



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**«ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ
ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΗΣΙΑ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ»**

Συγγραφέας

Θεοφάνης Τζανιδάκης

ΑΜ: geo18391103

Επιβλέπουσα:

Ελισσάβητ Φελώνη, Διδάσκουσα Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Ιούλιος 2021



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS
ENGINEERING**

Diploma Thesis

**COMPARATIVE EVALUATION OF RAINWATER HARVESTING SYSTEMS'
EFFICIENCY FOR MEETING DOMESTIC WATER NEEDS IN GREEK
ISLANDS UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS**

Student name and surname:

Theofanis Tzanidakis

Registration Number: geo18391103

Supervisor name and surname:

Elissavet Feloni

Athens, July 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Τίτλος εργασίας: «ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΗΣΙΑ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Φελώνη Ελισσάβητ	Διδάσκουσα Πα.Δ.Α.	
2	Κιουσόπουλος Ιωάννης	Καθηγητής Πα.Δ.Α.	
3	Καραλής Σωτήρης – Θεοφάνης	Λέκτορας Εφαρμογών Πα.Δ.Α.	✓

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Τζανιδάκης Θεοφάνης του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου geo18391103, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«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, ιδιών 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».

Ο Δηλών

Τζανιδάκης Θεοφάνης

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	v
Επεξήγηση Μονάδων Μέτρησης	vi
Περίληψη	vii
Abstract	ix
1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά περί διαχείρισης του νερού	1
1.2 Αντικείμενο εργασίας	3
1.3 Πρωτότυπα σημεία.....	4
1.4 Διάρθρωση τεύχους	5
2 Συστήματα συλλογής όμβριων	6
2.1 Περιγραφή συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων	6
2.1.1 Τοποθέτηση του προβλήματος.....	6
2.1.2 Ιστορική αναδρομή	7
2.1.3 Πλαίσιο κατασκευής ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων	9
2.1.4 Περιγραφή συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων.....	9
2.2 Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας συστήματος συλλογής όμβριων	13
2.2.1 Μοντέλο ημερησίου υδατικού ισοζυγίου	13
2.2.2 Προσδιορισμός όγκου απορροής όμβριων υδάτων από επιφάνεια (R_t).....	14
2.2.3 Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης (D_t).....	15
2.2.4 Προσδιορισμός αποδοτικότητας συστήματος	16
3 Περιοχές μελέτης και Δεδομένα.....	19
3.1 Περιοχές εφαρμογής	19
3.1.1 Κέρκυρα.....	20
3.1.2 Νάξος.....	21
3.2 Δεδομένα	22

3.2.1	Βασικά στατιστικά στοιχεία περιοχών	22
3.2.2	Ιστορικές χρονοσειρές βροχόπτωσης	26
3.2.3	Χρονοσειρές βροχόπτωσης για κλιματικά σενάρια (IPCC, 2014)	28
3.2.4	Ανάλυση χρονοσειρών βροχόπτωσης για κλιματικά σενάρια	32
4	Αποτελέσματα και συζήτηση	34
4.1	Σενάρια που παρουσιάζονται	34
4.2	Διερεύνηση αποδοτικότητας συστήματος με χρήση σεναρίων	44
4.3	Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων για κάθε κλιματικό σενάριο	47
5	Συμπεράσματα	63
5.1	Σύνοψη	63
5.2	Συμπεράσματα.....	64
5.3	Μελλοντική έρευνα	65
	Βιβλιογραφικές αναφορές.....	67

Ευχαριστίες

Στο πλαίσιο της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κ. 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 θερμά τα άλλα δύο μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, μέλη ΔΕΠ του Τμήματος, κκ. Κιουσόπουλο Ι. και Καραλή Σ.-Θ., για την υποστήριξη της εξεταστικής διαδικασίας και για τις σημαντικές επισημάνσεις τους. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές και συμφοιτήτριες μου για την ανταλλαγή απόψεων και πληροφοριών.

Στις ευχαριστίες μου δεν θα μπορούσα να παραλείψω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τζανιδάκης Θεοφάνης
Αθήνα, Ιούλιος 2021

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

Περίληψη

Οι βροχές ήταν ανέκαθεν κομμάτι της ζωής μας. Εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής αντιμετωπίζουμε μεγάλες περιόδους ξηρασίας, περιόδους καύσωνα και, από την άλλη πλευρά, ισχυρές βροχοπτώσεις και αιφνίδιες πλημμύρες. Έτσι η ανάγκη λήψης μέτρων στην κατεύθυνση της διαχείρισης υδατικών πόρων και της διαχείρισης των όμβριων υδάτων αυξάνεται. Η κάλυψη των υδατικών αναγκών κυρίως σε περιοχές με περιορισμένο υδατικό δυναμικό, όπως τα ελληνικά νησιά, είναι ένα πρόβλημα που υπάρχει από όταν αυτά πρωτοκατοικήθηκαν. Έτσι τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων προτείνονται μια αποδοτική λύση για την αντιμετώπιση της έλλειψης νερού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση ενός τέτοιου συστήματος για δύο ελληνικά νησιά που παρουσιάζουν διαφορετικά κλιματολογικά χαρακτηριστικά: την Κέρκυρα και τη Νάξο. Συγκεκριμένα διερευνήθηκαν ρεαλιστικά σενάρια ως προς τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου οικιακού συστήματος συλλογής ομβρίων και εξετάστηκε συγκριτικά η αποδοτικότητά του με δεδομένο εισόδοι χρονοσειρές βροχόπτωσης που ενσωματώνουν διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής. Πιο αναλυτικά, εξετάζονται επτά ευμενή/μέσα (RCP 4.5) και επτά δυσμενή (RCP 8.5) σενάρια εκπομπών σύμφωνα με την τελευταία αναθεώρηση της IPCC για εξήντα υδρολογικά έτη και προσδιορίζεται η αποδοτικότητα του κάθε συστήματος που προκύπτει για συνδυασμούς τιμών των παραμέτρων του μοντέλου (επιφάνεια συλλογής: 40 έως 140m², όγκος κλειστής δεξαμενής: 5 έως 30m³ και αριθμός μελών κατοικίας: 2 και 4, για ένα προκαθορισμένο ποσοστό κάλυψης (30%) επί της συνολικής ημερησίας ζήτησης καθαρού νερού (180l/d) και για καθένα από τα κλιματικά σενάρια που λήφθηκαν υπόψη.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα δυο αυτά νησιά, ένα σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων για το νησί της Κέρκυρας, χάρη στο καθεστώς υψηλής βροχόπτωσης της περιοχής φαίνεται να είναι ιδιαίτερα αποδοτικό για όλα τα υπό μελέτη σενάρια, σε σύγκριση με το νησί της Νάξου που σε αρκετές περιπτώσεις δεν επιτυγχάνεται η πλήρης κάλυψη της ζήτησης-στόχου, ούτε για την μεγαλύτερη δεξαμενή των 30m³. Συμπερασματικά, η εν λόγω έρευνα συμβάλει στην αξιολόγηση ανάλογων συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων και έδειξε ότι δύναται να προκριθεί ως μια βιώσιμη λύση ιδίως σε περιοχές όπου υπάρχει ευνοϊκότερο βροχομετρικό

καθεστώς, αλλά η υδροδότηση σήμερα επιτυγχάνεται μέσω υδροφόρων πλοίων και δεν έχουν αναπτυχθεί μονάδες αφαλάτωσης, καθώς αποτελεί μία «πράσινη» λύση και σχετικά χαμηλού κόστους.

Λέξεις κλειδιά: σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, ομβροδεξαμενή, μοντέλο ημερησίου υδατικού ισοζυγίου, IPCC, RCP, ημερήσια κατανάλωση, αποδοτικότητα, Κέρκυρα, Νάξος, αστική ζήτηση νερού σε επίπεδο οικίας.

Abstract

Rainfall is always part of our lives. Due to climate change, there are several periods of intense droughts, heatwaves, and, on the other hand, storms of high intensity and severe flooding. Thus, there is a need for proper water resources management, especially regarding rainwater. Meeting water requirements in areas of poor water potential, such as the Greek Islands, is an intertemporal issue, since they were first inhabited. Rainwater Harvesting Systems (RWH) are proposed as an efficient solution to address water scarcity.

In this Diploma Thesis, the simulation of such a system was performed for two islands in Greece that are characterized by different rainfall regime: Corfu and Naxos. Particularly, several scenarios were investigated, and the system's reliability is determined comparatively after considering synthetic timeseries of daily rainfall that incorporate climate change. More specifically, according to the latest IPCC, seven low/medium (RCP 4.5) and seven high (RCP 8.5) emissions scenarios were selected for a future period of 60 hydrologic years and the reliability is determined as a function of the model's parameters (collection area: 40 to 140m², rainwater tank volume: 5 to 30m³, number of household members: 2, 4), for a predetermined percentage of coverage (30%) on the total daily water demand (180l/d).

In addition, taking into consideration that it is a closed-type tank, the effect of evapotranspiration is considered negligible

Regarding the results obtained for these two islands, a RWH system for the island of Corfu, seems to be particularly efficient for all scenarios examined, due to the local high-rainfall regime, compared to the island of Naxos, where, in many cases, system cannot fully meet the demand-target, not even for the largest tank of 30m³. In conclusion, this research contributes to the evaluation of similar RWH systems and has shown that these systems can be considered as a "green" solution of relatively low cost, especially for areas where there is a more favourable rainfall regime, but water supply is currently achieved through transportation of water from the mainland or other islands using tank vessels and where desalination units have not been yet installed.

Keywords: Rainwater harvesting systems (RWH), rainwater tank, daily water balance models, IPCC, RCP, daily consumption, efficiency, Corfu, Naxos, urban water demand at household level.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά περί διαχείρισης του νερού

Το νερό, ένα από τα πιο βασικά «κοινωνικά» αγαθά, αποτελεί μέρος του οικοσυστήματος που ζούμε αλλά και ουσιώδες χαρακτηριστικό του φυσικού περιβάλλοντος αφού είναι ανεξάντλητο λόγω της ανακύκλωσής του στον υδρολογικό κύκλο. Σχεδόν όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες από τις απαρχές του πολιτισμού βασίζονται στους υδατικούς πόρους.

