



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**‘ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ’**

**“ΜΕΛΕΤΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΕΡΙΤΗ &  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ  
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΓΥΙΑΣ ΤΟΥ Ν.ΧΑΝΙΩΝ”**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**Νοέμβριος 2004**

## **Α.ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1. Σκοπός της εργασίας**

Αντικείμενο της παρούσης εργασίας είναι η υδρολογική μελέτη της υπολεκάνης της Αγυιάς, η οποία αποτελεί τμήμα της κύριας λεκάνης του Κερίτη του νομού Χανίων. Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος που παρουσιάζει όσον αφορά την πλούσια υδροφορία της. Στην περιοχή της Αγυιάς βρίσκεται η πλειοψηφία των γεωτρήσεων, πηγαδιών και πηγών του νομού Χανίων, από τις οποίες τροφοδοτείται η πόλη των Χανίων και οι γύρω περιοχές.

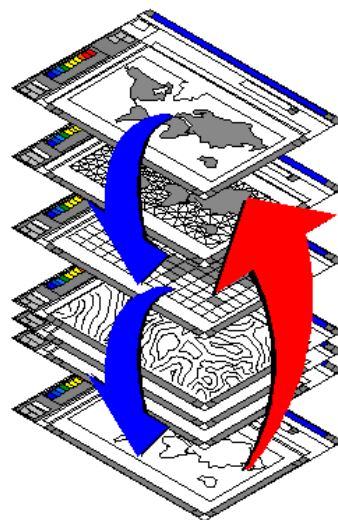
Στη συνέχεια έγινε προσομοίωση της κίνησης των υπογείων υδάτων του κύριου υδροφορέα με χρήση του εξειδικευμένου προγράμματος ARGUS ONE. Τα τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι ο υπολογισμός των υδραυλικών υψών και ταχυτήτων των υπογείων υδάτων στο τέλος της χειμερινής και της θερινής περιόδου. Τέλος, εξετάστηκε η κίνηση πιθανού ρύπου εντός των ορίων της υπό μελέτη περιοχής, η εξάπλωση του κατά τη διάρκεια ενός έτους και εντοπίστηκαν οι περιοχές με μεγαλύτερη επικινδυνότητα.

## 2. Προγράμματα

### 2.1 Εισαγωγικά

Για την προσομοίωση της κίνησης των υπογείων υδάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ARGUS ONE Student Version 4.2.0.q σε συνδυασμό με το Princeton Transport Code PTC.

Το ARGUS ONE είναι ένα πρόγραμμα που δημιουργεί πλέγματα πεπερασμένων στοιχείων ή διαφορών και απεικονίζει με απλό τρόπο τα αποτελέσματα. Περιέχει ένα σύνολο εργαλείων που επιτρέπουν την εισαγωγή ψηφιοποιημένων χαρτών, επεξεργασία τμήματός τους και τη δημιουργία πλέγματος. Επιτρέπει επίσης τη εισαγωγή διαφόρων μεταβλητών στο πλέγμα, όπως τιμές, συγκεντρώσεις, σημειακά δεδομένα κτλ. Αυτό γίνεται μέσω των επιπέδων πληροφορίας 'layers'. Τέλος, τα δεδομένα που σχηματίζονται μέσω του προγράμματος μπορούν να εξαχθούν σε format κατάλληλο για οποιοδήποτε αριθμητικό κωδικό.



Το επίπεδο πληροφορίας 'layer' είναι το βασικό στοιχείο με το οποίο λειτουργεί το πρόγραμμα. Μπορεί να περιγραφεί ως ένα διάφανο φύλλο όπου εγγράφονται όλες οι πληροφορίες. Σχεδιάζοντας το πεδίο ορισμού, πλέγματα, grids, χάρτες σε διαφορετικές διαφάνειες οι οποίες μπορούν να μετακινηθούν πάνω-κάτω, να διαγραφούν ή να αποκρυπτούν, ο χρήστης μπορεί να προσθέσει ή να μεταβάλλει τμήματα της μελέτης με γραφικό τρόπο.

Διαφορετικά είδη πληροφορίας μπορούν να αποθηκευτούν σε ειδικού τύπου επίπεδα 'layer'. Τα βασικά στοιχεία με τα οποία λειτουργεί το πρόγραμμα, δηλαδή πεδίο ορισμού, πλέγματα και grids ορίζονται στα layer 'Domain', 'Mesh' και 'Grid' αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα layers είναι 'πληροφορία', 'χάρτες' και 'δεδομένα'. Τα layer μπορούν να σχηματιστούν ή και να διαγραφούν από τον χρήστη.

Τα layer 'πληροφορίας' χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση μεταβλητών με το πλέγμα ή το grid. Για παράδειγμα, είναι δυνατός ο ορισμός της διαπερατότητας του εδάφους.

Τα layer ‘χάρτες’ χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή ψηφιοποιημένων χαρτών. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να εξαγάγει τα όρια του πεδίου ορισμού από το χάρτη ή απλά να χρησιμοποιήσει το χάρτη ως σημείο αναφοράς.

Τα layer ‘δεδομένων’ χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή δεδομένων άλλων προγραμμάτων (PTC κυρίως) στο ARGUS ONE. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για διάφορες χρήσεις, όπως είναι η δημιουργία γραφικής απόδοσης των αποτελεσμάτων του PTC.

Το Princeton Transport Code PTC είναι ένας κώδικας επίλυσης της ροής των υπογείων υδάτων στις 3 διαστάσεις και προσομοίωσης της μεταφοράς μάζας σε υπόγειους υδροφορείς. Ο αλγόριθμος είναι γραμμένος στη γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN77 και συνεργάζεται με το ARGUS ONE για την έκδοση αποτελεσμάτων. Για την επίλυση των πολύπλοκων διαφορικών εξισώσεων που προκύπτουν κατά τη μοντελοποίηση της υπόγειας ροής και μεταφορά μάζας για τα σύνθετα φυσικά συστήματα, απαιτείται η εφαρμογή σύνθετων μαθηματικών μεθόδων. Το PTC χρησιμοποιεί ένα αλγόριθμο διαχωρισμού ώστε να επιλύει τις τρισδιάστατες εξισώσεις, μειώνοντας τον υπολογιστικό φόρτο σημαντικά. Χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών για τη προσέγγιση του κάθετου προβλήματος και τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για το οριζόντιο (δισδιάστατο) πρόβλημα. Έτσι, κάθε τρισδιάστατο στοιχείο είναι μια στήλη με τριγωνική διατομή. Για τον υπολογισμό των εξισώσεων ροής και μεταφοράς μάζας χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος διαχωρισμού. Αρχικά επιλύονται τα οριζόντια στρώματα και μετά οι κάθετες γραμμές. Το αποτέλεσμα είναι μια πλήρης επίλυση σε 3 διαστάσεις που επιτυγχάνεται χωρίς να πρέπει να λυθεί ο πίνακας που δημιουργείται από το τρισδιάστατο πλέγμα.

## 2.2 Βασικές εξισώσεις

Το PTC χρησιμοποιεί το ακόλουθο σύστημα διαφορικών εξισώσεων για την αναπαράσταση της υπόγειας ροής, η οποία περιγράφεται από το υδραυλικό ύψος  $h$ ,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S \frac{\partial h}{\partial t} + Q = 0 \quad (1.1)$$

ταχύτητα  $v$ ,

$$V_x = -k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}, V_y = -k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}, V_z = -k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (1.2)$$

και συγκέντρωση  $c$ ,

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial x} \left[ D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{xz} \frac{\partial c}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ D_{yx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{yz} \frac{\partial c}{\partial z} \right] + \\
& \frac{\partial}{\partial z} \left[ D_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{zy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} \right] - \left[ V_x \frac{\partial c}{\partial x} + V_y \frac{\partial c}{\partial y} + V_z \frac{\partial c}{\partial z} \right] + \\
& Q(c^\omega - c) - 0[1 + E(c)] \left( \frac{\partial c}{\partial t} \right) = 0
\end{aligned} \tag{1.3}$$

Οι εξισώσεις αυτές προκύπτουν από την αρχή διατήρησης της μάζας και το νόμο του Darcy. Η σειρά που ακολουθείται για την επίλυση των εξισώσεων είναι η εξής: πρώτα υπολογίζονται τα υδραυλικά ύψη (1.1), στη συνέχεια οι ταχύτητες Darcy (1.2) και τέλος η συγκέντρωση (1.3).

### 2.3 Τρισδιάστατη υπόγεια ροή

Το PTC ορίζει τα χαρακτηριστικά ροής του συστήματος υπογείων νερών, επιλύοντας ως προς το υδραυλικό ύψος την ακόλουθη μερική διαφορική εξίσωση:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S \frac{\partial h}{\partial t} + \sum_{i=1}^r Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i) = 0 \tag{1.4}$$

όπου, χρησιμοποιώντας ένα βασικό σύνολο μονάδων μήκος (L), χρόνο (T) και μάζα (M)

h: υδραυλικό ύψος

$k_{xx}$ : υδραυλική αγωγιμότητα στην x-οριζόντια διεύθυνση

$k_{yy}$ : υδραυλική αγωγιμότητα στην y-οριζόντια διεύθυνση

$k_{zz}$ : υδραυλική αγωγιμότητα στην z-κατακόρυφη διεύθυνση

S: συντελεστής αποθηκευτικότητας

$Q_i$ : Εκροή ή κατείσδυση στην περιοχή i

$\delta(\cdot)$ : η Dirac Delta Function

r: ο αριθμός των σημείων εκροής ή κατείσδυσης

Η εξίσωση αυτή (1.4) λύνεται αριθμητικά από το PTC χρησιμοποιώντας τις μεθόδους των πεπερασμένων διαφορών και στοιχείων. Στη συνέχεια θα δούμε αναλυτικά κάθε μέθοδο.

## 2.4 Εφαρμογή της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων

Η διαδικασία που ακολουθεί το PTC για την επίλυση της εξίσωσης (1.4) περιλαμβάνει τους προσεγγιστικούς όρους της (1.4) που περιέχουν τις  $x$  και  $y$  μεταβλητές μέσω μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων. Τα πεπερασμένα στοιχεία χρησιμοποιούνται ευρέως στο οριζόντιο επίπεδο. Η μέθοδος αυτή υποθέτει ότι υπάρχει ένα άπειρο σύνολο συναρτήσεων που αντιπροσωπεύει ακριβώς τη λύση στη μερικώς διαφορική εξίσωση που περιγράφει την υπόγεια ροή.

Ένα ορισμένο σύνολο είναι:

$$h(x, y, z, t) \sim \bar{h}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^N h_i(z, t) \omega_i(x, y) \quad (1.5)$$

όπου  $h$ : υδραυλικό ύψος

$\bar{h}$ : το προσεγγιστικό  $h$

$h_i$ : απροσδιόριστος συντελεστής

$\omega_i$ : μια θεμελιώδης συνάρτηση

$N$ : ο αριθμός των κόμβων του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων

Η εξίσωση 1.5 παρέχει μια ακριβή απεικόνιση καθώς το  $N$  πλησιάζει το άπειρο. Με μια προσεκτική επιλογή των συναρτήσεων  $\omega_i$ , ο απροσδιόριστος συντελεστής  $h_i$  αποτελεί τις αρχικές τιμές των κόμβων με συντεταγμένες  $(x, y, z)$ . Κλειδί για την υπολογιστική ευκολία της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων είναι η χρήση συνεχών θεμελιωδών συναρτήσεων με ξεχωριστά βήματα οι οποίες είναι μη μηδενικές σε μικρή υποπεριοχή μόνο. Ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά διαφορετικά είδη θεμελιωδών συναρτήσεων, το PTC χρησιμοποιεί με ξεχωριστά βήματα γραμμικές θεμελιώδεις συναρτήσεις.

## 2.5 Εφαρμογή της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών

$$Ah + B \frac{\partial h}{\partial t} - v + f = 0 \quad (1.6)$$

όπου  $A$  και  $B$  είναι πίνακες ( $N \times N$ ), και  $h$ ,  $\partial h / \partial t$ ,  $v$  και  $f$  είναι διανύσματα στήλης μήκους  $N$ .

$$A_{ij} = \iint_{\Omega} \left[ K_{xx} \frac{\partial \omega_i}{\partial x} \frac{\partial \omega_j}{\partial x} + K_{yy} \frac{\partial \omega_i}{\partial y} \frac{\partial \omega_j}{\partial y} \right] d_x d_y \quad (1.7)$$

$$B_{ij} = \iint_{\Omega} S \omega_i \omega_j d_x d_y \quad (1.8)$$

$$f_i = - \iint_{\Omega} Q \omega_i d_x d_y - \int_{\sigma} \left[ \kappa_{xx} \frac{\partial \bar{h}}{\partial x} l_x + \kappa_{yy} \frac{\partial \bar{h}}{\partial y} l_y \right] \omega_i d\sigma, \quad (1.9)$$

η f περιέχει οριακές συνθήκες

$$n_i = \sum_{j=1}^N \left[ \iint_{\Omega} \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h_j}{\partial z} \right) \omega_j \omega_i d_x d_y \right] \quad (1.10)$$

## 2.6 Η κάθετος παράγωγος

Το κεντρικό χαρακτηριστικό του παραπάνω κώδικα είναι η χρήση ενός βασικού πλάνου για τις παραγώγους στην κατακόρυφο διεύθυνση (1.10). η κατακόρυφη διακριτοποίηση γίνεται αφού τα οριζόντια πλέγματα των πεπερασμένων στοιχείων αντιγράφονται σε επίπεδα (σχήμα 2.1). Κατά την κατακόρυφο διεύθυνση η εξίσωση 1.10 προσεγγίζεται από μια μονοδιάστατη εξίσωση πεπερασμένων διαφορών.

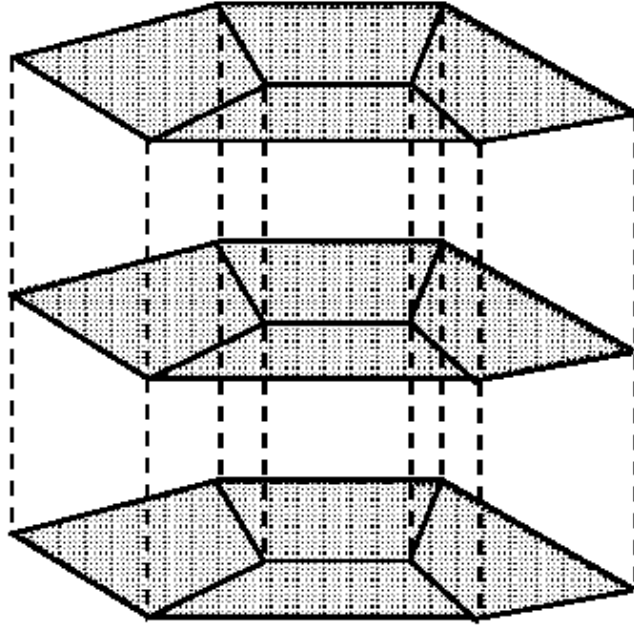


Figure 2.1: Schematic of horizontal finite-element meshes stacked atop one another, producing the three-dimensional discretization.

Χρησιμοποιώντας το  $k$  ως κατακόρυφο δείκτη, όπου  $k=1$  στο κατώτατο επίπεδο, η προσέγγιση σε μορφή πινάκων γίνεται:

$$v \cong C_K^+ (h_{k+1} - h_k) - C_K^- (h_k - h_{k-1}) \quad (1.11)$$

Αντικαθιστώντας την 1.11 στην 1.6 παίρνουμε την ακόλουθη εξίσωση που αποτελεί την έκφραση του επιπέδου  $k$ :

$$A_k h_k + B_k \frac{\partial h_k}{\partial t} - [C_K^+ (h_{k+1} - h_k) - C_K^- (h_k - h_{k-1})] + f_k = 0 \quad (1.12)$$

όπου  $h_k$  αναπαριστά το διάνυσμα  $h$  των υψών του  $k$  επιπέδου,  $k=1,2,\dots,M$ , όπου  $M$  ο αριθμός των επιπέδων κατά  $z$ .

