



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

# Αναπαράσταση Λειτουργίας του Υδροσυστήματος της Αρχαίας Δήλου



Διπλωματική Εργασία: **Νικόλαος Γκούρας**

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής **Νικόλαος Μαμάσης**

Αθήνα 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

**Αναπαράσταση Λειτουργίας του Υδροσυστήματος  
της Αρχαίας Δήλου**

**Γκούρας Γ. Νικόλαος**

Επιβλέπων Καθηγητής: Μαμάσης Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2016**



## Ευχαριστίες

Με την εκπόνηση της εργασίας αυτής σηματοδοτείται η ολοκλήρωση των σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Μια περίοδος που, πέρα από τις απαραίτητες γνώσεις για το αντικείμενο του πολιτικού μηχανικού, μου προσέφερε εφόδια και αρχές για να πορευτώ στη ζωή μου από εδώ και πέρα.

Αρχικά και κύρια, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της παρούσας εργασίας, κύριο Μαμάση Νικόλαο, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., ο οποίος με τις γνώσεις, την εμπειρία και την υπομονή του κατέστησε εφικτή την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Ευχαριστώ το Σύλλογο Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και ιδιαίτερα τον Προεδρό του, κ. Μιχάλη Καλογιαννάκη, για τη χορήγηση χαρτών και στοιχείων της Δήλου, χωρίς τα οποία η περάτωση της παρούσας εργασίας θα ήταν αδύνατη.

Στη συνέχεια, θέλω να εκφράσω –τουλάχιστον- την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την υλική και ηθική στήριξη που παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια. Ιδιαίτερη αναφορά θα κάνω στο θείο μου, Παλαιοπάνο Σπύρο, ο οποίος εκτός από τη ζωτικής σημασίας συνεισφορά του στην εργασία αυτή, αποτέλεσε και αποτελεί πρότυπο μηχανικού στα μάτια μου και είναι ο λόγος που ακολούθησα το δρόμο αυτό.

Ένα ευχαριστώ ακόμα στα παιδιά της Ε.Α.Α.Κ. που, πέρα από σημαντικοί φίλοι μου όλα αυτά τα χρόνια, βοήθησαν στην πολιτική και κοινωνική μου παιδεία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, οι οποίοι ήταν μαζί μου πάντα είτε για να μου παρέχουν στήριξη, άμα ήταν αναγκαίο, είτε για να μου χαρίζουν αξέχαστες στιγμές, ανεξαρτήτως αναγκαιότητας.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	1
Abstract .....	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 Γενικά .....	3
1.2 Σκοπός και διάρθρωση εργασίας.....	4
2. Η ΔΗΛΟΣ.....	6
2.1 Τοποθεσία – Μορφολογία - Κλίμα.....	6
2.2 Μυθολογία.....	8
2.3 Ιστορία.....	9
2.4 Ανασκαφές .....	13
3. ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ.....	14
3.1 Δεξαμενή Θεάτρου .....	15
3.2 Δεξαμενή Ινωπού .....	19
3.3 Ιερή Λίμνη.....	20
3.4 Υπόγεια υδροφορία και οικιακές δεξαμενές στο νησί .....	21
4. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	23
4.1 Δεδομένα και παραδοχές.....	23
4.1.1 Ημερήσια Βροχόπτωση (P) .....	28
4.1.2 Μέση Ημερήσια Εξάτμιση (E) .....	29
4.1.3 Έκταση Λεκάνης Απορροής (A) .....	30
4.1.4 Συντελεστής Απορροής Λεκάνης (c) .....	30
4.1.5 Μέση Ημερήσια Ζήτηση (Dj) .....	32
4.2 Λειτουργία Μοντέλου .....	34
4.2.1 Ημερήσια Εισροή Ταμειντήρα (Qi) .....	35
4.2.2 Μέση Ημερήσια Ζήτηση (D) .....	35

4.2.3	Ισοζύγιο ( $K_i$ ) .....	36
4.2.4	Απόθεμα ( $L_i$ ) .....	36
4.2.5	Όγκος Υπερχείλισης ( $O_i$ ) .....	36
4.2.6	Όγκος Ελλείμματος ( $U_i$ ).....	37
4.2.7	Αριθμός Αστοχιών ( $N_f$ ) και Αριθμός Υπερχερίσεων ( $N_o$ ) .....	37
5.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	38
5.1	Στοιχεία εισόδου - σύνοψη.....	38
5.2	Αποτελέσματα μοντέλου .....	39
5.2.1	Δεξαμενή Θεάτρου .....	39
5.2.2	Δεξαμενή Ινωπού .....	45
5.2.3	Ιερή Λίμνη.....	51
6.	ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	57
6.1	Σύνοψη αποτελεσμάτων .....	57
6.2	Σχόλια - Συμπεράσματα .....	63
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	66
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΧΑΡΤΕΣ.....	70





## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να η αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος ύδρευσης της αρχαίας πόλης της Δήλου, του ιερού νησιού του Απόλλωνα, το οποίο ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων στο Αιγαίο πέλαγος.

Το εξεταζόμενο υδροσύστημα αποτελείται από:

- την ορθογωνική δεξαμενή του Θεάτρου, ωφέλιμου όγκου  $405 \text{ m}^3$ ,
- την ορθογωνική δεξαμενή του Ινώπου, ωφέλιμου όγκου  $1460 \text{ m}^3$  και
- τον φυσικό ταμιευτήρα της Ιεράς Λίμνης, ωφέλιμου όγκου  $7000 \text{ m}^3$ .

Η δεξαμενή του Θεάτρου αποστραγγίζει το κοίλον και την ορχήστρα του Θεάτρου των ελληνιστικών χρόνων. Η δεξαμενή του Ινώπου, βρίσκεται στην κοίτη του ομώνυμου χείμαρρου, ο οποίος πηγάζει από τον Κύνθιο λόφο και αποστραγγίζει λεκάνη απορροής 200 στρεμμάτων περίπου. Η Ιερή Λίμνη αποστραγγίζει ξεχωριστή λεκάνη, έκτασης 260 στρεμμάτων, στο βόρειο τμήμα του νησιού.

Ζητούμενα της αναπαράστασης είναι, για αποδεκτά επίπεδα αξιοπιστίας:

- η εκτίμηση της ημερήσιας ζήτησης νερού που μπορούσε να καλυφθεί από το σύστημα,
- η αποτίμηση της χρήσης της παραπάνω ζήτησης από τους κατοίκους της περιοχής
- η εκτίμηση του πληθυσμού που μπορούσε να εξυπηρετήσει το συγκεκριμένο υδροσύστημα.

Το πρώτο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό και γίνεται παρουσίαση της δομής της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον μύθο και την ιστορία της αρχαίας Δήλου, τις φάσεις ανάπτυξης και παρακμής της Δήλου.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται σύντομη αναφορά στο υδατικό δυναμικό του νησιού και εκτενής αναφορά στους υδατικούς πόρους, δηλαδή στις πηγές τροφοδοσίας του υδροσυστήματος. Ακόμη γίνεται λεπτομερής παρουσίαση των 2 δεξαμενών και της Ιεράς λίμνης και των χαρακτηριστικών τους καθώς και υπολογίζεται η λεκάνη απορροής της κάθε μίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλες οι παράμετροι και παραδοχές του μοντέλου αναπαράστασης του υδροσυστήματος, με έμφαση στην ανάλυση των κλιματικών στοιχείων (βροχόπτωση, θερμοκρασία, εξατμοδιαπνοή) που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται λεπτομερώς το μοντέλο και ο τρόπος λειτουργίας του, μέσω απλών μαθηματικών εξισώσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αποτυπώνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν από την εφαρμογή του μοντέλου στο υδροσύστημα της Δήλου και παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες και διαγράμματα, ενώ γίνονται παρατηρήσεις πάνω σε αυτά.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της παραπάνω μεθοδολογίας και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν, ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία του συστήματος κάλυψης των υδρευτικών αναγκών των αρχαίων Δηλίων αλλά και μια εκτίμηση του μέγιστου πληθυσμού που μπορεί να εξυπηρετήσει το εξεταζόμενο υδροσύστημα.

## **Abstract**

The objective of this dissertation is the representation of the function of the drinking water system of ancient city of Delos, the sacred island of god Apollo, which belongs to the island group of Cyclades in the Aegean sea.

The water system under study consists of:

- the rectangular reservoir of the Theatre, water capacity 405 m<sup>3</sup>,
- the rectangular reservoir of Inopos, water capacity 405 m<sup>3</sup> and
- the natural reservoir of the Sacred Lake, water capacity 7000 m<sup>3</sup>.

The Theatre reservoir drains the area of the Theatre constructed during the Hellenistic era. The Inopos reservoir is located in the river bed of Inopos torrent which drains a catchment area of approximately 20 hectares, starting from Kynthio hill. The Sacred Lake drains another catchment area of approximately 26 hectares at the northern part of the island

The objectives of the representation, with acceptable level of credibility, are:

- the estimation of the daily water demand that could be covered by this system,
- the estimation of the use of this water demand by the local population
- the estimation of the population that could be sustained by the particular water system.

The first chapter is an introduction and presents the structure of the dissertation.

The second chapter is a narration of the myths and the history of ancient Delos, the stages of its evolution and its decline.

The third chapter includes a short report on the water availability and water supply on the island and the water resources which were supplying the water system. There is a detailed presentation of the 2 reservoirs and the Sacred Lake and their characteristics and calculations of the catchment area of each structure.

In the fourth chapter there is a presentation of the parameters and the assumptions on which the simulation of the water system is based, with emphasis on the analysis of whether data (rainfall, temperature, evapotranspiration) that were used in the model. It follows a detailed presentation of the model and how it functions with the use of simple mathematical equations.

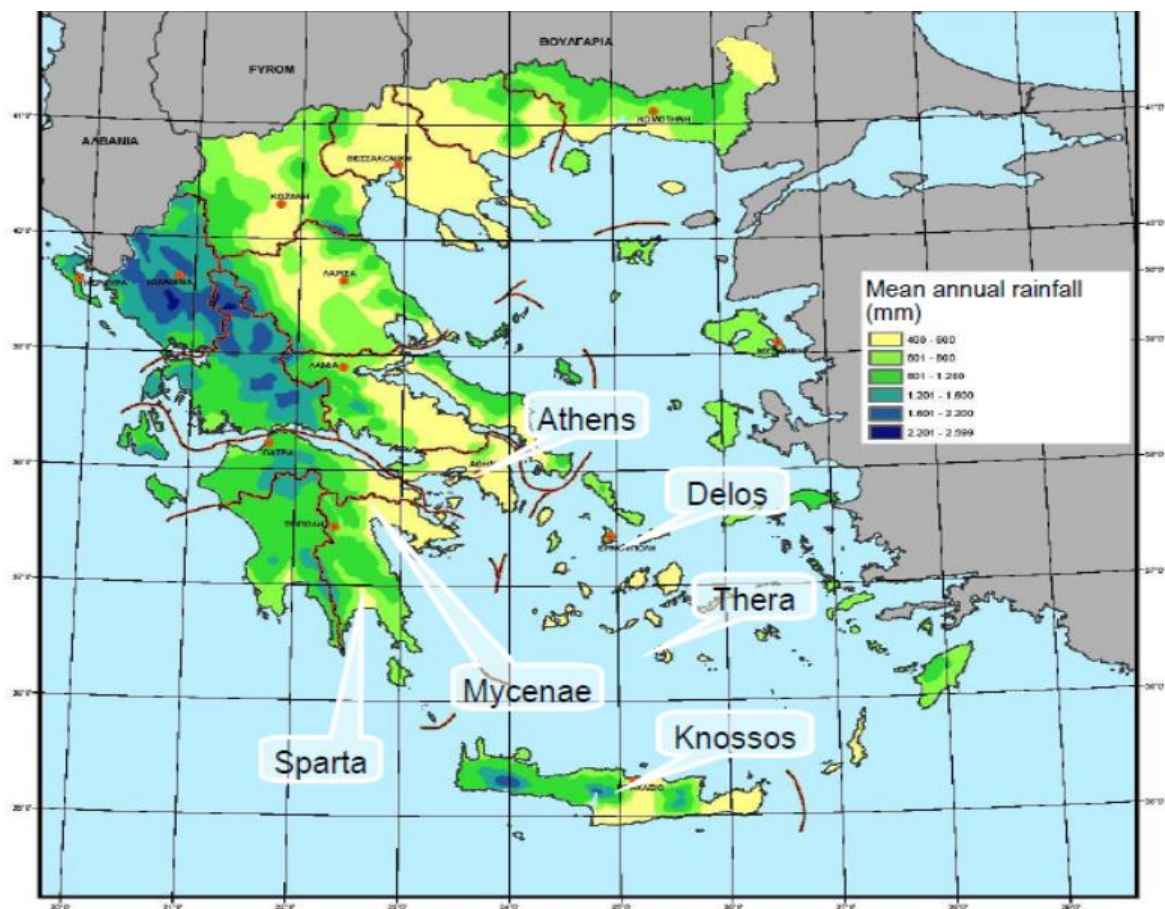
The fifth chapter presents the output data of the Delos water system model in charts and tables and the comments on these results.

The sixth and last chapter summarizes the above methodology and comments on the results so as to understand the function of the water system of ancient Delos and to make an estimation on the population that could be sustained by this system.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενικά

Παρατηρώντας τους μεγάλους αρχαίους πολιτισμούς, όπως αυτούς της Αιγύπτου και της Μεσοποταμίας, διακρίνουμε σαν κοινό τόπο την ύπαρξη σημαντικών υδατικών πόρων σε μικρή απόσταση από τα μεγάλα κέντρα τους. Ωστόσο, η περίπτωση του ελληνικού πολιτισμού διαφέρει ουσιωδώς, καθώς το μάλλον ξηρό κλίμα της περιοχής δεν επιτρέπει το σχηματισμό μεγάλων ποταμών και λιμνών. Έτσι, παρατηρούμε μεγάλες πόλεις τοποθετημένες σε πεδιάδες ή οροπέδια μακριά από μεγάλους υδατικούς πόρους, γεγονός που ουσιαστικά ώθησε την τεχνολογική πρόοδο των αρχαίων Ελλήνων σε θέματα διαχείρισης του νερού (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 2014). Πέρα από σχετικές νομοθετικές ρυθμίσεις για τη δίκαιη κατανομή του νερού στους πολίτες, οι αρχαιολογικές έρευνες έχουν φέρει στο φως υδραγωγεία, συστήματα αποχέτευσης, κρήνες, λουτρά κ.α. που εντυπωσιάζουν ακόμα και σήμερα.



Εικόνα 1.1: Κατανομή βροχόπτωσης στον ελλαδικό χώρο, με βάση το μέσο ετήσιο ύψος βροχής. (Koutsoyiannis and Patrikiou 2013)

Στην ανατολική νησιωτική Ελλάδα και ιδιαίτερα στην περιοχή των Κυκλάδων, οι κλιματικές συνθήκες δε διαφέρουν και τόσο από την ανατολική ηπειρωτική. Όπως διαφαίνεται στην εικόνα 1.1 (Koutsoyiannis and Patrikiou, 2013), οι περιοχές αυτές διακρίνονται για τα μικρά ύψη βροχής, την περιορισμένη επιφανειακή και υπόγεια απορροή και τη μεγάλη ηλιοφάνεια κάτι που οδηγεί στην ανάγκη κατασκευής πολύπλοκων υδροσυστημάτων για την κάλυψη των υδατικών αναγκών.

## **1.2 Σκοπός και διάρθρωση εργασίας**

Με δεδομένα τα παραπάνω, αποκτά αξία η μελέτη των μεθόδων και των έργων που χρησιμοποιήθηκαν από τους αρχαίους για την κάλυψη των υδατικών αναγκών τους, είτε ως ικανοποίηση της απλής περιέργειας, είτε ως αντικείμενο θαυμασμού και έμπνευσης για το σημερινό μηχανικό.

Στην κατεύθυνση αυτή, η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια προσπάθεια αναπαράστασης της υδρολογικής λειτουργίας του υδροσυστήματος της αρχαίας Δήλου. Οι εκτεταμένες ανασκαφές στο νησί έφεραν στο φως σημαντικά υδραυλικά έργα, που είχαν ως στόχο τη συλλογή του βρόχινου νερού για την κάλυψη των υδατικών αναγκών των κατοίκων του νησιού. Δημόσιες και ιδιωτικές δεξαμενές για απευθείας συλλογή βροχής, δημόσιες κρήνες και πηγάδια για την αξιοποίηση του -λιγοστού- υπόγειου νερού, ακόμα και ένα φράγμα για την εκμετάλλευση της ροής του μοναδικού χειμάρρου του νησιού, του Ινωπού, αποτελούν παραδείγματα των έργων αυτών (Υπουργείο Πολιτισμού, διαδικτυακή πλατφόρμα ΟΔΥΣΣΕΥΣ, [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371)). Η αναπαράσταση της λειτουργίας του υδροσυστήματος θα γίνει με τη χρήση του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής και ενός μοντέλου βροχής-απορροής.

Έτσι, στα παρακάτω κεφάλαια θα παρουσιαστούν:

- Κεφάλαιο 1:

Εισαγωγή και συνοπτική αναδρομή στην ιστορία και τη μυθολογία του νησιού

- Κεφάλαιο 2:

Γενικά χαρακτηριστικά και συνοπτική αναδρομή στην ιστορία και τη μυθολογία του νησιού

- Κεφάλαιο 3:

Παρουσίαση των υδατικών πόρων του νησιού. Θα γίνει τεχνική περιγραφή των έργων, καθώς και παράθεση των υδρολογικών συνθηκών της Δήλου.

- Κεφάλαιο 4:

Περιγραφή της λειτουργίας του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε, με χρήση μαθηματικών εξισώσεων, καθώς και επεξήγηση κάθε μεγέθους που εμπλέκεται στους υπολογισμούς.

- Κεφάλαιο 5:

Εφαρμογή του μοντέλου και ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, με χρήση πινάκων και διαγραμμάτων για άμεση κατανόηση.

- Κεφάλαιο 6:

Αναπαράσταση υδροσυστήματος Δήλου. Σύνοψη και εξαγωγή συμπερασμάτων με βάση τα προκύπτοντα αποτελέσματα από το μοντέλο. Εκτίμηση πληθυσμού και υδατικών καταναλώσεων της αρχαίας Δήλου.

## **2. Η ΔΗΛΟΣ**

### **2.1 Τοποθεσία – Μορφολογία - Κλίμα**

Η Δήλος (ή Ορτυγία στην αρχαιότητα) βρίσκεται στην καρδιά του νησιωτικού συμπλέγματος των Κυκλάδων στο κεντρικό Αιγαίο (βλ εικόνα 2.3). Είναι μια βραχονησίδα, μόλις 5 km μήκους (με κατεύθυνση Β-Ν) και 1300 m μέγιστου πλάτους και το μέγιστο υψόμετρό της εντοπίζεται στην κορυφή του λόφου Κύνθος στα 113 m. Η συνολική έκταση του νησιού της Δήλου αγγίζει τα 3,62 km<sup>2</sup>, ενώ τα μέχρι τώρα ανασκαμμένα μνημεία καταλαμβάνουν μια έκταση 0,9 km<sup>2</sup> περίπου στο κέντρο και δυτικά του νησιού (Υπουργείο Πολιτισμού, πλατφόρμα ΟΔΥΣΣΕΥΣ, [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371)). Στην εικόνα 2.1 φαίνεται η έκταση του αρχαιολογικού χώρου από την κορυφή του λόφου Κύνθου και η εικόνα 2.2 είναι μια πανοραμική εικόνα του αρχαιολογικού χώρου με τον Κύνθιο λόφο στο φόντο.

Το νησί αποτελείται εξ ολοκλήρου σχεδόν από σχηματισμούς γρανίτη και γνεύσιου ηλικίας 11-15 εκατομμυρίων χρόνων (Roussel, 1990). Η τεκτονική δράση, η μικρή διάβρωση των πετρωμάτων, η μορφολογία του εδάφους και οι κλιματολογικές συνθήκες έχουν αποτέλεσμα να εμφανίζεται η επιφάνεια της Δήλου κατά το μεγαλύτερο μέρος βραχώδης. Σχεδόν όλες οι ανατολικές ακτές είναι πολύ απότομες, καθώς τα βράχια κατεβαίνουν στη θάλασσα. Οι βόρειες και κυρίως οι δυτικές ακτές είναι ομαλές με αρκετούς όρμους και αμμουδιά. (Υπουργείο Πολιτισμού, πλατφόρμα ΟΔΥΣΣΕΥΣ, [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371)).

Σχετικά με τους υδατικούς πόρους του νησιού, αναφέρεται πως από τον λόφο Κύνθο, πηγάζει ο μοναδικός χείμαρρος του νησιού, ο Ινωπός, συνολικού μήκους 1200 m (Roussel, 1990). Τα βρόχινα νερά εκτός από τον χείμαρρο Ινωπό τροφοδοτούν και την Ιερά λίμνη του θεού Απόλλωνα, στο χώρο του αρχαίου ιερού, όπου είναι και το χαμηλότερο σημείο του νησιού (Roussel, 1990, Χατζηδάκης, 2003). Η ιερά λίμνη είναι αποξηραμένη από το 1926 για λόγους υγιεινής, καθώς παρουσιάστηκαν κρούσματα ελονοσίας (Κανελλόπουλος, 2007, Χατζηδάκης, 2003). Πηγαία νερά στο νησί δεν υπάρχουν, όμως στο στεγανό γρανιτικό υπόβαθρο, δημιουργείται ένας περιορισμένος, αλλά σημαντικός για το νησί, φρεάτιος ορίζοντας σε μικρό σχετικά βάθος στην περιοχή του Λιμανιού (Roussel, 1990). Το πόσιμο νερό αντλείται από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα από τα ίδια πηγάδια (πηγάδι της Κλεοπάτρας, πηγάδι του Μαλτέζου), που βρίσκονται στα αίθρια των αρχαίων σπιτιών. Στην αρχαιότητα, εκτός από τα ιδιωτικά αυτά πηγάδια, υπήρχαν πολλά δημόσια πηγάδια και κρήνες (Μινώα κρήνη), ενώ όλα τα σπίτια είχαν κάτω από το αίθριο μεγάλες δεξαμενές στις οποίες συγκεντρωνόταν το βρόχινο νερό από τη στέγη. (Mays, 2010, Κανελλόπουλος, 2007, Zaphiropoulou 1993, Υπουργείο Πολιτισμού, πλατφόρμα ΟΔΥΣΣΕΥΣ, [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371)).



Εικόνα 2.1: Ο αρχαιολογικός χώρος της Δήλου από την κορυφή του Κύνθου (Πηγή: <http://hellas.teipir.gr/Thesis/Dilos/>)



Εικόνα 2.2: Άποψη του αρχαιολογικού χώρου και του λόφου Κύνθου στο φόντο (Πηγή: <http://hellas.teipir.gr/Thesis/Dilos/>)

Το κλίμα της Δήλου είναι εύκρατο νησιωτικό. Ο χειμώνας είναι ήπιος με σπάνιους παγετούς και ακόμα σπανιότερες και μικρής διάρκειας χιονοπτώσεις. Το καλοκαίρι είναι δροσερό, χωρίς βροχές, συχνά με αρκετή υγρασία τις πρωινές ώρες και δυνατούς ανέμους (6-9 Bf) τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο (μελέμια) (Zarkadoulas et



al, 2008, Koutsoyiannis and Patrikiou, 2013). Οι κλιματικές συνθήκες και η ποικιλομορφία του εδάφους δημιουργούν κατάλληλους οικοτόπους για την ανάπτυξη φυτών με διαφορετικές απαιτήσεις. Αυτό που δε φαίνεται να έχει αλλάξει στο νησί από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα είναι η αυτοφυής βλάστηση (Zaphiropoulou, 1993), έτσι που η Δήλος, εκτός από σημαντικό αρχαιολογικό χώρο, είναι ένα τεράστιο φυσικό φυτολογικό μουσείο με μεγάλη ποικιλία φυτών. Μέχρι τώρα έχουν καταγραφεί 537 είδη, πολλά από τα οποία έχουν φαρμακευτικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα για θεραπευτικούς σκοπούς (Roussel, 1990, Μανωλάς, 2010, Χατζηδάκης, 2003, Zaphiropoulou, 1993, Υπουργείο Πολιτισμού, πλατφόρμα ΟΔΥΣΣΕΥΣ, [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371) ).

## 2.2 Μυθολογία

Στα χρόνια της αρχαιότητας, η Δήλος θεωρείτο ιερό νησί (Roussel, 1990). Την μυθολογική της διαδρομή μας περιγράφει ο Όμηρος και ξεκινά με την Αστερία, αδελφή της Λητούς, η οποία μεταμορφώθηκε σε βράχο περιπλανώμενο στη θάλασσα για να διαφύγει από την καταδίωξη του Δία. Σαν αποτέλεσμα, ο Δίας έστρεψε την προσοχή του στη Λητώ, η οποία αφού έμεινε έγκυος στα δίδυμα παιδιά του, είχε να αντιμετωπίσει την οργή της Ήρας. Αυτή σε συνεργασία με άλλους θεούς εμπόδιζε τη Λητώ από το να γεννήσει τα παιδιά της σε τόπο που τον έβλεπε το φως και, μάλιστα, απαγόρευσε στην Ειλίθια (αρχαία θεά των τοκετών) να παράσχει οποιαδήποτε βοήθεια στην εγκυμονούσα ερωμένη του Δία. Έτσι, η εγκυμονούσα Λητώ, περιπλανήθηκε από τη Θράκη στην Ίμβρο, τη Λέσβο, τη Χίο, τη Σάμο, την Κω, την Εύβοια και την Αττική, ζητώντας απεγνωσμένα καταφύγιο για να γεννήσει. (Χατζηδάκης, 2003, Zaphiropoulou, 1993).

Στην κατάσταση αυτή, ο Δίας αποφασίζει να απευθυνθεί στον αδερφό του Ποσειδώνα για να εξασφαλίσει ένα καταφύγιο στη ετοιμόγεννη Λητώ. Ο Ποσειδώνας, θέλοντας να εξυπηρετήσει τον παντοδύναμο αδερφό του και ταυτόχρονα να μην έρθει σε ρήξη με τους υπόλοιπους θεούς αθετώντας την υπόσχεσή του στην Ήρα, αποφάσισε να χρησιμοποιήσει ένα τέχνασμα. Βρήκε τον «αθέατο» βράχο που περιπλανιόταν στη θάλασσα (την Άδηλο) και τον αγκυροβόλησε στο κέντρο των Κυκλάδων με τέσσερις μεγάλες διαμαντένιες αλυσίδες. Έτσι, ο βράχος στον οποίο μετατράπηκε η Αστερία και περιπλανιόταν αθέατος στο Αιγαίο, έγινε ο τόπος γέννησης των διδύμων του Δία και της Λητούς. Έγινε η Δήλος (Roussel, 1990, Χατζηδάκης, 2003).

Η απελπισμένη Λητώ για να εξασφαλίσει την εύνοια του νησιού υποσχέθηκε να χαρίσει σε αυτό δόξα και πλούτη και πως το ένα της παιδί θα έμεινε εκεί για πάντα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται να είπε «Μα τη γη και τον πλατύ ουρανό και τα νερά της Στύγας, εδώ για πάντα θα είναι το Ιερό και ο βωμός του Φοίβου και εσένα πιο πολύ από όλους τους τόπους θα τιμήσει» (Χατζηδάκης, 2003). Η Δήλος συμφώνησε

και έτσι λοιπόν τελείωσαν οι περιπλανήσεις της ετοιμόγεννης Λητούς, αλλά όχι και οι ωδίνες της, γιατί η Ήρα κρατούσε στον Όλυμπο την Ειλείθια, τη θεά των τοκετών. Έπειτα από εννιά βασανιστικά μερόνυχτα παρεμβαίνουν οι άλλες θεές και στέλνουν στον Όλυμπο την Ίριδα, η οποία, με την υπόσχεση ενός εννιάπηχου περιδέριου από χρυσό και ήλεκτρο, δωροδοκεί την Ειλείθια και την πείθει να πάει στη Δήλο (Roussel, 1990, Χατζηδάκης, 2003, Ζαφειροπούλου, 1993).

Μόλις έφθασε στο νησί η Ειλείθια, η εξαντλημένη Λητώ «με τα δυο της χέρια αγκάλιασε τον κορμό μιας φοινικιάς, της μοναδικής που υπάρχει στο νησί στην Ιερή Λίμνη και γονάτισε στο μαλακό λιβάδι» και έτσι γέννησε πρώτα την Άρτεμη, τη θεά του κυνηγιού, της παρθενίας και του νυχτερινού φωτός. Με τη βοήθεια της Αρτέμιδας και μετά από έναν επώδυνο εννιαήμερο τοκετό, ήρθε στο φως το δεύτερο παιδί της Λητούς, ο Απόλλων, θεός του φωτός και των τεχνών. Ο Δίας παρακολούθησε εναγωνίως τη γέννηση του Απολλώνα καθιστός για εννέα μέρες στην κορυφή του όρους Κύνθος (από όπου προέρχεται και το αρχαίο όνομα Κύνθια) (Roussel, 1990, Χατζηδάκης, 2003, Ζαφειροπούλου, 1993).

Λόγω της ιστορίας αυτής, το νησί της Δήλου κατά την αρχαιότητα αποτελούσε τόπο ιερό και αναπόφευκτα προσήλκυσε πολύ πλούτο και δόξα, εκπληρώνοντας με έναν τρόπο τη μια από τις δεσμεύσεις της Λητούς στο νησί. Η μεγάλη ηλιοφάνεια της περιοχής, θα μπορούσε να πει κανείς, είναι η εκπλήρωση της δεύτερης...