Η ύδρευση, η άρδευση και αργότερα η μεταφορά αγαθών και η παραγωγή ενέργειας βασιζόταν στους υπάρχοντες υδατικούς πόρους. Η ανάγκη λοιπόν του ανθρώπου να ελέγξει την τόσο σημαντική «πηγή ζωής» μέσα από διάφορα υδραυλικά έργα φαίνεται από πολύ νωρίς αφού δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι οι πρώτοι ανθρώπινοι πολιτισμοί δημιουργήθηκαν γύρω από τις λεκάνες απορροών ποταμών.

Η διαχείριση των υδατικών πόρων περιλαμβάνει την εφαρμογή σχεδίων με διοικητικά μέτρα και κανονισμούς καθώς και τον συντονισμό της κατασκευής των υδραυλικών έργων.

Όσο η πίεση για απαιτήσεις μεγαλώνει, τόσο η χρήση του νερού δημιουργεί περιβαλλοντικά και άλλα προβλήματα. Στην περίπτωση αυτή, η διαχείριση των υδατικών πόρων αποκτά ουσιαστικό περιεχόμενο.

Η Διαχείριση των υδατικών πόρων έχει ως στόχο:

- 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)

Στα αντικείμενα της διαχείρισης των υδατικών πόρων εμπεριέχονται τα εξής:

- Εκτίμηση των διαθέσιμων υδατικών πόρων
- Εκτίμηση των αναγκών σε νερό (ποιότητα και ποσότητα)
- Πρόβλεψη της εξέλιξης των αναγκών σε νερό
- Τεχνοοικονομική και περιβαλλοντική διερεύνηση έργων και μέτρων για την αύξηση των διαθέσιμων πόρων και παράλληλα την μείωση της ζήτησης.

Στην Ελλάδα, και κυρίως στα νησιά της, είναι έντονο το πρόβλημα της υδατικής ανεπάρκειας. Ειδικά τους ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες, κυρίως τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, η ζήτηση διπλασιάζεται λόγω του τουρισμού όπου υπάρχει αυξημένη κατανάλωση.

Αν και η Ελλάδα είναι μία πλούσια σε νερό μεσογειακή χώρα και με ατελείωτες ακτογραμμές, παρατηρείται χωρική ανισοκατανομή της βροχόπτωσης με τιμές να κυμαίνονται από 394 mm στα ανατολικά της χώρας έως και 1200 mm στα βορειοδυτικά. Έτσι, η δυτική Ελλάδα με έκταση που καταλαμβάνει το 24% της χώρας δέχεται το 36% των συνολικών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (καθώς οι υδρατμοί ανεβαίνουν στην ατμόσφαιρα, ψύχονται, συμπυκνώνονται και επιστρέφουν στο έδαφος και τη θάλασσα ως ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, δηλαδή ως βροχή, χιόνι, χαλάζι, κ.λπ.), ενώ ακόμα μεγαλύτερη είναι η διαφοροποίηση στα ποσοστά της επιφανειακής απορροής (Λοντρα, 2014; Londra et. al., 2015).

Θέλοντας λοιπόν να εκμεταλλευτούμε αυτές τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις σε συνδυασμό με την συνεχόμενη αύξηση ζήτησης νερού, σε επίπεδο οικίας αλλά και ευρύτερης περιοχής, η διαδικασία Συλλογής Όμβριων Υδάτων (Rainwater Harvesting – RWH) είναι μονόδρομος για την συλλογή, μεταφορά, αποθήκευση και καθαρισμό του νερού της βροχής που απορρέει από επιφάνειες όπως οι στέγες, πάρκα, δρόμοι και γενικότερα ανοιχτούς αδιαπέρατους χώρους. Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι τα συστήματα αυτά 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 στέγες και τεχνικές των

“παλαιών”, να επιστρέψουν πλέον ως σύγχρονες στέρνες, ιδιαίτερα για τις οικίες των μικρών νησιών ώστε να συμβάλλουν στην κάλυψη των ημερήσιων αναγκών τους σε νερό.

1.2 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η ανάλυση της αξιοπιστίας κάλυψης αστικής ζήτησης νερού σε επίπεδο οικίας και η εξέταση της αποδοτικότητας ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων (RainWater Harvesting – RWH) διερευνώντας διάφορα σενάρια για τις νήσους Κέρκυρα και Νάξο. Η επιλογή των δύο αυτών νήσων, ενός από την Ανατολική και ενός από την Δυτική Ελλάδα, είχε ως κριτήριο να διερευνηθεί η συμπεριφορά ενός συστήματος RWH (σ.σ., πολλών διαφορετικών συστημάτων, υπό την έννοια των διαφορετικών συνδυασμών επιφάνειας συλλογής – δεξαμενής αποθήκευσης βρόχινου νερού) σε περιοχές με διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς.

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος και για τον προσδιορισμό του ποσοστού αξιοπιστίας ανά σενάριο, εφαρμόζεται η μέθοδος του ημερησίου υδατικού ισοζυγίου. Επιπλέον καθορίζονται ρεαλιστικά όρια επί των παραμέτρων του μοντέλου για την όλη διερεύνηση, όπως η επιφάνεια συλλογής (40 έως 140m²), ο αριθμός των μελών της οικίας (N_{cap}, 2 και 4 μέλη), ο όγκος της κλειστής ομβροδεξαμενής αποθήκευσης του βρόχινου νερού (V_{tank}, 5 έως 30m³), η ημερήσια κατανάλωση (q, 180l/κάτοικο/ημέρα), το ποσοστό χρήσης (p) ίσο με 30% επί της συνολικής ζήτησης (N_{cap}*q) που αντιστοιχεί σε κάποιες χρήσεις όπως το πότισμα, το καζανάκι, το πλύσιμο, οι οποίες μπορούν να καλυφθούν με νερό ανάλογης ποιότητας.

Πέραν των επιμέρους συνδυασμών των τιμών των παραπάνω παραμέτρων, διερευνούνται ορισμένα κλιματικά σενάρια, με σκοπό να προσδιοριστεί τυχόν επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην αποδοτικότητα του συστήματος. Οι προσομοιώσεις που δέχονται ως δεδομένο εισόδο χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης, βασίζονται σε συνθετικές χρονοσειρές που παρέχονται ελεύθερα από το πρόγραμμα EURO-CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment), και συγκεκριμένα αντιπροσωπεύουν επτά ευμενή/μέσα (RCP 2.5) και επτά δυσμενή (RCP 8.5) σενάρια εκπομπών για το κάθε νησί και για εξήντα (60) υδρολογικά έτη ξεκινώντας από 01-10-2030. Τα δεδομένα εισόδο 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.

Στα αποτελέσματα που προκύπτουν, προσδιορίζεται η τιμή της αξιοπιστίας (Reliability, Re, επί τοις εκατό (%)) για όλα τα παραπάνω σενάρια και για κάθε συνδυασμό παραμέτρων συγκριτικά για τα δύο υπό μελέτη νησιά.

1.3 Πρωτότυπα σημεία

Στο πλαίσιο της συγκριτικής αξιολόγησης αποδοτικότητας συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων για την κάλυψη οικιακών αναγκών σε νερό, για την Κέρκυρα και Νάξο πραγματοποιήθηκε διερεύνηση υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής. Για το σκοπό αυτό αξιοποιήθηκε ένα μεγάλο σύνολο κλιματικών σεναρίων και συγκεκριμένα 14 χρονοσειρές για κάθε περιοχή μελέτης, οι οποίες βασίζονται σε επτά ευμενή/μέσα (RCP 4.5) και επτά δυσμενή (RCP 8.5) σενάρια εκπομπών σύμφωνα με την τελευταία IPCC.

Η προσομοίωση του συστήματος μέσω της δημιουργίας του κατάλληλου μοντέλου ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου συμβάλει στον καθορισμό της αποδοτικότητας του συστήματος για μια σειρά από συνδυασμούς που εξετάστηκαν και για συνολική (μελλοντική) περίοδο ίση με εξήντα (60) υδρολογικά έτη. Πρόκειται για μια συγκριτική διερεύνηση που προσφέρει μια ολοκληρωμένη εικόνα για τη συμπεριφορά ενός τέτοιου οικιακού συστήματος που λειτουργεί σε ημερήσια βάση και ανάμεσα στα αποτελέσματα παρέχονται διαγράμματα που προσφέρονται για μια καλύτερη αποτύπωση της μεταβολής της αποδοτικότητας συναρτήσει των παραμέτρων του μοντέλου (π.χ., επιφάνεια συλλογής, όγκος δεξαμενής αποθήκευσης, αριθμός μελών νοικοκυριού). Τέλος, είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι μέσω της διερεύνησης ενός σημαντικού αριθμού κλιματικών σεναρίων, δίνεται μια ολοκληρωμένη εικόνα αναφορικά με τα όρια τιμών του συντελεστή αξιοπιστίας, ενώ η συγκριτική ανάλυση και αξιολόγηση για δύο νησιά με άκρως διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς δύναται να καλύψει μεγάλο αριθμό περιοχών του ελλαδικού χώρου, που εμφανίζουν ανάλογα κλιματολογικά χαρακτηριστικά.

1.4 Διάρθρωση τεύχους

Η διάρθρωση της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει πέντε κεφάλαια.

