



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ-ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΡΟ, ΒΙΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ»

Διπλωματική εργασία

Τίτλος

«ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ
ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ,
ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΟΥΡΝΟΙ ΙΚΑΡΙΑΣ»

Συγγραφέας

Κωνσταντίνα Μαρία Αποστόλου

ΑΜ: 7114142200015

Επιβλέπουσα

Ελισάβετ Φελώνη

Θεσσαλονίκη, Μάρτιος, 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ-ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΡΟ, ΒΙΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ»

Master Thesis

Title

**«SIMULATION OF A RAINWATER HARVESTING SYSTEM UNDER
CLIMATE CHANGE CONDITIONS. THE CASE OF FOURNI ISLAND»**

Student name and surname:

Apostolou Konstantina Maria

Registration Number: 7114142200015

Supervisor:

Elissavet Feloni

Thessaloniki, March ,2024

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ, ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΟΥΡΝΟΙ ΙΚΑΡΙΑΣ**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/A	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ
1	Ελισσάβητ Φελώνη	Επιβλέπουσα, Διδάσκουσα ΔΠΜΣ
2	Παναγιώτης Νάστος	Καθηγητής ΕΚΠΑ
3	Παντελεήμων Ξόφης	Αναπληρωτής Καθηγητής ΔΙΠΑΕ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Αποστόλου Κωνσταντίνα Μαρία του Αναστασίου, με αριθμό μητρώου 7114142200015, φοιτήτρια του ΔΠΜΣ «Νερό, Βιόσφαιρα και Κλιματική Αλλαγή», δηλώνω υπεύθυνα πως: «Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Αποστόλου Κωνσταντίνα Μαρία

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	7
Επεξήγηση Μονάδων Μέτρησης	8
Ακρωνύμια.....	9
Κατάλογος Πινάκων	10
Κατάλογος Σχημάτων	11
Περίληψη.....	13
Abstract	14
1.Εισαγωγή	15
1.1. Υδάτινοι Πόροι	15
1.1. Υδατικά αποθέματα στον πλανήτη	20
1.2. Αντικείμενο εργασίας	22
1.3. Διάρθρωση τεύχους	23
2.Σύστημα Συλλογής Όμβριων Υδάτων.....	24
2.1. Συλλογή Όμβριων Υδάτων.....	24
2.2. Ιστορική Αναδρομή	26
2.3. Κατασκευή και περιγραφή συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.....	29
2.4. Κοστολόγηση ομβροδεξαμενών και εξαρτημάτων	39
2.5. Τοποθέτηση προβλήματος	41
3.Περιοχή Μελέτης	42
3.1. Φούρνοι Ικαρίας.....	42
3.2. Ιστορία της περιοχής μελέτης	44
3.3. Πληθυσμιακά και Δημογραφικά Στοιχεία	45
3.4. Υδροδότηση.....	46
3.5. Γεωγραφικά και Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά (γεωγραφικές, γεωλογικές, υδρογεωλογικές συνθήκες).....	47
3.6. Κλιματικά χαρακτηριστικά.....	47
3.7. Προστατευόμενες περιοχές	52
4. Μοντέλο Προσομοίωσης λειτουργίας συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.....	60
4.1. Μοντέλο-Θεωρία.....	60
4.2. Καθορισμός σεναρίων για την ιστορική χρονοσειρά.....	64
4.3. Ενδεικτική προσομοίωση	65
4.4. Διερεύνηση ομβροδεξαμενής-σενάρια	70

4.5. Αξιολόγηση συστήματος με στόχο κάλυψης 40% και 50%	72
4.6. Αξιολόγηση συστήματος υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής.....	84
5. Συμπεράσματα	87
5.1. Σύνοψη	87
5.2. Συμπεράσματα	88
5.3. Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες	88
Βιβλιογραφικές Αναφορές	89
Ελληνική βιβλιογραφία	89
Αγγλική βιβλιογραφία	89
Ηλεκτρονική	91

Ευχαριστίες

Στο πλαίσιο της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την τριμελή επιτροπή και ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κυρία Ελισσάβετ Φελώνη, για την εμπιστοσύνη της στην ανάθεση του θέματος, την καθοδήγησή της σε όλη την διάρκεια αυτής της διαδικασίας και την άψογη συνεργασία που είχαμε. Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, κ. Π. Νάστο, Καθηγητή ΕΚΠΑ, και κ. Π. Ξόφη, Αναπλ. Καθ. ΔΙΠΑΕ για τις συμβουλές, τις επισημάνσεις τους και την υποστήριξη της διαδικασίας συνολικά.

Ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου και την οικογένειά μου, για την υποστήριξή τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Αποστόλου Κωνσταντίνα Μαρία

Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2024

Επεξήγηση Μονάδων Μέτρησης

Μήκους (L):

- ❖ m : μέτρο
- ❖ mm : χιλιοστό
- ❖ km : χιλιόμετρο

Επιφάνειας (A):

- ❖ mm² : τετραγωνικά χιλιοστά
- ❖ m² : τετραγωνικά μέτρα

Όγκου (V):

- ❖ l : λίτρο
- ❖ m³ : κυβικό μέτρο
- ❖ cm³ : κυβικά εκατοστά

Χρόνου (t):

- ❖ sec : δευτερόλεπτα
- ❖ min : λεπτά (= 60 sec)

Παροχής (Q):

- ❖ l/sec : λίτρα ανά δευτερόλεπτο
- ❖ m³/h : κυβικά μέτρα ανά ώρα

Ζήτησης (D):

- ❖ m³/capita/day : κυβικά μέτρα κατά κεφαλή ανά ημέρα
- ❖ l/capita/day : λίτρα κατά κεφαλή ανά ημέρα

Ακρωνύμια

ΕΥΔΑΠ	Εταιρία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΟΦΥΠΕΚΕ	Οργανισμός Φυσικού Περιβάλλοντος και κλιματικής αλλαγής
ΣΒΑ	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης
ΥΔ	Υδατικό Διαμέρισμα
ED	Electrodialysis
EDR	Electrodialysis Reversal
MVC	Mechanical Vapor Compression
MSF	Multistage Flash Distillation
PPM	Parts Per Million
RWH	Rainwater Harvesting
RO	Reverse Osmosis
TVC	Thermal Vapor Compression
UNEP	United Nations Environmental Program

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Παγκόσμια κατανομή νερού (Πηγή: Μεσόγειος, 2012)	16
Πίνακας 2 Ποσοστό νερού για αστική, βιομηχανική και γεωργική χρήση στην Ευρώπη, Αμερική, Αφρική και Ασία (Πηγή: Γεωργόπουλος 2001)	17
Πίνακας 3 Ενδεικτικές τιμές για στέγες (Πηγή: Kinkade-Levario, 2007 και UNEP, 2009)	32
Πίνακας 4 Πλαστικές δεξαμενές νερού (Πηγή: https://enflow.gr/proionta/systimata-sylogis-apostraggisis-nerou/rainwater/)	35
Πίνακας 5 Κόστος τοποθέτησης πλαστικής δεξαμενής (Πηγή: http://www.mytherm.gr)	39
Πίνακας 6 Ενδεικτικό κόστος αγοράς (Πηγή: http://www.mytherm.gr)	40
Πίνακας 7 Κοστολόγηση εξαρτημάτων (Πηγή: http://www.mytherm.gr)	40
Πίνακας 8 Μόνιμος πληθυσμός στην περιοχή μελέτης (Πηγή: https://www.statistics.gr/) ...	46
Πίνακας 9 Ποσοστά βλάστησης (Πηγή: Μπέρτσιου, 2016)	47
Πίνακας 10 Χαρακτηριστικά των περιοχών Corine και των βιοτόπων Natura (Πηγή: Μπέρτσιου, 2016)	59
Πίνακας 11 Συγκεντρωτικός πίνακας τύπων που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση (Πηγή: Τζανιδάκης, 2021)	60
Πίνακας 12 Πίνακας Τιμές του συντελεστή απορροής (C) για διαφορετικές επιφάνειες συλλογής (Πηγή: Kinkade - Levario, 2007 και UNEP, 2009)	61
Πίνακας 13 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων για την ιστορική χρονοσειρά (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	64
Πίνακας 14 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων για την ιστορική χρονοσειρά, με στόχο κάλυψης 40% και 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	73

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 Α) Ημερήσια βροχόπτωση , για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	65
Σχήμα 2 Β) Καθαρή βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	66
Σχήμα 3 Γ) Αθροιστική ζήτηση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	66
Σχήμα 4 Δ) Αποθηκευμένος όγκος, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	67
Σχήμα 5 Ε) Daily draft, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	67
Σχήμα 6 ΣΤ) Σ(In-Out), για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	68
Σχήμα 7 Ζ) ΔS=I-O, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	68
Σχήμα 8 Η) Απόθεμα στη δεξαμενή, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	69
Σχήμα 9 Θ) Υπερχείλιση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	69
Σχήμα 10 Ι) Αθροιστική βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	70
Σχήμα 11 Διερεύνηση σεναρίων για οικία με δύο μέλη (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	70
Σχήμα 12 Διερεύνηση σεναρίων για οικία με τέσσερα μέλη (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	71
Σχήμα 13 Διερεύνηση σεναρίων για οικία με δύο μέλη (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	71
Σχήμα 14 Διερεύνηση σεναρίων για οικία με τέσσερα μέλη (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	72
Σχήμα 15 Συμπεριληπτική Διερεύνηση σεναρίων για οικία με 2 μέλη, για ποσοστά κάλυψης 30%, 40%, 50%	74
Σχήμα 16 Α) Ημερήσια βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	75
Σχήμα 17 Β) Καθαρή βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	75
Σχήμα 19 Γ) Αθροιστική βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	76
Σχήμα 18 Δ) Αποθηκευμένος όγκος, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	76
Σχήμα 20 Ε) Daily draft, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	77
Σχήμα 21 ΣΤ)Αθροιστική ζήτηση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	77

Σχήμα 23 Ζ) Σ(In-Out), για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	78
Σχήμα 22 Η) ΔS=I-O, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	78
Σχήμα 24 Θ) Απόθεμα στη δεξαμενή, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	79
Σχήμα 25 Ι) Υπερχείλιση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	79
Σχήμα 26 Α) Ημερήσια βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	80
Σχήμα 27 Β) Καθαρή βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	80
Σχήμα 29 Γ) Αθροιστική βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	81
Σχήμα 28 Δ) Αποθηκευμένος όγκος, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	81
Σχήμα 30 Ε) Daily draft, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	82
Σχήμα 31 ΣΤ) Αθροιστική ζήτηση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)	82
Σχήμα 32 Ζ) Σ(In-Out), για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	83
Σχήμα 33 Η) ΔS=I-O, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	83

Περίληψη

Το βρόχινο νερό και η εκμετάλλευσή του, ήταν ανέκαθεν αναγκαίο για τον άνθρωπο και τη ζωή του. Λόγω της κλιματικής αλλαγής, πλέον οι άνθρωποι έρχονται αντιμέτωποι, από την μία με μεγάλες περιόδους ξηρασίας και καύσωνα και από την άλλη με ισχυρές βροχοπτώσεις και πλημμύρες. Ως εκ τούτου, είναι φανερό πως είναι απαραίτητη η σωστή διαχείριση όμβριων υδάτων.

Σε περιοχές με περιορισμένο υδατικό δυναμικό όπως τα ελληνικά νησιά, διαπιστώνεται μεγάλο πρόβλημα με την κάλυψη των αναγκών τόσο των μόνιμων κατοίκων όσο και των τουριστών, που κατά τη διάρκεια της τουριστικής περιόδου επιβαρύνουν το δίκτυο ύδρευσης. Ως λύση προτείνονται τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων. Η συλλογή βρόχινου νερού, η αποθήκευση και η αξιοποίησή του έχει περιβαλλοντικά αλλά και οικονομικά οφέλη.

Σε αυτήν την διπλωματική εργασία πραγματοποιείται η προσομοίωση ενός τέτοιου συστήματος για την περιοχή μελέτης Φούρνοι Ικαρίας. Διερευνήθηκαν ρεαλιστικά σενάρια και εξετάστηκε η αποδοτικότητα του συστήματος με στόχο κάλυψης 30% και εν συνέχεια με στόχους κάλυψης 40% και 50%. Τέλος εξετάστηκε και η αποδοτικότητα του συστήματος υπό σενάρια κλιματικής αλλαγής, μέσω RCP4.5 και δυσμενές RCP8.5. Συμπερασματικά, έγινε σύγκριση στον συντελεστή αξιοπιστίας των παραπάνω σεναρίων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία βοηθά στην αξιολόγηση αντίστοιχων συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων. Τα αποτελέσματά της αποδεικνύουν πως ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση ειδικά σε περιοχές με ευνοϊκό βροχομετρικό καθεστώς. Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων είναι μια οικολογική και οικονομική λύση που θα έπρεπε να αξιοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό.

Λέξεις κλειδιά: Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, βρόχινο νερό, κλιματική αλλαγή, στόχος κάλυψης, RCP, αποδοτικότητα, ποσοστό αξιοπιστίας, Φούρνοι Ικαρίας.

Abstract

Rainwater and its exploitation have always been necessary for humans and their lives. Due to climate change, people are facing, on the one hand, long periods of drought and heat, and on the other hand, heavy rains, and floods. The right management of rainwater is necessary.

In areas with limited water potential such as the Greek islands, there is a big problem with meeting the needs of both residents and tourists, who during high season burden the water supply network. Rainwater harvesting (RWH) systems are proposed as a solution. Rainwater collection, storage and utilities has environmental and economic benefits.

In this MSc thesis, a simulation of such system is carried out for the study area named Fourni Island. Realistic scenarios were investigated, and the efficiency of the system was examined with a coverage target of 30% and of 40% and 50%. Finally, the efficiency of the system was examined under climate change scenarios (RCP4.5 and RCP8.5). In conclusion, a comparison was made of the reliability coefficient of the above scenarios.

This thesis helps to evaluate respective rainwater harvesting systems. Its results prove that such a RWH system, can be a sustainable solution especially in areas with a favorable rainfall regime. Rainwater harvesting systems are an ecological and economical solution that should be used to a greater extent.

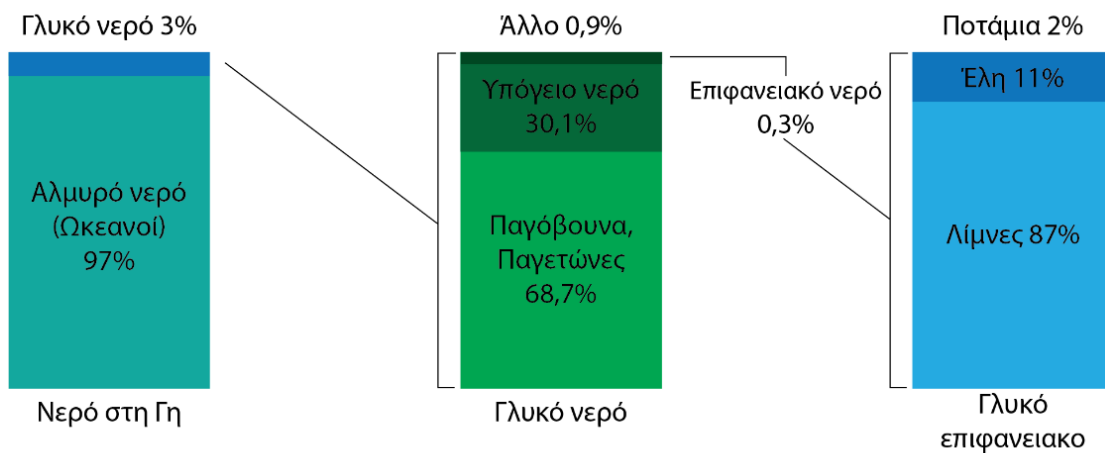
Keywords: Rainwater harvesting systems (RWH) , rainwater, climate change, RCP, efficiency, accuracy rate, reliability rate, Fourni Korseon.

1.Εισαγωγή

1.1. Υδάτινοι Πόροι

Το νερό είναι ένα από τα πλέον θεμελιώδη δομικά στοιχεία της φύσης. Αποτελεί σημαντικό μέρος του περιβάλλοντος και του οικοσυστήματος που ζούμε και έχει ρόλο συντηρητή και μέσου εξέλιξης της ζωής.

Παγκόσμια κατανομή νερού



Εικόνα 1 Εικόνα Παγκόσμια κατανομή νερού (Πηγή : Προσωπικό αρχείο)

Παρατηρώντας από ψηλά τον πλανήτη Γη, φαίνεται πως το χρώμα που κυριαρχεί είναι το μπλε, άρα το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη μπορεί κανείς εύκολα να θεωρήσει ότι καλύπτεται από νερό. Το νερό καλύπτει το 71% της συνολικής επιφάνειας της γης εκ του οποίου το 96.5% καταλαμβάνεται από θάλασσες και ωκεανούς. Επομένως μόλις το 3.5% είναι γλυκό νερό (το 30% του οποίου είναι σε αξιοποιήσιμη μορφή υδάτινων πόρων καθώς το υπόλοιπο 70% είναι παγωμένο). Είναι προφανές πως η ποσότητα νερού στον πλανήτη που είναι διαθέσιμη είναι αρκετά περιορισμένη και πρόκειται κυρίως για επιφανειακό νερό καλής ποιότητας και για υπόγεια νερά που μπορούν να αντληθούν.

Το νερό είναι επίσης ένας ανεξάντλητος πόρος εξαιτίας της ανακύκλωσης του στον υδρολογικό κύκλο. Ο υδρολογικός κύκλος, γνωστός και ως «κύκλος του νερού», είναι το φυσικό σύστημα ανακύκλωσης του νερού στη γη. Το νερό εξατμίζεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας, κυρίως από τη θάλασσα, αλλά και από τις λίμνες, κ.ά. Επίσης, το νερό εξατμίζεται από τα φύλλα των φυτών (διαπνοή). Καθώς οι υδρατμοί ανεβαίνουν στην ατμόσφαιρα, ψύχονται, συμπυκνώνονται και επιστρέφουν στη στεριά και τη θάλασσα ως ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, δηλαδή ως βροχή, χιόνι, χαλάζι, κ.λπ. Οι κατακρημνίσεις που πέφτουν στη γη σχηματίζουν απορροές πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και έτσι δημιουργούν ρυάκια, καταλήγουν σε λίμνες και ποτάμια, κ.λπ. Μέρος τους διεισδύει στο έδαφος και κινείται καθοδικά μέσα από τις τομές του σχηματίζοντας τους υδροφορείς. Τέλος, ένα μέρος του επιφανειακού και του υπόγειου νερού καταλήγει στη θάλασσα. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του το νερό μετατρέπεται σε όλες τις φάσεις του: αέριο, υγρό και στερεό (Μεσόγειος, 2012).

Πίνακας 1 Παγκόσμια κατανομή νερού (Πηγή: Μεσόγειος, 2012)

Εκτίμηση Παγκόσμιας κατανομής νερού			
Μορφή Νερού	Όγκος, (m ³)	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
Γλυκες	91.000	0,26	0,007
Γλυκες Αλμυρές	85.400		0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Ελη	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

Η αξία του νερού για τον άνθρωπο όπως φυσικά και για όλα τα έμβια και άβια όντα είναι τεράστια. Αποτελεί πηγή ζωής μέσα από βασικές λειτουργίες που εκτελεί, από την τροφή του, τον αέρα που αναπνέει, μέχρι το νερό που πίνει. Αυτοί είναι και οι κυριότεροι λόγοι που πολιτισμοί ολόκληροι έχουν στηθεί πλάι στο υδάτινο στοιχείο. Από τις απαρχές των πολιτισμών, το νερό είχε πρωταρχικό ρόλο στην δημιουργία και μετέπειτα στην εξέλιξή τους. Οι πρώτοι πολιτισμοί σημειώθηκαν σε περιοχές κοντά σε νερό, όπου το νερό χρησιμοποιούταν σε άρδευση, καλλιέργεια, μεταφορά εμπορευμάτων. Με την πάροδο των ετών και την εξέλιξη των πολιτισμών, το νερό είχε βασικό ρόλο στην θρησκεία του εκάστοτε πολιτισμού και στην τέχνη. Η αυξημένη ζήτησή του και η αντιμετώπισή του ως ανεξάντλητο αγαθό από τον άνθρωπο, οδήγησε στην υποβάθμιση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες, από τους πρώτους πολιτισμούς έως και σήμερα, βασίζονται στους υδατικούς πόρους. Τέτοιες δραστηριότητες είναι η ύδρευση, η άρδευση, η μεταφορά αγαθών, αργότερα η παραγωγή ενέργειας, όπως η υδροηλεκτρική. Η διαχείριση τους έχει ως στόχο: (Τζανιδάκης, 2021)

- ❖ Να προμηθεύει νερό επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας για την ικανοποίηση οικιακών, αγροτικών, βιομηχανικών και ενεργειακών αναγκών στο παρόν και στο μέλλον
- ❖ Τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου.
- ❖ Τη βελτίωση της ποιότητας ζωής.
- ❖ Τη διατήρηση των εθνικών πόρων.
- ❖ Τη διατήρηση και βελτίωση της περιβαλλοντικής ποιότητας.
- ❖ Να παρέχει ικανοποιητική προστασία από τα ακραία υδρολογικά φαινόμενα (πλημμύρες, ξηρασία).

1.1.1. Χρήσεις του νερού

Οι χρήσεις του νερού στον πλανήτη χωρίζονται σε αστικές, γεωργικές και βιομηχανικές. Παγκοσμίως η βιομηχανία απορροφά το 23% της κατανάλωσης του νερού, το 69% από την γεωργία, ενώ μόλις το 8% απορροφάτε από τις αστικές χρήσεις. Αναλυτικότερα στον πίνακα 2, φαίνεται το ποσοστό νερού για αστική, βιομηχανική και γεωργική χρήση στην Ευρώπη, Αμερική, Αφρική και Ασία.

Πίνακας 2 Ποσοστό νερού για αστική, βιομηχανική και γεωργική χρήση στην Ευρώπη, Αμερική, Αφρική και Ασία (Πηγή: Γεωργόπουλος 2001)

	ΑΣΤΙΚΗ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ	ΓΕΩΡΓΙΚΗ
ΕΥΡΩΠΗ	11%	55%	34%
ΑΜΕΡΙΚΗ	9%	42%	49%
ΑΦΡΙΚΗ	6%	4%	90%
ΑΣΙΑ	7%	8%	85%

Στην βιομηχανία χρησιμοποιείται ως διαλύτης ουσιών, ή ως ψυκτικό μέσο. Οι χώρες με τις μεγαλύτερες ποσότητες κατανάλωσης νερού βιομηχανικής χρήσης είναι οι ΗΠΑ, η Ιαπωνία, η Γερμανία και η Κίνα. Η βιομηχανική κατανάλωση νερού αυξάνεται συνέχεια και υπολογίζεται ότι θα φτάσει το 26% παγκοσμίως. Στην γεωργία η άρδευση απορροφά επίσης μεγάλες ποσότητες νερού. Οι μεγαλύτερες αρδευόμενες εκτάσεις του κόσμου βρίσκονται στην Ασία και τη Β. Αμερική (Γεωργόπουλος, 2001).

1.1.2. Υδάτινοι πόροι στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μία μεσογειακή χώρα, πλούσια σε νερό. Η έκτασή της είναι 131957 km² και έχει έντονο ανάγλυφο και μεγάλο ανάπτυγμα ακτών. Διαθέτει συνολικά, σε ετήσια βάση ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, που εκτιμώνται σε 116.330 hm³/έτος, ενώ το συνολικό υδατικό δυναμικό εκτιμάται κατά προσέγγιση σε 57.100 hm³/έτος, στα οποία περιλαμβάνονται τα νερά που εισρέουν από γειτονικές χώρες. Η συνολική κατανάλωση υπολογίζεται σε 8.243 hm³/έτος. Σαν χώρα έχει σχετικά υψηλή κατά κεφαλήν διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων, αν και πολλές περιοχές της αντιμετωπίζουν προβλήματα διαχείρισης. Παρατηρείται χωρική ανισοκατανομή της βροχόπτωσης με τιμές από 394mm στα ανατολικά της χώρας έως και 1200 mm στα δυτικά της χώρας. Έτσι, η δυτική Ελλάδα με έκταση που καταλαμβάνει το 24% της χώρας δέχεται το 36% των συνολικών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ενώ ακόμα μεγαλύτερη είναι η διαφοροποίηση στα ποσοστά της επιφανειακής απορροής (Londra, 2015).

Εκτός από την χωρική ανισοκατανομή, υπάρχει και ανομοιόμορφη χρονική κατανομή των υδάτινων πόρων. Αυτό σημαίνει πως συγκεντρώνονται οι βροχοπτώσεις κατά την 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 (Londra, 2015). Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως ο βασικός καταναλωτής νερού στην Ελλάδα είναι η γεωργία με ποσοστό 84%, καταναλώνοντας νερό κατά την ξηρή περίοδο. Κυρίως στα νησιά της χώρας, το πρόβλημα της υδατικής ανεπάρκειας είναι έντονο. Ειδικά τους ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες, κυρίως τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, η ζήτηση διπλασιάζεται λόγω του

τουρισμού όπου υπάρχει αυξημένη κατανάλωση. Σαφώς στο πρόβλημα δόθηκαν βραχυπρόθεσμες λύσεις, όπως η μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία κατά τους θερινούς μήνες, μία λύση δαπανηρή για τον προϋπολογισμό του κράτους με συνολικό κόστος να ανέρχεται στα 12 ευρώ ανά κυβικό νερού, αλλά και ζημιογόνα για το περιβάλλον. Άλλη μία λύση είναι η δημιουργία φραγμάτων, το ανάγλυφό τους προκαλεί δυσκολία στην κατακράτηση του νερού. Ακόμη μία λύση είναι η δημιουργία μονάδων αφαλάτωσης, οι οποίες μπορούν να καλύψουν ένα πολύ μεγάλο μέρος των αναγκών σε νερό, έχοντας όμως περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αναφορικά θα αναφερθούν κάποια βασικά χαρακτηριστικά τους παρακάτω.

Θέλοντας να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα της αυξημένης ζήτησης, δημιουργήθηκε η ανάγκη συλλογής και εκμετάλλευσης βρόχινου νερού. Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι τα συστήματα συλλογής βρόχινου νερού, εφαρμόζονται από την αρχαιότητα και επέδειξαν αντοχή στο χρόνο και εξαιρετική προσαρμοστικότητα στις ξεχωριστές υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Αναφορικά με την εφαρμογή ανάλογων συστημάτων, ως τα μέσα του εικοστού αιώνα, αρκετά νοικοκυριά, ειδικά σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, είχαν υπόγειες υδατοδεξαμενές συλλογής και αποθήκευσης νερού. Τις τελευταίες δεκαετίες αυτός ο τρόπος αποθήκευσης εξαλείφθηκε γιατί αναπτύχθηκε και έφθασε παντού το δίκτυο υδροδότησης. Έτσι σήμερα εξετάζεται το σενάριο, οι τότε παραδοσιακές στέρνες και τεχνικές των «παλαιών», να επιστρέψουν πλέον ως σύγχρονες στέρνες, ιδιαίτερα για τις οικίες των μικρών νησιών, όπως είναι και η περιοχή μελέτης, ώστε να συμβάλλουν στην κάλυψη των ημερήσιων αναγκών των κατοίκων σε νερό. (Τζανιδάκης, 2021)

Αφαλάτωση

Όπως φαίνεται και ετυμολογικά (από+ αλάτ(ι)), αφαλάτωση είναι η διεργασία διαχωρισμού νερού και αλάτων στα υδατικά διαλύματα. Αφαλάτωση χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Αποτελεί μέθοδο ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό και υφάλμυρο υπόγειο νερό. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή καθαρού νερού, για διαφορετικές χρήσεις, οικιακή χρήση, πόσιμο νερό, αγροτική και βιομηχανική χρήση. Η διαδικασία της αφαλάτωσης ήταν γνωστή από την αρχαία Ελλάδα, έχει μελετηθεί από τον Αριστοτέλη γύρω στο 350 π.Χ. και έχουν βρεθεί μικρές συσκευές απόσταξης θαλασσινού νερού, τις οποίες χρησιμοποιούσαν οι ναυτικοί στα μεγάλα τους ταξίδια.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για αφαλάτωση. Το κόστος του αφαλατωμένου νερού είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος του φυσικού νερού. Αυτό οφείλεται κυρίως στις κοστοβόρες διαδικασίες, οι οποίες απομακρύνουν τα άλατα από το νερό ή το αντίστροφο. Κατάλληλο ως πόσιμο νερό θεωρείται αυτό που περιέχει λιγότερα από 500 ppm (μέρη στο εκατομμύριο) ολικά διαλυτά στερεά. Υφάλμυρο θεωρείται το νερό στο οποίο τα ολικά διαλυτά στερεά είναι μέχρι 10.000 ppm, ενώ το θαλασσινό νερό περιέχει από 10.000 μέχρι και περίπου 42.000 ppm. Ενδεικτικά να αναφερθεί πως στη Νεκρά Θάλασσα τα ολικά διαλυτά στερεά αγγίζουν τα 220.000 ppm (Delyianni E. and B. Belessiotis, 1995).

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σήμερα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στις μεθόδους εξάτμισης και στις μεθόδους μεμβρανών. Οι μέθοδοι εξάτμισης χρησιμοποιούνται σήμερα κυρίως σε Πετρελαιοπαραγωγικές χώρες της Μέσης Ανατολής που διαθέτουν ενεργειακούς

πόρους. Στις υπόλοιπες χώρες χρησιμοποιείται πιο πολύ η μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης που είναι πιο οικονομική. Αναφορικά οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι αφαλάτωσης είναι:

1. Μέθοδοι εξάτμισης

- ❖ Πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (Multi- Stage Flash Distillation -MSF).
- ❖ Εξάτμιση με πολλαπλές βαθμίδες (Multi- Effect Evaporation).
- ❖ Εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Mechanical Vapor Compression- MVC).
- ❖ Θερμική συμπίεση ατμών (Thermal Vapor Compression- TVC).

2. Μέθοδοι μεμβρανών

- ❖ Αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis- RO).
- ❖ Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis- ED).
- ❖ Αντίστροφη Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis Reversal – EDR).

3. Άλλες μέθοδοι

- ❖ Ιοντοανταλλαγή.
- ❖ Νανόφιλτρα (Carbon- nanotube membrane).
- ❖ Απόσταξη με μεμβράνες.
- ❖ Ηλιακή αεριοποίηση.
- ❖ Κρυστάλλωση.
- ❖ Γεωθερμική αφαλάτωση (Geothermal Desalination).
- ❖ Αφαλάτωση με ηλιακούς συλλέκτες(Solar Humidification HDH).

Όλες οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν παραπάνω επιγραμματικά, χρειάζονται μία χημική προεπεξεργασία του νερού, προκειμένου να αποφευχθούν ιζήματα, αφρός ή επικάθιση παθογόνων και αλάτων στο κύκλωμα διακίνησης του νερού. Επίσης αν το νερό χρησιμοποιηθεί για πόση, χρειάζεται μία μετά- επεξεργασία, ώστε να αποκτήσει τα χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού.

Η διαδικασία της αφαλάτωσης απαιτεί σημαντικές ποσότητες ενέργειας, που κατ' επέκταση απαιτούν και ένα διαρκές κόστος, το οποίο δεν μπορούν όλες οι χώρες να το υποστηρίξουν. Φαίνεται να είναι μία πολύ πιο πολύπλοκη διαδικασία, σε σύγκριση με την συλλογή όμβριων υδάτων.

Μεταφορά νερού

Η μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία, είναι μία πολύ απλή διαδικασία, αφού δεν απαιτεί ιδιαίτερες υποδομές και χρειάζεται κυρίως μία δεξαμενή ανάλογης χωρητικότητας με τις ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν. Είναι ένας από τους βασικότερους τρόπους υδροδότησης των νησιών εδώ και χρόνια. Παρόλα αυτά είναι μία διαδικασία που κοστίζει αρκετά. Το νερό που χρησιμοποιείται στην μεταφορά προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ και τα υδροφόρα πλοία μισθώνονται από το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας. Στην μεταφορά νερού υπάρχει μονοπώλιο που οδηγεί σε μεγάλο κόστος μεταφοράς χωρίς να υπάρχει κάποια άλλη εναλλακτική, με σκοπό την αύξηση των κερδών. Τέλος η διαδικασία αυτή προκαλεί μεγάλο περιβαλλοντικό κόστος, γιατί τα καυσαέρια των υδροφόρων πλοίων μολύνουν την θάλασσα.

