπογραφικά υψόμετρα που κυμαίνονται μεταξύ 5 και 250 m.

Το εν λόγω σύστημα έχει μέσο ετήσιο ύψος βροχής 1.200 mm,κατεΐσδυση 50% των κατακρημνισμάτων και αποθέματα $9 \times 10^6 \text{ m}^3$ (ΙΓΜΕ, 2010) .

Επιπλέον, το υπόγειο νερό του συστήματος εκφορτίζεται μέσω των εξής πηγών:

- **Πηγή Αγίου Γεωργίου-Γλυκόριζο:**

Πρόκειται για ρηξιγενή πηγή, που βρίσκεται στην επαφή των ασβεστολίθων και των νεώτερων αλλουβιακών αποθέσεων με μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού που εκφορτίζει τα 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η παροχή της πηγής ισούται με $6,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ και θερμοκρασία νερού 15,3 °C.

Το υπόγειο νερό εκφορτίζεται μέσω αυτής σε υψόμετρο 112,97 m, στην ανατολική κοίτη του Λούρου, στον οικισμό Αγίου Γεωργίου.

Επίσης χαρακτηρίζεται ως μεσοστρωματική πηγή εντός των ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα και η θέση στην οποία βρίσκεται , είναι αποτέλεσμα της μη σταθερής τιμής περατότητας του σχηματισμού.

Το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού του νομού Άρτας , υδρεύεται από αυτή τη πηγή , καθιστώντας μείζονος σημασίας η μελέτη του μηχανισμού λειτουργίας και τροφοδοσίας της.

Ο Λούρος βόρεια και δυτικά διαρρέει την ανθρακική ενότητα από την οποία τροφοδοτείται η πηγή. Από υπάρχοντα στοιχεία, συμπεραίνεται ότι στον ορεινό όγκο που δομείται από ασβεστόλιθους του Παντοκράτορα που βρίσκεται δυτική κοίτη του Λούρου, ως επί το πλείστον οφείλεται η τροφοδοσία της πηγής (περιοχές νότια της Μουσιωτίτσας).

Αντίθετα , ο ανατολικός ορεινός όγκος που βρίσκεται στην ανατολική κοίτη του ποταμού δεν

τροφοδοτεί την πηγή. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη σχιστολίθων ανατολικά της πηγής, που ως πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, λειτουργούν ως φραγμός στην διέλευση του νερού από τον όγκο αυτό

(ΙΓΜΕ, 2010).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η περιοχή τροφοδοσίας της πηγής έχει εμβαδόν περίπου 120km². δεδομένου ύψους βροχής 1.600 mm και κατεΐσδυσης περίπου 50%, ο όγκος νερού θα ισούται με $96 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$.

Επιπλέον, η μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ισούται με 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$, το pH έχει τιμή 8 και η θερμοκρασία του νερού είναι 13,8 °C.

Η μέση παροχή της πηγής ισούται με $82,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ και συνυπολογίζοντας και την παροχή των πηγών Ασπροχάλικου (που ισούται με $9,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$), η συνολική υπόγεια ετήσια απορροή είναι

$91,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ νερού (ΙΓΜΕ 2010) .

- **Πηγή Σκάλας:**

Χαρακτηρίζεται ως πηγή υπερπλήρωσης, που μέσω αυτής εκφορτίζεται το υπόγειο νερό, που βρίσκεται στο ανθρακικό αντίκλινο των Θεσπρωτικών Όρων σε τοπογραφικό υψόμετρο 15 m, το οποίο περικλείει τον φλύσχη της Ιόνιας Ενότητας. Η πηγή παρουσιάζει μέγιστες παροχές γύρω στα $214,44 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ (Κατσάνου, 2012).

- **Πηγές Χανόπουλου:**

Οι εν λόγω πηγές, που αναφέρονται και ως καρστικό υποσύστημα πηγών Χανόπουλου, βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα του αντικλίνου του Ξηροβουνίου.

Ως όρια του συστήματος διακρίνονται, τα μαργαϊκά πετρώματα του Αράχθου στα ανατολικά ενώ αντίθετα στα δυτικά τα όρια δεν είναι πλήρως διακριτά.

Επομένως, θεωρητικά το υπόγειο νερό και ο επιφανειακός υδροκρίτης στον ορεογραφικό άξονα του Ξηροβουνίου, ταυτίζονται (ΙΓΜΕ, 2010) .

Επίσης λόγω του ότι και τα βόρεια όρια του υποσυστήματος δεν είναι είναι πλήρως διακριτά, θεωρείται ότι πιθανών βρίσκονται έως τον υδροκρίτη Πεστάς στο υπίπεδο των Πλαισίων (περίπτωση Α) ή αν η υδρογεωλογική λεκάνη του υποσυστήματος των πηγών εκτείνεται μέχρι τα κράσπεδα της λεκάνης των Ιωαννίνων (περίπτωση Β),

Η έκταση του υποσυστήματος ισούται με 160 km^2 για την περίπτωση Α, ενώ για την περίπτωση Β ισούται με 200 km^2 . Με βάση το μέσο ύψος βροχής 1.160 mm (για τη δεκαετία 1981-1991) και κατείδυση 50% των κατακρημνισμάτων, για την περίπτωση Α ο ετήσιος όγκος νερού κατείδυσης θα ισούται με $93 \times 10^6 \text{ m}^3$, ενώ για την περίπτωση Β περίπου $116 \times 10^6 \text{ m}^3$. (ΙΓΜΕ, 2010)

Η μέση παροχή των πηγών για το αυτή τη περίοδο ισούται με $114 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$.

Ωστόσο λόγω του οι παραπάνω παράμετροι εκτιμήθηκαν προσεγγιστικά, ενδέχεται να υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις στην εκτίμηση των ρυθμιστικών αποθεμάτων του συστήματος.

Η εκφόρτιση του υπόγειου νερού των εν λόγω πηγών, γίνεται στην επαφή ασβεστόλιθων - τεταρτογενών αποθέσεων του κάμπου της Άρτας. Όλες οι εκφορτίσεις είναι γραμμικά διατεταγμένες επί του μεγάλου εγκάρσιου ρήγματος το οποίο αποτελεί ανατολική προέκταση του ρήγματος της λίμνης Ζηρού.

Το σύνολο των πηγών, κατηγοριοποιείται σε 2 συγκροτήματα που απέχουν 800 m μεταξύ τους (ΙΓΜΕ, 2010) :

1) Το συγκρότημα Λουτρών , διαθέτει δύο πηγές υπερπλήρωσης, με στάθμη του υπογείου νερού από $7,4$ έως $7,8 \text{ m}$.

2) Το βόρειο συγκρότημα, στο οποίο παρατηρούνται διαφοροποιήσεις ως προς τη περατότητα των ασβεστολιθικών στρωμάτων, διαθέτει δύο ριξηγενείς πηγές και το υψόμετρο εκφόρτισης τους κυμαίνεται από 6,6 έως 7,9 m.

Η συνολική παροχή του συστήματος των πηγών, υπολογίζεται περίπου ισόποσα από τα δύο συγκροτήματα, χωρίς όμως να είναι σταθερή, καθώς η ελάχιστη παροχή κυμαίνεται από 37,8 έως $94 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ και η μέγιστη κυμαίνεται από 126 έως $189 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$. Μεταξύ των εκφορτίσεων δεν παρουσιάζονται διαφοροποιήσεις ως προς την αγωγιμότητα και το TDS.

Η μέση θερμοκρασία του νερού των πηγών είναι $16 \text{ }^\circ\text{C}$, η οποία δεν έχει εποχιακές διακυμάνσεις, ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 2.100 έως 3.580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και εξαρτάται και είναι αντιστρόφως ανάλογη της παροχής.

Ως προς τη χημική τους κατάσταση, οι πηγές Χανόπουλου λογούνται ως χλωριούχες-υδροθειούχες. Στο νερό τους έχουν βρεθεί μεγάλες συγκεντρώσεις Cl (600 p.p.m) και Na (370 p.p.m). Αυτό οφείλεται στο ότι ο υδροφορέας έχει έρθει σε επαφή με το ορυκτό αλάτι, το οποίο βρίσκεται στα τοιχώματα των πετρωμάτων του αντίκλινου του Ξηροβουνίου (εντοπίστηκε από έρευνα του Ι.Γ.Μ.Ε στη περιοχή του Μονολίθου) (ΙΓΜΕ, 2010).

- **Πηγή Περάνθης-Λουτρότοπος:**

Συγκροτείται από μικρές διάσπαρτες εκφορτίσεις συνολικού μήκους ενός χιλιομέτρου. Οι εν λόγω εκφορτίσεις παρουσιάζουν μέση παροχή περίπου γύρω στα $15 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ ενώ η μέση θερμοκρασία του νερού είναι $15,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Παράλληλα, παρατηρείται ότι οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού αυξάνονται από $880 \mu\text{S}/\text{cm}$ στο βορρά σε $2.210 \mu\text{S}/\text{cm}$ στον νότο (ΙΓΜΕ, 2010).

Στην διαφοροποίηση βορρά και νότου συγκαταλέγονται και οι αυξημένες συγκεντρώσεις των Cl, Na, SO₄ στον νότο και η απουσία συγκεντρώσεων H₂S σε σχέση με τον βορρά.

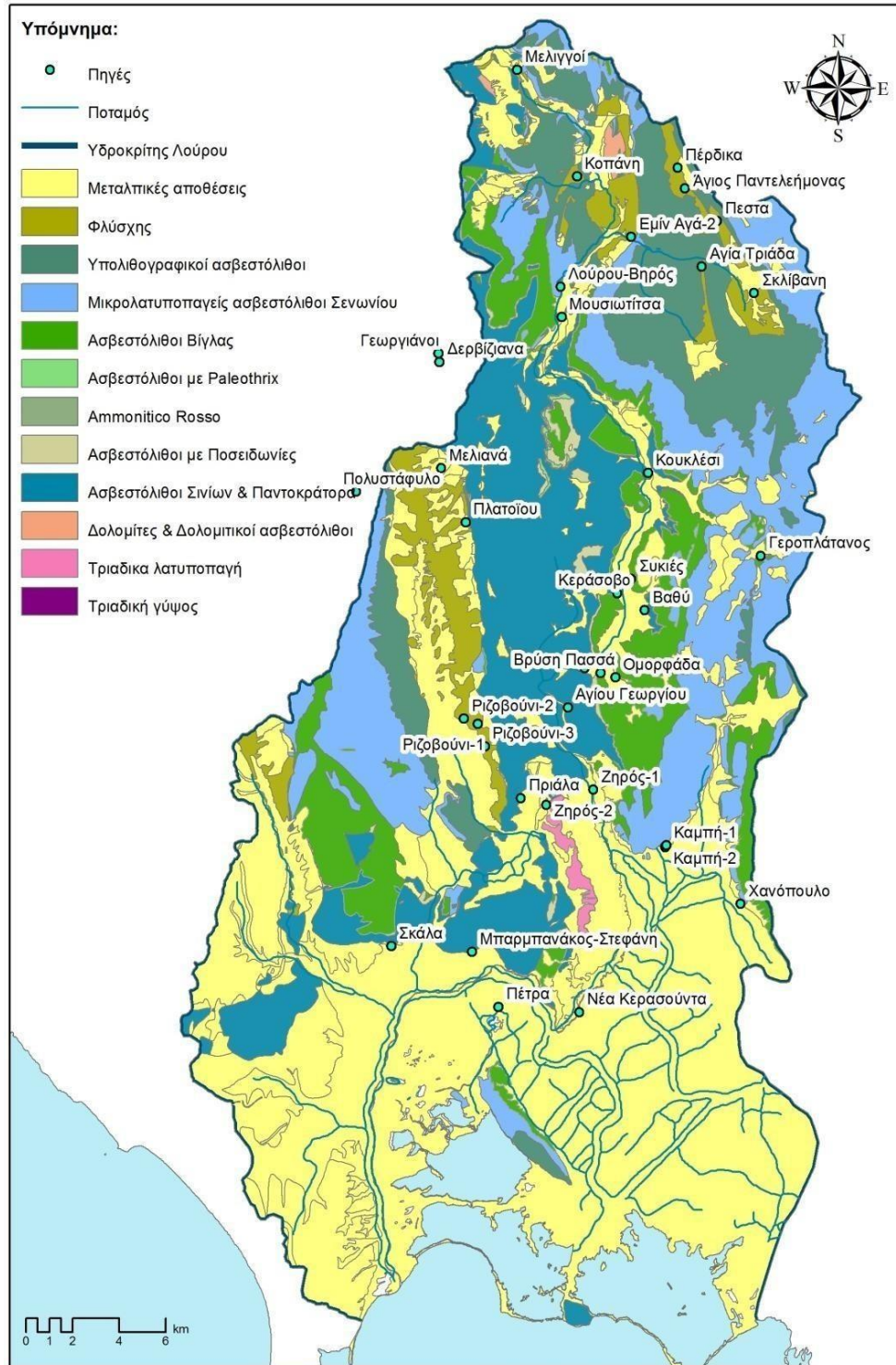
Μεταξύ των δύο πηγών παρατηρείται μια διαφορά παροχών γύρω στα $8,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ δίχως την ύπαρξη υπόγειας απορροής, κατόπιν ανάλυσης του υδρολογικού και υδρογεωλογικού ισοζυγίου στο καρστικό σύστημα. (ΙΓΜΕ, 2010)

Επομένως η εν λόγω διαφορά πιθανών οφείλεται σε:

- Υπόγεια επικοινωνία του συστήματος των πηγών με τις πηγές Χανόπουλου στο καρστικό σύστημα του Ξηροβουνίου δεδομένου το ότι παρατηρούνται κοινά υδροχημικά χαρακτηριστικά στα δύο συστήματα.
- Οι πηγές Περάνθης τροφοδοτούνται από το υδρογραφικό δίκτυο του Αράχθου (βόρεια). Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι έχουμε διαφοροποίηση των τιμών της υδραυλικής αγωγιμότητας στον βορρά και στον νότο, πράγμα που μαρτυρά διαδικασίες ανάμιξης στα νερά της περιοχής Γλυκόριζου στην οποία οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι μικρότερες σε σχέση με το νότιο τμήμα του νομού.
- Στους υδροφόρους του καρστικού συστήματος του Λούρου αυτού παρατηρείται μεγαλύτερος χρόνος παραμονής του νερού στους υδροφορείς (ΙΓΜΕ, 2010).

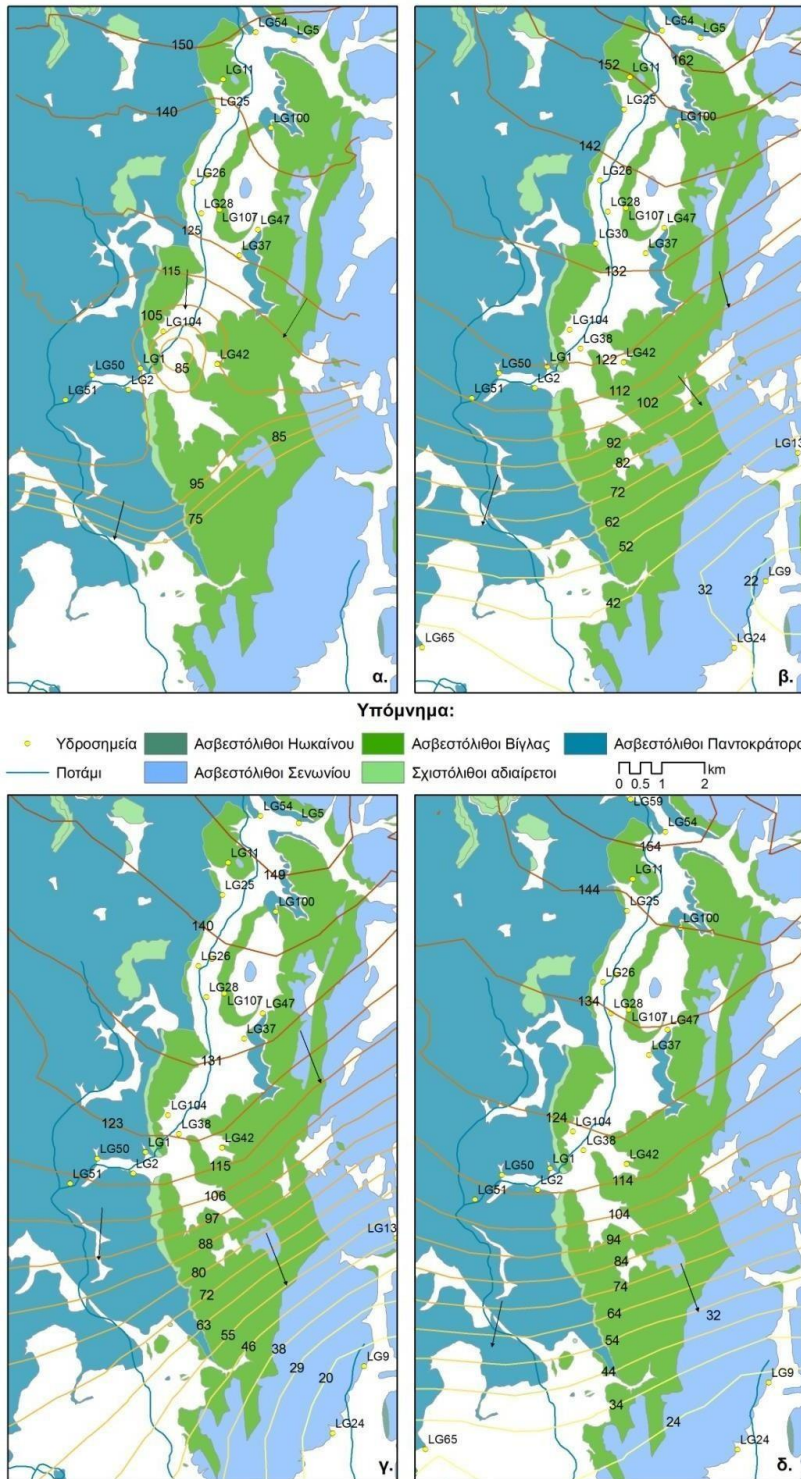
- **Πηγή Καμπή:**

Χαρακτηρίζεται ως πηγή επαφής, καθώς το υπόγειο νερό εκφορτίζεται στην επαφή των ασβεστολίθων του Σενωνίου με τις τεταρτογενείς αποθέσεις στον κάμπο της Άρτας σε τοπογραφικό υψόμετρο των 10,25 m, ενώ η μέση παροχή της πηγής είναι $18,92 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ (Κατσάνου, 2012).



Εικόνα 14 Γεωλογικός χάρτης Ηπείρου και οι καρστικές πηγές της λεκάνης του Λούρου, (Κατσάνου, 2012).

- **Ροή του υπογείου νερού στη λεκάνη του Λούρου:**



Εικόνα 15 Χάρτες απεικόνισης της ελεύθερης επιφάνειας των υπογείων νερών του μέσου ρου της λεκάνης του Λούρου των περιόδων των μετρήσεων 12/12/2008 (α), 23/04/2009 (β), 28/11/2009 (γ) και 1/04/10 (δ)όπως προέκυψαν με τη μέθοδο κατανομής Co-Kriging, (Κατσάνου, 2012).

Όσον αφορά τη ροή του υπογείου νερού, σύμφωνα με τη μελέτη "Περιβαλλοντική Υδρογεωλογική μελέτη του Λούρου Ποταμού" (Κατσάνου 2012), το υπόγειο νερό στους καρστικούς σχηματισμούς και στις προσχώσεις, του μέσου ρου του Λούρου, διαθέτουν μια κοινή επιφάνεια στάθμης υπογείου νερού. Επομένως, αυτό μαρτυρά ότι υπάρχει πλευρική επικοινωνία μεταξύ των προσχώσεων και των καρστικών σχηματισμών, δημιουργώντας έτσι έναν ενιαίο υδροφορέα (Κατσάνου, 2012).

Παρατηρώντας τις παραπάνω εικόνες η ροή του υπογείου νερού ακολουθεί δύο διευθύνσεις , μια ΒΔ-ΝΑ και μια ΒΑ-ΝΔ.

Επιπλέον παρατηρείται ότι στην εικόνα α , που αντιστοιχεί σε περίοδο ξηρασίας, η κίνηση του υπογείου νερού γίνεται και προς το εσωτερικό της λεκάνης με διεύθυνση Β-Ν ενώ στις εικόνες β,γ,δ το υπόγειο νερό ρέει περισσότερο προς τα νοτιοανατολικά. Αυτό μαρτυρά την ύπαρξη στα ανατολικά των χαρτών ενός υπόγειου υδροκρίτη.