## 2.7 Οριακές συνθήκες - Boundary conditions

Το πρόγραμμα PTC χρησιμοποιεί 3 τύπους οριακών συνθηκών για την εξίσωση της ροής, Dirichlet (ορισμένου ύψους), Neumann (ορισμένης ροής) και τρίτου είδους (διαρροής). Οι οριακές συνθήκες μπορούν να αλλάζουν από τον χρήστη κατά τη διάρκεια μιας εξομοίωσης. Η προεπιλεγμένη οριακή συνθήκη για όλες τις ροές είναι η μηδενική. Αυτό συνεπάγεται ένα περιορισμένο υδροφορέα με αδιαπέρατο πυθμένα και πλευρές. Επιλέγοντας εναλλακτικές οριακές συνθήκες ο χρήστης αναπαριστά πλήθος υδρολογικών συνθηκών.



### 2.7(i) α' είδους συνθήκη – σταθερό υδραυλικό ύψος

Τα σταθερά οριακά υδραυλικά ύψη καθορίζονται με τον ορισμό των κόμβων και των τιμών των υδραυλικών υψών σε κάθε έναν από τους κόμβους αυτούς. Ο κώδικας προγραμματισμού του μοντέλου επιλύει αυτόματα αυτές τις γραμμές και στήλες στον πίνακα συντελεστή ο οποίος αφορά τους κόμβους αυτούς. Όσο οι κόμβοι με σταθερά ύψη είναι με αυτό τον τρόπο εξαλειμμένοι από την εξίσωση του πίνακα, θα μας απομένουν  $(N \times M - N_c)$  εξισώσεις με  $(N \times M - N_c)$  αγνώστους, με το  $N_c$  να αντιπροσωπεύει το συνολικό αριθμό κόμβων με σταθερά οριακά υδραυλικά ύψη στο πεδίο ροής που εξετάζουμε.

### 2.7(ii) β' είδους συνθήκη – σταθερή ροή

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων εξασφαλίζει μια πολύ απλή ερμηνεία των καθορισμένων οριακών συνθηκών ροής. Με την εφαρμογή του θεωρήματος του Green δημιουργείται μια οριακή εξίσωση η οποία μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$-\int_{\sigma} \left[ k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} l_x + k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} l_y \right] \omega_i \cdot d\sigma = -\int q_n \omega_i \cdot d\sigma \quad (1.13)$$

όπου  $q_n$  είναι η κανονική ροή ανά μονάδα επιφανείας (μήκος επί ύψος) του καθέτου περιοριστικού ορίου  $\sigma$ . Όταν η ροή  $q_n$  είναι σταθερή κατά μήκος  $L$ , η ολοκλήρωση της εξίσωσης 1.13 θα δώσει κομβικές κατανομές που δείχνονται στο παρακάτω σχήμα 2.2.. Συνεπώς ο χρήστης χρειάζεται μόνο να καθορίσει την ογκομετρική παροχή στο όριο. Ροές που οφείλονται σε άντληση εισάγονται μαθηματικά με τον ίδιο τρόπο. Γι'αυτό το λόγο, ο χρήστης ορίζει μια ογκομετρική παροχή στον κόμβο. Για τη διευκόλυνση της δημιουργίας μιας ενιαίας διήθησης ο κώδικας επιτρέπει τη βαθμονόμηση ενός κόμβου ροή διήθησης. Η χωρική ολοκλήρωση που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί η ογκομετρική ροή γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα.

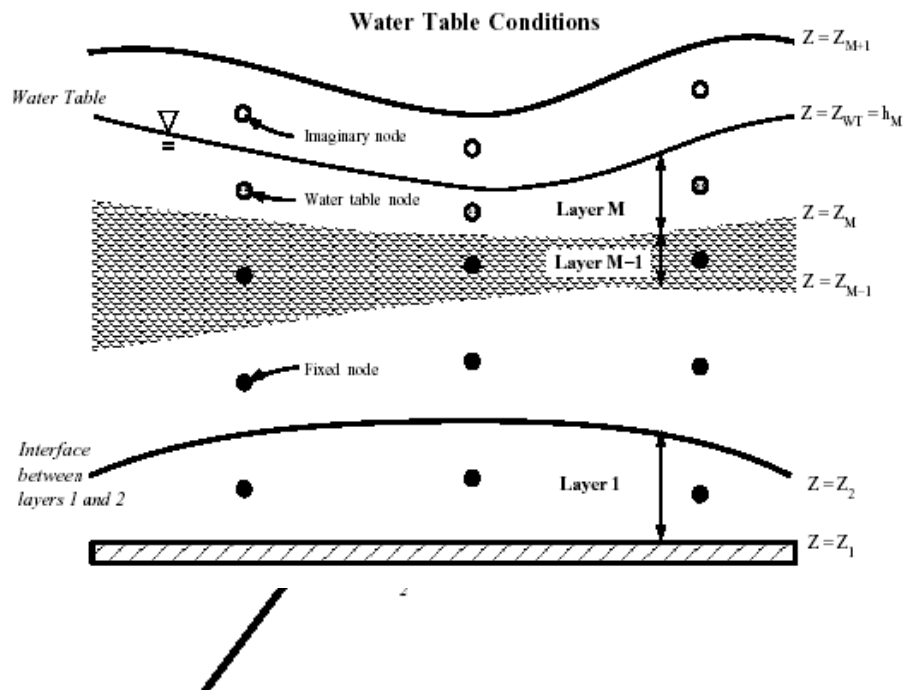


Figure 2.2: Nodal distribution of flux  $q$  across an element of length  $L$ . For linear elements, each node is equally weighted.

### 2.7(iii) 3<sup>ον</sup> είδους συνθήκη – συνθήκες διαρροής

Οι οριακές συνθήκες διαρροής εισάγονται με αντικατάσταση στην εξίσωση 1.9

$$Q = k_L \left( h_{j,L}^t - h_{j,k}^t \right) \quad (1.14)$$

όπου  $h_{j,k}^t$  είναι το άγνωστο ύψος στον κόμβο  $j$  του επιπέδου  $k$  τη χρονική στιγμή  $t$ ,

$h_{j,L}^t$  είναι το αντίστοιχο ύψος στο σημείο αναφοράς της διαρροής και  $k_L$  είναι ο

συντελεστής αγωγιμότητας (η υδραυλική διαπερατότητα προς την απόσταση). Ο όρος αγωγιμότητα ολοκληρώνεται για την περιοχή και με αυτόν τον τρόπο αναπαριστά μια κάθετη διαρροή. Με κατάλληλο ορισμό της σταθεράς  $k_L$ , μπορεί να προσδιοριστεί οποιαδήποτε κατεύθυνση διαρροής.

**σχήμα 2.3** Οι συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα και βροχόπτωσης στο άνω όριο. Οι επιφάνειες που συμβολίζονται με  $z$  έχουν συγκεκριμένα όρια και ορίζουν τα επίπεδα.

### 2.8 Συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα

Ο ορισμός των συνθηκών για τον υδροφόρο ορίζοντα ή τον μη περιορισμένο υδροφορέα απαιτεί την εισαγωγή δυο οριακών συνθηκών της στάθμης των υδάτων στο άνω επίπεδο. Η σχηματική αναπαράσταση της κίνησης του νερού καθώς υπόκειται σε διήθηση λόγω βαρύτητας φαίνεται στην εικόνα 2.3. Το σταθερό υψόμετρο των άνω ορίων των ορίων της ροής είναι  $z = Z_{m+1}(x, y, t)$  και το πραγματικό είναι  $z = Z_{WT}(x, y, t)$ .

Η πρώτη οριακή συνθήκη δηλώνει ότι η στάθμη του νερού στο άνω επίπεδο  $h_m$  ορίζει το πάχος του υδροφορέα. Για κάθε κόμβο απαιτούνται:

$$(z_{WT})_i = (h_M)_i \quad (1.15)$$

Υποθέτουμε ότι ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται εντός του άνω επιπέδου ( $\kappa=M$ ). Το πρόγραμμα υπολογίζει τα υδραυλικά ύψη στο άνω επίπεδο, ελέγχει εάν οι τιμές του  $h_M$  βρίσκονται εντός ορίων:

$$z_M \leq h_M \leq z_{M+1} \quad (1.16)$$

Εάν δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις, το πρόγραμμα ενημερώνει το χρήστη και η εκτέλεση τελειώνει.

Η δεύτερη οριακή συνθήκη περιγράφει την προσωρινή αντίδραση του υδροφορέα στη διήθηση. Έστω  $S_y$  η συγκεκριμένη **μεταβλητή** κοντά στον υδροφορέα.

$$S_y \frac{\partial h}{\partial t} + K_z \frac{\partial h}{\partial z} = R \quad (1.17)$$

## **Β.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ**

### **1. Προσδιορισμός περιοχής μελέτης**

Η Λεκάνη Κερίτη έχει έκταση 176 km<sup>2</sup> περίπου. Βρίσκεται στο βόρειο κεντρικό τμήμα της επαρχίας Κυδωνίας του νομού Χανίων, με διεύθυνση βοράς – νότος, σε απόσταση 12 περίπου χιλιομέτρων δυτικά της πόλης των Χανίων. Εκτείνεται από βορά από το Γεράνι έως τον Γαλατά φτάνοντας νοτιώς τις κορυφές των Λευκών Ορέων. Περιλαμβάνει τους οικισμούς Βρύσσες, Βατόλακο, Κουφό, Αλικιανό, Σκινέ, Φουρνέ, Αγιά, Βαρύπετρο, Ορθούνι, Καρές, Λάκκοι και Μεσκλά.



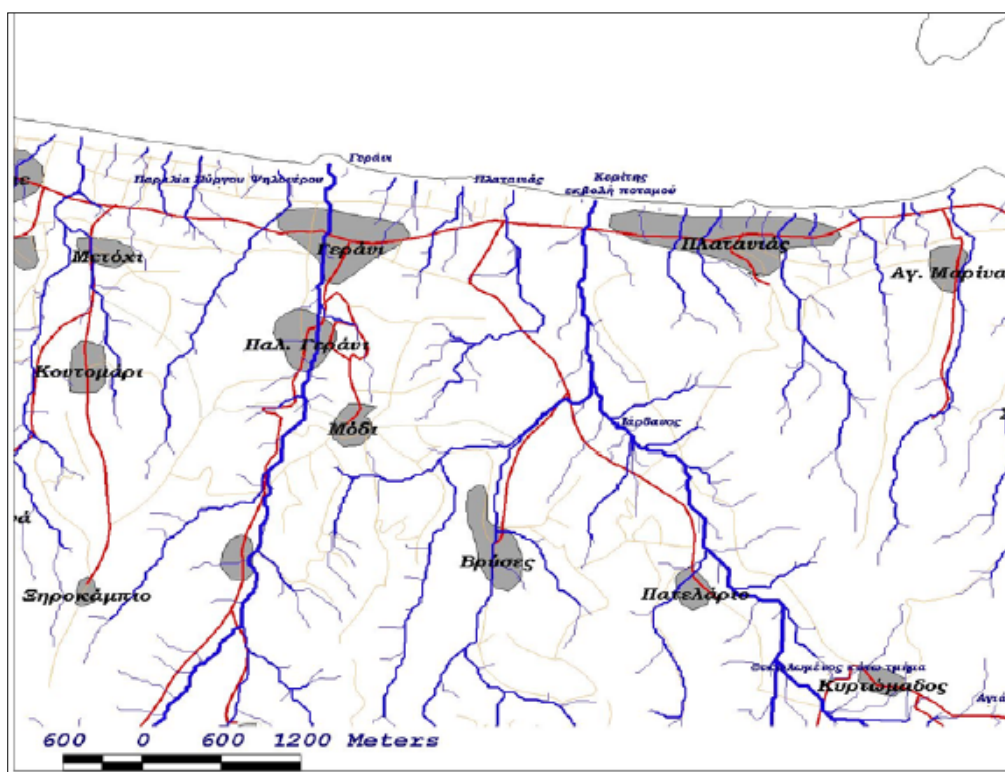
Η περιοχή ενδιαφέροντος στην περιοχή της Αγιάς στην οποία εφαρμόστηκε η προσομοίωση με το πρόγραμμα ARGUS ONE είναι τμήμα της ευρύτερης Λεκάνης του Κερίτη. Έχει έκταση 30 km<sup>2</sup> περίπου και περιλαμβάνει την Αγιά, Κουφό, Αλικιανό και Σκινέ. Στην περιοχή αυτή βρίσκονται τα περισσότερα σημεία εμφάνισης νερού ΣΕΝ, τα οποία αναφέρονται σε γεωτρήσεις, πηγάδια και πηγές.

### **2. Ιστορικά**

Η ονομασία της λεκάνης του Κερίτη προέρχεται από τον ομώνυμο ποταμό, ο οποίος αναφέρεται από τον Όμηρο σαν Ιάρδανος, ονομασία που επανέρχεται για το κομμάτι της εκβολής του. Πρόκειται για ένα μεγάλο ποταμό με αμμώδεις όχθες ο οποίος καταλήγει στη θάλασσα στην περιοχή του Πλατανιά. Η παραλία, η εκβολή του ποταμού και η θαμνώδης έκταση δυτικά και ανατολικά είναι ενδιαφέρουσες περιοχές κατά τη διάρκεια της μετανάστευσης των πουλιών. Όλη η κοιλάδα έχει ενδιαφέρον λόγω της σημαντικής δεντρώδους ανάπτυξης. Η κοιλάδα του Φασά έχει ενδημικές φτέρες και συστάδες με καστανιές.



**Εικόνα1** Ποταμός Κερίτης



**Εικόνα 2** Ποταμός, εκβολή και παραλία Κερίτη

Στον χείμαρρο Κερίτη εκβάλλουν οι παραπόταμοι ή παραχείμαρροι: Μεσκληανός, Μαύρος, Σκινιανός, Βαρσαμιώτης και της Αγιάς. Όλοι αυτοί μαζί με τον Κερίτη συνθέτουν το πρωτεύον αποχετευτικό δίκτυο της υδρολογικής λεκάνης.

Το νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής αποτελεί τμήμα του ορεινού όγκου των Λευκών Ορέων. Το υδρογραφικό δίκτυο σε αυτό το τμήμα είναι αραιό με βαθιές χαραδρώσεις. Η βλάστηση επίσης είναι ελάχιστη.

Το ενδιάμεσο τμήμα είναι ημιορεινό και λοφώδες με πυκνότερο υδρογραφικό δίκτυο και πιο πλούσια βλάστηση. Περιλαμβάνει σχηματισμούς φυλλιτών και χαλαζιτών.

Το βόρειο τμήμα τέλος, είναι πεδινό, με πλούσια βλάστηση και υδροφορία. Εδώ βρίσκεται ο υγρότοπος της Αγιάς.

### 3.Οικολογία

Στην περιοχή περιλαμβάνεται ο υγρότοπος της Αγιάς, ο οποίος είναι τμήμα ενός μεγαλύτερου που περιλαμβάνει τον ποταμό Κερίτη μέχρι τις εκβολές του. Στην περιοχή NATURA 2000 περιλαμβάνεται όλος ο βιότοπος με τα παρακάτω στοιχεία:

NATURA 2000

Sitecode: A4340006

Site Name: Λίμνη Αγιάς – Πλατανιάς – ρέμα & εκβολή Κερίτη – Κοιλιάδα Φασάς

Γεωγραφικό Μήκος: 23<sup>0</sup> 56'0'', Πλάτος: 35<sup>0</sup> 28'00''

Έκταση: 410 ha

Υψόμετρο Ελαχιστο: 0μ., Μέγιστο: 200μ., ΜΕΣΟ: 30μ.

Η λίμνη δημιουργήθηκε το 1927-8 με την κατασκευή τεχνητού φράγματος στη νότια πλευρά της, για την εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού της περιοχής και για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Με την πάροδο του χρόνου απέκτησε χαρακτηριστικά υγροτόπου.

#### 3.i Ορνιθοπανίδα

Και οι δυο όχθες του ποταμού κοντά στην εκβολή είναι καλυμμένες από γιγάντια καλάμια *Arundo donax* όπου μπορούν να βρουν καταφύγιο ερωδιοί, μυγοχάφτες, τσιροβάκοι, ποταμίδες, φυλλοσκόποι. Στην παραλία αλλά και στο ποτάμι φωλιάζει ο ποταμοσφυριχτής, στις καλαμιές των όχθων η καλαμοποταμίδα και η ωχροστριτίδα και στα πλατάνια της κοίτης το αηδόνι.



