

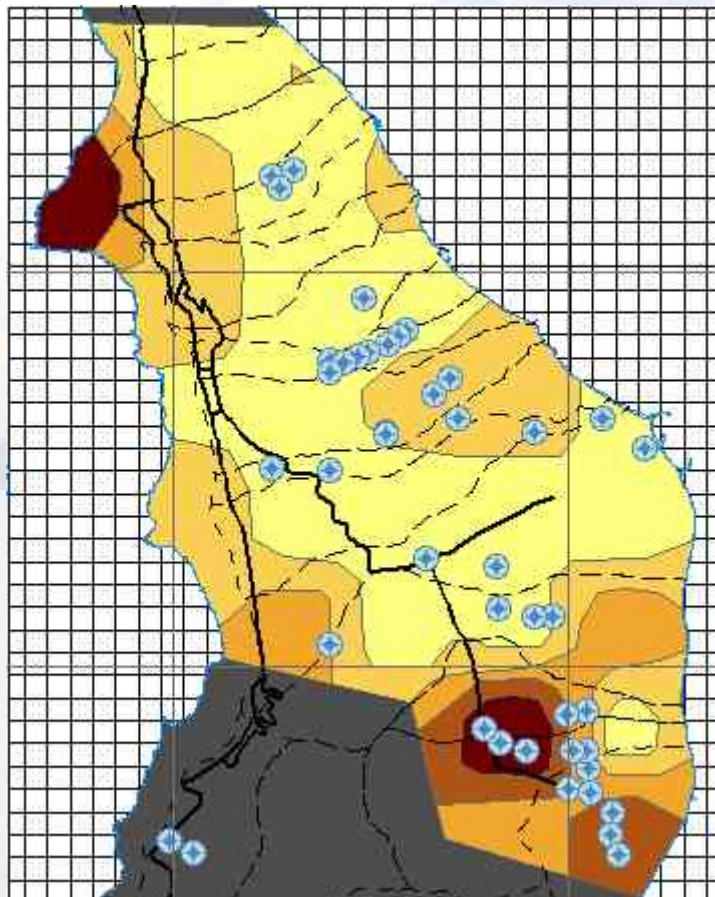


**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

**«Προσδιορισμός Υδάτινου Ισοζυγίου Υπόγειου Παράκτιου  
Υδροφορέα της Ν. Θήρας υπό την Επίδραση Έντονων  
Κλιματικών Αλλαγών»**



Στράντζαλης Κωνσταντίνος

Επιβλέπων Καθηγητής: Μαντόγλου Αριστοτέλης

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2008

Το διάγραμμα του εξώφυλλου προέκυψε με τη βοήθεια του υποψήφιου διδάκτορα Κουράκου Γ. και φτιάχτηκε μέσω σχεδιαστικού προγράμματος. Δείχνει τα όρια του υπό μελέτη υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου.

## Εισαγωγικό Σημείωμα

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης της Σχολής Α.Τ.Μ. του Ε.Μ.Π. στα πλαίσια της εμβάθυνσης «Διαχείριση Υδατικών Πόρων» υπό την επίβλεψη του Αναπλ. Καθ. κ. Αριστοτέλη Μαντόγλου, ο οποίος διατύπωσε το αντικείμενο της εργασίας σύμφωνα με τα ειδικά μου ενδιαφέροντα. Από τη θέση αυτή επιθυμώ να του εκφράσω τις ευχαριστίες μου για τη συνεχή του στήριξη και καθοδήγηση σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Ευχαριστίες αρμόζουν επίσης:

Στον Δρ. Υδρογεωλόγο του Ι.Γ.Μ.Ε. Γιαννουλόπουλο Παναγιώτη, ο οποίος, τόσο με την παροχή στοιχείων όσο και με τις συνεχείς παρατηρήσεις του, συνέβαλε καθοριστικά στην αρτιότητα της εργασίας.

Στον Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π. Γιώργο Κοψιαύτη, ο οποίος με βοήθησε στην εξοικείωση με τα διάφορα λογισμικά προγράμματα και τις έννοιες που συνάντησα για πρώτη φορά στην πορεία αυτής της εργασίας και με στήριξε ηθικά.

Στον Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π. Βασίλη Χριστέλη, για την ηθική στήριξη και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε στην κατανόηση χρήσιμων υδρολογικών εννοιών και στις δυσκολίες που συνάντησα κατά την κατασκευή του μονοδιάστατου μοντέλου της κατείσδυσης.

Στον Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π. Γιώργο Κουράκο που έφτιαξε σε περιβάλλον MATLAB το πρόγραμμα Rainfall Generator GUI (RGG) και το πρόγραμμα WTRBLN τα οποία και χρησιμοποίησα για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Επίσης με βοήθησε στην εξοικείωση με τα αυτά τα λογισμικά προγράμματα και με τις δυσκολίες που συνάντησα.

Στην οικογένειά μου και σε όλους τους φίλους μου, που με τον τρόπο τους, με στήριξαν όλοι μαζί και ο καθένας ξεχωριστά σε αυτή μου την προσπάθεια.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περιεχόμενα.....	i
Σύμβολα και Συντμήσεις .....	iv
Περίληψη .....	v
Abstract .....	vi
Εισαγωγή.....	1

### Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Υφαλμύρωση – Ξηρασία

1.1 Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης.....	4
1.1.1 Γενικά.....	4
1.1.2 Διαχείριση παράκτιων υδροφορέων – Πολυπλοκότητα προβλήματος.....	4
1.1.3 Κατηγορίες υφάλμυρων υπογείων νερών.....	6
1.1.4 Ευαισθησία Ελλάδας στη θαλάσσια διείσδυση.....	6
1.1.5 Αίτια υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών.....	7
1.1.6 Επιπτώσεις της υφαλμύρωσης .....	9
1.1.7 Μέτρα προστασίας - Αντιμετώπισης της υφαλμύρωσης.....	12
1.1.8 Τεχνητός εμπλουτισμός.....	13
1.2 Έντονες Κλιματικές αλλαγές - Ξηρασία.....	14
1.2.1 Η αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος.....	14
1.2.2 Η αλλαγή κλίματος στην Ελλάδα και τα νησιά της.....	16
1.2.3 Επιπτώσεις κλιματολογικών αλλαγών .....	17
1.2.4 Ξηρασία - Επιπτώσεις και μέτρα.....	19

### Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Γενικά στοιχεία της Ν. Θήρας

2.1 Ιστορικά στοιχεία.....	23
2.2 Γεωγραφική θέση και χαρακτηριστικά της Νήσου.....	24
2.3 Ανθρωπογενή στοιχεία .....	27
2.3.1 Δημογραφικά - Πληθυσμιακά στοιχεία.....	27
2.3.2 Απασχόληση και τομείς παραγωγής.....	28
2.3.3 Τουρισμός και ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις.....	30
2.4 Έδαφος - Κλίμα - Καλλιέργειες.....	30

2.4.1	Εδαφικά χαρακτηριστικά - Ηφαίστειο.....	30
2.4.2	Κλίμα - Τοπικά προϊόντα.....	31
2.5	Πολεοδομική και χωροταξική θεώρηση.....	32
2.6	Ύδρευση – Άρδευση - Ζήτηση νερού.....	33

### **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά N. Θήρας**

3.1	Όρια και λιθολογική σύσταση στην περιοχή Βουρβούλου – Καμαρίου.....	37
3.2	Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	41
3.2.1	Υδρολιθολογία.....	41
3.2.2	Υδροφόροι ορίζοντες.....	45

### **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Προσδιορισμός υδατικού ισοζυγίου υπόγειου υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου**

4.1	Εισαγωγή.....	49
4.2	Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα.....	50
4.3	Επιφανειακή απορροή.....	52
4.4	Εξάτμιση και διαπνοή.....	53
4.4.1.	Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με μεθόδους συνδυασμού.....	54
4.4.2.	Εκτίμηση της δυνητικής εξατμοδιαπνοής με εμπειρικές μεθόδους.....	57
4.5	Κατείσδυση.....	59
4.6	Παλιότερες προσεγγίσεις υδατικού ισοζυγίου N. Θήρας.....	61
4.7	Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου υδροφορέα Βουρβούλου - Καμαρίου της N. Θήρας...62	
4.8	Υπολογισμός υδατικού ισοζυγίου με χρήση εμπειρικών συντελεστών.....	73
4.9	Συμπεράσματα.....	73

### **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Μοντέλο εκτίμησης υδατικού ισοζυγίου υδροφορέα Βουρβούλου - Καμαρίου με το μοντέλο ακόρεστης ροής CLASS U3M-1D**

5.1	Μοντέλα.....	75
5.2	Το μοντέλο CLASS.....	76
5.2.1	Γενικά.....	76

5.2.2 Το εργαλείο CLASS U3M-1D.....	77
5.3 Στάδια του προγράμματος.....	78
5.4 Εξαγόμενα του προγράμματος.....	86
5.5 Συμπεράσματα.....	90

## **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> Μελλοντικές καιρικές μεταβολές – Σενάρια**

6.1. Προσομοίωση βροχόπτωσης.....	91
6.2. Δημιουργία χρονοσειρών βροχόπτωσης - Rainfall Generator GUI (RGG).....	100
6.3 Προσομοίωση κατείσδυσης – WTRBLN.....	101

## **Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> Συμπεράσματα - Προτάσεις**

7.1 Γενικά στοιχεία.....	103
7.2 Συμπεράσματα από τον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου για τον υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου της Νήσου Θήρας.....	105
7.3 Συμπεράσματα από την προσομοίωση με μοντέλο εκτίμησης υδατικού ισοζυγίου του υδροφορέα Βουρβούλου - Καμαρίου με το μοντέλο ακόρεστης ροής CLASS.....	105
7.4 Συμπεράσματα από τα σενάρια μελλοντικών καιρικών μεταβολών.....	106
7.5 Συμπεράσματα για την Ν. Θήρα.....	107
7.5.1 Γενικά συμπεράσματα.....	107
7.5.2 Ειδικά συμπεράσματα.....	108
7.6 Προτάσεις – Μέτρα.....	109
7.6.1 Γενικά.....	109

<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>113</b>
--------------------------	------------

## Σύμβολα και Συντημήσεις

ο παρακάτω κατάλογος δίνει τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στο παρών κεφάλαιο :

$E_0$  = η δυναμική εξάτμιση (mm/day)

$E_{rc}$  = η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm/day)

$E_t$  = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm/day)

$\Delta$  = η κλίση της καμπύλης της τάσης των κορεσμένων ατμών ( $\partial e_s / \partial T$ )

$R_n$  = η καθαρή ακτινοβολία (mm/day)

$\gamma$  = η ψυχρομετρική σταθερά

$\gamma' = \gamma(1 + r_s / r_a)$

$r_s$  = είναι η φυσιολογική αντίσταση της φυτοκάλυψης (s/m)

$r_a$  = είναι η αεροδυναμική αντίσταση του κατώτερου ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος στη ροή των υδρατμών (s/m)

$\lambda$  = είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (kJ/kg)

$D$  = είναι το έλλειμμα κορεσμού στην ατμόσφαιρα

$F(u)$  = είναι η συνάρτηση ανέμου

$\alpha_e = 1.3$  είναι αριθμητική σταθερά

$z$  = είναι το υψόμετρο (m)

$\phi$  = το γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες

$T_d$  = το σημείο δρόσου σε °C

$T_a$  = είναι η θερμοκρασία σε °C

$k_c$  = είναι συντελεστής καταναλωτικής χρήσης (φυτικός συντελεστής)

$\rho$  = είναι το ποσοστό επί της εκατό των ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα σε σχέση με το σύνολο των ωρών ημέρας του έτους.

$L$  = είναι θερμικός δείκτης

$\mu$  = είναι ο αριθμός ημερών του μήνα

$N$  = είναι η μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας

$I$  = είναι εμπειρικός συντελεστής που ονομάζεται ετήσιος θερμικός δείκτης

$a$  = είναι άλλος εμπειρικός συντελεστής, συνάρτηση του  $I$ .

$S_0$  = είναι η εξωγήινη ακτινοβολία σε  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \text{d})$

$T_{\max} - T_{\min}$  = είναι η διαφορά μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας σε °C.

## Περίληψη

Το νησί της Θήρας τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει γνωρίσει αλματώδη τουριστική ανάπτυξη γιατί είναι ένα νησί με μεγάλο τουριστικό ενδιαφέρον. Ως συνέπεια της ανάπτυξης αυτής είναι η μεγάλη αύξηση της ζήτησης νερού, κυρίως κατά τη θερινή περίοδο όπου ο πληθυσμός του νησιού αυξάνεται κατά πολύ και ενεργοποιούνται οι τουριστικές του δραστηριότητες.

Τα περιορισμένα και πεπερασμένα υπόγεια υδατικά αποθέματα σε συνδυασμό με τις εφαρμοζόμενες επί πολλά έτη απρογραμμάτιστες και μη ελεγχόμενες εκμεταλλεύσεις του υπόγειου υδατικού δυναμικού της νήσου Θήρας διευκόλυναν το φαινόμενο την υπαλμύρωσης των υπόγειων υδροφορέων και πλέον έχουν καταστεί ακατάλληλοι για υδρευτική και αρδευτική χρήση.

Οι υδρογεωλογικές και οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στις ανατολικές Κυκλάδες, όπου ανήκει και η Ν. Θήρα, χαρακτηρίζονται ως οι δυσμενέστερες υδρογεωλογικά του Ελλαδικού χώρου και της ευρωπαϊκής ηπείρου γενικότερα. Αυτό επιβεβαιώνεται από τις εξαιρετικά χαμηλές μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις, την πολύ υψηλή εξάτμιση και την ταχεία, λόγω μορφολογίας, επιφανειακή απορροή, δηλαδή παράγοντες που περιορίζουν την κατείσδυση και την επανατροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

Αρχικά γίνεται ανάλυση του ήδη υπάρχοντος εδώ και πολλά έτη προβλήματος της υπαλμύρωσης, η αντιμετώπιση του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση καθώς δεν μπορεί να θεωρηθεί αναστρέψιμο φαινόμενο. Αλλά και ενός άλλου προβλήματος, των έντονων κλιματικών αλλαγών, καθώς όλες οι εκτιμήσεις που έχουν γίνει πάνω σε αυτό συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για τη μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα.

Για να αποκτήσουμε μια εικόνα για τη σημερινή κατάσταση των υπόγειων αποθεμάτων της Θήρας γίνεται στην παρούσα εργασία μια εμπειρική διαδικασία προσδιορισμού των συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου. Επίσης εφαρμόζεται μια υπολογιστική μέθοδος προσδιορισμού της τροφοδοσίας του υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου με μοντέλο ακόρεστης ροής και ακολουθεί παρουσίαση των αποτελεσμάτων μας και των αποτελεσμάτων παλιότερων ερευνών σε υδροφόρους της Νήσου.

Κατόπιν έγινε εκτίμηση της κατείσδυσης, μέσω σεναρίων, για διάφορες μεταβολές της βροχόπτωσης που θα γίνουν στο μέλλον, καθώς δεν



υπάρχει πλέον αμφιβολία πως αναμένονται ξηρασίες και καύσωνες που θα προκαλέσουν μείωση των βροχοπτώσεων κάτι που θα έχει πολλές αρνητικές επιπτώσεις για τη Ν. Θήρας και τους υδατικούς της πόρους.

Τέλος διατυπώνονται τα συμπεράσματα για την κατάσταση των υπόγειων υδάτων της νήσου και γίνονται εν κατακλείδι κάποιες προτάσεις για τη βελτίωση της ποιότητας των νερών αυτών και της ευαισθητοποίησης του συνόλου στο πρόβλημα της υφαλμύρωσης και γενικότερα της ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων.

## **Abstract**

During the last years there has been great touristic development in Thira island because it is an island of great interest. Due to this development there is an increase in water demand, mainly during the summer months, where the population of the island is rising and its touristic activities are evident.

The limited and finite underground water sediments in combination with the non- scheduled and uncontrolled exploitations- for many years- of underground water potential of Thira, facilitated the phenomenon of salinity of underground aquifers. As a result, aquifers have been rendered inadequate for watering use and irrigation.

The hygro-geologic and meteorological conditions that prevail in eastern Cyclades, where Thira belongs to, are hydrogeologically characterized as the most difficult ones in both Greece and Europe. This is confirmed by the extremely low annual rainfalls, high evaporation and the fastest, due to morphology, Surface Runoff, that is, factors that limit the leakage and the re - filling of underground water aquifers.

Initially the already existing - for many years - problem of salinity is analyzed, its dealing with is practically connected with prediction and proper usage, since it is not considered an irreversible phenomenon. Then comes an analysis of another problem, that of intense climate changes, since all the estimations that have taken place on this issue, converge to the conclusion that this is the greatest challenge that mankind faces nowadays.

So as to have a crystal-clear view of the current condition of underground water supplies of Thira, in the present thesis, an empirical procedure of constituents of the water balance is followed. Also a

calculating method is applied to determine the supply of Bourvoulou – Kamariou aquifer by the model of unsaturated moisture movement then , a presentation of our results follows with simultaneous result-comparisons to those of previous researches in the island's aquifers. Afterwards there has been an estimation of the leakage, through scenarios, for various rainfall changes that will take place in future, since there is no doubt that droughts and heats will cause a decrease in rainfalls; a fact that will have negative effects for Thira and its water sources.

Finally the conclusions for the current situation of underground water resources of the island are put forth and several proposals are made for the improvement of the quality of those resources and for the sensitization of the island's residents to the problem of salinity and quality debasement of underground resources.

## **Εισαγωγή**

### **Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης των γεωλογικών υδρολογικών χαρακτηριστικών της νήσου θήρας μια προσπάθεια ανάλυσης των ποσοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών του υδροφορέα Βουρβούλου - Καμαρίου. Επιχειρήθηκε να προσδιοριστεί το υδατικό ισοζύγιο των εδαφών της με διάφορες μεθόδους προκειμένου να εκτιμήσουμε καλύτερα την ποσότητα της βροχής που τελικά καταλήγει στον υπόγειο υδροφορέα μας.

Επίσης έγινε εκτίμηση της κατείσδυσης, μέσω σεναρίων, για διάφορες μεταβολές της βροχόπτωσης που θα γίνουν στο μέλλον, καθώς δεν υπάρχει πλέον αμφιβολία πως η κλιματική αλλαγή είναι η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα. Αναμένονται ξηρασίες και καύσωνες που θα προκαλέσουν μείωση των βροχοπτώσεων γεγονός που θα έχει επιπτώσεις πολύ σημαντικές για τη νήσο Θήρα και θα οδηγήσουν σε δραματικές μειώσεις των αποθεμάτων νερού και σε μη αντιστρέψιμη κατάσταση τους υδατικούς της πόρους.

### **Δομή της Διπλωματικής Εργασίας**

#### Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> :

Στο παρών κεφάλαιο αναπτύσσεται το πρόβλημα της υφαλμύρωσης στις παράκτιες περιοχές αναλύεται η διαχείριση παράκτιων υδροφορέων και η πολυπλοκότητα του προβλήματος. Αναλύονται τα αίτια, οι επιπτώσεις και τα μέτρα προστασίας για την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης. Γίνεται αναφορά στον τεχνητό εμπλουτισμό και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του. Επίσης αναπτύσσεται το πρόβλημα και οι επιπτώσεις των έντονων κλιματικών αλλαγών και αναλύεται το ακραίο κλιματικό φαινόμενο της ξηρασίας ενώ προτείνονται μέτρα εξομάλυνσης για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού.

#### Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> :

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται γενική περιγραφή της Ν. Θήρας. Γίνεται μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση στα κυριότερα γεγονότα που έγιναν στο νησί. Παρατίθενται στοιχεία για τη γεωγραφική της θέση καθώς και δημογραφικά και λοιπά ανθρωπογενή στοιχεία, στοιχεία απασχόλησης

και τομείς παραγωγής των κατοίκων, τουρισμός και ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις κ.α.). Έπειτα παρουσιάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά για το κλίμα, το έδαφος και τις καλλιέργειές της και γίνεται μια μικρή πολεοδομική και χωροταξική περιγραφή των οικισμών της. Τέλος δίνεται μια εικόνα για τις ανάγκες του νησιού σε νερό για ύδρευση και άρδευση και τα δίκτυα ύδρευσης που χρησιμοποιεί για την κάλυψη αυτών.

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> :

Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται με τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του νησιού και ειδικότερα με την περιοχή Βουρβούλου – Καμαρίου όπου βρίσκεται ο υδροφορέας που μας ενδιαφέρει. Παρατίθενται τα όρια και οι λιθολογικοί σχηματισμοί της υπό μελέτη περιοχής μας. Παράλληλα παρουσιάζονται οι κυριότερες υδροφορίες που αναπτύσσονται στα εδάφη της.

### Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> :

Στόχος του κεφαλαίου είναι ο προσδιορισμός του υδατικού ισοζυγίου του υπόγειου υδροφορέα Βουρβούλου - Καμαρίου μέσω της Εμπειρικής μέθοδος Thornthwaite – Mather αλλά και με χρήση εμπειρικών συντελεστών. Αρχικά έγινε εκτίμηση των συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου της Ν. Θήρας. Αναπτύσσονται όλες οι παράμετροι του ισοζυγίου ξεχωριστά για να κατανοηθούν ως έννοιες και για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής περιγράφονται οι πιθανές μέθοδοι. Παρατίθενται παλιότερες προσεγγίσεις υδατικού ισοζυγίου της νήσου Θήρας και τέλος γίνεται μια εκτίμηση της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής και έπειτα της κατείσδυσης για τον υδροφορέα μας με τη βοήθεια των προγραμμάτων που είχαμε στη διάθεσή μας.

### Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> :

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εκτίμησης υδατικού ισοζυγίου του υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου με το μοντέλο ακόρεστης ροής CLASS U3M-1D. Υπολογίζεται το υδατικό ισοζύγιο για κάθε εδαφικό υλικό ενός υδροφορέα και καταλήγει στον προσδιορισμό της κατείσδυσης. Από τη μοντελοποίηση αυτή εξάγονται εδώ και κάποια επιπλέον συμπεράσματα.

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> :

Στο παρόν κεφάλαιο στόχος μας είναι η εκτίμηση της κατείσδυσης για διάφορες μεταβολές της βροχόπτωσης που θα γίνουν στο μέλλον. Βασίζεται στην αδημοσίευτη εργασία του υποψήφιου διδάκτορα Κουράκου Γ. Έτσι για την προσομοίωση της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες μετρήσεις βροχόπτωσης για 24ετη από τον μετεωρολογικό σταθμό της νήσου Μήλου. Για την δημιουργία χρονοσειρών βροχόπτωσης συντάχθηκε σε περιβάλλον MATLAB από τον υποψήφιο διδάκτορα, Κουράκο Γ., το πρόγραμμα Rainfall Generator. Έτσι δημιουργήσαμε σενάρια συνθετικών βροχοπτώσεων και κατόπιν έγινε υπολογισμός της τροφοδοσίας του υπόγειου υδροφορέα με χρήση του προγράμματος WTRBLN το οποίο επίσης συντάχθηκε από τον υποψήφιο διδάκτορα, Κουράκο Γ.

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> :

Τέλος, παρατίθεται μια σύνοψη των κεφαλαίων, καθώς και τα επιμέρους συμπεράσματα που εξήχθησαν από την διερεύνηση του υδάτινου δυναμικού του εξεταζόμενου υδροφορέα και από τον προσδιορισμό του υδατικού του ισοζυγίου, μαζί με τα συμπεράσματα από τη μοντελοποίηση της κατείσδυσης. Κατόπιν γίνονται κάποιες προτάσεις που βασίζονται στα αποτελέσματα που μας έδωσε η παραπάνω μελέτη για τον υδροφορέα, με σκοπό την αξιοποίηση του υπόγειου δυναμικού του, στα πλαίσια της διαχείρισης των υδατικών πόρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Υφαλμύρωση - Ξηρασία

# 1. Υφαλμύρωση - Ξηρασία

## 1.1 Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης

### 1.1.1 Γενικά

Η υπερεκμετάλλευση των παράκτιων υδροφορέων έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την είσοδο της θάλασσας σε αυτούς λόγω διαταράξεως της υδροστατικής ισορροπίας, είναι ένα πρόβλημα όλων των χωρών που βρέχονται από θάλασσα. Η υφαλμύρωση έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού των παράκτιων υδροφορέων. Έτσι το μεγαλύτερο μέρος, ποσοστό άνω του 85%, των παράκτιων υδροφόρων της χώρας έχουν γίνει ακατάλληλοι για οποιαδήποτε χρήση λόγω της υφαλμύρωσης τους.

Στην επαφή αλμυρού και γλυκού νερού δημιουργείται μια μεταβατική ζώνη μεταβαλλόμενης πυκνότητας και ορισμένου πάχους γνωστή ως διεπιφάνεια. Πάνω από αυτή κινείται το ελαφρύτερο γλυκό νερό (ειδικό βάρος περίπου  $1.000 \text{ cm}^3 / \text{gr}$ ) που εξέρχεται προς τη θάλασσα ενώ από κάτω συναντάται το αλμυρό νερό (ειδικό βάρος περίπου  $1.025 \text{ cm}^3 / \text{gr}$ ). Οι υδραυλικές παράμετροι και τα χαρακτηριστικά της υπόγειας ροής στη ζώνη αυτή μεταβάλλονται καθώς αλλάζει η πυκνότητα εξαιτίας της μεταβολής της συγκέντρωσης άλατος. Οι Das and Data (1999) μελέτησαν τη «μικτή» αυτή ροή στη ζώνη μεταβαλλόμενης πυκνότητας μέσω κατάλληλου μοντέλου. (Πηγή: Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου ανάλυσης παράκτιων υδροφορέων, Μαντόγλου Α., Κουράκος Γ., 2005)

### 1.1.2 Διαχείριση παράκτιων υδροφορέων – Πολυπλοκότητα προβλήματος

Οι ανάγκες για νερό στις παράκτιες περιοχές και τα νησιά αυξάνονται συνεχώς λόγω της βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου και της μεγάλης αύξησης του πληθυσμού κατά τους θερινούς μήνες λόγω του τουρισμού. Οι αντλήσεις των υδροφορέων κατά τους θερινούς μήνες είναι εντατικές, πολλές φορές πάνω από τα όρια βιωσιμότητας, με αποτέλεσμα την υφαλμύρωση των παράκτιων υδροφορέων. Επίσης η τροφοδοσία των υδροφορέων μεταβάλλεται ανάλογα με τις βροχοπτώσεις και σε περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας δεν επαρκεί για την επαναπλήρωσή τους. Λόγω των περιορισμένων διαθεσίμων

υδατικών πόρων στις παράκτιες περιοχές και τα νησιά, οι υπάρχοντες υδατικοί πόροι είναι πολύτιμοι και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατό καλύτερα ώστε να προστατευτούν και να συνεχίσουν να καλύπτουν και στο μέλλον τις ανάγκες με βιώσιμο τρόπο. Η χρήση και αποκατάσταση παράκτιων υδροφορέων πρέπει να αποτελεί μέρος ενός γενικότερου πλαισίου ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων του νησιού ή της παράκτιας περιοχής η οποία περιλαμβάνει τα επιφανειακά καθώς και τα υπόγεια νερά, εξετάζει τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτινων πόρων και θεωρώντας τις υπάρχουσες αλλά και τις μελλοντικές ανάγκες καθώς και τη μεταβλητότητα και διαρκή αύξηση των αναγκών ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Αυτού του είδους η διαχείριση απαιτεί επιστημονική έρευνα, ανάλυση, μελέτες και σχεδιασμό, κατάλληλη νομοθεσία και διατάξεις, καθώς και καλή πληροφόρηση και συνεργασία φορέων και πληθυσμού.

Στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης υπάρχει ανάγκη να καθοριστούν οι βέλτιστες ποσότητες που μπορούν να αντληθούν από τους υδροφορείς και να καθοριστεί η σχέση αυτή σαν συνάρτηση των γεωμετρικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών και παραμέτρων του υδροφορέα καθώς και της κατείδυσης. (Μαντόγλου Α., 2007, Πρόληψη και διαχείριση των φυσικών καταστροφών)

Δυστυχώς το σύστημα είναι πολύπλοκο και είναι πολύ δύσκολο αν όχι αδύνατο να το κατανοήσουμε πλήρως και να το περιγράψουμε επακριβώς με μαθηματικές εξισώσεις. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος υφαλμύρωσης παράκτιων υδροφορέων οφείλεται στους παρακάτω παράγοντες :

Ύπαρξη δύο φάσεων ρευστών καθώς και μιας ευρείας ζώνης ανάμιξης (ζώνη υφαλμύρωσης) μεταξύ των δύο υγρών φάσεων,

Η κίνηση καθώς και η διασπορά του ενός ρευστού στο άλλο εξαρτάται από την πυκνότητα των ρευστών στην ζώνη υφαλμύρωσης η οποία μεταβάλλεται σαν συνάρτηση του χώρου και χρόνου και εξαρτάται από τις συνθήκες ροής. Αυτή η αλληλεξάρτηση κάνει τις αντίστοιχες εξισώσεις μη γραμμικές και είναι πολύ δύσκολο να επιλυθούν με αριθμητικές μεθόδους αφού απαιτούνται διαδοχικές προσεγγίσεις και επαναλήψεις.

Η περιγραφή του φυσικού φαινομένου περιπλέκεται ακόμα περισσότερο λόγω της ανομοιογένειας των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφορέα. Ιδιαίτερα σε καρστικούς υδροφορείς η ανάμιξη του γλυκού και αλμυρού νερού είναι εντελώς διαφορετικής φύσης από αυτήν σε ομοιογενείς και ισοτροπικούς πορώδεις υδροφορείς. Η ροή σε καρστ συχνά δεν ακολουθεί το νόμο του Darcy αφού γίνεται σε κοιλότητες και σε ανοίγματα που είναι συχνά μεγάλων διαστάσεων με αποτέλεσμα να



είναι πολύπλοκη και να μην μπορεί να περιγραφεί με γενικές διαφορικές εξισώσεις ροής αφού κάθε ιδιαίτερο σύστημα έχει τη δική του ιδιότυπη συμπεριφορά. Επομένως, εκτός από τα φυσικά μοντέλα που βασίζονται σε φυσικούς νόμους και διαφορικές εξισώσεις ροής και διασποράς, συχνά αρκούμαστε και σε εμπειρικές σχέσεις ή και σε απλά στατιστικά μοντέλα (μοντέλα μαύρου κουτιού). Είναι χρήσιμο πάντως όπου είναι δυνατόν να χρησιμοποιούμε τα φυσικά μοντέλα αφού βοηθούν να κατανοήσουμε την λειτουργία του συστήματος.

### **1.1.3 Κατηγορίες υφάλμυρων υπογείων νερών**

Η επιστημονική έρευνα έχει αναγνωρίσει τέσσερα είδη υφάλμυρων υπογείων νερών, με διαφορετική προέλευση όσο αφορά στη διαδικασία εναλάτωσης :

- I. Υφάλμυρα νερά, οφειλόμενα σε θαλάσσια διείσδυση
- II. Υφάλμυρα νερά, οφειλόμενα σε διάλυση ευδιάλυτων αλάτων που υπάρχουν στον υδροφόρο ορίζοντα
- III. Υφάλμυρα νερά, οφειλόμενα στις διεργασίες δημιουργίας των πετρωμάτων (συγγενετικά ή απολιθωμένα νερά)
- IV. Υφάλμυρα νερά, οφειλόμενα σε συμπύκνωση διαλυμένων αλάτων, σε περιοχές έντονης εξατμισοδιαπνοής

Είναι σαφές ότι ο κύριος προσανατολισμός των ενασχολούμενων με τους υδατικούς πόρους φορέων και επιστημόνων έχει εστιασθεί στην υφαλμύρωση που έχει σχέση με τη θαλάσσια διείσδυση γιατί στατιστικά κυριαρχεί και σχεδόν μονοπωλεί το ενδιαφέρον, τουλάχιστον για βάθη, που είναι οικονομοτεχνικά αποδεκτά για εκμετάλλευση υπογείων υδάτων.

### **1.1.4 Ευαισθησία Ελλάδας στη θαλάσσια διείσδυση**

Η Ελλάδα, εξ αιτίας του μεγάλου μήκους των ακτών της, παρουσιάζει εξαιρετική ευαισθησία στη θαλάσσια διείσδυση, που μπορεί να προκύπτει είτε:

- α) Λόγω διαταραχών στην ισορροπία του συστήματος γλυκού - θαλασσινού νερού, που προκαλούνται από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (υπερεκμετάλλευση υπογείων υδροφόρων οριζόντων) σε

Λεκάνες κοκκωδών η καρστικών σχηματισμών, που γειτνιάζουν με τη θάλασσα είτε

β) λόγω ιδιαιτεροτήτων που σχετίζονται με τη γεωλογική δομή (καρστική διεργασία - επίπεδο βάσης του καρστ). Η πρόσφατη αλμύριση των παράκτιων καρστικών υδροφόρων οριζόντων λαμβάνει χώρα με τους εξής μηχανισμούς ( Milanovic, 1981) :

- όταν καρστικοί αγωγοί βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα, σε όλο τους το μήκος.
- όταν το στεγανό διάφραγμα, ανάμεσα στο Καρστικό σύστημα και στη θάλασσα, διαταραχθεί κατά θέσεις από τη διάβρωση ή τον τεκτονισμό.
- όταν το στεγανό διάφραγμα είναι πολύ ρηχό, οπότε η κυκλοφορία γίνεται κάτω από αυτό. ( Γ. Καλλέργης )

Οι προαναφερόμενοι μηχανισμοί λειτουργίας των καρστικών συστημάτων μπορούν να οδηγήσουν και σε αυτογενή υφαλμύρωση, χωρίς να παρεμβληθεί ανθρωπίνη δραστηριότητα.

### **1.1.5 Αίτια υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών**

Οι αφορμές που συντέλεσαν στη δημιουργία της υφαλμύρωσης των υδροφόρων οριζόντων διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς:

#### **Φυσικές**

Κύρια αιτία υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών και κυρίως των παραλιακών υπόγειων υδροφόρων αποτελεί η ύπαρξη χαμηλής πιεζομετρίας, δηλαδή η ανάπτυξη πολύ μικρού υδραυλικού φορτίου που αποτελεί την κινητήρια δύναμη των υπόγειων νερών προς τη θάλασσα. Έτσι η όποια φυσική ή ανθρωπογενής δράση που συνεπάγεται περαιτέρω μείωση του υδραυλικού φορτίου, αποτελεί λόγω για ανύψωση της διεπιφάνειας γλυκού - αλμυρού νερού, δηλαδή αφορμή προσέγγισης της υφάλμυρης ζώνης στην επιφάνεια του εδάφους. Κύριες φυσικές δράσεις που αποτελούν αφορμές ελάττωσης των υδραυλικών φορτίων των υπόγειων νερών είναι οι καθοδικές κινήσεις της στεριάς και άλλοι γεωλογικοί παράγοντες. Επίσης οι κλιματικές μεταβολές που προκαλούν εν μέρει την μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας που προκαλείται από τήξη παγετώνων αφού η στάθμη ανυψώνεται κατά 1m τον αιώνα και αν λάβουμε υπόψιν μας και το

φαινόμενο του θερμοκηπίου, η άνοδος της σημερινής στάθμης της θάλασσας είναι κάτι περισσότερο από σίγουρη.

## **Ανθρωπογενείς**

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, από το 2000 έως το 2005 οι βροχές ήταν κατά 25% περισσότερες, σε σχέση με το διάστημα 1995-2000 και κατά 62% περισσότερες, σε σχέση με το διάστημα 1990-1995. Ωστόσο, όπως διαπιστώνεται, η θάλασσα εισχωρεί με έντονους ρυθμούς και τα αποθέματα νερού μειώνονται επικίνδυνα από την αλόγιστη χρήση που γίνεται από τις ανθρώπινες δράσεις που προκαλούν ελάττωση των υδραυλικών φορτίων, και είναι κατά κύριο λόγο οι υπεραντλήσεις υπόγειων νερών, καθώς και όλα τα είδη τεχνικών έργων που λειτουργούν αποστραγγιστικά (π.χ. αποστραγγιστικό δίκτυα σε δέλτα ποταμών και σε παραθαλάσσιες πεδινές ζώνες).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων έργων αποτελούν τα αποστραγγιστικά και αντιπλημμυρικά έργα στο Δέλτα του Νέστου. Ακόμα τα οποιασδήποτε μορφής ανθρώπινα έργα που προκαλούν ελάττωση της κατείδυσης από την επιφάνεια του εδάφους, μείωση της διήθησης από τις κοίτες των ποταμών και χειμάρρων (αντιπλημμυρικά έργα, εγκιβωτισμοί υδατορευμάτων, ασφαλτοστρώσεις, φράγματα, τεχνικοί ταμιευτήρες κ.α.).

Προβλήματα δημιουργούνται από την ανάσχεση της υπόγειας ροής όπως τα τεχνικά έργα (υπόγεια διαφράγματα, βαθιές θεμελιώσεις κ.α. Επίσης είναι γνωστό ότι ο πληθυσμός της Γης αυξάνεται κατά 96 εκατομμύρια το χρόνο. Έτσι έχουν διαμορφωθεί τρεις εναλλακτικά σενάρια, σχετικά με την μελλοντική αύξηση του πληθυσμού της Γης. Η πιο πιθανή προοπτική, είναι το 2050 ο πληθυσμός της γης να φτάσει τα 10 δισεκατομμύρια. ενώ σύμφωνα με την πλέον απαισιόδοξη προοπτική θα φθάσει τα 12,5 δισεκατομμύρια. Οι αριθμοί αυτοί παίρνουν άλλες διαστάσεις όταν ληφθεί υπόψη ότι το 1930 ο πληθυσμός της Γης δεν ξεπερνούσε τα 2 δις και το 1975 τα 4 δις. Εάν στους προηγούμενους αριθμούς λάβουμε υπόψη και το φαινόμενο της αστυφιλίας, τότε γίνεται αντιληπτό ότι οι απαιτήσεις σε νερό θα είναι ακόμα μεγαλύτερες. Επίσης οι παράκτιες περιοχές παντού στον κόσμο παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού και πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες.

Στην χώρα μας η άνοδος του βιοτικού επιπέδου, η ανάπτυξη και εντατικοποίηση της γεωργία σε πεδιάδες παραθαλάσσιες συνοδευόμενη από αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και γεωργικών φάρμακων που έγιναν αιτία εμφάνισης νιτρικών αλάτων και άλλων

ρυπαντών καθώς και η ανάπτυξη του τουρισμού έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των υδατικών αναγκών σε υπόγειο νερό που οδηγούν σε υπερεκμετάλλευση των υδροφορέων με συνέπεια τον μηδενισμό ή και την αναστροφή των υδραυλικών κλίσεων του και τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφόρους σχηματισμούς προκαλώντας την υφαλμύρωση των αποθεμάτων που καθίστανται ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση.

### **1.1.6 Επιπτώσεις της υφαλμύρωσης**

Η άντληση υπόγειου νερού σε νησιωτικές και παράκτιες περιοχές μετακινεί τη διεπιφάνεια (ή μεταβατική ζώνη) που σχηματίζεται ανάμεσα στο υπόγειο γλυκό νερό και το νερό της θάλασσας. Το υπόγειο μέτωπο του θαλασσινού νερού προωθείται προς την ξηρά (εισχώρηση θαλασσινού νερού) και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα αντλείται ποιοτικά υποβαθμισμένο νερό (υφαλμύριση) ή ακόμη και θαλασσινό νερό. Ανάλογα φαινόμενα παρατηρούνται σε υδροφορείς που γειτνιάζουν με άλλους υδροφορείς που περιέχουν νερό χαμηλότερης ποιότητας. Η ταπείνωση της στάθμης των φρεάτιων υδροφορέων και η αφαίρεση σημαντικών ποσοτήτων νερού από περιορισμένους υδροφορείς μπορεί να προκαλέσει καθιζήσεις των εδαφών, δεδομένου ότι το βάρος των υπερκείμενων υλικών εξισορροπείται σε μεγαλύτερο βαθμό από δυνάμεις που αναπτύσσονται στο στερεό ιστό του εδαφικού υλικού, αφού η υδραυλική πίεση μειώνεται.

Γενικά το υφάλμυρο νερό χαρακτηρίζεται ακατάλληλο τόσο για άρδευση όσο και για ύδρευση ενώ οι επιπτώσεις του στην υγεία των καταναλωτών έχουν να κάνουν με την καρδιά και το κυκλοφορικό σύστημα.

Από υδρευτικής απόψεως για την Σαντορίνη που είναι τουριστική, με μεγάλο αριθμό εποχικών επισκεπτών και αυξημένες υδρευτικές απαιτήσεις που καλύπτονται από τα υπόγεια νερά, το φαινόμενο της ποιοτικής υποβάθμισης των υδροφορέων καθιστά προβληματική και ελλειμματική την ύδρευση. Η έλλειψη αυτή οδηγεί στην αύξηση του κόστους ζωής λόγω των δαπανηρών λύσεων (εμφιαλωμένο νερό, έργα υδροδότησης κ.α.) ή στην υποβάθμιση του βιοτικού επιπέδου των μόνιμων κατοίκων. Αύξηση του κόστους ζωής αλλά και των ενγενών δυσκολιών παρατηρείται και για τους τουρίστες με αποτέλεσμα τη μείωση της δυναμικής οικονομικής εκμετάλλευσης της περιοχής, μείωση της εισροής νέων επενδυτικών κεφαλαίων και του αριθμού των τουριστών αφού καθίσταται λιγότερο ανταγωνιστική συγκρινόμενη με άλλες τουριστικές περιοχές εντός και εκτός της Ελληνικής επικράτειας. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μείωση του εισοδήματος των κατοίκων και

περαιτέρω υποβάθμιση του βιοτικού τους επιπέδου μέσα από έναν φαύλο κύκλο αύξησης του κόστους ζωής.

Από αρδευτικής απόψεως τα προβλήματα που προκαλούνται είναι πολλαπλά διότι παρουσιάζεται έλλειψη ικανής ποσότητας νερού, λόγω της έλλειψης έργων υποδομής αρδευτικής ανάπτυξης, όπως τα έργα εκμετάλλευσης των επιφανειακών υδατικών πόρων, γεγονός που οδηγεί στην ποσοτικά ελλειμματική άρδευση και στην κάλυψη των αρδευτικών αναγκών με υφάλμυρο ή ακάθαρτο νερό με αποτέλεσμα την αύξηση της αλατότητας των εδαφών. Το γεγονός αυτό ευθύνεται για τη μείωση της δυναμικότητας τους, την πτώση της αξίας της γης, της αύξηση του κόστους των παραγόμενων προϊόντων, την μείωση της ανταγωνιστικότητας τους, την μείωση του όγκου των πωλήσεων, την μείωση των εισοδημάτων των αγροτών και την υποβάθμιση του βιοτικού τους επιπέδου.

Η μείωση της παραγωγικότητας των εδαφών αναγκάζει τους καλλιεργητές είτε να αντισταθμίζουν ποσοτικά (χρησιμοποιώντας περισσότερο νερό) την ποιοτική υποβάθμιση του νερού είτε να χρησιμοποιούν μεγαλύτερα και δραστικότερα βελτιωτικά (λιπάσματα). Το γεγονός της αύξησης των εξόδων έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του εισοδήματος τους ή στην προσπάθεια αποκατάστασης των εσόδων τους, την αύξηση της τιμής των προϊόντων που μειώνει την ανταγωνιστικότητα τους. Η εξέλιξη αυτή μπορεί να οδηγήσει τους κατοίκους να επιλέξουν για απασχόληση τους την τουριστική ανάπτυξη του τόπου τους, η οποία είναι και άμεσα αποδοτική, παρά τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν και όχι την παραδοσιακή γεωργική ανάπτυξη, η οποία και επισφαλής είναι αλλά και απαιτεί μεγάλης κλίμακας έργα για την εξασφάλιση ικανών ποσοτήτων αρδευτικού νερού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ολοένα μεγαλύτερη συρρίκνωση της καλλιεργούμενης γης (περίπου 15% κατά την τελευταία δεκαετία) και την επικράτηση εποχικού χαρακτήρα απασχόλησης. Τέλος, στις περιπτώσεις όπου στα δίκτυα μεταφοράς το νερό είναι υφάλμυρο, λόγω της μεγάλης διαβρωτικής ικανότητας, προκαλεί σημαντικά προβλήματα στα διάφορα στοιχεία του δικτύου, όπως αύξηση των ρυθμών εμφάνισης βλαβών με επακόλουθη μείωση του χρόνου ζωής τους, αύξηση των απωλειών λόγω διαρροής, μείωση της παροχетеυτικής ικανότητας των αγωγών, αύξηση του λειτουργικού κόστους συντήρησης του δικτύου και του βαθμού αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας του.

Υπάρχει επομένως ένα όριο ασφαλείας, το οποίο λέγεται ασφαλής απόδοση και ορίζεται ως η ετήσια ποσότητα νερού που μπορεί να αποληφθεί χωρίς να προκαλεί ανεπιθύμητα αποτελέσματα (Todd, 1959). Άλλες επιπτώσεις είναι :

- Ταπείνωση της στάθμης των φρεάτιων οριζόντων ή της πίεσης των περιορισμένων υδροφορέων αυξάνοντας το κόστος άντλησης σε γραμμική αναλογία
- καθιζήσεις εδαφών, δεδομένου ότι το βάρος των υπερκείμενων υλικών εξισορροπείται σε μεγαλύτερο βαθμό από δυνάμεις που αναπτύσσονται στο στερεό ιστό του εδαφικού υλικού, αφού η υδραυλική πίεση μειώνεται.
- Ταπείνωση ενός φρεάτιου υδροφορέα από ένα κάτοχο γεώτρησης γεγονός που είναι πολύ πιθανό να οδηγήσει γειτονικές αβαθέστερες γεωτρήσεις σε αστοχία, δημιουργώντας ουσιαστικά και νομικά προβλήματα.
- Μείωση της επιφανειακής απορροής των ποταμών που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τα οικοσυστήματά τους και να περιορίσει τις απολήψεις επιφανειακού νερού.
- Μείωση της επιφανειακής ή υπόγειας τροφοδοσίας των λιμνών και των υγροτόπων οδηγεί σε μείωση της στάθμης και της έκτασής τους, πράγμα που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τα οικοσυστήματά τους και να περιορίσει τις τυχόν απολήψεις νερού από αυτά τα υδάτινα σώματα.
- Μείωση της εκροής υπόγειου γλυκού νερού προς τη θάλασσα που μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς συνέπειες στα παράκτια οικοσυστήματα.
- Λόγω υπεράντλησης μετά από κάποιο χρονικό διάστημα αντλείται ποιοτικά υποβαθμισμένο νερό (υφαλμύρωση) ή ακόμα και θαλασσινό νερό.

