



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΜΕΣΩ ΕΡΕΥΝΑΣ
(ΠΜΣ – ΜΕ.Δ.Μ.Ο.Δ.Ε.)**

Διαχείριση υδατικών πόρων στη Χίο. Συστήματα συλλογής βρόχινου νερού

(Water resources management in Chios. Rainwater harvesting systems)

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΑΝΤ. ΚΑΚΟΥΛΑΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΓΚΟΛΦΙΝΟΠΟΥΛΟΣ**

ΧΙΟΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2020

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΜΕΣΩ ΕΡΕΥΝΑΣ
(ΠΜΣ – ΜΕ.Δ.Μ.Ο.Δ.Ε.)**

Διαχείριση υδατικών πόρων στη Χίο. Συστήματα συλλογής βρόχινου νερού

(Water resources management in Chios. Rainwater harvesting systems)

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΑΝΤ. ΚΑΚΟΥΛΑΣ

Τριμελής Επιτροπή

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΓΚΟΛΦΙΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΟΥΝΙΑΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον Οδηγό συγγραφής διπλωματικών εργασιών του ΤΜΟΔ. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι προϊόν δικής μου δουλειάς και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Ο εισηγητής

Δημήτριος Αντ. Κακούλας

ΧΙΟΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Έχοντας ολοκληρώσει την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντά μου, Καθηγητή Σπύρο Γκολφινόπουλο, για την ανάθεση του πολύ ενδιαφέροντος θέματος, την καθοδήγηση και την άριστη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της έρευνας. Οφείλω να του απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ για την υπομονή και επιμονή του, για την αποπεράτωση των σπουδών μου και της παρούσας έρευνας.

Παράλληλα, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, Καθηγητή κ. Γ. Δούνια και την Επίκουρη Καθηγήτρια κα. Α. Νικολάου, για τις πολύ χρήσιμες συμβουλές τους αλλά και για την βοήθειά τους σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γ. Βαρδάκη για την υποστήριξη του και την βοήθεια του για την διεκπεραίωση όλων των θεμάτων που αφορούσαν τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην σύζυγό μου Καλλιόπη για την υπομονή και κατανόηση που έδειξε κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών καθώς και για την στήριξη που μου προσφέρει καθημερινά.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου, Αντώνιο και Αγγελική, για την στήριξη που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	10
Το νερό και ο υδρολογικός του κύκλος.....	10
1.1 Το νερό	10
1.2 Υδρολογικός κύκλος νερού.....	11
1.3 Παγκόσμια κατανομή νερού.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	18
Υδατικοί πόροι στην Ελλάδα	18
2.1. Γενικά.....	18
2.2. Προβλήματα στη διαχείριση των υδατικών πόρων	18
2.3. Νομοθετικό πλαίσιο	20
2.4. Διοικητική διαίρεση	21
2.5. Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (GR14).....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	26
Υδατικοί πόροι στη Χίο	26
3.1. Εισαγωγή	26
3.2. Γενικά στοιχεία για την Χίο	26
3.3. Διοικητική Διαίρεση	28
3.4. Βροχομετρικοί σταθμοί και κατανομή βροχοπτώσεων	28
3.5. Περιγραφή υφιστάμενου υδροδοτικού συστήματος	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	40
Συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων	40
4.1 Εισαγωγή	40
4.2 Αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών νερού.....	42
4.3 Συλλογή βρόχινων υδάτων - Ορισμός	43
4.4 Βιβλιογραφική έρευνα	44
4.5 Σύστημα συλλογής βρόχινου νερού για μη πόσιμο νερό.....	46
4.5.1. Τύποι συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού για μη πόσιμο νερό	47
4.5.2 Σχεδιάζοντας ένα σύστημα συλλογής βρόχινου νερού για μη πόσιμο νερό.....	48

4.6	Διαστασιολόγηση δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων	50
4.7	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα τεχνολογιών συλλογής όμβριων υδάτων ...	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		55
Ανάπτυξη – Εφαρμογή μεθοδολογίας.....		55
5.1	Μέθοδος ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου	55
5.2	Μοντέλο συμπεριφοράς	56
5.3	Όγκος απορροής όμβριων υδάτων Q_t	57
5.4	Ζήτηση Q_t	58
5.5	Περιοχή μελέτης.....	59
5.6	Οικονομική ανάλυση του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.....	62
5.7	Προσδιορισμός ποσοστού ημερήσιας ζήτησης νερού.....	65
5.8	Εφαρμογή – Αποτελέσματα.....	68
5.8.1	Συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων για οικιακή χρήση	68
5.8.1	Συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων σε σχολεία.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6		78
Συμπεράσματα – Προτάσεις για μελλοντική έρευνα		78
Βιβλιογραφικές Αναφορές		81

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη διαχείρισης των υδατικών πόρων, με μελέτη περίπτωσης αυτής της νήσου Χίου, όπου και γίνεται αναφορά στην αξιοποίηση των μη συμβατικών υδατικών πόρων και ιδιαίτερα στη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία του νερού της βροχής με σκοπό την κάλυψη επιμέρους αναγκών σε δευτερεύουσες χρήσεις, όπως σε καζανάκια τουαλέτας, για το πότισμα κήπων, το πλύσιμο αυτοκινήτων κ.α.

Σε περιοχές όπου η έλλειψη νερού βρίσκεται σε κρίσιμο σημείο, τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων προσφέρουν μια εναλλακτική πηγή νερού, η οποία μπορεί να παρέχει νερό για πόση και άλλες οικιακές χρήσεις. Το νερό της βροχής που συλλέγεται είναι μια ανανεώσιμη πηγή καθαρού νερού που είναι ιδανική για αυτές τις χρήσεις.

Ο σκοπός αυτής της έρευνας είναι να μελετήσει την αποτελεσματικότητα των συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού για μη πόσιμες χρήσεις σε οικίες και σχολεία, στο νησί της Χίου, όπου οι υδάτινοι πόροι είναι περιορισμένοι.

Αναπτύχθηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με σκοπό την προσομοίωση της συμπεριφοράς μιας δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων και παράλληλα την βελτιστοποίηση του μεγέθους της. Ο όγκος της δεξαμενής δεν θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλος, λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής, αλλά ούτε και πολύ μικρός, λόγω του κινδύνου μη ικανοποίησης των αναγκών ζήτησης. Όταν η συλλογή όμβριων υδάτων προορίζεται για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών σε οικίες και σχολεία, η ανάλυση συσχετίζει τον τύπο και το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής, τα τοπικά δεδομένα βροχόπτωσης και τις καιρικές συνθήκες, το μέγεθος της οικογένειας και το κόστος του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Διερευνήθηκε η δυνατότητα εξοικονόμησης νερού και το οικονομικό όφελος ως προς τη μείωση του ετήσιου λογαριασμού νερού από την υπηρεσία ύδρευσης. Η ανάλυση αγνοεί άλλα οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.

Η χρήση δεξαμενών βρόχινου νερού μπορεί να μειώσει τη χρήση νερού που παρέχεται χρησιμοποιώντας συμβατικές υποδομές όπως φράγματα, γεωτρήσεις κλπ. καθυστερώντας έτσι και την ακριβή κατασκευή νέων. Έχει εκτιμηθεί από τη ΔΕΥΑΧ ότι εάν το 25% των

κατοίκων εγκαταστήσει σύστημα συλλογής βρόχινου νερού, το συνολικό όφελος ισοδυναμεί με την κατασκευή φράγματος με πραγματική χωρητικότητα 370.000 m³

ABSTRACT

The aim of this thesis is the study of water resources management in Chios Island. The balance between water demand and availability has reached a critical level. To address the issue of pressure on water resources, the research mainly focuses on the collection of rainwater, which is potentially a water resource.

Rainwater harvesting systems offer an alternative water source which can provide a supplementary water supply where the availability of water is a critical issue. Harvested rainwater is a renewable source of clean water that is ideal for domestic uses.

The study investigates the effectiveness of rainwater harvesting systems for domestic non potable uses, on Chios Island, where water resources are limited.

The main objective of the research is to carry out an analysis of a daily water balance model for the optimization of rainwater tank size. The analysis correlates local rainfall, catchment area the number of served residents and the rainwater harvesting system (RWH) cost.

The study investigates the water saving potential and the financial benefit of RWH system for domestic use. The financial benefit has been evaluated in terms of reduction of the annual water bill from water utilities. Even if relevant, in this analysis other financial, environmental and social benefits have not been estimated.

The use of rainwater tanks can reduce the usage of water supplied using conventional infrastructures thus delaying expensive conventional augmentation infrastructure such as dams. It has been estimated from the Municipal Company of Chios, for Water Supply & Wastewater Disposal that if 25% of residents install rainwater harvesting system the overall benefit is equivalent to constructing a dam with effective capacity of 370,000 m³.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα έρευνα διεξάγεται στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ) με τίτλο «Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης μέσω Έρευνας» του τμήματος Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Σκοπός της έρευνας είναι η μελέτη διαχείρισης των υδατικών πόρων, με μελέτη περίπτωσης αυτής της νήσου Χίου.

Το νερό είναι ένας πολύτιμος πόρος, εν ανεπάρκεια. Ιδιαίτερα η περιοχή της Μεσογείου, χαρακτηρίζεται από λειψυδρία. Το έλλειμμα μεταξύ της διαθεσιμότητας και της ζήτησης του νερού, σε ένα πλαίσιο αυξανόμενων πιέσεων και επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, επιτάσσει την εκμετάλλευση μη συμβατικών υδατικών πόρων ώστε να καλυφθούν δευτερεύουσες χρήσεις για τις οποίες δεν απαιτείται πόσιμο νερό.

Στη Χίο, το πέμπτο κατά σειρά μεγαλύτερο νησί της Ελλάδος, η έλλειψη και η κακή ποιότητα νερού αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα και διαχρονικότερα προβλήματα. Η μείωση των βροχοπτώσεων και η αύξηση της θερμοκρασίας, σαν αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής αλλά και η κακή και χωρίς σχέδιο διαχείριση των υδατικών πόρων έχουν μειώσει την διαθεσιμότητα των πόρων αυτών.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται αναφορά στους τρόπους και τις μεθόδους συλλογής, αποθήκευσης και επεξεργασίας του νερού της βροχής με σκοπό την κάλυψη επιμέρους αναγκών σε δευτερεύουσες χρήσεις, όπως σε καζανάκια, πλυντήρια, νεροχύτες, για το πότισμα κήπων, το πλύσιμο αυτοκινήτων, κ.α. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομούνται σημαντικές ποσότητες νερού από το δίκτυο ύδρευσης με ανάλογα οικονομικά και οικολογικά οφέλη.

Αρχικά, στο Κεφάλαιο 1, θα παρουσιαστούν στοιχεία σχετικά με το κύκλο του νερού ή υδρολογικό κύκλο. Παράλληλα θα περιγραφεί λεπτομερώς το θέμα των υδατικών αποθεμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 2, θα γίνουν αναφορές σχετικές με τους υδάτινους πόρους στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου καθώς και στα προβλήματα διαχείρισής τους.

Στο Κεφάλαιο 3 θα αναλυθεί η εξεταζόμενη περιοχή μελέτης, η νήσος Χίος. Θα παρουσιαστεί το υφιστάμενο υδροδοτικό σύστημα και θα αναφερθούν εκτενώς τα θέματα που προκύπτουν σχετικά με τους υδάτινους πόρους, τη διαχείριση τους και τους κινδύνους που αντιμετωπίζουν.

Στο κεφάλαιο 4, στο πλαίσιο της διαχείρισης και εξεύρεσης υδατικών πόρων, η έρευνα θα εστιαστεί κυρίως στη συλλογή των όμβριων υδάτων, τα οποία αποτελούν εν δυνάμει υδατικούς πόρους. Διερευνάται η συλλογή όμβριων υδάτων ως μέτρο αντιμετώπισης της πίεσης των υδατικών αποθεμάτων και εναλλακτική χρήση υδατικών πόρων και πραγματοποιείται εκτεταμένη βιβλιογραφική επισκόπηση επί αυτού και επί των μεθόδων διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών.

Στο Κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται ανάπτυξη και εφαρμογή της μεθόδου διαστασιολόγησης δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων. Παρουσιάζεται η μέθοδος του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου. Πραγματοποιείται προσομοίωση σε καθημερινή κλίμακα για τον προσδιορισμό του βέλτιστου όγκου της δεξαμενής όμβριων υδάτων για την κάλυψη χρήσεων για μη πόσιμο νερό.

Στο Κεφάλαιο 6 συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Η εκπόνηση της εργασίας στηρίχθηκε στη μελέτη και παρουσίαση πρωτογενών και δευτερογενών πηγών πληροφόρησης σχετικά με την χρήση του νερού στην Ελλάδα και ειδικότερα στην περιοχή της Χίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Το νερό και ο υδρολογικός του κύκλος

1.1 Το νερό

Το νερό μπορεί να θεωρηθεί ως φυσικός πόρος, ως οικονομικό αγαθό και ως περιβαλλοντικό στοιχείο, ανάλογα με το κύριο κριτήριο και το είδος της διαχείρισης. Σε σχέση πάντως με άλλους φυσικούς πόρους και με άλλα οικονομικά αγαθά έχει μία ιδιαιτερότητα: είναι μοναδικό και αναντικατάστατο.

Το νερό ταυτίζεται συχνά με τη ζωή. Κατά τον Αριστοτέλη είναι ένα από τα τέσσερα στοιχεία τα οποία μαζί με τη φωτιά, τον αέρα και τη γη, συνθέτουν τον κόσμο. Στις μέρες μας η επιστήμη δέχεται ότι η ζωή γεννήθηκε στο νερό και ότι η ύπαρξή του είναι αναγκαία για τη διατήρηση και την ανάπτυξή της και κατ' επέκταση για την επιβίωση των σύγχρονων κοινωνιών.

Το νερό (H₂O) αποτελεί τη μοναδική ουσία που υπάρχει στη φύση και με τις τρεις μορφές της ύλης. Το νερό είναι άχρωμο, άοσμο, και άγευστο και σε θερμοκρασία δωματίου (20° C) υγρό. Η χημική αυτή ένωση καλύπτει τα τρία τέταρτα της επιφάνειας της Γης και κατά το ίδιο ποσοστό περίπου δομεί την ανθρώπινη ύπαρξη (Κ.Π.Ε Καστοριάς 2000 – 2007).

Τα μόρια του νερού μπορούν εύκολα να εισχωρούν ανάμεσα σε άτομα άλλων μορίων, γεγονός που καθιστά το νερό «παγκόσμιο διαλύτη». Το νερό διαλύει μικρές τουλάχιστον ποσότητες όλων σχεδόν των ουσιών (Κ.Π.Ε Καστοριάς 2000 – 2007).

Η μεγάλη διαλυτική ικανότητα του νερού συνδέεται με τη διαβρωτική του ιδιότητα. Το νερό διαβρώνει το υπόστρωμα ροής του και εμπλουτίζεται με φερτά υλικά. Ωστόσο το φαινόμενο της διάβρωσης δεν οφείλεται αποκλειστικά στη διαλυτική ικανότητα του νερού. Τόσο το νερό της βροχής, όσο και τα επιφανειακά και υπόγεια νερά δεν είναι ποτέ απόλυτα καθαρά κατά την διαδρομή τους στον υδρολογικό κύκλο εμπλουτίζονται με αέριους βιομηχανικούς και αστικούς ρύπους (διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου κ.ά.), οργανικές ενώσεις από το έδαφος, ενώσεις αζώτου και θείου από τις βιομηχανικές δραστηριότητες και τις γεωργικές εφαρμογές, άλατα όπως το όξινο ανθρακικό ασβέστιο, το χλωριούχο μαγνήσιο, το θειικό ασβέστιο κ.ά. Οι παραπάνω προσμίξεις εντείνουν τη διαβρωτική ικανότητα του νερού (Κ.Π.Ε Καστοριάς 2000 – 2007).

Το νερό χαρακτηρίζεται επίσης από μεγάλη θερμοχωρητικότητα, οι μεταβολές δηλαδή στη θερμοκρασία του συντελούνται με σχετικά αργούς ρυθμούς. Η παραπάνω ιδιότητα του νερού οφείλεται στην υψηλή ειδική του θερμότητα (για να ανέβει η θερμοκρασία 1g νερού κατά 1° C απαιτείται 1cal) (Κ.Π.Ε Καστοριάς 2000 – 2007).

1.2 Υδρολογικός κύκλος νερού

Το νερό της Γης είναι πάντα σε κίνηση και σε αλλαγή, από την υγρή μορφή στην αέρια ή σε πάγο ξανά και αντίστροφα. Ο κύκλος του νερού ή υδρολογικός κύκλος λειτουργεί εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια.

Η Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS) έχει διακρίνει 16 συνιστώσες στον υδρολογικό κύκλο, οι οποίες παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1. Ο υδρολογικός κύκλος (Gleick 1993).

Ο υδρολογικός κύκλος, σαν κύκλος που είναι, δεν έχει αρχή, αλλά είναι βολικό να ξεκινήσει κανείς από τη θάλασσα. Ο ήλιος, που κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει τον νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς) το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα. Νερό εξατμίζεται ακόμα από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος. Η

διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι μιλούμε για εξατμοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάγους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή.

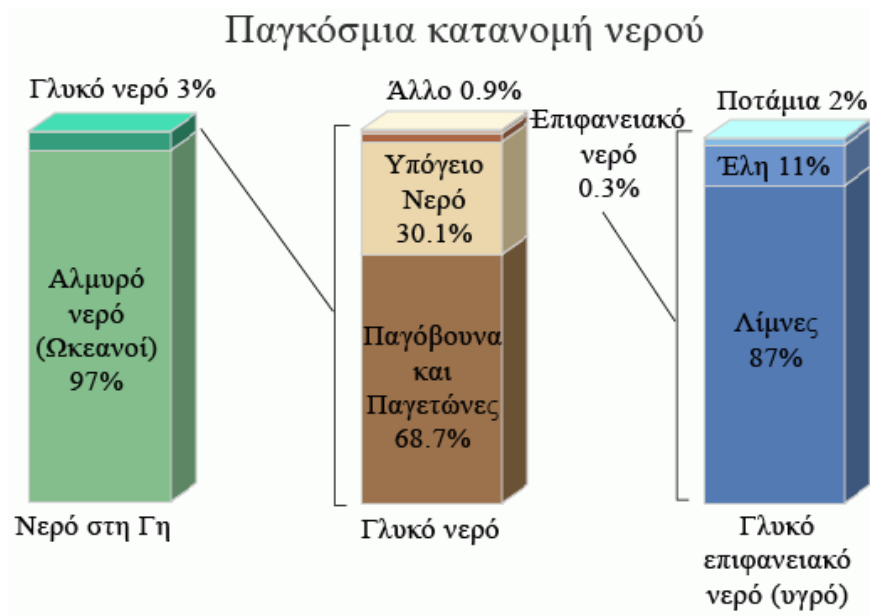
Ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι μικρότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Επειδή όμως σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί πια να συγκρατεί όλη τη μάζα των υδρατμών, ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω απ' την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται και μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν απ' τον ουρανό ως κατακρημνίσματα, η συχνότερη μορφή των οποίων είναι η βροχή. Μια μορφή κατακρημνίσματος είναι το χιόνι, το οποίο όταν συσσωρεύεται σχηματίζει πάγους και παγετώνες. Σε σχετικά θερμότερα κλίματα, όταν έρχεται η άνοιξη, το χιόνι λιώνει και το ξεπαγωμένο νερό ρέει, σχηματίζοντας την αντίστοιχη απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς.

Από την ποσότητα που πέφτει στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Η επιφανειακή απορροή μπορεί ακόμη να καταλήξει στις λίμνες, που αποτελούν, μαζί με τους ποταμούς, τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς της επιφάνεια της γης εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναμπαίνει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού "τελειώνει" ... και "ξεκινάει".

1.3 Παγκόσμια κατανομή νερού

Το παρακάτω διάγραμμα και ο πίνακας δεδομένων, παρουσιάζουν μια λεπτομερή περιγραφή της κατανομής του νερού της Γης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.



Εικόνα 2. Παγκόσμια κατανομή νερού(Gleick 1993).

Πίνακας 1. Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού (Gleick 1993).

Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού			
Μορφή Νερού	Όγκος νερού σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό γλυκού νερού	Ποσοστό συνολικού νερού
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	--	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	--	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό	12.870.000	--	0,94
Εδαφική Υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	--	0,013
Γλυκές	91.000	0,26	0,007
Αλμυρές	85.400	--	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Έλη	11.470	0,03	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	-	100

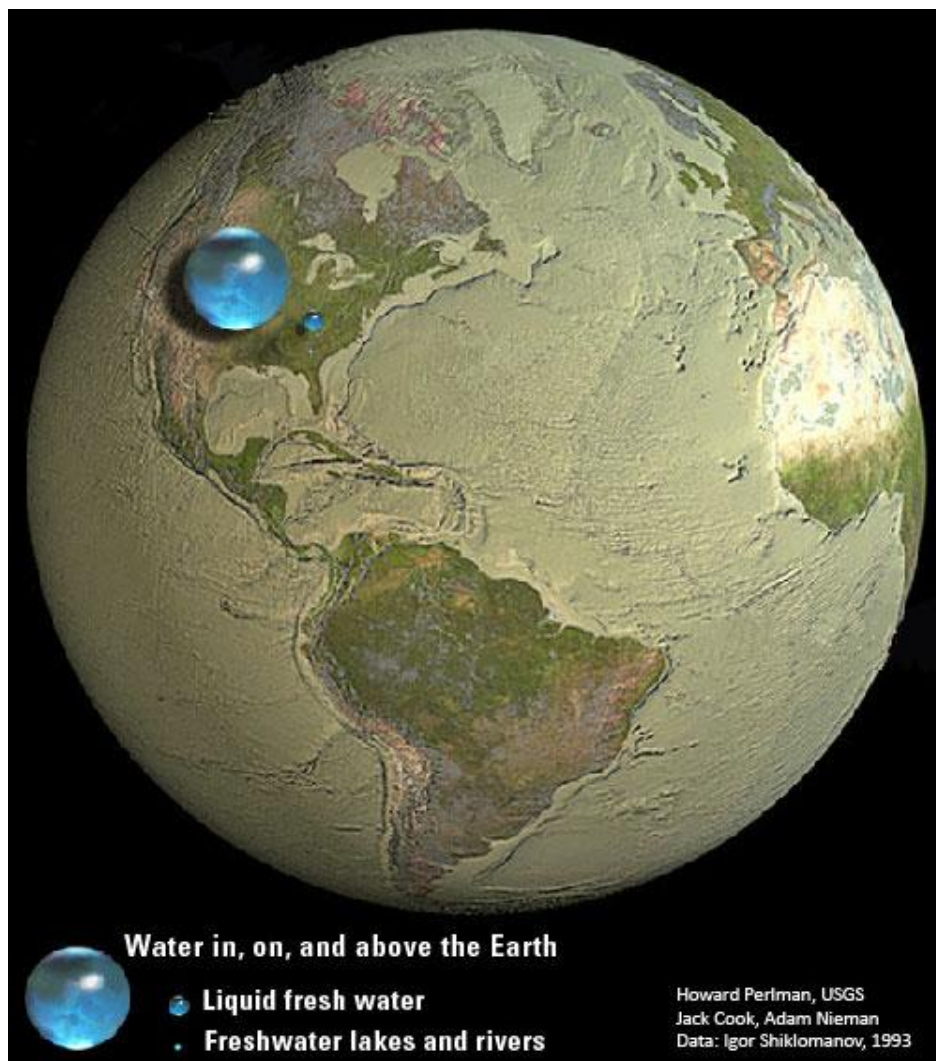
Παρατηρούμε πως από τα συνολικά 1.386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα του νερού στη Γη περισσότερο από 96% είναι αλμυρό. Επίσης, το 68% του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε πάγο και παγετώνες. Ακόμα ένα 30% του γλυκού νερού βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς. Το επιφανειακό γλυκό νερό που βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες είναι συνολικά 93.120 κυβικά χιλιόμετρα και αντιπροσωπεύει περίπου το 1/150 του 1% του συνολικού νερού στη Γη. Παρά ταύτα, τα ποτάμια και οι λίμνες είναι οι βασικές πηγές νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.

Στην παρακάτω εικόνα οι μπλε σφαίρες αντιπροσωπεύουν τις σχετικές ποσότητες του νερού της Γης και συγκρίνονται με το μέγεθός της. Ο όγκος της μεγαλύτερης σφαίρας,

αντιπροσωπεύει τη συνολική ποσότητα του νερού στη Γη (1.386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα).

Η μικρότερη σφαίρα αντιπροσωπεύει το υγρό γλυκό νερό της Γης σε υπόγεια ύδατα, ποτάμια και λίμνες.

Η "μικροσκοπική" φούσκα αντιπροσωπεύει το γλυκό νερό σε όλες τις λίμνες και τα ποτάμια του πλανήτη.



Εικόνα 3. Το νερό στη Γή (Gleick 1993).

Το γεγονός ότι οι λίμνες και τα ποτάμια, δηλαδή τα επιφανειακά νερά, είναι οι κύριες πηγές νερού, ή αλλιώς υδατικοί πόροι, φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με την εικόνα που δίνει ο παραπάνω πίνακας, σύμφωνα με την οποία τα υπόγεια νερά είναι κατά τάξεις μεγέθους περισσότερα από τα επιφανειακά. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί αν σκεφτούμε ότι οι πόροι του

νερού δεν είναι αποθεματικοί (όπως π.χ. είναι το πετρέλαιο) αλλά ανανεώσιμοι. Επομένως αυτό που έχει σημασία δεν είναι η ποσότητα νερού που είναι αποθηκευμένη αλλά αυτή που ανανεώνεται κάθε χρόνο. Έτσι, λοιπόν, τα επιφανειακά νερά διακινούνται – και άρα ανανεώνονται – με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς από τα υπόγεια.

Με άλλα λόγια δεν έχει τόσο σημασία η στατική εικόνα της αποθήκευσης του νερού, αλλά η δυναμική εικόνα της κυκλοφορίας του νερού στην υδρόγειο. Αυτή περιγράφεται από τις ποσότητες των διακινήσεων του νερού ανάμεσα στις διάφορες μορφές, δηλαδή τις ποσότητες που μεταφέρονται μέσα στον υδρολογικό κύκλο. Σε μέση ετήσια βάση, οι ποσότητες αυτές δίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Πίνακας 2. Εκτίμηση των μέσων ετήσιων φυσικών διακινήσεων του νερού της Γης

Εκτίμηση των μέσων ετήσιων φυσικών διακινήσεων του νερού της Γης (συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου)				
Επιφάνεια αναφοράς	Έκταση σε δισεκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα	Διακίνηση	Μέσος ετήσιος όγκος σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό επί των κατακρημνισμάτων, %
Σύνολο επιφάνειας Γης	510,0	Κατακρημνίσματα = Εξατμοδιαπνοή	577.000	100,0
Ωκεανοί	361,1	Κατακρημνίσματα	458.000	100,0
		Εξάτμιση	505.000	110,3
Ξηρά	148,9	Κατακρημνίσματα	119.000	100,0
		Εξατμοδιαπνοή	72.000	60,5
		Συνολική απορροή	47.000	39,5
		Επιφανειακή συνιστώσα απορροής	44.700	37,6
		Υπόγεια συνιστώσα απορροής	2.300	1,9

(Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος 1999)

Η επιφανειακή και η υπόγεια συνιστώσα απορροής αναφέρονται στην έξοδο προς τη θάλασσα.