**Εικόνα 3** *Νυχτοκόρακας (nycticorax)*

Μεταξύ των ειδών που έχουν καταγραφεί: σταυραετός, φιδαιτός, σφηκιάρης, τσίφτης, μαυροπετρίτης, μαυροκιρκίνεζο, θαλασσοσφυριχτής, πετροτριλίδα, διπλομπεκάτσινο, σταχτοτσικνιάς, μικροτσικνιάς, κιστικόλη, μαυρολαίμης, καστανολαίμης, δεντροσπουργίτης, συρλοτσίχλονο, μαυρομυγοχάφτης, ψευταηδόνι, ακτίτης, κορμοράνος, αρτέμης, μύχος, ασπροκόλα, δεντροφυλλοσκόπος, τρυποφράχτης, σκαρθάκι.

### 3.ii Λοιπή Πανίδα

Σημαντικοί πληθυσμοί για τον κρητικό βάτραχο (*Rana cretensis*), δενδροβάτραχο (*Hyla arborea*), φρύνο (*Bufo viridis*) και νεροχελώνα (*Mauremys rivulata*). Έχει καταγραφεί και το εισαχθέν είδος βατράχου *Rana catesbiana*. Επίσης συναντάμε τα: σπιτικό σαμιαμίθι (*Hemidactylus turcicus*), τρανόσαυρα (*Lacerta trilineata*), λακόνι (*Chalcides ocellatus*), δεντρογαλιά (*Coluber gemonensis*), όχεντρα (*Elaphe situla*), νερόφιδο (*Natrix tessellata*), όφις (*Telescopus fallax*), άρκαλος (*Meles meles*), καλλιγιαννού (*Mustela nivalis*), ζουρίδα (*Martes foina*), σκαντζόχοιρος (*Erinaceus concolor*), μυγαλή (*Crocidura suaveolens*), νανομυγαλή (*Suncus etruscus*), λαγός (*Lepus europaeus*), δασοποντικός (*Apodemus sylvaticus*), ποντικός (*Mus musculus*), αρουραίος (*Rattus rattus*). Στην παραλία αναπαράγεται η θαλάσσια χελώνα (*Caretta caretta*).

### 3.iii Χλωρίδα

Στις ακτογραμμές υπάρχουν θίνες με τα αγρωστώδη (*Ammophila arenaria*). Στο τμήμα της κοιλάδας του Φασά παρατηρούνται στα ποτάμια υδροχαρείς φυτοκοινωνίες με επιπλέουσα βλάστηση. Στις απότομες σχιστολιθικές πλαγιές επικρατούν τα αγρωστώδη *Scirpus cernuus* και πολλά σπάνια βρύοφυτα. Οι φτέρες καλύπτουν μεγάλη έκταση της περιοχής και ξεχωρίζει απ' αυτές το σπάνιο είδος *Woodwardia radicans*.



#### 4 Υδρολογικά μετεωρολογικά δεδομένα

Τα χαρακτηριστικά των βροχομετρικών και μετεωρολογικών σταθμών που βρίσκονται εντός ή κοντά στην περιοχή μελέτης φαίνονται στον πίνακα 1. Οι αντίστοιχες χρονοσειρές που περιλαμβάνουν βροχόπτωση, θερμοκρασία και εξάτμιση φαίνονται στον πίνακα 2. Υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για την περίοδο 1977-1997.

Κωδικός σταθμού	Ονομασία	Τοποθεσία ΕΓΣΑ 87		Υψόμετρο (μ)
		Χ	Ψ	
MT4	Αλικιανός	492238,8	3922540	66,3
MT3	Αγροκήπιο	502876,3	3927430	8
MT41	Ταυρωνίτης	484018,4	3930876	15,4
RG20	Παλαιά Ρούματα	479746,3	3917260	316
RG29	Πρασσές	486286,5	3914250	520

**πίνακας 1** Πίνακας σταθμών περιοχής μελέτης

MT: Μετεωρολογικός σταθμός

RG:Βροχομετρικός σταθμός

Κωδικός σταθμού	Ονομασία	Κωδικός παραμέτρων	Περίοδος μετρήσεων	
			Έναρξη	Λήξη
MT4	Αλικιανός	PH	1/1971	8/1993
		TH	1/1971	12/1990
		EH	1/1986	12/1990
MT3	Αγροκήπιο	TH	1/1971	12/1990
		EH	1/1986	12/1990
		PH	1/1971	12/1990
MT41	Ταυρωνίτης	PH	1/1971	12/1990
RG20	Παλαιά Ρούματα	PH	9/1967	8/1997
RG29	Πρασσές	PH	12/1990	8/1997

**πίνακας 2** Περίοδος μετρήσεων σταθμών

PH: βροχόπτωση

EH: εξάτμιση, TH: θερμοκρασία



## 5 Κλιματολογικά στοιχεία

### 5.1 Γενικά

Ο τύπος κλίματος της Κρήτης είναι ένας μεταβατικός ενδιάμεσος τύπος μεταξύ του χερσαίου Μεσογειακού και ερημοειδούς Μεσογειακού, στο οποίο υπάγεται κυρίως η νοτιοανατολική Κρήτη. Το κύριο χαρακτηριστικό του κλίματος είναι η γλυκύτητα και η ηπιότητα. Η ψυχρή εποχή είναι ήπια και σε αυτό συντελεί η συχνή άφιξη στην περιοχή των θερμών και υγρών ΝΔ αερίων μαζών.

Ο νομός Χανίων ανήκει στις πεδινές και ημιορεινές περιοχές του στον ύψυγρο βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα θερμό ήπιο ή ψυχρό, ενώ οι ορεινές περιοχές του ανήκουν στον υγρό βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα ήπιο ή ψυχρό. Ένα πολύ μικρό μέρος των πολύ ορεινών περιοχών του νομού ανήκει στον υγρό βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα δριμύ.

Ολόκληρη η παραλιακή ζώνη της βόρειας και νότιας Κρήτης έχει έντονο θερμομεσογειακό χαρακτήρα με αριθμό βιολογικώς ξηρών ημερών κατά τη θερμή και ξηρά περίοδο ( $125 < \chi < 150$ ). Στις ημιορεινές και ορεινές περιοχές ο χαρακτήρας μετατρέπεται σε έντονο μεσο-μεσογειακό ( $75 < \chi < 100$ ), ασθενή μεσο-μεσογειακό ( $40 < \chi < 75$ ), υπομεσογειακό ( $0 < \chi < 40$ ), ενώ μόνο η κορυφή των Λευκών Ορέων υπάγεται στον υποξηρικό ψυχρό με περίοδο υπόξηρη χαρακτήρα ( $\chi = 0$ ). («Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

Συγκεκριμένα στην περιοχή ενδιαφέροντος το κλίμα είναι μεσογειακό με θερμό και ξηρό καλοκαίρι και βροχερό και ήπιο χειμώνα. Ο χειμώνας αρχίζει το δεύτερο δεκαήμερο του Νοεμβρίου και παρατείνεται μέχρι το Μάρτιο με πολλές βροχοπτώσεις. Η άνοιξη είναι μικρής διάρκειας, από τον Απρίλιο έως αρχές Μαΐου και παρουσιάζει μικρές βροχοπτώσεις. Το καλοκαίρι αρχίζει συνήθως μέσα Μαΐου και διαρκεί έως τέλη Σεπτεμβρίου με λίγες βροχοπτώσεις κατά το μήνα αυτό. Ολικοί παγετοί δεν εμφανίζονται στην περιοχή ενώ οι μερικοί ή λευκοί αποτελούν σπάνιο φαινόμενο. Οι χιονοπτώσεις είναι σπάνιες και δεν δημιουργούν πρόβλημα στα χαμηλά υψόμετρα. Το χαλάζι είναι ένα σπάνιο φαινόμενο στα χαμηλά υψόμετρα, έχει μικρό μέγεθος και δεν προκαλεί ζημιές. Η θερμοκρασία ελάχιστες φορές με εξαίρεση τα μεγάλα υψόμετρα (Ζούρβα) πέφτει υπό το μηδέν. Οι άνεμοι που παρατηρούνται συνήθως στην περιοχή είναι Δυτικοί και Βορειοδυτικοί μέσης εντάσεως. Οι παραπάνω λόγοι εξηγούν τη μεγάλη

ευδοκίμηση των καλλιεργειών στην περιοχή και ειδικότερα των εσπεριδοειδών. («Διαχειριστικό σχέδιο για τον Υγρότοπο της Αγιάς», 1998)

## 5.ii Θερμοκρασία

(«Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

Στο νομό Χανίων υπάρχουν 5 σταθμοί μέτρησης της θερμοκρασίας αέρος, Αγροκηπίου, Αλικιανού, Καλυβών, Βάμου και Σούδας. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις του σταθμού του Αλικιανού, ο οποίος βρίσκεται εντός της περιοχής μελέτης.

Από την αξιολόγηση των θερμοκρασιακών δεδομένων του σταθμού προέκυψαν τα εξής:

Σταθμός °C	Μέση ετήσια θερμοκρασία	Μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία	Μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία	Ετήσιο θερμομετρικό εύρος
Αλικιανός	16,96	8	26,0	18,0

Το κλίμα της Κρήτης θεωρείται προνομιούχο και αυτό οφείλεται στην κεντρική θέση που κατέχει η νήσος στην Ανατολική Μεσόγειο. Ο χειμώνας αρχίζει κατά τα μέσα Δεκεμβρίου και είναι ήπιος, ενώ ψυχρότερος μήνας του έτους είναι ο Φεβρουάριος ο οποίος διαφέρει ελάχιστα από τον Ιανουάριο. Θερμότερος μήνας του έτους είναι ο Ιούλιος με μέση υπερετήσια θερμοκρασία περίπου 25 °C. Ο Ιούνιος εμφανίζει χαμηλότερη θερμοκρασία τόσο από τον Ιούλιο όσο και από τον Αύγουστο, παρουσιάζοντας ίδια επίπεδα θερμοκρασίας με τον Σεπτέμβριο, ο οποίος παρουσιάζει μέση υπερετήσια θερμοκρασία περίπου 21,5 °C (Αλικιανός). Οι θερμοκρασίες αυτές προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη χρονική διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου, η οποία στην περιοχή μελέτης καλύπτει τουλάχιστον 4 μήνες. Η εικόνα διαφοροποιείται σημαντικά στα ορεινά όπου οι μέσες θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες, οι θερμοκρασιακές αποκλίσεις εντονότερες και οι θερμοκρασίες κατά τους χειμερινούς μήνες σημαντικά χαμηλότερες. Με βάσει τα παραπάνω μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

Η πεδινή ζώνη της Κρήτης αποτελεί κλιματικά μια μετάβαση από το Μεσογειακό προς το ημιορεινικό κλίμα. Χαρακτηρίζεται από μικρό ύψος βροχοπτώσεων, ήπιο χειμώνα και ξηρή περίοδο μεγάλης διάρκειας. Το θέρος λόγω θαλάσσιας αύρας και των

ετήσιων ανέμων είναι σχετικά δροσερό και διαρκεί από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο. Θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Στην περιοχή αυτή δεν παρατηρείται ποτέ παγετός και η θερμοκρασία σπάνια πέφτει κάτω από 0 °C. Οι θερμοκρασιακές αποκλίσεις είναι ήπιες.

Η ορεινή ζώνη της Κρήτης εμφανίζει μεγαλύτερες θερμοκρασιακές αποκλίσεις, μέση ετήσια θερμοκρασία 2-3 °C χαμηλότερη από την πεδινή ζώνη. Η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα ταυτίζεται με τα επίπεδα των πεδινών σταθμών, ενώ η μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα είναι κατά 3 °C χαμηλότερη. («Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

### **5.iii Υγρασία**

(«Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

Η μέση ατμοσφαιρική σχετική υγρασία είναι σε ολόκληρη τη βόρεια Κρήτη ελάχιστη τον Ιούνιο και μέγιστη τον Δεκέμβριο. Μεταξύ των βορείων σταθμών η μέση ελάχιστη μηνιαία σχετική υγρασία μειώνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι χαμηλές τιμές υγρασίας τους καλοκαιρινούς μήνες, ιδιαίτερα στη νότια Κρήτη, καθιστούν το θέρος ευχάριστο και δε δημιουργούν συνθήκες δυσφορίας.

### **5.iv Βροχόπτωση**

(«Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

Η μέση ετήσια βροχόπτωση στη Κρήτη παρουσιάζει αύξηση από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από νότια προς βόρεια. Στην πόλη της Σητείας η τιμή της είναι 490mm, στο Ηράκλειο 470mm ενώ στους σταθμούς Αλικιανού και Σούδας 824mm και 600mm αντίστοιχα.

Η Κρήτη γενικά παρουσιάζει σημαντική ανισοκατανομή του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης, τόσο γεωγραφικά όσο και φυσιογραφικά, εμφανίζοντας βροχοβαθμίδα από τις μεγαλύτερες στην Ελλάδα.

Η μέση μηνιαία βροχόπτωση είναι μέγιστη τον Δεκέμβριο ή τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, οι οποίοι είναι σχεδόν άνομβροι σε ολόκληρη την πεδινή Κρήτη. Το 25% της ετήσιας βροχόπτωσης συμβαίνει κατά τη διάρκεια του βροχότερου μήνα. Ο μηνιαίος αριθμός ημερών βροχής κυμαίνεται από 0,3 έως 15 ημέρες

για Δεκέμβριο/Ιανουάριο και Ιούλιο/Αύγουστο αντίστοιχα. Ο μέσος αριθμός ημερών βροχής στην Κρήτη ανέρχεται σε 90 ημέρες περίπου

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις σε mm, η μέση τιμή ημερών βροχής κατά μήνα και έτος καθώς και η εξάτμιση όπως υπολογίστηκε από παρατηρήσεις 50 ετών στην περιοχή της λεκάνης της Αγιάς.

ΜΗΝΕΣ	Μέσες Μηνιαίες Βροχοπτώσεις	Ημέρες Βροχής	Εξάτμιση Απο Εξατμισόμετρο
Ιανουάριος	176,4	15,3	35
Φεβρουάριος	137	14,3	40
Μάρτιος	119,5	10,5	67
Απρίλιος	52,8	7	117
Μάιος	9,9	3,4	175
Ιούνιος	5,8	0,9	235
Ιούλιος	0,9	0,5	246
Αύγουστος	4,9	0,6	207
Σεπτέμβριος	24,3	2,7	142
Οκτώβριος	82,1	7,8	81
Νοέμβριος	111,2	11,4	3
Δεκέμβριος	125,9	14,5	30
<b>ΕΤΟΣ</b>	<b>850,7</b>	<b>89</b>	<b>1412</b>

## 5.ν Άνεμοι

(«Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

Καθόλη τη διάρκεια του έτους επικρατούν κυρίως βόρειοι και βορειοδυτικοί άνεμοι. Η νηνεμία καλύπτει ετήσιο ποσοστό της τάξης του 20 % στους πεδινούς σταθμούς της ανατολικής Κρήτης και το 30% στους ορεινούς. Η μέγιστη μηνιαία ένταση ανέμων εμφανίζεται στην Σητεία και την Ιεράπετρα τον Ιούλιο (5,82 και 6,84 m/sec αντίστοιχα). Στους σταθμούς δυτικής Κρήτης η μέγιστη μηνιαία ένταση ανέμων

εμφανίζεται κατά το Φεβρουάριο και Μάρτιο, είναι δε σημαντικά χαμηλότερη της τάξης των 4 m/sec.