### **2.3 Ιστορία**

Σύμφωνα με το Θουκυδίδη, η Δήλος πρώτη φορά κατοικήθηκε την τρίτη χιλιετία π.Χ. από τους Κάρεις, οι οποίοι ως επί το πλείστον ήταν πειρατές και είχαν εγκατασταθεί στην κορυφή του Κύνθου, (όπου έχουν βρεθεί και λείψανα ενός προϊστορικού οικισμού), για να έχουν εποπτεία του νησιού (Roussel, 1990). Πιθανότατα οι Μινωίτες πέρασαν από το νησί, ωστόσο δεν υπάρχουν αναφορές που να τεκμηριώνουν κάτι τέτοιο (Roussel, 1990). Περί το 1500 π.Χ. οι Μυκηναίοι, έχοντας εγκαθιδρύσει την κυριαρχία τους στις Κυκλάδες, εγκαταστάθηκαν στη Δήλο οικοδομώντας εκτεταμένους οικισμούς. Ο μυθικός Μυκηναίος βασιλιάς της Δήλου Άνιος, γιος του Απολλώνα και δισέγγονος του Διόνυσου, είχε προσπαθήσει να διατηρήσει ουδετερότητα στις συγκρούσεις τις εποχής. Φιλοξένησε τον άρχοντα της Τροίας Αγχίση, αλλά και το στόλο των Αχαιών, και αργότερα τον Αινεία, γιο του Αγχίση, που ξέφυγε από την πυρπολημένη Τροία (Roussel, 1990).

Στα ομηρικά έπη περιγράφεται η ακμή του Απολλώνιου Ιερού της Δήλου, η οποία διήρκεσε μέχρι περίπου το 1100 π.Χ., όταν οι Ίωνες κυριάρχησαν στην περιοχή. Το νησί διατήρησε τον ιερό του χαρακτήρα και συνέχισε να ακμάζει υπό την Ιωνική κυριαρχία και το 540 π.Χ. τέθηκε υπό τον έλεγχο της Αθήνας, έλεγχος που

χάθηκε μόνο για μια δεκαετία (490-480 π.Χ.) κατά τη διάρκεια των Περσικών Πολέμων (Χατζηδάκης, 2003). Το 478 π.Χ. συνήλθε η Δηλιακή συμμαχία των ελληνικών πόλεων-κρατών με σκοπό την αντιμετώπιση πιθανών μελλοντικών απειλών. Η Δήλος ήταν ο τόπος συνάντησης των αντιπροσώπων των πόλεων, καθώς και η έδρα του συμμαχικού ταμείου. Σύντομα, ωστόσο, η συμμαχία έλαβε χαρακτηριστικά Αθηναϊκής ηγεμονίας, με αποτέλεσμα το 454 π.Χ. το ταμείο να μεταφερθεί στην Ακρόπολη της Αθήνας για να εξυπηρετήσει το φιλόδοξο πλάνο του Περικλή (Roussel, 1990, Χατζηδάκης, 2003, Zaphiropoulou, 1993).

Η κατάσταση παρέμεινε έτσι μέχρι το θάνατο του Περικλή το 429 π.Χ.. Μεσόντων των Πελοποννησιακών Πολέμων και του μεγάλου λιμού στην Αθήνα, σε μια προσπάθεια εξάγνισης της πόλης τους, οι Αθηναίοι προέβησαν στην «κάθαρση» της Δήλου. Απαγόρευσαν, δηλαδή, τη γέννηση και το θάνατο στο νησί και μετέφεραν σε έναν ομαδικό τάφο στη Ρήνεια τα οστά και τα κτερίσματα από κάθε δηλιακό τάφο. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώθηκε το 422 π.Χ. όταν αποφασίστηκε από τους Αθηναίους η εξορία όλου του ντόπιου πληθυσμού, που κατέφυγε στο Αδραμύττιο της Μικράς Ασίας. Ελάχιστοι επέστρεψαν στην Δήλο μετά από επέμβαση του Μαντείου των Δελφών (Roussel, 1990, Χατζηδάκης, 2003, Zaphiropoulou, 1993).

Μετά το θάνατο του Μεγάλου Αλεξάνδρου, το Αιγαίο συνταράσσεται για σαράντα σχεδόν χρόνια από τους πολέμους των φιλόδοξων στρατηγών που τον διαδέχτηκαν. Το 314 π.Χ. ο Αντίγονος ανακήρυξε την Ελλάδα ελεύθερη και ανήγγειλε την επιστροφή στην πολιτική της δημοκρατικής διακυβέρνησης του Αλεξάνδρου. Ο στόλος του έφθασε στο Αιγαίο, όπου η Λήμνος, η Ίμβρος και η Δήλος είχαν ήδη στασιάσει κατά της Αθήνας και οι Κυκλάδες κατά του Κασσάνδρου. Η Αθήνα διατηρούσε ακόμη την αίγλη του πνευματικού κέντρου, αλλά ήταν πλέον μια πόλη σε παρακμή που δεν έπαιζε κανένα ουσιαστικό ρόλο στις εξελίξεις. Ο Αντίγονος και ο γιος του Δημήτριος ο Πολιορκητής ίδρυσαν το Κοινό των Νησιωτών με θρησκευτικό κέντρο τη Δήλο, η οποία κηρύχτηκε ελεύθερη και ανεξάρτητη (Δηλιακή Ανεξαρτησία, 314 -166 π.Χ.) (Roussel, 1990, Zaphiropoulou, 1993).

Η Δήλος θα ξαναβρεί την ακμή της και πάλι στα Ρωμαϊκά χρόνια. Με την ήττα των Μακεδόνων από τους Ρωμαίους (Πύδνα, 168 π.Χ.) τελειώνει και η περίοδος της ανεξαρτησίας της Δήλου. Το 166 π.Χ. οι Ρωμαίοι την παραχωρούν ξανά στους Αθηναίους, οι οποίοι εξορίζουν και πάλι –αυτή τη φορά οριστικά– τους Δήλιους και εγκαθιστούν στο νησί Αθηναίους εποίκους. Παράλληλα οι Ρωμαίοι, που ρυθμίζουν πλέον τις τύχες της Μεσογείου, ανακήρυξαν τη Δήλο ελεύθερο λιμάνι, με στόχο να εξοντώσουν οικονομικά την αντίπαλό τους Ρόδο. Η ατέλεια (απαλλαγή από τους φόρους), η εξαιρετική γεωγραφική της θέση (κέντρο Κυκλάδων και Αιγαίου, εικόνα 2.3), αλλά και η καταστροφή της Κορίνθου (146 π.Χ.), σημαντικότερου μέχρι τότε εμπορικού κέντρου, είχαν ως αποτέλεσμα να συγκεντρωθεί στη Δήλο όλο το διαμετακομιστικό εμπόριο μεταξύ Ανατολής και Δύσης, Βορρά και Νότου. Η ισχυρή Ρόδος καταστράφηκε οικονομικά, ενώ το μικρό νησί έγινε πολύ σύντομα το *maximum emporium totium orbis terrarum* (Festus), δηλαδή το μεγαλύτερο εμπορικό

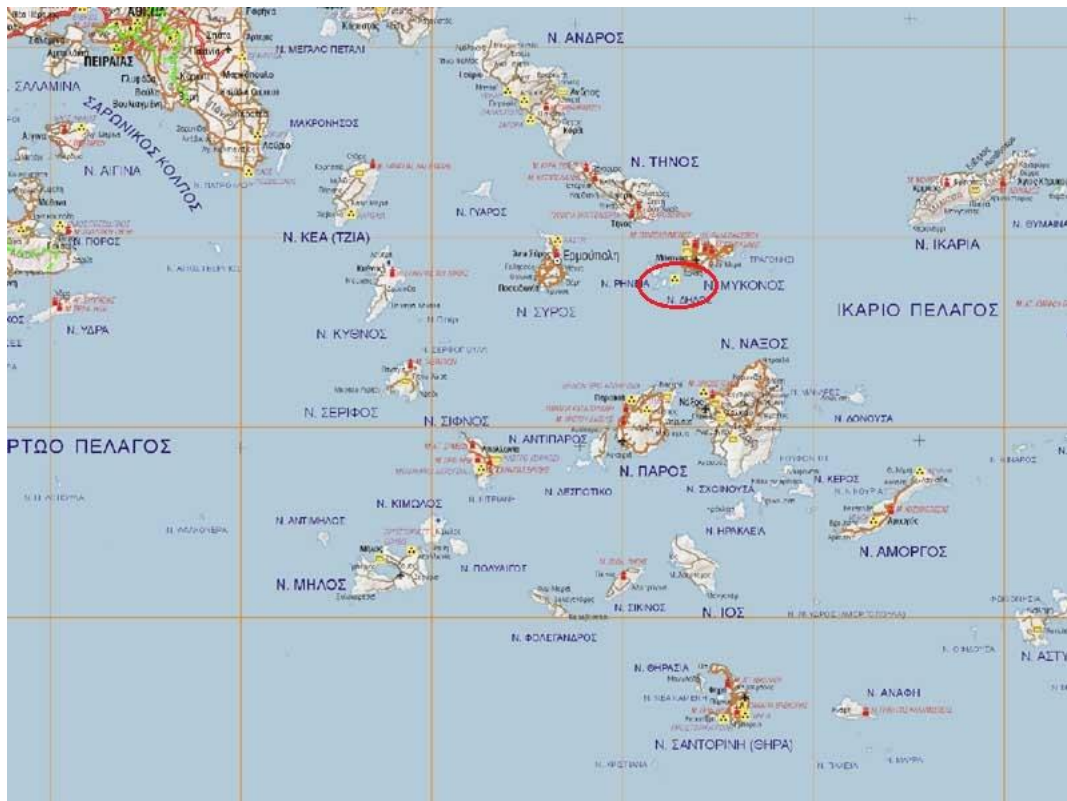
κέντρο της οικουμένης (Roussel, 1990, Χατζηδάκης, 2003, Υπουργείο Πολιτισμού, πλατφόρμα ΟΔΥΣΣΕΥΣ, [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371)).

Φυσικό επακόλουθο ήταν η απότομη αύξηση του πληθυσμού και η έντονη οικοδομική δραστηριότητα. Η πόλη απλώνεται, δημιουργούνται νέες συνοικίες και οικοδομούνται πολλά καινούρια ιδιωτικά και δημόσια κτήρια. Το αρχαϊκό λιμάνι, στα βορειοδυτικά του νησιού, ήταν μικρό και δεν μπορούσε πλέον να εξυπηρετήσει την αυξημένη εμπορική κίνηση, γι' αυτό σταδιακά έγιναν στην πρόσφορη δυτική ακτή οι απαραίτητες νέες λιμενικές εγκαταστάσεις. Στις πολύβουες προκουμαίες πλοία απ' όλη τη Μεσόγειο φόρτωναν και ξεφόρτωναν διαρκώς τόνους εμπορευμάτων και χιλιάδες σκλάβους. Αναπόφευκτα, πλήθος επαγγελματιών (εμπόρων, τεχνιτών κλπ.) από όλη τη Μεσόγειο συνέρρευσε για να κατοικήσει το νησί. Υπάρχουν εκτιμήσεις, μάλλον υπερβολικές, ότι περί το 90 π.Χ. ο πληθυσμός του νησιού ανερχόταν στις 30.000 Υπουργείο Πολιτισμού, [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371)). Η οικονομική άνθιση της περιόδου, ωστόσο, θεωρείται δεδομένη, λόγω των εκτεταμένων ευρημάτων και κτισμάτων της εποχής (Roussel, 1990, Χατζηδάκης, 2003).

Αυτή η έντονη οικονομική δραστηριότητα είναι αυτή που τελικά έφερε τη Δήλο στην παρακμή της (Χατζηδάκης, 2003). Ο πλούτος που είχε συγκεντρωθεί στο νησί και οι φιλικές σχέσεις με τη Ρώμη κατέστησαν το νησί στόχο του Μιθριδάτη (βασιλιά του Πόντου) και το 88 π.Χ. ήρθε η πρώτη λεηλασία της Δήλου και η σταδιακή εγκατάλειψη του νησιού μετέπειτα. Το τελειωτικό χτύπημα ήρθε με τη δεύτερη λεηλασία από τους πειρατές του Αθηνόδωρου, συμμάχου του Μιθριδάτη, όταν το νησί ήταν ήδη υπό το καθεστώς εγκατάλειψης. Η αρχαία πόλη αναπτύχθηκε μονάχα ως παράρτημα του λιμανιού, άνθιζε όσο σε αυτό συγκεντρωνόταν το διαμετακομιστικό εμπόριο μεταξύ Ανατολής και Δύσης και έπαψε να υπάρχει όταν το λιμάνι έγινε ανασφαλές και το εμπόριο μεταφέρθηκε στα λιμάνια της Δύσης (Roussel, 1990, Χατζηδάκης, 2003, Υπουργείο Πολιτισμού, πλατφόρμα ΟΔΥΣΣΕΥΣ, [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371)).

Στα πρωτοχριστιανικά χρόνια υπάρχει ακόμη στο νησί μια σημαντική χριστιανική κοινότητα, όπως μαρτυρούν τα λείψανα επτά παλαιοχριστιανικών βασιλικών και το γεγονός ότι αναφέρεται ως έδρα επισκόπου. Μετά τον 7<sup>ο</sup> αιώνα όμως φαίνεται πως ερημώνεται εντελώς και γίνεται για πολλούς αιώνες καταφύγιο πειρατών (Zaphiropoulou, 1993, Χατζηδάκης, 2003).

Σήμερα, η Δήλος κατοικείται μόνιμα αποκλειστικά από αρχαιολόγους και εργαζόμενους στο μουσείο του νησιού, ενώ αποτελεί δημοφιλή τουριστικό προορισμό, μέσω τακτικών δρομολογίων από την κοσμοπολίτικη Μύκονο. Στην εικόνα 2.4 δείχνεται μια άποψη του αρχαιολογικού χώρου όπως είναι σήμερα, επισημαίνοντας τα σημαντικότερα μνημεία.



Εικόνα 2.3: Η Δήλος στο κέντρο των Κυκλάδων (Πηγή: [www.mykosmos.gr](http://www.mykosmos.gr))



Εικόνα 2.4: Η Αρχαία πόλη της Δήλου (Πηγή: [culturenow.wordpress.com](http://culturenow.wordpress.com))

## 2.4 Ανασκαφές

Η πρώτη ανασκαφή στη Δήλο έγινε το 1772 από τον Pasch van Krienen, Ολλανδο-ρώσο αξιωματικό του ρωσικού στρατού κατοχής, τα δε ευρήματα κατέληξαν στην Αγία Πετρούπολη και στο Βουκουρέστι. Το 1829 κάποιος Ιταλός ζήτησε άδεια να κάνει ανασκαφές στη Δήλο, αλλά όταν επισκέφθηκε το νησί μετάνιωσε, πιστεύοντας ότι δε θα εύρισκε τίποτε αξιόλογο. Την ίδια χρονιά επίσης τα μέλη της Expédition Scientifique de Morée έκαναν μικρές δοκιμαστικές τομές σε κάποιο οικοδόμημα κοντά στη θάλασσα (Roussel, 1990).

Οι συστηματικές ανασκαφές άρχισαν το 1873 από τον J. Lebègue, μέλος της Γαλλικής Αρχαιολογικής Σχολής Αθηνών και τον Παναγιώτη Σταματάκη, υπάλληλο του Υπουργείου των Εκκλησιαστικών και της Δημοσίας Εκπαιδεύσεως, και συνεχίστηκαν από τη Γαλλική Αρχαιολογική Σχολή Αθηνών με επιτήρηση από υπάλληλο του υπουργείου. Στις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα είχαν ήδη αποκαλυφθεί τα ιερά και ένα τμήμα της αρχαίας πόλης, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας παραμένει ακόμη κάτω από ένα προστατευτικό στρώμα χώματος ύψους 2 μ. περίπου (Χατζηδάκης, 2003). Οι ανασκαφές συνεχίζονται μέχρι σήμερα από την Ελληνική Αρχαιολογική Υπηρεσία και τη Γαλλική Αρχαιολογική Σχολή, αλλά σε πολύ μικρότερη κλίμακα, επειδή κύριο μέλημα της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας είναι η προστασία, συντήρηση και ανάδειξη των μνημείων που έχουν ήδη αποκαλυφθεί, έργο που απαιτεί τεράστιες δαπάνες. Όμως το ήδη ανασκαμμένο τμήμα, ο μεγαλύτερος ίσως αρχαιολογικός χώρος στον κόσμο, δίνει στον επισκέπτη μια σαφή και μοναδική εικόνα του ιερού και της αρχαίας πόλης (Χατζηδάκης, 2003, Υπουργείο Πολιτισμού, πλατφόρμα ΟΔΥΣΣΕΥΣ, [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371)).

Στο Μουσείο της Δήλου φυλάσσονται τα ευρήματα από τις ανασκαφές στο νησί, τα οποία περιλαμβάνουν (ως ολόκληρα αντικείμενα ή ως τμήματα) περίπου 30.000 αγγεία, ειδώλια, μικροαντικείμενα, 8.000 γλυπτά, 3.000 επιγραφές. Το μεγαλύτερο μέρος των γλυπτών και μικρό μέρος των αγγείων και των μικροαντικειμένων εκτίθενται στις έντεκα αίθουσες του μουσείου (Υπουργείο Πολιτισμού, ΟΔΥΣΣΕΥΣ, [http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371)).

### **3. ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η απευθείας συλλογή του βρόχινου νερού ήταν η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε από τους Δήλιους για την κάλυψη των υδατικών τους αναγκών. Ο μέγιστος ετήσιος όγκος νερού που δυνητικά θα μπορούσαν οι αρχαίοι Δήλιοι να συλλέξουν είναι το ετήσιο ύψος βροχής επί την έκταση του Νησιού. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής θεωρούμε κάνοντας μια εύλογη παραδοχή πως είναι ίδιο με αυτό της Μυκόνου και ισούται με 340 mm. Η έκταση του νησιού είναι 3,62 km<sup>2</sup>, οπότε ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που κατακρημνίζεται στο νησί είναι 1230800 m<sup>3</sup>, που αποτελεί και τον μέγιστο δυνατό όγκο απόληψης.

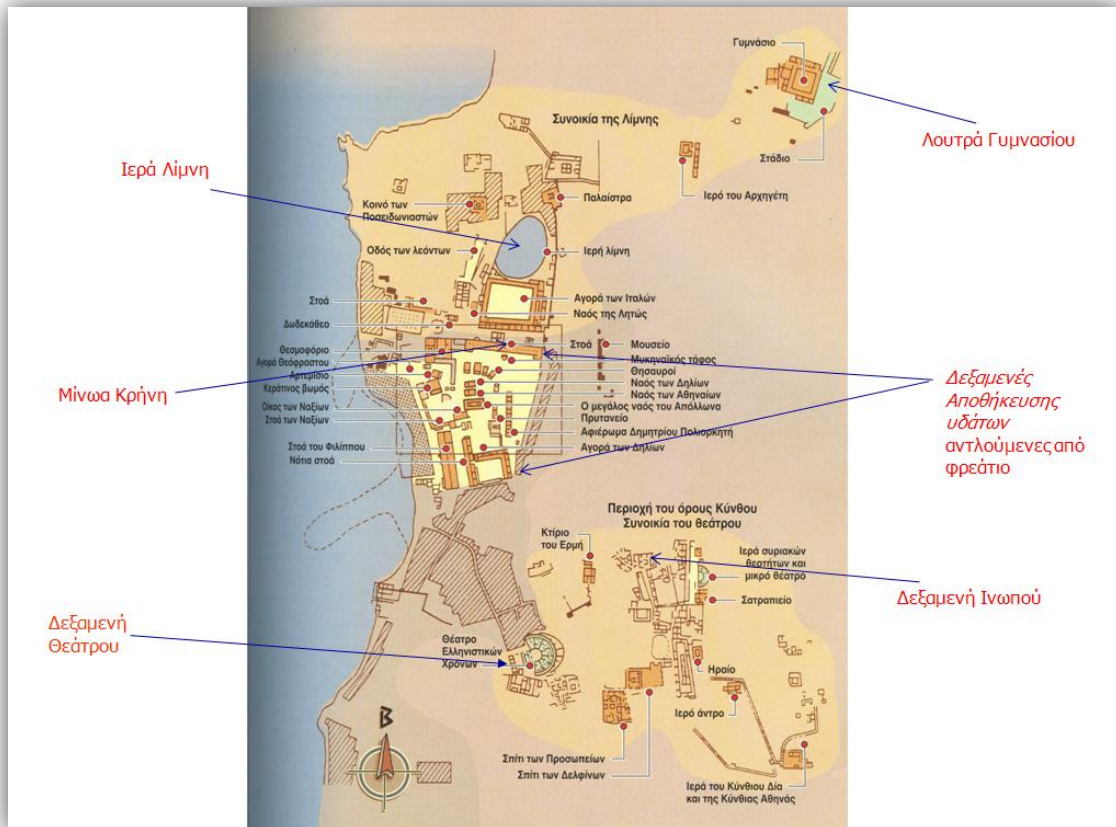
Ωστόσο, το παραπάνω νούμερο είναι θεωρητικό και πρακτικώς αδύνατο να συλλεχθεί ακόμα και με τα σημερινά μέσα. Ίσως περισσότερη ουσία θα είχε στην έκταση υπολογισμού να μην λαμβάναμε την έκταση όλου του νησιού (άλλωστε η ανατολική πλευρά είναι απόκρημνη, με έντονες κλίσεις και πιθανότατα παρέμενε ακατοίκητη και στην αρχαιότητα, εξ ου και η έλλειψη ανασκαφών ανατολικά του Κύνθιου λόφου) αλλά μόνο την δυτική πλευρά του νησιού (δυτικά του Κύνθιου λόφου), όπου έχουν γίνει και οι περισσότερες ανασκαφές. Η έκταση αυτή δεν ξεπερνά το 1,5 km<sup>2</sup> και συνεπώς ο μέγιστος όγκος που θεωρητικά θα μπορούσαν να συλλέξουν οι αρχαίοι Δήλιοι είναι 510000 m<sup>3</sup> ετησίως. Το νούμερο αυτό είναι επίσης θεωρητικό και πρακτικώς αδύνατο να συλλεχθεί και να αποθηκευτεί, ωστόσο αναφέρεται στην παρούσα εργασία καθώς δίνει μια αίσθηση τάξης μεγέθους για το ετήσιο υδατικό δυναμικό του νησιού. Αξίζει να σημειωθεί πως στο νησί της Δήλου (πάλι λαμβάνοντας τα μετεωρολογικά δεδομένα της Μυκόνου), η μέση ετήσια δυνητική εξατμοδιαπνοή αγγίζει τα 1620 mm, κάτι που μειώνει σημαντικά την προηγούμενη εκτίμηση του μεγέθους του υδατικού δυναμικού του νησιού.

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει περιγραφή των σημαντικότερων –φυσικών και τεχνητών - υδατικών πόρων της περιοχής που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αρχαιότητα για την ύδρευση των κατοίκων του νησιού. Θα σημειωθούν, επιπλέον, όποιες τυχόν παραδοχές έγιναν για τους πόρους αυτούς, λόγω ελλειπών διαθέσιμων δεδομένων και απλούστευσης των υπολογισμών.

Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει περιγραφή για:

- Τη δεξαμενή του αρχαίου θεάτρου,
- Τον ταμιευτήρα και το φράγμα του Ινωπού ποταμού
- Την Ιερά Λίμνη
- Τον υπόγειο υδροφορέα στην δυτική περιοχή του νησιού
- Τις οικιακές δεξαμενές

Όλα τα παραπάνω σημεία φαίνονται αναλυτικά στην εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1. Επισήμανση σημαντικών σημείων για τους υδατικούς πόρους στον αρχαιολογικό χώρο της Δήλου (Πηγή: Μαμάσης, 2012)

### 3.1 Δεξαμενή Θεάτρου

Το αρχαίο θέατρο της Δήλου είναι χτισμένο στην αρχαιότερη συνοικία του νησιού, που μάλιστα έχει πάρει το όνομά της από αυτό (Συνοικία του Θεάτρου) (Χατζηδάκης, 2003). Η συνοικία του Θεάτρου βρίσκεται νότια της συνοικίας της Λίμνης (βλ. εικόνα 3.1). Στην ίδια συνοικία, εκτός από το μεγάλο θέατρο των ελληνιστικών χρόνων, βρίσκεται και ένα δεύτερο μικρότερο θέατρο, στην περιοχή του Σαραπίειου μνημείου, χωρητικότητας περίπου 400 με 500 ατόμων, στο οποίο λάμβαναν χώρα και θρησκευτικά μυστήρια και άλλες τελετές (Χατζηδάκης, 2003).

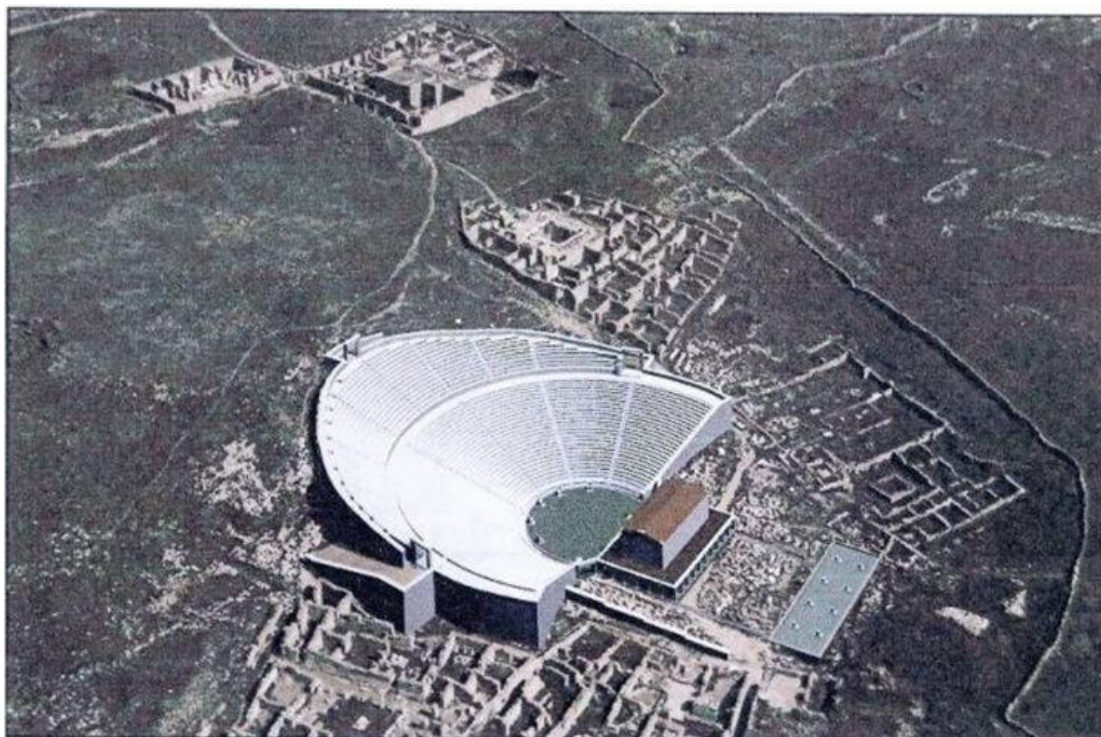
Το μεγάλο αρχαίο θέατρο είναι ένα εκπληκτικό μνημείο αρχιτεκτονικής. Τοποθετημένο στα νότια του λιμανιού και στραμμένο προς τη δύση ώστε να έχει θέα τη θάλασσα, σώζεται σήμερα –όπως και η δεξαμενή του- σε άριστη κατάσταση. Είναι ένα από τα ελάχιστα αρχαία θέατρα, που κατασκευάστηκαν εξ ολοκλήρου από μάρμαρο (αν και πιστεύεται πως τα καθίσματα είχαν αρχικά ξύλινη επένδυση, ωστόσο σήμερα σώζεται μόνο το μάρμαρο, Roussel, 1990) και το μοναδικό χωρίς ρωμαϊκές επεμβάσεις (Σανούδου, Καθημερινή 2012).



Σχεδιάστηκε στα πρότυπα του θεάτρου του Διονύσου της Αθήνας και υπολογίζεται ότι ήταν χωρητικότητας 6.500 θεατών (Χατζηδάκης, 2003, Roussel, 1990). Ξεκίνησε να χτίζεται το 314 π.Χ. και ολοκληρώθηκε μετά από 70 χρόνια (Χατζηδάκης, 2003) παίρνοντας την τελική μορφή του το 240 π.Χ. και παρέμεινε σε χρήση για περισσότερα από 150 χρόνια (Σανούδου, Καθημερινή 2012). Εκτιμάται πως η πρώτη διαμόρφωση του κοίλου ολοκληρώθηκε το 290 π.Χ. και η πλήρης εγκατάλειψή του επήλθε το 88 π.Χ. με την λεηλασία που δέχτηκε το νησί από τα στρατεύματα του Μιθριδάτη (Θερμού, Βήμα 2012).

Το κοίλον, το τμήμα για τους θεατές στηριζόταν σε έναν καλοχτισμένο μαρμάρινο τοίχο αντιστήριξης. Είναι χωρισμένο σε δύο διαζώματα: το κάτω, που αποτελείται από 7 κερκίδες 26 σειρών, και το πάνω, που έχει 10 κερκίδες των 17 σειρών. (Χατζηδάκης, 2003, Zaphiropoulou, 1993). Η πρόσβαση στο κοίλο γινόταν από τις παρόδους, δηλαδή 2 μεγάλες πύλες εκατέρωθεν της ορχήστρας, από 2 ακόμη εισόδους στο ύψος του διαδρόμου που χωρίζει τα διαζώματα και από μία ακόμη στο κέντρο του ψηλότερου σημείου του θεάτρου (βλ εικόνα 3.2) (Χατζηδάκης, 2003).