Τα πιο χαρακτηριστικά στοιχεία που παρατηρούμε μελετώντας τον πίνακα είναι:

1. Το χερσαίο τμήμα της Γης τροφοδοτείται από το θαλάσσιο, μέσω των μηχανισμών της εξάτμισης και της μεταφοράς από τους ανέμους, με υδρατμούς (δηλαδή νερό σε καθαρή μορφή) που φτάνουν στο 39,5% των χερσαίων κατακρημνισμάτων (το υπόλοιπο 60,5% των χερσαίων κατακρημνισμάτων προέρχεται από τη χερσαία εξατμισοδιαπνοή).
2. Η ίδια ποσότητα (39,5%) οδηγείται μέσω της επιφανειακής και υπόγειας απορροής από την ξηρά στη θάλασσα, για να κλείσει έτσι ο υδρολογικός κύκλος και το υδατικό ισοζύγιο της υδρογείου.
3. Από τη συνολική απορροή, η οποία αποτελεί και την οροφή του εκμεταλλεύσιμου υδατικού δυναμικού, τη μερίδα του λέοντος παίρνει η επιφανειακή απορροή (η επιφανειακή εκροή στη θάλασσα είναι περίπου 20 φορές μεγαλύτερη από την υπόγεια εκροή).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Υδατικοί πόροι στην Ελλάδα

2.1. Γενικά

Η Ελλάδα έχει έκταση 131.957 km² και παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο, περιορισμένη ενδοχώρα (2008 final report) και ανάπτυγμα ακτών 16.000 km που αναπτύσσεται στην ηπειρωτική χώρα και στα 3000 περίπου νησιά μας. Από τα 3.000 νησιά μας τα 63 είναι τα κυριότερα από άποψη μεγέθους (Καραβίτης και Αγγελίδης 2005).

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) για την κατάσταση του περιβάλλοντος στην Ελλάδα, η Ελλάδα μπορεί γενικά να χαρακτηριστεί πλούσια χώρα σε υδατικούς πόρους σε σύγκριση με άλλες μεσογειακές χώρες. Από τα στοιχεία αυτά εκτιμάται ότι το μέσο ύψος βροχής είναι περίπου 850 mm που αντιστοιχεί σε συνολικές ετήσιες κατακρημνίσεις 115.375x10⁶ m³ και το συνολικό υδατικό δυναμικό στην Ελλάδα υπολογίζεται σε 69.000x10⁶ m³ (Καρασαββίδης και Τζιμόπουλος 2003).

Η κατανάλωση του νερού υπολογίζεται σε 8.243 x10⁶ m³ ανά έτος, από τα οποία το 84% διατίθεται στην άρδευση, το 1% στην κτηνοτροφία, το 12% στην ύδρευση και το 3% στη βιομηχανία και ενέργεια. Αναμφίβολα το συνολικό υδατικό δυναμικό υπερκαλύπτει κατά πολύ την ποσότητα που διατίθεται στις χρήσεις. Ωστόσο, μικρό μέρος από αυτό το δυναμικό είναι οικονομικά και τεχνικά αξιοποιήσιμο, με αποτέλεσμα την ύπαρξη προβλημάτων ανεπάρκειας νερού σε διάφορες περιοχές και για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. (Κουτσογιάννης και λοιποί 2008).

2.2. Προβλήματα στη διαχείριση των υδατικών πόρων

Οι κυριότεροι λόγοι που προκαλούν προβλήματα στην αξιοποίηση και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας είναι:

- Η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο. Σύμφωνα με την Έκθεση του Επιχειρησιακού Προγράμματος για το Περιβάλλον και την Αειφόρο Ανάπτυξη για την περίοδο 2007-2013, η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από άνιση, χωρικά και χρονικά,

κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο (Κωνσταντοπούλου 2012). Η δυτική Ελλάδα δέχεται πολύ μεγαλύτερα ύψη βροχών από την ανατολική. Έτσι, η δυτική Ελλάδα, με έκταση 24% της χώρας, δέχεται το 36% των συνολικών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ενώ ακόμη μεγαλύτερη είναι η διαφοροποίηση στα ποσοστά της επιφανειακής απορροής (Κουτσογιάννης και λοιποί 2008).

- Η ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων στο χρόνο, με μεγάλη συγκέντρωση βροχοπτώσεων κατά τη χειμερινή περίοδο. Στη νότια Ελλάδα το 80–90% των ετήσιων βροχοπτώσεων συγκεντρώνεται σ' αυτή την περίοδο, ενώ το θερινό ύψος της βροχής αυξάνει προς βορρά, και στα βορειότερα τμήματα παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή του, δηλαδή 20% του ετήσιου όγκου.
- Η άνιση κατανομή της ζήτησης στο χώρο, αναντίστοιχη με την κατανομή της προσφοράς. Ο άξονας Θεσσαλονίκη-Αθήνα-Πάτρα, που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού και δραστηριοτήτων, δε διαθέτει σημαντικούς υδατικούς πόρους.
- Η ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης στο χρόνο, αναντίστοιχη με την κατανομή της προσφοράς. Ο μεγαλύτερος καταναλωτής του χρησιμοποιούμενου νερού, η γεωργία (84%), το καταναλώνει την ξηρή περίοδο. Την ίδια περίοδο και ειδικότερα τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, διπλασιάζεται λόγω τουρισμού και η κατανάλωση του νερού ύδρευσης.
- Η γεωμορφολογία της χώρας. Ο έντονος οριζόντιος και κατακόρυφος διαμελισμός, όπως πιο πάνω αναφέρεται, καθώς και η δομή και διάταξη των πετρωμάτων, έχουν αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών μικρών υδατορεμάτων, επιφανειακή απορροή μικρής διάρκειας, αυξημένη κατείσδυση και συχνά πλημμυρικά φαινόμενα. Η εκμετάλλευση του δυναμικού αυτών των ρεμάτων είναι δυσχερής και συχνά οικονομικώς ασύμφορη, ενώ η αντίστοιχη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων συχνά αποτελεί σημαντικό παράγοντα αναρρύθμισης των πλημμυρικών παροχών.
- Η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές ποταμών που έρχονται από γειτονικά κράτη (περίπου 13 km³/χρόνο).

- Το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών (15.021 km) σε συνδυασμό με τη λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων, που συντείνει, λόγω της εντατικής εκμετάλλευσης παράκτιων υδροφορέων, στην υφαλμύρισή τους.
- Τα πολλά άνυδρα ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά της χώρας.

Ενώ λοιπόν η Ελλάδα εμφανίζεται αρκετά πλούσια σε υδατικούς πόρους, εντούτοις (Καρασαββίδης 2016):

- Υπάρχει ο εφιάλτης της λειψυδρίας σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.
- Ο υπόγειος ορίζοντας έχει κατέβει σε πολύ χαμηλά επίπεδα (χαρακτηριστικό παράδειγμα η Θεσσαλική πεδιάδα, στην οποία η άντληση γίνεται πλέον από τα 300-500m από την επιφάνεια του εδάφους).
- Ένα μεγάλο μέρος των επιφανειακών, αλλά και των υπογείων υδατικών πόρων έχει μολυνθεί από τη βιομηχανία και από τα φυτοφάρμακα.
- Το θαλασσίνο νερό έχει εισχωρήσει σε μεγάλο βάθος στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα σε πολλές παραθαλάσσιες περιοχές, οι οποίες έχουν υφαλμυρωθεί (χαρακτηριστικό παράδειγμα ο Αργολικός κάμπος, αλλά και η περιοχή της Σίνδου και Καλοχωρίου στη Θεσσαλονίκη).
- Υπάρχουν χρονικές περιόδους κατά τις οποίες εμφανίζονται έντονα πλημμυρικά φαινόμενα, που κάνουν δύσκολη τη ζωή των ανθρώπων ειδικά στις μεγάλες πόλεις, με μεγάλες καταστροφικές πλημμύρες και οικονομικές ζημιές στη χώρα.
- Υπάρχουν επίσης χρονικοί περιόδους με έντονη ξηρασία με τη συνεπακόλουθη λειψυδρία και με τεράστιες επίσης ζημιές στις καλλιέργειες και κατά συνέπεια στην ελληνική οικονομία.

2.3. Νομοθετικό πλαίσιο

Ως μακροπρόθεσμη ανάγκη για την άρση των προαναφερόμενων προβλημάτων πρέπει να υπάρξει στην Ελλάδα πολιτική διαχείρισης των υδατικών πόρων, έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι ανάγκες για άρδευση, ύδρευση, βιομηχανία και ενέργεια και ταυτόχρονα να διατηρηθεί η ποιότητα των υδατικών πόρων και του φυσικού περιβάλλοντος σε καλή κατάσταση. Στο

πλαίσιο αυτό η επίτευξη των στόχων, που αναφέρονται στην Οδηγία Πλαίσιο 2000/60 ΕΚ για τα νερά αποτελεί την κυριότερη ανάγκη (Mylopoulos and Kolokytha 2008).

Ειδικότερα, σύμφωνα με το Άρθρο 1 της Οδηγίας-Πλαίσιο για τα Νερά, σκοπός της είναι η θέσπιση πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων, και των υπόγειων υδάτων το οποίο πρέπει να: (α) αποτρέπει την περαιτέρω επιδείνωση, να προστατεύει και να βελτιώνει την κατάσταση των υδατικών πόρων, (β) προωθεί τη βιώσιμη χρήση του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων, (γ) αποσκοπεί στην ενίσχυση της προστασίας και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος, με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, εκπομπών, και διαρροών ουσιών προτεραιότητας και με την παύση ή την σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών των επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας, (δ) διασφαλίζει την προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και να αποτρέπει την περαιτέρω μόλυνσή τους, (ε) συμβάλει στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες. Γενικά, η Οδηγία στοχεύει στην επίτευξη της καλής κατάστασης των υδάτων (Οδηγία 2000/60/ΕΚ).

2.4. Διοικητική διαίρεση

Για λόγους μεθοδολογίας, οργανωτικούς, αλλά και διοικητικούς, έχει θεσμοθετηθεί η διαίρεση της χώρας σε δεκατέσσερις (14) περιοχές λεκανών απορροής ποταμών με κατά το δυνατόν όμοιες υδρολογικές - υδρογεωλογικές συνθήκες, οι οποίες αποτελούν το περιφερειακό επίπεδο στον τομέα της διαχείρισης του νερού. Οι μονάδες αυτές ονομάζονται Υδατικά Διαμερίσματα. Άλλωστε, η Οδηγία 2000/60/ΕΚ ορίζει ως ενδεδειγμένη μονάδα χώρου για την εκπόνηση διαχειριστικών μελετών το “River Basin District” που στην Ελλάδα αντιστοιχεί στο Υδατικό Διαμέρισμα.

2.5. Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (GR14)

Το Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (GR14) αποτελεί ένα από τα δεκατέσσερα Υδατικά Διαμερίσματα, στα οποία διαιρέθηκε ο ελληνικός χώρος με το Νόμο 1739/1987 (ΦΕΚ 201/Α/20.11.1987) και αντιστοιχούν στις Περιοχές Λεκανών Απορροής Ποταμών του άρθρου

3 του Π.Δ.51/2007 όπως ορίζεται στην υπ' αριθμ. 706/2010 (ΦΕΚ 1383/Β/2.9.2010) Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, όπως ισχύει.

Το Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (ΥΔ14) περιλαμβάνει τα νησιωτικά συγκροτήματα των Νομών Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Λέσβου, Σάμου και Χίου. Απαρτίζεται δηλαδή από όλα τα νησιά των Περιφερειών Βόρειου και Νότιου Αιγαίου, εκτός από τη Μακρόνησο. Η συνολική χερσαία έκταση του Υδατικού Διαμερίσματος ανέρχεται σε 9.104 km² και ο πληθυσμός 508.206 κατ. Από διοικητικής άποψης σε αυτή την έκταση περιλαμβάνονται οι Περιφερειακές Ενότητες Λέσβου - Λήμνου, Χίου, Σάμου – Ικαρίας, Άνδρου, Θήρας, Κέας – Κύθνου, Μήλου, Μυκόνου, Νάξου, Πάρου, Σύρου, Τήνου, Καλύμνου, Καρπάθου, Κω και Ρόδου.

Το έδαφος του συνόλου των νησιών του Υδατικού Διαμερίσματος κατανέμεται σε πεδινό, ορεινό και ημιορεινό. Το μέσο υψόμετρο του Υδατικού Διαμερίσματος είναι 160 m. Τα μεγαλύτερα υψόμετρα συναντώνται στη Ρόδο, στη Χίο και στη Λέσβο (Προσχέδιο Διαχείρισης ΥΔ Νήσων Αιγαίου 2014).

Το Υδατικό Διαμέρισμα παρουσιάζει σημαντικές κλιματικές παραλλαγές λόγω της γεωγραφικής θέσης, του μεγέθους και της απόστασης των νησιών από τις πλησιέστερες ηπειρωτικές ακτές. Στο σύνολο των νησιών κυριαρχεί το ήπιο εύκρατο μεσογειακό κλίμα, ενώ στις νοτιοανατολικές περιοχές το θαλάσσιο. Οι βορειοανατολικές περιοχές (Λέσβος-Χίος-Σάμος) είναι πιο ευνοημένες υδρολογικά και δέχονται το μεγαλύτερο ύψος βροχής. Ξηρότερες είναι οι περιοχές των Κυκλάδων και πολλών Δωδεκανήσων, αφού δέχονται μικρότερο ύψος βροχής. Τα νησιά μπορούν να διακριθούν σε πέντε ομάδες με παρεμφερή μεγέθη βροχόπτωσης: α) κεντρικές και νότιες Κυκλάδες, β) βόρειες Κυκλάδες, γ) βόρειο Αιγαίο, δ) ανατολικό Αιγαίο και ε) Δωδεκάνησα (Προσχέδιο Διαχείρισης ΥΔ Νήσων Αιγαίου 2014).

Το Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου περιλαμβάνει τις Λεκάνες Απορροής Ανατολικού Αιγαίου (GR 36), Κυκλάδων (GR 37) και Δωδεκανήσων (GR 38). Η μικρή έκταση των νησιών σε συνδυασμό με τη γεωλογική διαμόρφωσή τους και τα μικρά ύψη βροχής, δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη ούτε πυκνού υδρογραφικού δικτύου ούτε αξιόλογων υδρολογικών λεκανών. Η μεγαλύτερη υδρολογική λεκάνη του διαμερίσματος είναι της Καλλονής της Λέσβου, με έκταση 270 km² (Κουτσογιάννης και λοιποί 2008).

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι ο διαμελισμός της έκτασής του σε πολλές μικρότερες αυτοτελείς ενότητες, τα νησιά. Η ιδιαιτερότητα αυτή επιβάλλει την προσέγγιση του διαμερίσματος ανά νησί, η συνολική έκταση του οποίου λαμβάνεται ως μια υδρολογική-υδρογεωλογική ενότητα (Κουτσογιάννης και λοιποί 2008).

Η προσφορά νερού από επιφανειακά και υπόγεια νερά για τον μήνα Ιούλιο είναι $7 \times 10^6 \text{m}^3$ ενώ η ζήτηση για το μήνα αυτό ανέρχεται σε $25 \times 10^6 \text{m}^3$, για τη σημερινή κατάσταση. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως το πρόβλημα της έλλειψης νερού στο ΥΔ Νήσων του Αιγαίου είναι υπαρκτό και μεγάλο. Κύρια προτεραιότητα στην χρήση των υδατικών πόρων, για τα νησιά του Αιγαίου, αποτελεί η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών, τόσο του πραγματικού πληθυσμού, όσο και του εποχιακού (Προσχέδιο Διαχείρισης ΥΔ Νήσων Αιγαίου 2014).

Τα νησιά του Αιγαίου παρουσιάζουν πρόβλημα λειψυδρίας εδώ και τρεις δεκαετίες (Σαμπατακάκης 2001), το οποίο εμφανίζεται κυρίως στα μικρότερα νησιά και επεκτείνεται και στα μεγαλύτερα.

Το πρόβλημα οφείλεται κυρίως σε δυσμενείς υδρολογικούς και υδρογεωλογικούς παράγοντες, αλλά και στον τρόπο διαχείρισης και εκμετάλλευσης των υδάτινων αποθεμάτων (ΕΓΥ 2015). Οι κυριότερες αιτίες εντοπίζονται:

1. Στο μικρό μέγεθος των περισσότερων νησιών που δεν επιτρέπει την ανάπτυξη εκτεταμένων υπόγειων και επιφανειακών λεκανών.
2. Στο έντονο του ανάγλυφου με αποτέλεσμα την ταχεία κίνηση των επιφανειακών νερών προς τη θάλασσα.
3. Στην αρκετά χαμηλή μέση ετήσια βροχόπτωση με αποτέλεσμα η επιφανειακή απορροή και η κατείδυση να είναι μικρές γεγονός που ενισχύεται από την υψηλή μέση ετήσια θερμοκρασία και ηλιοφάνεια.
4. Στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, που συναντώνται σε πολλά νησιά, όπου οι υδροφόροι που αναπτύσσονται λόγω της μικρής απόστασής τους από τη θάλασσα έχουν υφάλμυρο νερό. Στα νησιά όπου τα πετρώματα είναι αδιαπέρατα (σχιστόλιθοι, γνεύσιοι) δεν σχηματίζονται αξιόλογοι υδροφορείς.

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα έλλειψης νερού επιδεινώθηκε εξαιτίας (ΕΓΥ, 2015):

1. Του ιδιαίτερου χαμηλού ποσοστού βροχοπτώσεων.

2. Της μετατροπής των τοπικών κοινωνιών από κτηνοτροφικές-αγροτικές σε κοινωνίες παροχής τουριστικών υπηρεσιών.
3. Της αυξανόμενης τουριστικής κίνησης με αποτέλεσμα την υψηλή ζήτηση τους θερινούς μήνες.
4. Τη δυσανάλογα αυξανόμενη ζήτηση σε σχέση με την αύξηση του πληθυσμού αλλά και του τουρισμού
5. Των απωλειών μέσω των δικτύων ύδρευσης (πάνω από 30%).
6. Της εγκατάλειψης παραδοσιακών τρόπων συλλογής βρόχινου ύδατος (ομβροδεξαμενές).
7. Της υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων νερών (που καλύπτουν και το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος των απαιτήσεων) που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υδραυλικών συνθηκών που ευνοούν τη υπαλαμύριση και την εισροή ρυπασμένων νερών στους υδροφορείς.
8. Της απουσία πολιτικής πρόβλεψης και πρόληψης των επιπτώσεων από την αυξανόμενη ζήτηση ύδατος.
9. Της απουσία ολοκληρωμένου σχεδιασμού ανά περιφέρεια που οφείλεται στην ελλιπή υλοποίηση του νομοθετικού πλαισίου.
10. Του έντονου κατακερματισμού των προσπαθειών και τελικά του μεγάλου κόστους των απαιτούμενων συνολικά παρεμβάσεων.

Οι χώρες της Μεσογείου, ιδιαίτερα κατά μήκος των παράκτιων περιοχών τους, αντιμετωπίζουν σοβαρές πιέσεις, οι οποίες στην πλειοψηφία τους προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες και έχουν σχέση με τη διαχείριση του νερού (Manoli et al 2004). Το νερό, παντού στη γη, ιδιαίτερα δε στη Μεσόγειο, είναι ένας πολύτιμος αλλά και ευάλωτος φυσικός πόρος. Η έλλειψή του, καθώς και η αυξανόμενη ζήτησή του, που σχετίζεται με την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη, τις εντατικές καλλιέργειες, τον μαζικό τουρισμό, τον υπερπληθυσμό και την υπερκατανάλωση καταλήγουν σε σύνθετα, αλληλένδετα προβλήματα με επιπτώσεις στην κοινωνία, την οικονομία αλλά και την καθημερινότητά μας (Σκούλος και λοιποί 2003).

Με βάση στοιχεία-εκτιμήσεις Διεθνών Οργανισμών για τις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου για το χρονικό ορίζοντα του 2050 αναμένεται μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης κατά 10-15% με άνοδο της θερμοκρασίας κατά 1.5 °C (Τσακίρης 2001).

Στα νησιά του Αιγαίου και ιδιαίτερα στη Χίο, επικρατεί έντονο πρόβλημα λειψυδρίας. Το υδρολογικό ισοζύγιο είναι ελλειμματικό, ενώ οι διαθέσιμοι πόροι είναι περιορισμένοι και άνισα κατανομημένοι. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί αναδεικνύεται το υδατικό καθεστώς που επικρατεί στο νησί με αναφορές σε ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά, στα διάφορα προβλήματα που παρουσιάζονται και στον τρόπο διαχείρισης του νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Υδατικοί πόροι στη Χίο

3.1. Εισαγωγή

Πολλά μέρη λοιπόν της Ελλάδας έχουν ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο, φαινόμενο που επιδεινώνεται σε συνδυασμό με την αυξανόμενη τουριστική ανάπτυξη και την αστοχία ή έλλειψη της υδατικής πολιτικής από τους αρμόδιους φορείς. Όπως αναφέρθηκε, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους (Kaldelis and Kondili 2007). Ορισμένα από τα νησιά είναι ουσιαστικά άνυδρα, με μικρά ετήσια ύψη βροχής και δυσμενείς υδρογεωλογικές συνθήκες, ενώ η μορφολογία και η έκτασή τους δεν αφήνει περιθώρια σχεδιασμού έργων ταμίευσης. Σήμερα, ιδίως κατά την καλοκαιρινή περίοδο οι ανάγκες των πλέον ελλειμματικών περιοχών εξυπηρετούνται με την εισαγωγή νερού από την ενδοχώρα ενώ έχουν εντυπωσιακά αυξηθεί οι μονάδες αφαλάτωσης, χωρίς όμως να εμπίπτουν σε οργανωμένο σχεδιασμό ανάπτυξης και διαχείρισης τέτοιων μονάδων (Λαζαρίδης και λοιποί 2010)

Η Χίος, όπως εξάλλου και ολόκληρος ο πλανήτης, βρίσκεται τα τελευταία χρόνια αντιμέτωπη με το μεγάλο οικολογικό πρόβλημα, αυτό της απειλούμενης λειψυδρίας. Σύμφωνα με τα στοιχεία, στην Περιφερειακή Ενότητα Χίου, τα διαθέσιμα αποθέματα υπόγειων υδάτων, δεν είναι ικανά να καλύψουν από την μία τις ανάγκες άρδευσης των καλλιεργειών και από την άλλη τις ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες για ύδρευση κατοίκων και άλλων αναγκών.

Το πρόβλημα αυτό το οποίο άρχισε να διαφαίνεται στα τέλη της δεκαετίας του 70, οφείλεται σε μια σειρά από αίτια, που είναι κυρίως η έλλειψη σχεδιασμού και η μη ορθολογική διαχείριση των υδατικών αποθεμάτων, ταυτόχρονα με την υπεράντληση των υπόγειων νερών και την αλόγιστη χρήση αυτών.

3.2. Γενικά στοιχεία για την Χίο

Η νήσος Χίος ανήκει στο σύμπλεγμα των νησιών του βορειοανατολικού Αιγαίου και η έκτασή του ανέρχεται περίπου σε 844 km², με μήκος ακτογραμμής 227 km, ενώ ο επιμήκης άξονάς του φτάνει τα 50 km και το μέγιστο πλάτος τα 29 km. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η γεωγραφική της θέση.



Εικόνα 4. Χάρτης της Ελλάδας (modified by Google Maps)

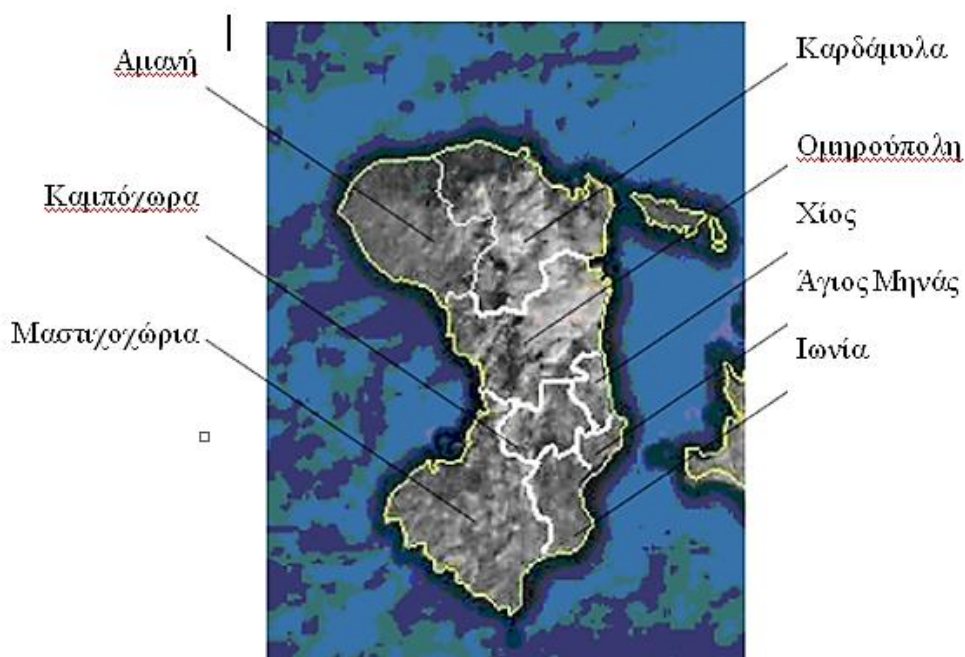
Η Χίος είναι ημιορεινή με το μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειάς της να εκτείνεται μέχρι υψόμετρο 400 m, ενώ οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις φθάνουν το 18 % της συνολικής έκτασης του νησιού. Με βάση τη μορφολογία του εδάφους η Χίος μπορεί να διαχωριστεί στη βόρεια ορεινή ζώνη, στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα, που είναι πεδινό με εκτεταμένες καλλιέργειες και το νοτιοανατολικό τμήμα, που είναι λοφώδες. Οι ορεινές προεξοχές διακόπτονται από κοιλάδες ή χαράδρες, πολλές φορές απότομες, οι οποίες τονίζουν περισσότερο την ανάγλυφη μορφή του νησιού. Το πλέον σημαντικό όρος είναι το Πελιναίο (1297 m) στο κέντρο του βόρειου τμήματος, προς τα δυτικά εκτείνεται η μικρή οροσειρά της Αμανής (809 m), που καλύπτει ολόκληρο το βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, ενώ νοτιότερα απαντά το Όρος (1186 m), ο Κοχλιάς (790 m), η Κακή Ράχη (525 m), ο Κορακάρης (397 m) κ.ά. Στα παράκτια τμήματα του νησιού, προς νοτιοανατολικά, διαμορφώνονται μικρές κοιλάδες και επί των ορεινών περιοχών μικρά οροπέδια. Τα πεδινά τμήματα είναι ελάχιστα, το σημαντικότερο εκ των οποίων αποτελεί ο Κάμπος, νότια της πόλης της Χίου, καθώς και η μικρή πεδιάδα του ελαιώνα του Βολισσού. Πυκνό υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής μορφής αναπτύσσεται στα βορειοδυτικά του νησιού, εκεί δηλαδή όπου επικρατούν πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα. Στο υπόλοιπο τμήμα του νησιού το υδρογραφικό δίκτυο είναι

σχετικά αραιότερο, εξαιτίας της μεγαλύτερης κατείσδυσης των επιφανειακών νερών σε υδροπερατά πετρώματα.