#### **5.vi Νέφωση-ηλιοφάνεια-ομίχλη**

(«Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

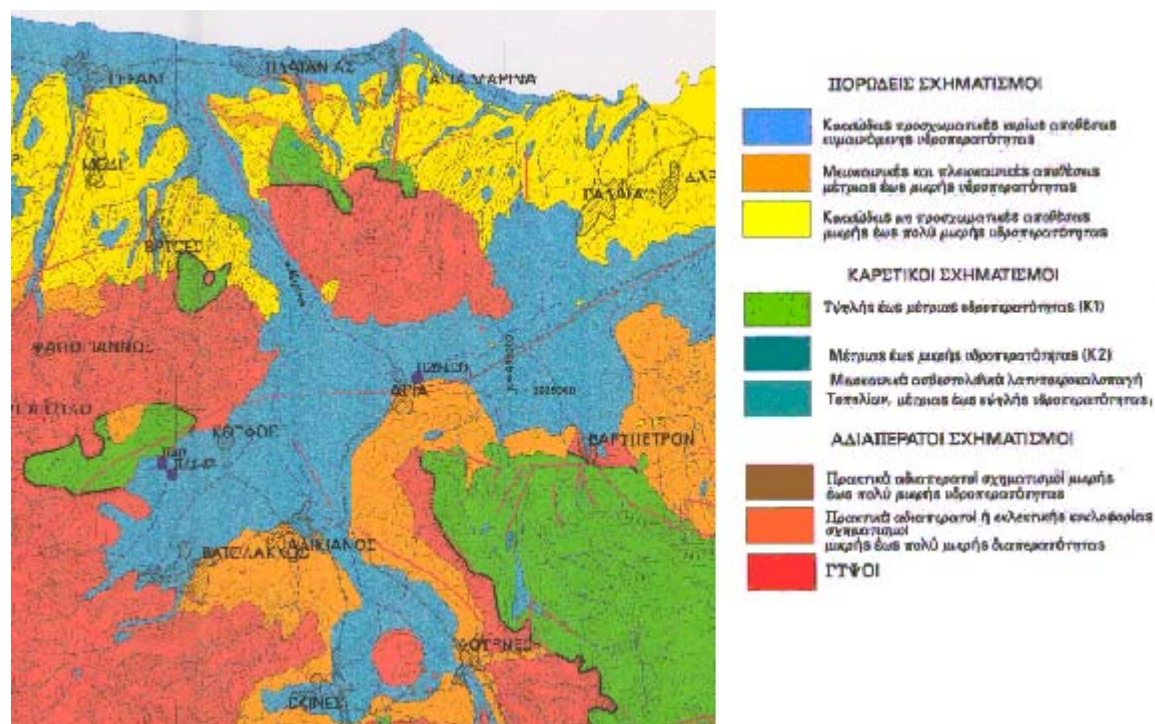
Η ηλιοφάνεια είναι ιδιαίτερα υψηλή σε ολόκληρο το νησί. Ο μέσος ετήσιος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας ανέρχεται σε 2700 ώρες περίπου στη βόρεια Κρήτη, ενώ στη νότια είναι κατά 10% τουλάχιστον υψηλότερος ανερχόμενος σε 3000 περίπου ώρες. Ο αριθμός ωρών ηλιοφάνειας στην Ιεράπετρα είναι ο μεγαλύτερος στην Ελλάδα και φτάνει τις 3068.

Η μέση νέφωση κυμαίνεται μεταξύ 5/8 τον Ιανουάριο και 0,6-1/8 τον Ιούλιο. Ο μέσος αριθμός αιθρίων ημερών (νέφωση μεταξύ 0-1,5/8) κυμαίνεται μεταξύ 3 τον Ιανουάριο και 28 ημερών τον Ιούλιο περίπου στις πεδινές περιοχές, ενώ στις ορεινές ο αριθμός κατά τους θερινούς μήνες είναι κατά 30% μικρότερος.

Η ομίχλη, όπως και η πάχνη είναι σπάνιο φαινόμενο για την Κρήτη. Ο μέσος αριθμός ημερών ομίχλης είναι λιγότερος από 1 μέρα για τους πεδινούς σταθμούς και περίπου 15 για τους ορεινούς.

## 6 Γεωλογία περιοχής μελέτης

Η γεωλογική και τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής Κερίτης, η παλαιογεωμορφολογική εξέλιξη και η υδρογεωλογική συμπεριφορά των διάφορων πετρολογικών σχηματισμών που συμμετέχουν στη γεωλογική δομή της περιοχής, αποτελούν τους βασικούς παράγοντες που έχουν καθορίσει τις υδρογεωλογικές συνθήκες και έχουν οδηγήσει στη δημιουργία των πηγών.



εικόνα 4 Λιθολογικός χάρτης περιοχής μελέτης

Το πιο παλιό γνωστό σύμπλεγμα πετρωμάτων στη Δυτική Κρήτη είναι τα στρώματα Ιονίου ζώνης. Οι σχηματισμοί αυτοί δομούν τη νότια και νοτιοανατολική εξεταζόμενη περιοχή και αναπτύσσονται σε μεγάλα υψόμετρα, κοντά στη ζώνη του υδροκρίτη. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν τον πυρήνα των Λευκών Ορέων.

Πάνω στους σχηματισμούς αυτούς βρίσκονται οι σκοτεινόμαυροι λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι και δολομίτες, με χαρακτηριστική θραυσματοπαγή και κυψελώδη υφή, ασβεστόλιθοι Τρυπαλίου. Είναι οι γνωστοί δολομιτικοί ασβεστόλιθοι της βορειοδυτικής περιμέτρου των Λευκών Ορέων. Οι σχηματισμοί αυτοί δεν εμφανίζουν σαφή στρώση και το πάχος τους ξεπερνάει τα 500 μέτρα..

Οι φυλλίτες με σημαντικές ενστρώσεις χαλαζιτών και ψαμμιτών, που απαντούν στα βόρεια και δυτικά του καλύματος Τρυπαλίου, είναι επωθημένοι στους ασβεστόλιθους αυτούς. Δομούν επίσης, την περιοχή βόρεια της Αγυιάς και του Κουφού. Βόρεια της Αγυιάς δεν υπάρχουν στοιχεία που να αποδεικνύουν ότι οι φυλλίτες είναι επωθημένοι σε ασβεστόλιθους Τρυπαλίου, ενώ δυτικότερα στην περιοχή Κουφού καταγράφεται η τεκτονική επαφή ασβεστόλιθων Τρυπαλίου και φυλλιτών. Οι μικρές εμφανίσεις στις περιοχές αυτές ασβεστόλιθων της ζώνης Τριπόλεως δε φαίνεται να έχουν υδρογεωλογική σημασία, πιθανώς συνδέονται με τις γνωστές καρστικές υδροφορίες του Κερίτη.

Οι μεταλικοί, νεογενείς και διλουβιακοί σχηματισμοί, απαντούν στη βόρεια περίμετρο της ασβεστολιθικής μάζας, από την Αγυιά μέχρι το ακρωτήριο Καλάμι, καθώς και στη βόρεια παράκτια ζώνη, από την πόλη των Χανίων και προς τα δυτικά. Στα νεογενή περιλαμβάνονται πορώδης μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και μάργες του Μειόκαινου, καθώς και μάργες, μαργαϊκοί ψαμμίτες, κροκαλομιγείς μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι του Πλειόκαινου. Οι διλουβιακοί σχηματισμοί απαντούν κυρίως στην περιοχή της Αγυιάς. Τέλος, οι πρόσφατες ολοκαινικές αποθέσεις σημειώνουν μεγάλη ανάπτυξη στην κοιλάδα Αγυιάς-Χανίων-Σούδας και στη λεκάνη Κουφού-Κερίτη. Στην κοιλάδα απαντούν κυρίως λεπτόκοκκοι αργιλοϊλυαμμώδεις σχηματισμοί ενώ στη λεκάνη Κουφού-Κερίτη επικρατούν οι αδρομερείς κροκαλοαμμώδεις αποθέσεις, ποτάμιας προέλευσης.

Οι ασβεστολιθικές εμφανίσεις με τα χαμηλότερα υψόμετρα, σημειώνονται στην περιοχή των Μυλωνιανών και στον Κουφό. Και στις δυο παρατηρούνται μορφές παλαιότερων αναβλύσεων σε υψόμετρα υψηλότερα από τις σημερινές θέσεις των αντίστοιχων πηγών.

Στα Μυλωνιανά σε υψόμετρο 100 μ. περίπου υπάρχουν ίχνη που πιθανών να συνδέονται με λειτουργία πηγών σε παλαιότερη γεωλογική εποχή. Όμως η ελάττωση του πάχους της αργιλικής επικάλυψης των ασβεστολίθων στην περιοχή της Αγυιάς κατά μια φάση ανοδικής κινήσεως και διαβρώσεως και η εξασθένηση της υδατοστεγανότητας οδήγησε στην εμφάνιση των πηγών εκεί όπου υπάρχουν σήμερα

(«Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

## Γ. ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ ΑΓΥΪΑΣ

### 1.Γενικά

(«Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

Οι πετρολογικοί σχηματισμοί που συμμετέχουν στη δομή της περιοχής διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες σχηματισμών, ανάλογα με τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά τους:

- Καρστικούς – υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας
- Καρστικούς – μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας
- Καρστικούς – μειοκαινικούς - υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας
- Πορώδεις μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας
- Πορώδεις προσχωματικούς - μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας
- Πορώδεις μη προσχωματικούς - μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας
- Πρακτικά αδιαπέρατους

#### 1.1 Καρστικοί σχηματισμοί

Η κυκλοφορία του νερού στους καρστικούς σχηματισμούς γίνεται μέσω του δευτερογενούς πορώδους (ασυνέχειες και καρστικά κενά). Ανάλογα με την υδροπερατότητά τους διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

- Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας. Ο χαρακτηρισμός ‘μέτριας υδροπερατότητας’ αποδίδεται στα μη καρστικοποιημένα ή δολομιτωμένα τμήματα της μάζας των σχηματισμών αυτών. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι έντονα καρστικοποιημένοι ανθρακικοί σχηματισμοί της ζώνης της Τρίπολης, τα ανθρακικά Τρυπαλίου και οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι και Δολομίτες της Ιονίου ζώνης, οι οποίοι αναπτύσσουν υπόγειες υδροφορίες που εκφορτίζονται μέσω μεγάλων καρστικών πηγών.

- Ασβεστόλιθοι μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ασβεστόλιθοι της ζώνης της Πίνδου και οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι Ουρασικής – Ηωκαινικής ηλικίας Ιονίου ζώνης. Η κυκλοφορία του νερού στους σχηματισμούς αυτούς ελέγχεται από τις παρεμβολές πυριτολίθων, κερατολίθων,



αργιλικών σχιστολίθων. Αναπτύσσονται εδώ μέσου έως μικρού δυναμικού υπόγειες υδροφορίες. Κατά θέσεις οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν το υδρογεωλογικό όριο και υπόβαθρο των υψηλής υδροπερατότητας ανθρακικών σχηματισμών, όταν έχουν μικρή υδροπερατότητα και η θέση τους το επιτρέπει.

- Μειοκαινικά ασβεστολιθικά κυρίως λατυποκροκαλοπαγή Τοπολίων μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας. Παρουσιάζουν πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες.

### **1.ii Πορώδεις σχηματισμοί**

Η κυκλοφορία του νερού στους σχηματισμούς αυτούς πραγματοποιείται μέσω του πρωτογενούς πορώδους (πορώδες κόκκων). Ανάλογα με την υδροπερατότητά τους διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

- Μειοκαινικές και Πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας. Αποτελούνται από τα κροκαλοπαγή και τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους των νεογενών σχηματισμών. Καταλαμβάνουν τις παρυφές των ορεινών ασβεστολιθικών όγκων και μερικές φορές τροφοδοτούνται πλευρικά από τους ασβεστολίθους όταν η πιεζομετρία το επιτρέπει. Στη μάζα τους αναπτύσσονται επιμέρους υπόγειες υδροφορίες μέσου ή μικρού δυναμικού.

- Κοκκώδεις προσχωματικοί σχηματισμοί μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας. Περιλαμβάνονται οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι ποτάμιες και θαλάσσιες αναβαθμίδες, τα κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης, τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων. Στις περιπτώσεις που οι σχηματισμοί των πλευρικών κορημάτων, των κώνων κορημάτων και των αναβαθμίδων καλύπτουν μικρή έκταση και έχουν μικρό πάχος, δεν έχουν υδρογεωλογική σημασία. Αναπτύσσονται ιδιαίτερα στις σύγχρονες αποθέσεις ποταμών και χειμάρρων με αξιόλογες φρεάτιες υδροφορίες. Κοντά στη θάλασσα οι υδροφορίες αυτές έχουν υποστεί έντονη υφαλμύριση.

- Κοκκώδεις μη προσχωματικοί σχηματισμοί - μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας. Περιλαμβάνονται οι πλειοκαινικές και μειοκαινικές μάργες, καθώς και ο αδιαίρετος σχηματισμός των νεογενών. Τοπικά στον αδιαίρετο σχηματισμό των νεογενών αναμένεται η ανάπτυξη υδροφοριών μέσα σε παρεμβολές κροκαλοπαγών ή μαργαϊκών ασβεστολίθων. Σε ορισμένα σημεία αναπτύσσονται στρώματα γύψου που παρουσιάζουν αξιόλογη υδροφορία, υποβαθμισμένη όμως λόγω των θεικών ιόντων.

### **1.iii Αδιαπέρατοι σχηματισμοί**

Πρόκειται για πρακτικά αδιαπέρατους ή εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμούς με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται το τεκτονικό κάλυμμα των φυλλιτών – χαλαζιτών, ο φλύσχος και πρώτος φλύσχος της ζώνης της Πίνδου, ο φλύσχος της ζώνης της Τρίπολης και οι σχιστόλιθοι με *Posidonia* της Ιονίου ζώνης. Μέσα στο σύστημα φυλλιτών – χαλαζιτών παρεμβάλλονται συχνά ζώνες μαρμάρων που έχουν τοπική υδρογεωλογική σημασία σε συνδυασμό με τις ζώνες κερματισμού του τεκτονικού αυτού καλύμματος.

## **2 Καρστική υδροφορία Αγυιάς-Κουφού-Μεσκλά-Αναβάλλοντα**

(«Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

Η υδρογεωλογική λεκάνη της Αγυιάς αποτελεί μια υπολεκάνη του μεγάλου υδροφόρου συστήματος των Λευκών Ορέων, η οποία εκφορτίζεται κυρίως μέσω των ομώνυμων πηγών. Οι πηγές Κουφού, Μεσκλών και Αναβάλλοντα δε θεωρείται ότι αποτελούν ξεχωριστές υδρογεωλογικές καρστικές ενότητες και εντάσσονται στην καρστική υπολεκάνη των Λευκών Ορέων ή καρστική ενότητα Αγυιάς.

Η καρστική υδροφορία του συστήματος πηγών Αγυιάς αναπτύσσεται κυρίως στους καρστικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες Τρυπαλίου και εκφορτίζεται κυρίως στην περιοχή της Αγυιάς με ένα μέτωπο πηγών οι οποίες κατατάσσονται σε τέσσερις ομάδες:

- α) Πλάτανος-Βαρύπετρο
- β) Βρυσίδια
- γ) Κολύμπα
- δ) Καλαμιώνας

Οι εκφορτίσεις εκδηλώνονται σε συνθήκες υποπίεσης. Στις πηγές (σημεία εκφόρτισης) σημειώνονται απόλυτα υψόμετρα από +33,52μ. (Καλαμιώνας) μέχρι +40,64μ. (Βαρύπετρος) με υψόμετρα ελεύθερης επιφάνειας υδροφόρου +42,47μ. και 45,34μ. αντίστοιχα, το 1977.

Οι πηγές της Αγυιάς εκφορτίζουν την πολύ σημαντική καρστική ομώνυμη υδροφορία. Η υδροφορία αυτή τροφοδοτείται από το ανάντη τμήμα των Λευκών Ορέων, το οποίο περιλαμβάνει και το οροπέδιο του Ομαλού. Από ιχνηθετήσεις έχει διαπιστωθεί η επικοινωνία του οροπεδίου με τις πηγές Αγυιάς και Μεσκλών.



**εικόνα 5** Κυριότερες υδρογεωλογικές ενότητες

Από παρατηρήσεις στην περιοχή λεκάνης τροφοδοσίας προκύπτει ότι ένα ελάχιστο ποσοστό από τις βροχοπτώσεις πρέπει να απορρέει επιφανειακά, γιατί οι ασβεστόλιθοι με την κυψελώδη υφή απορροφούν το νερό της βροχής που πέφτει στην επιφάνειά τους. Επίσης, η επιφάνεια αυτή αυλακώνεται από βαθιές διαβρώσεις και φαράγγια που έχουν ανοιχθεί πάνω στις γραμμές των διαρρήξεων. Εκεί συλλέγονται τα νερά που απορρέουν για να διηθηθεί το μεγαλύτερο ποσοστό τους μέσα στον υδροφορέα. Απορροή από τα μεγάλα φαράγγια της περιοχής, όπως το Θερισιανό, παρατηρείται μόνο στις περιπτώσεις ραγδαίας βροχής. Τότε λόγω της μεγάλης ταχύτητας του νερού διηθείται στον υδροφορέα αναλογικά ένα μικρό ποσοστό. Οι πηγές στην περιοχή της Αγιάς είναι πηγές υπερπλήρωσης και αποτελούν τις εκφορτίσεις του υδροφορέα της υδρογεωλογική υπολεκάνης Αγιάς.