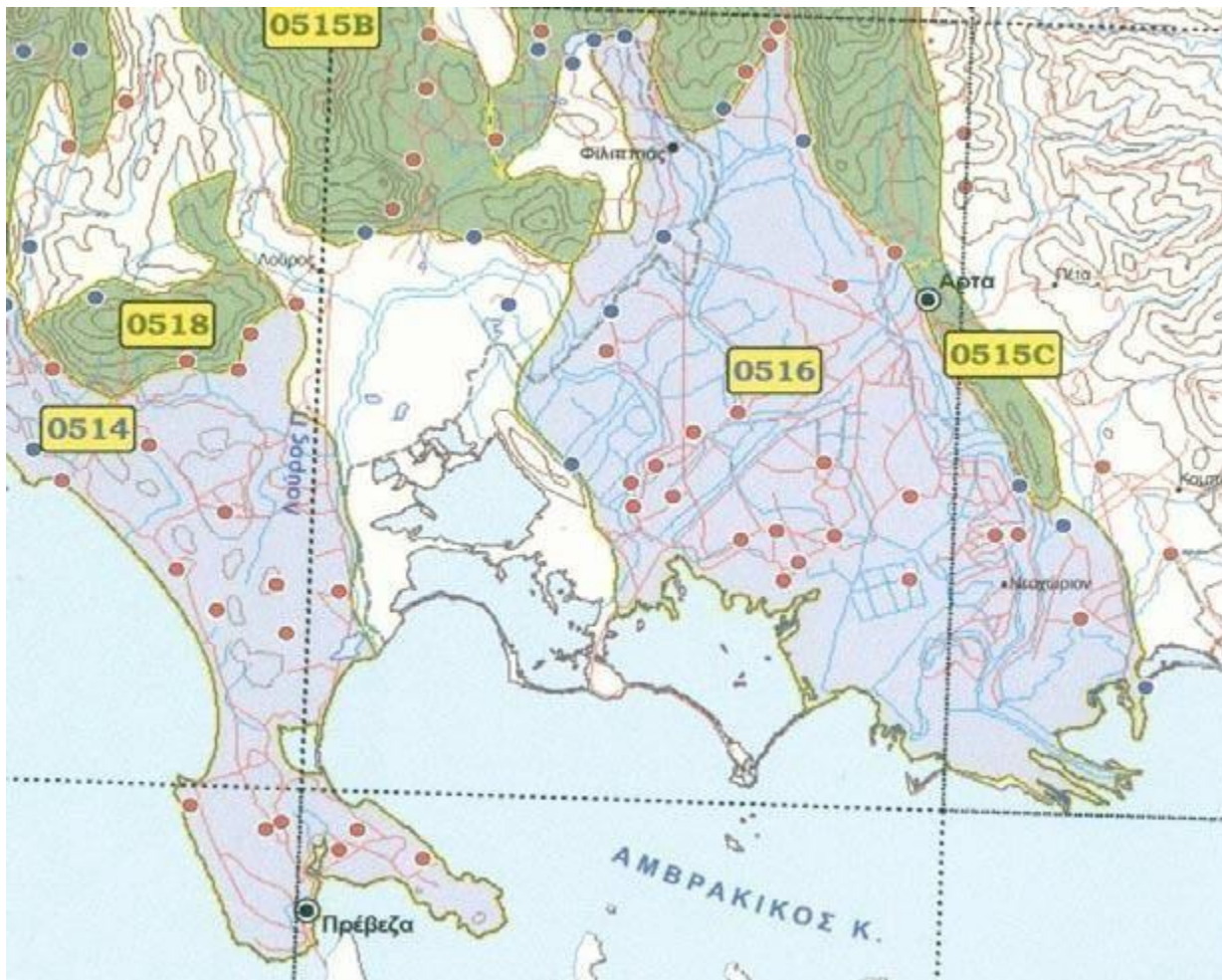
Παράλληλα στην εικόνα α , παρατηρείται μια πτώση της στάθμης του υδροφορέα στα νότια της λεκάνης του μέσου ρου του ποταμού, λίγο υψηλότερα από το σημείο που βρίσκεται το φράγμα του Πουρναρίου.

Αυτό συμβαίνει διότι α) το έτος 2008 ήταν από τα πιο ξηρά έτη, β) οι μετρήσεις στάθμης έγιναν σε ξηρή υδρολογική περίοδο και γ) διότι ακριβώς λόγω της έλλειψης βροχοπτώσεων , οι ανάγκες για νερό καλύπτονταν εξ ολοκλήρου από το φράγμα του Πουρναρίου (Κατσάνου 2012). Σύμφωνα με αυτή τη παραδοχή, συμπεραίνεται ότι η τεχνητή λίμνη πουρναρίου, συνιστά έναν παράγοντα που μπορεί να μεταβάλλει τη στάθμη του υδροφορέα.

Κοκκώδες σύστημα των προσχωσιγενών αποθέσεων της πεδιάδας της Άρτας

Το σύστημα βρίσκεται στις προσχώσεις της πεδιάδας της Άρτας ανάμεσα στον ποταμό Άραχθο, Λούρο και του Αμβρακικού κόλπου με εμβαδόν 282 km².

Με το υπόγειο νερό αλληλεπιδρούν και τα επιφανειακά ύδατα, όπως τα δύο ποτάμια (κυρίως ο Άραχθος) και η παράκτια λιμνοθάλασσα του Αμβρακικού κόλπου (που με βάση συνθήκη Ramsar, θεωρείται προστατευόμενη περιοχή). Ωστόσο η τροφοδοσία του υδροφορέα από το υδρογραφικό δίκτυο , δυσχεραίνεται εξαιτίας της κατασκευής του φράγματος του Πουρναρίου.



Εικόνα 16 Κοκκώδες υδροφόρο σύστημα Άρτας (0516), (Νικολάου.Ε, 2019).

Η λεκάνη της Άρτας αποτελείται από παχιά ιζήματα, ιλιούχων αργίλων, αμμώχου αργίλου, λεπτόκοκκης έως χονδρόκοκκης άμμου, ψαμμίτη, και κροκαλοπαγή. Οι τεταρτογενείς αποθέσεις διαχωρίζονται στα πλευρικά κορήματα, στις προσχώσεις των χειμάρρων και στις σύγχρονες δελταϊκές αποθέσεις των ποταμών Λούρου και Αράχθου.

Επιπλέον στο ΒΑ τμήμα της Λεκάνης του Αμβρακικού, οι νεοτεκτονικές διεργασίες και καθοδικές κινήσεις, έχουν ως αποτέλεσμα το πάχος των αποθέσεων αυτών να είναι άνω των 300 m.

Αυτές οι αποθέσεις συνίστανται από εναλλασσόμενες ενστρώσεις, αδρομερείς και

λεπτομερείς , που μεταβάλλουν το πάχος τους πλευρικά και κατακόρυφα. Παράλληλα από τον βορρά μέχρι τον νότο παρατηρείται μια κοκκομετρική διαβάθμιση , σχετιζόμενη με το τρόπο απόθεσης.

Στη αρχή του ριπιδίου (συγκεκριμένη στην περιοχή Ρόκας – Κωστακοί), παρατηρούνται αδρομερείς ορίζοντες, αποτελούμενοι από κροκαλοπαγή ψαμμιτικής και ασβεστολιθικής σύστασης και μεγάλου πάχους. Όσο κινούμαστε πιο πλευρικά, οι ορίζοντες μεταβαίνουν σε λεπτομερείς , αποτελούμενοι από λεπτόκοκκες άμμους και αργίλους στα νότια (ΙΓΜΕ, 2010).

Η εν λόγω στρωματογραφική ανάπτυξη των προσχωσιγενών αποθέσεων στην πεδιάδα της Άρτας, συμβάλει στην δημιουργία υδροφορέων σε διαφορετικά βάθη , ο οποίοι τροφοδοτούνται και από τον ποταμό Άραχθο και πλευρικά από τους καρστικούς υδροφορείς των ασβεστολίθων.

Στο παράκτιο τμήμα του νομού , οι λεπτομερείς ορίζοντες λειτουργούν και ως φυσικός φραγμός στην διείσδυση της θάλασσας επομένως και τους κινδύνους υφαλμύρινσης, ενώ παράλληλα ευνοούν την ανάπτυξη υπό-πίεση υδροφορέων τουλάχιστον στους ανώτερους υδροφορείς.

Κατόπιν γεωτρήσεων και των γεωφυσικών διασκοπήσεων στη περιοχή προκύπτει η παρακάτω γενική υδρολιθολογική στήλη:

- Φρεάτιος υδροφορέας, που απαντάται σε βάθη γύρω στα 15 m και εκτείνεται σχεδόν σε όλη την έκταση του κάμπου,. Η πιεζομετρική επιφάνεια του ακολουθεί ως επί το πλείστον τη μορφολογία της περιοχής και βρίσκεται σε βάθη από 5m έως 10m.
- Πρώτος υδροφορέας σε βάθη από 40-60m.
- Δεύτερος υδροφορέας σε βάθη από 60-90m.
- Τρίτος υδροφορέας που απαντάται σε βάθη μεγαλύτερα των 100m.

Μεταξύ αυτών παρεμβάλλονται ημιπερατοί έως αδιαπέρατοι υδροφορείς, που συνίστανται από άργιλους με λεπτές φακοειδείς ενστρώσεις άμμων και κροκαλών.

Η ύπαρξη υπόγειων υπό-πίεση υδροφορέων, μαρτυρά ότι η περιοχή τροφοδοσίας βρίσκεται σε υψηλότερα υψόμετρα.

Σύμφωνα με τις υπάρχουσες υδραυλικές συνθήκες στην προσχωσιγενή περιοχή του κάμπου της Άρτας, είναι αποδεκτό ότι η περιοχή τροφοδοτείται πλευρικά απότα αναπτυσσόμενα

καρστικά συστήματα που βρίσκονται βόρεια αυτής.

Επίσης οι υδροφορείς του κάμπου τροφοδοτούνται σημαντικά από διεισδύσεις του Άραχθου κατάντη του φράγματος του Πουρναρίου.

Οι ποσότητες που διηθούνται στον υδροφορέα από την κοίτη του Αράχθου (ο οποίος διαπερνά τις αλλουβιακές αποθέσεις) , είναι $62,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ (ΙΓΜΕ, 2010).

Ωστόσο η κατασκευή του φράγματος Πουρναρίου, έχει ως αποτέλεσμα αυτή η τροφοδοσία να μην υφίσταται , διότι από το κατάντη τμήμα μέχρι τον Αμβρακικό κόλπο , επιτρέπεται η ροή του ποταμού μόνο για την κάλυψη των αναγκών του υδροηλεκτρικού σταθμού.

Το υδρογεωλογικό ισοζύγιο είναι πλεονασματικό, ανεξάρτητα των δυσμενών επιπτώσεων που επέφερε την τελευταία εικοσαετία η κατασκευή του φράγματος Πουρναρίου στον Άραχθο , όπως και η διάνοιξη αρκετών υδρογεωτρήσεων.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα υπολογίζονται στα 1.067 mm/year ενώ η φυσική ανατροφοδότηση του συστήματος στα $130 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ νερού συνυπολογίζοντας τον φυσικό εμπλουτισμό λόγω διηθήσεων του Αράχθου και του Λούρου (ΙΓΜΕ, 2010).

Οι ετήσιες απόλήψεις υπολογίζονται περί τα $30 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$, ενώ οι εκμεταλλεύσιμες παροχές των υδρογεωτρήσεων της περιοχής του κάμπου της Άρτας στα $17,52-35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ για το φρεάτιο υδροφορέα και τα $175,2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ στους υπό-πίεση υδροφορείς (ΙΓΜΕ, 2010).

Με βάση την υδροχημική κατάσταση, το νερό των υδρογεωτρήσεων του κάμπου της Άρτας, χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικού τύπου ενώ το υπόγειο νερό του συστήματος χαρακτηρίζεται ως καλής ποιότητας.

Μοναδική εξαίρεση αποτελούν ορισμένα πηγάδια (φρέατος υδροφορέας) όπου τοπικά παρατηρείται μια σχετικά αυξημένη περιεκτικότητα σε NO_3^- (όχι μεγαλύτερη των 50 mg/l) και την παρουσία ιόντων χλωρίου (έως 600 mg/l) σε ορισμένες γεωτρήσεις.

Υδροχημικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών πεδινού τμήματος Άρτας

Μετά από μια σειρά εργασιών υπαίθρου του Ι.Γ.Μ.Ε, στα υπόγεια νερά της Άρτας έχουν διακριθεί οι εξής υδροχημικοί τύποι:

- Νερά οξυανθρακικού τύπου (HCO_3^-) που αποτελούν πλειονότητα των νερών των γεωτρήσεων του κάμπου τόσο του φρεατίου όσο και των βαθύτερων υδροφορέων .
- Θειούχα νερά : είναι τα καρστικά νερά που έρχονται σε επαφή με γύψο (περιοχή Πέτρας κ.ά.)
- Χλωρονατριούχα-υδροθειούχα, είναι τα νερά των πηγών Περάνθη και Χανόπουλο (παρουσία H_2S)
- Χλωριούχα νερά στις παράκτιες περιοχές Βίγλα ,Κομμένο κ.α.

Τα χλωριόντα (250 mg/l - 1400 mg/l) είναι αποτέλεσμα διείσδυσης της θάλασσας (Νικολάου.Ε, 2019).

- Θερμά νερά με θερμοκρασία $35\text{ }^\circ\text{C} - 38\text{ }^\circ\text{C}$ που απαντώνται σε βάθη άνω των 400m στο γεωθερμικό πεδίο Συκιών.

Πιο συγκεκριμένα στο υδατικό διαμέρισμα διακρίνονται:

α) Νερά οξυανθρακικού τύπου: Αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τύπο υπόγειου νερού, και απαντάται στα καρστικά υδροφόρα συστήματα αλλά και στα κοκκώδη του πεδινού τμήματος Άρτας-Πρέβεζας .

Πρόκειται για νερά στα οποία σύμφωνα με τ ισχύει η σχέση $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ και $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$.

Οξυανθρακικού τύπου νερά απαντώνται επιπλέον και στους μικρής δυναμικότητας υδροφορείς του φλύσχη.

Παράλληλα , σε ότι αφορά επί μέρους υδροφόρα καρστικά συστήματα, διακρίνονται δύο υποκατηγορίες αυτού του τύπου, i) ολιγομεταλλικών νερών των ορεινών όγκων που

αναφέρθηκαν παράγραφο σχετικά με την αγωγιμότητα και ii) των μεσομεταλλικών νερών.

Στην πρώτη υποκατηγορία παρατηρούνται αγωγιμότητες μικρότερες των 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ενώ στην δεύτερη μεγαλύτερες 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Οι υδροφορείς και των δύο υποκατηγοριών χαρακτηρίζονται από μικρούς χρόνους παραμονής του νερού, μικρό μήκος ροής και καλό εμπλουτισμό .

β) Θειούχα νερά: Πρόκειται για νερά καρστικών υδροφορέων ή για μικτούς υδροφορείς οι οποίοι αναπτύσσονται σε ασβεστολίθους και τριαδικά λατυποπαγή.

Με βάση την ταξινόμηση των Freeze – Cherry 1979 με βάση την επικράτηση % αντιστοίχου ιόντος (IGME, 2010), τα νερά αυτά κατηγοριοποιούνται στο πεδίο των θειικών νερών.

Αποτελούν σημαντικό ποσοστό των πηγαίων εκφορτίσεων του διαμερίσματος (20%) , ενώ καθίσταται απαγορευτική η χρήση τους ως πόσιμο νερό.

Γενικά στους υδροφορείς των θειικών νερών , παρατηρείται μεγαλύτερος χρόνος παραμονής, βαθύτερη κυκλοφορία του νερού (ενδιάμεση υδροχημική ζώνη του Chebotarer), και μεγαλύτερα μήκη υπόγειας ροής.

γ) Χλωριούχα νερά: Τα ιόντα του χλωρίου και του νατρίου, οφείλονται στην διάλυσή τους από τους δόμους του ορυκτού άλατος. Είναι η περιοχή της εσωτερικής Ιονίας ενότητας, όπου οι υδροφορείς τροφοδοτούνται από ανθρακικά πετρώματα ή από τα βιτουμενιούχα πετρώματα της Βίγλας.

Σ' αυτόν τον υδροχημικό τύπο , παρατηρείται ότι οι πηγαίες εκφορτίσεις , περίπου ευθυγραμμίζονται σε έναν άξονα κατά μήκος του Λουτρότοπου Άρτας στα νότια μέχρι την Καβάσιλα Κόνιτσας στα βόρεια. Η γενική διεύθυνση αυτού του άξονα είναι ΒΔ – ΝΑ με ελαφρά κάμψη ΝΝΑ νοτίως των Ιωαννίνων.

Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από έντονες τεκτονικές διεργασίες και κατά μήκος αυτού του άξονα εμφανίζεται και η γεωθερμική ανωμαλία των Συκίων Άρτας (νότια).

Οι πηγαίες εκφορτίσεις των χλωριούχων νερών, είναι:

- i) Η πηγή Λουτρότοπος (ή Περάνθη)
- ii) Η πηγή Χανόπουλο του Λούρου (βόρεια της Άρτας).

δ) Μαγνησιούχα νερά. Τα νερά αυτά απαντώνται κατά κύριο λόγο, στο οφιολιθικό σύμπλεγμα της Πίνδου και στους δολομίτες της περιοχής Πάργας, Παραμυθιάς, Δωδώνης κ.α.. Ουσιαστικά πρόκειται για ολιγομεταλλικά νερά οξυανθρακικού τύπου με περιεκτικότητες σε μαγνήσιο που κυμαίνονται από 26 – 45 mg/l (ΙΓΜΕ, 2010).

➤ **pH**

Η συγκέντρωση των ιόντων του υδρογόνου αποτελεί μια επίσης σημαντική παραμέτρων υπόγειων νερών.

Τα νερά όπου η συγκέντρωση των ιόντων του H^+ και του OH^- είναι ίδιες, ισούνται με 10^{-7} (gr/ιόντα/l) και χαρακτηρίζονται ουδέτερα.

Τα νερά χαρακτηρίζεται αλκαλικά όταν το $(H^+) < (OH^-)$ και όξινα όταν το $(H^+) > (OH^-)$. Ανεξαρτήτων αναλογιών H^+ και του OH^- στο νερό, το γινόμενο παραμένει σταθερό και ίσο με 10^{-14} gr ιόντων/l.

Σε όλο τον νομό Άρτας τα υπόγεια νερά χαρακτηρίζονται αλκαλικά δεδομένου ότι η τιμή του pH κυμαίνεται από 7,2 έως 8,5 όπως και στο υπόλοιπο υδατικό διαμέρισμα.

➤ **Ασβέστιο(Ca^{2+})**

Το ασβέστιο αποτελεί κύριο συστατικό του υπόγειου νερού και συνήθως παρατηρούνται τέσσερις περιπτώσεις:

- i) Το ασβέστιο να συνοδεύεται από τα οξυανθρακικά νερά του ασβεστίου
- ii) Σπανιότερα το ασβέστιο συνοδεύεται από το SO_4^{2-} (θειούχα–ασβεστούχανερά)

- iii) Σπανιότερα συνυπάρχει με το Cl^- (χλωριούχα–ασβεστούχανερά).
- iv) Προέρχεται ως επί το πλείστον εξαιτίας της διάλυσης των ορυκτών των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, των δολομιτών, των γύψων κ.α.

Στην περιοχή της Πίνδου στους υδροφορείς των οφιολίθων η προέλευσή του οφείλεται στην διάλυση των αμφιβόλων, άστριων, πυρόξενων και των ορυκτών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Συνήθως η συγκέντρωση του Ca^{2+} στο υπόγειο νερό είναι μικρότερη των 100 mg/l (ΙΓΜΕ, 2010).

Σε γενικές γραμμές αυτό ισχύει και στην Άρτα, όπου γενικά παρατηρούνται τιμές από 20–100 mg/l. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου οι τιμές του ασβεστίου φθάνουν και τα 200 mg/l.