3.3. Διοικητική Διαίρεση

Σύμφωνα με τον ορισμό που υιοθετήθηκε από την UNESCO το 1991, η Χίος ανήκει στην κατηγορία των μικρών νησιών, σε αυτά δηλαδή που η επιφάνειά τους δεν ξεπερνά τα 2000 km² (Tsiourtis 2003).

Διοικητικά χωρίζεται σε οκτώ Δημοτικές Ενότητες, και ειδικότερα: του Αγίου Μηνά, της Αμανής, της Ιωνίας, των Καμποχώρων, των Καρδαμύλων, των Μαστιχοχωρίων, της Ομηρούπολης και της Χίου.

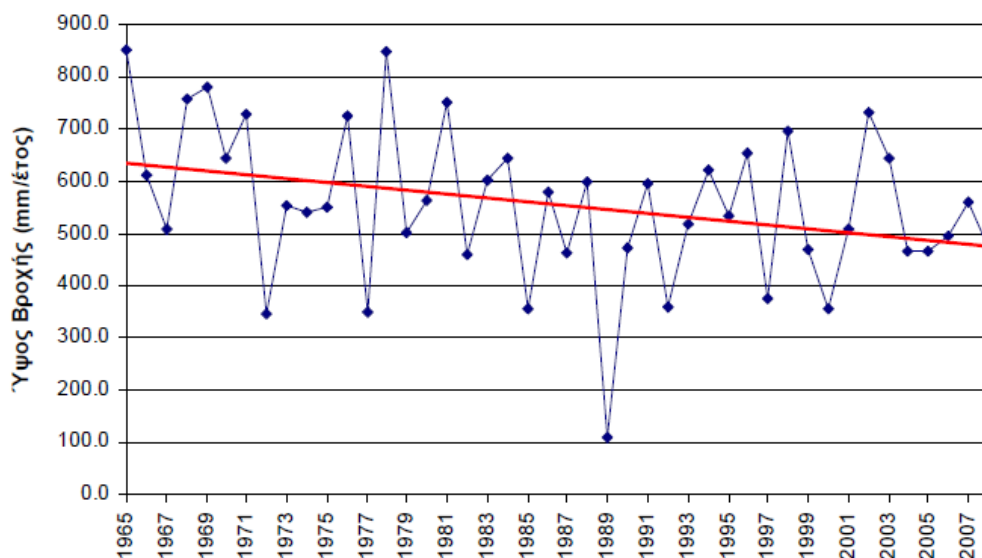


Εικόνα 5. Δημοτικές Ενότητες νήσου Χίου (modified by Google Maps)

3.4. Βροχομετρικοί σταθμοί και κατανομή βροχοπτώσεων

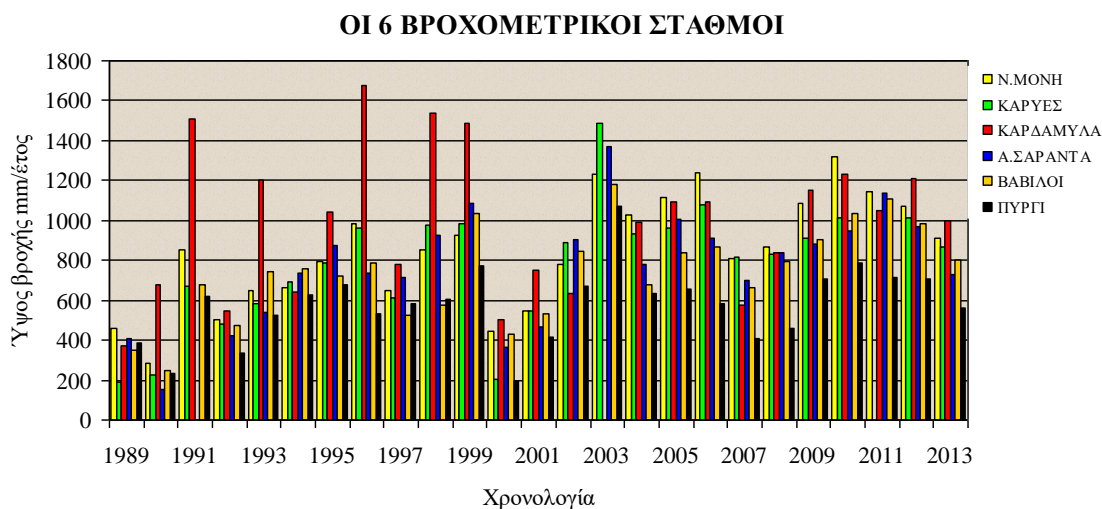
Στο νησί έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν συνολικά οκτώ βροχομετρικοί σταθμοί, από τους οποίους αυτοί που διαθέτουν τις μεγαλύτερες χρονοσειρές δεδομένων είναι της ΕΜΥ στη Χίο, ο οποίος λειτουργεί από το 1965. Άλλοι σταθμοί, που άρχισαν να λειτουργούν

σχετικά πρόσφατα, από τις αρχές της δεκαετίας του '80 και του '90 είναι αυτοί που εγκαταστάθηκαν σε περιοχές της Νέας Μονής, των Καρυών, των Καρδαμύλων, του Πυργίου, των Βαβύλων, των Μεστών και της Βολισσού. Βασικό χαρακτηριστικό των διαθέσιμων στοιχείων είναι η απουσία δεδομένων επιφανειακής απορροής. Βασικό χαρακτηριστικό της κατανομής των βροχοπτώσεων είναι η σαφής πτωτική τάση κατά τα τελευταία έτη (Σχήμα 1) (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας 2010).

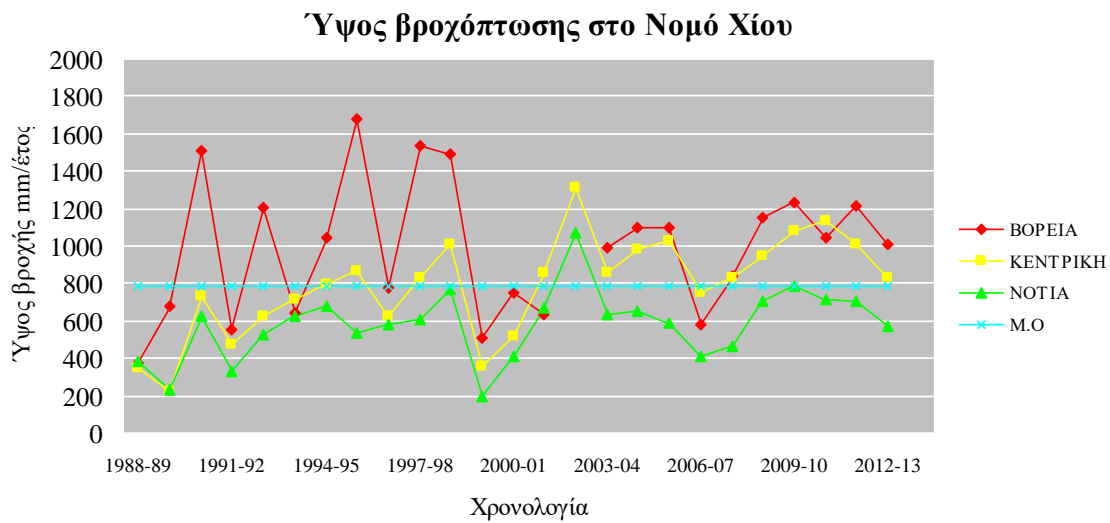


Σχήμα 1. Διακύμανση των βροχοπτώσεων στο σταθμό της Χίου από το 1965 έως το 2008 (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας 2010)

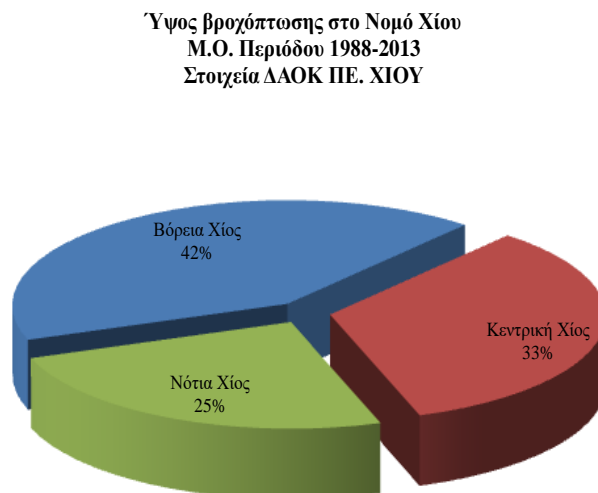
Οι βροχοπτώσεις στην Περιφερειακή Ενότητα Χίου, παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 2: Ετήσιο ύψος βροχής σε χιλιοστά, περιόδου 1988 - 2013



Σχήμα 3. Ετήσιο ύψος βροχής σε χιλιοστά, περιόδου 1988 – 2013 στα τρία διαμερίσματα της Χίου



Σχήμα 4. Κατανομή βροχοπτώσεων

Αξιοσημείωτο είναι το πολύ χαμηλό επίπεδο βροχόπτωσης την περίοδο 1989 - 90, όπως και την περίοδο 1999 - 2000, με το ύψος βροχής να μην ξεπερνά τα 400 mm (έντονη ανομβρία), ενώ η υψηλότερη βροχόπτωση, 1.675 mm, σημειώθηκε την περίοδο 1995 - 96 στο Βόρειο τμήμα του Νομού.

Το Βόρειο τμήμα της Π.Ε. δέχεται το υψηλότερο ποσοστό βροχής, με μέσο όρο τα 983,72 mm, ενώ το Κεντρικό έχει δεχτεί κατά μέσο όρο 786,26 mm βροχής τα τελευταία 25 χρόνια. Αντίθετα στο Νότιο Τμήμα η βροχόπτωση είναι χαμηλή, με τον μέσο ετήσιο όρο ύψους βροχής, στα 579,5 mm, και με χρονιές μικρής βροχόπτωσης..

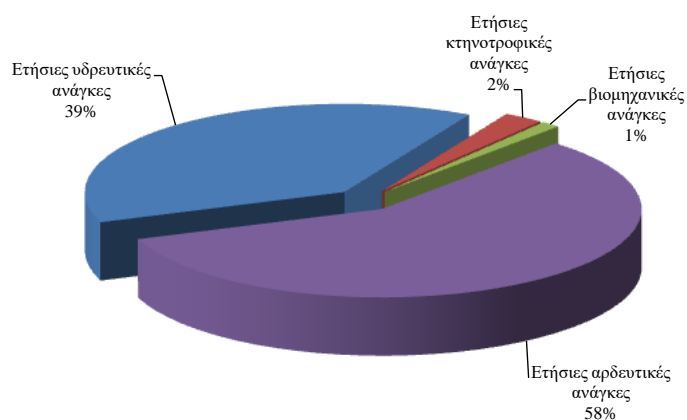
Κάποιες φορές ωστόσο παρατηρούνται μεγάλες εντάσεις βροχής που δημιουργούν πλημμυρικά φαινόμενα, όπως και περίοδοι 1 έως 2 μηνών ανομβρίας στην ίδια βροχομετρική περίοδο ενώ τα τελευταία χρόνια διαπιστώνεται μετατόπιση των μεγάλων βροχοπτώσεων από την περίοδο Νοέμβρη - Δεκέμβρη, στην περίοδο Δεκέμβρη - Φλεβάρη.

3.5. Περιγραφή υφιστάμενου υδροδοτικού συστήματος

3.5.1 Ζήτηση

Οι ανάγκες της νήσου διαχωρίζονται σε υδρευτικές, αρδευτικές, κτηνοτροφικές και βιομηχανικές. Η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών έρχεται πάντα σε πρώτη προτεραιότητα. Σε δεύτερη προτεραιότητα έρχεται το νερό για την άρδευση και την κάλυψη των κτηνοτροφικών αναγκών και στη συνέχεια το νερό για βιομηχανική χρήση η οποία ούτως ή άλλως είναι μικρή. Η Χίος η οποία έχει τους εδαφικούς πόρους για ανάπτυξη εντατικής καλλιέργειας απαιτεί σημαντικές ποσότητες νερού οι οποίες συναγωνίζονται με αυτές για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών. Συνεπώς πρώτη προτεραιότητα είναι η ύδρευση και έπειτα η κατασκευή εγχειοβελτιωτικών έργων τα οποία θα καλύψουν τις ανάγκες του νησιού για άρδευση (Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου 2005).

Χρήσεις νερού



Σχήμα 5. Χρήσεις νερού

3.5.1.1 Υδρευτικές ανάγκες

Οι συνολικές ανάγκες ύδρευσης ανά Δημοτικό Διαμέρισμα, σύμφωνα με εκτιμήσεις μελετών, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου 2005).

Πίνακας 3. Ετήσιες υδρευτικές ανάγκες

Δημοτικό Διαμέρισμα	Ετήσιες ανάγκες (m ³)
Αγ. Μηνά	250.000
Αμανής	218.000
Ιωνίας	373.000
Καμποχώρων	253.000
Καρδαμύλων	283.000
Μαστιχοχωρίων	383.000
Ομηρούπολης	600.000
Χίου	1.955.000
Σύνολο	4.315.000

Οι απώλειες δικτύου εκτιμώνται στο 20% της κατανάλωσης των μόνιμων κατοίκων.

3.5.1.2 Κτηνοτροφικές ανάγκες

Οι ανάγκες ύδρευσης στον κλάδο της κτηνοτροφίας, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου 2005).

Πίνακας 4. Ετήσιες ανάγκες κτηνοτροφίας

Δημοτικό Διαμέρισμα	Ετήσιες ανάγκες (m ³)
Αγ. Μηνά	3.300
Αμανής	9.900
Ιωνίας	2.100
Καμποχώρων	5.900
Καρδαμύλων	196.000
Μαστιχοχωρίων	10.500
Ομηρούπολης	34.900
Χίου	16.400
Σύνολο	279.000

3.5.1.3 Βιομηχανικές ανάγκες

Σύμφωνα με τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν οι ανάγκες της βιομηχανίας παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα (Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου 2005).

Πίνακας 5. Ετήσιες ανάγκες βιομηχανίας

Δημοτικό Διαμέρισμα	Ετήσιες ανάγκες (m ³)
Αγ. Μηνά	7.200
Αμανής	2.000
Ιωνίας	1.500
Καμποχώρων	23.000
Καρδαμύλων	2.500
Μαστιχοχωρίων	7.000
Ομηρούπολης	6.600
Χίου	85.000
Σύνολο	134.800

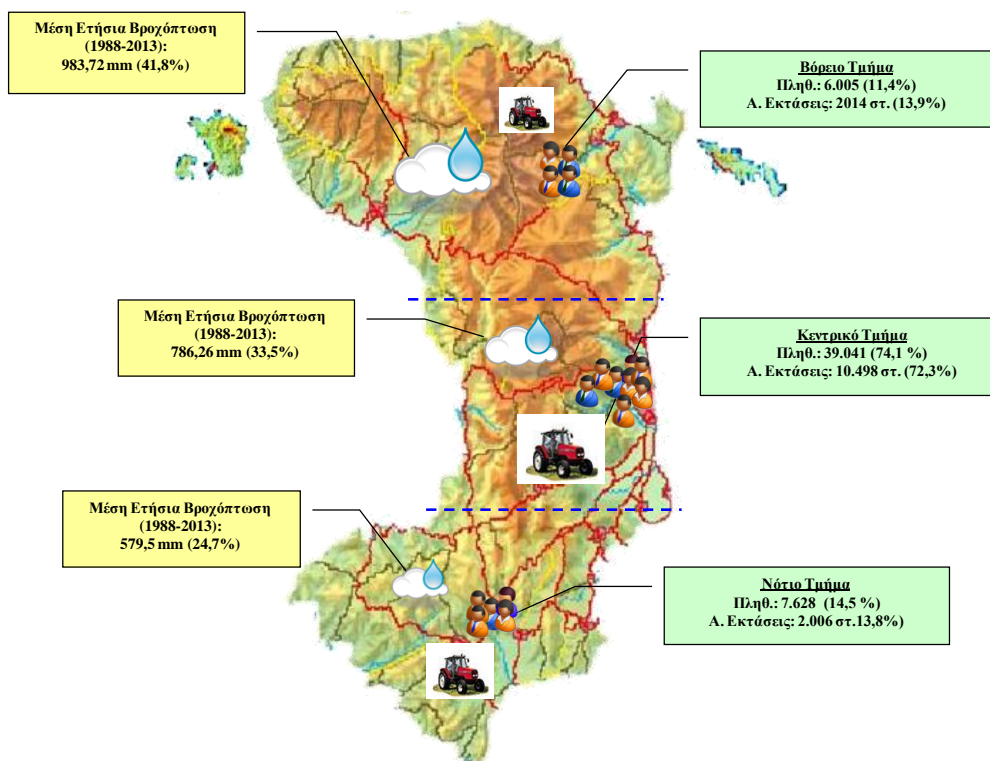
3.5.1.4 Αρδευτικές ανάγκες

Οι αρδευτικές ανάγκες παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6. Ετήσιες αρδευτικές ανάγκες

Δημοτικό Διαμέρισμα	Ετήσιες ανάγκες (m ³)
Αγ. Μηνά	136.000
Αμανής	439.000
Ιωνίας	152.000
Καμποχώρων	539.000
Καρδαμύλων	590.000
Μαστιχοχωρίων	887.000
Ομηρούπολης	279.000
Χίου	3.445.000
Σύνολο	6.467.000

Ο παρακάτω χάρτης παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ της κατανομή βροχοπτώσεων, του πληθυσμού και των αρδευόμενων εκτάσεων για τα τρία διαμερίσματα της Χίου.



Εικόνα 6. Σχέση κατανομή βροχοπτώσεων – πληθυσμού – αρδευόμενων εκτάσεων

Το παραπάνω σχήμα, αποκαλύπτει την έντονη ανισοκατανομή, που υπάρχει ανάμεσα στην ποσότητα των βροχοπτώσεων και στις ανάγκες για νερό.

Το Βόρειο Τμήμα διαθέτει τα υψηλότερα ποσοστά βροχής της τάξης του 41,8%, με ποσοστό πληθυσμού μόλις 11,4% επί του συνόλου και ποσοστό 13,9% επί των συνολικών αρδευόμενων εκτάσεων.

Το Κεντρικό Τμήμα με επίπεδο βροχόπτωσης της τάξης του 33,5% διαθέτει το 74,1% του πληθυσμού της Π.Ε. Χίου και το 72,3% των αρδευόμενων εκτάσεων.

Το Νότιο Τμήμα, με χαμηλό ύψος βροχής, 24,7% της συνολικής βροχόπτωσης, διαθέτει το 14,5% του πληθυσμού και το 13,8% των αρδευόμενων εκτάσεων.

3.5.2 Προσφορά

Η νήσος Χίος καλύπτει και κάλυπτε πάντα το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών της από τους υπόγειους υδροφορείς, με αποτέλεσμα τη σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητάς τους στην κεντρική και νότια Χίο. Ειδικότερα η υδρογεωλογική λεκάνη του Κορακάρη, από την οποία υδρεύεται η πόλη της Χίου και καλύπτεται μεγάλο μέρος των αρδευτικών αναγκών, έχει υποστεί έντονη υφαλμύριση εδώ και πολλά χρόνια, με αποτέλεσμα το νερό του δικτύου ύδρευσης να μην είναι πόσιμο και οι κάτοικοι να καλύπτουν τις ανάγκες τους σε πόσιμο νερό με ατομική μέριμνα. Τα τελευταία χρόνια, ο εντοπισμός συγκέντρωσης υδραργύρου στο νερό ύδρευσης, το κατέστησε εντελώς ακατάλληλο προς πόση (Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου 2005). Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός (ΦΕΚ 1132/2006) ότι για την περίοδο 2006-2009 χορηγήθηκε στους Δήμους Χίου και Αγίου Μηνά, σε εφαρμογή των διατάξεων του άρθρου 9 της υπ' αρ. Υ2/2600/2001 ΚΥΑ, παρέκκλιση από την ανώτατη παραμετρική τιμή του υδραργύρου (η οποία είναι 1,00 mg/l) έως 1.65 mg/l, εξαιτίας της αδυναμίας εξασφάλισης παροχής νερού με άλλον ενδεδειγμένο τρόπο (ΔΥΓ2/26414/06). Σύμφωνα με πρόσφατες αναλύσεις οι συγκεντρώσεις υδραργύρου είναι σχετικά υψηλές (από 0,4 mg/l έως 0,8 mg/l ανάλογα και την περιοχή) αλλά πάντα κάτω από την ανώτατη παραμετρική τιμή η οποία είναι 1 mg/l.

Πέρα από τα θέματα ποιότητας υπάρχει και σημαντικό θέμα επάρκειας. Η πόλη της Χίου και τα χωριά της κεντρικής και νότιας Χίου δεν διαθέτουν συνεχή παροχή νερού από το δίκτυο ύδρευσης, παρά μόνο για λίγες ώρες την ημέρα και λίγες ημέρες την εβδομάδα, ειδικά το

καλοκαίρι. Συνεπώς για την κάλυψη των αναγκών, κάθε σπίτι διαθέτει ατομική δεξαμενή χωρητικότητας 1-2 m³, για να αποθηκεύει το νερό για διάρκεια μιας ημέρας ή λίγων ημερών.

Αυτή τη στιγμή η Χίος διαθέτει τα περισσότερα κατασκευασμένα και υπό κατασκευή έργα ταμίευσης ύδατος, από όλα τα νησιά του υδατικού διαμερίσματος τα οποία καλύπτουν αρδευτικές και υδρευτικές ανάγκες.

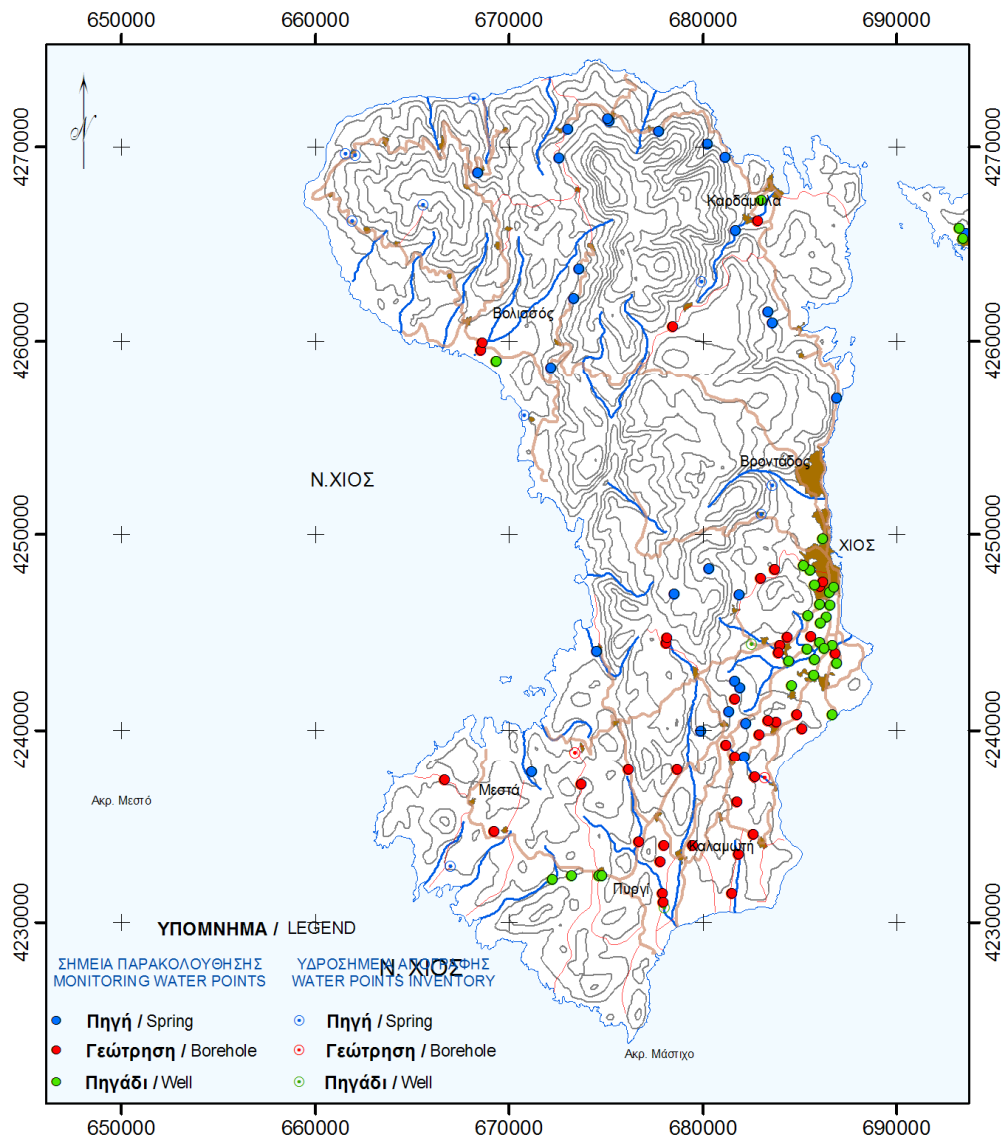
Ειδικότερα έχει κατασκευαστεί και λειτουργεί πλήθος έργων, όπως η λιμνοδεξαμενή Αγ. Γεωργίου με ωφέλιμη χωρητικότητα 180,000 m³, η λιμνοδεξαμενή Βικίου με ωφέλιμη χωρητικότητα 150,000 m³, η λιμνοδεξαμενή Ζυφιά, με ωφέλιμη χωρητικότητα 267,000 m³, το φράγμα Κακού Ποταμού με ωφέλιμη χωρητικότητα 50,000 m³ περίπου, το φράγμα Φυρόλακα χωρητικότητας 200,000 m³ και το φράγμα Καλαμωτής με ωφέλιμη χωρητικότητα 1,910,000 m³. Επίσης κατασκευάστηκαν αλλά δεν λειτουργούν η Λιμνοδεξαμενή Αίπους με χωρητικότητα 60,000 m³, και το φράγμα Αγ. Αρτεμίου, ως βοηθητικό του φράγματος Κακού Ποταμού καθώς και το φράγμα Σαραπιού, με χωρητικότητα 1,200,000 m³ το οποίο έμεινε ημιτελές. Αυτήν την στιγμή βρίσκεται υπό κατασκευή το Φράγμα Κόρης Γεφύρι, με ωφέλιμη χωρητικότητα 3,080,000 m³. Έχουν διεξαχθεί, τέλος, οι μελέτες κατασκευής του φράγματος Σκαρδανά, ωφέλιμης χωρητικότητας 3,600,000 m³, του φράγματος Κοντού Πυργίου ωφέλιμης χωρητικότητας 1,025,000 m³, και της λιμνοδεξαμενής Βαβύλων χωρητικότητας 225,000 m³ (Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου 2005).