### 3 Προσχωματική υδροφορία Λεκάνης Κερίτη

(«Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001)

Από το σύνολο της έκτασης των 176 km<sup>2</sup> της λεκάνης του Κερίτη, τα 75 km<sup>2</sup> περίπου αντιστοιχούν σε ανθρακικούς σχηματισμούς, τα 63 km<sup>2</sup> αντιστοιχούν σε φυλλιτικούς χαλαζιτικούς σχηματισμούς, ενώ στο κατάντη τμήμα της λεκάνης αναπτύσσονται οι νεογενείς σχηματισμοί, κυρίως μάργες και κροκαλοπαγή σε έκταση 16 km<sup>2</sup> περίπου. Η υπόλοιπη έκταση των 22 km<sup>2</sup> περίπου αντιστοιχεί σε σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις κροκάλων, άμμων, και αργίλων. Υπόβαθρο των σύγχρονων αποθέσεων αποτελούν τόσο οι σχηματισμοί των φυλλιτών, χαλαζιτών όσο και οι νεογενείς αποθέσεις του Μειόκαινου.

Στις σύγχρονες αποθέσεις αναπτύσσεται φρεάτιος υδροφορία σημαντικού δυναμικού που εξαρτάται τόσο από το ποσοστό συμμετοχής αδρομερών υλικών όσο και από την τροφοδοσία τους από την επιφανειακή απορροή. Σε ορισμένα σημεία συναντάται υπό πίεση υδροφορία εξαιτίας των μη συνεχών αργιλικών οριζόντων μεταξύ των αδρομερών αποθέσεων, η οποία στο σύνολό της μπορεί να χαρακτηριστεί ως ενιαία. Οι εναλλαγές των αδρομερών και λεπτόκοκκων οριζόντων διαφορετικής υδρογεωλογικής συμπεριφοράς δεν είναι συνεχείς στο χώρο και παρατηρούνται αποσφηνώσεις οι οποίες αποτρέπουν την δημιουργία ενιαίων υπό πίεση υδροφοριών. Στην περίμετρο του προσχωματικού πεδίου η συμμετοχή των αδρομερών οριζόντων μειώνεται. Επίσης, το μεγάλο πάχος των αποθέσεων σε ορισμένα σημεία οφείλεται σε πρόσφατη τεκτονική δράση.

Σε ορισμένες θέσεις συναντώνται ζώνες αδρομερούς υλικού που πιθανώς συνδέονται με παλαιοκοίτες του Κερίτη ποταμού. Πιθανολογείται ότι η επιφανειακή αποστράγγιση της όλης λεκάνης γινόταν προς τον κάμπο Χανίων και σε αυτό οφείλεται το μικρό πάχος των αποθέσεων στην περιοχή του Πατελαρίου (40 μ.) όπως και η δυσκολία καθορισμού του υδροκρίτη στην περιοχή μεταξύ λεκανών απορροής Κερίτη και Κλαδισσού.

Στην περιοχή της λεκάνης του Κερίτη απογράφησαν συνολικά 258 σημεία εμφάνισης νερού, από τα οποία 94 αναφέρονται σε γεωτρήσεις (65 σε ανθρακικούς, 21 σε προσχώσεις και 3 σε νεογενείς σχηματισμούς), 135 σε πηγάδια και 29 σε πηγές.



## 4 Ποιότητα πόσιμου νερού

(Δ.Ε.Υ.Α.Χανίων)

Η φυσικοχημική και μικροβιολογική ποιότητα των νερών των πηγών που υδροδοτούν την πόλη των Χανίων, δηλαδή από τις πηγές της Αγυιάς και τις γεωτρήσεις στα Μυλωνιανά, είναι εξαιρετικά καλή.

Πρόκειται για νερά ελαφρώς αλκαλικά, πολύ καλής ποσιμότητας ως προς την σκληρότητα, με λίγα ανόργανα άλατα, συγκεντρώσεις ανεπιθύμητων ουσιών, όπως π.χ. νιτρικά, νιτρώδη, βαρέα μέταλλα, πολύ χαμηλότερες από τα επιθυμητά επίπεδα και πολύ καλή μικροβιολογική ποιότητα.

Η απολύμανση του νερού γίνεται συνεχώς με υποχλωριώδες νάτριο σε δύο σημεία, το ένα βρίσκεται στην Αγυιά και το άλλο στη Δεξαμενή Αη Γιάννη και το νερό του δικτύου δεν παρουσιάζει καμία μικροβιολογική επιβάρυνση. Η Δ.Ε.Υ.Α.Χ. ελέγχει καθημερινά το υπολειμματικό χλώριο στο δίκτυο, ενώ έχει ήδη ξεκινήσει και ολοκληρώνεται μέσα στο 2001, η εγκατάσταση ενός δικτύου σταθμών αυτόματης μέτρησης του υπολειμματικού χλωρίου σε 15 σημεία του δικτύου ύδρευσης (δεξαμενές, δίκτυο) για τον on line έλεγχο της απολύμανσης στο δίκτυο.

Από το 1994, η Δ.Ε.Υ.Α.Χ. έχει επεκτείνει τον συστηματικό έλεγχο του νερού και στα παραπροϊόντα της χλωρίωσης, όπως χλωρομεθάνια, αρχικά σε συνεργασία με το Πολυτεχνείο Κρήτης (Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος) και στη συνέχεια από το 1997 αυτοδύναμα.

Οι συγκεντρώσεις των ουσιών είναι σταθερά σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα, κατά μία τάξη μεγέθους χαμηλότερα από αυτά που προτείνονται στην νέα οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το πόσιμο νερό, γεγονός που πιστοποιείται στους παρακάτω πίνακες, όπου παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων ορισμένων από τις μικροβιολογικές και χημικές αναλύσεις του νερού, τόσο στις πηγές όσο και στο δίκτυο ύδρευσης.

### Μικροβιολογικές Αναλύσεις (Δ.Ε.Υ.Α.Χ.)

Ημερομηνία δειγματοληψίας	12/12/2000		9/7/2001		Εβδομαδιαίες Μετρήσεις
Σημείο δειγματοληψίας	Αγιά έξοδος μοτέρ	Μυλωνιανά	Αγιά έξοδος μοτέρ	Μυλωνιανά- ΟΑΔΥΚ	Δίκτυο
Ολικά κολοβακτηρίδια (απ./100 ml)	1	1	1	2	0
Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (απ./100 ml)	0	0	0	0	0
Εντερόκοκκοι (απ./100 ml)	0	0	0	0	0
Ολική Μεσόφιλη Χλωρίδα (απ./100 ml)	0	0	0	0	1-2

### Χημικές Αναλύσεις (Δ.Ε.Υ.Α.Χ.)

Ημερομηνία δειγματοληψίας	20/3/2001	24/4/2001		
Σημείο δειγματοληψίας	Δεξαμενή Αη Γιάννη (έξοδος)	Πλατεία Σπλάντζιας	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατο επίπεδο
Υπολειμματικό Cl <sub>2</sub> (mg/l)	0,37	0,38		
Θερμοκρασία (°C)	15	16		
PH / θολερότητα (NTU)	8,06 / 0,90	8,11 / 0,90		
Οσμή / Γεύση	Κανονική	Κανονική	0	

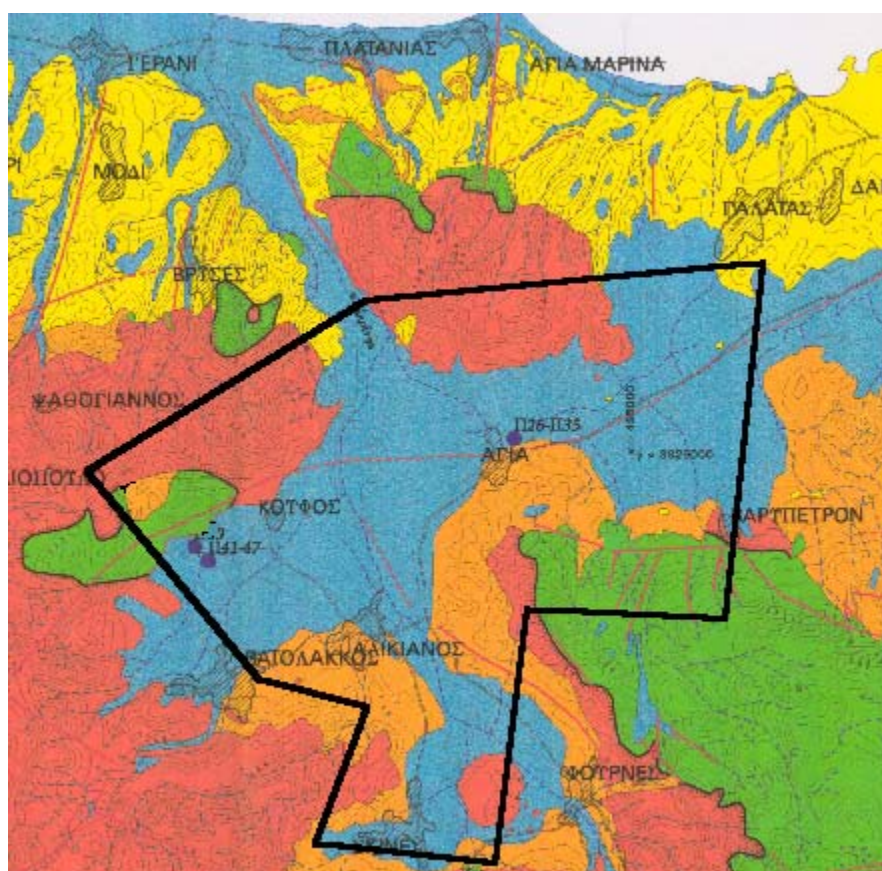


(μακροσκοπικά)				
Αγωγιμότητα (μS/cm)	270	295	400	
Νιτρικά NO <sub>3</sub> - (mg/l)	1,32	1,76	25	50
Νιτρώδη NO <sub>2</sub> - (mg/l)	0	0,01		0,1
Αμμωνιακά NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,04	0,00	0,05	0,5
Οξειδωσιμότητα (mg/l O <sub>2</sub> )	-	0,81	2	5
Αιωρούμενα στερεά TSS (mg/l)	-	0		
Ολικά διαλυμένα στερεά TDS (mg/l)		192,5		<1500
Φωσφορικά PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	-	0,15	0,4	5,0
Φθόρια F - (mg/l)	-	0,28 (28°C)		
Χλωριούχα Cl <sup>-</sup> / (mg/l)	15,7	14,2	25	100
Θειικά SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	-	16	25	250
Αζωτο Kjeldahl (mg/l)	-	0		0
Φαινόλες	-	0		0,5
Πυριτικά SiO <sub>2</sub> (mg/l)		5,29		
Ca / Mg (mg/l)	38,2 / 9,72	38,2 / 11,7	100 / 30	- / 50
Ολική / Παροδική Σκληρότητα (DH)	7,78 / 7,07	8,02 / 7,07		
Αλκαλικότητα –m/-p (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	126,25 / 0	126,2 / 0		
HCO <sub>3</sub> - (mg/l)	154	154		
Fe / Cu (mg/l)		0,02 / 0,01	50 /	200 /
Zn / Mn (mg/l)		0,07 / 0,01	100 / 20	5.000 / 50
Na / K (mg/l)		8,44 / 0,4	20 / 10	175 / 12
Al (mg/l)	0	0	0,05	0,2

## Δ. Προσομοίωση κίνησης υπόγειων υδάτων - εφαρμογή του προγράμματος ARGUS ONE

### 1 Εισαγωγικά

Για την προσομοίωση της κίνησης των υπογείων υδάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ARGUS ONE Student Version 4.2.0.q σε συνδυασμό με το Princeton Transport Code PTC. Για την επίλυση του προβλήματος επιλέχθηκε χρονικό διάστημα ενός έτους (360 ημέρες) που διακρίνεται σε θερινή και χειμερινή περίοδο διάρκειας 180 ημερών έκαστη. Η χειμερινή περίοδος (stress 1) περιλαμβάνει τους μήνες από Οκτώβριο έως και Μάρτιο και η καλοκαιρινή (stress 2) από Απρίλιο έως και Σεπτέμβριο.

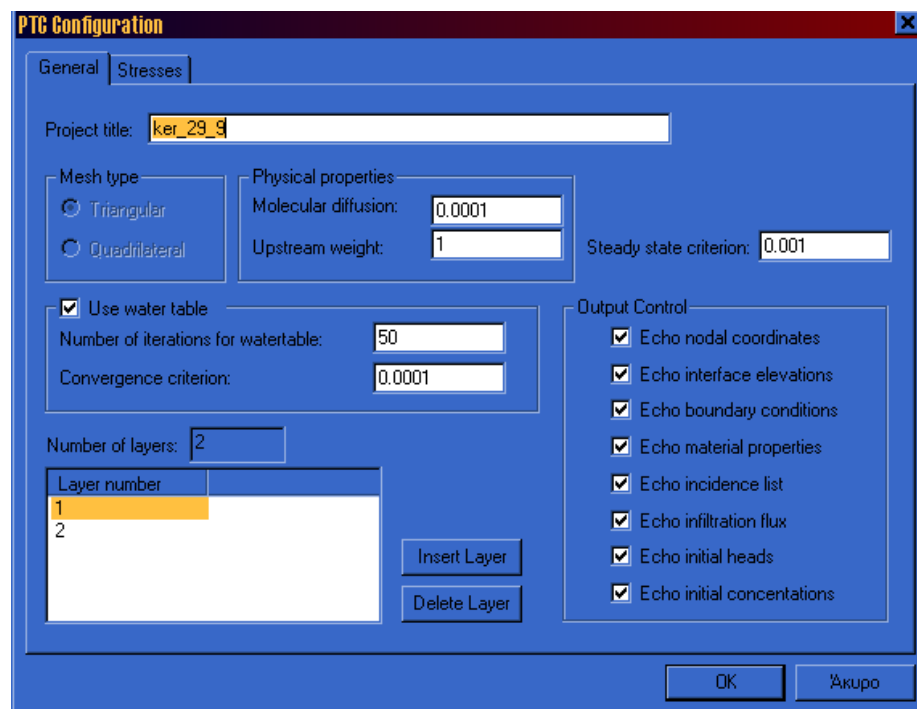


**Εικόνα 1** Τα όρια της υπό μελέτη περιοχής

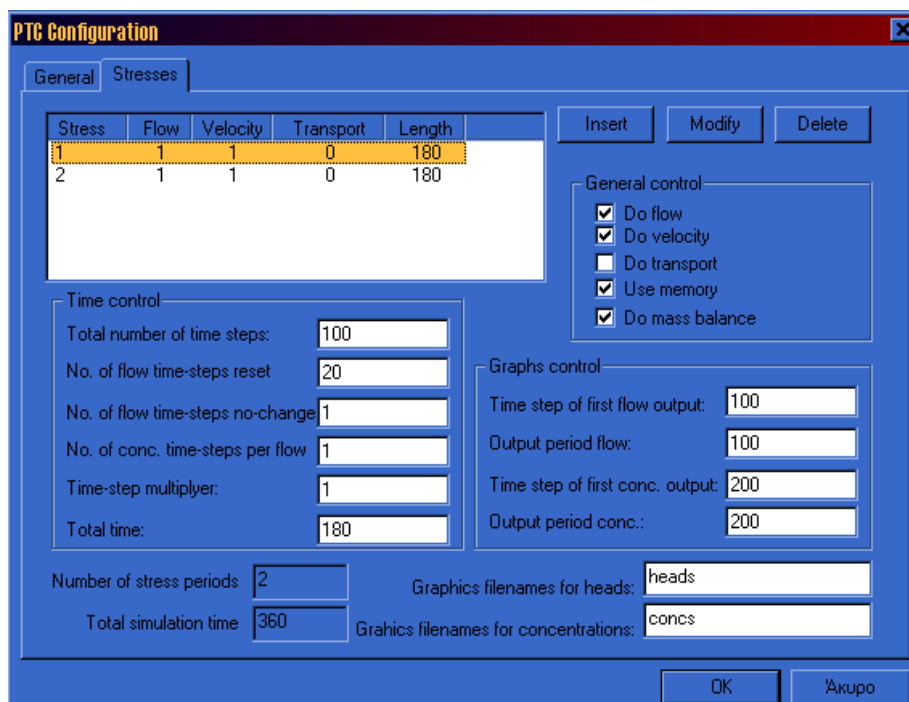
Τα όρια της υπό μελέτη περιοχής (εικόνα 1) ορίστηκαν με βάση τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του χώρου. Συμπεριλαμβάνονται οι γεωτρήσεις άντλησης με σταθερή παροχή (πίνακες 2 & 3: ενεργές υδρογεωτρήσεις) καθώς και επιλεγμένες πειραματικές γεωτρήσεις (πίνακας 1). Οι γεωτρήσεις οι οποίες εκμεταλλεύονται σήμερα από τον ΟΑΔΥΚ και υδροδοτούν ολόκληρο το συγκρότημα

της πόλης των Χανίων πηγάζουν από τους καρστικούς σχηματισμούς των Μυλωνιανών, τις πηγές της Αγιάς και του Κουφού. Οι παράμετροι του προγράμματος ορίστηκαν σύμφωνα με τις εικόνες 2 & 3.