- Το 1^ο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή, το αντικείμενο εργασίας και αφορά στο παρόν κεφάλαιο.
 - Στο 2^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων και το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος.
 - Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι περιοχές που επιλέχθηκαν, με τα στοιχεία τους, καθώς και τα κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν.
 - Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα σενάρια που εξετάστηκαν και τα αποτελέσματα.
 - Στο κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας όσον αφορά τη χρήση συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων στη νήσο Κέρκυρα και τη νήσο Νάξο και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2 Συστήματα συλλογής όμβριων

2.1 Περιγραφή συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων

2.1.1 Τοποθέτηση του προβλήματος

Με τον όρο λειψυδρία περιγράφονται οι συνθήκες ολιγόχρονης (π.χ. εποχιακής) ή μακρόχρονης έλλειψης νερού που υπολείπεται από τις απαιτήσεις της ζήτησης. 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 (π.χ. 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. Παρόλο που η Ευρώπη αντλεί ένα σχετικά μικρό ποσοστό από τις δικές της ανανεώσιμες πηγές γλυκού νερού, τα προβλήματα λειψυδρίας υπάρχουν κυρίως λόγω της ανισοροπίας μεταξύ άντλησης και διαθεσιμότητας, η οποία αρχικά απορρέει από την αναντιστοιχία μεταξύ της κατανομής των ατόμων στην Ευρώπη και της διαθεσιμότητας των υδάτινων πόρων. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή συμβάλλει στην επιδείνωση του φαινομένου της λειψυδρίας. Η υπερβολική άντληση νερού ποικίλει ανάλογα την ένταση και την εποχικότητα της διαδικασίας άντλησης, τον όγκο και τη θέση των υδάτων που απομένουν καθώς και την επιλογή του χρόνου άντλησης και όχι μόνο. Τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρούνται υψηλότερα επίπεδα άντλησης νερού κυρίως λόγω της εξυπηρέτησης των αναγκών στην γεωργία και τον τουρισμό οδηγώντας σε χαμηλά επίπεδα διαθεσιμότητας υδάτων. Σε συνδυασμό και με τις παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας, εντείνεται το πρόβλημα της λειψυδρίας.

Η συλλογή όμβριων υδάτων (RainWater Harvesting, RWH) είναι μία εναλλακτική πηγή για καθαρό νερό και είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εξοικονόμηση νερού ιδιαίτερα σε περιοχές όπου υπάρχει έντονη λειψυδρία. Για τον όρο «συλλογή όμβριων υδάτων» δεν υπάρχει ένας ενιαίος ορισμός, που να είναι κοινά αποδεκτός από την επιστημονική κοινότητα. Μία γενική έννοια αφορά την περιγραφή διαφόρων μεθόδων που αποσκοπούν στη συγκομιδή, στην αποθήκευση και στη χρήση των όμβριων,

προκειμένου να επιτύχουν την αύξηση της διαθεσιμότητας νερού για διάφορες χρήσεις, όπως π.χ. για πόση, άρδευση, οικιακές χρήσεις κ.λπ. σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές. Στη συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη ιστορική αναδρομή με βάση τη διαχρονική λειτουργία ανάλογων συστημάτων, όπως και η ενδεικτική περιγραφή ενός τέτοιου συστήματος.

2.1.2 Ιστορική αναδρομή

Η συλλογή όμβριων υδάτων (RainWater Harvest, RWH) είναι μια παραδοσιακή τεχνική, που την συναντάμε σε διάφορες περιοχές ανά τον κόσμο ως μια μέθοδο για τη διάθεση γλυκού νερού για ανθρώπινη κατανάλωση και χρονολογείται εδώ και αρκετές εκατοντάδες χρόνια. Ανεξάρτητα από το ποσοστό διαθεσιμότητας του νερού σε διάφορες περιοχές (άνυδρες ή ημι-ένυδρες περιοχές), οι άνθρωποι κατόρθωσαν να επιβιώσουν διαχειριζόμενοι έξυπνα το διαθέσιμο νερό. Στις περιοχές αυτές, το νερό της βροχής ήταν η κύρια πηγή ύδρευσης για πόσιμη και μη πόσιμη χρήση (Bruins et al., 1986).

Βάσει αρχαιολογικών ευρημάτων σε διάφορα μέρη του κόσμου αποδεικνύεται ότι η συλλογή των βρόχινων υδάτων ήταν μια σημαντική πηγή νερού στις πρώιμες μορφές ανθρώπινου οικισμού, καθώς ο άνθρωπος είχε επινοήσει τρόπους και μέσα για την συλλογή και αποθήκευση του νερού της βροχής για αρδευτικούς σκοπούς, την εξασφάλιση νερού για ανθρώπινη χρήση και την κτηνοτροφία. Η μέθοδος συλλογής του βρόχινου νερού ήταν πολύ απλή και χωρίς καμία επεξεργασία.

Η έννοια της συλλογής όμβριων υδάτων πιθανολογείται ότι εφαρμόστηκε στην Κίνα πριν από 6000 χρόνια (Texas Water Development Board, 2005) ενώ αρχαιολογικά ευρήματα καταδεικνύουν την ύπαρξη συστημάτων συλλογής νερού ακόμη και πριν από 9000 χρόνια στην περιοχή της Ιορδανίας. Η πρακτική της ομβροσυλλογής εφαρμοζόταν, επίσης, πριν από 4500 χρόνια περίπου από τους αρχαίους πολιτισμούς της Μέσης Ανατολής.

Στον Ελλαδικό χώρο, η αστική διαχείριση του νερού ήταν ήδη γνωστή από τη Μινωική και Μυκηναϊκή εποχή. Η χρήση δεξαμενών για την συλλογή και αποθήκευση των βρόχινων υδάτων στην Μινωική Κρήτη (3200-1100 π.Χ.) καθώς και τα συστήματα παροχής νερού στα μινωικά χωριά και στα ανάκτορα της Ηφαίστου, της Ζάκρου και του Μύρτου εξαρτιόνταν άμεσα από την βροχή. Καθώς το νερό της βροχής έπεφτε στις στέγες και τις αυλές των κτιρίων στην συνέχεια συλλέγονταν σε δεξαμενές. Παρόμοια συστήματα χρησιμοποίησαν και οι Μυκηναίοι κατά την Μυκηναϊκή περίοδο (1600-

1100 π.Χ.) καθώς και άλλα συστήματα όπως στέρνες και φράγματα μεγάλου μήκους. Η τεχνολογία συλλογής όμβριων υδάτων αναπτύχθηκε επίσης και κατά την διάρκεια της Κυκλαδικής περιόδου (3100-1600 π.Χ.). Στη Δήλο σημαντικά ευρήματα αυτής της περιόδου έδειξαν ότι το συλλεγμένο και αποθηκευμένο νερό σε στέρνες αποτελούσε σημαντική πηγή ύδρευσης. Τα περισσότερα σπίτια είχαν υπόγειες στέρνες στις αυλές τους (Koutsoyiannis et al., 2008). Κατά τη διάρκεια της Ελληνιστικής περιόδου (περ. 323-146 π.Χ.) η τεχνολογία της συλλογής όμβριων υδάτων παρουσίασε σημαντική πρόοδο. Εκείνη την περίοδο, η συλλογή όμβριων σε στέρνες αποτελούσε την αποκλειστική πηγή ύδρευσης σε πολλές πόλεις σε όλη την Ελλάδα (Angelakis and Srygidakis, 1996). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αρχαία πόλη της Περγάμου, όπου το 1993 βρέθηκαν 149 στέρνες που εξυπηρετούσαν περίπου 7900 κατοίκους (Garbrecht and Garbrecht, 2005). Η πρακτική της συλλογής όμβριων υδάτων συνεχίστηκε και η τεχνολογία βελτιώθηκε περαιτέρω κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο (περ. 67 π.Χ. - 330 μ.Χ.) και τη Βυζαντινή περίοδο (330 - 1204 μ.Χ.) (Antonίου et al., 2012). Καθώς ο πληθυσμός των πόλεων μεγάλωνε, η κύρια προσέγγιση για την παροχή νερού έγινε η προμήθεια νερού από λεκάνες απορροής εκτός των πόλεων, το οποίο στη συνέχεια παρέχεται μέσω δικτύων μεγάλης κλίμακας. Αυτά τα κεντρικά διαχειριστικά και λειτουργικά συστήματα παρέχουν συνήθως ασφαλείς και αξιόπιστες υπηρεσίες στις ανεπτυγμένες χώρες από τα μέσα του 1850. Ωστόσο, κατά την τελευταία δεκαετία, έχει αυξηθεί η υιοθέτηση δεξαμενών βρόχινου νερού για την αύξηση της παροχής αστικού νερού στις ανεπτυγμένες χώρες.

Τα τελευταία χρόνια, τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων έχουν καταστεί 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 περιαστικές 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 et al, 2014).

2.1.3 Πλαίσιο κατασκευής ενός 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:

- 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 υπερχειλίσης από τις δεξαμενές αποθήκευσης.
- Τεχνικές προδιαγραφές για την εγκατάσταση του συστήματος αντλιών.
- Προδιαγραφές για την τοποθεσία της δεξαμενής αποθήκευσης.
- Θέματα επεξεργασίας νερού. (AQUAVET, 2016)

2.1.4 Περιγραφή συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων

Στην παράγραφο αυτή απαριθμούνται τα βασικά συστατικά μέρη ενός τέτοιου συστήματος και γίνεται αναφορά στα κύρια χαρακτηριστικά του καθενός.

1. Επιφάνεια συλλογής όμβριων

Η επιφάνεια συλλογής είναι το πρώτο σημείο επαφής με το νερό της βροχής και στην περίπτωση ενός κτιρίου μπορεί να είναι η στέγη. Όσο αυξάνεται το μέγεθος της στέγης αυξάνεται έως ένα σημείο και η ποσότητα του συλλεγόμενου νερού. Επιπλέον, το υλικό κατασκευής, η κλίση της στέγης, η ποσότητα και η ποιότητα της βροχόπτωσης επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα του συλλεγόμενου νερού.

2. Φίλτρο εισόδου και μεταφορά του νερού στο χώρο αποθήκευσης μέσω υδρορροών

Το νερό που εισέρχεται σε μία δεξαμενή αποθήκευσης βρόχινου νερού θα πρέπει να φιλτράρεται έτσι ώστε να απομακρύνονται τα φύλλα, τα ρυπαρά σωματίδια κ.α. Ο τύπος των φίλτρων που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από παράγοντες όπως η

επιδιωκόμενη χρήση (εσωτερική ή εξωτερική χρήση), το μέγεθος της εγκατάστασης και οι τοπικές συνθήκες.