Τα καθίσματα της πρώτης σειράς, της προεδρίας, προορίζονταν για τιμώμενα πρόσωπα και είναι αυτά που σώζονται καλύτερα και τα μοναδικά που έχουν στήριγμα για την πλάτη (Χατζηδάκης, 2003). Η ημικυκλική ορχήστρα, το κεντρικό τμήμα του θεάτρου όπου έπαιζε ο χορός, έκλεινε με την σκηνή, ένα ορθογώνιο οικοδόμημα εξωτερικών διαστάσεων 15.26 x 6.64 m και μπροστά από τη σκηνή υπήρχε το προσκήνιο, μια στοά με δωρικούς ημικίονες, ύψους 2.67 m, όπου έπαιζαν οι ηθοποιοί (Χατζηδάκης, 2003, Zaphiropoulou, 1993).



Εικόνα 3.2. Εικονική αναπαράσταση του θεάτρου, όπως αυτό ήταν στην αρχαιότητα (Πηγή: <http://www.tovima.gr/culture/article/?aid=447339>)



Εικόνα 3.3. Αεροφωτογραφία του αρχαίου θεάτρου και της ομώνυμης δεξαμενής (Πηγή: [www.diazoma.gr](http://www.diazoma.gr))

Πίσω από την ορχήστρα, σκαμμένη στο έδαφος, βρίσκεται η εντυπωσιακή δεξαμενή του θεάτρου. Στην εικόνα 3.3 δείχνεται πανοραμικά το αρχαίο θέατρο και η δεξαμενή, όπως είναι στη σημερινή εποχή. Η δεξαμενή είναι ορθογωνική, διαστάσεων κάτοψης 24 m x 7 m και ύψους 2,4 m, ενώ ήταν καλυμμένη από πάνω με οροφή στηριζόμενη σε 8 λίθινα τόξα από γρανίτη (βλ εικόνα 3.4) (Χατζηδάκης, 2003). Τροφοδοτούταν με νερό από το κοίλο και την ορχήστρα του θεάτρου, μέσω ενός εντυπωσιακού συστήματος αποστράγγισης που κατέληγε σε μαρμάρινο οχετό περιμετρικά της ορχήστρας, ο οποίος με τη σειρά του κατέληγε στην δεξαμενή (Μαμάσης, 2012).

Παρόμοιο σύστημα αποστράγγισης θεάτρων έχει εφαρμοστεί σε πολλά αρχαία Ελληνικά θέατρα με το νερό να καταλήγει τελικώς είτε σε κάποιον φυσικό αποδέκτη είτε πιο σπάνια σε κάποια δεξαμενή (ομβροδέκτη) με σκοπό την κάλυψη υδατικών αναγκών (Kollyropoulos et al, 2015, Koutsoyiannis et al, 2008, Mays, 2010).

Η υδροληψία γινόταν μέσω άντλησης από στόμια πηγαδιών στην οροφή της δεξαμενής, επιτρέποντας έτσι τη δημόσια χρήση του συγκεντρωμένου νερού, πάντα κάτω από κανόνες προς περιορισμό της σπατάλης και τη δίκαια κατανομή του (Χατζηδάκης, 2003, Koutsoyiannis et al, 2008).

Τα τοιχώματα της δεξαμενής είναι κατασκευασμένα από γρανιτική λιθοριπή (Zaphiropoulou, 1993), στην οποία πιθανώς είχε εφαρμοστεί κάποιο επίχρισμα υδραυλικού κονιάματος αδιαπέρατο από το νερό, κάτι που συνέβαινε σε πολλές αρχαίες δεξαμενές προς μείωση των απωλειών νερού κατά την αποθήκευση (Γκρίζης, 2014). Ωστόσο, δεν σώζεται κάποιο λείψανο τέτοιου επιχρίσματος πιθανότατα λόγω

του γεγονότος πως είναι ακάλυπτη. Παρ'όλα αυτά το χαμηλής περατότητας, γρανιτικό, εδαφικό υπόστρωμα οδηγεί στο να αποθηκεύονται όμβρια ύδατα στη δεξαμενή ακόμα και σήμερα (βλ εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.4. Άποψη της δεξαμενής Θεάτρου όπου φαίνονται και τα 7 λίθινα τόξα (Πηγή: [www.diazoma.gr](http://www.diazoma.gr))



Εικόνα 3.5. Η δεξαμενή του θεάτρου, νωρίς την άνοιξη, γεμάτη με νερό (Πηγή: Χατζηδάκης, 2003)

### 3.2 Δεξαμενή Ινωπού

Ο ποταμός Ινωπός ήταν ο μεγαλύτερος και πιο σημαντικός χείμαρρος του νησιού. Η βαθειά γραμμή της κοίτης του ξεκινά στη ΒΑ πλευρά του λόφου Κύνθου, διέσχισε το νησί, μέχρι την περιοχή του Ιερού και την Ιερά Λίμνη και τέλος κατέληγε στην θάλασσα, στον κόλπο του Σκαρδανά, διαγράφοντας μια διαδρομή συνολικού μήκους 1200 m (Roussel, 1990, Κανελλόπουλος, 2007). Η λεκάνη απορροής του καλύπτει συνολικά έκταση 265 στρεμμάτων.

Η ροή του ποταμού Ινωπού σχημάτιζε κάποιο είδος φυσικής δεξαμενής κοντά στο σημείο του μνημείου του Σαραπιείου και του μικρού Θεάτρου. Στην συνέχεια στο σημείο αυτό έγινε εκτεταμένη λατόμηση στα αρχαία χρόνια προς ενίσχυση των οικοδομικών δραστηριοτήτων ειδικά την εποχή πριν τον 3<sup>ο</sup> αι π.Χ. (Roussel, 1990, Κανελλόπουλος, 2007). Η κοίλη έκταση από την λατόμηση οδήγησε εν συνεχεία στην δημιουργία φράγματος και την κατασκευή συστήματος τεχνητών δεξαμενών και κρηνών (Ινώπου κρήνη, Χατζηδάκης, 2003). Η κεντρική δεξαμενή του συστήματος αυτού είναι μήκους 43 m και πλάτους 8-10 m (Koutsoyiannis et al, 2008, Χατζηδάκης, 2003, Bruneau et Ducat, 1983). Η δεξαμενή σώζεται σε πολύ καλή κατάσταση και το μέσο βάθος της αγγίζει τα 3,4 m.

Η τροφοδοσία της δεξαμενής γινόταν από τη νότια πλευρά της, μέσω 4 στομιών τα οποία είναι ορατά ακόμα και σήμερα (Bruneau et Ducat, 1983). Η ανατολική και δυτική πλευρά της ήταν κατασκευασμένη από μάρμαρο. Η βόρεια πλευρά της δεξαμενής χωριζόταν σε 22 μαρμάρινα σκαλιά και σε κάθε δεύτερη βαθμίδα υπήρχε οπή, για την άντληση νερού (Bruneau et Ducat, 1983). Στην κεντρική πλευρά της δεξαμενής υπήρχε άνοιγμα σε σχήμα αψίδας για την εκροή των υδάτων (Μαμάσης, 2012). Το νερό που εξέρρε από τις οπές διοχετευόταν σε φρεάτιο βορειοδυτικά της δεξαμενής, όπου μέσω των υδαταγωγών ρυθμιζόταν η ροή. Εξωτερικά υπήρχε άλλο σύστημα διοχέτευσης υδάτων μέσω 2 μικρών συνεχόμενων δεξαμενών στα κατάντη (Bruneau et Ducat, 1983). Μια άλλη δεξαμενή, πιθανώς ίδιων διαστάσεων, βρισκόταν ψηλότερα, ωστόσο σήμερα δεν σώζεται κάτι από αυτήν (Χατζηδάκης, 2003, Bruneau et Ducat, 1983, Zaphiropoulou, 1993).

### 3.3 Ιερή Λίμνη

Στην βόρεια πλευρά του Ιερού του Απόλλωνα υπάρχει μια μικρή λίμνη ωοειδούς σχήματος που είναι η Τροχοειδής ή Ιερή Λίμνη του Απόλλωνα, η οποία αναφέρεται ήδη από τον Ηρόδοτο (εικόνα 3.6). Είναι αμφίβολο αν τοποθετείται εξ αρχής η γέννηση του θεού Απόλλωνα στις όχθες της, ωστόσο συνδέθηκε πολύ έντονα με τον θρύλο και την λατρεία θεού. Κατά την αρχαιότητα στα νερά της έπλεαν οι κύκνοι του Απόλλωνα (Roussel, 1990).

Ο σχηματισμός της λίμνης αυτής πιθανώς να έγινε από κάποιο φράγμα, από κάποιο είδος ρουφράχτη, στον ποταμό Ινωπό ή σε κάποιον άλλο χείμαρρο και σε συνδυασμό με το χαμηλής υδροπερατότητας, γρανιτικό εδαφικό υπόστρωμα δημιουργήθηκε η λίμνη (Roussel, 1990, Μαμάσης, 2012).

Το 1925 η Ιερή Λίμνη αποξηράνθηκε και επιχωματώθηκε, καθώς εμφανίστηκε επιδημία ελονοσίας στο νησί της Δήλου (Χατζηδάκης, 2003, Roussel, 1990, Κανελλόπουλος, 2007). Το 1933, ο Δημοσθένης Πίππας φύτεψε στο κέντρο της αποξηραμένης λίμνης έναν φοίνικα σε ανάμνηση του φοίνικα στον οποίο κατά το μύθο γέννησε η Λητώ τον Απόλλωνα και την Άρτεμη (Χατζηδάκης, 2003, Ζαφειροπούλου, 1993). Το 2003 η λίμνη ξαναγέμισε νερό προσελκύοντας πολλά είδη της ελληνικής ορνιθοπανίδας (Χατζηδάκης, 2003).

Η Ιερή Λίμνη εκτιμάται πως στην αρχαιότητα κρατούσε νερό όλο το χρόνο και στα νερά της κολυμπούσε ο ιερός κύκνος του Απόλλωνα (Bruneau et Ducat, 1983). Οι ιστορικές πηγές δεν αναφέρουν υπερχειλίσσεις της λίμνης κάτι που επιβεβαιώνει την σπανιότητα του φαινομένου (Roussel, 1990). Παρόλα αυτά, ύστερα από ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους του νησιού (παράρτημα, χάρτης 1), η οποία έγινε στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, οι πιθανές υπερχειλίσσεις θα γίνονταν μέσω της οδού των Λεόντων προς τα νοτιοδυτικά, δηλαδή προς την περιοχή του λιμανιού. Η στάθμη υπερχειλίσσης είναι τα +4,20 m απόλυτο υψόμετρο, ενώ το βαθύτερο σημείο της λίμνης είναι ελαφρώς δυτικά του υφιστάμενου φοίνικα στα +2,30 m απόλυτο υψόμετρο. Η μέγιστη χωρητικότητα της λίμνης στη φάση της υπερχειλίσσης, υπολογίστηκε με το εργαλείο ογκομετρήσεων του Autocad Civil 3D της Autodesk και ισούται με 7000 m<sup>3</sup>.

Στο παρόν μοντέλο, δεν λήφθηκαν υπόψη οι απώλειες της λίμνης λόγω κατεισόδου και η λίμνη εξετάστηκε ως στεγανός ταμιευτήρας. Η υπόθεση αυτή δικαιολογείται καθώς το γρανιτικό εδαφικό υπόβαθρο χαρακτηρίζεται ως μειωμένης υδροπερατότητας με συνέπεια την ελαχιστοποίηση των κατεισόδων. Επιπλέον, τα λεπτόκοκκα (αργιλοπηλώδη) φερτά υλικά που καθιζάνουν στον πυθμένα της λίμνης μειώνουν ακόμη περισσότερο την υδροπερατότητα αυτού, ενισχύοντας σημαντικά το εύλογο της υπόθεσης.



Εικόνα 3.6. Η Ιερή Λίμνη με και χωρίς νερό (Πηγή: Μαμάσης, 2012)

### 3.4 Υπόγεια υδροφορία και οικιακές δεξαμενές στο νησί

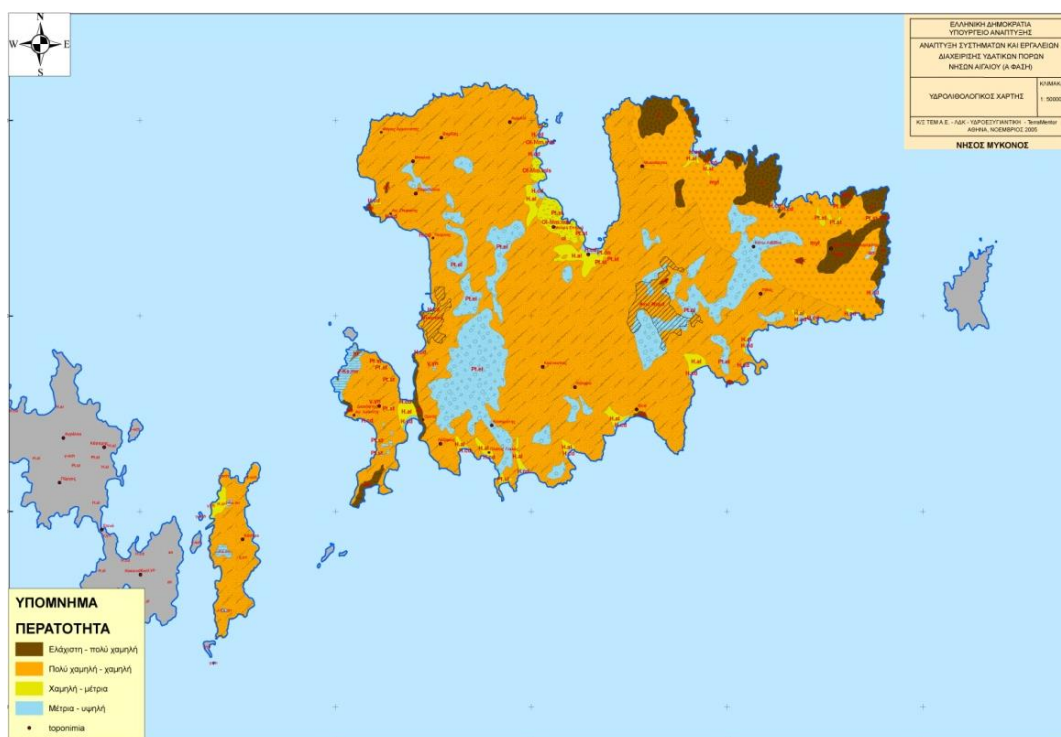
Το νησί της Δήλου χαρακτηρίζεται από μικρή έως ανύπαρκτη υπόγεια υδροφορία. Το συμπέρασμα αυτό εξάγεται εύκολα από τον λιθολογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (εικόνα 3.7) στον οποίο φαίνεται καθαρά πως η Δήλος σε όλη σχεδόν την έκτασή της χαρακτηρίζεται από εδαφικούς σχηματισμούς πολύ χαμηλής περατότητας (Μαμάσης, 2012).

Μόνο στο δυτικό μέρος του νησιού και λίγο νότια από το λιμάνι παρατηρείται μια ζώνη μέτριας περατότητας. Η ζώνη αυτή έχει έκταση 90 στρέμματα περίπου αποτελώντας τον μοναδικό υπόγειο υδροφορέα του νησιού και στην ζώνη αυτή απαντώνται και τα λιγιστά αρχαία πηγάδια απ' όπου οι αρχαίοι αντλούσαν νερό για την κάλυψη των υδατικών αναγκών τους (Bruneau et Ducat, 1983, Χατζηδάκης, 2003). Το νερό που αντλούσαν το αποθήκευαν σε μικρές παραπλήσιες δεξαμενές, κυρίως στην συνοικία της Ιερής Λίμνης, απ' όπου οι κάτοικοι μπορούσαν να προμηθευτούν νερό μέσω κρηνών (Roussel 1990, Χατζηδάκης, 2003). Η γνωστότερη από αυτές τις κρήνες είναι η κρήνη του Μίνωα, πλησίον της Στοάς, το νερό της οποίας το χρησιμοποιούσαν και για τις λιμενικές εγκαταστάσεις (Κανελλόπουλος, 2007, Roussel, 1990).

Γίνεται φανερό πως η έλλειψη των υπογείων νερών οδήγησε στην κάλυψη των υδατικών αναγκών των αρχαίων Δηλίων, ως επί το πλείστον, από τα επιφανειακά (όμβρια) ύδατα, η συγκράτηση και αποθήκευση των οποίων γινόταν σε ομβροδεξαμενές οικιακές ή δημόσιες (Bruneau et Ducat, 1983). Οι ανασκαφές έχουν δείξει πως πολλά σπίτια διέθεταν μικρές υπόγειες ομβροδεξαμενές, στις οποίες απέρρεαν οι στέγες των σπιτιών μέσω ειδικών συστημάτων σωληνώσεων και λουκιών (Bruneau et Ducat, 1983, Χατζηδάκης, 2003).

Το κάθε σπίτι και η κάθε οικογένεια μπορούσε να χρησιμοποιεί το νερό της ιδιόκτητης ομβροδεξαμενής, ωστόσο αν οι υδατικές ανάγκες της οικογένειας ήταν μεγαλύτερες (κάτι που ήταν και η συνήθης περίπτωση) τότε μπορούσαν να προμηθευτούν νερό από τις δημόσιες δεξαμενές. Η προμήθεια νερού από τις δημόσιες δεξαμενές υπόκειντο σε αυστηρό νομοθετικό πλαίσιο και ο καθένας προμηθευόταν συγκεκριμένη ποσότητα ανάλογα τις ανάγκες του (Bruneau et Ducat, 1983, Koutsoyiannis et al, 2008).

Λόγω ελλειπών στοιχείων, σημειώνεται πως οι υδατικοί πόροι αυτής της παραγράφου δεν ελήφθησαν στο μοντέλο. Άλλωστε και στην αρχαιότητα οι πόροι αυτοί, λόγω της περιορισμένης έκτασής τους πρέπει να χρησιμοποιούντο μόνο επικουρικά και πιθανώς για κάλυψη των αιχμών της ημερήσιας ζήτησης.



**Εικόνα 3.7. Λιθολογικός χάρτης Μυκόνου-Δήλου, όπου φαίνεται πως η συντριπτική πλειοψηφία των εδαφών της Δήλου χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή υδροπερατότητα (Πηγή: Μαμάσης, 2012)**

## **4. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ**

Η προσομοίωση ενός συστήματος είναι ουσιαστικά μια ποσοτική μέθοδος που αναπαριστά την λειτουργία του. Η ανάλυση της λειτουργίας του υδροσυστήματος του νησιού έγινε με τη χρήση ενός προσδιοριστικού ομοιώματος (μοντέλου), καταρτισμένου σε λογιστικό φύλλο του MS Excel. Το μοντέλο αυτό είναι ουσιαστικά η εφαρμογή ενός ισοζυγίου, σε ημερήσιο χρονικό βήμα. Με διαδοχικές εφαρμογές του μοντέλου αυτού και με αλλαγές κάθε φορά σε ορισμένες παραμέτρους του, λαμβάνουμε διαφορετικά σενάρια που περιγράφουν τη λειτουργία του υδροσυστήματος της αρχαίας Δήλου. Με την ανάλυση και την αξιολόγηση των σεναρίων αυτών, θα είναι δυνατή η εξαγωγή συμπεράσματος.

### **4.1 Δεδομένα και παραδοχές**

Το μοντέλο είναι η εφαρμογή ισοζυγίου σε ημερήσια χρονική κλίμακα για το μήκος της χρονοσειράς των βροχομετρικών δεδομένων που είναι 82 έτη (29951 ημέρες). Το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται για πολλά σενάρια κάθε από τα οποία αντιπροσωπεύει διαφορετική τιμή της ημερήσιας ζήτησης. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να εκτιμήσουμε την πραγματική ημερήσια ζήτηση της αρχαίας Δήλου και συνεπώς να εξάγουμε ένα αρκετά ασφαλές συμπέρασμα για τον αριθμό των κατοίκων του νησιού την εποχή εκείνη.

Στο παρόν μοντέλο ως πηγές ύδατος στο υδροσύστημα θεωρήθηκαν μόνο οι δεξαμενές του Θεάτρου και του Ινωπού καθώς και η Ιερά Λίμνη. Για λόγους απλότητας και έλλειψης στοιχείων αγνοήθηκαν τα πηγάδια και οι στέρνες των σπιτιών. Η υπόθεση αυτή αποτελεί μια συντηρητική υπόθεση εργασίας, ωστόσο δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα καθώς όπως ειπώθηκε στο κεφάλαιο 3, η υπόγεια υδροφορία του νησιού ήταν πολύ φτωχή, εξ ου και τα ελάχιστα πηγάδια αλλά και οι οικιακές δεξαμενές δεν ήταν μεγάλες ώστε να αποθηκεύουν σημαντικές ποσότητες νερού (Χατζηδάκης, 2003, Roussel, 1990, Bruneau et Ducat, 1983) Επιπροσθέτως, θεωρήθηκε πως οι 3 πηγές του υδροσυστήματος είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, δηλαδή η υπερχειλίση (περίσσεια) της μιας δεν αποθηκεύεται στην άλλη, κάτι που αποτελεί μια εύλογη και συνάμα συντηρητική υπόθεση εργασίας.

Για την κατάρτιση του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν οι εξής παράμετροι:

- a) ύψος ημερήσιας βροχόπτωσης ( $P_i$ )
- b) μέσο ύψος ημερήσιας εξάτμισης ( $E_j$ )
- c) έκταση της λεκάνης απορροής ( $A$ )



- d) όγκος του ταμιευτήρα (V)
- e) συντελεστής απορροής της λεκάνης (c)
- f) μέση ημερήσια ζήτηση (D<sub>j</sub>)

Είναι προφανές ότι η ακριβής καταγραφή των παραπάνω υδρολογικών δεδομένων (ημερήσια βροχόπτωση και εξάτμιση) είναι εξαιρετικά δυσμενής έως αδύνατη, λόγω της απουσίας επαρκών υδρολογικών πληροφοριών για την περίοδο που εξετάζεται. Για τον λόγο αυτό κάνουμε την παραδοχή πως οι κλιματικές συνθήκες τα τελευταία 2500 χρόνια δεν έχουν αλλάξει, έτσι ώστε να χρησιμοποιήσουμε τωρινά στοιχεία και επιπλέον πως οι κλιματικές συνθήκες μεταξύ των Αθηνών και της Δήλου είναι σχετικά όμοιες, ώστε να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα του Αστεροσκοπείου Αθηνών (Θησείο) που συνιστούν την πιο μακριά (>100 χρόνια) και πιο πλήρη χρονοσειρά μετεωρολογικών δεδομένων στην Ελλάδα.

Όσον αφορά την πρώτη παραδοχή, δηλαδή ότι οι κλιματικές συνθήκες έχουν παραμείνει αμετάβλητες από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, μπορούμε να αναφέρουμε πολύ απλοϊκά πως δεν έχουμε κανένα λόγο να πιστεύουμε πως έχουν μεταβληθεί. Από πάρα πολλές μαρτυρίες των αρχαίων περιηγητών, η βλάστηση (που είναι και ο πρώτος παράγοντας που επηρεάζεται από το κλίμα) σε όλη τη χώρα, συμπεριλαμβανομένης και της Δήλου, έχει παραμείνει ίδια (Zarkadoulas et al, 2008, Μανωλάς, 2010). Στην ιστοσελίδα [http://physiclessons.blogspot.gr/2012/04/blog-post\\_22.html](http://physiclessons.blogspot.gr/2012/04/blog-post_22.html) ο Πέλλης αναφέρει χαρακτηριστικά: «Ως προς την εξέλιξη του κλίματος της Ελληνικής χερσονήσου, εμπειρισταωμένες μελέτες έδειξαν ότι το κλίμα παρέμεινε αμετάβλητο τουλάχιστον κατά τα τελευταία 2.500 χρόνια. Πιθανόν δε απερίσκεπτα ή και κακόβουλα μερικοί επιστήμονες διατάθησαν ότι το κλίμα έγινε θερμότερο... Από τα κείμενα αρχαίων συγγραφέων συνάγεται ότι ο φοίνικας δεν ωρίμαζε τους καρπούς του κατά την εποχή του Περικλέους όπως συμβαίνει και σήμερα στην Αθήνα, ενώ στην Κύπρο, όπου η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι κατά 1°C μεγαλύτερη της θερμοκρασίας της Αθήνας οι καρποί του Φοίνικα ωριμάζουν και σήμερα και κατά την αρχαιότητα. Η θερμοκρασία δεν αυξήθηκε συνεπώς, ούτε κατά 1°C. Οι συγκομιδές και η σπορά των δημητριακών κατά τον Ησίοδο γινόταν στην Βοιωτία ακριβώς κατά τις ίδιες όπως και σήμερα».

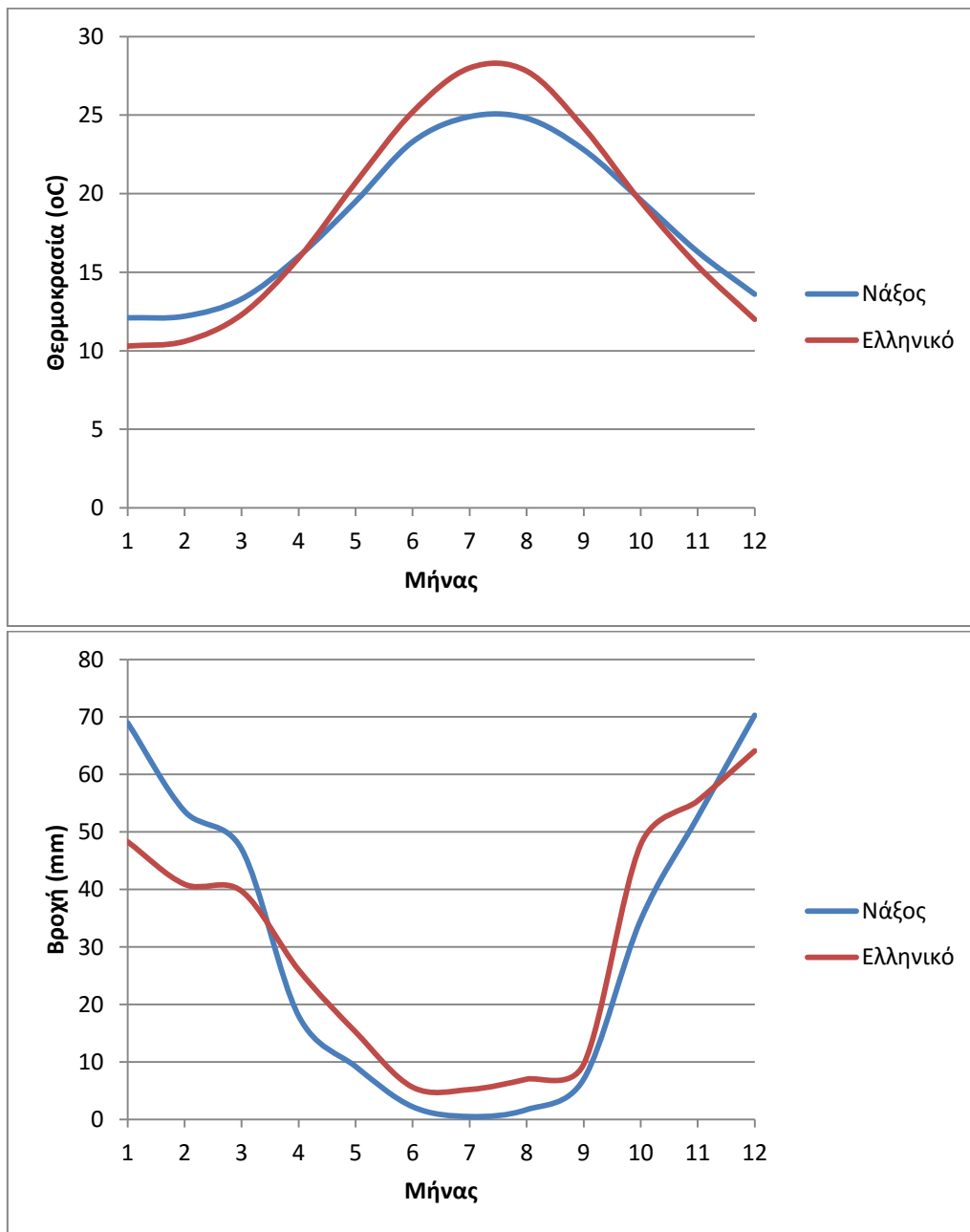
Ακόμα, στην αρχαιότητα παρατηρούνταν οι ίδιες μεταβολές καιρού και τα ίδια φαινόμενα με σήμερα όπως για παράδειγμα οι Αλκωνίδες ημέρες τον χειμώνα. Από την ιστοσελίδα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας ([www.emy.gr](http://www.emy.gr)) διαβάζουμε: «Οι αίθριες ημέρες στα μέσα του χειμώνα καλούνται 'Αλκωνίδες', από το όνομα της 'Αλκούνης' κόρης του Αίολου που κυβερνούσε τους ανέμους. Σύμφωνα με το μύθο, κάποια φορά επειδή η Αλκούνη έπεσε σε σφάλμα, ο Δίας την τιμώρησε μεταμορφώνοντάς την σε πουλί, την 'Αλκώνα', και την καταδίκασε να γεννά τα αυγά της το χειμώνα αντί την άνοιξη. Επειδή όμως άφηνε τα αυγά της στους βράχους που βρίσκονταν κοντά στην θάλασσα, ή σε όχθες ποταμών και ο χειμωνιάτικος αέρας τα παρέσυρε στα κύματα παρακάλεσε τον Δία να την συγχωρέσει. Αυτός τη