Γενικότερα η ζήτηση σε νερό του Υδατικού Διαμερίσματος καλύπτεται από τις παρακάτω πηγές (ΕΓΥ, 2015):

1. Γεωτρήσεις εκμετάλλευσης του υπόγειου δυναμικού, που έχουν κατασκευαστεί τόσο από φορείς του δημοσίου (νομαρχίες, δήμοι, κοινότητες) όσο και από ιδιώτες. Το νερό των γεωτρήσεων χρησιμοποιείται για κάλυψη αναγκών ύδρευσης, άρδευσης ή μικρών βιομηχανιών και κτηνοτροφίας.
2. Πηγές αποστράγγισης των υπόγειων υδροφορέων. Συναντάται μεγάλος αριθμός μικρών κυρίως πηγών, που καλύπτουν κατά κύριο λόγο υδρευτικές και κατά δεύτερο λόγο αρδευτικές ανάγκες. Αξιοποιείται σήμερα το σύνολο των πηγών αυτών, λόγω της έλλειψης νερού, κυρίως το καλοκαίρι.
3. Λιμνοδεξαμενές και φράγματα. για την καλύτερη αξιοποίηση του επιφανειακού κυρίως και μέρους του υπόγειου νερού.

4. Πηγάδια τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για πότισμα
5. Αποθήκευση νερού σε υπόγειες δεξαμενές. Με τον τρόπο αυτό καλύπτονται υδρευτικές ανάγκες πολλών κατοίκων των νησιών.
6. Εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης για κάλυψη υδρευτικών αναγκών, που δεν είναι δυνατό να καλυφθούν με άλλο τρόπο.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται ενδεικτικά υδροληπτικά έργα. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν αποτυπωμένα υδροληπτικά έργα για όλο το νησί της Χίου. Τα υδροληπτικά έργα αφορούν δίκτυα νερού, δεξαμενές, αντλιοστάσια, γεωτρήσεις, λιμνοδεξαμενές, πηγάδια, πηγές, φράγματα και δυλιστήρια



Εικόνα 7. Χάρτης απογραφής υδροσημείων και σημείων παρακολούθησης Νήσου Χίου (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας 2010)

3.5.3 Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου

Σύμφωνα με τις πληροφορίες που υπάρχουν για το νησί, το υδρολογικό ισοζύγιο των δήμων της Κεντρικής και Νότιας Χίου είναι ελλειμματικό, ενώ οι δήμοι του Βόρειου τμήματος είναι πλεονασματικοί.

Πίνακας 7. Υδατικό ισοζύγιο

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ	ΕΛΛΕΙΜΑ
Άγιος Μηνάς		√
Αμανή	√	
Ιωνία		√
Καμπόχωρα		√
Καρδάμυλα	√	
Μαστιχοχώρια		√
Ομηρούπολη	√	
Χίος		√

Συγκεκριμένα, οι δήμοι Αμανής και Καρδαμύλων διαθέτουν σημαντικές ποσότητες πηγαίων υδάτων που καλύπτουν τις υδρευτικές τους ανάγκες. Οι αρδευτικές ανάγκες καλύπτονται πλήρως με απολήψεις από τους υπόγειους υδροφορείς, ενώ ο δήμος Καρδαμύλων χρησιμοποιεί για άρδευση και τη λιμνοδεξαμενή Βικίου.

Ο δήμος Ομηρούπολης, σύμφωνα με επιτόπια έρευνα και τις πληροφορίες που συλλέχτηκαν από τους κατά τόπους φορείς είναι και αυτός πλεονασματικός. Καλύπτει μεγάλο μέρος των υδρευτικών του αναγκών από πηγές και τις αρδευτικές από γεωτρήσεις και φρέατα. Παλαιότερα, το δ.δ. Βροντάδου, στο οποίο βρίσκεται συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού του δήμου, λάμβανε τις απαιτούμενες ποσότητες ύδρευσης από τις υδρογεωλογικές λεκάνες της κεντρικής και νότιο-ανατολικής Χίου. Τα τελευταία χρόνια για

την κάλυψη των αρδευτικών του αναγκών κατασκευάστηκαν μονάδες αφαλάτωσης, από τις οποίες καλύπτει σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό των αναγκών του. Παρόλα αυτά η λύση των αφαλατώσεων οδήγησε το Δήμο Ομηρούπολης σε οικονομικό αδιέξοδο, εξαιτίας του υψηλού κόστους του νερού που παράγεται και της χαμηλής (σε σχέση με την παραγωγή) τιμής διάθεσης (Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου 2005) .

Οι υπόλοιποι δήμοι της νήσου, συμπεριλαμβανομένου και του Δήμου Χίου, είναι ελλειμματικοί, με σοβαρά προβλήματα υφαλμύρινσης των υδροφορέων και διακοπτόμενη παροχή νερού, ειδικά το καλοκαίρι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων

4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα έλλειψης νερού στη Χίο επιδεινώθηκε εξαιτίας:

1. Της ύπαρξης μιας συνεχούς ξηροθερμικής περιόδου με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το χαμηλό ποσοστό βροχοπτώσεων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μειωμένη απόδοση (ποιοτικά και ποσοτικά) των υφιστάμενων γεωτρήσεων, την μη πλήρωση των υπαρχουσών λιμνοδεξαμενών κλπ (Τσίφτης 2001).
2. Της αυξανόμενης τουριστικής κίνησης, με αποτέλεσμα την υψηλή ζήτηση τους θερινούς μήνες (ΕΓΥ, 2015).
3. Της δυσανάλογα αυξανόμενης ζήτησης, σε σχέση με την αύξηση του πληθυσμού αλλά και του τουρισμού (ΕΓΥ, 2015).
4. Της μεγάλης απώλεια του μεταφερόμενου νερού στα δίκτυα ύδρευσης, απώλεια που οφείλεται στην παλαιότητα του δικτύου όπου κατά κάποιες εκτιμήσεις ξεπερνά το 20% του μεταφερόμενου νερού (Τσίφτης 2001). Οι διαρροές και οι «κλοπές» του νερού αποτελούν ένα μόνιμο και σοβαρό πρόβλημα για πολλά δίκτυα ύδρευσης. Οι περισσότερες χώρες σχεδόν αγνοούν πόσο μεγάλες είναι οι ποσότητες του νερού που χάνονται με αυτόν τον τρόπο. Έτσι, σε αρκετές Μεσογειακές πόλεις οι απώλειες αυτές φτάνουν στο 30%, και μάλιστα σε κάποιες το 50%. Λίγες μόνο χώρες διαθέτουν συστήματα ελέγχου της ροής του νερού μέσα στους αγωγούς των δικτύων ύδρευσης. Η ανάγκη για τη μείωση των διαρροών και απωλειών του νερού με τη σωστή συντήρηση των δικτύων ύδρευσης είναι επιτακτική (Σκούλος 2003).
5. Της αύξησης των αναγκών σε αρδευτικό νερό, λόγω της αύξησης των αρδευόμενων εκτάσεων, με την κατασκευή αρδευτικών δικτύων και της αντικατάστασης των ξηρικών καλλιεργειών με καλλιέργειες που απαιτούν άρδευση (ΕΓΥ, 2015).
6. Της εγκατάλειψης παραδοσιακών τρόπων συλλογής βρόχινου ύδατος με τη χρήση δεξαμενών. Οι δεξαμενές αυτές στην πλειοψηφία τους θα μπορούσαν να καλύψουν μέρος των οικιακών αναγκών (Kechagias et al 2003).

7. Της υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων νερών (που καλύπτουν και το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος των απαιτήσεων) που έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία υδραυλικών συνθηκών που ευνοούν τη υφαλμύριση και την εισροή ρυπασμένων νερών στους υδροφορείς. Στη σύγχρονη εποχή, οι φυσικές πηγές αντικαταστάθηκαν από τις γεωτρήσεις, με τις οποίες είναι δυνατή η άντληση νερού από βάθος μέχρι και 1 km με τη χρήση πετρελαιοκίνητων αντλιών. Τέτοιες γεωτρήσεις μπορούν να παρέχουν νερό σε περιόδους ξηρασίας, όταν δηλαδή η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κατεβαίνει και τα ρηχά πηγάδια στερεύουν. Η υπεράντληση των υδροφορέων, η άντληση δηλαδή περισσότερου νερού από αυτό που μπορεί να αναπληρώσει η φύση, παρατηρείται συχνά στην περιοχή της Μεσογείου. Όταν τα υπόγεια νερά κοντά σε ακτές υπεραντλούνται, κατεβαίνει η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και εισέρχεται θαλασσίνο νερό, μεταβάλλοντας τη φυσική ισορροπία του συστήματος και αυξάνοντας την αλατότητα του υπόγειου νερού. Έτσι, τα υπόγεια νερά γίνονται υφάλμυρα, ενώ η διαδικασία αυτή συχνά μπορεί να είναι μη αναστρέψιμη (Σκούλος 2003).
8. Της απουσίας πολιτικής πρόβλεψης και πρόληψης των επιπτώσεων από την αυξανόμενη ζήτηση ύδατος (ΕΓΥ, 2015).
9. Της απουσίας ολοκληρωμένου σχεδιασμού που οφείλεται στην ελλιπή υλοποίηση του νομοθετικού πλαισίου (ΕΓΥ, 2015).
10. Του έντονου κατακερματισμού των προσπαθειών και τελικά το μεγάλο κόστος των απαιτούμενων συνολικά παρεμβάσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 1990 κατασκευάστηκε ένας αγωγός μήκους 35 km που θα μετέφερε νερό από την Βόρεια Χίο στην πόλη της Χίου και ο οποίος στοίχισε 1 δισεκ/ριο δρχ, χωρίς να έχει προβλεφθεί από που θα παίρνει νερό. Το αποτέλεσμα ήταν ο αγωγός αυτός να μην λειτουργήσει ποτέ. Επίσης από το πλήθος των λιμνοδεξαμενών που κατασκευάστηκαν, σε αρκετές από αυτές οι απορροές που υπολογίστηκαν υπερεκτιμήθηκαν με αποτέλεσμα να μην γεμίζουν, και δεν αξιοποιήθηκαν (Τσίφτης 2001).

Παρόλα αυτά γίνεται έντονη προσπάθεια για την αντιμετώπιση του προβλήματος ύδρευσης της νήσου, με ασυντόνιστες ενέργειες που δεν έλυσαν όμως το πρόβλημα. Το πρόβλημα του ελλείμματος της ζήτησης νερού οδηγεί στην άμεση ανάγκη για ορθή και ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων μέσω μια ολιστικής και μακροπρόθεσμης (Savenije and Van der Zaag 2008).

Η έννοια της ολοκληρωμένης διαχείρισης περιλαμβάνει:

1. όλα τα τμήματα του υδρολογικού κύκλου από την κατακρήμνιση και την απορροή ή την κατείδυση,
2. την αξιοποίηση μη συμβατικών πόρων,
3. την διανομή, χρήση και μέριμνα για τα χρησιμοποιούμενα νερά,
4. την προσέγγιση της περιοχής ενδιαφέροντος (λεκάνης απορροής),
5. τη φύση αυτής καθαυτής της διαχείρισης,
6. διαχείριση τόσο της ζήτησης νερού – χρήσης όσο και προσφοράς/παροχής
7. διαχείριση με βάση διεπιστημονική προσέγγιση
8. διαχείριση με συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων φορέων

4.2 Αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών νερού

Η αξιοποίηση των μη συμβατικών υδατικών πόρων μπορεί να αποτελέσει το κλειδί για την επίλυση των ζητημάτων ανεπάρκειας και ελλιπούς διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, δεδομένης της ανισοκατανομής τους, του έντονου ανάγλυφου και του νησιωτικού χαρακτήρα της χώρας, καθώς και της ατελούς και αναποτελεσματικής αντιμετώπισης της διαχείρισης τους. Οι μη συμβατικοί υδατικοί πόροι αξιοποιούν κυρίως τις παρακάτω τεχνικές:

1. Ανακύκλωση γκρίζου (ημι-ακάθαρτου) νερού. Το γκρίζο νερό μετά από τη χρήση του στο μπάνιο, το ντους, το νιπτήρα και το πλυντήριο των ρούχων, και αφού υποστεί κατάλληλη και μικρής κλίμακας επεξεργασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επιλεγμένες οικιακές χρήσεις όπως το καζανάκι της τουαλέτας, για αστικές χρήσεις και για άρδευση. Σε δημόσια κτίρια η ανακύκλωση γκρίζων νερού μπορεί να επιφέρει σημαντική εξοικονόμηση νερού.
2. Ανακύκλωση αστικών και γεωργικών λυμάτων. Τα λύματα αυτά, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων, εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων και παραγωγή ενέργειας.

3. Αφαλάτωση θαλασσινού νερού από το οποίο απομακρύνονται τα άλατα με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Η αφαλάτωση αν και μπορεί να δώσει λύση σε άνυδρες και νησιωτικές περιοχές παρουσιάζει δυο σημαντικά μειονεκτήματα. Καταναλώνει σημαντικές ποσότητες ενέργειας και προκαλεί μεγάλη περιβαλλοντική βλάβη στα οικοσυστήματα και κατ' επέκταση στους θαλάσσιους οργανισμούς λόγω της ανεξέλεγκτης διάθεσης των αποβλήτων της επεξεργασίας (άλμης, ενώσεων χλωρίου) (Papadakis, 2009).
4. Συλλογή βρόχινου νερού. Σε πολλές χώρες του κόσμου, όπου οι υδατικοί πόροι δεν είναι ποσοτικά και ποιοτικά επαρκείς για κατανάλωση από τον άνθρωπο, το νερό της βροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόση και άλλες οικιακές χρήσεις. Επίσης, σε ορισμένα απομακρυσμένα νησιά σε όλο τον κόσμο, το νερό της βροχής μπορεί να αποτελέσει την κύρια πηγή πόσιμου νερού για τον πληθυσμό τους.

Στα πλαίσια της προσπάθειας για την αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων θα ερευνηθούν τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων δίνοντας μια λύση στο πρόβλημα της Χίου με σκοπό την εξοικονόμηση του 33% της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης για οικιακή χρήση.

4.3 Συλλογή βρόχινων υδάτων - Ορισμός

Η συλλογή των βρόχινων υδάτων (rainwater harvesting) ορίζεται ως η συλλογή από λεκάνες απορροής, όπως στέγες ή άλλες αστικές δομές, για την κάλυψη της ζήτησης για οικιακή, βιομηχανική, γεωργική και περιβαλλοντική χρήση, όταν οι πηγές νερού καθίστανται λιγοστές ή χαμηλής ποιότητας (Aladenola and Adeboye 2009, Hamid and Nordin, 2011, Worm and Hattum 2006).

Παραδοσιακά, η συλλογή όμβριων υδάτων χρησιμοποιήθηκε στην Ελλάδα, παρέχοντας πόσιμο και μη πόσιμο νερό για οικιακή χρήση, καθώς και νερό για γεωργική χρήση (Koutsoyiannis et al. 2008). Στην αρχαία Ελλάδα η συλλογή όμβριων υδάτων ήταν μια κοινή πρακτική (Viollet 2003, Αγγελάκης και Κουτσογιάννης 2003). Επιπλέον, η συλλογή βρόχινου νερού στη δεξαμενή ήταν η αποκλειστική πηγή ύδρευσης σε πολλές πόλεις της Ελλάδας (Αγγελάκης και Σπυριδάκης 1996). Με την πάροδο των ετών, η πρακτική της συλλογής των όμβριων υδάτων συνεχίστηκε και αναπτύχθηκαν τεχνολογίες για την

κατασκευή και τη χρήση διαφόρων τύπων δεξαμενών και άλλων σχετικών υδραυλικών κατασκευών (Antoniou et al 2012).

4.4 Βιβλιογραφική έρευνα

Το νερό της βροχής που συλλέγεται είναι μια ανανεώσιμη πηγή καθαρού νερού ιδανική για οικιακές χρήσεις. Τα συστήματα συλλογής νερού παρέχουν ευέλικτες λύσεις που μπορούν να καλύψουν αποτελεσματικά τις ανάγκες του νερού (Abdulla and Al-Shareef 2009).

Από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων έχουν εφαρμοστεί σε διάφορες περιοχές του κόσμου όπως η Αιθιοπία (Taffere et al 2016), Australia (Van der Sterren et al 2013), το Μπαγκλαντές (Karim et al 2015), η Βραζιλία (Ghisi et al 2009), η Γερμανία (Schuetze 2013), η Ελλάδα (Sazakli et al 2007), η Ζιμπάμπουε (Motsi et al 2004), το Ηνωμένο Βασίλειο (Fewkes 2012), η Αμερική (Jones and Hunt 2010), η Ινδία (Stout et al 2017), η Ινδονησία (Song et al 2009), η Ιορδανία (Abdulla and Al-Shareef 2009), η Ισπανία (Farreny et al 2011, Domènech and Saurí 2011), η Ιταλία (Notaro et al 2016), η Κορέα (Kim and Yoo 2009), το Μεξικό (Lizárraga-Mendiola et al 2015), η Ναμίμπια (Woltersdorf et al 2015), η Νότιος Αφρική (Kahinda et al 2007), η Πορτογαλία (Matos et al 2015), η Σουηδία (Villareal and Dixon 2005) και η Ταϊβάν (Liaw and Chiang 2014).

Έρευνες έχουν δείξει ότι η συλλογή όμβριων υδάτων μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην εξοικονόμηση των νερού σε κατοικίες. Στη Γερμανία, μια μελέτη που εκπονήθηκε έδειξε ότι η εξοικονόμηση σε πόσιμο νερό κυμαίνεται από 30 μέχρι 60%, ανάλογα με το ύψος της βροχόπτωσης και την επιφάνεια συλλογής (Herrmann and Schmida 1999).

Στην Αυστραλία σε ένα συγκρότημα 27 κατοικιών, η χρήση δεξαμενών για τη συλλογή βρόχινου νερού οδήγησε σε 60 % εξοικονόμηση νερού (Peter J Coombes, John R Argue and George Kuczera 2000).

Στην Βραζιλία αναλύθηκε η δυνατότητα εξοικονόμησης νερού, για οικιακή χρήση, σε 62 πόλης της Santa Catarina. Η ζήτηση θα μπορούσε να καλυφθεί σε ποσοστό 34 μέχρι 94% χρησιμοποιώντας όμβρια ύδατα, με μέσο όρο εξοικονόμησης 69%. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι εάν υπήρχε κυβερνητικό πρόγραμμα για την προώθηση της εξοικονόμησης πόσιμου νερού από τη χρήση των όμβριων υδάτων, θα υπήρχε σημαντική

εξοικονόμηση πόσιμου νερού και επακόλουθη διατήρηση των υδάτινων πόρων στην πολιτεία της Santa Catarina (Ghisi et al., 2006).

Στην Κίνα, το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Nanyang, διερευνήστε τη χρήση του νερού της βροχής για τουαλέτες σε ολόκληρη την πανεπιστημιούπολη. Κατάφεραν να μειώσουν την κατανάλωση πόσιμου νερού κατά 12,4% (Appan, 1999)

Στην Πολωνία, αν και τα αποθέματα πόσιμου νερού είναι από τα φτωχότερα στην Ευρώπη, το βρόχινο νερό σαν εναλλακτική πηγή νερού, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σπάνια. Παρόμοια κατάσταση υπάρχει και στη Σλοβακία, όπου τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων σπάνια χρησιμοποιούνται. Οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι η κοινή γνώμη θεωρεί ότι αυτά τα συστήματα δεν είναι κερδοφόρα. Το 80% των ερωτηθέντων δήλωσε ότι η συγχρηματοδότηση για την εγκατάσταση ενός συστήματος θα ήταν ένα μεγάλο κίνητρο. Η έρευνα έχει δείξει ότι τα συστήματα συγκομιδής των όμβριων υδάτων μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο ως μια πρόσθετη πηγή νερού για ένα κτίριο. Ωστόσο, όπως παρουσιάζεται σε άρθρο, πολλές οικονομικές παραμέτρους επηρεάζουν την αποδοτικότητα τους. Ως εκ τούτου, είναι πολύ σημαντικό να πραγματοποιηθεί πλήρης τεχνική και οικονομική ανάλυση, τα αποτελέσματα των οποίων θα επιτρέψουν σε κάποιον να πάρει μια απόφαση. Η χρήση του συστήματος έχει πολλά οφέλη για το περιβάλλον και τη βιώσιμη ανάπτυξη στις πόλεις. Εκτός από αυτά τα περιβαλλοντικά οφέλη, όπως επιβεβαιώνεται από μελέτη, τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων μπορούν να προσφέρουν μια οικονομικά βιώσιμη λύση σε πολλές περιπτώσεις. (Agnieszka Stec and Martina Zelenáková 2019).

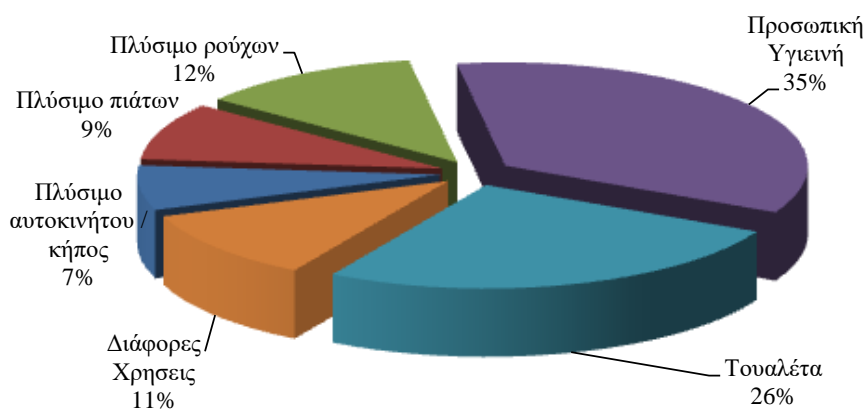
Η συλλογή βρόχινου νερού είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για συλλογή και αποθήκευση των όμβριων από τις στέγες, επιφάνειες εδάφους, οδικές επιφάνειες ή λεκάνες απορροής χρησιμοποιώντας απλές τεχνικές όπως γλάστρες συλλογής, δεξαμενές καθώς και πιο περίπλοκες τεχνικές όπως υπόγεια φράγματα ελέγχου. Η συλλογή του νερού της βροχής είναι ανανεώσιμη πηγή καθαρού νερού το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οικιακές και τοπικές χρήσεις. Τα συστήματα συλλογής νερού παρέχουν ευέλικτες λύσεις που μπορούν να ικανοποιήσει αποτελεσματικά τις ανάγκες των νέων και υφιστάμενων, καθώς και μικρών και μεγάλων χώρων. (Abdulla and Al-Shareef 2009).

4.5 Σύστημα συλλογής βρόχινου νερού για μη πόσιμο νερό

Τα συστήματα συλλογής πόσιμου νερού παρέχουν μια πηγή νερού με μόνο κόστος, το κόστος αποθήκευσης και επεξεργασίας, αυξάνουν τις περιορισμένες ποσότητες υπογείων υδάτων και μειώνουν την απορροή των όμβριων υδάτων. Η συλλογή βρόχινου νερού παρέχει φυσικό μαλακό νερό το οποίο μπορεί να εξυπηρετήσει εσωτερικές χρήσεις μη πόσιμου νερού. Μετά από κατάλληλη επεξεργασία, τα βρόχινα ύδατα παρέχουν ασφαλές νερό για ανθρώπινη κατανάλωση. Εκτός από τις δυνατότητές του να παρέχει σημαντικές ποσότητες νερού, η συλλογή των βρόχινων υδάτων έχει και οικονομικά οφέλη, αφού το καθιστά λιγότερο δαπανηρό σε σύγκριση με τις γεωτρήσεις και την παροχή νερού από τις δημόσιες βρύσες. Τα βρόχινα ύδατα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ελαχιστοποίηση της απώλειας ύδατος και την αύξηση των υδάτινων πόρων σε κάθε σύστημα λεκάνης απορροής (Sekar and Randhir 2007).

Το νερό της βροχής είναι καθαρό καθώς πέφτει, αλλά η επιφάνεια από την οποία συλλέγεται αυτό το νερό περιέχει ρύπους, επομένως απαιτείται επεξεργασία πριν την αποθήκευση αυτού του νερού. Τα συλλεγόμενα όμβρια ύδατα χρησιμοποιούνται κυρίως για άρδευση και ξεπλύματα τουαλέτας.

Οικιακή κατανάλωση νερού



Σχήμα 6. Χρήσεις νερού

Όπως βλέπουμε από τα διάγραμμα και τους πίνακες που ακολουθούν τα βρόχινα ύδατα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μη πόσιμο νερό και να καλύψουν το 1/3 της συνολικής κατανάλωσης νερού.

Πίνακας 8. Οικιακή κατανάλωση σε πόσιμο νερό

Οικιακή κατανάλωση πόσιμου νερού	Λίτρα
Πλύσιμο πιάτων	9,00%
Πλύσιμο ρούχων	12,00%
Προσωπική Υγιεινή	35,00%
Διάφορες Χρήσεις	11,00%
Σύνολο	67,00%

Πίνακας 9. Οικιακή κατανάλωση σε μη πόσιμο νερό

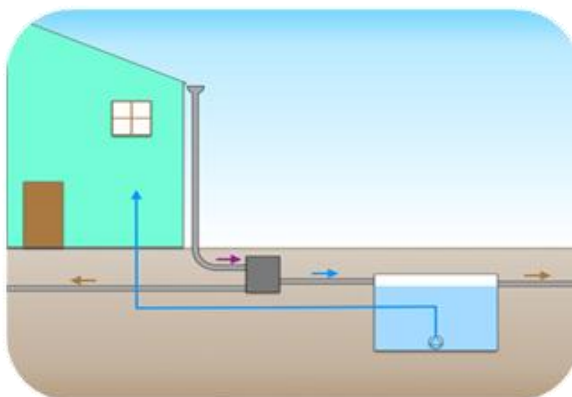
Οικιακή κατανάλωση μη πόσιμου νερού	Λίτρα
Τουαλέτα	26,00%
Πλύσιμο αυτοκινήτου / κήπος	7,00%
Σύνολο	33,00%

4.5.1. Τύποι συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού για μη πόσιμο νερό

Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες. Στα συστήματα που χρησιμοποιούν το έδαφος σαν επιφάνεια συλλογής και σε αυτά που χρησιμοποιούν την κεραμοσκεπή ή το δώμα ενός κτιρίου (Aladenola and Adeboye 2009).

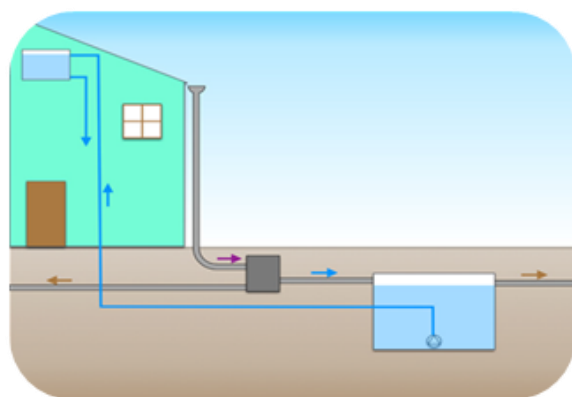
Υπάρχουν δυο βασικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την συλλογή όμβριων υδάτων.

1. Το σύστημα στο οποίο το νερό αποθηκεύεται σε υπόγεια δεξαμενή και τροφοδοτεί άμεσα τις καταναλώσεις με υποβρύχια αντλία ή με αντλία αυτόματης αναρρόφησης.



Εικόνα 8. Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων (άμεση κατανάλωση)

2. Το σύστημα στο οποίο το νερό αποθηκεύεται σε υπόγεια δεξαμενή και τροφοδοτεί μια δεύτερη δεξαμενή αποθήκευσης νερού σε ψηλότερο σημείο. Οι καταναλώσεις τροφοδοτούνται από την δεξαμενή με βαρύτητα.