Πολλές περιοχές της Ελλάδας αλλά και της υδρογείου έχουν υποστεί τις παραπάνω συνέπειες από την κακή εκμετάλλευση των υπόγειων νερών και η Σαντορίνη αποτελεί τυπικό παράδειγμα. Ωστόσο οι παραπάνω υδρολογικές επιπτώσεις και οι οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές και νομικές συνέπειές τους δεν είναι τόσο εύκολο να εκτιμηθούν σε μια "εφάπαξ" μελέτη, εξαιτίας της εμφανούς πολυπλοκότητας του όλου θέματος. Έτσι, η εκμετάλλευση των υπόγειων νερών απαιτεί συνεχή επιστημονική και τεχνική παρακολούθηση και διαρκή επανεκτίμηση των όρων, συνθηκών και έργων εκμετάλλευσης. Άλλωστε και το ίδιο το μέγεθος της ασφαλούς απόδοσης δεν μπορεί να είναι εξ αρχής γνωστό, αλλά η εκτίμησή του διαρκώς βελτιώνεται, παράλληλα με την αξιοποίηση των υπόγειων νερών (Κουτσογιάννης - Ξανθόπουλος, 1999).

### 1.1.7 Μέτρα προστασίας - Αντιμετώπισης της υφαλμύρωσης

Τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν προκειμένου να εξαλειφτεί ή έστω να περιοριστεί σε όσο μεγαλύτερο βαθμό γίνεται το πρόβλημα της υφαλμύρωσης είναι:

- Επιβολή υδατικής πολιτικής και ορθολογικής διαχείρισης.
- Χαμηλότοκο χρηματοδοτικό πρόγραμμα και υπηρεσία διαχείρισης του, για την κάλυψη όλων των απαιτούμενων αγορών και την υλοποίηση των εγχειρημάτων στα πλαίσια της επίτευξης των στόχων.
- Για τους υπόγειους υδροφόρους που έχουν ήδη υφαλμυρωθεί κατασκευή υδραυλικών φραγμών γλυκού νερού κοντά στην ακτή και γενικότερα επιβολή σωστής διαχείρισης για την αποκατάσταση της διαταραγμένης ισορροπίας γλυκού - αλμυρού νερού.
- Την προστασία των υδατικών πόρων από την πρόωρη εξάντληση και υφαλμύριση.
- Παρακολούθηση και έλεγχος της λειτουργίας δημοτικών και ιδιωτικών γεωτρήσεων, παρέμβαση και διακοπή λειτουργίας στο καθεστώς υπερεκμετάλλευσης και στα μη εγκεκριμένα υδροληπτικά έργα καθώς και επιβολή αυστηρών κυρώσεων στους παραβάτες.
- Ένα διαχειριστικό πρόγραμμα για την συστηματική παρακολούθηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των διαθέσιμων υδατικών πόρων και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.
- Σχεδιασμός και εκτέλεση έργων σύλληψης αποθήκευσης και διανομής του νερού με κύριο στόχο την αξιοποίηση των επιφανειακών απορροών
- Να απαγορευθεί η τσιμεντόστρωση και η ασφαλτόστρωση υδατορεμάτων γιατί με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η επιφανειακή απορροή σε βάρος της κατείσδυσης και της ανατροφοδότησης των υπόγειων υδροφόρων.
- Την προμήθεια με νερό σε επαρκή ποσότητα και όσο το δυνατόν ικανοποιητική ποιότητα, ανάλογα με τις χρήσεις (ύδρευση άρδευση, τουρισμός).
- Δημιουργία προϋποθέσεων για την αντιμετώπιση ακραίων υδρογεωλογικών φαινομένων.
- προσπάθεια ευαισθητοποίησης του κοινωνικού συνόλου με στόχο την αλλαγή στην νοοτροπία του κοινωνικού συνόλου όσον αφορά τη χρήση των υδατικών πόρων.

- Η εφαρμογή μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού με κατάκλυση ή με γεωτρήσεις εμπλουτισμού ως μέσον ελέγχου της θαλάσσιας διείδυσης, έτσι έχουμε μια αύξηση της υδραυλικής κλίσης στην περιοχή εμπλουτισμού και μια αναστροφή της υδραυλικής κλίσης προς την κατεύθυνση της θάλασσας στην περιοχή ανάμεσα στις γεωτρήσεις άντλησης και τη θάλασσα

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων που εμπλέκονται στο εφαρμόσιμο ή μη μιας μεθόδου προστατευτικής των υπόγειων νερών από τη θαλάσσια διείδυση όπως το κόστος, η διαθεσιμότητα, το νομικό καθεστώς, οι απαιτήσεις για την ύπαρξη αποχέτευσης και ισορροπίας των αλάτων, οι δυνατότητες συντήρησης των πλημμυρικών απορροών η αποθηκευτική ικανότητα κ.α. Όλοι αυτοί οι παράγοντες θα πρέπει να αξιολογηθούν, όταν σκοπεύουμε να επιλέξουμε την μέθοδο που παρέχει τα περισσότερα πλεονεκτήματα για τον έλεγχο της θαλάσσιας διείδυσης. Η μελέτη των παραγόντων αυτών (φυσικών και τεχνητών) που διαταράσσουν την υδραυλική ισορροπία της διεπιφάνειας αλμυρού και γλυκού νερού είναι το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό μιας επιτυχούς μεθόδου ελέγχου της θαλάσσιας διείδυσης. (Διαμαντής – Πεταλάς - Πλιάκας)

### 1.1.8 Τεχνητός εμπλουτισμός

#### Γενικά

Σε μια λεκάνη η περιοχή, υπό φυσικές συνθήκες, χωρίς παρέμβαση του ανθρώπου, το νερό των κατακρημνισμάτων που φθάνει στα υδροφόρα στρώματα και τα τροφοδοτεί, είτε άμεσα με την κατείδυση, είτε έμμεσα με τη διήθηση από τις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου, είναι ο φυσικός εμπλουτισμός. Το ύψος του είναι ορισμένο κάθε υδρολογικό έτος και εξαρτάται από τη γεωλογική σύσταση, από το βροχομετρικό ύψος και το βροχομετρικό σύστημα (ετήσια κατανομή της βροχής). Ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την ποσότητα αυτή του νερού, να προκαλέσει δηλαδή «**τεχνητό εμπλουτισμό**». Επομένως ως τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων στρωμάτων θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε την αύξηση των ποσοτήτων μετεωρικού νερού που εισέρχεται στα υδροφόρα στρώματα με χρήση διαδικασιών, τεχνικών, εγκαταστάσεων - διατάξεων από τον άνθρωπο. Στην πιο ευρεία έννοια θα λέγαμε ότι τεχνητός εμπλουτισμός είναι η εισαγωγή πρόσθετων ποσοτήτων νερού στα υδροφόρα στρώματα. Το πρόσθετο αυτό νερό μπορεί να προέρχεται από επιφανειακό νερό ή από νερό από παρακείμενα υδροφόρα στρώματα. (Σούλιος Γ.)



## **Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τεχνητού εμπλουτισμού.**

Ο τεχνητός εμπλουτισμός έχει πολλές θετικές επιπτώσεις καθώς συντελεί στη βελτίωση της ποιότητας του υπόγειου νερού, στη προστασία της ύπαρξης και της λειτουργίας πηγών και υδροτόπων, στην αποφυγή συνίζησης και άρα ποσοτικής υποβάθμισης υδροφορέων, στην αποφυγή ή αναχαίτιση διείσδυσης θαλασσινού νερού στα παράκτια υδροφόρα στρώματα. Επίσης οι υπόγειοι ταμιευτήρες δεν διατρέχουν τους κινδύνους φυσικών καταστροφών των επιφανειακών ταμιευτήρων (κατολισθήσεις, πλημμύρες, άμεσες μολύνσεις κλπ). Δεν αχρηστεύεται λόγω υπεράντλησης τυχόν υπάρχουσα υποδομή από γεωτρήσεις, αγωγούς κλπ. Μειώνονται οι απώλειες νερού από εξατμίσεις.

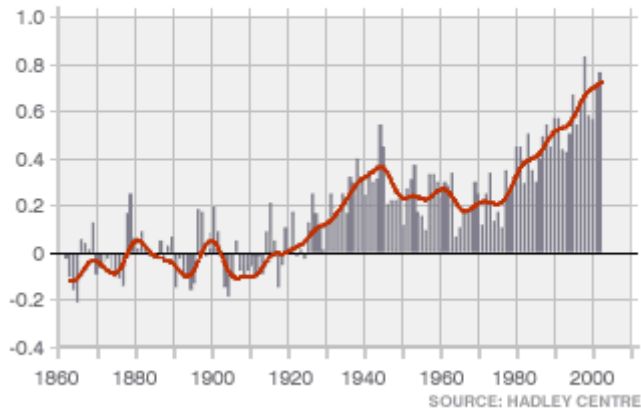
Όμως εκτός από πλεονεκτήματα υπάρχουν και μειονεκτήματα, απαιτείται συνεχής και επιμελής παρακολούθηση των συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού. Υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης - ρύπανσης υπόγειου νερού, αν έστω και μια φορά, χρησιμοποιηθεί μολυσμένο-ρυπασμένο νερό. Δεν συναντώνται συχνά στη φύση κατάλληλες συνθήκες υπό οικονομικά συμφέροντες όρους για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού. Συχνά παρατηρείται υποβάθμιση της αποδοτικότητας του εδάφους και υποβάθμιση του υπόγειου νερού, που προκαλείται από τον τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων, λόγω μεταφοράς αλάτων κατά την επέκταση προς τα πάνω της κορεσμένης ζώνης.

## **1.2 Έντονες Κλιματικές αλλαγές - Ξηρασία**

### **1.2.1 Η αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος**

Η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης, τα τελευταία 1.000 χρόνια χαρακτηρίστηκε από ακανόνιστη αλλά σταθερή ψύξη, αλλά ακολούθησε μία "έντονη" θέρμανση στη διάρκεια των τελευταίων 100 χρόνων, ίση περίπου με μισό βαθμό Κελσίου. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε την διακύμανση της θερμοκρασίας και την συνεχώς ανοδική τάση που έχει τα τελευταία χρόνια.

**Διακυμάνσεις της θερμοκρασίας πλησίον της  
επιφάνειας της γης**  
Διακυμάνσεις της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου

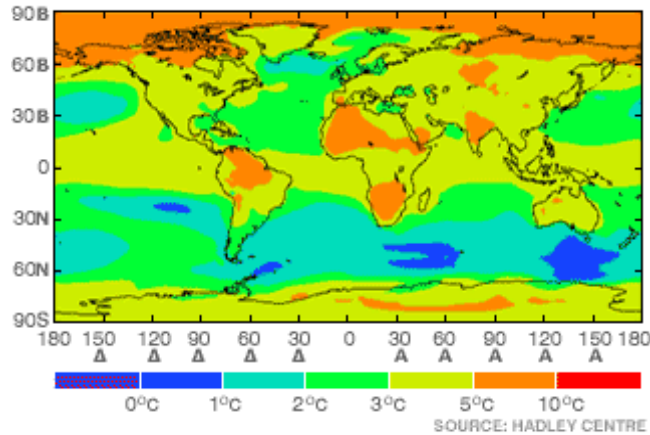


**Σχήμα 1.4:** Μέση ετήσια θερμοκρασίας αέρα

- Το 2005 καταγράφηκε επίσημα ως το πιο θερμό έτος των τελευταίων εκατό ετών. Έως το 2005, το πιο θερμό έτος ήταν το 1987.
- Τον 20ο αιώνα η μέση θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0,4 – 0,8°C κατατάσσοντας τον αιώνα ως τον θερμότερο των τελευταίων χιλίων ετών.
- Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα αυξηθεί από 1,1 έως 6,4 βαθμούς Κελσίου έως το 2100, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, με πιθανότερη μια άνοδο κατά 1,8 έως 4 βαθμούς Κελσίου ανάλογα με τα μέτρα που θα ληφθούν. Το φαινόμενο είναι αναπόφευκτο και θα διαρκέσει έως και μια χιλιετία. (Πηγή : Το Διακυβερνητικό Σώμα για τις Κλιματικές Αλλαγές του ΟΗΕ, IPCC)
- Η μέση στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά 20 εκατοστά τον 20ο αιώνα
- Η στάθμη των ωκεανών θα ανέβει έως το τέλος του αιώνα κατά 18 έως 59 εκατοστά, σε σχέση με το 1990, αν και η άνοδος θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερη, σε περίπτωση που λιώσει το κάλυμμα πάγου στην Ανταρκτική και τη Γροιλανδία.

### Προβλεπόμενη αλλαγή στην άνοδο της θερμοκρασίας

Περίοδος : 1960 -1990 με 2070 με 2100



Σχήμα 1.5: Προβλεπόμενη αλλαγή της θερμοκρασίας

Σύμφωνα με τα πρόσφατα (2005) αποτελέσματα του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος "Eurosion" που εκπονήθηκε για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, το ένα πέμπτο των ακτών της Ευρώπης των 25, περίπου 20.000 χιλιόμετρα, έχει επηρεασθεί ήδη σοβαρά ή αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα από τη διάβρωση, με την ακτογραμμή να υποχωρεί κατά 0,5 έως 2 μέτρα κάθε χρόνο, και σε κάποιες σοβαρές περιπτώσεις μέχρι και 15 μέτρα. Πάνω από 15 τετραγωνικά χιλιόμετρα το χρόνο χάνονται ή επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό.

#### 1.2.2 Η αλλαγή κλίματος στην Ελλάδα και τα νησιά της

Το μέλλον μας επιφυλάσσει ζέστη και λιγότερες βροχές, σε αυτό το συμπέρασμα συγκλίνουν οι εκτιμήσεις της επιστημονικής κοινότητας για τις αλλαγές που πρόκειται να υποστεί το κλίμα της Ελλάδας, οι οποίες αναμένεται να γίνουν ορατές μέσα στις επόμενες δεκαετίες, με πιθανολογούμενη κορύφωση τους μέχρι το 2100. Το γνωστό εύκρατο μεσογειακό κλίμα της χώρας μας με τους ήπιους, βροχερούς χειμώνες και τα σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια μετατοπίζεται προς μια θερμότερη και περισσότερο ξηρή εκδοχή.

Τα τελευταία 40 χρόνια στην Ελλάδα οι βροχοπτώσεις μειώθηκαν κατά 10-30%. Οι επιστήμονες προβλέπουν γενικά αύξηση της θερμοκρασίας στην ελληνική επικράτεια μεταξύ 0.9 και 5 βαθμούς Κελσίου μέχρι το τέλος του αιώνα. Ενώ η μέση μέγιστη θερμοκρασία αναμένεται να

αυξηθεί κατά 80C έως το τέλος του αιώνα. (από 33 °C σε 41 °C). Στις μεσογειακές χώρες, μέχρι το 2080 αναμένεται 20-40% χαμηλότερη βροχόπτωση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, γεγονός που θα πλήξει τη γεωργία και θα αυξήσει τον κίνδυνο δασικών πυρκαγιών. Οι πιο ευάλωτες περιοχές στις κλιματικές αλλαγές είναι οι Κυκλάδες, η Θεσσαλία, η Κρήτη και η Θεσσαλονίκη

Όσον αφορά τη Ν. θήρα και γενικότερα τα νησιά, αυτά από τη φύση τους είναι προβληματικά στο νερό γιατί έχουν μικρή έκταση, επομένως το νερό που μπορούν να μαζέψουν είναι λίγο, έχουν λίγες βροχοπτώσεις, έχουν μεγάλη ηλιοφάνεια και εξάτμιση, βρίσκονται σε περιοχή με ισχυρούς ανέμους, επομένως με μεγάλες εξατμίσεις, περιβάλλονται από τη θάλασσα και λόγω και των ασθενών υδραυλικών φορτίων, προσβάλλονται ευκολότερα και περισσότερο από τους παράγοντες της υφαλμυρώσεως.

### **1.2.3 Επιπτώσεις κλιματολογικών αλλαγών**

#### **Οι παγκόσμιες επιπτώσεις**

- Πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3°C θα προκαλέσει την αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά 1 μέτρο.
- Προβλεπόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας της τάξης των 0,88μ μέχρι το 2100 ενδέχεται να επηρεάσει περίπου 68 εκατομμύρια ανθρώπους στις ακτές της ΕΕ, μήκους 89.000 χλμ.
- Έως και 3,1 δισεκατομμύρια άτομα ενδέχεται να έχουν πιο δύσκολη πρόσβαση στην ύδρευση.
- Εάν η θερμοκρασία αυξηθεί κατά 1,4°C, 10 εκατομμύρια ακόμη άτομα θα κινδυνεύσουν από σοβαρές παράκτιες πλημύρες.
- Μία σημαντική παράμετρος της παγκόσμιας θέρμανσης αφορά στην ενδεχόμενη εξάπλωση και άνθιση επιδημιών του παρελθόντος, καθώς οι μεγάλες θερμοκρασίες και η υγρασία αποτελούν κατάλληλο υπόβαθρο για την ανάπτυξη πολλών μικροβίων. Όπως η Ελονοσία (αύξηση 2°C θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο 210 εκατομμύρια επιπλέον ανθρώπους).
- Οι καύσωνες μπορούν να αποβούν μοιραίοι για τους ηλικιωμένους: στη δυτική και νότια Ευρώπη σημειώθηκαν 20.000 περισσότεροι θάνατοι το 2003.
- Περιφερειακές συγκρούσεις, λιμός και μετανάστευση, ειδικότερα στις αναπτυσσόμενες χώρες που επηρεάζονται περισσότερο από τις κλιματικές αλλαγές.

- Μέχρι το 2050 το ένα τρίτο των ζωντανών οργανισμών πάνω στην γη θα εξαφανιστεί καθώς πολλοί από αυτούς δε θα μπορέσουν να προσαρμοστούν σε τόσο γρήγορα μεταβαλλόμενες συνθήκες
- Το λιώσιμο των πάγων θα έχει ως συνέπεια την διαταραχή της ισορροπίας του παγκόσμιου οικοσυστήματος. Ο παγετός αποτελείται από γλυκό νερό, το οποίο όταν λιώνει προκαλεί την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Η αφαλάτωση αυτή πρόκειται να αναδιοργανώσει τα ρεύματα τα οποία ρυθμίζουν τις θερμοκρασίες.
- Η ξηρασία και η άνοδος της θερμοκρασίας θα οδηγήσουν σε προβλήματα λειψυδρίας, υποβάθμισης της ποιότητας του νερού, αλλά και στις αποδόσεις των αγροτικών καλλιεργειών. Η άνοδος του επιπέδου της θάλασσας θα επιφέρει καταστροφές στις παραγωγικές δραστηριότητες σε παράκτιες περιοχές. Και φυσικά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία.

Όλες οι διεθνείς επιστημονικές εκθέσεις συμφωνούν ότι τις επόμενες δεκαετίες θα συνεχιστεί στην Ελλάδα η βαθμιαία άνοδος της θερμοκρασίας και εφιστούν την προσοχή ακόμη και στο ενδεχόμενο ερήμωσης, καθώς είναι πιθανόν η χώρα να βρεθεί σε ζώνη λειψυδρίας. Άλλωστε η Ελλάδα με το πλήθος νησιών της, διαθέτει τη μεγαλύτερη ακτογραμμή στην Ευρώπη με πλήθος οικονομικών δραστηριοτήτων, η τρωτότητα της παράκτιας ζώνης είναι ζήτημα τεράστιας περιβαλλοντικής, οικονομικής και κοινωνικής σημασίας.

Οι επιπτώσεις στη χώρα μας από την παρατεταμένη ανομβρία και τις αυξημένες συνθήκες εξατμίσεως αναμένονται σοβαρές, τόσο στα επιφανειακά υδατικά συστήματα, όσο, κυρίως, στα υπόγεια αντίστοιχα υδατικά σώματα. Αυτό γιατί ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων συναρτάται από τον όγκο των βροχοπτώσεων σε μια περιοχή, αλλά αυτό, μόνο του, δεν αρκεί. Ο όγκος του νερού για να εμπλουτίσει τις υπόγειες υδροφορίες πρέπει να συνοδεύεται από ορισμένα πλαίσια συνθηκών, που αφορούν την ίδια τη βροχόπτωση (διάρκεια, ένταση, ρυθμός), αλλά και άλλες κλιματικές παραμέτρους (θερμοκρασία, υγρασία, ηλιοφάνεια κλπ). Επομένως, και αν ακόμα στο υπόλοιπο της υγρής περιόδου, έχουμε, με βάση το ύψος βροχής, σημαντική προσφορά, αυτή δεν θα καλύψει την έλλειψη των υδροφόρων οριζόντων, αλλά, κατά προτεραιότητα, το έλλειμμα της εδαφικής υγρασίας (νερό κατακρατήσεως, νερό προσροφήσεως, τριχοειδές νερό).

Ακραία καιρικά φαινόμενα όπως πλημμύρες, τυφώνες και καύσωνες, το λιώσιμο μεγάλου ποσοστού των αιώνιων πάγων μέσα σε μερικές

δεκαετίες και η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης είναι αδιαμφισβήτητες, δυστυχώς, αποδείξεις για ένα φαινόμενο που είναι ήδη πραγματικότητα. Η ανθρωπότητα μπορεί ακόμη να αποφύγει τους χειρότερους κινδύνους και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, χωρίς υπέρμετρο κόστος αρκεί να ληφθούν επείγοντως καλώς σχεδιασμένα και συντονισμένα μέτρα σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

#### 1.2.4 Ξηρασία - Επιπτώσεις και μέτρα

##### Γενικά

Οι ξηρασίες κατατάσσονται στα ακραία κλιματικά φαινόμενα ενός τόπου και καταλαμβάνουν το ένα άκρο της διακύμανσης της βροχής του σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Είναι κάτι αναμενόμενο και φυσιολογικό, αφού η εκδήλωση ισχυρών βροχοπτώσεων σε μία περιοχή συνεπάγεται την εκδήλωση ξηρασιών σε κάποιες άλλες περιοχές. Κατά συνέπεια, κανένα έτος δεν μπορεί να είναι πολύ υγρό ή πολύ ξηρό για εκτεταμένες περιοχές, αφού η ποσότητα νερού που εξατμίζεται και πέφτει με περίσσεια σε ορισμένες περιοχές σπανίζει σε άλλες.

Επισημαίνεται ακόμα ότι η ξηρασία εμφανίζεται και επεκτείνεται βαθμιαία και δίνει την εντύπωση μη ύπαρξης ενός συγκεκριμένου συμβάντος. Ακόμα η ξηρασία χαρακτηρίζεται ως κινητήριος δύναμη που έχει μόνο συνέπειες και ως σχετική και όχι απόλυτη έννοια πιο γνωστοί ορισμοί της ξηρασίας είναι: (ΕΘΙΑΓΕ)

- Μετεωρολογική ξηρασία: Είναι η μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων μιας περιοχής σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο σημαντικά κάτω από το μέσο όρο της, ή κάτω από μία κρίσιμη τιμή που καθορίζει την έναρξη της ξηρασίας.
- Γεωργική (αγροτική) ξηρασία: Είναι η μείωση της υγρασίας του εδάφους σε τέτοιο βαθμό ώστε η γεωργική παραγωγή να μειώνεται σημαντικά ή η μείωση της υγρασίας του εδάφους περισσότερο από την εξατμισοδιαπνοή κατά την κρίσιμη περίοδο ανάπτυξης των φυτών.
- Υδρολογική ξηρασία: Είναι η έλλειψη όχι μόνο ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, αλλά επιφανειακής και υπόγειας απορροής.
- Κοινωνικό-οικονομική ξηρασία: Ορίζεται ως η αρνητική τιμή της διαφοράς κάθε μορφής προσφοράς και ζήτησης νερού.

Αιτία της εναλλαγής των ξηρασιών και πλημμυρών είναι η φυσική διακύμανση του κλίματος ενός τόπου. Ο όρος αυτός φανερώνει το «κληρονομικό» γνώρισμα του κλίματος να παρουσιάζει συχνά διαφορές μεταξύ των ημερήσιων, μηνιαίων, ετήσιων κ.λπ. τιμών της βροχής,

θερμοκρασίας ή άλλων παραμέτρων και των αντίστοιχων μέσων τιμών τους. Οι διαφορές αυτές των καιρικών παραμέτρων μπορεί να είναι μία, δύο ή και περισσότερες φορές μεγαλύτερες ή μικρότερες από τον αντίστοιχο μέσο όρο τους. Οι διακυμάνσεις όμως του κλίματος πολύ δύσκολα εξηγούνται αφού οφείλονται σε πληθώρα παραγόντων που αλληλοεπηρεάζονται, διαταράσσουν το ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας και αλλάζουν «τις κανονικές» κατευθύνσεις των αέριων μαζών. Έτσι δημιουργούνται απρόσμενες καιρικές καταστάσεις και συχνά εκτός τόπου και χρόνου. Τέτοιοι παράγοντες είναι η αυξομείωση της θερμότητας από τον ήλιο προς τη γη ανάλογα με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων και τις εκλάμψεις του, η μεταβολή της σύστασης της ατμόσφαιρας από ανθρώπινες δραστηριότητες που συμβάλλουν στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, οι πυρκαγιές και η αποψίλωση των δασών, η αστικοποίηση, το λιώσιμο των πάγων και του χιονιού, οι εκρήξεις ηφαιστειών, το φαινόμενο EL NINO κ.λπ. Το θέμα όμως της εναλλαγής των καιρικών φαινομένων στην εποχή μας εμπλέκεται ακόμα περισσότερο αφού αδυνατούμε να διαπιστώσουμε πόσο η συχνότητα και η έντασή τους οφείλονται στη φυσική διακύμανση του καιρού και του κλίματος και πόσο στη «διείσδυση» του ανθρώπου στους χώρους ανάπτυξης και δράσης των καιρικών φαινομένων και κυρίως στην ατμόσφαιρα.

### **Επιπτώσεις της ξηρασίας – Μέτρα εξομάλυνσης**

Η Ελλάδα λόγω της γεωγραφικής της θέσης στον πλανήτη μας είναι επιρρεπής στην εκδήλωση συχνών ξηρασιών. Οι τελευταίες μεγάλες ξηρασίες που έπληξαν τη χώρα μας εκδηλώθηκαν τη διετία 1989-1990 καθώς και το 2000 και είχαν τεράστιες επιπτώσεις.

Η εκδήλωση μιας ακόμα ξηρασίας θα έχει οπωσδήποτε σοβαρές κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη χώρα μας αφού οι υπάρχοντες επιφανειακοί και υπόγειοι υδατικοί πόροι βαθμιαία μειώθηκαν και μειώνονται συνεχώς χωρίς βροχές και χιόνια. Ειδικότερα, οι συνέπειες από ένα τέτοιο ενδεχόμενο θα είναι πιο εμφανείς στην ύδρευση των νησιών μας, στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και στην άρδευση από επιφανειακά και υπόγεια νερά όλων των γεωργικών περιοχών της χώρας. Επιπλέον, η μείωση των υδατικών πόρων συμβάλλει και στην υποβάθμιση της ποιότητας αυτών με ότι αυτή συνεπάγεται. Όμως και οι δυσμενείς επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον θα είναι σοβαρότατες από την αύξηση των δασικών πυρκαγιών, την ξήρανση και την προσβολή πολλών δασικών ειδών από ασθένειες και έντομα, την υποβάθμιση των βιοτόπων της άγριας πανίδας, τη μείωση του πληθυσμού της ιχθυοπανίδας στα υδατορεύματα, τη ρύπανση της ατμόσφαιρας, την αισθητική υποβάθμιση των τοπίων κ.λπ. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να μας

απασχολήσει η αντιμετώπιση των επιπτώσεων μιας ενδεχόμενης ξηρασίας πριν την επικράτησή της, αφού αυτός είναι και ο ορθολογικός τρόπος διαχείρισης ενός ακραίου φαινομένου.

Σχετικά με την αντιμετώπιση του κινδύνου εκδήλωσης ξηρασίας στη χώρα μας, επισημαίνεται πως από την εξέταση των βροχών παρελθόντων ετών, μια μονοετής ξηρασία μέσης και ισχυρής έντασης εκδηλώνεται κατά μέσο όρο κάθε 5 και 10 χρόνια αντίστοιχα και μια ισχυρή διετής ξηρασία κάθε 25 χρόνια περίπου. Επομένως, η διάρκεια των ανωτέρω ξηρασιών, σε σχέση με τη διάρκεια αυτών σε άλλες θερμές χώρες του πλανήτη μας που μπορεί να κυμαίνεται από 5 έως 10 χρόνια, δεν είναι αποτρεπτική για την εξοικονόμηση επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων για την εξομάλυνση των προβλημάτων ενός ή δύο ανομβρών ετών με τη λήψη κατάλληλων μέτρων και έργων κατά τη διάρκεια υγρών ετών. Δυστυχώς όμως κατά τη διάρκεια υγρών ετών «η διαχείριση του κινδύνου εκδήλωσης ξηρασίας» είναι θέμα ανεπίκαιρο και εξωπραγματικό για τη χώρα μας. (Μπαλούτσος Γ, Μπουρλέτσικας Α, Γκούμα Β.)

Η αντιμετώπιση των επιπτώσεων από ξηρασίες, πλημμύρες και άλλα ακραία καιρικά - κλιματικά φαινόμενα δεν είναι εφικτή μόνο με τη λήψη μέτρων μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, γιατί τα ακραία αυτά φαινόμενα οφείλονται και στη φυσική διακύμανση του καιρού και του κλίματος. Επομένως αυτά θα εκδηλωθούν οπωσδήποτε και στο μέλλον και αν ακόμα δεν υπάρξει επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Κατά συνέπεια εκτός των μέτρων κατά του φαινομένου του θερμοκηπίου πρέπει:

- Να σχεδιάζουμε την αντιμετώπιση των ξηρασιών και όταν ακόμα βρέχει, αλλά και εκείνη των πλημμυρών και χιονοπτώσεων και όταν ακόμα έχουμε ανομβρία και ξηρασία.
- Να λαμβάνουμε έγκαιρα τα μέτρα και να εκτελούμε τα αναγκαία έργα που εξομαλύνουν τις επιπτώσεις από ξηρασίες, πλημμύρες και άλλα ακραία καιρικά φαινόμενα στις αστικές, γεωργικές και ορεινές περιοχές της χώρας μας.
- Να κατανοήσουμε πως η «βιώσιμη ανάπτυξη» μιας περιοχής δεν επιτυγχάνεται χωρίς την ορθολογική διαχείριση των φυσικών της πόρων.
- Να ενημερώνουμε τους πολίτες πώς να αντιδρούν στα ακραία καιρικά φαινόμενα και τι μέτρα να λαμβάνουν πριν και κατά την εκδήλωση τέτοιων φαινομένων.
- Να γνωστοποιούμε στους πολίτες ότι η φύση επαναφέρει κάθε διατάραξη της ισορροπίας της από τον άνθρωπο με τρόπο βίαιο και ασυγκράτητο. Επομένως, είναι μέγιστο λάθος οι επεμβάσεις μας, π.χ.



στις κοίτες των υδατορευμάτων, αφού κάποια χρονιά στο μέλλον, τα πλημμυρικά νερά θα σαρώσουν τα πάντα στο διάβα τους για να ανοίξουν πάλι την κοίτη τους, που καθορίστηκε διαχρονικά από τις γεωμορφολογικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

- Οι πολιτικοί ηγέτες να εξετάζουν τη γνώμη των ειδικών και να μην αλλάζουν τα προγράμματά τους όταν αλλάζουν οι υπουργοί και οι σύμβουλοι ή όταν άλλο κόμμα έρχεται στην εξουσία.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά καθιστούν την ξηρασία ένα πολύ επικίνδυνο ακραίο κλιματικό φαινόμενο, στον ορισμό και στα αίτια εκδήλωσής της, στις ξηρασίες του παρελθόντος στη χώρα μας και στην ανάγκη λήψης των απαραίτητων μέτρων για τη διαχείριση πρωτίστως του κινδύνου εμφάνισης ξηρασίας και όχι για τη διαχείριση αυτής μετά την εκδήλωση και την επικράτηση των δυσμενών της επιπτώσεων. Ο σχεδιασμός αντιμετώπισης των επιπτώσεων ενός τέτοιου φαινομένου πρέπει να είναι διαρκής. Ο σχεδιασμός αυτός πρέπει να γίνεται βέβαια από διεπιστημονική ομάδα ειδικών και με ολιστική προοπτική αφού η ξηρασία είναι η συνισταμένη των αποτελεσμάτων της διατάραξης των μετεωρολογικών, υδρολογικών, αγροτικών και κοινωνικό - οικονομικών συνθηκών μιας περιοχής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Γενικά στοιχεία της Ν. Θήρας

## 2. Γενικά στοιχεία της Ν. Θήρας

### 2.1 Ιστορικά στοιχεία

Η ανθρώπινη παρουσία στο νησί φαίνεται ότι υπήρχε από τα μέσα της τρίτης χιλιετίας π.Χ. Η ανασκαφή στο Ακρωτήριο βεβαιώνει ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα συνεχίστηκε μέχρι τη μεγάλη έκρηξη του ηφαιστείου γύρω στα 1613 π.Χ. που έθαψε ολόκληρο το νησί κάτω από παχύτατα στρώματα Θηραϊκής γης. Κάθε ίχνος ανθρώπινης δραστηριότητας εξαφανίστηκε από το νησί μέχρι το τέλος του 13ου αιώνα π.Χ.

Σύμφωνα με τον Ηρόδοτο, το νησί αρχικά ονομαζόταν Στρογγύλη, από το σχήμα της και αργότερα, από την ομορφιά της, ονομάστηκε Καλλίστη όπου εγκαταστάθηκαν Φοίνικες. Μετά από τους Φοίνικες έφτασαν οι Λακεδαιμόνιοι και έδωσαν στο νησί το όνομα του αρχηγού τους Θήρα. Τον 9ο αι. π.Χ. η Θήρα γίνεται ένας σταθμός που ενώνει την Ανατολή με τη Δύση της εποχής εκείνης και υιοθετεί το φοινικικό αλφάβητο για τη γραφή της ελληνικής γλώσσας. Όμως οι Θηραίοι, λιτοδίαιτοι και συντηρητικοί από τη φύση τους δεν παρακολουθούν τους άλλους Κυκλαδίτες στην πολιτιστική τους εξέλιξη. Γύρω στα 630 π.Χ. στα βόρεια παράλια της Αφρικής ιδρύεται η Κυρήνη η μοναδική αποικία των Θηραίων. Από τον 6ο κιόλας αιώνα π.Χ. η Θήρα είχε δικό της νόμισμα. Τους αιώνες της Κλασικής Εποχής στην Ελλάδα (5ος και 4ος αι. π.Χ.) η Θήρα δεν έπαιξε σημαντικό ρόλο στα ελληνικά πράγματα. Τον καιρό του Πελοποννησιακού πολέμου, καθώς ήταν φυσικό, η Θήρα πήγε με το μέρος της Σπάρτης. Στα Ελληνιστικά χρόνια η στρατηγική θέση του νησιού έκαναν τη Θήρα πολύτιμη βάση για τις πολεμικές επιχειρήσεις των διαδόχων του Μεγάλου Αλεξάνδρου στο Αιγαίο.

Στην τεράστια Ρωμαϊκή αυτοκρατορία η Θήρα δεν είναι παρά ένα ασήμαντο νησί όπου όμως ο Χριστιανισμός έφτασε νωρίς και φαίνεται πως από τον τέταρτο κιόλας αιώνα υπήρχε οργανωμένη εκκλησία. Ούτε πολιτική ούτε στρατιωτική σημασία φαίνεται πως είχε το νησί στα Βυζαντινά χρόνια παρά το ότι ο Αλέξιος Α' ο Κομνηνός (1081 - 1118) ίδρυσε το ναό της Παναγίας Επισκοπής στη Γωνιά. Μετά την άλωση της Κωνσταντινουπόλεως από τους Σταυροφόρους της Τετάρτης Σταυροφορίας (1204) ιδρύθηκε το Δουκάτο της Νάξου και η Θήρα έγινε η έδρα για τη μια από τις τέσσερις λατινικές επισκοπές του Δουκάτου. Το όνομα Σαντορίνη το πήρε τότε από τους Σταυροφόρους από ένα εκκλησάκι, της Αγίας Ειρήνης (Santa Irini) που κατ' άλλους βρισκόταν στην Περίσσα και κατ' άλλους στη Ρίβα της Θηρασίας.

Στα χρόνια της Φραγκοκρατίας (1207 - 1579) παρά το ότι η Σαντορίνη γνώρισε την ανάπτυξη της βαμβακοκαλλιέργειας και της αμπελουργίας, το νησί υπέφερε τόσο από τις πειρατικές επιδρομές, όσο και από τους

ανταγωνισμούς ανάμεσα στους τοπικούς Λατίνους δυνάστες ή ανάμεσα στο Δούκα και το Σουλτάνο.

Η τουρκική κατάκτηση (1579 - 1821) συντέλεσε στην καταστολή της πειρατείας και στην ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου. Οι Σαντορινιοί δημιούργησαν στενές σχέσεις με τα μεγάλα λιμάνια της ανατολικής Μεσογείου (Αλεξάνδρεια, Κωνσταντινούπολη, Οδησός), όπου και ίδρυσαν σημαντικές παροικίες.

Το 1821 η Σαντορίνη συμμετείχε με τα πλοία της στον απελευθερωτικό αγώνα εναντίον των Τούρκων και το 1830 εντάχθηκε στο ελεύθερο ελληνικό κράτος. Μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα ανθούν η ναυτιλία, η κλωστοϋφαντουργία, η επεξεργασία τομάτας και η οινοποιία. Το πέρασμα όμως από τα ιστιοφόρα στα ατμοκίνητα πλοία και η μεταφορά των εργοστασίων του νησιού στην ηπειρωτική Ελλάδα, έπληξαν την οικονομία του νησιού. Μετά το σεισμό του 1956 ο πληθυσμός μειώθηκε πολύ και υπήρξε οικονομική καταστροφή. Οι Σαντορινιοί όμως συνηθισμένοι να μονομαχούν με τα στοιχεία της φύσης, ξανάκτισαν τα χωριά τους, μένοντας πιστοί στη κυκλαδίτικη αρχιτεκτονική και ανέδειξαν τις ιδιαιτερότητες του νησιού τους. Ο τουρισμός που άρχισε στο τέλος της δεκαετίας του '70 έφερε και την οικονομική ανάκαμψη στο νησί και τον έχει κατατάξει σ' ένα από τους δημοφιλέστερους προορισμούς για διακοπές.

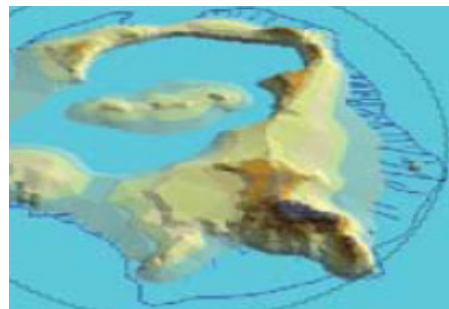
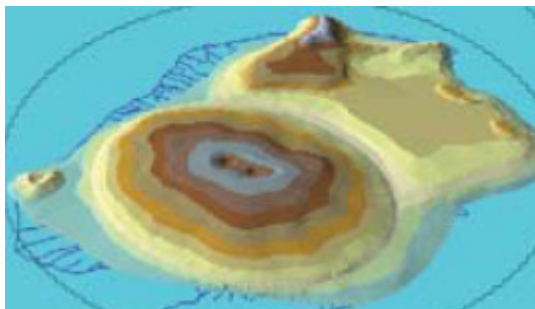
## 2.2 Γεωγραφική θέση και χαρακτηριστικά της Νήσου



Η Σαντορίνη συγκαταλέγεται στους δέκα ομορφότερους τουριστικούς προορισμούς στο κόσμο, πράγμα που δικαιολογείται απολύτως από τα απείρου κάλλους τοπία της. Το νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης αποτελείται από πέντε νησιά, τη Θήρα, τη Θηρασία, το Ασπρονήσι, τη Παλαιά και τη Νέα Καμένη (Ηφαίστεια) και βρίσκεται στο νοτιότερο άκρο των Κυκλάδων, στο Αιγαίο Πέλαγος, 63 ναυτικά μίλια βόρεια της Κρήτης και 128 ναυτικά μίλια από το λιμάνι του

Πειραιά. Το εμβαδόν της ανέρχεται σε 73 τετραγωνικά χιλιόμετρα (ΕΣΥΕ 1991) και η περίμετρος της σε 69 χιλιόμετρα. Το Γεωγραφικό της Πλάτος είναι από 36 19' 56" έως 36 28' 40" Βόρειο και το Γεωγραφικό της Μήκος από 25 19' 22" έως 25 29' 13" Ανατολικό.

Μετά από μεγάλη ηφαιστειακή έκρηξη περίπου το 1600 π.Χ τα στερεά και τα αέρια που βγήκαν από τα σωθικά του ηφαιστείου, δημιούργησαν από κάτω του ένα μεγάλο κενό και έτσι γκρεμίστηκε το κεντρικό του τμήμα, το κέντρο της Στρογγυλής, κάνοντας έτσι μια τεράστια χοάνη, τη σημερινή καλδέρα, με διαστάσεις 84 χλμ. και βάθος μέχρι 400 μ. κάτω από τη θάλασσα.

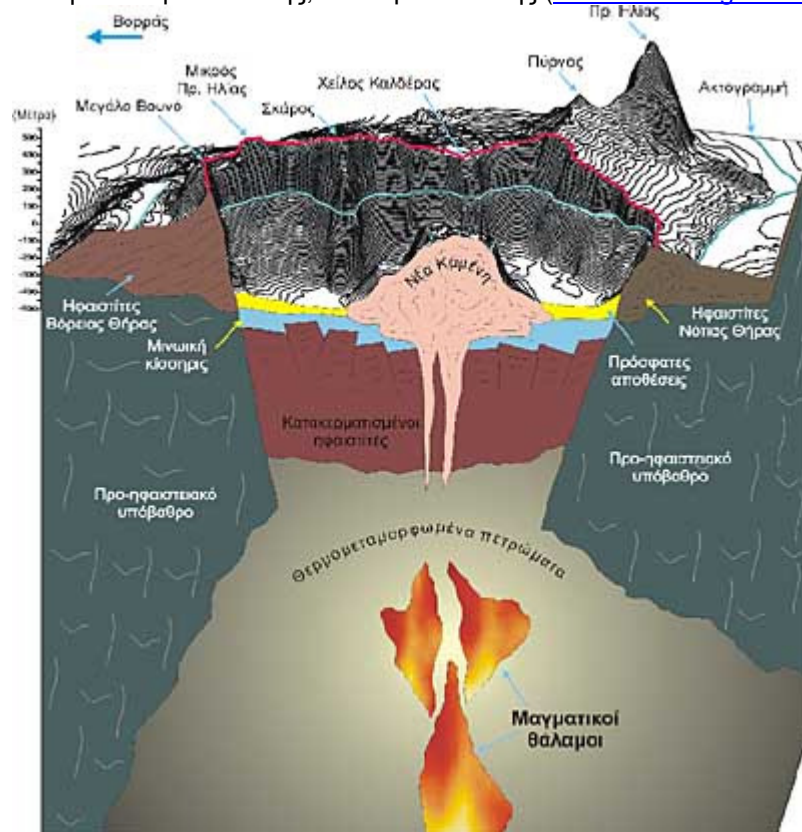


30.000 χρόνια πριν: Ηφαιστειο Σκάρος

3.700 χρόνια πριν: Η "Στρογγύλη"

**Σχήμα 2.1: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ**

Απεικόνιση: Ν.Ανδρουλακάκης, Γ.Βουγιουκαλάκης ([www.santoriniguidebook.gr](http://www.santoriniguidebook.gr))

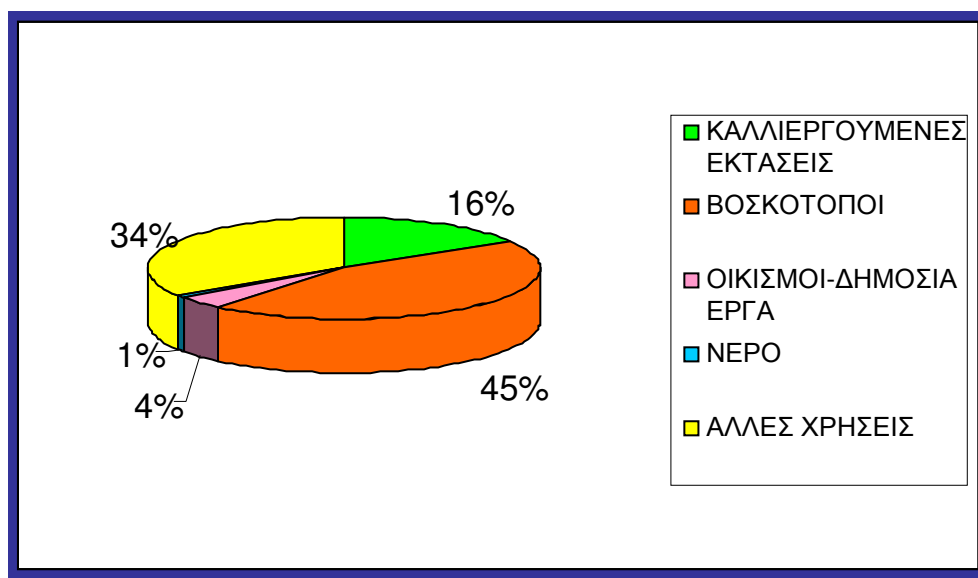


**Σχήμα 2.2:** Τρισδιάστατη σχηματική γεωλογική τομή  
Απεικόνιση: Ν.Ανδρουλακάκης, Γ. Βουγιουκαλάκης - ΙΓΜΕ

Η Παλαιά Καμένη έχει ηλικία μικρότερη των 2.000 ετών, ενώ η Νέα Καμένη άρχισε να σχηματίζεται μόλις πριν 425 χρόνια. Τα πιο πρόσφατα κομμάτια λάβας πάνω της σχηματίστηκαν λιγότερο από πριν 50 χρόνια (1956). Αυτά τα δύο νησάκια εκπροσωπούν την πιο πρόσφατη δράση του ηφαιστείου. Τα ηφαίστεια της Σαντορίνης είναι Η Νέα Καμένη, η Παλαιά Καμένη, το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο (1650 μ.Χ.), τα Χριστιάνα νησιά.

Σύμφωνα με το Σχέδιο Καποδίστριας, ο Δήμος Θήρας, πλέον έχει έδρα τα Φηρά και περιλαμβάνει 12 συνενωμένους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Το μεγαλύτερο μέρος της Νήσου είναι ημιορεινό (περίπου το 75%) και το υπόλοιπο είναι πεδινό, ενώ πουθενά δε συναντάται ορεινό ανάγλυφο. Το μοναδικό βουνό αποτελεί ο Προφήτης Ηλίας, ενώ υπάρχουν δύο λόφοι στα βόρεια, ο Μικρός Προφήτης Ηλίας και το Κόκκινο Βουνό και ακόμα τρεις μικροί και απότομοι λόφοι στη χερσόνησο Ακρωτήρι.