Κατασκευή φραγμάτων

Το έντονο ανάγλυφο του εδάφους των νησιών, σε περίπτωση βροχοπτώσεων, προκαλεί χειμάρρους που κατευθύνονται χωρίς έλεγχο στην θάλασσα και χωρίς να αξιοποιούνται. Με τη δημιουργία φραγμάτων το νερό αυτό συλλέγεται και χρησιμοποιείται στην υδροδότηση των περιοχών. Σημαντικό παράδειγμα είναι το φράγμα Πέζι στην Ικαρία. Βρίσκεται λίγα χιλιόμετρα βόρεια από το χωριό Πέζι και τροφοδοτείται από τον χείμαρρο Πέζι. Έχει ωφέλιμο όγκο 1.000.000 κυβικά μέτρα.



Εικόνα 2 Φράγμα Πέζι στην Ικαρία (Πηγή: <https://www.visitikaria.gr/gr>)

Η κατασκευή ενός φράγματος, οποιουδήποτε μεγέθους, κοστίζει αρκετά και απαιτεί διάφορες υποδομές. Περιβαλλοντικά, προκαλεί αλλοιώσεις στο περιβάλλον, αφού είναι μία μεγάλη και μόνιμη κατασκευή που αλλάζει την βιοποικιλότητα της εκάστοτε περιοχής.

1.1. Υδατικά αποθέματα στον πλανήτη

Χωρική ανισοκατανομή των βροχοπτώσεων, δεν υπάρχει μόνο στην Ελλάδα, αλλά και στον πλανήτη γενικότερα. Το βασικό πρόβλημα που φαίνεται να υπάρχει αυτήν την στιγμή, είναι η ανεπαρκής διαθεσιμότητα νερού σε συγκεκριμένα μέρη και συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Από τον συνολικό πληθυσμό του κόσμου, που ανέρχεται πλέον στα 7,8 δισεκατομμύρια, σήμερα 1,3 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε ικανοποιητικές υγειονομικές εγκαταστάσεις. Σε πολλά μέρη του κόσμου παρατηρούνται συνεχείς πλημμύρες, ενώ σε άλλα συγκεντρώνονται μόλις 5 λίτρα νερό ανά άτομο. Ο μέσος κάτοικος του βόρειου ημισφαιρίου καταναλώνει κοντά στα 180 λίτρα ανά μέρα, σε αντίθεση με έναν κάτοικο του νοτίου ημισφαιρίου που καταναλώνει από 15 έως 50 λίτρα νερό ανά μέρα. Παρατηρείται μία τεράστια διαφορά στην ποσότητα νερού που καταναλώνεται στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο.

1.1.1. «Ατζέντα 2030»

Στις 25 Σεπτεμβρίου του 2015, 193 χώρες πήραν μέρος στην 70^η γενική συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών και ψήφισαν την υλοποίηση του σχεδίου «Ατζέντα 2030». Οι στόχοι αυτοί

έχουν ως βασικό σκοπό να δημιουργήσουν ένα πλαίσιο, ώστε να διαδεχθούν τους αναπτυξιακούς στόχους της χιλιετίας, όπου έληξαν την ίδια χρονιά.

Αναφορικά οι στόχοι της χιλιετίας είναι:

- ❖ Εξάλειψη της ακραίας φτώχειας και της πείνας
- ❖ Επίτευξη παγκόσμιας πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης
- ❖ Προώθηση της ισότητας των φύλων και ενίσχυση των γυναικών
- ❖ Μείωση της παιδικής θνησιμότητας
- ❖ Βελτίωση της υγείας των μητέρων
- ❖ Καταπολέμηση του AIDS, της ελονοσίας και άλλων ασθενειών.
- ❖ Διασφάλιση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας
- ❖ Ανάπτυξη παγκόσμιας συνεργασίας για ανάπτυξη

Οι στόχοι ήταν 17 και εγκρίθηκαν επίσημα, με τίτλο “Transforming our world: The 2030 Agenda”, «Αλλάζοντας τον κόσμο μας, Ατζέντα 2030. Άρρηκτα συνδεδεμένο και με τους 17 στόχους βιώσιμης ανάπτυξης είναι το νερό. Στην εικόνα 3 παρουσιάζονται οι 17 στόχοι.



Εικόνα 3 Οι 17 στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης για την Ατζέντα 2030 (Πηγή: <https://sdgs.un.org/goals>)

Ξεκάθαρα στο νερό αναφέρεται ο στόχος 6: Καθαρό νερό και αποχέτευση (Goal 6: Clear water and sanitation). Στον στόχο αυτόν, διασφαλίζεται η διαθεσιμότητα και η βιώσιμη διαχείριση του νερού και των εγκαταστάσεων υγιεινής για όλους. Το νερό βρίσκεται στο επίκεντρο της «Ατζέντας 2030» των Ηνωμένων Εθνών, αφού είναι το βασικό στοιχείο της ανάπτυξης και των 17 στόχων και τους επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα. Σχετίζεται με όλους τους στόχους, αλλά κυρίως με αυτούς που αφορούν την τροφή, την ενέργεια και το περιβάλλον. Τα προηγούμενα χρόνια και σε συμβάσεις που προηγήθηκαν στο παρελθόν, δεν είχε δοθεί στο νερό η ανάλογη βαρύτητα. Ας πάρουμε για παράδειγμα τους «στόχους ανάπτυξης χιλιετίας», τους στόχους δηλαδή που διαδέχθηκε η «Ατζέντα 2030». Το νερό αναφέρεται μόνο στο κομμάτι της ύδρευσης και αποχέτευσης και στο κομμάτι περιβαλλοντικών ζητημάτων. Χωρίς την μελέτη

της διαχείρισης των υδατικών πόρων οι επίτευξη των στόχων θα είναι δύσκολη έως ακατόρθωτη.

Με την πάροδο του καιρού, η διαχείριση του νερού γίνεται όλο και πιο δύσκολη. Η κλιματική κρίση, η ταχεία αύξηση του πληθυσμού, η κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη, η παγκοσμιοποίηση, η αστικοποίηση επηρεάζουν τον κόσμο μας και συγκεκριμένα το περιβάλλον και το νερό. Η βιώσιμη ανάπτυξη και η σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων θα επιτευχθεί μόνο με συστημική προσέγγιση και αφού πρώτα μελετηθούν κλάδοι όπως η οικονομία, η κοινωνία, η ψυχολογία, η οικολογία.

Πλέον η διαχείριση του νερού θα έπρεπε να αντιμετωπίζεται με διαφορετικό τρόπο. Αρχικά θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο πολύπλευρος ρόλος του νερού σε σχέση με την ανάπτυξη. Κάθε κυβέρνηση θα πρέπει να βάζει σε προτεραιότητα τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Επίσης απαραίτητοι είναι οι συμβιβασμοί ανάμεσα σε χώρες σε σχέση με την διαχείριση του νερού. Κυρίως σε μέρη με περιορισμένους πόρους, το κάθε κράτος πρέπει να καθορίζει την κατανομή των υδάτων. Τέλος απαραίτητη είναι η ολοκληρωμένη και μακροχρόνια διαχείριση των υδατικών πόρων. (Dr Mohamed Ait-Kadi, 2015)

Οι ΣΒΑ απαιτούν αλλαγές στην διαχείρισή τους, όπως αυτές που προαναφέρθηκαν, προκειμένου να πραγματοποιηθούν. Υπάρχει μία ενιαία προσέγγιση ανάμεσα στα κράτη ως προς την διαχείριση των στόχων, όμως κάθε χώρα οφείλει να πράξει ανάλογα με τις μοναδικές οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές της συνθήκες.

Τα χρόνια που θα ακολουθήσουν λόγω της συνεχόμενης αύξησης του πληθυσμού, η κατανάλωση του νερού αναμένεται να διπλασιαστεί. Το πρόβλημα της λειψυδρία θα παρατηρηθεί ακόμη πιο έντονα σε χώρες με υπερπληθυσμό, όπως είναι η Κίνα, η Ινδία, το Πακιστάν, το Μεξικό, τις ΗΠΑ. Ακόμη πιο μεγάλο θα είναι το πρόβλημα στην Μέση Ανατολή και την Αφρική.

1.2. Αντικείμενο εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ, ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΟΥΡΝΟΙ ΙΚΑΡΙΑΣ», μελετά την αξιοπιστία της κάλυψης αστικής ζήτησης νερού, για οικιακή χρήση και την αποδοτικότητα της τεχνολογίας ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων (RWH, Rain Water Harvesting). Διερευνώνται διάφορα σενάρια για την περιοχή «Φούρνοι Ικαρίας».

Εφαρμόστηκε η μέθοδος του ημερησίου υδατικού ισοζυγίου, για την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος και για το ποσοστό αξιοπιστίας του συστήματος (RE, Reliability). Για την διερεύνηση του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν παράμετροι όπως η επιφάνεια συλλογής (40-140 m²), ο όγκος ομβροδεξαμενής (V_{tank}, 5-30 m³), τα μέλη της οικίας 2 και 4 (N_{cap}), η ημερήσια κατανάλωση που ανέρχεται σε 180L/κάτοικο/ημέρα, τον στόχο κάλυψης (p) που είναι 30% επί της συνολικής ζήτησης και αντιστοιχεί σε χρήσεις όπως το πότισμα, το καζανάκι, το πλύσιμο. Η ίδια μέθοδος και για τις ίδιες παραμέτρους, εφαρμόστηκε και για στόχους κάλυψης 40% και 50%, για μόνο 2 μέλη οικίας. Έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Διερευνήθηκαν επίσης κάποια σενάρια κλιματικής αλλαγής, για την ίδια περιοχή μελέτης με έναν συνδυασμό των παραπάνω παραμέτρων. Στόχος ήταν να προσδιοριστεί η επίδραση της

κλιματικής αλλαγής στην αποδοτικότητα του συστήματος, αν σαφώς υπάρχει. Η διερεύνηση βασίστηκε σε συνθετικές χρονοσειρές που παρέχονται από το σύστημα EURO CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment) και αντιπροσωπεύουν 8 ευμενή σενάρια (RCP4.5) και 8 δυσμενή σενάρια (RCP8.5) για τριάντα (30) υδρολογικά έτη. Τα δεδομένα εισόδου αντλήθηκαν από την σελίδα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, DEAR-Clima (Data Extraction Application for Regional Climate), που είναι μία εφαρμογή παραγωγής κλιματικών χρονοσειρών βασισμένη στις προσομοιώσεις EURO CORDEX.

Σε όλα τα παραπάνω σενάρια που αναφέρθηκαν, σκοπός είναι να βρεθεί το ποσοστό αξιοπιστίας Re και η σύγκριση των ποσοστών αυτών.

1.3. Διάρθρωση τεύχους

Στην παρούσα εργασία περιλαμβάνονται 5 κεφάλαια. Το Κεφάλαιο 1 αποτελείται από την εισαγωγή, στην οποία αναφέρονται και κάποιοι γενικοί ορισμοί και αφορά το παρόν κεφάλαιο. Στο Κεφάλαιο 2 δίνεται ο ορισμός του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων και γίνεται μία ιστορική αναδρομή του συστήματος αυτού. Ακόμη αναφέρεται ο τρόπος κατασκευής του. Στο Κεφάλαιο 3 αναπτύσσονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, γεωγραφικά, γεωμορφολογικά, κλιματικά καθώς και πληθυσμιακά και δημογραφικά. Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται ανάπτυξη και εφαρμογή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και παρουσίαση των βροχομετρικών δεδομένων. Παρουσιάζονται επίσης τα σενάρια του συστήματος που μελετήθηκε και τα αποτελέσματα του μοντέλου ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με βροχομετρικά δεδομένα εισόδου ιστορικών χρονοσειρών, καθώς και χρονοσειρών που λαμβάνουν υπόψη τον παράγοντα της κλιματικής αλλαγής. Στο Κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όσον αφορά τη χρήση συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων στην περιοχή Φούρνοι, Ικαρίας και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. Σύστημα Συλλογής Όμβριων Υδάτων

2.1. Συλλογή Όμβριων Υδάτων

Η συλλογή όμβριων υδάτων (Rain Water Harvesting, RWH) , είναι ο όρος που περιγράφει την συλλογή και αποθήκευση του νερού της βροχής για καθημερινή χρήση. Ως συλλογή όμβριων υδάτων ορίζεται η διαδικασία συλλογής του βρόχινου νερού από επιφάνειες απορροής, όπως στέγες, εδαφικές επιφάνειες ή πέτρινες επιφάνειες και η αποθήκευσή του με βασικό σκοπό την χρήση του στο μέλλον. Μπορεί να αποθηκευτεί σε επίγειες ή υπόγειες δεξαμενές για διαφορετικές χρήσεις όπως αστική ή αρδευτική.

Με τον όρο «Rain Water Harvesting» συμπεριλαμβάνουμε ένας εύρος μεθόδων για την συλλογή και συγκέντρωση μορφών απορροής (επιφανειακή απορροή, απορροή από στέγες) και περιγράφει μία σειρά τεχνικών για την συγκέντρωση και αποθήκευση των παραπάνω μορφών απορροής (Yannopoulos, 2015). Συνώνυμοι με τον όρο «Rain Water Harvesting» είναι και οι όροι «Rainfall collection», «Runoff concentration», οι οποίοι χρησιμοποιούνται επίσης για την περιγραφή συλλογής και συγκέντρωσης της βροχής που πέφτει σε πλαγιές του εδάφους, πέτρες, λίθους, κ.λ.π. και το νερό αυτό χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιεργειών μετά από την κατάλληλη επεξεργασία του, για τα ζώα ή κάλυψη οικιακών αναγκών (Bruins, 1986; Pacey and Cullis, 1986).

Η χρήση του βρόχινου νερού για αστική χρήση είναι μία από τις σημαντικότερες εναλλακτικές λύσεις παροχής νερού, ενάντια στο πρόβλημα της συνεχής αυξανόμενης ζήτησής του και κατ' επέκταση στο πρόβλημα της λειψυδρίας. Είναι μία σύγχρονη, οικονομική και απλή τεχνολογικά λύση για εξοικονόμηση νερού και κάλυψη καθημερινών οικιακών αναγκών, όπως είναι το πλυντήριο, το πότισμα, η τουαλέτα. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πόση, αφού όμως έχει προηγηθεί η απαραίτητη επεξεργασία του.

Η συλλογή όμβριων υδάτων είχε σχεδόν εγκαταλειφθεί ως τεχνική, εξαιτίας της αύξησης της αστικοποίησης. Κατά την βιομηχανική περίοδο, άρχισαν να χρησιμοποιούνται μέσα μεταφοράς νερού από απομακρυσμένες περιοχές, άντληση υπόγειων υδάτων, τρόποι που ήταν αρκετοί για την κάλυψη των αναγκών στις βιομηχανίες και στους κατοίκους.

Τα σύγχρονα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων είναι απολύτως ασφαλή και πλήρως αποδοτικά δίνοντας νερό καλής ποιότητας. Με την σωστή χρήση του συστήματος, μπορεί να αυξηθεί η διαθεσιμότητα του νερού και να μειωθεί η ζήτηση του νερού από το κεντρικό δίκτυο υδροδότησης, αλλά και να ελαττώσει τα αστικά πλημμυρικά φαινόμενα (Λάσκαρη, 2021).

Τα τελευταία χρόνια λόγω της κλιματικής κρίσης, της αύξησης της αστικοποίησης άρα και της αύξησης ζήτησης νερού, της συνεχόμενης ανάγκης σε νερό σε γεωργία και κτηνοτροφία, αλλά και της μόλυνσης των υδατικών πόρων, έχει γίνει πολύ έντονο το ενδιαφέρον για την συλλογή όμβριων υδάτων. Η χρήση της τεχνολογίας αυτής αποφέρει αρκετά οφέλη τόσο στους χρήστες, όσο και στην πολιτεία και το περιβάλλον.

Οφέλη για τους χρήστες:

- ❖ Πρόσβαση σε φθηνή και ανεξάντλητη πηγή νερού χρησιμοποιώντας απλές και χαμηλού κόστους τεχνολογίες.
- ❖ Εξοικονόμηση χρημάτων με τη μείωση της χρήσης του νερού από το δημόσιο υδρευτικό δίκτυο.
- ❖ Δυνατότητα εκμετάλλευσης μια εναλλακτικής πηγής νερού με συνέπεια την αύξηση της αυτονομίας και αυτάρκειας.
- ❖ Ποιότητα του βρόχινου νερού είναι σε γενικές γραμμές πολύ καλή, άριστη για άρδευση και κτηνοτροφία και μετά από κατάλληλη επεξεργασία και για πόση.

Οφέλη για την πολιτεία και το περιβάλλον:

- ❖ Όταν εφαρμόζεται τεχνολογία σε μεγάλες εγκαταστάσεις, όπως σχολεία, αεροδρόμια, βιομηχανίες, αθλητικές εγκαταστάσεις και νοικοκυριά, η εξοικονόμηση σε νερό από το δίκτυο είναι σημαντική.
- ❖ Μείωση του κόστους των επενδύσεων της αντικατάστασης του δικτύου ύδρευσης.
- ❖ Μειώνεται το έλλειμα ή η ζήτηση αιχμής κατά τη διάρκεια των περιόδων υψηλής ζήτησης.
- ❖ Μειώνεται η απορροή και οι πλημμυρικές αιχμές με αποτέλεσμα τη μείωση του κινδύνου από πλημμύρες και της διάχυτης ρύπανσης.
- ❖ Συμβάλλει στην καθιέρωση της διαχείρισης ζήτησης και κατανάλωσης από τους χρήστες και της περιβαλλοντική συνείδηση.
- ❖ Εξοικονόμηση υδατικών πόρων.

Από βιβλιογραφικά στοιχεία προκύπτει ότι σε πολλά μέρη του κόσμου έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι συλλογής όμβριων υδάτων. Εκτός από την Ελλάδα (Sazakli, 2007), οι Ηνωμένες Πολιτείες (Jones and Hunt, 2010), η Ισπανία (Domènech and Saurí, 2011), η Βραζιλία (Ghisi, 2009), η Αυστραλία (Marks, 2006), το Ηνωμένο Βασίλειο (Fewkes, 1999), η Νότια Αφρική (Kahinda, 2007) και η Κίνα (Li and Gong, 2002) είναι μόνο κάποια από τα μέρη που έχουν εφαρμοστεί σχετικές τεχνολογίες (Λόντρα, 2014).

2.1.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνολογίας συλλογής όμβριων υδάτων

Η χρήση της τεχνολογίας αυτής, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο προσφέρει πολλά οφέλη σε αστικές αλλά και σε αγροτικές περιοχές. Τα οφέλη μπορεί να είναι τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Λίγες είναι οι φορές που τα πλεονεκτήματα δεν ακολουθούνται από μειονεκτήματα. Σαφώς και στην τεχνολογία συλλογής όμβριων υδάτων υπάρχουν μειονεκτήματα, που θα αναφερθούν αναφορικά παρακάτω (Λόντρα, 2014).

Πλεονεκτήματα

- ❖ Μείωση απορροών, πλημμυρικών αιχμών και κατά συνέπεια μείωση της διάχυτης ρύπανσης.
- ❖ Εξοικονόμηση υδατικών πόρων.
- ❖ Εξασφάλιση νερού άριστης ποιότητας για άρδευση.

- ❖ Εξασφάλιση εναλλακτικής πηγής κάλυψης των υδατικών αναγκών, αύξηση της αυτάρκειας.
- ❖ Χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας.

Μειονεκτήματα

- ❖ Υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης.
- ❖ Αβεβαιότητα στο μέγεθος της ποσότητας συλλογής.
- ❖ Πιθανοί κίνδυνοι σχετιζόμενοι με την ασφάλεια και την υγεία των χρηστών και των περιοίκων.

2.2. Ιστορική Αναδρομή

2.2.1. Στον κόσμο

Η συλλογή βρόχινου νερού (Rain Water Harvest, RWH) είναι μία τεχνική, που συναντάτε σε διάφορες περιοχές του κόσμου για πάνω από 4000 χρόνια, ως μία μέθοδος για συλλογή γλυκού νερού, για ανθρώπινη κατανάλωση και παρατηρείται εδώ και χιλιάδες χρόνια. Κυρίως σε περιοχές άνυδρες ή ημι-ένυδρες, το νερό της βροχής ήταν η βασική πηγή υδροδότησής τους για πόσιμη και μη χρήση (Bruins, 1986).

Σε πολλά διαφορετικά μέρη και πολιτισμούς του κόσμου, αρχαιολογικά ευρήματα αποδεικνύουν την ύπαρξη τεχνικών συλλογής όμβριων υδάτων. Ο άνθρωπος είχε εφεύρει μέσα και τρόπους για την συλλογή και αποθήκευση του νερού της βροχής για αρδευτικούς σκοπούς, για κτηνοτροφία, ανθρώπινη χρήση, χωρίς βέβαια καμία επεξεργασία όπως γίνεται σήμερα. Τέτοιο πολιτισμοί είναι η αρχαία Ελλάδα, η Μέση Ανατολή, η Ασία, η αρχαία Ρώμη και το Μεξικό.

Αναφορικά:

Στην Ινδία έχουν βρεθεί απλές πέτρινες δεξαμενές που χρονολογούνται από το 3000 π.Χ. (Gould and Nissen-Petersen, 1999).

Στην έρημο Negev το 2000 π.Χ., ένας ολόκληρος πολιτισμός επιβίωσε μόνο συλλέγοντας νερό απορροής από λόφους σε στέρνες (Pacey and Cullis, 1986). Οι πρώτες συλλογικές ομβροδεξαμενές βρέθηκαν στην Madaba της Ιορδανίας και τα μεγέθη τους ήταν από 4000 m³ έως 42750 m³. Ήταν δεξαμενές τεχνολογικά εξελιγμένες με σύστημα έκπλυσης και συγκράτησης φερτών υλικών.

Στην αρχαία Ρώμη, το βρόχινο νερό, συλλεγόταν σε σκεπαστά μονοπάτια και εκτρεπόταν σε μικρές δεξαμενές που βρίσκονταν σε κήπους για αισθητικούς λόγους (Winterbottom, 2000).

Στη Βενετία η ύδρευση βασιζόταν αποκλειστικά σε πηγάδια και στέρνες. Τον 14^ο αιώνα υπήρχαν νερουλάδες και στην απογραφή της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου τον 18^ο αιώνα, σημειώθηκαν 180 δημόσιες στέρνες και 6000 ιδιωτικά πηγάδια, από τα οποία τα 600 χρησιμοποιούνται ακόμη.

Στο κεντρικό Μεξικό συνέλλεγαν και αποθήκευαν όμβρια ύδατα σε υπόγειες δεξαμενές από στέγες και πλατείες για ανθρώπινη κατανάλωση και άρδευση (Winterbottom, 2000).

Στη χερσόνησο του Yucatan, αρχαιολογικά ευρήματα έδειξαν την ύπαρξη υπέργειων συστημάτων συλλογής ομβρίων που χρονολογούνται στο 300 μ.Χ. και ήταν γνωστά ως Chultuns (Gould and Nissen-Petersen, 1999).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά, τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων είχαν χρησιμοποιηθεί από τους ιθαγενείς και τους αποίκους σε απομονωμένες περιοχές όπου δεν υπήρχαν δημόσια συστήματα υδροδότησης. Σε πολλές περιοχές χρησιμοποιούνται έως και σήμερα. Σύμφωνα με μια έρευνα του 1995, έχουν απογραφεί περίπου 250000 τέτοια συστήματα στις Ηνωμένες Πολιτείες.

2.2.2. Στον Ελλαδικό χώρο

Στην Ελλάδα, η συλλογή όμβριων υδάτων χρονολογείται τα τελευταία 4000 με 5000 χρόνια. Παρατηρήθηκαν πρώτη φορά κατά την πρώιμη Μινωική εποχή το 3300-2200 π.Χ. αλλά και αργότερα στην Μινωική περίοδο, 3300-1200 π.Χ. και την Μυκηναϊκή περίοδο, 1600-1100 π.Χ. (Viollet, 2003, Angelakis and Koutsoyiannis, 2003).

Κατά την Μινωική εποχή, τα συστήματα παροχής νερού στα μινωικά χωριά και στα ανάκτορα της Ηφαίστου, της Ζάκρου και του Μύρτου εξαρτιόνταν άμεσα από την βροχή. Το νερό έπεφτε στις αυλές και τις στέγες και μετέπειτα κατέληγε σε δεξαμενές. Οι πιο γνωστές στέρνες είναι πέντε: δύο στον Πύργο και τον Μύρτο, μία στο ανάκτορο της Ζάκρου, μία στις Αρχάνες και μία στο Οίκημα Γ της Τυλισσού. Οι δύο στέρνες στον Πύργο είναι οι αρχαιότερες γνωστές, και αναγνωρισμένες παγκοσμίως ως στέρνες από τον Μινωικό πολιτισμό (Cadogan, 2006). Στη συνέχεια, στέρνες αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της μέσης και τελευταίας μινωικής περιόδου, στη Φαιστό, τη Ζάκρο, το Χαμέζι και τη Ριζηνία (Koutsoyiannis, 2008).



Εικόνα 4 Κεντρική Μινωική δεξαμενή του υδραγωγείου της Τυλισσού (Πηγή: https://www.tuc.gr/fileadmin/users_data/public_relations/2019/WorldWaterDay-Aggelakis4.pdf)

Η διαδικασία συλλογής όμβριων υδάτων παρατηρήθηκε και στα νησιά του Αιγαίου, στην Κυκλαδική περίοδο, 3100-1600 π.Χ.. Σημαντικά ευρήματα βρέθηκαν στο νησί της Δήλου και

της Σαντορίνης, τα οποία αποδείκνυαν πως οι στέρνες αποτελούσαν βασική πηγή ύδρευσης. Οι στέρνες αυτές ήταν κυρίως υπόγειες στις αυλές των σπιτιών τους (Koutsogiannis., 2008).



Εικόνα 5 Στέρνα στην Αρχαία Θήρα (Πηγή:

http://www.wondergreece.gr/v1/el/Perioxes/Santorini_Thira/Politismos/Arxaiologikoi_Xwroi/818-Arxaia_Thira)

Οι δεξαμενές συνέχισαν να υπάρχουν και στην Ελληνιστική περίοδο, 323-146 π.Χ. Εκείνη την περίοδο, η συλλογή όμβριων σε στέρνες αποτελούσε την αποκλειστική πηγή ύδρευσης σε πολλές πόλεις σε όλη την Ελλάδα (Angelakis and Srgidakis, 1996). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αρχαία πόλη της Περγάμου, όπου βρέθηκαν 149 στέρνες που εξυπηρετούσαν περίπου 7900 κατοίκους.

Σημαντική εξέλιξη της τεχνολογίας της συλλογής όμβριων υδάτων σημειώθηκε κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο, 67-330 μ.Χ. και τη Βυζαντινή περίοδο 330-1204μ.Χ. (Αντωνίου, 2017). Κατά την περίοδο του Βυζαντίου υπήρχαν οι κιστέρνες, πολύ μεγάλες στέρνες, που χρησιμοποιούνταν για την συλλογή και αποθήκευση νερού και κάλυπταν τις ανάγκες ολόκληρων πόλεων. Οι λεκάνες αυτές βρίσκονταν εκτός πόλης και παρείχαν νερό μέσω δικτύων μεγάλης κλίμακας μέσα από χτιστά αυλάκια και σωληνώσεις. Ήταν ημιυπόγειες ή υπόγειες. Το εσωτερικό τους ήταν διαμορφωμένο από κίονες που κατέληγαν σε θόλους. Οι θόλοι στην οροφή των κιστερνών προστάτευαν το νερό από το φως και τον αέρα και το διατηρούσαν δροσερό και καθαρό. Επίσης, υπήρχαν μικρά παράθυρα αρκετά ψηλά από τη στάθμη του νερού. Τα εσωτερικά τους τοιχώματα ήταν επιχρισμένα με υδραυλικό κονίαμα (κουρασάνι) για να είναι στεγανά. Στην οροφή τους οι κιστέρνες είχαν στόμια απ' όπου μπορούσε κανείς να αντλήσει το νερό με κάδους. Στα στόμια, πέτρινα ή μαρμάρινα με διακόσμηση, λαξεύονταν τα οικόσημα των ευγενών και των ηρώων της πόλης. Κιστέρνες συναντάμε σε διάφορα μέρη της Ελλάδας όπως στην Θεσσαλονίκη, την Μονεμβασιά, τη Ρόδο κ.α. (Λάσκαρη, 2011)

Στην Ελλάδα και κυρίως στην επαρχιακό μέρος της χώρας, υπήρχαν πολλές στέρνες στα υπόγεια των σπιτιών και στα χωράφια, που εξυπηρετούσαν την άρδευση και τις κτηνοτροφικές ανάγκες. Συνήθως κατασκευάζονταν σε κατηφορικά εδάφη και με αυλάκια οδηγούσαν ανάλογα το νερό. Στα μέσα του εικοστού αιώνα η πλειοψηφία των νοικοκυριών σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές της νότιας, νησιωτικής και παράκτιας Ελλάδας διέθεταν ομβροδεξαμενές (στέρνες). Η χρήση των δεξαμενών σταμάτησε τις τελευταίες δεκαετίες, αφού βασικός τρόπος υδροδότησης έγινε το δίκτυο υδροδότησης της κάθε περιοχής.

Παρόλα αυτά, στις μέρες μας, τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων έχουν ξανά αρχίσει να θεωρούνται σημαντική πηγή ύδρευσης σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δικτυωμένα συστήματα παροχής νερού. Το νερό της βροχής που συλλέγεται μπορεί επίσης να παρέχει μια «βελτιωμένη» πηγή πόσιμου νερού σε αγροτικές και περαστικές περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών όπου τα επιφανειακά ύδατα μπορούν να μολυνθούν από παθογόνους οργανισμούς ή και ακόμα σε υπόγεια ύδατα καλής ποιότητας που δεν είναι άμεσα διαθέσιμα. Επιπλέον, σε σύγχρονες πόλεις που διαθέτουν κεντρικό σύστημα ύδρευσης με δικτυωτό δίκτυο, η συλλογή βρόχινου νερού μπορεί να αποτελέσει δευτερεύουσα πηγή νερού. Οι δεξαμενές συλλογής όμβριων υδάτων πλέον εφαρμόζονται ως ολοκληρωμένες έννοιες διαχείρισης αστικών υδάτων ώστε να μειωθεί η χρήση του κεντρικού νερού σε οικιακές χρήσεις που δεν απαιτούν πόσιμο νερό. Αυτή η έννοια της υποκατάστασης βασίζεται στην ποιότητα του νερού που απαιτείται ανάλογα με τον σκοπό χρήσης του ώστε να αντιμετωπιστεί η αύξηση της ζήτησης πόρων γλυκού νερού λόγω της ταχείας αύξησης του πληθυσμού και της αστικοποίησης (Ahmed, 2014).