Οι τιμές αυτές συναντούνται σε πηγαίες εκφορτίσεις ή και σε γεωτρήσεις με υψηλό συνήθως T.D.S. Η υψηλή συγκέντρωση του Ca^{2+} παρατηρείται σε μεγάλες καρστικές πηγές που τροφοδοτούνται από τριαδικά λατυποπαγή, βιτουμενιούχα της Τύρφης και του Ξηροβουνίου και δολομίτες.

Ακτουαλιστικό πρότυπο της τρίτης περίπτωσης συνιστούν οι πηγές Χανόπουλου.

➤ **Μαγνήσιο (Mg^{2+})**

Το Mg^{2+} προέρχεται λόγω διάλυσης των ορυκτών των ασβεστόλιθων, των δολομιτών και των πετρωμάτων του οφιολιθικού συμπλέγματος.

Πρόκειται για τα ορυκτά : δολομίτης, μαγνητίτης, πυρόξενος, ολιβίνης, αμφίβολος, αργιλικά ορυκτά κ.α.

Η συγκέντρωση γενικά του Mg^{2+} στα υπόγεια νερά είναι μικρότερη των 50 mg/l (ΙΓΜΕ, 2010).

Στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου, η εξάπλωση των μαγνησιούχων υπόγειων νερών, είναι ανάλογη της εξάπλωσης του οφιολιθικού συμπλέγματος της Πίνδου (ρωγματικά συστήματα Σμόλικα και Γράμμου).

Στους υδροχημικούς χάρτες, παρατηρούνται επίσης νερά πλούσια σε Mg^{2+} σε περιοχές ανάπτυξης δολομιτικών υδροφορέων. Αυτοί οι υδροφορείς απαντώνται στο καρστικό σύστημα

του Λούρου και στο κοκκώδες σύστημα Άρτας.

➤ **Νάτριο (Na^+)**

Προέρχεται εξαιτίας διάλυσης αργιλικών ορυκτών, εβαποριτών ή την ανάμειξης του υπογείου νερού με θαλασσίνο νερό.

Σε γενικές γραμμές οι συγκεντρώσεις του δεν ξεπερνούντα 200 mg/l. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του Na^+ στα υπόγεια νερά του υδατικού διαμερίσματος της Ηλείου εντοπίζονται στην εσωτερική Ιόνια ενότητα.

Από τον νότο έως τον βορρά χωρική εξάπλωση αυτού του τύπου νερού, είναι ανάλογη της εξάπλωσης των εβαποριτικών πετρωμάτων των μεγάλων αντικλίνων (Ξηροβούνι,).

Επιπλέον η διαμόρφωση των υδροχημικών συνθηκών αυτής της περιοχής, συνδέεται με τεκτονικές διεργασίες.

Το ορυκτό αλάτι και οι γύψοι έχουν επηρεάζουν χημισμό του νερού των μεγάλων καρστικών πηγών βάσης, όπως την πηγή Χανόπουλο, Ξηροβουνίου, του καρστικού συστήματος Λούρου και την πηγή Περάνθη νότια της Άρτας, οι οποίες χαρακτηρίζονται σαν χλωρονατριούχες πηγές.

Στην περίπτωση της πηγής Χανόπουλο, το Na^+ συνιστά το 25% της συνολικής ιοντικής συγκέντρωσης δηλαδή 393 mg/l, ενώ στην πηγή Περάνθη το 29% δηλαδή 306 mg/l (ΙΓΜΕ, 2010).

➤ **Οξυανθρακικά και Ανθρακικά**

Συνδέονται συνήθως με το CO_3 με το Ca^{2+} και το Mg^{2+} . Τα HCO_3^- και τα CO_3^- δίνουν στο νερό το βαθμό αλκαλικότητας του. Τα ιόντα CO_3^- παρουσιάζονται στο νερό όταν το pH ξεπερνά το 8,2. Κάτω από το όριο του pH τα ανθρακικά δεσμεύουν το υδρογόνο,

παράγοντας έτσι τα οξυαθρακικά άλατα.

Τα HCO_3^- και τα CO_3^- προέρχονται εξαιτίας της διάλυσης των ασβεστολίθων, δολομιτών και των ορυκτών που συμμετέχουν στην δημιουργία αυτών των πετρωμάτων.

➤ **Χλώριο**

Το χλώριο συνιστά συστατικό πολλών ορυκτών των ιζηματογενών πετρωμάτων, κυρίως εβαποριτών.

Τα πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος της Πίνδου, περιέχουν επίσης τα οποία όταν διαλυθούν στο νερό, αυτό εμπλουτίζεται με χλωρίοντα.

Στις παράκτιες περιοχές, οι υψηλές συγκεντρώσεις Cl^- στα υπόγεια νερά οφείλονται στην θάλασσα, είτε άμεσα εξαιτίας διείσδυσης της στα υδροφόρα στρώματα, είτε έμμεσα λόγω αερομεταφοράς στερεών και υγρών αιωρημάτων στην επιφάνεια του εδάφους τα οποία μέσω κατείσδυσης εισήλθαν στους παράκτιους υδροφορείς.

Με βάση τα παραπάνω η κατανομή των χλωριόντων φαίνεται να συνδέεται με αυτή του νατρίου.

Παρατηρούνται δηλαδή αυξημένες συγκεντρώσεις χλωρίου στις πηγές της εσωτερικής Ιονίας Ενότητας, την Περάνθη και το Χανόπουλο (ΙΓΜΕ, 2010).

Σε ότι αφορά την θαλάσσια διείσδυση, αναφέρεται ότι στο κοκκώδες σύστημα Άρτας παρατηρείται αυξημένη τιμή του Cl^- στον φρεάτιου υδροφορέα στην περιοχή των εκβολών του Αράχθου (Κομμένο), στην παράκτια ζώνη της λιμνοθάλασσας Ροδιάς και στην περιοχή Βίγλας.

Στην περιοχή Κομμένο η θαλάσσια διείσδυση οφείλεται στην μη μόνιμη ροή στην κοίτη του Αράχθου λόγω της κατασκευής του φράγματος του Πουρναρίου. Οι τιμές του Cl^- στις περιοχές αυτές φτάνουν έως και 656 mg/l.

➤ **Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία των υπογείων υδάτων συνιστά μια βασική παράμετρο και σε αρκετές περιπτώσεις αποτελεί ένδειξη της περιοχής τροφοδοσίας των υδροφορέων, της ταχύτητας της υπόγειας ροής καθώς και της τιμής της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφορέα.

Στους μικρού βάθους υδροφορείς η θερμοκρασία του υπόγειου νερού επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, το είδος των πετρωμάτων που διαπερνά το νερό και άλλους παράγοντες.

Η ομοιόμορφη θερμοκρασιακή κατάσταση μεταβάλλεται από 10 έως 20 m, αναλόγως τις κλιματικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα (Καλλέργης, 2000). Επιπλέον αναφέρεται ότι η ρύπανση ή μόλυνση του νερού προκαλεί και άνοδο της θερμοκρασίας του.

Κάτω από τη ζώνη επιφανειακής επίδρασης, η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται συναρτήσει της γεωθερμικής βαθμίδας: 1°C ανά 33 m (ΙΓΜΕ, 2010).

Επιπλέον η θερμοκρασία, συνιστά έναν σημαντικό δείκτη και της ποιότητας του νερού διότι επηρεάζει τη διαλυτότητα των αλάτων και συνεπώς καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη χημική του σύσταση.

Σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι η μέση θερμοκρασία ενός σημείου αντιπροσωπεύει την μέση θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου αυτής της περιοχής. Σε αντίθεση με τις μεγάλες εποχικές μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και των επιφανειακών νερών, οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού παραμένουν σταθερές.

Αυτό συνιστά και ένα από τα βασικά τους πλεονεκτήματα, τόσο για τη χρήση τους για πόση όσο και για βιομηχανική.

Στην Άρτα (όπως και στο μεγαλύτερο μέρος του υδατικού διαμερίσματος της Ηπείρου) οι θερμοκρασίες των υπόγειων νερών σε γενικές γραμμές δεν υπερβαίνουν τους 20°C.

Εξαίρεση αποτελούν τα σημεία των γεωθερμικών πεδίων Καβάσιλων-Κόνιτσας και Συκιών Άρτας.

Στις γεωτρήσεις του γεωθερμικού πεδίου Συκιών (που ανορύχθηκαν από την Δ/ση Γεωθερμίας του Ι.Γ.Μ.Ε) η θερμοκρασία του νερού είναι περίπου 40°C. Επίσης, υψηλές είναι οι θερμοκρασίες και στους βαθιούς υπό πίεση υδροφορείς της πεδιάδας της Άρτας (στις περιοχές

Καλόβατου – Παχυκάλαμου) όπου παρατηρούνται τιμές από 18 έως 23⁰C.

Σε αυτή την περίπτωση η θερμοκρασιακή κατάσταση οφείλεται στην γεωθερμική βαθμίδα ή στο ότι έχει επηρεαστεί από την γεωθερμική ανωμαλία της περιοχής Συκιών (ΙΓΜΕ, 2010).

➤ **Νιτρικά Ιόντα (NO₃⁻)**

Τα νιτρικά άλατα προέρχονται από την ατμόσφαιρα, λόγω οξείδωσης των βακτηριδίων και οργανικών ουσιών και ειδικότερα των κτηνοτροφικών αποβλήτων από την χρήση λιπασμάτων, η οποία σήμερα εν δυνάμει καθίσταται η κύρια πηγή προέλευσης των νιτρικών αλάτων ,ως επί το πλείστον στους μικρού βάθους υδροφορείς.

Πλέον είναι καθιερωμένος ο όρος της νιτρορύπανσης. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται (σε ορισμένες περιπτώσεις αλόγιστα) αποτελούν ενώσεις του αζώτου.

Μερικές φορές το 40-80% του αζώτου των λιπασμάτων, προσλαμβάνεται από τα φυτά, το 10-30% υφίσταται απαζώτωση και το υπόλοιπο 10-30% μεταφέρεται μέσω των ριζών προς τους υδροφορείς με τη μορφή νιτρικής ρίζας (ΙΓΜΕ, 2010).

Στα εδάφη η χρήση των λιπασμάτων είναι αλόγιστη, μειώνεται το διάστημα αγρανάπαυσης, όπως και η απόπλυση του εδάφους αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο ρύπανσης. Η απόσταση της επιφάνειας του εδάφους από την στάθμη του υπόγειου νερού, η λιθολογική σύσταση του υδροφορέα και το πάχος του (παράγοντας αυτοκαθαρισμού), αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό ρύπανσης.

Στην πεδιάδα της Άρτας μέχρι νεωτέρας δεν έχει παρατηρηθεί κάποιο δυσμενές γεγονός που να επιβαρύνει την ποιοτική κατάσταση των γεωτρήσεων του κάμπου (οι οποίες εκμεταλλεύονται τους βαθύτερους υδροφορείς) (ΙΓΜΕ, 2010).

Ωστόσο η περιοχή αυτή μπορεί να θεωρηθεί δυνητικά ευάλλωτη εξαιτίας της έντονης αγροτικής δραστηριότητας.

Στον φρεάτιο υδροφορέα οι τιμές των NO₃⁻ δεν ξεπερνούν το όριο που καθορίζει η οδηγία πλαίσιο για τα ύδατα Ε.Ε για το πόσιμο νερό δηλαδή τα 50 mg/l.

➤ **Νιτρώδη(NO₂⁻)**

Είναι ένα ενδιάμεσο προϊόν της μικροβιακής οξείδωσης του αμμωνίου ή της βακτηριογενούς αναγωγής των νιτρικών. Με την δράση των αζωτο-βακτηριδίων το NH_4^+ μετατρέπεται σε NO_2^- .

Η παρουσία των NO_2^- στο υπόγειο νερό συνιστά ένδειξη κοπρανοειδούς ρύπανσης.

Στα επιφανειακά νερά η νιτρώδης ρίζα με την οξείδωση μετατρέπεται σε νιτρική ρίζα

Τα νιτρώδη έχουν ανιχνευθεί κοντά σε οικισμούς (βοθρολύματα) ή κτηνοτροφικές μονάδες και αποτελούν τοπικά φαινόμενα και όχι ρυπάνσεις σε επίπεδο συστήματος.

➤ **Αμμώνιο (NH_4^+)**

Το αμμώνιο μπορεί να σχηματισθεί από την διάσπαση οξειδίου του αζώτου στην παρουσία σιδηροπυρίτη. Στην περίπτωση αυτή, το αμμώνιο συνοδεύεται από CO_3^- και H_2S . Μερικές φορές εμφανίζεται λόγω αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών είτε από την αναγωγή των NO_3^- . Η παρουσία του στο νερό συμβάλει στην ανάπτυξη μικροβίων αποτελώντας έτσι δείκτη μόλυνσης του νερού.

Σε αρκετές περιπτώσεις το υπόγειο νερό περιέχει ίχνη αμμωνίου, προερχόμενο από άλατα του σιδήρου και εξαιτίας της δράσης βακτηριδίων ή και λόγω υδροχημικών αντιδράσεων μέσα σε τυρφώνες. Στις περιπτώσεις αυτές η ποιότητα του νερού δεν υποβαθμίζεται.

Στα μεγάλα υδροφόρα συστήματα του υδατικού διαμερίσματος, που μελετήθηκαν στα πλαίσια της υδρογεωλογικής μελέτης του υδατικού διαμερίσματος της Ηπείρου από το Ι.Γ.Μ.Ε (ΙΓΜΕ, 2010), δεν παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις αμμωνίου που να εγκυμονούν τον κίνδυνο ρύπανση των υπογείων νερών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο Δημιουργία βάσης δεδομένων με τη χρήση SQL για την ποιότητα των υπόγειων νερών

Προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα του υπογείου νερού, απαιτείται ο έλεγχος των χημικών στοιχείων του.

Η ερμηνεία και η απεικόνιση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων, έγινε με τη χρήση του πακέτου ανοιχτού κώδικα, Akva-GIS , το οποίο είναι ενσωματωμένο στην πλατφόρμα FREEWAT (Free and Open Source Software Tools for Water Resource Management) και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση των εργαλείων υδροχημικής ανάλυσης του Akva-GIS (Perdikaki et al., 2020).

Η δημιουργία αυτού του πακέτου, στοχεύει στην κάλυψη των αναγκών σχετικά με (Criollo et al., 2019):

- Την διαχείριση και την απεικόνιση υδροχημικών και υδρογεωλογικών τυποποιημένων δεδομένων , διαφορετικής χωρικής και χρονικής κλίμακας, με σκοπό να γίνει πιο βατή η ανάπτυξη του εννοιολογικού μοντέλου.
- Την ενσωμάτωση δεδομένων, διαφορετικών πηγών προέλευσης, τα οποία συλλέγονται μέσω διαφορετικών τεχνικών και μορφών εισαγωγής δεδομένων.
- Την προετοιμασία υδρογεωλογικών αρχείων εισόδου , για κάθε αριθμητικό μοντέλο που σχετίζεται με την υδρογεωλογία ,για κάθε μορφή του περιβάλλοντος QGIS.

Για την εκπλήρωση των παραπάνω αναγκών, το πακέτο Akva περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα εργαλείων προκειμένου να:

- Διαχειριστεί έναν μεγάλο όγκο δεδομένων, τα οποία ενδέχεται να συλλέχθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.
- Ενσωματώσει τις πληροφορίες για τα υπόγεια ύδατα σε άλλα σχετικά δεδομένα (π.χ. την ποιότητα του νερού) και αλλά και την ανάλυση της προ-επεξεργασίας τους, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως συνθήκη αναφοράς για την περιγραφή του αριθμητικού μοντέλου υπόγειων υδάτων.

Όσον αφορά την εργαλειοθήκη της υδροχημικής ανάλυσης, αυτή συνίσταται από α) ένα σύνολο εργαλείων τα οποία βελτιώνουν την ολοκλήρωση, την εναρμόνιση, την τυποποίηση, την απεικόνιση και εν τέλει την ερμηνεία των υδροχημικών δεδομένων και β) μια γεωχωρική βάση δεδομένων. Τα εν λόγω εργαλεία σχετίζονται με (Criollo et al., 2019):

- Την ανάλυση χημικών χρονοσειρών.
- Τον υπολογισμό της ιοντικής ισορροπίας.
- Την ανάλυση ρυθμιστικών παραμέτρων.
- Την συσχέτιση χημικών παραμέτρων.
- Τον υπολογισμό και τη σχεδίαση διαγραμμάτων αλατότητας(Sar), Scheller-Berkaloff, Piper, και Stiff.

Επιπλέον, καθίσταται δυνατή η σχεδίαση χαρτών των υπό εξέταση στοιχείων στην περιοχή μελέτης τα οποία ταξινομούνται με βάση με κάποιες τιμές αναφοράς που καθορίζονται από μια δεδομένη κατευθυντήρια οδηγία (π.χ Νόμος 3199/2003).

Στις υδροχημικές πληροφορίες κάθε χωρικού σημείου (δείγμα υπόγειου νερού) εμπεριέχονται οι ημερομηνίες ανάλυσης χημικών και φυσικών παραμέτρων με τις τιμές τους και οι ημερομηνίες συλλογής του κάθε δείγματος. Οι παράμετροι, αποθηκεύονται σε μια βιβλιοθήκη και μπορούν να ενημερωθούν από τον χρήστη (Perdikaki et al., 2020).

Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή του AkvaGIS, συλλέχθηκαν στην πεδιάδα της Άρτας. Πιο συγκεκριμένα, διενεργήθηκαν τρεις δειγματοληπτικοί έλεγχοι, από υδροσημεία που κατανέμονται ομοιόμορφα τόσο δυτικά όσο και ανατολικά του ποταμού Αράχθου για τις περιόδους: α) Σεπτέμβριος του 2021, β) Ιούνιος 2022 και γ) Οκτώβριος 2022.

Στη συνέχεια μετά το τέλος της δειγματοληπτικής περιόδου, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, προκειμένου να διενεργηθεί χημική ανάλυση, με σκοπό να προσδιοριστούν τα ιόντα: NO_3^- , SO_4^{2-} με τη χρήση του φωτόμετρου, Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- με τη χρήση τιτλοδότη και τα Na^+ , K^+ με τη χρήση του φλογοφωτόμετρου.