Με βάση την πιο πρόσφατη απογραφή της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος (ΕΣΥΕ), η επαρχία της Νήσου, χρησιμοποιείται σε ποσοστό 16% για καλλιέργεια και αγραναπαύσεις. Το 45% αποτελεί βοσκότοπους, οι οικισμοί και τα δημόσια έργα καταλαμβάνουν το 4%, το 1% καλύπτεται από νερό και το υπόλοιπο 34% εξυπηρετεί άλλες χρήσεις.



Σχήμα 2.3: Χρήσεις Γης επαρχίας Ν. Θήρας (Πηγή: ΕΣΥΕ, 2001)

## 2.3 Ανθρωπογενή στοιχεία

### 2.3.1 Δημογραφικά - Πληθυσμιακά στοιχεία

Με βάση τα στοιχεία από τις απογραφές του 1991 και του 2001 από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος ο μόνιμος πληθυσμός ήταν 9889 κάτοικοι και ο πραγματικός 8795 ενώ το 2001 ο μόνιμος είναι 13683 κάτοικοι, ο πραγματικός 12453 και ο νόμιμος 10685. Έχουμε 41.6% αύξηση του πραγματικού πληθυσμού μέσα σε μια δεκαετία, αυτή η πληθυσμιακή εξέλιξη είναι εντυπωσιακή και συνέβη επειδή η νήσος Σαντορίνη είναι ιδιαίτερα τουριστική περιοχή. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η πληθυσμιακή εξέλιξη αναλυτικά ανά δημοτικό και κοινοτικό διαμέρισμα, κοινότητα και οικισμό.

**Πίνακας 2.1:** Μόνιμος πληθυσμός, δήμοι, κοινότητες, δημοτικά και κοινοτικά διαμερίσματα και οικισμοί Ν. Θήρας (Πηγή: ΕΣΥΕ, 2001).

<b>ΔΗΜΟΣ ΘΗΡΑΣ 12.453</b>	
<b>Δ.Δ.Θήρας 2.353</b>	<b>Δ.Δ.Βόθωνος 676</b>
01 Θήρα,η 2.164	01 Βόθων,ο 609
02 Άνυδρος,ο (νησίς) 0	02 Αγία Παρασκευή,η 67
03 Ασκανιά, τα (νησίς) 0	<b>Δ.Δ.Βουρβούλου 464</b>
04 Ασπρονήσι,το (νησίς) 0	01 Βουρβούλος,ο 464
05 Έξω Γιαλός,ο (Δ.Δ.Θήρας) 57	<b>Δ.Δ.Εμπορείου 2.450</b>
06 Έξω Κατοικίες,οι 19	01 Εμπορείον,το 1.775
07 Εσχάτη, η (νησίς) 0	02 Άγιος Γεώργιος,ο 65
08 Μέσα Κατοικίες,οι 102	03 Εξωμύτης,ο 132
09 Νέα Καμένη,η 0	04 Πέρισσα,η 478
10 Όρμος Φηρών,ο 11	<b>Δ.Δ.Έξω Γωνιάς 370</b>
11 Παλαιά Καμένη,η 0	01 Έξω Γωνιά,η 326
12 Χριστιανά,τα 0	02 Περιβόλια,τα 44
13 Χριστιανή, η (νησίς) 0	<b>Δ.Δ.Επισκοπής Γωνιάς 1.459</b>
<b>Δ.Δ.Ακρωτηρίου 419</b>	01 Επισκοπή Γωνιάς,η 80
01 Ακρωτήριο,το 419	02 Καμάριον,το 1.379
<b>Δ.Δ.Μεσαριάς 1.461</b>	<b>Δ.Δ.Ημεροβιγλίου 500</b>
01 Μεσαριά,η 1.089	01 Ημεροβίγλιον,το 464
02 Μονόλιθος,ο 372	02 Παναγία Καλού,η 36
<b>Δ.Δ.Πύργου Καλλίστης 734</b>	<b>Δ.Δ.Καρτεράδου 1.110</b>
01 Πύργος Καλλίστης,ο 734	01 Καρτεράδος,ο 1.090
02 Μονή Προφήτου Ηλιού,η 0	02 Έξω Γιαλός,ο (Δ.Δ.Καρτεράδου) 20
03 Όρμος Αθηνιός,ο 0	<b>Δ.Δ.Μεγαλοχωρίου 457</b>
<b>Κ. Οίας 1230</b>	01 Μεγαλοχώριον,το 457
01 Οία,η 962	
02 Θηρασιά,η 268	

Παρακάτω γίνεται σύγκριση του πληθυσμού ανά φύλο στο Δ.Θήρας, σύμφωνα με τις απογραφές του '91 και του '01. Η αναλογία αντρών γυναικών παραμένει αμετάβλητη παρόλο που η μεταβολή του πληθυσμού είναι της τάξης του 41.6% για τη δεκαετία 1991-2001.

**Πίνακας 2.2:** Απογραφή πληθυσμού ανά φύλο (Πηγή: ΕΣΥΕ 1991 - 2001).

Περιγραφή	2001			1991		
	Σύνολο	Άρρενες	Θήλεις	Σύνολο	Άρρενες	Θήλεις
ΔΗΜΟΣ ΘΗΡΑΣ	12453	6434	6019	8795	4593	4202

### 2.3.2 Απασχόληση και τομείς παραγωγής

Η διαχρονική εξέλιξη του ενεργού πληθυσμού και της απασχόλησης μεταξύ 1991-2001 παρουσιάζεται φθίνουσα, σε σύγκριση με τον πληθυσμό της Περιφέρειας ο οποίος αυξάνεται. Έχουμε αύξηση της ανεργίας από 3% το 1991 σε 13% το 2001. Όσον αφορά την διάρθρωση της απασχόλησης κατά τομέα παραγωγής παρατηρείται μία σαφής τάση ενίσχυσης του τριτογενή τομέα και μείωσης του πρωτογενή και δευτερογενή τομέα. Συγκεκριμένα 55.6% μείωση στον πρωτογενή τομέα μέσα σε μια δεκαετία, στον δευτερογενή τομέα μείωση 10% ενώ στον τριτογενή τομέα αύξηση 37%. Από το μητρώο επιχειρήσεων για το έτος 2003 (ΕΣΥΕ), φαίνεται επίσης ότι ο Δήμος θήρας διαθέτει ήδη 2.641 επιχειρήσεις, τις περισσότερες από όλα τα νησιά των Κυκλάδων, ακολουθεί η Πάρος με 2.352 επιχειρήσεις.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των οικονομικά ενεργών και μη κατοίκων, όπως καταγράφηκαν κατά τις δύο απογραφές (1991, 2001), καθώς και οι κλάδοι απασχόλησης κατά τομέα παραγωγής τα τελευταία χρόνια.



Πίνακας 2.3: Οικονομικώς ενεργός και μη πληθυσμός (ΕΣΥΕ 1991, 2001).

Περιγραφή	2001					1991				
	Οικονομικώς ενεργοί				Οικονομικώς μη ενεργοί	Οικονομικώς ενεργοί				Οικονομικώς μη ενεργοί
	Σύνολο	Απασχολούμενοι	Άνεργοι			Σύνολο	Απασχολούμενοι	Άνεργοι		
			Σύνολο	Από αυτούς "νέοι"				Σύνολο	Από αυτούς "νέοι"	
ΔΗΜΟΣ ΘΗΡΑΣ	5564	4828	736	125	6889	4684	4543	141	101	3967

Πίνακας 2.4: Κλάδοι απασχόλησης του οικονομικά ενεργού πληθυσμού (ΕΣΥΕ, 1991, 2001)

Περιγραφή		Οικονομικώς ενεργοί						Οικονομικώς μη ενεργοί	
		Σύνολο	Απασχολούμενοι					Άνεργοι	
			Σύνολο	Πρωτογενής Τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας	Δε δήλωσαν κλάδο οικονομικής δραστηριότητας	Σύνολο	
ΔΗΜΟΣ ΘΗΡΑΣ	1991	4684	4.543	622	1.438	2.245	238	141	3967
	2001	5.564	4.828	276	1.290	3.077	185	736	6.889

### 2.3.3 Τουρισμός και ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις

Στη νήσο θήρα υπάρχουν ήδη 254 ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις σύμφωνα με την πιο πρόσφατη απογραφή του Ξενοδοχειακού Επιμελητηρίου Ελλάδος που έγινε το έτος 2007. Διαθέτει 5158 δωμάτια και 9855 κλίνες στο σύνολο της. Συνολικά τα νησιά που ανήκουν στις Κυκλάδες διαθέτουν 942 ξενοδοχεία εκ των οποίων στη Ν. θήρα βρίσκονται το 27% αυτών.

**Πίνακας 2.5:** Ξενοδοχειακό δυναμικό Κυκλάδων και Ν. θήρας  
(Πηγή: Ξενοδοχειακό επιμελητήριο Ελλάδος, 2007) (<http://www.grhotels.gr>)

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΣΥΝΟΛΟ		
	Ξενοδοχεία	Δωμάτια	Κλίνες
ΚΥΚΛΑΔΕΣ	942	22.001	42.316
ΘΗΡΑ	254	5.158	9.855

## 2.4 Έδαφος - Κλίμα - Καλλιέργειες

### 2.4.1 Εδαφικά χαρακτηριστικά - Ηφαίστειο

Το νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης αποτελεί μοναδική σχεδόν περίπτωση στον κόσμο ενός ηφαιστείου που έχει καλδέρα μέσα στη θάλασσα. Όλα τα νησιά της Σαντορίνης σχηματίσθηκαν κύρια από την ηφαιστειακή δράση και αποτελούν ένα σύνθετο οικοδόμημα. Δώδεκα τεράστιες εκρήξεις, μια κάθε 20.000 χρόνια περίπου, έγιναν στην τελευταία περίοδο της ηφαιστειότητας. Κάθε βίαιη έκρηξη κατέληγε στη δημιουργία βυθίσματος (καλδέρας), γκρεμίζοντας το μεγαλύτερο κεντρικό τμήμα του ηφαιστείου, που επιμένει όμως να οικοδομείται ξανά και ξανά.

Αναβλύζουν από τους κρατήρες, οι θερμές ατμίδες, τα νέα ορυκτά και τα ζεστά πολύχρωμα. Η κατακρήμνιση του κεντρικού τμήματος του ηφαιστείου δημιούργησε τις απότομες πλαγιές της καλδέρας. Η ποικιλία των πετρωμάτων, η εναλλαγή των χρωμάτων τους, η μεταξύ τους συσχέτιση, οι λεπτομέρειες των ηφαιστειακών σχηματισμών εντυπωσιάζουν. Τα διάφορα στρώματα της ηφαίστειας σποδού, των ηφαιστειών άμμων καθώς και τα διάφορα ρεύματα λάβας, ξεχωρίζουν τέλεια μεταξύ τους χάρη στα χρώματά τους, των οποίων οι τόνοι ποικίλουν από το κόκκινο μέχρι το μαύρο. Ο φυσικός φωτισμός των πρानών είναι διαφορετικός σε κάθε στιγμή της μέρας και δημιουργεί ξεχωριστές εικόνες σ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Πάνω από όλα αυτά τα στρώματα εκτείνεται το λευκό στρώμα της κισσήρεως και της θηραϊκής γης, το οποίο έχει πάχος 30 - 50 μέτρα. Το στρώμα αυτό αποτελούσε τη βάση της οικονομίας του νησιού καθώς οι ποσότητες θηραϊκής γης και ελαφρόπετρας που εξάγονται, ακόμη και

σήμερα, ετησίως από τη Σαντορίνη φθάνουν τα δύο εκατομμύρια τόνους. Η ηφαιστειακή του προέλευση έχει κάνει το έδαφος της Σαντορίνης γονιμότατο εκτός από το νοτιοανατολικό, ασβεστολιθικό μέρος του νησιού που είναι πετρώδες και γυμνό, με φτωχή βλάστηση

Στις μέρες μας το ηφαίστειο βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Σε πολλά σημεία του μπορούμε βέβαια να διακρίνουμε θερμούς υδρατμούς και θειούχα αέρια, από τα οποία σχηματίζονται κρύσταλλοι θείου λόγω της αποσύνθεσης των αερίων. Η θερμοκρασία των ατμών και αερίων ποικίλει με μέγιστο τους 86 βαθμούς Κελσίου

#### **2.4.2 Κλίμα - Τοπικά προϊόντα**

Γενικά την πλειονότητα των ελληνικών νησιών χαρακτηρίζει το ορεινό και άγονο του εδάφους, με υπέδαφος φτωχό σε ορυκτό πλούτο, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, ενώ είναι έντονη η στενότητα σε υδάτινους και ενεργειακούς πόρους.

Η παγκόσμια μοναδικότητα της Σαντορίνης οφείλεται στο ιδίομορφο οικοσύστημα που δημιουργήθηκε από τις αλληπάλληλες εκρήξεις του ηφαιστείου και τη λάβα που διαμόρφωσε ένα πορώδες έδαφος από απορροφητικές πλάκες πορσελάνης. Η σύνθεση αυτή του εδάφους σε συνδυασμό με την ξηρασία αλλά και το μικροκλίμα του νησιού που δημιουργείται από την εδαφική υγρασία και την πρωινή δροσιά που προκαλείται από την εξάτμιση της θάλασσας στο σημείο της Καλντέρας δίνει μια μοναδική νοστιμιά στα προϊόντα αυτής της γης

Η ηφαιστειακή του προέλευση έχει κάνει το έδαφος της Σαντορίνης γονιμότατο εκτός από το νοτιοανατολικό, ασβεστολιθικό μέρος του νησιού που είναι πετρώδες και γυμνό, με φτωχή βλάστηση. Η έλλειψη εδαφικού ύδατος είναι το σπουδαιότερο πρόβλημα για την ανάπτυξη καλλιεργειών, εν μέρει όμως αναπληρώνεται από την ατμοσφαιρική υγρασία, η οποία συγκρατείται από το πορώδες έδαφος, και από τις βροχές. Έτσι το κλίμα του νησιού που γεύονται οι εκατομμύρια Ξένοι και Έλληνες τουρίστες είναι δροσερό λόγω των βορειοανατολικών ανέμων και ο χειμώνας είναι γλυκός και ήπιος. Οι βροχές είναι συχνές το χειμώνα και σχεδόν ανύπαρκτες το καλοκαίρι. Η μέση ετήσια θερμοκρασία στο νησί είναι 17°C (προκύπτει από τα δεδομένα θερμοκρασίας από EMY).

Επειδή το νησί είναι σχεδόν άλυτρο και ελάχιστα πηγαία νερά αναβλύζουν από την γη της για αυτό οι καλλιέργειες περιορίζονται σε πρώιμα λαχανικά (ντομάτες, φάβα, μπιζέλια) και σε δημητριακά (κυρίως κριθάρι). Με τον παραδοσιακό τρόπο καλλιεργείται η φημισμένη φάβα,

ένα όσπριο πιο μικρό από το μπιζέλι που μοιάζει πολύ με φακή, ενώ, πριν από το 1960, η μικρή σε μέγεθος αλλά περιεκτική σε συστατικά, άνυδρη τομάτα, αποτελούσε ένα από τα κύρια προϊόντα του νησιού. Από αυτές τις μικρές τομάτες κατασκευάζεται ο περίφημος τοματοπολτός της Σαντορίνης, ο μπελτές όπως τον αποκαλούν οι ντόπιοι. Επίσης υπάρχει άγρια κάπαρη, δροσερά κατσούνια (ξυλάγγουρα), στρογγυλά κολοκυθάκια και το «χλωρό» το οποίο παράγεται από αγνό γάλα που αποτελεί την πρώτη ύλη που δίνουν τα αιγοπρόβατα που βόσκουν ελεύθερα στις πλαγιές. Τέλος το μόνο πολυετές φυτό που απαντάται στη Σαντορίνη είναι το αμπέλι. Τα ηφαιστειογενή εδάφη της Σαντορίνης είναι ιδιαίτερος πρόσφορα για τα αμπέλια, τα οποία καλύπτουν όλες τις πεδινές εκτάσεις του νησιού. Η ποιότητα του κρασιού της Σαντορίνης είναι η καλύτερη των Κυκλάδων και οι ποικιλίες Νυχτέρι και Βινσάντο είναι οι πιο φημισμένες.

## **2.5 Πολεοδομική και Χωροταξική Θεώρηση**

Οι ιδιαίτερες γεωλογικές συνθήκες του νησιού οδήγησαν σε πρωτότυπες αρχιτεκτονικές και πολεοδομικές κατευθύνσεις και επιλογές. Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική της Σαντορίνης ενώ είναι ενταγμένη στην αιγαιοπελαγίτικη αρχιτεκτονική, διαμορφώθηκε σύμφωνα με τις ειδικές συνθήκες του νησιού, τις οποίες και εκμεταλλεύθηκε δημιουργώντας ένα εντελώς ιδιόμορφο και πολύπλοκο οικοδομικό περιβάλλον. Τα κτίσματα λειτουργούν αυτόνομα αλλά και ως σύνολα οργανωμένα σε οικιστικές ενότητες μέσω μιας ειλικρινούς και ισοροπημένης σχέσης με τον τόπο και τις παραξενιές της γης.

### **Κατηγορίες οικισμών**

Οι οικισμοί της Σαντορίνης μπορούν να διακριθούν σε κατηγορίες

- A. γραμμικοί που αναπτύσσονται στο χείλος της Καλντέρας όπως τα Φηρά και η Οία
- B. οχυροί που αναπτύσσονται γύρω από τα τείχη ενός οχυρού πυρήνα όπως ο Πύργος και ο Εμπορείος και
- Γ. υπόσκαφοι που ακολουθούν τους βραχίονες ενός ποταμού σκαμμένοι μέσα στη θηραϊκή γη όπως ο Βόθωνας, η Φοινικιά και το Καρτεράδο

Τα μοναδικά οικοδομικά υλικά της Σαντορίνης συντέλεσαν επιπρόσθετα στη μορφοπλαστική ιδιαιτερότητα της τοπικής, παραδοσιακής αρχιτεκτονικής. Πρόκειται για τη μαυρόπετρα, πολύ σκληρό υλικό για τους φέροντες τοίχους, την κοκκινοπετρα, συμπαγή για παραστάδες υπέρθυρα και επενδύσεις και σπογγώδη για την κατασκευή θόλων, την κίσηρη ή ελαφρόπετρα για βατά δώματα πάνω από τους θόλους και την άσπα ή θηραϊκή γη, μέσα στα στρώματα της οποίας λαξεύονται οι

υπόσκαφοι χώροι. Η τελευταία αποτελεί επίσης συστατικό εξαιρετικών κονιαμάτων με μεγάλες μηχανικές αντοχές για κατασκευή θόλων και σταυρολιθίων χωρίς οπλισμό. Καθως η Σαντορίνη δε διέθετε ποτέ ξυλεία, οι υπόσκαφες και οι θολωτές κατασκευές συντέλεσαν στο έπακρο στην εξοικονόμηση οικοδομήσιμης ξυλείας. Τα υπόσκαφα κτίσματα είναι λαξευμένα στο κάθετο μέτωπο του στρώματος της ηφαιστειακής θηραϊκής γης. Η πρόσοψη των υπόσκαφων χτίζεται με πέτρινο τοίχο με ανοίγματα για το φωτισμό και τον αερισμό του εσωτερικού, σχεδόν πάντα συμμετρικά, εξώπορτα στον άξονα, παράθυρα δεξιά και αριστερά και ο μικρός φεγγίτης πάνω από την πόρτα. Οι θολωτές κατασκευές είναι κτιστές πάνω στο έδαφος ή ημίκτιστες (τμήμα κτιστό στην είσοδο και το υπόλοιπο υποσκαφο). Ο θόλος αναπτύσσεται συνήθως κατά μήκος των στενών τοιχοποιιών από φέρουσα λιθοδομή. Η κατασκευή των θόλων είναι μια ειδική παραδοσιακή τεχνική που έχει εξελιχθεί με το πέρασμα του χρόνου και με τη συμβολή της εμπειρίας των τεχνιτών. Τα τοπικά οικοδομικά υλικά χρησιμοποιούνται με εντυπωσιακή ευχέρεια και οικονομία. Ξυλότυποι που αφαιρούνται και επαναχρησιμοποιούνται, χαλίκια κίσηρης με ελάχιστο βάρος, χυτά ισχυρά κονιάματα με εξαιρετικές στατικές και υδραυλικές ικανότητες. Ο θόλος ανάλογα με τις ανάγκες είτε αφήνεται γυμνός είτε συμπληρώνεται με κίσηρη ώστε να δημιουργηθεί ένα βατό δώμα. Καθώς το νερό είναι πολύτιμο αγαθό στα νησιά, τόσο οι θόλοι όσο και τα επίπεδα δώματα αποτελούν ένα σύστημα συλλογής των όμβριων υδάτων στις υπόγειες συνήθως στέρνες. Τα σπίτια στην Σαντορίνη χτιστά ή υπόσκαφα διακρίνονται επίσης σε αγροτικά και αστικά σύμφωνα με τη θέση τους στις παρυφές ή το κέντρο των οικισμών. Τα αγροτικά σπίτια βρίσκονται στην εξοχή ή στην περίμετρο των οικισμών. Πρόκειται περισσότερο για μια ενότητα ισόγειων κτισμάτων, το κυρίως σπίτι και τους ζωτικούς βοηθητικούς χώρους γυρω του (φούρνος, στέρνα, στάβλος, κοτέτσι, κάναβα δηλαδή εργαστήριο παραγωγής κρασιού). Τα αστικά σπίτια βρίσκονται στο εσωτερικό των οικισμών και έχουν ακανόνιστο σχήμα και εξαιρετικά επινοητικούς τρόπους εξοικονόμησης και προσπέλασης των χώρων. Έχουν λιγότερους βοηθητικούς χώρους και αναπτύσσονται συνήθως σε διαφορετικά επίπεδα. Σε κεντρικές περιοχές των οικισμών, κυρίως με την ανάδυση της νέας κοινωνικής ομάδας των πλουσίων πλοιοκτητών και εμπόρων κατά το 19ο αιώνα εμφανίστηκαν τα αρχοντικά σπίτια. Δημιουργήθηκαν έτσι ξεχωριστές συνοικίες με αρχοντικά, όπως ο Σιδεράς στην Οία. Τα αρχοντικά σπίτια έχουν μονολιθικό επιβλητικό όγκο και συμμετρικές μνημειακές προσόψεις.

## **2.6 Ύδρευση – Άρδευση - Ζήτηση νερού**

Τα αποθέματα του νερού όχι μόνο ελαττώνονται αλλά ταυτόχρονα υποβαθμίζονται ποιοτικά με ανησυχητικούς ρυθμούς. Ανεξέλεγκτες γεωτρήσεις για άρδευση, χωματερές, υπερβολική βιομηχανική χρήση,

αστικά απόβλητα, απηρχαιωμένα αρδευτικά και υδρευτικά δίκτυα, υποβαθμίζουν και εξαντλούν τους υδροφόρους ορίζοντες. Οι πιθανές λύσεις φαίνεται να χάνονται σε μια έρημο αποφάσεων, περιορισμών και νόμων που δεν τηρούνται, ελέγχων, προγραμμάτων και μελετών που δεν πραγματοποιούνται. Η οικονομική ζωή της Σαντορίνης πριν από το 1960, όταν άρχισε σταδιακά η κίνηση ξένων επισκεπτών στο νησί για τουριστικούς λόγους, βασιζόταν στις καλλιέργειες και στο εμπόριο.

Επειδή το νερό είναι η βασικότερη προϋπόθεση της ζωής, τα υπόγεια νερά είναι ένας φυσικός πόρος, που ασκεί κρισιμότητα ρόλο και επηρεάζει τα οικοσυστήματα, την ανθρώπινη ζωή και τις δραστηριότητες του ανθρώπου γενικά σε όλον τον κόσμο. Είναι ένας πόρος που βρίσκεται θεωρητικά παντού στην επιφάνεια όλης της ξηράς και είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος, που μόνο αν προστατευτεί και διαχειριστεί σωστά, μπορεί να συνεχίσει να ασκεί τις ευεργετικές του λειτουργίες επ' αόριστον. Στα νησιά δεν υπάρχει η δυνατότητα να αποθηκευτεί νερό τον χειμώνα, την εποχή που είναι αυξημένες οι βροχοπτώσεις. Αντίθετα, το καλοκαίρι, λόγω του τουρισμού, η ζήτηση του νερού αυξάνεται υπερβολικά, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλο έλλειμμα.

Γενικά η Σαντορίνη είναι άνυδρος και ξερή, χωρίς λίμνες, ποταμούς ή χαράδρες. Οι αρδευτικές ανάγκες της καλύπτονται κυρίως με δεξαμενές όπου συγκεντρώνεται κυρίως το βρόχινο νερό καθώς και από φρεάτια. Όμως η εποχιακά αυξημένη ζήτηση σε νερό, η υφαλμύρωση των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων, οι γενικότερες επιπτώσεις της ρύπανσης, αλλά και οι συνηθειών του σύγχρονου τρόπου υπερκατανάλωσης και κατασπατάλησης του καθαρού νερού το έχουν καταστήσει ποσοτικά ανεπαρκή και ποιοτικά ακατάλληλο για υδρευτική χρήση.

Οι συνολικές ανάγκες του νησιού σε νερό ύδρευσης, που είναι και οι κύριες απαιτήσεις του, υπολογίζονταν το 2002, από έρευνα των γεωλόγων Κουρμούλη και Κουρή για το Ι.Γ.Μ.Ε., σε 7.000 m<sup>3</sup>/24ωρο κατά την περίοδο αιχμής (Ιούλιος - Αύγουστος), λαμβάνοντας υπόψη:

- Τον μόνιμο πληθυσμό του νησιού, που ανέρχεται σε 12.000 κατοίκους περίπου.
- Τους επισκέπτες - παραθεριστές, που υπολογίζονται σε 14.000 περίπου ημερησίως.
- Την κατ' άτομο κατανάλωση νερού, που ξεπερνούσε τα 250 lit/24ωρο.

Ενώ κατά την χειμερινή περίοδο (Νοέμβριος - Φεβρουάριος), η ημερήσια κατανάλωση νερού δεν υπερέβαινε τα 2.500 m<sup>3</sup>, ενώ τις άλλες εποχές (Άνοιξη - Φθινόπωρο) τα 3.500 m<sup>3</sup>/24ωρο. Θεωρώντας ότι οι απαιτήσεις για την ικανοποίηση των αναγκών του πρωτογενή

τομέα, είναι πολύ περιορισμένες διαπιστώθηκε ότι σε ετήσια βάση οι ανάγκες του νησιού σε νερό, ανέρχονταν περίπου σε  $1,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ , (Κουρμούλης, Κουρής, 2002).

Αξιοσημείωτο είναι ότι από τα 13 δίκτυα που υπάρχουν συνολικά στο νησί, τα 9 (ποσοστό 69,2%) κρίνονται ανεπαρκή με βάση τη χωροταξική μελέτη Ν. Αιγαίου, που εκπονήθηκε από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. το 1997. Παρακάτω πίνακα φαίνονται τα δίκτυα ύδρευσης του Δήμου Θήρας και η επάρκεια που έχουν αυτά, μαζί με την κάλυψη και τις απώλειες που εμφανίζουν

**Πίνακας 2.6:** Δίκτυα Ύδρευσης Δήμου Θήρας (Χωροταξική μελέτη Ν. Αιγαίου, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 1997).

Κωδικός Δήμου	Δήμος / Κοινότητα	Δημοτικό Διαμέρισμα	Μήκος Ύδρευσης (km)	Κάλυψη (%)	Απώλειες (%)	Επάρκεια
8207	ΘΗΡΑΣ					
8207B		ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ	3	70	7	ΟΧΙ
8207Γ		ΒΟΘΩΝΟΣ	4	100	0	ΝΑΙ
8207Δ		ΒΟΥΡΒΟΥΛΟΥ				ΟΧΙ
8207 <sup>E</sup>		ΕΜΠΟΡΕΙΟΥ	10	70	20	ΟΧΙ
8207Z		ΕΞΩ ΓΩΝΙΑΣ	2	80	5	ΝΑΙ
8207 <sup>H</sup>		ΕΠΙΣΚ.ΓΩΝΙΑΣ	12	80	20	ΝΑΙ
8207Θ		ΗΜΕΡΟΒΙΓΛΙΟΥ				ΟΧΙ
8207I		ΚΑΡΤΕΡΑΔΟΥ				ΟΧΙ
8207K		ΜΕΓΑΛΟΧΩΡΙΟΥ	3	60		ΟΧΙ
8207Λ		ΜΕΣΑΡΙΑΣ	10	80		ΝΑΙ
8207M		ΠΥΡΓΟΥ ΚΑΛΛΙΣΤΗΣ				ΟΧΙ
8219	ΟΙΑΣ(Κ)					
8219 <sup>A</sup>		ΟΙΑΣ (Κ)	4	80	0	ΟΧΙ
8219B		ΘΗΡΑΣΙΑΣ	0.15	3	90	ΟΧΙ

Για την μερική κάλυψη των αναγκών που περιγράφηκαν παραπάνω, σήμερα γίνεται εκμετάλλευση των υπόγειων και υφάλμυρων υδροφοριών του νησιού, καθώς και εκμετάλλευση της μονάδας αφαλάτωσης, που λειτουργεί στην Οία που αποτελεί έναν πρότυπο οικισμό με σύγχρονες υποδομές διαθέτει πλήρες δίκτυο ύδρευσης και

αποχέτευσης, εργοστάσιο αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, μονάδες βιολογικού καθαρισμού, τουριστικές υποδομές υψηλών προδιαγραφών.

Έτσι όσον αφορά την υδροδότηση των οικισμών της Σαντορίνης, για το μεγαλύτερο αριθμό των οικισμών της είναι ποσοτικά ανεπαρκής και ποιοτικά ακατάλληλη, γεγονός που έχει επιπτώσεις, στην υγεία των μόνιμων και μη κατοίκων της, στην τουριστική ανάπτυξη και στις προοπτικές εξέλιξης του νησιού.



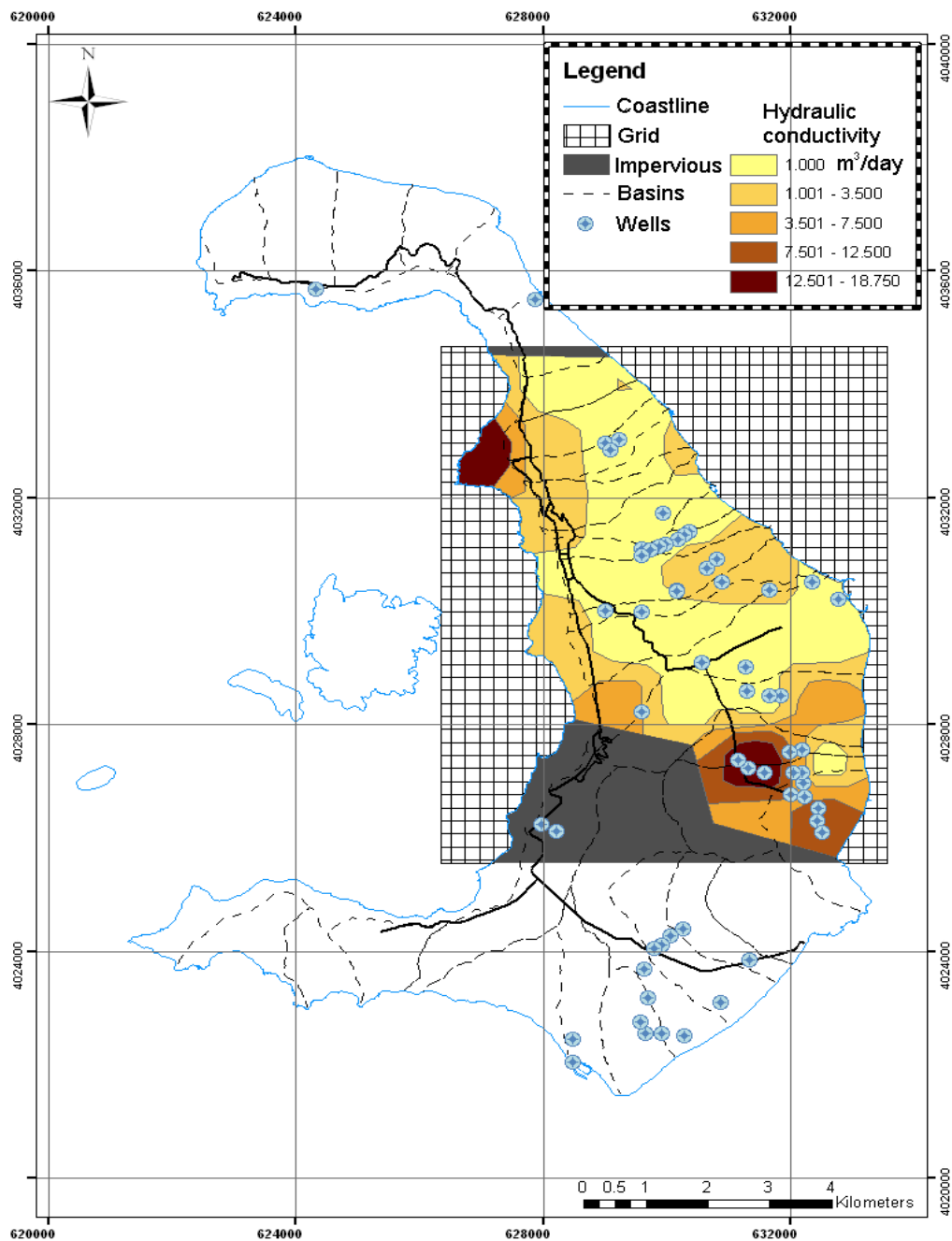
### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

**Γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά  
Ν. Θήρας**

### 3. Γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά Ν. Θήρας

#### 3.1 Όρια και λιθολογική σύσταση στην περιοχή Βουρβούλου – Καμαρίου

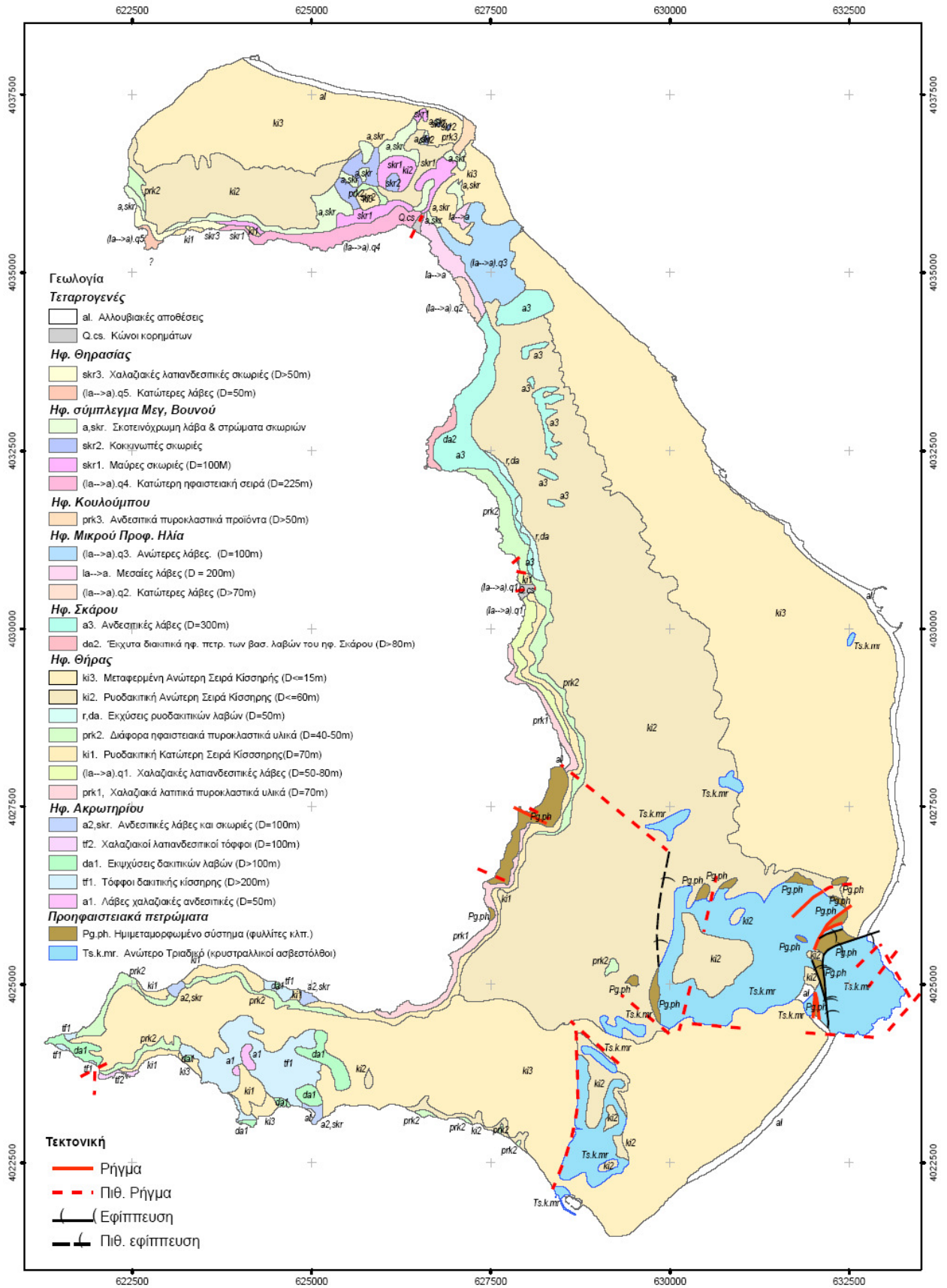
Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα όρια του υπόγειου υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου καθώς και η μεταβολή της υδραυλικής αγωγιμότητας αλλά και η θέση κάθε πηγαδιού που υπάρχει στη νήσο.



Εικόνα 3.1: Όρια υπόγειου υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου (υποψήφιος διδάκτορας Κουράκος Γ.)

Είναι γνωστό ότι η Θήρα καλύπτεται στο μέγιστο τμήμα της από ηφαιστειακά πετρώματα νεότερης ηλικίας (Τεταρτογενές). Η ηφαιστειακή δραστηριότητα αποτέλεσε τον κύριο μορφογενετικό παράγοντα και καθορίζει τη λιθολογική δομή του καλύμματος της Νήσου και συνεχίζεται κατά τους σημερινούς χρόνους (τελευταίες εκρήξεις 1939-40 και 1950, ηφαίστεια Καμένης). Γεωλογικά το νησί αποτελείται κυρίως από επαλληλία ηφαιστειακών σχηματισμών όπως λάβες, πυροκλαστικά υλικά, κίσηρη, τέφρες κ.α. ενώ μικρό μόνο τμήμα του καλύπτεται από μεταμορφωμένους σχηματισμούς όπως φυλλίτες και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους (τριαδικούς). Στις ανατολικές και παράκτιες περιοχές αναπτύσσονται ακόμη μικρού εύρους και πάχους αλλουβιακές αποθέσεις (Κουρμούλης, 1987).

Τα ηφαιστειακά πετρώματα καλύπτουν λοιπόν το παλαιότερο γεωλογικό υπόβαθρο, το οποίο μπορεί να μελετηθεί μόνο σε μικρές σποραδικές εμφανίσεις στο κεντρικό και ΝΑ τμήμα της Θήρας.



Εικόνα 3.2: Γεωλογικός χάρτης Θήρας έκδοσης ΙΓΜΕ κλ. 1:50.000 (Pichler et. al., 1980 1:50.000 (Pichler et. al., 1980)

Στην ευρύτερη περιοχή, όπου βρίσκεται ο προς μελέτη υδροφορέας (περιοχή Βουρβούλου - Καμαρίου), συναντώνται οι ακόλουθοι λιθολογικοί σχηματισμοί (Κουρμούλης, 1987) :

α) Ρυοδακτικική Ανώτερη Σειρά Κίσσηρης. Υπέρκειται ενός παλαιού εδαφικού ορίζοντα (απολιθωμένου) και αποτελείται από τρεις ενότητες: στη βάση συναντώνται στρώματα χονδρόκοκκης εκσφενδονισμένης στον αέρα κίσσηρης (πάχους 1 - 5 m), που καλύπτονται από συγκεντρώσεις υπόλευκων αποθέσεων. Το ανώτερο (κύριο) μέρος της σειράς αποτελείται από χαοτικό ρεύμα τέφρας. Το πάχος του σχηματισμού φτάνει μέχρι 60 m. Ηλικία: Τεταρτογενές.

β) Κορήματα ημισυνεκτικού έως χαλαρά με κροκάλες και θραύσματα ποικίλου μεγέθους που συναντώνται στα ασβεστολιθικά πρηνή.

γ) Σύγχρονες αποθέσεις κοίτης, ποικίλου διαβαθμίσεως (τεμάχια μεγέθους ογκολίθων μέχρι μεσόκοκκου άμμου). Το μέγιστο πάχος του σχηματισμού φτάνει τα 10 m. Ηλικία: Τεταρτογενές.

δ) Αναβαθμίδες που συνίστανται από ασβεστολιθικά τεμάχια ποικίλου μεγέθους και μικρό ποσοστό κίσσηρης και χονδρόκοκκου άμμου. Ημισυνεκτικός σχηματισμός.

ε) Ημιμεταμορφωμένο σύστημα που αποτελείται από φυλλίτες κυρίως ασβεστιτικούς με ενστρώσεις γραουβάκη και κροκαλοπαγή και φακούς κρυσταλλικών ασβεστόλιθων και πρασινοσχιστολίθων. Ηλικία: Κατώτερο τριτογενές και παλαιότερη.

ζ) Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι τεφροί ή καταθέσεις κοκκινωποί παχυστρωματώδεις έως συμπαγείς, μικροκρυσταλλικοί έως χονδρόκοκκοι. Καταθέσεις οι συμπαγείς ασβεστόλιθοι μεταβαίνουν πλευρικά σε στρωματώδεις. Ηλικία: Άνω τριαδικό.

Από τους παραπάνω γεωλογικούς σχηματισμούς υδρογεωλογικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν κατά κύριο λόγο οι σχηματισμοί της κίσσηρης διότι σ' αυτούς αλλά και στον παλαιοεδαφικό ορίζοντα που διαμορφώνεται κάτω απ' αυτούς (στην επαφή με τα υποκείμενα πυροκλαστικά υλικά) αναπτύσσονται οι πιο αξιόλογοι, από άποψη υδροδυναμικότητας και ποιότητας νερών, υδροφόροι ορίζοντες της Θήρας. Επίσης υδροφορία αναπτύσσεται τόσο στους Τριαδικούς ασβεστόλιθους όσο και στις αλλουβιακές αποθέσεις, χωρίς όμως η υδροφορία τους αυτή να είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Η λιθολογική σύσταση της Σαντορίνης με μεγάλη εξάπλωση της Μινωϊκής κίσσηρης έχει σαν αποτέλεσμα την μεγάλη διαβρωσιμότητα του αναγλύφου. Από μελέτη που έγινε από τους Γκουρνέλλος

Θεόδωρος, Βασιλόπουλος Ανδρέας και Ευελπίδου Νίκη με θέμα «Μελέτη της διαβρωσιμότητας του αναγλύφου σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής» με χρήση τριών παραμέτρων (λιθολογία, τοπογραφικές κλίσεις και υδρογραφική πυκνότητα) για την αναγνώριση λεκανών μέγιστης επικινδυνότητας και για την διαβάθμιση των λεκανών ως προς την επικινδυνότητα για τη νήσο, προέκυψε ότι ένα μεγάλο ποσοστό των υδρογραφικών λεκανών της Σαντορίνης (28%) παρουσιάζει πολύ υψηλό δείκτη επικινδυνότητας διάβρωσης, ένα επίσης μεγάλο ποσοστό (20%) υψηλό δείκτη, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των λεκανών (41%) παρουσιάζει μέση επικινδυνότητα στη διάβρωση. Μόνο το 11% των λεκανών παρουσιάζουν χαμηλή επικινδυνότητα διάβρωσης και πρόκειται για λεκάνες με μικρή τοπογραφική κλίση και υδρογραφική πυκνότητα καθώς και με μικρή τιμή διαβρωσιμότητας πετρωμάτων δηλαδή οι λεκάνες αυτές αναπτύσσονται κυρίως σε κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και στο ημιμεταμορφωμένο σύστημα και δευτερευόντως σε λάβες. Η διαβάθμιση αυτή των λεκανών είναι σκόπιμο να λαμβάνεται υπόψη για μελλοντικό σχεδιασμό περιβαλλοντικών έργων. (<http://www.hellasgi.gr/>)

## **3.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες**

### **3.2.1 Υδρολιθολογία**

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στη Θήρα είναι ιδιαίτερα δυσμενείς γιατί από τη μια οι λιθολογικοί σχηματισμοί, που δομούν την Θήρα, παρουσιάζουν γενικά χαμηλές έως πολύ χαμηλές περατότητες και αντίστοιχες υδροχωρητικότητες αφού συνίσταται κυρίως από ημιπερατούς έως αδιαπέρατους σχηματισμούς και από την άλλη στις υδρολογικές συνθήκες εμφανίζονται χαμηλές ετήσιες βροχόπτωσης, υψηλή εξάτμιση, ταχεία επιφανειακή απορροή κ.α. Έτσι δεν επιτρέπουν την δημιουργία μεγάλων αποθεμάτων υπόγειου νερού. Εξετάζοντας την υδρολογική συμπεριφορά των σχηματισμών, που συγκροτούν την στρωματογραφική σειρά της Κεντρικής Θήρας (Ακρωτήρι - Βουρβούλος), που υδρογεωλογικά είναι και η σημαντικότερη του νησιού, όπου βρίσκεται και ο προς μελέτη υδροφορέας (περιοχή Βουρβούλου - Καμαρίου), διαπιστώνονται τα ακόλουθα (Κουρμούλης, Κουρής, 2002):

#### **Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι**

Πρόκειται για Ανω-Τριαδικής ηλικίας παχυστρωματώδεις ή συμπαγείς μικροκρυσταλλικούς έως χονδρόκοκκους ασβεστόλιθους, που συγκροτούν κατά το μεγαλύτερο μέρος τον ημιορεινό όγκο του Αγ. Ηλία - Μέσα Βουνό και αποτελούν τις παλαιότερες ιζηματογενείς εμφανίσεις του νησιού. Μικρότερες σε έκταση εμφανίσεις απαντώνται στην περιοχή

Γαβρίλου - Βλυχάδας, καθώς και στις περιοχές Εμπορείου, Πύργου και Έξω Γωνιάς. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί, αν και μέτρια τεκτονισμένοι, παρουσιάζουν χαμηλή έως μεταβαλλόμενη κατά θέσεις, λόγω ρηγματώσεων, υδροπερατότητα, με συνέπεια η διακίνηση των υπογείων νερών να γίνεται μέσω προνομιακών ροών. Στην υδραυλική αυτή ανισοτροπία του σχηματισμού έχει συμβάλει πολύ η διακίνηση υδροθερμικών ρευστών, λόγω της ηφαιστειότητας και του αναπτυσσόμενου γεωθερμικού πεδίου, που έχουν δευτερογενώς αποφράξει τις μικρές διαρρήξεις με ανθρακικές αποθέσεις. Οι διαπιστώσεις αυτές προέκυψαν από ερευνητικές γεωτρήσεις, που έγιναν στους ασβεστόλιθους αυτούς ανάντη του Καμαρίου. Αντίθετα στην περιοχή Εμπορείου - Περίσσης τα γεωτρητικά δεδομένα συνηγορούν στην διαμόρφωση ενιαίου καρστικού υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με τον υδροφόρο του παλαιοεδαφικού ορίζοντα, για τον οποίο γίνεται αναφορά στη συνέχεια. Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι οι καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες (ενιαίοι ή ασυνεχείς), που διαμορφώνονται στους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, είναι ασθενείς και επιδεκτικοί στην υφαλμύρωση, λόγω της άμεσης ή έμμεσης επικοινωνίας τους με την θάλασσα.