3. Επιπλέον φιλτράρισμα του νερού πριν να εισέλθουν στην δεξαμενή αποθήκευσης

Το νερό φιλτράρεται επιπλέον περνώντας μέσα από ένα φρεάτιο (φίλτρο από στρώσεις άμμου, χαλίκια, κ.λπ.) που έχει άνοιγμα για τον καθαρισμό του.

4. Δεξαμενές αποθήκευσης

Η κύρια δεξαμενή αποθήκευσης του βρόχινου νερού θα πρέπει αρχικά να κατασκευαστεί από κατάλληλο υλικό ώστε να δημιουργήσει υδατοστεγείς συνθήκες για την αποφυγή της ανάπτυξης μικροβιακών οργανισμών. Κατάλληλα υλικά είναι το πολυπροπυλένιο, το πολυαιθυλένιο, η εμβαπτισμένη εν θερμώ επικάλυψη χάλυβα, το πλαστικό ενισχυμένο με γυαλί και το τσιμέντο. Οι δεξαμενές μπορεί να είναι είτε υπέργειες, είτε υπόγειες και να είναι εξοπλισμένες με καπάκια και έλεγχο ασφάλεια εξαερισμού για την μείωση της πιθανότητας μόλυνσης του αποθηκευμένου νερού. Επιπλέον θα πρέπει να αντέχουν σε χαμηλά επίπεδα οξύτητας ανεξάρτητα από την εξωτερική θερμοκρασία. Διατίθενται σε πολλά μεγέθη και σχήματα. Στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί, έπειτα από έρευνα που έγινε στο διαδίκτυο, παρατίθεται ενδεικτικά το κόστος που κυμαίνονται οι τιμές των πλαστικών δεξαμενών νερού στην αγορά αυτό το διάστημα (Ιούνιος 2021).

Πίνακας 2.1 Ενδεικτικός πίνακας τιμών και χωρητικότητας πλαστικών δεξαμενών νερού (κατόπιν προσωπικής έρευνας στο διαδίκτυο, τιμές συμπερ. ΦΠΑ 24%)

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

5. Σύστημα αντλίας για την διανομή του βρόχινου νερού

Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται για τη διανομή του βρόχινου νερού που συλλέγεται μπορεί να είναι είτε υποβρύχιες, είτε αναρρόφησης. Οι υποβρύχιες αντλίες τοποθετούνται εντός της δεξαμενής αποθήκευσης ενώ οι αντλίες αναρρόφησης είναι αυτόματες, πολυεπίπεδες αντλίες που τοποθετούνται εκτός της δεξαμενής

αποθήκευσης, είτε σε ένα για αυτό το σκοπό κατασκευασμένο περίβλημα είτε στο εσωτερικό του κτιρίου.

6. Σιφόνι υπερχείλισης

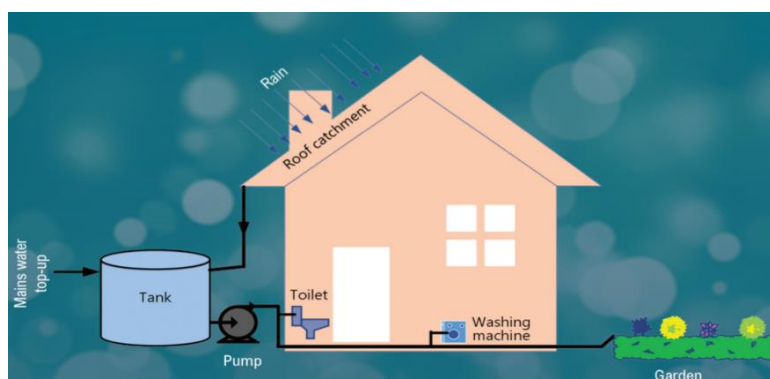
Για την διατήρηση καθαρού και άοσμου αποθηκευμένου νερού, είναι αναπόφευκτο ότι κάποια χαμηλής πυκνότητας λεπτά σωματίδια θα ανέβουν στην επιφάνεια σχηματίζοντας ένα επιφανειακό στρώμα σωματιδίων. Η χρήση ενός σιφονιού υπερχείλισης επιτρέπει στο επιφανειακό στρώμα να αφαιρεθεί λόγω μιας διαδικασίας εξάφρισης η οποία λαμβάνει χώρα όταν οι δεξαμενές υπερχειλίζουν. Ταυτόχρονα, το σιφόνι κρατά μακριά τις ανεπιθύμητες οσμές, καθώς και τα μικρά ζώα.

7. Σύστημα επεξεργασίας/απολύμανσης

Αφορά το νερό που προορίζεται για πόση. Το νερό θα πρέπει να υποστεί κατάλληλη επεξεργασία ώστε να αποκτήσει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που θα το καταστήσουν πόσιμο. Η επεξεργασία γίνεται είτε με την μέθοδο της διήθησης μέσω της χρήσης κατάλληλων φίλτρων τα οποία θα πρέπει να συντηρούνται κατάλληλα και να αντικαθίστανται εγκαίρως, είτε με την φυσική απολύμανση με UV είτε με χλωρίωση και οξειδωτική απολύμανση με ενεργό οξυγόνο.

Στη συνέχεια παρατίθενται:

- Σκαριφηματική απεικόνιση ενός τέτοιου οικιακού συστήματος, με χρήση επίγειας κυλινδρικής κλειστής δεξαμενής αποθήκευσης (Σχήμα 2.1)
- Παραδείγματα πραγματικών συστημάτων εν λειτουργία (Σχήματα 2.2 και 2.3)
- Σκαριφηματική απεικόνιση ενός τέτοιου οικιακού συστήματος, με χρήση υπόγειας ορθογωνικής κλειστής δεξαμενής αποθήκευσης και διάταξης άντλησης (Σχήμα 2.4)



Σχήμα 2.1 Παράδειγμα Συστήματος Συλλογής Όμβριων υδάτων (RainWater Harvesting – RWH) (Πηγή: Sharma et al., 2015).



Σχήμα 2.2 Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων (RainWater Harvesting – RWH) (Πηγή: <https://rainharvesting.com.au>)



Σχήμα 2.3 Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων (RainWater Harvesting – RWH) (Πηγή: <https://urbanupdate.in/residential-buildings-above-100sqm-must-ensure-rainwater-harvesting/>)

1 Φίλτρο εισόδου

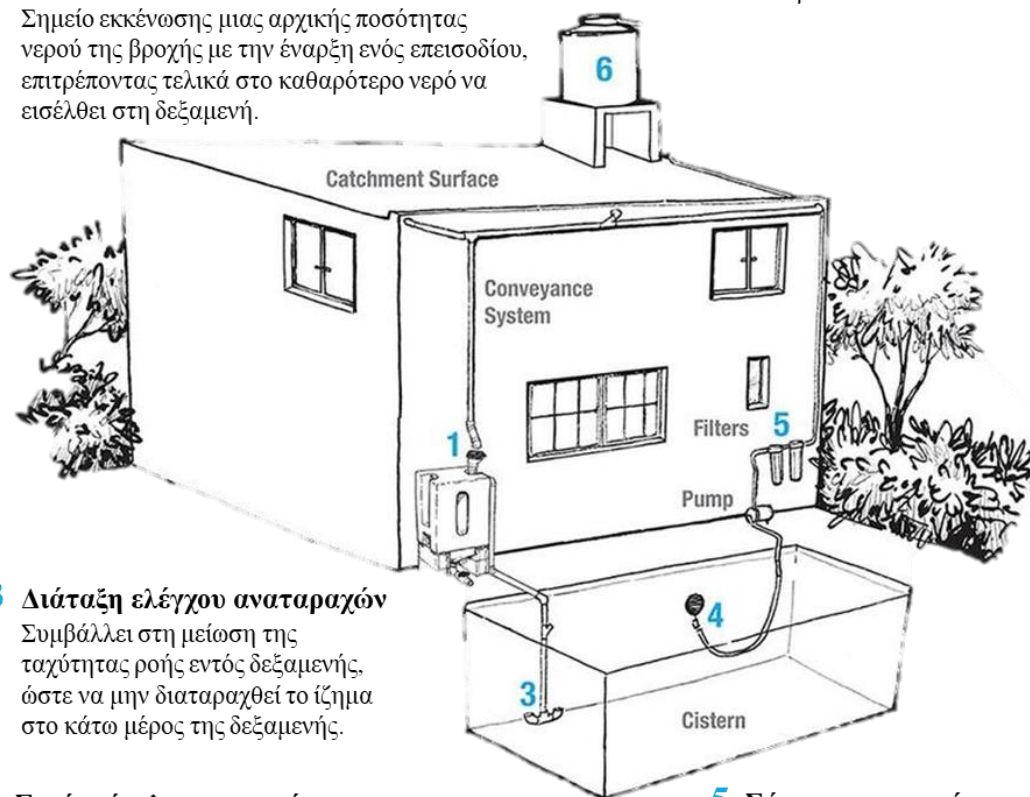
Συγκρατεί τα φύλλα και άλλα ανεπιθύμητα υλικά πριν την είσοδο του βρόχινου νερού στη δεξαμενή.

2 Πρώτη έκλυση

Σημείο εκκένωσης μιας αρχικής ποσότητας νερού της βροχής με την έναρξη ενός επεισοδίου, επιτρέποντας τελικά στο καθαρότερο νερό να εισέλθει στη δεξαμενή.

6 Απολύμανση

Μέσω ενός πλωτήρα διανέμεται η απαιτούμενη ποσότητα χλωρίου για την εξάλειψη τυχόν βακτηρίων στο νερό.



3 Διάταξη ελέγχου αναταραχών

Συμβάλλει στη μείωση της ταχύτητας ροής εντός δεξαμενής, ώστε να μην διαταραχθεί το ίζημα στο κάτω μέρος της δεξαμενής.