λυπήθηκε, και διέταξε τότε τον Αίολο να σταματάει για 14 ημέρες περίπου την πνοή των δυνατών ανέμων και να διατηρεί καλοκαιρία κατά το χρονικό αυτό διάστημα. (Αριστοφάνης, "ὄρνιθες" στ.1594/ "Περὶ Ἀλκυονίδων"). Ἐτσι οἱ ἀρχαῖοι Ἕλληνες ἐξηγούσαν τὴν ὑπαρξὴ αὐτῶν τῶν ἡμερῶν τοῦ "καλοῦ/αἰθριοῦ" μέσα στον χειμῶνα, τὶς οποίες ὁ Ἀριστοτέλης χαρακτήριζε καὶ ὡς ἡμέρες "εὐδίας". Οἱ "Ἀλκυονίδες ἡμέρες" τοποθετοῦνται στο χρονικό διάστημα ἀπὸ τὴν 15η Δεκ. ἕως καὶ τὴν 15η Φεβρουαρίου ἐκάστου ἔτους, με μεγαλύτερη συχνότητα τὸ διάστημα 15-31 Δεκεμβρίου καὶ 16-31 Ἰανουαρίου. Τὸ ἄνω παράδειγμα, ἀλλὰ καὶ γενικότερα ἡ προσεχτικὴ παρατήρηση τῶν φυσικῶν φαινομένων ἀπὸ τὸν λαό, διαμόρφωσε με τὴν πάροδο τοῦ χρόνου σχετικὲς παροιμίες καὶ παραδόσεις, πολλές ἐκ τῶν ὁποίων διεσώθηκαν μέσω τῶν ἀρχαίων κειμένων (π.χ ΗΣΙΟΔΟΣ/ "Ἔργα & Ἡμέραι")»

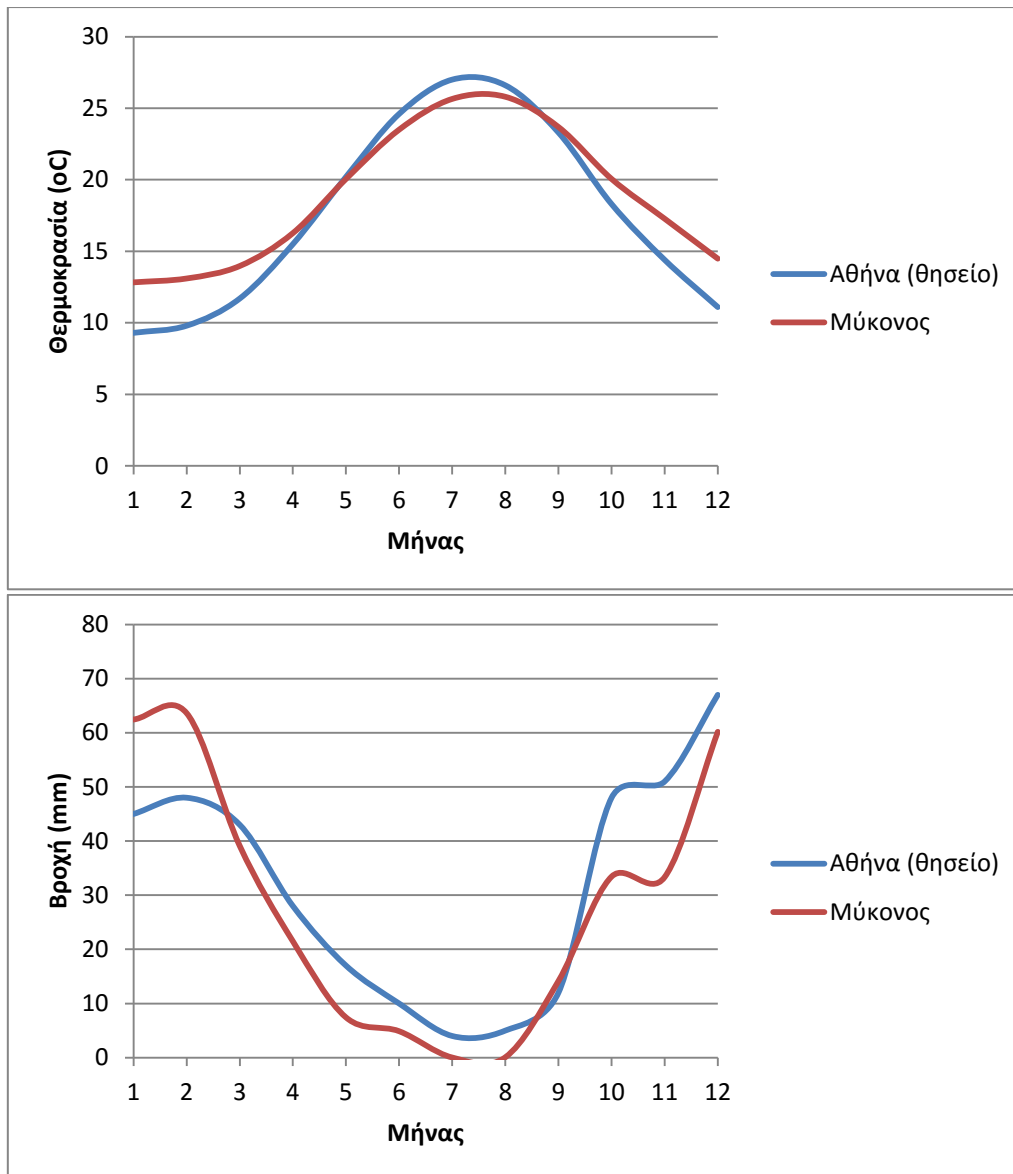
Σύμφωνα με τὰ παραπάνω ἐκτιμοῦμε πὼς τὸ κλίμα ἀπὸ τὴν ἀρχαιότητα μέχρι τὴν σημερινὴ ἐποχὴ, δηλαδή τὶς τελευταῖες 2,5 χιλιετίες ἔχει παραμείνει σχεδὸν ἀμετάβλητο, τουλάχιστον στον Ἑλλαδικὸ χῶρο (Zarkadoulas et al, 2008). Αὐτὸ βέβαια δὲν σημαίνει πὼς δὲν ὑπάρχουν διακυμάνσεις στὶς κλιματικὲς τιμές τῶν παραμέτρων (π.χ. βροχόπτωση, θερμοκρασία) καὶ μάλιστα οἱ τιμές αὐτές μπορεῖ νὰ ἀποκλίνουν καὶ ἀρκετὰ ἀπὸ τὸν μέσο ὄρο καὶ γιὰ μεγάλο χρονικὸ διάστημα (Μαρκόνης, 2015). Ὡστόσο, οἱ διακυμάνσεις αὐτές εἶναι φυσικὴ ἀπόρροια τῆς υδρολογικῆς ἐμμονῆς ποὺ χαρακτηρίζει τὸ κλίμα σὲ ὅλες τὶς χρονικὲς κλίμακες (συμπεριφορὰ Hurst-Kolmogorov, Μαρκόνης, 2015), παρὰ τὴν ἐσφαλμένη γενικὴ αἴσθησι πὼς τὸ κλίμα ἀπὸ τὴν φύση τοῦ διέπεται ἀπὸ σταθερότητα (Μαρκόνης, 2015). Παρόλα αὐτὰ, γιὰ τὶς ἀνάγκες τῆς ἐργασίας αὐτῆς, ἡ ὁποία δὲν καλεῖται νὰ ἐκπονήσῃ ἀκριβῆ υδρολογικὸ σχεδιασμό, κρίνεται ὡς ἐπαρκῆς καὶ λογικὴ ὑπόθεσι ἐργασίας νὰ χρησιμοποιηθοῦν οἱ μέσοι ὄροι τῶν κλιματικῶν παραμέτρων τῆς σύγχρονης ἐποχῆς (μέσοι ὄροι τῶν τελευταίων 80 ἐτῶν), καθὼς εἶναι ἀνέφικτο νὰ ἀναζητηθοῦν μετεωρολογικὰ στοιχεῖα τῆς ἀρχαίας ἐκείνης ἐποχῆς.

Αναφορικὰ με τὴν δεύτερη παραδοχὴ, τῆς χωρικῆς ὁμοιότητας τῶν κλιματικῶν συνθηκῶν μεταξὺ τῆς Ἀθήνας καὶ τῆς Δήλου δὲν ἔχουμε παρὰ νὰ συγκρίνομε τὶς κλιματικὲς (μέσες μηνιαίες) τιμές βροχόπτωσης καὶ θερμοκρασίας γιὰ νὰ ἐκτιμήσομε τὸ λογικὸ τῆς παραδοχῆς. Στὰ παρακάτω διαγράμματα (σχ 4.1 καὶ 4.2) συγκρίνονται οἱ μέσες μηνιαίες τιμές τῆς Ἀθήνας (Ἑλληνικὸ) με τὶς Νάξου ἀπὸ τὴν ἱστοσελίδα τῆς ΕΜΥ ([www.emy.gr](http://www.emy.gr)) καὶ τῆς Ἀθήνας (Κέντρο) με τὴν Μύκονο ἀπὸ τὴν ἱστοσελίδα τοῦ Ἀστεροσκοπεῖοῦ Ἀθηνῶν ([www.meteo.gr](http://www.meteo.gr)).

Ἡ μέση ετήσια βροχόπτωση γιὰ τὸ Ἑλληνικὸ εἶναι 364,8 mm ἐνῶ γιὰ τὴν Νάξο εἶναι 366 mm ([www.emy.gr](http://www.emy.gr)) καὶ γιὰ τὸ ἄλλο ζευγάρι σύγκρισης, ἡ μέση ετήσια βροχόπτωση τῆς Ἀθήνας (Κέντρο) εἶναι 378 mm, ἐνῶ τῆς Μυκόνου εἶναι 344 mm με 43 ἡμέρες βροχῆς ἄνω τοῦ 1 mm γιὰ τὴν Ἀθήνα καὶ 45 ἡμέρες βροχῆς ἄνω τοῦ 1 mm γιὰ τὴν Μύκονο ([www.meteo.gr](http://www.meteo.gr)).



Σχήμα 4.1. Σύγκριση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και βροχόπτωσης στην Αθήνα (Ελληνικό) και τη Νάξο (Πηγή: [www.emy.gr](http://www.emy.gr))



Σχήμα 4.2. Σύγκριση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και βροχόπτωσης στην Αθήνα (κέντρο) και τη Μύκονο (Πηγή: [www.meteo.gr](http://www.meteo.gr))

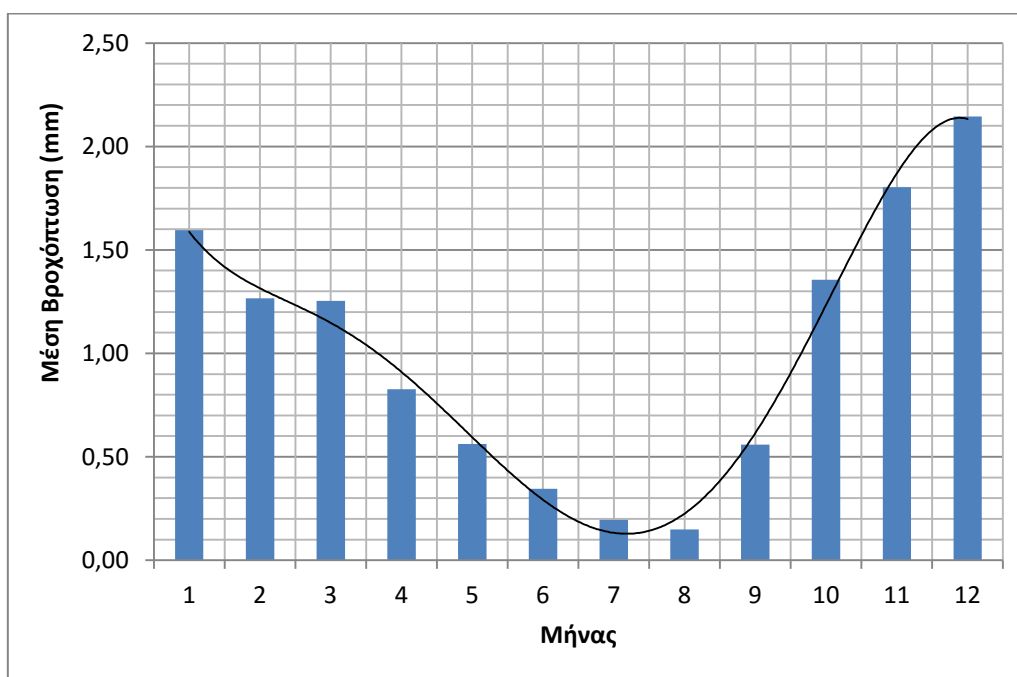
Σύμφωνα με τα παραπάνω οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως η παραδοχή της χωρικής ομοιότητας των κλιματικών συνθηκών μεταξύ Αθήνας και Δήλου είναι πολύ εύλογη.

Παρακάτω γίνεται εκτενής περιγραφή κάθε παραμέτρου του μοντέλου, σχετικά με το πώς εκτιμήθηκε και ποιες παραδοχές υπεισέρχονται σε κάθεμια.

#### 4.1.1 Ημερήσια Βροχόπτωση (P)

Ως δεδομένα ημερήσια ύψη βροχής χρησιμοποιήθηκαν πραγματικές μετρήσεις από το βροχομετρικό σταθμό του Αστεροσκοπείου των Αθηνών (Θησείο) και αφορούν την περίοδο από 10/1/1927 έως 30/9/2009 (μήκος χρονοσειράς 82 έτη). Έγινε παραδοχή όμοιου κλιματικού καθεστώτος σε επίπεδο τόσο χωρικό (η απόσταση της Αθήνας από τη Δήλο είναι 160 km) όσο και χρονικό (καθώς η περίοδος που εξετάζεται είναι 22 αιώνες πριν).

Στο σχήμα (4.3) απεικονίζεται η μέση ημερήσια βροχόπτωση για κάθε μήνα του χρόνου. Όπως φαίνεται, η βροχόπτωση στην περιοχή είναι πιο έντονη τους χειμερινούς και φθινοπωρινούς μήνες (από 1.3 mm/μέρα το Φεβρουάριο έως 2.1 mm/μέρα το Δεκέμβριο), ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρούνται χαμηλά ύψη βροχής (έως και 0.1 mm/μέρα τον Αύγουστο).

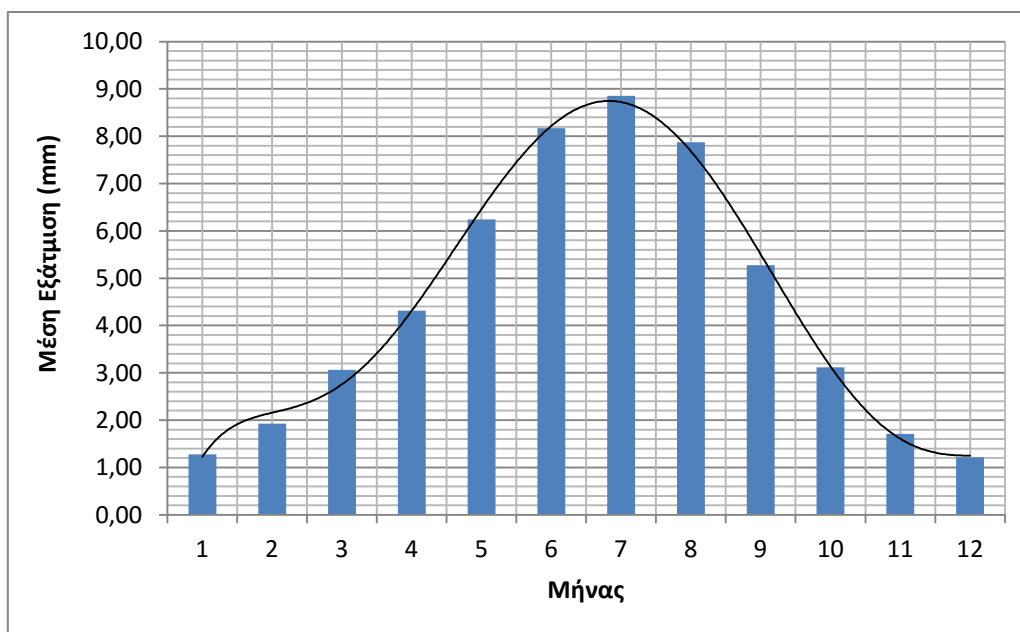


Σχήμα 4.3. Μέση ημερήσια βροχόπτωση ανά μήνα στην Αθήνα (Θησείο) (Πηγή: [www.emy.gr](http://www.emy.gr))

#### 4.1.2 Μέση Ημερήσια Εξάτμιση (E)

Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας εξάτμισης χρησιμοποιήθηκαν οι -πραγματικές- μηνιαίες μετρήσεις της περιοχής του Αστεροσκοπείου, με την παραδοχή της χωροχρονικής ομοιότητας των μετρήσεων. Επιπλέον, η κάθε μηνιαία μέτρηση διαιρέθηκε με τον αριθμό των ημερών του αντίστοιχου μήνα, για να προκύψουν έτσι τα μέσα ημερήσια ύψη εξάτμισης. Η διαπνοή δε λήφθηκε υπόψιν, καθώς η βλάστηση του νησιού ήταν πολύ περιορισμένη, όπως είναι και σήμερα .

Όπως τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου, το κλίμα της Δήλου χαρακτηρίζεται από έντονη ηλιοφάνεια, παράγοντα που επηρεάζει κατ'εξοχήν το ύψος της εξάτμισης. Στο σχήμα (4.4) φαίνεται ότι τους καλοκαιρινούς μήνες το μέσο ημερήσιο ύψος της εξάτμισης φτάνει ακόμα και τα 8,8 mm/μέρα τον Ιούλιο, τη στιγμή που τους χειμερινούς μήνες οι τιμές κυμαίνονται στα 1,2-3 mm/μέρα.



Σχήμα 4.4. Μέση ημερήσια βροχόπτωση ανά μήνα στην Αθήνα (Θησείο) (Πηγή: [www.emy.gr](http://www.emy.gr))

#### 4.1.3 Έκταση Λεκάνης Απορροής (Α)

Ως λεκάνη απορροής ορίζεται η επιφάνεια η οποία τροφοδοτεί με νερό επιφανειακής απορροής μια συγκεκριμένη διατομή ενός υδατορέματος και ορίζεται από τον υδροκρίτη (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999). Γενικώς, η έκταση της λεκάνης απορροής προσδιορίζεται σε τοπογραφικούς χάρτες ύστερα από εμβαδομέτρηση της περιοχής που περικλείεται από τον αντίστοιχο υδροκρίτη.

Όπως ειπώθηκε παραπάνω, στο παρόν μοντέλο οι πηγές του υδροσυστήματος της Δήλου είναι οι δεξαμενές του Θεάτρου και του Ινώπου, καθώς και η Ιερά Λίμνη. Συνεπώς για αυτές τις 3 πηγές υπολογίστηκε η λεκάνη απορροής για να εκτιμηθεί ο συνολικός όγκος εισροής στο σύστημα (παράρτημα, χάρτης 3).

Στη δεξαμενή του θεάτρου συγκεντρωνόταν το νερό της απορροής από το κοίλον, την ορχήστρα και την σκηνή συμπεριλαμβανομένου και του προσκηνίου. Έτσι, η έκταση μετρήθηκε 4500 m<sup>2</sup> με το εργαλείο εμβαδομέτρησης του Google Earth. Στην δεξαμενή του Ινώπου, με επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, χαράχτηκε ο υδροκρίτης της λεκάνης του ποταμού μέχρι το σημείο της δεξαμενής και μετά από εμβαδομέτρηση προέκυψε η έκταση της λεκάνης απορροής ίση με 194000 m<sup>2</sup>. Τέλος, για την Ιερή Λίμνη, χαράχτηκε μέσω επεξεργασίας του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, ο υδροκρίτης της λεκάνης της λίμνης και μετά από εμβαδομέτρηση προέκυψε η έκταση της λεκάνης απορροής ίση με 260000 m<sup>2</sup>.

#### 4.1.4 Συντελεστής Απορροής Λεκάνης (c)

Στις περισσότερες περιπτώσεις λεκανών, ο όγκος του νερού που εισέρχεται δεν συμπίπτει με τον όγκο του νερού που απορρέει από αυτές. Σχεδόν πάντα παρατηρούνται απώλειες κατά τη διάρκεια της απορροής, που οφείλονται σε παράγοντες όπως οι κατακρατήσεις λόγω του ανάγλυφου της λεκάνης, η διήθηση του νερού στο έδαφος, η φυτοκάλυψη της περιοχής, οι κλιματικές συνθήκες κ.α..

Ο συντελεστής απορροής της λεκάνης είναι μια αδιάστατη παράμετρος που αντιπροσωπεύει την αναλογική σχέση της απορροής ως προς το ύψος της βροχόπτωσης (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999). Με γνώμονα τα παραπάνω, έγινε μια συντηρητική εκτίμησή του για κάθε λεκάνη που μελετήθηκε, λαμβάνοντας υπόψιν ότι η εξάτμιση -που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις απώλειες κατά τη διάρκεια της απορροής - έχει ήδη συμπεριληφθεί στον υπολογισμό του απορρέοντος νερού.

Η λεκάνη απορροής του θεάτρου είναι κατασκευασμένη από αδιαπέρατο υλικό (μάρμαρο), άρα η διήθηση εκεί μπορεί να θεωρηθεί μηδενική, όπως και η κατακράτηση νερού λόγω φυτοκάλυψης. Συνυπολογίζοντας τις ενδεχόμενες κατασκευαστικές ατέλειες που επηρεάζουν την απορροή, για τη λεκάνη του θεάτρου λήφθηκε συντελεστής απορροής  $c=0,9$ .

Με αντίστοιχη λογική, εκτιμήθηκε ο συντελεστής απορροής για τη λεκάνη του Ινωπού και τη λεκάνη της Ιερής Λίμνης. Η περίπτωση αυτή, βέβαια, είναι διαφορετική, καθώς η εν λόγω έκταση είναι εδαφική και χαρακτηρίζεται από εντονότερο ανάγλυφο και κάποια μικρή φυτοκάλυψη. Η εδαφική στρώση της λεκάνης είναι από γρανίτη, υλικό χαμηλής υδατοπερατότητας, ενώ η χλωρίδα της περιοχής απαρτίζεται από μικρά φυτά. Παρατηρούνται, επίσης, κοιλάττες στο ανάγλυφο της λεκάνης που συνεισφέρουν στη μείωση της απορροής. Ως εκ τούτου, η επιλογή συντελεστή  $c=0,7$  κρίνεται εύλογη λαμβάνοντας υπόψη πως κατά την εφαρμογή του μοντέλου, το χρονικό βήμα είναι η ημέρα και ως εισροή στο σύστημα λήφθηκε απευθείας η ημερήσια βροχή αφαιρώντας την μέση ημερήσια εξάτμιση για κάθε μήνα.



#### 4.1.5 Μέση Ημερήσια Ζήτηση (Dj)

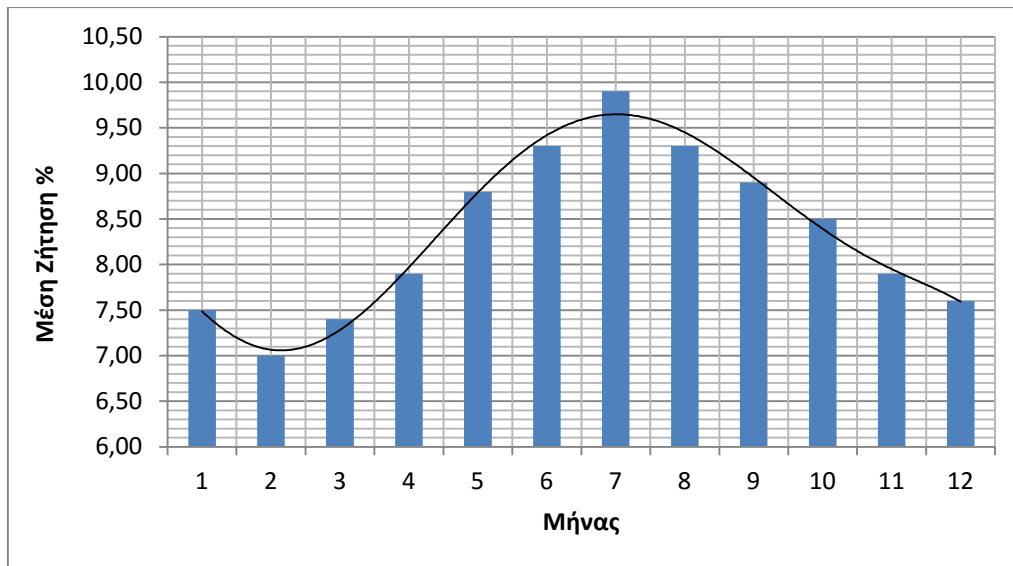
Το μέγεθος αυτό αντιπροσωπεύει την ποσότητα νερού (σε m<sup>3</sup>) που λαμβάνεται σε καθημερινή βάση από τον ταμιευτήρα για την κάλυψη αναγκών. Στο μοντέλο που κατασκευάστηκε, η ζήτηση ουσιαστικά αποτελεί μεταβλητή ποσότητα. Οι διαδοχικές εφαρμογές του μοντέλου για διαφορετικές τιμές ζήτησης παράγει μια σειρά σεναρίων λειτουργίας του εκάστοτε ταμιευτήρα, από τα οποία τελικά μπορεί να γίνει η επιλογή του πιο ρεαλιστικού.

Σύμφωνα με το νόμο του Σόλωνα για τον περιορισμό των υδροληψιών, θεωρήθηκε μέση ημερήσια ζήτηση ανά άτομο τα 10 λίτρα (L). Σύμφωνα με το νόμο αυτό, το κάθε σπίτι ή αλλιώς η κάθε οικογένεια μπορούσε να ανοίξει ιδιωτικό πηγάδι εάν ήταν σε απόσταση μεγαλύτερη των 4 σταδίων (710 m) από ήδη διανοιγμένο. Αν έσκαβε σε βάθος μεγαλύτερο των 18 m χωρίς να βρεθεί νερό, τότε μπορούσε να παίρνει νερό από το γειτονικό πηγάδι το πολύ 20 L, 2 φορές την ημέρα (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 2014, Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2015). Συνεπώς, θεωρούμε πως αντιστοιχούν σε κάθε οικογένεια 40 L ανά ημέρα και εκτιμώντας πως η κάθε οικογένεια έχει 4 μέλη κατά μέσο όρο, καταλήγουμε πως η μέση ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο είναι τα 10 L.

Για την καλύτερη προσέγγιση της πραγματικής λειτουργίας, η ζήτηση που εισάγεται (10 L) τροποποιείται ώστε να λαμβάνεται υπόψη η εποχική επίδραση στις ανάγκες για νερό. Έτσι, η μέση ημερήσια ζήτηση εισάγεται στο μοντέλο ως σταθερή για κάθε ημέρα του μήνα, αλλά διαφορετική για κάθε μήνα του χρόνου. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι συντελεστές ημερήσιας ζήτησης της Ε.ΥΔ.Α.Π. που είναι αυτοί που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία της ζήτησης στο μοντέλο.

**Πίνακας και Διάγραμμα Συντελεστών Ημερήσιας Ζήτησης, Πηγή Ε.ΥΔ.Α.Π.**

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Συντελεστής Κατανάλωσης	7,5	7	7,4	7,9	8,8	9,3	9,9	9,3	8,9	8,5	7,9	7,6



## 4.2 Λειτουργία Μοντέλου

Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, το μοντέλο ουσιαστικά αποτελεί την εφαρμογή ισοζυγίου σε ημερήσια κλίμακα για το μήκος της χρονοσειράς των 82 ετών. Η χρήση του μοντέλου γίνεται με διαφορετικές τιμές ζήτησης κάθε φορά, ώστε να γίνει δυνατή η επιλογή του σεναρίου λειτουργίας που προσεγγίζει κατά το δυνατόν την πραγματικότητα. Πριν την περιγραφή των μαθηματικών σχέσεων που εφαρμόστηκαν, παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των συμβολισμών που εμφανίζονται.

**Πίνακας Συμβολισμών**

Σύμβολο	Μέγεθος	Μονάδες
i	Ημερήσιος Δείκτης	-
j	Μηνιαίος Δείκτης	-
P	Βροχόπτωση	mm
E	Εξάτμιση	mm
A	Έκταση Λεκάνης Απορροής	m <sup>2</sup>
c	Συντελεστής Απορροής	-
Q	Εισροή Ταμιευτήρα	m <sup>3</sup>
D	Ζήτηση-Εκροή Ταμιευτήρα	m <sup>3</sup>
K	Ισοζύγιο Ταμιευτήρα	m <sup>3</sup>
L	Απόθεμα Ταμιευτήρα	m <sup>3</sup>
O	Όγκος Υπερχείλισης	m <sup>3</sup>
U	Όγκος Ελλείμματος	m <sup>3</sup>
k	Συντελεστής Ζήτησης	-
V	Όγκος Ταμιευτήρα	m <sup>3</sup>
N <sub>f</sub>	Αριθμός Αστοχιών	-
N <sub>o</sub>	Αριθμός Υπερχειλίσεων	-

#### 4.2.1 Ημερήσια Εισροή Ταμιευτήρα ( $Q_i$ )

Η ημερήσια εισροή στον ταμιευτήρα αντιπροσωπεύει τον όγκο νερού που καταλήγει στη δεξαμενή στο τέλος κάθε ημέρας μελέτης. Η εξίσωση υπολογισμού της είναι:

$$Q_i = [(P_i - E_j) / 1000] * c * A \quad [m^3], \quad \text{όταν } P_i > E_j$$

Αλλιώς,

$$Q_i = 0$$

Παρατηρούμε ότι η εισροή είναι μηδενική όταν η μέση ημερήσια εξάτμιση υπερβαίνει σε ύψος την ημερήσια βροχόπτωση.