### **Μεταμορφωμένο σύστημα**

Αποτελείται από ημιμεταμορφωμένα πετρώματα φυλλιτών με ενστρώσεις γραουβάκη, στρωμάτων κροκαλοπαγών, φακών κρυσταλλικών ασβεστόλιθων και πρασινολίθων. Απαντώνται κύρια στην περιοχή Όρμου Αθηνιού στη βάση των τοιχωμάτων της Καλδέρας, αλλά και σε μικρότερες εμφανίσεις στην περιοχή Καμάρι - Περίσση και Εμπορείο. Στο σύνολό του ο σχηματισμός συμπεριφέρεται ως πρακτικά υδατοστεγής, καθόσον τα αδιαπέρατα μέρη του (φυλλίτες, πρασινολίθοι) επικρατούν των πολύ περιορισμένου αναπτύγματος και περατότητας σχηματισμών (φακοί ασβεστόλιθων, κροκαλοπαγή, γραουβάκες).

### **Πυροκλαστικά υλικά και λάβες**

Πρόκειται για διακριτά στρώματα πυροκλαστικών υλικών, αποτελούμενα από τόφους και σκωρίες (συγκολλημένες), πάχους 70 m περίπου και αντίστοιχου πάχους χαλαζιακές τεφρές λάβες, που διαχωρίζονται με πυροκλαστικά υλικά. Η υδροπερατότητα του σχηματισμού είναι μικρή έως πολύ μικρή, με συνέπεια να παρουσιάζει ουσιαστικά ανύπαρκτη υδροφορία.

### **Κατώτερη σειρά κίσηρης**

Αποτελείται από ασυγκόλλητες σειρές κίσηρης με τέφρες και ογκολίθους συνολικού πάχους 70 m περίπου. Ο σχηματισμός παρουσιάζει μικρή υδροπερατότητα και αντίστοιχη υδροφορία, η οποία είναι τοπική και με πολύ περιορισμένη δυνατότητα

επανατροφοδότησης, λόγω του περιορισμένου της επιφανειακής έκθεσης του σχηματισμού.

### **Πυροκλαστικά υλικά και ενδιάμεση κίσσηρης**

Ο σχηματισμός αποτελείται από διάφορα ηφαιστειακά στρώματα πυροκλαστικών υλικών, στο ενδιάμεσο του οποίου εμφανίζεται ένας στρωματογραφικός ορίζοντας, η καλούμενη "μέση σειρά κίσσηρης", πάχους 4 - 5 m. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται στα 40 - 50 m. Από το σύστημα αυτό, υδροφορία πολύ περιορισμένη αναπτύσσεται στην ενδιάμεση σειρά κίσσηρης, η οποία όμως έχει εξαιρετικά περιορισμένη δυνατότητα επιφανειακής ή υπόγειας επανατροφοδοσίας.

### **Ανώτερη σειρά κίσσηρης**

Η σειρά αποτελείται από τρεις ενότητες, όπου στη βάση απαντώνται στρώματα χονδρόκοκκης κίσσηρης πάχους 1 - 5 m, ενδιάμεσα υπόλευκες αποθέσεις και στο ανώτερο και κύριο μέρος, χαστικό ρεύμα τέφρας. Ο σχηματισμός της ανώτερης κίσσηρης, του οποίου το πάχος φθάνει τα 60 m, επικάθεται ενός παλαιοεδαφικού ορίζοντα πάχους μέχρι 8 m, ο οποίος αποτελείται από ψηφίδες και χονδρόκοκκους έως λεπτόκοκκους άμμους, υλικά που προέρχονται από την αποσάθρωση πυροκλαστικών κυρίως σχηματισμών. Η υδροπερατότητα της κίσσηρης παρουσιάζει διαφοροποίηση, που οριοθετείται από πολύ μικρή, για την χονδρόκοκκη κίσσηρη της βάσης, έως μικρή για τις ανώτερες τέφρες. Αντίθετα η υδροπερατότητα του σχηματισμού του παλαιοεδαφικού ορίζοντα, κυμαίνεται από μέτρια έως υψηλή, εξαρτώμενη από την κοκκομετρία της θέσης. Έτσι, εντός της ανώτερης κίσσηρης και στα χαμηλά μέρη του νησιού, διαμορφώνονται ασθενείς υδροφόροι ορίζοντες πολύ περιορισμένης αποδοτικότητας, ενώ στον παλαιοεδαφικό ορίζοντα η δυναμικότητα των διαμορφούμενων υδροφόρων είναι αξιόλογη και για το λόγο αυτό έτυχαν εντατικής εκμετάλλευσης τις δύο τελευταίες δεκαετίες.

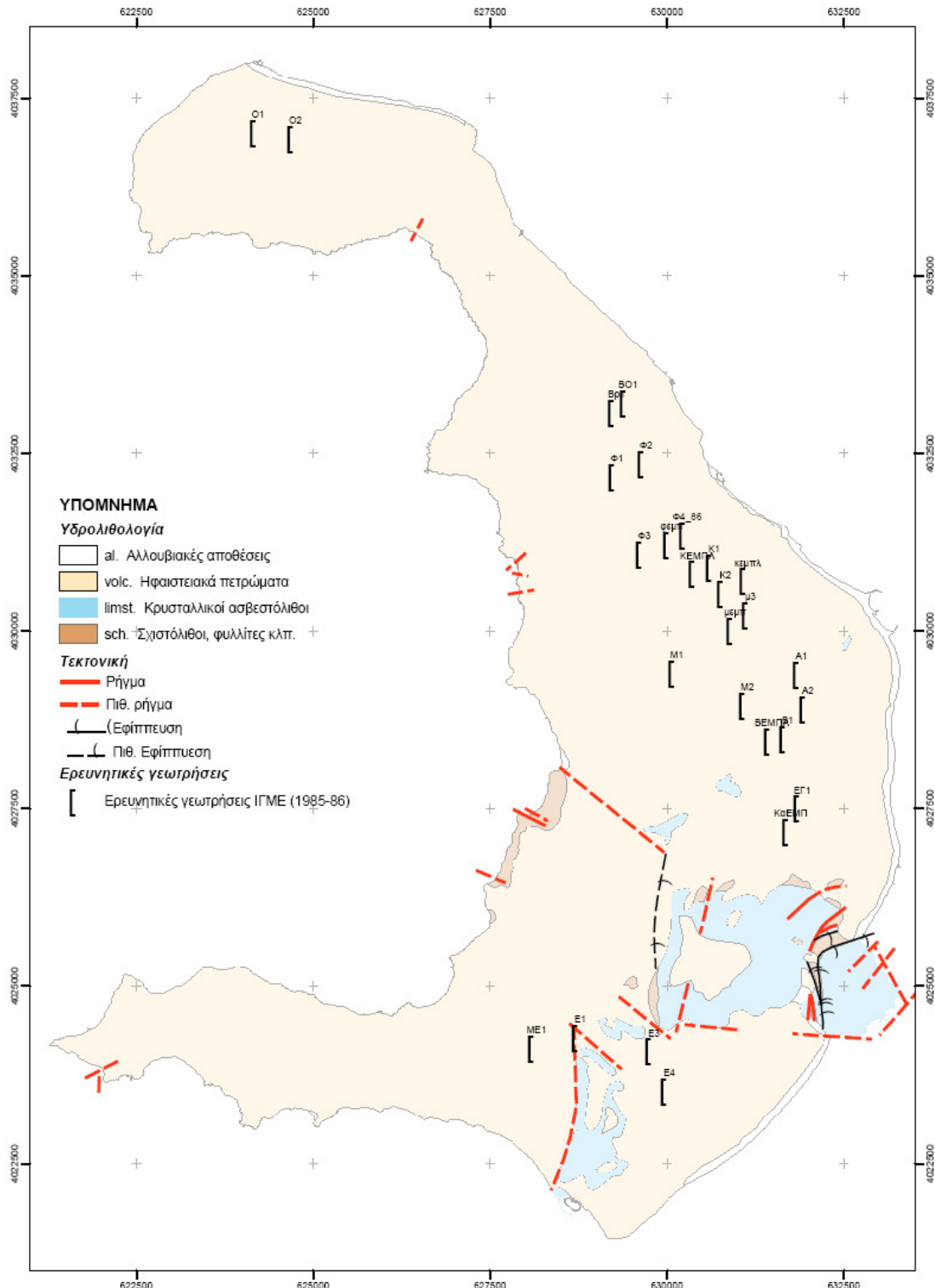
### **Μεταφερμένη κίσσηρης**

Σχηματισμός αποτελούμενος από τεφρή έως καστανωπή κίσσηρη και υλικά τέφρας με φακοειδείς ή διάσπαρτες παρεμβολές ογκολίθων λάβας. Η δημιουργία του σχηματισμού οφείλεται στην αποσάθρωση και μεταφορά της ανώτερης σειράς κίσσηρης, αλλά και από μεταφορά υλικών από τη θάλασσα (περιοχή Μαυροραχήδι - Εξωμύτης). Η μεταφερμένη κίσσηρης καλύπτει τις εξωτερικές πεδινές περιοχές της Θήρας και λόγω της σχετικής χαλαρότητας των υλικών της παρουσιάζει αυξημένη υδροπερατότητα, έναντι εκείνης της ανώτερης σειράς κίσσηρης, με συνέπεια να διαμορφώνονται ασθενείς φρεάτιοι υδροφόροι στα παράκτια τμήματα του νησιού.



### Αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις

Εμφανίσεις μικρού αναπτύγματος στα ανατολικά και νοτιο-ανατολικά παράλια μέρη του νησιού, χωρίς ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.



**Εικόνα 3.3:** Υδρολιθολογικός Χάρτης Ν. Θήρας (οι θεματικές ενότητες προέκυψαν από το γεωλ.Χάρτη) (Pichler et. al., 1980)

### 3.2.2 Υδροφόροι ορίζοντες

#### Γενικά

Η εκμετάλλευση του υπόγειου νερού αρχίζει από τις πρώτες ανθρώπινες κοινωνίες. Οι πρώτοι άνθρωποι οικισμοί έγιναν κοντά σε πηγές, σε λίμνες, σε ποτάμια κ.λπ., όπου δηλαδή υπήρχε νερό. Γι αυτό και η Υδρογεωλογία είναι από τις επιστήμες των οποίων οι πρώτες εμβρυακές γνώσεις ξεκινούν χιλιετηρίδες πριν. Οι άνθρωποι έκαναν τα πρώτα σκαφτά πηγάδια πριν από πολλές χιλιετηρίδες. Γνώριζαν την ύπαρξη του υπόγειου νερού τουλάχιστο από το 8000 π.Χ. Τα υπόγεια «υδροφόρα στρώματα» θα μπορούσαν αναλογικά να ονομαστούν και «υδροφόρα κοιτάσματα» αφού έχουν και αυτά ορισμένα «αποθέματα». Όμως στα «υδροφόρα κοιτάσματα», και μόνο σε αυτά, υπάρχει μία χαρακτηριστική διαφορά σε σχέση με όλα τα άλλα κοιτάσματα (π.χ. του βωξίτη): στα άλλα κοιτάσματα εφόσον γνωρίζουμε τις ποσότητές τους είναι αυτές και μόνο. Δεν ανανεώνονται, ούτε αυξάνονται, ούτε μειώνονται χωρίς επέμβαση του ανθρώπου. Με τα «υδροφόρα κοιτάσματα» όμως τα πράγματα είναι διαφορετικά. Αν αντλήσουμε από ένα υδροφόρο στρώμα, άρα από τα αποθέματά του, ορισμένη ποσότητα, αυτή είναι δυνατό, με φυσικές διαδικασίες (π.χ. με κατείσδυση του νερού της βροχής) να αναπληρωθεί στο ακέραιο. Ακόμα μέσα στον ετήσιο υδρολογικό κύκλο, ορισμένες κατηγορίες αποθεμάτων υπόγειου νερού αυξομειώνονται. Τα πιο πάνω είχαν δημιουργήσει σύγχυση σε σχέση με τις κατηγορίες αποθεμάτων υπόγειου νερού και τις μεταβολές του. Έτσι επικράτησε, και σε κάποιο μέτρο επικρατεί ακόμη και σήμερα, κάποια σύγχυση που εκτός των άλλων δημιουργείται και από τη μη καθιέρωση μιας αποδεκτής και χρησιμοποιούμενης από όλους ορολογίας.

Είναι επίσης γνωστό ότι η στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων δεν βρίσκεται σε στατική ισορροπία, αλλά σε δυναμική ισορροπία και μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο, είτε ανεβαίνοντας λόγω τροφοδοσίας (από κατείσδυση, διήθηση, πλευρική μετάγγιση κ.λπ.), είτε κατεβαίνοντας λόγω απωλειών (εκφόρτιση από πηγές, από άντληση, εκροή προς γειτονικά στρώματα κ.λπ.).

Αν η ετήσια αντλούμενη ποσότητα είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με τη φυσική ανανέωση (όση τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα, ή όση η ασφαλής απόδοση), η στάθμη το πρώτο χρονικό διάστημα υποχωρεί λίγο. Στη συνέχεια διακυμαίνεται πλέον γύρω από μία νέα μέση υπερετήσια στάθμη, μακροχρόνια σταθερή πλέον, αλλά κατώτερη ως προς την αρχική

Αν όμως η ετήσια αντλούμενη ποσότητα είναι συνεχώς ανώτερη από τη συνολική ετήσια ανανέωση, τότε η ετήσια στάθμη υποχωρεί κάθε χρόνο πιο κάτω από αυτήν του προηγούμενου έτους. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε υπεράντληση, εκμετάλλευση του υπόγειου νερού και προκαλείται μόνιμη υποχώρηση της στάθμης που είναι τόσο πιο μεγάλη, όσο πιο έντονη και μακροχρόνια είναι η υπεράντληση. Γίνεται

άντληση όχι μόνο των εκμεταλλεύσιμων αλλά και μέρους των μονίμων. Έτσι τα φυσικά αποθέματα μειώνονται συνεχώς.

Η υπεράντληση και μάλιστα η συνεχιζόμενη, δημιουργεί σημαντική, μόνιμη, αυξανόμενη υποχώρηση της στάθμης των αντλούμενων υδροφορέων. Η υποχώρηση αυτή της στάθμης έχει πολλές άμεσες και έμμεσες συνέπειες.

Οι υδατικοί πόροι δεν είναι απεριόριστοι και μάλιστα σε πολλές περιοχές του κόσμου η ανεπάρκειά αυτή συνιστά μέγιστο εμπόδιο στην ανάπτυξη. (Καλλέργης, 2000)

Μια από τις περιοχές στις οποίες διαμορφώνονται υδροφόροι ορίζοντες είναι η περιοχή Βουρβούλου – Καμαρίου, εδώ στους σχηματισμούς της κίσσηρης αλλά και κάτω από αυτούς διαμορφώνεται υδροφόρος ορίζοντας ο οποίος είναι σχεδόν ενιαίος για όλη την περιοχή. Είναι ο μοναδικός σημαντικός για τα μέτρα του νησιού υδροφόρος ορίζοντας τόσο από πλευράς δυναμικότητας όσο και ποιότητας νερών. Σε αυτόν έχουν ανορυχθεί οι γεωτρήσεις που προορίζονται για την ύδρευση των κοινοτήτων Καρτεράδου, Μεσαριάς, Βόθωνα, Εξω Γωνιάς και Φηρών

## **Υδροφόροι σχηματισμοί της Νήσου**

Όπως προκύπτει από τα υδρολιθολογικά στοιχεία της Νήσου, οι πιο αξιόλογες υδροφορίες στη Θήρα είναι εκείνες που αναπτύσσονται (Κουρμούλης - Κουρής, 2002):

- Στον παλαιοεδαφικό ορίζοντα
- Στους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους
- Στην μεταφερμένη και ανώτερη σειρά κίσσηρης

### **1. Παλαιοεδαφικός ορίζοντας**

Πρόκειται για ένα αλλουβιακό σχηματισμό, που προήλθε από την αποσάθρωση και μεταφορά πυροκλαστικών υλικών - κυρίως υπό μορφή ψηφίδων και χονδρόκοκκης έως λεπτόκοκκης άμμου - στα κατώτερα μέρη των ανατολικών παλαιομορφολογικών πρηνών του νησιού, πριν την έκρηξη του ηφαιστείου κατά τους υστερο-Μινωικούς χρόνους (περίπου 1.500 π.Χ.) και την κάλυψη του από την κίσσηρη. Ο σχηματισμός εντοπίζεται στις περιοχές μεταξύ Καμαρίου και Φηρών, καθώς και στην περιοχή Περίσσας - Εξωμύτη και με μικρό εύρος, που κυμαίνεται μεταξύ 500 - 1200 m. Το πάχος του ποικίλλει από μερικά εκατοστά έως 3 m, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις φθάνει και τα 8 m (Εξω Γωνιά) ή και τα 15 m (Εμπορείο). Τα υπόγεια αποθέματα νερού του παλαιοεδαφικού υδροφόρου, για το τμήμα από το Καμάρι μέχρι τα

Φηρά, έχουν υπολογισθεί σε  $4 \times 10^6 m^3$ , ενώ για το τμήμα Περίσσας - Εξωμύτη σε  $0,5 \times 10^6 m^3$ . Σήμερα λόγω της μακρόχρονης και εντατικής εκμετάλλευσης των υδροφόρων αυτών, από μεγάλο αριθμό κοινοτικών και ιδιωτικών γεωτρήσεων και σε συνάρτηση με τη μικρή φυσική επανατροφοδοσία των υδροφόρων, η ποιοτική τους κατάσταση έχει υποβαθμιστεί με την προοδευτική διείσδυση της θάλασσας (υφαλμύρωση), σε βαθμό ώστε κάθε περαιτέρω δυνατότητα εκμετάλλευσης τους να έχει πρακτικά εξαντληθεί.

## **2. Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι**

Στις εμφανίσεις των ασβεστόλιθων αυτών διαμορφώνονται πολύ ασθενείς καρστικοί υδροφόροι, οι οποίοι τροφοδοτούνται είτε από την απευθείας κατείσδυση είτε από τους περιβάλλοντες σχηματισμούς για τους οποίους αποτελούν ζώνες αποστράγγισης, λόγω της σχετικά μεγαλύτερης περατότητας τους. Από τους καρστικούς αυτούς υδροφόρους, την συγκριτικά μεγαλύτερη υδροφορία εμφανίζει ο υδροφόρος, που διαμορφώνεται στη μάζα του ημιορεινού όγκου του Αγ. Ηλία. Αν και δεν μπορεί να αναφέρεται κανείς για ενιαίο υδροφόρο ορίζοντα, εντούτοις τόσο από την πλευρά του Καμαρίου, όσο και από την πλευρά Εμπορείου γεωτρητικά έχει αποδειχθεί η ανάπτυξη του. Ιδιαίτερα στην περιοχή Εμπορείου - Περίσσας ο καρστικός υδροφόρος παρουσιάζεται με σχετικά μεγαλύτερη υδροδυναμικότητα, γεγονός που αποδίδεται στην πλευρική του επικοινωνία με τον υδροφόρο του παλαιοεδαφικού ορίζοντα της περιοχής. Παρόλα αυτά τα αποθέματα του υδροφόρου είναι περιορισμένα, υπολογιζόμενα σε  $10^4 m^3$  το 2002. Σήμερα από την εκμετάλλευση που έχει υποστεί ο υδροφόρος αυτός και της άμεσης ή και έμμεσης επικοινωνίας του με τη θάλασσα, εμφανίζεται αρκούτως επιβαρυμένος και με υψηλό βαθμό τρωτότητας, μη επιδεχόμενος περαιτέρω συστηματική εκμετάλλευση.

## **3. Μεταφερμένη και ανώτερη σειρά κίσηρης**

Όπως προέκυψε από την γεωτρητική έρευνα του ΙΓΜΕ, αλλά και από ιδιωτικές γεωτρήσεις, εντός της μεταφερμένης κίσηρης και της υποκείμενης ανώτερης σειράς κίσηρης και ιδιαίτερα στα ανώτερα τμήματα αυτής, όπου η περιεκτικότητα σε τέφρες είναι μεγαλύτερη, αναπτύσσεται σχεδόν ενιαίος και ασθενής υδροφόρος ορίζοντας. Έτσι η υδροδυναμικότητα του υδροφόρου ορίζοντα είναι πολύ περιορισμένη, εκτιμώμενη ότι δεν υπερβαίνει τα  $5-10 \times 10^3 m^3$  για όλο το νησί και ιδιαίτερα για τις περιοχές από Καμάρι μέχρι Οία και Περίσσα έως Εξωμύτη. Ακόμη από τη γεωτρητική έρευνα, διαπιστώθηκε ότι ο ελεύθερος υδροφόρος ορίζοντας της μεταφερμένης κίσηρης και ο μερικώς υπό πίεση υδροφόρος του παλαιοεδαφικού ορίζοντα, βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία, λόγω της παρατηρηθείσης ασυνέχειας στην εξάπλωση της αδιαπέρατης χονδρόκοκκης κίσηρης,

με συνέπεια οι δύο υδροφόροι να συμπεριφέρονται ως ένας ενιαίος, με υδραυλική κλίση 0,5 - 1‰.

#### **4. Άλλες υδροφορίες**

Πέραν των ανωτέρω υδροφόρων εντοπίστηκαν και άλλες αμελητέες υδροφορίες σε σχηματισμούς, όπως στην ενδιάμεση κίσσηρη και στις διάφορες λάβες, για τις οποίες δεν γίνεται εκτενέστερη αναφορά, λόγω της εξαιρετικά περιορισμένης δυναμικότητάς τους.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

**Προσδιορισμός υδατικού ισοζυγίου υπόγειου  
υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου**

## 4. Προσδιορισμός υδατικού ισοζυγίου υπόγειου υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου

### 4.1 Εισαγωγή

Ένας από τους μεγάλους θησαυρούς που ο γαλάζιος πλανήτης μας κρύβει μέσα του είναι τα υπόγεια νερά. Είναι τα αποθέματα γλυκού νερού που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, στη στεριά αλλά κάποτε και κάτω από τη θάλασσα κοντά στις ακτές.

Επειδή το νερό είναι η βασικότερη προϋπόθεση της ζωής, τα υπόγεια νερά είναι ένας φυσικός πόρος, που ασκεί κρισιμότητα ρόλο και επηρεάζει τα οικοσυστήματα, την ανθρώπινη ζωή και τις δραστηριότητες του ανθρώπου γενικά σε όλον τον κόσμο. Είναι ένας πόρος που βρίσκεται θεωρητικά παντού στην επιφάνεια όλης της ξηράς και είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος, που μόνο με σωστή διαχείριση μπορεί να συνεχίσει να ασκεί τις ευεργετικές του λειτουργίες επ' αόριστον.

Η διαχείρισή του νερού έχει αναδειχθεί σε θέμα πρώτης προτεραιότητας για πολλές σύγχρονες κοινωνίες, ίσως δε κατά πολλούς το σημαντικότερο για τον 21ο αιώνα. Ο όρος “Διαχείριση”, των υπόγειων νερών θα πρέπει να βασίζεται σε κάποιες πολύ βασικές αρχές :

1. Στην ανάπτυξη τεχνολογίας η οποία θα βελτιώσει την αποθηκευτική ικανότητα των υδροφόρων συστημάτων
2. Στην προστασία της ποιότητας του υπόγειου νερού
3. Στην αύξηση της ποσότητας του υπόγειου νερού
4. Στη χρησιμοποίηση των υπόγειων υδατικών πόρων για την ιεραρχική κάλυψη των αναγκών της κοινωνίας που έχουν την υψηλότερη προτεραιότητα.(Καλλέργη Γ.)

Το υδατικό ισοζύγιο των υδροφόρων σχηματισμών περιγράφεται από την σχέση:

### **Εισροές = Εκροές ± Μεταβολή Αποθεμάτων**

Οι εισροές νερού προέρχονται συνήθως από το νερό της βροχής που εγκαταλείπει την εδαφική ζώνη, από τις διηθήσεις επιφανειακών απορροών και χειμάρρων, από τις διάφορες υπόγειες πλευρικές τροφοδοσίες από γειτονικούς υδροφόρους σχηματισμούς, από τις επιστρεφόμενες αρδευτικές ροές καθώς και από τις απώλειες δικτύων ύδρευσης αποχέτευσης και άρδευσης. Οι εκροές στις οποίες περιλαμβάνονται και οι απολήψεις νερού από υδροφόρους σχηματισμούς που υφίστανται οποιοδήποτε είδους εκμετάλλευση, λαμβάνουν χώρα είτε από διάφορα τεχνητά έργα όπως γεωτρήσεις,

από φυσικά σημεία εξόδου όπως οι πηγές, η θάλασσα, τα ποτάμια και προς άλλους γειτονικούς υδροφόρους σχηματισμούς ανάλογα πάντοτε με τις εκάστοτε υδροδυναμικές και οριακές συνθήκες που επικρατούν.

Οι βασικές συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου στα περισσότερα υδρογεωλογικά περιβάλλοντα είναι η βροχόπτωση, η επιφανειακή απορροή, η εξατμισοδιαπνοή, οι πλευρικές τροφοδοσίες και η κατείσδυση. Εξέχουσας επίσης σημασίας, ανάλογα με το υδρογεωλογικό περιβάλλον, είναι συνιστώσες όπως οι παροχές πηγών, χειμάρρων καθώς και οι απολήψεις νερού για διάφορες χρήσεις όπως άρδευση, ύδρευση, βιομηχανική χρήση κλπ. Οι παραπάνω συνιστώσες ρυθμίζονται από αρκετούς παράγοντες όπως τα κλιματικά, γεωλογικά, εδαφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, η κάλυψη και χρήση γης, ανθρωπογενείς παράγοντες κ.α.

Ο υπολογισμός της κατείσδυσης του πλεονάζοντος νερού των βροχοπτώσεων και των αρδεύσεων, σε ελεύθερους υδροφόρους σχηματισμούς, αποτελεί μια από τις πιο ενδιαφέρουσες συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου των υδροφόρων σχηματισμών γιατί συμβάλλει άμεσα όχι μόνο στην εκτίμηση των ανανεώσιμων υδατικών αποθεμάτων τους αλλά και στην αποσαφήνιση των μηχανισμών λειτουργίας τους και συνεπώς στη διαχείριση τους. (Γιαννουλόπουλος Π. 2000)

Στην απλούστερη μορφή του το υδατικό ισοζύγιο σε ετήσια βάση περιγράφεται από την εξίσωση

$$P=AE+RO+RCH$$

Όπου,

P : είναι το ύψος της ετήσιας βροχόπτωσης (mm)

AE : η ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm)

RO : το νερό της βροχής που απορρέει στο υδρογραφικό δίκτυο (mm)

RCH : το νερό που κατεισδύει (mm)

## 4.2. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα

Ο όρος κατακρημνίσματα χρησιμοποιείται για να περιγράψει την πτώση του νερού από τα σύννεφα, με τη μορφή βροχής, χιονιού, δρόσου, ομίχλης ή χαλαζιού. Αποτελεί τον κύριο τρόπο με τον οποίο το νερό της ατμόσφαιρας επιστρέφει στην επιφάνεια της Γης. Η συχνότερη μορφή κατακρημνισμάτων είναι η βροχή.

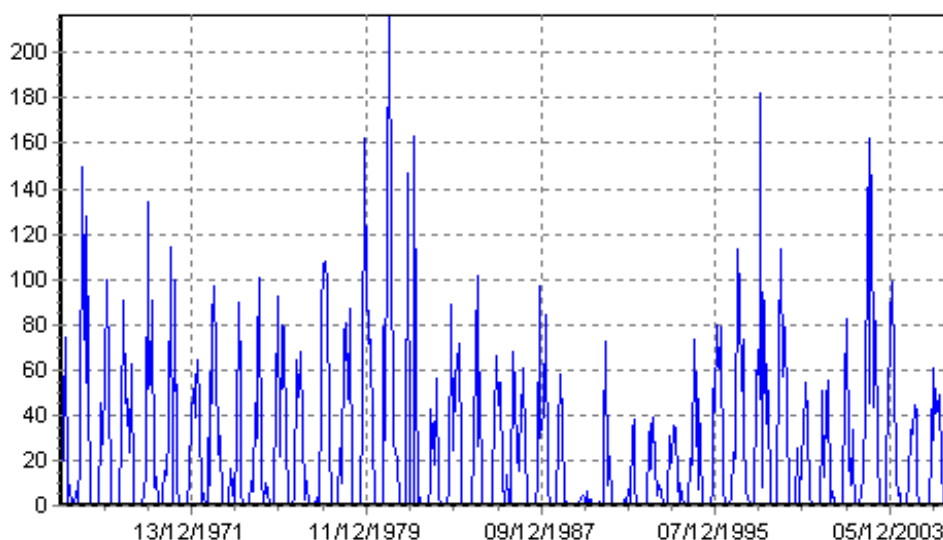
Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις βροχοπτώσεις είναι η μορφολογία του ανάγλυφου, το γεωγραφικό πλάτος, η απόσταση από τη θάλασσα,



η μέση ετήσια θερμοκρασία, η διεύθυνση του αέρα, η υγρασία του εδάφους και του αέρα καθώς και η πυκνότητα της βλάστησης

Από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) συγκεντρώσαμε τις μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων σε mm από το 1974 έως το 2001 για την Ν. Θήρα, οι οποίες παρατίθενται στο σχήμα 4.1. Επίσης κάναμε το χρονογράφημα για αυτά τα έτη το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 4.1

Μετά από την επεξεργασία και παρατήρηση αυτών των δεδομένων συμπεραίνουμε ότι ο πιο άνυδρος μήνας είναι ο Αύγουστος ενώ ο πιο βροχερός μήνας είναι ο Ιανουάριος. Επίσης προέκυψε ότι το έτος με την μικρότερη ετήσια τιμή βροχόπτωσης ήταν το 1989 με τιμή 16.4mm ενώ το έτος με την μεγαλύτερη ετήσια τιμή ήταν το 1981 με τιμή 562.9mm. Η μέση υπερετήσια τιμή είναι 312.4mm.



**Σχήμα 4.1:** Σχηματική παράσταση μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης (σε mm) για τη Ν. Θήρα

ΕΤΟΣ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ
1974	29,5	89,8	56	6,7	0	0	0	0	10,7	6	45,3	29,8	273,6
1975	67,1	100,8	14	0	10	7,6	0	0	0	8,9	41,9	92,4	342,6
1976	21,5	79,7	79	26,6	6,5	1,6	0	0	4	64,7	48,2	67,7	399
1977	35	3	11	10,8	0	0	0	0	3,2	0	46,9	83,7	193,3
1978	106,6	108,2	98	28,2	1,5	0	0	0	0	25,4	9,7	76	454
1979	80,5	46,9	87	2,6	0	0	0,8	0	0	44,2	161,8	86,2	509,8
1980	102	71,8	73	30,7	2,2	0	0	0	0	78,5	28,8	136,1	523,1
1981	216,6	125,3	30	22,5	22	0	0	0	0	0	146,7	0	562,9
1982	0	0	163	65	1	4	0	0	0	0	8,8	42,3	284
1983	31,5	17,7	57	4,6	0	0	0	0	0	7,9	88,4	24,8	231,5
1984	56,9	62,2	72	20,3	0	0	0	0	0	0	26,7	71,1	308,8
1985	101,9	26,5	59	0	0,8	0	0	0	0	13,7	36,6	66,2	304,3
1986	44,2	54,3	12	0,3	13	2	0	0	68,3	51,2	22,2	15,8	283,6
1987	47,8	51,2	61	26	2,2	0	0	0	0	12	97,4	30	327,4
1988	36,5	40,6	84	8,1	0	0	0	0	0	31	58,4	38	297
1989	1,9	2,2	0	0	1	0,2	0	0	0,7	2,4	4,3	3,7	16,4
1990	0,2	6,7	0	2,3	0	0	0	2	0	0	30	72,1	113,3
1991	9,1	21,3	1,9	0	0	0	0	0	0	2,7	0	7,6	42,6
1992	2,1	32,3	38	6,9	2,9	0	0	0	0	0	30,3	35,8	148,2
1993	16,3	39,4	19	4,3	8,7	6,5	0	0	0	0	30,8	18,8	144
1994	35,5	34,3	11	0,6	10	4,2	0	0	0	20,9	18,4	73,6	208,5
1995	44,9	7,1	47	27,6	0	0,2	0	0	2,4	5,6	52	41,9	229,1
1996	79,9	60,7	79	8,6	1,1	0	0	0	4,5	23,9	20,9	113,4	391,5
1997	92,3	51,1	74	34,5	6,4	4,8	0	0	0	50,9	69,2	47,5	430,3
1998	182,5	8	91	36,6	51	0	0	0	0,9	2	69,3	112,9	553,8
1999	57,1	79,1	44	0,3	0	0	0	0	25,2	0,5	21,3	31,2	258,5
2000	54	38,9	38	3,4	1	0	0	0	0	34,5	50,9	12,5	232,8
2001	45,8	55,7	0	6,5	2,5	0	0	0	0	0	53	82,9	246,4

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1:** – Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης σε (mm) περιόδου 1974-2001 για τη Ν Θήρα (πηγή: Ε.Μ.Υ.)

### 4.3. Επιφανειακή απορροή

Από την ποσότητα που πέφτει στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Η επιφανειακή απορροή μπορεί ακόμη να καταλήξει στις λίμνες, που αποτελούν, μαζί με τους ποταμούς, τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές διαδρομές για να φτάσει το νερό στο υδατόρευμα: (α) άμεσα κατακρημνίσματα στο υδατόρευμα (β) επίγεια ροή (γ) υποδερμική ροή και (δ) υπόγεια ροή.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή είναι η ένταση των βροχοπτώσεων, η κατανομή των βροχοπτώσεων μέσα στο έτος, η διάρκεια και ο όγκος των βροχοπτώσεων, η θερμοκρασία, οι άνεμοι, το κλίμα, η κλίση της επιφάνειας του εδάφους, η πυκνότητα της βλάστησης και η σύσταση και η λιθολογία του εδάφους (πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου). Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε για διάφορα πετρώματα την τιμή της επιφανειακής απορροής

**Πίνακας 4.2:** Τιμές της επιφανειακής απορροής στα διάφορα πετρώματα (Κυρούσης, [www.metal.ntua.gr/](http://www.metal.ntua.gr/))

1. Ασβεστολιθικά πετρώματα	0 – 12%
2. Προσχώσεις	5 – 25%
3. Οφιόλιθοι	30 – 50%
4. Φλύσσης, Μάργες, Φυλλίτες	25 – 50%
5. Γρανίτες	25 – 45%
6. Μολάσσεις, Ψαμμίτες	10 – 30%
7. Ηφαιστειακά πετρώματα	25 – 50%
8. Πρασινόλιθοι, Γνεύσιοι, Μεταμορφωμένα	30 – 50% =

#### 4.4. Εξάτμιση και διαπνοή

Με τον όρο εξατμισοδιαπνοή ορίζονται οι σύνθετες διαδικασίες εξάτμισης του νερού δηλαδή η απευθείας μεταφορά νερού από την υγρή στην αέρια φάση και της διαπνοής από τα φυτά, διαδικασία με την οποία τα φυτά αφαιρούν υγρασία από το έδαφος και την αποδίδουν στην ατμόσφαιρα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή είναι :

- Η ηλιακή ακτινοβολία
- Η θερμοκρασία του νερού και της ατμόσφαιρας
- Η ταχύτητα του ανέμου
- Η σχετική υγρασία του αέρα και του εδάφους
- Η ατμοσφαιρική πίεση
- Η χημική σύσταση του νερού
- Η φύση του εδάφους
- Οι βροχοπτώσεις (ένταση, διάρκεια κλπ.)
- Η βλάστηση (είδος, πυκνότητα κλπ.)

Ο φυσικός ρυθμός εξάτμισης καθορίζεται από τρεις θεμελιώδεις παράγοντες: (α) τη φυσική διαθεσιμότητα (παρουσία) του νερού σε υγρή φάση, (β) τη διαθεσιμότητα ενέργειας στην επιφάνεια του νερού για την πραγματοποίηση της εξάτμισης και (γ) την ευκολία με την οποία διαχέονται οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα.

Για τη μελέτη του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής έχουν εισαχθεί τρεις αντίστοιχες έννοιες, η δυνητική εξάτμιση ( $E_0$ ), η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ( $E_{rc}$ ) και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ( $E_t$ ).

Δυνητική εξάτμιση ( $E_0$ ) (potential evaporation), είναι η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου από μια ελεύθερη επιφάνεια νερού κάτω από τις εκάστοτε ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς  $E_{rc}$  (Reference Crop Evapotranspiration), είναι ο ρυθμός εξάτμισης (mm/d) από μια επιφάνεια γρασιδιού ύψους 0,12m, αντανakλαστικότητας (albedo) 0,23, επιφανειακής αντίστασης 69 s/m και απεριόριστης διαθεσιμότητας εδαφικού νερού.

Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_t$  (Actual Evapotranspiration), είναι οι πραγματικές απώλειες νερού από την επιφάνεια του εδάφους με τους μηχανισμούς της εξάτμισης και της διαπνοής κάτω από υφιστάμενες συνθήκες κλίματος, φυτοκάλυψης και εδαφικής υγρασίας.

#### 4.4.1. Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με μεθόδους συνδυασμού

Για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής απαραίτητη είναι η μέτρηση της θερμοκρασίας σε δύο επίπεδα, στην επιφάνεια και στην ατμόσφαιρα αλλά και της ταχύτητας ανέμου. Επίσης η εκτίμηση της εξάτμισης από την εξίσωση ενεργειακού ισοζυγίου προϋποθέτει τη γνώση του λόγου Bowen για τον οποίο απαραίτητη είναι η μέτρηση της θερμοκρασίας πάλι σε δύο επίπεδα, αλλά και της σχετικής υγρασίας.

Ο Penman (1948) ήταν ο πρώτος που συνδύασε τους δύο τρόπους εκτίμησης της εξάτμισης και κατέληξε στη φερώνυμη εξίσωση, ταυτόχρονα με το συνδυασμό των εξισώσεων, απάλειψε τη θερμοκρασία της επιφάνειας που εξατμίζει, και έτσι έκανε εφικτή την εκτίμηση της εξάτμισης από μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου σε μία μόνο στάθμη της ατμόσφαιρας. Κατά σύμβαση, η στάθμη αυτή βρίσκεται σε ύψος 2 m από την επιφάνεια. Αυτό το ύψος ενδιαφέρει ιδιαίτερα στην ταχύτητα ανέμου, η οποία ως γνωστόν μεταβάλλεται σημαντικά με το ύψος, ενώ δεν είναι απαραίτητο να τηρείται το ίδιο σχολαστικά για τη θερμοκρασία. Ένα άλλο δεδομένο που απαιτεί η μέθοδος Penman είναι η σχετική

ηλιοφάνεια, η οποία υπεισέρχεται στην εκτίμηση της διαθέσιμης ενέργειας.

Η εξίσωση του **Penman** είναι:

$$E_0 = ((\Delta \cdot R_n) / (\Delta + \gamma) \cdot \lambda) + (\gamma \cdot F(u) \cdot D) / (\Delta + \gamma)$$

Όπου το μέγεθος  $\Delta$  εκφράζει την κλίση της καμπύλης της πίεσης κορεσμού υδρατμών,  $R_n$  είναι η ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας,  $\gamma$  είναι ο ψυχρομετρικός συντελεστής,  $\lambda$  είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, το μέγεθος  $D$  εκφράζει το έλλειμμα κορεσμού στην ατμόσφαιρα και υπολογίζεται από την σχέση:  $D = e \cdot T_a - e$  ενώ  $F(u)$  είναι η συνάρτηση ανέμου και υπολογίζεται από τη σχέση:  $F(u) = 0,26 + 0,14u$ . Η ταχύτητα αναφέρεται σε ύψος 2 m από το έδαφος. (Κουτσογιάννης Δ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2000)

Η εξίσωση του Penman στηρίζεται σε μια βασική παραδοχή ότι οι υδρατμοί κοντά στην επιφάνεια είναι κορεσμένοι κάτι το οποίο ευσταθεί για υδάτινη επιφάνεια αλλά δεν ευσταθεί στην περίπτωση της διαπνοής, όπου οι υδρατμοί δεν είναι κορεσμένοι στην επιφάνεια των φύλλων.

Για να αντιμετωπίσουν την παραπάνω αδυναμία της μεθόδου Penman, ο Monteith (1965) αναδιατύπωσε τη μέθοδο εισάγοντας την επιφανειακή αντίσταση των στομάτων των φυλλωμάτων στην εξάτμιση. Προέκυψε έτσι η αποκαλούμενη μέθοδος **Penman-Monteith**, η οποία είναι κατάλληλη για την εκτίμηση της δυναμικής εξατμοδιαπνοής των φυτών και ειδικότερα της εξατμοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς. Η ίδια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμοδιαπνοής, με τη διαφορά ότι δεν αρκούν πλέον τα τυπικά για τη μέθοδο Penman μετεωρολογικά δεδομένα, αλλά χρειάζονται και μετρήσεις της επιφανειακής αντίστασης των φυλλωμάτων. Η χρήση της μεθόδου Penman-Monteith τείνει να γενικευτεί τα τελευταία χρόνια σε εκτιμήσεις εξατμισοδιαπνοής, λόγω της ακριβέστερης περιγραφής του φαινομένου. (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

Έτσι ο Monteith κατέληξε στην παρακάτω τροποποιημένη σχέση Penman, γνωστή ως εξίσωση **Penman-Monteith**:

$$E_0 = (\Delta \cdot R_n) / (\Delta + \gamma') \cdot \lambda + (\gamma \cdot F(u) \cdot D) / (\Delta + \gamma')$$

όπου

$$\gamma' = \gamma(1 + r_s / r_a) \text{ και } F(u) = \varepsilon \cdot \rho_a / \rho \cdot r_a$$

εισάγεται η έννοια της επιφανειακής αντίστασης  $r_s$  των στομάτων, που εκφράζει το γεγονός ότι οι υδρατμοί, ενώ μέσα στις κοιλότητες των στομάτων είναι σε κατάσταση κορεσμού, έξω από αυτές βρίσκονται σε ακόρεστη κατάσταση.

Οι **Doorenbos and Pruitt** (1977) πρότειναν ελαφρές τροποποιήσεις της μεθόδου για να την κάνουν κατάλληλη για την εκτίμηση της εξατμοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς, η οποία είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό των αρδευτικών αναγκών.

$$E_{rc} = c \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot F(u) \cdot D \right]$$

Σε αυτή την εξίσωση έχουμε εισαγωγή του συντελεστή αναγωγής  $c$ , ο οποίος παίρνει υπόψη τις διαφορές των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν σε ένα τόπο μεταξύ ημέρας και νύχτας. Μια δεύτερη τροποποίηση αφορά στη συνάρτηση ανέμου, η οποία κατά Doorenbos-Pruitt είναι

$$F(u) = 0.27 (1 + 0.86 u)$$

Από τη δεκαετία του 1970 μέχρι πρόσφατα, η μέθοδος Doorenbos-Pruitt απετέλεσε το διεθνές πρότυπο, γνωστό και ως πρότυπο FAO (Food and Agriculture Organization), εκτίμησης των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών. Στη δεκαετία του 1990 έγιναν εκτεταμένες έρευνες υπό την αιγίδα του FAO και διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος υπερεκτιμά την εξατμοδιαπνοή. (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

Η υπολογιστική πολυπλοκότητα των μεθόδων συνδυασμού οδήγησε πολλούς ερευνητές στην αναζήτηση απλοποιήσεων της, χρησιμοποιώντας κατά το δυνατόν λιγότερα δεδομένα πρωτογενών μετρήσεων. Μια αρκετά διαδεδομένη, εύχρηστη και ικανοποιητικά ακριβής απλοποίηση είναι αυτή των **Priestley and Taylor** (1972) που περιγράφεται από την εξίσωση

$$E_{rc} = a_e \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n}{\lambda}$$

όπου  $a_e$  αριθμητική σταθερά με τιμή  $a_e = 1.3$ . Παρατηρούμε ότι η εξίσωση χρησιμοποιεί μόνο τον ενεργειακό όρο της εξίσωσης Penman, τον οποίο επαυξάνει κατά 30%, παραλείποντας τελείως τον όρο μεταφοράς. Κατά συνέπεια, για την εφαρμογή της δεν χρειάζεται να

είναι γνωστή η ταχύτητα ανέμου και τα παρεπόμενα μεγέθη (τραχύτητα, επιφανειακή αντίσταση, κτλ.). Ας σημειωθεί ότι η μέθοδος έχει προταθεί ως εφαρμόσιμη τόσο για την εξάτμιση από υδάτινες επιφάνειες όσο και για τη δυνητική εξατμοδιαπνοή εδαφών. (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

Ως έσχατη απλοποίηση της μεθόδου Penman θεωρείται η εξίσωση του **Linacre** (1977) η οποία χρησιμοποιεί δεδομένα θερμοκρασίας και μόνο, εκτιμώντας ακόμη και τον όρο ακτινοβολίας συναρτήσει της θερμοκρασίας. Για την εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια, η εξίσωση γράφεται

$$E_t = \frac{700(T_a + 0.06z) / (100 - \varphi) + 15(T_a - T_d)}{(80 - T_a)} \quad (\text{mm/d})$$

ενώ για την δυνητική εξατμοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς η σταθερά 700 αντικαθίσταται με 500. Στην εξίσωση αυτή  $z$  είναι το υψόμετρο σε m,  $\varphi$  το γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες και  $T_d$  το σημείο δρόσου σε °C που και αυτό κατά τον Linacre (1977) μπορεί να εκτιμηθεί από δεδομένα θερμοκρασίας. Η εν λόγω εξίσωση δεν φαίνεται να δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για τον Ελλαδικό χώρο (φαίνεται να υπερεκτιμά σημαντικά την εξάτμιση). (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

#### **4.4.2. Εκτίμηση της δυνητικής εξατμοδιαπνοής με εμπειρικές μεθόδους**

Λόγο της πολυπλοκότητας των παραπάνω μεθόδων και των μεγάλων απαιτήσεων σε δεδομένα εισόδου πολλοί ερευνητές οδηγήθηκαν στην εισαγωγή απλοποιημένων μεθόδων, μια κατηγορία που προέκυψε από καθαρά εμπειρικές θεωρήσεις, χωρίς τη θεωρητική βάση των μεθόδων συνδυασμού. Αρκετές από αυτές βασίζονται στη θερμοκρασία και μόνο, ενώ άλλες είναι αρκετά σύνθετες και απαιτούν τα δεδομένα εισόδου, όπως οι μέθοδοι συνδυασμού. Παρακάτω παρουσιάζονται πιο διαδεδομένες εμπειρικές μέθοδοι της πράξης.