4 Σιφόνι άντλησης νερού

Συνήθως τοποθετείται σε θέση που εμποδίζει την αντλία να πάρει νερό από το κάτω μέρος της δεξαμενής όπου συσσωρεύεται ίζημα.

5 Σύστημα περαιτέρω

φίλτρασης/επεξεργασίας

Το πρώτο φίλτρο αφαιρεί σωματίδια μικρότερα των 50 microns. Το δεύτερο αποτελείται από ενεργό άνθρακα για την απομάκρυνση μικρορύπων.

Σχήμα 2.4 Εναλλακτικό παράδειγμα Συστήματος Συλλογής Όμβριων υδάτων με υπόγεια δεξαμενή και σύστημα καθαρισμού (Πηγή: <https://islaurbana.org/english/>, με τροποποιήσεις)

2.2 Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας συστήματος συλλογής όμβριων

2.2.1 Μοντέλο ημερησίου υδατικού ισοζυγίου

Το μοντέλο ημερησίου υδατικού ισοζυγίου αναπτύχθηκε στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας εργασίας με σκοπό τη διερεύνηση της αξιοπιστίας συστημάτων συλλογής όμβρων υδάτων. Οι διαστάσεις μιας ομβροδεξαμενής και κατά συνέπεια ο όγκος των όμβριων υδάτων που θα αποθηκευτούν σ' αυτήν εξαρτώνται από τον όγκο του νερού της βροχής που θα εισέλθει στη δεξαμενή και από τον όγκο του νερού που θα εξέλθει απ' αυτήν για την κάλυψη ποσοστού των συνολικών αναγκών για οικιακή χρήση, ως εναλλακτική πηγή χρήσης νερού έναντι της συμβατικής πηγής από τη δημόσια παροχή

ύδρευσης. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη η ημερήσια καταγραφή της αποθηκευμένης ποσότητας της δεξαμενής, η οποία εξαρτάται τόσο από την ποσότητα και τη συχνότητα της βροχόπτωσης, όσο και από τη ζήτηση νερού για την κάλυψη των αναγκών που έχουν οριστεί.

Ως εκ τούτου, το ημερήσιο υδατικό ισοζύγιο διαμορφώνεται ως εξής:

$$S_t = S_{t-1} + R_t - D_t, 0 \leq S_{t-1} \leq V_{\text{tank}}$$

όπου:

- S_t , ο όγκος του νερού που θα αποθηκευτεί στη δεξαμενή την t ημέρα (m^3)
- S_{t-1} , ο όγκος του αποθηκευμένου νερού στη δεξαμενή την προηγούμενη ημέρα (m^3)
- R_t , ο όγκος του νερού της βροχής που θα απορρεύσει από την επιφάνεια συλλογής και θα εισέλθει στη δεξαμενή την t ημέρα (m^3)
- D_t , η ζήτηση νερού από τη δεξαμενή την t ημέρα (m^3) και
- V_{tank} , η χωρητικότητα της δεξαμενής (m^3).

2.2.2 Προσδιορισμός όγκου απορροής όμβριων υδάτων από επιφάνεια (R_t)

Ο όγκος του νερού που απορρέει από μια επιφάνεια, σε καθημερινή βάση, υπολογίζεται ως εξής: R

$$R_t = C \times A \times P_{\text{eff},t} \text{ (} m^3 \text{)}$$

όπου:

- C , ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής (A)
- A , το εμβαδό της επιφάνειας συλλογής όμβριων που είναι συνδεδεμένη με τη δεξαμενή (m^2)
- $P_{\text{eff},t}$, η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση της t ημέρας (m).

Στην παρούσα μελέτη κατά την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής απορροής ίσος με $C=0.90$. Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι τιμές του συντελεστή απορροής βάσει του υλικού επιφάνειας.

Πίνακας 2.2 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

Επισημαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις σκόνης, φύλλων, λάσπης αλλά και περιττωμάτων πουλιών στην επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού που θα συλλεχθεί στη δεξαμενή. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να αποφεύγεται η εισροή στην δεξαμενή συλλογής ένας αρχικός όγκος νερού απορροής ο οποίος θα είναι επιβαρυσμένος από τα προαναφερόμενα υπολείμματα ώστε να αποτρέπεται η ποιοτική υποβάθμιση του συλλεγόμενου νερού στη δεξαμενή. Βάσει των μελετών των Yaziz et al. (1989) και Kinkade-Levario (2007), για τη βελτίωση της ποιότητας του συλλεγόμενου νερού για τις επιφάνειες συλλογής που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, από τη συνολική ημερήσια βροχόπτωση ορίστηκε να αφαιρούνται κατά μέσο όρο τα πρώτα 0.33 mm βροχής.

Επομένως, η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση $P_{eff,t}$ υπολογίζεται από την σχέση:

$$P_{eff,t} = P_t - 0.33$$

όπου:

- P_t , η ημερήσια βροχόπτωση της t ημέρας (mm)
- 0.33, η τιμή για την πρώτη έκπλυση του βρόχινου νερού.

2.2.3 Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης (D_t)

Η ημερήσια ζήτηση νερού, D_t , για μια κατοικία εξαρτάται: α) από τον αριθμό των ατόμων που διαμένουν σε αυτή, N_{cap} , β) από την ημερήσια κατανάλωση νερού κατά άτομο, q ($m^3/cap/day$), και γ) από το ποσοστό, p , της συνολικής χρήσης νερού, το οποίο ορίζεται ότι θα ικανοποιείται από το αποθηκευμένο νερό της ομβροδεξαμενής.

Επομένως, η ημερήσια ζήτηση σε νερό σε μία κατοικία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D_t = N_{cap} \times q \times (p/100)$$

όπου:

- q , η κατανάλωση νερού ανά άτομο ($m^3/cap/day$)
- p , το ποσοστό της συνολικής χρήσης νερού που ορίζεται ότι θα ικανοποιείται από το αποθηκευμένο νερό της ομβροδεξαμενής.

Στην παρούσα εργασία, για την ανάλυση που έλαβε χώρα, ορίστηκε ότι σε μια κατοικία μπορούν και διαμένουν δύο (2) ή τέσσερα (4) άτομα. Επιπλέον, η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης νερού ορίστηκε σε 180 L/κάτοικο/ημέρα, με κατώτερο όριο τα 100 L/κάτοικο/ημέρα και ανώτερο τα 200 L/κάτοικο/ημέρα, σύμφωνα με την ΚΥΑ, αριθ. Δ11/Φ.16/8500 (ΦΕΚ 174/Β/1991).

2.2.4 Προσδιορισμός αποδοτικότητας συστήματος

Λαμβάνοντας υπόψιν την εξίσωση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, ο όγκος του νερού που θα μπορούσε να αποθηκευτεί στη δεξαμενή οποιαδήποτε ημέρα, S_t , λαμβάνοντας υπόψιν τον όγκο του νερού που θα απορρεύσει από μία επιφάνεια σε ημερήσια βάση, R_t καθώς και την ημερήσια ζήτηση νερού, D_t , υπολογίζεται ως εξής (Λόντρα, 2014):

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

Η ημερήσια διαφορά ΔS_t , μεταξύ απορροής και ζήτησης ισούται με:

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

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t$$

Ο υπολογισμός του ημερήσιου αποθηκευτικού όγκου 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:

$$\begin{aligned} &\text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) > V_{tank} \text{ then } S_{t,tank} = V_{tank}, \\ &\text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) < V_{tank} \text{ then } 0, \\ &\text{else } S_t = S_{t,tank} = S_{t-1} + \Delta S_t \end{aligned}$$

όπου:

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

Όταν η δεξαμενή συλλογής γεμίσει, είναι λογικό μια ποσότητα του αποθηκευμένου νερού να υπερχειλίσει από αυτή. Ο όγκος αυτός του νερού (O_t), υπολογίζεται ως εξής (συνθήκη υπερχειλίσης):

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

Υπάρχει περίπτωση ο όγκος του βρόχινου νερού που συλλέγεται και αποθηκεύεται στη δεξαμενή ($S_{t,tank}$) 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 (εν μέρει ή εξολοκλήρου) από την δημόσια τοπική υπηρεσία παροχής νερού (T_t). Ο αλγόριθμος που υπολογίζει την ποσότητα που λαμβάνεται από το δίκτυο είναι:

$$\text{if } (S_t < D_t) \text{ then } T_t = D_t - S_{t,tank}, \text{ else } T_t = 0$$

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.

Ενδεικτικά παρουσιάζεται η μορφή του φύλλου εργασίας (Σχήμα 2.5), όπως αυτό διαμορφώθηκε για τις ανάγκες της παρούσας ανάλυσης.

Κατόπιν υλοποίησης του μοντέλου λειτουργίας του συστήματος σε ημερήσια βάση και εφόσον έχει καθοριστεί η ημερήσια ζήτηση-στόχος προς κάλυψη, είναι εφικτό να προσδιοριστεί η αποδοτικότητα του συστήματος για την περίοδο προσομοίωσης. Ο συντελεστής αποδοτικότητας (ή με τον γενικό όρο Αξιοπιστία/Reliability, Re) 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.

$$Re(\%) = \frac{\Sigma \text{ ημερών που δεν χρησιμοποιείται νερό από το δίκτυο}}{\Sigma \text{ ημερών προσομοίωσης}}$$

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο συντελεστής αναδεικνύει την αποδοτικότητα του συστήματος για την καθορισμένη ζήτηση (π.χ., για ένα ποσοστό ίσο με 30% επί της συνολικής ζήτησης φρέσκου νερού σε επίπεδο οικίας). Η εν λόγω τιμή της ζήτησης-στόχου (30%), αντιστοιχεί σε χρήσεις όπως το καζανάκι και το πλυντήριο.