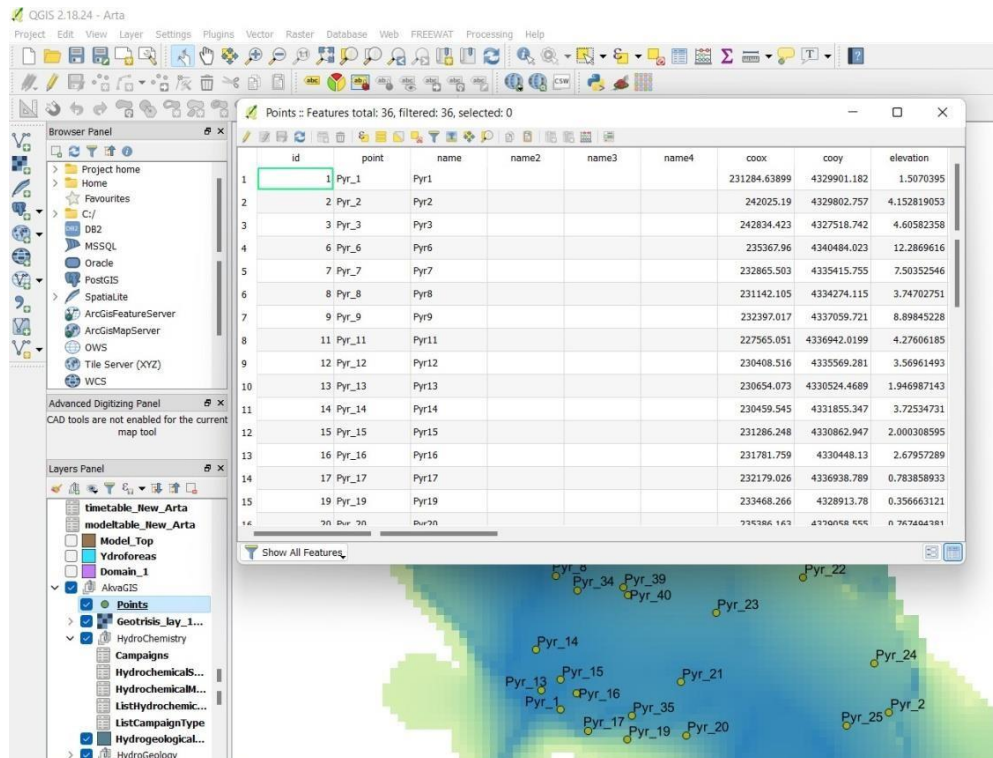
Έπειτα τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων (οι τιμές των κύριων ιόντων) , εισήχθησαν

στη βάση δεδομένων του AkvaGIS προκειμένου να γίνει η ερμηνεία τους. Προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματικά η υδροχημική ανάλυση, τα βήματα πρέπει να ακολουθούνται με αυστηρά διαδοχική σειρά. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον καθορισμό :

- Όλων των υδροσημείων στα οποία έγινε δειγματοληπτικός έλεγχος (Points), για την χωρική τους απεικόνιση. Την πρώτη περίοδο, οι μετρήσεις διενεργήθηκαν συνολικά σε 31 σημεία, την δεύτερη περίοδο σε 19 σημεία και την Τρίτη σε 31 δείγματα.(Εικόνα 17)
- Των περιόδων δειγματοληψίας (Campaigns). Στη συγκεκριμένη περίπτωση ορίστηκε ως πρώτο campaign η τελευταία περίοδος δειγματοληψίας, από τις 11 έως τις 14 Οκτωβρίου 2022 , η δεύτερη από τις 10 έως τις 14 Ιουνίου 2022 και η τρίτη από τις 6 έως τις 12 Σεπτεμβρίου (Εικόνα 18)

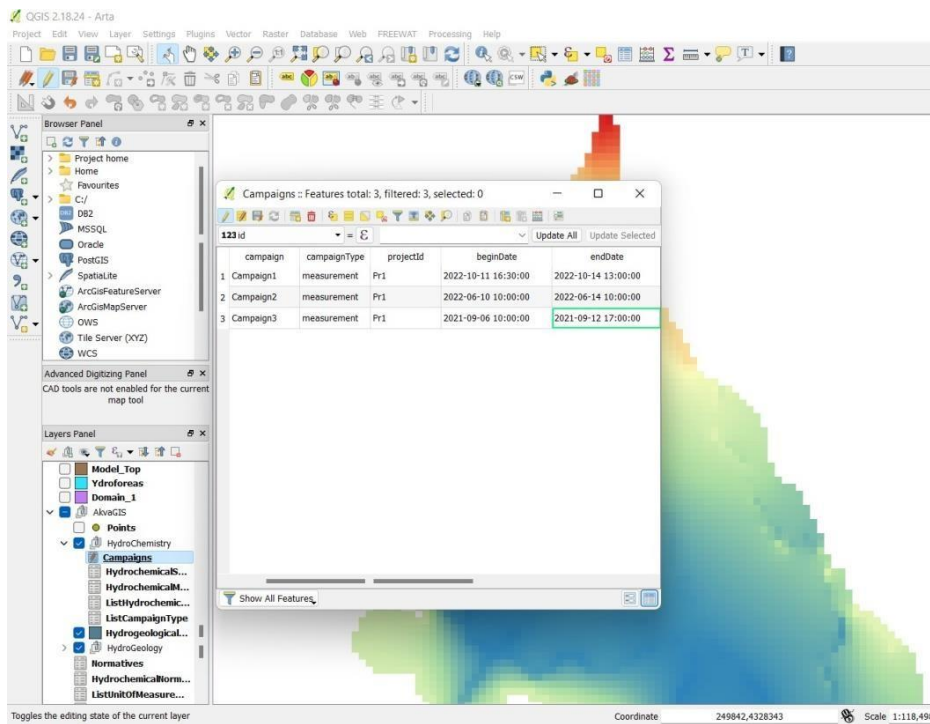
Αναφέρεται πως στο πρόγραμμα ορίστηκε ως πρώτο Campaign η τελευταία περίοδος δειγματοληψίας, λόγω του ότι ήταν πιο πρόσφατη.

- Των δειγμάτων της εκάστοτε περιόδου(Εικόνα 19).
- Της υδροχημικής μέτρησης κάθε δείγματος (Εικόνα 20).

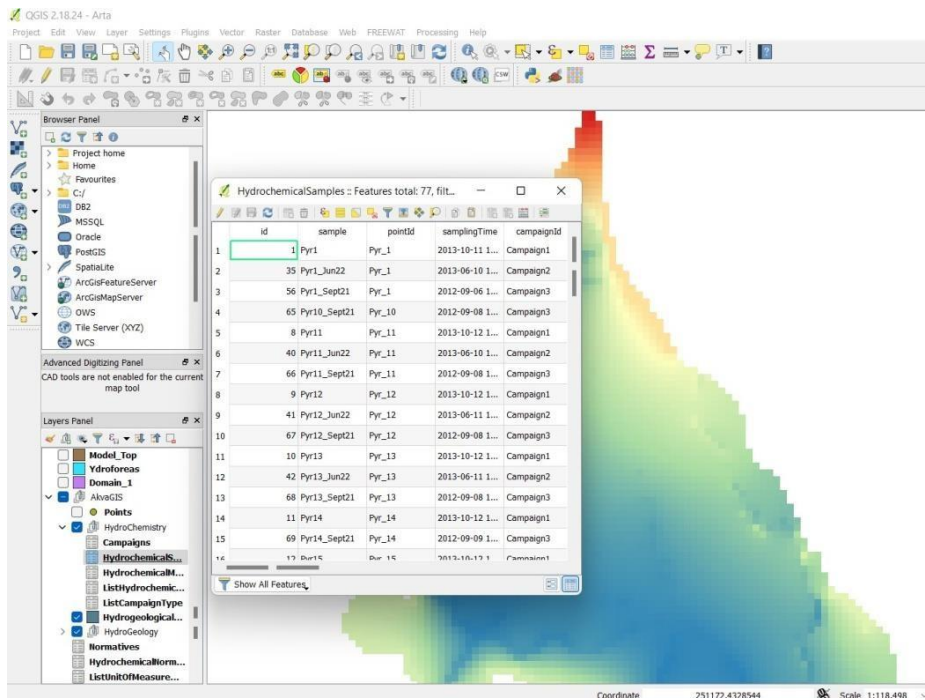


id	point	name	name2	name3	name4	coox	cooy	elevation
1	Pyr_1	Pyr1				231284.63899	4329901.182	1.5070395
2	Pyr_2	Pyr2				242025.19	4329802.757	4.152819053
3	Pyr_3	Pyr3				242834.423	4327518.742	4.60582358
4	Pyr_6	Pyr6				235367.96	4340484.023	12.2869616
5	Pyr_7	Pyr7				232865.503	4335415.755	7.50352546
6	Pyr_8	Pyr8				231142.105	4334274.115	3.74702751
7	Pyr_9	Pyr9				232397.017	4337059.721	8.89845228
8	Pyr_11	Pyr11				227565.051	4336942.0199	4.27606185
9	Pyr_12	Pyr12				230408.516	4335569.281	3.56961493
10	Pyr_13	Pyr13				230654.073	4330524.4689	1.946987143
11	Pyr_14	Pyr14				230459.545	4331855.347	3.72534731
12	Pyr_15	Pyr15				231286.248	4330862.947	2.000308595
13	Pyr_16	Pyr16				231781.759	4330448.13	2.67957289
14	Pyr_17	Pyr17				232179.026	4336938.789	0.783858933
15	Pyr_19	Pyr19				233468.266	4328913.78	0.356663121
16	Pyr_20	Pyr20				235186.163	4330588.655	0.767404381

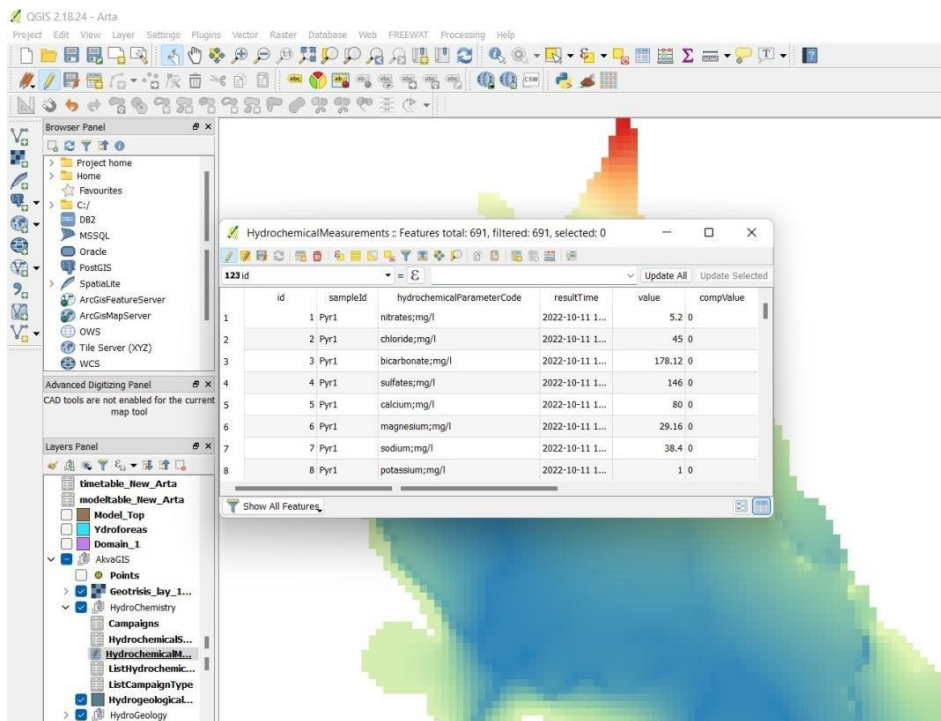
Εικόνα 17 Πίνακας των χαρακτηριστικών των υδροσημείων στην βάση δεδομένων του Akva-GIS



Εικόνα 18 Πίνακας των χαρακτηριστικών των περιόδων δειγματοληψίας στην βάση δεδομένων του Akva-GIS



Εικόνα 19 Πίνακας των χαρακτηριστικών των υδροχημείων για κάθε Campaign στην βάση δεδομένων του Akva-GIS

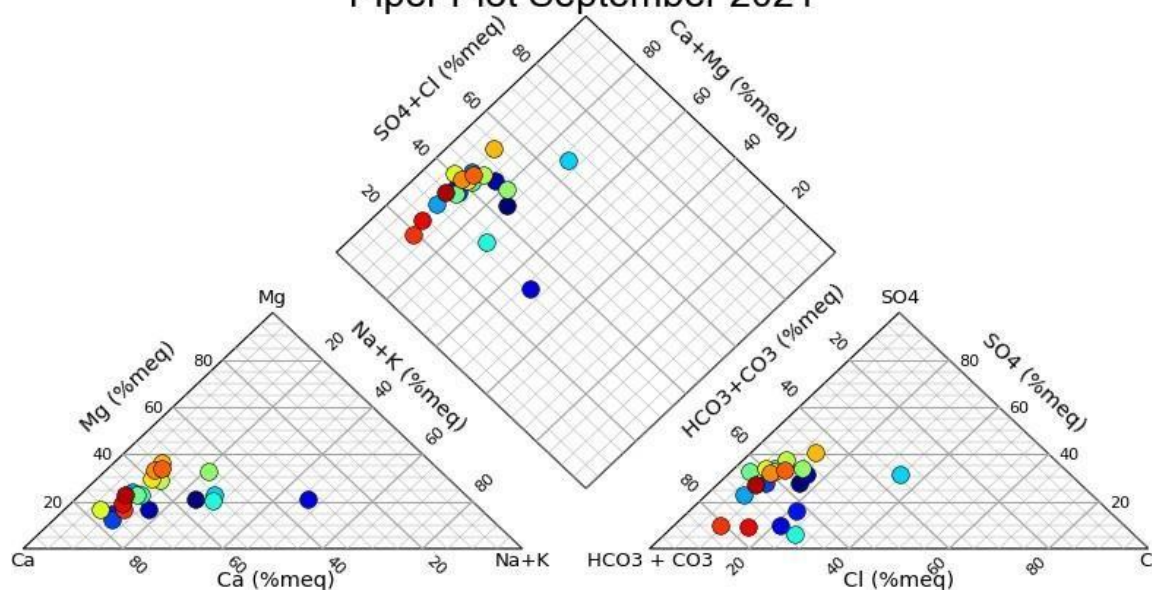


Εικόνα 20 Πίνακας των χαρακτηριστικών των υδροχημικών μετρήσεων κάθε δείγματος στην βάση δεδομένων του Akva-GIS

Στην συνέχεια η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων, ενεργοποιείται μέσω της ερώτησης στη βάση δεδομένων των υδροχημικών εργαλείων ή “ερώτημα” (Hydrochemical Spatial Query). Το ερώτημα δημιουργείται επιλέγοντας τα υδροσημεία με σκοπό να δημιουργηθεί ένα σύνολο που αντιπροσωπεύει τις περιοχές δειματοληψίας μέσα στη βάση δεδομένων. Κάθε ερώτημα συλλέγει τις πληροφορίες του επιλεγμένου συνόλου δεδομένων και στη συνέχεια μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με άλλα κριτήρια ερωτήματος, όπως τα campaigns, τη χρονική στιγμή δειματοληψίας.

Με βάση τα παραπάνω για κάθε περίοδο δειματοληψίας, από το υδροχημικό χωρικό query, σχεδιάζονται τα διαγράμματα Piper και Sar:

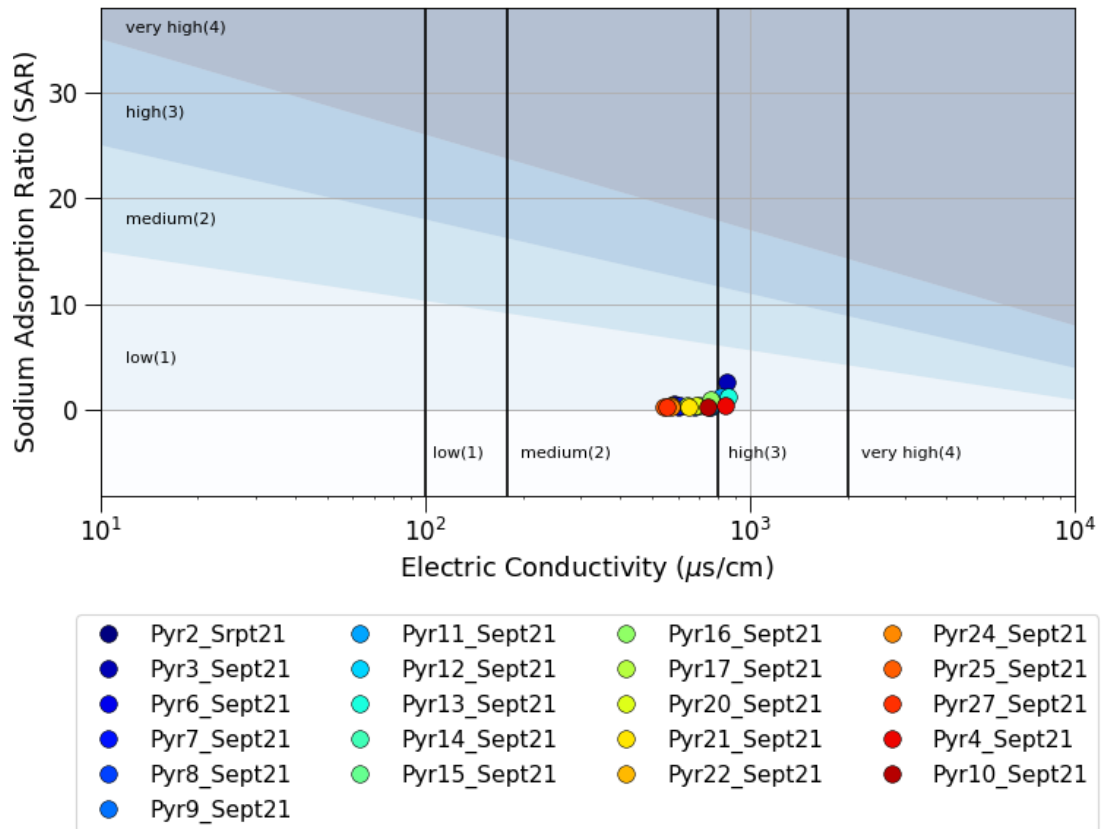
Piper Plot September 2021



● Pyr1_Sept21	● Pyr9_Sept21	● Pyr16_Sept21	● Pyr25_Sept21
● Pyr2_Srpt21	● Pyr11_Sept21	● Pyr17_Sept21	● Pyr27_Sept21
● Pyr3_Sept21	● Pyr13_Sept21	● Pyr21_Sept21	● Pyr5_Sept21
● Pyr6_Sept21	● Pyr14_Sept21	● Pyr22_Sept21	● Pyr4_Sept21
● Pyr7_Sept21	● Pyr15_Sept21	● Pyr24_Sept21	● Pyr10_Sept21
● Pyr8_Sept21			

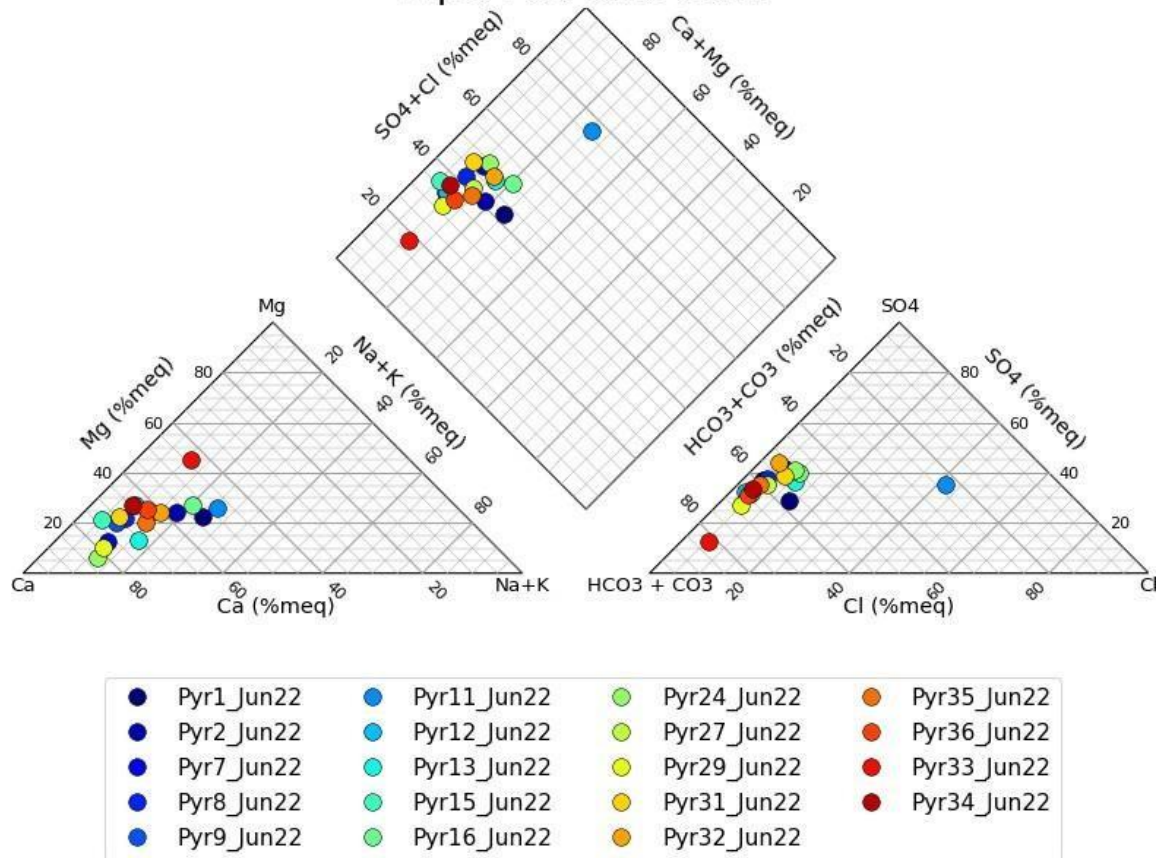
Εικόνα 21 Γραφική απεικόνιση υδροχημικών αναλύσεων σε διάγραμμα Piper Σεπτέμβριος 2021