2.3. Κατασκευή και περιγραφή συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων

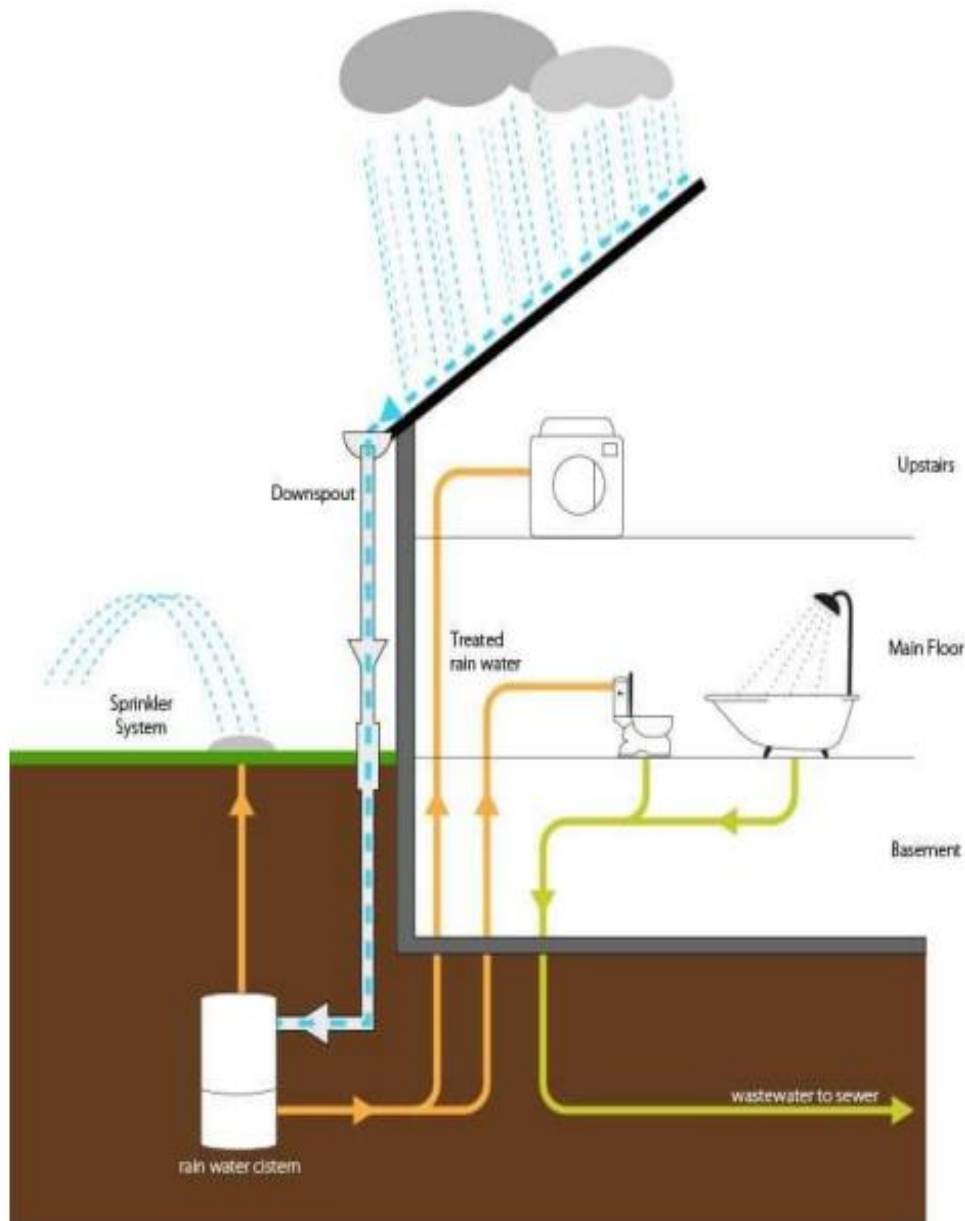
2.3.1. Περιγραφή συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων

Το βρόχινο νερό συλλέγεται από την οροφή ενός κτιρίου ή από άλλες επιφάνειες συλλογής. Στη συνέχεια διοχετεύεται μέσω υδρορροών και σωλήνων σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. Η δεξαμενή μπορεί να κατασκευαστεί από ένα πλήθος υλικών. Η θέση που προτιμάται για μια δεξαμενή συλλογής, είναι κάτω από το έδαφος, προστατευμένη από το φως του ήλιου. Σήμερα υπόγειες κατασκευές αποθήκευσης μπορούν ευκολότερα να γίνουν είτε εξ ολοκλήρου από οπλισμένο σκυρόδεμα (μονομπλόκ) και εσωτερική επάλειψη με τσιμεντοκονία και βαφή (με εποξειδική ρητίνη για λόγους στεγάνωσης) ή κατ' ευθείαν βαφή πάνω στο μπετόν, είτε με εκκοκφή και εγκιβωτισμό πλαστικών δεξαμενών οι οποίες όμως συνδέονται μεταξύ τους ώστε να δημιουργείται ενιαίος αποθηκευτικός χώρος. Η υπόγεια κατασκευή προτιμάται και για να ελαχιστοποιηθεί η εξάτμιση, η οποία σε υπέργειες κατασκευές χωρίς προστασία, μπορεί να φθάσει κατά περιόδους και στο 50% της αποθηκευμένης ποσότητας.

Το σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων αποτελείται από έξι δομές (Kinkade-Levario, 2007):

1. Επιφάνεια συλλογής όμβριων, που μπορεί να είναι η στέγη της οικίας, όπως και διάφορες άλλες επιφάνειες περιμετρικά αυτής.
2. Σύστημα μεταφοράς όμβριων, δηλαδή σωλήνες από κατάλληλα υλικά που οδηγούν το νερό στις εκάστοτε δεξαμενές.
3. Σύστημα καθαρισμού στέγης, φίλτρα που απομονώνουν τα ανεπιθύμητα υλικά από το νερό, με σκοπό να μην εισέλθουν στη δεξαμενή.

4. Δεξαμενές αποθήκευσης, συνήθως κλειστές, υπέργειες ή υπόγειες, κατασκευασμένες από διάφορα υλικά, ανάλογα και με τη διάστασή τους.
5. Σύστημα διανομής, δηλαδή κατάλληλες διατάξεις για τη μεταφορά του νερού.
6. Σύστημα επεξεργασίας/απολύμανσης, όπου εφαρμόζεται μόνον εάν το νερό προορίζεται για πόση.



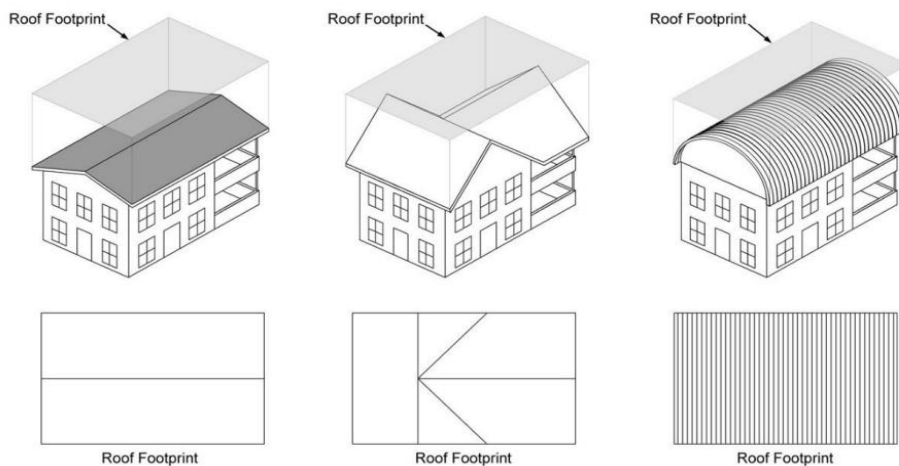
Εικόνα 6 Παράδειγμα συστήματος συλλογής βρόχινου νερού (Πηγή: <https://www.tendersontime.com/blogdetails/construction-rainwater-harvesting-systems-schools-and-communities-24739/>)

Παρακάτω αναλύονται οι έξι αυτές δομές:

Επιφάνεια συλλογής

Οι στέγες είναι ιδανικές για την συλλογή όμβριων υδάτων. Συλλέγουν εύκολα μεγάλες ποσότητες νερού, ανεξάρτητα από τον τρόπο κατασκευής τους ή την κλίση τους. Ο όγκος του νερού που θα συλλεχθεί σαφώς επηρεάζεται από το μέγεθος της στέγης και τα υλικά κατασκευής της. Καλό θα ήταν να αναφερθεί, πως επηρεάζεται όπως είναι λογικό και από την ποσότητα και την ένταση της βροχόπτωσης.

Η επιφάνεια συλλογής μπορεί να υπολογιστεί με βάση την οριζόντια προβολή της οροφής, σε συνάρτηση με την κλίση της στέγης. Η οριζόντια προβολή δεν μεταβάλλεται και ισούται με το άθροισμα της επιφάνειας του κτιρίου και την επιφάνεια προεξοχής της στέγης.



Εικόνα 7 Αποτύπωμα στέγης (Πηγή: <https://rainwaterharvesting.tamu.edu/2011/05/23/denton-county/>)

Η ποιότητα του νερού εξαρτάται από την ένταση της βροχόπτωσης και το υλικό κατασκευής της στέγης. Αν το νερό προορίζεται για πόση, υπάρχει περιορισμός στα υλικά κατασκευής της. Κάποια επιτρεπόμενα υλικά είναι το ξύλο, το πλαστικό, το αλουμίνιο, τα κεραμίδια από πηλό, πλακίδια από σκυρόδεμα, η φυσική πέτρα. Η επιφάνεια συλλογής θα πρέπει να είναι άβαφη, ή έστω βαμμένη με μη τοξικό χρώμα με βαφές χωρίς μόλυβδο. Οι στέγες με λεία, κεκλιμένη επιφάνεια συγκεντρώνουν νερό καλύτερης ποιότητας σε σχέση με τις στέγες με επίπεδη τραχεία επιφάνεια. Άρα και η τραχύτητα του υλικού επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα του νερού. Αυτό συμβαίνει γιατί στις επίπεδες επιφάνειες από χαλίκι, παρουσιάζονται υψηλές τιμές σε ρυπαντικές ουσίες, εξαιτίας της εναπόθεσης σωματιδίων και της αποσάθρωσης του υλικού. Τέλος η κλίση της στέγης επηρεάζει επίσης την ποιότητα του νερού. Σε στέγες με απότομη κλίση το νερό απορρέει πιο γρήγορα και απομακρύνει τα ρυπαντικά στοιχεία, σε αντίθεση με μία λιγότερο απότομη στέγη, που το νερό κινείται πιο αργά και αυξάνει τις ρυπαντικές ουσίες.

Για τον υπολογισμό του τελικού συλλεγόμενου νερού, χρησιμοποιείται ο συντελεστής απορροής C. Ο συντελεστής αυτός επηρεάζεται από τυχόν απώλειες νερού που οφείλονται σε εξάτμιση, διαρροή, υπερχείλιση και μεταφορά. Μπορεί να πάρει τιμές από 0,3 έως και 0,9 σύμφωνα με τους Kinkade - Levario, 2007. Ενώ κατά το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) που εφαρμόστηκε το 2009 κυμαίνονται από 0,6 έως 0,9. Γενικά, για τις στέγες οι τιμές κυμαίνονται από 0,75 έως 0,95. Συνοψίζονται οι τιμές του συντελεστή απορροής στον παρακάτω πίνακα (Kinkade - Levario, 2007 και UNEP, 2009):

Πίνακας 3 Ενδεικτικές τιμές για στέγες (Πηγή: Kinkade-Levario, 2007 και UNEP, 2009)

Υλικό Επιφάνειας	Συντ. απορροής C: Kinkade - Levario, (2007)	Υλικό Επιφάνειας	Συντ. απορροής C: UNEP, 2009
Λείες, στεγανές στέγες π.χ. από μέταλλο, κεραμίδι, τσιμέντο	0,90	Με πλακάκια	0,80 - 0,90
Χαλικόστρωτες στέγες και λιθόστρωτες επιφάνειες	0,80	Με μεταλλικά φύλλα	0,70 - 0,90
Επεξεργασμένο έδαφος	0,60	Από σκυρόδεμα (εδάφους)	0,60 - 0,80
Φυσικό έδαφος	0,30	Φυσικό έδαφος	0,1 - 0,5

Σύστημα μεταφοράς όμβριων

Το σύστημα μεταφοράς όμβριων υδάτων αποτελείται από το δίκτυο των σωληνώσεων και αγωγών που μεταφέρει το νερό από την επιφάνεια της στέγης στη δεξαμενή αποθήκευσης. Οι διαστάσεις των σωλήνων, με βάση τον νόμο του Manning για την αναμενόμενο όγκο που θα διοχετεύσουν, πρέπει να είναι 2,8 έως 4,5 L/sec. Σημαντικό είναι και το υλικό κατασκευής τους. Πρέπει να είναι κατασκευασμένα από πλαστικό, PVC ή άλλα αδρανή υλικά, γιατί το pH του νερού της βροχής μπορεί να είναι όξινο και θα μπορούσε να προκαλέσει διάβρωση, και την ενεργοποίηση βαρέων μετάλλων, σε μεταλλικούς σωλήνες.

Σύστημα καθαρισμού στέγης

Κατά την διάρκεια της βροχόπτωσης, το νερό που συλλέγεται στις επιφάνειες συλλογής έχει μεγάλα ρυπαντικά φορτία, όπως φύλλα, σκόνη, περιττώματα πτηνών, φερτά υλικά, κ.α. που πρέπει να απομακρυνθούν. Η απομάκρυνση αυτή γίνεται με έναν τύπο φίλτρου που εμποδίζει τα παραπάνω απορρίμματα να περάσουν στο σύστημα, τα φίλτρα εισόδου. Ο τύπος των φίλτρων που χρησιμοποιείται, εξαρτάται από παράγοντες όπως η επιδιωκόμενη χρήση (εσωτερική ή εξωτερική χρήση), το μέγεθος της εγκατάστασης και οι τοπικές συνθήκες. Κάποια τέτοια φίλτρα είναι :

❖ Φίλτρα καθοδικού αγωγού

Τα φίλτρα καθοδικού αγωγού είναι συνήθως κατάλληλα να φιλτράρουν το βρόχινο νερό που μαζεύεται σε μια περιοχή της στέγης μέχρι και 100m² για κάθε φίλτρο καθοδικού αγωγού. Το φίλτρο που φαίνεται στην εικόνα χρησιμοποιεί μια διαδικασία φιλτραρίσματος δύο σταδίων όπου μεγάλα ή χονδρά σωματίδια όπως τα φύλλα και τα βρύα διηθούνται μέσω μιας

διαδικασίας πτώσης και στη συνέχεια τα μικρά ή λεπτόκοκκα σωματίδια διηθούνται μέσω ενός πλέγματος από ανοξείδωτο χάλυβα.



Εικόνα 8 Φίλτρο καθοδικού αγωγού (Πηγή: https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/0f9de572-d439-4f96-8f70-818edd99082b/AquaVET_O3-A4_Handbook_2016-07-26_EL.pdf)

❖ Φίλτρα πλέγματος σε σειρά

Τα φίλτρα πλέγματος σε σειρά είναι συνήθως κατάλληλα να φιλτράρουν το νερό της βροχής που μαζεύεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή πάνω στη στέγη με χωρητικότητα έως και 350m². Το φίλτρο που φαίνεται στην εικόνα χρησιμοποιεί μια διαδικασία φιλτραρίσματος, όπου μεγάλα ή χονδρά σωματίδια όπως τα φύλλα και τα βρύα περνάνε από την επιφάνεια του φίλτρου και πάνε στην αποχέτευση ή στη διήθηση, ενώ τα λεπτόκοκκα σωματίδια φιλτράρονται από το πέρασμα του νερού μέσα από το φίλτρο πλέγματος πριν εισέλθει στην δεξαμενή αποθήκευσης. Σε ένα κυλινδρικό φίλτρο πλέγματος, το νερό της βροχής από την οροφή εισέρχεται στο περίβλημα του φίλτρου και ρέει πάνω στο κυλινδρικού σχήματος φίλτρο πλέγματος.



Εικόνα 9 Φίλτρο πλέγματος σε σειρά (Πηγή: https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/0f9de572-d439-4f96-8f70-818edd99082b/AquaVET_O3-A4_Handbook_2016-07-26_EL.pdf)

❖ Φίλτρα vortex

Τα φίλτρα vortex είναι διαθέσιμα σε διάφορα μεγέθη και, ανάλογα με το μέγεθος που έχει εγκατασταθεί, μπορεί κανονικά να αντιμετωπίσει μια εισροή από μια περιοχή της στέγης

μέχρι και 3000m². Οι στερεές ουσίες και σωματίδια ρύπων πλένονται εντός της αποχέτευσης με το υπόλοιπο νερό. Κανονικά, το 90-95% του βρόχινου νερού που εισέρχεται σε ένα φίλτρο vortex φτάνει στη δεξαμενή αποθήκευσης, με την προϋπόθεσή ότι η διαθέσιμη χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης είναι επαρκής. Καθώς το νερό της βροχής περνάει μέσα από το φίλτρο, η ροή της δίνης βοηθάει να εμπλουτιστεί το νερό με οξυγόνο. Αυτή η διαδικασία βοηθάει στην επίτευξη μιας καλής ποιότητας νερού μέσα στη δεξαμενή αποθήκευσης.



Εικόνα 10 Φίλτρο vortex (Πηγή: https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/0f9de572-d439-4f96-8f70-818edd99082b/AquaVET_O3-A4_Handbook_2016-07-26_EL.pdf)

❖ Φίλτρο Calmed Inlet

Αφού περάσει το νερό από τα φίλτρα εισόδου, υπάρχουν περιπτώσεις που περνούν κάποια πολύ μικρά σωματίδια στις δεξαμενές αποθήκευσης και μένουν στον πυθμένα της. Προκειμένου να αποφευχθεί αυτό υπάρχει το φίλτρο Calmed Inlet, το οποίο έχει σκοπό να αποτρέψει τον στροβιλισμό που θα μπορούσε να οδηγήσει στην διατάραξη των λεπτών σωματιδίων στον πυθμένα της δεξαμενής και στην οξυγόνωση του νερού. Αυτό βοηθά στη διατήρηση καθαρού και άοσμου νερού, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο ύπαρξης σωματιδίων.



Εικόνα 11 Φίλτρο calmed inlet (Πηγή: https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/0f9de572-d439-4f96-8f70-818edd99082b/AquaVET_O3-A4_Handbook_2016-07-26_EL.pdf)

Δεξαμενές αποθήκευσης

Οι δεξαμενές μπορεί να είναι επίγειες ή υπόγειες, εξοπλισμένες με καπάκια για την μείωση της πιθανότητας μόλυνσης του αποθηκευμένου νερού. Είναι σημαντικό, οι δεξαμενές να είναι κατασκευασμένες από αδρανή υλικά, να μην τις διαπερνά ο ήλιος, άοσμες, χωρίς χρώματα, με θερμοκρασία κάτω από 18°C. Αν δεν τηρούν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά

θα επηρεαστεί η ποιότητα του νερού. Ακόμη οι δεξαμενές πρέπει να είναι προστατευμένες από τη διείσδυση αερίων, ακαθαρσιών, φερτών, μικρών ζώων, εντόμων και να είναι εύκολα προσβάσιμες για συντήρηση και καθαρισμό. Υλικά τα οποία θεωρούνται κατάλληλα είναι το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο γαλβανισμένος σίδηρος, το οπλισμένο ή μη σκυρόδεμα, πλαστικό ενισχυμένο με γυαλί, κατάλληλα προετοιμασμένο εδαφικό υλικό και το ξύλο. Οι δεξαμενές κατασκευάζονται σε πολλά μεγέθη και σχήματα, και ανάλογα το μέγεθος διαφοροποιείται και το κόστος. Ενδεικτικά το κόστος για τις πλαστικές δεξαμενές φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4 Πλαστικές δεξαμενές νερού (Πηγή: <https://enflow.gr/proionta/systimata-syllogis-apostraggisis-nerou/rainwater/>)

Πλαστικές δεξαμενές νερού	
Χωρητικότητα σε m ³	Κόστος σε €
5	410 έως 1900
10	1100 έως 1713
15	1800 έως 2400
20	2450 έως 3256
25	4670
30	6200

Οι επίγειες δεξαμενές μπορούν να τοποθετηθούν πολύ πιο εύκολα σε σχέση με τις υπόγειες. Το αρνητικό είναι πως είναι εκτεθειμένες στα καιρικά φαινόμενα, κυρίως τον ήλιο. Οι υπόγειες δεξαμενές κατασκευάζονται παράλληλα με την κατασκευή του υπόλοιπου σπιτιού. Είναι ιδανικές όταν υπάρχει περιορισμός χώρου και το νερό είναι προστατευμένο από τον ήλιο. Στην περίπτωση τους είναι δύσκολη η επιδιόρθωσή τους αν προκύψει κάποια βλάβη. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή κατά την κατασκευή και την συντήρησή τους.



Εικόνα 12 Δεξαμενή συλλογής (Πηγή: <https://enflow.gr/proionta/systimata-syllogis-apostraggisis-nerou/rainwater/>)



Εικόνα 13 Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων (Πηγή: <https://enflow.gr/proionta/systemata-syllogis-apostraggisis-nerou/rainwater/>)

Σύστημα επεξεργασίας και απολύμανσης

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται όταν το νερό προορίζεται για πόση. Το βρόχινο νερό απολυμαίνεται, αφού μπει στο σύστημα διανομής, για να αποκτήσει τα απαραίτητα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Τέλος διανέμεται στο εσωτερικό δίκτυο σωληνώσεων της οικίας.

2.3.2. Κατασκευή συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων

Η συλλογή βρόχινου νερού είναι μία αξιόπιστη και αποτελεσματική τεχνολογία με ελάχιστο κόστος συντήρησης και διάρκειας στο χρόνο. Κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων πρέπει να εξετασθούν οι ακόλουθες πτυχές (AQUAVET, 2016):

- ❖ Σχεδιασμός συστήματος .
- ❖ Καθορισμός των τεχνικών προδιαγραφών χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης βρόχινου νερού με την πιο απλή προσέγγιση.
- ❖ Πρόληψη της στασιμότητας του νερού.
- ❖ Διασφάλιση ότι η παροχή της δεξαμενής αποθήκευσης καλύπτει τους αεραγωγούς.
- ❖ Προδιαγραφές διήθησης.
- ❖ Μέτρα πρόληψης της μόλυνσης και ανάπτυξης μικροβίων.
- ❖ Μέτρα πρόληψης για το ενδεχόμενο ξεχειλίσματος.
- ❖ Διαδικασία αντιμετώπισης της υπερχείλισης από τις δεξαμενές αποθήκευσης.
- ❖ Τεχνικές προδιαγραφές για την εγκατάσταση του συστήματος αντλιών.
- ❖ Προδιαγραφές για την τοποθεσία της δεξαμενής αποθήκευσης.

❖ Θέματα επεξεργασίας νερού.

Η συλλογή βρόχινου νερού μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο πρώτος, συλλέγοντας νερό από πραγματικές λεκάνες απορροής, από έναν χώρο πράσινου δηλαδή ή από τεχνητές λεκάνες απορροής όπως μία στέγη. Στην περίπτωση αυτή το νερό συλλέγεται σε αυλάκια, λίμνες, ταμιευτήρες και χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς. Στον δεύτερο τρόπο, το νερό αποθηκεύεται σε υπέργειες και υπόγειες δεξαμενές με στόχο της κάλυψη ζήτησης νερού σε επίπεδο οικίας. Για τον δεύτερο τρόπο η κατασκευή του συστήματος διαμορφώνεται στα παρακάτω στάδια:

1. Το νερό της βροχής πέφτει σε μία στεγανή και όσο το δυνατόν καθαρή επιφάνεια που έχει την κατάλληλη κλίση για τη συλλογή του νερού, π.χ. στη στέγη, στην ταράτσα (επιφάνεια συλλογής).
2. Το νερό οδηγείται μέσα από σωλήνες (υδρορροές) στο χώρο αποθήκευσης. Στην είσοδο της υδρορροής υπάρχει ένα φίλτρο (σίτα/πλέγμα) που κάνει ένα αρχικό φιλτράρισμα του νερού συγκρατώντας φύλλα, πετραδάκια, σκουπίδια, κ.ά.
3. Το νερό φιλτράρεται επιπλέον περνώντας μέσα από ένα φρεάτιο (φίλτρο από στρώσεις άμμου, χαλίκια, κ.λπ.) που έχει άνοιγμα για τον καθαρισμό του.
4. Το νερό εισέρχεται στη δεξαμενή αποθήκευσης που βρίσκεται είτε στο υπόγειο είτε σε εξωτερικό χώρο π.χ. στην αυλή.

2.3.3. Διαστασιολόγηση δεξαμενών όμβριων υδάτων

Ο προσδιορισμός της βέλτιστης χωρητικότητας της ομβροδεξαμενής, είναι από τα σημαντικότερα βήματα στον σχεδιασμό ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων. Ο όγκος δεν πρέπει είναι πολύ μεγάλος, για να μην είναι κοστοβόρα η κατασκευή, αλλά δεν πρέπει να είναι και μικρός, γιατί ίσως δεν ικανοποιούνται οι ανάγκες ζήτησης. Για την διαστασιολόγηση πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι παράγοντες, όπως το υλικό κατασκευής, το μέγεθος επιφάνειας συλλογής, τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής, πόσες κατοικίες εξυπηρετούνται, η ύπαρξη εναλλακτικών πηγών υδροδότησης, η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο και το κόστος του συστήματος.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα που βασίζονται στην ανάπτυξη μοντέλων ημερησίου 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), ή 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).

Η διαστασιολόγηση αλλάζει από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τους κανονισμούς και τα πρότυπα που έχει ορίσει η εκάστοτε χώρα. Αναφορικά στο Τέξας των ΗΠΑ η διαστασιολόγηση γίνεται με την μέθοδο του μηνιαίου ισοζυγίου προσφοράς και ζήτησης. Λαμβάνεται η μέση μηνιαία, ή η διάμεση τιμή μηνιαίας βροχόπτωσης και η διαστασιολόγηση γίνεται 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. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, 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. Μεγαλύτερες δεξαμενές δεν επιτρέπονται, λόγω του κινδύνου της αναπαραγωγής βακτηριδίων που μπορεί να προκαλέσουν κινδύνους για την υγεία (Λόντρα, 2014).

2.4. Κοστολόγηση ομβροδεξαμενών και εξαρτημάτων

Το μεγαλύτερο κόστος του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, έχει η δεξαμενή αποθήκευσης βρόχινου νερού. Καταλαμβάνει το 30-40% του συνολικού κόστους, ανάλογα με τον όγκο της. Η εύρεση του αρχικού κόστους αφορά έτοιμες δεξαμενές που μπορούν εύκολα να βρεθούν στην αγορά και έχουν διαφορετικές τιμές και σχήματα. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 14 Σχήματα πλαστικών δεξαμενών (Πηγή: <http://www.mytherm.gr>)

Το αρχικό κόστος τοποθέτησης μίας πλαστικής δεξαμενής βρόχινου νερού κυλινδρικού σχήματος παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5 Κόστος τοποθέτησης πλαστικής δεξαμενής (Πηγή: <http://www.mytherm.gr>)

Τύπος	Χωρητικότητα (L)	Διαστάσεις			Τιμή €
		Μήκος	Πλάτος	Ύψος	
Κλασική Σ7 SLIM	500	108	58	107	130
	700	112	68	120	152
	1000	155	6	126	217
	1100	153	68	125	248
	1300	153	68	142	300
	1500	205	67	152	492
	2000	205	67	185	732
Κυλινδρική Οριζόντια Σ5 PORKY	500	133	72	85	140
	1000	140	105	118	222
	2000	173	130	150	432
	3000	195	145	160	567
Παταριού Σ12 AQUA	260	100	50	55	86

Τύπος	Χωρητικότητα	Διάμετρος (cm)	Ύψος	Τιμή
Κυλινδρική Κατακόρυφη Σ6 - ECO	300	58	118	96
	500	64	165	130
	750	74	195	163
	1000	86	200	203
Κυλινδρική Κατακόρυφη Σ8 ELEPHANT	5500	200	200	740
	9000	235	240	1780
	10000	260	207	2000
	15000	270	270	2800
	20000	310	270	3800

Σε δεξαμενές από οπλισμένο σκυρόδεμα το ενδεικτικό κόστος αγοράς παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6 Ενδεικτικό κόστος αγοράς (Πηγή: <http://www.mytherm.gr>)

Χωρητικότητα(L)	Τιμή(€)
8	700
22	2700

Για τα υπόλοιπα εξαρτήματα του συστήματος, η κοστολόγηση γίνεται με βάση τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7 Κοστολόγηση εξαρτημάτων (Πηγή: <http://www.mytherm.gr>)

Εξαρτήματα	Κόστος (€/m) (Ενδεικτική τιμή)
Σωλωνώσεις	2,5
Εσχάρα	3
Διαχωριστής πρώτης απόπλυσης	100
Αντλία	250
Φίλτρα διήθησης	160
Απολυμαντήρας	400
Μηχάνημα αποτροπής αντίστροφης ροής	120

2.5. Τοποθέτηση προβλήματος

Το κυριότερο πρόβλημα που προσπαθεί να αντιμετωπίσει η τεχνολογία συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων, είναι αυτό της λειψυδρίας. Με τον όρο λειψυδρία περιγράφονται οι συνθήκες ολιγόχρονης ή μακροχρόνιας έλλειψης νερού σε μία περιοχή. Το μέγεθος και η παρουσία της λειψυδρίας σε μια γεωγραφική περιοχή εξαρτάται τόσο από την διαθεσιμότητα του νερού, που καθορίζεται και ελέγχεται από εξωγενείς υδρομετεωρολογικούς παράγοντες, βροχόπτωση, εξάτμιση, όσο και από την κατανάλωσή του λόγω ανθρωπογενών κατά βάση παραγόντων. Τα προβλήματα λειψυδρίας αναφέρονται ευρέως σε περιπτώσεις που παρατηρούνται μειωμένες ροές ποταμών, χαμηλότερη στάθμη λιμνών και χαμηλότερα επίπεδα υπόγειων υδάτων με καταστροφική επίδραση στους υδροβιότοπους και στα οικοσυστήματα του γλυκού νερού. Το φαινόμενο της κλιματικής κρίσης, συμβάλλει στην επιδείνωση της λειψυδρίας. Τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρούνται υψηλότερα επίπεδα άντλησης νερού κυρίως λόγω της εξυπηρέτησης των αναγκών στην γεωργία και τον τουρισμό μειώνοντας τα επίπεδα διαθεσιμότητας υδάτων (Τζανιδάκης, 2021).

Η λειψυδρία ορίζεται διαφορετικά ανάλογα την περιοχή και ανάλογα με τον ερευνητή που μελετά το φαινόμενο. Ο ορισμός της λειψυδρίας διαφέρει ανάλογα με το γεγονός στο οποίο αναφέρεται κάθε φορά. Υπάρχουν τέσσερις βασικές προσεγγίσεις για να προσδιορίσουν και να περιγράψουν την λειψυδρία: μετεωρολογική, υδρολογική, γεωργική και κοινωνικοοικονομική. Οι τρεις πρώτες προσεγγίσεις αναφέρονται σε ένα φυσικό φαινόμενο, ενώ η τελευταία μελετά ένα γεγονός σε σχέση με τον άνθρωπο σε συνδυασμό με την έλλειψη νερού. Αναλυτικότερα, για ένα μετεωρολόγο μπορεί να είναι μία περίοδος ξηρού καιρού ή η έλλειψη κατακρημνισμάτων. Για έναν υδρολόγο μπορεί να είναι μία έντονη έλλειψη υδάτων που προκαλεί υδρολογική αστάθεια σε μία περιοχή. Σε έναν μηχανικό υδατικών πόρων μπορεί να σηματοδοτεί ένα πρόβλημα ζήτησης και προσφοράς νερού. Για έναν γεωπόνο η λειψυδρία είναι δυνατό να εκφρασθεί σαν την έλλειψη επαρκούς υγρασίας σε σχέση με συγκεκριμένη καλλιέργεια. Για έναν οικονομολόγο η λειψυδρία μπορεί να σημαίνει σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις, και τέλος σε ένα κοινωνιολόγο μπορεί να υπονοεί πιέσεις και παραμορφώσεις σε ένα δεδομένο κοινωνικό οικοδόμημα (Τραχάνης, 2012). Στην παρούσα διπλωματική εργασία η λειψυδρία θα μελετηθεί ως φυσικό φαινόμενο.

Η συλλογή όμβριων υδάτων (Rain Water Harvesting, RWH), είναι μία σχετικά εύκολη λύση για εξοικονόμηση και συλλογή καθαρού νερού, ειδικά σε περιοχές όπου υπάρχει έντονη λειψυδρία, όπως είναι οι Φούρνοι Ικαρίας.

2.5.1. Αίτια λειψυδρίας

Για το φαινόμενο της λειψυδρίας υπάρχουν διάφορες υποθέσεις. Οι βασικές θεωρίες που ερμηνεύουν την εμφάνιση φαινομένων λειψυδρίας είναι αναφορικά το φαινόμενο Ελ Νίνιο, το φαινόμενα Λα Νίνια, ανθρωπογενείς παράγοντες, αεροχείμαρροι, αστρονομικοί παράγοντες (Τραχάνης, 2012).

3.Περιοχή Μελέτης

3.1. Φούρνοι Ικαρίας

Οι Φούρνοι Κορσεών ή Φούρνοι Ικαρίας ή απλά Φούρνοι, είναι συστάδα νήσων, νησίδων και βραχονησίδων του ανατολικού Αιγαίου. Η θέση τους είναι δυτικά-νοτιοδυτικά της Σάμου και ανατολικά της Ικαρίας. Συγκεκριμένα ανάμεσα στο τρίγωνο των ακρωτηρίων «Δομένικος» της Σάμου, «Φανάρι» της Ικαρίας και «Τζουλούφι» της Πάτμου. Οι Φούρνοι είναι το μεγαλύτερο νησί της συστάδας με έκταση 30,5 km² στο οποίο βρίσκεται και η πρωτεύουσα και ακολουθεί η Θύμαινα με έκταση 10,07 km² και ο Άγιος Μηνάς με έκταση 2,34 km². Ο δήμος Φούρνων Κορσεών περιλαμβάνει τους παρακάτω οικισμούς και νησίδες: οι Φούρνοι, ο Άγιος Ιωάννης Θερμαστής, ο Άγιος Μηνάς (νησίδα), το Αλατονήσι (νησίδα), ο Ανθρωποφάς (νησίδα), οι Δαφνολιές, η Θύμαινα (νησίδα), το Θυμινάκι (νησίδα), το Καμάρι, το Καμπί Φούρνων, το Καμπί Χρυσομηλιάς, η Κεραμειδού, η Κισηριά (νησίδα), το Μακρονήσι (νησίδα), ο Μικρός Ανθρωποφάς (νησίδα), το Μπαλί, το Πετροκάραβο (νησίδα), η Πλαγιά, η Πλάκα (νησίδα), το Πλακάκι (νησίδα), το Στρογγυλό (νησίδα), η Χρυσομηλιά.