#### **Η μέθοδος Blaney-Criddle:**

Στην αρχική της μορφή (Blaney and Criddle, 1950), εκτιμά τη μηνιαία δυνητική εξατμοδιαπνοή μιας καλλιέργειας, με βάση την ακόλουθη απλή σχέση, η οποία έχει μοναδικό μετεωρολογικό δεδομένο εισόδου τη θερμοκρασία:

$$E_0 = 0.254 \cdot k_c \cdot p(32 + 1.8T_a)$$

Όπου  $E_0$  είναι η δυνητική εξατμοδιαπνοή, εκφράζεται σε mm/μήνα,  $k_c$  είναι συντελεστής καταναλωτικής χρήσης (φυτικός συντελεστής)  $T_a$  είναι η θερμοκρασία σε °C και  $p$  είναι το ποσοστό επί της εκατό των ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα σε σχέση με το σύνολο των ωρών ημέρας του έτους.

Αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα σε πολλές χώρες και ειδικότερα στην Ελλάδα για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών.

### Η μέθοδος Turk

Ο Turk το 1945-1955 προσδιόρισε την μέση ετησια πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E$  σε mm/ετος με την παρακάτω σχέση

$$E = \frac{P}{\sqrt{(0.90 + (P/L)^2)}}$$

$$\text{όπου } L = 300 + 25T_a + 0.05T_a^3$$

Το  $L$  είναι θερμικός δείκτης που υποκαθιστά τη δυνητική εξατμοδιαπνοή και συναρτάται με τη μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα  $T_a$  σε °C.

### Η μέθοδος Thornthwaite

Η εμπειρική μέθοδος του Thornthwaite έχει χρησιμοποιηθεί στην πράξη περισσότερο από κάθε άλλη, διεθνώς αλλά και στην Ελλάδα, λόγω της φειδωλών απαιτήσεών της σε δεδομένα εισόδου (μόνο μέση θερμοκρασία) αλλά και της παλαιότητάς της (Thornthwaite, 1948). Βασίζεται στην εξίσωση

$$E_0 = 16 \left( \frac{10T_a}{I} \right)^{\alpha} \frac{\mu N}{360}$$

όπου

$E_0$  : η δυνητική εξατμοδιαπνοή σε mm/μήνα

$T_a$  : η μέση θερμοκρασία του μήνα σε °C



$\mu$  : ο αριθμός ημερών του μήνα  
 $N$  : η μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας  
 $I$  : εμπειρικός συντελεστής που ονομάζεται ετήσιος θερμικός δείκτης  
 $a$  : άλλος εμπειρικός συντελεστής, συνάρτηση του  $I$ .

## Η μέθοδος Hargreaves

Αυτή η μέθοδος είναι πρόσφατη εμπειρική μέθοδος, σε σχέση με τις άλλες, εκτίμησης της εξατμοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς, που απαιτεί μόνο θερμοκρασιακά δεδομένα εισόδου, βασίζεται στην εξίσωση:

$$E_{rc} = 0.0023(S_0 / \lambda)(T_a + 17.8)(T_{\max} - T_{\min})^{0.5}$$

όπου  $E_{rc}$  η εξατμοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς σε mm/d,  $S_0$  η εξωγήινη ακτινοβολία σε  $\text{kJ}/(\text{m}^2\text{d})$ ,  $\lambda$  η λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως σε  $\text{kJ}/\text{kg}$ ,  $T_a$  η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα σε  $^{\circ}\text{C}$  και  $T_{\max} - T_{\min}$  η διαφορά της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας σε  $^{\circ}\text{C}$ .

Η μέθοδος φαίνεται ότι δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα με σφάλμα της τάξης του 10-15% ή του 1 mm/d (το μεγαλύτερο από τα δύο) και συστήνεται ως μια ανεκτή προσέγγιση για την περίπτωση που τα μόνα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα είναι τα θερμοκρασιακά.

Τη μέθοδο αυτή όπως και του Thornthwaite μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε στην παρούσα εργασία λόγω των φειδωλών απαιτήσεων σε δεδομένα εισόδου, αρκεί η χρονοσειρά θερμοκρασιών για αρκετά έτη και το γεωγραφικό πλάτος του μετεωρολογικού σταθμού στον οποίο έγιναν οι μετρήσεις.

## 4.5 Κατείσδυση

Μια άλλη βασική συνιστώσα στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου σε υδρολογικές λεκάνες είναι η κατείσδυση, δηλαδή το νερό της βροχής που κατεισδύει, διηθείται μέσα στα πετρώματα και τροφοδοτεί τους υδροφόρους ορίζοντες. Το μέγεθος αυτό είναι αρκετά δύσκολο να υπολογιστεί για μεγάλες λεκάνες απορροής γιατί στον υπολογισμό του υπεισέρχονται αρκετοί παράγοντες όπως η φύση του εδάφους (λιθολογία, πορώδες κλπ), η κλίση της επιφάνειας του εδάφους, η ένταση και η διάρκεια της βροχής, η υγρασία του εδάφους, η θερμοκρασία, ο άνεμος, το κλίμα, η βλάστηση, η περιεκτικότητα του

εδάφους σε αέρα, το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα και τα τριχοειδή φαινόμενα.

Επιπλέον χρειάζονται μακροχρόνια και λεπτομερή δεδομένα και μετρήσεις. Έτσι συνήθως, μόνο εκτιμήσεις ή προσεγγίσεις μπορούν να γίνουν. Σε γενικές γραμμές η κατείδυση υπολογίζεται αν από το ύψος του νερού της βροχής και των αρδεύσεων αφαιρεθούν η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, οι επιφανειακές απορροές και ληφθούν υπόψη οι μεταβολές σε υγρασία της εδαφικής ζώνης. Συνεπώς η εκτίμηση της κατείδυσης προϋποθέτει την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της εδαφικής ζώνης. Παρακάτω παραθέτουμε τις τιμές της κατείδυσης για διάφορα πετρώματα:

**Πίνακας 4.3:** Τιμές της κατείδυσης στα διάφορα πετρώματα. Κυρούσης, [www.metal.ntua.gr](http://www.metal.ntua.gr)

1. Ασβεστολιθικά πετρώματα	28-55%
2. Προσχώσεις	10-25%
3. Οφιόλιθοι	4-8%
4. Φλύσχης, Μάργες, Σχιστόλιθοι	3-8%
5. Μολάσσεις, φαμμίτες	14-25%
6. Ηφαιστειακά πετρώματα	3-8%
7. Πρασινόλιθοι, Γνεύσιοι, Μεταμορφωμένα	3-7%

Ο υπολογισμός της κατακόρυφης τροφοδοσίας των ελεύθερων υδροφόρων σχηματισμών έχει κατά καιρούς προσελκύσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών. Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντά μια πληθώρα μεθόδων εκτίμησης της κατείδυσης. Οι Lerner et al (1990) ταξινόμησαν τις μεθόδους που συνήθως εφαρμόζονται στις παρακάτω ενότητες:

- Άμεσες μετρήσεις σε περιοχές με έκταση μέχρι 100m<sup>2</sup>: Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στα λυσίμετρα.
- Εμπειρικές μέθοδοι της μορφής  $RCH = f(P)$ , που υπολογίζουν την κατακόρυφη τροφοδοσία (RCH) ως συνάρτηση της βροχόπτωσης (P). Η συνάρτηση αυτή μπορεί να είναι γραμμική ή μη γραμμική και να περιλαμβάνει εύκολα μετρήσιμες μεταβλητές όπως την έκταση της λεκάνης κλπ. Στην ίδια κατηγορία των εμπειρικών μεθόδων εντάσσεται και η μέθοδος του Turc (1954).
- Μέθοδοι υδατικού ισοζυγίου: εφαρμόζονται είτε σε μικρή είτε σε μεγάλη κλίμακα. Στην πρώτη περίπτωση πρόκειται συνήθως για υδατικά ισοζύγια εδαφικών κατατομών
- Προσεγγίσεις μεθόδου Darcy: Βασίζονται σε εξισώσεις της ακόρεστης ροής (εξίσωση Richards) πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του υπόγειου νερού στις οποίες εισάγονται μετρήσεις

εδαφικής υγρασίας η υδραυλικού φορτίου ακόρεστης ζώνης και επιλύονται ακόμη και με αριθμητικά μοντέλα.

- Με χρήση ιχνηθετών όπως το τρίτιο και το χλώριο που ακολουθούν την κίνηση του νερού στην εδαφική κατατομή

#### 4.6. Παλιότερες προσεγγίσεις υδατικού ισοζυγίου Νήσου Θήρας

Ο **Γ.Καρράς** με διδακτορική διατριβή με θέμα «κλιματική ταξινόμηση της Ελλάδος κατά Thornthwaite», (Αθήνα,1973) έκανε την χρονολογικά πρώτη εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της Νήσου. Έτσι υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή,  $PE = 895.2 \text{ mm}$ , το ετήσιο ύψος βροχής,  $P = 357.1 \text{ mm}$ , η μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή,  $AE = 357.1 \text{ mm}$ , το έλλειμμα ύδατος,  $D = 538.1 \text{ mm}$ , το πλεόνασμα ύδατος  $S = 0 \text{ mm}$  και η κατείσδυση  $RCH = 0 \text{ mm}$

Η επόμενη χρονολογικά μελέτη ήταν της τεχνικής εταιρίας **NAMA** (1998), της οποίας τα αποτελέσματα αναφέρονται συνολικά και στη νήσο Θήρα αλλά και στη Θηρασία. Έτσι μέσα από την μελέτη αυτή πρόέκυψε ότι για ένα τυπικό έτος η τιμή της βροχόπτωσης βρέθηκε ίση με  $P = 19 \times 10^6 \text{ m}^3$ , όμως για ένα «πλούσιο» υδρολογικό έτος η τιμή μπορεί να φτάσει  $P = 50 \times 10^6 \text{ m}^3$  ενώ για ξηρά έτη η βροχόπτωση μπορεί να φτάσει πρακτικά στο μηδέν,  $P = 0$ . Η τιμή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής βρέθηκε ίση με  $AE = 14.25 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Η επιφανειακή απορροή κυμαίνεται μεταξύ 10-15% της βροχόπτωσης, σε αυτή την μελέτη επιλέχτηκε ίση με 10% το οποίο μεταφράζεται σε  $1.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Τέλος η κατείσδυση υπολογίστηκε ίση με το 15% της βροχόπτωσης δηλαδή ίση με  $RCH = 2.85 \times 10^6 \text{ m}^3$  και από αυτή το 1/3 περίπου φτάνει στους εκμεταλλεύσιμους υδροφορείς.

Μια πιο πρόσφατη, αναλυτική αναφορά στα μεγέθη του υδατικού ισοζυγίου της Νήσου έγινε από τους Γεωλόγους του ΙΓΜΕ, **N. Κουρμούλη και Χ. Κουρή** στη μελέτη τους «Υ/Γ έρευνα Νοτίου Αιγαίου (Κυκλάδες – Δωδεκάνησα). Προτάσεις αξιοποίησης και εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών: Νήσος Θήρα» (Αθήνα, Μάιος 2002). Για την 40ετία 1961 - 2000, η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 357 mm, ενώ οι αντίστοιχες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 150 mm περίπου η κατώτερη και 550 mm η ανώτερη. Η προσέγγιση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής έγινε με χρησιμοποίηση του εμπειρικού τύπου του TURC και βρέθηκε ότι  $E = 366,7 \text{ mm}$ . Από μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα στον σταθμό της Θήρας (E.M.Y.), η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 18,2 °C και η τιμή αυτή λήφθηκε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Η τιμή αυτή της εξατμισοδιαπνοής αντιστοιχεί στο 98.8% της βροχόπτωσης, δηλαδή ποσοστό που κρίνεται εξαιρετικά υψηλό, παρόλα αυτά είναι ενδεικτικό των τότε επικρατουσών στην περιοχή συνθηκών. Θεωρείται πάντως ότι ποσοστό εξατμισοδιαπνοής περί το

90%, είναι πολύ πιθανό, αν λάβουμε υπόψη τα μετεωρολογικά και γεωμορφολογικά δεδομένα του νησιού. Μετρήσεις της απορροής δεν έχουν πραγματοποιηθεί καθόσον ήταν ανέφικτο, αλλά λαμβανομένου υπόψη της μικρής περατότητας των σχηματισμών, της κλίσης των πρανών (4 - 14%) και του μικρού διαμήκους αναπτύγματος των υδατορεμάτων (μέχρι 4km), εκτιμήθηκε ότι ο συντελεστής της επιφανειακής απορροής δεν μπορεί να είναι μικρότερος του 5% της βροχόπτωσης, που αντιστοιχεί σε 18,5 mm ύψος βροχής. Με βάση την εκτίμηση αυτή, ο συντελεστής κατείσδυσης περιορίζεται στο 5% του ετήσιου υετού, που διατίθεται για την επανατροφοδοσία του υπόγειου υδάτινου δυναμικού του νησιού και αντιστοιχεί σε συνολικό όγκο νερού της τάξης των  $1.4 \times 10^6 m^3$  επειδή η συνολική επιφανειακή ανάπτυξη των εκμεταλλεύσιμων υδροφόρων του νησιού αποτελεί περίπου το  $\frac{1}{4}$  της συνολικής επιφάνειας αυτού, υπολογίστηκε ο συνολικός όγκος του νερού, που κατεισδύει προς επανατροφοδοσία των υδροφόρων αυτών, είναι της τάξης των  $350 \times 10^6 m^3$

Η πιο πρόσφατη μελέτη για το υδατικό ισοζύγιο όλων των υδρολογικών λεκανών της Νήσου που παρατίθεται, είναι αυτή των **Mantoglou & Giannouloupoulos (2004)** με θέμα «Sustainable Yield of coastal aquifers using simulation and optimization: Application of Santorini». Πρέπει να σημειωθεί ότι το ισοζύγιο των υδρολογικών λεκανών προσδιορίστηκε με χρήση κατάλληλης μεθοδολογίας και λογισμικού για κάθε επιμέρους υδρολογική λεκάνη της Νήσου και προέκυψε ότι το νερό που κατεισδύει σε όλη την έκταση του νησιού, κατά μέσο όρο ανέρχεται σε  $2.6 \times 10^6 m^3$ /έτος.

#### **4.7. Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου του υδροφορέα Βουρβούλου - Καμαρίου της νήσου Θήρας**

Για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου του υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου επιλέξαμε τις παρακάτω μεθόδους:

- Εμπειρική μέθοδος Thornthwaite – Mather
- Χρήση εμπειρικών συντελεστών

##### **Εμπειρική μέθοδος Thornthwaite – Mather**

Αυτή η μέθοδος είναι εμπειρική και αναπτύχθηκε από τους Thornthwaite και Mather (1955, 1957). Έχει εφαρμοστεί ευρύτατα στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, η ιδιαιτερότητά της έγκειται στο γεγονός ότι λαμβάνει υπόψη της τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της εδαφικής κατατομής αλλά και τα χαρακτηριστικά της φυτοκάλυψης. Εφαρμόζεται συνήθως σε μηνιαία χρονικά βήματα (Τσακίρης, 1995).

Τα απαραίτητα δεδομένα για την εφαρμογή της είναι:

- Μηνιαίες τιμές ύψους βροχής (σε mm),
- Μηνιαίες τιμές επιφανειακής απορροής (%)
- Μηνιαίες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (σε mm)
- Συντελεστής βλάστησης (Kc)
- Η διαθέσιμη υδατοϊκανότητα της εδαφικής κατατομής (σε mm)

Ο εδαφικός τύπος του προς μελέτη υδροφορέα μας είναι αργιλοπηλώδες (CL) και τα υδραυλικά του χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν είναι η διαθέσιμη υδατοϊκανότητα της εδαφικής κατατομής η οποία υπολογίζεται ως διαφορά μεταξύ της υδατοϊκανότητας  $FC=22.9$  και του σημείου μάρανσης  $WP=10$ . Για να εισάγουμε την υδατοϊκανότητα και το σημείου μάρανσης σε αυτή την μέθοδο πρέπει να τα ανάγουμε από ποσοστό σε μονάδα μήκους για αυτό τα πολλαπλασιάζουμε με το βάθος του ριζοστρώματος το οποίο θεωρείται 100mm

Ο συντελεστής βλάστησης (Kc) εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (ύψος και διάπλαση των φυτών, επιφανειακή και αεροδυναμική αντίστασή τους, κλιματολογικές συνθήκες, κ.ά.). Επίσης επηρεάζεται ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και με το στάδιο ανάπτυξης της ή την εποχή (μήνα). (Δ. Κουτσογιάννης & Θ. Ξανθόπουλος, 1999).

Οι συνθήκες που επικρατούν στις Κυκλάδες, όπου ανήκει και η Θήρα, είναι οι δυσμενέστερες υδρογεωλογικά του Ελλαδικού χώρου, αλλά και της Ευρωπαϊκής ηπείρου γενικότερα. Αυτό επαληθεύεται από τις εξαιρετικά χαμηλές μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις, την πολύ υψηλή εξάτμιση και την ταχεία, λόγω μορφολογίας, επιφανειακή απορροή, παράγοντες που περιορίζουν την κατείσδυση και την επανατροφοδοσία των υπογείων υδροφόρων οριζόντων.

Στη νήσο Θήρα λειτουργεί από το 1961 έως σήμερα ένας μετεωρολογικός σταθμός της Ε.Μ.Υ. με κωδικό 16744 από το οποίο λήφθηκαν και τα μετεωρολογικά δεδομένα μας, έχει γεωγραφικό πλάτος  $36^{\circ} 25' 00''$  και γεωγραφικό μήκος  $25^{\circ} 26' 00''$ . Στη συγκεκριμένη μελέτη οι τιμές της βροχόπτωσης που θα εισαχθούν στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου πρέπει να αναφέρονται στην περίοδο 1974-2001, όπως και τα υπόλοιπα δεδομένα, δηλαδή η μέση μηνιαία θερμοκρασία και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, οπότε παρατίθενται οι τιμές της για αυτή τη χρονική περίοδο.

**Πίνακας 4.4:** Ετήσιο ύψος βροχόπτωσης για τη Ν. Θήρα (mm)

ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ (mm) ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ (mm) ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
1974	273,6	1988	297
1975	342,6	1989	16,4
1976	399	1990	113,3
1977	193,3	1991	42,6
1978	454	1992	148,2
1979	509,8	1993	144
1980	523,1	1994	208,5
1981	562,9	1995	229,1
1982	284	1996	391,5
1983	231,5	1997	428,3
1984	308,8	1998	547,8
1985	304,3	1999	258,5
1986	283,6	2000	232,8
1987	327,4	2001	246,4

Από τους παραπάνω πίνακες, για τα δεδομένα που έχουμε, παρατηρούμε ότι το έτος με το μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης ήταν το 1981, ενώ αυτό με το μικρότερο ύψος ήταν το 1989. Συγκεντρώσαμε για το νησί μόνο τις μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων σε ένα πίνακα για μια σειρά ετών (από το 1974 έως και το 2001), οι οποίες παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα 4.5

**Πίνακας 4.5:** Μέση μηνιαία βροχόπτωση (σε mm) για την περίοδο 1974 - 2001

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
57,1	47	49,8	13,7	5,1	1,1	0,03	0,07	4,3	17,4	47,1	54,1

Στη συνέχεια θα γίνει μια προσπάθεια εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής με τις εμπειρικές μεθόδους **Thornthwaite και Hargreaves**, επιλέχτηκαν ως οι πιο κατάλληλες μέθοδοι με βάση τα δεδομένα που διαθέτουμε.

Για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με τις δύο αυτές μεθόδους είναι απαραίτητη η γνώση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας της περιόδου που επιθυμούμε να εξετάσουμε. Από την Ε.Μ.Υ. συγκεντρώσαμε λοιπόν τα δεδομένα για τη μέση θερμοκρασία της περιόδου 1974-2001, τα οποία και παραθέτουμε στον πίνακα 4.6.

**Πίνακας 4.6:** Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) ετών 1974-2001(Πηγή: Ε.Μ.Υ)

ΕΤΟΣ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ
1974	8,6	11,1	11,6	13,7	17,5	22,3	24,4	23,6	21,7	20,4	15,1	11,3
1975	10	9,1	13,3	14,9	18,9	22,4	24,4	23,2	22,1	18	14,1	10,7
1976	10,3	8,6	11,3	14,1	17,8	21,3	23,3	22,4	20,9	18,7	14,8	12,2
1977	10,5	13,3	12,1	14,5	19,2	23,2	25,4	24,9	21,1	15,3	16,1	10,6
1978	10,7	12,4	12,4	14,7	19	23,1	24,9	23,1	20,7	17,7	13,3	13
1979	10,7	11,2	13,4	14,4	18,7	23,7	24,5	24,3	22,2	18,6	14,9	12,5
1980	9,9	9,4	11,3	13,9	17,3	22,1	25	24,2	21	19,8	17,1	12,4
1981	9,3	10,3	13,1	15,2	17,3	23,5	25	25,2	22,6	22,2	14,7	14,4
1982	12,4	10,1	11,9	15,6	19	24,4	25,3	26	23,5	20,2	15,3	13
1983	10,7	10,1	12,6	17,2	20,7	22,5	25,9	24,9	22,3	18,3	15,6	13,6
1984	12,9	12,6	13,4	15,2	20,4	23,2	25,3	24,6	23,9	21,2	16,3	13,1
1985	13	10,3	13,4	17,3	21,2	24,8	25,6	26,1	23	17,6	17,2	14
1986	13,1	13,1	13,6	17,3	19,8	24,2	26,2	26,3	23,3	19,2	14,8	12,8
1987	13,3	12,6	10,2	15,3	18,4	24,2	26,5	25,8	23,5	18,6	15,7	13,4
1988	13	11,8	13,2	15,5	20,4	25,2	27,9	25,8	23,9	18,5	13,9	12,8
1989	10,8	11,9	14,2	17,6	19,1	23,1	25,4	25,8	23,9	18,6	15,3	12,7
1990	10,7	12	14,1	16,6	19,9	23,5	26,1	25	23,4	20,1	17,7	13,9
1991	11,3	11,6	14	15,7	19,5	23,8	25,4	25,8	23,1	20,4	16	10,2
1992	11,2	9,8	12,2	15,7	18,6	23,7	25,2	25,8	22,5	21,9	16,4	11,6
1993	11	9,9	12,4	15,7	19,6	24,5	25,4	26	23,7	21,3	15,6	14,3
1994	13,1	12,5	13,5	16,9	21	23,6	26	26,9	25,7	22,1	15,6	12,4
1995	12,5	13,1	13,8	15,3	19,4	25,6	26,1	25,9	24	18,1	13,7	14
1996	11,5	12,2	11,5	14,8	20,9	26,2	26,2	26	23,4	18,8	16,6	14,7
1997	12,9	11,6	12,4	20,2	24,8	26,7	24,9	21,3	18,7	16,6	13,5	12,8
1998	12,3	13	11,5	16,6	19,1	24,8	27,1	26,9	23,7	20,7	17,4	13
1999	12,7	12,2	14,1	17,1	20,9	25,3	26,7	27,3	24,1	21,5	17,4	15,1
2000	10	11,9	12,7	16,8	20,7	23,9	27,2	25,9	23,8	19,3	17,6	14,3
2001	13,3	12,7	16,6	16,6	20,3	23,9	26,2	25,4	23,4	19,6	16	13,3
<b>ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ</b>	<b>11,4</b>	<b>11,4</b>	<b>12,7</b>	<b>15,7</b>	<b>19,4</b>	<b>23,7</b>	<b>25,6</b>	<b>25,3</b>	<b>23</b>	<b>19,5</b>	<b>15,7</b>	<b>12,9</b>

Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθούμε στο λογισμικό που θα χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής με τις μεθόδους που επιλέξαμε παραπάνω. Το λογισμικό αυτό ονομάζεται «**Υδρογνώμων**», είναι μέρος της ομάδας προγραμμάτων που κατασκευάστηκαν στα πλαίσια του έργου «**Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας**» από το Ε.Μ.Π. Είναι ένα εργαλείο διαχείρισης και ανάλυσης των υδρολογικών πληροφοριών. Η διαχείριση των δεδομένων βασίζεται στη γεωγραφική οργάνωση οντοτήτων (λεκάνες απορροής, μετρητικοί σταθμοί, ταμιευτήρες)

Σε κάθε γεωγραφική οντότητα αντιστοιχούν φυσικές ιδιότητες, τεχνικά χαρακτηριστικά, χρονοσειρές μετρήσεων. Υποστηρίζει τυπικές επεξεργασίες χρονοσειρών. Υλοποιεί εξειδικευμένες υδρολογικές εφαρμογές όπως μοντέλα εκτίμησης της εξατμοδιαπνοής, κατασκευή καμπυλών στάθμης-παροχής, ανάλυση υδατικού ισοζυγίου ταμειυτήρων. Παρέχει δυνατότητες οπτικοποίησης των δεδομένων, αμφίδρομης επικοινωνίας με σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας. (Δ. Κουτσογιάννης, Α. Ανδρεαδάκης και Ν. Μαμάσης, 2005)

Έτσι λοιπόν, εισάγουμε τη χρονοσειρά της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας της Νήσου (Πίνακας 4.7) και το γεωγραφικό πλάτος του μετεωρολογικού σταθμού της περιοχής που μελετάμε (36° 25' 00"), για να υπολογίσουμε την δυνητική εξατμισοδιαπνοή με τη μέθοδο Thornthwaite και με τη μέθοδο Hargreaves μέσω του λογισμικού "Υδρογνώμων".

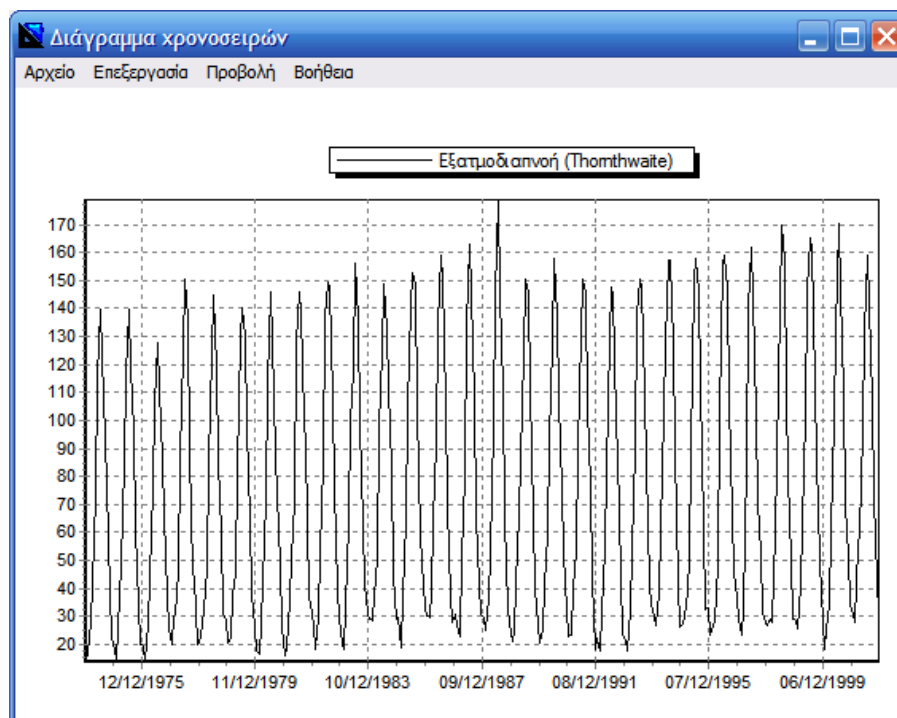
**Πίνακας 4.7:** Εισαγωγή μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας στο περιβάλλον του «Υδρογνώμονα»

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Μέση τιμή
1974	8,60	11,10	11,60	13,70	17,50	22,30	24,40	23,60	21,70	20,40	15,10	11,30	16,78
1975	10,00	9,10	13,30	14,90	18,90	22,40	24,40	23,20	22,10	18,00	14,10	10,70	16,76
1976	10,30	8,60	11,30	14,10	17,80	21,30	23,30	22,40	20,90	18,70	14,80	12,20	16,31
1977	10,50	13,30	12,10	14,50	19,20	23,20	25,40	24,90	21,10	15,30	16,10	10,60	17,18
1978	10,70	12,40	12,40	14,70	19,00	23,10	24,90	23,10	20,70	17,70	13,30	13,00	17,08
1979	10,70	11,20	13,40	14,40	18,70	23,70	24,50	24,30	22,20	18,60	14,90	12,50	17,43
1980	9,90	9,40	11,30	13,90	17,30	22,10	25,00	24,20	21,00	19,80	17,10	12,40	16,95
1981	9,30	10,30	13,10	15,20	17,30	23,50	25,00	25,20	22,60	22,20	14,70	14,40	17,73
1982	12,40	10,10	11,90	15,60	19,00	24,40	25,30	26,00	23,50	20,20	15,30	13,00	18,06
1983	10,70	10,10	12,60	17,20	20,70	22,50	25,90	24,90	22,30	18,30	15,60	13,60	17,87
1984	12,90	12,60	13,40	15,20	20,40	23,20	25,30	24,60	23,90	21,20	16,30	13,10	18,51
1985	13,00	10,30	13,40	17,30	21,20	24,80	25,60	26,10	23,00	17,60	17,20	14,00	18,63
1986	13,10	13,10	13,60	17,30	19,80	24,20	26,20	26,30	23,30	19,20	14,80	12,80	18,64
1987	13,30	12,60	10,20	15,30	18,40	24,20	26,50	25,80	23,50	18,60	15,70	13,40	18,13
1988	13,00	11,80	13,20	15,50	20,40	25,20	27,90	25,80	23,90	18,50	13,90	12,80	18,49
1989	10,80	11,90	14,20	17,60	19,10	23,10	25,40	25,80	23,90	18,60	15,30	12,70	18,20
1990	10,70	12,00	14,10	16,60	19,90	23,50	26,10	25,00	23,40	20,10	17,70	13,90	18,58
1991	11,30	11,60	14,00	15,70	19,50	23,80	25,40	25,80	23,10	20,40	16,00	10,20	18,07
1992	11,20	9,80	12,20	15,70	18,60	23,70	25,20	25,80	22,50	21,90	16,40	11,60	17,88
1993	11,00	9,90	12,40	15,70	19,60	24,50	25,40	26,00	23,70	21,30	15,60	14,30	18,28
1994	13,10	12,50	13,50	16,90	21,00	23,60	26,00	26,90	25,70	22,10	15,60	12,40	19,11
1995	12,50	13,10	13,80	15,30	19,40	25,60	26,10	25,90	24,00	18,10	13,70	14,00	18,46
1996	11,50	12,20	11,50	14,80	20,90	26,20	26,20	26,00	23,40	18,80	16,60	14,70	18,57
1997	12,90	11,60	12,40	20,20	24,80	26,70	24,90	21,30	18,70	16,60	13,50	12,80	18,03
1998	12,30	13,00	11,50	16,60	19,10	24,80	27,10	26,90	23,70	20,70	17,40	13,00	18,84
1999	12,70	12,20	14,10	17,10	20,90	25,30	26,70	27,30	24,10	21,50	17,40	15,10	19,53
2000	10,00	11,90	12,70	16,80	20,70	23,90	27,20	25,90	23,80	19,30	17,60	14,30	18,67
2001	13,30	12,70	16,60	16,60	20,30	23,90	26,20	25,40	23,40	19,60	16,00	13,30	18,94
Μέση τιμή	11,49	11,44	12,85	15,87	19,62	23,88	25,63	25,16	22,83	19,40	15,63	12,93	



Πίνακας 4.8: Μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή κατά Thornthwaite

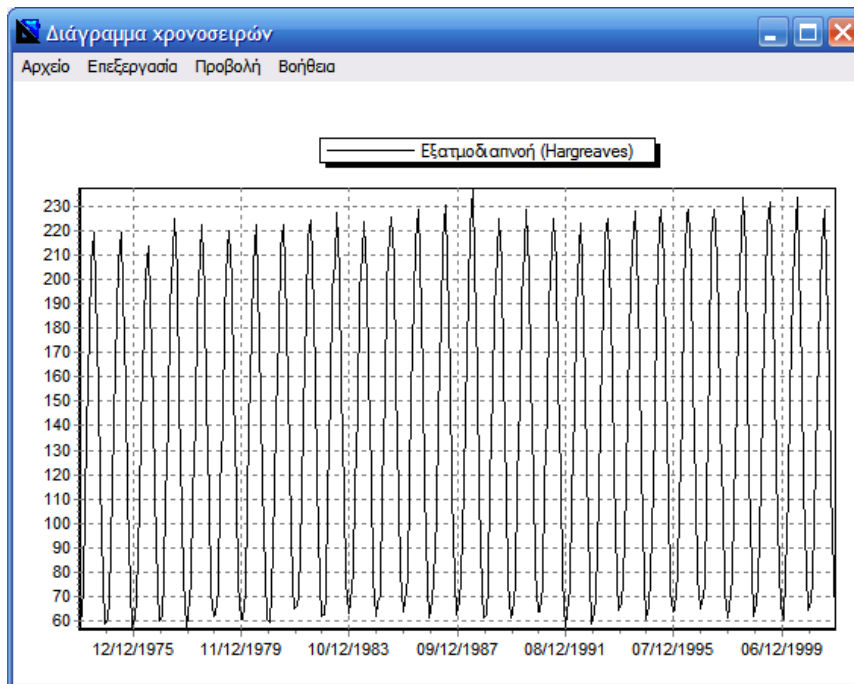
Χρονιά	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Μέση τιμή
1974	13,61	21,50	28,50	41,55	73,12	115,67	139,48	123,25	93,10	77,50	38,78	22,13	65,68
1975	18,04	14,84	36,79	48,60	84,42	116,64	139,48	119,37	96,33	61,35	34,12	19,99	65,83
1976	19,06	13,83	27,23	43,97	75,62	106,21	127,80	111,52	86,51	65,65	37,26	25,52	61,68
1977	19,76	30,13	30,84	46,19	86,93	124,54	150,34	136,22	88,35	45,29	43,71	19,64	68,50
1978	20,46	26,44	32,28	47,39	85,25	123,54	144,86	118,42	85,25	59,45	30,60	28,75	66,89
1979	20,46	21,86	37,31	45,60	82,76	129,59	140,54	130,16	97,14	65,22	37,83	26,72	69,60
1980	17,70	16,32	27,23	42,81	71,71	113,78	145,75	128,83	87,29	73,05	48,79	26,31	66,63
1981	15,75	18,70	35,77	50,44	71,56	127,56	145,95	139,30	100,44	90,75	36,88	34,80	72,33
1982	26,95	18,02	29,89	52,95	85,25	136,83	149,23	147,67	108,03	76,08	39,75	28,75	74,95
1983	20,46	18,02	33,26	63,54	100,04	117,61	155,91	136,22	97,96	63,27	41,21	31,28	73,23
1984	29,01	28,21	37,44	50,59	97,55	124,58	149,04	132,83	111,13	82,98	44,61	29,15	76,43
1985	29,44	18,70	37,31	64,23	104,60	141,05	152,55	148,74	103,78	58,83	49,45	33,02	78,47
1986	29,86	29,29	38,36	64,23	92,07	134,74	159,30	150,87	106,32	69,20	37,35	27,93	78,29
1987	30,72	27,24	22,42	51,06	80,29	134,74	162,72	145,56	108,03	65,22	41,71	30,42	75,01
1988	29,44	24,96	36,40	52,47	97,55	145,38	178,90	145,19	111,13	64,35	33,14	27,91	78,90
1989	20,82	24,48	41,58	66,32	86,09	123,54	150,34	145,56	111,49	65,22	39,75	27,52	75,23
1990	20,46	24,87	41,03	59,46	92,94	127,56	158,16	137,25	107,18	75,38	52,17	32,58	77,42
1991	22,66	23,34	40,49	53,58	89,49	130,62	150,34	145,56	104,63	77,50	43,21	18,28	74,97
1992	22,29	17,65	31,42	53,74	82,09	129,64	147,94	145,19	99,29	88,17	45,13	23,23	73,81
1993	21,55	17,36	32,28	53,58	90,35	137,88	150,34	147,67	109,76	84,00	41,21	34,35	76,69
1994	29,86	26,84	37,83	61,48	102,77	128,57	157,04	157,36	127,68	89,99	41,21	26,32	82,25
1995	27,36	29,29	39,42	51,06	88,63	149,66	158,16	146,61	112,36	61,99	32,34	33,02	77,49
1996	23,41	26,56	28,14	48,13	102,06	156,34	159,09	147,29	106,83	66,31	46,16	36,14	78,87
1997	29,01	23,34	32,28	85,78	140,19	161,89	144,86	101,77	70,52	52,74	31,46	27,93	75,15
1998	26,55	28,87	28,05	59,46	86,09	141,05	169,67	157,36	109,76	79,64	50,53	28,75	80,48
1999	28,18	25,65	41,03	62,85	101,85	146,40	165,02	161,76	113,24	85,48	50,53	38,02	85,00
2000	18,04	25,36	33,87	60,98	100,24	131,69	170,61	146,24	110,26	69,64	51,48	34,33	79,40
2001	30,72	27,64	55,65	59,46	96,46	131,64	159,30	141,37	107,18	71,92	43,21	30,00	79,55
Μέση τιμή	23,63	23,19	34,79	55,05	91,00	131,75	152,95	139,11	102,53	70,94	41,56	28,67	



Σχήμα 4.2: Σχηματική παράσταση μέσης μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite

**Πίνακας 4.9:** Μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή κατά Hargreaves

Χρονοσειρά	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Μέση τιμή
1974	57,78	72,92	107,84	137,20	179,42	206,00	219,46	196,62	153,44	118,63	75,30	58,52	131,93
1975	60,85	67,88	114,07	142,43	186,54	206,52	219,46	194,72	155,00	111,18	73,02	57,32	132,41
1976	61,50	69,65	107,61	139,68	181,41	200,94	213,36	190,11	149,28	112,31	74,02	60,25	130,01
1977	61,94	78,47	109,67	140,68	188,06	210,63	224,66	202,80	151,11	102,79	77,59	57,12	133,79
1978	62,38	76,20	110,77	141,55	187,05	210,11	222,06	194,25	149,56	110,25	71,18	61,94	133,11
1979	62,38	73,17	114,44	140,25	185,52	213,20	219,98	199,95	155,39	113,04	74,85	60,94	134,42
1980	60,63	71,76	107,61	138,81	178,86	205,05	222,18	198,62	149,66	115,69	79,24	60,65	132,40
1981	59,31	70,90	113,34	143,73	178,41	212,17	222,58	204,22	156,94	124,22	74,39	64,76	135,41
1982	66,10	70,40	108,94	145,47	187,05	216,79	224,14	208,02	160,44	118,01	75,76	61,94	136,92
1983	62,38	70,40	111,50	152,44	195,69	207,03	227,26	202,80	155,78	112,11	76,45	63,15	136,42
1984	67,19	80,20	115,38	144,50	194,66	210,70	223,74	200,52	160,85	120,00	77,42	62,06	138,10
1985	67,41	70,90	114,44	152,88	198,23	218,85	225,70	208,50	158,49	109,94	80,11	63,95	139,12
1986	67,63	77,97	115,17	152,88	191,11	215,76	228,82	209,45	159,66	114,91	74,62	61,54	139,13
1987	68,07	76,71	102,70	144,17	184,00	215,76	230,38	207,07	160,44	113,04	76,68	62,75	136,81
1988	67,41	78,09	114,64	145,81	194,66	220,98	237,24	206,19	160,85	111,69	71,98	61,46	139,25
1989	62,60	74,94	117,37	154,19	187,56	210,11	224,66	207,07	161,99	113,04	75,76	61,34	137,55
1990	62,38	75,19	117,01	149,83	191,62	212,17	228,30	203,27	160,05	117,70	81,26	63,75	138,54
1991	63,69	74,18	116,64	145,91	189,59	213,71	224,66	207,07	158,88	118,63	77,36	56,31	137,22
1992	63,47	72,81	110,94	146,69	185,48	213,27	223,22	206,19	155,45	122,16	77,65	59,05	136,37
1993	63,03	69,89	110,77	145,91	190,10	217,31	224,66	208,02	161,21	121,43	76,45	64,56	137,78
1994	67,63	76,45	114,80	151,14	197,21	212,68	227,78	212,29	168,98	123,91	76,45	60,74	140,84
1995	66,32	77,97	115,91	144,17	189,08	222,96	228,30	207,55	162,38	111,49	72,10	63,95	138,51
1996	64,13	79,15	108,35	142,75	197,20	226,12	228,41	207,14	158,92	112,62	78,11	65,27	139,01
1997	67,19	74,18	110,77	165,51	216,53	228,61	222,06	185,70	141,79	106,83	71,64	61,54	137,70
1998	65,88	77,72	107,47	149,83	187,56	218,85	233,50	212,29	161,21	119,56	80,57	61,94	139,70
1999	66,76	75,70	117,01	152,01	196,70	221,42	231,42	214,19	162,77	122,05	80,57	66,17	142,23
2000	60,85	78,36	112,79	151,50	196,18	214,30	233,60	206,66	160,46	114,16	80,38	64,47	139,48
2001	68,07	76,96	126,18	149,83	193,65	214,22	228,82	205,17	160,05	116,15	77,36	62,55	139,92
Μέση τιμή	64,11	74,61	112,65	146,85	190,33	214,15	225,73	203,80	157,54	115,27	76,37	61,79	



**Σχήμα 4.3:** Σχηματική παράσταση μέσης μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Hargreaves

Πίνακας 4.10: Μέσος όρος των μέσων μηνιαίων τιμών δυναμικής εξατμισοδιαπνοής για την περίοδο 1974-2001

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΥΝ. ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ												
<b>THORNTH.</b>	23,63	23,19	34,79	55,05	91,00	131,75	152,95	139,11	102,53	70,94	41,56	28,67
<b>HARGR.</b>	64,11	74,61	112,65	146,85	190,33	214,15	225,73	203,80	157,54	115,27	76,37	61,79

Ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων προκύπτει το ετήσιο ύψος δυν. εξατμισοδιαπνοής για τις δύο μεθόδους στον πίνακα 4.11

Πίνακας 4.11: Μέση υπερετήσια δυν. εξατμισοδιαπνοή με τις μεθόδους Thornthwaite και Hargreaves

ΕΤΗΣΙΑ ΔΥΝ. ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ		
ΕΤΟΣ	THORNTHWAITE	HARGREAVES
1974	788,19	1583,13
1975	789,97	1588,99
1976	740,18	1560,12
1977	821,94	1605,52
1978	802,69	1597,30
1979	835,19	1613,11
1980	799,57	1588,76
1981	867,90	1624,97
1982	899,40	1643,06
1983	878,78	1636,99
1984	917,12	1657,22
1985	941,70	1669,40
1986	939,52	1669,52
1987	900,13	1641,77
1988	946,82	1671,00
1989	902,71	1650,63
1990	929,04	1662,53
1991	899,70	1646,63
1992	885,78	1636,38
1993	920,33	1653,34
1994	986,95	1690,06
1995	929,90	1662,18
1996	946,46	1668,17
1997	901,77	1652,35
1998	965,78	1676,38
1999	1020,01	1706,77
2000	952,74	1673,71
2001	954,55	1679,01
<b>ΜΕΣΗ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ</b>	<b>895,17</b>	<b>1643,18</b>

Όπως βλέπουμε από τους παραπάνω πίνακες, υπάρχει αρκετά μεγάλη απόκλιση μεταξύ των δυο μεθόδων. Γνωρίζουμε βέβαια ότι σε γενικές γραμμές η μέθοδος Thornthwaite υποεκτιμά την εξατμισοδιαπνοή, ενώ η μέθοδος Hargreaves την υπερεκτιμά. Για να συνεχίσουμε θα δεχτούμε ως μέση υπερετήσια τιμή δυναμικής εξατμισοδιαπνοής τις τιμές της μεθόδου **Thornthwaite**.

Έχοντας στη διάθεσή μας όλα τα παραπάνω δεδομένα για το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής και με τη βοήθεια του προγράμματος WTRBLN που συντάχθηκε από τον υποψήφιο διδάκτορα, Κουράκο Γ., σε περιβάλλον MATLAB, μπορέσαμε να υπολογίσουμε την κατείσδυση.

Το πρόγραμμα WTRBLN (Donker, 1987) υπολογίζει το υδατικό ισοζύγιο με βάση μακροχρόνιους μηνιαίους μέσους όρους κατακρημνίσεων και δυναμικής εξατμισοδιαπνοής λαμβάνοντας υπόψιν χαρακτηριστικά εδαφών και βλάστησης. Τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος αποτελούνται από μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης, δυναμικής εξατμισοδιαπνοής, επιφανειακής απορροής η οποία θα πρέπει να οριστεί ως ποσοστό της συνολικής διαθέσιμης απορροής και τέλος η τιμή της διαθέσιμης υδατοϊκανότητας της εδαφικής κατατομής η οποία υπολογίζεται ως διαφορά μεταξύ της υδατοϊκανότητας και του σημείου μάρανσης. Οι υπολογισμοί στο πρόγραμμα γίνονται με τη μέθοδο Thornthwaite – Mather.

Από δημοσίευση του F.A.O. ο συντελεστής φυτοκάλυψης βρέθηκε ίσος με 0.42 και η επιφανειακή απορροή θεωρείται ίση με το 10% της βροχόπτωσης. Συγκεντρώσαμε παρακάτω (πίνακας 4.12) τα δεδομένα που θα εισάγουμε στο πρόγραμμα.