Ορίστηκαν 2 επίπεδα (layers) από τα οποία πραγματοποιείται η άντληση. Το πρώτο εκτείνεται από υψόμετρο 0 έως τα 60 μέτρα, και το δεύτερο από τα 60 μέτρα έως την επιφάνεια του εδάφους. Θεωρούμε ως υψόμετρο της θάλασσας τα 60 μέτρα.



**Εικόνα 2** Ο ορισμός των 2 layers



**Εικόνα 3** Ο ορισμός των 2 περιόδων

Στον πίνακα 1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων παρατήρησης, στον πίνακα 2 τα χαρακτηριστικά των ενεργών υδρογεωτρήσεων της Υ.Ε.Β., στον πίνακα 3 τα χαρακτηριστικά των ενεργών υδρογεωτρήσεων Ο.Α.ΔΥ.Κ. και στον πίνακα 4 τα χαρακτηριστικά των πηγών.

Κωδικός Γεώτρησης Υ.Ε.Β	Παροχή άντλησης (m <sup>3</sup> /day) ΑΠΡ.98	Βάθος σωλήνωσης (m)	Βάθος στάθμης (m)		Απόλυτο υψόμετρο σημείου (m)
			Οκτώβριος 1999	Απρίλιος 2000	
Γ177	2640	100	29,36	22,11	85,61
Γ182	960	150	53,63	53,92	116,15
Γ183	3600	130	22,64	10,79	86,69
Γ188	2640	110	15,90	12,44	49,08
Γ189	720	100	15,70	12,19	49,04
Γ191	720	70	15,65	12,04	48,59

**Πίνακας 1** Τα χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων του προσχωματικού υδροφορέα

Κωδικός Γεώτρησης Υ.Ε.Β.	Παροχή άντλησης (m <sup>3</sup> /day) ΑΠΡ.98	Βάθος σωλήνωσης (m)	Απ.Υψ. στάθμης (m)		Απόλυτο υψόμετρο σημείου (m)
			Οκτώβριος 1999	Απρίλιος 2000	
Γ155	2400	121	48,56	51,33	145,37
Γ157	3600	220	31,47	-	181,19
Γ163	6000	110	50,98	52,0	58,55
Γ164	8160	120	49,20	51,99	67,31
Γ171	3120	132	51,23	51,97	155,48
Γ193	5760	100	50,73	51,99	56,75

**Πίνακας 2** Τα χαρακτηριστικά των ενεργών γεωτρήσεων Υ.Ε.Β. του καρστικού υδροφορέα

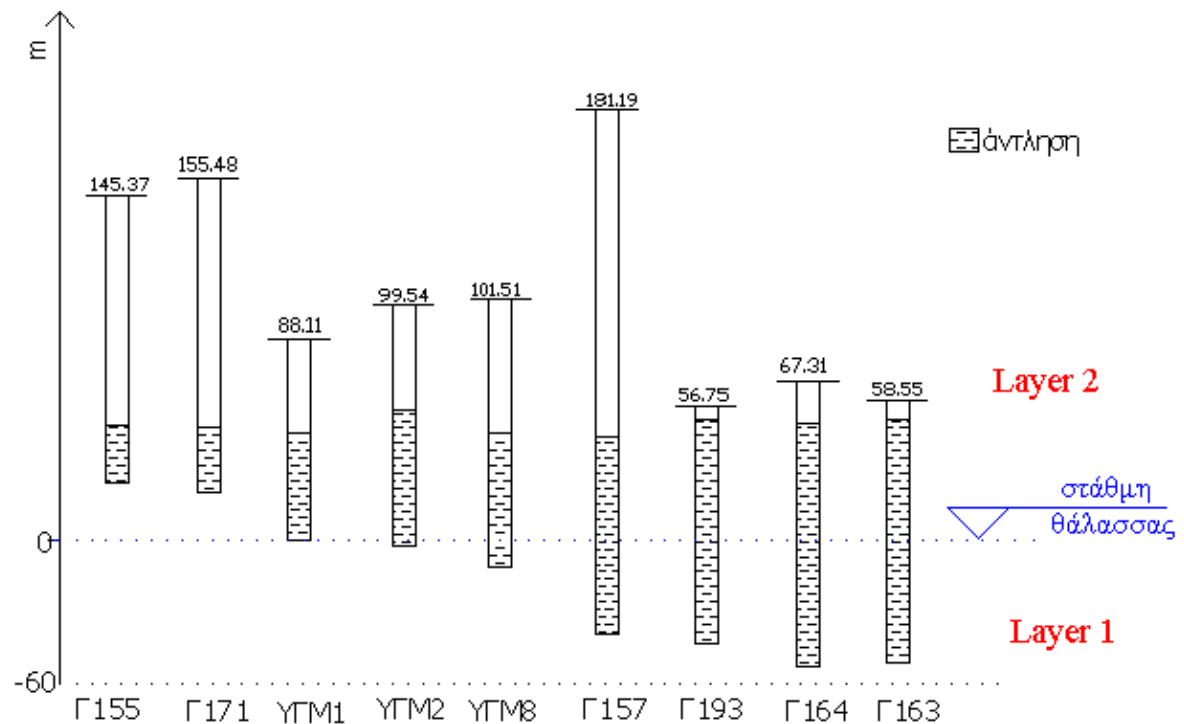
Κωδικός Γεώτρησης Ο.Α.ΔΥ.Κ.	Παροχή άντλησης (m <sup>3</sup> /day)	Βάθος σωλήνωσης	Στοιχεία σωλήνωσης (m)		Απόλυτο υψόμετρο σημείου (m)	Στάθμη ηρεμίας (m)
			Τυφλά	Φίλτρα		
ΥΓΜ1	28080	85	61-67	40-61 67-85	88,11	39,24
ΥΓΜ2	14400	101,7	61,5-67,6 101,7- 104,7	43-61,5 67,6-101,7	99,54	44,35
ΥΓΜ8	21600	112,7	0-54,9 79,3-85,4	54,9-79,3 85,4-112,7	101,51	56,2

**Πίνακας 3** Τα χαρακτηριστικά των ενεργών υδρογεωτρήσεων Ο.Α.ΔΥ.Κ.

Κωδικός πηγής	Απόλυτο υψόμετρο (m)	Παροχή (m <sup>3</sup> /day)	Τύπος πηγής
Π26	33,52	43200	υπερπλήρωσης
Π40	51,93	72	υπερπλήρωσης
Π42	52,96	24	επαφής

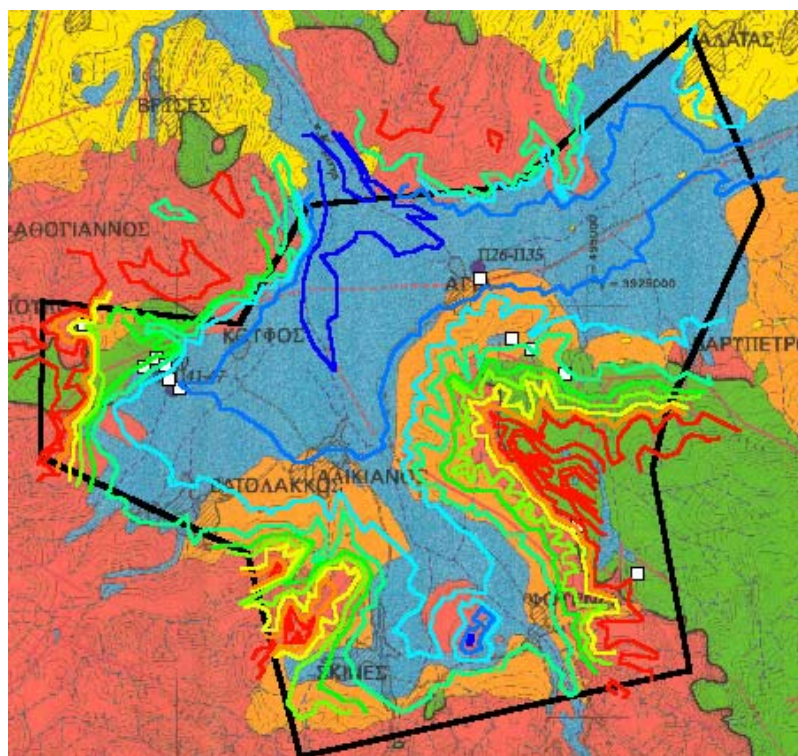
**Πίνακας 4** Τα χαρακτηριστικά των πηγών

Ως επίπεδο αναφοράς (bottom elevation) θεωρείται η βάση του υδροφορέα με υψόμετρο τα 0 μέτρα. Η στάθμη της μέσης επιφάνειας της θάλασσας ορίζεται στα 60 μέτρα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4, το layer 1 εκτείνεται από τα 0 μέτρα έως τα 60 μέτρα και το layer 2 από τα 60 μέτρα έως την επιφάνεια του εδάφους. Από το layer 1 αντλούν νερό οι γεωτρήσεις Γ163, Γ164, Γ157 και Γ193 και από το 2 οι γεωτρήσεις Γ171, Γ155, ΥΓΜ1, ΥΓΜ2 και ΥΓΜ8 και οι πηγές.



**Εικόνα 4** Οι τομές των ενεργών γεωτρήσεων

► Στη συνέχεια έγινε ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών που βρίσκονται στην περιοχή και τοποθετήθηκαν οι θέσεις των γεωτρήσεων άντλησης και των πηγών. Οι ισοϋψείς τοποθετήθηκαν στο layer Elevation L2, δεδομένου ότι το layer Elevation L1 έχει σταθερή τιμή 60 μέτρα.



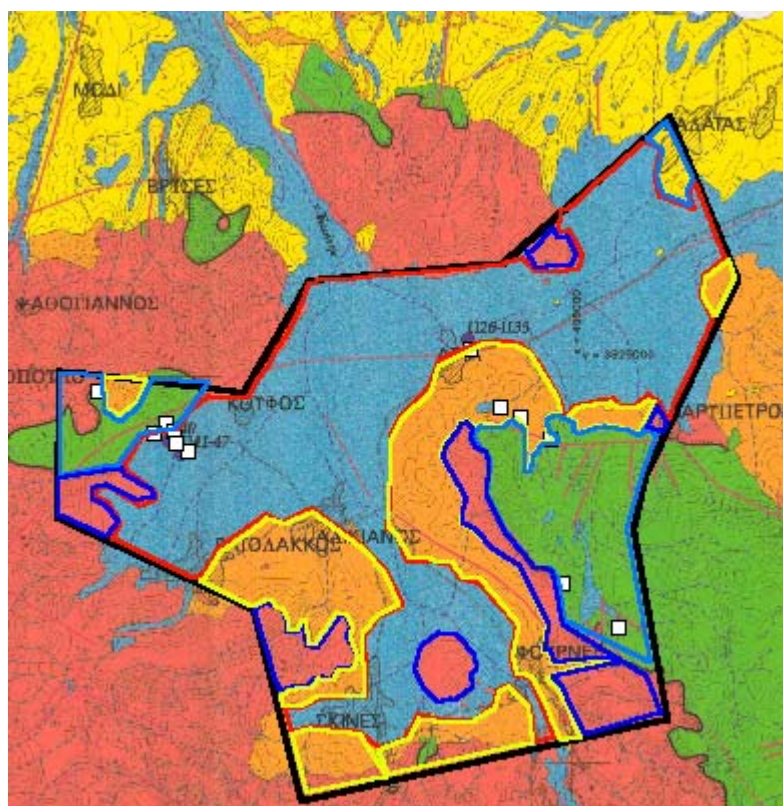
**Εικόνα 5** Ισοϋψείς καμπύλες, θέσεις ενεργών γεωτρήσεων άντλησης.

► Στη συνέχεια ορίστηκαν οι ζώνες υδραυλικής αγωγιμότητας (conductivity), σύμφωνα με την εικόνα 6. Οι κυριότεροι σχηματισμοί είναι οι πορώδεις οι οποίοι διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

- Πορώδεις μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας ( $8 \cdot 10^{-4} \text{m/sec}$  ή  $69,12 \text{m/day}$ )
- Πορώδεις προσχωματικοί - μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας ( $6 \cdot 10^{-4} \text{m/sec}$  ή  $51,84 \text{m/day}$ )
- Πορώδεις μη προσχωματικοί-μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας ( $10^{-4} \text{m/sec}$  ή  $8,64 \text{m/day}$ )
  - Οι πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από την τιμή  $10^{-8} \text{m/sec}$  ή  $0,000864 \text{m/day}$ .



Οι τιμές της υδραυλικής διαπερατότητας είναι ίδιες για τις  $x$  και  $y$  διευθύνσεις, ενώ για την κατακόρυφο  $z$  διεύθυνση είναι 10 φορές μικρότερη.



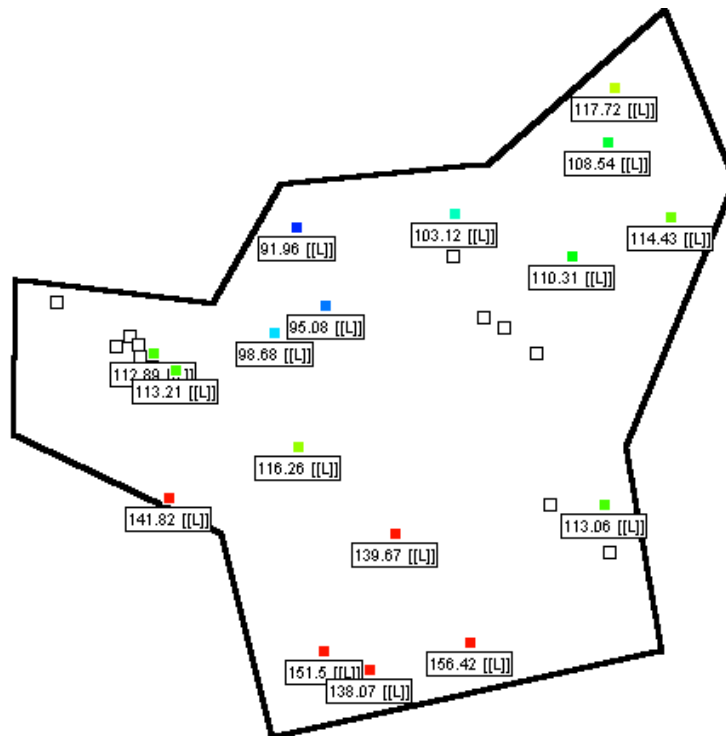
**Εικόνα 6** Οι ζώνες υδραυλικής αγωγιμότητας

- ▶ Στη συνέχεια ορίστηκαν οι οριακές συνθήκες, (Boundary Condition) στα layer BC Flow1 και BC Flow2 . Αυτό το layer περιέχει τρεις μεταβλητές:
  - ▶ BC Type L1, όπου επιλέχθηκε β' είδους συνθήκη (2) – σταθερή ροή για όλη την περιοχή
  - ▶ BC Stress1, τιμή για χειμερινή περίοδο και
  - ▶ BC Stress2 τιμή για θερινή περίοδο.