Family size															C Days with no rain	
	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	S-S ₀ +ΔS, m³	Storage, m³	Overflow, m³	Tap, m³	C Tap, m³	Days with no rain	FLAG (0-1)
	01/10/2030	55,70634	50,1357072	0	0,000	0,216	0,216	-0,216	3,795	30,000	30,000	3,795	0,000	0,000	0	1
Roof Area (m ²)	02/10/2030	1,90832	1,71749026	1,717	0,137	0,216	0,432	-0,295	-0,079	33,716	30,000	3,716	0,000	0,000	0	1
Runoff Coefficient C=	03/10/2030	8,67334	7,80600417	9,523	0,762	0,216	0,648	0,114	0,408	34,125	30,000	4,125	0,000	0,000	0	1
Tank size (L)	04/10/2030	75,14764	67,6328724	77,156	6,173	0,216	0,864	5,309	5,195	39,319	30,000	9,319	0,000	0,000	0	1
Initial volume in tank (L)	05/10/2030	3,18267	2,8644051	80,021	6,402	0,216	1,08	5,322	0,013	39,333	30,000	9,333	0,000	0,000	0	1
	06/10/2030	26,37872	23,7408474	103,762	8,301	0,216	1,296	7,005	1,683	41,016	30,000	11,016	0,000	0,000	0	1
	07/10/2030	73,54351	66,1891597	169,951	13,596	0,216	1,512	12,084	5,079	46,095	30,000	16,095	0,000	0,000	0	1
	08/10/2030	1,27158	1,14442513	171,095	13,688	0,216	1,728	11,960	-0,124	45,970	30,000	15,970	0,000	0,000	0	1
	09/10/2030	13,36169	12,025217	183,121	14,650	0,216	1,944	12,706	0,746	46,717	30,000	16,717	0,000	0,000	0	1
	10/10/2030	20,92827	18,8354474	201,956	16,156	0,216	2,16	13,996	1,291	48,007	30,000	18,007	0,000	0,000	0	1
	11/10/2030	21,89586	19,7098773	221,666	17,733	0,216	2,376	15,357	1,361	49,368	30,000	19,368	0,000	0,000	0	1
	12/10/2030	1,92390	1,73151265	223,398	17,872	0,216	2,592	15,280	-0,077	49,291	30,000	19,291	0,000	0,000	0	1
	13/10/2030	23,49634	21,1467079	244,544	19,564	0,216	2,808	16,756	1,476	50,766	30,000	20,766	0,000	0,000	0	1
	14/10/2030	0,77270	0,69542787	245,240	19,619	0,216	3,024	16,595	-0,160	50,606	30,000	20,606	0,000	0,000	0	1
	15/10/2030	0,00000	0	245,240	19,619	0,216	3,24	16,379	-0,216	50,390	30,000	20,390	0,000	0,000	1	1
	16/10/2030	0,00000	0	245,240	19,619	0,216	3,456	16,163	-0,216	50,174	30,000	20,174	0,000	0,000	1	1
	17/10/2030	0,00000	0	245,240	19,619	0,216	3,672	15,947	-0,216	49,958	30,000	19,958	0,000	0,000	1	1
	18/10/2030	0,00000	0	245,240	19,619	0,216	3,888	15,731	-0,216	49,742	30,000	19,742	0,000	0,000	1	1
	19/10/2030	0,00000	0	245,240	19,619	0,216	4,104	15,515	-0,216	49,526	30,000	19,526	0,000	0,000	1	1
	20/10/2030	2,95700	2,66130365	247,901	19,832	0,216	4,32	15,512	-0,003	49,523	30,000	19,523	0,000	0,000	0	1
	21/10/2030	3,88790	3,49911321	251,400	20,112	0,216	4,536	15,576	0,064	49,587	30,000	19,587	0,000	0,000	0	1
	22/10/2030	9,95547	8,95992405	260,360	20,829	0,216	4,752	16,077	0,501	50,088	30,000	20,088	0,000	0,000	0	1
	23/10/2030	0,00000	0	260,360	20,829	0,216	4,968	15,861	-0,216	49,872	30,000	19,872	0,000	0,000	1	1
	24/10/2030	0,00000	0	260,360	20,829	0,216	5,184	15,645	-0,216	49,656	30,000	19,656	0,000	0,000	1	1
	25/10/2030	0,00000	0	260,360	20,829	0,216	5,4	15,429	-0,216	49,440	30,000	19,440	0,000	0,000	1	1
	26/10/2030	0,00000	0	260,360	20,829	0,216	5,616	15,213	-0,216	49,224	30,000	19,224	0,000	0,000	1	1
	27/10/2030	20,00722	18,0064937	278,367	22,269	0,216	5,832	16,437	1,225	50,448	30,000	20,448	0,000	0,000	0	1
	28/10/2030	21,94053	19,7464786	298,113	23,849	0,216	6,048	17,801	1,364	51,812	30,000	21,812	0,000	0,000	0	1
	29/10/2030	93,34726	84,0125347	382,126	30,570	0,216	6,264	24,306	6,505	58,317	30,000	28,317	0,000	0,000	0	1
	30/10/2030	1,23419	1,11076754	383,236	30,659	0,216	6,48	24,179	-0,127	58,190	30,000	28,190	0,000	0,000	0	1
	31/10/2030	0,00000	0	383,236	30,659	0,216	6,696	23,963	-0,216	57,974	30,000	27,974	0,000	0,000	1	1

Σχήμα 2.5 Παράδειγμα ανάπτυξης ημερήσιου μοντέλου υδατικού ισοζυγίου στο MS Excel

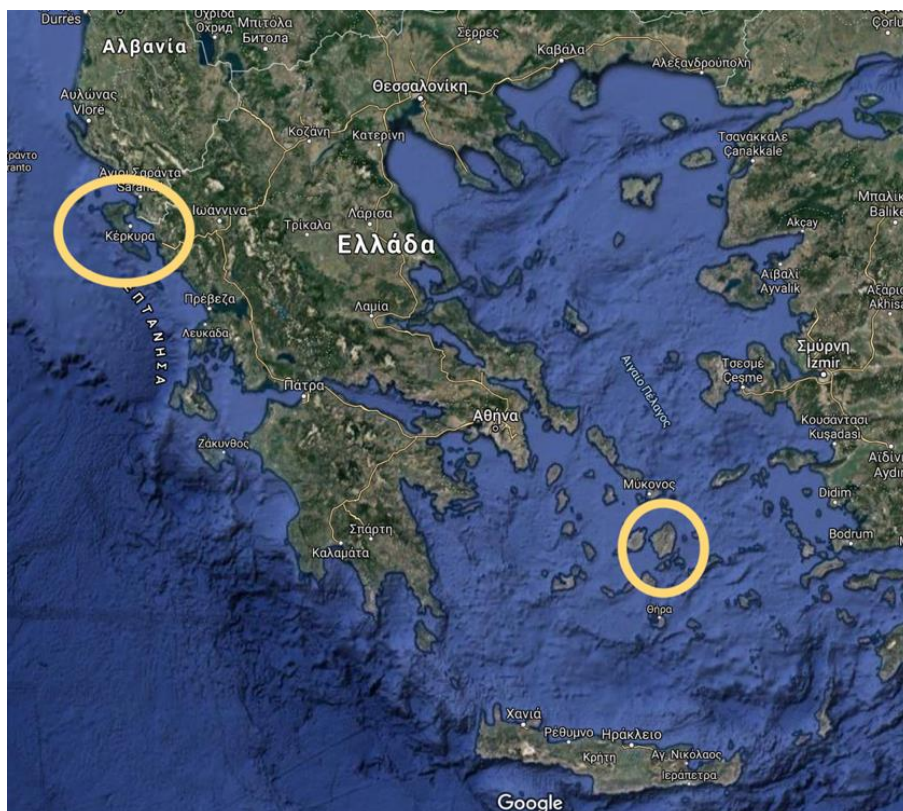
3 Περιοχές μελέτης και Δεδομένα

3.1 Περιοχές εφαρμογής

Επιλεγθείσες περιοχές μελέτης για τις οποίες εφαρμόζεται το μοντέλο προσομοίωσης ενός συστήματος συλλογής ομβρίων υδάτων είναι τα νησιά της Κέρκυρας και Νάξου. Η Ελλάδα σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ χωρίζεται σε 14 θεσμικά αναγνωρισμένα Υδατικά Διαμερίσματα (ΥΔ), όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 3.1. Η Νάξος ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (ΥΔ 14), η έκταση του οποίου ανέρχεται στα 9104 km² και περιλαμβάνει τα νησιωτικά συγκροτήματα των Περιφερειών Βόρειου και Νότιου Αιγαίου. Το Υδατικό Διαμέρισμα Ήπειρος (ΥΔ 05) περιλαμβάνει το σύνολο της Περιφέρειας Ηπείρου και των βόρειων Ιόνιων νήσων και έχει έκταση 9.980 km², από τα οποία τα 631 km² ανήκουν στην Κέρκυρα. Η θέση των δύο νησιών σημειώνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.1 Υδατικά Διαμερίσματα και Γεωμορφολογία Ελλάδας (Πηγή: http://www.4862.syzefxis.gov.gr/images/files/ydatika_diamerismata.jpg)

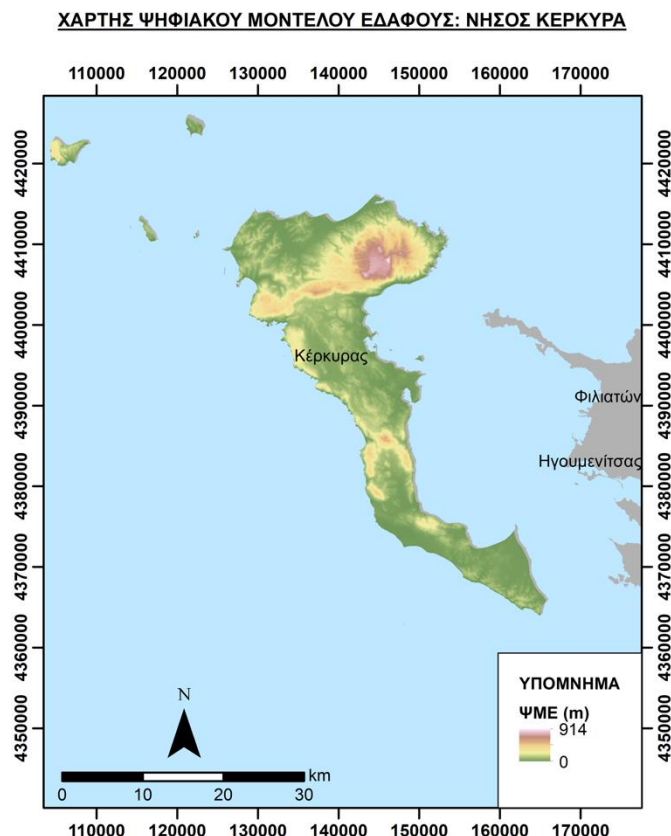


Σχήμα 3.2 Θέση Κέρκυρας (δυτικά) και Νάξου (ανατολικά) (Υπόβαθρο: Google Earth)