Εικόνα 9. Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων (έμμεση κατανάλωση)

4.5.2 Σχεδιάζοντας ένα σύστημα συλλογής βρόχινου νερού για μη πόσιμο νερό

Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων σε γενικές γραμμές αποτελούνται από έξι βασικά στοιχεία (Kinkade and Levario 2007):

1. Από την επιφάνεια συλλογής όμβριων όπου οι στέγες αποτελούν ιδανικές επιφάνειες συλλογής αφού συλλέγουν εύκολα μεγάλο όγκο του νερού της βροχής. Η ποσότητα και η

ποιότητα του νερού της βροχής που συλλέγεται από μια στέγη εξαρτάται από την ένταση της βροχής, το μέγεθος της επιφάνειας της στέγης, και το είδος του υλικού κατασκευής της

2. Από το σύστημα μεταφοράς όμβριων το οποίο αποτελείται από σωλήνες που κατευθύνουν το νερό της βροχής από την επιφάνεια συλλογής προς τις δεξαμενές αποθήκευσης

3. Από το σύστημα καθαρισμού στέγης. Το κρίσιμο σημείο αποτελεί η πρόβλεψη και η εγκατάσταση κατάλληλων φίλτρων του νερού πριν αυτό εισέλθει στη δεξαμενή, ώστε να είναι απαλλαγμένο από φερτά υλικά πάσης φύσεως. Επίσης θα πρέπει να υπάρχουν διατάξεις εκτροπής του νερού της πρώτης έκπλυσης (first flush), ώστε να αποφεύγεται η εισροή της αρχικής απορροής κάθε βροχόπτωσης που συνήθως είναι ποιοτικά υποβαθμισμένη

4. Από τις δεξαμενές αποθήκευσης οι οποίες χρειάζονται διατάξεις ασφαλούς υπερχείλισης και εκκένωσης

5. Από το σύστημα διανομής το οποίο περιλαμβάνει συνήθως τις διατάξεις άντλησης και μεταφοράς του νερού από τη δεξαμενή προς το σημείο της τελικής κατανάλωσης

6. Από το σύστημα επεξεργασίας/απολύμανσης. Οι διατάξεις απολύμανσης ή/και επεξεργασίας του συλλεχθέντος βρόχινου νερού απαιτούνται μόνο στην περίπτωση που το νερό προορίζεται για πόσιμη χρήση

Ένα τυπικό σύστημα παρουσιάζεται παρακάτω στην εικόνα 10.



Εικόνα 10. Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων για οικιακή χρήση

Τα όμβρια ύδατα συλλέγονται από την επιφάνεια της οροφής. Ένα φίλτρο εμποδίζει τα φύλλα και άλλα μεγάλα στερεά να εισέλθουν στη δεξαμενή αποθήκευσης. Το νερό εισέρχεται στη δεξαμενή μέσω μιας εισόδου εξομάλυνσης της ροής, η οποία αποτρέπει το ίζημα στο κάτω μέρος της δεξαμενής να διαταραχθεί, από το νερό της βροχής που εισέρχεται στη δεξαμενή.

Ένα φίλτρο αναρρόφησης εμποδίζει την πρόσληψη πλωτής ύλης όταν η αντλία τροφοδοτεί την οικία για χρήση. Καθώς το νερό είναι μη πόσιμο, περνά μέσα από ένα ξεχωριστό σύνολο σωληνώσεων. Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται, η αντλία είναι βυθισμένη, αν και άλλα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιούν αντλίες αναρρόφησης που βρίσκονται έξω από τη δεξαμενή.

Μια μονάδα ελέγχου παρακολουθεί τη στάθμη του νερού στη δεξαμενή. Εάν η στάθμη του νερού στη δεξαμενή μειωθεί πολύ, η μονάδα ελέγχου θα ενεργοποιήσει την αυτόματη αλλαγή για τροφοδοσία των καταναλώσεων από το δίκτυο της πόλης.

Όταν το νερό στη δεξαμενή φτάσει σε ένα ορισμένο επίπεδο, ένα σύστημα υπερχειλίσης επιτρέπει την απομάκρυνση του νερού από την δεξαμενή αποθήκευσης. Τέλος τοποθετείται μια βαλβίδα αντεπιστροφής για να αποφευχθεί η μόλυνση της δεξαμενής με αντίστροφη ροή.

Η ποσότητα του βρόχινου νερού που μπορεί να συλλεχθεί εξαρτάται από την επιφάνεια της οροφής, το ύψος της βροχόπτωσης και αποθήκευσης και τον συντελεστή απορροής, που είναι ανάλογα με το υλικό της στέγης και το σχεδιασμό (Thomas and Martinson 2007).

4.6 Διαστασιολόγηση δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων

Ένα από τα σημαντικότερα βήματα στο σχεδιασμό ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων αποτελεί ο προσδιορισμός της βέλτιστης χωρητικότητας της δεξαμενής. Ο όγκος της δεξαμενής δεν θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλος, λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής, αλλά ούτε και πολύ μικρός, λόγω του κινδύνου μη ικανοποίησης των αναγκών ζήτησης.

Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες που βασίζονται είτε στην ανάπτυξη μοντέλων ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (behavioral models) (Fewkes 1999b, Fewkes and Butler 2000, Villarreal and Dixon, 2005, Ghisi and Ferreira 2007, Mitchell 2007, Zhou et al 2010, Imteaz et al 2011, Palla et al 2011, Ward et al 2011, Campisano and Modica

2012, Tsihrintzis and Baltas 2013), είτε στην ανάπτυξη πιθανοτικών μοντέλων (probabilistic models) (Lee et al 2000, Tsubo et al 2005, Guo and Baetz 2007, Cowden et al 2008, Su et al 2009, Basinger et al 2010, Chang et al 2011). Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χωρητικότητα της ομβροδεξαμενής δεν μπορεί να τυποποιηθεί διότι επηρεάζεται σημαντικά από διάφορες τοπικές μεταβλητές, όπως οι τοπικές βροχοπτώσεις, οι επιφάνειες συλλογής, η ζήτηση και ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων (Aladenola and Adeboye 2010, Eroksuz and Rahman 2010).

Οι μέθοδοι διαστασιολόγησης δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων ποικίλλουν από χώρα σε χώρα ανάλογα με τα πρότυπα και τους κανονισμούς που έχει υιοθετήσει κάθε χώρα.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Βρετανικό Πρότυπο BS 8515:2009 αποτελεί τον Κώδικα Πρακτικής που καλύπτει το σχεδιασμό, την εγκατάσταση, την ποιότητα των υδάτων, τη διατήρηση και τη διαχείριση των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων. Σύμφωνα με τον BS 8515:2009, η χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης των όμβριων υδάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον είτε το 5% της ετήσιας απόδοσης των όμβριων υδάτων είτε το 5% της ετήσιας ζήτησης των όμβριων υδάτων (<http://oasis-rainharvesting.co.uk/sizing-the-tank>). Μεγαλύτερες δεξαμενές δεν επιτρέπονται, λόγω του κινδύνου της αναπαραγωγής βακτηριδίων που μπορεί να προκαλέσουν κινδύνους για την υγεία.

Η ετήσια απόδοση όμβριων υδάτων (Annual Rainwater Yield - ARY) (lt) υπολογίζεται ως εξής:

$$ARY = C \cdot P \cdot A$$

Όπου: C ο συντελεστής απορροής, ο οποίος αντιπροσωπεύει τις απώλειες βροχής στην επιφάνεια συλλογής και εξαρτάται από το υλικό κάλυψης της επιφάνειας λαμβάνοντας συνήθως τιμές μεταξύ 0.8 (για πλάκα ή πέτρα) και 0.9 (για κεραμίδι), P το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της περιοχής εγκατάστασης της δεξαμενής (mm) και A η επιφάνεια συλλογής ομβρίων (m²).

Η ετήσια ζήτηση όμβριων υδάτων (Annual Rainwater Demand - ARD) (lt) συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις χρήσεις μη πόσιμου νερού (δηλαδή νερό για πλυντήριο ρούχων, πλύσιμο δεξαμενής, άρδευση κήπων), ως εξής (<http://oasis-rainharvesting.co.uk/sizing-the-tank>):

$$ARD = 16000 \cdot N_{cap} + 60 \cdot A_G$$

Όπου: N_{cap} ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων και A_G η έκταση του αρδευόμενου κήπου (m^2).

Οπότε η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής V_{tank} υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{tank} = 0.05 \cdot \min(ARY, ARD)$$

Εναλλακτικά, το μέγεθος της δεξαμενής στο Ηνωμένο Βασίλειο μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη μια περίοδο ανομβρίας (τυπικά 3 εβδομάδων, ήτοι έναν αριθμό άνομβρων ημερών $N_{dd}=21$ ημέρες), ελέγχοντας την επάρκεια νερού από τη σύγκριση ετήσιας προσφοράς και ζήτησης, ως εξής

(www.rainwaterharvesting.co.uk/downloads/TankSizeCalculator.xls):

$$V_{tank} = (N_{dd}/365) \cdot (\min(ARY, ARD))$$

Στην Αυστραλία, η ετήσια απόδοση όμβριων (ARY) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$ARY = C \cdot (P - I_a) \cdot A$$

Όπου: ο συντελεστής απορροής C κυμαίνεται μεταξύ 0.80 και 0.85 και η βροχόπτωση P μειώνεται κατά μια παράμετρο I_a (mm) που αφορά μια αρχική απόληψη νερού από τη επιφάνεια συλλογής A . Οι προτεινόμενες τιμές της I_a είναι τα 2 mm/μήνα ή τα 24 mm/έτος (Australian Government, 2004).

Η χωρητικότητα της δεξαμενής υπολογίζεται για κάθε μήνα χρησιμοποιώντας τη μέση μηνιαία βροχόπτωση της περιοχής με βάση το ισοζύγιο μάζας των εισροών και της ζήτησης, με την παραδοχή της άδειας δεξαμενής στην αρχή (Australian Government, 2004), και λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει υπερχειλίση όταν, σε οποιοδήποτε μήνα, η υπολογισμένη εισροή υπερβαίνει τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης και δεν υπάρχει περίσσεια νερού όταν η ζήτηση υπερβαίνει το νερό αποθήκευσης.

Στη Γερμανία, η συλλογή των όμβριων υδάτων ρυθμίζεται από τον κανονισμό DIN 1989-1 (2002) του Γερμανικού Ινστιτούτου Τυποποίησης. Σύμφωνα με τον κανονισμό, για ακριβή διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής συνιστώνται δεδομένα βροχόπτωσης διάρκειας τουλάχιστον 5 έως 10 ετών για την περιοχή μελέτης και εφαρμογή ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου.

Εναλλακτικά ο απαιτούμενος όγκος της ομβροδεξαμενής υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{\text{tank}} = 0.06 \cdot \min(\text{ARY}, \text{ARD})$$

Στην Πορτογαλία, σύμφωνα με το Πρότυπο ETA 0701 της ΜΚΟ ANQIP, ο απαιτούμενος όγκος της ομβροδεξαμενής υπολογίζεται για την κάλυψη ζήτησης άνομβρης περιόδου έως 90 ημερών (Silva-Afonso 2012).

Στο Τέξας των ΗΠΑ η διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών γίνεται με τη μέθοδο του μηνιαίου ισοζυγίου προσφοράς και ζήτησης λαμβάνοντας είτε τη μέση μηνιαία (average) τιμή της βροχόπτωσης είτε τη διάμεση (median) μηνιαία τιμή (Texas Water Development Board, 2005). Επίσης, η διαστασιολόγηση γίνεται και με την απλή μέθοδο της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου, όπου προσδιορίζονται οι όγκοι ομβροδεξαμενών για την κάλυψη της ζήτησης για τις ημέρες της μέγιστης άνομβρης περιόδου.

4.7 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα τεχνολογιών συλλογής όμβριων υδάτων

Η χρήση τεχνολογιών συλλογής όμβριων υδάτων, τόσο σε αστικές όσο και σε αγροτικές περιοχές, προσφέρει πολλά οφέλη, τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Μια σύνοψη των πλεονεκτημάτων δίνεται παρακάτω και είναι:

1. Η μείωση απορροών και η αντιπλημμυρική προστασία του αστικού χώρου προστατεύοντας παράλληλα και τα αστικά δίκτυα (ακαθάρτων ή/και όμβριων) από τις παροχές αιχμής.
2. Η εξοικονόμηση υδατικών πόρων αφού ένα σημαντικό ποσοστό ζήτησης από το δημόσιο δίκτυο θα μπορεί να καλυφθεί από ένα σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων (στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων και τη διατήρηση της παροχής υδατορρευμάτων, που τροφοδοτούνται από τους υδροφορείς αυτούς κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου).
3. Η εξασφάλιση εναλλακτικής πηγής κάλυψης των υδατικών αναγκών και η αύξηση της αυτάρκειας. Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων μπορούν να εγκατασταθούν σε υπάρχουσες και νέες κατοικίες. Το σπίτι μπορεί να είναι αυτόνομο σε ανάγκες νερού όταν το δημόσιο δίκτυο διακόπτει την παροχή νερού. Επίσης το βρόχινο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αναγκών με μειωμένες απαιτήσεις ποιότητας (π.χ. πότισμα πάρκων και κήπων, καθαριότητα χώρων, πλύσιμο αυτοκινήτων).

4. Το χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας, ειδικά αν το νερό δεν προορίζεται για πόσιμη χρήση
5. Γενικότερα οι τεχνικές αυτές συντελούν στην προβολή ενός οικολογικού μοντέλου ανάπτυξης

Υπάρχουν βέβαια και κάποια μειονεκτήματα της χρήσης των τεχνολογιών αυτών που σχετίζονται κυρίως:

1. Με θέματα υγείας και ασφάλειας
2. Με το υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης
3. Την αβεβαιότητα στην ποσότητα του νερού που θα συλλέγεται. Η αβεβαιότητα είναι παράγοντας που δεν μπορεί να παραβλεφθεί, καθώς η μέθοδος εξαρτάται από τη βροχόπτωση που είναι αβέβαιη υδρολογική παράμετρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ανάπτυξη – Εφαρμογή μεθοδολογίας

5.1 Μέθοδος ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας με σκοπό τη διαστασιολόγηση δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων αναπτύχθηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (Juliana et al 2019):

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t - E_t - L_t \quad (1)$$

Δεδομένου ότι η δεξαμενή αποθήκευσης θεωρείται ότι είναι κλειστή και βρίσκεται κάτω από το έδαφος το αποτέλεσμα της εξάτμισης, E_t , και των απωλειών, L_t , δεν λαμβάνεται υπόψη, οπότε:

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (2) \text{ με } 0 \leq V_t \leq S$$

όπου:

V_t είναι ο όγκος του νερού που θα αποθηκευτεί την t ημέρα (m^3);

V_{t-1} ο όγκος του αποθηκευμένου νερού στη δεξαμενή την προηγούμενη ημέρα (m^3);

Q_t ο όγκος του νερού της βροχής που απορρέει από την επιφάνεια συλλογής και θα εισέλθει στη δεξαμενή την t ημέρα (m^3);

D_t η ζήτηση νερού από τη δεξαμενή την t ημέρα (m^3);

S η χωρητικότητα της δεξαμενής (m^3).

Το νερό που αποθηκεύεται στο τέλος ενός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος σε μια δεξαμενή είναι ίσο με τον όγκο του νερού που απομένει σαν απόθεμα από το προηγούμενο διάστημα προσθέτοντας τυχόν εισροή και αφαιρώντας οποιαδήποτε ζήτηση κατά τη χρονική περίοδο, υπό τον όρο ότι, ο υπολογισμένος όγκος δεν υπερβαίνει τη χωρητικότητα της δεξαμενής. Τα μοντέλα συμπεριφοράς επομένως προσομοιώνουν τη λειτουργία της δεξαμενής σε σχέση με το χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη (προσομοιωμένες) ροές μάζας μέσω του αλγορίθμου που περιγράφει τη λειτουργία της δεξαμενής

Ο όγκος λοιπόν της δεξαμενής V_t προσδιορίζεται από την εξίσωση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου και ποτέ δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος από την μέγιστη χωρητικότητα της δεξαμενής.

5.2 Μοντέλο συμπεριφοράς

Προκειμένου να προσομοιωθεί η συμπεριφορά μιας δεξαμενής όμβριων υδάτων, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα τοπικά δεδομένα βροχόπτωσης και οι καιρικές συνθήκες, ο τύπος και το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής νερού καθώς και ο όγκος του νερού της βροχής που θα εισέλθει και θα εξέλθει από την δεξαμενή για την κάλυψη ποσοστού των συνολικών αναγκών για οικιακή χρήση. Όταν εργαζόμαστε με διακριτά χρονικά διαστήματα, η ακολουθία υπολογισμού εισροής, διαρροής και εκροής είναι σημαντική.

Ο προσδιορισμός του όγκου του νερού που θα αποθηκευθεί στην δεξαμενή γίνεται χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία υπολογισμού yield-before-spillage (YBS) και τις παρακάτω εξισώσεις (Liaw and Tsai 2004, Palla et al 2011):

$$Y_t = \min \{D_t; V_{t-1} + Q_t\} \quad (3)$$

$$V_t = \min\{V_{t-1} + Q_t - Y_t; S\}$$

όπου Y_t είναι ο όγκος του νερού που θα καταναλωθεί από την δεξαμενή την t ημέρα

Ο όγκος του νερού που καταναλώνεται από την δεξαμενή, Y_t , είναι ίσος με την ζήτηση, D_t , ή ίσος με τον όγκο που υπήρχε στη δεξαμενή την προηγούμενη ημέρα προσθέτοντας και τον όγκο του νερού που μπήκε στην δεξαμενή από την βροχή. Πρακτικά σημαίνει ότι μπορεί να είναι και μηδέν στην περίπτωση που $V_{t-1} + Q_t$ είναι μηδέν, δηλαδή είναι άδεια η δεξαμενή από την προηγούμενη και δεν έχει βρέξει καθόλου ή να είναι μικρότερος από την ημερήσια ζήτηση.

Ο υπολογισμός είναι επαναληπτικός και ξεκινά από έναν αρχικό αποθηκευμένο όγκο νερού $V_{t-1} = V_0$ τη στιγμή $t = 0$. Η πιο συντηρητική τιμή είναι $V_0 = 0$ για αρχικά άδεια δεξαμενή βρόχινου νερού και η μέγιστη τιμή $V_0 = S$ για αρχικά πλήρη δεξαμενή βρόχινου νερού. Σε αυτήν την περίπτωση, για μερικώς γεμάτη δεξαμενή βρόχινου νερού, χρησιμοποιούμε την τιμή $V_0 = 1$.

Η απόδοση των συστημάτων RWH περιγράφεται γενικά ως προς την αποδοτικότητα εξοικονόμησης νερού. Παρέχει ένα μέτρο του πόσο νερό εξοικονομήθηκε σε σύγκριση με τη συνολική ζήτηση, και αναφέρεται επίσης ως ογκομετρική αξιοπιστία (volumetric reliability).

$$\text{WSE (Water Saving Efficiency)} = 100\% \cdot \Sigma Y_t / \Sigma D_t \quad (11)$$

5.3 Όγκος απορροής όμβριων υδάτων Q_t

Ο όγκος του νερού που θα απορρεύσει από μια επιφάνεια (π.χ. στέγη κτηρίου) σε ημερήσια βάση, Q_t , υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$Q_t = 0, H_t \leq \delta$$

$$Q_t = c \cdot (H_t - \delta) \cdot A \cdot 10^{-3} \quad (3), H_t > \delta$$

όπου:

c είναι ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής όμβριων

H_t η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση της t ημέρας (mm)

δ η αρχική ποσότητα της βροχόπτωσης που αφαιρείται την t ημέρα (mm)

A το εμβαδό της επιφάνειας συλλογής όμβριων υδάτων που είναι συνδεδεμένη με τη δεξαμενή (m^2).

Στην εξεταζόμενη περίπτωση κατά την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε συντελεστής απορροής $c=0.9$.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι συγκεντρώσεις σκόνης, φύλλων, λάσπης αλλά και περιττωμάτων πουλιών στην επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού που θα συλλεχθεί στη δεξαμενή. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει κάποιος αρχικός όγκος νερού απορροής, το δ , επιβεβαρυμένος από τα προαναφερόμενα υπολείμματα, να μην εισέρχεται στη δεξαμενή συλλογής, αποτρέποντας κατ' αυτόν τον τρόπο την ποιοτική υποβάθμιση του συλλεγμένου νερού στη δεξαμενή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση για τη βελτίωση της ποιότητας του συλλεγόμενου νερού για τις επιφάνειες συλλογής που χρησιμοποιήθηκαν, ορίστηκε κατά μέσο όρο να αφαιρούνται τα πρώτα 0.33

mm βροχής από τη συνολική ημερήσια βροχόπτωση. Πρακτικά αυτό αντιστοιχεί περίπου στο 5% του συνολικού όγκου απορροής.

Οπότε ο όγκος του νερού που θα εισέλθει ημερησίως, στην δεξαμενή αποθήκευσης, από μια επιφάνεια συλλογής, Q_t , προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$Q_t = c \cdot 0.95 \cdot (H_t \cdot 10^{-3}) \cdot A \quad (4)$$

5.4 Ζήτηση Q_t

Ο όγκος της ημερήσιας χρήσης νερού, W , υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$W = p \cdot (q \cdot 10^{-3}) \quad (5)$$

όπου:

p είναι το ποσοστό της συνολικής χρήσης νερού που ικανοποιείται από τα συλλεγόμενα βρόχινα νερά, και

q είναι η καθημερινή χρήση νερού σε λτ/ημέρα/κάτοικο

Η ζήτηση νερού οικιακής χρήσης, D_t , εξαρτάται από τον αριθμό των κατοίκων, n και από τη χρήση νερού W . Ο όγκος της ετήσιας ζήτησης νερού m^3 μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$D = W \cdot n \cdot N_t \quad (6)$$

όπου N_t είναι ο αριθμός των ημερών του έτους t .

Η ημερήσια ζήτηση νερού, D_t , η οποία θα καλυφθεί από ένα σύστημα συλλογής όμβριων για μια κατοικία εξαρτάται:

- 1 από τον αριθμό των ατόμων που διαμένουν σ' αυτή
- 2 από την ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο, q
- 3 από το ποσοστό, p , της συνολικής χρήσης νερού, που ικανοποιείται από το συλλεγόμενο βρόχινο νερό

Οπότε:

$$D_t = n \cdot p \cdot q \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

Στην παρούσα περίπτωση το ποσοστό ικανοποίησης οικιακών αναγκών είναι $p=33\%$ το οποίο αντιστοιχεί στις ανάγκες μη πόσιμο νερού όπως την τουαλέτα (~26%) και για εξωτερική χρήση σε βεράντες και πλύσιμο αυτοκινήτων (7%).

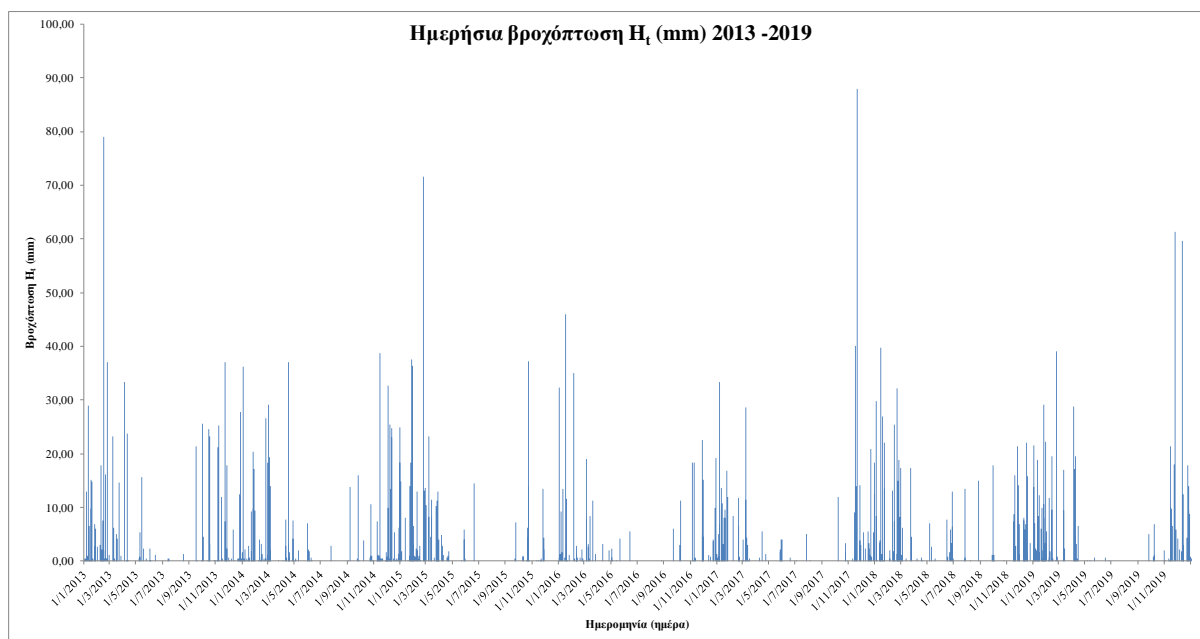
5.5 Περιοχή μελέτης

Προκειμένου να προσομοιωθεί η συμπεριφορά μιας δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων, σαν δεδομένα εισόδου θα χρησιμοποιηθούν η ημερήσια βροχόπτωση, συγκεκριμένη επιφάνεια συλλογής, συγκεκριμένος όγκος δεξαμενής και ημερήσια κατανάλωση νερού από την δεξαμενή.

Χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης από βροχομετρικούς σταθμούς στην κεντρική Χίο για την χρονική περίοδο 2013 – 2019. Η συγκεκριμένη 7-ετία επιλέχθηκε διότι:

- 1 υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις σε βροχομετρικά δεδομένα για διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής (5 έως 10 έτη), σύμφωνα με το γερμανικό κανονισμό DIN 1989-1 (2002) του Γερμανικού Ινστιτούτου Τυποποίησης,
- 2 ενσωματώνει μία περίοδο ανομβρίας που δίνει συντηρητικές εκτιμήσεις βροχόπτωσης και άρα μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας στους υπολογισμούς
- 3 υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα

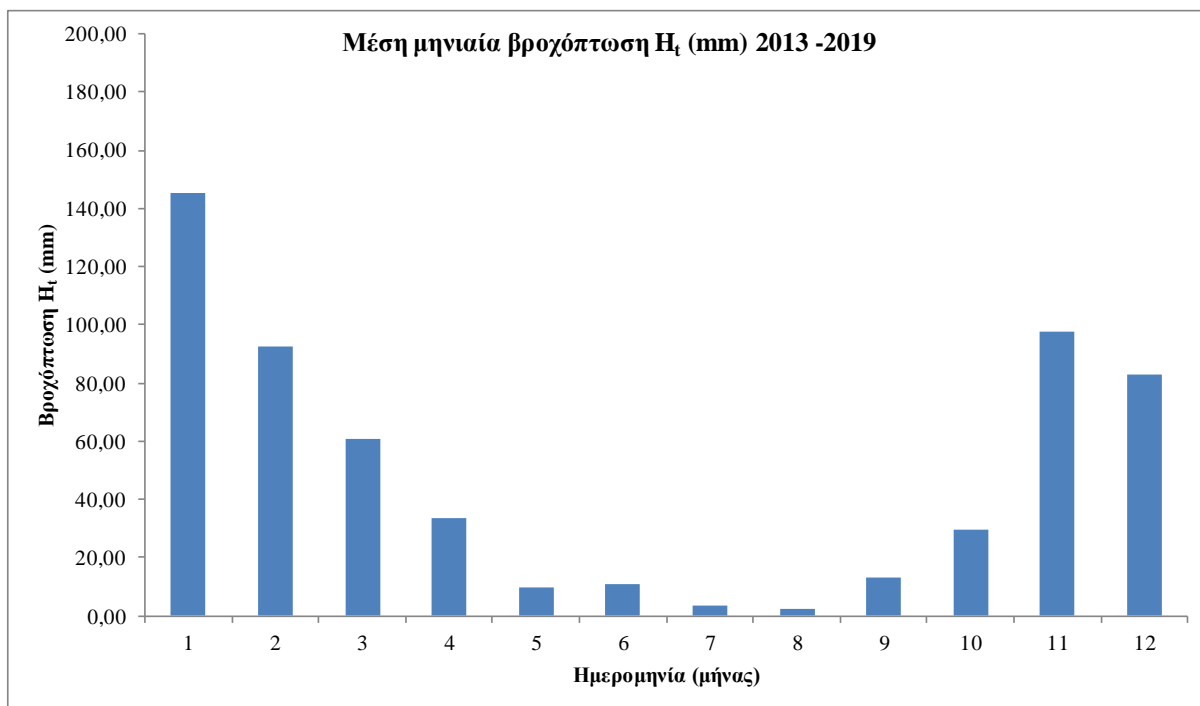
Το σχήμα 7 παρουσιάζει το ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης, H_t , μιας περιόδου επτά ετών. Τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης κυμαίνονται μεταξύ 0 και 88 mm και το μέσο ετήσιο ύψος είναι H_{av} 581,70 mm.