#### 4.2.2 Μέση Ημερήσια Ζήτηση ( $D$ )

Η μέση ημερήσια ζήτηση επιλέγεται στην αρχή της εφαρμογής του μοντέλου και στη συνέχεια ανάγεται σε ετήσιο επίπεδο με τον πολλαπλασιασμό:

$$D_{ολ} = D * 365 \quad [m^3]$$

Στη συνέχεια, η ετήσια ζήτηση «μοιράζεται» στην κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με το μήνα στον οποίο ανήκει, με τη χρήση του συντελεστή  $k$  ως εξής:

$$D_j = D_{ολ} * k_j / 100 \quad [m^3]$$

Η ζήτηση αυτή αντιπροσωπεύει τις ημερήσιες ανάγκες σε νερό, σταθμισμένες όμως σύμφωνα με την εποχική επίδραση στις ανθρώπινες δραστηριότητες.

### 4.2.3 Ισοζύγιο (K<sub>i</sub>)

Με το ημερήσιο ισοζύγιο υπολογίζεται η ποσότητα νερού που θα απέμενε σε έναν απείρου όγκου ταμιευτήρα με την ίδια λεκάνη απορροής και τα ίδια υδρολογικά μεγέθη με την υπό μελέτη δεξαμενή. Με άλλα λόγια, στον υπολογισμό του ισοζυγίου δεν υπεισέρχονται καθόλου οι διαστάσεις του ταμιευτήρα που μελετάται, αλλά μόνο οι εισροές και οι εκροές από αυτόν. Η εξίσωση υπολογισμού είναι:

$$K_i = Q_i + L_{i-1} - D_j \text{ [m}^3\text{]} , \text{ όπου } L_{i-1}: \text{ το απόθεμα του ταμιευτήρα την προηγούμενη ημέρα}$$

### 4.2.4 Απόθεμα (L<sub>i</sub>)

Το ημερήσιο απόθεμα είναι η ποσότητα νερού που απομένει στον ταμιευτήρα στο τέλος κάθε μέρας μελέτης. Η διαφορά του με το ισοζύγιο είναι ότι περιορίζεται από τις διαστάσεις της δεξαμενής. Πιο συγκεκριμένα:

$$L_i = \begin{cases} K_i = Q_i + L_{i-1} - D_j \text{ [m}^3\text{]} , & \text{για } 0 < K_i < V \\ V & , \text{για } K_i \geq V \\ 0 & , \text{για } K_i \leq 0 \end{cases}$$

### 4.2.5 Όγκος Υπερχείλισης (O<sub>i</sub>)

Με τον ημερήσιο όγκο υπερχείλισης υπολογίζεται (εφόσον υπάρχει) η ποσότητα του νερού που υπερβαίνει τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα στο τέλος της ημέρας μελέτης. Υπολογίζεται ως εξής:

$$O_i = K_i - V \text{ [m}^3\text{]} , \text{ για } K_i > V$$

Αλλιώς,

$$O_i = 0$$

#### 4.2.6 Όγκος Ελλείμματος ( $U_i$ )

Ο όγκος του ημερήσιου ελλείμματος είναι η ποσότητα νερού, κατά την οποία ο ταμιευτήρας απέτυχε να καλύψει την ημερήσια ζήτηση. Είναι σαφές, λοιπόν, ότι ελλείμματα εμφανίζονται όταν το ημερήσιο ισοζύγιο είναι αρνητικό. Συγκεκριμένα:

$$U_i = |K_i| \quad , \text{ για } K_i < 0$$

Αλλιώς,

$$U_i = 0$$

#### 4.2.7 Αριθμός Αστοχιών ( $N_f$ ) και Αριθμός Υπερχειλίσεων ( $N_o$ )

Ο αριθμός των αστοχιών είναι ουσιαστικά ο αριθμός των ημερών μέσα στην χρονοσειρά των 82 περίπου ετών (29951 ημέρες) στις οποίες παρατηρήθηκε έλλειμμα, δηλαδή η αδυναμία κάλυψης της ημερήσιας ζήτησης. Ο αριθμός αυτός ως ποσοστό των συνολικών ημερών για τις οποίες εφαρμόζεται το μοντέλο εκφράζει την πιθανότητα αστοχίας του υδροσυστήματος ή αν το ποσοστό αφαιρεθεί από την μονάδα, την αξιοπιστία του.

Αντίστοιχα με τον αριθμό αυτό υπολογίζεται και ο αριθμός των υπερχειλίσεων, δηλαδή ο αριθμός των ημερών στις οποίες ο όγκος υπερχειλίσης ( $O_i$ ) είναι θετικός. Οι υπερχειλίσεις δεν αποτελούν αστοχία για το υδροσύστημα, ωστόσο είναι ένδειξη υποδιαστασιολόγησης του συστήματος.

## **5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

### **5.1 Στοιχεία εισόδου - σύνοψη**

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η εφαρμογή του μοντέλου με σκοπό την διερεύνηση της αξιοπιστίας του υδροσυστήματος για διάφορες τιμές της ημερήσιας ζήτησης (σενάρια), έτσι ώστε να εκτιμηθεί η τιμή της ζήτησης που πλησιάζει περισσότερο την πραγματικότητα.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφησαν λεπτομερώς οι υδατικοί πόροι του νησιού. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι οι δεξαμενές του Θεάτρου και του Ινώπου και η Ιερή Λίμνη. Για λόγους απλότητας, στο μοντέλο αγνοούνται τυχόν οικιακές δεξαμενές καθώς και αντλήσεις από τοπικά πηγάδια. Η υπόθεση αυτή κρίνεται εύλογη καθώς οι οικιακές δεξαμενές και στέρνες δεν ήταν σημαντικών διαστάσεων αλλά και η υπόγεια υδροφορία του νησιού της Δήλου ήταν πολύ περιορισμένη.

Στο κεφάλαιο 4, δόθηκε έμφαση στις παραμέτρους και τις παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν για να καταρτιστεί το μοντέλο. Εν συντομία, αρχικά αναφέρεται πως για μετεωρολογικά δεδομένα ελήφθησαν τα δεδομένα των Αθηνών (Θησείο) για την χρονική περίοδο από 10/1/1927 έως 30/9/2009 (μήκος χρονοσειράς 82 έτη). Επίσης, το μοντέλο εφαρμόζεται για ημερήσιο χρονικό βήμα και γίνεται η παραδοχή πως ο υδατικός όγκος που εισέρχεται στο υδροσύστημα είναι πάντοτε βροχή πλην εξάτμιση.

Η απόληψη του νερού γίνεται από τις δεξαμενές του Θεάτρου και του Ινωπού και την Ιερή Λίμνη. Στο παρόν μοντέλο θεωρήθηκαν ως 3 ανεξάρτητοι ταμιευτήρες. Η δεξαμενή του Θεάτρου έχει όγκο  $405 \text{ m}^3$  και αποστραγγίζει το κοίλον και την ορχήστρα του Θεάτρου, επιφάνεια με εμβαδόν ίσο με  $4500 \text{ m}^2$ . Ο συντελεστής απορροής της έκτασης αυτής ελήφθει ίσος με 0,9. Η δεξαμενή του ποταμού Ινώπου βρίσκεται ουσιαστικά στην κοίτη του ποταμού (χείμαρρου), έχει όγκο  $1460 \text{ m}^3$  και αποστραγγίζει τις δυτικές υπώρειες του Κύνθιου λόφου, μια επιφάνεια με εμβαδόν ίσο με  $194000 \text{ m}^2$ . Ο συντελεστής απορροής της έκτασης αυτής ελήφθει ίσος με 0,7. Τέλος, η Ιερά Λίμνη, θεωρήθηκε απλός στεγανός ταμιευτήρας, συνολικού όγκου  $7000 \text{ m}^3$  μέχρι τη στάθμη υπερχείλισης στο +4,20 m απόλυτο υψόμετρο. Η λεκάνη απορροής της λίμνης έχει έκταση  $260000 \text{ m}^2$  (μέσα στην οποία βρίσκεται και το κατοικημένο τμήμα της συνοικίας της λίμνης) και ο μέσος συντελεστής απορροής της λεκάνης ελήφθει ίσος με 0,7.

Το αρχικό απόθεμα και στους 3 ταμιευτήρες θεωρήθηκε αρχικά ίσο με το 0. Η παράμετρος του αρχικού αποθέματος είναι ασήμαντη καθώς το συνολικό απόθεμα και των 3 ταμιευτήρων ( $8865 \text{ m}^3$ ) είναι αμελητέο μπροστά στον συνολικό όγκο εισροής νερού. Τέλος, επισημαίνεται πως η εποχική διακύμανση της ζήτησης στο νησί θεωρήθηκε πως ακολουθά το μοντέλο διακύμανσης της ΕΥΔΑΠ (βλ παράγραφο 4.1.5.).

## 5.2 Αποτελέσματα μοντέλου

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το μοντέλο εφαρμόστηκε για χρονική περίοδο 82 ετών, σε ημερήσια χρονική κλίμακα, για διάφορες τιμές της ζήτησης (σενάρια), για κάθεμία από τις οποίες υπολογίζεται η αξιοπιστία του υδροσυστήματος, δηλαδή η ικανότητά του να εξυπηρετήσει την συγκεκριμένη τιμή ζήτησης. Γενικώς, στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε ως ελάχιστη επιτρεπόμενη αξιοπιστία του συστήματος το 90%, δηλαδή επιτρέπεται αστοχία στο 10% των περιπτώσεων, ήτοι στο 10% των ημερών για τις οποίες εφαρμόζεται το μοντέλο (82 έτη – 29951 ημέρες). Συνεπώς, θεωρούμε πως η μέγιστη ζήτηση που μπορεί να καλυφθεί από κάθε δεξαμενή είναι αυτή για την οποία το σύστημα έχει αξιοπιστία περίπου ίση με **90%**. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε δεξαμενή ξεχωριστά.

### 5.2.1 Δεξαμενή Θεάτρου

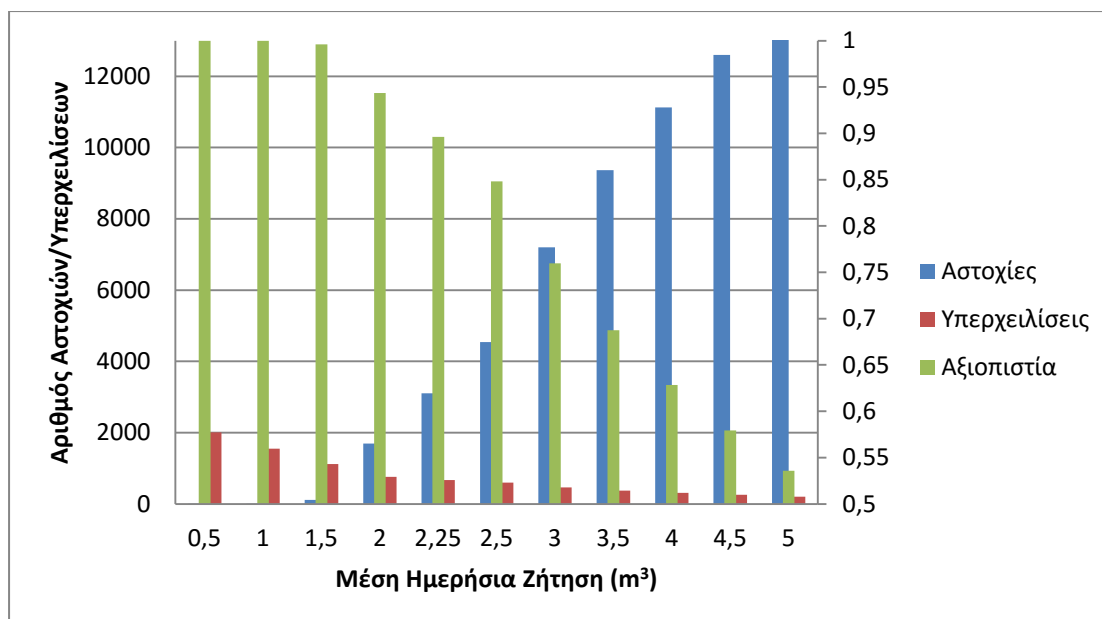
Πίνακας 5.1. Δεδομένα δεξαμενής Θεάτρου

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΘΕΑΤΡΟΥ	
Έκταση Λεκάνης (m <sup>2</sup> )	4500
Όγκος Δεξαμενής (m <sup>3</sup> )	405
Συντελεστής Απορροής	0.9
Αρχικό Απόθεμα (m <sup>3</sup> )	0

Πίνακας 5.2. Αξιοπιστία δεξαμενής ανάλογα την μέση ημερήσια ζήτηση (m<sup>3</sup>)

Ημερήσια Ζήτηση (m <sup>3</sup> )	Αριθμός Αστοχιών	Αριθμός Υπερχειλίσεων	Αξιοπιστία %
0.5	7	2010	0.99977
1	7	1553	0.99977
1.5	114	1115	0.99619
2	1697	760	0.94334
2.25	3106	666	0.8963
2.5	4544	595	0.84829
3	7202	467	0.75954
3.5	9363	374	0.68739
4	11130	306	0.62839
4.5	12604	258	0.57918
5	13903	199	0.53581



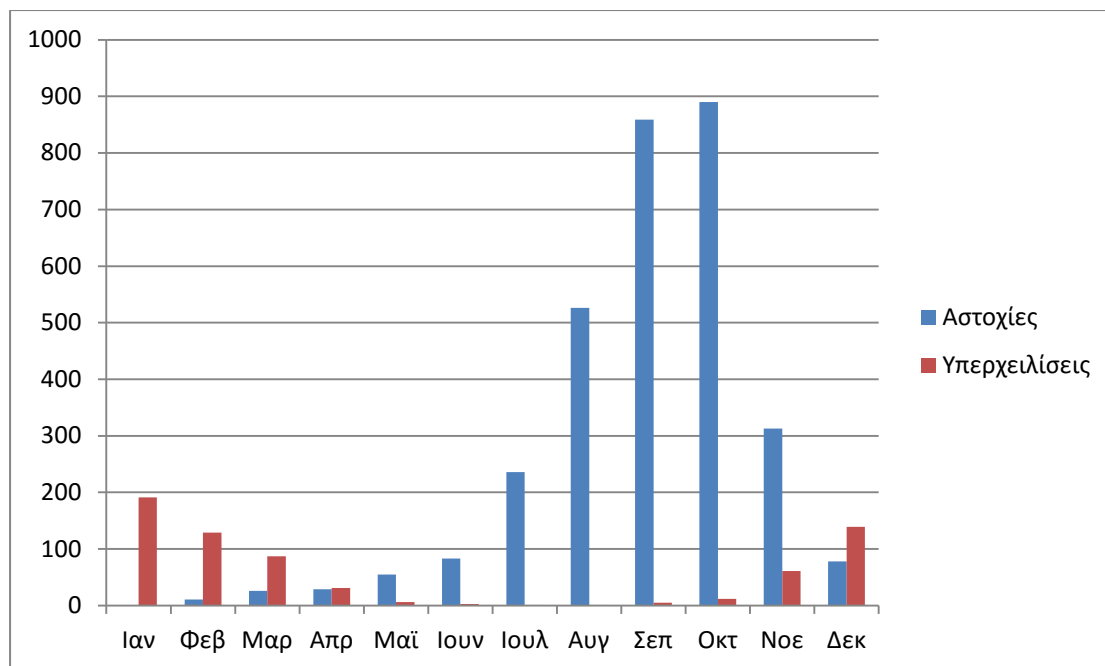


**Διάγραμμα 5.1. Αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων και αξιοπιστία δεξαμενής Θεάτρου συναρτήσει της μέσης ημερήσιας ζήτησης σε m<sup>3</sup>.**

Στον πίνακα 5.1 δίνονται τα αρχικά δεδομένα (παραδοχές) του μοντέλου της δεξαμενής Θεάτρου. Σύμφωνα με τον πίνακα 5.2, είναι εμφανές πως για αξιοπιστία 90%, η μέση ημερήσια ζήτηση που μπορεί να εξυπηρετήσει η δεξαμενή Θεάτρου είναι τα **2,25 m<sup>3</sup>**. Στο διάγραμμα 5.1 δείχνεται εμφανώς πως μειώνεται η αξιοπιστία και ο αριθμός των υπερχειλίσεων και πως αυξάνεται ο αριθμός των αστοχιών συναρτήσει της αύξησης της μέσης ημερήσιας ζήτησης. Για την δεδομένη ζήτηση των 2,25 m<sup>3</sup>/d παρατίθενται τα κάτωθι αποτελέσματα.

**Πίνακας 5.3. Ζήτηση (m<sup>3</sup>) και αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων για κάθε μήνα ξεχωριστά, με μέση ημερήσια ζήτηση 2,25 m<sup>3</sup>, για την δεξαμενή του Θεάτρου.**

Ζήτηση	2.25	Αστοχίες	Υπερχειλίσσεις
61.59375	Ιαν	0	191
57.4875	Φεβ	11	129
60.7725	Μαρ	26	87
64.87875	Απρ	29	31
72.27	Μαΐ	55	6
76.37625	Ιουν	83	3
81.30375	Ιουλ	236	1
76.37625	Αυγ	526	1
73.09125	Σεπ	859	5
69.80625	Οκτ	890	12
64.87875	Νοε	313	61
62.415	Δεκ	78	139



**Διάγραμμα 5.2. Αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων ανά μήνα, με μέση ημερήσια ζήτηση  $2,25 \text{ m}^3$ , για την δεξαμενή του Θεάτρου.**

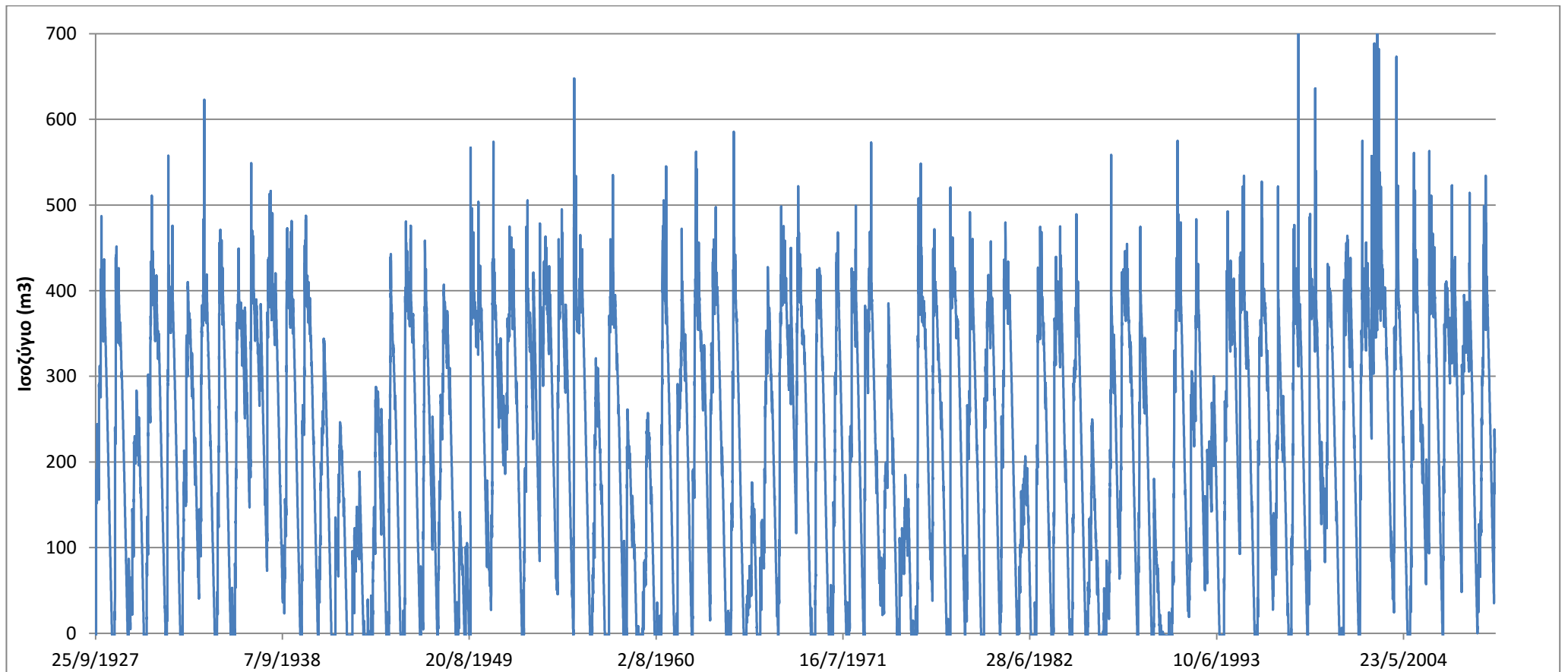
Στον πίνακα 5.3 και στο διάγραμμα 5.2 φαίνεται ο αριθμός των αστοχιών και των υπερχειλίσεων για κάθε μήνα με δεδομένη την ζήτηση των  $2.25 \text{ m}^3/\text{day}$ .

Ο συνολικός όγκος εισροής στην δεξαμενή Θεάτρου (ωφέλιμος όγκος  $405 \text{ m}^3$ ) είναι  $84868,4 \text{ m}^3$  και η μέση ετήσια εισροή αντιστοιχεί σε  $1035 \text{ m}^3$ .

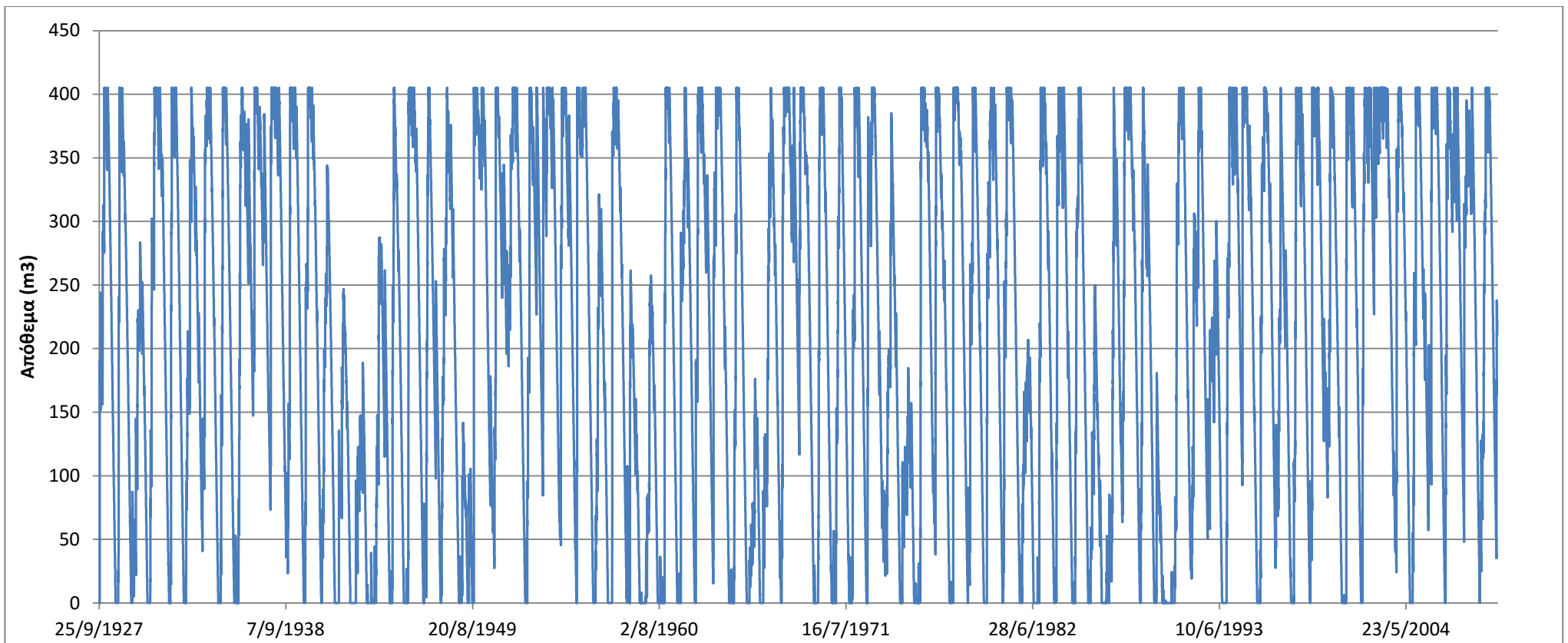
Για μέση ημερήσια ζήτηση  $2,25 \text{ m}^3$ , ο συνολικός όγκος των υπερχειλίσεων είναι  $24435,5 \text{ m}^3$  και ο συνολικός όγκος του ελλείμματος είναι  $7163,4 \text{ m}^3$ .

Αντίστοιχα, ο μέσος ετήσιος όγκος υπερχειλίσης είναι  $298 \text{ m}^3$  και ο μέσος ετήσιος όγκος ελλείμματος είναι  $87,4 \text{ m}^3$ .

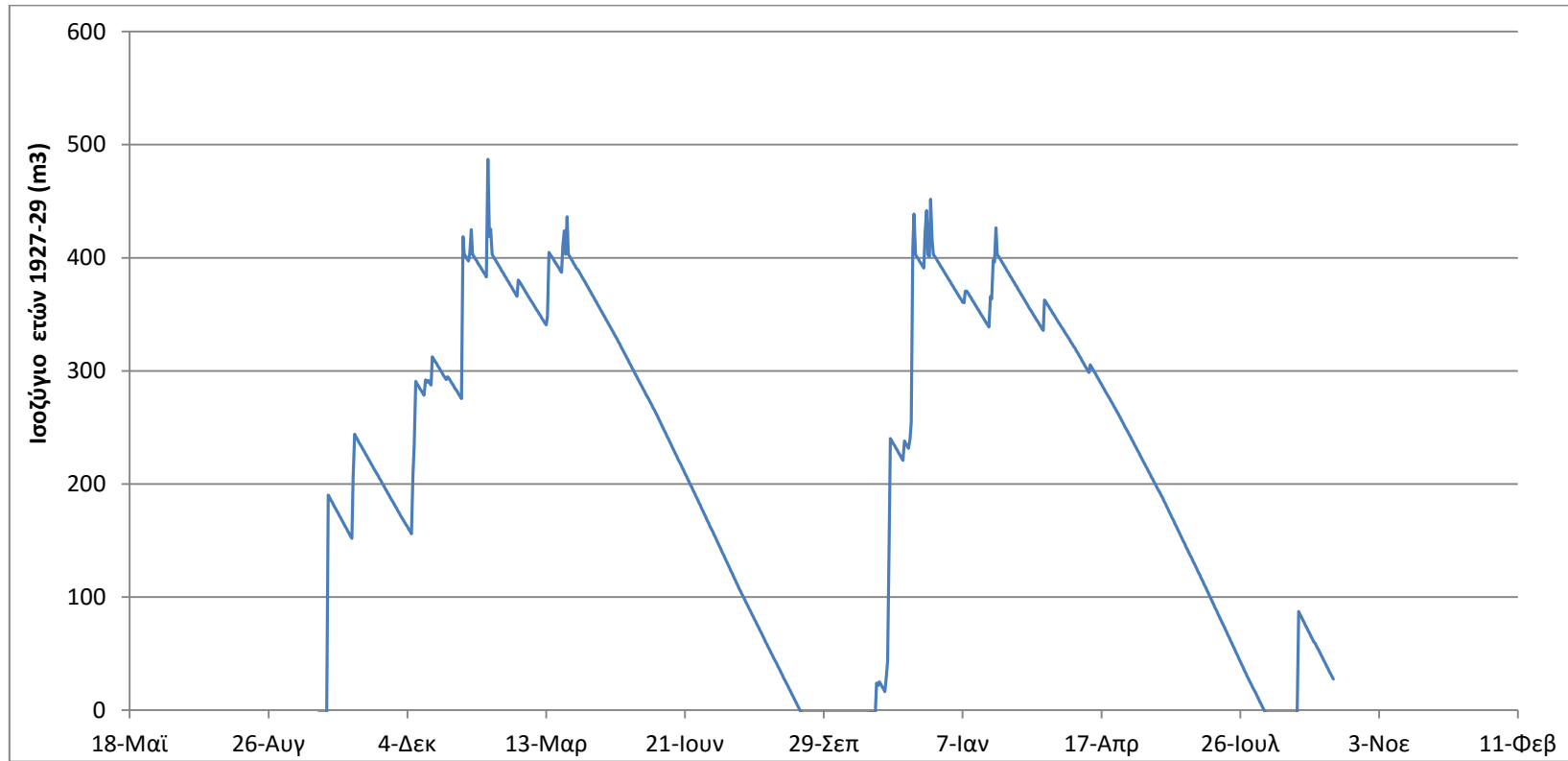
Στο διάγραμμα 5.3, και 5.4 φαίνεται η διακύμανση του ισοζυγίου και του αποθέματος της δεξαμενής του Θεάτρου στο σύνολο της χρονοσειράς για την οποία εφαρμόστηκε το μοντέλο. Τέλος, στο διάγραμμα 5.5 φαίνεται η μηνιαία διακύμανση του ισοζυγίου για 2 υδρολογικά έτη με δεδομένη τη ζήτηση των  $2.25 \text{ m}^3/\text{day}$



**Διάγραμμα 5.3.** Διακύμανση ισοζυγίου ( $m^3$ ) συναρτήσει του χρόνου, για την δεξαμενή του Θεάτρου, με μέση ημερήσια ζήτηση  $2,25 m^3$ .