SAR Plot September 2021



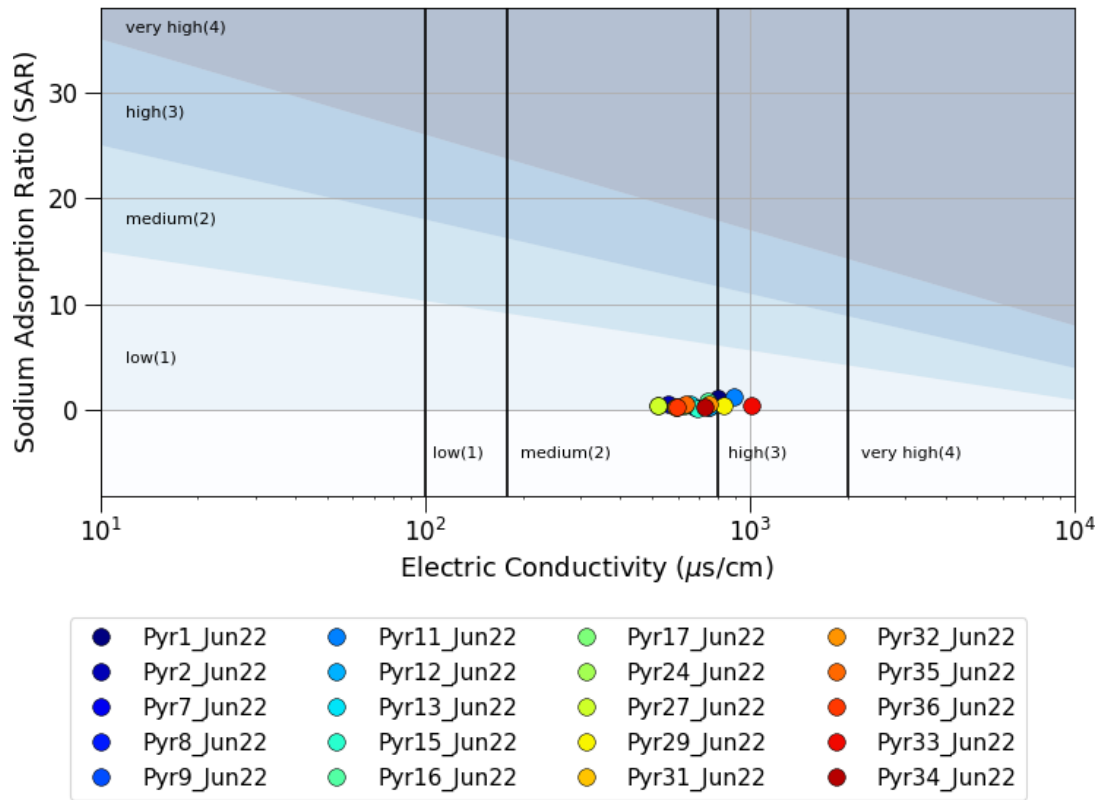
Εικόνα 22 Γραφική απεικόνιση του δείκτη προσρόφησης του Na συναρτήσει της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για κάθε υδροσημείο Σεπτέμβριος 2021

Piper Plot June 2022



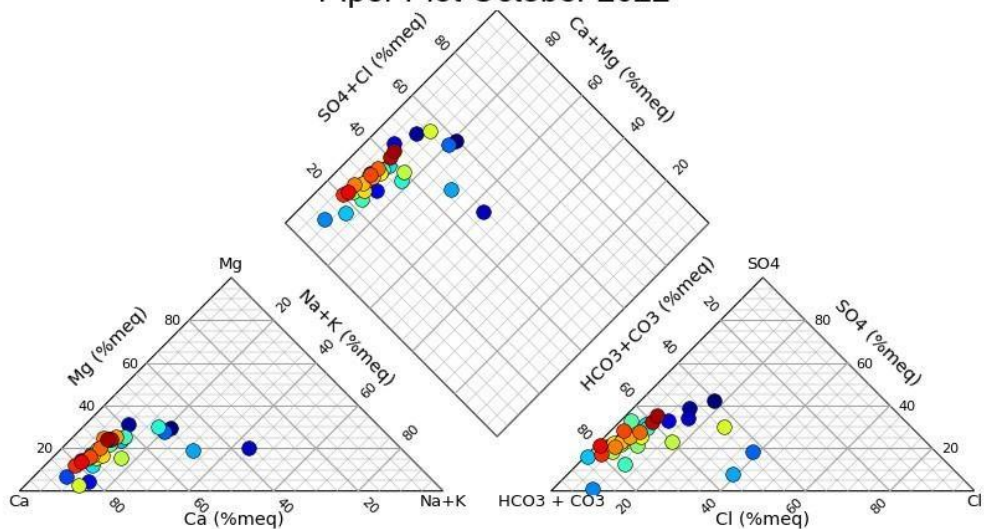
Εικόνα 23 Γραφική απεικόνιση υδροχημικών αναλύσεων σε διάγραμμα Piper Ιούνιος 2021

SAR Plot June 2022



Εικόνα 24 Γραφική απεικόνιση του δείκτη προσρόφησης του Na συναρτήσει της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για κάθε υδροσημείο Ιούνιος 2022

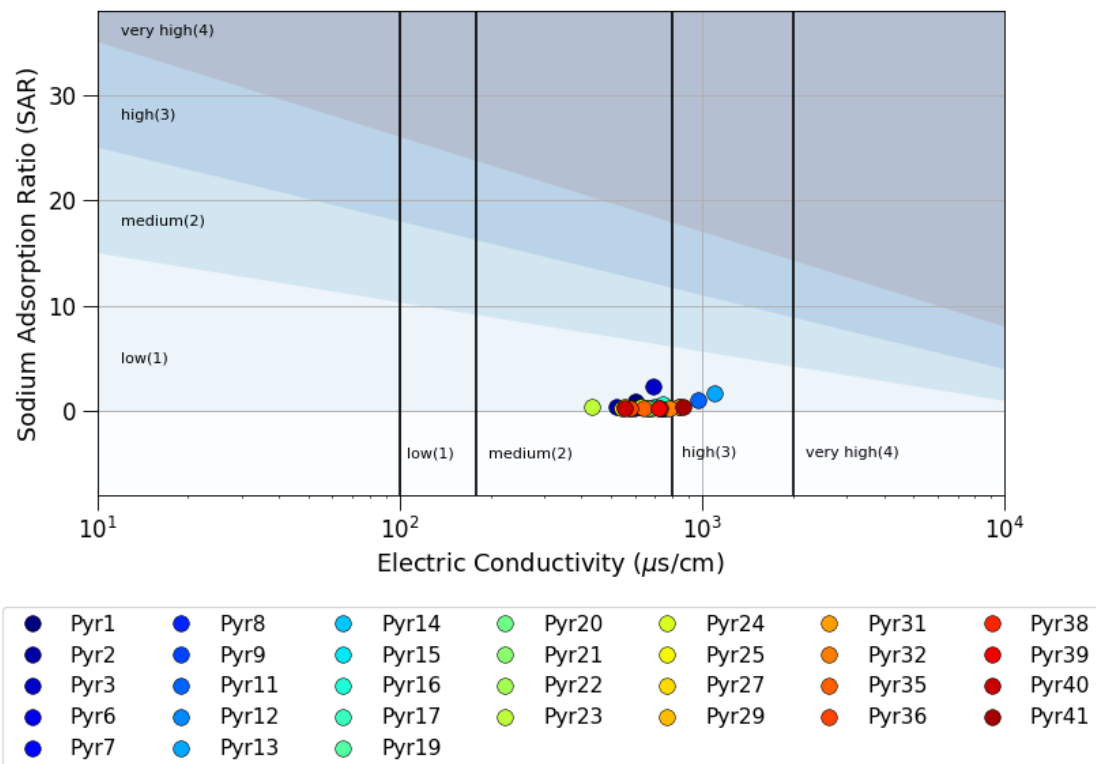
Piper Plot October 2022



● Pyr1	● Pyr8	● Pyr14	● Pyr20	● Pyr24	● Pyr31	● Pyr38
● Pyr2	● Pyr9	● Pyr15	● Pyr21	● Pyr25	● Pyr32	● Pyr39
● Pyr3	● Pyr11	● Pyr16	● Pyr22	● Pyr27	● Pyr35	● Pyr40
● Pyr6	● Pyr12	● Pyr17	● Pyr23	● Pyr29	● Pyr36	● Pyr41
● Pyr7	● Pyr13	● Pyr19				

Εικόνα 25 Γραφική απεικόνιση υδροχημικών αναλύσεων σε διάγραμμα Piper Οκτώβριος 2022

SAR Plot October 2022



Εικόνα 26 Γραφική απεικόνιση του δείκτη προσρόφησης του Na συναρτήσει της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για κάθε υδροσημείο Οκτώβριος 2022

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν αλλαγές στον χημισμό του υπόγειου νερού, ούτε υπάρχει κάποια διακριτή αλλαγή στην τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρατηρείται πως για όλες τις περιόδους μελέτης, σχεδόν όλα τα υδροσημεία η τιμή της είναι σε αποδεκτά επίπεδα.

Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι υπάρχει επαρκής ανατροφοδότηση του συστήματος από τα κατακρημνίσματα (γενικότερα στο Υδατικό Διαμέρισμα της Ηπείρου, καταγράφονται οι υψηλότερης έντασης και μεγαλύτερης διάρκειας βροχοπτώσεις), και αφετέρου στο ότι δεν υφίστανται φαινόμενα υπεραντλήσεων (πράγμα που θα σήμαινε την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας) ή αλόγιστη χρήση λιπασμάτων (θα αύξανε σε μη αποδεκτά επίπεδα τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων).

Μοναδική εξαίρεση αποτελούν τα σημεία Pgr33 για την περίοδο του Ιουνίου 2022 και το Pgr13 για την περίοδο του Οκτωβρίου 2022.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο Εφαρμογή του μοντέλου Farm για τη διαχείριση του αρδευτικού νερού

Εισαγωγή

Με βάση το μοντέλο διαφοράς της ροής του υπόγειου νερού, που σχεδιάστηκε για τον κάμπο της Άρτας, προκειμένου να δοθεί μια εικόνα των αναγκών άρδευσης για συγκεκριμένες καλλιέργειες και εν συνεχεία να διερευνηθούν τρόποι ορθότερης διαχείρισης του νερού, γίνεται η χρήση του προγράμματος Farm Process. Σκοπός είναι να διερευνηθεί η επάρκεια νερού, με βάση τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής.

Αρχικά, σε πρώτο στάδιο στη περιοχή μελέτης, ορίζονται οι φάρμες για τις εξής καλλιέργειες:

Κωδικός Φάρμας	Είδος καλλιέργειας
1	Ακτινίδια
2	Εσπεριδοειδή
3	Γρασίδι
4	Ελαιόδεντρα
5	Ζωοτροφές(Τριφύλλι)
6	Σιτάρι
7	Πατάτα
8	Καλαμπόκι
9	Ρύζι

Πίνακας 1 Κατηγοριοποίηση των μονάδων απαίτησης νερού (φάρμας) ανά καλλιέργεια

❖ Αναφέρεται ότι με βάση το αναθεωρημένο σχέδιο διαχείρισης του Υδατικού Διαμερίσματος της Ηπείρου, το κόστος άρδευσης 0.019 (€/m³).

Για κάθε φάρμα, πρέπει να προκαθοριστούν τα εξής:

- OFE που αποτελεί τον συντελεστή απόδοσης της φάρμας (On Farm Efficiency), παίρνει τιμές από 0 έως 1 .

Συγκεκριμένα για η φάρμα των ακτινιδίων έχει τιμή 0.5 ενώ των πορτοκαλιών 0.8 .

- GWBaseCost, αφορά το κόστος συντήρησης και εκφράζεται σε ευρώ/L³
- GWPumpCost, αφορά το κόστος άντλησης του υπογείου νερού από τη γεώτρηση και εκφράζεται σε ευρώ/όγκο × μονάδα ανύψωσης:

Στην περιοχή μελέτης, τα βάθη των εννέα υδρογεωτρήσεων, είναι από 30-33 m. Επομένως ο τύπος αντλίας πρέπει να έχει 1 HP (ίππους-horsepower). Υποθέτοντας ότι η αντλία λειτουργεί για 8 ώρες την ημέρα, με ισχύ 1200 Watts, το κόστος ανέρχεται στα 4.60 €/day

- GWLiftCost, συνιστά το κόστος κάθετης ανύψωσης της στάθμης του υπογείου νερού από γεώτρηση σε κελί, ανά μονάδα όγκου, ανά μονάδα ανύψωσης (ευρώ/όγκο × μονάδα ανύψωσης)
- GWDeliveryCost, αφορά το κόστος μεταφοράς του υπογείου νερού ανά μονάδα όγκου, ανά μονάδα απόστασης (ευρώ/όγκο × μονάδα απόστασης).
- SWFixedPrice1, συνιστά μια σταθερή τιμή του (ήμι ή καθορισμένης ροής) επιφανειακού νερού ανά μονάδα όγκου 1 €/m³/m
- SWFixedPrice2, είναι μια σταθερή τιμή του μη καθορισμένης ροής επιφανειακού νερού ανά μονάδα όγκου , με τιμή 1 €/m³.
- SWLiftCost, αφορά το κόστος κάθετης ανύψωσης (ημι) καθορισμένης ροής επιφανειακών υδάτων από το τμήμα του αρδευτικού δικτύου στην φάρμα, ανά μονάδα όγκου, ανά μονάδα ανύψωσης με τιμή 1 €/m³/m.
- SWDeliveryCost, συνιστά το κόστος μεταφοράς του επιφανειακού νερού ανά μονάδα όγκου, ανά μονάδα απόστασης (ευρώ/όγκο × μονάδα απόστασης) , έχει τιμή 1 €/m³.

Στη συνέχεια, απαιτείται ο καθορισμός ορισμένων παραμέτρων που σχετίζονται με τον

υδρολογικό κύκλο του νερού και συγκεκριμένα:

- 1) Η τιμή της βροχόπτωσης (m/day) για κάθε μια περίοδο,
- 2) Η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία (°C).
- 3) Η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας (MJ/m²) ανά ημέρα.

Stress Period	Percipitation (m/day)	Ελάχιστη Θερμοκρασία (°C)	Μέγιστη Θερμοκρασία (°C)	Μέση Θερμοκρασία (°C)	Ηλιακή Ακτινοβολία (MJ/m ²)
SP1	0.0034	19°	29.6°	23.7°	5.72
SP2	0.0015	19.2°	30.6°	24.4°	20.13
SP3	0.0046	15.1°	24.3°	19.2°	9.88

Πίνακας 2 Κλιματικά δεδομένα

Οι πληροφορίες για βροχομετρικά δεδομένα αντλήθηκαν από το meteo.gr και από το “Δίκτυο Ανοιχτής Πληροφορίας Υδροσυστημάτων” από τον βροχομετρικό σταθμό της περιοχής Κωστακοί Άρτας, για τον Σεπτέμβριο 2021, Ιούνιο 2022 και Οκτώβριο 2022 (που αντιπροσωπεύουν τις περιόδους δειγματοληψίας).

Με βάση τα παραπάνω για τον προσδιορισμό των αναγκαίων παραμέτρων του μοντέλου υπολογίζονται :

➤ Η εξάτμιση:

Υπολογίζεται με τη μέθοδο του Thornthwaite:

$$P / E = 11.5 [P / (T-10)]^{10/9}$$

- όπου: P = η μηνιαία βροχόπτωση (mm),
- E = η εξάτμιση (σε mm),
- T = η μηνιαία θερμοκρασία (σε °C).

Άρα για την 1^η sp ισχύει ότι $3.4/E_1=11.5 \times (3.4/13.7)^{1.1}$ άρα $E=1.37 \text{ mm/month} = 0.001 \text{ m/day}$
 Για την 2^η sp, ισχύει ότι $E_2=1.57 \text{ mm/day}=0.002 \text{ m/day}$
 Ομοίως για την 3^η sp η εξάτμιση $E_3=0.86 \text{ mm/day}=0.001 \text{ m/day}$
 Η μέση εξάτμιση της περιοχής $E_{\text{mean}}=0.001 \text{ m/day}$

Έπειτα, υπολογίζεται η μηνιαία απαίτηση σε νερό για αστική χρήση **VolNRDeliv**, συγκεκριμένα η πόλη της Άρτας.

A) Τρόπος:

Με βάση την τιμολογιακή πολιτική της ΔΕΥΑ Άρτας όσον αφορά τις χρεώσεις ύδρευσης και αποχέτευσης, διαίρεται το ποσό των εσόδων δια του 4 και στη συνέχεια διαίρεται με το άθροισμα των χρεώσεων ύδρευσης και αποχέτευσης και έπειτα αφαιρείται το πάγιο ύδρευσης και αποχέτευσης προκειμένου να βρεθούν τα κυβικά νερού που καταναλώθηκαν ανά τρίμηνο.

Στη συνέχεια η εν λόγω ποσότητα διαιρείται δια του 3 προκειμένου ο αριθμός των κυβικών να είναι ανά μήνα.

Με βάση τα παραπάνω, θεωρώντας κατά προσέγγιση την τριμηνιαία κατανάλωσης 50 κυβικά, αντιστοιχεί σε χρέωση 0.12 ευρώ για ύδρευση (αντιστοιχεί σε κατανάλωση 1-20 m³) και 0.40 ευρώ για αποχέτευση (αντιστοιχεί σε κατανάλωση πάνω από 20m³) έχουμε :

$$1,376,223.04/4=344,055.76=0.12x+(0.10 \times 13\%)+8.55+(8.55 \times 24\%)+0.40x+(0.40*24\%)+10.55+$$

$$(10.55 \times 24\%) = 661,599.44 \text{m}^3/3\text{month} = 220,553.14 \text{m}^3/\text{month}$$

B) Τρόπος: πληθυσμός *επιλεγμένη ημερήσια κατανάλωση:
 $21,895 \times 0.3 = 6,568.5 \text{m}^3/\text{day} = 197,055 \text{m}^3/\text{month}$

Στη συνέχεια με βάση τα παραπάνω ορίζονται οι εδαφικοί παράμετροι για κάθε καλλιέργεια.

Για κάθε μία καλλιέργεια, ως δεδομένα υπολογίζονται:

- 1) Η τιμή-κλάσμα της καταναλωτικής χρήσης **FTR** που σχετίζεται με την διαπνοή ($0 < \text{FTR} < 1$)
- 2) Το εξατμιστικό κλάσμα καταναλωτικής χρήσης που σχετίζεται με τα κατακρημνίσματα (ή κατεΐσδυση) **FEP** ($0 < \text{FEP} < 1$).
- 3) Το εξατμιστικό κλάσμα καταναλωτικής χρήσης που σχετίζεται με την άρδευση **FEI** ($0 < \text{FEI} < 1$).
- 4) Το κλάσμα των απωλειών που οφείλονται σε απώλειες λόγω σφάλματος λειτουργίας της γεώτρησης, στα επιφανειακά ύδατα που σχετίζονται με τα κατακρημνίσματα **FIESWP** ($0 < \text{FIESWP} < 1$).
- 5) Το κλάσμα των απωλειών λόγω σφαλμάτων λειτουργίας της γεώτρησης, στα επιφανειακά ύδατα που σχετίζονται με την άρδευση **FIESWI** ($0 < \text{FIESWI} < 1$).
- 6) Η αρνητική (μερικώς κορεσμένη) ή θετική (κορεσμένη ή βυθισμένη) τιμή του ύψους πίεσης, στο οποίο η πρόσληψη νερού από τη ρίζα μηδενίζεται λόγω ανοξίας ή υψηλής πίεσης **PSI1**.
- 7) Οι αρνητικές ή θετικές τιμές του ύψους της υδραυλικής πίεσης, στις οποίες η πρόσληψη νερού από τη ρίζα είναι στο ανώτατο όριο και από το σημείο αυτό η πρόσληψη νερού

μειώνεται όσο αυξάνεται το ύψος πίεσης λόγω ανοξίας **PSI2**.

8) Η αρνητική τιμή του ύψους της υδραυλικής πίεσης στην οποία η πρόσληψη νερού από τη ρίζα είναι στο μέγιστο βαθμό και από το σημείο αυτό, η εν λόγω πρόσληψη μειώνεται όσο μειώνεται το ύψος πίεσης λόγω μαρασμού **PSI3**.

9) Η αρνητική τιμή του ύψους πίεσης, στην οποία η πρόσληψη νερού από το φυτό είναι μηδενική εξαιτίας του μαρασμού **PSI4**.