Σχήμα 7. Κατανομή ημερήσιας βροχόπτωσης διάρκειας 7 ετών

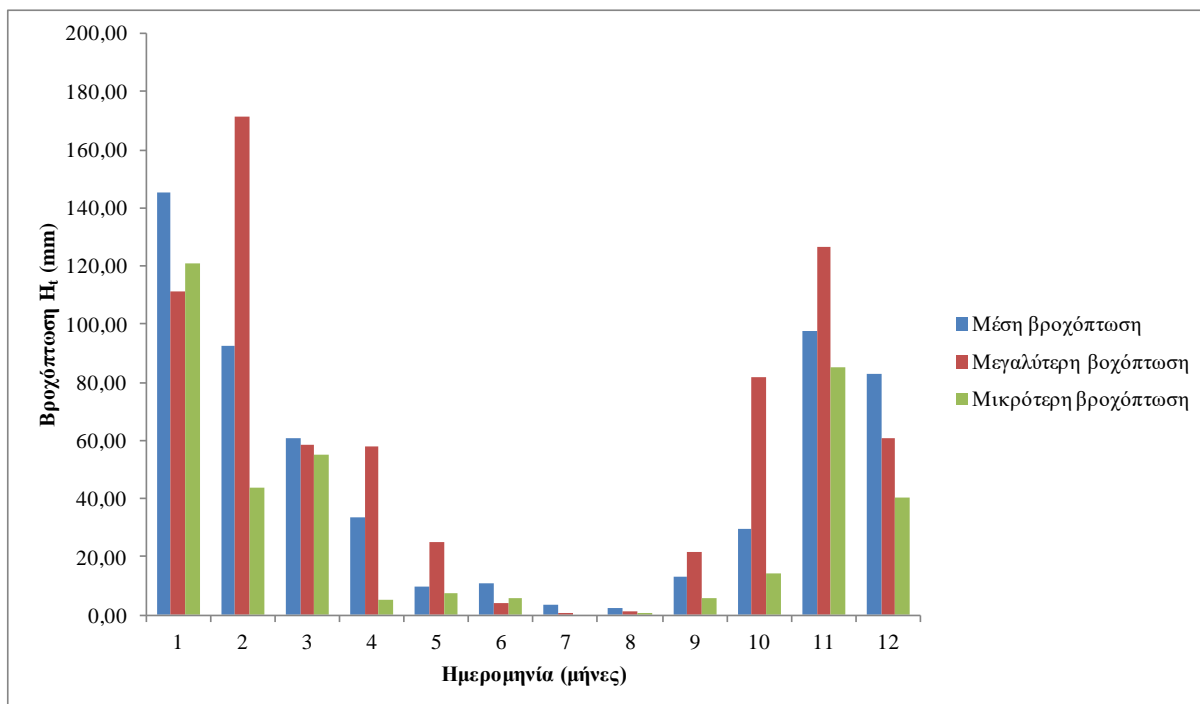
Από το σχήμα είναι εμφανείς οι έντονες διακυμάνσεις στην κατανομή της βροχόπτωσης

Το σχήμα 8 αντιπροσωπεύει τη μέση μηνιαία βροχόπτωση για την περίοδο 2013-2019. Σημαντική διακύμανση στις βροχοπτώσεις μπορεί να παρατηρηθεί μεταξύ χειμώνων και καλοκαιριών. Διαπιστώθηκε ότι η μέση βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα έφτασε το μέγιστο στα 145 mm τον Ιανουάριο, σε αντίθεση με αυτό που παρατηρείται το καλοκαίρι όπου δεν υπάρχει σχεδόν καμία βροχόπτωση μεταξύ Μαΐου και Σεπτεμβρίου. Έτσι, η περίοδος μεταξύ Μαΐου και Σεπτεμβρίου μπορεί να χαρακτηριστεί ως ξηρή για αυτήν την περιοχή.



Σχήμα 8. Μέση μηνιαία βροχόπτωση διάρκειας 7 ετών

Το σχήμα 9 δείχνει ότι ακόμη και το έτος με τις υψηλότερες βροχοπτώσεις (2013) μεταξύ Ιουνίου και Αυγούστου, υπήρχε πολύ χαμηλή βροχόπτωση. Η κατασκευή ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων με αυτή τη χαμηλή τιμή υετού είναι μια πρόκληση στην περιοχή της Χίου, λόγω του γεγονότος ότι τα συστήματα αυτά είναι μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για εξοικονόμηση νερού στις περιοχές με υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης μεταξύ 1000 - 3000 mm (Aladenola and Adeboye 2009, Hamid and Nordin 2011).



Σχήμα 9. Μεγαλύτερη, μικρότερη και μέση τιμή βροχόπτωσης

5.6 Οικονομική ανάλυση του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων

Για να πραγματοποιήσουμε οικονομική ανάλυση του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του κόστους της απαιτούμενης επένδυσης και των οφελών, καθώς και η Περίοδος Αποπληρωμής χρησιμοποιώντας μια απλή μέθοδο για κάθε περίπτωση.

Το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος συλλογής βρόχινου νερού μπορεί να διαιρεθεί σε κόστος δεξαμενής, δαπάνες εγκατάστασης και κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το κόστος που σχετίζεται με τη συντήρηση του συστήματος θεωρήθηκε αμελητέο σε σύγκριση με το κόστος αγοράς και εγκατάστασης (Khastagir and Jayasuriya 2011).

Το κόστος λειτουργίας και ειδικότερα, το ενεργειακό κόστος άντλησης βρόχινου νερού δεν λαμβάνεται υπόψη. Αυτή η υπόθεση γίνεται επειδή η πόλη της Χίου δεν έχει σταθερή παροχή νερού βρύσης με αποτέλεσμα να υπάρχει νερό μόνο για μερικές ώρες την ημέρα και για μερικές ημέρες την εβδομάδα, ειδικά κατά τη θερινή περίοδο. Για να καλύψει τις ανάγκες του, κάθε σπίτι διαθέτει ατομική δεξαμενή με αντλιοστάσιο. Επομένως, το ενεργειακό κόστος

για την παροχή νερού είναι το ίδιο είτε χρησιμοποιούμε σύστημα συλλογής βρόχινου νερού είτε όχι.

Η τιμή μιας δεξαμενής κυμαίνεται ανάλογα με το σχήμα, το μέγεθος και το υλικό. Στην τρέχουσα μελέτη, επιλέγεται μια τυπική υπόγεια δεξαμενή από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE). Η τιμή αυτού του είδους δεξαμενής κυμαίνεται από 350 € για δεξαμενή 3 m³ έως 3.100 € για δεξαμενή 25 m³. Ο Πίνακας 2 συνοψίζει το κόστος των στοιχείων RWHS για κάθε χωρητικότητα δεξαμενής.

Πίνακας 9. Συνολικό κόστος συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων

Χωρητικότητα δεξαμενής (m ³)	3	5	10	15	20	25
Κόστος αγοράς και τοποθέτησης δεξαμενής	450,00 €	600,00 €	1.300,00 €	2.100,00 €	3.000,00 €	4.000,00 €
Κόστος αγοράς και εγκατάστασης αντλίας και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €
Κόστος αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων απορροής όμβριων	600,00 €	600,00 €	600,00 €	600,00 €	600,00 €	600,00 €
Κόστος αγοράς εγκατάστασης φίλτρου απορροής όμβριων	300,00 €	300,00 €	300,00 €	300,00 €	300,00 €	300,00 €
Συνολικό κόστος	1.750,00 €	1.900,00 €	2.600,00 €	3.400,00 €	4.300,00 €	5.300,00 €

Όσον αφορά τα οφέλη που σχετίζονται με την εγκατάσταση του συστήματος RWH, έχουν ληφθεί υπόψη μόνο τα οφέλη από την εξοικονόμηση νερού. Συγκεκριμένα, το οικονομικό όφελος έχει αξιολογηθεί ως προς τη μείωση του ετήσιου λογαριασμού νερού από τις υπηρεσίες ύδρευσης. Αν και είναι σχετικό, σε αυτήν την ανάλυση τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη δεν έχουν εκτιμηθεί.

Ο Πίνακας 10 δείχνει την τρέχουσα τιμή νερού στην περιοχή της πόλης της Χίου.

Πίνακας 10. Τιμολογιακή πολιτική νερού για την πόλη της Χίου

Κλίμακες	Χρήση νερού	Χρήση συστήματος αποχέτευσης	ΦΠΑ στην αξία νερού	ΦΠΑ στην αξία αποχέτευσης	Σύνολο
m ³	€/m ³	€/m ³	€/m ³	€/m ³	€/m ³
1 ^η Κλίμακα	0-10	0,00	0,00	0,00	0,00
2 ^η Κλίμακα	11-20	0,00	0,00	0,00	0,00
3 ^η Κλίμακα	21-45	0,80	0,24	0,07	1,15
4 ^η Κλίμακα	46-70	1,20	0,36	0,11	1,73
5 ^η Κλίμακα	71-100	1,25	0,38	0,11	1,80
6 ^η Κλίμακα	>101	1,38	0,41	0,12	1,99

(Πηγή: ΔΕΥΑΧ)

Ο Πίνακας 10 παρέχεται από τη Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Χίου (ΔΕΥΑΧ). Η υιοθέτηση του τρέχοντος μέσου κόστους της αξίας του νερού ως δείκτης εξοικονόμησης είναι υποτιμημένη, δεδομένου ότι το πλήρες κόστος του νερού είναι πιθανό να είναι υψηλότερο από αυτό που ισχύει σήμερα, ιδίως λόγω της λειψυδρίας και του αυξανόμενου κόστους νερού που σχετίζεται με ακριβότερες επεξεργασίες νερού (π.χ. αφαλάτωση). Οι τιμές των υδάτων θα πρέπει να μεταβούν σε πλήρη ανάκτηση νερού σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο για τα ύδατα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) στην οποία αναφέρεται ότι «τα κράτη μέλη λαμβάνουν υπόψη την αρχή της ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών ύδατος, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών και του κόστους πόρων». Κατά συνέπεια, θα υπάρχει ένα είδος ομογενοποίησης των τιμών σε όλη την Ευρώπη, (Farreny et al., 2011). Σε αυτήν τη μελέτη περίπτωσης θεωρούμε ότι οι τιμές παροχής νερού θα αυξηθούν, τουλάχιστον στην τιμή των 2 € / m³ τα επόμενα χρόνια.

Προκειμένου να εκτιμηθεί ο επενδυτικός κίνδυνος που σχετίζεται με την εφαρμογή του συστήματος συλλογής βρόχινου νερού, προσδιορίστηκε η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης, PB (Payback Period). Η περίοδος αποπληρωμής είναι μια από τις απλούστερες τεχνικές αξιολόγησης επενδύσεων. Η μέθοδος έχει το μειονέκτημα ότι δεν λαμβάνει υπόψη τη χρονική αξία του χρήματος και μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις. Σε αυτήν την έρευνα, χρησιμοποιούμε την περίοδο αποπληρωμής μόνο για να συγκρίνουμε τις προσομοιωμένες περιπτώσεις.

5.7 Προσδιορισμός ποσοστού ημερήσιας ζήτησης νερού

Με δεδομένη τη μέση ετήσια βροχόπτωση περιόδου 2013-2019 και χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις του όγκου απορροής και της ζήτησης, υπολογίζεται ο ετήσιος όγκος απορροής Q και η ετήσια ζήτηση, D .

$$Q = c \cdot 0,95 \cdot (H_{\text{mean}} \cdot 10^{-3}) \cdot A \quad (7)$$

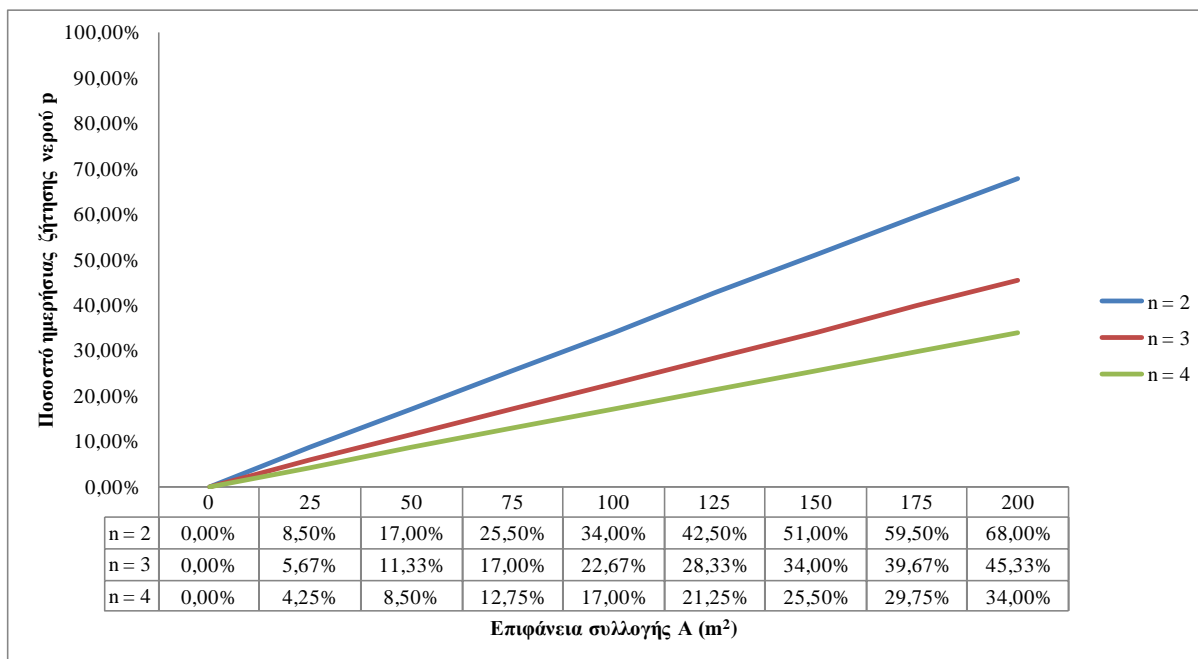
$$D = W \cdot n \cdot Nt = p \cdot (q \cdot 10^{-3}) \cdot n \cdot 365 \quad (8)$$

Υποθέτοντας ότι ο μέσος ετήσιος όγκος όμβριων υδάτων οι οποίοι συλλέγονται, είναι ίσος με τη μέση ετήσια ζήτηση, τότε η σχέση μεταξύ των ελάχιστων απαιτούμενων περιοχών συλλογής βρόχινου νερού A και του ποσοστού p της συνολικής ημερήσιας ζήτησης νερού για την κάλυψη των αναγκών που καθορίζονται κάθε φορά για συγκεκριμένο αριθμό κατοίκων, n , υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$p = c \cdot 0,95 \cdot (H_{\text{mean}} \cdot 10^{-3}) \cdot A / (q \cdot 10^{-3}) \cdot n \cdot 365 \quad (9)$$

Πρακτικά γνωρίζοντας τον αριθμό κατοίκων μιας οικίας, θεωρώντας ημερήσια κατανάλωση 200 λτ/κάτοικο, την επιφάνεια συλλογής και θεωρώντας ετήσια βροχόπτωση συγκεκριμένη, υπολογίζουμε το ποσοστό της ημερήσιας ζήτησης το οποίο μπορεί να καλυφθεί από ένα σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων.

Το σχήμα 10 δείχνει την απαιτούμενη ελάχιστη επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων σε συνάρτηση με το ποσοστό της ημερήσιας ζήτησης νερού που ικανοποιείται από τη συγκομιδή βρόχινου νερού για οικιακή χρήση και τον αριθμό των κατοίκων που εξυπηρετούνται, για μέση ετήσια βροχόπτωση (περιόδου 2013 – 2017) $H_{\text{mean}} = 581,70 \text{ mm}$, με συντελεστή απορροής $c = 0,9$ και σύνολο ημερήσιας ζήτησης νερού $q = 200 \text{ λτ/κάτοικο/ημέρα}$ (στην Ελλάδα η ημερήσια ζήτηση νερού κυμαίνεται από 100 έως 200 λτ/κάτοικο/ημέρα).



Σχήμα 10. Σχέση μεταξύ απαιτούμενης ελάχιστης επιφάνειας συλλογής και ποσοστού ημερήσιας ζήτησης νερού το οποίο ικανοποιείται από το σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων για 2 - 4 κατοίκους

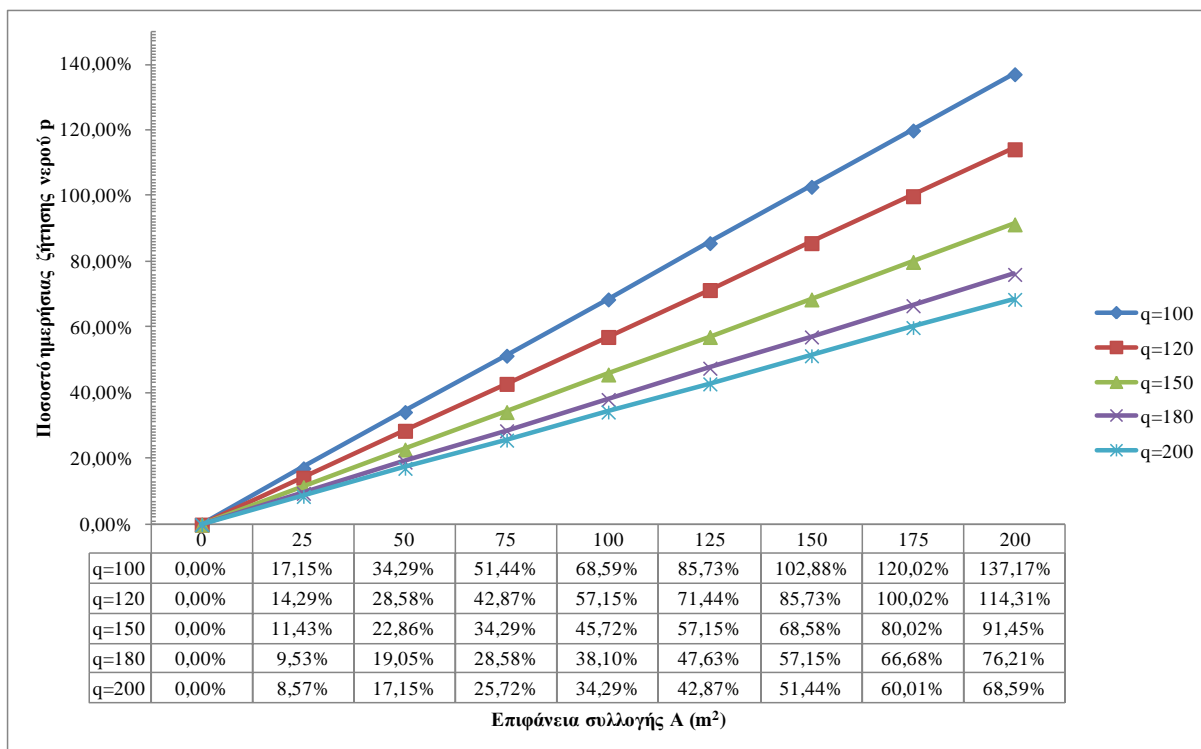
Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα του σχήματος, μπορούμε να υπολογίσουμε τις μέγιστες τιμές του ποσοστού της συνολικής ημερήσιας ζήτησης νερού που ικανοποιείται από τα συλλεγόμενα νερά της βροχής ως συνάρτηση της επιφάνειας συλλογής.

Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας μια επιφάνεια συλλογής 100 m^2 μπορούμε να καλύψουμε μέχρι και 34% της συνολικής ημερήσιας ζήτησης για αριθμό κατοίκων $n = 2$ και 22,67% της συνολικής ημερήσιας ζήτησης για αριθμό κατοίκων $n = 3$. Δηλαδή μια επιφάνεια συλλογής 100 m^2 μπορεί να καλύψει, στην ιδανική περίπτωση, όλες τις μη πόσιμες χρήσεις μιας οικίας οι οποίας προσδιορίζονται στο 33% της συνολικής κατανάλωσης.

Λαμβάνοντας υπόψη την εξίσωση (9) δηλαδή:

$$p = c \cdot 0,95 \cdot (H_{\text{mean}} \cdot 10^{-3}) \cdot A / (q \cdot 10^{-3}) \cdot n \cdot 365$$

μπορούμε να αυξήσουμε το μέγιστο ποσοστό της ημερήσιας ζήτησης νερού που ικανοποιείται από τα συλλεγόμενα βρόχινο νερό μειώνοντας τη συνολική ημερήσια ζήτηση, q .



Σχήμα 11. Σχέση μεταξύ απαιτούμενης ελάχιστης επιφάνειας συλλογής και ποσοστού ημερήσιας ζήτησης νερού το οποίο ικανοποιείται από το σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων για 2 κατοίκους και για διαφορετικές τιμές συνολικής ημερήσιας ζήτησης

Το παραπάνω σχήμα δείχνει ότι για μια οικία με 2 κατοίκους και επιφάνεια συλλογής 100 m², μείωση κατά 25% της καθημερινής χρήσης νερού (δηλαδή από q = 200 σε q = 150) προκαλεί αύξηση κατά 33% (από 34,29% σε 47,72%) στο μέγιστο ποσοστό, p, της ημερήσιας ζήτησης νερού που μπορεί να ικανοποιηθεί από τη ζήτηση νερού βροχής.

Ενώ μείωση κατά 50% της καθημερινής χρήσης νερού (δηλαδή από q = 200 lt σε q = 100 lt) προκαλεί αύξηση κατά 100% (από 34,29% σε 68,59%) στο μέγιστο ποσοστό, p της ημερήσιας ζήτησης νερού που μπορεί να ικανοποιηθεί από τη ζήτηση νερού βροχής

5.8 Εφαρμογή – Αποτελέσματα

5.8.1 Συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων για οικιακή χρήση

Η διαδικασία προσδιορισμού του όγκου της δεξαμενής όμβριων υδάτων μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε ένα πρόγραμμα λογιστικών φύλλων. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excell, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που αναλύσαμε παραπάνω.

Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση σε καθημερινή κλίμακα, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση ακραίων βροχοπτώσεων και ξηρών περιόδων στο σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων.

Εξετάστηκε η σκοπιμότητα έξι διαφορετικών μεγεθών δεξαμενών βρόχινου νερού (3, 5, 10, 15, 20 και 25 m³) και τριών διαφορετικών επιφανειών συλλογής (75, 100 και 125 m²). Η διαφορετική επιφάνεια συλλογής αντικατοπτρίζει τις κοινώς υιοθετημένες επιλογές στο σχεδιασμό κατοικιών. Επίσης, ο αριθμός των κατοίκων ανά νοικοκυριό στη Χίο κυμαίνεται γενικά από 2 έως 4, αντικατοπτρίζοντας μικρές και μεγάλες οικογένειες.

Σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης, η ζήτηση νερού για μη πόσιμες χρήσεις ενός νοικοκυριού προσδιορίστηκε, υποθέτοντας $q = 200$ λτ/κάτοικο/ημέρα, βάσει και της Κ.Υ.Α. Δ11/Φ.16/8500/91 (ΦΕΚ Β' 174) σχετικά με τον "Προσδιορισμό κατώτατων και ανώτατων ορίων των αναγκαίων ποσοτήτων για την ορθολογική χρήση νερού στην ύδρευση". Τα όρια αυτά δεν περιλαμβάνουν τις απώλειες και αναφέρονται στο σύνολο των αναγκών που εξυπηρετεί το κάθε υδρευτικό δίκτυο. Για μεμονωμένη χρήση ορίζονται σε 100 λίτρα την ημέρα, ανά κάτοικο, το κατώτατο και 200 λίτρα την ημέρα, ανά κάτοικο, το ανώτατο.

Όσον αφορά στο ποσοστό p της συνολικής χρήσης νερού που θα καλυφθεί από τα αποθέματα της ομβροδεξαμενής, αυτό προσδιορίστηκε στο 33%. Αυτό το ποσοστό αντιστοιχεί σε μη πόσιμες χρήσεις για οικιακή χρήση δηλαδή, στη χρήση νερού για τουαλέτα 26% και στην άρδευση κήπου 7%.

Η δεξαμενή όμβριων υδάτων θεωρήθηκε ότι βρίσκεται κάτω από το έδαφος. Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει μια περίληψη όλων των προσομοιωμένων περιπτώσεων.

Πίνακας 11. Περίληψη προσομοιωμένων περιπτώσεων

Αριθμός κατοίκων n	Χωρητικότητα δεξαμενής S m ³	Επιφάνεια συλλογής A m ²	Συντελεστής απορροής c	Ημερήσια κατανάλωση λτ/ημέρα/κάτοικο
2	3, 5, 10, 15, 20, 25	75, 100, 125	0,9	200
3	3, 5, 10, 15, 20, 25	75, 100, 125	0,9	200
4	3, 5, 10, 15, 20, 25	75, 100, 125	0,9	200

Στους πίνακες 12-20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου. Στην πρώτη στήλη κάθε πίνακα βλέπουμε την χωρητικότητα της δεξαμενής και στη δεύτερη το μέσο συντελεστή αποδοτικότητας της περιόδου 2013-2019. Για παράδειγμα στον πίνακα 12 είναι 50,39% για 3 μ³ δεξαμενή. Αυτό σημαίνει ότι κάποια χρονιά ο συντελεστής μπορεί να είναι 40% και κάποια 60%. Στην τρίτη στήλη παρουσιάζεται το σύνολο του νερού που καταναλώθηκε από το σύστημα συλλογής, στην τέταρτη στήλη είναι η μέση τιμή επταετίας της τρίτης στήλης, στην πέμπτη στήλη είναι η ετήσια εξοικονόμηση νερού σε αξία (προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την προηγούμενη στήλη επί 2 ευρώ/κυβικό). Στην έκτη στήλη παρουσιάζεται το κόστος κατασκευής του συστήματος ανά περίπτωση, και στην τελευταία είναι η περίοδος αποπληρωμής του συστήματος, η οποία προκύπτει από την απλή διαίρεση του συνολικού κόστους του συστήματος με το ετήσιο οικονομικό όφελος.