**Διάγραμμα 5.4. Διακύμανση αποθέματος ( $m^3$ ) συναρτήσει του χρόνου, για την δεξαμενή του Θεάτρου, με μέση ημερήσια ζήτηση  $2,25 m^3$ .**



**Διάγραμμα 5.5. Διακύμανση ισοζυγίου (m<sup>3</sup>) για τα υδρολογικά έτη 1927-28 και 1928-29, για την δεξαμενή του Θεάτρου, με μέση ημερήσια ζήτηση 2,25 m<sup>3</sup>.**

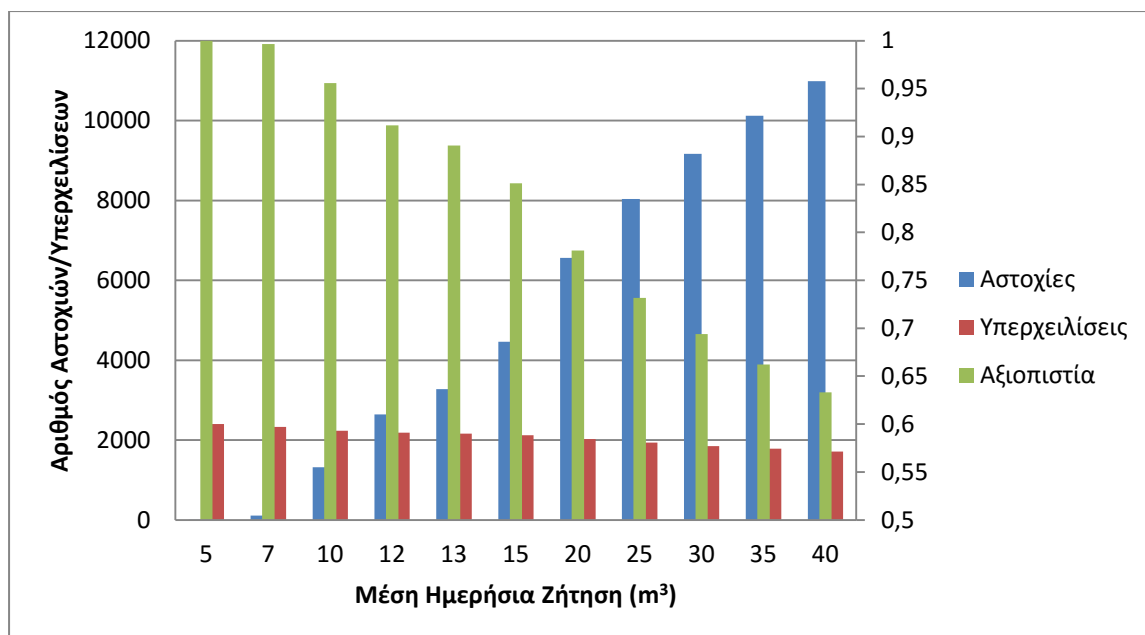
## 5.2.2 Δεξαμενή Ινωπού

Πίνακας 5.4. Δεδομένα δεξαμενής Ινωπού

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΙΝΩΠΟΥ	
Έκταση Λεκάνης (m <sup>2</sup> )	194000
Όγκος Δεξαμενής (m <sup>3</sup> )	1460
Συντελεστής Απορροής	0.7
Αρχικό Απόθεμα (m <sup>3</sup> )	0

Πίνακας 5.5. Αξιοπιστία δεξαμενής Ινωπού ανάλογα την μέση ημερήσια ζήτηση (m<sup>3</sup>)

Ημερήσια Ζήτηση (m <sup>3</sup> )	Αριθμός Αστοχιών	Αριθμός Υπερχευλίσεων	Αξιοπιστία %
5	7	2401	0.99977
7	107	2328	0.99643
10	1321	2233	0.95589
12	2643	2182	0.91176
13	3275	2158	0.89065
15	4459	2121	0.85112
20	6562	2026	0.78091
25	8034	1936	0.73176
30	9164	1850	0.69403
35	10121	1785	0.66208
40	10988	1712	0.63313

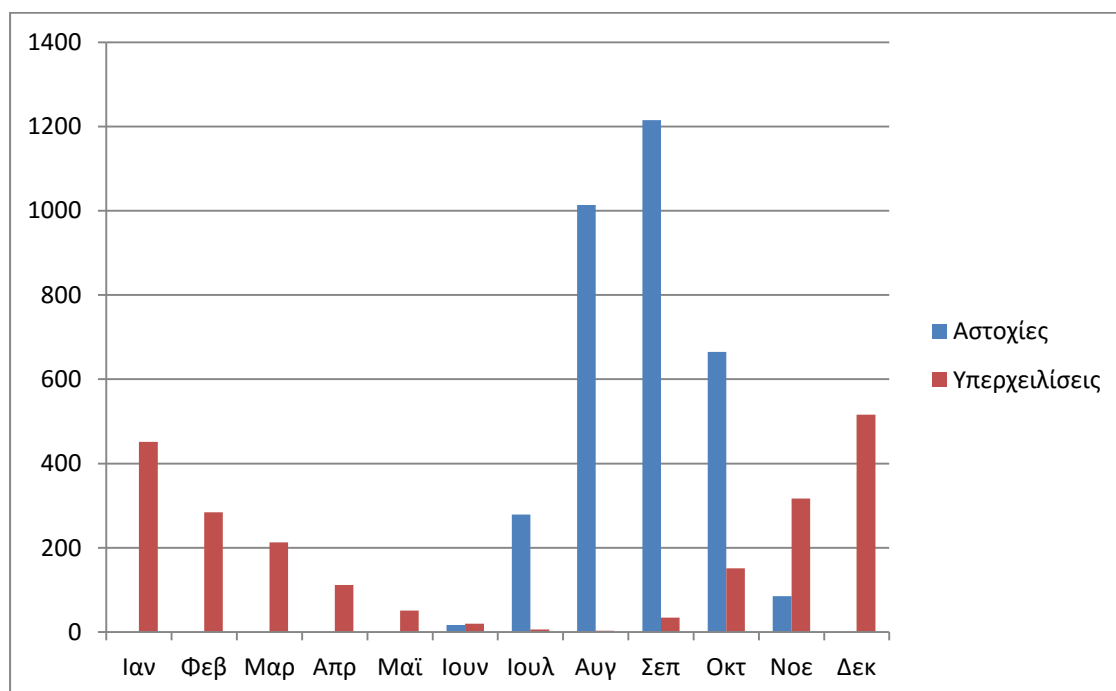


**Διάγραμμα 5.6. Αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων και αξιοπιστία δεξαμενής Ινωπού συναρτήσει της μέσης ημερήσιας ζήτησης σε m<sup>3</sup>.**

Στον πίνακα 5.4 δίνονται τα αρχικά δεδομένα (παραδοχές) του μοντέλου της δεξαμενής Ινωπού. Σύμφωνα με τον πίνακα 5.5, είναι εμφανές πως για αξιοπιστία 90%, η μέση ημερήσια ζήτηση που μπορεί να εξυπηρετήσει η δεξαμενή του Ινωπού είναι τα **13 m<sup>3</sup>**. Στο διάγραμμα 5.6 δείχνεται εμφανώς πως μειώνεται η αξιοπιστία και ο αριθμός των υπερχειλίσεων και πως αυξάνεται ο αριθμός των αστοχιών συναρτήσει της αύξησης της μέσης ημερήσιας ζήτησης. Για την δεδομένη ζήτηση των 13 m<sup>3</sup>/d παρατίθενται τα κάτωθι αποτελέσματα.

**Πίνακας 5.6. Ζήτηση (m<sup>3</sup>) και αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων για κάθε μήνα ξεχωριστά, με μέση ημερήσια ζήτηση 13 m<sup>3</sup>, για την δεξαμενή του Ινωπού.**

Ζήτηση	13	Αστοχίες	Υπερχειλίσσεις
355.875	Ιαν	0	451
332.15	Φεβ	0	284
351.13	Μαρ	0	213
374.855	Απρ	0	112
417.56	Μαϊ	0	51
441.285	Ιουν	17	20
469.755	Ιουλ	279	6
441.285	Αυγ	1014	3
422.305	Σεπ	1215	34
403.325	Οκτ	665	151
374.855	Νοε	85	317
360.62	Δεκ	0	516



**Διάγραμμα 5.7. Αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων ανά μήνα, με μέση ημερήσια ζήτηση 13 m<sup>3</sup>, για την δεξαμενή του Ινωπού.**

Στον πίνακα 5.6 και στο διάγραμμα 5.7 φαίνεται ο αριθμός των αστοχιών και των υπερχειλίσεων για κάθε μήνα με δεδομένη την ζήτηση των 13 m<sup>3</sup>/day.

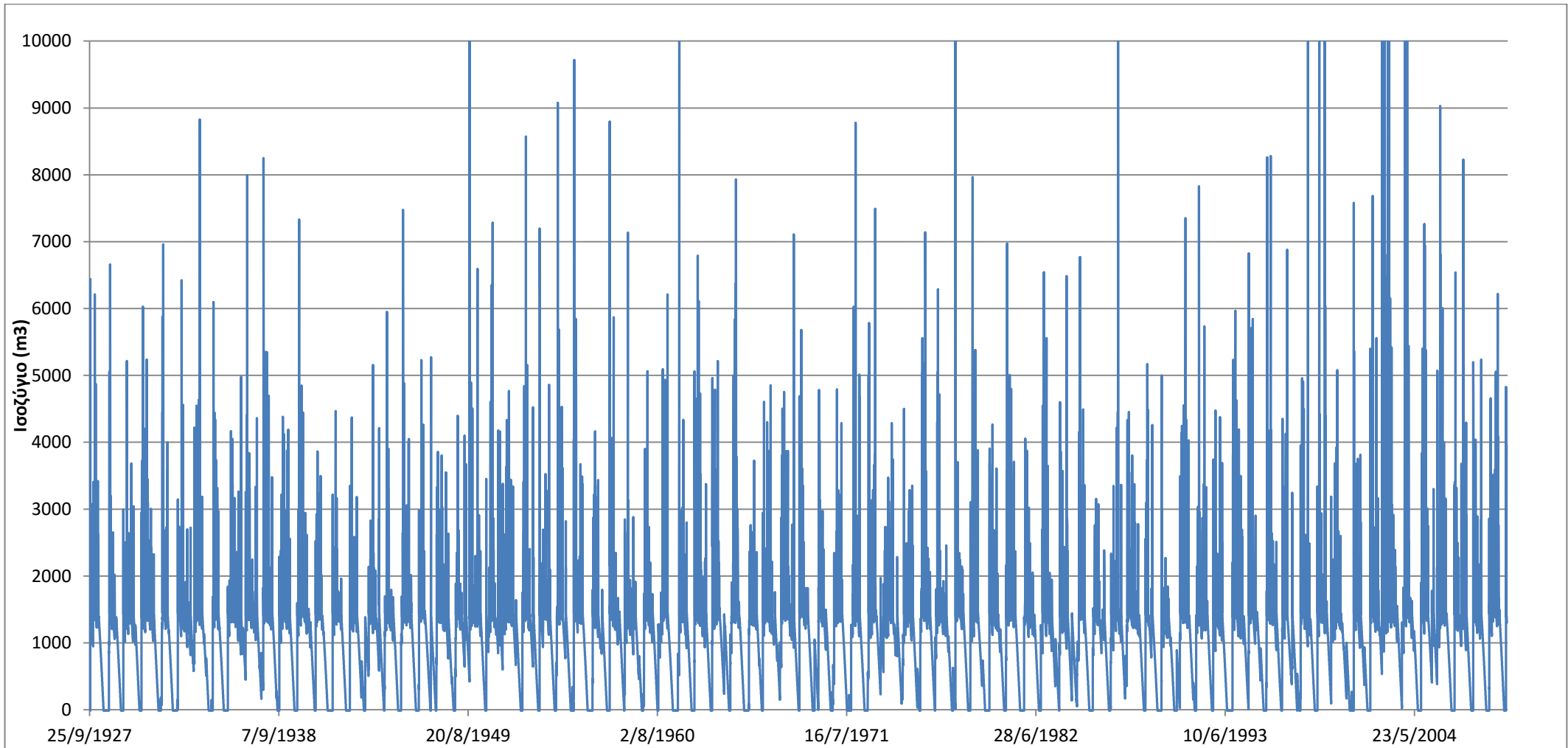
Ο συνολικός όγκος εισροής στην δεξαμενή Ινωπού (ωφέλιμος όγκος 1460 m<sup>3</sup>) είναι 2845711.3 m<sup>3</sup> και η μέση ετήσια εισροή αντιστοιχεί σε 34703.8 m<sup>3</sup>.

Για μέση ημερήσια ζήτηση 13 m<sup>3</sup>, ο συνολικός όγκος των υπερχειλίσεων είναι 2500305.3 m<sup>3</sup> και ο συνολικός όγκος του ελλείμματος είναι 45238.3 m<sup>3</sup>.

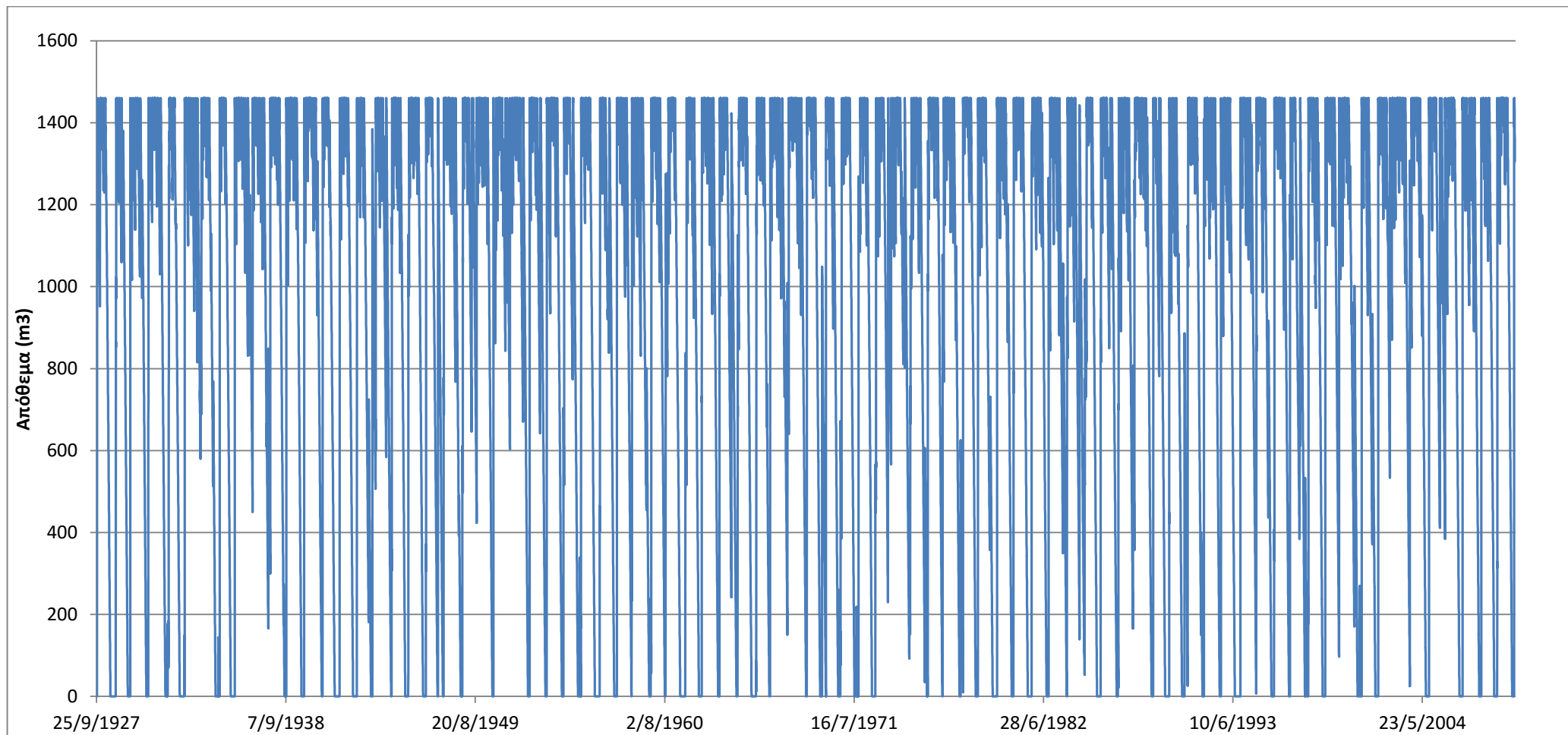
Αντίστοιχα, ο μέσος ετήσιος όγκος υπερχείλισης είναι 30491.5 m<sup>3</sup> και ο μέσος ετήσιος όγκος ελλείμματος είναι 551.7 m<sup>3</sup>.

Στο διάγραμμα 5.8, και 5.9 φαίνεται η διακύμανση του ισοζυγίου και του αποθέματος της δεξαμενής του Ινωπού στο σύνολο της χρονοσειράς για την οποία εφαρμόστηκε το μοντέλο. Τέλος, στο διάγραμμα 5.10 φαίνεται η μηνιαία διακύμανση του ισοζυγίου για 2 υδρολογικά έτη με δεδομένη τη ζήτηση των 13 m<sup>3</sup>/day

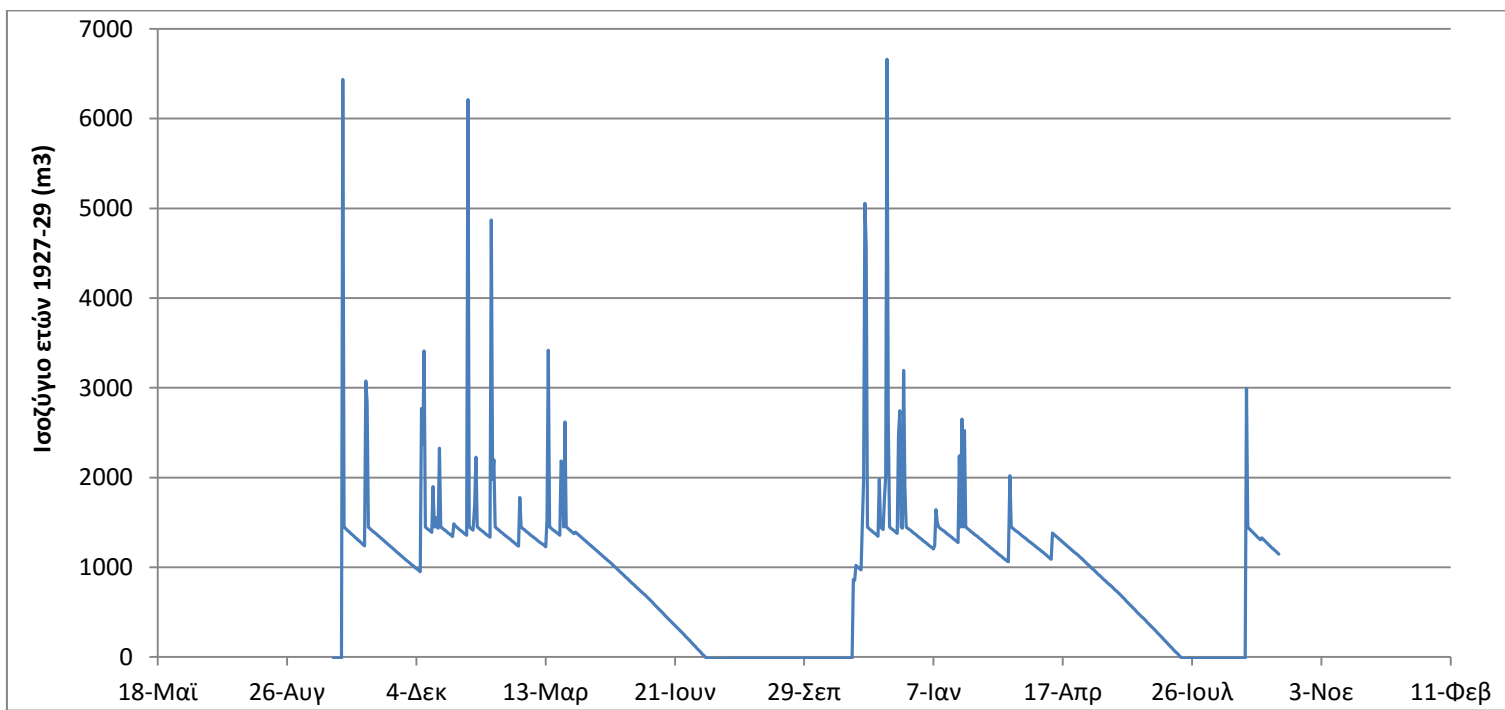




**Διάγραμμα 5.8. Διακύμανση ισοζυγίου ( $m^3$ ) συναρτήσει του χρόνου, για την δεξαμενή του Ινώπου, με μέση ημερήσια ζήτηση  $13 m^3$ .**



**Διάγραμμα 5.9. Διακύμανση αποθέματος ( $m^3$ ) συναρτήσει του χρόνου, για την δεξαμενή του Ινώπου, με μέση ημερήσια ζήτηση  $13 m^3$ .**



**Διάγραμμα 5.10. Διακύμανση ισοζυγίου (m<sup>3</sup>) για τα υδρολογικά έτη 1927-28 και 1928-29, για την δεξαμενή του Ινωπού, με μέση ημερήσια ζήτηση 13 m<sup>3</sup>.**

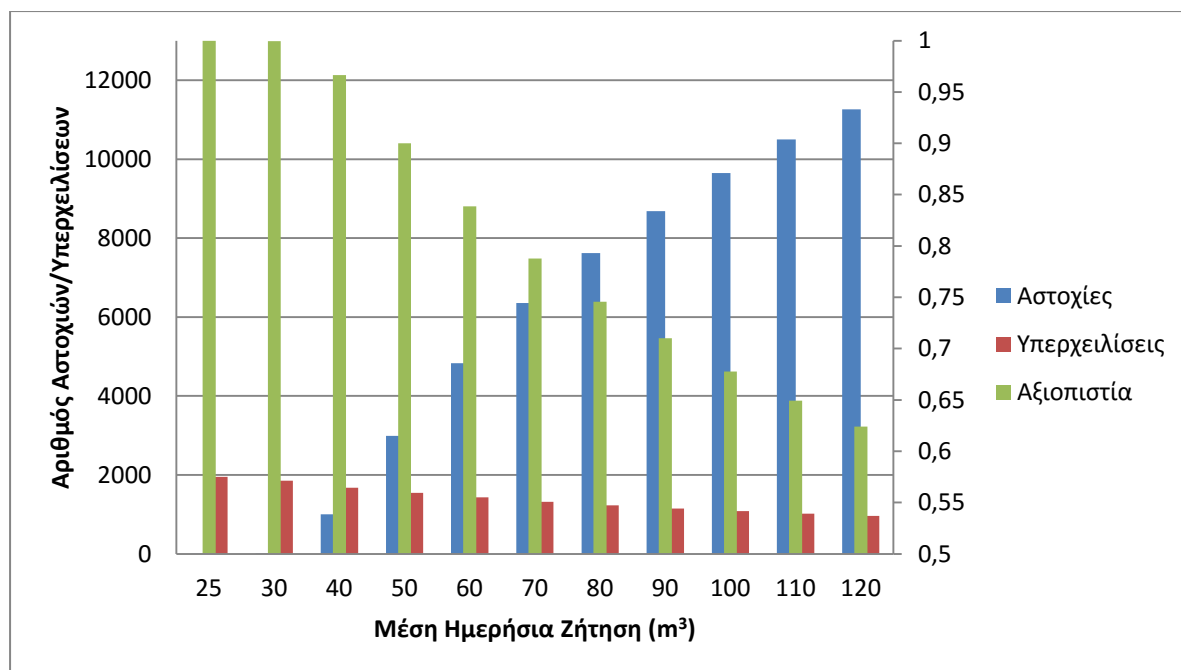
### 5.2.3 Ιερή Λίμνη

Πίνακας 5.7. Δεδομένα Ιερής Λίμνης

ΙΕΡΑ ΛΙΜΝΗ	
Έκταση Λεκάνης (m <sup>2</sup> )	260000
Όγκος Δεξαμενής (m <sup>3</sup> )	7000
Συντελεστής Απορροής	0.7
Αρχικό Απόθεμα (m <sup>3</sup> )	0

Πίνακας 5.8. Αξιοπιστία ταμιευτήρα ανάλογα την μέση ημερήσια ζήτηση (m<sup>3</sup>)

Ημερήσια Ζήτηση	Αριθμός Αστοχιών	Αριθμός Υπερχερίσεων	Αξιοπιστία %
25	7	1953	0.99977
30	14	1851	0.99953
40	1005	1676	0.96645
50	2992	1544	0.9001
60	4830	1433	0.83874
70	6359	1321	0.78769
80	7621	1233	0.74555
90	8682	1149	0.71013
100	9651	1081	0.67777
110	10500	1019	0.64943
120	11262	961	0.62399

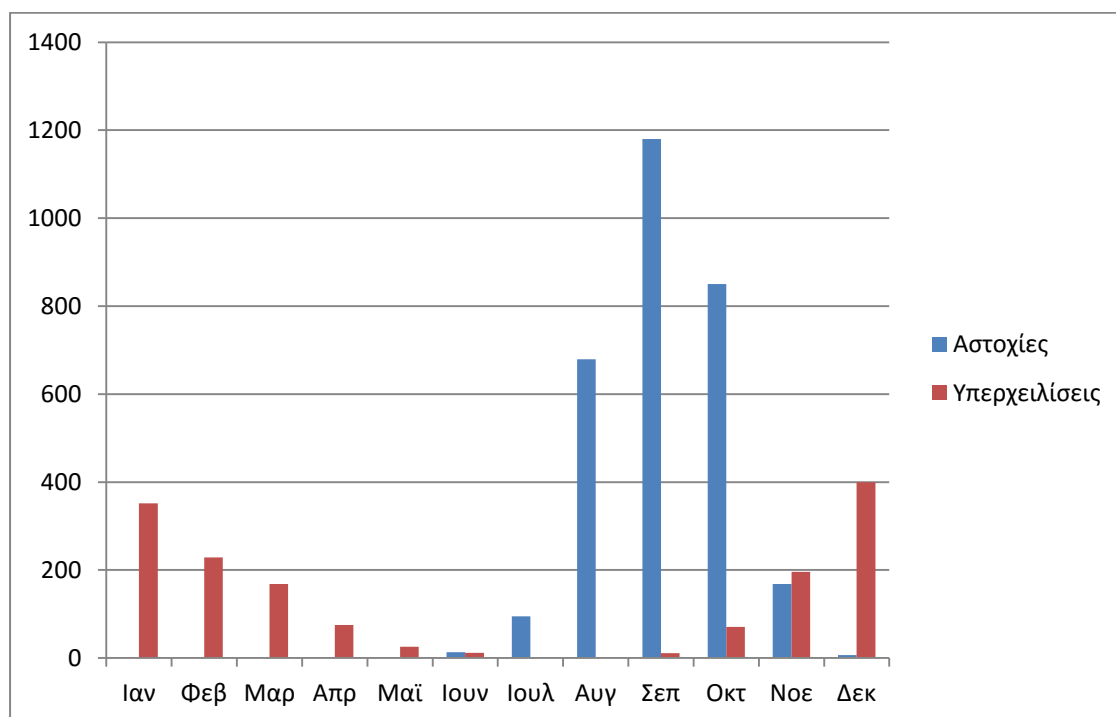


**Διάγραμμα 5.11. Αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων και αξιοπιστία υδросυστήματος Ιερής Λίμνης, συναρτήσει της μέσης ημερήσιας ζήτησης σε m<sup>3</sup>.**

Στον πίνακα 5.7 δίνονται τα αρχικά δεδομένα (παραδοχές) του μοντέλου της Ιερής Λίμνης. Σύμφωνα με τον πίνακα 5.8, είναι εμφανές πως για αξιοπιστία 90%, η μέση ημερήσια ζήτηση που μπορεί να εξυπηρετήσει η Ιερή Λίμνη είναι τα **50 m<sup>3</sup>**. Στο διάγραμμα 5.11 δείχνεται εμφανώς πως μειώνεται η αξιοπιστία και ο αριθμός των υπερχειλίσεων και πως αυξάνεται ο αριθμός των αστοχιών συναρτήσει της αύξησης της μέσης ημερήσιας ζήτησης. Για την δεδομένη ζήτηση των 50 m<sup>3</sup>/d παρατίθενται τα κάτωθι αποτελέσματα.