Οι περιμετρικές τιμές στις οριακές συνθήκες αντιπροσωπεύουν τις υποθετικές τιμές εισροών-εκροών. Οι σημειακές τιμές είναι διαφορετικές, δεδομένου ότι αναπαριστούν τις παροχές από τις αντλήσεις των γεωτρήσεων και τις εκφορτίσεις των πηγών χειμώνα/καλοκαίρι. ► Layer Initial Heads



Οι αρχικές συνθήκες είναι κοινές και για τα δύο layer. Πρόκειται για τις τιμές των υδραυλικών υψών όπως προέκυψαν τον Οκτώβριο 1999, στην αρχή δηλαδή της χειμερινής περιόδου.



**Εικόνα 8** Οι αρχικές συνθήκες στα layer Initial HeadsL1, Initial HeadsL2

#### ►Layer Rain

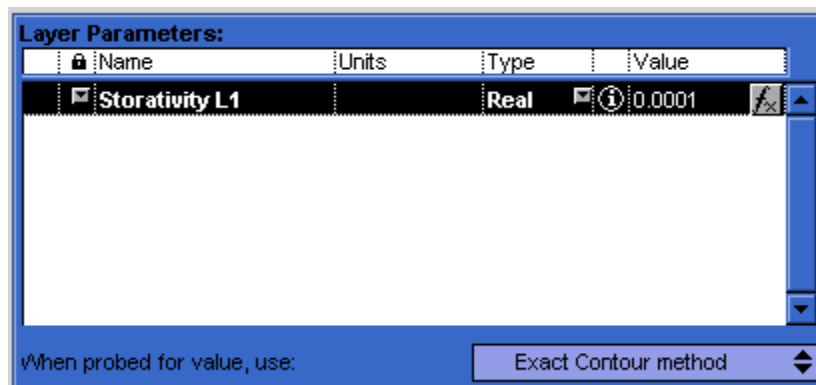
Στο επίπεδο αυτό προσδιορίζεται η διήθηση λόγω βροχόπτωσης. Ορίζουμε ως μέση τιμή βροχόπτωσης 0.0005m/ημέρα για τη χειμερινή περίοδο και μηδενική τιμή για την θερινή.

Layer Parameters:				
Name	Units	Type	Value	
Rain Stress1	[L]/[T]	Real	0.002	
Rain Stress2	[L]/[T]	Real	0	

When probed for value, use: Exact Contour method

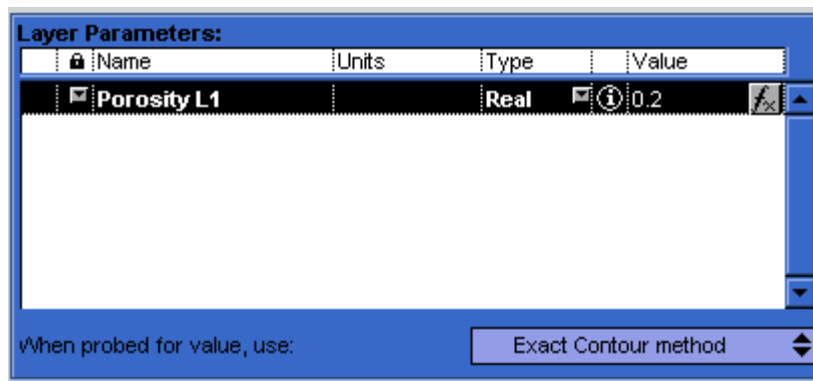
#### ►Layer Storativity

Ορίζουμε ως μέση τιμή αποθηκευτικότητας 0,0001 ανεξαρτήτως περιόδου και για τα δύο Layer.



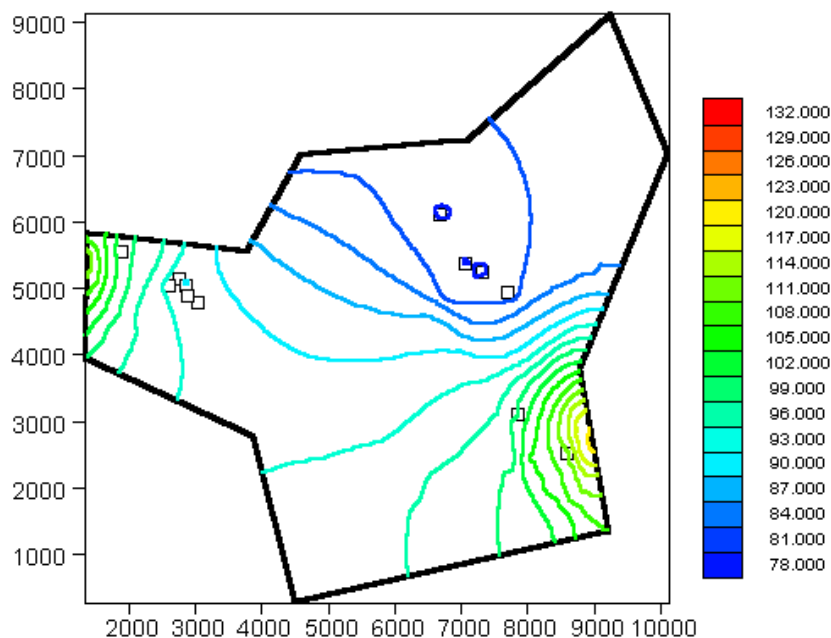
#### ►Layer Porosity

Ορίζουμε ως μέση τιμή πορώδους 0,2 και για τις δυο περιόδους ανεξαρτήτως Layer.



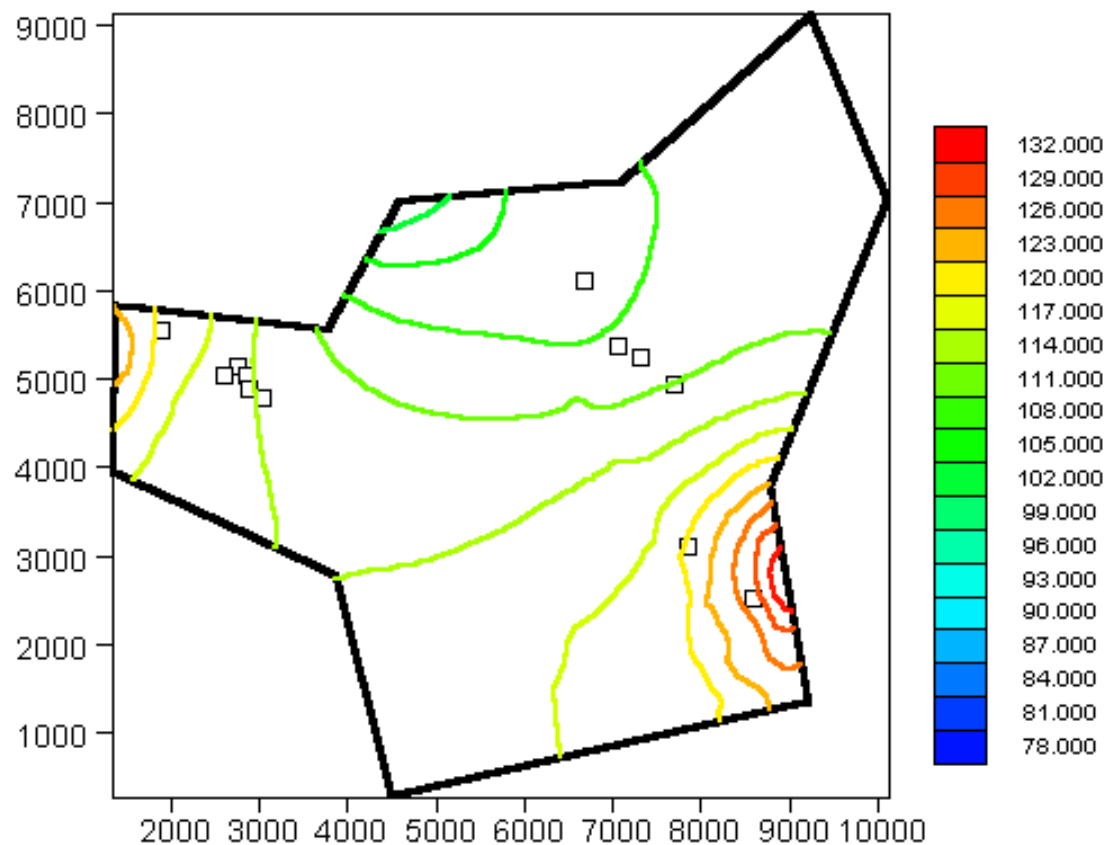
## 2 Αποτελέσματα PTC

### Stress 2



Οι τιμές των υδραυλικών υψών όπως υπολογίστηκαν στο τέλος της πρώτης περιόδου φαίνονται στην εικόνα:

## Stress 1

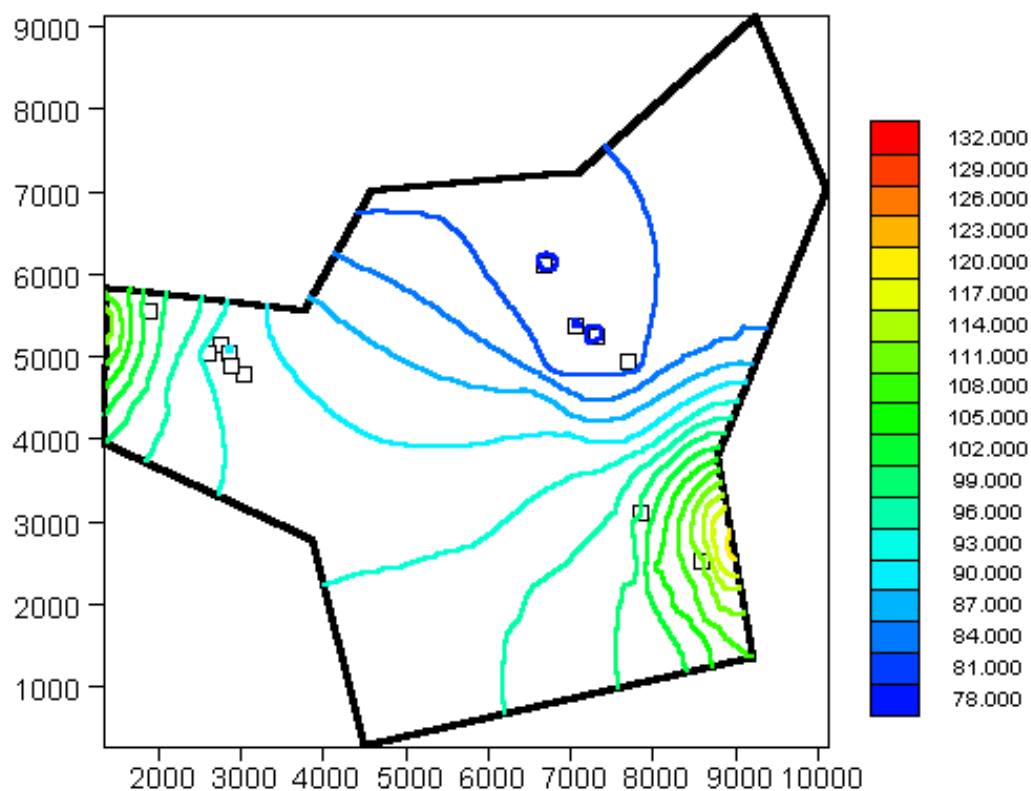


**Εικόνα 9** Τα υδραυλικά ύψη κατά τη χειμερινή περίοδο

Παρατηρούμε ότι οι τιμές κυμαίνονται από 102-132 μέτρα. Οι τιμές των υψών είναι μέγιστες στα σημεία από όπου γίνεται η εισροή των υπόγειων υδάτων και μειώνονται σταδιακά καθώς πλησιάζουμε στο σημείο εκφόρτισης στη θάλασσα.

Οι τιμές των υδραυλικών υψών όπως υπολογίστηκαν στο τέλος της δεύτερης (θερινής) περιόδου φαίνονται στην επόμενη εικόνα:

## Stress 2

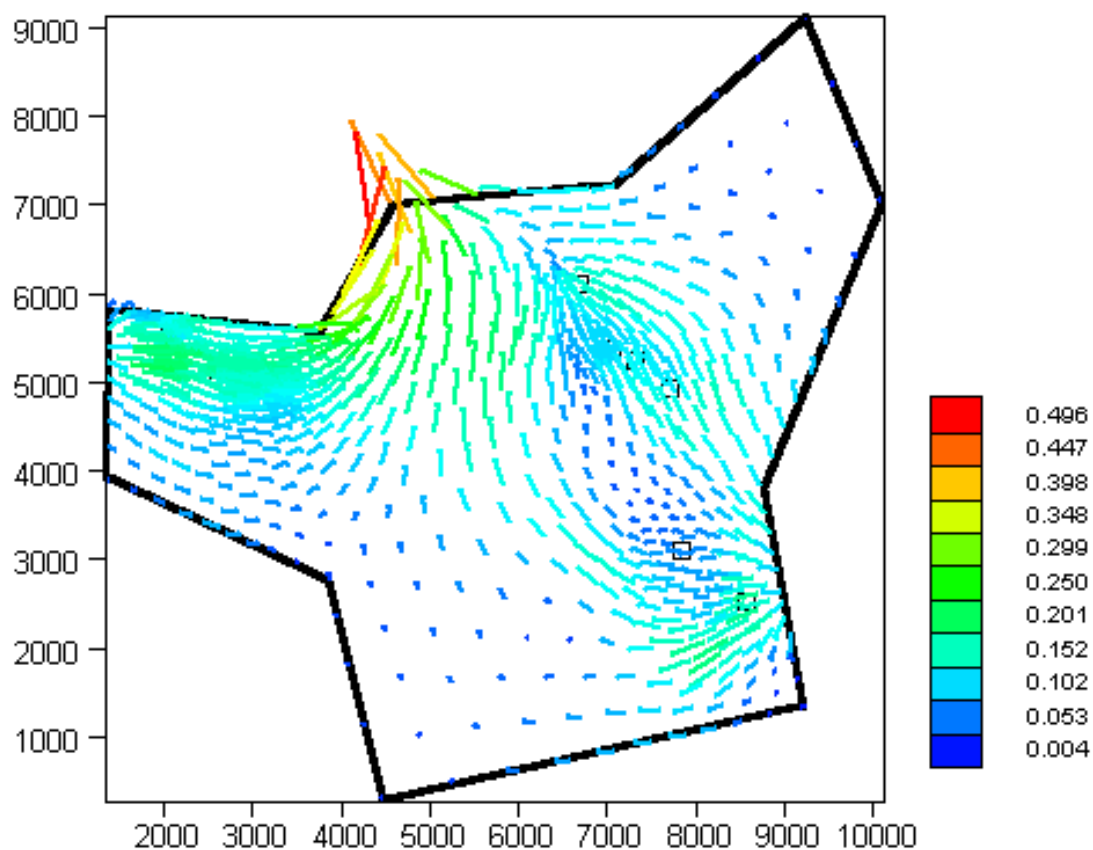


**Εικόνα 10** Τα υδραυλικά ύψη κατά τη θερινή περίοδο

Παρατηρούμε μια πτώση στάθμης της τάξης των 15 μέτρων σε ορισμένα σημεία, γεγονός που οφείλεται στο ότι θεωρήσαμε σταθερή την άντληση κατά τη διάρκεια όλης της θερινής περιόδου. Οι τιμές των υδραυλικών υψών κυμαίνονται από 78-120 μέτρα.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η ταχύτητα των υπογείων υδάτων στο τέλος της χειμερινής και της θερινής περιόδου.