10) Το σημείο που δεν απαιτείται άρδευση (non-irrigationflag) **NONIRR**, παίρνει τιμή 1 , αν ο τύπος καλλιέργειας δεν απαιτεί άρδευση.

11) **IFALLOW**, παίρνει τιμή 1 αν η καλλιέργεια είναι σε αγρανάπαυση και 0 αν δεν είναι.

12) **WPFslope, WPFInt** , αφορά τη τιμή της κλίσης και της παρεμπόδισης υπέρβασης του επιτρεπτού ορίου για χρήση νερού λόγω συγκομοιδής.

13) **CropPrice**, αφορά τη τιμή της καλλιέργειας κατά βάρος.

Με βάση τον Οργανισμό Κεντρικών Αγορών και Αλιείας (ΟΚΑΑ) και το Agro24, ισχύουν για το διάστημα Οκτώβριος 2022-Φεβρουάριος 2023 οι παρακάτω τιμές:

Είδος καλλιέργειας	Τιμή/κιλό (€/kg)
Ακτινίδια	1.20
Εσπεριδοειδή	0.5
Γρασίδι	0.0001
Ελαιόδεντρα	5.5

Ζωοτροφές(Τριφύλλι)	0.42
Σιτάρι	0.48
Πατάτα	0.7
Καλαμπόκι	0.33
Ρύζι	0.18

Πίνακας 3 Τιμή παραγόμενου προϊόντος ανά καλλιέργεια

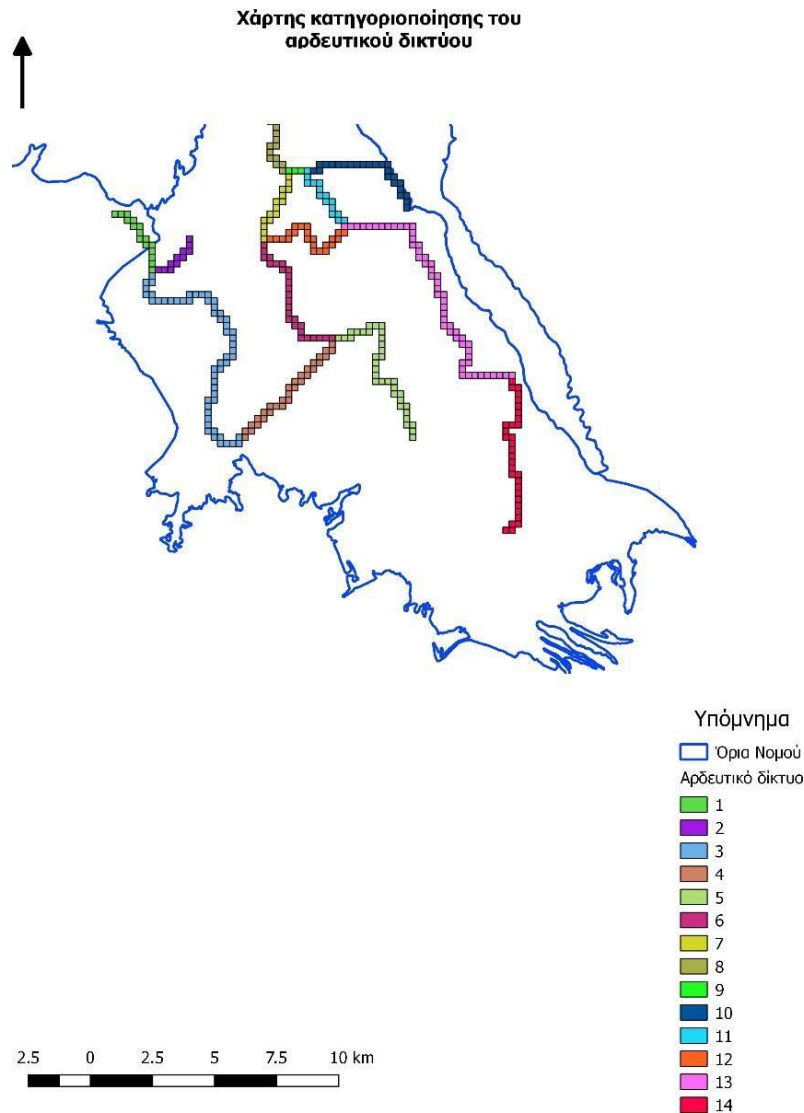
Αναφέρεται ότι οι παράμετροι 1-12 ορίστηκαν με βάση τις τιμές της USGS λόγω έλλειψης δεδομένων.

Εφαρμογή μοντέλου φάρμας στην πεδιάδα της Άρτας

Προεπεξεργασία

Αρχικά σχεδιάζεται το αρδευτικό δίκτυο, το οποίο εισάγεται μέσω του πακέτου SFR (Stream Flow Route). Σημειώνεται πως μέσω αυτού του πακέτου είναι δυνατή η προσομοίωση της ροής σε κατάντη ρεύματα με την χρήση μιας κινηματικής εξίσωσης κύματος. Στην περιοχή υπάρχουν δύο κύρια αρδευτικά δίκτυα, το δυτικό, στο οποίο οι εισροές νερού προέρχονται από τον ποταμό Λούρο και το ανατολικό από τον Άραχθο.

Η λειτουργία του πακέτου, απαιτεί την τμηματοποίηση του δικτύου σε κανάλια (Seg), με βάση τα οποία ορίζεται η διεύθυνση ροής του νερού, από τα ανάντη στα κατάντη. Συγκεκριμένα ορίζονται 14 κανάλια, από τα οποία τα 9 πρώτα ανήκουν στο δυτικό αρδευτικό δίκτυο του ποταμού Λούρου ενώ τα υπόλοιπα στο ανατολικό του Αράχθου.



Εικόνα 27 Κατηγοριοποίηση του αρδευτικού δικτύου

Στη συνέχεια με βάση τις μετρήσεις παροχών σε συγκεκριμένα υδροσημεία (Τσιρογιάννης 2019), ορίζονται για τα υψομετρικά ανώτερα κανάλια 1,2,5,8,10 και 12, η ποσότητα νερού του νερού που ξεκινά να ρέει προς τα εκάστοτε κατάντη κανάλια.

Αναφέρεται ότι οι τιμές των παροχών, για τα υδροσημεία 2,3 και 4 προέρχονται από μετρήσεις που διενεργήθηκαν το 2019, ενώ για το υδροσημείο 1 από μετρήσεις του 2020.

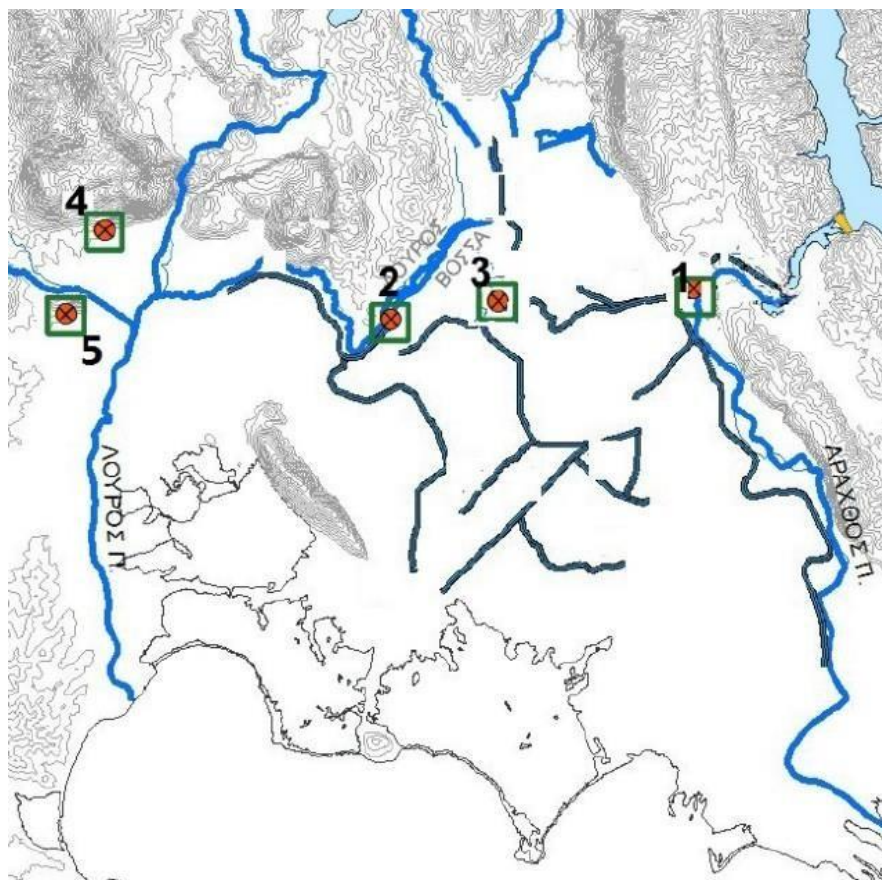


Figure 28 Κατανομή των σημείων μέτρησης της στάθμης του υδρογραφικού δικτύου, Τσιρογιάννης 2019

Υδροσημείο	Αρδευτικό κανάλι	Ροή (m ³ /day)
4	1	56304.72
2	2	375148.8
3	8, 12	215755,2
1	10	295980.48
	5	100000

Πίνακας 4 Ροή του νερού στο αρδευτικό δίκτυο την 1η stress period

Υδροσημείο	Αρδευτικό κανάλι	Ροή (m ³ /day)
4	1	22498.56

2	2	520145.28
3	8,12	312984
1	10	222963.84
	5	150000

Πίνακας 5 Ροή του νερού στο αρδευτικό δίκτυο την 2η stress period

Υδροσημείο	Αρδευτικό κανάλι	Ροή (m ³ /day)
4	1	43491.84
2	2	368409.6
3	8,12	161360.64
1	10	162930.24
	5	180000

Πίνακας 6 Ροή του νερού στο αρδευτικό δίκτυο την 3η stress period

Αναφέρεται ότι για το αρδευτικό κανάλι 5, λόγω του ότι δεν βρίσκεται κοντά σε κάποιο υδροσημείο, οι τιμές του ορίζονται κατά προσέγγιση λίγο μικρότερες από τις μετρήσεις του υδροσημείου 3.

Τέλος, ορίζονται στο μοντέλο οι γεωτρήσεις μέσω του πακέτου Well.

Για τη προσομοίωση με βάση τις αρχικές συνθήκες, για τις γεωτρήσεις 1,3,5,7,9 την 1^η stress period ορίζεται ότι αντλούν 1200 m³/day ενώ οι 2,4,6,8 1250 m³/day.

Την 2^η stress period, η ποσότητα αυξάνεται για όλες κατά 100 m³/day, ενώ την 3^η stress period, η ποσότητα άντλησης μειώνεται κατά 200 m³/day. Ωστόσο η παραπάνω λειτουργία θεωρείται αμελητέα καθώς καμία από τις υφιστάμενες γεωτρήσεις δεν βρίσκεται εντός των ορίων των περιοχών μελέτης (φάρμα).

Σχεδιασμός του μοντέλου φάρμας

- **Στάδιο 1^ο** Καθορισμός περιοχών μονάδων νερού (φάρμας) :

Αρχικά ορίζονται οι "φάρμες" δηλαδή οι περιοχές οι οποίες απαιτούν ποσότητα νερού.

Ως φάρμες μελετούνται : η περιοχή καλλιέργειας ακτινιδίων (1) , πορτοκαλιών (2) ενώ όλη η υπόλοιπη περιοχή με κωδικό το 3) θεωρείται περιοχή με γρασίδι. Εντός των ορίων της περιοχής μελέτης, τα ακτινίδια βρίσκονται στην περιοχή Νεοχώρι Άρτας , ενώ τα πορτοκάλια εντοπίζονται στη περιοχή Ακροποταμιά.

Στην συνέχεια καθορίζονται οι παράμετροι που σχετίζονται με την απαίτηση νερού ανά φάρμα

Σημειώνεται ότι για την περιοχή εκτός των δύο που μελετούνται ο αριθμός απόδοσης της φάρμας OFE είναι 0.1 .

Στάδιο 2^ο Συσχετισμός φάρμας με τις υφιστάμενες υδρογεωτρήσεις:

Ορίζεται για κάθε μια από τις υφιστάμενες υδρογεωτρήσεις η μέγιστη παροχή νερού που μπορεί να αποδώσει για άρδευση.

Παρατηρείται ότι οι υδρογεωτρήσεις δεν βρίσκονται εντός των ορίων των καλλιεργούμενων περιοχών . Για τον λόγο αυτό, απλά ορίζονται ότι βρίσκονται στην μη αρδευόμενη περιοχή. Έπειτα για τις γεωτρήσεις 1,3,5,7,9 την ως Q_{max1} ορίζονται τα $1.2 \text{ m}^3/\text{day}$ για τις 2,4,6,8 $1.25 \text{ m}^3/\text{day}$.

Για την Q_{max2} , η ποσότητα αυξάνεται για όλες κατά $1 \text{ m}^3/\text{day}$, για την Q_{max3} , η ποσότητα άντλησης μειώνεται κατά $2 \text{ m}^3/\text{day}$.

- **Στάδιο 3^ο** Ορισμός αγωγού άρδευσης:

Για τις υπό-μελέτη φάρμες καθορίζονται οι αγωγοί παροχής νερού άρδευσης από το υφιστάμενο αρδευτικό δίκτυο. Στην περιοχή ορίζονται συνολικά 29 αγωγοί.

Ανάλογα με τον τύπο καλλιέργειας επιλέγονται στα τμήματα του αρδευτικού δικτύου που γειτνιάζουν με αυτές, τα σημεία στα οποία σχεδιάζονται οι αγωγοί άρδευσης.

Η κατανομή των εν λόγω αγωγών παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος καλλιέργειας	Αριθμός αγωγών άρδευσης
Ακτινίδια	6
Εσπεριδοειδή (πορτοκάλια)	6
Ελιές	0
Ζωοτροφές (Τριφύλλι)	9
Σιτάρι	0
Πατάτα	2
Καλαμπόκι	6
Ρύζι	0

Πίνακας 7 Αριθμός αγωγών άρδευσης ανά καλλιέργεια

- **Στάδιο 4^ο** Ορισμός εδαφών και καλλιεργειών:

Αρχικά με βάση τον εδαφολογικό χάρτη του ΟΠΕΚΕΠΕ, εισάγονται οι τύποι εδαφών. Ο καθορισμός των εδαφών και των καλλιεργειών, συνιστά έναν υψίστης σημασίας παράγοντα, ο οποίος καθορίζει ορισμένες υδρολογικές διεργασίες όπως π.χ την εξατμισοδιαπνοή. Ο τύπος εδάφους απαιτείται προκειμένου να καθορισθεί το βάθος της τριχωϊδούς ζώνης.

Πιο συγκεκριμένα στην περιοχή τα εδάφη που επικρατούν είναι τα εξής:

- ❖ *Fluvisols-Αλλουβιακά εδάφη (ποτάμιες αποθέσεις)*: Αποτελούν εδάφη όπου ευνοείται η βλάστηση καθώς μπορούν να αναπτύσσονται σχεδόν σε όλους τους τύπους κλίματος. Έχουν μικρή τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας, ενώ το χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν παρουσιάζουν επαρκή εδαφογενετική εξέλιξη αφού κατά τον σχηματισμό τους οι κύριες εδαφογενετικές

διεργασίες απουσιάζουν. Η υφή τους μπορεί να ποικίλει από χονδρόκοκκη άμμος σε κοίτες ποταμών έως παχύς άργιλοι σε λεκάνες απορροής.

❖ *Cambisols* : γνωστό και ως κοκκινόχωμα, αποτελούν εδάφη αρκετά γόνιμα και αναπτύσσονται είτε υπερκείμενα των αλλουβιακών αποθέσεων, είτε των αυτόχθονων μητρικών πετρωμάτων. Κυρίως εμφανίζονται σε Μεταλλικά πετρώματα και είναι πιο λεπτόκοκα από τα πηλοαμμώδη εδάφη, αφού χαρακτηρίζονται από την απουσία στρώματος αργίλου.

❖ *Luvisols* ή *αργιλώδη εδάφη*: Αποτελούνται από υψηλή συγκέντρωση αργίλου, όπου παράλληλα στα εδάφη αυτά έχει παρατηρηθεί ότι χωρίς σημαντική έκπλυση βάσεων, έχουν μετακινηθεί αργιλοπυριτικά ορυκτά.

❖ *Regosols* ή *χαλικώδη εδάφη*: Αποτελούνται από αδρομερήυλικά και σχηματίστηκαν από χονδρόκοκκα υλικά καθώς και από αλλουβιακά υλικά ή από λιμναία και θαλάσσια ιζήματα.

❖ *Gleysols*: Είναι εδάφη που σχηματίζονται σε υγροτοπικές συνθήκες , κορεσμένα με νερό και σχηματίζονται από υλικά των αλλουβιακών αποθέσεων, αλλά και θαλάσσιων και λιμναίων ιζημάτων, ενώ σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό τους διαδραματίζει και η ανύψωση της στάθμης των υπογείων υδάτων. Παράλληλα αναφέρεται οτι στα εδάφη αυτά δεν ευνοείται η βλάστηση.

Για τον κάθε τύπο εδάφους απαιτείται ο καθορισμός του ύψους της τριχωϊδούς ζώνης. Αυτό υπολογίζεται με βάση τον τύπο των Kumar and *Malik* (1990) :

$$hc = \frac{0.153}{r}$$

Όπου h_c είναι το ύψος της τριχωιδούς ζώνης (cm)

r είναι η ακτίνα των πόρων (που κυμαίνεται μεταξύ 5×10^{-4} έως 0.4 cm).

Το ύψος της ζώνης των τριχωιδ ανάλογα με τη σύστασή των εδαφών και το μέγεθος των κόκκων τους κατατάσσεται ως εξής:

Έδαφος	Μέγεθος κόκκων (mm)	Ακτίνα Πόρου (cm)	Τριχωιδής ζώνη (cm)
Παχυχαλικώδες	-	0.4	0.38
Χαλικώδες	5-2		2.5
Χονδρόκοκκη άμμος	2-1		6.5
Χονδρόκοκκη άμμος	1-0.5	0.05	13.5
Μέτριων κόκκων άμμος	0.5-0.2		24.6
Λεπτόκοκκη άμμος	0.2-0.1	0.001	42.8
Λάσπη	0.1-0.05	0.001	105.5
Λάσπη	0.05-0.02		200
Άργιλικό		0.0005	300

Πίνακας 8 Τοπικό ύψος της τριχωιδούς ζώνης, Todd 1980, Fetter, Jr 1980

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, το ύψος της τριχωιδούς ζώνης ανάλογα με τον τύπο των εδαφών κατατάσσεται ως εξής:

Τύπος εδάφους	Ύψος τριχωιδής ζώνης (m)
Fluvisols	0.246
Cambisols	0.428
Gleysols	0.0038
Luvisols	2

Regosols	0.025
etc	0

Πίνακας 9 Ύψος της ζώνης των τριχωιδών ανάλογα με τον τύπο εδάφους.

Έπειτα ορίζονται οι φυτικοί παράμετροι για κάθε τύπο καλλιέργειας. Ωστόσο λόγω απουσίας βιβλιογραφίας, οι παράμετροι ορίστηκαν προσεγγιστικά.

- **Στάδιο 5^ο** : Ορισμός φυτικών συντελεστών και βάθος ριζικού συστήματος ανά καλλιέργεια.

Προκειμένου να καθοριστεί η τιμή της εξατμισοδιαπνοής που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο καλλιέργειας, εισάγονται οι φυτικοί συντελεστές και τα βάθη του ριζικού συστήματος, για κάθε stress period, για την εκάστοτε καλλιέργεια:

Καλλιέργεια	$K_{c_{min}}$	$K_{c_{mid}}$	$K_{c_{max}}$	Root depth(m)
Ακτινίδιο	0.4	1.05	1.05	1.1
Εσπεριδοειδή	0.8	0.8	0.85	1.7
Γρασίδι	0.3	0.7	0.7	1.5
Ελιές	0.65	0.7	0.7	1.5
Ζωοτροφές (Τριφύλλι)	0.4	0.9	0.85	1.5
Σιτάρι	0.1	1.15	0.3	1.25
Πατάτα	0.4	1.05	0.75	0.5
Καλαμπόκι	0.2	1.2	0.5	1.4
Ρύζι	1.05	1.2	0.7	0.8

- **Στάδιο 6^ο**: Εισαγωγή της τιμής της εξατμισοδιαπνοής και των κλιματικών δεδομένων:

Η εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη μέθοδο Branley-Criddle ως εξής:

$$ET = kF = k \frac{(1.8T + 32)p}{3.94}$$

- Όπου k_c είναι ο φυτικός συντελεστής για κάθε στάδιο ανάπτυξης του φυτού.
 - T είναι μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C
 - p είναι μηνιαίο ποσοστό ωρών ημέρας επί τοις εκατό ωρών ημέρας του έτους
- Το p επιλέγεται για γεωγραφικό πλάτος 39.1° δηλαδή περίπου ίσο με 40° .