Εικόνα 15 Φούρνοι Ικαρίας (Πηγή: <https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>)

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τα για την διαχείριση υδατικών πόρων, η Ελλάδα αποτελείται από 14 Υδατικά Διαμερίσματα (ΥΔ). Οι Φούρνοι Ικαρίας, ανήκουν στο υδατικό διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (ΥΔ 14).



Εικόνα 16 Υδατικά Διαμερίσματα (Πηγή: <http://4862.syzefxis.gov.gr/index.php/sxedia-diaxeirisis-lekanon-aporrois-potamon>)

3.2. Ιστορία της περιοχής μελέτης

Οι Φούρνοι στην αρχαιότητα ονομάζονταν Κοράσιαι νήσοι, ονομασία που διατηρείται έως και σήμερα. Κατά την ελληνιστική περίοδο ο φιλόσοφος Πορφύριος τους ονόμαζε Κορσέας. Κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας, ονομάζονταν Fornelli, που σημαίνει μικρός φούρνος, ή Μελάνθη, Φορτιόλε και Κουρσοί. Φούρνοι ονομάστηκαν μεταγενέστερα. Ιστορικοί με λογικές υποθέσεις, κατέληξαν στο συμπέρασμα, πως πιθανότατα οι πρώτοι κάτοικοι του νησιού, ονόμασαν έτσι το σύμπλεγμα βραχονησίδων λόγω των λατομείων και γιατί μετακινούνταν για να μεταφέρουν πετρώματα. Οι πρώτοι κάτοικοι ήταν Ίωνες, οι Μιλήσιοι και με τα πετρώματα των νήσων χτίστηκε απέναντι η Μίλητος.

Στα χρόνια της Βυζαντινής περιόδου και κατά την διάρκεια του Μεσαίωνα, οι Φούρνοι έγιναν ένα από τα σπουδαιότερα ορμητήρια των πειρατών στο Αιγαίο. Εκείνη την περίοδο, η περιοχή είχε ερημωθεί, επανακατοικήθηκε το 1770 μ.Χ. Κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας, οι Φούρνοι ελέγχονταν από τον ηγεμόνα της Σάμου. Ήταν ένα σπουδαίο στρατηγικά σημείο λόγω της γεωγραφικής τους θέσης και της γεωμορφολογίας τους. Τον Ιούλιο του 1912 πραγματοποιήθηκε η Ικαριανή Επανάσταση και η περιοχή ενώθηκε λίγους μήνες μετά, τον Νοέμβριο, με την Ελλάδα.

Οι πρώτες κατοικίες ήταν χτισμένες από σχιστολιθικές πέτρες, και ήταν σκεπασμένες με δοκάρια και φίδες, ένα είδος ξύλου του νησιού. Το σχήμα τους ήταν μακρόστενο και καθένα από αυτά είχε τζάκι και ειδικές εσοχές στους τοίχους για να μπαίνουν τα προϊόντα τα οποία κατασκεύαζαν. Ακόμη υπήρχε ειδική κατασκευή για το κρεβάτι και τα σπίτια τους ήταν εξοπλισμένα με ξύλινα έπιπλα. Κάποια από αυτά είναι οι σοφράδες, τα σκαμνάκια. Πολλά είναι τα σπίτια που έχουν διατηρηθεί έως σήμερα πλέον όμως δεν χρησιμοποιούνται σαν κατοικίες, αλλά σαν γραφικά ταβερνάκια ή παραδοσιακά καφενεία.

3.2.1. Μνημεία

Στην περιοχή υπάρχουν πολλά γνωστά μνημεία όπως ο Αρχαίος οικισμός Καμάρι, η μαρμάρινη σαρκοφάγος, το μαρμάρινο λατομείο και η Ακρόπολη. Η Ακρόπολη βρίσκεται στον λόφο Αγίου Γεωργίου, ακριβώς πάνω από το χωριό. Έχει διασωθεί το τοίχος του προϊστορικού κάστρου, στου οποίου τα θεμέλια χτίστηκε η Ακρόπολη των Φούρνων. Έχει επίσης διασωθεί στρογγυλός πελεκημένος βράχος, που ήταν βάση αγάλματος και επιγραφές σε πέτρες, οι οποίες αναφέρουν τους θεούς της Σαμοθράκης και αφιερώσεις στον θεό Ερμή. Η μαρμάρινη σαρκοφάγος, βρέθηκε στη χώρα των Φούρνων και σήμερα βρίσκεται στην πλατεία του χωριού. Είναι αλεξανδρινού τύπου με σκαλισμένα φύλλα κισσού και ρόδακες.



Εικόνα 17 μαρμάρινη σαρκοφάγος (Πηγή: <http://www.ikariaki.gr/fourni-ikarias-egeopelagitiki-polinisia/>)

Το αρχαίο λατομείο βρίσκεται σε μία πλαγιά στην περιοχή του Πετροκοπίου. Η περιοχή είναι καλυμμένη με ένα πέτρωμα που ονομάζεται λατύπης και με μεγάλα κομμάτια μάρμαρο. Οι αρχαιολόγοι βεβαιώνουν πως τα πετρώματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για να χτιστεί η αρχαία Μίλητος. Ακόμη στο ίδιο σημείο έχουν βρεθεί σπόνδυλοι κιόνων και κιανόκρανα Ιωνικού ρυθμού. Υπάρχει ακόμη ένα αρχαίο λατομείο στην περιοχή «Τσιγγαναριό». Τέλος ο αρχαίος οικισμός Καμάρι βρίσκεται στο δυτικό μέρος του νησιού. Ονομάστηκε έτσι εξαιτίας μίας καμάρας, ενός ημικυλινδρικού θόλου που πλέον έχει καταστραφεί. Στην περιοχή έχουν βρεθεί κατοικίες που φτάνουν στην χαμηλή πλευρά του λόφου, αλλά ακόμη και μέσα στην θάλασσα. Μέσα στο νερό μπορεί κανείς να διακρίνει τα δωμάτια και τους τοίχους σπιτιών που έχουν διασωθεί. Οι τοίχοι είναι χτισμένοι με πέτρες. Στην τριγύρω περιοχή, συγκεκριμένα στην εκκλησία των Ταξιαρχών, έχουν βρεθεί κίονες από γρανίτη, πωρόλιθο και σταχτί φλεβωτό μάρμαρο, αλλά και ορθογώνιες πλάκες.

3.3. Πληθυσμιακά και Δημογραφικά Στοιχεία

3.3.1. Πληθυσμιακή εξέλιξη

Οι Φούρνοι Κορσέων ανήκουν στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου και πιο συγκεκριμένα στην Περιφερειακή Ενότητα Ικαρίας, του Νομού Σάμου. Ο δήμος αρχικά λειτούργησε σύμφωνα με το Σχέδιο Καποδίστριας ως ένας από τους οκτώ δήμους του νομού Σάμου από το 1999 έως το 2010 με έδρα τον οικισμό των Φούρνων. Με τη διοικητική διαίρεση του 2011 (Σχέδιο Καλλικράτης), τα διοικητικά όρια και η έδρα του δήμου δεν μεταβλήθηκαν. Σύμφωνα με την απογραφή του 2021, η Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου έχει 194.943 άτομα μόνιμο πληθυσμό, εκ των οποίων οι 97.765 είναι άνδρες και οι 97.178 είναι γυναίκες. Από τους 194.943 μόνιμους κάτοίκους της Περιφέρειας, μόλις οι 10.186 ανήκουν στην Περιφερειακή Ενότητα Ικαρίας και μόνο 1.343 είναι μόνιμοι κάτοικοι της περιοχής μελέτης, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8 Μόνιμος πληθυσμός στην περιοχή μελέτης (Πηγή: <https://www.statistics.gr/>)

Δήμος	Πληθυσμός		Άνδρες		Γυναίκες	
	2011	2021	2011	2021	2011	2021
ΙΚΑΡΙΑΣ	8423	8843	4220	4415	4203	4428
ΦΟΥΡΝΩΝ ΙΚΑΡΙΑΣ	1459	1343	722	628	737	715

3.4. Υδροδότηση

Η υδροδότηση της περιοχής γίνεται κυρίως με μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία. Η γενική γραμματεία αιγαίου και νησιωτικής πολιτικής, από το 1997 έχει την ευθύνη χρηματοδότησης του έργου της μεταφοράς νερού με υδροφόρα πλοία, για την κάλυψη αναγκών άνυδρων νησιών. Παρόλα αυτά, όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2 αυτός ο τρόπος υδροδότησης κοστίζει πολύ. Στους Φούρνους Ικαρίας δεν υδροδοτούνται όλες οι περιοχές με τον ίδιο τρόπο.

Στην Χρυσομηλιά υπάρχει σταθερό δίκτυο υδροδότησης το οποίο ενισχύεται με 2 μονάδες αφαλάτωσης δυναμικότητας 100 m³ ανά μέρα. Οι μονάδες αφαλάτωσης υπάρχουν από το 2008. Το νερό από την αφαλάτωση αποθηκεύεται σε δεξαμενές συνδεδεμένες με το δίκτυο ύδρευσης του χωριού. Το σύστημα τροφοδοτείται καθημερινά με 11 m³ ανά ώρα. Το 45% του είναι το παραγόμενο νερό, ενώ το 65% επιστρέφει στην θάλασσα μαζί με το αλάτι. Το νερό που προκύπτει εμπλουτίζεται στην συνέχεια με διάφορα ιχνοστοιχεία ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόση. Τα χημικά που χρησιμοποιούνται ελέγχονται με διάφορες ηλεκτρονικές ενδείξεις και δοσομετρικές αντλίες. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, στέλνεται δείγμα του νερού στο χημείο του κράτους ώστε να ελεγχθεί η ποιότητά του. Για να λειτουργήσει όμως η μονάδα αφαλάτωσης χρειάζεται τροφοδότηση με ηλεκτρικό ρεύμα.

Στην περιοχή της Θύμαινας το νερό προέρχεται από φυσική πηγή βάθους 94 μέτρων μέσω γεώτρησης. Ο καθαρισμός τους νερού, γίνεται με αντίστροφη ώσμωση. Μετά την γεώτρηση μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων σε μία δεξαμενή περίπου 3000 m³. Μετά το φιλτράρισμα μεταφέρεται μέσω σωλήνων σε μία μικρότερη δεξαμενή της τάξης των 400 m³, η ποσότητα αυτή καλύπτει τις ανάγκες της περιοχής έως και 4 μέρες. Στις 25 Φεβρουαρίου 2022, ο Περιφερειάρχης Βορείου Αιγαίου υπέγραψε σύμβαση με τον Δήμο Φούρνων Κόρσεων για την κατασκευή μονάδας αφαλάτωσης και πόσιμου νερού στην περιοχή της Θύμαινας. Το έργο βρίσκεται σε εξέλιξη. (Προσωπική επικοινωνία με υπάλληλο τεχνικής υπηρεσίας του δήμου, 10/01/2024)

Στους Φούρνους, στην περιοχή με τον περισσότερο μόνιμο πληθυσμό, δεν υπάρχει υδροδότηση. Οι κάτοικοι χρησιμοποιούν δεξαμενές συλλογής όμβριων υδάτων και εμφιαλωμένο νερό. Ακόμη υπάρχει μία βρύση με φίλτρο για πόσιμο νερό, στην κεντρική πλατεία του χωριού, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένες ώρες από τις 8.00 π.μ. έως τις 10.00 μ.μ..

Φαίνεται ότι υπάρχει σοβαρό πρόβλημα υδροδότησης στην περιοχή μελέτης. Η σωστή χρήση της τεχνολογίας δεξαμενών όμβριων υδάτων θα βοηθήσει κατά πολύ στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος.

3.5. Γεωγραφικά και Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά (γεωγραφικές, γεωλογικές, υδρογεωλογικές συνθήκες)

Οι Φούρνοι Ικαρίας βρίσκονται στο ανατολικό Αιγαίο Πέλαγος, ανατολικά της Ικαρίας και δυτικά- νοτιοδυτικά της Σάμου. Η συστάδα νήσων καταλαμβάνει πολύ μικρή έκταση, 45,247 km². Η ακτογραμμή των νησίδων αυτών ξεπερνάει σε μήκος αυτή της Σάμου και φτάνει τα 120 km. Το ψηλότερο σημείο του συμπλέγματος βρίσκεται στη Θύμαινα και φτάνει μόλις τα 470 m.

Η γεωμορφολογία των Φούρνων χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο με βραχώδεις ακτές και χαμηλή έως μηδαμινή βλάστηση. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα είδη βλάστησης που υπάρχουν στο νησί και τα ποσοστά τους.

Πίνακας 9 Ποσοστά βλάστησης (Πηγή: Μπέρτσιου, 2016)

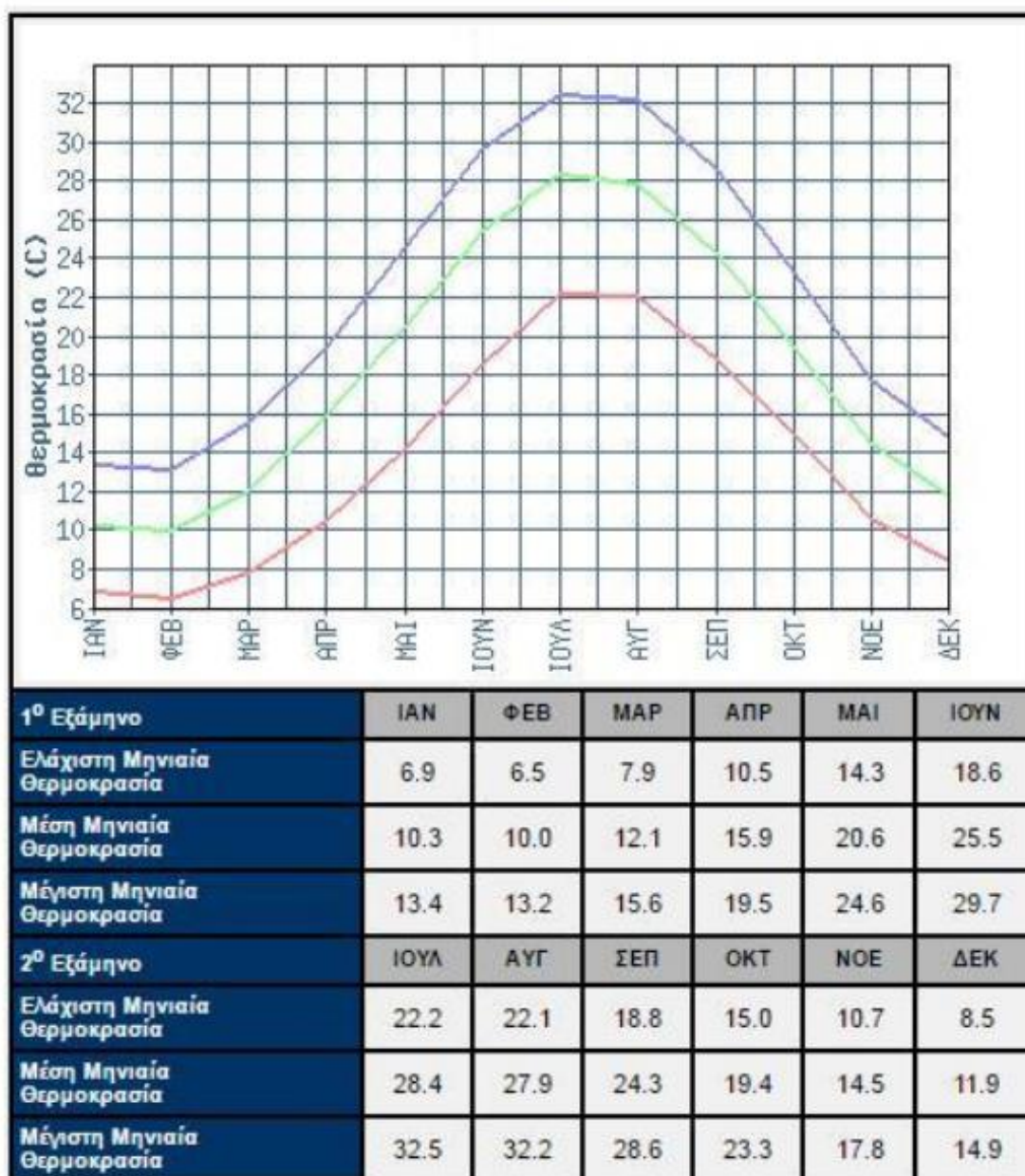
Βλάστηση	
Είδος βλάστησης	Ποσοστό
Σκληροφυλλική βλάστηση	76%
Φυσικοί βοσκότοποι	14,50%
Αραιή βλάστηση	2%
Γεωργικές εκτάσεις	1,20%
Δασώδεις/Θαμνώδεις εκτάσεις	1,10%
Ακαθόριστη κάλυψη	1,10%

3.6. Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα στην περιοχή μελέτης, είναι μεσογειακό με θαλάσσιο χαρακτήρα. Οι χειμώνες είναι ήπιοι και τα καλοκαίρια παρατεταμένα, ξηρά και θερμά. Το ετήσιο ύψος βροχής είναι μικρό ενώ η ηλιοφάνεια σημειώνεται μεγάλη για όλον τον χρόνο. Σπάνια παρατηρείται παγετός, και ακόμη πιο σπάνιο χιόνι και χαλάζι. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 18,4 ° C. Η μέση μηνιαία ελάχιστη είναι 10° C ,τον Φεβρουάριο, και η μέση μηνιαία μέγιστη 28,4 ° C τον Ιούλιο. Οι άνεμοι είναι δυτικοί και βόρειοι, με εντάσεις που ξεπερνούν τα 6 μποφόρ. Η σχετική υγρασία έχει μέση τιμή 72,5% τον χειμώνα και 47,5% το καλοκαίρι. Η ξηρή περίοδος ξεκινάει από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβρη. Οι μέρες παγετού είναι μόλις 1,2 ετησίως, χιονιού 1,5 και χαλαζιού 3,3. Τέλος η ηλιοφάνεια φτάνει τις 2915 ώρες ετησίως με μέγιστη τιμή τον Ιούλιο που φτάνει τις 398 ώρες, από τις μεγαλύτερες τιμές στην Ελλάδα.

Ενδεικτικά, συλλέχθηκαν στοιχεία θερμοκρασίας, βροχόπτωσης, έντασης ανέμου του πιο κοντινού μετεωρολογικού σταθμού, που βρίσκεται στην Σάμο. Σύμφωνα με τα δεδομένα την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία:

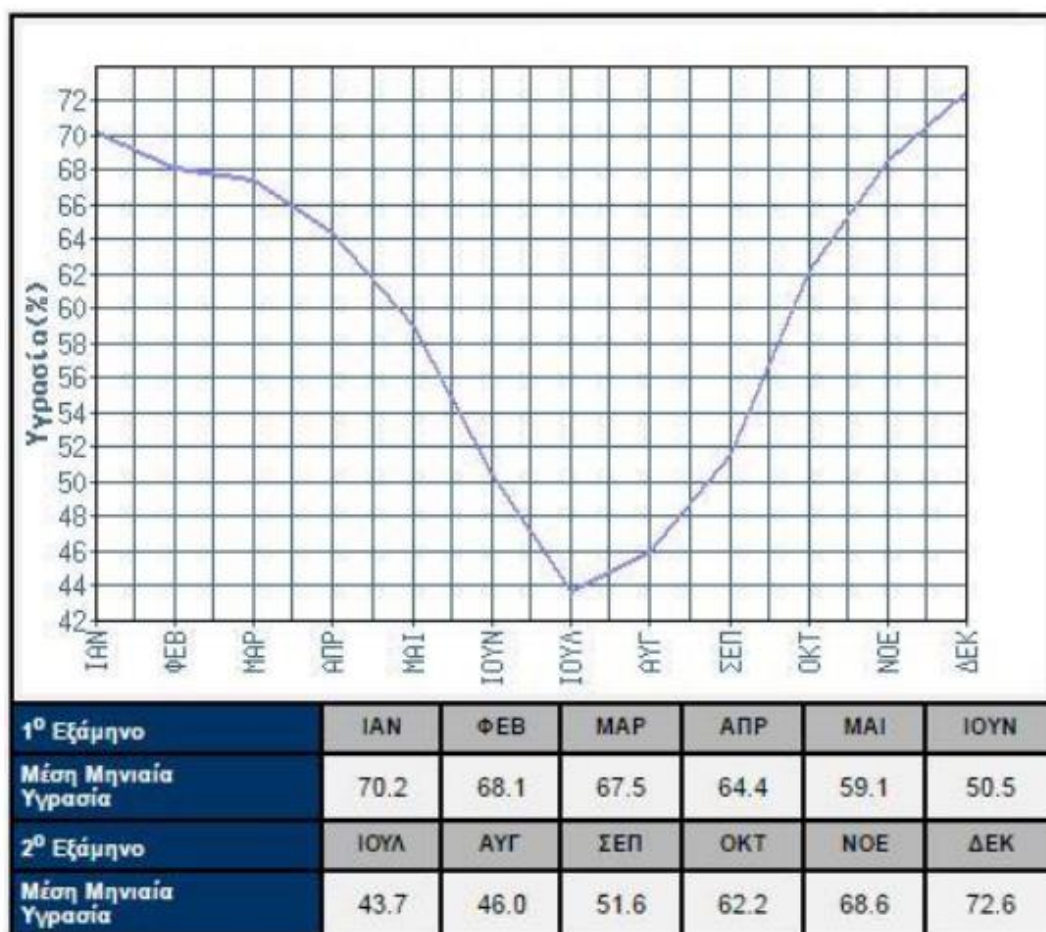
Θερμοκρασία



Εικόνα 18 Ετήσια διακύμανση θερμοκρασίας στον μετεωρολογικό σταθμό της Σάμου
(Πηγή: http://www.emy.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams_html?dr_city=Samos)

Από τα στοιχεία του πίνακα προκύπτει ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται τον Ιούλιο (28.4 °C) και οι ελάχιστες τον Φεβρουάριο (10.0 °C).

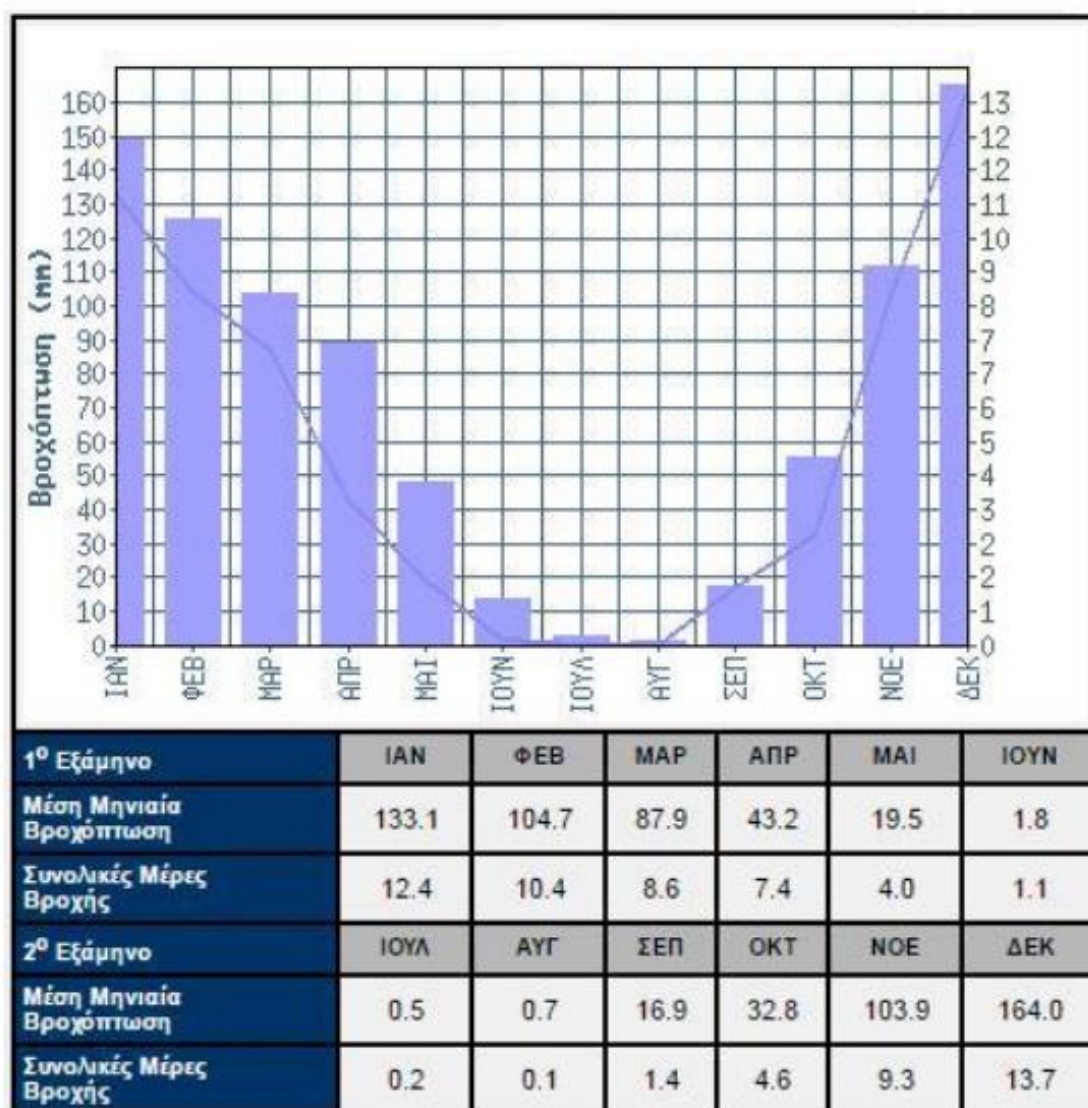
Υγρασία



Εικόνα 19 Ετήσια διακύμανση υγρασίας στον μετεωρολογικό σταθμό της Σάμου
(Πηγή: http://www.emy.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams_html?dr_city=Samos)

Από τον πίνακα προκύπτει ότι οι μέγιστες τιμές υγρασίας παρατηρούνται τον Δεκέμβριο (72.6%) και οι ελάχιστες τον Ιούλιο (43.7 %).

Βροχόπτωση



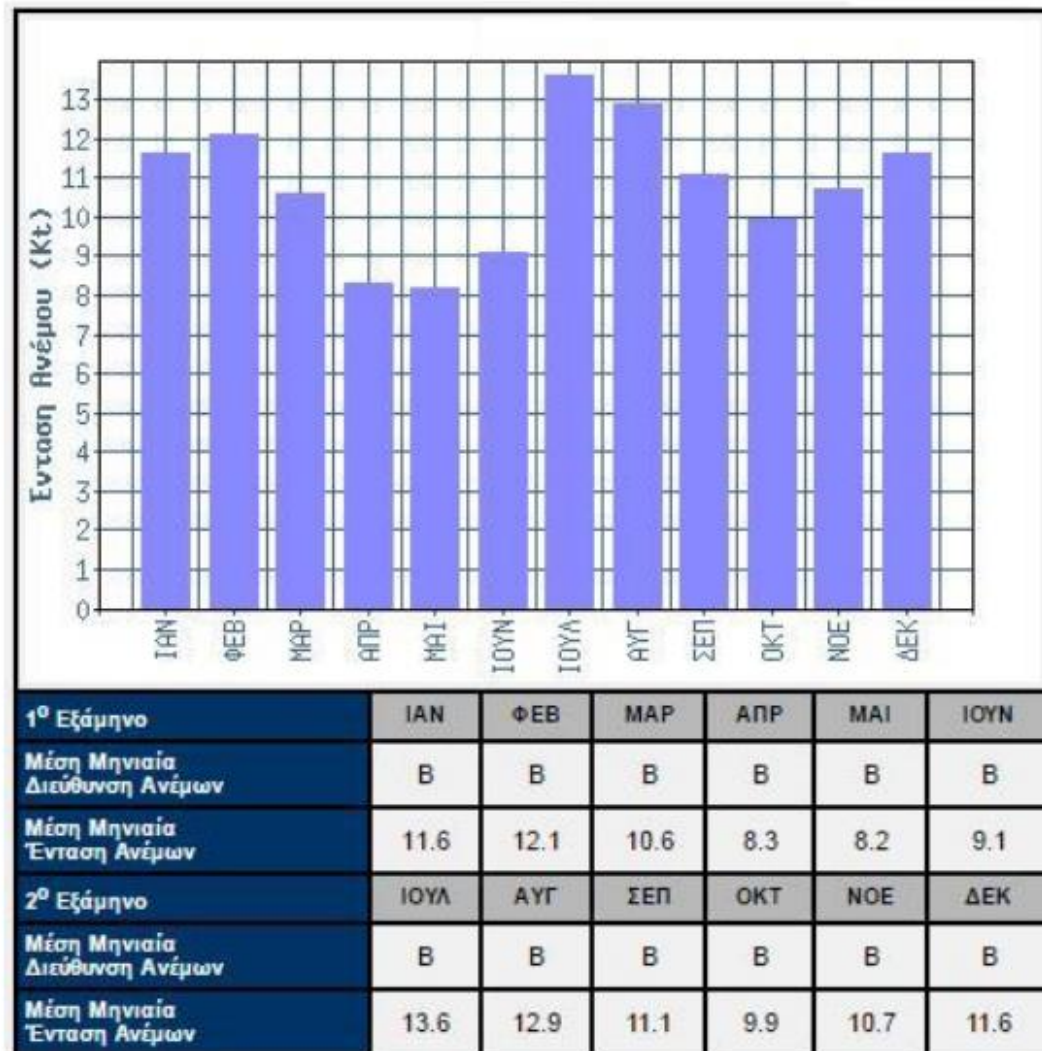
Εικόνα 20 Ετήσια διακύμανση βροχόπτωσης στον μετεωρολογικό σταθμό της Σάμου

(Πηγή:http://www.emy.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams_html?dr_city=Samos)

Προκύπτει ότι οι μέγιστες τιμές βροχόπτωσης παρατηρούνται τον Δεκέμβριο (164.0 mm) και οι ελάχιστες τον Ιούλιο (0.5 mm). Αντίστοιχα οι συνολικές μέρες βροχής παρουσιάζουν μέγιστο τον Δεκέμβριο (13.7 ημέρες) και ελάχιστο τον Αύγουστο (0.1 ημέρες).

Άνεμος

Από τον πίνακα, προκύπτει ότι οι μέγιστες τιμές έντασης ανέμων παρατηρούνται τον Ιούλιο (13.6 Kt) και οι ελάχιστες τον Μάιο (8.2 Kt).

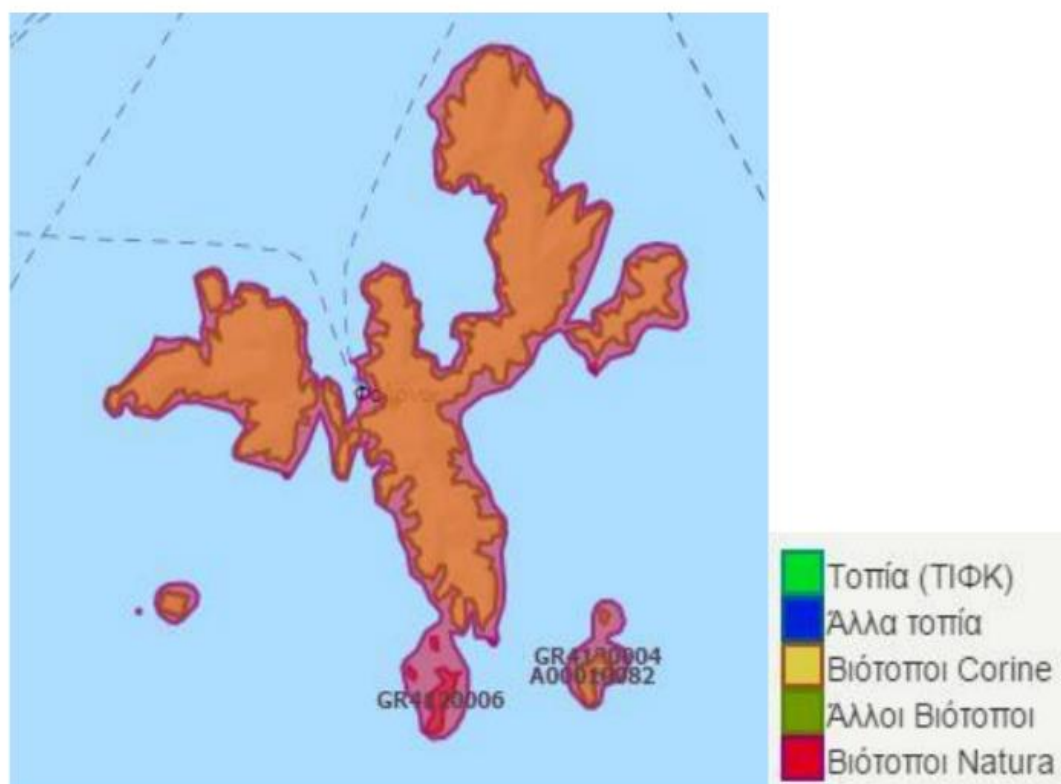


Εικόνα 21 Ετήσια διακύμανση έντασης ανέμου στον μετεωρολογικό σταθμό της Σάμου

(Πηγή: http://www.emy.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams_html?dr_city=Samos)

3.7. Προστατευόμενες περιοχές

Σύμφωνα με τον Ο.ΦΥ.ΠΕ.Κ.Α. αποτελείται από όλες τις περιοχές που υπάγονται σε καθεστώς προστασίας. Στόχο έχει την αποτελεσματική προστασία της βιοποικιλότητας και των λοιπών οικολογικών αξιών τους. Οι κατηγορίες προστατευόμενων περιοχών καθορίστηκαν από το Ν.1650/1986, «Για την Προστασία του Περιβάλλοντος». Σήμερα, μετά από τροποποιήσεις περιλαμβάνουν και τα εθνικά πάρκα, περιοχές προστασίας της βιοποικιλότητας, τα καταφύγια άγριας ζωής, προστατευόμενα τοπία και τους φυσικούς σχηματισμούς όπως τα αισθητικά δάση, τους βιοτόπους και το δίκτυο NATURA 2000.