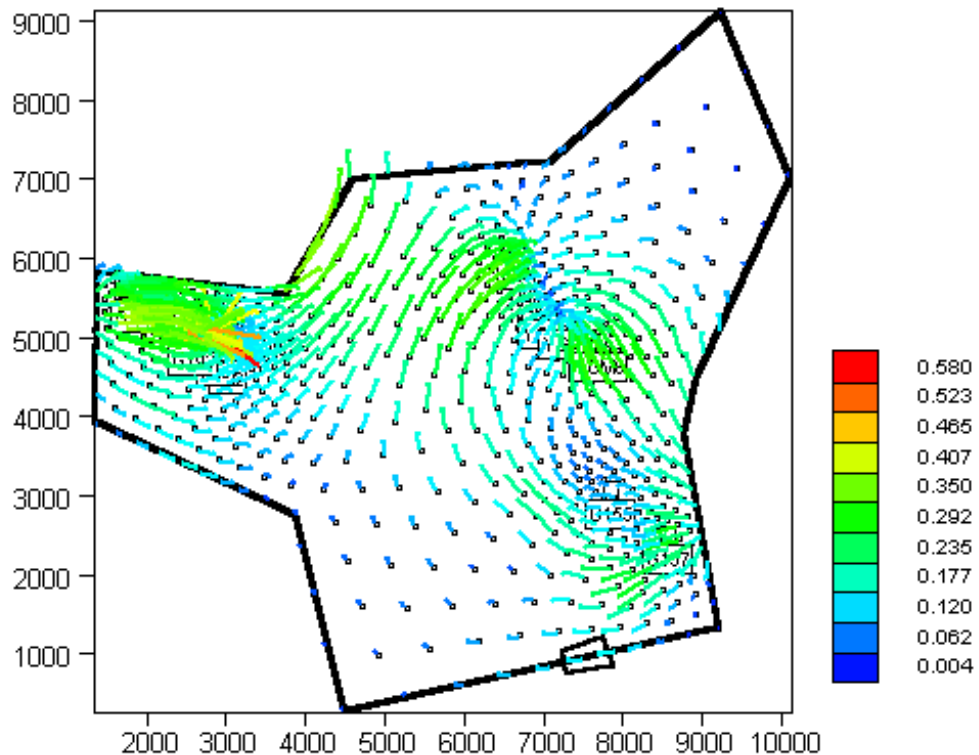
## Stress 1



**Εικόνα 11** Η ταχύτητα κατά τη χειμερινή περίοδο

Στην εικόνα φαίνεται η ταχύτητα σε κάθε κόμβο στο τέλος της χειμερινής περιόδου. Διακρίνεται η κίνηση προς τη θάλασσα, κατά μήκος της κοίτης του Κερίτη ποταμού. Κατά την περίοδο αυτή οι γεωτρήσεις είναι ανενεργές και οι ανάγκες σε ύδρευση καλύπτονται από τις παροχές των πηγών. Κατά την περίοδο αυτή παρατηρούνται βροχοπτώσεις.

## Stress 2

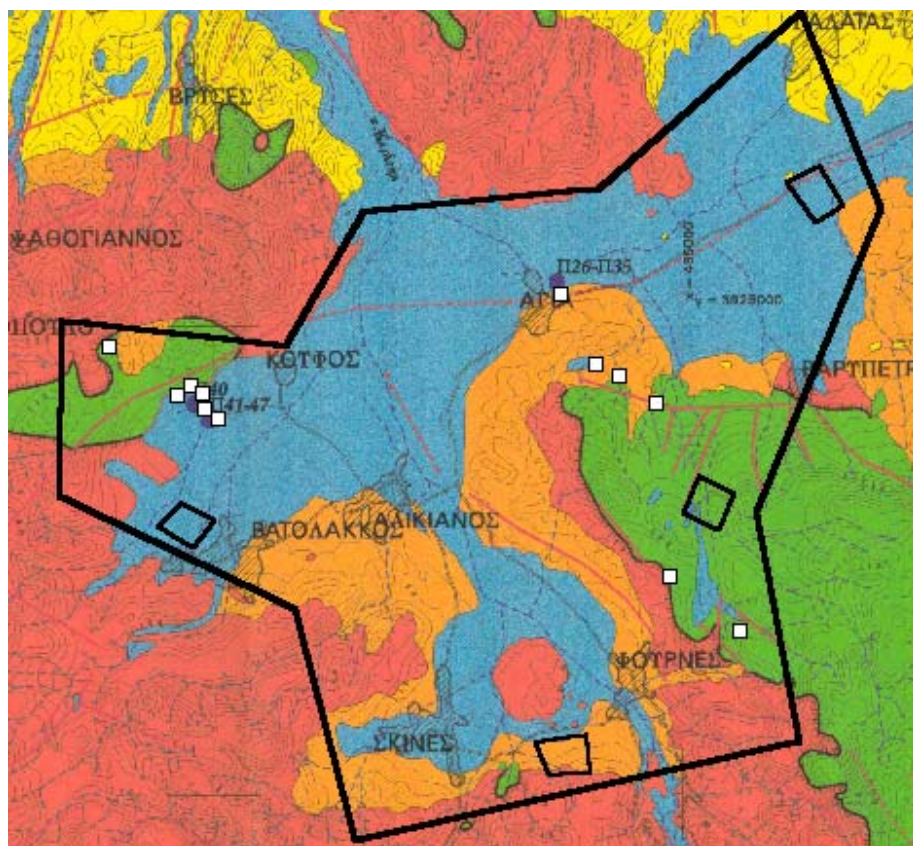


**Εικόνα 12** Η ταχύτητα κατά τη θερινή περίοδο

Στην εικόνα φαίνεται η ταχύτητα σε κάθε κόμβο στο τέλος της θερινής περιόδου. Η επίδραση των αντλήσεων είναι φανερή, καθώς τα διανύσματα των ταχυτήτων έχουν φορά προς τα σημεία άντλησης. Ωστόσο, διακρίνουμε ακόμη την εκφόρτιση προς τη θάλασσα.

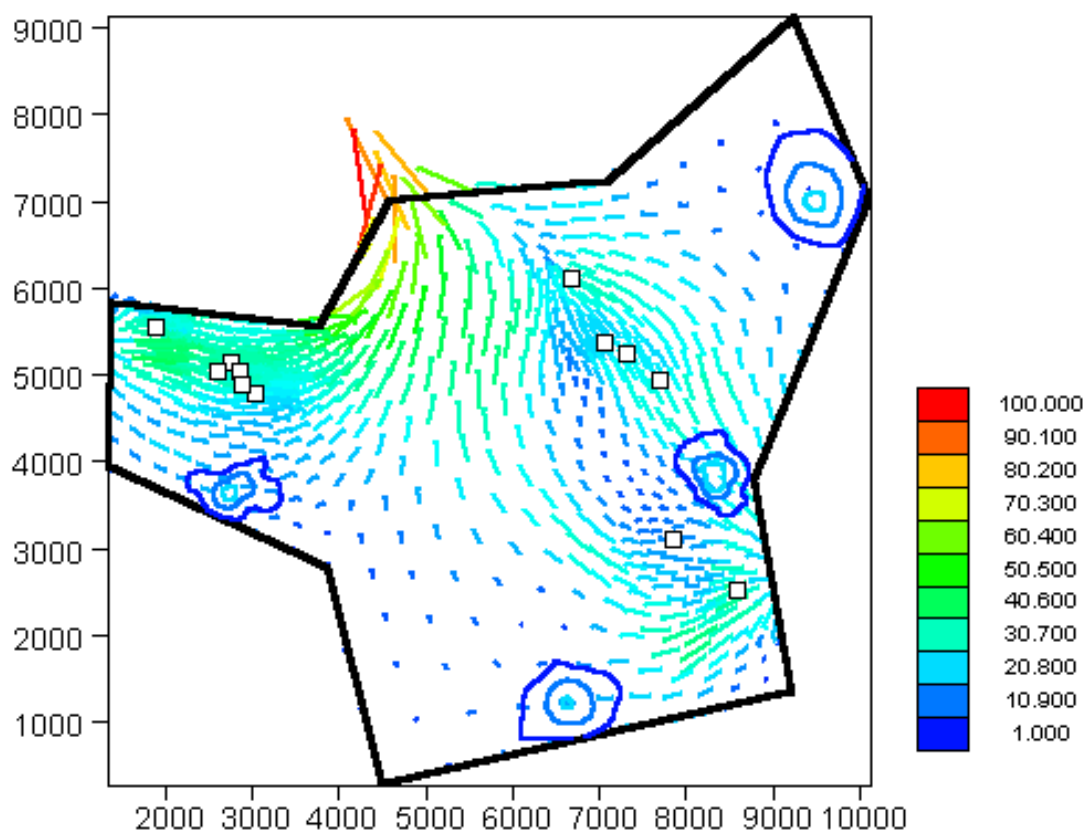
### 3 Κίνηση ρύπου

Στη συνέχεια εξετάστηκε το υποθετικό σενάριο ύπαρξης ρύπου σε σημεία εντός της περιοχής μελέτης. Επιλέχθηκαν ορισμένα σημεία και ορίστηκε η αρχική τιμή συγκέντρωσης ρύπου για τη χειμερινή και την θερινή περίοδο. Στην περίπτωση που ο ρύπος προέρχεται από λιπάνεις ή ψεκασμούς που λαμβάνουν χώρα κατά την θερινή περίοδο, θεωρούμε τιμή συγκέντρωσης στην αρχή της θερινής περιόδου τα 100ppm και στην αρχή της χειμερινής τα 20 ppm, δεδομένου ότι το χειμώνα λόγω βροχοπτώσεων παρατηρείται διάλυση των ουσιών.



Εικόνα 13 Οι εστίες ρύπανσης

## Stress 1

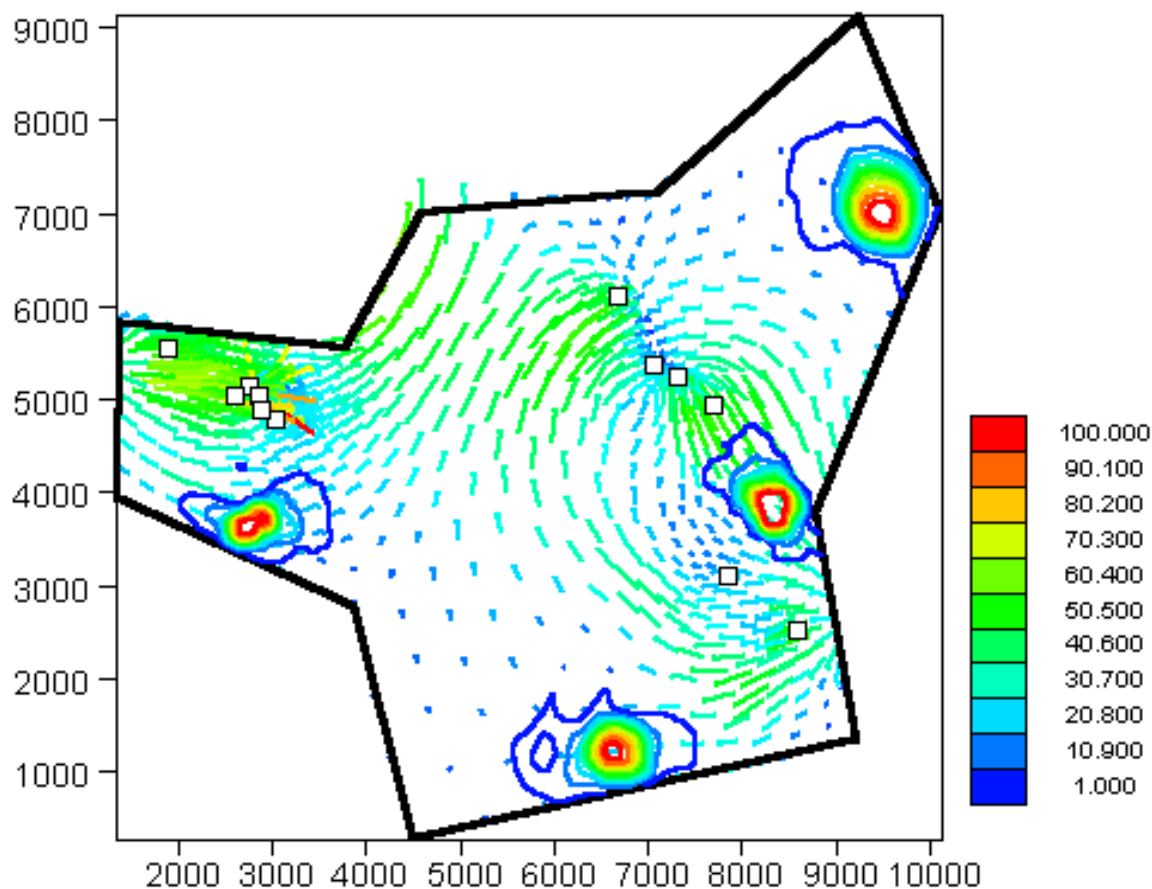


**Εικόνα 14** Η εξάπλωση του ρύπου κατά τη χειμερινή περίοδο.

Στην εικόνα παρατηρούμε την εξάπλωση του ρύπου στο τέλος της χειμερινής περιόδου. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 1 έως 20 ppm , που είναι η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης κατά τη χειμερινή περίοδο.



## Stress 2



**Εικόνα 15** Η εξάπλωση του ρύπου κατά τη θερινή περίοδο.

Στην εικόνα παρατηρούμε την εξάπλωση του ρύπου στο τέλος της θερινής περιόδου. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 1 έως 100 rpm , που είναι η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης κατά τη θερινή περίοδο. Παρατηρούμε ότι η εξάπλωση του ρύπου ακολουθεί τη διεύθυνση των διανυσμάτων της ταχύτητας. Αυτό μας οδηγεί σε συμπεράσματα σχετικά με τη μελλοντική κίνηση του ρύπου και τις ζώνες επικινδυνότητας της περιοχής. Σύμφωνα με την εικόνα 15, οι περιοχές ανατολικά και νότια χαρακτηρίζονται ως μεγάλης επικινδυνότητας, δεδομένου ότι η κίνηση των νερών τείνει προς τις γεωτρήσεις των Μυλωνιανών και της Αγιάς.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- «Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων», 2001
- «Διαχειριστικό σχέδιο για τον Υγρότοπο της Αγιάς», 1998
- Γ.Καρατζάς, «Introduction to Groundwater optimal design»
- ARGUS ONE Student Version 4.2.0.q Δ.Ε.Υ.Α. Χανίων

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

A.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ	1
1. Σκοπός της εργασίας		
2. Προγράμματα	σελ	2
2.1 Εισαγωγικά	σελ	2
2.2 Βασικές εξισώσεις	σελ	4
2.3 Τρισδιάστατη υπόγεια ροή	σελ	5
2.4 Εφαρμογή της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων	σελ	6
2.5 Εφαρμογή της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών	σελ	6
2.6 Η κάθετος παράγωγος	σελ	7
2.7 Οριακές συνθήκες	σελ	8
2.7(i) α' είδους συνθήκη – σταθερό υδραυλικό ύψος	σελ	9
2.7(ii) β' είδους συνθήκη – σταθερή ροή	σελ	9
2.7(iii) 3 <sup>ου</sup> είδους συνθήκη – συνθήκες διαρροής	σελ	10
2.8 Συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα	σελ	11
B.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	σελ	12
1. Προσδιορισμός περιοχής μελέτης	σελ	12
2. Ιστορικά	σελ	12
3.Οικολογία	σελ	14
3.i Ορνιθοπανίδα	σελ	14
3.ii Λοιπή Πανίδα	σελ	15
3.iii Χλωρίδα	σελ	15
4 Υδρολογικά μετεωρολογικά δεδομένα	σελ	16
5 Κλιματολογικά στοιχεία	σελ	17
5.i Γενικά		
5.ii Θερμοκρασία	σελ	18
5.iii Υγρασία	σελ	19
5.iv Βροχόπτωση	σελ	19
5.v Άνεμοι	σελ	20
5.vi Νέφωση-ηλιοφάνεια-ομίχλη	σελ	21
6 Γεωλογία περιοχής μελέτης	σελ	22
Γ. ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ ΑΓΥΙΑΣ	σελ	24
1 Γενικά		
1.i Καρστικοί σχηματισμοί	σελ	24

1.ii Πορώδεις σχηματισμοί	σελ	25
1.iii Αδιαπέρατοι σχηματισμοί	σελ	26
2 Καρστική υδροφορία Αγυιάς-Κουφού-Μεσκλά-Αναβάλλοντα	σελ	27
3 Προσχωματική υδροφορία Λεκάνης Κερίτη	σελ	29
4 Ποιότητα πόσιμου νερού	σελ	31
Δ. Προσομοίωση κίνησης υπόγειων υδάτων - εφαρμογή του προγράμματος ARGUS ONE	σελ	34
1 Εισαγωγικά		
2 Αποτελέσματα PTC	σελ	43
3 Κίνηση ρύπου	σελ	47
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ	50