3.1.1 Κέρκυρα

Η Κέρκυρα με έκταση 592 km² είναι ένα από τα βορειότερα και δυτικότερα νησιά της Ελλάδας και του Ιονίου Πελάγους. Βρίσκεται στην είσοδο της Αδριατικής Θάλασσας, κοντά στις Ηπειρωτικές ακτές. Οι βορειοανατολικές της ακτές πλησιάζουν αρκετά (περ. 2 km) τις ακτές των Αγίων Σαράντα της Αλβανίας. Αποτελείται από τρεις Δήμους που περιλαμβάνουν και τα μικρότερα νησιά Οθωνοί, Ερεικούσσα και Μαθράκι. Έχει σχήμα μακρόστενο, πλατύτερο στο βόρειο τμήμα της, ενώ στενεύει προς τον νότο. Τα παράλια της έχουν συνολικό μήκος 217 km και σχηματίζουν αρκετούς όρμους και ακρωτήρια. Το έδαφός της είναι κυρίως ορεινό, ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα. Μικρά ποτάμια υπάρχουν στην Κέρκυρα, όπως ο Μεγαλοπόταμος, ο Τυφλός, ο Μεσογγής (ο μεγαλύτερος), το ποτάμι στην περιοχή της Λευκίμμης. Η μεγαλύτερη λίμνη είναι η Κορισσία (ή των Κορισσίων) με έκταση 4 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Επίσης υπάρχει και η λιμνοθάλασσα Χαλκιοπούλου στα νότια της πόλης της Κέρκυρας.

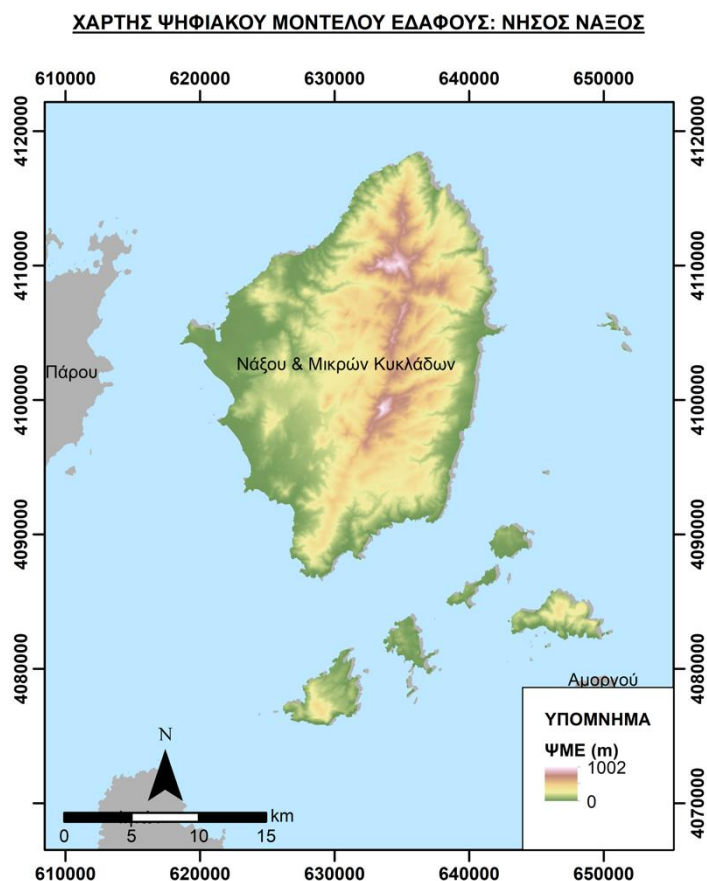
Σύμφωνα με την απογραφή του 2011, το νησί είχε 104.371 κατοίκους. Είναι από τα πλέον πυκνοκατοικημένα νησιά της Μεσογείου, με πυκνότητα πληθυσμού 193 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (el.wikipedia.org).



Σχήμα 3.3 Χάρτης ψηφιακού μοντέλου εδάφους νήσου Κέρκυρας (Ιδία επεξεργασία, Πηγή ΨΜΕ: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/news/-/asset_publisher/xR9e/content/copernicus-dem-30-metre-dataset-now-freely-available, πηγή υποβάθρου ορίων δήμων Καλλικράτη: <https://geodata.gov.gr>)

3.1.2 Νάξος

Η Νάξος, το μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων, βρίσκεται στο κέντρο περίπου των Κυκλάδων, νότια της Μυκόνου και ανατολικά της Πάρου. Έχει έκταση 430 km² και το μήκος των ακτών της ανέρχεται σε 148 km. Υπάγεται στο δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων και χωρίζεται στις Δημοτικές Ενότητες Νάξου (πρώην δήμος Νάξου) και Δρυμαλίας. Η Δημοτική Ενότητα Νάξου έχει πληθυσμό 12.726 κατοίκων (απογραφή 2011). Το ανάγλυφο του νησιού διαμορφώνεται από το όρος Ζας ή Δίο, μια χαμηλή οροσειρά που το διασχίζει από βορρά προς νότο, με ψηλότερη κορυφή τον Νάξιο Δία ή Ζα (1.002 m.) Το κλίμα του νησιού είναι μεσογειακό, ήπιο και ξηρό, με δροσερά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες (el.wikipedia.org).



Σχήμα 3.4 Χάρτης ψηφιακού μοντέλου εδάφους νήσου Νάξου (Ιδία επεξεργασία, Πηγή ΨΜΕ: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/news/-/asset_publisher/xR9e/content/copernicus-dem-30-metre-dataset-now-freely-available, πηγή υποβάθρου ορίων δήμων Καλλικράτη: <https://geodata.gov.gr>)

3.2 Δεδομένα

3.2.1 Βασικά στατιστικά στοιχεία περιοχών

Σύμφωνα με τα στοιχεία απογραφών πληθυσμού που μας παρέχει η Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία παρουσιάζεται η εξέλιξη του πληθυσμού στα νησιά της Κέρκυρας και της Νάξου. (Πίνακες 3.1 και 3.2, Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

- Κέρκυρα:

Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή πληθυσμού, το 2011, η Κέρκυρα είχε πληθυσμό 104.371 κατοίκους. Στην Περιφερειακή Ενότητα Κέρκυρας έχοντας ως έτος αναφοράς το 1971, παρατηρούμαι ότι τις τελευταίες τρεις δεκαετίες ο πληθυσμός συνεχώς αυξάνεται ενώ στην τελευταία δεκαετία, 2001-2011, ο πληθυσμός μειώνεται κατά 6%.

Πίνακας 3.1 Μεταβολή του Πληθυσμού της Κέρκυρας (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Έτος απογραφής	Κάτοικοι	Μεταβολή (%)
1971	92933	-9
1981	99477	7
1991	107592	8
2001	111081	3
2011	104371	-6

Αναλυτικότερα τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται συγκριτικά για τα δύο νησιά και στο Σχήμα 3.5.

Στο νησί της Κέρκυρας οι οικείες είναι 40.058. Το μεγαλύτερο ποσοστό στο νησί το έχουν οι οικογένειες με δύο μέλη, 31.20%, έπειτα είναι οι μονομελείς κι ακολουθούν οι τριμελείς. Σε χαμηλότερο ποσοστό 16.55% περίπου, βρίσκονται τα τετραμελή νοικοκυριά και μετά αυτά με πέντε. Τέλος, με πολύ χαμηλό ποσοστό 1.97% υπάρχουν κι οικογένειες από έξι μέλη κι άνω, στοιχεία που παρουσιάζονται αναλυτικότερα στον Πίνακα 3.2 και στο Σχήμα 3.6 συγκριτικά για τα δύο νησιά.

Πίνακας 3.2 Απογραφή Νοικοκυριών Κέρκυρας και μέλη αυτών (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Κάτοικοι	Οικίες	Ποσοστό (%)
1 μέλος	10341	25.82
2 μέλη	12500	31.20
3 μέλη	7966	19.89
4 μέλη	6630	16.55
5 μέλη	1831	4.57
6 μέλη και άνω	790	1.97

Σύμφωνα πάλι με την τελευταία απογραφή του 2011 για το εμβαδό των κατοικιών του νησιού, είναι εμφανές από το Σχήμα 3.7 ότι ο μεγαλύτερος αριθμός απαντάται με μικρή συνολική επιφάνεια οικίας έως 40m² ενώ στις ενδιάμεσες επιφάνειες είναι σχεδόν σταθερός. Τα σπίτια από 120m² και πάνω ομαδοποιήθηκαν σε μια κλάση λόγω του ότι είναι πολύ λίγα ανά κατηγορία εμβαδού. Αυτό το γράφημα φτιάχτηκε με σκοπό να τεθούν λογικά όρια εμβαδού για τις επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων.

- Νάξος

Κατά τις απογραφές που πραγματοποιήθηκαν για την Νάξο, μέσω του Πίνακα 3.3 και του Σχήματος 3.5, είναι αντιληπτό ότι για τα έτη 1971 και 1981 υπάρχει μια μείωση στον πληθυσμό ενώ για τις επόμενες δεκαετίες καταγράφεται μια αισθητά μεγάλη αύξηση, με τον πληθυσμό από 14.792 κάτοικους να σκαρφαλώνει στους 18.340.