Εικόνα 22 Χάρτης βιοτόπων των Φούρνων Κορσεών (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes>)

Η περιοχή των Φούρνων Κορσεών, σύμφωνα με βάση δεδομένων για την ελληνική φύση ΦΙΛΟΤΙΣ, αποτελεί βιότοπο, σύμφωνα με τα δεδομένα του Corine 2018, και περικλείεται από βιότοπους του δικτύου Natura, όπως φαίνεται και στην εικόνα 22.

3.7.1. Βιότοποι Corine

❖ Νήσοι Φούρνοι Ικαρίας- A00010082



Εικόνα 23 Βιότοπος, Νήσοι Φούρνοι Ικαρίας – A00010082 (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/A00010082/>)

Στην εικόνα 23 φαίνεται η έκταση που καλύπτει ο βιότοπος με κωδική ονομασία «Νήσοι Φούρνοι Ικαρίας – A00010082»

Χαρακτηριστικά

Περιγραφή του τόπου: Ένα σύμπλεγμα νησιών μεταξύ Σάμου και Ικαρίας. Αραιή θαμνοβλάστηση, πολλοί θαλάσσιοι γκρεμοί, κόλποι και μικρότεροι παράκτιοι βράχοι.

Κατάσταση τόπου: Υποβαθμισμένη

Τάση κατάστασης τόπου: Σταθερότητα/Συντήρηση

Αξίες

Σχόλιο για τις αξίες: Περιοχή με θαλασσοπούλια, όπως το *Falacrocorax carbo* (Κορμοράνος) και το *Calanectris diomedea* (Αρτέμης). Επίσης αναπαράγονται τα: *Falco eleonorae* (Μαυροπετρίτης), *Falco peregrinus* (Πετρίτης) και *Hieraetus fasciatus* (Σπιζαετός). Η Μεσογειακή Φώκια (*Monachus monachus*) είχε συχνή εμφάνιση, η παρούσα κατάσταση όμως είναι άγνωστη. Σημαντικό πέρασμα πουλιών.

Κίνδυνοι

Σχόλιο για τις απειλές-διαταραχές: Παράνομο ψάρεμα

Προτεραιότητα προστασίας: Δευτερεύουσα

3.7.2. Βιότοποι Natura 2000

- ❖ Νήσος Φούρνοι και Νησίδες Θύμαινα, Ακατονήσι, Θυμαινάκι, Στρογγυλό, Πλάκα, Μακρονήσι, Μικρός και Μεγάλος Ανθρωποφάγος, Άγιος Μηνάς – GR4120006



Εικόνα 24 Βιότοπος Natura «Νήσος Φούρνοι και Νησίδες Θύμαινα, Ακατονήσι, Θυμαινάκι, Στρογγυλό, Πλάκα, Μακρονήσι, Μικρός και Μεγάλος Ανθρωποφάγος, Άγιος Μηνάς – GR4120006» (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/GR4120006/>)

Στην παραπάνω εικόνα, φαίνεται η έκταση που καλύπτει ο βιότοπος Natura με κωδική ονομασία «Νήσος Φούρνοι και Νησίδες Θύμαινα, Ακατονήσι, Θυμαινάκι, Στρογγυλό, Πλάκα, Μακρονήσι, Μικρός και Μεγάλος Ανθρωποφάγος, Άγιος Μηνάς – GR4120006»

Χαρακτηριστικά

Περιγραφή του τόπου: Οι Φούρνοι αποτελούν ένα σύμπλεγμα 16 μικρών νησιών στα νοτιοανατολικά της Ικαρίας. Είναι αξιοσημείωτο να αναφέρουμε, ότι ακόμα κι αν συνολική τους επιφάνεια είναι σχετικά μικρή, οι ακτές τους (περίπου 126 χιλιόμετρα σε μήκος) χαρακτηρίζονται από τυπικούς οικοτόπους με απόκρημνων βράχων, υφάλους και κοιλότητες. Η κυρίαρχη βλάστηση είναι φρύγανα και εκτάσεις με κάποιους ελαιώνες και χωράφια δημητριακών.

Αξίες

Σχόλιο για τις αξίες: Αυτή είναι μια σημαντική περιοχή για αναπαραγόμενα θαλασσοπούλια και είδη τυπικά είδη θάμνων της Μεσογείου. Τα είδη προς μέριμνα περιλαμβάνουν: Αρτέμης, Μύχος της Μεσογείου, Κιρκινέζι, Μαυροπετρίτης και Αιγαιόγλαρος.

Κίνδυνοι

Τρωτότητα: Απειλές περιλαμβάνουν την αύξηση του τουρισμού και την δόμηση σε σημαντικές νησίδες.

❖ Ικαρία – Φούρνοι και παράκτια ζώνη – GR4120004

Στην εικόνα 25 , φαίνεται η έκταση που καλύπτει ο βιότοπος Natura με κωδική ονομασία «Ικαρία – Φούρνοι και παράκτια ζώνη – GR4120004»



Εικόνα 25 Βιότοπος Natura «Ικαρία – Φούρνοι και παράκτια ζώνη – GR4120004» (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/GR4120004/>)

Χαρακτηριστικά

Περιγραφή του τόπου: Το νησί της Ικαρίας βρίσκεται στο ανατολικό κεντρικό τμήμα του Αιγαίου πελάγους, νοτιοδυτικά της Σάμου και κοντά στις ακτές της Μικράς Ασίας. Το κλίμα είναι τυπικό μεσογειακό με μέση ετήσια βροχόπτωση που υπερβαίνει τα 870 χιλιοστά. Η μέση ετήσια θερμοκρασία φτάνει έως και 19,3 ° C, ενώ η μέγιστη και ελάχιστη τιμή είναι 22,5 και 15,7 ° C. Το όρος Αθέρας (η ψηλότερη κορυφή, 1042 m) βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του νησιού και αποτελείται κυρίως από σχιστόλιθους. Η συχνή παρουσία ομίχλης και ο σχηματισμός νεφών καθιστούν το ψηλότερο σημείο με αυξημένη σχετική υγρασία ακόμα 73 και το καλοκαίρι. Εδώ η ανοικτού τύπου βλάστηση είναι το αποτέλεσμα της βοσκής. Οι πυκνοί θάμνοι σε μερικές προστατευόμενες περιοχές αποδεικνύουν ότι το νησί κάποτε καλυπτόταν ολόκληρο με δάση. Στη νότια πλευρά (Άγιος Νικόλαος) υπάρχουν μεγάλα, καλά ανεπτυγμένα ασβεστολιθικά βράχια. Ένα σημαντικό ποσοστό της ενδημικής χλωρίδας του νησιού είναι παρούσα σε αυτό το μέρος. Υπάρχει επίσης μια συνεχής ροή του ποταμού (τύπος οικοτόπου 3170), Χάλαρης, που διασχίζει το νησί από το νότο προς το βορρά, με ανατολίτικα επίπεδα δάση να συνορεύουν με τις όχθες του (τύπος οικοτόπου 92C0). Ένας αρχαιολογικός χώρος, ο

ναός της Ταυροπόλου Αρτέμιδος, βρίσκεται στις εκβολές του ποταμού. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι: α) ο τύπος οικοτόπων 9540 αφορά δάση με τραχεία πεύκη β) ο τύπος οικοτόπου 9340 περιγράφει δενδρώδης σχηματισμούς *Quercus ilex*. Ο τρίτος τομέας, το Φανάρι, περιλαμβάνει κυρίως τους θαλάσσιου τύπου οικοτόπους της περιοχής, χαρακτηριστικούς της ανοικτής θάλασσας και του μεσογειακού θαλάσσιου περιβάλλοντος, με αμμώδεις ακτές και τις Ποσειδωνίες. Οι Φούρνοι αποτελούν ένα σύμπλεγμα μικρών νησιών στα νοτιοανατολικά της Ικαρίας. Είναι αξιοσημείωτο να αναφέρουμε, ότι παρόλο που η συνολική τους επιφάνεια είναι σχετικά μικρή, οι ακτές τους (περίπου 126 χιλιόμετρα σε μήκος) χαρακτηρίζονται από τυπικούς οικοτόπους των απόκρημνων βράχων, υφάλους και κοιλάτες.

Αξίες

Σχόλιο για τις αξίες: Ένα βασικό στοιχείο της ποιότητας και της σημασίας του τόπου είναι η υψηλή της βιοποικιλότητα, σαφής στην ποικιλία των τύπων των ενδιαιτημάτων και στην πληρότητα των ενδημικών και τοπικών ενδημικών φυτών και ασπόνδυλων που υπάρχουν στην περιοχή. Αυτός ο υψηλός βαθμός ενδημισμού (π.χ., είδη ενδημικά της Ικαρίας, όπως *Symphytum icaricum* και ενδημικά είδη στο Ανατολικό Αιγαίο, όπως *ssp Cephalaria squamiflora*, *Squamiflora*, *Oporordum majorii* και *Arenaria muralis*), προέρχεται κυρίως από τη γεωγραφική θέση του νησιού της Ικαρίας (πολύ κοντά στη Μικρά Ασία), καθώς και από τα υψηλά υψόμετρα και τη δίκαιη ποικιλία των οικοτόπων που υπάρχουν στην προτεινόμενη τοποθεσία. Πρέπει να αναφερθεί, επίσης, ότι, λόγω της απομόνωσης από τις κύριες τουριστικές περιοχές της Ελλάδας και τις περιορισμένες ανθρώπινες δραστηριότητες στην περιοχή, τα δάση τραχείας πεύκης και οι μικτοί σχηματισμοί του μεσογειακού κυπαρισσιού στο νησί της Ικαρίας βρίσκονται σε πολύ καλή κατάσταση διατήρησης. Πιο αξιοσημείωτη είναι η παρουσία του τοπικού ενδημικού και απειλούμενου είδους *Iberis arbuscula* (προηγουμένως *Iberis runemarkii*) που προστατεύεται από τη Σύμβαση της Βέρνης και από την Ελληνική Νομοθεσία (Προεδρικό Decree 67/81). Μόνο ένας πληθυσμός αυτού του είδους είναι γνωστός, βόρεια της Πλαγιάς. Επιπλέον, οι ανενόχλητοι 74 θαλάσσιοι βιότοποι, οι οποίοι διατηρούν μια εξαιρετική κατάσταση συντήρησης, κυρίως στο νησί των Φούρνων, προσφέρουν ένα ιδανικό οικοσύστημα για την επιβίωση και τη διατήρηση των σπάνιων ή απειλούμενων ειδών στην περιοχή της Μεσογείου, όπως της μεσογειακής φώκιας Μονάχους Μονάχους και του Ρινοδέλφινου. Οι Φούρνοι, μια περιοχή σημαντικής αισθητικής και οικολογικής αξίας, λειτουργούν ως ένα σημαντικό καταφύγιο για τα αρπακτικά πουλιά, όπως για παράδειγμα το Αφρικανικό γεράκι ή το Αμερικανικό βραχοκιρκίνεζο, λόγω της θέσης τους στο ανατολικό τμήμα του Αιγαίου και της γειτνίασης τους προς την ηπειρωτική χώρα της Μικράς Ασίας. Είναι επίσης ένας πολύ σημαντικός σταθμός των μεταναστευτικών πουλιών, κατά τις εποχιακές μεταναστευτικές διαδρομές τους. Γι' αυτούς του λόγους η περιοχή αποτελεί ένα ιδανικό περιβάλλον για την δημιουργία ενός θαλάσσιου πάρκου της ανατολικής Μεσογείου.

Κίνδυνοι

Τρωτότητα: Οι επιπτώσεις είναι κυρίως από τροποποιήσεις που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Η πιο σημαντική απειλή στην επίγεια περιοχή είναι η προκαλούμενη από τον άνθρωπο πυρκαγιά. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 1993 μια μεγάλη πυρκαγιά έκαψε ολοκληρωτικά μια σημαντική περιοχή της Ικαρίας και στοίχισε επίσης ανθρώπινα θύματα. Η αρνητική επίδραση της βοσκής στη φυσική αναγέννηση θα

μπορούσε να είναι μια πρόσθετη απειλή εντός του τόπου Μια τεχνητή αποκατάσταση των καμένων εκτάσεων (αναδάσωση) με είδη τα οποία είναι εκτός του εύρους φυσικής κατανομής τους, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως άλλος ένας σημαντικός παράγοντας κινδύνου. Εντός της θαλάσσιας περιοχής, η ανεξέλεγκτη επαγγελματική αλιεία αποτελεί μια κύρια απειλή για το είδος (φυτών ή ζώων), τα οποία έχουν ανάγκη προστασίας. Η πιθανή μαζική αύξηση του τουριστικού ρεύματος θα αναμένεται να έχει αρνητική επίδραση, ιδιαίτερα στις αμμώδεις ακτές. Μια εποχιακή καταστροφή της βλάστησης προκαλείται από την ελεύθερη κατασκήνωση και από την ανεξέλεγκτη απόθεση αποβλήτων σε ιδιαίτερα ευαίσθητες περιοχές, όπως στους αμμόλοφους.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται όλα τα χαρακτηριστικά των περιοχών Corine και βιοτόπων Natura.

Πίνακας 10 Χαρακτηριστικά των περιοχών Corine και των βιοτόπων Natura (Πηγή: Μπέρτσου, 2016)

	Corine	Natura	
Όνομα	Νήσοι Φούρνοι Ικαρίας	Νήσος Φούρνοι και Νησίδες Θύμαινα, Ακατονήσι, Θυμαϊνάκι, Στρογγυλό, Πλάκα, Μακρονήσι, Μικρός και Μεγάλος Ανθρωποφάγος, Άγιος Μηνάς	Φούρνοι και παράκτια ζώνη
Κωδικός τόπου	A00010082	GR4120006	GR4120004
Κύριος χαρακτήρας	Βιότοπος	Βιότοπος	Βιότοπος
Διοικητική Υποδιαίρεση	Νομός Σάμου	Νομός Σάμου	Νομός Σάμου
Συνολική έκταση (ha)	4507.02	4587.16	12909
Χερσαία εκταση (ha)	6100	4587.16	9467.81
Συνολική περίμετρος (km)	129	137.7	182
Μέγιστο υψόμετρο (m)	514	488	1000
Αξιόλογα θηλαστικά	Μεσογειακή φώκια	-	Μεσογειακή φώκια, Πυρρομυτίδα, Ρινόλοφος του Μπλαζίου, Ρινοδέλφιο
Αξιόλογα πτηνά	Αρτέμης, Λευκοπελαργός, Φιδαητός, Στεπόκιρκος, Λιβαδόκιρκος, Μαυροπετρίτης, Πετρίτης, Όρνιο, Θαλασσαητός, Σπιζαητός, Υδροβάτης, Μικροτσικνιάς, Γαϊδουροκεφαλός, Τσίφτης Αιγυπτιακός, Νυχτοκόρακας, Ψαραητός, Ροδοπελεκάνος, Σφηκιάρης	Δενδροκελάδα, Σταχτάρα, Σκεπαρνάς, Σταχτοτσικνιάς, Πορφυροτσικνιάς, Κρυπτοτσικνιάς, Αητογερακίνα, Αρτέμης, Λευκοπελαργός, Φιδαητός, Καλαμόκιρκος, Στεπόκιρκος, Λιβαδόκιρκος, Λευκοτσικνιάς, Κοκκινολαίμη των Βαλκανίων, Μαυροπετρίτης, Πετρίτης, Σπίνος, Σπιζαητός, Οχροστριτίσιδα, Χελιδόνι, Υδροβάτης, Μικροτσικνιάς, Γαϊδουροκεφαλός, Κοκκινοκέφαλος, Αιγαιόγλαρος, Καστανοκέφαλος γλάρος, Τσίφτης Αιγυπτιακός, Λευκοσουσουράδα, Σταχτοσουσουράδα, Κιτρινοσουσουράδα, Νυχτοκόρακας, Ασπροκόλα, Σταχτοπετρόκλης, Γκιώνης, Ψαραητός, Σφηκιάρης, Θαλασσοκόρακας, Θαμνόφυλλο, Μύχος, Τριγώνι, Ψαρόνι του Ταύρου, Κοκκινοτσιροβάκος, Τσαλαπετεινός	-
Αμφίβια/Ερπετά	Κροκοδειλάκι το νταάνιο, Κυρτοδάκτυλος του Μπέτλερ, Θαμνόφιδο, Οφίσωψ	-	Αβλέφαρος, Κροκοδειλάκι το νταάνιο, Πρασινόφρυνος, Ζαμενής (Αστραπόφιδο), Κυρτοδάκτυλος των νησιών Αδέλφια, Σαπίτης, Ποταμοχελώνα, Τυφλίτης, Οφίσωψ
Αξιόλογα φυτά	-	-	Campanula hagielia, Centaurea raphanina mixta, Cephalaria squamiflora squamiflora (Κεφαλάρια η λεπιδανθής), Corydalis integra, Dianthus elegans (Αγριογαρύφαλλο το κομψό), Digitalis cariensis, Erysimum senoneri icaricum, Fritillaria bithynica, Galanthus ikariae ikariae, Hypericum cuisinii, Muscari macrocarpum, Onopordum majorii, Polygonum icaricum, Ptilostemon gnaphaloides pseudofruticosus (Πτιλοστήμων ο ψευδοθαμνώδης), Ranunculus thasius, Scutellaria rubicunda ikarica, Verbascum icaricum

4. Μοντέλο Προσομοίωσης Λειτουργίας συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων

4.1. Μοντέλο-Θεωρία

Το μοντέλο προσομοίωσης υδατικού ισοζυγίου, δείχνει την λειτουργία της δεξαμενής όμβριων υδάτων ενός συστήματος συλλογής και αποθήκευσης όμβριων σε ημερήσια βάση. Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2, η συλλογή βρόχινου νερού γίνεται από στέγες ή και από άλλες διαθέσιμες επιφάνειες και αποθηκεύεται στις δεξαμενές. Αντίστοιχα η ζήτηση αφορά την κάλυψη αναγκών αστικής χρήσης και εξετάζονται διάφορα ποσοστά που μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες μίας κατοικίας. Στις ανάγκες αυτές δεν συγκαταλέγεται η χρήση του νερού για πόση. Με το μοντέλο αυτό εξετάζεται και η αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Για να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο, απαραίτητα είναι τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο και καθορίζουν τον όγκο του βρόχινου νερού που μπορεί να συλλεχθεί. Αντίστοιχα ο όγκος προσδιορίζει την χωρητικότητα της δεξαμενής και κατ' επέκταση το ποσοστό κάλυψης των αναγκών ζήτησης.

Η αποθηκευμένη ποσότητα βρόχινου νερού υπολογίζεται από την εξίσωση ημερησίου υδατικού ισοζυγίου :

$$St = St-1 + Rt - Dt, 0 \leq St-1 \leq V_{tank}$$

όπου: St ο όγκος του νερού που θα αποθηκευτεί στη δεξαμενή την t ημέρα (m^3) $St-1$ ο όγκος του αποθηκευμένου νερού στη δεξαμενή την προηγούμενη ημέρα (m^3) Rt ο όγκος του νερού της βροχής που θα απορρεύσει από την επιφάνεια συλλογής και θα εισέλθει στη δεξαμενή την t ημέρα (m^3) Dt η ζήτηση νερού από τη δεξαμενή την t ημέρα (m^3) και V_{tank} η χωρητικότητα της δεξαμενής (m^3)

Οι τύποι που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 11 Συγκεντρωτικός πίνακας τύπων που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση (Πηγή: Τζανιδάκης, 2021)

	Κατηγορία	Τύπος
1	Προσδιορισμός συλλεγόμενου όγκου όμβριων υδάτων	$Rt = C \cdot A \cdot P_{eff,t}$ (σε m^3)

	Ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση	$P_{eff,t} = P_t - (first\ flush)$ (σε mm)
2	Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης	$D_t = N_{cap} \cdot q \cdot (p/100)$ (σε m ³)
3	Υπολογισμός όγκου ομβροδεξαμενής με τη μέθοδο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου	$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t$
4	Συντελεστής αποδοτικότητας (Re)	$Re(\%) = \frac{\sum(days\ without\ tap\ use)}{\sum(total\ timespan)}$

Αναλυτικότερα για τους παραπάνω τύπους:

1. Ως προσδιορισμός συλλεγόμενου όγκου απορροής όμβριων υδάτων, ορίζεται ο όγκος του νερού που απορρέει από μία επιφάνεια, σε καθημερινή βάση και συμβολίζεται με R_t . Στον τύπο αυτό χρησιμοποιείται ο συντελεστής απορροής C , όπου στην παρούσα διπλωματική παίρνει την τιμή $C=0.90$. Ο συντελεστής C παίρνει διαφορετικές τιμές ανάλογα του υλικού επιφάνειας, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 12 Πίνακας Τιμές του συντελεστή απορροής (C) για διαφορετικές επιφάνειες συλλογής (Πηγή: Kinkade - Levario, 2007 και UNEP, 2009)

Υλικό Επιφάνειας	Συντελεστής Απορροής, C	Υλικό Επιφάνειας	Συντελεστής Απορροής, C
Λείες,στεγανές στέγες από μέταλλο, κεραμίδι, τσιμέντο	0.90	Με πλακάκια	0.80-0.90
Χαλικόστρωτες στέγες και λιθόστρωτες	0.80	Με μεταλλικά φύλλα	0.70-0.90
Επεξεργασμένο Έδαφος	0.60	Έδαφος από σκυρόδεμα	0.60-0.80
Φυσικό Έδαφος	0.30	Φυσικό	0.10-0.50

Η σκόνη, τα φύλλα, η λάσπη, τα περιττώματα πουλιών στην επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων συμβάλλουν στην υποβάθμιση ποιότητας του νερού που συλλέγεται στην δεξαμενή. Σύμφωνα με μελέτες των Yaziz 1989 και Kinkade-Levario (2007), για την βέλτιστη δυνατή ποιότητα νερού, ορίστηκε να αφαιρούνται κάποια mm βροχής. Τα mm αυτά αναφέρονται στην πρώτη έκπλυση νερού. Επομένως προκύπτει ο τύπος της ωφέλιμης βροχόπτωσης, που συμβολίζεται με $P_{eff,t}$.

2. Η ημερήσια ζήτηση νερού σε μία κατοικία συμβολίζεται με D_t . Εξαρτάται από α) τον αριθμό ατόμων που μένουν σε αυτή, β) την ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο και γ) το ποσοστό της συνολικής χρήσης νερού, το οποίο πρέπει να ικανοποιείται από το αποθηκευμένο νερό της ομβροδεξαμενής. Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται σε κατοικία δύο (2) και τεσσάρων (4) ατόμων και η τιμή ημερήσιας κατανάλωσης νερού ορίζεται σε 180 L/κάτοικο/ημέρα.

3. Ο όγκος νερού που μπορεί να αποθηκευτεί στη δεξαμενή συμβολίζεται με S_t και υπολογίζεται με τον τύπο (Λόντρα, 2014):

$$S_t = S_{t-1} + C \times A \times P_{eff,t} - N_{cap} \times q \times (p/100), \text{ με } 0 \leq S_{t-1} \leq V_{tank} \quad (1)$$

Η ημερήσια διαφορά μεταξύ απορροής και ζήτησης, συμβολίζεται με ΔS_t και προκύπτει από τον τύπο:

$$\Delta S_t = C \times A \times P_{eff,t} - N_{cap} \times q \times (p/100) \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) προκύπτει και ο τελικός τύπος του Πίνακα 12.

Ο υπολογισμός του ημερήσιου όγκου που αποθηκεύεται, είναι επαναληπτικός και ξεκινάει από μία αρχική τιμή $S_{t-1}=S_0$ για $t=0$ και αφορά τον αρχικό αποθηκευμένο όγκο νερού στη δεξαμενή. Ως κατώτερο άκρο για την τιμή του όγκου λαμβάνεται το μηδέν, αναφερόμενο σε αρχικά άδεια δεξαμενή, (δηλαδή $S_0=0$). Όταν είναι μερικώς γεμάτη, ο όγκος μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή, ενώ η μέγιστη τιμή του όγκου είναι ίση με τον όγκο της ίδιας της δεξαμενής, δηλαδή $S_0=V_{tank}$. Η διαδικασία που επαναλαμβάνεται για τον υπολογισμό της χωρητικότητας της δεξαμενής, παράλληλα με τον υπολογισμό της ποσότητας νερού που συλλέγεται σε καθημερινή βάση, παρουσιάζεται παρακάτω (Τζανιδάκης, 2021):

$$\text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) > V_{tank} \text{ then } S_{t,tank} = V_{tank},$$

$$\text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) < V_{tank} \text{ then } 0,$$

$$\text{else } S_t = S_{t,tank} = S_{t-1} + \Delta S_t,$$

όπου $S_{t,tank}$, ο πραγματικά διαθέσιμος αποθηκευμένος όγκος νερού της δεξαμενής.

Όταν η δεξαμενή συλλογής γεμίσει, μια ποσότητα του αποθηκευμένου νερού υπερχειλίζει από αυτή. Ο όγκος αυτός του νερού (O_t), υπολογίζεται ως εξής (συνθήκη υπερχειλίσσης):

$$\text{if } S_t \geq V_{tank} \text{ then } O_t = S_t - V_{tank}, \text{ else } O_t = 0$$

Υπάρχει περίπτωση ο όγκος του βρόχινου νερού που συλλέγεται και αποθηκεύεται στη δεξαμενή (St,tank) να μην επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών, στην ζήτηση που έχει καθοριστεί. Έτσι, θα πρέπει να υπάρξει συμπληρωματική ποσότητα νερού για την κάλυψη της εν λόγω ζήτησης από την δημόσια τοπική υπηρεσία παροχής νερού (Tt).

Ο αλγόριθμος που υπολογίζει την ποσότητα που λαμβάνεται από το δίκτυο είναι:

$$\text{if } (St < Dt) \text{ then } Tt = Dt - St, \text{tank}, \text{ else } Tt = 0$$

Η παραπάνω διαδικασία προσδιορισμού του όγκου της ομβροδεξαμενής μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε ένα πρόγραμμα λογιστικών φύλλων (Microsoft Excel), έχοντας διαθέσιμες τις ημερήσιες καταγραφές βροχόπτωσης για την περιοχή όπου βρίσκεται η ομβροδεξαμενή, όπως φαίνεται ενδεικτικά κ στην εικόνα ΤΑΔΕ με δεδομένα της περιοχής μελέτης της εργασίας.

4. Αφού καθοριστούν όλα τα παραπάνω, προσδιορίζεται και ο συντελεστής αποδοτικότητα του συστήματος, που συμβολίζεται με *Re* και ορίζεται ως το ποσοστό του συνολικού αριθμού των ημερών που το αποθηκευμένο νερό στην δεξαμενή εξυπηρετεί εξ' ολοκλήρου τις ανάγκες των ατόμων, προς τον συνολικό αριθμό των ημερών που έχουν καταγραφεί τα δεδομένα βροχής και χρησιμοποιούνται στο μοντέλο για την διαστασιολόγηση του συστήματος. Για να θεωρηθεί ένα σύστημα αποδοτικό, ο συντελεστής αποδοτικότητας πρέπει να ξεπερνάει το 30%, δηλαδή την τιμή 0,3. Στην Εικόνα 26 φαίνεται πως με δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, προκύπτει ένα αποδοτικό σύστημα με τιμή $Re=0,996$ ή 99,6%. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως η συγκεκριμένη τιμή ζήτησης, σχετίζεται με χρήσεις όπως το καζανάκι (15% ποσοστό επί της ζήτησης) και το πλυντήριο ρούχων και πιάτων (30% ποσοστό επί της ζήτησης).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
RWHS-DAILY MODEL-EG		MAX	135,6	122,04								S=50+ΔS, m3 δεν παύεται	85,7696	3,8976				119	Re 0,996397
Technical characteristics		Date, d	Rainfall, mm	Net rainfall R, mm	ΣR, mm	Σ(VR), m³	Daily draft, m³	Σdraft, m3	Σ(In-Out), m3	ΔS=I-O, m3	30,000	Storage, m3	Overflow, m3	Tap, m3	Σ Tap, m3	Days with no rain	0	Σ Days with no rain	FLAG (0-1) for meeting demand
Rooftop Area (m2)	140	1/10/2012	0	0	0	0	0,216	0,108	-0,108	-0,216	29,784	29,784	0	0	0	1	1	1	
Runoff Coefficient C _r	0,9	2/10/2012	0	0	0	0	0,216	0,324	-0,324	-0,216	29,568	29,568	0	0	0	1	2	1	
Tank size (L)	30000	3/10/2012	0	0	0	0	0,216	0,54	-0,54	-0,216	29,352	29,352	0	0	0	1	3	1	
Tank size (m3)	30	4/10/2012	0	0	0	0	0,216	0,756	-0,756	-0,216	29,136	29,136	0	0	0	1	4	1	
Initial volume in tank (L)	30000	5/10/2012	0	0	0	0	0,216	0,972	-0,972	-0,216	28,920	28,920	0	0	0	1	5	1	
		6/10/2012	0	0	0	0	0,216	1,188	-1,188	-0,216	28,704	28,704	0	0	0	1	6	1	
		7/10/2012	0	0	0	0	0,216	1,404	-1,404	-0,216	28,488	28,488	0	0	0	1	7	1	
		8/10/2012	0	0	0	0	0,216	1,62	-1,62	-0,216	28,272	28,272	0	0	0	1	8	1	
		9/10/2012	0	0	0	0	0,216	1,836	-1,836	-0,216	28,056	28,056	0	0	0	1	9	1	
		10/10/2012	0	0	0	0	0,216	2,052	-2,052	-0,216	27,840	27,840	0	0	0	1	10	1	
		11/10/2012	0	0	0	0	0,216	2,268	-2,268	-0,216	27,624	27,624	0	0	0	1	11	1	
		12/10/2012	0	0	0	0	0,216	2,484	-2,484	-0,216	27,408	27,408	0	0	0	1	12	1	
		13/10/2012	0	0	0	0	0,216	2,7	-2,7	-0,216	27,192	27,192	0	0	0	1	13	1	
		14/10/2012	0	0	0	0	0,216	2,916	-2,916	-0,216	26,976	26,976	0	0	0	1	14	1	
		15/10/2012	0	0	0	0	0,216	3,132	-3,132	-0,216	26,760	26,760	0	0	0	1	15	1	
		16/10/2012	0	0	0	0	0,216	3,348	-3,348	-0,216	26,544	26,544	0	0	0	1	16	1	
		17/10/2012	0	0	0	0	0,216	3,564	-3,564	-0,216	26,328	26,328	0	0	0	1	17	1	
		18/10/2012	0	0	0	0	0,216	3,78	-3,78	-0,216	26,112	26,112	0	0	0	1	18	1	
		19/10/2012	0	0	0	0	0,216	3,996	-3,996	-0,216	25,896	25,896	0	0	0	1	19	1	
		20/10/2012	0	0	0	0	0,216	4,212	-4,212	-0,216	25,680	25,680	0	0	0	1	20	1	
		21/10/2012	0	0	0	0	0,216	4,428	-4,428	-0,216	25,464	25,464	0	0	0	1	21	1	
		22/10/2012	8,4	7,56	7,56	1,0584	0,216	4,644	-3,5856	-0,216	25,248	25,248	0	0	0	0	0	1	
		23/10/2012	0	0	7,56	1,0584	0,216	4,86	-3,8016	0,842	26,306	26,306	0	0	0	1	1	1	
		24/10/2012	0	0	7,56	1,0584	0,216	5,076	-4,0176	-0,216	26,090	26,090	0	0	0	1	2	1	
		25/10/2012	0	0	7,56	1,0584	0,216	5,292	-4,2336	-0,216	25,874	25,874	0	0	0	1	3	1	
		26/10/2012	0	0	7,56	1,0584	0,216	5,508	-4,4496	-0,216	25,658	25,658	0	0	0	1	4	1	
		27/10/2012	0	0	7,56	1,0584	0,216	5,724	-4,6656	-0,216	25,442	25,442	0	0	0	1	5	1	
		28/10/2012	0	0	7,56	1,0584	0,216	5,94	-4,8816	-0,216	25,226	25,226	0	0	0	1	6	1	
		29/10/2012	3,2	2,88	10,44	1,4616	0,216	6,156	-4,8944	-0,216	25,010	25,010	0	0	0	0	0	1	

Εικόνα 26 Παράδειγμα ανάπτυξης ημερησίου μοντέλου υδατικού ισοζυγίου, της παρούσας διπλωματικής εργασίας, στο MS Excel (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

4.2. Καθορισμός σεναρίων για την ιστορική χρονοσειρά

Σε αυτήν την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης, για την περιοχή Φούρνων Ικαρίας, για την χρονική περίοδο 2012-2023, 10 υδρολογικά έτη.