**Πίνακας 4.12:** Δεδομένα εισόδου για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου

<b>FC (mm)</b>	<b>WP (mm)</b>			
229	100			
<b>Βροχόπτωση (mm)</b>	<b>Επιφ.Απορροή (mm)</b>	<b>Δυν.Εξατμισοδιαπνοή (mm)</b>	<b>Kc(%)</b>	
57.1	5.71	23.63	0.42	
47	4.7	23.19	0.42	
49.8	4.98	34.79	0.42	
13.7	1.37	55.05	0.42	
5.1	0.51	91.00	0.42	
1.1	0.11	131.75	0.42	
0.03	0.003	152.95	0.42	
0.07	0.007	139.11	0.42	
4.3	0.43	102.53	0.42	
17.4	1.74	70.94	0.42	
47.1	4.71	41.56	0.42	
54.1	5.41	28.67	0.42	

**Πίνακας 4.13:** Δεδομένα εισόδου για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου με τη μέθοδο Thornthwaite – Mather (τύπος εδάφους: CL).

WTRBLN\_GUI

INPUTS

Enter Name for input file

inputs.txt

Average Monthly Runoff expressed in percentage of available water for Runoff 100

Water Capacity for Rootzone 229

Use Inputs from file

Generate input file only

Calculate WTRBLN

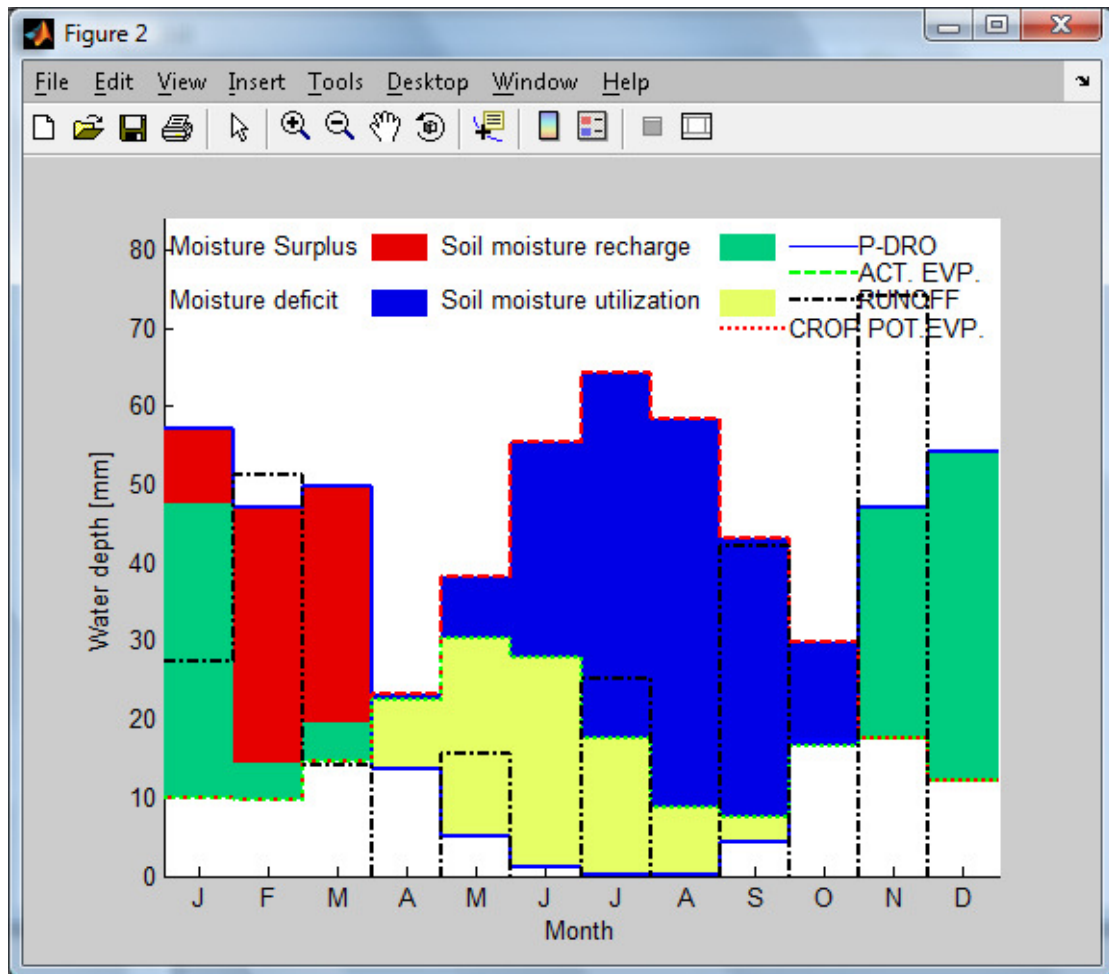
Department of Rural and Surveying Engineering National Technical University of Athens  
Laboratory of Reclamation Works and Water Resources Management

Monthly Data (J F M A M J J A S O N D)											
Precipitation [mm]											
57.1	47	49.8	13.7	5.1	1.1	0.03	0.07	4.3	17.4	47.1	54
Reference Potential Evapotranspiration [mm]											
23.63	23.19	34.79	55.05	91	131.75	152.95	139.11	1			
Direct Runoff [mm]											
5.71	4.7	4.98	1.37	0.51	0.11	0.003	0.007	0.43	1.74		
Crop Coefficients											
0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0	0

Επειδή ήταν πολλά τα εξαγόμενα του προγράμματος δεν ήταν δυνατό να τα συμπεριλάβουμε όλα και για αυτό παραθέτουμε μόνο τα αποτελέσματα που αναφέρονται στην κατείσδυση που αποτελεί και το κύριο αντικείμενο μελέτης μας.

**Πίνακας 4.14:** Μέση μηνιαία κατείσδυση (1974-2001)

ΜΗΝΕΣ	Κατείσδυση (mm)
Ιανουάριος	9,4628
Φεβρουάριος	32,56
Μάρτιος	30,208
Απρίλιος	0
Μάιος	0
Ιούνιος	0
Ιούλιος	0
Αύγουστος	0
Σεπτέμβρης	0
Οκτώβριος	0
Νοέμβριος	0
Δεκέμβριος	0
<b>Ετήσια κατείσδυση (mm)</b>	<b>72,231</b>



Σχήμα 4.4: Σχηματική παράσταση συνιστωσών υδατικού ισοζυγίου, υπολογισμένων με τη μέθοδο Thornthwaite - Mather

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η βροχόπτωση διηθείται στο έδαφος και μετατρέπεται σε εδαφική υγρασία. Από τον Ιανουάριο έχει ήδη το έδαφος κορεστεί και έτσι η βροχόπτωση αποτελεί πλέον πλεόνασμα νερού, οπότε ξεκινά η κατεΐσδυση (τροφοδοσία του υδροφορέα), η οποία συνεχίζεται Φεβρουάριο και Μάρτιο. Πλεόνασμα νερού δεν παρατηρείται σε κανέναν άλλο μήνα. Από τον Απρίλιο μέχρι και τον Οκτώβρη υπάρχει έλλειμμα ύδατος, κάτι που ήταν αναμενόμενο μιας και οι βροχοπτώσεις αυτή την περίοδο είναι πολύ αραιές έως ανύπαρκτες, με αποτέλεσμα η εξατμισοδιαπνοή και οι αυξημένες αντλήσεις να τις υπερκαλύπτουν. Το Νοέμβριο και το Δεκέμβριο οι βροχοπτώσεις αρχίζουν πάλι να γίνονται πιο έντονες, το έδαφος αρχίζει ξανά να συγκεντρώνει νερό για να ξεκινήσει και πάλι η κατεΐσδυση τον Ιανουάριο.

Οπότε η μέση ετήσια τιμή της κατεΐσδυσης για την έκταση (E) του υδροφορέα που εξετάζουμε θα είναι ίση με :

$$RCH (m^3) = RCH (m) * E (m^2) \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} \text{RCH} (m^3) &= 0.0722 \text{ m} * 33083734 \text{ m}^2 \Rightarrow \\ \text{RCH} &= 2.3886 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος} \end{aligned}$$

$$\text{RCH} = 2.39 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

#### 4.8 Υπολογισμός υδατικού ισοζυγίου με χρήση εμπειρικών συντελεστών

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί εμπειρικούς συντελεστές που έχουν προκύψει από παραδοχές για την ποσότητα νερού, η οποία διαμοιράζεται σε κάθε πορεία του (εξατμισοδιαπνοή, επιφανειακή απορροή, κατείσδυση).

Η μέση ετήσια βροχόπτωση για τον υδροφορέα είναι ίση με:  
 $P = 0,3122 * 33083734 = 10322125 \text{ m}^3 = 10,32 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$

Σύμφωνα με τον Γ. Σούλιο (1986), η κατείσδυση στα ηφαιστειακά πετρώματα, από τα οποία είναι καλυμμένο το έδαφος της Σαντορίνης, κυμαίνεται από 3-8% της συνολικής βροχόπτωσης. Εμείς υποθέτουμε ότι στην περίπτωση μας η κατείσδυση αποτελεί το 5,5% της βροχόπτωσης, οπότε θα είναι ίση με:

$$\text{RCH} = 0,055 * 10,32 * 10^6 = 0,5677168 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

$$\text{RCH} = 0,568 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

#### 4.9 Συμπεράσματα

Έχοντας προσδιορίσει στο κεφάλαιο αυτό τις συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου και ειδικότερα την κατείσδυση στα υπόγεια στρώματα του υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου της νήσου Θήρας, για την χρονική περίοδο 1974-2001 με δυο μεθόδους, με την μέθοδο Thornthwaite – Mather η οποία μας έδωσε 4,2 φορές μεγαλύτερη τιμή από αυτή που υπολογίστηκε με τη χρήση εμπειρικών συντελεστών. Στη συγκεκριμένη μελέτη αποδεχόμαστε τα αποτελέσματα της μεθόδου **Thornthwaite – Mather** καθώς έχει βαθμονομηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια και τα αποτελέσματα της συμπίπτουν περισσότερο με τα αποτελέσματα των μελετών της NAMA και των Α. Μαντόγλου και Π. Γιαννουλόπουλου. Ενώ από τη μέθοδο με χρήση των εμπειρικών συντελεστών λήφθηκε αυθαίρετα κάποια μέση τιμή της κατείσδυσης για ηφαιστειακά

πετρώματα που κατά πάσα πιθανότητα δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα.

Για να ήμασταν ποιό σίγουροι για τα αποτελέσματα του ισοζυγίου θα έπρεπε να είχαμε πιο ακριβή στοιχεία για την εξάτμιση και την διαπνοή, από εξατμισίμετρα, μετρήσεις για την επιφανειακή απορροή την οποία θεωρήσαμε ίση με το 10% της βροχόπτωσης. Πάρα τις παραδοχές που αναγκαστήκαμε να κάνουμε αποδεχόμαστε τα αποτελέσματα της μεθόδου η οποία προσφέρει μια αρκετά καλή εκτίμηση του νερού που διηθείτε βαθιά για να εμπλουτίσει τον υδροφόρα που μελετάμε.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

**Μοντέλο εκτίμησης υδατικού ισοζυγίου υδροφορέα  
Βουρβούλου - Καμαρίου με το μοντέλο ακόρεστης  
ροής CLASS U3M-1D**

## **5. Μοντέλο εκτίμησης υδατικού ισοζυγίου υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου με το μοντέλο ακόρεστης ροής CLASS U3M-1D**

### **5.1 Μοντέλα**

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη των υπολογιστικών μοντέλων έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον όχι μόνο των επιστημόνων αλλά και πολλών υπηρεσιών και φορέων που ασχολούνται με θέματα διαχείρισης φυσικών πόρων. Αυτά τα μοντέλα των υπόγειων νερών συνήθως εφαρμόζονται στα πλαίσια λήψης αποφάσεων στη διαχείριση των φυσικών πόρων. Τέτοια πρότυπα και κανόνες εφαρμογής μαθηματικών μοντέλων στα υπόγεια νερά έχουν θεσπιστεί ήδη από τις αρχές της περασμένης δεκαετίας από το (U.S.) National Research Council (1990). Τα μοντέλα παρέχουν τη δυνατότητα γρήγορης, ακριβούς, ευέλικτης αναπαράστασης και μελέτης ενός φυσικού συστήματος και συμβάλλουν στη διερεύνηση και μελέτη προβλημάτων, στο σχεδιασμό επανορθωτικών μέτρων, στην αποσαφήνιση και αποκωδικοποίηση των μηχανισμών λειτουργίας, στην παροχή πρόσθετων πληροφοριών που βοηθούν στη λήψη αποφάσεων και στον εντοπισμό έλλειψης απαραίτητων δεδομένων και συνεπώς στον ορθολογικότερο σχεδιασμό συλλογής τους

Η υποβάθμιση του υδροφορέα που εξετάζουμε στα σύνορα Βουρβούλου - Καμαρίου στη Ν. Θήρα ευνοεί την προσπάθεια προσομοίωσης των συνιστωσών του για την καλύτερη κατανόηση και ποσοτικοποίηση του προβλήματος και την εφαρμογή των απαραίτητων ανασταλτικών μέτρων.

### **5.2 Το μοντέλο CLASS**

#### **5.2.1 Γενικά**

Το μοντέλο CLASS (Catchment scale multiple-Landuse Atmosphere Soil water and Solute transport model) είναι μια σουίτα από εργαλεία που συνιστούν τη βάση για τα “κατανεμημένα” οικολογικά – υδρολογικά μοντέλα, δηλαδή μοντέλα που υπολογίζουν ξεχωριστά τις συνιστώσες των φαινομένων που εξετάζουν. Το πλαίσιο αυτού του μοντέλου αναπτύχθηκε από το Τμήμα Υποδομής, Σχεδιασμού και Φυσικών Πηγών (Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources) της Νέας Νότιας Ουαλίας (DIPNR), σε συνεργασία με το ερευνητικό κέντρο περί Υδρολογίας Λεκανών (Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology (CRCCH)) της Αυστραλίας.

Μέσω του μοντέλου CLASS είναι δυνατό να αναλυθούν οι επιδράσεις των διαφόρων κλιματολογικών σεναρίων που προβλέπονται από στοχαστικά κλιματολογικά μοντέλα, όπως επίσης και οι επιδράσεις των χωροχρονικών μεταβολών κλίματος μέσα σε μια λεκάνη, ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει τα αποτελέσματα εδαφικής χρήσης σε λοφοπλαγιές, σε όρια αγρών και σε υδρολογικές λεκάνες. Περιλαμβάνει επτά εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη μοντέλων υδατικού ισοζυγίου, ισοζυγίου φερτών υλών και ανάπτυξης της βλάστησης, μοντέλων ανάγλυφου εδάφους, κατείδυσης, εκφόρτισης, πλευρικής ροής και ροής χειμάρρων. Από τα επτά αυτά εργαλεία εμείς χρησιμοποιήσαμε το CLASS U3M-1D (Unsaturated Moisture Movement Model), το οποίο περιγράφεται παρακάτω.

### 5.2.2 Το εργαλείο CLASS U3M-1D

Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιεί ημερήσιο χρονικό βήμα, το οποίο είναι προσαρμόσιμο, για να ανιχνεύει την παροδική φύση των κλιματικών συνθηκών, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Προσφέρει την δυνατότητα εκτίμησης του ισοζυγίου για κάθε εδαφικό υλικό, ενώ οι διακυμάνσεις στην εξάτμιση, στις διαλυμένες ουσίες και στην αποστράγγιση προσομοιώνονται κατά τη διάρκεια της όποιας εκτίμησης. Τα σφάλματα στην εκτίμηση του ισοζυγίου, που συνδέονται με τις αριθμητικές προσεγγίσεις που γίνονται, ποσοτικοποιούνται για κάθε εδαφικό υλικό.

Το εργαλείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου στην ακόρεστη ζώνη για οποιοδήποτε συνδυασμό κλιματικών συνθηκών, εδαφικής χρήσης και εδαφολογικού τύπου, με χρήση της διαφορικής εξίσωσης Richards (1931):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\psi) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right]$$

όπου: K η υδραυλική αγωγιμότητα,  $\Psi$  το ύψος πίεσης (<0 για ακόρεστη ροή), Z το υψόμετρο σε ένα κατακόρυφο σύστημα αναφοράς,  $\theta$  η ποσότητα νερού και t ο χρόνος.

Οι απαιτήσεις αυτού του εργαλείου σε δεδομένα εισόδου είναι ένα αρχείο μέσα στο οποίο έχουν καταγραφεί δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής, μαζί με τις ακριβείς ημερομηνίες αυτών. Για να μπορέσει το μοντέλο να επεξεργαστεί το αρχείο εισόδου πρέπει να έχει προηγηθεί η ρύθμιση ορισμένων παραμέτρων για: τα

εδαφικά υλικά, τα κλιματικά δεδομένα, την εδαφική χρήση, τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους, το χρονικό βήμα, την κατανομή του ριζοστρώματος και την εδαφική εξάτμιση. Αφού γίνουν όλα τα παραπάνω το μοντέλο κατασκευάζει 5 αρχεία εξόδου, στα οποία έχει υπολογίσει τις διαφορές συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι ακριβείς παράμετροι που δώσαμε για την ανάλυση του υπό μελέτη υδροφορέα μας καθώς και τα δεδομένα εξόδου που παίρνουμε.

### **5.3 Στάδια του προγράμματος**

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος CLASS U3M-1D για τη δημιουργία του μονοδιάστατου μοντέλου της καείσδυσης του υδροφορέα Βουρβούλου - Καμαρίου ακολουθήθηκαν τα εξής στάδια: δημιουργία αρχείου δεδομένων εισόδου (χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής για τα έτη 1974 - 1997), εισαγωγή του αρχείου εισόδου στο πρόγραμμα, συμπλήρωση παραμέτρων αρχείων προγράμματος, εκτέλεση του προγράμματος και επισκόπηση αποτελεσμάτων.

Όσον αφορά το αρχείο εισόδου, οι βροχοπτώσεις που χρησιμοποιούμε αναφέρονται στη Ν. Μήλο και όχι στη Θήρα μιας και κατέστη αδύνατο να αποκτήσουμε ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης για τη Ν. Θήρα. Θεωρούμε ότι οι βροχοπτώσεις στις ανατολικές Κυκλάδες (όπου ανήκουν η Μήλος και η Θήρα) κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα. Επίσης επειδή ήταν αδύνατο να έχουμε μετρήσεις από εξατμισίμετρα για τα ημερήσια δεδομένα εξατμισοδιαπνοής, γι' αυτό και θέσαμε τα δεδομένα της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που υπολογίστηκαν στο τρίτο κεφάλαιο, έχοντας κάνει γραμμική παρεμβολή (interpolation) στις μηνιαίες τιμές για να βρούμε τις ημερήσιες.

Τέλος για την συμπλήρωση των παραμέτρων μας ζητούνται τα εξής στοιχεία:

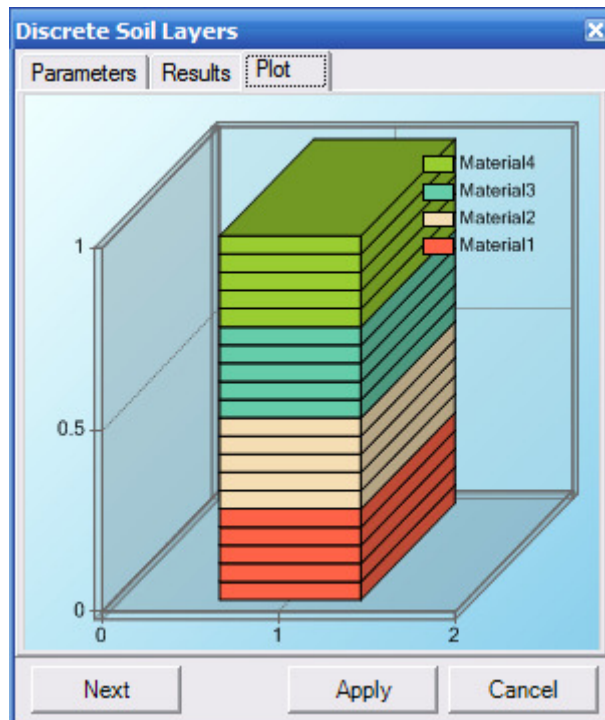
#### **A. Παράμετροι για τη διάκριση του εδαφικού προφίλ**

Σ' αυτό το σημείο καλούμαστε να εισάγουμε το πάχος των εδαφικών υλικών του υδροφορέα. Θεωρήσαμε 4 εδαφικά υλικά (το μέγιστο αριθμό που δέχεται το πρόγραμμα) σε όλο το πάχος του υδροφόρου, το οποίο ορίσαμε ίσο με 1m. Για κάθε εδαφικό υλικό θέσαμε πάχος ίσο με 25 cm (ισοπαχή εδαφικά υλικά), όπως φαίνεται και στα σχήματα 5.1 και 5.2. Ακόμα το πρόγραμμα εδώ χωρίζει το πάχος του υδροφόρου σε (στρώσεις), κάτι που θα βοηθήσει στην επίλυση της εξίσωσης Richards, γι' αυτό και μας ζητάει να ορίσουμε το πάχος που επιθυμούμε να έχουν οι στρώσεις (ορίζουμε ίσο με 0.05m και δημιουργούνται 20 στρώσεις).

Εξαιτίας της μη – γραμμικότητάς της, η εξίσωση Richards λύνεται συνήθως με χρήση αριθμητικών προσεγγιστικών μεθόδων, όπως αυτή των πεπερασμένων διαφορών. Με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών χωρίζουμε σε πεπερασμένα στοιχεία, πιο συγκεκριμένα εδώ διακριτοποιούμε το έδαφος σε στρώσεις, έτσι επιλύουμε εκείνα τα προβλήματα, στα οποία η πολυπλοκότητα του θεωρούμενου μέσου καθιστά αδύνατη την αναλυτική επίλυσή τους. Όσο πιο μικρό πάχος ορίσουμε για τον υδροφορέα μελέτης, τόσο καλύτερη και πιο κοντινή στην πραγματικότητα θα είναι η λύση της εξίσωσης Richards.

Section	Parameter	Value
Note	Number of soil materials:	4
	Maximum depth of soil domain(m):	6
User Input	Default discrete soil layer thickness(m):	0.05
	Thickness of material1(m):	0.250
	Thickness of material2(m):	0.250
	Thickness of material3(m):	0.250
	Thickness of material4(m):	0.250

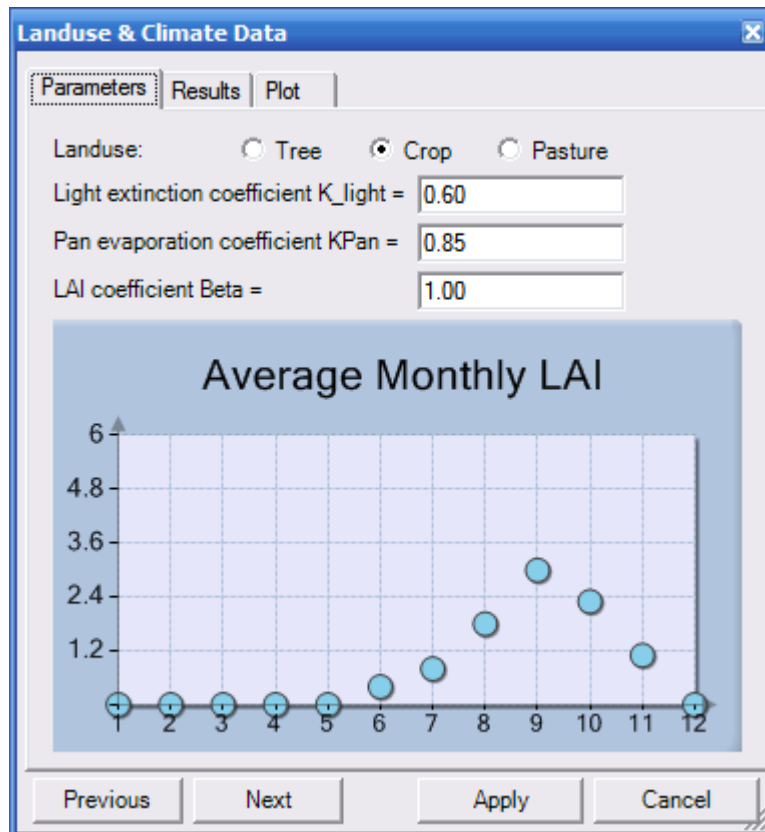
Σχήμα 5.1: Παράμετροι για την διάκριση εδαφικού προφίλ



Σχήμα 5.2: Σχηματική παράσταση του πάχους των εδαφικών υλικών

## Β. Δεδομένα εδαφικής χρήσης και κλιματικά δεδομένα

Εδώ καλούμαστε να προσδιορίσουμε την εδαφική χρήση, η οποία για την περιοχή του υδροφορέα ορίζεται ως “καλλιέργεια – φυτά” (crop). Αφού ορίσουμε την εδαφική χρήση το πρόγραμμα μας δίνει τους μέσους μηνιαίους συντελεστές του δείκτη επιφάνειας φυλλώματος (Leaf Area Index – LAI), που ορίζεται ως η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα φύλλα μιας καλλιέργειας προς το συνολικό εμβαδό της επιφάνειας του εδάφους που καλύπτεται από την καλλιέργεια αυτή. Για την εδαφική χρήση “crop” παίρνουμε τους συντελεστές που φαίνονται στο σχήμα 5.3:



Σχήμα 5.3: Εισαγωγή δεδομένων εδαφικής χρήσης και κλιματικά δεδομένα

όπου:

Light extinction coefficient  $K_{light}$ : είναι ένας αδιάστατος συντελεστής που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, σε δυνητική διαπνοή από τα φυτά και δυνητική εξάτμιση από το έδαφος και μειώνει την ποσότητα του φωτός που μεταδίδεται μέσα από την καλλιέργεια προς το έδαφος, μέσω αντανάκλασης από την επιφάνεια του ενός φύλλου στο άλλο.

Pan evaporation coefficient  $K_{pan}$ : είναι ο συντελεστής που μετατρέπει την εξατμισοδιαπνοή από εξατμισόμετρα σε δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

LAI coefficient  $Beta$ : είναι ο συντελεστής που βοηθάει στο να προσαρμοστεί όσο καλύτερα γίνεται σύμφωνα με τις μηνιαίες βροχοπτώσεις, για τη δεδομένη περίοδο εξομοίωσης, ο μέσος μηνιαίος δείκτης επιφάνειας φυλλώματος

## Γ. Υδραυλικές ιδιότητες εδάφους

Στο στάδιο αυτό, το πρόγραμμα προσφέρει την δυνατότητα επιλογής του εδαφικού τύπου της περιοχής και μας παρέχει ήδη

προσδιορισμένες παραμέτρους, σύμφωνα με τον εδαφικό τύπο που επιλέξαμε. Σημαντική δυνατότητα στην προκειμένη περίπτωση, όπου τα δεδομένα μας για τις παραμέτρους που συνδέονται με τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους είναι ελλιπή. Ο υδροφορέας στην περιοχή μελέτης καλύπτεται κυρίως από αργιλοπηλώδες έδαφος και σε μικρό βαθμό από αμμώδες, για αυτό το λόγο επιλέγουμε και για τα τέσσερα εδαφικά υλικά τον επικρατέστερο τύπο «αμμώδη αργιλοπηλό».

Ακόμα εδώ καλούμαστε να επιλέξουμε κάποιο υδραυλικό μοντέλο από τα μοντέλα του Van Genuchten (1980), των Vogel and Cislerova (1988) και των Brooks and Corey (1966). Με βάση το μοντέλο που θα επιλέξουμε και τις παραμέτρους που συνδέονται με τον εδαφικό τύπο, το πρόγραμμα θα υπολογίσει με μια σειρά εξισώσεων που βοηθούν στην επίλυση της μη γραμμικής εξίσωσης του Richards τις υδραυλικές ιδιότητες εδάφους. Εμείς επιλέξαμε ένα από τα πιο διαδεδομένα σε χρήση υδραυτικά μοντέλα, αυτό του van Genuchten, το οποίο εκφράζεται μαθηματικά ως εξής:

$$K_r = S_e^{(l_p)} [1 - (1 - S_e^{1/n})]^2,$$

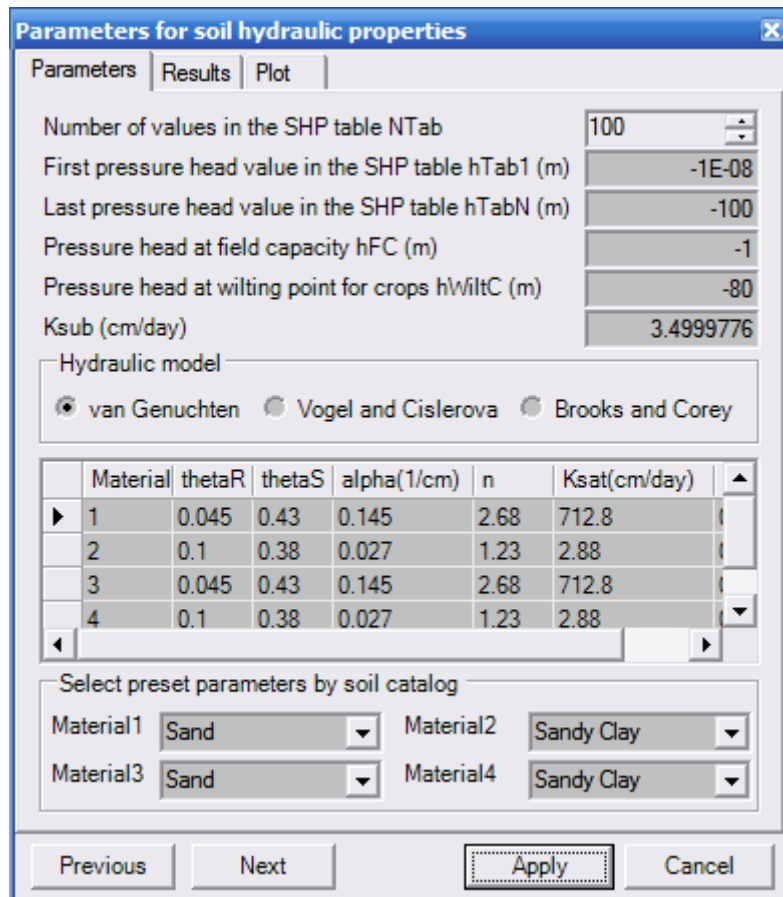
όπου

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{n - \theta_r} = \frac{S_w - S_{wr}}{1 - S_{wr}}$$

$$\text{ενώ: } S_w = \frac{\theta}{\theta_s} \text{ και } S_w = S_{wr} + (1 - S_{wr}) [1 + |\alpha \psi|^\beta]^{-\nu}, \text{ για } (\psi < 0)$$

Για αυτό το μοντέλο και το εδαφικό υλικό που εξετάζουμε πρέπει να καθορίσουμε στο πρόγραμμα τις παραμέτρους  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $K_r$  και  $l_p$ , οι οποίες στο περιβάλλον του προγράμματος αναφέρονται ως: *thetaR*, *thetaS*, *alpha*, *n*, *Ksat* και *l*. Όπου  $\theta_r$  είναι το παραμένον εδαφικό νερό,  $\theta_s$  είναι το κορεσμένο εδαφικό νερό,  $\alpha$  σε ( $L^{-1}$ ) και  $n$  είναι παράμετροι του μοντέλου με  $n = 1 - 1/\beta$ ,  $K_r$  είναι η σχετική υδραυλική αγωγιμότητα σε κορεσμό ( $LT^{-1}$ ),  $l_p$  είναι η παράμετρος για τη στατιστική διανομή του νερού (σε επίπεδο πόρου),  $S_e$  είναι ο πραγματικός κορεσμός και  $S_w$  είναι ο βαθμός κορεσμού (για την κορεσμένη ροή ισχύει ότι  $S_w = S_{wr}$ )





Σχήμα 5.4: Επιλογή υδραυλικών ιδιοτήτων εδάφους

#### Δ. Παράμετροι συνδεδεμένοι με το χρονικό βήμα

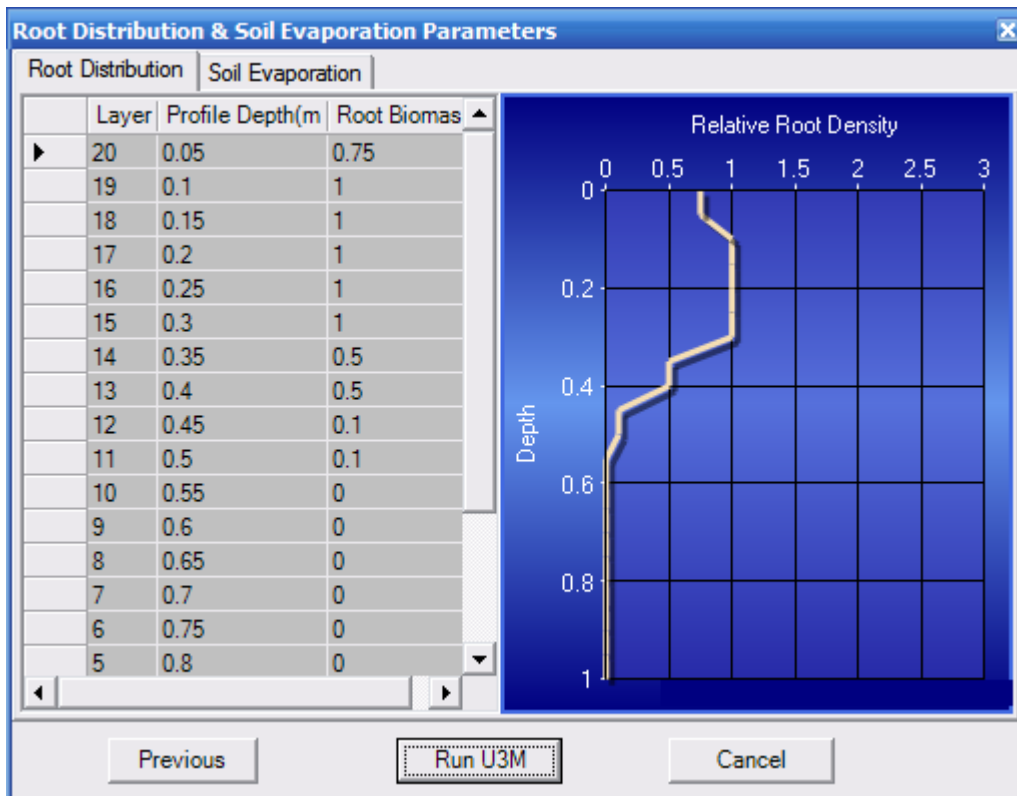
Αρχικά προσδιορίζουμε το χρονικό βήμα, ίσο με μια ώρα ή 3600 sec. Αν επιλέξουμε μικρότερο χρονικό βήμα αυξάνει το χρόνο προσομοίωσης χωρίς ιδιαίτερη βελτίωση στα αποτελέσματα, ενώ μεγαλύτερο χρονικό βήμα αλλοιώνει τα αποτελέσματα της λύσης της εξίσωσης Richards. Το χρονικό βήμα το θέτουμε να αυξάνει όσο προχωράμε, πολλαπλασιάζοντάς το επί 1,3. Στη συνέχεια καθορίζονται οι παράμετροι για τον υπολογισμό της υγρασίας, στην οποία η καλλιέργεια αντιμετωπίζει έλλειψη νερού, την προσομοίωση της ικανότητας της καλλιέργειας να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της έλλειψης νερού σε όλο το βάθος του ριζοστρώματος, τον ορισμό της αρχικής ποσότητας εδαφικής υγρασίας για το εδαφικό υλικό που εξετάζουμε, το χρονικό βήμα μιας συγκεκριμένης μέρας που βρίσκεται σε αντιστοιχία με τη ζώνη βροχόπτωσης

Vertical water balance time step $\Delta t$ (sec)	3600				
Time step multiplier	1.3				
Moisture stress threshold multiplier $\gamma_{\text{Recharge}}$	0.5				
Transpiration compensation parameter $\text{Transp\_sigma}$	0				
Parameter for initial soil moisture content (materials 1, 2, 3 and 4)	0.6084	0.6244	0.6307	0.6812	
Rainfall bands (mm/day)	5	10	20	40	5000
Time step bands (sec)	3600	2400	1200	600	300

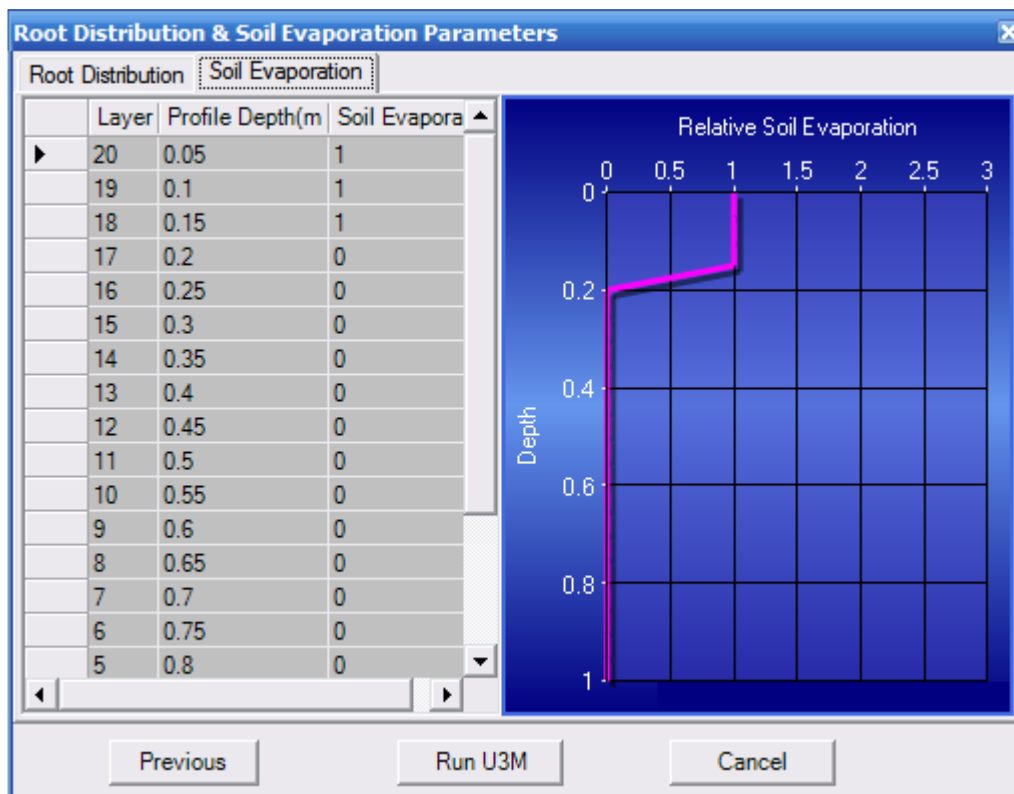
Σχήμα 5.5: Προσδιορισμός παραμέτρων συνδεδεμένων με το χρονικό βήμα

## Ε. Παράμετροι για τη κατανομή του ριζοστρώματος και την εδαφική εξάτμιση

Με βάση την κατανομή του ριζοστρώματος, σε αυτό το στάδιο εισάγουμε την πυκνότητα των ριζών σε κάθε στρώση, οι οποίες έχουν οριστεί από τον τρόπο που χωρίσαμε το πάχος των εδαφικών υλικών του υδροφορέα. Θέσαμε πάχος διάκρισης των στρώσεων του εδάφους του υδροφορέα ίσο με 0,05m σε συνολικό πάχος 1m, άρα προέκυψαν 20 στρώσεις (σχήμα 5.2). Ακόμα εισάγουμε τις παραμέτρους για την εδαφική εξάτμιση για κάθε εδαφική στρώση.



Σχήμα 5.6: Κατανομή ριζών στις στρώσεις του υδροφορέα

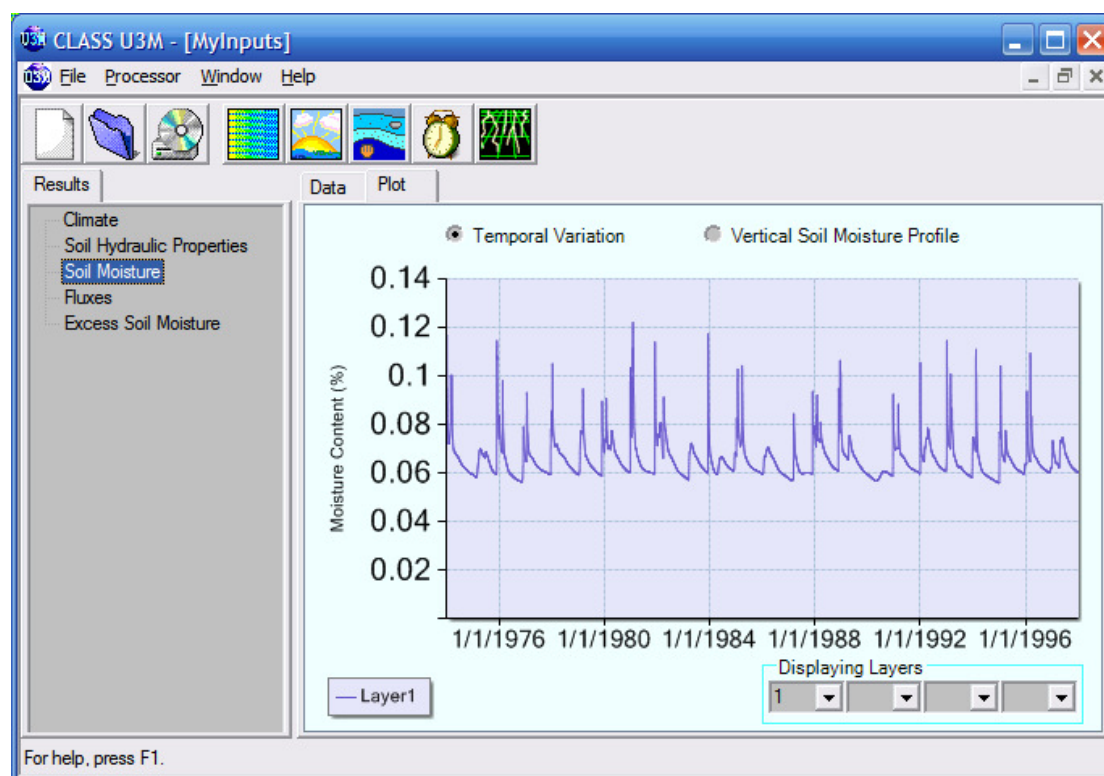


Σχήμα 5.7: Εδαφική εξάτμιση από κάθε στρώση

## 5.4 Εξαγόμενα του προγράμματος

Πλέον μπορούμε να εκτελέσουμε το πρόγραμμα αφού το αρχείο εισόδου και όλες οι απαιτούμενες παράμετροι έχουν καθοριστεί. Τα αποτελέσματα που μας έδωσε παρουσιάζονται παρακάτω:

### A. Εδαφική Υγρασία (Soil Moisture):



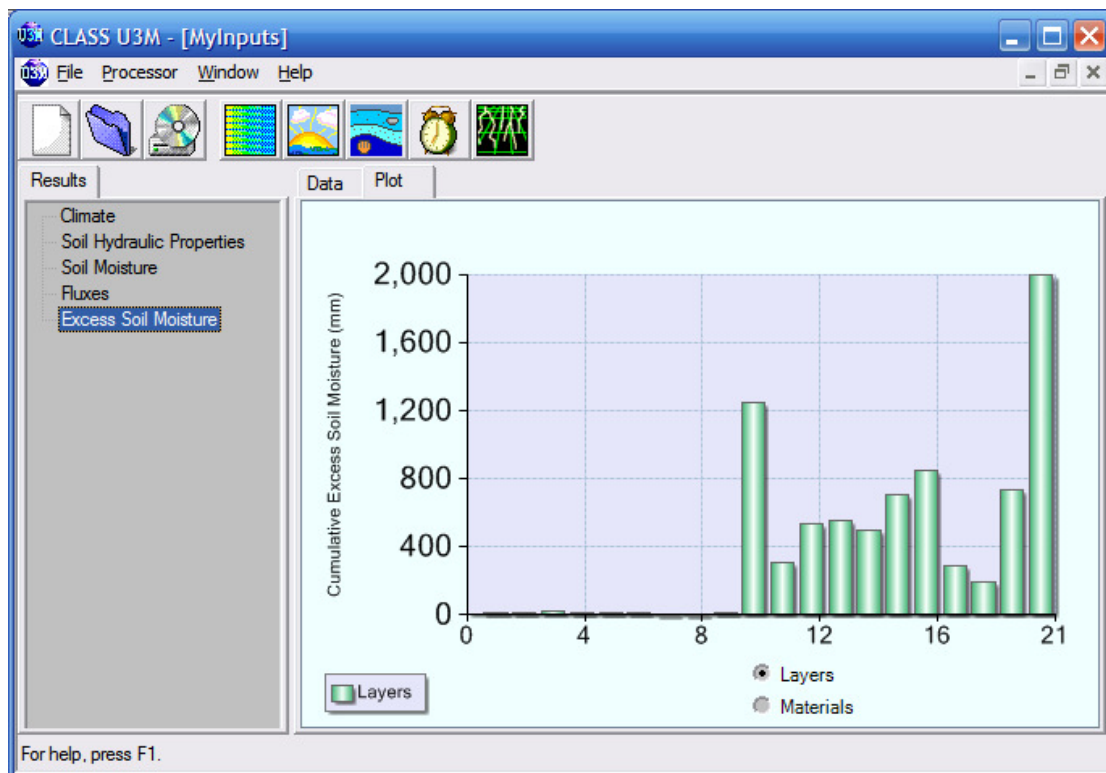
Σχήμα 5.8: Χρονική μεταβολή εδαφικής υγρασίας για τη τελευταία στρώση του υδροφορέα (σε mm)

Αυτή η εδαφική υγρασία αναφέρεται στην τελευταία στρώση του υδροφορέα, δηλαδή στο κατώτερο τμήμα του και την παραθέτουμε ενδεικτικά, μιας και είναι αδύνατο να παρουσιάσουμε διαγραμματικά την εδαφική υγρασία για το σύνολο των 20 στρώσεων. Από το παραπάνω διάγραμμα και τις αριθμητικές τιμές του παρατηρούμε ότι η εδαφική υγρασία στο πρώτο στρώμα έχει τις ίδιες περίπου διακυμάνσεις σε όλα τα έτη.