Sp	Et (m/day)
1	0.002
2	0.004
3	0.003

Πίνακας 11 Κατανομή της εξατμισοδιαπνοής για κάθε stress period

Τέλος με βάση τον πίνακα 2, εισαγονται στο μοντέλο τα κλιματικά δεδομένα.

7.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Η προσομοίωση του μοντέλου της φάρμας έχει ως αποτελέσματα για την εκάστοτε καλλιέργεια τον σχεδιασμό τριών διαγραμμάτων που αναπαριστούν:

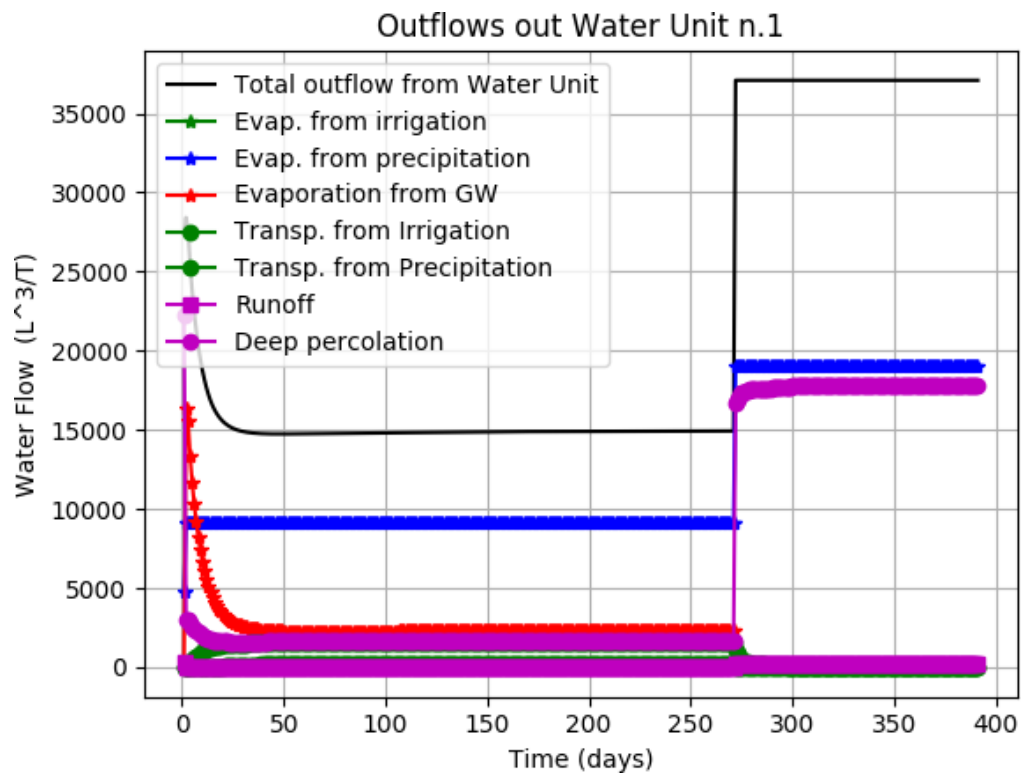
1) Την συνολική εκροή νερού από την φάρμα, δηλαδή η ποσότητα νερού που απομακρύνεται από την φάρμα λόγω εξατμισοδιαπνοής, επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης του νερού σε βαθύτερα στρώματα.

2) Την ποσότητα νερού που εισέρχεται στην φάρμα λόγω κατακριμνησμάτων, εξάτμισης και διαπνοής του υπογείου νερού και λόγω άντλησης νερού από υδρογεωτρήσεις (όπου υπάρχουν).

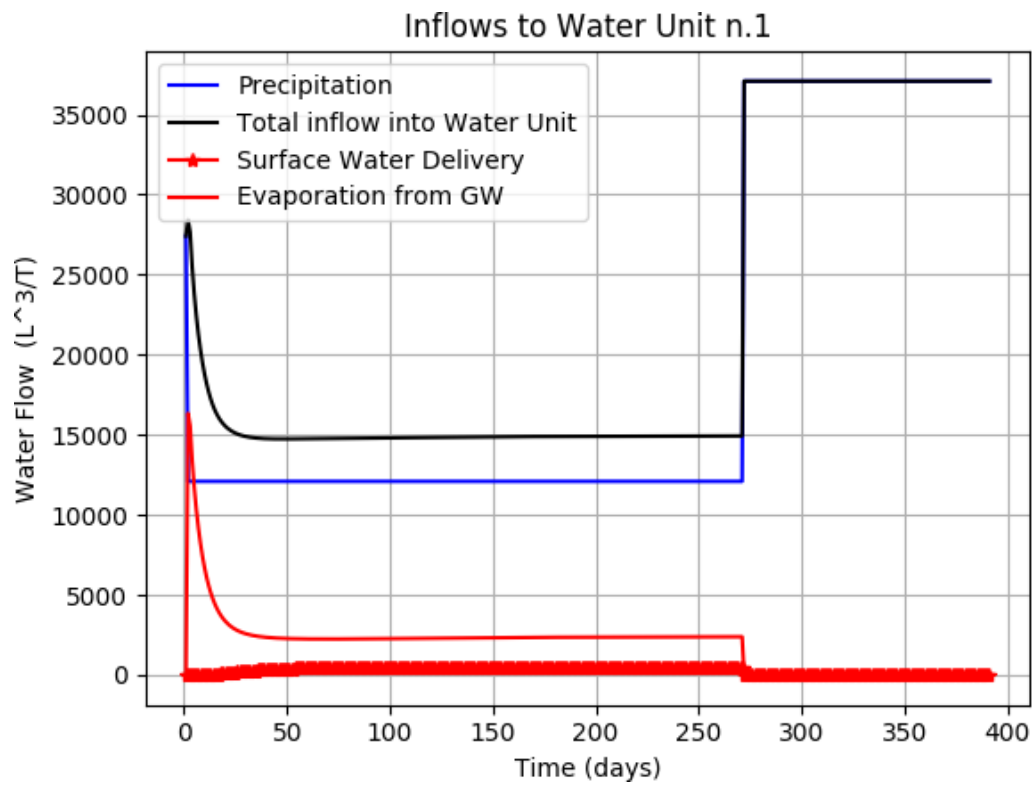
3) Την συνολική ποσότητα νερού που απαιτείται για να καλυφθούν οι αρδευτικές ανάγκες κάθε καλλιέργειας (φάρμας).

Με βάση τα παραπάνω , παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις εξής καλλιέργειες:

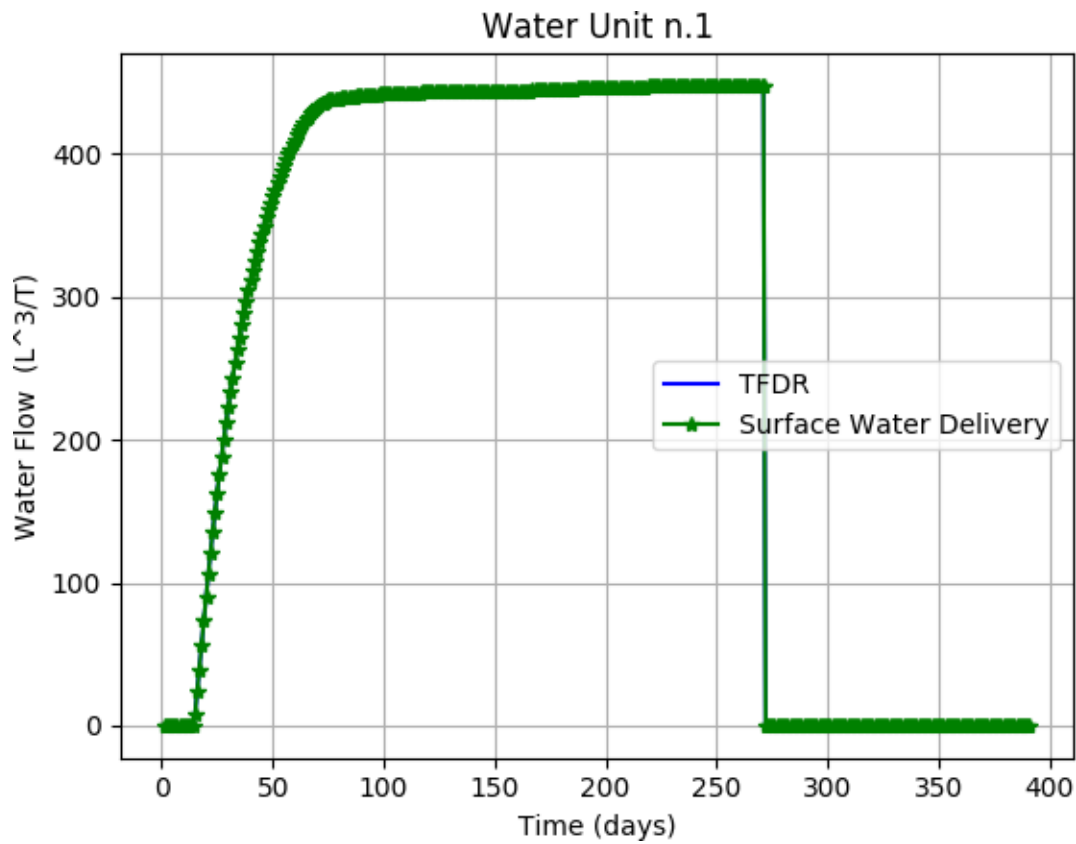
- Ακτινίδια



Εικόνα 29 Ποσότητα νερού που εξέρχεται από την πρώτη φάρμα (Ακτινίδια)



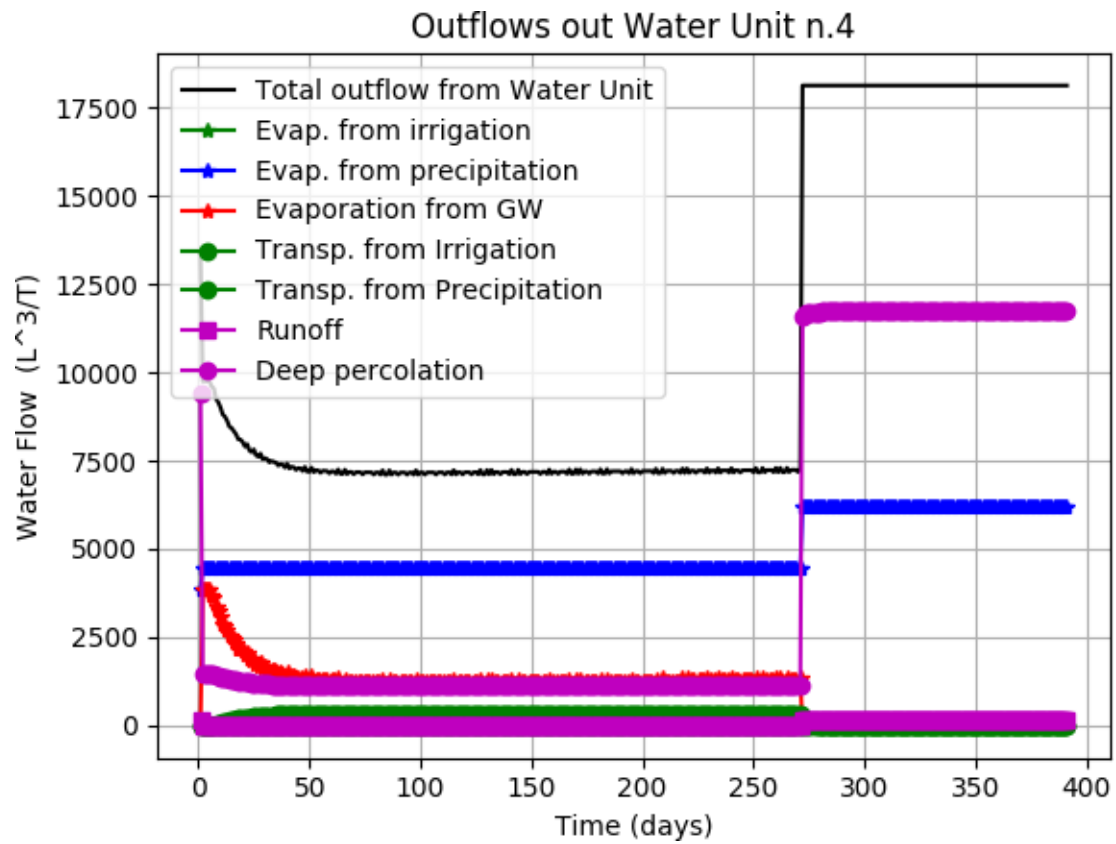
Εικόνα 30 Ποσότητα νερού που εισέρχεται προς την πρώτη φάρμα (Ακτινίδια)



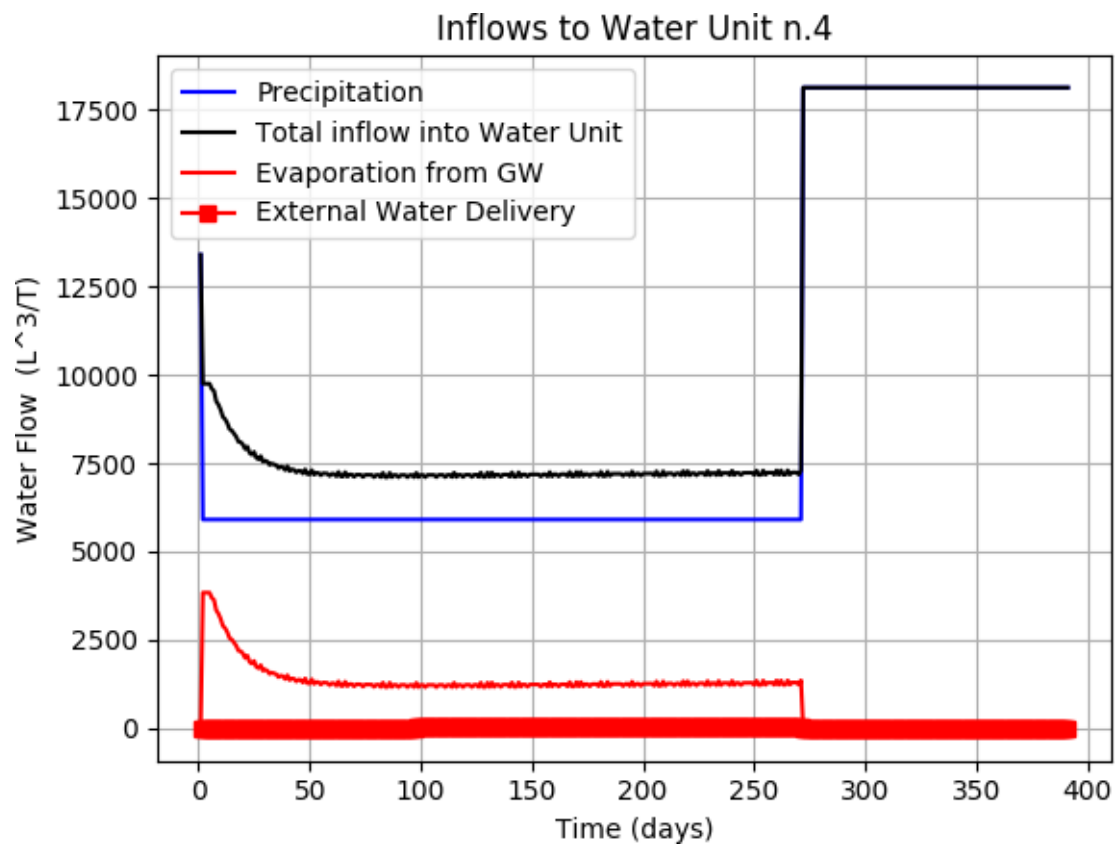
Εικόνα 31 Συνολική ποσότητα νερού που απαιτείται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών για την πρώτη φάρμα (Ακτινίδια)

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται από το αρδευτικό δίκτυο επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών άρδευσης για την πρώτη φάρμα δηλαδή για τις καλλιέργειες ακτινιδίων.

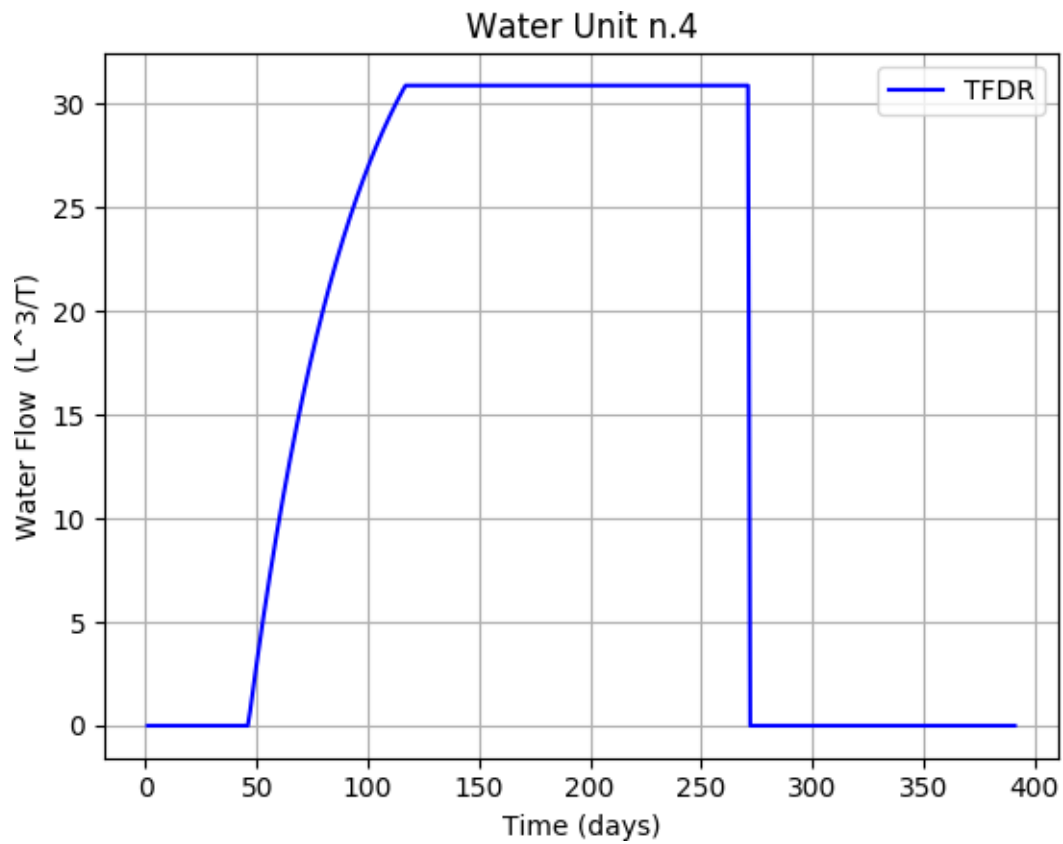
- Ελιές:



Εικόνα 32 Ποσότητα νερού που εξέρχεται από την τέταρτη φάρμα (Ελιές)