Πίνακας 12. Δεδομένα εισόδου: n=2 κάτοικοι, A=75 m², q=200 λτ/ημέρα/κάτοικο, p=33%

Χωρητικότητα δεξαμενής m ³	Μέσος συντελεστής αποδοτικότητας	Συνολικός όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Μέσος όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Ετήσια εξοικονόμηση νερού €	Κόστος συστήματος €	Περίοδος αποπληρωμής έτη
3	50,39%	170,03	24,29	48,58	1.750,00	36,02
5	55,04%	185,69	26,53	53,05	1.900,00	35,81
10	63,44%	214,03	30,58	61,15	2.600,00	42,52
15	69,67%	235,07	33,58	67,16	3.400,00	50,62
20	72,84%	245,76	35,11	70,22	4.300,00	61,24
25	74,77%	252,28	36,04	72,08	5.300,00	73,53

Πίνακας 13. Δεδομένα εισόδου: n=2 κάτοικοι, A=100 m², q=200 λτ/ημέρα/κάτοικο, p=33%

Χωρητικότητα δεξαμενής m ³	Μέσος συντελεστής αποδοτικότητας	Συνολικός όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Μέσος όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Ετήσια εξοικονόμηση νερού €	Κόστος συστήματος €	Περίοδος αποπληρωμής έτη
3	54,38%	183,48	26,21	52,42	1.750,00	33,38
5	59,36%	200,27	28,61	57,22	1.900,00	33,21
10	69,40%	234,14	33,45	66,90	2.600,00	38,87
15	77,87%	262,74	37,53	75,07	3.400,00	45,29
20	84,84%	286,24	40,89	81,78	4.300,00	52,58
25	89,27%	301,19	43,03	86,05	5.300,00	61,59

Πίνακας 14. Δεδομένα εισόδου: n=2 κάτοικοι, A=125 m², q=200 λτ/ημέρα/κάτοικο, p=33%

Χωρητικότητα δεξαμενής m ³	Μέσος συντελεστής αποδοτικότητας	Συνολικός όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Μέσος όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Ετήσια εξοικονόμηση νερού €	Κόστος συστήματος €	Περίοδος αποπληρωμής έτη
3	57,04%	192,46	27,49	54,99	1.750,00	31,82
5	62,31%	210,24	30,03	60,07	1.900,00	31,63
10	72,99%	246,25	35,18	70,36	2.600,00	36,95
15	82,84%	279,49	39,93	79,85	3.400,00	42,58
20	90,77%	306,25	43,75	87,50	4.300,00	49,14
25	94,33%	318,27	45,47	90,94	5.300,00	58,28

Πίνακας 15. Δεδομένα εισόδου: n=3 κάτοικοι, A=75 m², q=200 λτ/ημέρα/κάτοικο, p=33%

Χωρητικότητα δεξαμενής m ³	Μέσος συντελεστής αποδοτικότητας	Συνολικός όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Μέσος όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Ετήσια εξοικονόμηση νερού €	Κόστος συστήματος €	Περίοδος αποπληρωμής έτη
3	40,80%	206,47	29,50	58,99	1.750,00	29,67
5	44,58%	225,61	32,23	64,46	1.900,00	29,48
10	48,18%	243,81	34,83	69,66	2.600,00	37,32
15	50,15%	253,81	36,26	72,52	3.400,00	46,88
20	50,49%	255,51	36,50	73,00	4.300,00	58,90
25	50,49%	255,51	36,50	73,00	5.300,00	72,60

Πίνακας 16. Δεδομένα εισόδου: n=3 κάτοικοι, A=100 m², q=200 λτ/ημέρα/κάτοικο, p=33%

Χωρητικότητα δεξαμενής m ³	Μέσος συντελεστής αποδοτικότητας	Συνολικός όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Μέσος όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Ετήσια εξοικονόμηση νερού €	Κόστος συστήματος €	Περίοδος αποπληρωμής έτη
3	44,97%	227,58	32,51	65,02	1.750,00	26,91
5	49,69%	251,46	35,92	71,84	1.900,00	26,45
10	56,03%	283,55	40,51	81,01	2.600,00	32,09
15	60,63%	306,84	43,83	87,67	3.400,00	38,78
20	63,29%	320,33	45,76	91,52	4.300,00	46,98
25	65,27%	330,33	47,19	94,38	5.300,00	56,16

Πίνακας 17. Δεδομένα εισόδου: n=3 κάτοικοι, A=125 m², q=200 λτ/ημέρα/κάτοικο, p=33%

Χωρητικότητα δεξαμενής m ³	Μέσος συντελεστής αποδοτικότητας	Συνολικός όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Μέσος όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Ετήσια εξοικονόμηση νερού €	Κόστος συστήματος €	Περίοδος αποπληρωμής έτη
3	47,81%	241,98	34,57	69,14	1.750,00	25,31
5	53,01%	268,30	38,33	76,66	1.900,00	24,79
10	60,06%	303,93	43,42	86,84	2.600,00	29,94
15	65,81%	333,05	47,58	95,16	3.400,00	35,73
20	70,75%	358,05	51,15	102,30	4.300,00	42,03
25	75,37%	381,44	54,49	108,98	5.300,00	48,63

Πίνακας 18. Δεδομένα εισόδου: n=4 κάτοικοι, A=75 m², q=200 λτ/ημέρα/κάτοικο, p=33%

Χωρητικότητα δεξαμενής m ³	Μέσος συντελεστής αποδοτικότητας	Συνολικός όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Μέσος όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Ετήσια εξοικονόμηση νερού €	Κόστος συστήματος €	Περίοδος αποπληρωμής έτη
3	33,72%	227,53	32,50	65,01	1.750,00	26,92
5	36,63%	247,20	35,31	70,63	1.900,00	26,90
10	38,35%	258,75	36,96	73,93	2.600,00	35,17
15	38,35%	258,75	36,96	73,93	3.400,00	45,99
20	38,35%	258,75	36,96	73,93	4.300,00	58,16
25	38,35%	258,75	36,96	73,93	5.300,00	71,69

Πίνακας 19. Δεδομένα εισόδου: n= κάτοικοι, A=100 m², q=200 λτ/ημέρα/κάτοικο, p=33%

Χωρητικότητα δεξαμενής m ³	Μέσος συντελεστής αποδοτικότητας	Συνολικός όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Μέσος όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Ετήσια εξοικονόμηση νερού €	Κόστος συστήματος €	Περίοδος αποπληρωμής έτη
3	38,11%	257,16	36,74	73,48	1.750,00	23,82
5	42,68%	288,00	41,14	82,29	1.900,00	23,09
10	46,75%	315,46	45,07	90,13	2.600,00	28,85
15	48,62%	328,08	46,87	93,74	3.400,00	36,27
20	50,10%	338,08	48,30	96,60	4.300,00	44,52
25	50,44%	340,35	48,62	97,24	5.300,00	54,50

Πίνακας 20. Δεδομένα εισόδου: n=4 κάτοικοι, A=125 m², q=200 λτ/ημέρα/κάτοικο, p=33%

Χωρητικότητα δεξαμενής m ³	Μέσος συντελεστής αποδοτικότητας	Συνολικός όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Μέσος όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Ετήσια εξοικονόμηση νερού €	Κόστος συστήματος €	Περίοδος αποπληρωμής έτη
3	40,85%	275,62	39,37	78,75	1.750,00	22,22
5	46,20%	311,78	44,54	89,08	1.900,00	21,33
10	51,87%	350,03	50,00	100,01	2.600,00	26,00
15	55,76%	376,25	53,75	107,50	3.400,00	31,63
20	58,44%	394,34	56,33	112,67	4.300,00	38,17
25	59,96%	404,61	57,80	115,60	5.300,00	45,85

Αυτό το σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων προτείνεται για μη πόσιμες χρήσεις, δηλαδή για χρήση για καζανάκια και άρδευση. Μια γενική πτυχή των πινάκων είναι ότι ακόμη και για συστήματα τα οποία έχουν εγκατεστημένη δεξαμενή βρόχινου νερού χωρητικότητας 25 m³, ο μέσος συντελεστής αποδοτικότητας, Average WSE, δεν μπορεί να ικανοποιηθεί 100% ακόμη και για μη πόσιμες χρήσεις. Για παράδειγμα, ενώ για μια επιφάνεια συλλογής 100 m², με 2 χρήστες, το μέγιστο ποσοστό ζήτησης νερού που μπορεί να καλυφθεί από το νερό της βροχής που συλλέγεται είναι 34% (όπως είδαμε στο προηγούμενο σχήμα 10) ή σχεδόν 100% για μη πόσιμες χρήσεις, η ανάλυση δείχνει ότι μπορούμε να καλύψουμε τη ζήτηση νερού για μη πόσιμες χρήσεις από 54% έως 89 %. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα RWHS εξαρτάται από το βάθος βροχόπτωσης και την επιφάνεια συλλογής. Ίσως, για μια επιφάνεια συλλογής μεγαλύτερη από 150 m³ με δεξαμενή μεγαλύτερη από 30 m³ θα μπορούσε να ικανοποιήσει 100% τη ζήτηση για μη πόσιμες χρήσεις. Ωστόσο, αυτό το σύστημα μπορεί να μην είναι οικονομικά αποδεκτό.

Η έρευνα έδειξε ότι για την ίδια χωρητικότητα δεξαμενής, η αύξηση του αριθμού των χρηστών για συγκεκριμένη επιφάνεια συλλογής, δηλαδή η αύξηση της ζήτησης, μειώνει την απόδοση του συστήματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει συγκομιδή νερού εξαιτίας της χαμηλής βροχόπτωσης.

Σημειώνουμε επίσης ότι αυξάνοντας τη χωρητικότητα της δεξαμενής αυξάνεται η απόδοση του συστήματος. Όπως βλέπουμε στον πίνακα 20 χρησιμοποιώντας δεξαμενή 3 μ³ ο μέσος συντελεστής WSE είναι 40,85% και καθώς αυξάνεται η χωρητικότητα αυξάνεται και η απόδοση. Ωστόσο, αυτή η αύξηση τείνει να γίνει σταθερή χρησιμοποιώντας δεξαμενές μεγαλύτερες από 15 μ³. Ειδικά στην περίπτωση του Πίνακα 18, η απόδοση του συστήματος σταθεροποιείται στο 38,35% χρησιμοποιώντας δεξαμενές μεγαλύτερες από 10 μ³. Αυτό οφείλεται στη χαμηλή βροχόπτωση και στις μικρές λεκάνες απορροής. Δηλαδή η αύξηση της χωρητικότητας σε ένα σύστημα στο οποίο δεν υπάρχει βροχόπτωση για να συλλέξει νερό, δεν προσφέρει τίποτα.

Είναι ενδεικτικό ότι αυξάνοντας την χωρητικότητα κατά 500%, από 5 μ³ σε 25 μ³, η εξοικονόμηση νερού αυξάνεται μόνο από 4,7% ή 1,65 μ³ (από 35,31 μ³ σε 36,96 μ³ στον πίνακα 18) με μεγαλύτερη αύξηση να παρουσιάζεται με 51,41% ή 15,44 μ³ στον πίνακα 17. Η μικρή εξοικονόμηση νερού αυξάνει τις περιόδους αποπληρωμής περίπου σε 45 με 75 χρόνια. Αξιολογώντας αυτά τα αποτελέσματα, καθίσταται σαφές ότι τα μεγάλα μεγέθη δεξαμενών όμβριων υδάτων ενδέχεται να μην είναι η λύση λόγω κόστους και σίγουρα λόγω περιορισμών χώρου, ενώ υπάρχει αυξημένος κίνδυνος υποβάθμισης της ποιότητας των συλλεγόμενων βρόχινων υδάτων λόγω της μεγάλης παραμονής τους μέσα στην δεξαμενή.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων παρατηρούμε, ότι το βέλτιστο μέγεθος δεξαμενής όσον αφορά την περίοδο αποπληρωμής είναι 5 μ³ για όλες τις περιπτώσεις. Η περίοδος αποπληρωμής κυμαίνεται από 21 έως 35 χρόνια, με μέση τιμή 28 ετών ανάλογα με τα δεδομένα εισόδου. Σε κάθε περίπτωση, η εγκατάσταση συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων με δεξαμενή 5 μ³, με κόστος επένδυσης 1900 € και περίοδο αποπληρωμής 28 ετών είναι οικονομικά αποδεκτή.

5.8.1 Συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων σε σχολεία

Θεωρήθηκε σκόπιμο να εξεταστεί η εφαρμογή του συστήματος και του μοντέλο σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει χρήση νερού κυρίως την ξηρή περίοδο, δηλαδή τους καλοκαιρινούς μήνες.

Εξετάστηκε η περίπτωση δημοτικού σχολείου στο οποίο φοιτούν περίπου 100 μαθητές και δάσκαλοι σε καθημερινή βάση. Από την ανάλυση αφαιρέθηκαν οι αργίες Χριστουγέννων, Πάσχα, καλοκαιρινές διακοπές και γενικότερα όλες οι σχολικές αργίες καθώς και τα Σαββατοκύριακα.

Εξετάστηκε η σκοπιμότητα έξι διαφορετικών μεγεθών δεξαμενών βρόχινου νερού (10, 15, 20, 24, 30 και 40 m³) και επιφάνεια συλλογής 600 m².

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ζήτηση νερού για μη πόσιμες χρήσεις νοικοκυριού προσδιορίστηκε, υποθέτοντας $q = 20$ λτ/ημέρα/κάτοικο και $p = 100\%$. Αυτό το ποσοστό δηλαδή αντιστοιχεί σε όλες τις χρήσεις του νερού δηλαδή τουαλέτα, νιπτήρα και εξωτερικές χρήσεις.

Η δεξαμενή όμβριων υδάτων θεωρήθηκε ότι βρίσκεται κάτω από το έδαφος και ότι είναι αρχικά γεμάτη. Ο Πίνακας παρουσιάζει μια περίληψη όλων των προσομοιωμένων περιπτώσεων.

Πίνακας 21. Περίληψη προσομοιωμένων περιπτώσεων

Αριθμός κατοίκων n	Χωρητικότητα δεξαμενής S m ³	Επιφάνεια συλλογής A m ²	Συντελεστής απορροής c	Ημερήσια κατανάλωση λτ/ημέρα/κάτοικο
100	10, 15, 20, 24, 30, 40	600	0,9	20

Για να πραγματοποιήσουμε την οικονομική ανάλυση του συστήματος RWH, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της απαιτούμενης επένδυσης και των οφελών, καθώς και η Περίοδος Αποπληρωμής για κάθε περίπτωση. Η τιμολογιακή πολιτική είναι ίδια με την περίπτωση της οικιακής χρήσης. Ο Πίνακας 22 συνοψίζει το κόστος των στοιχείων RWHS για κάθε χωρητικότητα δεξαμενής.

Πίνακας 22. Συνολικό κόστος συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων

Χωρητικότητα δεξαμενής (m ³)	3	5	10	15	20	25
Κόστος αγοράς και τοποθέτησης δεξαμενής	1.300,00 €	2.100,00 €	2.600,00 €	3.300,00 €	4.200,00 €	5.200,00 €
Κόστος αγοράς και εγκατάστασης αντλίας και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €
Κόστος αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων απορροής όμβριων	1.600,00 €	1.600,00 €	1.600,00 €	1.600,00 €	1.600,00 €	1.600,00 €
Κόστος αγοράς εγκατάστασης φίλτρου απορροής όμβριων	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €
Συνολικό κόστος	3.700,00 €	4.500,00 €	5.000,00 €	5.700,00 €	6.600,00 €	7.600,00 €

Στον πίνακα 23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από της προσομοίωσης.

Πίνακας 23. Δεδομένα εισόδου: n=100 κάτοικοι, A=600 m², q=20 λτ/ημέρα/κάτοικο

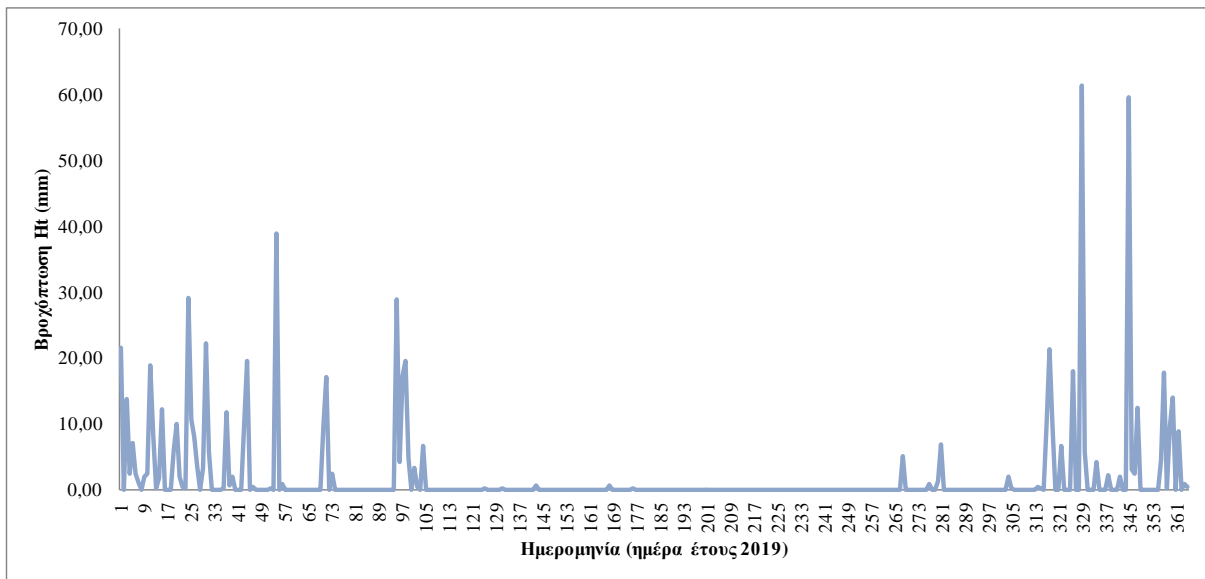
Χωρητικότητα δεξαμενής m ³	Μέσος συντελεστής αποδοτικότητας	Συνολικός όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Μέσος όγκος νερού που καταναλώθηκε m ³	Ετήσια εξοικονόμηση νερού €	Κόστος συστήματος €	Περίοδος αποπληρωμής έτη
10	46,45%	1.122,35	160,34	320,67	3.700,00	11,54
15	52,83%	1.276,45	182,35	364,7	4.500,00	12,34
20	57,37%	1.386,10	198,01	396,03	5.000,00	12,63
24	59,97%	1.448,88	206,98	413,97	5.700,00	13,77
30	63,08%	1.523,93	217,7	435,41	6.600,00	15,16
40	66,64%	1.610,00	230	460	7.600,00	16,52

Γενικά αυτό που παρατηρείται είναι ότι η απόδοση του συστήματος για όλες τις περιπτώσεις κυμαίνεται από 46% έως 66%. Αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι η περίοδος αποπληρωμής η οποία κυμαίνεται από 11 μέχρι 16 χρόνια περίπου. Είναι μια επένδυση με καλή απόδοση.

Για να καταλάβουμε καλύτερα την συμπεριφορά του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων σε σχέση με το ύψος βροχόπτωσης και την κατανομή, παρουσιάζονται τα παρακάτω διαγράμματα για την περίπτωση του σχολείου με χρήση δεξαμενής 24 m³.

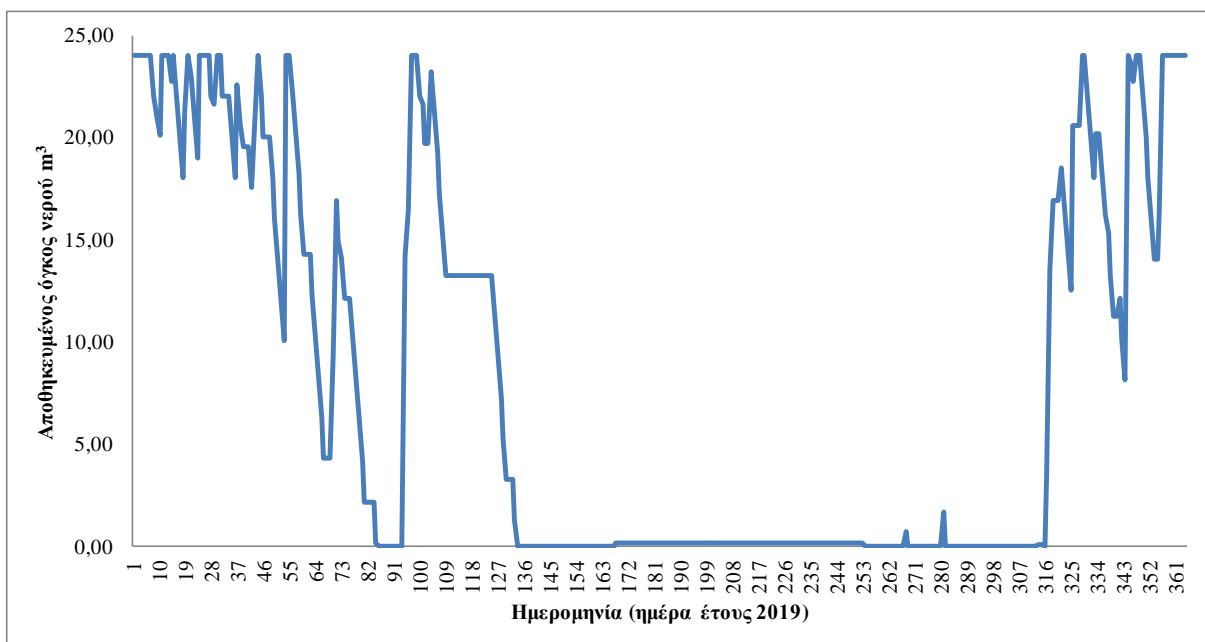
Στο Σχήμα 12 παρουσιάζεται το ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης για το έτος 2019. Η ετήσια βροχόπτωση είναι H = 685 mm, περίπου 17% μεγαλύτερη από το μέσο όρο επταετίας (H_{mean}

= 581,70 mm). Από την 120η ημέρα μέχρι την 265η ημέρα, δηλαδή από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου βροχόπτωση.



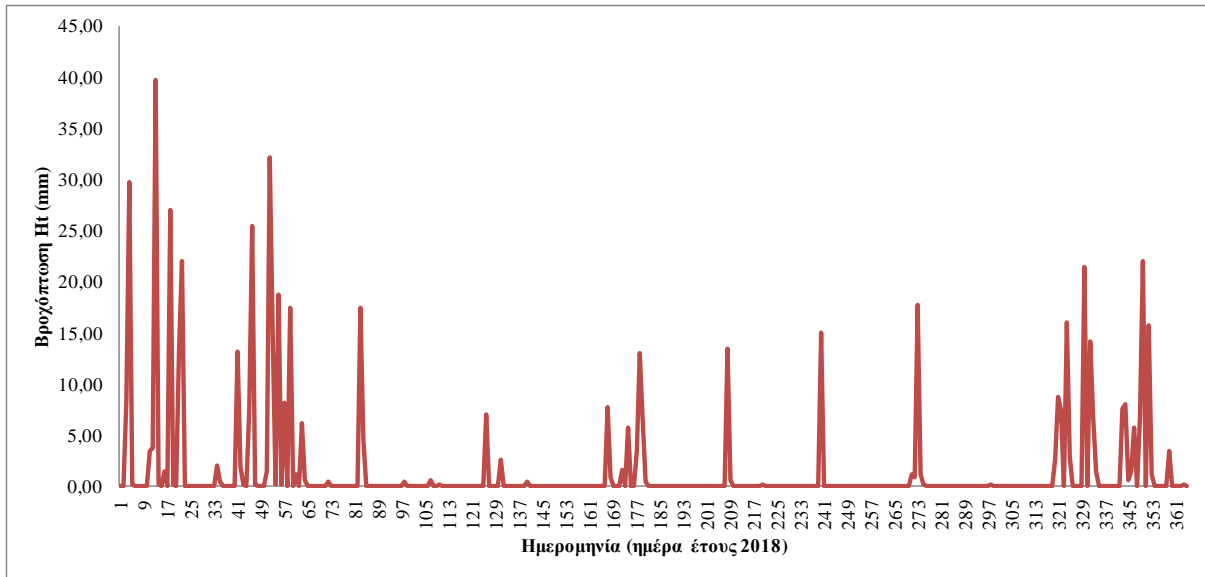
Σχήμα 12. Κατανομή ημερήσιας βροχόπτωσης έτους 2019

Στο σχήμα 13 παρατηρούμε την διακύμανση του αποθηκευμένου όγκου νερού δεξαμενής χωρητικότητας 24 m^3 , για την κάλυψη ζήτησης 100% των αναγκών δηλαδή των 20 λτ/μαθητή/ημέρα με αρχικά γεμάτη τη δεξαμενή. Βλέπουμε στη διάρκεια Μαΐου – Σεπτεμβρίου (ξηρή περίοδος) ότι ο αποθηκευμένος όγκος δεξαμενής είναι σχεδόν μηδενικός.

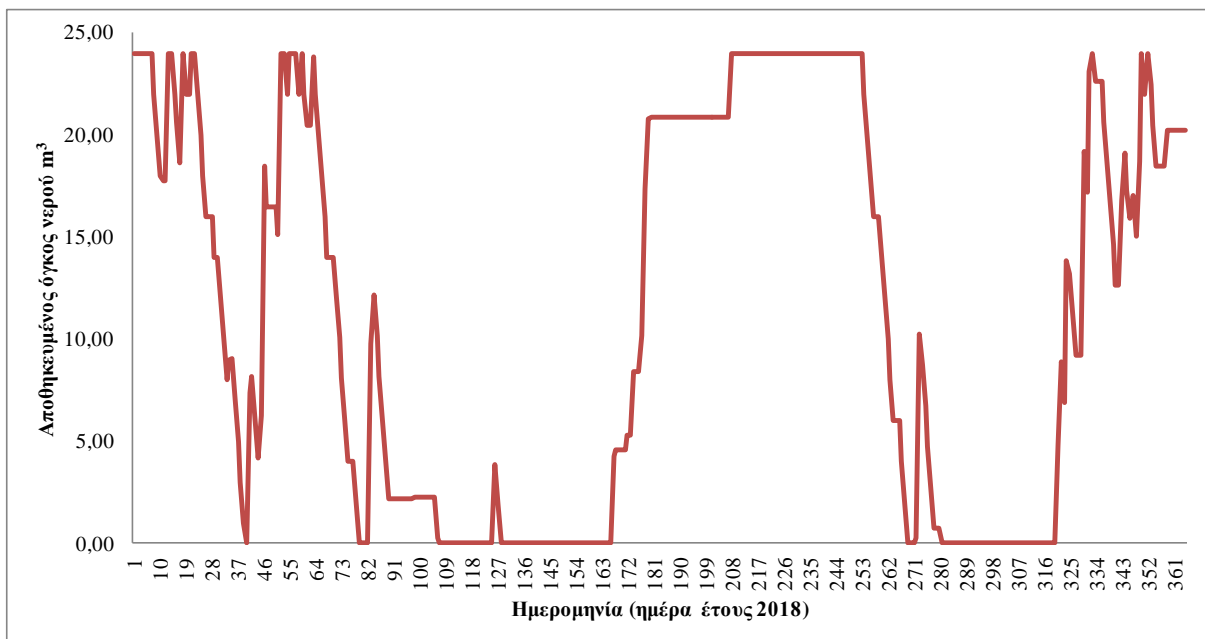


Σχήμα 13. Αποθηκευμένος όγκος νερού δεξαμενής χωρητικότητας 24 m^3

Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται το ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης για το έτος 2018. Η ετήσια βροχόπτωση είναι $H = 579.20 \text{ mm}$, περίπου ίση με το μέσο όρο επταετίας ($H_{\text{mean}} = 581,70 \text{ mm}$) αλλά μικρότερη περίπου κατά 100 mm από το έτος 2019, από την 120η ημέρα μέχρι την 265η ημέρα. Παρατηρούμε ότι την ξηρή περίοδο, δηλαδή από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο υπάρχουν βροχοπτώσεις, γεγονός το οποίο φαίνεται και στη διακύμανση του αποθηκευμένου όγκου νερού ομβροδεξαμενής στο σχήμα 15.