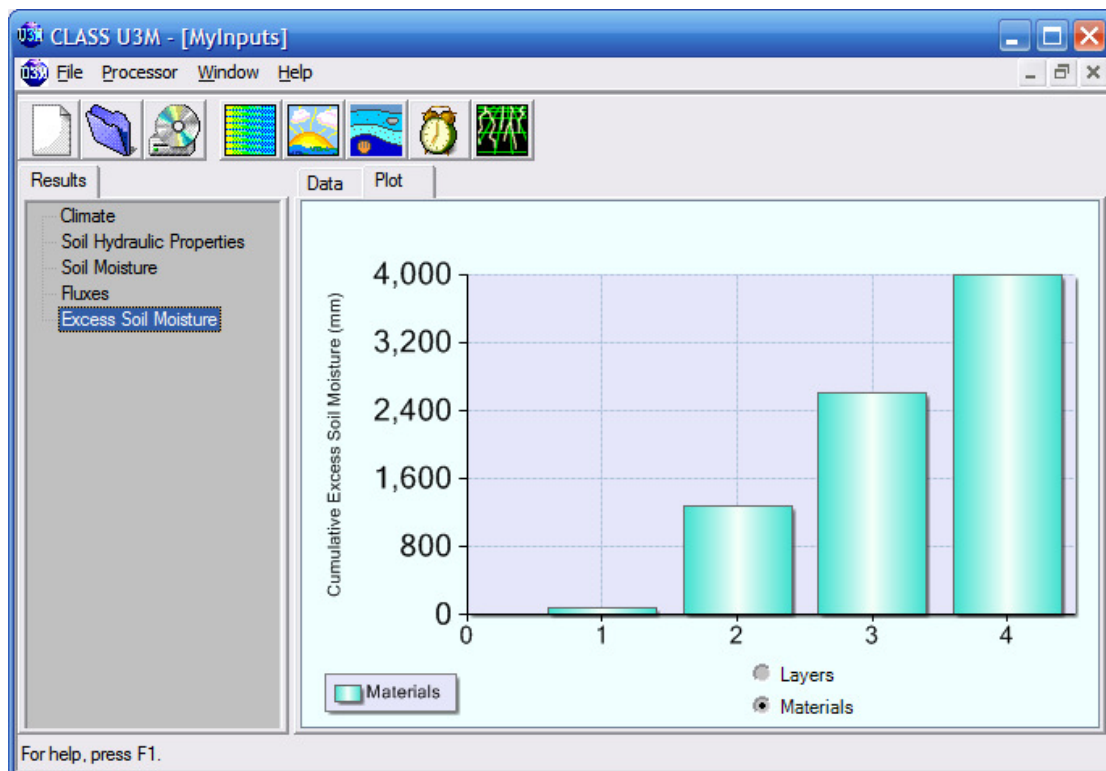
### B. Περίσσεια εδαφικής υγρασίας

Έχουμε 20 στρώσεις και 4 εδαφικά υλικά, για τα οποία η περίσσεια εδαφικής υγρασίας ανά στρώση και ανά εδαφικό υλικό απεικονίζεται στα παρακάτω διαγράμματα. Επίσης όταν η διαθέσιμη εδαφική υγρασία σε μία στρώση ή σε ένα υλικό είναι μεγαλύτερη από το κορεσμένο περιεχόμενο εδαφικής υγρασίας, τότε η περίσσεια εδαφικής υγρασίας υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ του διαθέσιμου και του κορεσμένου περιεχομένου εδαφικής υγρασίας. Ήταν αναμενόμενο, ότι η πρώτη στρώση από την επιφάνεια του εδάφους αλλά και το πρώτο εδαφικό

υλικό έχουν τη μέγιστη περίσσεια εδαφικής υγρασίας. Όσο προχωράμε προς τα κάτω οι τιμές μικραίνουν αρκετά και η μεταβολή τους δεν είναι γραμμική.



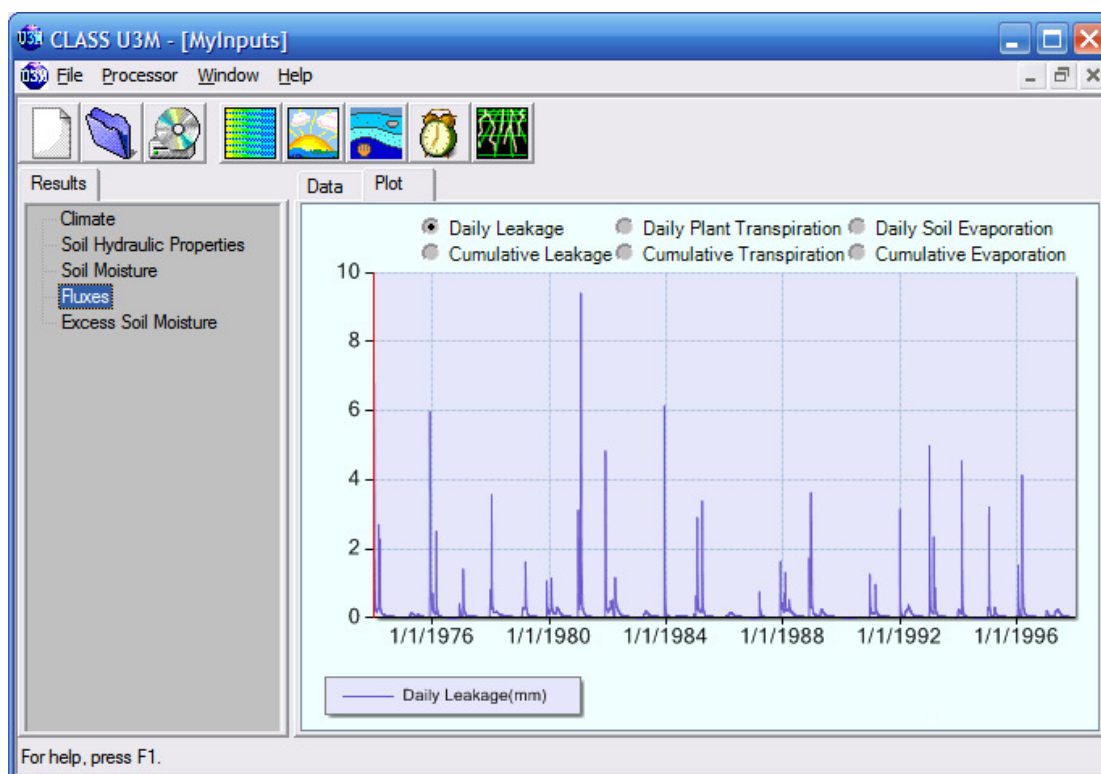
Σχήμα 5.9: Περίσσεια εδαφικής υγρασίας ανά στρώση (layer) σε mm



Σχήμα 5.10: Περίσσεια εδαφικής υγρασίας ανά εδαφικό υλικό σε mm

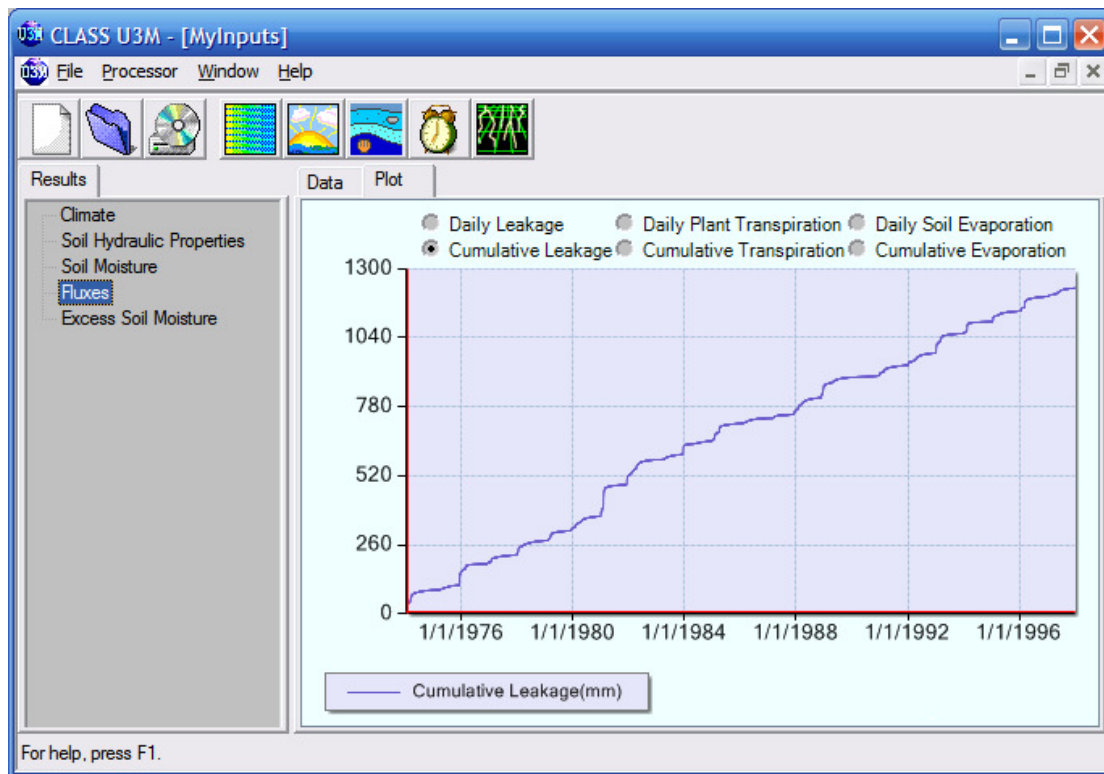
## Γ. Ημερήσια και αθροιστική κατείδυση (daily and cumulative leakage)

Η κατείδυση αποτελεί το κυρίως ζητούμενο αυτού του κεφαλαίου, παρατηρούμε ότι οι ημερήσιες τιμές κατείδυσης κυμάνθηκαν από 0 mm μέχρι και 9 mm περίπου και η μέγιστη ημερήσια κατείδυση παρουσιάστηκε το έτος 1981.



Σχήμα 5.11: Ημερήσια Κατείδυση σε mm (1974 – 1997)

Από την επεξεργασία των ημερήσιων τιμών κατείδυσης που μας έδωσε το πρόγραμμα, υπολογίσαμε τις ετήσιες τιμές αυτών καθώς και την μέση υπερετήσια τιμή κατείδυσης του υδροφορέα μας, Βουρβούλου – Καμαρίου, που πρόεκυψε από τα έτη 1974 έως 1997 ίση με 51,1525 mm , για να μπορέσουμε να κάνουμε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτίμηση της κατείδυσης στο κεφάλαιο 3 και να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα.



Σχήμα 5.12: Ετήσια αθροιστική Κατείδυση σε mm (1974 – 1997)

Πίνακας 5.1: Ετήσιες τιμές κατείδυσης του υδροφορέα Βουρβούλου Καμαρίου (mm) (1974 – 1997)

ΕΤΗΣΙΑ ΤΙΜΗ σε mm	
1974	60,94315
1975	53,13762
1976	68,39292
1977	51,38371
1978	68,8687
1979	23,47353
1980	50,96709
1981	219,2126
1982	54,77138
1983	21,5129
1984	5,820468
1985	52,24336
1986	3,275622
1987	7,38456
1988	134,9099
1989	2,93392
1990	4,91652
1991	20,52785
1992	12,6138
1993	72,44479
1994	30,35019
1995	47,79505
1996	93,60732
1997	68,15197
<b>ΜΕΣΗ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΤΙΜΗ</b>	<b>51,1525</b>

Η τιμή αποτελεί μια εκτίμηση της τροφοδοσίας του υδροφορέα και δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα λόγω των δεδομένων που χρησιμοποιήσαμε. Οι ημερήσιες βροχοπτώσεις δεν αντιστοιχούν στην υπό μελέτη νήσο αλλά στη νήσο Μήλο γεγονός που δημιουργεί αποκλίσεις στα αποτελέσματα από τα πραγματικά. Στην παραμετροποίηση του προγράμματος αναγκαστήκαμε να κάνουμε αρκετές παραδοχές ή να χρησιμοποιήσουμε τιμές που είχε προτεινόμενες το πρόγραμμα επειδή δεν είχαμε ακριβή στοιχεία για τον υδροφορέα. Τέλος η εξατμισοδιαπνοή δεν έχει ληφθεί από εξατμισόμετρα όπως θα έπρεπε αλλά προέκυψε από γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις μηνιαίες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που είχαμε υπολογίσει.

## 5.5 Συμπεράσματα

Όπως βλέπουμε η μέση υπερετήσια τιμή για την κατείσδυση που προέκυψε από τα έτη 1974 – 1997 είναι αρκετά κοντά στην τιμή που βρήκαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο εφαρμόζοντας την εμπειρική μέθοδο των Thornthwaite – Mather για τα έτη 1974 - 2001.

<b>ΜΕΣΗ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΤΙΜΗ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ</b>	
<b>Thornthwaite – Mather (1974-2001)</b>	<b>CLASS U3M-1D (1974-1997)</b>
72,2 mm/έτος	51,2 mm/έτος

Φυσικά δεν έχει νόημα να συγκρίνουμε τις δύο τιμές γιατί δεν έχουν εξαχθεί με τα ίδια εργαλεία και υπό τις ίδιες συνθήκες. Η υπολογιστική μέθοδος που εφαρμόσαμε στο κεφάλαιο αυτό είχε σκοπό να δώσει μια πληρέστερη εικόνα της λειτουργίας του μηχανισμού της τροφοδοσίας του υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου και όχι να συγκριθεί με την εμπειρική μέθοδο Thornthwaite – Mather.

Παρόλα αυτά, η μεταξύ τους απόκλιση οφείλεται σε κάποιους παράγοντες, η υπολογιστική μέθοδος λαμβάνει υπόψη της ημερήσια δεδομένα και για αυτό το λόγο είναι πιο λεπτομερής και πιο ακριβής από την εμπειρική μέθοδο, που χρειάζεται μηνιαίες τιμές και ελάχιστες παραμέτρους για το σύστημα του υδροφορέα, σε σχέση με αυτές που απαιτεί η υπολογιστική μέθοδος. Στη μέθοδο Thornthwaite – Mather χρησιμοποιήσαμε δεδομένα που αναφέρονταν καθαρά στη Θήρα, ενώ στην υπολογιστική εμπλέκονται και δεδομένα της Μήλου, λόγω έλλειψης των αντίστοιχων της Θήρας. Για την εξατμισοδιαπνοή και για την επιφανειακή απορροή λόγω έλλειψης συστηματικής και αξιόπιστης



καταγραφής και αξιολόγησης μετρήσεων υδρολογικών και υδρογεωλογικών παραμέτρων δεν είχαμε ακριβή και αναλυτικά δεδομένα και σίγουρα και αυτό το γεγονός προκάλεσε επιπλέον αποκλίσεις. Η εμπειρική μέθοδος αναφέρεται στη σειρά ετών 1974 – 2001, ενώ η υπολογιστική μέθοδος στη σειρά 1974 – 1997, άρα δημιουργούνται και για αυτό το λόγο μικρές αποκλίσεις.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **Μελλοντικές καιρικές μεταβολές – Σενάρια**

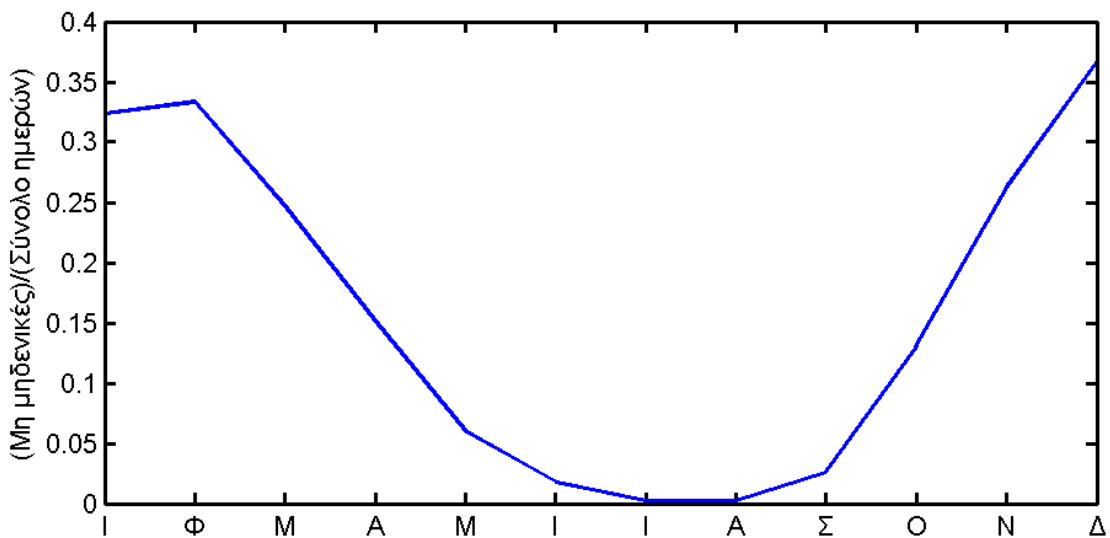
## 6 Μελλοντικές καιρικές μεταβολές – Σενάρια

### 6.1. Προσομοίωση βροχόπτωσης

Το παρόν κεφάλαιο βασίζεται στην αδημοσίευτη εργασία του υποψήφιου διδάκτορα Κουράκου Γ. Έτσι για την προσομοίωση της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από μετεωρολογικό σταθμό της νήσου Μήλου. Τα δεδομένα αποτελούνται από ημερήσιες μετρήσεις κατακρημνίσεων 24ετων από το 1974 έως το 1997, από τον ίδιο σταθμό υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία εξάτμισης που δεν είναι πρωτογενή και μετά από επεξεργασία προκύπτουν δεδομένα ημερήσιας κατανομής εξάτμισης σε βάθος χρόνου ενός έτους.

Για την δημιουργία συνθετικών βροχοπτώσεων τα ημερήσια δεδομένα θεωρούνται ανεξάρτητες μεταβλητές. Επειδή είναι πολλές οι μηδενικές καταγραφές δεν είναι δυνατή η προσαρμογή κάποιων κατανομών για αυτό χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι μη μηδενικές καταγραφές βροχοπτώσεων για την προσαρμογή των κατανομών. (υποψήφιος διδάκτορας, Κουράκος Γ.,)

Στο παρακάτω σχήμα 6.1 παρουσιάζεται η αναλογία υγρών ημερών ανά σύνολο ημερών για κάθε μήνα με βάση το δείγμα των 24 ετών. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε ήταν αφού διαχωρίστηκαν οι υγρές μέρες και για κάθε μήνα προσαρμόστηκαν διάφορες κατανομές με σκοπό να επιλεγεί η καταλληλότερη. Για κριτήριο επιλογής της κατανομής χρησιμοποιήθηκε ο αρνητικός λογάριθμος πιθανότητας  $-\log L$  (negative log likelihood). Ο  $-\log L$  κυμαίνεται από 0 έως  $-\infty$ . Όσο πιο κοντά στο μηδέν είναι οι τιμές του  $-\log L$  τόσο καλύτερα προσαρμοσμένη είναι μια κατανομή πάνω στα δεδομένα.



Σχήμα 6.1 : Αναλογία υγρών ημερών ανά σύνολο ημερών ανά μήνα

Στους παρακάτω πίνακες 6.1, 6.2, 6.3, παρουσιάζονται οι τιμές του  $-\log L$  για κάθε μήνα και κάθε κατανομή που εξετάστηκε. Η τιμή με έντονη γραφή αντιστοιχεί στην κατανομή που επιλέχτηκε ως αντιπροσωπευτική για τον κάθε μήνα.

**Πίνακας 6.1:** Τιμές  $-\log L$  για διάφορες κατανομές ανά μήνα

Κατανομή	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ
Extreme value	-979.855	-847.871	-738.86	-462.564
Exponential	-707.292	-624.908	-533.09	-281.016
Gamma	-696.299	-620.071	-522.143	-270.005
Lognormal	-698.908	<b>-617.001</b>	-521.388	<b>-262.695</b>
Normal	-879.139	-769.991	-662.86	-387.697
Weibull	<b>-693.788</b>	-617.97	<b>-520.218</b>	-266.662

**Πίνακας 6.2:** Τιμές  $-\log L$  για διάφορες κατανομές ανά μήνα

Κατανομή	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ
Extreme value	-192.402	-55.556	-2.720	-4.733
Exponential	-126.569	-41.192	-3.335	-4.447
Gamma	-119.826	-38.959	-2.640	-4.412
Lognormal	<b>-115.117</b>	<b>-38.669</b>	-2.834	-4.614
Normal	-172.143	-51.212	-2.928	-4.942
Weibull	-117.702	-38.779	<b>-2.626</b>	<b>-4.406</b>

**Πίνακας 6.3:** Τιμές  $-\log L$  για διάφορες κατανομές ανά μήνα

Κατανομή	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Extreme value	-65.119	-471.405	-794.977	-1141.61
Exponential	-52.690	-316.109	-608.462	-816.456
Gamma	<b>-52.485</b>	-306.361	-593.898	-801.237
Lognormal	-52.539	<b>-300.317</b>	-592.024	-804.139
Normal	-59.509	-416.363	-735.587	-1004.88
Weibull	-52.554	-302.78	<b>-591.732</b>	<b>-798.933</b>

Η κατανομή που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα είναι η Weibull για τους μήνες Ιανουάριος, Μάρτιος, Ιούλιος, Αύγουστος, Νοέμβριος, και Δεκέμβριο.

Κατανομή Weibull

$$f(x) = ba^{-b}x^{b-1}e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} I_{(0,\infty)}(x)$$

όπου  $a$  είναι η παράμετρος κλίμακας και  $b$  η παράμετρος σχήματος. Ενώ για τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο και Οκτώβριο, η λογαριθμοκανονική (lognormal) κατανομή προσαρμόστηκε καλύτερα στα δεδομένα.

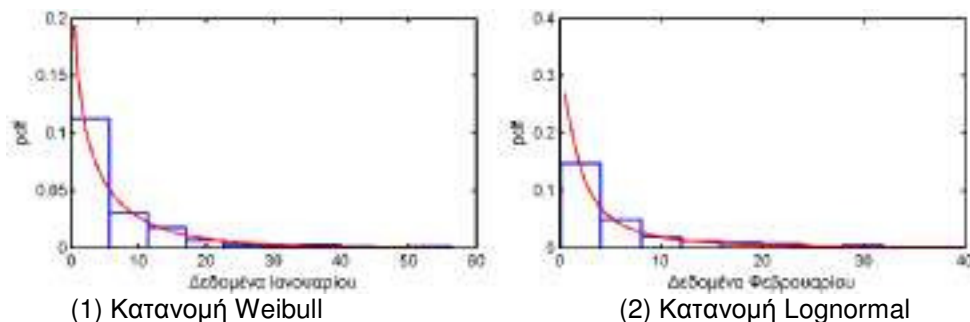
$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

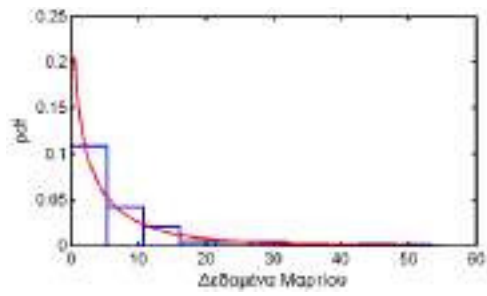
όπου  $\mu$  είναι ο μέσος όρος και  $\sigma$  η τυπική απόκλιση του λογάριθμου  $x$ . Τέλος η κατανομή Gamma προσαρμόστηκε καλύτερα στα δεδομένα του μήνα Σεπτεμβρίου.

$$f(x) = \frac{1}{b^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{b}}$$

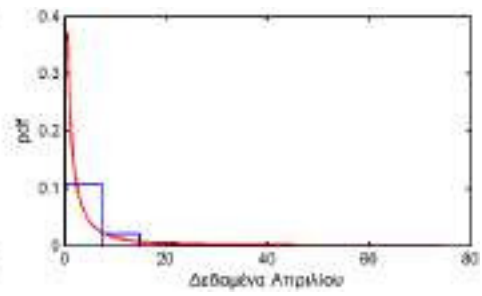
όπου  $a$  είναι η παράμετρος σχήματος και  $b$  η παράμετρος κλίμακας

Στην παρακάτω εικόνα 6.2 παρουσιάζονται γραφικά οι προσαρμογές των επιλεγμένων κατανομών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο καμία κατανομή δεν μπορεί να προσαρμοστεί κατάλληλα γιατί το δείγμα των υγρών ημερών είναι πολύ μικρό. Συγκεκριμένα στα 24 χρόνια καταγραφών μόνο 2 ημέρες ανά μήνα καταγράφηκαν ως βροχερές.

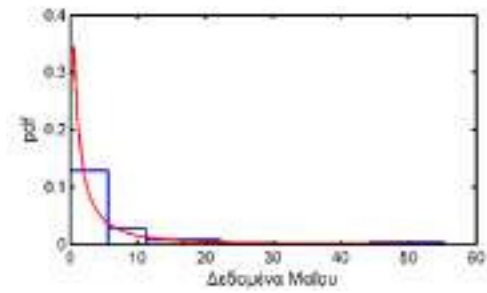




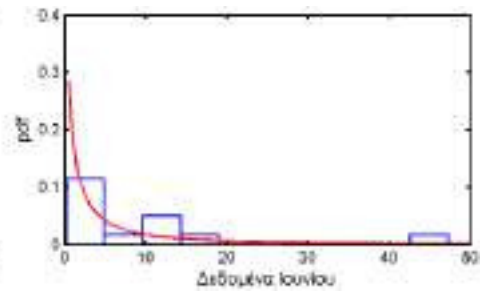
(3) Κατανομή Weibull



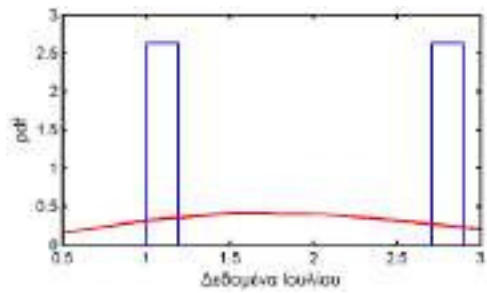
(4) Κατανομή Lognormal



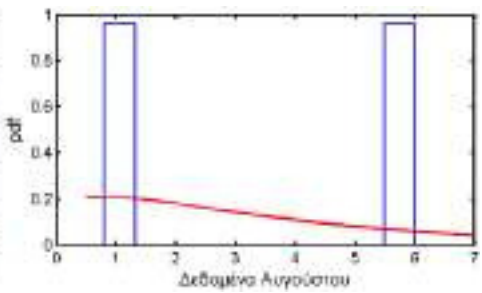
(5) Κατανομή Lognormal



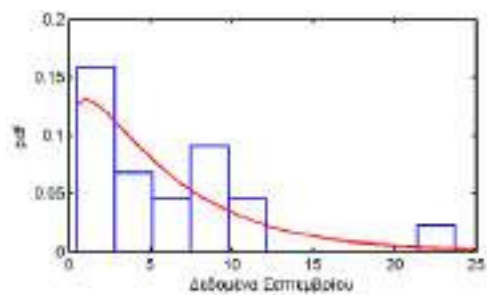
(6) Κατανομή Lognormal



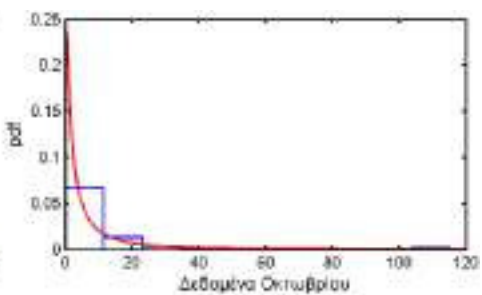
(7) Κατανομή Weibull



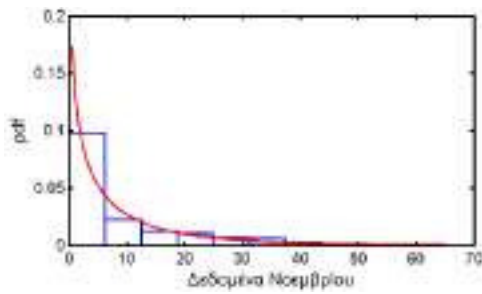
(8) Κατανομή Weibull



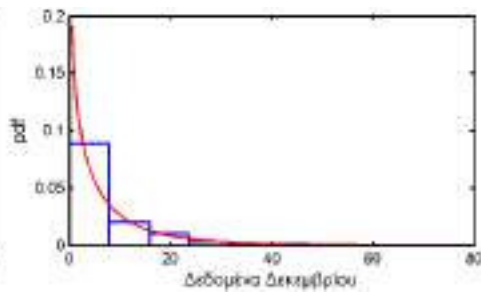
(9) Κατανομή Gamma



(10) κατανομή Lognormal



(11) Κατανομή Weibull



(12) Κατανομή Weibull

**Εικόνα 6.2:** Γραφική παράσταση κατανομών με  $\min(-\log L)$  για κάθε μήνα (υποψήφιος διδάκτορας, Κουράκος Γ.,)

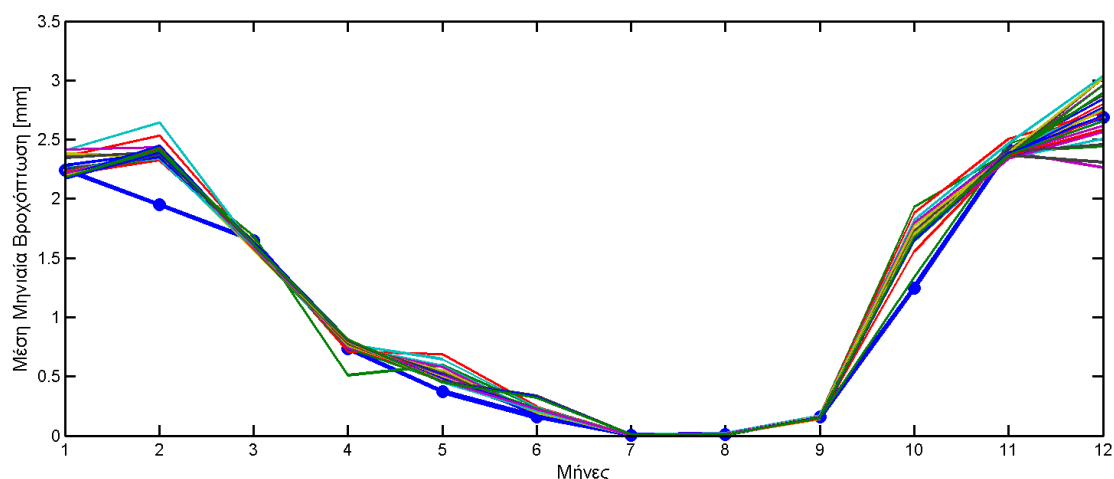
Τέλος στον πίνακα 6.4 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων  $\theta_1$  και  $\theta_2$  για κάθε μήνα. Όλες οι κατανομές που επιλέχθηκαν είναι διπαραμετρικές. Έτσι στην περίπτωση των κατανομών Weibull και Gamma,  $\theta_1 = \alpha$  και  $\theta_2 = b$  ενώ στην περίπτωση της Lognormal  $\theta_1 = \mu$  και  $\theta_2 = \sigma$ .

**Πίνακας 6.4:** Τιμές παραμέτρων των κατανομών για κάθε μήνα

Μήνας	$\theta_1$	$\theta_2$
Ιανουάριος	5.988	0.786
Φεβρουάριος	1.006	1.360
Μάρτιος	5.643	0.763
Απρίλιος	0.564	1.540
Μάιος	0.682	1.597
Ιούνιος	0.990	1.829
Ιούλιος	2.216	2.254
Αύγουστος	3.606	1.191
Σεπτέμβριος	1.210	4.868
Οκτώβριος	1.246	1.547
Νοέμβριος	7.577	0.738
Δεκέμβριος	6.256	0.771

Για την δημιουργία των συνθετικών ημερήσιων βροχοπτώσεων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία, για κάθε ημέρα δημιουργείται ένας τυχαίος αριθμός  $r$  στο διάστημα  $[0,1]$ . Αν ο αριθμός  $r$  είναι μικρότερος ή ίσος από την αναλογία υγρών/σύνολο ημερών  $r_{wet}$  (Σχήμα 6.1) για τον μήνα για τον οποίο δημιουργείται η συνθετική τιμή βροχόπτωσης τότε, με βάση την κατανομή που αντιστοιχεί στον μήνα γεννιέται μια τυχαία τιμή βροχόπτωσης η οποία θα ακολουθεί την κατανομή των υγρών ημερών για τον συγκεκριμένο μήνα. Αν ο τυχαίος αριθμός  $r > r_{wet}$  είναι μεγαλύτερος από την αναλογία  $r_{wet}$  τότε η τιμή της βροχόπτωσης γίνεται μηδέν.

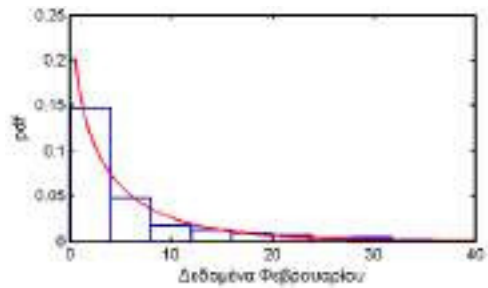
Στην εικόνα 6.3 παρουσιάζονται γραφικά οι μέσες τιμές βροχόπτωσης ανά μήνα 30 συνθετικών χρονοσειρών όπως προέκυψαν μετά από προσομοίωση για περίοδο 24 ετών από 1-1-74 έως 31-12-97. Στο ίδιο γράφημα παρουσιάζεται με παχιά μπλε γραμμή και κύκλους η πραγματικές μέσες τιμές. Για περισσότερους μήνες οι συνθετικές χρονοσειρές δίνουν τιμές, πολύ κοντά στις πραγματικές. Για τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο και Οκτώβριο παρατηρείται κάποια σημαντική διαφορά. Ιδιαίτερα τον μήνα Φεβρουάριο παρατηρείται ότι στις συνθετικές χρονοσειρές η μέση βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από αυτήν του Ιανουαρίου, το οποίο είναι αντίθετο με τα πραγματικά δεδομένα. Χαρακτηριστικό για μήνες είναι ότι ενώ ο Φεβρουάριος έχει λίγο μεγαλύτερο ποσοστό υγρών ημερών σε σχέση με τον Ιανουάριο, το μέσο ύψος βροχής του τελευταίου μήνα είναι μεγαλύτερο. Επίσης παρατηρείται ότι για τους μήνες στους οποίους παρατηρείται διαφορά η κατανομή που έχει επιλεγεί με βάση το κριτήριο  $-\log L$  είναι η Lognormal.



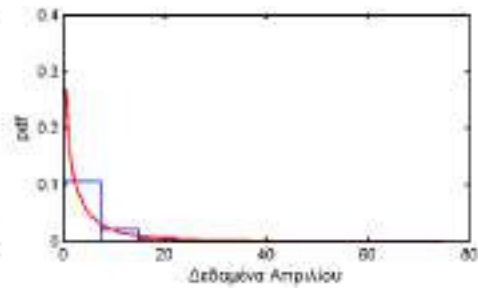
**Εικόνα 6.3:** Μηνιαίες μέσες τιμές 30 συνθετικών βροχοπτώσεων που προέκυψαν από προσομοίωση 24 ετών. Η μπλε γραμμή με κύκλους αντιστοιχεί στις πραγματικές μέσες τιμές



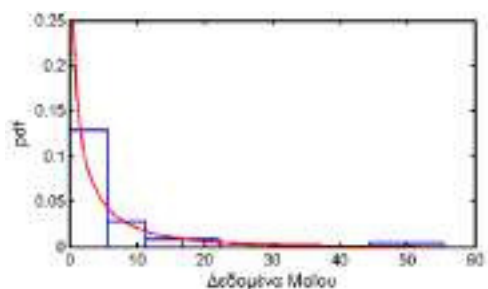
Έτσι για αυτούς τους μήνες η κατανομή αντικαταστάθηκε από την Weibull η οποία έχει δώσει τις αμέσως μεγαλύτερες τιμές. Στην εικόνα 6.4 παρουσιάζεται η προσαρμογή της κατανομής Weibull για τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο και Οκτώβριο.



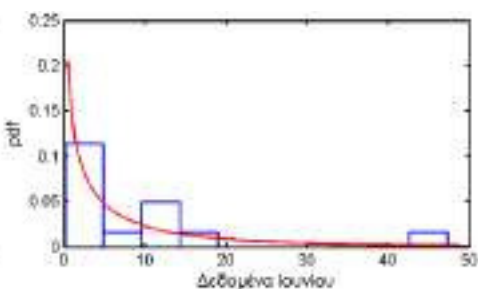
(1)Κατανομή Weibull



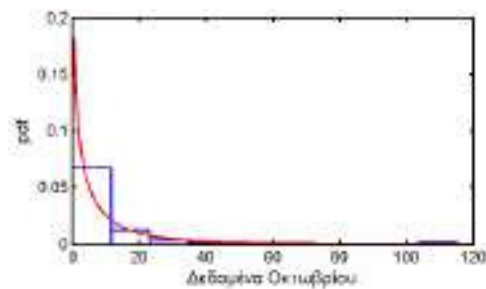
(2) Κατανομή Weibull



(3)Κατανομή Weibull



(4) Κατανομή Weibull



(4) Κατανομή Weibull

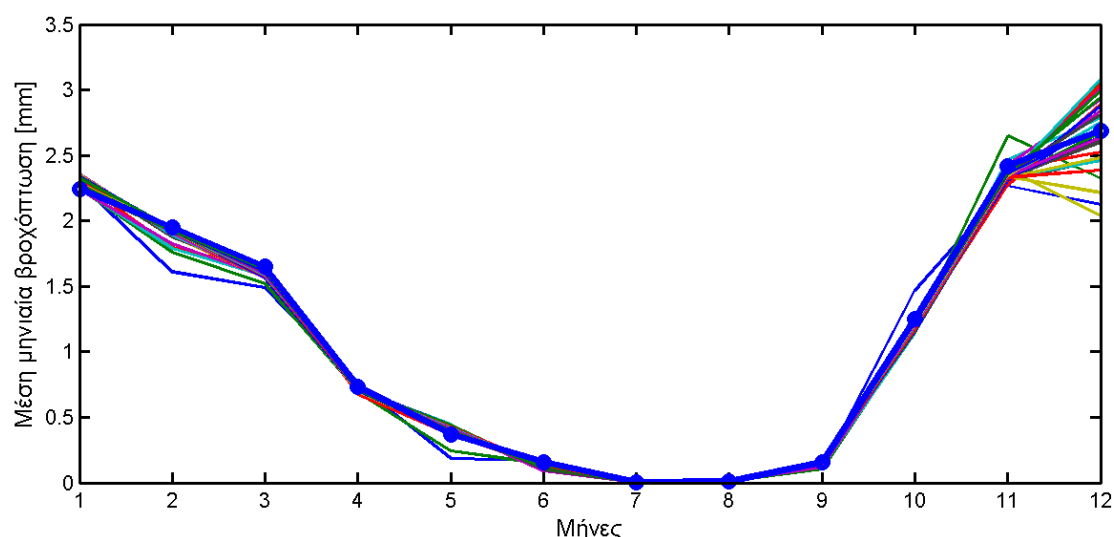
**Εικόνα 6.4:** Προσαρμογή κατανομής Weibull για τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο και Οκτώβριο.

Ενώ οι τιμές των παραμέτρων που προέκυψαν για κάθε μήνα δίνονται στον πίνακα 6.5

**Πίνακας 6.5:** Τιμές παραμέτρων κατανομών για τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο και Οκτώβριο.

Μήνας	$\theta_1$	$\theta_2$
Φεβρουάριος	5.272	0.835
Απρίλιος	3.748	0.706
Μαΐος	4.349	0.663
Ιούνιος	6.387	0.650
Οκτώβριος	7.345	0.707

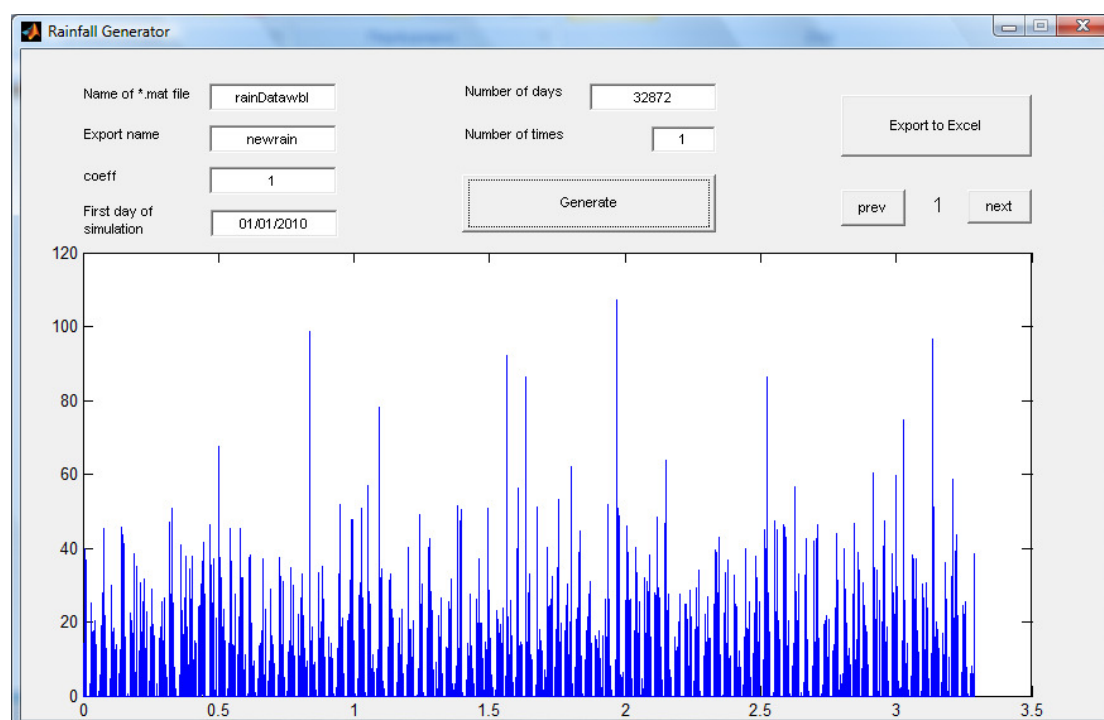
Με βάση τις διορθωμένες τιμές και την εφαρμογή των νέων κατανομών για κάθε μήνα, επαναλήφθηκε η προσομοίωση των συνθετικών χρονοσειρών όπως περιγράφηκε παραπάνω. Στην εικόνα 6.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Είναι φανερό ότι με την χρήση της κατανομής Weibull για τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο και Οκτώβριο οι συνθετικές βροχοπτώσεις πλησιάζουν πολύ περισσότερο την πραγματική. (υποψήφιος διδάκτορας, Κουράκος Γ.,)



**Εικόνα 6.5:** Μηνιαίες μέσες τιμές 30 συνθετικών βροχοπτώσεων που προέκυψαν από προσομοίωση 24 ετών χρησιμοποιώντας κυρίως κατανομή Weibull. Η μπλε γραμμή με κύκλους αντιστοιχεί στις πραγματικές μέσες τιμές. (υποψήφιος διδάκτορας, Κουράκος Γ.,)

## 6.2. Δημιουργία χρονοσειρών βροχόπτωσης - Rainfall Generator GUI (RGG)

Για την δημιουργία χρονοσειρών βροχόπτωσης συντάχθηκε σε περιβάλλον MATLAB από τον υποψήφιο διδάκτορα, Κουράκο Γ., το πρόγραμμα **Rainfall Generator GUI (RGG)**, το κύριο παράθυρο του προγράμματος φαίνεται στην εικόνα 6.6



Εικόνα 6.6 : Κύριο παράθυρο προγράμματος rainfall

Αρχικά πρέπει να ετοιμάσουμε έναν πίνακα με την χρήση του MATLAB, η δομή του πίνακα είναι κυψελοειδής με διαστάσεις  $12 \times 5$ , το όνομα του οποίου εισάγεται στο πεδίο "Name of \*.mat file". Στο πεδίο "Export name" εισάγεται το όνομα του αρχείου το οποίο θα περιλαμβάνει τις συνθετικές βροχοπτώσεις. Στο πεδίο "coeff" μπορούμε να βάλουμε τιμές από 0.6 έως 1, συντελεστής ο οποίος πολλαπλασιάζεται με τον λόγο των υγρών ημερών ανά σύνολο ημερών για κάθε μήνα με βάση το δείγμα των 24 ετών. Έτσι μπορούμε να δημιουργήσουμε σενάρια συνθετικών βροχοπτώσεων για τις μελλοντικές καιρικές μεταβολές που προκύπτουν από προσομοίωση 24 ετών χρησιμοποιώντας κυρίως κατανομή Weibull.

Στο πεδίο "first day of simulation" δίνεται η πρώτη ημέρα των συνθετικών χρονοσειρών. Στα επόμενα δυο πεδία εισάγεται ο

συνολικός αριθμός ημερών των συνθετικών χρονοσειρών και ο αριθμός των χρονοσειρών που θα δημιουργηθούν για την ίδια περίοδο.

Αφού συμπληρώσουμε όλα αυτά τα πεδία πατώντας “generate” δημιουργούνται οι χρονοσειρές και οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις τους. Υπάρχει η δυνατότητα να σωθούν τα δεδομένα σε φύλλο εργασίας Excel ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα για τον υπολογισμό της τροφοδοσίας του υδροφορέα.

Έτσι δημιουργούμε δέκα σενάρια συνθετικών βροχοπτώσεων για την περίοδο από 1/1/2010 έως 31/12/2099 για κάθε τιμή του «Coeff». Για τον συντελεστή «Coeff» πήραμε τιμές 0.7, 0.8, 0.9 και 1. Τα αποτελέσματα τα αποθηκεύσαμε σε φύλλα εργασίας Excel ώστε για το καθένα από τα 40 σενάρια συνθετικών βροχοπτώσεων να βρούμε την κατείσδυση.

### **6.3 Προσομοίωση κατείσδυσης - WTRBLN**

Το επόμενο στάδιο είναι ο υπολογισμός της τροφοδοσίας του υπόγειου υδροφορέα, για τον υπολογισμό της χρησιμοποιήθηκαν το μοντέλο WTRBLN (Donker 1987) που συντάχτηκε από τον υποψήφιο διδάκτορα, Κουράκος Γ.