Για την ιστορική χρονοσειρά (01/10/2012-30/09/2023) και αξιοποιώντας την ημερήσια χρονοσειρά βροχόπτωσης που διατίθεται για τον Μετεωρολογικό Σταθμό Φούρνων του δικτύου του ΕΑΑ, εξετάστηκαν τα σενάρια:

1. Τυπικό νοικοκυριό με αριθμό μελών 2 και 4 άτομα ($N_{cap}=2,4$)
2. Διαστάσεις επιφάνειας συλλογής 40-140 m² (Rooftop Area)
3. Διαστάσεις δεξαμενής 5-30 m³ (Tank volume)
4. Στόχος κάλυψης 30% του συνόλου της ζήτησης. Το ποσοστό, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, αντιστοιχεί σε εκείνες τις χρήσεις όπου το βρόχινο νερό κρίνεται κατάλληλο (καζανάκι, κλπ.) και ως ημερήσια ζήτηση καθορίζονται τα 180l/cap/day, που βιβλιογραφικά είναι η τυπική τιμή.

Πίνακας 13 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων για την ιστορική χρονοσειρά (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΟΙΚΩΝ 2			ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΟΙΚΩΝ 4		
	V _{tank}	ΦΟΥΡΝΟ I		V _{tank}	ΦΟΥΡΝΟ I
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ	ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	RE	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ	ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	RE
40	5	0,589	40	5	0,273
60	5	0,889	60	5	0,428
80	5	0,996	80	5	0,583
100	5	1	100	5	0,731
120	5	1	120	5	0,882
140	5	1	140	5	0,965
40	10	0,6009	40	10	0,279
60	10	0,9009	60	10	0,435
80	10	1	80	10	0,589
100	10	1	100	10	0,738
120	10	1	120	10	0,889
140	10	1	140	10	0,972
40	15	0,612	40	15	0,286
60	15	0,912	60	15	0,441
80	15	1	80	15	0,595
100	15	1	100	15	0,744
120	15	1	120	15	0,894
140	15	1	140	15	0,978
40	20	0,624	40	20	0,293
60	20	0,924	60	20	0,447

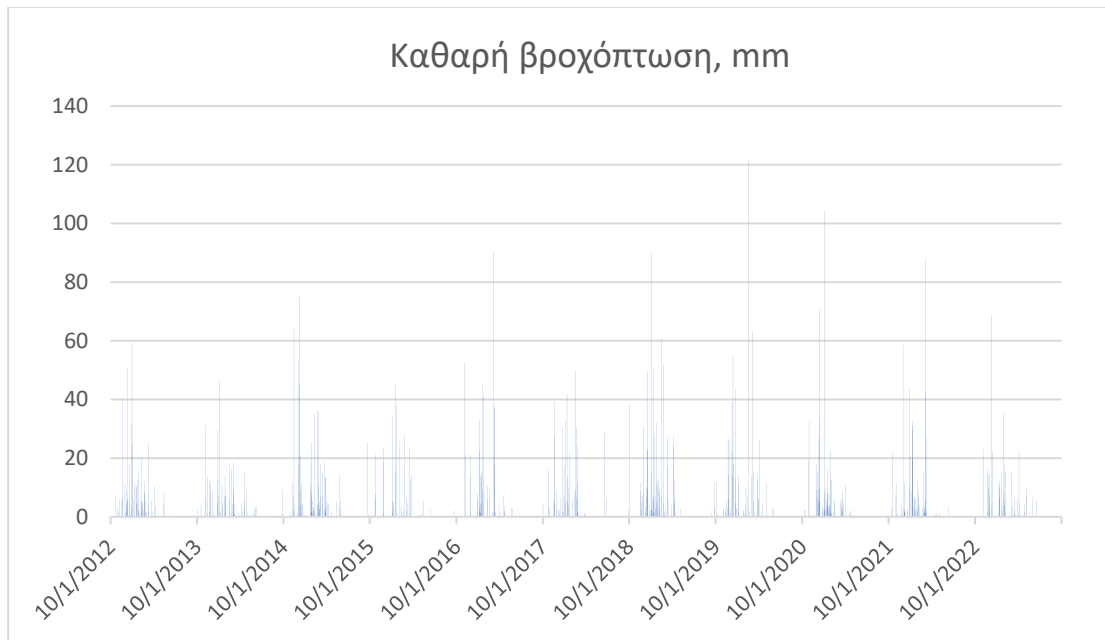
80	20	1	80	20	0,6009
100	20	1	100	20	0,749
120	20	1	120	20	0,9009
140	20	1	140	20	0,984
40	25	0,636	40	25	0,299
60	25	0,936	60	25	0,453
80	25	1	80	25	0,606
100	25	1	100	25	0,755
120	25	1	120	25	0,906
140	25	1	140	25	0,9905
40	30	0,648	40	30	0,305
60	30	0,947	60	30	0,459
80	30	1	80	30	0,612
100	30	1	100	30	0,761
120	30	1	120	30	0,912
140	30	1	140	30	0,996

4.3. Ενδεικτική προσομοίωση

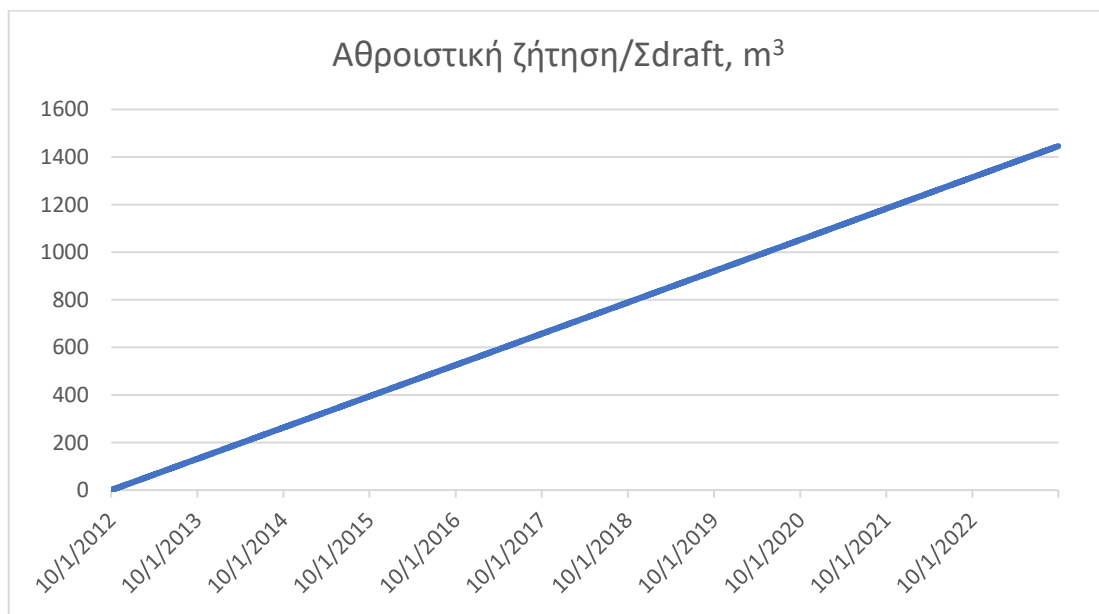
Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά γραφήματα από την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε με βάση το παραπάνω μοντέλο, για μία οικία στην περιοχή μελέτης με 4 μέλη, ημερήσιας ζήτησης 180l και συνολική επιφάνεια συλλογής 140 m² και όγκο δεξαμενής 30 m³, για στόχο κάλυψης 30%. Η αξιοπιστία σε αυτό το σύστημα συλλογής υπολογίστηκε στο 99,6%.



Σχήμα 1 Α) Ημερήσια βροχόπτωση , για την περιοχή μελέτης, για Ncap=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



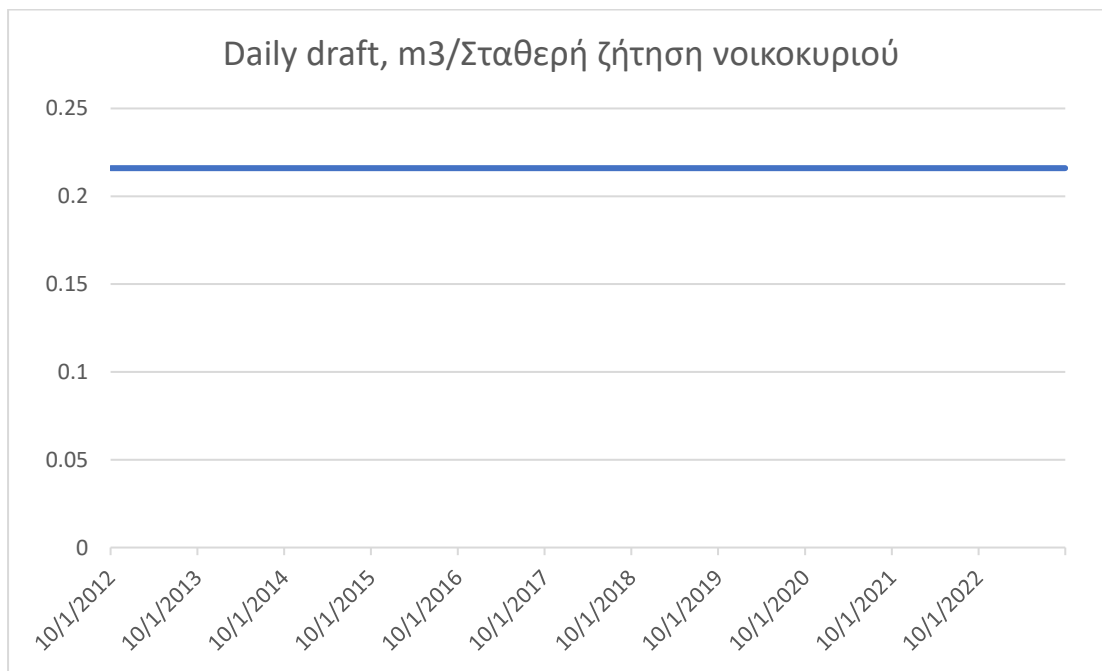
Σχήμα 2 Β) Καθαρή βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



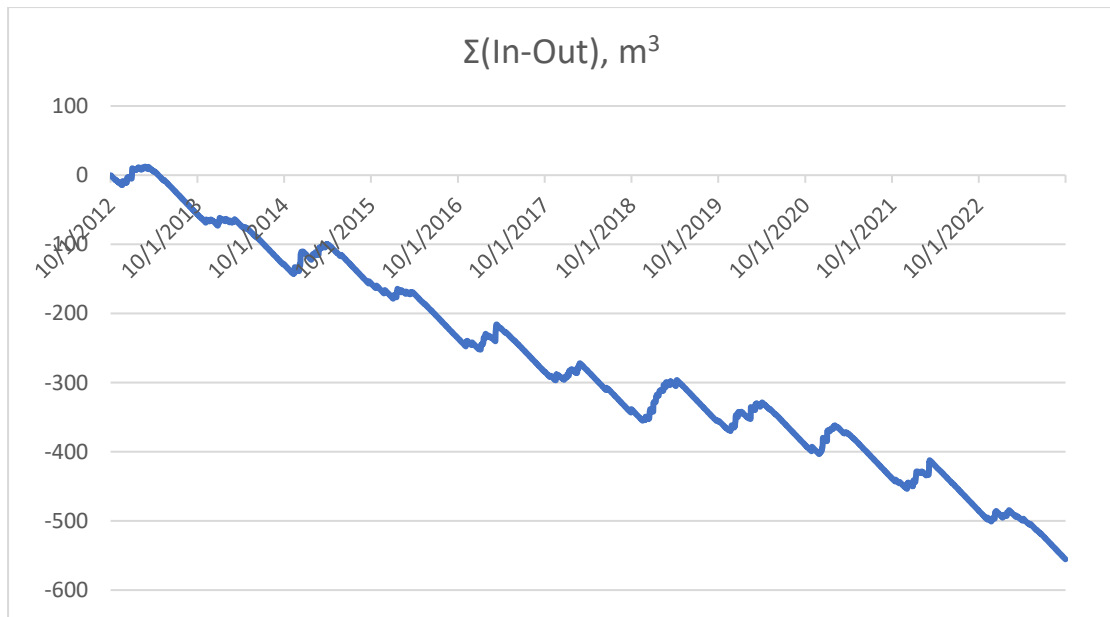
Σχήμα 3 Γ) Αθροιστική ζήτηση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



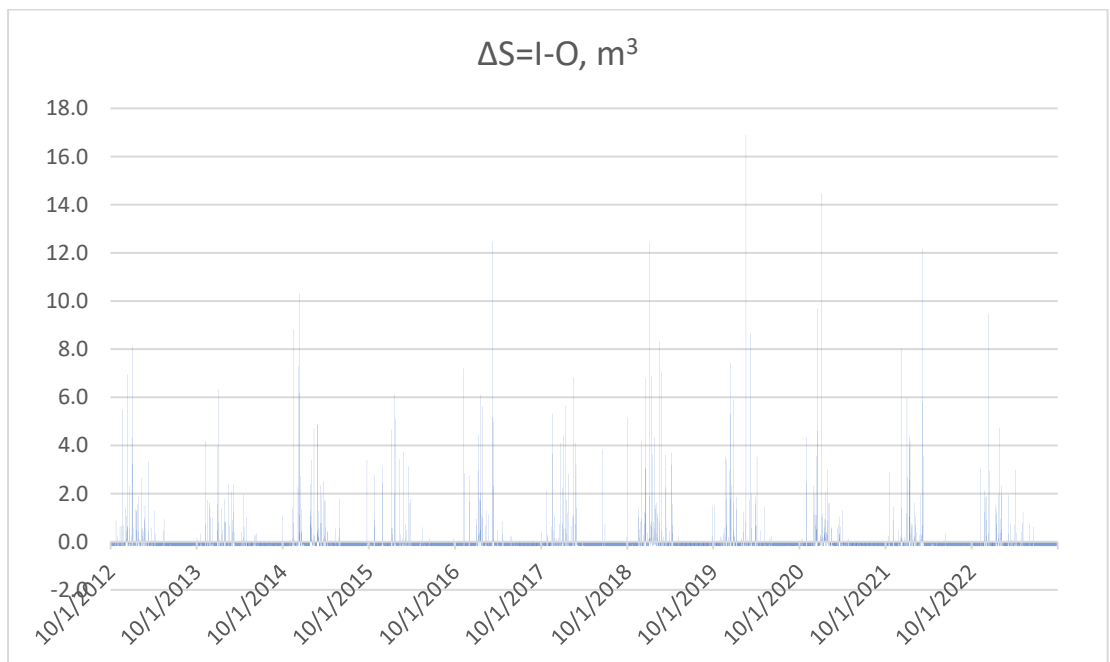
Σχήμα 4 Δ) Αποθηκευμένος όγκος, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



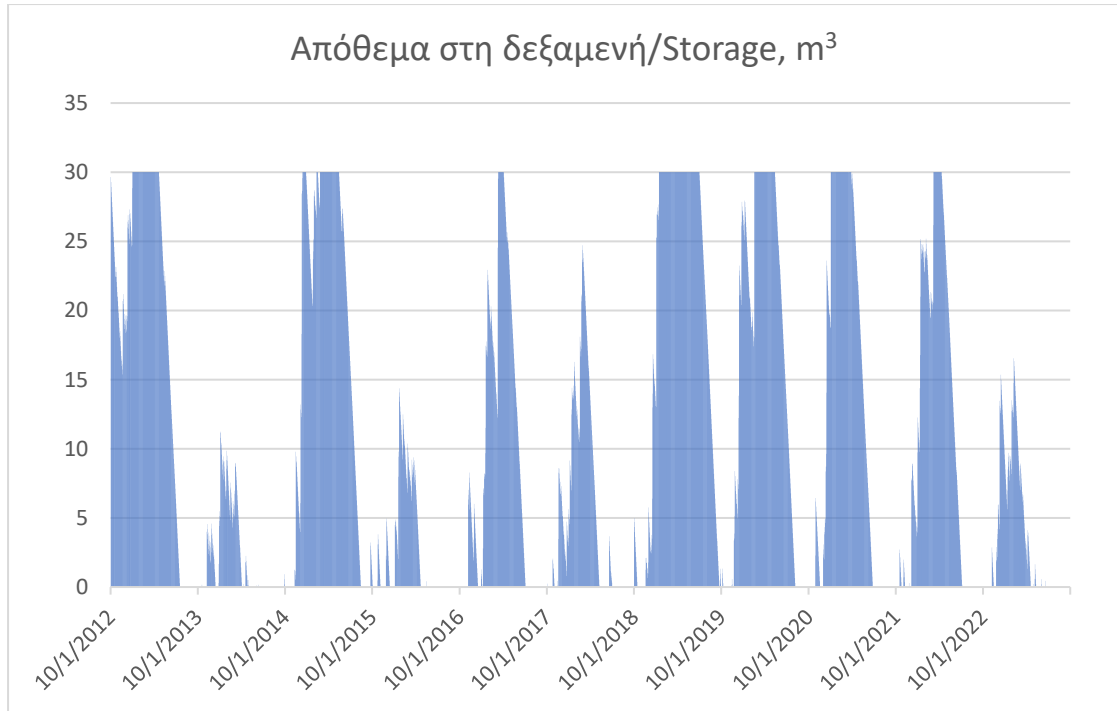
Σχήμα 5 Ε) Daily draft, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=4 (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



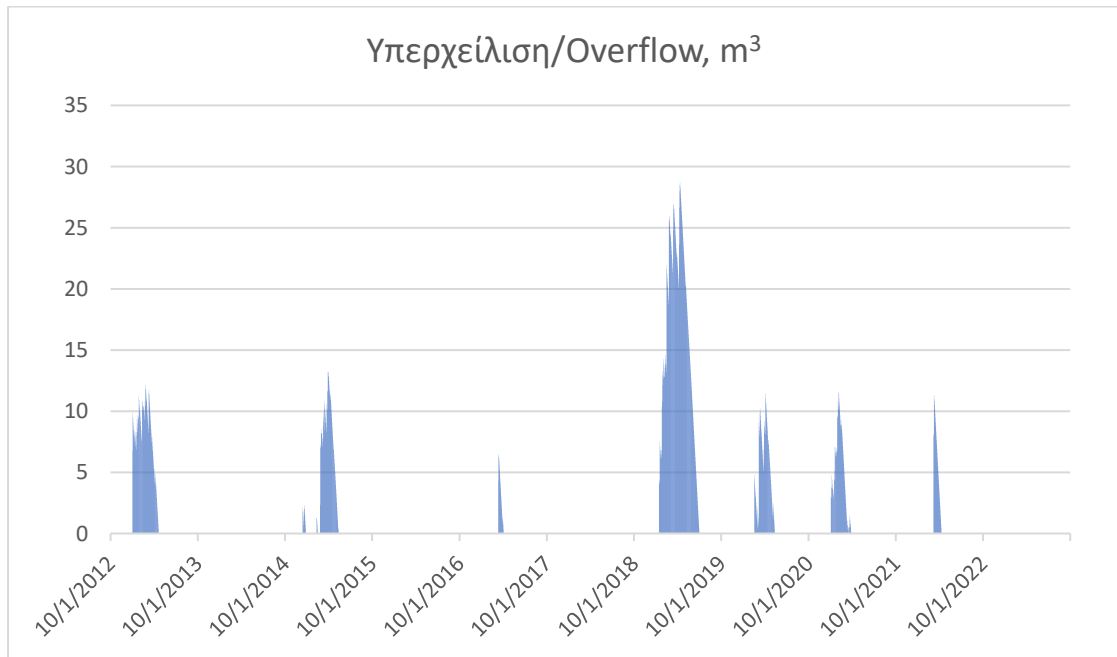
Σχήμα 6 ΣΤ) $\Sigma(\text{In-Out})$, για την περιοχή μελέτης, για $N_{\text{car}}=4$ (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σχήμα 7 Ζ) $\Delta S=I-O$, για την περιοχή μελέτης, για $N_{\text{car}}=4$ (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σχήμα 8 Η) Απόθεμα στη δεξαμενή, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=4$ (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



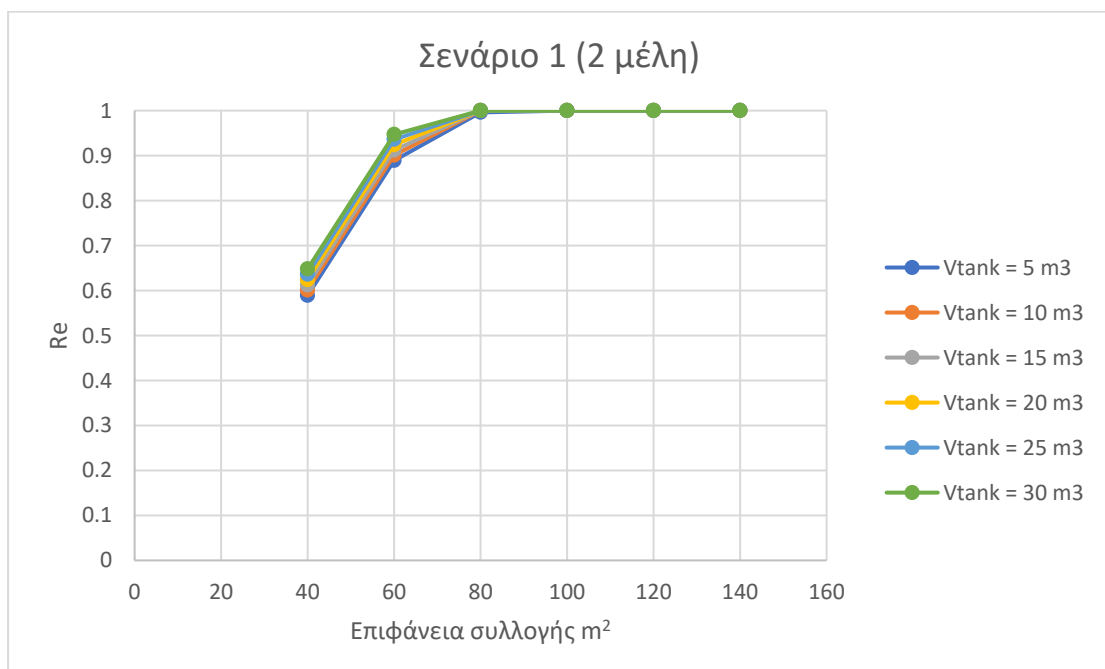
Σχήμα 9 Θ) Υπερχείλιση, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=4$ (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



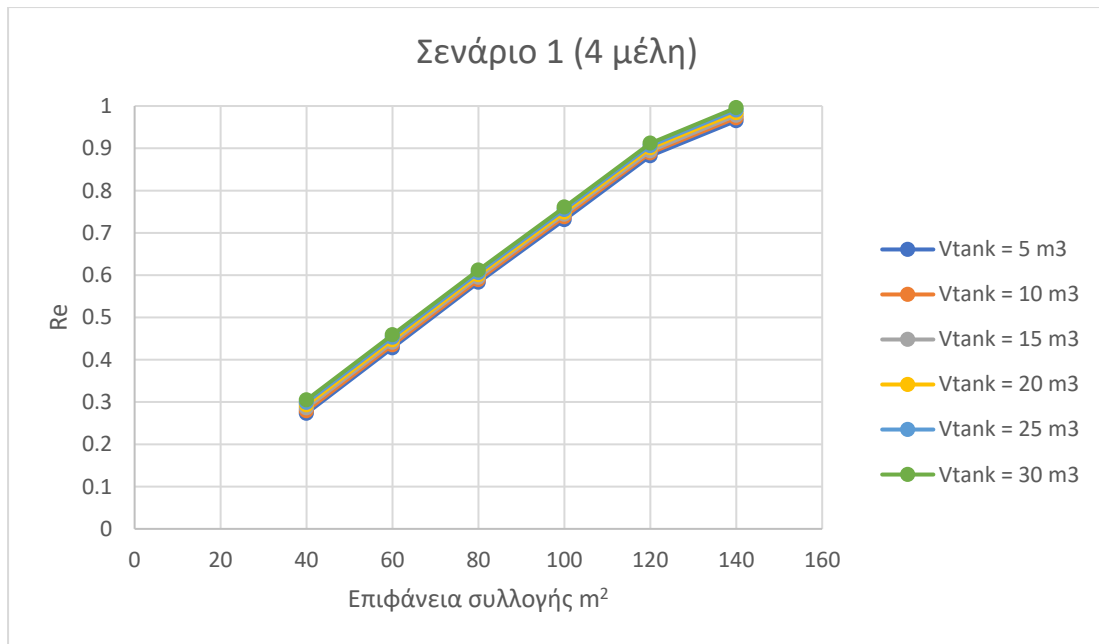
Σχήμα 10 Ι) Αθροιστική βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=4$ (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

4.4. Διερεύνηση ομβροδεξαμενής-σενάρια

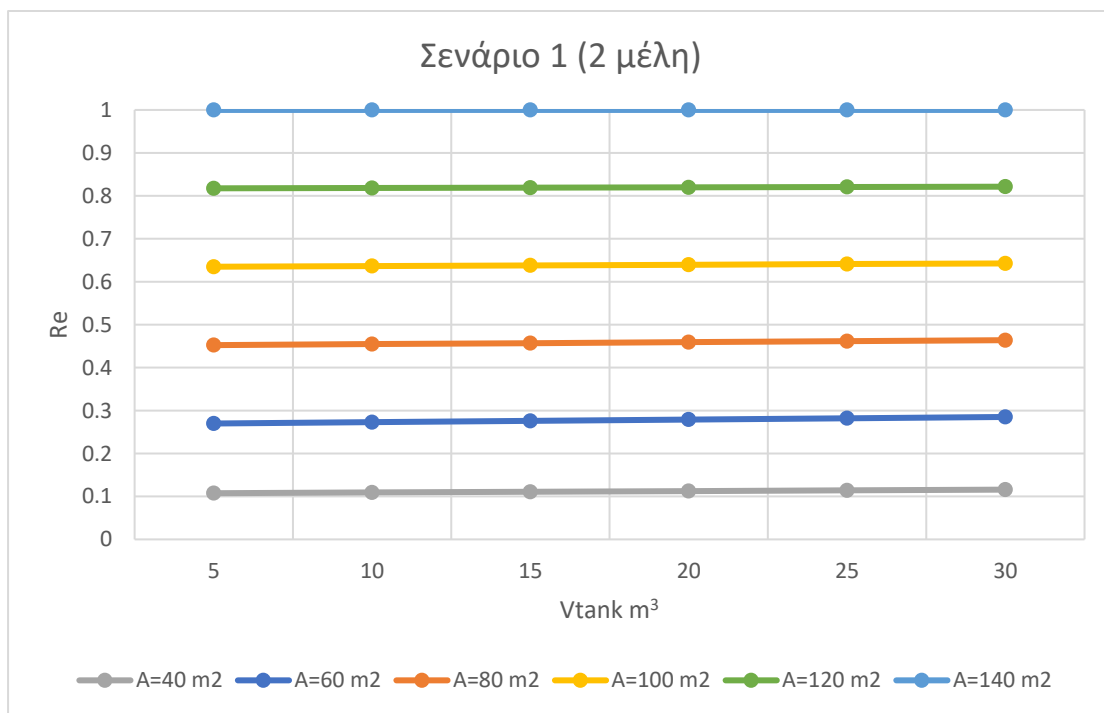
Από τα σενάρια που μελετήθηκαν, μετά από διερεύνηση, προκύπτουν τα παρακάτω σχήματα. Παρουσιάζεται η αξιοπιστία που επιτυγχάνεται σε συνάρτηση με την επιφάνεια συλλογής, αλλά και τον όγκο των δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων, για κάθε διαφορετική χωρητικότητα, σε νοικοκυριά 2 και 4 μελών αντίστοιχα.



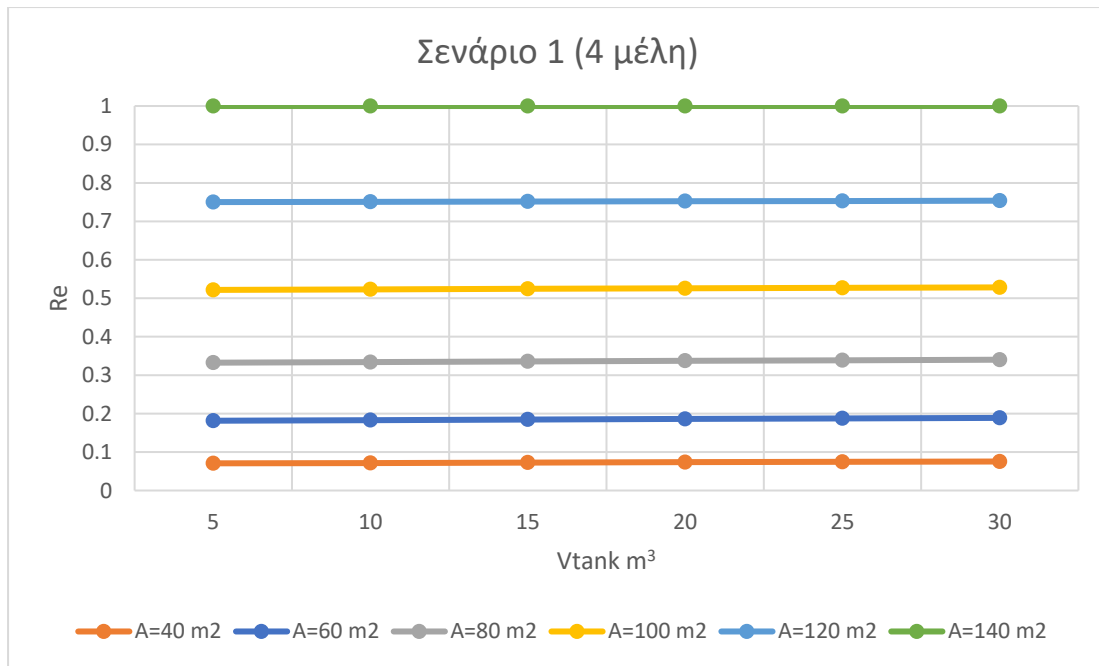
Σχήμα 11 Διερεύνηση σεναρίων για οικία με δύο μέλη (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σχήμα 12 Διερεύνηση σεναρίων για οικία με τέσσερα μέλη (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σχήμα 13 Διερεύνηση σεναρίων για οικία με δύο μέλη (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σχήμα 14 Διερεύνηση σεναρίων για οικία με τέσσερα μέλη (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Με την βοήθεια των παραπάνω σχημάτων, γίνεται πιο εύκολη η επιλογή βέλτιστου μεγέθους δεξαμενής, ανάλογα με την κάθε περίπτωση. Παρατηρείται πως ο στόχος κάλυψης καλύπτεται αρκετές φορές στο νοικοκυριό 2 μελών, σε αντίθεση με αυτό των 4 μελών, στο οποίο δεν καλύπτεται ούτε σε μία περίπτωση με βάση το βροχομετρικό καθεστώς της περιοχής.