**Πίνακας 5.9. Ζήτηση (m<sup>3</sup>) και αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων για κάθε μήνα ξεχωριστά, με μέση ημερήσια ζήτηση 50 m<sup>3</sup>, για την Ιερή Λίμνη.**

Ζήτηση	50	Αστοχίες	Υπερχειλίσσεις
1368.75	Ιαν	0	352
1277.5	Φεβ	0	229
1350.5	Μαρ	0	168
1441.75	Απρ	0	75
1606	Μαϊ	0	26
1697.25	Ιουν	13	12
1806.75	Ιουλ	95	2
1697.25	Αυγ	679	2
1624.25	Σεπ	1180	11
1551.25	Οκτ	850	71
1441.75	Νοε	168	196
1387	Δεκ	7	400



**Διάγραμμα 5.12. Αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων ανά μήνα, με μέση ημερήσια ζήτηση 50 m<sup>3</sup>, για την Ιερή Λίμνη.**

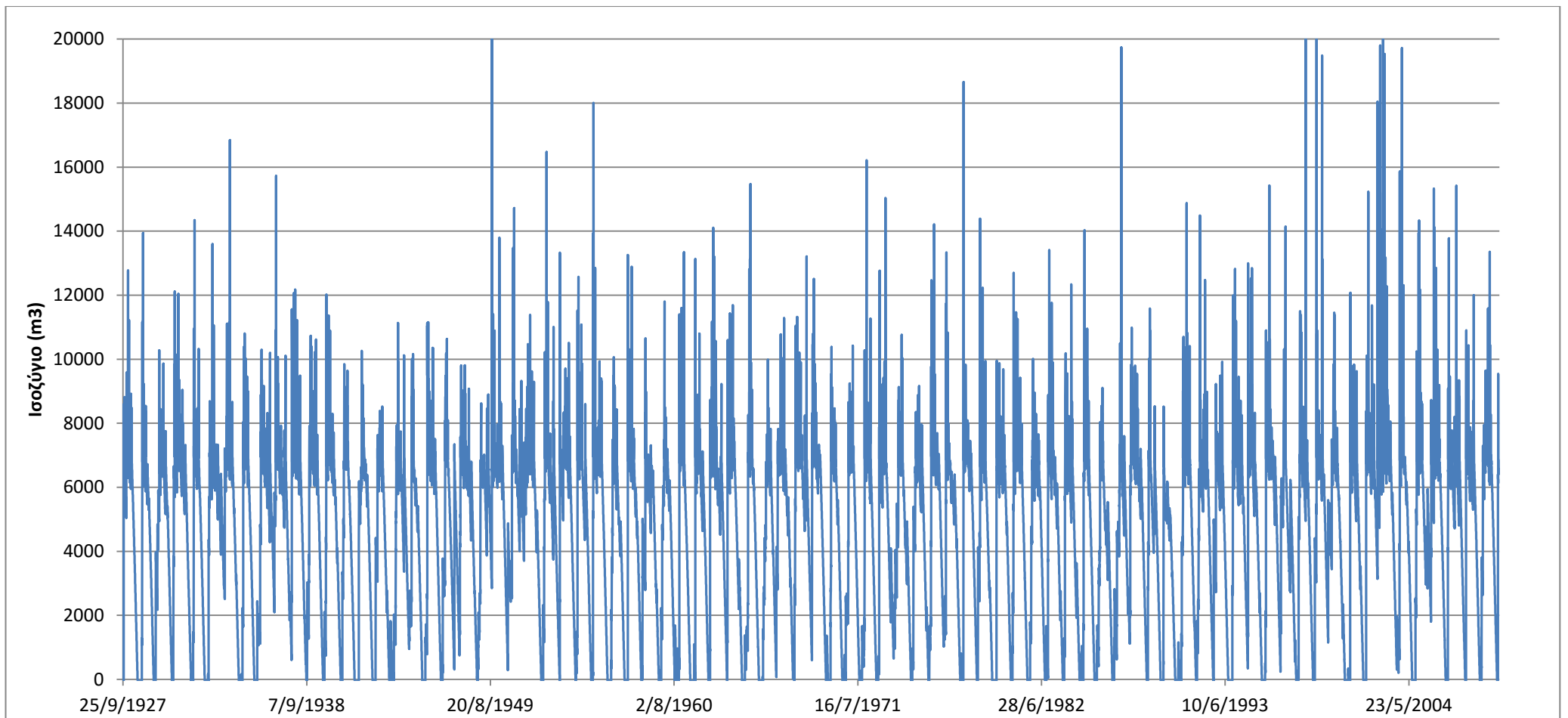
Στον πίνακα 5.9 και στο διάγραμμα 5.12 φαίνεται ο αριθμός των αστοχιών και των υπερχειλίσεων για κάθε μήνα με δεδομένη την ζήτηση των 50 m<sup>3</sup>/day.

Ο συνολικός όγκος εισροής στην Ιερή Λίμνη (ωφέλιμος όγκος 7000 m<sup>3</sup>) είναι 3813839,9 m<sup>3</sup> και η μέση ετήσια εισροή αντιστοιχεί σε 46510,2 m<sup>3</sup>.

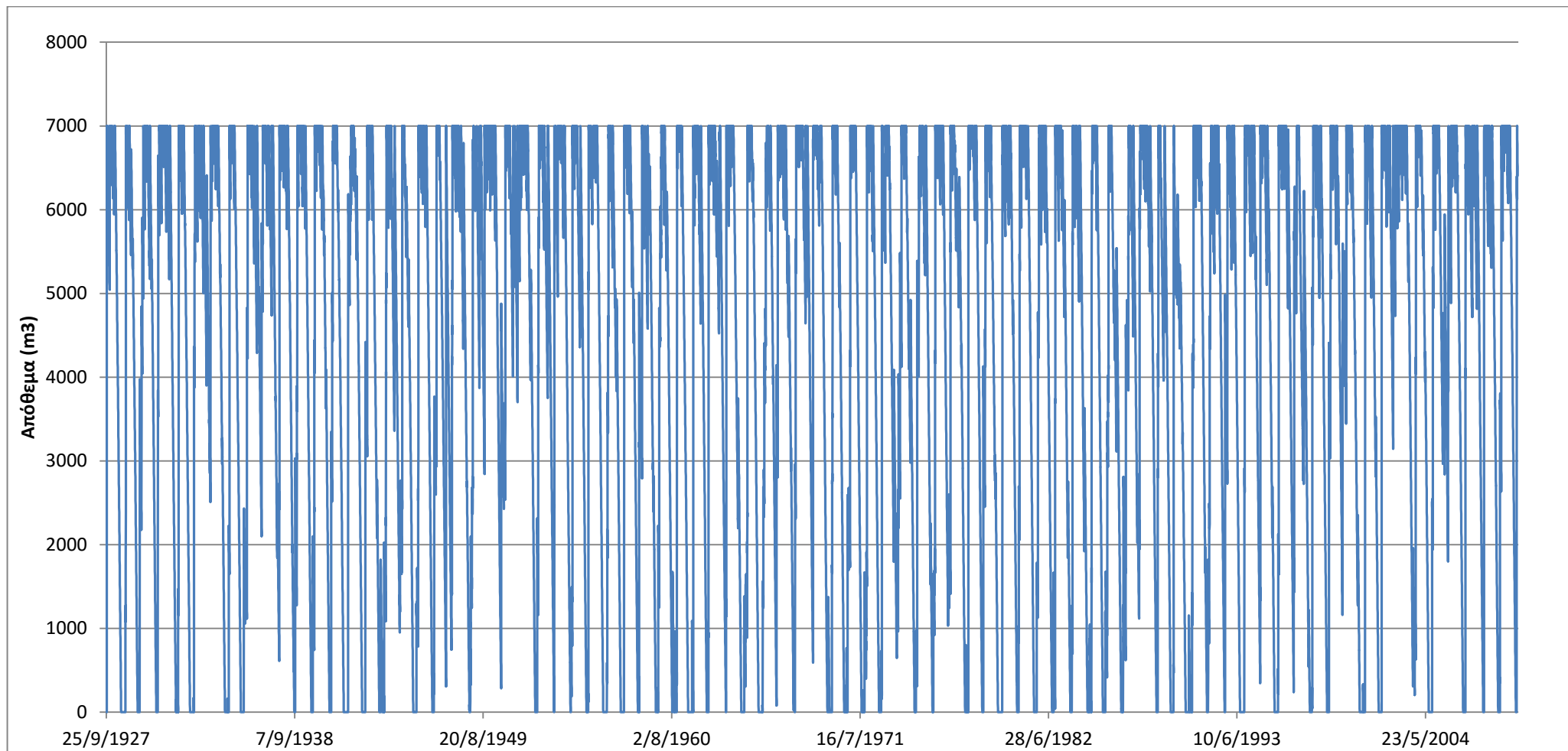
Για μέση ημερήσια ζήτηση 50 m<sup>3</sup>, ο συνολικός όγκος των υπερχειλίσεων είναι 2465485,8 m<sup>3</sup> και ο συνολικός όγκος του ελλείμματος είναι 155508,5 m<sup>3</sup>.

Αντίστοιχα, ο μέσος ετήσιος όγκος υπερχειλίσης είναι 30066,9 m<sup>3</sup> και ο μέσος ετήσιος όγκος ελλείμματος είναι 1896,4 m<sup>3</sup>.

Στο διάγραμμα 5.13, και 5.14 φαίνεται η διακύμανση του ισοζυγίου και του αποθέματος της Ιερής Λίμνης στο σύνολο της χρονοσειράς για την οποία εφαρμόστηκε το μοντέλο. Τέλος, στο διάγραμμα 5.15 φαίνεται η μηνιαία διακύμανση του ισοζυγίου για 2 υδρολογικά έτη με δεδομένη τη ζήτηση των 50 m<sup>3</sup>/day

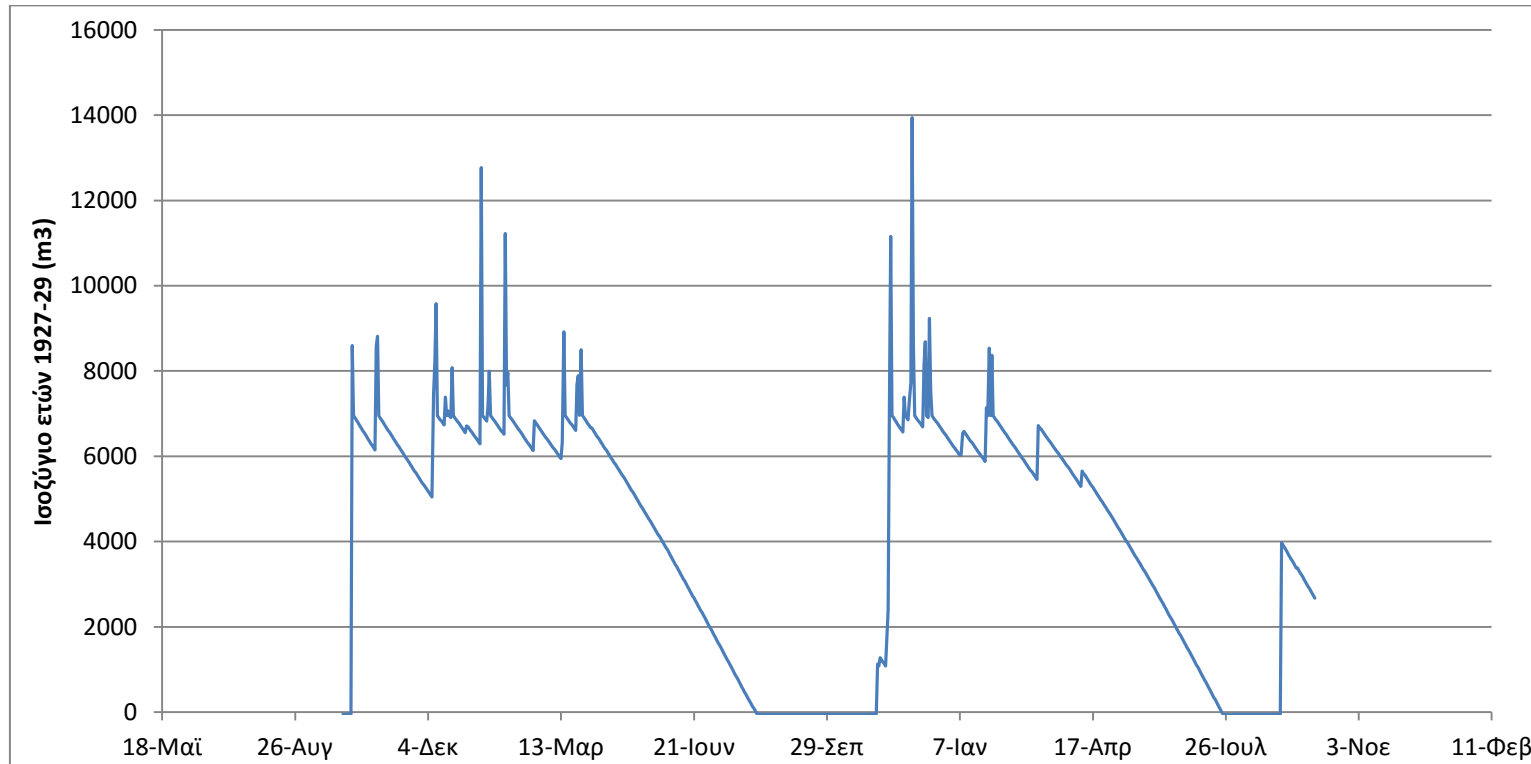


**Διάγραμμα 5.13. Διακύμανση ισοζυγίου (m<sup>3</sup>) συναρτήσει του χρόνου, για την Ιερά Λίμνη, με μέση ημερήσια ζήτηση 50 m<sup>3</sup>.**



**Διάγραμμα 5.14. Διακύμανση αποθέματος (m<sup>3</sup>) συναρτήσει του χρόνου, για την Ιερή Λίμνη, με μέση ημερήσια ζήτηση 50 m<sup>3</sup>.**





Διάγραμμα 5.15. Διακύμανση ισοζυγίου (m<sup>3</sup>) για τα υδρολογικά έτη 1927-28 και 1928-29, για την Ιερή Λίμνη, με μέση ημερήσια ζήτηση 50 m<sup>3</sup>.

## **6. ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων**

Οι υδρευτικές ανάγκες των αρχαίων Δηλίων καλύπτονταν κατά κύριο λόγο από τις επιφανειακές απορροές, ενώ η χρήση των πηγαδιών ήταν πολύ περιορισμένη λόγω της φτωχής υπόγειας υδροφορίας του νησιού. Οι επιφανειακές απορροές δεσμεύονταν από τεχνητές δεξαμενές, οι οποίες ήταν δημόσιες και ιδιωτικές – οικιακές και επιπλέον στο νησί υπήρχε φυσικός ταμιευτήρας, η Ιερή Λίμνη του Απόλλωνα, στην οποία κατέληγαν τα επιφανειακά ύδατα μιας μεγάλης έκτασης στην βόρεια πλευρά του νησιού της Δήλου.

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια αναπαράστασης του υδροσυστήματος της αρχαίας Δήλου. Στο υδροσύστημα αυτό ελήφθησαν υπόψη ως πηγές υδροληψίας, οι 2 μεγάλες δημόσιες δεξαμενές του Θεάτρου και του Ινωπού, οι οποίες έχουν ανακαλυφθεί από τις αρχαιολογικές και ο φυσικός ταμιευτήρας του νησιού, η Ιερή Λίμνη. Για λόγους απλότητας του μοντέλου αναπαράστασης αγνοήθηκαν οι υδροληψίες από πηγάδια, διότι η υπόγεια υδροφορεία ήταν πολύ περιορισμένη, καθώς και οι ιδιωτικές-οικιακές δεξαμενές των σπιτιών, επειδή οι ωφέλιμοι όγκοι ήταν μικροί και η έκταση που αποστράγγιζαν ήταν μικρή, συνήθως η στέγη του εκάστοτε σπιτιού.

Συνοψίζοντας, το υδροσύστημα αποτελείται:

- α) από την δεξαμενή του Θεάτρου, η οποία έχει ωφέλιμο όγκο  $405 \text{ m}^3$  και αποστραγγίζει την επιφάνεια που καλύπτει το κοίλον και η ορχήστρα του αρχαίου Θεάτρου των ελληνιστικών χρόνων, συνολικού εμβαδού  $4500 \text{ m}^2$ .
- β) από την δεξαμενή του ποταμού-χειμάρρου Ινωπού, ο οποίος είναι και ο μεγαλύτερος του νησιού με μήκος  $1200 \text{ m}$ . Η δεξαμενή είναι τοποθετημένη περίπου στην κοίτη του ποταμού και έχει ωφέλιμο όγκο  $1460 \text{ m}^3$ . Η λεκάνη απορροής του ποταμού μέχρι το σημείο της δεξαμενής είναι  $194000 \text{ m}^2$ .
- γ) από την Ιερά Λίμνη του Απόλλωνα, στο βόρειο τμήμα του νησιού. Η λίμνη έχει ωφέλιμο όγκο  $7000 \text{ m}^3$  μέχρι την στάθμη υπερχειλίσής της, σε απόλυτο υψόμερο  $+4,2 \text{ m}$ . Η επιφάνεια που αποστραγγίζεται στην Ιερή Λίμνη έχει συνολικό εμβαδόν  $260000 \text{ m}^2$ .

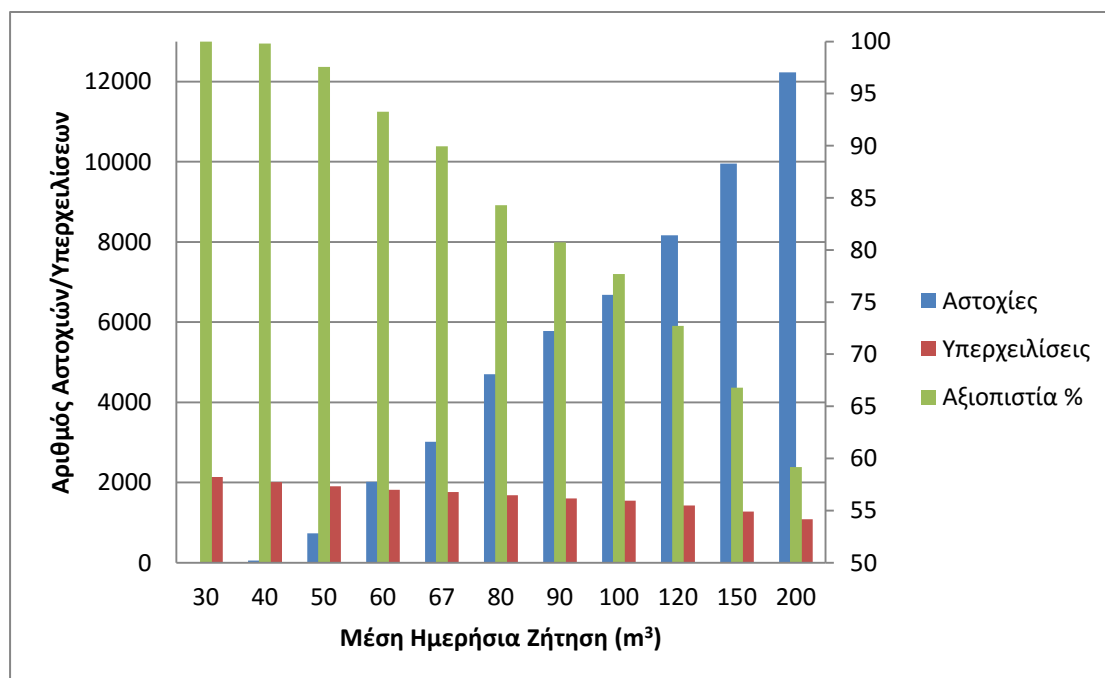
Ο συνολικός ωφέλιμος όγκος αποθήκευσης νερού του υδροσυστήματος είναι  $8865 \text{ m}^3$  και η συνολική έκταση που αποστραγγίζεται είναι  $458500 \text{ m}^2$ . Ο μέσος συντελεστής απορροής της έκτασης που αποστραγγίζεται είναι  $0.7$ . Ο συνολικός όγκος νερού που εισρέει στο σύστημα είναι  $6744420 \text{ m}^3$  και η μέση ετήσια εισροή φτάνει τα  $82249 \text{ m}^3$ . Οι παραπάνω τιμές των όγκων αναφέρονται στον όγκο των κατακρημνίσεων αφαιρώντας την εξάτμιση, σε ημερήσια κλίμακα και η διαφορά

πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή απορροής 0.7, για την συνολική λεκάνη απορροής του συστήματος που είναι τα 458500 m<sup>2</sup>.

Η αξιοπιστία του συστήματος εξαρτάται από την ζήτηση. Όσο μεγαλώνει η ζήτηση τόσο μειώνεται η αξιοπιστία. Στον πίνακα 6.1 και το διάγραμμα 6.1 φαίνεται η μεταβολή της αξιοπιστίας συναρτήσει της μεταβολής της μέσης ημερήσιας ζήτησης.

**Πίνακας 6.1. Αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων και μεταβολή αξιοπιστίας συστήματος (%) συναρτήσει της μέσης ημερήσιας ζήτησης.**

Ημερήσια Ζήτηση (m <sup>3</sup> )	Αριθμός Αστοχιών	Αριθμός Υπερχειλίσεων	Αξιοπιστία (%)
30	7	2135	99.98
40	58	2011	99.81
50	730	1904	97.56
60	2022	1818	93.25
67	3013	1766	89.95
80	4704	1680	84.29
90	5776	1605	80.72
100	6683	1548	77.69
120	8169	1427	72.73
150	9951	1275	66.78
200	12232	1081	59.16



**Διάγραμμα 6.1. Αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων και μεταβολή αξιοπιστίας συστήματος (%) συναρτήσει της μέσης ημερήσιας ζήτησης.**

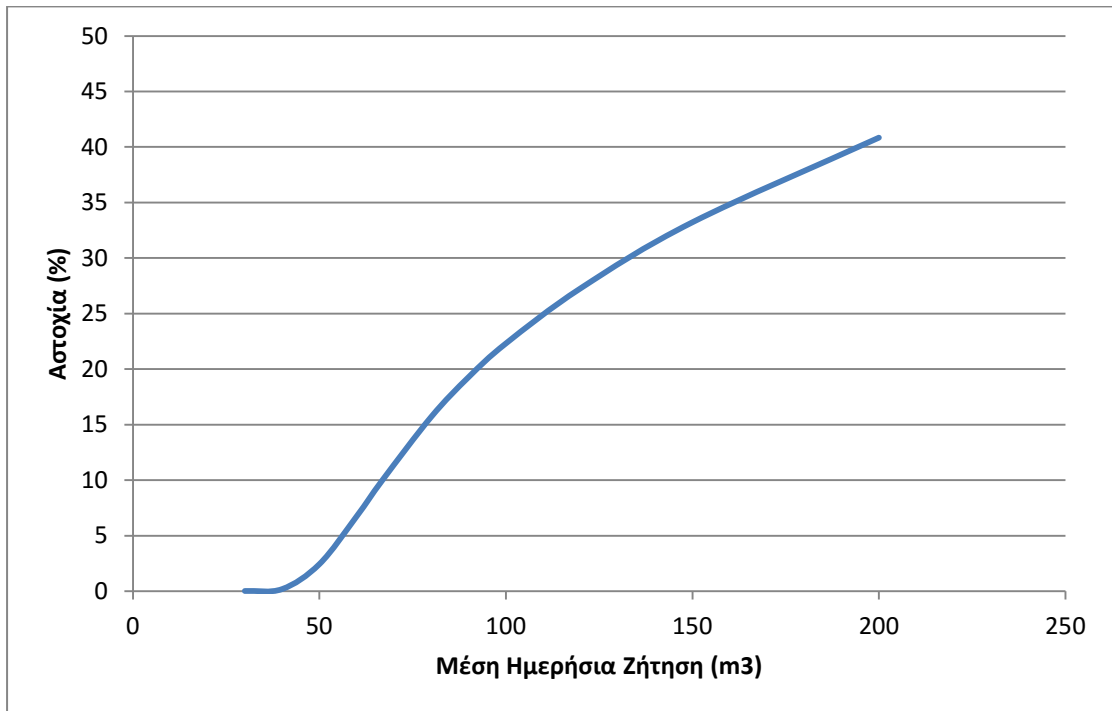
Στους πίνακες 6.2 και 6.3 και στα αντίστοιχα διαγράμματα 6.2, 6.3 και 6.4 παρουσιάζεται η μεταβολή της αστοχίας (%), που είναι η διαφορά της αξιοπιστίας από τη μονάδα και η μεταβολή των όγκων των ελλειμμάτων και των υπερχειλίσεων συναρτήσει της μεταβολής της ζήτησης.

**Πίνακας 6.2. Αθροιστικοί όγκοι και μεταβολή αστοχίας συστήματος (%) συναρτήσει της μέσης ημερήσιας ζήτησης.**

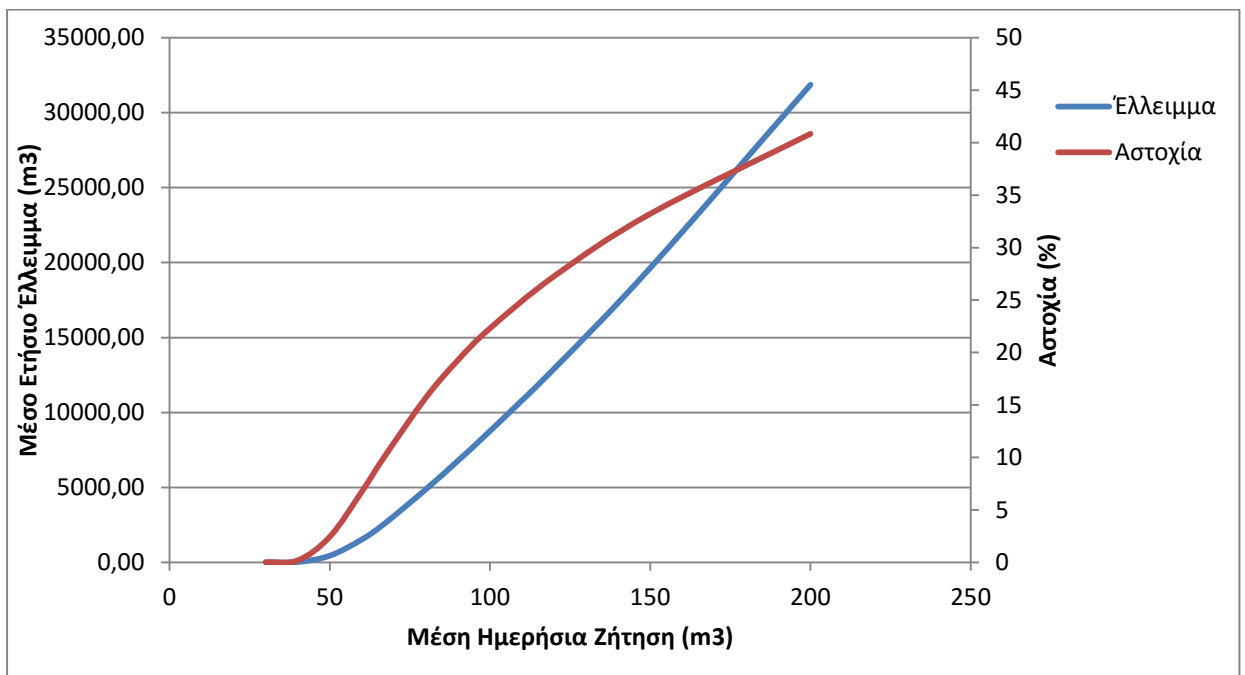
Μέση Ημερήσια Ζήτηση (m <sup>3</sup> )	Όγκος Εισροής (m <sup>3</sup> )	Όγκος ελλείματος (m <sup>3</sup> )	Όγκος Υπερχειλίσεων (m <sup>3</sup> )	Αστοχία (%)
30	6744419.53	210.17	5837647.16	0.02
40	6744419.53	2129.65	5540194.13	0.19
50	6744419.53	36547.44	5275239.40	2.44
60	6744419.53	125343.68	5064663.13	6.75
67	6744419.53	210898.78	4940657.48	10.05
80	6744419.53	400042.67	4740617.10	15.71
90	6744419.53	556222.10	4597424.02	19.28
100	6744419.53	718893.28	4460722.68	22.31
120	6744419.53	1059357.96	4202442.33	27.27
150	6744419.53	1610734.05	3855700.89	33.22
200	6744419.53	2612747.63	3360851.90	40.84

**Πίνακας 6.3. Ετήσιοι όγκοι και μεταβολή αστοχίας συστήματος (%) συναρτήσει της ετήσιας ζήτησης.**

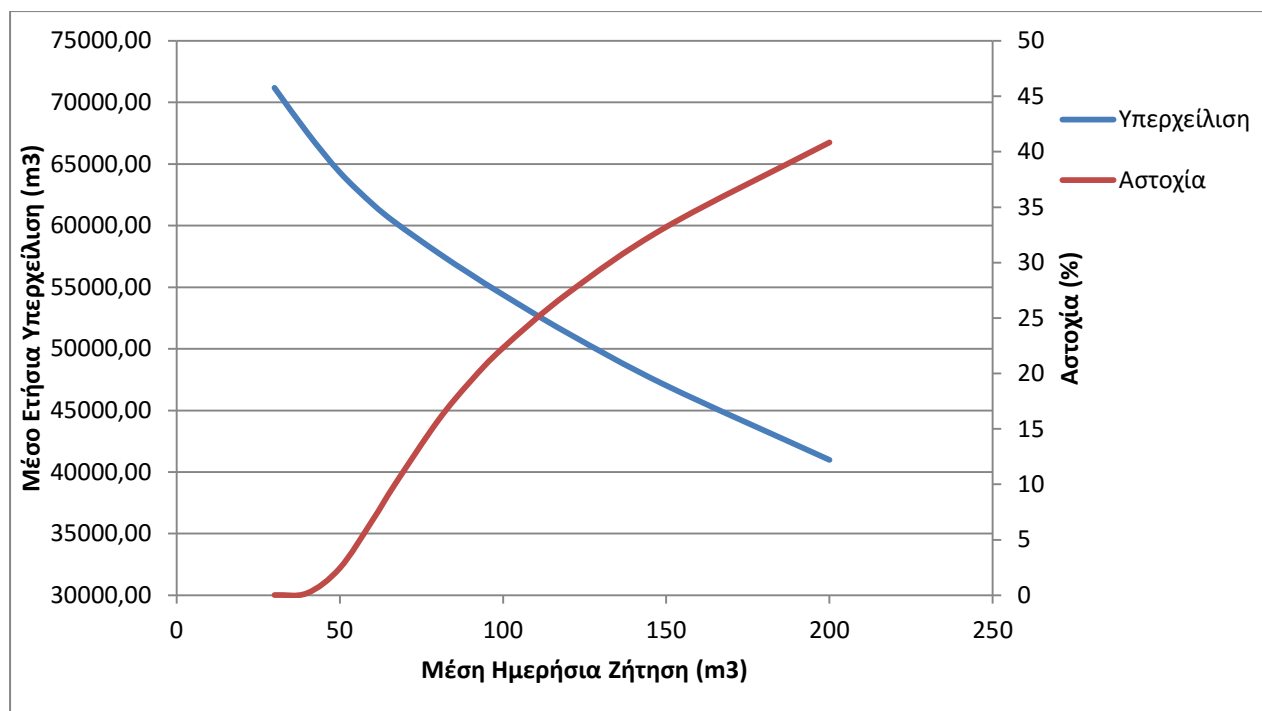
Μέση Ετήσια Ζήτηση (m <sup>3</sup> )	Μέση Ετήσια Εισροή (m <sup>3</sup> )	Μέσο Ετήσιο Έλλειμα (m <sup>3</sup> )	Μέση Ετήσια Υπερχειλίση (m <sup>3</sup> )	Αστοχία %
10950	82249.02	2.56	71190.82	0.02
14600	82249.02	25.97	67563.34	0.19
18250	82249.02	445.70	64332.19	2.44
21900	82249.02	1528.58	61764.18	6.75
24455	82249.02	2571.94	60251.92	10.05
29200	82249.02	4878.57	57812.40	15.71
32850	82249.02	6783.20	56066.15	19.28
36500	82249.02	8766.99	54399.06	22.31
43800	82249.02	12919.00	51249.30	27.27
54750	82249.02	19643.10	47020.74	33.22
73000	82249.02	31862.78	40986.00	40.84



**Διάγραμμα 6.2. Αστοχία συστήματος (%) συναρτήσει της μέσης ημερήσιας ζήτησης.**



**Διάγραμμα 6.3. Μεταβολή του μέσου ετήσιου όγκου ελλείμματος (m³) και της αστοχίας συναρτήσει της μέσης ημερήσιας ζήτησης.**

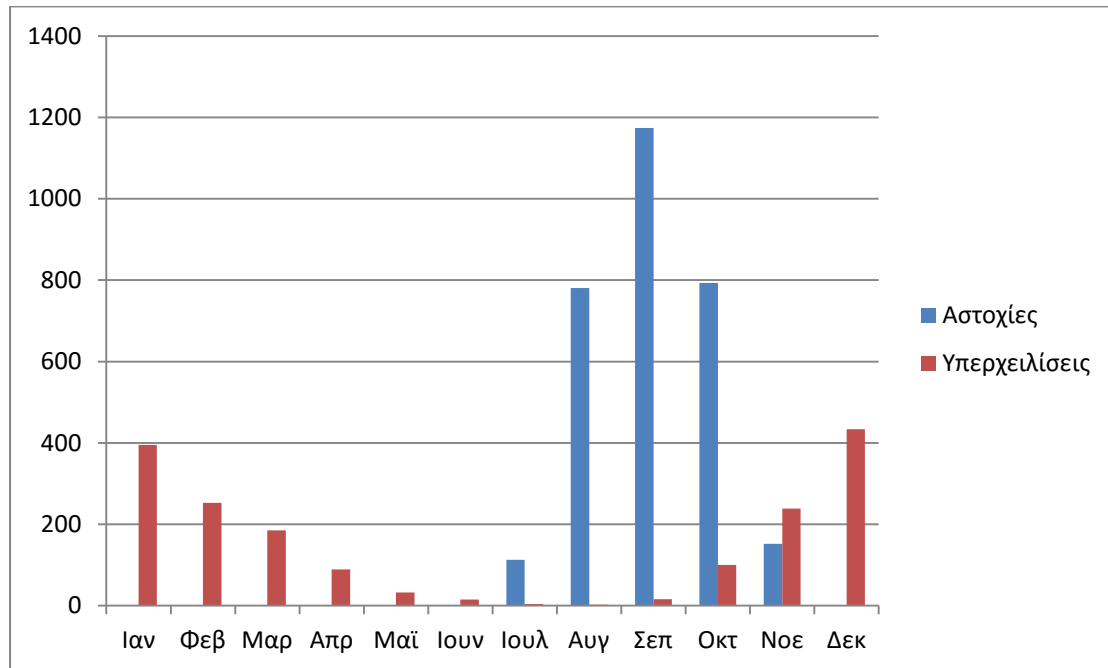


**Διάγραμμα 6.4. Μεταβολή του μέσου ετήσιου όγκου υπερχείλισης ( $m^3$ ) και της αστοχίας συναρτήσει της μέσης ημερήσιας ζήτησης.**

Για επίπεδο αξιοπιστίας συστήματος 90% (και αστοχίας 10%) η τιμή της μέσης ημερήσιας ζήτησης είναι  $67 m^3$  (βλ πιν 6.1). Για την συγκεκριμένη τιμή ζήτησης των  $67 m^3/d$  προκύπτουν αποτελέσματα για κάθε μήνα που φαίνονται στον πίνακα 6.4 και το διάγραμμα 6.5.