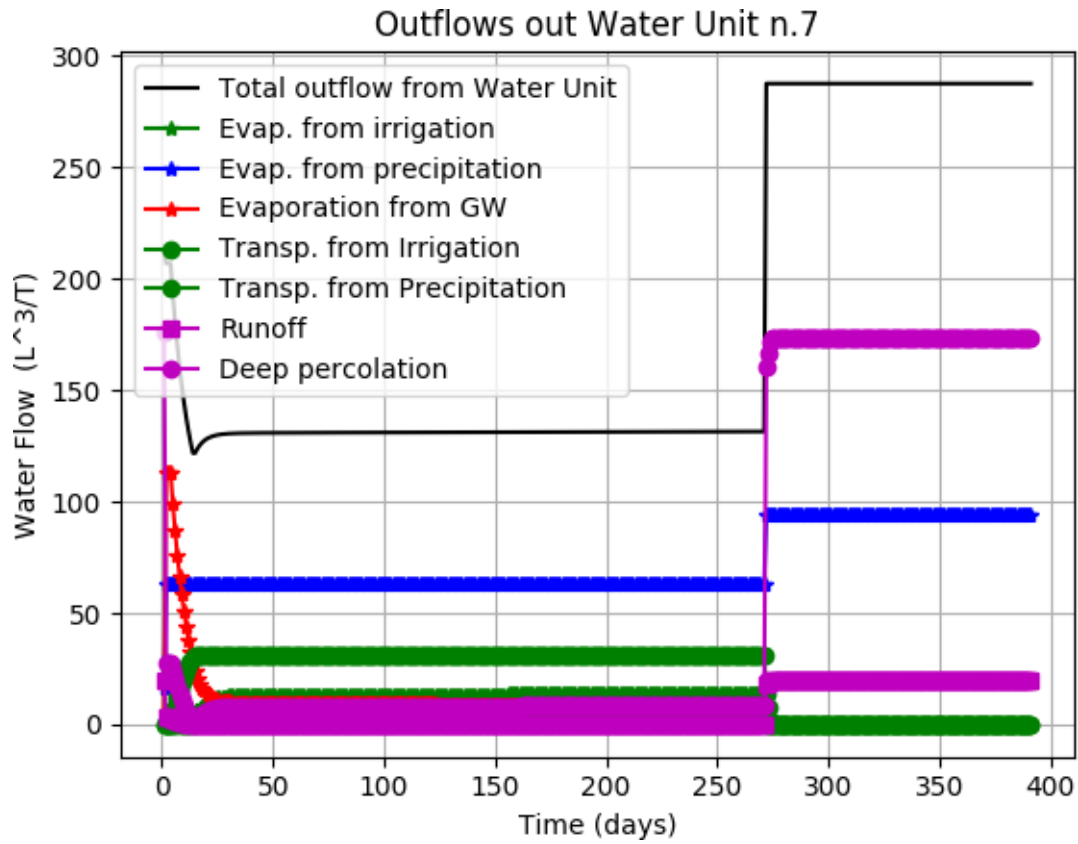
Εικόνα 33 Ποσότητα νερού που εισέρχεται προς την τέταρτη φάρμα (Ελιές)



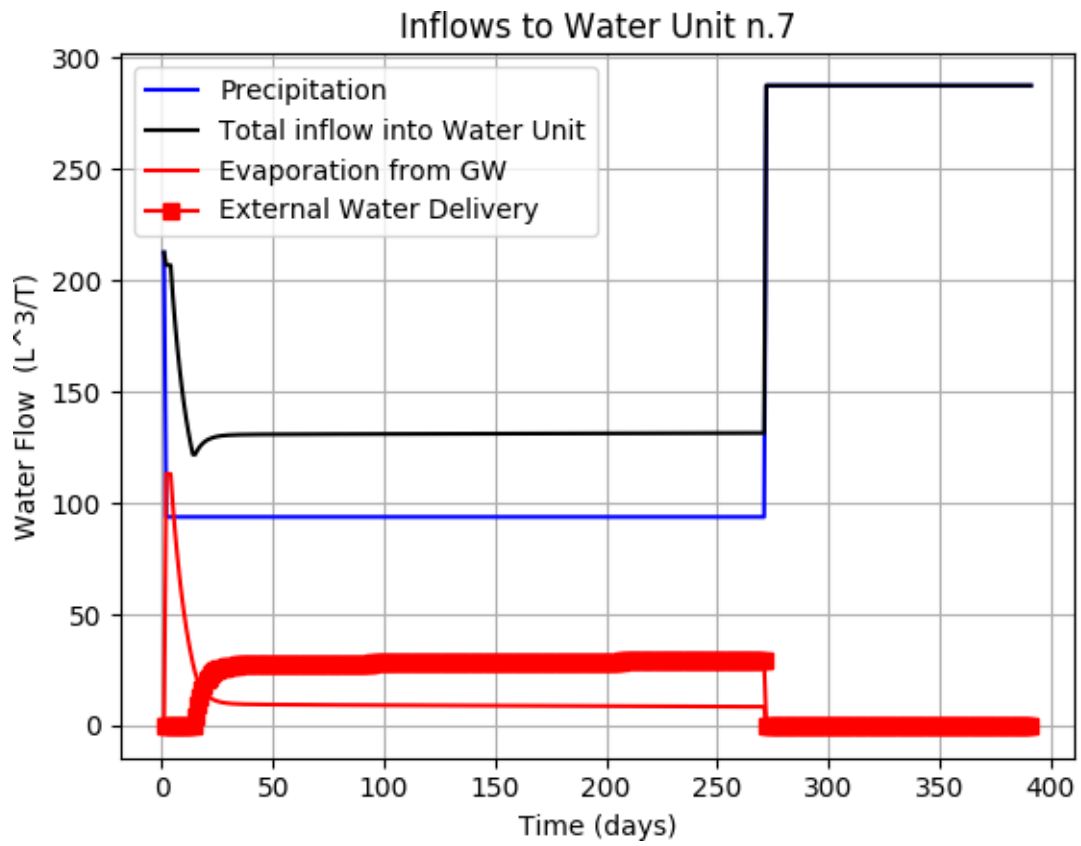
Εικόνα 34 Συνολική ποσότητα νερού που απαιτείται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών για την τέταρτη φάρμα (Ελιές)

Συγκρίνοντας το διάγραμμα των υδατικών αναγκών με το διάγραμμα των εισροών νερού προς τη φάρμα, παρατηρείται ότι η ποσότητα νερού που απαιτείται για άρδευση, επαρκή από την προσφορά των κατακρμνησμάτων.

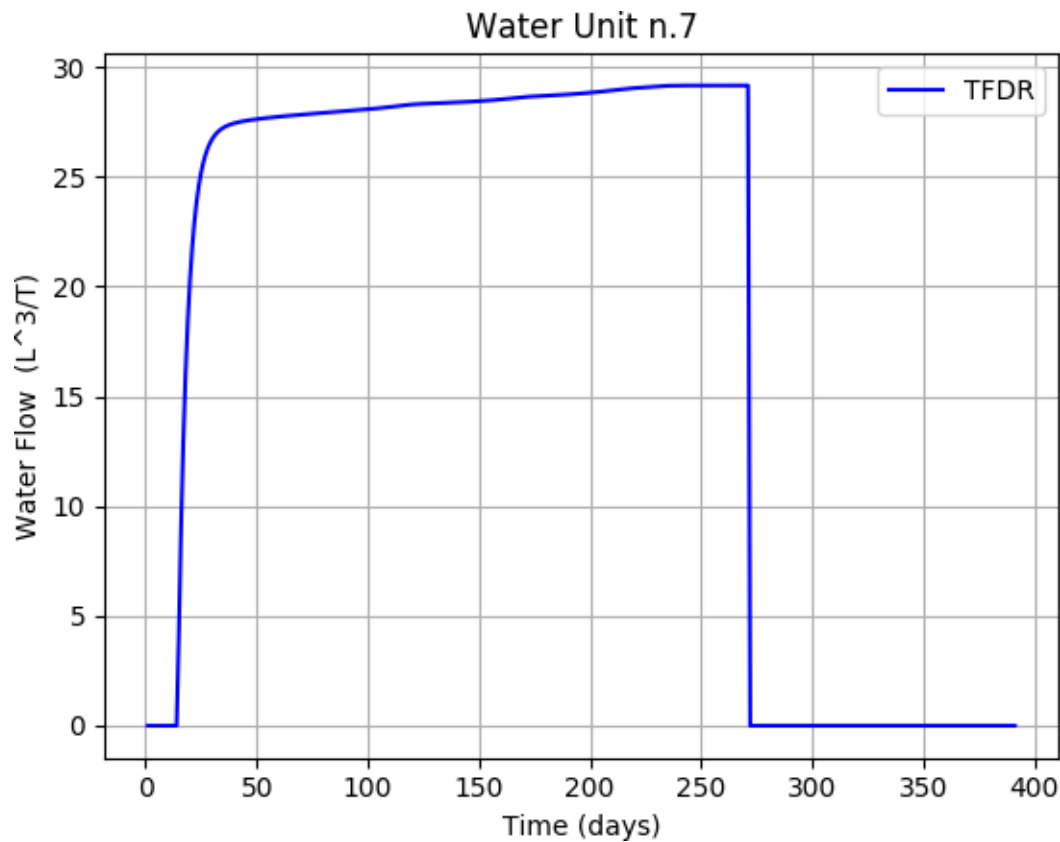
- Πατάτα



Εικόνα 35 Ποσότητα νερού που εξέρχεται από την έβδομη φάρμα (Πατάτα)



Εικόνα 36 Ποσότητα νερού που εισέρχεται προς την έβδομη φάρμα (Ελιές)



Εικόνα 37 Συνολική ποσότητα νερού που απαιτείται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών για την έβδομη φάρμα (Πατάτα)

Με βάση τόσο διάγραμμα της ποσότητας του νερού που απαιτείται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών όσο και το διάγραμμα των εισροών νερού προς τη φάρμα, παρατηρείται ότι η ποσότητα νερού λόγω ατμοσφαιρικών κατακρυσμωμάτων επαρκεί για την άρδευση.

Για τις υπόλοιπες καλλιέργειες δεν παρουσιάζονται τα συγκεκριμένα διαγράμματα διότι η συνολική ποσότητα νερού που απαιτείται για την άρδευση είναι 0. Αυτό μπορεί πιθανόν να οφείλεται σε σφάλματα των μετρήσεων, στην έλλειψη των πραγματικών τιμών των παραμέτρων που τέθηκαν προσεγγιστικά ή στην έλλειψη υδρογεωτρήσεων προκειμένου να υπάρχει τροφοδοσία με υπόγειο νερό.

Κεφάλαιο 10^ο Συμπεράσματα

Σκοπός της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας , είναι η μελέτη, η ερμηνεία και τέλος η πρόβλεψη των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπογείου νερού καθώς και η πρόβλεψη της ποσότητας του νερού που απαιτείται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, για συγκεκριμένες καλλιέργειες μέσω της εφαρμογής των μοντέλων προσομοίωσης στον κάμπο της Άρτας.

Με βάση τα διαγράμματα Piper και Sar που κατασκευάστηκαν μέσω της χρήσης του πακέτου Akva-GIS , μπορεί να θεωρηθεί ότι η ποιότητα του υπογείου νερού της περιοχής είναι σε αποδεκτά με βάση τα ποιοτικά όρια που έχουν τεθεί από την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60).

Παράλληλα για τις καλλιέργειες α) Ακτινιδίων, β) Ελιών και γ) Πατάτας με βάση τα αποτελέσματα της χρήσης του μοντέλου Farm , θεωρείται ότι για τα ακτινίδια η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται από το αρδευτικό κανάλι επαρκεί για την ανάπτυξη αυτού του είδους καλλιέργειας, ενώ για τις ελιές και για την καλλιέργεια πατάτας, επαρκεί η προσφορά νερού από την βροχόπτωση. Αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί λογικό, αν λάβουμε υπόψιν ότι το Υδατικό Διαμέρισμα της Ηπείρου (ΥΔ05) θεωρείται ως το πιο υγρο διαμέρισμα της Ελλάδας (το υδατικό διαμέρισμα με τη μεγαλύτερη ποσότητα νερού λόγω βροχοπτώσεων).

Επομένως στην μεγάλη ποσότητα νερού που προέρχεται από ατμοσφαιρικά κατακρίμνησματα, μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται και η καλή ποιότητα του υπογείου νερού συναρτήσει φυσικά του γεγονότος ότι δεν παρατηρούνται φαινόμενα υπεραντλήσεων, από τις υφιστάμενες υδρογεωτρήσεις της περιοχής.

Βιβλιογραφία

Ackerer, P. (1988). *Random-walk method to simulate pollutant transport in alluvial aquifers or fractured rocks*.

Anderson, P. ., Faust, C. ., & Mercier, J. . (1984). *Analysis of conceptual designs for remedial measures at Lipari Landfill*.

Bear J. (1972). *Dynamics of fluids in Porous Media*. American Elsevier Publishing Company Inc.

Bear J. (1979). *Hydraulics of Groundwater*.

Canter, L. W., Knox, R. C. and Fairchild, D.. (1987) *Groundwater quality protection*. Lewis.

Carrera, J. (1988). *State of the art of the inverse problem applied to the flow and solute transport equations"*. *Groundwater flow and quality modelling*.

Carrera, J., & Neuman, S. . (1986). *Estimation of aquifer parameters under transient and steady state conditions. 1. Maximum likelihood method incorporating prior information*.

Carsel, R. ., Jones, R. ., Hansenj, L., & Lamb, R. . (1988). A simulation procedure for groundwater quality assessments of pesticides. *Journal of Contaminant Hydrology*.

Criollo, R., Velasco, V., Nardi, A., Manuel de Vries, L., Riera, C., Scheiber, L., Jurado, A., Brouyère, S., Pujades, E., Rossetto, R., & Vázquez-Suñé, E. (2019). AkvaGIS: An open source tool for water quantity and quality management. *Computers and Geosciences*, 127(November 2018), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2018.10.012>

Freeze et al. (1968). *Theoretical analysis of regional ground-water*.

Freyberg, D. . (1988). *An exercise in ground-water model calibration and prediction*.

Gerharst, S. ., & Lazorchick, G. . (1988). *Evaluation of the ground-water resources of the Lower Susquehanna River Basin, Pennsylvania and Maryland*.

Guymon, G. ., & Hromadka II, T. . (1985). *Modeling of groundwater response to artificial recharge"*. *Artificial Recharge of Groundwater* (Asano T (ed.)). Butterworth.

Hemker, K. (1994) *Hydrological models*. Utrecht.

Hensel, B. ., Berg, R. ., & Griffin, R. . (1990). *Numerical estimates of potential for groundwater contamination from land burial of municipal wastes in Illinois*.

- Karanjac, J., Altankayak, M., & Oval, G. (1977). *Mathematical model of Uluova Plain, Turkey. A training and management tool.*
- Kinzelbach W. K. H. (1986). *Groundwater Modeling, An introduction with sample programs in BASIC, Developments in Water Science.*
- Kinzelbach W. K. H. (1987). Methods for the simulation of pollutant transport in ground water: A model comparison. *Solving Ground Water Problems With Models.*
- Konikow, L. F. (1996). Use of numerical models to simulate groundwater flow and transport. *Ground Water Techniques of Water-Res. Invests. of the U.S. Geol. Survey, 1996, 75–116.*
- Latinopoulos, P. (1986). *A boundary element approach for modeling groundwater movement". Advances in Water Resources.*
- Latinopoulos, P., & Katsifarakis, K. (1991). *A boundary element and particle tracking model for advective transport in zoned aquifers.*
- Maclay, R. ., & Land, L. . (1988). *Simulation of groundwater flow in the Edwards aquifer, San Antonio region, Texas, and refinement of storage and flow concepts.*
- Mercer, J., W., F. (1980). *Ground-Water Modeling.*
- Oude Essink. (2000). *Groundwater Modelling.*
- Oude Essink G. H. P. (1996). *Impact of sea level rise on groundwater flow regimes: A sensitivity analysis for the Netherlands.* Delft University of Technology.
- Peck, A., Gorelick, S. ., De Marsily, G., Foster, S., & Kovalevsky, V. (1988). *Consequences of spatial variability in aquifer properties and data limitation for groundwater modelling practice.*
- Perdikaki, M., Manjarrez, R. C., Pouliaris, C., Rossetto, R., & Kallioras, A. (2020). Free and open-source GIS-integrated hydrogeological analysis tool: an application for coastal aquifer systems. *Environmental Earth Sciences, 79(14), 1–17.* <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09092-2>
- Peters, J. . (1987). *Description and comparison of selected models for hydrologic analysis of ground-water flow, St. Joseph River Basin, Indiana.*
- Prickett, T. A. (1979). *Ground-water computer models-State of the art.*

Prickett, T. A. & Lonnquist, G. (1971). *Selected digital computer techniques for groundwater resource evaluation*.

Remson, I., Gorelick, S., & Fliegner, J. (1980). *Computer models in ground-water exploration*.

Rossetto, R., Borsi, I., & Filippis, G. De. (2017). *Simulation Tools for Water Resource Management and Water Consumption Assessment in Rural Environment*.

Schmid, W. et al. (2006) *User guide for the farm process (FMP1) for the U.S. Geological Survey's modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model, MODFLOW-2000, Techniques and Methods*. Available at: <https://doi.org/10.3133/tm6A17>.

Schmid and Hanson, R.T. (2009) 'The Farm Process Version 2 (FMP2) for MODFLOW-2005— Modifications and Upgrades to FMP1', *Techniques and Methods*, 6-A-32, p. 116. Available at: <http://pubs.usgs.gov/tm/tm6a32/pdf/tm6a32.pdf>.

Stephenson, G. R. and Freeze, R. A. (1974). *Mathematical simulation of subsurface flow contributions to snow-melt runoff, Reynolds Creek Watershed, Idaho*.

Townley, L. R., & Wilson, J. (1980). *Description of and user's manual for a finite element aquifer flow model Aquifem*.

Voss C. I. (1984). *A finite-element simulation model for saturated-unsaturated fluid density-dependent ground-water flow with energy-transport or chemically-reactive single-species solute transport*.

Winter, T. (1976). *Numerical simulation of the interaction of lakes and ground water*.

Διαμαντής, Ι., & Πλιάκας, Φ. (2011). *Ειδικά θέματα Εφαρμοσμένης Υδρογεωλογίας. Σημειώσεις στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών: Υδραυλική Μηχανική, του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Δ.Π.Θ.*

ΙΓΜΕ. (2010). *ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ*.

Καλλιώρας, Α. (2002). *Διερεύνηση συνθηκών υγαλμύρινσης υδροφόρων του νοτιοδυτικού πεδινού τμήματος του Ν. Ροδόπης*. Πολυτεχνική Σχολή του Δ.Π.Θ.

Καλλιώρας, Α. (2008). *Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων σε υδροφόρους που υπόκεινται σε καθεστώς θαλάσσιας διείσδυσης. Η περίπτωση του δυτικού παράκτιου τμήματος του Νομού Ροδόπης*. Πολυτεχνική Σχολή του Δ.Π.Θ.

- Καλλιώρας, Α. (2016). *Ειδικά Θέματα Αξιοποίησης Και Διαχείρισης Των Υπογείων Νερών-Υδρογεωλογικά Μοντελα Και Υπολογιστικοί Κωδικεσ.*
- Κατσάνου, Κ. (2012). *Περιβαλλοντική υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης του Λούρου ποταμού.*
- Λατινόπουλος. (1995). *Υδρολογία υπόγειων νερών.*
- Λόζιος, Σ., & Σκούρτσος, Μ. (2017). *Σημειώσεις Μαθήματος Γεωλογίας Ελλάδος: Περιγραφή Γεωτεκτονικών Ενοτήτων: Ιόνια Ενότητα, Ενότητα Κρήτης-Μάνης(Plattenkalk, Ενότητα Γαβρόβου-Τριπόλης.*
- Νικολάου.Ε. (2019). *Το Υπογειο Υδατικό Δυναμικό Της Ηπειρου Και Οι Υδροφοροι Του.* 1–26.
- Πλιάκας ,Φ. (1998). *Ερευνα Επι Των Καταλληλων Μεθοδων Τεχνητου Εμπλουτισμου Σε Ετερογενεις Υδροφορεις Αλλουβιακων Σχηματισμων. Εφαρμογες Σε Υδροφορεις Του Πεδινου Τμηματος Ξανθης.*
- Ράπτη, Δ. (1995). *Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής Σκύδρας-Επισκοπής (Μακεδονία). Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης των υδροφόρων στρωμάτων.* Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Σκούρτσος, Μ., & Λόζιος, Σ. (2017). *Σημειώσεις Μαθήματος Γεωλογίας Ελλάδος: Περιγραφή Γεωτεκτονικών Ενοτήτων: Ενότητα Πίνδου, Ενότητα Παρνασσού, Μεταβατικές Ενότητες.*
- Υπουργείο Γεωργίας. (1997). *Οριστική υδρογεωλογική μελέτη αναμόρφωσης υδατικού ισοζυγίου πεδιάδας της Άρτας.pdf.*