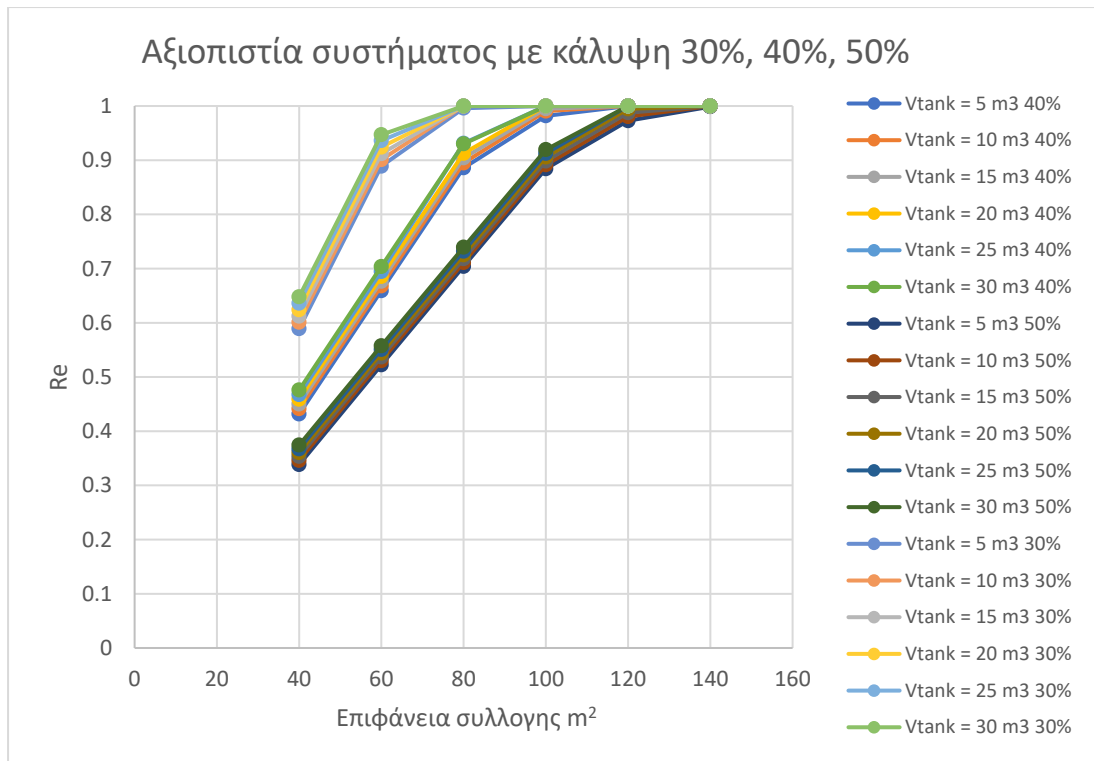
4.5. Αξιολόγηση συστήματος με στόχο κάλυψης 40% και 50%

Στην ίδια ιστορική χρονοσειρά (01/10/2012-30/09/2023), 10 υδρολογικά έτη και αξιοποιώντας πάλι την ημερήσια χρονοσειρά βροχόπτωσης που διατίθεται για τον Μετεωρολογικό Σταθμό Φούρνων του δικτύου του ΕΑΑ, εξετάστηκαν τα παρακάτω σενάρια, με διαφορά τον στόχο κάλυψης:

1. Τυπικό νοικοκυριό με αριθμό μελών 2 (Ncar=2)
2. Διαστάσεις επιφάνειας συλλογής 40-140 m² (Rooftop Area)
3. Διαστάσεις δεξαμενής 5-30 m³ (Tank volume)
4. Στόχος κάλυψης 40% και 50% του συνόλου της ζήτησης.

Πίνακας 14 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων για την ιστορική χρονοσειρά, με στόχο κάλυψης 40% και 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

40%			50%		
	Vtank	ΦΟΥΡΝΟΙ		Vtank	ΦΟΥΡΝΟΙ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ	ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	RE	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ	ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	RE
40	5	0,4316	40	5	0,3383
60	5	0,6591	60	5	0,5222
80	5	0,8859	80	5	0,704
100	5	0,9818	100	5	0,8842
120	5	1	120	5	0,9728
140	5	1	140	5	0,9987
40	10	0,4413	40	10	0,346
60	10	0,6679	60	10	0,5299
80	10	0,8949	80	10	0,7112
100	10	0,9905	100	10	0,8914
120	10	1	120	10	0,9805
140	10	1	140	10	1
40	15	0,45008	40	15	0,3534
60	15	0,6766	60	15	0,5369
80	15	0,9041	80	15	0,7181
100	15	0,995	100	15	0,8984
120	15	1	120	15	0,9875
140	15	1	140	15	1
40	20	0,4588	40	20	0,3604
60	20	0,6853	60	20	0,5439
80	20	0,9126	80	20	0,7251
100	20	1	100	20	0,9058
120	20	1	120	20	0,9947
140	20	1	140	20	1
40	25	0,4675	40	25	0,3674
60	25	0,6945	60	25	0,5506
80	25	0,9312	80	25	0,7321
100	25	1	100	25	0,9126
120	25	1	120	25	1
140	25	1	140	25	1
40	30	0,4759	40	30	0,3744
60	30	0,7037	60	30	0,5576
80	30	0,9302	80	30	0,7393
100	30	1	100	30	0,9195
120	30	1	120	30	1
140	30	1	140	30	1



Σχήμα 15 Συμπεριληπτική Διερεύνηση σεναρίων για οικία με 2 μέλη, για ποσοστά κάλυψης 30%, 40%, 50%

Από τον Πίνακα 14 και το σχήμα 15, είναι φανερό πως ελάχιστες φορές επιτυγχάνεται ο στόχος κάλυψης.

4.5.1. Ενδεικτική Προσομοίωση

Παρακάτω παρουσιάζονται αντίστοιχα με το Κεφάλαιο 4.2. ενδεικτικά γραφήματα από την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε με βάση το παραπάνω μοντέλο, για μία οικία στην περιοχή μελέτης με 2 μέλη, ημερήσιας ζήτησης 180l και συνολική επιφάνεια συλλογής 140 m² και όγκο δεξαμενής 30 m³, για στόχο κάλυψης 40% και 50%. Η αξιοπιστία σε αυτό το σύστημα συλλογής, για αυτό το σενάριο, υπολογίστηκε στο 100% και για τους δύο στόχους κάλυψης.

Για κάλυψη 40%:



Σχήμα 16 Α) Ημερήσια βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=2$, κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



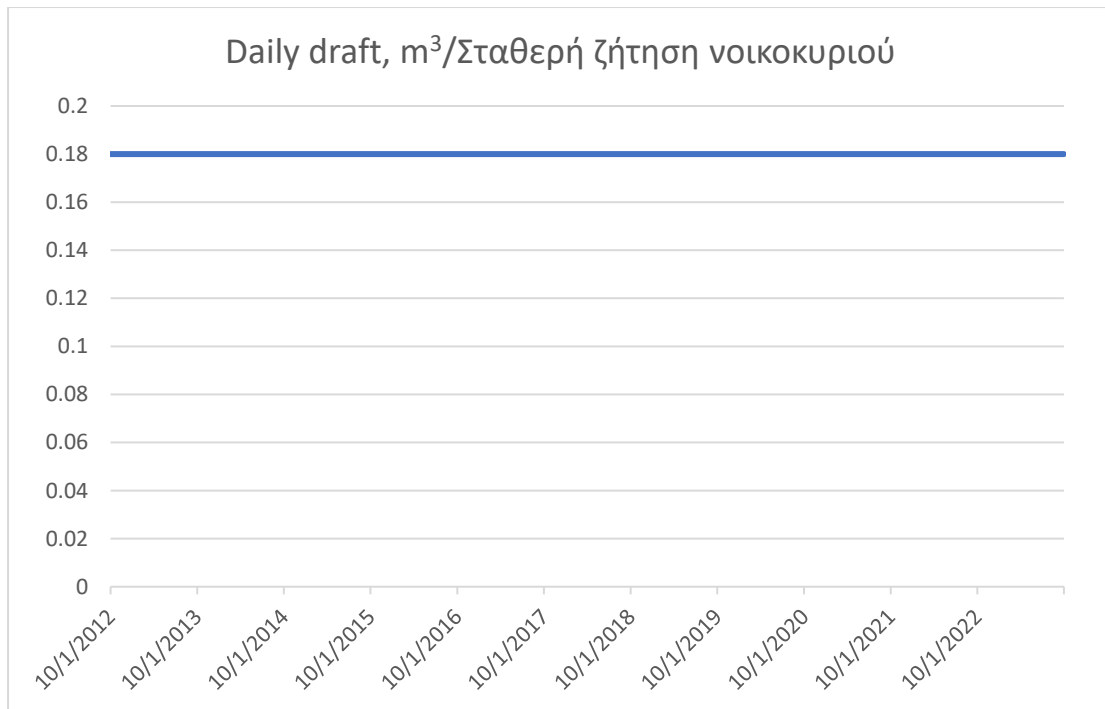
Σχήμα 17 Β) Καθαρή βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=2$, κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



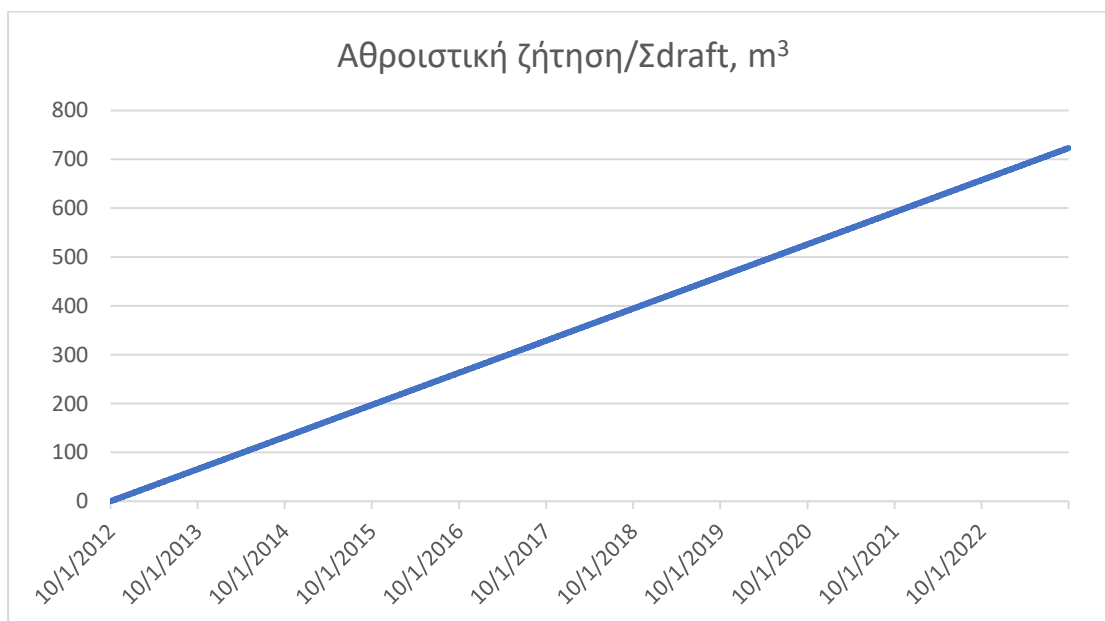
Σχήμα 19 Γ) Αθροιστική βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=2$, κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



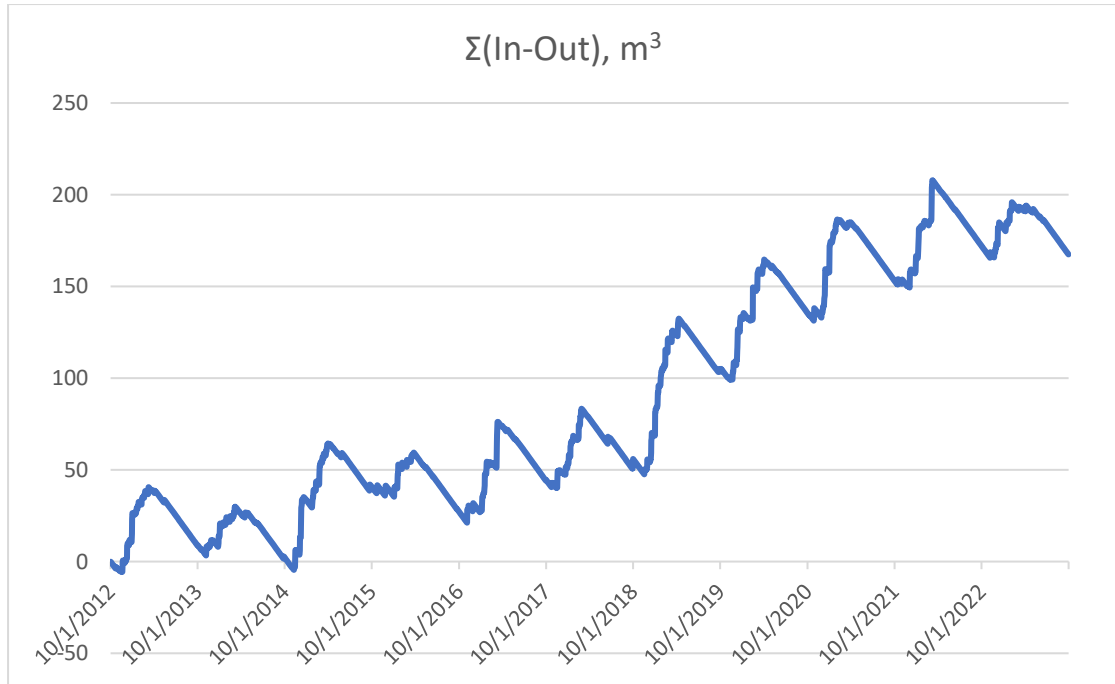
Σχήμα 18 Δ) Αποθηκευμένος όγκος, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=2$, κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



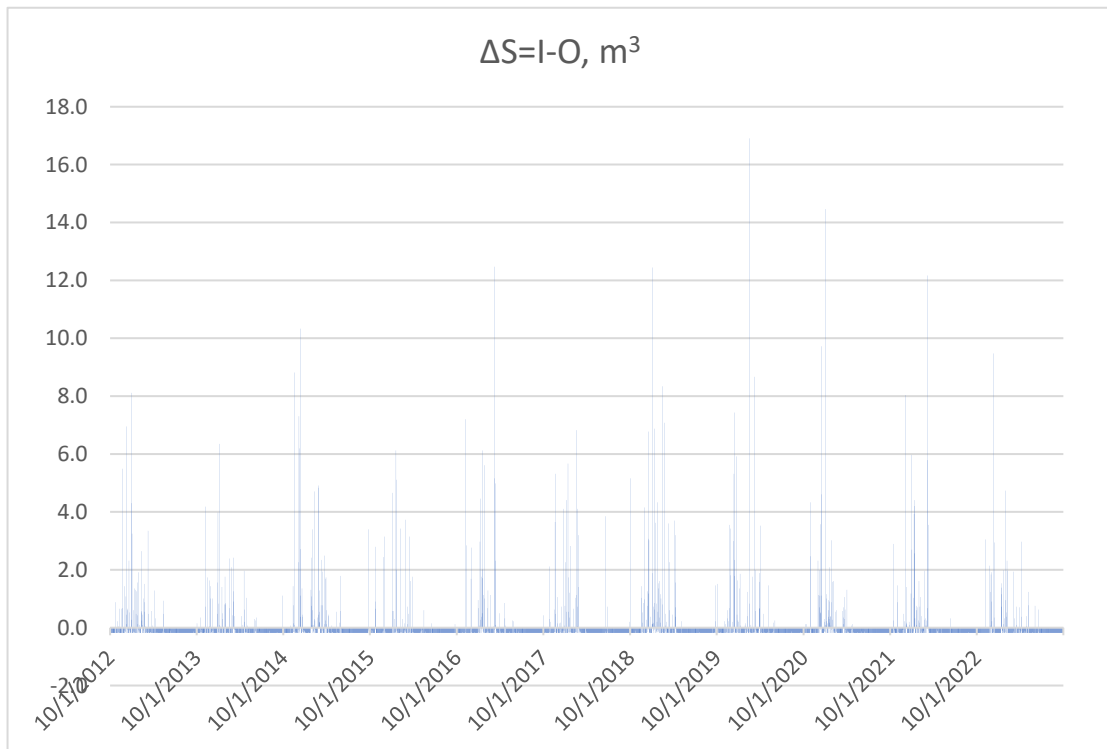
Σχήμα 20 Ε) Daily draft, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



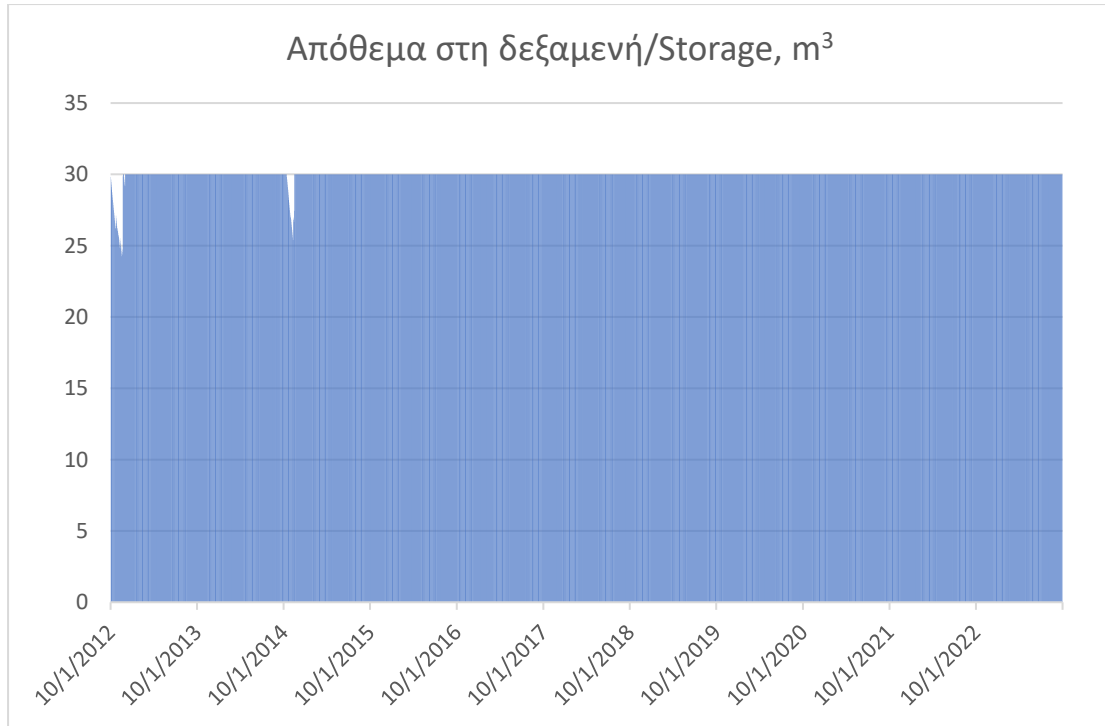
Σχήμα 21 ΣΤ)Αθροιστική ζήτηση, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2 , κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



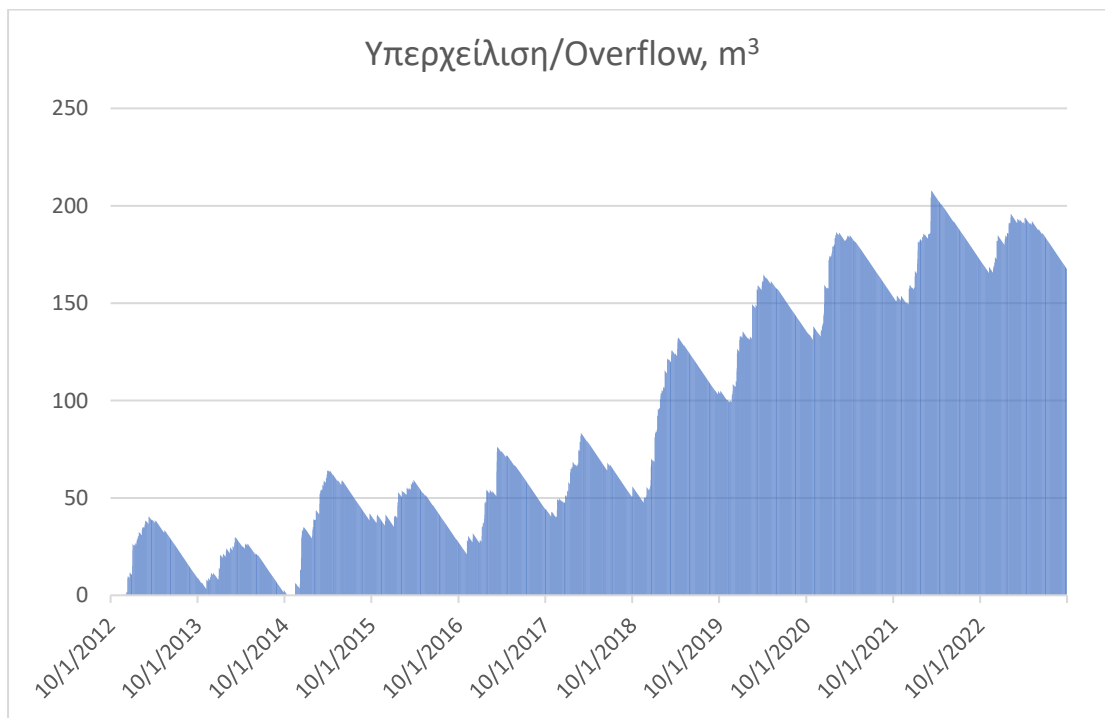
Σχήμα 23 Ζ) Σ(In-Out), για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2, κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σχήμα 22 Η) ΔS=I-O, για την περιοχή μελέτης, για Ncar=2, κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

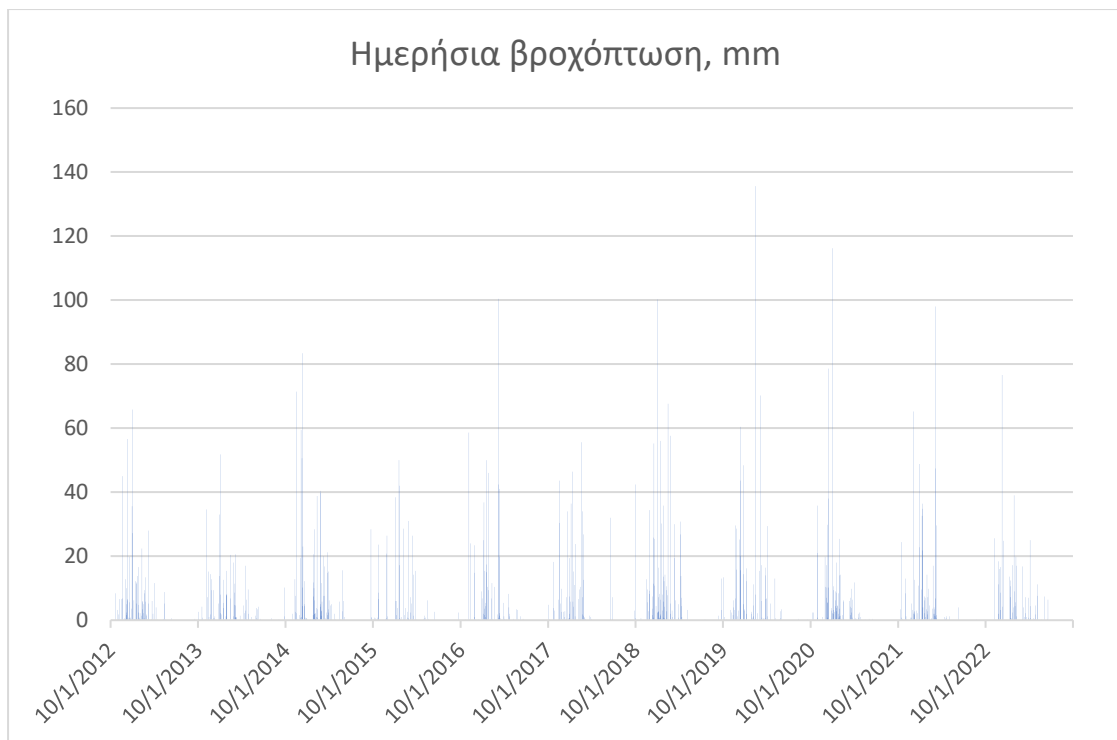


Σχήμα 24 Θ) Απόθεμα στη δεξαμενή, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=2$, κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

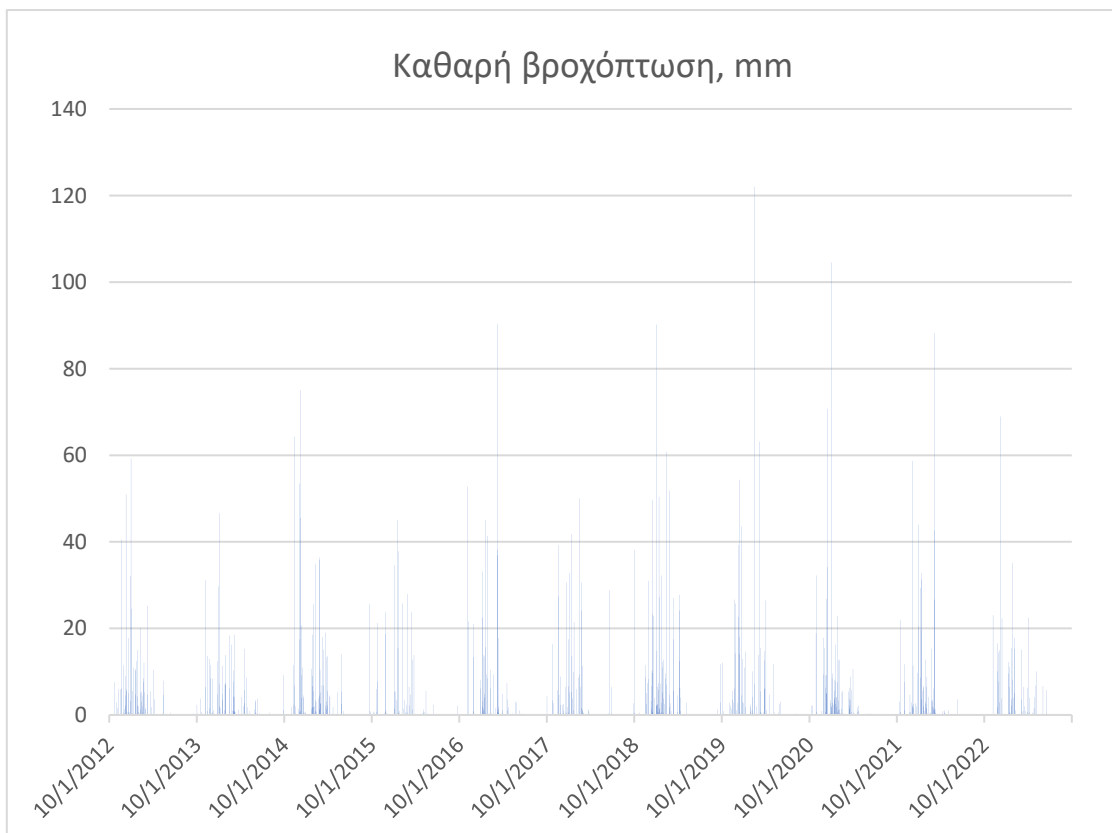


Σχήμα 25 Ι) Υπερχείλιση, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=2$, κάλυψη 40% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Για κάλυψη 50%:



Σχήμα 26 Α) Ημερήσια βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=2$, κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



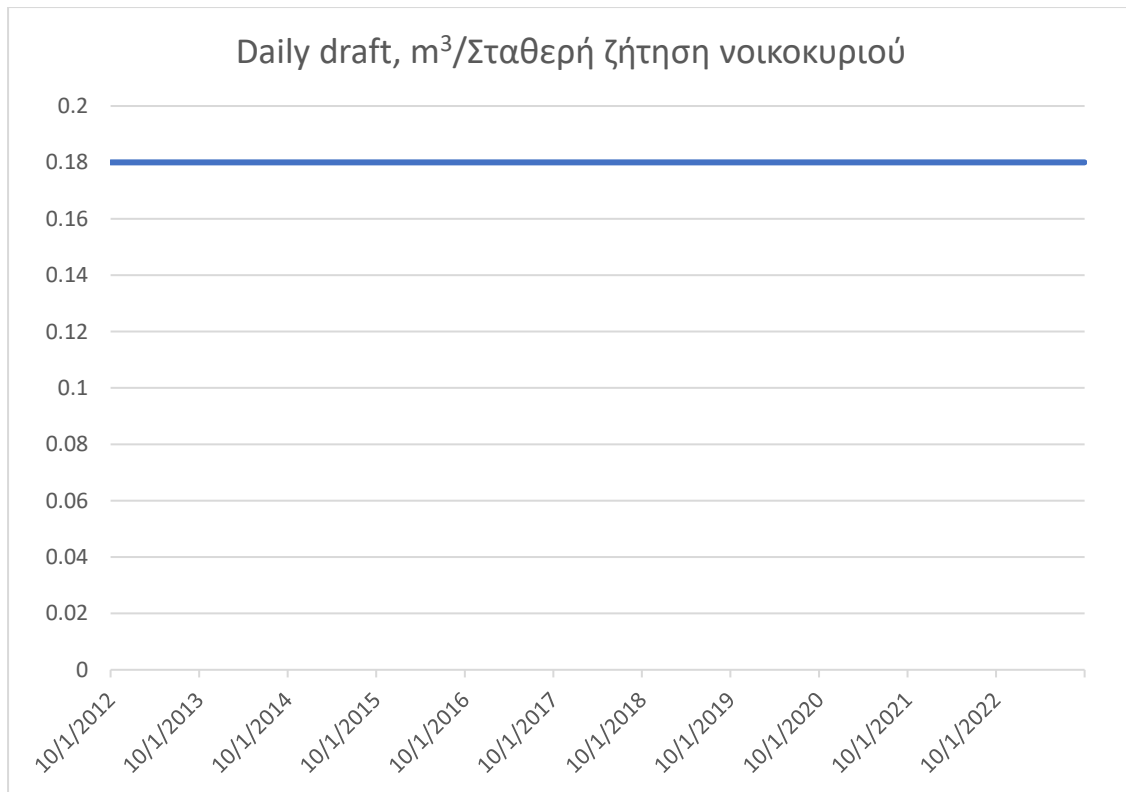
Σχήμα 27 Β) Καθαρή βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=2$, κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



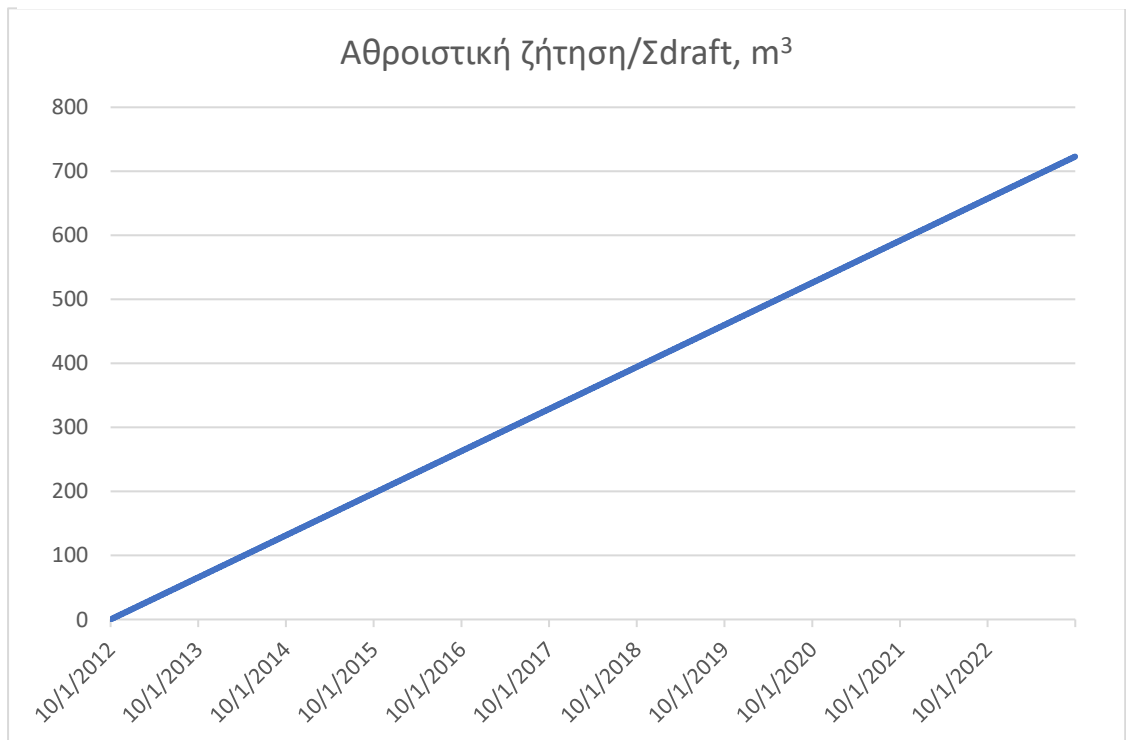
Σχήμα 29 Γ) Αθροιστική βροχόπτωση, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=2$, κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