Σχήμα 14. Κατανομή ημερήσιας βροχόπτωσης έτους 2018



Σχήμα 15. Αποθηκευμένος όγκος νερού δεξαμενής χωρητικότητας 24 m^3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα – Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η χώρα μας διαθέτει, συνολικά, σε ετήσια βάση επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, αλλά διάφοροι λόγοι μειώνουν σημαντικά την πραγματική διαθέσιμη ποσότητα και δυσκολεύουν την αξιοποίησή τους. Πολλά μέρη της Ελλάδας παρουσιάζουν ελλειμματικό ισοζύγιο με χαρακτηριστικό παράδειγμα να αποτελούν τα νησιά του Αιγαίου. Η ανάγκη για προστασία των υδάτινων πόρων και η υιοθέτηση ενός συστήματος βιώσιμης διαχείρισης τους, καθίστανται κορυφαία προτεραιότητα.

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα της έλλειψης νερού έχει επιδεινωθεί λόγω και της εγκατάλειψης των παραδοσιακών πρακτικών διαχείρισης των υδάτων, συμπεριλαμβανομένης της συλλογής του νερού της βροχής. Σήμερα, καταβάλλεται προσπάθεια να επισημανθεί η σημασία της συλλογής όμβριων υδάτων για οικιακή και δημόσια χρήση.

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, πραγματοποιήθηκε διαστασιολόγηση δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων, με τη μέθοδο του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου. Γι' αυτό το σκοπό, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο συμπεριφοράς, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο YBS και υπολογίστηκε το βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής όμβριων υδάτων.

Μελετήθηκε η περίπτωση οικίας με αριθμό καταναλωτών 2 έως 4 και ποσοστό ικανοποίησης οικιακών αναγκών 33%, τα οποία αφορούν μη πόσιμες χρήσεις, λαμβάνοντας ως ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο τα 200 l. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν επιφάνειες συλλογής 75, 100 και 125 m².

Αντίστοιχα μελετήθηκε η περίπτωση δημοτικού σχολείου με πληθυσμό 100 ατόμων και ποσοστό ικανοποίησης αναγκών 100%, τα οποία αφορούν μη πόσιμες χρήσεις, λαμβάνοντας ως ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο τα 20 l. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε επιφάνεια συλλογής 600 m².

Και στις δυο περιπτώσεις λήφθηκαν καθημερινά βροχομετρικά δεδομένα περιόδου επταετίας 2013-2019 από σταθμό στην Κεντρική Χίο. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων.

Σε αυτή τη έρευνα, πραγματοποιήθηκε μια προκαταρκτική ανάλυση για να εκτιμηθεί η συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού της συνολικής χρήσης νερού από τα συλλεγόμενα βρόχινο νερό, της επιφάνειας συλλογής και του αριθμού των κατοίκων που εξυπηρετήθηκαν. Η εξοικονόμηση νερού έρχεται μέσα από την ολοκληρωμένη διαχείριση του νερού μειώνοντας και την ζήτηση. Παρατηρήθηκε ότι η αύξηση του ποσοστού της ημερήσιας ζήτησης νερού $p = c \cdot 0,95 \cdot (H_{\text{mean}} \cdot 10^{-3}) \cdot A / (q \cdot 10^{-3}) \cdot n \cdot 365$ προέρχεται από την μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης. Για μια οικία με 2 κατοίκους και επιφάνεια συλλογής 100 m^2 , μείωση κατά 50% της καθημερινής χρήσης νερού προκαλεί αύξηση 100% στο μέγιστο ποσοστό, p της ημερήσιας ζήτησης νερού που μπορεί να ικανοποιηθεί από τη ζήτηση νερού της βροχής.

Η εφαρμογή του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για συγκεκριμένες επιφάνειες συλλογής και καθορισμένες ανάγκες οδήγησε στον υπολογισμό του βέλτιστου μεγέθους δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων. Για την περίπτωση οικίας όπου γίνεται καθημερινή χρήση νερού, η εγκατάσταση συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων με δεξαμενή 5 m^3 , με κόστος επένδυσης 1900 € και μέση τιμή περιόδου αποπληρωμής 28 ετών είναι οικονομικά αποδεκτή. Για την περίπτωση του σχολείου, όπου δεν υπάρχει χρήση νερού κυρίως την ξηρή περίοδο, υπολογίστηκε ότι ένα σύστημα με δεξαμενή 24 m^3 μπορεί να καλύψει το 60% των αναγκών του σε νερό με κόστος 5700 € και περίοδο αποπληρωμής περίπου 14 έτη.

Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χωρητικότητα της ομβροδεξαμενής δεν μπορεί να τυποποιηθεί διότι επηρεάζεται σημαντικά από διάφορες τοπικές μεταβλητές, όπως οι τοπικές βροχοπτώσεις, οι επιφάνειες συλλογής, η ζήτηση και ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων.

Η διακύμανση στον αριθμό χρηστών στις οικίες και στις επιφάνειες συλλογής προκαλεί αλλαγή στη ζήτηση νερού και στην εισροή αντίστοιχα και τελικώς στον βέλτιστο όγκο δεξαμενής συλλογής.

Όσον αφορά τα οφέλη που σχετίζονται με την εγκατάσταση του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, έχουν ληφθεί υπόψη μόνο τα οφέλη από την εξοικονόμηση νερού. Συγκεκριμένα, το οικονομικό όφελος έχει αξιολογηθεί ως προς τη μείωση του ετήσιου λογαριασμού νερού από τις υπηρεσίες ύδρευσης. Ακόμη και αν είναι σχετικό, σε αυτήν την ανάλυση τα περιβαλλοντικά οφέλη δεν έχουν εκτιμηθεί. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών οφελών θα αυξήσουν την απόδοση του συστήματος και θα μειώσουν τους χρόνους αποπληρωμής της επένδυσης.

Η χρήση δεξαμενών βρόχινου νερού μπορεί να μειώσει τη χρήση νερού που παρέχεται χρησιμοποιώντας συμβατικές υποδομές όπως φράγματα, γεωτρήσεις κλπ. καθυστερώντας έτσι και την ακριβή κατασκευή νέων. Έχει εκτιμηθεί από τη ΔΕΥΑΧ ότι εάν το 25% των κατοίκων εγκαταστήσει σύστημα συλλογής βρόχινου νερού, το συνολικό όφελος ισοδυναμεί με την κατασκευή φράγματος με πραγματική χωρητικότητα 370.000 m³ και συνολικό κόστος περίπου 1.500.000 €.

Η επίτευξη του στόχου της διαστασιολόγησης δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων για αστική χρήση, στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, θέτει τη βάση για περαιτέρω διερεύνηση στον τομέα της διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών τόσο για αρδευτική όσο και για άλλες χρήσεις. Παράλληλα δημιουργείται η ανάγκη για διερεύνηση της οικονομικής αποδοτικότητας της κατασκευής ομβροδεξαμενών για τις χρήσεις αυτές σε συνδυασμό με το περιβαλλοντικό οφέλους που προσφέρει η χρήση ενός τέτοιου συστήματος.

Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για μελέτες περιπτώσεων σε εγκαταστάσεις με εποχική ζήτηση όπως τα κτίρια του Πανεπιστημίου ή με ζήτηση όχι καθημερινή όπως τα γραφεία.

Θεωρείται σκόπιμο να εκτιμηθεί το όφελος το οποίο θα αποκτήσει η ΔΕΥΑΧ από την χρήση των συστημάτων αυτών σε μεγάλη κλίμακα. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι στην ημερήσια κατανάλωση των 200 λτ/ημέρα/άτομο δεν περιλαμβάνονται οι απώλειες του δικτύου της ΔΕΥΑΧ οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις φθάνουν και το 50% της κατανάλωσης.

Τέλος, η όποια μελλοντική έρευνα προτείνεται να βασιστεί και σε πιο λεπτομερή στοιχεία εφαρμόζοντας ένα σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων σε σχολείο, συγκρίνοντας τα θεωρητικά με τα πρακτικά αποτελέσματα προκειμένου η αξιολόγηση επιμέρους λύσεων υδροδότησης να είναι πιο αξιόπιστη.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ξενόγλωσσες Αναφορές

Abdulla F.A.; Al-Shareef A.W, 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243, 195–207.

Aladenola, O.O., and Adeboye, O.B. 2009. Assessing the Potential for Rainwater Harvesting. *Water Resource Management*. 24, 2129-2137.

Angelakis A.N. and Koutsoyiannis D., 2003. Urban water resources management in Ancient Greek times. *The Encyclopedia of Water Science*, Stewart B.A. and Howell T. (editors), Markel Dekker Inc. Madison Ave. New York. N.Y., USA.

Angelakis A.N. and Spyridakis S.V., 1996. The status of water resources in Minoan times: A preliminary study. *Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region*. Angelakis A.N. and Issar A.S. (editors), Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.

Antoniou G., Kathijotes N. and Angelakis A.N., 2012. Historical development of the technologies on rainwater harvesting in the Hellenic Civilization. The 3rd IWA-RWHM Conference & Exhibition, 20-24 May 2012, Goseong, Korea.

Appan, A.,1999. A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable uses. *Urban Water* 1 (4), 317-321.

Australian Government, 2004. *Guidance on Use of Rainwater Tanks*. ISBN 0642824436 Publication approval number 3432(JN8304).

Basinger M., Montalto F. and Lall U., 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology*, 392: 105-118.

Campisano A. and Modica C., 2012. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63: 9-16.

Chalvatzi G.Z., Manoli E and Assimacopoulos D., 2007. Designing water pricing in the context of WFD implementation- A case study in the river basin of Anthemountas, Greece. *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology*. Kos island, Greece, 5-7 September 2007.

- Chang N., Rivera B.J. and Wanielista M.P., 2011. Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 19: 1180-1188.
- Coombes J. P., Argue R J. and Kuczera G., 2000. Figtree Place: A Case Study in Water Sensitive Urban Development (WSUD). *Urban Water* 1, 335 - 343.
- Cowden J.R., Watkins Jr.D.W. and Mihelcic J.R., 2008. Stochastic rainfall modeling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. *Journal of Hydrology*, 361: 64-77.
- Domènech, L.; Saurí, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): Social experience, drinking water savings and economic costs. *J. Clean. Prod.* 2011, 19, 598–608.
- EASAC, 2010. Groundwater in the Southern Member States of the European Union: an assessment of current knowledge and future prospects. Country report for Greece.
- Eroksuz E. and Rahman A., 2010. Rainwater tanks in multi-unit buildings: a case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 1449-52.
- Fayez A. Abdulla*, A.W. Al-Shareef, 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination* 243, 195–207.
- Falkland, A. and Custodio E. with contributions from A. Diaz Arenas and L. Simler and case studies contributed by others. 1991. *Hydrology and water resources of small islands: a practical guide. A contribution to the International Hydrological Programme, IHP-111, Project 4.6.* (Ed R. Falkland). Unesco.
- Farreny, R.; Gabarrell, X.; Rieradevall, J., 2011. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. *Resour. Conserv. Recycl.*, 55, 686–694.
- Fewkes A. and Butler D., 2000. Simulating the performance of rainwater collection systems using behavioural models? *Building Services Engineering Research and Technology*, 21(2): 99-106.
- Fewkes, A., 1999a. The use of rainwater for WC flushing: The field testing of a collection system. *Building and Environment* 34, 765-772.

- Fewkes A., 1999b. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. *Urban Water*, 1: 323-333.
- Fewkes, A., 2012. A review of rainwater harvesting in the UK. *Struct. Surv.*, 30, 174–194.
- Ghisi E. and Ferreira D.F., 2007. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-story residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(4): 2512-22.
- Ghisi E., Montibeller A. and Schmidt R., 2006. Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater: An Analysis over 62 Cities in Southern Brazil. *Building Environment* 41, 204 - 210.
- Ghisi E., Tavares D.F. and Rocha V.L., 2009. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 79-85.
- Gikas, P., and Tchobanoglous, G., 2009. Sustainable use of water in the Aegean Islands. *Journal of Environmental Management*, 90, 2601–2611.
- Gleick, P.H., επιμ. 1993. *Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources*. Oxford University Press, σελ.13, "Water reserves on the earth".
- Gleick P.H., 2003. 'Global Freshwater Resources: Soft-Path Solutions for the 21st Century', *Science*, **302**, 1524-1528.
- Guo Y. and Baetz B., 2007. Sizing of rainwater storage units for Green Building applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(2): 197-205.
- Hamid, T.A., and Nordin, B., (2011). Green campus initiative: Introducing RWH system in Kolej Perindu 3 UiTM Malaysia, 3rd International Symposium and Exhibition in Sustainable Energy Environment (ISESEE), Melaka, doi: 10.1109/ISESEE.2011.5977121.
- Herrmann T. and Schmida U., 1999. Rainwater Utilisation in Germany: Efficiency, Dimensioning, Hydraulic and Environmental Aspects *Urban Water* 1, 307–316.
- Imteaz M.A., Shanableh A., Rahman A. and Ahsan A., 2011. Optimisation of rainwater tank design from large roofs: a case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 55: 1022-1029.

- Juliana I. C., Gunawan T. A. and Litanto F. M., 2019. Feasibility Analysis of Rainwater Harvesting System Implementation for Public Facilities in Palembang Article. OP Conf. Series: Earth and Environmental Science 248.
- Jones, M.P.; Hunt, W.F., 2010. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Resour. Conserv. Recycl.*, 54, 623–629.
- Kahinda, J.M.M.; Taigbenu, A.E.; Boroto, J.R., 2007. Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. *Phys. Chem. Earth*, 32, 1050–1057.
- Kakoulas D.A., Golfinopoulos S.K., 2017. Integrated water resources management in small islands. The case study of Chios. *Proceedings of the Sixth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2017) and SECOTOX Conference.*, Thessaloniki, Greece, 25-30 June 2017, pp 358–365.
- Kaldelis J.K and Kondili E.M., 2007. “The water shortage problem in the Aegean archipelago islands: cost – effective desalination prospects”. *Desalination*, 216, pp. 123-138.
- Karavitis C. A. and Kerkides P., 2002. Estimation of the Water Resources Potential in the Island System of the Aegean Archipelago, Greece *Water International*, Volume 27, Number 2, Pages –, June 2002.
- Karim, M.R.; Bashar, M.Z.I.; Imteaz, M.A., 2015. Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting in a megacity in Bangladesh. *Resour. Conserv. Recycl.*, 104, 61–67.
- Kechagias E. and Katsifarakis K.L. 2004. Planning Water Resources Management in Small Islands. The Case of Kalymnos, Greece. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 4, 279–288.
- Kechagias E., Tselepidou K. and Katsifarakis K. L., 2003. Planning Water Resources Management In Small Islands. Typical Cases From South Aegean Greece.
- Khastagir, A.; Jayasuriya, N., 2011. Investment evaluation of rainwater tanks. *Water Resour. Manag.*, 25, 3769–3784. [CrossRef]
- Kim, K.; Yoo, C. 2009. Hydrological modeling and evaluation of rainwater harvesting facilities: Case study on several rainwater harvesting facilities in Korea. *J. Hydrol. Eng.*, 14, 545–561.

- Koumoura K.A., Feloni E.G., Londra P.A., Baltas E.A. and Tsihrintzis V.A., 2018. Uncertainty analysis in sizing rainwater harvesting tanks in an isolated island with limited water resources, *Global NEST Journal*, 20(3), 534-540.
- Kourtis I. M., Kotsifakis K. G. , Feloni E. G., Baltas E.A, 2019. Sustainable Water Resources Management in Small Greek Islands under Changing Climate. *Water* 11 (8), 1694.
- Koutsoyiannis D., Zarkadoulas N., Angelakis A.N. and Tchobanoglous G., 2008. Urban water management in Ancient Greece: Legacies and lessons. *Journal of Water Resources Planning and Management – ASCE*, 134(1): 45-54.
- Lee K.T., Lee C.D., Yang M.S. and Yu C.C., 2000. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 77(3): 343-8.
- Liaw, C.H.; Chiang, Y.C., 2014. Dimensionless Analysis for Designing Domestic Rainwater Harvesting Systems at the Regional Level in Northern Taiwan. *Water*, 6, 3913–3933.
- Liaw, C & Tsai, Y 2004. Optimum storage volume of rooftop rain water harvesting systems for domestic use. *Journal of the American Water Resources Association*, 40(4): 901–912.
- Lizárraga-Mendiola, L.; Vázquez-Rodríguez, G.; Blanco-Piñón, A.; Rangel-Martínez, Y.; González-Sandoval, M., 2015. Estimating the Rainwater Potential per Household in an Urban Area: Case Study in Central Mexico. *Water*, 7, 4622–4637.
- Matos, C.; Bentes, I.; Santos, C.; Imteaz, M.; Pereira, S., 2015. Economic analysis of a rainwater harvesting system in a commercial building. *Water Resour. Manag.*, 29, 3971–3986.
- Manoli E., Assimacopoulos D. and Karavitis C.A., 2004. Water supply management approaches using RES in the island of Rhodes, Greece.
- Mitchell V.G., 2007. How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behavior modeling. *Hydrological Processes*, 21: 2850-2861.
- Motsi, K.E.; Chuma, E.; Mukamuri, B.B., 2004. Rainwater harvesting for sustainable agriculture in communal lands of Zimbabwe. *Phys. Chem. Earth*, 29, 1069–1073.

- Mylopoulos Y., Kolokytha E., 2008. Integrated water management in shared water resources: The EU Water Framework Directive implementation in Greece. *Physics and Chemistry of the Earth* 33, 2008, 347–353.
- Notaro, V.; Liuzzo, L.; Freni, G., 2016. Reliability analysis of rainwater harvesting systems in southern Italy. *Procedia Eng.*, 162, 373–380.
- Official Journal of the European Union, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, L237 (in Greek).
- Palla, A, Gnecco, I & Lanza, L, 2011. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology*, 40(1): 65–76.
- Papadakis George, Agricultural University of Athens, Desalination and renewable energy sources, RES & ENERGY SAVING IN ISLANDS, MILOS ISLAND 23-25/10/2009.
- Savenije H.H.G., Van der Zaag P., 2008. Integrated water resources management: Concept and issues. *Physics and Chemistry of the Earth* 33, 2008, 290–297.
- Sazakli, E.; Alexopoulos, A.; Leotsinidis, M., 2007. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water Res.*, 41, 2039–2047.
- Sample, D.J., Liu, J., 2014. Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. *J. Clean. Prod.*, 75, 174–194.
- Schuetze, T., 2013. Rainwater harvesting and management—Policy and regulations in Germany. *Water Sci. Technol.*, 13, 376–385.
- Sekar I, Randhir TO (2007) Spatial assessment of conjunctive water harvesting potential in water-shed systems. *J Hydrol* 343:39–5.
- Silva-Afonso A., 2012. The importance of water efficiency in buildings in Mediterranean countries. The Portuguese approach. Residential Water Saving Action Plan. Workshop Athens, January 13, 2012.
- Song J., Han M., Kim T. and Song J., 2009. Rainwater harvesting as a sustainable water supply option in Banda Aceh. *Desalination*, 248: 233-240.

- Souza E.V. and Costa da Silva M.A., 2014. Management system for improving the efficiency of use water systems water supply. *Procedia Engineering* 70, 2014, 458 – 466.
- Stec A. and Zelenáková M. 2019. An Analysis of the Effectiveness of Two Rainwater Harvesting Systems Located in Central Eastern Europe. *Water* 11, 458.
- Stout, D.T.; Walsh, T.C.; Burian, S.J., 2017. Ecosystem services from rainwater harvesting in India. *Urban Water J.*, 14, 561–573.
- Su M., Lin C., Chang L., Kang J. and Lin Mei., 2009. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *Resources, Conservation and Recycling*, 53: 393-399.
- Taffere, G.R.; Beyene, A.; Vuai, S.A.H.; Gasana, J.; Seleshi, Y., 2016. Characterization of atmospheric bulk deposition: Implications on the quality of rainwater harvesting systems in the semi-arid city of Mekelle, Northern Ethiopia. *Environ. Process.*, 3, 247–261.
- Texas Water Development Board, 2005. *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. Third Edition, Austin, Texas.
- Thomas TH, Martinson DB (2007) *Roofwater harvesting: a handbook for practitioners*. Technical paper series, no 49, IRC International Water and Sanitation Center Delft, The Netherlands, 160 pp.
- Tsagarakis K.P., Dialynas G.E., Angelakis A.N., 2003. Water resources management in Crete (Greece) including water recycling and reuse and proposed quality criteria. *Agricultural water management, Agricultural Water management* 66, 2004, 35-47.
- Tsihrintzis V. and Baltas E., 2013. Sizing of rainwater harvesting tank for in-house water supply. 13th International Conference on Environmental Science and Technology, Athens, Greece, 5-7 September 2013.
- Tsiourtis N. X., 2003. Small islands water resources development - a holistic approach.
- Tsubo M., Walker S. and Hensley M., 2005. Quantifying risk for water harvesting under semi-arid conditions: Part I. Rainfall intensity generation. *Agricultural Water Management*, 76: 77-93.

Van der Sterren, M.; Rahman, A.; Dennis, G.R., 2013. Quality and quantity monitoring of five rainwater tanks in Western Sydney, Australia. *J. Environ. Eng.*, 139, 332–340.

Villareal E.L. and Dixon A., 2005. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40: 1174-1184.

Viollet P.-L., 2003. The predecessors of European hydraulic engineers: Minoans of Crete and Mycenaean of Greece (2100-1200 B.C.). In: XXX IAHR Congress. Theme E: Linkage Between Education Research and Professional Development in Water Engineering, August 2003, Thessaloniki, Greece.

Ward S., Memon A. and Butler D., 2011. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. *Water Science and Technology*, 61(1): 85-96.

Woltersdorf, L.; Liehr, S.; Döll, P., 2015. Rainwater harvesting for small-holder horticulture in Namibia: Design of garden variants and assessment of climate change impacts and adaptation. *Water*, 7, 1402–1421.

Worm, J., and Hattum, T., 2006. Rainwater harvesting for domestic use. Agromisa Foundation and CTA, Wageningen, Netherlands.

Worm, J., and Hattum, T. (2006). Rainwater harvesting for domestic use. Agromisa Foundation and CTA, Wageningen, Netherlands.

Zhou Y., Shao W. and Zhang T., 2010. Analysis of a Rainwater harvesting system for domestic water supply in Zhoushan, China. *Journal of Zhejiang University*, 11(5): 342-348.

http://oasis-rainharvesting.co.uk/sizing_the_tank

www.rainwaterharvesting.co.uk/downloads/TankSizeCalculator.xls

Ελληνικές Αναφορές

Γιαννουλόπουλος Π. & Λάμπας Ι., 2010. Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπογείων νερών και υδροφόρων συστημάτων της χώρας. ΙΓΜΕ.

ΕΓΥ, 2015. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου GR14, ΣΜΠΕ.

Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2000. Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής υδάτων, L327.

Καραβίτης Χ., Αγγελίδης Σ., 2005. Διαχείριση υδατικών πόρων και περιβάλλον.

Καρασαββίδη Π., 2016. Διαχείριση υδατικών πόρων σε περιβάλλον ασαφούς λογικής.

Καρασαββίδης Π., Τζιμόπουλος Χ. 2003. Εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης (Συμβιβαστικός Προγραμματισμός) στη διαχείριση υδατικών πόρων στην περιοχή Λοβαδίου Λαρίσης. Επιλογή βέλτιστης θέσης φράγματος. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΑΠΘ, σελ 113.

Κ.Π.Ε Καστοριάς 2000 - 2007. Οι δρόμοι του νερού – Η λίμνη της Καστοριάς. http://kpe-kastor.kas.sch.gr/the_lake/index.htm.

Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005. Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου.

Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2007, Κείμενο διαβούλευσης επί των προσχεδίων διαχείρισης των υδατικών πόρων των νησιών του Αιγαίου.

Κουσουρής Θ., 2007. Υδατικοί Πόροι (Προέλευση, Ταξινόμηση, Κατανομή, Αποθέματα, Υγρότοποι, Αξιοποίηση, Διαχείριση).

Κουτσογιάννης Δ., Ανδρεαδάκης Α., Μαυροδήμου Ρ., Χριστοφίδης Α., Μαμάσης Ν., Ευστρατιάδης Α., Κουκουβίνος Α., Καραβοκυρός Γ., Κοζάνης Σ., Μαμάης Δ., Νουτσόπουλος Κ. (2008), Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ., Αθήνα 1999. Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, Αθήνα Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κωνσταντοπούλου Φ., 2012. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Βελτιστοποίηση της ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων σε νησιά του Αιγαίου.

Λαζαρίδης Λ., Μίχας Σ., Περλέρος Β., 2010. Η διαχείριση των Υδατικών πόρων – Το Θεσσαλικό πρόβλημα - Παρόν και προοπτικές.

Προσχέδιο Διαχείρισης ΥΔ Νήσων Αιγαίου, 2014.

Σαμπατακάκης Π., 2001. Υπόγεια νερά – Το παρόν και το μέλλον στα νησιά του Αιγαίου, Πάρος.

Σκούλος Μ., Αλάμπεη Α., Βαζαίου Σ., Μαλωτίδη Β., Μπουλουζή Α., 2003. Το νερό στη Μεσόγειο.

Στουρνάρας Γ., Νάστος Π., Γιόξας Γ., Ευελπίδου Ν., Βασιλάκης Ε., Παρτσινέβελου Σ., Ηλιόπουλος Β., 2011. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά σώματα του Ελλαδικού χώρου.

Τζιμόπουλος Χρ., 2002. Το πρόβλημα της Λειψυδρίας, Γεωγραφίες Νο3, Θεσσαλονίκη.

Τσακίρης Γ., 2001. Διαχείριση υδατικών Πόρων για την ειρήνη την ανάπτυξη και το περιβάλλον. Συμπόσιο «Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη Ανάπτυξη», Πάρος.

Τσίφτης Ε., 2001. Αντιμετώπιση των υδρευτικών προβλημάτων των νησιών του Αιγαίου. Συμπόσιο «Αιγαίο – νερό – βιώσιμη ανάπτυξη», Πάρος.

Τσόγκας Χ.Ε., 2001. Η διαχείριση της κατανάλωσης μονόδρομος για την αειφόρο ανάπτυξη. Συμπόσιο «Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη Ανάπτυξη», Πάρος.

ΦΕΚ 1132, 2006. Χορήγηση παρεκκλίσεων.