**Πίνακας 6.4. Αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων και μηνιαία ζήτηση ανά μήνα, για τιμή ημερήσιας ζήτησης  $67 m^3$ .**

Ζήτηση	67	Αστοχίες	Υπερχειλίσεις
1834.13	Ιαν	0	395
1711.85	Φεβ	0	253
1809.67	Μαρ	0	185
1931.95	Απρ	0	89
2152.04	Μαΐ	0	33
2274.32	Ιουν	0	15
2421.05	Ιουλ	113	4
2274.32	Αυγ	781	3
2176.50	Σεπ	1174	16
2078.68	Οκτ	793	100
1931.95	Νοε	152	239
1858.58	Δεκ	0	434



**Διάγραμμα 6.5. Αριθμός αστοχιών και υπερχειλίσεων ανά μήνα, για τιμή ημερήσιας ζήτησης 67 m<sup>3</sup>.**

Όπως είναι λογικό, οι περισσότερες υπερχειλίσεις εμφανίζονται τους μήνες της χειμερινής περιόδου (Νοέμβριος-Μάρτιος) καθώς τότε οι εισροές στο σύστημα, λόγω των συχνών κατακρημνίσεων, είναι περισσότερες και η ζήτηση είναι σαφώς μικρότερη. Αντίστοιχα, οι περισσότερες αστοχίες παρατηρούνται τους μήνες της όψιμης καλοκαιρινής περιόδου (Αύγουστος-Οκτώβριος) καθώς τότε η ζήτηση είναι υψηλή, οι εισροές μειωμένες έως ανύπαρκτες (τα καλοκαίρια στην περιοχή των Κυκλάδων χαρακτηρίζονται από ελάχιστες κατακρημνίσεις) και το υδατικό απόθεμα στο σύστημα εξαντλείται. Το ίδιο μοντέλο εποχικής διακύμανσης των αστοχιών και υπερχειλίσεων ακολουθείται σε κάθε περίπτωση (βλ διάγρ. 5.2, 5.7, 5.12) και για κάθε τιμή της ημερήσιας ζήτησης. Αυτό που μεταβάλλεται είναι τα μεγέθη, ωστόσο το «μοτίβο» παραμένει σταθερό.

## 6.2 Σγόλια - Συμπεράσματα

Αρχικά, αξίζει να σημειωθεί πως οι δεξαμενές της αρχαίας Δήλου αποτελούν μνημεία εκπληκτικής αρχιτεκτονικής και αποτελούν αντικείμενα θαυμασμού χιλιάδες χρόνια μετά, καθώς επίσης προκαλούν το αίσθημα ανταγωνισμού και εξέλιξης των ιδεών των σύγχρονων μηχανικών και γενικά της μηχανικής ως επιστήμη.

Το υδροσύστημα που εξετάζει η παρούσα εργασία αποτελείται από την δεξαμενή του Θεάτρου, η δεξαμενή του Ινώπου και ο φυσικός ταμιευτήρας της Ιερής Λίμνης. Σύμφωνα με τις ανασκαφές, αυτές πρέπει να ήταν και οι κύριες πηγές νερού μέσω των οποίων καλύπτονταν οι υδρευτικές ανάγκες των αρχαίων Δηλίων.

Το συγκεκριμένο υδροσύστημα καλύπτει τις υδρευτικές ανάγκες με αξιοπιστία 90% για μέση ημερήσια ζήτηση  $67 \text{ m}^3$ . Από αυτά τα  $51 \text{ m}^3$  περίπου καλύπτονται από την Ιερή Λίμνη, τα  $13,75 \text{ m}^3$  από την δεξαμενή του Ινώπου και τα  $2,25 \text{ m}^3$  από την δεξαμενή του Θεάτρου. Για επίπεδο αξιοπιστίας 75%, κάτι που τουλάχιστον με τα σημερινά δεδομένα δεν είναι αποδεκτό, η μέση ημερήσια ζήτηση που καλύπτει το υδροσύστημα είναι  $106 \text{ m}^3$ , εκ των οποίων τα  $80 \text{ m}^3$  καλύπτονται από την Ιερή Λίμνη, τα  $23 \text{ m}^3$  από την δεξαμενή του Ινώπου και τα υπόλοιπα  $3 \text{ m}^3$  από την δεξαμενή του Θεάτρου.

Το βασικό ερώτημα που τίθεται δεν είναι η εκτίμηση της μέσης ημερήσιας ζήτησης αλλά το πόσος είναι ο πληθυσμός που εξυπηρετείται από το δεδομένο υδροσύστημα. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, παράγραφος 2.3, την περίοδο του 1<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ., που είναι η περίοδος της μεγαλύτερης άνθισης της Δήλου, ο πληθυσμός του νησιού ανερχόταν στις 30000 (Χατζηδάκης, 2003, Roussel, 1990). Η εκτίμηση αυτή κρίνεται κάπως υπερβολική, ύστερα από την εκπόνηση της παρούσης εργασίας. Η άποψη αυτή στηρίζεται στα παρακάτω στοιχεία:

- Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5 και συνοπτικά στην παράγραφο 6.1. Σύμφωνα με αυτά, για 90% αξιοπιστία του υδροσυστήματος καλύπτεται μέση ημερήσια ζήτηση της τάξης των  $67 \text{ m}^3$  ή αλλιώς  $24455 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Με μέση ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο 10 L, ο πληθυσμός που εξυπηρετείται δεν ξεπερνά τους 6700!
- Κάνοντας επιπλέον την θεώρηση πως αξιοπιστία 90% είναι υπερβολικά υψηλή για τα αρχαία υδροσυστήματα, επιλέγουμε την αξιοπιστία 75% για το αρχαίο υδροσύστημα της Δήλου, σύμφωνα με την οποία καλύπτεται μέση ημερήσια ζήτηση  $106 \text{ m}^3$  ή αλλιώς  $38690 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Πάλι όμως για 75% αξιοπιστία, ο πληθυσμός που καλύπτεται, για μέση ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο 10 L είναι 10600.
- Για δεδομένη αξιοπιστία 75%, η οποία θεωρείται γενικώς αποδεκτή για τα αρχαία υδροσυστήματα (Γκρίζης, 2014), η δεξαμενή του Θεάτρου καλύπτει μέση ημερήσια ζήτηση  $3 \text{ m}^3$  ή αλλιώς  $1095 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Με αυτά τα δεδομένα ο



πληθυσμός που εξυπηρετείται από την δεξαμενή του Θεάτρου είναι 300 κάτοικοι. Η μέση ετήσια εισροή στη λεκάνη της δεξαμενής είναι  $1035 \text{ m}^3/\text{έτος}$ , δηλαδή περίπου ίση με την ετήσια ζήτηση. Συνεπώς, η λεκάνη δεν μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους από 300 κατοίκους.

- Όμοια με την δεξαμενή του Θεάτρου, για την δεξαμενή του Ινώπου και δεδομένη αξιοπιστία 75%, η μέση ημερήσια ζήτηση που καλύπτεται είναι  $23 \text{ m}^3$  ή αλλιώς  $8395 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Με αυτά τα δεδομένα ο πληθυσμός που εξυπηρετείται από την δεξαμενή του Ινώπου είναι 2300 κάτοικοι. Η μέση ετήσια εισροή στη λεκάνη της δεξαμενής είναι  $34704 \text{ m}^3/\text{έτος}$ , κάτι που ενισχύει την υπόθεση πως ανάντη υπήρχε άλλη μεγάλη δεξαμενή (Χατζηδάκης, 2003, Bruneau et Ducat, 1983).

Θεωρώντας πως ο σχεδιασμός ήταν τέτοιος ώστε η ετήσια εξυπηρετούμενη ζήτηση να είναι περίπου ίση με την μέση ετήσια εισροή στη λεκάνη (αξιοπιστία της τάξης του 70%), κάτι που ήταν αρκετά συνηθισμένη τακτική στο σχεδιασμό των δεξαμενών (Γκριζής, 2014), ο συνολικός όγκος των δεξαμενών στην κοίτη του ποταμού Ινώπου προκύπτει, από την εφαρμογή του μοντέλου, ίσως με  $10000 \text{ m}^3$ . Δηλαδή απαιτούνται περίπου άλλες 5 δεξαμενές ίδιου μεγέθους με την υφιστάμενη δεξαμενή Ινώπου. Με τα σημερινά στοιχεία των ανασκαφών αυτή η θεώρηση είναι μάλλον υπερβολική. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μια άλλη δεξαμενή, ανάντη της υφιστάμενης μάλλον υπήρχε στην αρχαιότητα (Χατζηδάκης, 2003, Bruneau et Ducat, 1983).

Ωστόσο, κάνοντας την υπερβολική θεώρηση πως οι αρχαίοι είχαν δεξαμενές συνολικού όγκου  $10000 \text{ m}^3$  στην κοίτη του ποταμού Ινώπου, ώστε να καλύπτουν ετήσια ζήτηση ίση με την μέση ετήσια εισροή ( $34704 \text{ m}^3/\text{έτος}$ ), τότε ο μέγιστος πληθυσμός που θα μπορούσε να εξυπηρετηθεί με αξιοπιστία 75%, για μέση ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο ίση με 10 L, είναι 9500.

- Σε ό,τι αφορά την Ιερή Λίμνη, για αξιοπιστία 90%, η μέση ημερήσια ζήτηση που καλύπτεται είναι τα  $50 \text{ m}^3$  ή αλλιώς  $18250 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Ο πληθυσμός που θα εξυπηρετείτο τότε, δεδομένης της μέση ημερήσιας κατανάλωσης ανά άτομο τα 10 L, είναι 5000. Η αξιοπιστία 90% ίσως είναι υψηλή για την Ιερή Λίμνη, πολύ δύσκολα όμως οι αρχαίοι θα έκαναν μεγαλύτερη υδροληψία από αυτή, δεδομένου πως επρόκειτο για την Ιερή Λίμνη του Απόλλωνα και η εξάντλησή της θα έπρεπε σίγουρα να ήταν κάτι απευκταίο (Χατζηδάκης, 2003).

Ωστόσο, αν θεωρήσουμε πως εξυπηρετεί τέτοια ζήτηση ώστε να την καλύπτει με αξιοπιστία 75%, τότε η μέση ημερήσια ζήτηση ανέρχεται σε  $80 \text{ m}^3$  ή αλλιώς  $29200 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Η μέση ετήσια εισροή της ανέρχεται σε  $49510 \text{ m}^3$ , ωστόσο αποκλείεται να ήταν όλα εκμεταλλεύσιμα. Συνεπώς, με αξιοπιστία 75% καλύπτεται μέση ημερήσια ζήτηση  $80 \text{ m}^3$  και ο πληθυσμός που εξυπηρετείτο δεδομένης της μέση ημερήσιας κατανάλωσης ανά άτομο τα 10 L, είναι 8000.

- Κάνοντας άθροιση για αξιοπιστία 75% και σχεδόν με πλήρη εκμετάλλευση των λεκανών προκύπτει πως ο μέγιστος πληθυσμός που μπορούσε να

εξυπηρετηθεί στην Αρχαία Δήλο είναι 300 από την Δεξαμενή του Θεάτρου, 9500 από το σύστημα δεξαμενών του ποταμού Ινώπου και 8000 από την Ιερή Λίμνη, συνολικά 17800 κάτοικοι. Αυξάνοντας κατά 20% τον πληθυσμό αυτό, λαμβάνοντας υπόψη τα πηγάδια και τις οικιακές δεξαμενές προκύπτει πληθυσμός ίσος με 21300 κατοίκους, αρκετά λιγότεροι από την εκτίμηση των 30000.

- Λαμβάνοντας υπόψη και κάποια πολεοδομικά στοιχεία, οι περιοχές που φαίνεται πως ήταν δομημένες με ιδιωτικές κατοικίες καλύπτουν επιφάνεια  $80000 \text{ m}^3$  (παράρτημα, χάρτης 2). Κάνοντας την (πιθανώς ακραία) παραδοχή πως αντιστοιχούν  $4 \text{ m}^2$  ανά άτομο, κατά μέσο όρο, δεδομένου πως κάποιες κατοικίες ήταν και διώροφες (Χατζηδάκης, 2003, Roussel, 1990), προκύπτει πληθυσμός ίσος με  $20000 \text{ m}^2$ , κάτι που συμβαδίζει απόλυτα με τις εκτιμήσεις από την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών για αξιοπιστία 75% αλλά και ενισχύει την άποψη πως ο αριθμός των 30000 κατοίκων είναι υπερβολικός.

Με την παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια αναπαράστασης του συστήματος κάλυψης των υδρευτικών αναγκών στην αρχαία Δήλο. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως ο μέγιστος πληθυσμός που κατοικούσε στο νησί ήταν περίπου 20000, κρίνοντας τον αριθμό των 30000 που υφίσταται στις ιστορικές καταγραφές υπερβολικό, παίρνοντας υπόψη πως ήταν σχεδόν αδύνατο να μεταφέρουν οι αρχαίοι νερό σε μεγάλες ποσότητες μέσω ναυσιπλοΐας. Ωστόσο, η εκτίμηση του λιγότερου πληθυσμού σε καμία περίπτωση δεν αμφισβητεί τη μεγάλη πολιτισμική, πνευματική, τεχνολογική και εμπορική άνθιση του νησιού τον 1<sup>ο</sup> αι π.Χ και γενικότερα τα ρωμαϊκά χρόνια

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αφτιάς Μ, *Υδρεύσεις*, ΕΜΠ, Αθήνα, 1992
2. Γκρίζης Σ., *Αναπαράσταση Λειτουργίας αρχαίων Ρωμαϊκών Δεξαμενών Απτέρων Χανίων*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2014
3. Κανελλόπουλος Βασίλειος, *Πληροφοριακό Σύστημα Αρχαίων Υδραυλικών Έργων*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2007
4. Κουτσογιάννης, Δ., και Ξανθόπουλος Θ., *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.
5. Κουτσογιάννης Δ., Ευστρατιάδης Α., *Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων-Υδρευτικά Έργα*, ΕΜΠ, Αθήνα, 2015
6. Κυριαζής Δ. «Ψηφιακή Δημοκρατία: Η επίδραση της σύγχρονης Φυσικής και της Ψηφιακής Τεχνολογίας στη Δημοκρατία». Εκδόσεις: Ένωση Ελλήνων Φυσικών 2009
7. Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης Δ., *Πτυχές της Αρχαίας Ελληνικής Επιστήμης και Τεχνολογίας*, IWA Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment: Traditions and Culture, Patras, Hellas, 22/5/2014
8. Μαμάσης Ν., *Σημειώσεις Εκπαιδευτικής Εκδρομής Μυκόνου*, ΔΠΜΣ 'Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων', ΕΜΠ, 2012
9. Μανωλάς Ι. Ευάγγελος, *Το Φυσικό Περιβάλλον στην Αρχαία Ελλάδα*, Έκδοση Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, 2010
10. Μαρκόνης Ι., *Στοχαστική Διερεύνηση Μεγάλης Κλίμακας για Υδροκλιματικές συσχετίσεις στην Μεσόγειο*, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, 2015
11. Χατζηδάκης Π.Ι. *Δήλος*, Ομίλος Λάτση, 2003

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

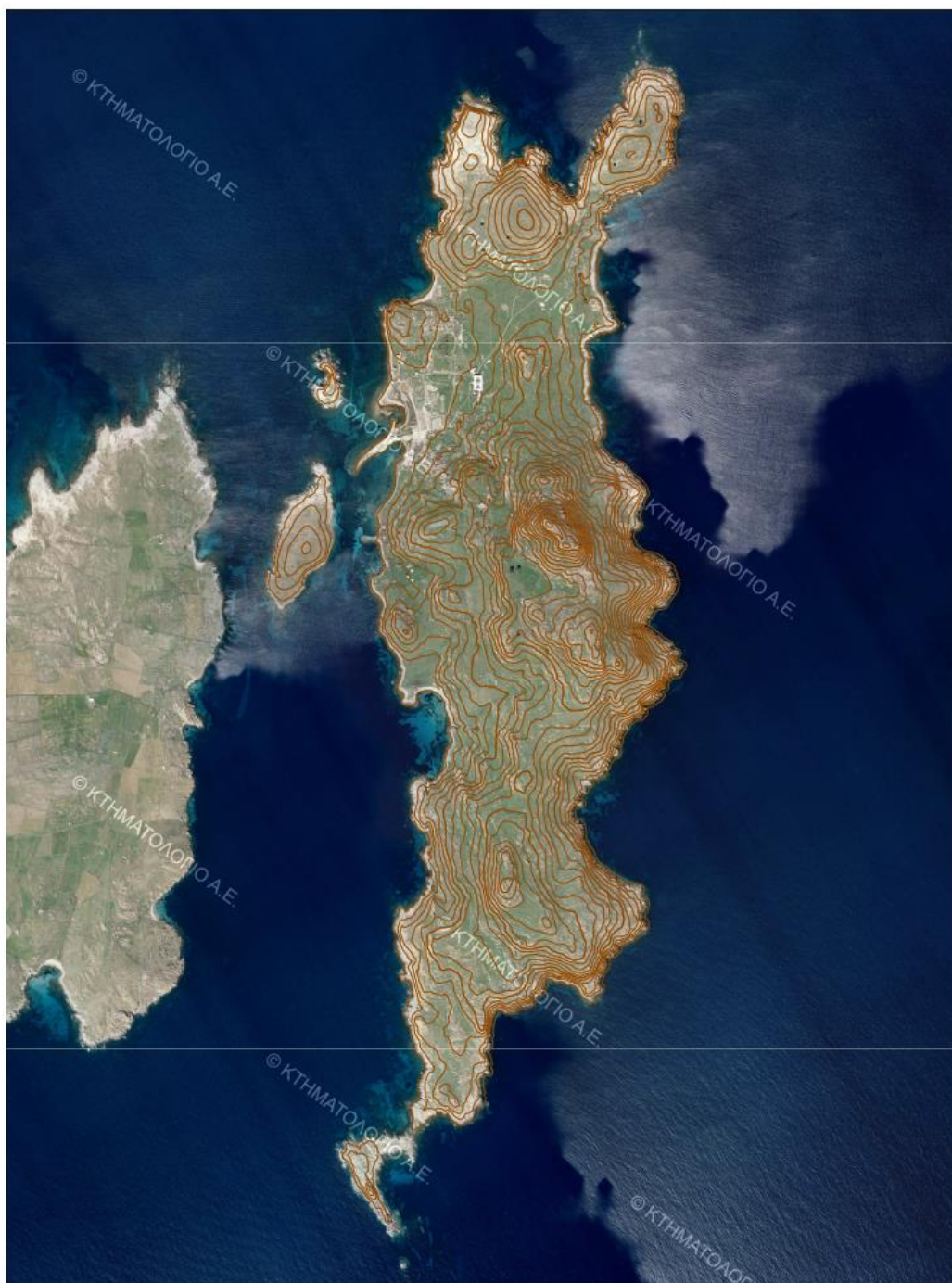
1. Angelakis, A. N., Mamassis N., Dialynas E., and Defteraios P., *Urban Water Supply, Wastewater, and Stormwater Considerations in Ancient Hellas: Lessons Learned*, Environment and Natural Resources Research, 4 (3), doi:10.5539/enrr.v4n3p95, October 2014
2. Angelakis, A. N., Koutsoyiannis, D. and Tchobanoglous, D. “*Urban wastewater and storm water technologies in ancient Greece*” Water Research 39:210-220, 2005
3. Bruneau P., Ducat J., Guide de Délos, École Française d’ Athènes, 1983
4. Kollyropoulos K., Antoniou G. P., Kalavrouziotis I. K., Krasilnikoff J.A., Koutsoyiannis D. and Angelakis A.N., *Hydraulic Characteristics of the Drainage Systems of Ancient Hellenic Theatres: Case Study of the Theatre of Dionysus and its Implications*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE), doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000906, 2015
5. Koutsoyiannis, D., N. Zarkadoulas, A. N. Angelakis, and G. Tchobanoglous, Urban water management in Ancient Greece: Legacies and lessons, Journal of Water Resources Planning and Management - ASCE, 134 (1), 45–54, 2008.
6. Koutsoyiannis, D., and A. Patrikiou, Water control in Ancient Greek cities, *Water and Urbanization*, edited by T. Ostigard, 130–148, 2013
7. Mays W. Larry, *Ancient Water Technologies*, Springer 2010
8. Roussel P., *Δήλος, Η Πανίερη Νήσος*, Δημιουργία, 1990
9. Zarkadoulas, N., D. Koutsoyiannis, N. Mamassis, and S.M. Papalexiou, *Climate, water and health in ancient Greece*, European Geosciences Union General Assembly 2008
10. Zaphiropoulou, *Delos: Monuments and Museum*, Athens: Krene, 1993

Πηγές από το διαδίκτυο

1. Βικιπαιδεία, Δήλος  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%AE%CE%BB%CE%BF%CF%82>
2. Βικιπαιδεία, Σόλων  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%8C%CE%BB%CF%89%CE%BD\\_%CE%BF\\_%CE%91%CE%B8%CE%B7%CE%BD%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%8C%CE%BB%CF%89%CE%BD_%CE%BF_%CE%91%CE%B8%CE%B7%CE%BD%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82)
3. Υπουργείο Πολιτισμού, Πλατφόρμα ΟΔΥΣΣΕΥΣ  
[http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj\\_id=2371](http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=2371)
4. Φωτογραφίες της Δήλου  
<http://www.ecyclades.com/dilosfotos.html>
5. Φωτογραφικό υλικό αρχαιολογικού χώρου  
<http://hellas.teipir.gr/Thesis/Dilos/>
6. Φωτογραφία Αρχαίας Δεξαμενής Θεάτρου  
<http://www.impactphotos.com/Preview/PreviewPage.aspx?id=1267876&licenseType=RM&from=search&back=1267876&orntn=2>
7. Delos, Theater Cistern [http://www.mesogeia.net/trip/delos/deloscistern\\_en.html](http://www.mesogeia.net/trip/delos/deloscistern_en.html)
8. Δήλος, το ιερό νησί της αρχαίας Ελλάδας  
<http://netnews.eu/%CE%B4%CE%AE%CE%BB%CE%BF%CF%82-%CF%84%CE%BF-%CE%B9%CE%B5%CF%81%CF%8C-%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%AF-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B1%CE%AF%CE%B1%CF%82-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1%CF%82/>
9. Δήλος, το ιερό νησί της αρχαίας Ελλάδας  
<http://www.defencenet.gr/defence/item/%CE%B4%CE%AE%CE%BB%CE%BF%CF%82-%CF%84%CE%BF-%CE%B9%CE%B5%CF%81%CF%8C-%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%AF-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B1%CE%AF%CE%B1%CF%82-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1%CF%82/>

10. Ξηρασία κατέστρεψε τον αρχαίο ελληνικό πολιτισμό σύμφωνα με νέα έρευνα  
<http://www.iefimerida.gr/news/119266/%CE%BE%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%AD%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B5%CF%88%CE%B5-%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B1%CE%AF%CE%BF-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C-%CF%83%CF%8D%CE%BC%CF%86%CF%89%CE%BD%CE%B1-%CE%BC%CE%B5-%CE%BD%CE%AD%CE%B1-%CE%AD%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BD%CE%B1>
11. Διάζωμα, Αρχαίο Θέατρο Δήλου  
[http://www.diazoma.gr/GR/Page\\_04-01\\_AT-041.asp](http://www.diazoma.gr/GR/Page_04-01_AT-041.asp)
12. Σανούδου Χ., Άρθρο στην εφημερίδα «Η Καθημερινή», 8/3/2012  
<http://www.kathimerini.gr/452438/article/politismos/arxeio-politismoy/to-8eatro-ths-dhloy-anagennatai>
13. Θερμού Μ., Άρθρο στην εφημερίδα «Το Βήμα», 7/3/2012  
<http://www.tovima.gr/culture/article/?aid=447339>
14. Ιστοσελίδα Πέλλης Σ., Εξέλιξη του κλίματος στην Ελλάδα  
[http://physiclessons.blogspot.gr/2012/04/blog-post\\_22.html](http://physiclessons.blogspot.gr/2012/04/blog-post_22.html)
15. Στοιχεία για το κλίμα στην αρχαία Ελλάδα από την EMY  
[http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full\\_story\\_html?&dr\\_url=%2Fdocs%2Fmisc%2FArxaia](http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full_story_html?&dr_url=%2Fdocs%2Fmisc%2FArxaia)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΧΑΡΤΕΣ



**Χάρτης 1. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους Δήλου, όπου φαίνονται οι ισοΨείς με  
ισοδιάσταση 5 m.**



**Χάρτης 2. Με τα κόκκινα περιγράμματα περικλείονται οι περιοχές (σχεδόν αμιγούς) κατοικίας, έκτασης περίπου 80000 m<sup>2</sup>. Το πράσινο περίγραμμα περικλείει ουσιαστικά όλη την δυτική περιοχή (περίπου 1,5 km<sup>2</sup>) όπου αναπτυχτήκαν ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως γεωργία, λατρεία, κατοικία.**





**Χάρτης 3. Χάρτης όπου φαίνονται με χρώμα φούξια οι λεκάνες απορροής. Με ανοιχτό γαλάζιο δείχνονται οι σημαντικότεροι υδατικοί πόροι του νησιού, η δεξαμενή του Θεάτρου, η δεξαμενή Ινώπου και η Ιερή Λίμνη. Με σκούρο μπλε δείχνεται ο ρους του ποταμού Ινώπου.**



**Χάρτης 4. Χάρτης περατότητας, που περικλείονται με περίγραμμα χρώματος κίτρινου οι περιοχές όπου το έδαφος εμφανίζει περατότητα χαμηλή έως μέτρια. Όλο το υπόλοιπο νησί εμφανίζει περατότητα πολύ χαμηλή έως χαμηλή. Με σκούρο μπλε δείχνεται ο ρους του ποταμού Ινώπου.**