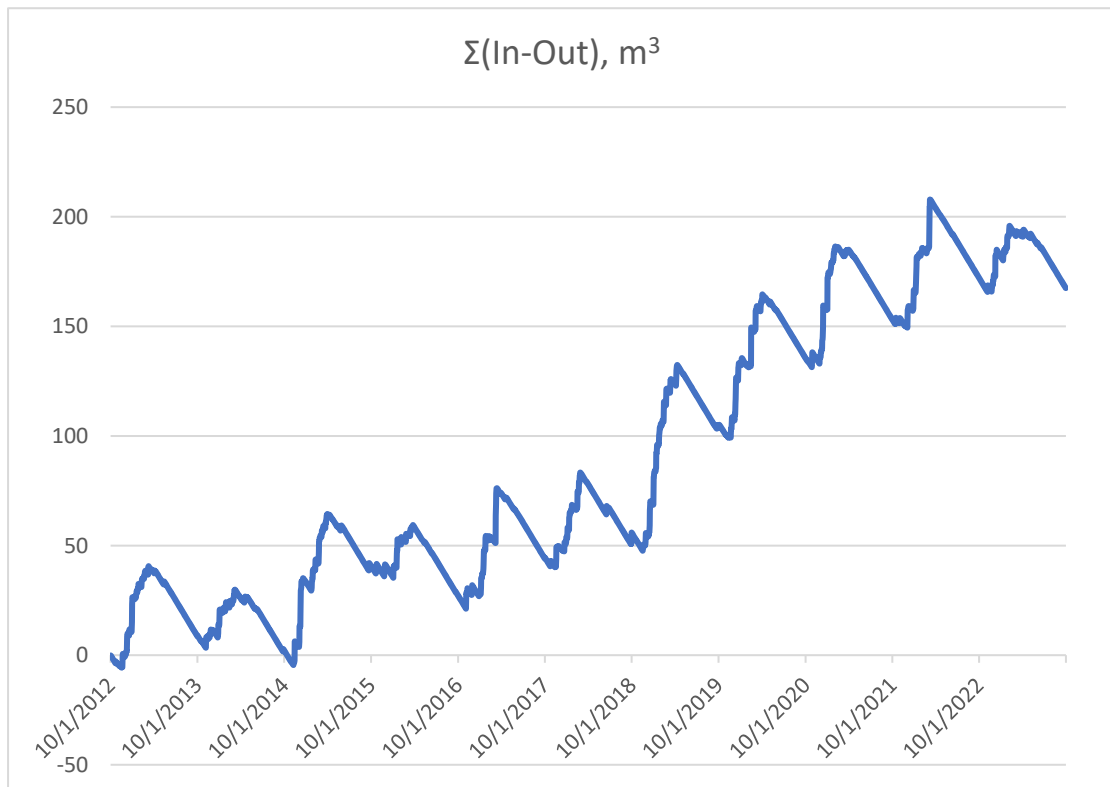
Σχήμα 28 Δ) Αποθηκευμένος όγκος, για την περιοχή μελέτης, για $N_{car}=2$, κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



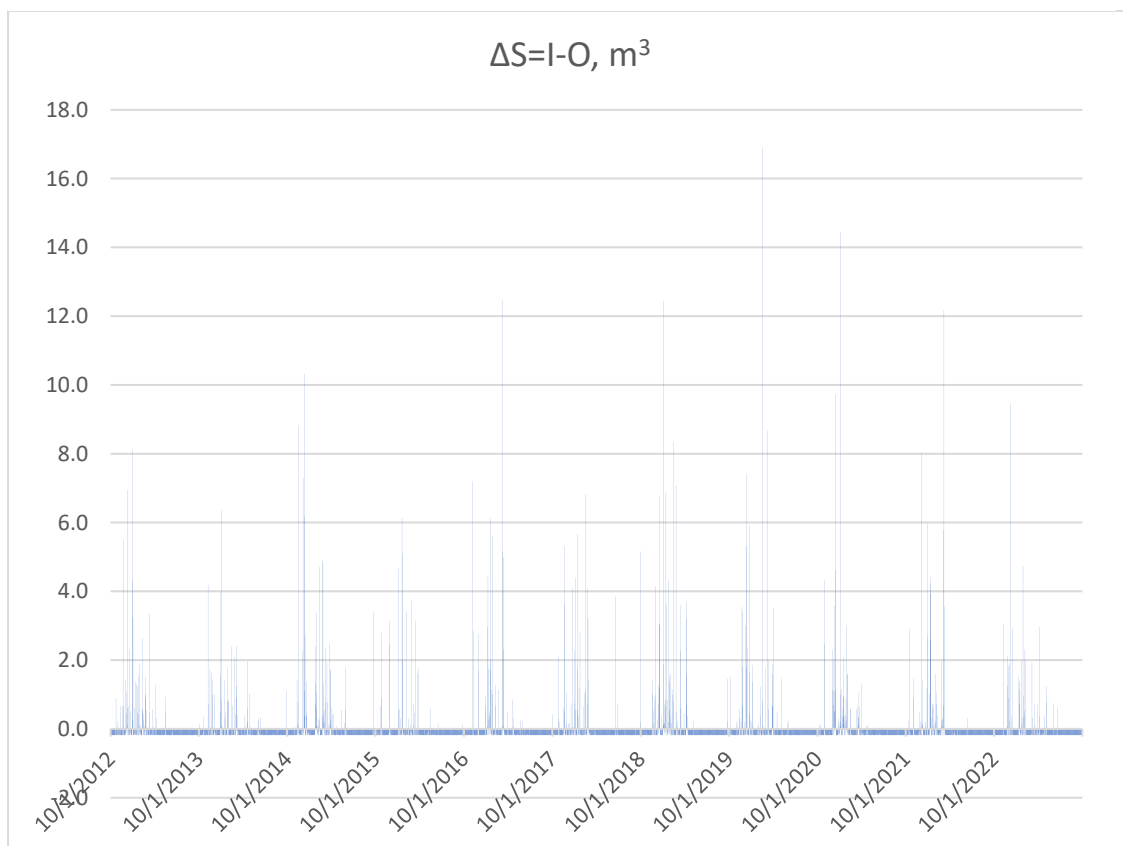
Σχήμα 30 Ε) Daily draft, για την περιοχή μελέτης, για Ncap=2 , κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



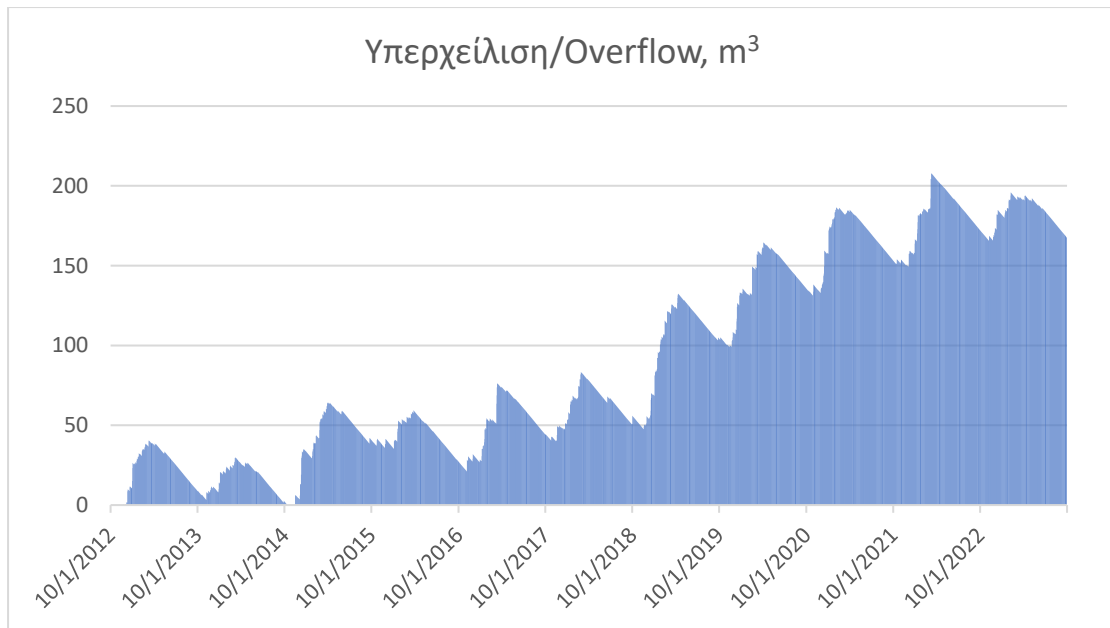
Σχήμα 31 ΣΤ) Αθροιστική ζήτηση, για την περιοχή μελέτης, για Ncap=2 , κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



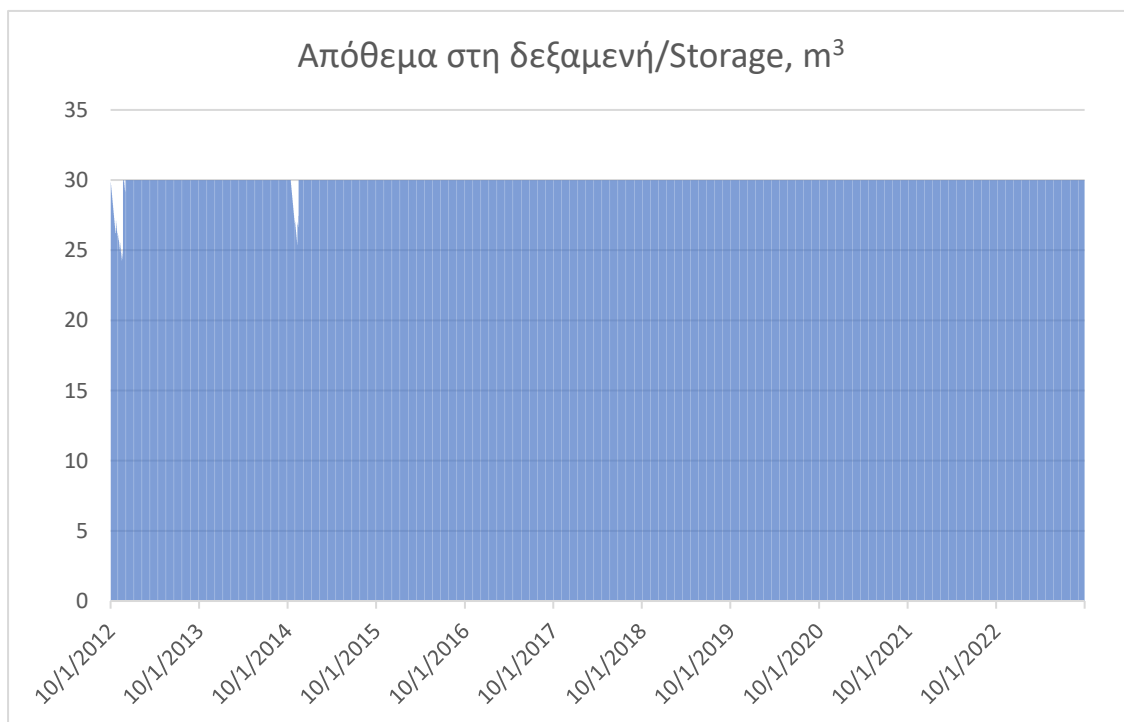
Σχήμα 32 Z) $\Sigma(\text{In-Out})$, για την περιοχή μελέτης, για $N_{\text{car}}=2$, κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σχήμα 33 Η) $\Delta S=I-O$, για την περιοχή μελέτης, για $N_{\text{car}}=2$, κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σχήμα 33 Θ) Υπερχείλιση, για την περιοχή μελέτης, για $N_{cap}=2$, κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σχήμα 34 Ι) Απόθεμα στη δεξαμενή, για την περιοχή μελέτης, για $N_{cap}=2$, κάλυψη 50% (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

4.6. Αξιολόγηση συστήματος υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, διερευνήθηκε η αποδοτικότητα του συστήματος και κάτω από συνθήκες κλιματικής αλλαγής.

Χρησιμοποιήθηκαν σενάρια του προγράμματος EURO-CORDEX, για το μέσο σενάριο RCP4.5 και για το δυσμενές RCP8.5. Προσδιορίστηκε μία χρονοσειρά για την μελλοντική περίοδο

(1/10/2030- 30/09/2060) 30 υδρολογικών ετών. Δεν πρόκειται για προγνώσεις, αλλά για εργαλεία προσδιορισμού τιμών με βάση τα κλιματικά σενάρια που υπάρχουν.

Για τις μελλοντικές εκτιμήσεις, για 30 υδρολογικά έτη, εξετάστηκαν τα παρακάτω σενάρια:

1. Τυπικό νοικοκυριό με αριθμό μελών 2,3 (Ncap=2,3)
2. Διαστάσεις επιφάνειας συλλογής 60-100 m² (Rooftop Area)
3. Διαστάσεις δεξαμενής 5-10 m³ (Tank volume)
4. Στόχος κάλυψης 30% του συνόλου της ζήτησης.

Πίνακας 15 Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων για την χρονοσειρά, για Ncar=2 και των αποτελεσμάτων των χρονοσειρών κλιματικής αλλαγής (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Σενάρια			Ιστορική Χρονοσειρά	CC 1 pr_daily_Lon_26.40403_ Lat_37.54731_CLMcom- CCLM4-8-17_CNRM- CERFACS-CNRM-CM5	CC 2 pr_daily_Lon_26.40403_ Lat_37.54731_CLMcom- CCLM4-8-17_MPI-M-MPI- ESM-LR	CC 3 pr_daily_Lon_26.40403_ Lat_37.54731_IPSL- INERIS-WRF331F_IPSL- IPSL-CM5A-MR	CC 4 pr_daily_Lon_26.40403_ Lat_37.54731_KNMI- RACMO22E_ICHEC-EC- EARTH	CC 5 pr_daily_Lon_26.40403_ Lat_37.54731_SMHI- RCA4_CNRM-CERFACS- CNRM-CM5	CC 6 pr_daily_Lon_26.40403_ Lat_37.54731_SMHI- RCA4_IPSL-IPSL-CM5A- MR	CC 7 pr_daily_Lon_26.40403_ Lat_37.54731_SMHI- RCA4_MOHC-HadGEM2- ES	CC 8 pr_daily_Lon_26.40403_ Lat_37.54731_SMHI- RCA4_MOHC-HadGEM2- ES
Area			RCP4.5								
60,00	5,00	2,00	0,89	0,65	0,63	0,99	0,85	0,68	0,29	0,60	0,77
80,00			1,00	0,89	0,85	1,00	1,00	0,91	0,39	0,80	1,00
100,00			1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	0,49	0,97	1,00
60,00	10,00		0,90	0,67	0,64	1,00	1,00	0,69	0,19	0,61	0,78
80,00			1,00	0,90	0,86	1,00	1,00	0,92	0,40	0,81	1,00
100,00			1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,99	1,00
Area			RCP8.5								
60,00	5,00	2,00	0,89	0,65	0,67	1,00	0,71	0,64	0,31	0,68	0,73
80,00			1,00	0,88	0,88	1,00	0,89	0,86	0,42	0,89	0,91
100,00			1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,99	0,54	0,96	0,96
60,00	10,00		0,90	0,66	0,68	1,00	0,72	0,65	0,32	0,70	0,74
80,00			1,00	0,89	0,89	1,00	0,90	0,87	0,44	0,91	0,93
100,00			1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,55	0,97	0,97

5. Συμπεράσματα

5.1. Σύνοψη

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο «ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ, ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΟΥΡΝΟΙ ΙΚΑΡΙΑΣ» πραγματοποιήθηκε μελέτη για την αξιοπιστία της κάλυψης αστικής ζήτησης νερού σε ένα σπίτι και διερευνήθηκε η αποδοτικότητα ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων. Η διερεύνηση έγινε για την περιοχή των Φούρνων Ικαρίας και τα διαφορετικά σενάρια αναφέρονται:

- ❖ Στα μέλη της οικογένειας
- ❖ Στην επιφάνεια συλλογής
- ❖ Στην χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης
- ❖ Στα διαθέσιμα σενάρια κλιματικής αλλαγής
- ❖ Στο αρχικό απόθεμα στην δεξαμενή

Εφαρμόστηκε και αναπτύχθηκε η μέθοδος του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (3^ο Κεφάλαιο). Για την μέθοδο αυτή, ορίστηκαν ρεαλιστικά όρια για τις παραμέτρους του μοντέλου. Αναφορικά για μέλη οικογένειας 2 και 4 ($N_{cap}: 2,4$), επιφάνεια συλλογής ($A: 40-140m^2$), όγκο ομβροδεξαμενής αποθήκευσης βρόχινου νερού ($V_{tank}: 5-30 m^3$), η ημερήσια κατανάλωση ($q: 180l/κάτοικο/ημέρα$), το ποσοστό χρήσης (p) ίσο με 30% επί της συνολικής ζήτησης ($N_{cap} * q$) που αντιστοιχεί σε χρήσεις όπως το πότισμα, το καζανάκι, το πλύσιμο, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία.

Πραγματοποιήθηκε μελέτη και για ποσοστό χρήσης 40% και 50%, με όλες τις παραμέτρους ίδιες, εκτός από των αριθμώ κατοίκων, όπου στην περίπτωση αυτή διερευνήθηκε μόνο σενάριο για αριθμό μελών οικίας ίσο με 2.

Τέλος, εξετάστηκαν και επιμέρους συνδυασμοί, για διαθέσιμα κλιματικά σενάρια (Κεφάλαιο 4.5). Σκοπός ήταν να προσδιοριστεί η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην αποδοτικότητα του συστήματος, αν σαφώς υπάρχει. Οι προσομοιώσεις βασίστηκαν σε συνθετικές χρονοσειρές που παρέχονται ελεύθερα από το πρόγραμμα EURO-CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment), και συγκεκριμένα αντιπροσωπεύουν οκτώ μέσα (RCP 4.5) και οκτώ δυσμενή (RCP 8.5) σενάρια εκπομπών για την περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα εισόδου πρόκεινται για πλεγματικά δεδομένα και αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα του Α.Π.Θ., DEAR-Clima (Data Extraction Application for Regional Climate), μία εφαρμογή παραγωγής κλιματικών χρονοσειρών που βασίζονται στις προσομοιώσεις του ερευνητικού προγράμματος EURO-CORDEX. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην αποδοτικότητα του συστήματος αξιολογείται ως αρνητική και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στο πλαίσιο μελλοντικής έρευνας.

5.2. Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται πως δεν είναι πολλές οι φορές που καλύπτεται το στόχος κάλυψης του συνόλου της ζήτησης. Μάλιστα στην περίπτωση των 4 κατοίκων, φαίνεται πως ο στόχος δεν επιτυγχάνεται ούτε μία φορά.

Όπως διαπιστώθηκε, συνδυαστικά με τους πίνακες και τα σχήματα, φαίνεται πως δεν είναι πολλές οι φορές που καλύπτεται ο στόχος κάλυψης για ακόμη μία φορά, αν και πρόκειται για οικία 2 μελών. Είναι λογικό όσο ανεβαίνει το ποσοστό κάλυψης τόσο πιο δύσκολο είναι να επιτευχθεί και ο στόχος, ειδικά σε άνυδρες περιοχές, όπως η περιοχή μελέτης.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε σύγκριση της ιστορικής χρονοσειράς με τα 8 σενάρια κλιματικής αλλαγής. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην αποδοτικότητα του συστήματος φαίνεται να έχει αρνητικό πρόσημο. Μόνο στο σενάριο CC3 επιτυγχάνεται, σχεδόν σε όλα τα διαφορετικά σενάρια, το ποσοστό κάλυψης.

Συμπερασματικά, τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων είναι μία βιώσιμη λύση για άνυδρες και μικρές περιοχές όπως οι Φούρνοι, κυρίως κατά τη διάρκεια της τουριστικής περιόδου που ανάγκες αυξάνονται πολύ περισσότερο. Τα συστήματα αυτά φαίνεται να μπορούν να καλύψουν ένα μέρος των αναγκών της κάθε οικίας, όμως η αξιοπιστία τους θα εξαρτηθεί από τις παραμέτρους που ισχύουν σε κάθε περίπτωση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, το σύστημα δεν μπορεί να καλύψει την ζήτηση-στόχο σε νοικοκυριά με 4 άτομα, ενώ καλύπτει σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις νοικοκυριά με 2 κατοίκους. Σημαντικός παράγοντας για την αποδοτικότητα του συστήματος, φαίνεται να είναι ο όγκος της ομβροδεξαμενής αλλά και η επιφάνεια συλλογής, αφού φαίνεται πως μεγαλύτεροι όγκοι δεξαμενών αντιστοιχούν σε αυξημένες τιμές αποδοτικότητας, όταν οι υπόλοιποι παράμετροι παραμένουν σταθεροί. Τέλος, σε σχέση με τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής, από την εικόνα 27 παρατηρήθηκε πως στα ευμενή και δυσμενή σενάρια δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές αφού οι τιμές της αποδοτικότητας, Re (%), κυμαίνονται στα ίδια όρια και δε δίνουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στην βροχόπτωση.

5.3. Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει μία συγκριτική μελέτη και δείχνει μία ολοκληρωμένη εικόνα για την συμπεριφορά ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, που λειτουργεί σε καθημερινή βάση. Τα αποτελέσματα από τους πίνακες, τα σχήματα και τα διαγράμματα, μπορούν να αξιοποιηθούν για μελλοντική σύγκριση με διαφορετικά σενάρια στην ίδια ή και σε διαφορετική περιοχή μελέτης. Η διερεύνηση κλιματικών σεναρίων, παρουσιάζει μία ολοκληρωμένη εικόνα σε σχέση με τα όρια τιμών του συντελεστή αξιοπιστίας υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής, ειδικά στην συγκεκριμένη περιοχή, που είναι περιοχή με μειωμένη την τάση της βροχόπτωσης. Σημαντική θα ήταν η πραγματοποίηση μίας μελέτης ανάλυσης κόστους- οφέλους σε σχέση με τα παραπάνω δεδομένα, ώστε να διαπιστωθεί αν ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να ωφελήσει και οικονομικά μία οικία βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ελληνική βιβλιογραφία

- Aquavet. Strategic Partnership for the development of a VET course on water efficiency technologies for water technicians. (2016).
- Γεωργαντά Χριστίνα. Στοχαστική προσέγγιση στη διερεύνηση αξιοπιστίας για την κάλυψη αστικής χρήσης νερού με συστήματα ομβροδεξαμενών. (2019).
- Γεωργόπουλος Α. Γη ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης. Εκδόσεις Gutenberg. (Αθήνα, 2001).
- Δαλιούρης Παναγιώτης. Αφαλάτωση- Σύγχρονες μονάδες αφαλάτωσης- Εφαρμογές και μέθοδοι. (2013).
- Ελληνική Δημοκρατία, Ελεγκτικό συνέδριο. Κάλυψη υδρευτικών αναγκών νησιωτικών περιοχών: Είναι αποδοτική η λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης; Έκθεση ελέγχου. (2021).
- Κουμουρά Κλεάνθη. Ανάλυση αβεβαιότητας στη διαστασιολόγηση δεξαμενών όμβριων υδάτων για την νήσο Κίμωλο. (2016).
- Λάσκαρη Ευσταθία. Διερεύνηση της αποδοτικότητας συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων στις νήσους Κέρκυρα και Λέσβο. (2011).
- Λόντρα Παρασκευή Α. Διαστασιολόγηση δεξαμενών όμβριων υδάτων στην Ελλάδα για Αστική χρήση. (Αθήνα 2014).
- Μεσόγειος. Παγκόσμια Σύμπραξη για το Νερό. (2012).
- Μπέρτσου Μαρία Μαργαρίτα. Αξιολόγηση υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στους Φούρνους Κόρσεων. (2016).
- Πέρκα Μυρτώ. Διερεύνηση της αποδοτικότητας ομβροδεξαμενών στη νήσο Θήρα. (2016).
- Σταματίου Αλεξία – Μαρία. Διαστασιολόγηση οικιακών ομβροδεξαμενών σε περιοχές με διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς. (2021).
- Τζανιδάκης Θεοφάνης. Συγκριτική αξιολόγηση αποδοτικότητας συστημάτων συλλογής όμβριων για την κάλυψη οικιακών αναγκών σε νερό σε ελληνικά νησιά υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής. (2021).
- Τραχάνης Χρήστος Α. Εφαρμογή του SPI για την ολοκληρωμένη διαχείριση των λειψυδριών στην Κύπρο. (2012).

Αγγλική βιβλιογραφία

- Ahmed, W. & Toze, S. Microbiological Quality and Associated Health Risks with the Use of Roof-Captured Rainwater. International Water Association Publishing, London. (2014)
- Angelakis, A.N. and Koutsoyiannis, D. Urban water engineering and management in ancient Greece. The encyclopedia of water science, pp.999-1007. (2003).
- Angelakis, A. N., and Spyridakis, S. V. The status of water resources in Minoan times: A preliminary study. Angelakis A. N. and Issar, A.S., eds., Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 161-191 (Chapter 8). (1996).
- Basinger M., Montalto F. and Lall U. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. Journal of Hydrology, 392: 105-118. (2010).
- Bruins, H. J., Evenari, M. and Nessler, U. Rainwater-harvesting agriculture for food production in arid zones: the challenge of the African famine. Applied Geography, 6, pp. 13-32. (1986).
- Cadogan, G.E.R.A.L.D. A power house of the dead: the functions and long life of the tomb at Myrtos-Pyrgos. Prehistoric Crete: Regional and Diachronic Studies on Mortuary Systems, pp.106-117. (2011).
- Chang N., Rivera B.J. and Wanielista M.P. 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. (2011).
- Campisano A. and Modica C. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. Resources, Conservation and Recycling, 63: 9-16. (2012).
- Cowden J.R., Watkins Jr.D.W. and Mihelcic J.R. Stochastic rainfall modeling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. Journal of Hydrology, 361: 64-77. (2008).
- Delyianni, E. and B. Belessiotis, Methods and Desalination Systems - Principles of the desalination process. Athens, Greece: NCSR "Demokritos". (1995)
- Delyannis, E., Historic background of desalination and renewable energies. Solar energy, 75: p. 357-366. (2003).

- Domènech, L. and 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. *Journal of Cleaner production*, 19(6-7), pp.598- 608. (2011).
- Dr Mohamed Ait-Kadi. *Water for Development and Development for Water: Realizing the Sustainable Development Goals (SDGs) Vision*. (2015).
- Fewkes A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. *Urban Water*, 1: 323-333. (1999b).
- Fewkes, A. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and environment*, 34(6), pp.765-772. (1999).
- Fewkes, A. and Butler, D. Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models. *Building Services Engineering Research and Technology*, 21(2), pp.99-106. (2000).
- Ghisi, E., da Fonseca Tavares, D. and Rocha, V.L. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasilia: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(2), pp.79-85. (2009).
- Guo Y. and Baetz B. Sizing of rainwater storage units for Green Building applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(2): 197-205. (2007).
- Imteaz M.A., Shanableh A., Rahman A. and Ahsan A. Optimisation of rainwater tank design from large roofs: a case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 55: 1022-1029. (2011).
- Gould, J. and Nissen-Petersen, E. Rainwater catchment systems for domestic supply. *Intermediate Technology*. (1999).
- Jones, M.P. and Hunt, W.F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(10), pp.623-629. (2010).
- Kahinda, J.M.M., Taigbenu, A.E. and Boroto, J.R. Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 32(15-18), pp.1050-1057. (2007).
- Kinkade-Levario H. *Design for Water Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment and Alternate Water Reuse*. New Society Publishers, P.O. Box 189, Gabriola Island, BC V0R 1X0, Canada. (2007).
- Lee K.T., Lee C.D., Yang M.S. and Yu C.C. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 77(3): 343-8. (2000).
- Li, X.Y. and Gong, J.D. Effects of different ridge: furrow ratios and supplemental irrigation on crop production in ridge and furrow rainfall harvesting system with mulches. *Agricultural Water Management*, 54(3), pp.243-254. (2002).
- Londra, P.A., Theocharis, A.T., Baltas, E. and Tsihrintzis, V.A. Optimal sizing of rainwater harvesting tanks for domestic use in Greece. *Water Resources Management*. (2015).
- Lyra Aikaterini and Loukas Athanasios. *Simulation and Evaluation of Water Resources Management Scenarios Under Climate Change for Adaptive Management of Coastal Agricultural Watersheds*. (2022).
- Marks, J.S. Taking the public seriously: the case of potable and non potable reuse. *Desalination*, 187(1-3), pp.137-147. (2006).
- Mitchell V.G. How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behavior modeling. *Hydrological Processes*, 21: 2850-2861. (2007).
- Pacey, A. and Cullis, A. *Rainwater harvesting: the collection of rainfall and runoff in rural areas*. Intermediate technology publications. (1986).
- Palla A., Gnecco I. and Lanza L.G. Non-dimensional design parameters and performance assessment of Rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology*, 401: 65-76. (2011).
- Sazakli, E., Alexopoulos, A. and Leotsinidis, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water research*, 41(9), pp.2039-2047. (2007).
- S. Yannopoulos, G. Antoniou, M. Kaiafa-Saropoulou and A. N. Angelakis. Historical development of rainwater harvesting and use in Hellas: a preliminary review. (2017).
- Su M., Lin C., Chang L., Kang J. and Lin Mei. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *Resources, Conservation and Recycling*, 53: 393-399. (2009).
- Tsihrintzis V. and Baltas E. Sizing of rainwater harvesting tank for in-house water supply. 13th International Conference on Environmental Science and Technology, Athens, Greece, (5-7 September 2013).
- Tsubo M., Walker S. and Hensley M. Quantifying risk for water harvesting under semi-arid conditions: Part I. Rainfall intensity generation. *Agricultural Water Management*, 76: 77-93. (2005).
- UNEP. *Rainwater harvesting: A lifeline for human well-being*. (2009).
- Villareal E.L. and Dixon A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40: 1174-1184. (2005).

- Viollet, P.L. The predecessors of European hydraulic engineers: Minoans of Crete and Mycenaeans of Greece (2100-1200 BC). In XXX IAHR Congress, Theme E: Linkage between education research and professional development in water engineering. (2003).
- Ward S., Memon A. and Butler D. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. Water Science and Technology, 61(1): 85-96. (2011).
- Winterbottom, S.J. Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. Geomorphology, 34(3-4), pp.195-208. (2000).
- Yannopoulos, S. I., Lyberatos, G., Theodossiou, N., Li, W., Valipour, M., Tamburrino, A. & Angelakis, A. N. Evolution of water lifting devices (pumps) over the centuries worldwide. (2015).
- Yaziz M.I., Gunting H., Sapari N. and Ghazali A.W. Variations in rainwater quality from roof catchments. Water Research, 23(6): 761-765. (1989).
- Zhou Y., Shao W. and Zhang T. Analysis of a Rainwater harvesting system for domestic water supply in Zhoushan, China. Journal of Zhejiang University, 11(5): 342-348. (2010).

Ηλεκτρονική

- <https://rainwaterharvesting.tamu.edu/rainwater-basics/>
- <http://www.ikariaki.gr/fourni-ikarias-egeopelagitiki-polinisia/>
- <https://www.elsyn.gr/sites/default/files/%CE%95%CE%9A%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%97%20%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%93%CE%A7%CE%9F%CE%A5%20%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CE%B4%CE%B5%CF%82%20%CE%B1%CF%86%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7%CF%82.pdf>
- <https://filotis.itia.ntua.gr/>
- <https://necca.gov.gr/aksones-drasis/prostatevomenes-perioches/#1670402214674-5d19f007-6419>
- http://www.ypai.gr/site/home/Basic+Menu/Programs/Se_Ekseliaksi/Nationally.csp
- <https://www.elsyn.gr/sites/default/files/%CE%95%CE%9A%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%97%20%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%93%CE%A7%CE%9F%CE%A5%20%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CE%B4%CE%B5%CF%82%20%CE%B1%CF%86%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7%CF%82.pdf>
- <http://4862.syzefxis.gov.gr/index.php/sxedia-diaxeirisis-lekanon-aporrois-potamon>
- <https://enflow.gr/proionta/systimata-syllogis-apostraggisis-nerou/rainwater/>
- https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/0f9de572-d439-4f96-8f70-818edd99082b/AquaVET_O3-A4_Handbook_2016-07-26_EL.pdf
- <https://www.pvaigaiou.gov.gr/>
- <https://www.tendersontime.com/blogdetails/construction-rainwater-harvesting-systems-schools-and-communities-24739/>
- <https://www.ferryhopper.com/el/destinations/greece/fournoi>
- <https://www.usgs.gov/>
- <https://www.visitikaria.gr/gr/%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CE%AC%CE%BB%CF%85%CF%88%CE%B5%CF%87%CF%89%CF%81%CE%B9%CE%AC-%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%AF/%CF%80%CE%AD%CE%B6%CE%B9>
- <https://sdgs.un.org/goals>
- <https://www.morpho.gr/>
- https://www.tuc.gr/fileadmin/users_data/public_relations/2019/WorldWaterDay-Aggelakis4.pdf
- http://www.wondergreece.gr/v1/el/Perioxes/Santorini_Thira/Politismos/Arxaialogikoi_Xwroi/818-Arxaia_Thira
- <https://rainwaterharvesting.tamu.edu/2011/05/23/denton-county/>
- http://www.emy.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams.html?dr_city=Samos
- <https://www.unep.org/>
- <http://www.mytherm.gr>