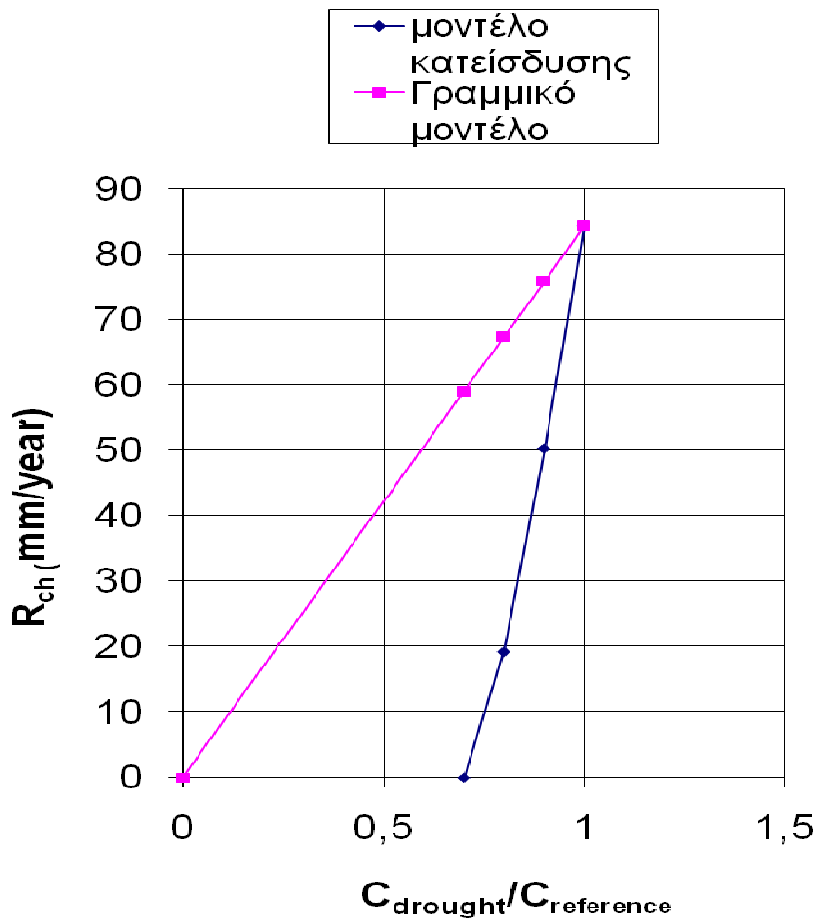
Το πρόγραμμα WTRBLN (Donker, 1987) υπολογίζει το υδατικό ισοζύγιο με βάση μακροχρόνιους μηνιαίους μέσους όρους κατακρημνίσεων και δυναμικής εξατμισοδιαπνοής λαμβάνοντας υπόψιν χαρακτηριστικά εδαφών και βλάστησης. Τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος αποτελούνται από μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης, δυναμικής εξατμισοδιαπνοής, επιφανειακής απορροής η οποία θα πρέπει να οριστεί ως ποσοστό της συνολικής διαθέσιμης απορροής και τέλος η τιμή της διαθέσιμης υδατοϊκανότητας της εδαφικής κατατομής η οποία υπολογίζεται ως διαφορά μεταξύ της υδατοϊκανότητας και του σημείου μάρανσης. Οι υπολογισμοί στο πρόγραμμα γίνονται με τη μέθοδο Thornthwaite – Mather.

Τις ημερήσιες μετρήσεις τις μετατρέψαμε σε μηνιαίες και ύστερα προέκυψε μια μέση μηνιαία τιμή βροχόπτωσης (σε mm) για κάθε μήνα για την περίοδο 2010 έως 2099. Επειδή είναι αδύνατο να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα αναλυτικά και για τα 40 σενάρια συνθετικών βροχοπτώσεων παραθέτουμε στον παρακάτω πίνακα 6.6 την τιμή της κατείσδυσης για κάθε σενάριο που υπολογίσαμε μέσω του προγράμματος WTRBLN.

**Πίνακας 6.6:** Τροφοδοσία του υδροφορέα για το κάθε σενάριο συνθετικής βροχόπτωσης μέσω του WTRBLN

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
<b>0.7</b>	0 (mm)	0 (mm)	0 (mm)	0 (mm)	0 (mm)	0 (mm)	0 (mm)	0 (mm)	0 (mm)	0 (mm)	<b>0</b> <b>(mm)/</b> <b>έτος</b>
<b>0.8</b>	16,35 (mm)	19,09 (mm)	21,74 (mm)	13,59 (mm)	17,41 (mm)	28,9 (mm)	16,17 (mm)	23,8 (mm)	15,11 (mm)	19,52 (mm)	<b>19,168</b> <b>(mm)/</b> <b>έτος</b>
<b>0.9</b>	65,34 (mm)	50,22 (mm)	65,40 (mm)	49,7 (mm)	48,35 (mm)	39,66 (mm)	44,84 (mm)	41,55 (mm)	41,34 (mm)	56,6 (mm)	<b>50,3</b> <b>(mm)/</b> <b>έτος</b>
<b>1</b>	82,9 (mm)	84,13 (mm)	81,83 (mm)	78,76 (mm)	90,37 (mm)	92,16 (mm)	86,92 (mm)	87,68 (mm)	88,94 (mm)	69,1 (mm)	<b>84,279</b> <b>(mm)/</b> <b>έτος</b>

Από τα δεδομένα του πίνακα 6.6 προκύπτει η παρακάτω γραφική παράσταση (εικόνα 6.7). Εάν αναλύσουμε τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι αν αυτή η μείωση βροχής – κατείσδυσης ήταν γραμμική τότε θα προέκυπτε το γραμμικό μοντέλο (με ροζ χρώμα) όμως από τα αποτελέσματα προέκυψε το μοντέλο κατείσδυσης (με μπλε χρώμα) που δείχνει ότι όταν η βροχόπτωση μειώνεται η ποσότητα του υδροφορέα που κατεισδύει δεν μειώνεται γραμμικά αλλά μειώνεται πολύ περισσότερο.



**Εικόνα 6.7:** Διακύμανση κατείσδυσης σε σχέση με τη βροχόπτωση

Είναι αξιοσημείωτο ότι η κατείσδυση μειώνεται μη γραμμικά και απότομα όταν μειωθεί η βροχόπτωση. Όταν μειώσουμε 30% την βροχόπτωση η κατείσδυση μειώνεται 100% γεγονός που δείχνει ότι αν γίνουν πραγματικότητα οι προβλέψεις που έχουν γίνει περί αύξησης της θερμοκρασίας τότε η ποσότητα της βροχής που τελικά θα καταλήγει στον υπόγειο υδροφόρα μας θα είναι από ελάχιστη έως μηδενική.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **Συμπεράσματα - Προτάσεις**

## 7 Συμπεράσματα – Προτάσεις

### 7.1 Γενικά στοιχεία

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης των γεωλογικών υδρολογικών χαρακτηριστικών της νήσου Θήρας μια προσπάθεια ανάλυσης των ποσοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών του υδροφορέα Βουρβούλου - Καμαρίου. Επιχειρήθηκε να προσδιοριστεί το υδατικό ισοζύγιο των εδαφών της με διάφορες μεθόδους προκειμένου να εκτιμήσουμε καλύτερα την ποσότητα της βροχής που τελικά καταλήγει στον υπόγειο υδροφορέα μας.

Επίσης έγινε εκτίμηση της κατείσδυσης, μέσω σεναρίων, για διάφορες μεταβολές της βροχόπτωσης που θα γίνουν στο μέλλον, καθώς δεν υπάρχει πλέον αμφιβολία πως η κλιματική αλλαγή είναι η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα. Αναμένονται ξηρασίες και καύσωνες που θα προκαλέσουν μείωση των βροχοπτώσεων γεγονός που θα έχει επιπτώσεις πολύ σημαντικές που θα οδηγήσουν σε μη αντιστρέψιμη κατάσταση τους υδατικούς πόρους της Ν. Θήρας και θα μειώσουν δραματικά τα αποθέματα νερού.

Γενικά η Σαντορίνη είναι μια περιοχή με μεγάλο τουριστικό ενδιαφέρον. Το κλίμα της είναι άνυδρο, ξερό και έχει μεγάλες ανάγκες σε νερό τόσο για ύδρευση όσο και για άρδευση. Αυτό οφείλεται στην εντυπωσιακή πληθυσμιακή αύξηση που παρουσίασε καθώς είχαμε 41.6% αύξηση του πληθυσμού μέσα σε μια δεκαετία (1991-2001). Επίσης παρατηρείται μία σαφής τάση ενίσχυσης του τριτογενή τομέα καθώς ο Δήμος θήρας διαθέτει ήδη τις περισσότερες επιχειρήσεις από όλα τα νησιά των Κυκλάδων και έχει ήδη 254 ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις.

Όσον αφορά την γεωλογική δομή του νησιού καλύπτεται ως επί το πλείστον από διάφορα ηφαιστειακά πετρώματα νεότερης ηλικίας, όπως λαβες, προκλασικά υλικά, κίσηρη, τέφρες και άλλα ενώ μικρό μόνο τμήμα του νησιού καλύπτεται από μεταμορφωμένους σχηματισμούς όπως φυλλίτες και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους. Από αυτούς τους σχηματισμούς υδρογεωλογικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι σχηματισμοί της κίσηρης γιατί σε αυτούς αλλά και στον παλαιοεδαφικό ορίζοντα που διαμορφώνεται κάτω από αυτούς αναπτύσσονται οι αξιόλογοι από άποψη υδροδυναμικότητας και ποιότητας νερών υδροφόροι ορίζοντες της θήρας. Ωστόσο υδροφορία αναπτύσσεται τόσο στους τριαδικούς ασβεστόλιθους όσο και στις αλλουβιακές αποθέσεις χωρίς όμως η υδροφορία τους να είναι ιδιαίτερα σημαντική.



## 7.2 Συμπεράσματα από τον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου για τον υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου της Νήσου Θήρας

Για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου στην περιοχή του υδροφορέα μας επιλέξαμε την εμπειρική μέθοδο των Thornthwaite – Mather. Τα απαραίτητα δεδομένα για την εφαρμογή της ήταν η διαθέσιμη υδατοϊκανότητα της εδαφικής κατατομής σε (mm), μηνιαίες τιμές ύψους βροχής σε (mm), επιφανειακής απορροής (%), δυναμικής εξατμισοδιαπνοής σε (mm) καθώς και συντελεστές βλάστησης ( $k_c$ ).

Προσδιορίσαμε τις συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου και ειδικότερα την κατείσδυση στα υπόγεια στρώματα του υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου της νήσου Θήρας, για την χρονική περίοδο 1974-2001 με δυο μεθόδους, με την μέθοδο Thornthwaite – Mather η οποία μας έδωσε 4,2 φορές μεγαλύτερη τιμή από αυτή που υπολογίστηκε με τη χρήση εμπειρικών συντελεστών. Πιο συγκεκριμένα με την μέθοδο Thornthwaite – Mather υπολογίσαμε την κατείσδυση στον υπό μελέτη υδροφορέα ίση με  $2.39 * 10^6 m^3/έτος$  ενώ με τη χρήση εμπειρικών συντελεστών την βρήκαμε ίση με  $0,568 * 10^6 m^3/έτος$ .

Στη συγκεκριμένη μελέτη αποδεχόμαστε τα αποτελέσματα της μεθόδου **Thornthwaite – Mather** καθώς έχει βαθμονομηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια, ενώ από τη μέθοδο με χρήση των εμπειρικών συντελεστών λήφθηκε αυθαίρετα κάποια μέση τιμή της κατείσδυσης για ηφαιστειακά πετρώματα που κατά πάσα πιθανότητα δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα.

Η προσπάθεια προσέγγισης του υδρολογικού ισοζυγίου στην εξεταζόμενη λεκάνη έχει αβεβαιότητες και δύναται να έχει χρηστικότητα μόνο κατ'επίκτηση, για να ήμασταν πιο σίγουροι για τα αποτελέσματα του ισοζυγίου θα έπρεπε να είχαμε τα απαραίτητα στοιχεία που απαιτούνται όπως εξάτμιση από εξατμισόμετρα, μετρήσεις για την επιφανειακή απορροή κ.α.

## 7.3 Συμπεράσματα από την προσομοίωση με μοντέλο εκτίμησης υδατικού ισοζυγίου του υδροφορέα Βουρβούλου - Καμαρίου με το μοντέλο ακόρεστης ροής CLASS U3M-1D

Η μέση υπερετήσια τιμή της κατείσδυσης, όπως υπολογίστηκε μέσω του προγράμματος CLASS U3M -1D για την χρονική περίοδο 1974 - 1997 είναι ίση με 51,2 mm/έτος. Η τιμή αυτή, παρόλο που θα μπορούσε να είναι αποδεκτή, δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα αφού:

- οι ημερήσιες βροχοπτώσεις που χρησιμοποιήθηκαν δεν αντιστοιχούν στη Ν. Θήρα αλλά στη Ν. Μήλο και άρα αυτό δημιουργεί αποκλίσεις στα αποτελέσματα
- δεν είχαμε ακριβείς πληροφορίες για τις παραμέτρους που ζητάει το πρόγραμμα σε κάθε βήμα και δεχθήκαμε σε κάποια στάδια υποθετικές τιμές ή τιμές που πρότεινε ήδη ο κατασκευαστής του
- η εξαμυσοδιαπνοή επίσης δεν έχει ληφθεί από εξαμυσίμετρα όπως θα έπρεπε αλλά υπολογίστηκε με γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις μηνιαίες τιμές δυνητικής εξαμυσοδιαπνοής που είχαμε υπολογίσει

Συγκριτικά με την εμπειρική μέθοδο των Thornthwaite – Mather που εφαρμόστηκε για τα έτη 1974 – 2001 (72,2 mm) η μέση υπερετήσια τιμή για την κατείδυση είναι σχετικά κοντά αν και αυτό δεν είναι ενδεικτικό της αξιοπιστίας της μεθόδου. Η υπολογιστική μέθοδος που εφαρμόσαμε στο 4ο κεφάλαιο είχε σκοπό να δώσει μια πληρέστερη εικόνα της λειτουργίας του μηχανισμού της τροφοδοσίας του υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου και όχι να συγκριθεί με την εμπειρική μέθοδο των Thornthwaite – Mather. Παρόλα αυτά, η μεταξύ τους απόκλιση οφείλεται σε κάποιους παράγοντες, η υπολογιστική μέθοδος λαμβάνει υπόψη της ημερήσια δεδομένα και για αυτό το λόγο είναι πιο λεπτομερής και πιο ακριβής από την εμπειρική μέθοδο, που χρειάζεται μηνιαίες τιμές και ελάχιστες παραμέτρους για το σύστημα του υδροφορέα, σε σχέση με αυτές που απαιτεί η υπολογιστική μέθοδος. Στη μέθοδο Thornthwaite – Mather χρησιμοποιήσαμε δεδομένα που αναφέρονταν στη Θήρα, ενώ στην υπολογιστική εμπλέκονται και δεδομένα της Μήλου, λόγω έλλειψης των αντίστοιχων της Θήρας. Για την εξαμυσοδιαπνοή και για την επιφανειακή απορροή λόγω έλλειψης συστηματικής και αξιόπιστης καταγραφής και αξιολόγησης μετρήσεων υδρολογικών και υδρογεωλογικών παραμέτρων δεν είχαμε ακριβή και αναλυτικά δεδομένα και σίγουρα και αυτό το γεγονός προκάλεσε επιπλέον αποκλίσεις. Η εμπειρική μέθοδος αναφέρεται στη σειρά ετών 1974 – 2001, ενώ η υπολογιστική μέθοδος στη σειρά 1974 – 1997, άρα δημιουργούνται και για αυτό το λόγο μικρές αποκλίσεις.

#### **7.4 Συμπεράσματα από τα σενάρια μελλοντικών καιρικών μεταβολών**

Δεν υπάρχει πλέον αμφιβολία πως η κλιματική αλλαγή είναι η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα. Δεν πρόκειται απλά για ένα «περιβαλλοντικό πρόβλημα» αλλά για μια απειλή με τεράστιες επιπτώσεις σε κάθε τομέα της οικονομικής και κοινωνικής ζωής: φυσικές καταστροφές, μείωση γεωργικής παραγωγής,

ξηρασίες, πλημμύρες, καύσωνες, ασθένειες, μειωμένα αποθέματα νερού, περιβαλλοντικοί πρόσφυγες, ζημιές στις υποδομές, και πολλές άλλες.

Για αυτό από τα ημερήσια δεδομένα βροχής που είχαμε κάναμε προσομοίωση βροχόπτωσης και δημιουργήσαμε χρονοσειρές με το Rainfall Generator GUI (RGG). Μετά φτιάξαμε αρκετά σενάρια, στο κάθε ένα από αυτά μειώσαμε σε κάποιο ποσοστό την βροχόπτωση και υπολογίσαμε την κατείσδυση. Έτσι αναλύοντας τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι όταν η βροχόπτωση μειώνεται η ποσότητα του υδροφορέα που κατεισδύει μειώνεται μη γραμμικά και απότομα. Είναι αξιοσημείωτο ότι όταν μειώσουμε 30% την βροχόπτωση η κατείσδυση μειώνεται 100% γεγονός που δείχνει ότι αν γίνουν πραγματικότητα οι προβλέψεις περί έντονων κλιματικών αλλαγών, αύξησης της θερμοκρασίας και μείωση των βροχοπτώσεων τότε η ποσότητα της βροχής που τελικά θα καταλήγει στον υπόγειο υδροφορέα μας θα είναι από ελάχιστη έως μηδενική.

## **7.5 Συμπεράσματα για την Ν. Θήρα**

### **7.5.1 Γενικά συμπεράσματα**

- Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης εξαρτάται από τις υδραυλικές συνθήκες που επικρατούν. Όταν οι υπόγειοι υδροφορείς είναι παράκτιοι, διευκολύνεται η διείσδυση του αλμυρού νερού. Στη νήσο Σαντορίνη η θάλασσα έχει σε μεγάλο βαθμό διεισδύσει στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα, με αποτέλεσμα να αντλείται ποιοτικά υποβαθμισμένο νερό.
- Η άνιση χρονική και χωρική κατανομή των κατακρημνισμάτων αλλά και των αντλήσεων στη διάρκεια του έτους σε συνδυασμό με τις μειωμένες βροχοπτώσεις και τις εκτεταμένες περιόδους ανομβρίας οδηγούν στην εξασθένηση των υπόγειων υδροφορέων.
- Εξαιτίας της κατασκευής και λειτουργίας μεγάλου αριθμού ξενοδοχείων και ενοικιαζόμενων διαμερισμάτων αλλά και λόγω των γεωργικών δραστηριοτήτων από τους κατοίκους οι ανάγκες σε χρήση νερού είναι ιδιαίτερα αυξημένες.
- Οι υδατικοί πόροι του νησιού παρουσιάζουν ορισμένες ιδιαιτερότητες, τα υδροφόρα στρώματα είναι μικρής υδατικής δυναμικότητας, περιορισμένης έκτασης και αποθηκευτικής ικανότητας και η γεωλογική δομή και το ανάγλυφο του εδάφους

δεν ευνοούν την διήθηση προκαλώντας μεγάλη επιφανειακή απορροή.

- Η διαρκής αύξηση του πληθυσμού αλλά και η εποχιακή αύξηση που συμβαίνει λόγω της ταχείας τουριστικής ανάπτυξης ειδικά τους θερινούς μήνες, έχουν σαν συνέπεια τη μεγάλη ζήτηση νερού για την ικανοποίηση κυρίως υδρευτικών αναγκών, με αποτέλεσμα την εξάντληση των μόνιμων αποθεμάτων.
- Η κακή διαχείριση και η υπεράντληση των υπόγειων νερών για την κάλυψη αρδευτικών και μη αναγκών τα τελευταία χρόνια, έχει καταστήσει αρκετούς υπόγειους υδροφορείς ακατάλληλους για ύδρευση αλλά και για άρδευση.

Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι τα προβλήματα ποιότητας και ποσότητας των υδατικών πόρων στη νήσο Σαντορίνη είναι σημαντικά και εντοπίζονται κυρίως στους υπόγειους πόρους που αποτελούν την κύρια πηγή νερού. Κυρίως είναι προβλήματα υφαλμύρωσης, υποβάθμισης και μείωσης των αποθεμάτων λόγω της μη ορθολογικής διαχείρισης τους και προκαλούνται από τη μεταβολή των υδραυλικών χαρακτηριστικών και καταστάσεων στους υδροφορείς. Αυτές οι υδραυλικές μεταβολές προκαλούν την διείσδυση της θάλασσας και την διαρροή υφάλμυρου νερού από παρακείμενα ή επάλληλα υδροφόρα στρώματα. Αν δεν επέλθουν άμεσες και δραστικές αλλαγές οι υπόγειοι υδροφόροι πολύ σύντομα θα διαθέτουν μόνο τις ετήσια ανανεώσιμες από τις κατεισδύσεις ποσότητες νερού και από αυτές μόνο ένα τμήμα θα είναι εκμεταλλεύσιμο και μάλιστα σε σημαντικό βάθος

### **7.5.2 Ειδικά συμπεράσματα**

- Η δυσκολία και η έλλειψη καταγραφής συστηματικών και μακροχρόνιων μετρήσεων μας οδήγησε στην επιλογή χρήσης των μεθόδων που είχαν φειδωλές απαιτήσεις σε δεδομένα εισόδου, παρόλα αυτά σε κάποιες περιπτώσεις αναγκαστήκαμε να κάνουμε κάποιες παραδοχές επειδή δεν είχαμε ακριβή στοιχεία για τον υδροφόρο.
- Για να ήμασταν ποιοί σίγουροι για τα αποτελέσματα του ισοζυγίου θα έπρεπε να είχαμε πιο ακριβή στοιχεία για την εξάτμιση και την διαπνοή, από εξατμισίμετρα, μετρήσεις για την επιφανειακή απορροή την οποία θεωρήσαμε ίση με το 10% της βροχόπτωσης. Πάρα τις ελλείψεις στοιχείων αποδεχόμαστε τα αποτελέσματα της μεθόδου η οποία προσφέρει μια αρκετά καλή εκτίμηση του νερού που κατεισδύει για να εμπλουτίσει τον υδροφόρο που μελετάμε.

- Κατά την εφαρμογή υπολογιστικής μεθόδου προσδιορισμού της τροφοδοσίας του υδροφορέα Βουρβούλου – Καμαρίου με μοντέλο ακόρεστης ροής, χρησιμοποιήσαμε ημερήσιες βροχοπτώσεις που δεν αντιστοιχούν στην υπό μελέτη νήσο αλλά στη νήσο Μήλο και η εξατμισοδιαπνοή δεν έχει ληφθεί από εξατμισίμετρα όπως θα έπρεπε αλλά προέκυψε από γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις μηνιαίες τιμές δυναμικής εξατμισοδιαπνοής που είχαμε υπολογίσει. Όσον αφορά την παραμετροποίηση του προγράμματος αναγκαστήκαμε να κάνουμε αρκετές παραδοχές ή να χρησιμοποιήσουμε τιμές που είχε προτεινόμενες το πρόγραμμα επειδή δεν είχαμε ακριβή στοιχεία για τον υδροφορέα. Για αυτό τα αποτελέσματα που πρόεκυψαν για τον υπό μελέτη υδροφορέα μας, έχουν αποκλίσεις μεταξύ τους. Όλα αυτά δείχνουν την επείγουσα ανάγκη καταγραφής και μελέτης όλων των παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου της νήσου Θήρας.
- Κατά τη μελέτη της μεταβολής της κατείσδυσης σε σχέση με την βροχόπτωση παρατηρήθηκε ότι η κατείσδυση μειώνεται μη γραμμικά και απότομα όταν μειωθεί η βροχόπτωση. Αξιοσημείωτο είναι ότι όταν μειώσουμε 30% την βροχόπτωση η κατείσδυση μειώνεται 100% γεγονός που δείχνει ότι αν γίνουν πραγματικότητα οι προβλέψεις περί αύξησης της θερμοκρασίας τότε η ποσότητα της βροχής που τελικά θα καταλήγει στον υπόγειο υδροφορέα μας θα είναι από ελάχιστη έως μηδενική.

## 7.6 Προτάσεις - Μέτρα

### 7.6.1 Γενικά

Αν το νερό ήταν άφθονο, τότε δεν θα χρειαζόταν καμιά σοβαρή διαχείριση πέρα από αρδευτικά έργα. Τώρα, όμως, που το νερό βρίσκεται σε προϊούσα σπανιότητα, υπάρχει επείγουσα ανάγκη δημιουργίας ενός αυστηρού και αποτελεσματικού σχεδίου διαχείρισης που να κατευθύνεται βασικά στην αντιμετώπιση των ελλείψεων, με έμφαση την περιστολή της κατανάλωσης και παράλληλα, όπου είναι δυνατόν, στην αύξηση της προσφοράς με έμφαση κυρίως στην αύξηση των δυνατοτήτων αποθήκευσης του νερού. Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι είναι μικρής υδατικής δυναμικότητας, περιορισμένης έκτασης και αποθηκευτικής ικανότητας, τρωτοί σε εξωτερική ρύπανση, στενά

εξαρτώμενοι από ακραίες μεταβολές του υδρολογικού καθεστώτος αλλά και απολύτως απαραίτητοι για την συντήρηση της ζωής και της ανάπτυξης του περιβάλλοντος. Για αυτό απαιτείται να ληφθούν άμεσα και δραστικά μέτρα:

- Άκρως απαραίτητο είναι ένα πρόγραμμα διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων ως βάση για τη λήψη αποφάσεων
- Να γίνει εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού ενώ παράλληλα να ληφθούν μέτρα προστασίας και πρόληψης της υφαλμύρωσης των παράκτιων υδροφορέων με τη σωστή διαχείριση του συνόλου των υδατικών πόρων.
- Σύστημα ελέγχου αποτελεσματικότητας των οργανισμών διαχείρισης του νερού, ελέγχου της ποσότητας άντλησης των δημοτικών και ιδιωτικών γεωτρήσεων και της ποιότητας του νερού.
- Σημαντικά ακριβέστερη γνώση των μετεωρολογικών, υδρολογικών και υδρογεωλογικών παραμέτρων θα προσφέρει η ίδρυση σταθμών που σκοπός τους θα είναι η συστηματική και αξιόπιστη έρευνα, καταγραφή και αξιολόγηση μετρήσεων πρωτογενών στοιχείων.
- Σε μια προοπτική αιεφόρου οικονομίας ύδατος πρέπει να κινηθεί η διαχείριση του υδατικού δυναμικού περιορίζοντας την υπερκατανάλωση στην ύδρευση αλλά κυρίως στην άρδευση.
- Σε περιόδους ξηρασίας πρέπει οι αντλήσεις να ελαττώνονται για την προστασία του υδροφορέα γιατί αλλιώς αντλούνται έως τα όρια τους, αυξάνοντας έτσι πάρα πολύ το βάθος άντλησης και προκαλώντας πάρα πολύ αργή αποκατάσταση του κανονικού υδραυλικού καθεστώτος.
- Ανάλυση των επιπτώσεων των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων
- Η μείωση των πιέσεων από τα αστικά στερεά και υγρά απόβλητα θα επιτευχθεί με την κατασκευή συλλογικών αποχετευτικών συστημάτων, την επεξεργασία και την ασφαλή διάθεση τους και σύγχρονων χώρων υγειονομικής ταφής στερεών αποβλήτων. Οι διάσπαρτες οικιστικές μονάδες και η εποχιακή εγκατάσταση πληθυσμού είναι ένα πρόβλημα που θα πρέπει να λυθεί με την εγκατάσταση ατομικών συστημάτων επεξεργασίας των λυμάτων. Ο εντοπισμός των ευπρόσβλητων στην ρύπανση περιοχών των

υπόγειων νερών θα βοηθήσει στην ορθολογικότερη διαχείριση τους.

- Μέτρηση της κατανάλωσης του νερού καθώς δεν υπάρχει σύστημα μετρήσεων ικανό ούτε καν να δώσει ασφαλή εκτίμηση της πραγματικής κατανάλωσης νερού. Τα πράγματα γίνονται χειρότερα καθώς οι μετρήσεις αφορούν τη γεωργία, εκεί σε αντίθεση με τους άλλους τομείς (ύδρευση, κ.α.) που εξυπηρετούνται από κλειστά δίκτυα παροχής, δεν φαίνεται να υπάρχει καμία άμεση μέτρηση του καταναλισκόμενου νερού, ιδιαίτερα καθώς αυτό κατευθύνεται προς τους επιμέρους καταναλωτές.
- Συστηματικές υδρογεωλογικές μελέτες, που να καθορίζουν το υδατικό ισοζύγιο και το υδατικό δυναμικό κάθε υπόγειου υδροφορέα
- Παρακολούθηση της κατάστασης των υδατικών πόρων ( τις στάθμες, την ποιότητα των υδάτων κ.α. ) καθώς και των προστατευόμενων περιοχών, ιδρύοντας μόνιμο δίκτυο σημείων ελέγχου.
- Μονάδες υψηλού επιπέδου τεχνογνωσίας που θα καλύπτουν όλες τις συνιστώσες της συνδιαχείρισης του συνόλου των υδατικών πόρων (δημιουργία κατάλληλου δικτύου ακαδημαϊκών και άλλων εξειδικευμένων εργαστηρίων).
- Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού και επαναχρησιμοποίηση υδατικών πόρων που προέρχονται από παροχές επιστρεφόμενες από άλλες χρήσεις και εκείνες που προέρχονται από αφαλάτωση θαλασσίου νερού ή υφάλμυρων νερών. Οπωσδήποτε και για τις δύο χρήσεις υπάρχουν προβλήματα εφαρμογής π.χ. για την αφαλάτωση, είναι το κόστος αυτής που εξακολουθεί να είναι υψηλό.
- Κατασκευή υδραυλικών φραγμών γλυκού νερού κοντά στην ακτή, για να είναι δυνατό η στάθμη του υπόγειου νερού να είναι κάτω από αυτήν του επιπέδου της θάλασσας, χωρίς να προκληθεί περαιτέρω διείσδυση του αλμυρού νερού από την πλευρά της θάλασσας. Αυτή περιλαμβάνει τη φυσική διακοπή της υδραυλικής επικοινωνίας των υδροφορέων με τη θάλασσα.
- Συντονισμένη προσπάθεια βελτίωσης του δικτύου ύδρευσης με στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών νερού.
- Διαχείριση της χειμαρρώδους απορροής (συνεκμετάλλευση υπόγειων και επιφανειακών νερών) και εξεύρεση καταλλήλων θέσεων για κατασκευή έργων μεγάλης κλίμακας ικανών να

αποθηκεύουν ποσότητες νερού, οι οποίες μπορούν να αποδίδονται για διάφορες χρήσεις.

- Επιβολή υδατικής πολιτικής και διαχείρισης που θα έχει στόχο την προστασία των υδατικών πόρων από την πρόωρη εξάντληση και υφαλμύριση, προμήθεια με νερό σε επαρκή ποσότητα και όσο το δυνατόν ικανοποιητική ποιότητα, ανάλογα με τις χρήσεις (ύδρευση άρδευση, τουρισμός κ.λ.π.). Δημιουργία προϋποθέσεων για την αντιμετώπιση ακραίων υδρογεωλογικών φαινομένων, σχεδιασμός και εκτέλεση έργων σύλληψης αποθήκευσης και διανομής του νερού, παρέμβαση και διακοπή λειτουργίας υδροληπτικών έργων μη εγκεκριμένων και επιβολή αυστηρών κυρώσεων στους παραβάτες.
- Καθιέρωση κινήτρων για την κατασκευή ιδιωτικών υδροληπτικών έργων για την εκμετάλλευση υπόγειων νερών, τα οποία θα λειτουργούν κάτω από συγκεκριμένες και αυστηρές προδιαγραφές εκμετάλλευσης.
- Η μετατροπή υδατορεμάτων σε οδούς προσπέλασης πρέπει να απαγορευτεί, καθώς με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η επιφανειακή απορροή σε βάρος της κατείσδυσης και της επανατροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων.
- Ευαισθητοποίηση και ενημέρωση του κοινού, που αντιμετωπίζει το θέμα χωρίς επαρκή αντίληψη της κρισιμότητάς του, με σκοπό την αλλαγή των παραδοσιακών στάσεων και αντιλήψεων του ντόπιου πληθυσμού ως προς το περιβάλλον, την προστασία και την ανάπτυξη και γενικότερα την αλλαγή της νοοτροπία τους σε ότι αφορά στη χρήση των πόρων.

Με την εφαρμογή των παραπάνω προτεινόμενων μέτρων μπορεί να επιτευχθούν τα εξής:

- ❖ Προστασία υδατικών πόρων, άνοδος της στάθμης και αναχαίτιση του φαινομένου της υφαλμύρωσης.
- ❖ Περιβαλλοντική προστασία, αναβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών και βελτίωση χαρακτηριστικών τους.
- ❖ Μείωση απωλειών νερού, ελάττωση συνολικών ποσοτήτων χρήσης νερού και αύξηση διαθέσιμων αποθεμάτων.
- ❖ Σταδιακή επαναφορά των υφάλμυρων υδροφορέων και διατήρηση υδρολογικής ισορροπίας υδροφόρων στρωμάτων.



- ❖ Αποτελεσματική άρδευση υψηλής απόδοσης και εξοικονόμηση νερού.
- ❖ Επαναχρησιμοποίηση υδατικών πόρων, αξιοποίηση επιφανειακής απορροής και αύξηση διήθησης.
- ❖ Γνώση υδατικού δυναμικού κάθε υπόγειου υδροφορέα ώστε να μπορεί να εξασφαλιστεί καθεστώς ελεγχόμενης, βιώσιμης και ορθολογικής εκμετάλλευσης και διατήρησης τους.
- ❖ Έτσι θα επιτευχθεί, και θα εξασφαλιστεί η ασφαλής υποδομή για τη συνέχιση της ανάπτυξης της νήσου σε όλους τους τομείς και εκμετάλλευση των παραγωγικών δραστηριοτήτων. Η μάχη της ανάπτυξης θα κερδηθεί στο μέλλον από αυτούς που θα διαθέτουν νερό και θα είναι αυτοί που θα το διαχειρίζονται ορθολογικά.

Όσον αφορά τις έντονες κλιματικές αλλαγές και τη μεταβολή του κλίματος στην Ελλάδα και τα νησιά της πρέπει να ληφθούν μέτρα για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από ξηρασίες και άλλα ακραία καιρικά φαινόμενα. Δεν αρκεί μόνο η λήψη μέτρων μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, γιατί τα ακραία αυτά φαινόμενα οφείλονται και στη φυσική διακύμανση του καιρού και του κλίματος. Επομένως θα εκδηλωθούν οπωσδήποτε και στο μέλλον. Κατά συνέπεια πρέπει:

- Να σχεδιάζουμε την αντιμετώπιση των ξηρασιών και όταν ακόμα βρέχει, αλλά και εκείνη των πλημμυρών και χιονοπτώσεων και όταν ακόμα έχουμε ανομβρία και ξηρασία.
- Να λαμβάνουμε έγκαιρα τα μέτρα και να εκτελούμε τα αναγκαία έργα που εξομαλύνουν τις επιπτώσεις από ξηρασίες, πλημμύρες και άλλα ακραία καιρικά φαινόμενα στις αστικές, γεωργικές και ορεινές περιοχές της χώρας μας.
- Να κατανοήσουμε πως η «βιώσιμη ανάπτυξη» μιας περιοχής δεν επιτυγχάνεται χωρίς την ορθολογική διαχείριση των φυσικών της πόρων.
- Να ενημερώνουμε τους πολίτες πώς να αντιδρούν στα ακραία καιρικά φαινόμενα και τι μέτρα να λαμβάνουν πριν και κατά την εκδήλωση τέτοιων φαινομένων.
- Να γνωστοποιούμε στους πολίτες ότι η φύση επαναφέρει κάθε διατάραξη της ισορροπίας της από τον άνθρωπο με τρόπο βίαιο και ασυγκράτητο. Επομένως, είναι μέγιστο λάθος οι επεμβάσεις μας, π.χ. στις κοίτες των υδατορευμάτων, αφού κάποια χρονιά στο μέλλον, τα πλημμυρικά νερά θα σαρώσουν τα πάντα στο διάβα τους για να ανοίξουν πάλι την κοίτη τους, που καθορίστηκε διαχρονικά από τις γεωμορφολογικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

- Οι πολιτικοί ηγέτες να εξετάζουν τη γνώμη των ειδικών και να μην αλλάζουν τα προγράμματά τους όταν αλλάζουν οι υπουργοί και οι σύμβουλοι ή όταν άλλο κόμμα έρχεται στην εξουσία.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά καθιστούν την ξηρασία ένα πολύ επικίνδυνο ακραίο και έντονο κλιματικό φαινόμενο, στον ορισμό και στα αίτια εκδήλωσής της, στις ξηρασίες του παρελθόντος στη χώρα μας και στην ανάγκη λήψης των απαραίτητων μέτρων για τη διαχείριση πρωτίστως του κινδύνου εμφάνισης ξηρασίας και όχι για τη διαχείριση αυτής μετά την εκδήλωση και την επικράτηση των δυσμενών της επιπτώσεων. Ο σχεδιασμός αντιμετώπισης των επιπτώσεων ενός τέτοιου φαινομένου πρέπει να είναι διαρκής. Ο σχεδιασμός αυτός πρέπει να γίνεται από διεπιστημονική ομάδα ειδικών αφού η ξηρασία είναι η συνισταμένη των αποτελεσμάτων της διατάραξης των μετεωρολογικών, υδρολογικών, αγροτικών και κοινωνικό - οικονομικών συνθηκών μιας περιοχής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Γιαννουλόπουλος Π.**, «Υπόγεια Υδραυλική και Μαθηματικά Μοντέλα στο Αργολικό πεδίο», Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Αθήνα, 2000.
2. **Γκουρνέλλος Θ., Βασιλόπουλος Α. και Ευελπίδου Ν.**, «Μελέτη της διαβρωσιμότητας του αναγλύφου σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής», 1995)
3. **Διαμαντής, Ι.-Πλιάκας, Φ.-Πεταλάς, Χ.**: «Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού υδροφορέα της περιοχής Βαφέικων του Νομού Ξάνθης», (1999)
4. **ΕΘΙΑΓΕ**, (Τριμηνιαία Έκδοση του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας, Τεύχος 24, Απρίλιος-Ιούνιος 2006)
5. **Καλλέργης Γ.**, «Διαχείριση ή “Σοφή Χρήση” των Υπόγειων Νερών». (Προβλήματα αξιοποίησης των υπόγειων νερών με μακρόχρονη προοπτική)», Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Υδρογεωλογίας – Τεχνικής Γεωλογίας, Πάτρα, 2000.
6. **Καρράς Γ.**, «Κλιματική ταξινόμηση της Ελλάδος κατά Thornthwaite», Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 1973
7. **Κατσιούλα Β.**, «Διερεύνηση Υπόγειου Υδατικού Δυναμικού και Προσομοίωση Ποιοτικών Χαρακτηριστικών Υπόγειου Υδροφορέα Νήσου Θήρας», Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα, 2005
8. **Κοζάνης Σ., Χριστοφίδης Α., και Ευστρατιάδης Α.**, Περιγραφή συστήματος διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων «Υδρογνώμων», Σεπτέμβριος 2005
9. **Κουρμούλης Ν.**, «Υδρογεωλογική έκθεση για τις δυνατότητες αξιοποίησης των υφάλμυρων νερών νήσου Θήρας», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, 1987.

10. **Κουρμούλης Ν., Κουρής Χ.,** «Υ/Γ έρευνα Νοτίου Αιγαίου (Κυκλάδες – Δωδεκάνησα). Προτάσεις αξιοποίησης και εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών: Νήσος Θήρα», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, 2002.
11. **Κουτσογιάννης, Δ., Ανδρεαδάκης Α., και Μαμάσης Ν.,** ΟΔΥΣΣΕΥΣ: Πληροφοριακό σύστημα για την προσομοίωση και διαχείριση υδροσυστημάτων, 15η συνάντηση Ελλήνων χρηστών του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (G.I.S.) ArcInfo - ArcView - ArcIMS, Αθήνα, Marathon Data Systems, 2005.
12. **Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ.,** «Τεχνική Υδρολογία», Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας υδατικών πόρων, Αθήνα, 1999
13. **Κουτσογιάννης Δ.,** «Υδρομετεωρολογία - Εξάτμιση και διαπνοή» Τομέας Υδατικών Πόρων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2000
14. **Κοψιάτης Γ.,** «Προσομοίωση παράκτιων υδροφορέων με τρισδιάστατα μοντέλα μεταβλητής πυκνότητας – Εφαρμογή σε υδροφορέα της Ν. Θήρας», Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Ε.Μ.Π., Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα, 2005.
15. **Μαντόγλου Α., Γιαννουλόπουλος Π.,** «Βελτιστοποίηση αντλήσεων παράκτιων υδροφορέων για πρόληψη υπαλμύρωσης», Πρακτικά Συμποσίου «Αιγαίο – Νερό – Βιώσιμη ανάπτυξη», Πάρος, 2001.
16. **Μαντόγλου Α., Κουράκος Γ.,** «Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου ανάλυσης παράκτιων υδροφορέων», Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης 2000-2006: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα, Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα, Τεύχος 4β, Αθήνα, 2005.
17. **Μαντόγλου Α.,** «Προσομοίωση και διαχείριση παράκτιων υδροφορέων» Διαχείριση φυσικών καταστροφών, Ημερίδα, Δεκέμβριος 2007

18. **Μιμίκου Μ. Α.**, «Οι υδατικοί πόροι στην Ελλάδα. Παρούσα κατάσταση και προοπτικές», Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Αθήνα.
19. **Ναλμπάντης Ι.**, «Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων», Ε.Μ.Π., Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα, 2007.
20. **Νάνου Α.**, «Εισαγωγή στα Υπόγεια Νερά », Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Αθήνα, 2005.
21. **Νικολή Ρ.**, «Διερεύνηση Υδάτινου Δυναμικού Υπόγειου Υδροφορέα Εμπορείου – Περίσσης Ν. Θήρας», Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα, 2005.
22. **Περγαλιώτης Π., Παπαδάκου Σ.**, «Τα υφάλμυρα υπόγεια νερά της Ελλάδας και οι γενεσιουργές αιτίες τους», (1998), Υδρογεωλόγοι του ΥΠ.ΓΕ.
23. **Τσακίρης Γ.**, «Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία», Ε.Μ.Π., Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα, 1995
24. **Τσακίρης Γ.**, «Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός και Διαχείριση – Τόμος ΙΙ: Εγγειοβελτιωτικά Έργα», Κεφάλαιο 6: Ανάγκες σε Νερό για Άρδευση, Κερκίδης και Τσακίρης, Αθήνα, 2006.
25. **Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.**, Χωροταξική μελέτη Ν. Αιγαίου, 1997
26. **Χαρμανίδης Φ.**, «Ελλειμματικό Υδατικό Ισοζύγιο στα νησιά των Κυκλάδων - Επιτακτική ανάγκη ολοκληρωμένης υδατικής πολιτικής και Διαχείρισης (Το παράδειγμα της Πάρου)», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, 2001.

## Ξένη Βιβλιογραφία

1. **Donker, N. H. W. (1987).** Wtrbln: A computer program to calculate water balance. "Computers & Geosciences, 13(2), 95 – 122
2. **Mantoglou A. and P. Giannouloupoulos,** «*Sustainable Yield of Coastal Aquifers Using Simulation and Optimization: Application to Santorini Island*», International Conference "Protection and Restoration of the Environment VII", Mykonos, Greece, 2004.
3. **Miller C., Williams G., Hill C., Kelley C., Tocci M.,** «*Robust Solution of Richards' Equation for Non – Uniform Porous Media*», Department of Environmental Sciences and Engineering, University of North Carolina, 1995.
4. **NAMA,** «Coordinated actions within the field of the environment on the islands of Santorini and Thirasia in Greece», Preliminary technical study, volume 4 water resources, April 1998
5. Bear J., «*Seawater Intrusion in Coastal Aquifers – Concepts, Methods and Practices*», Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 1999.
6. **Pliakas F., Voudouri A., Diamantis I., Kallioras A.,** «*Modern Considerations and Techniques and Current Scientific Activities for the Management of Aquifer Recharge in Greece and Worldwide*», IWRM-WB , 2005.
7. **Reilly T., A. Goodman,** «*Quantitative analysis of saltwater – freshwater relationships in groundwater systems – a historical perspective*», U.S. Geological Survey, Polytechnic Institute of New York, Brooklyn, 1985.
8. **Therrien R., R. G. McLaren, E. A. Sudicky,** «*Hydrogeosphere – A Three Dimensional Numerical Model Describing Fully – Integrated Subsurface and Surface Flow and Solute Transport*», University of Waterloo, Waterloo, 2005.
9. **Vaze J., Tuteja N. K., Teng J.,** «*Class U3M-1D Unsaturated Moisture Movement Model*», User Guide, NSW Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources & Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Australia, 2005.

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

- Agricultural Bureau of South Australia, «*Managing Soil Moisture*», Module 5, Better Soils, <http://www.agbureau.com.au/home.shtml>, <http://www.bettersoils.com.au/index.htm>
- Stormwater Management Planning and Design Manual 2003: [http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/4329e\\_3.htm](http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/4329e_3.htm)
- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Εκμετάλλευση & Διαχείριση Υπογείου Νερού, Σούλιος Γ., [www.geo.auth.gr/763/](http://www.geo.auth.gr/763/)
- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Υδρογεωλογικές Μελέτες Λεκανών και Γεωλογικές Μελέτες Τεχνικών Έργων, Δημόπουλος Γ., <http://www.geo.auth.gr/881/>
- Μπαλούτσος Γ, Μπουρλέτσικας Α, Γκούμα Β.,(Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων) <http://www.nagref.gr/journals>
- Ξενοδοχειακό επιμελητήριο Ελλάδος, 2007, <http://www.grhotels.gr>
- Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τμήμα Μεταλλειολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Μεταλλείων, Ε.Μ.Π., Κυρούσης Ι., [http://www.metal.ntua.gr/index.pl/7d3d07d8\\_gr](http://www.metal.ntua.gr/index.pl/7d3d07d8_gr)
- ΤΕΕ, Τεύχος 2039: Η Υφαλμύρωση των Υπόγειων Υδάτων, 15 Φεβρουαρίου 1999 <http://www.tee.gr/online/epikaira/1999/2039/pg014.shtml>
- <http://www.itia.ntua.gr/>
- [www.santoriniguidebook.gr](http://www.santoriniguidebook.gr)
- <http://www.lifewateragenda.org/>
- <http://www.waterinfo.gr/eedyp/>

- <http://www.hellasgi.gr/>
- <http://ga.water.usgs.gov/edu/earthgwaquifer.html>
- <http://oikoen.gr/selides-groundwater.htm>
- <http://www.santonet.gr>
- <http://www.santorini.info>
- <http://www.ert.gr/afieromata/clima/changes.asp>
- [http://news.pathfinder.gr/periscopio/greek\\_climate.html](http://news.pathfinder.gr/periscopio/greek_climate.html)
- <http://news.pathfinder.gr/periscopio/enviro-top5.html>
- <http://www.stopclimatechange.gr/>
- <http://www.medsos.gr/>
- [http://www.bbc.co.uk/greek/specials/1727\\_environment](http://www.bbc.co.uk/greek/specials/1727_environment)
- <http://www.prosanatolismoi.gr>
- <http://ec.europa.eu/environment/news/efe/>
- <http://www.kykladesnews.gr/>