Πίνακας 3.3 Μεταβολή του Πληθυσμού της Νάξου (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Έτος απογραφής	Κάτοικοι	Μεταβολή (%)
1971	14201	-15
1981	14037	-1.2
1991	14792	5.4
2001	18188	23
2011	18340	0.1

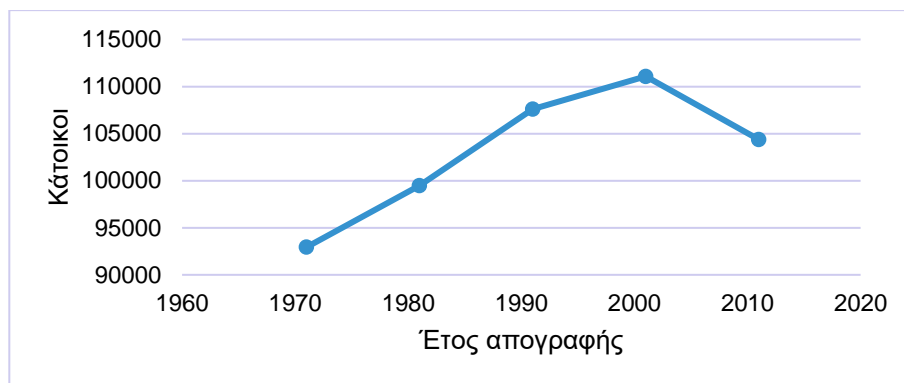
Τα νοικοκυριά στο νησί της Νάξου είναι 7.036. Οι οικογένειες με δύο μέλη κυριαρχούν όπως και στην Κέρκυρα με 29.79%, με τις μονομελείς, τριμελείς και τετραμελείς οικογένειες να ακολουθούν. Τέλος οι οικογένειες με έξι μέλη και πάνω κατέχουν το 3.24% του νησιού όπως βλέπουμε και στον Πίνακα 3.4 και το γράφημα του Σχήματος 3.6.

Πίνακας 3.4 Απογραφή Νοικοκυριών Νάξου και μέλη αυτών (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

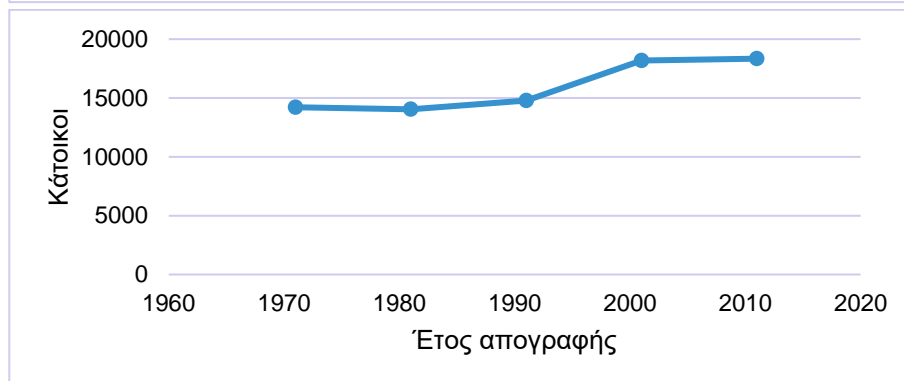
Κάτοικοι	Οικίες	Ποσοστό (%)
1 μέλος	1669	23.72
2 μέλη	2096	29.79
3 μέλη	1315	18.69
4 μέλη	1233	17.52
5 μέλη	495	7.04
6 μέλη και άνω	228	3.24

Τέλος στο γράφημα του Σχήματος 3.7 παρουσιάζεται η κατανομή των νοικοκυριών ανά κλάση επιφάνειας και παρατηρούμε συγκρίνοντας τις δύο υπό μελέτη περιοχές ότι και στη Νάξο τα περισσότερα νοικοκυριά αποτελούνται από δυο μέλη.

(α)



(β)

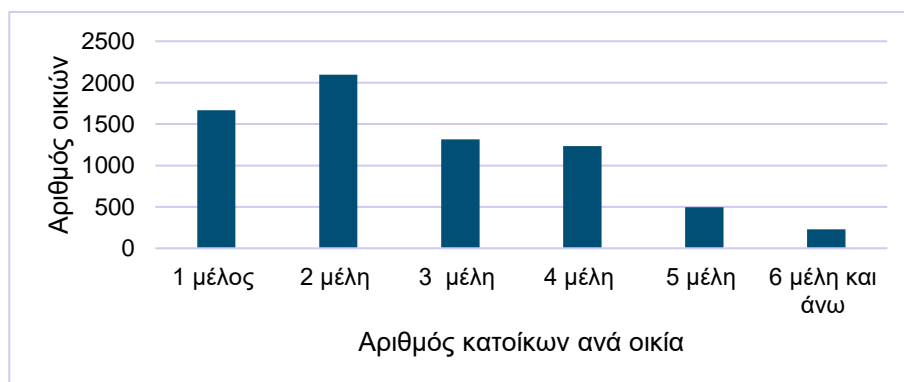


Σχήμα 3.5 Γράφημα με την πληθυσμιακή εξέλιξη (α) στο νησί της Κέρκυρας, (β) στο νησί της Νάξου

(α)

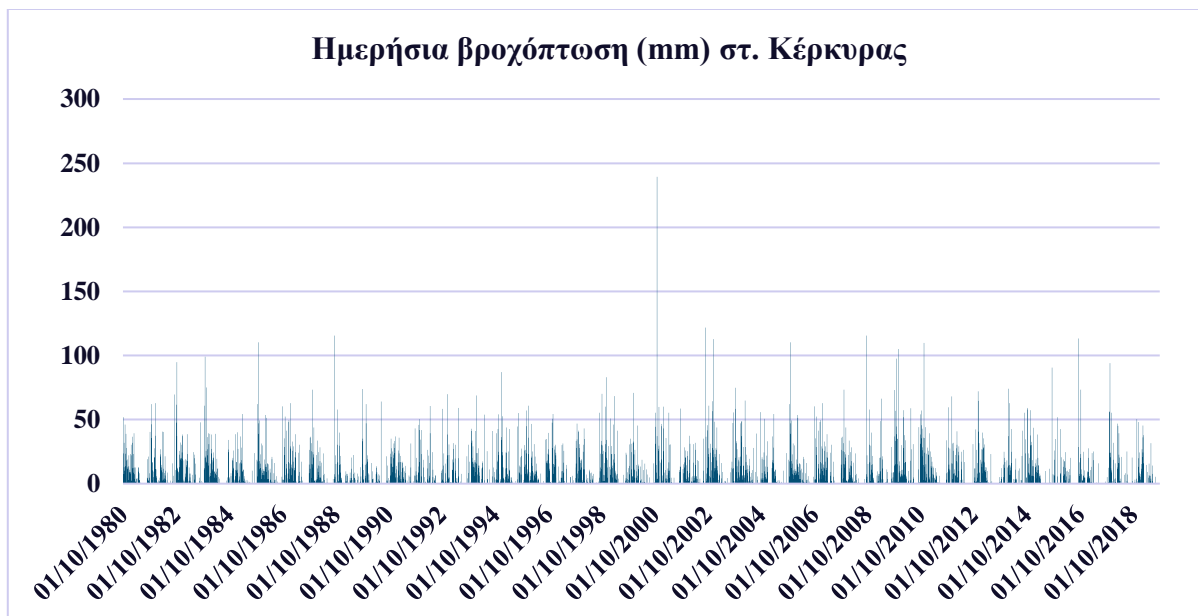


(β)

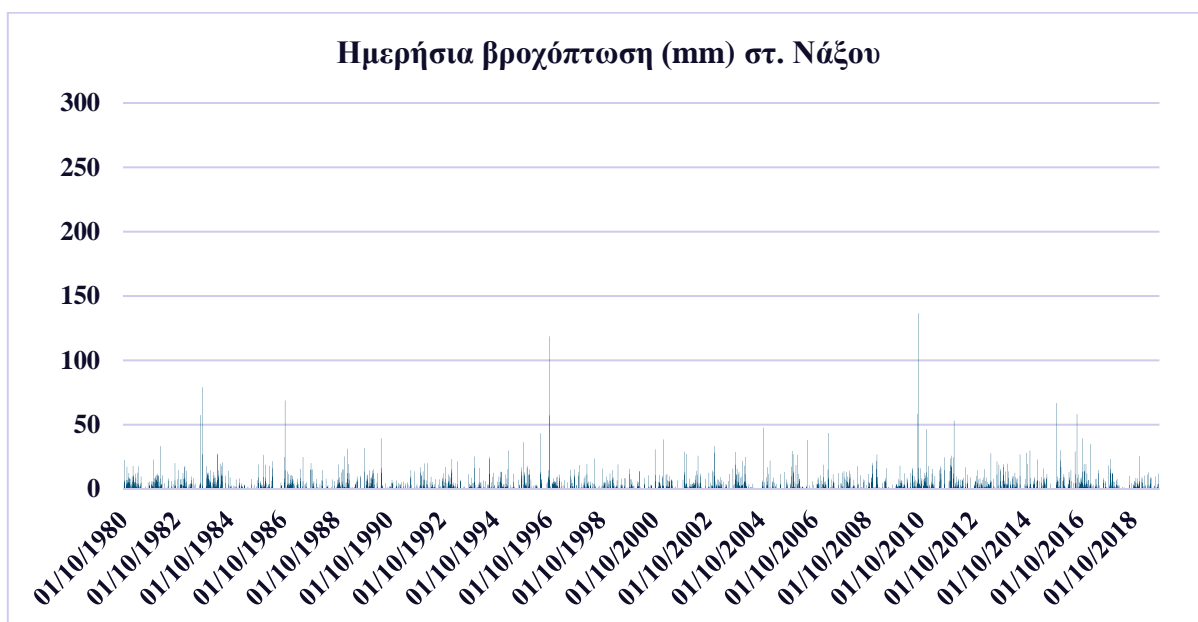


Σχήμα 3.6 Αριθμός οικιών και η κατανομή των κατοίκων της (α) Κέρκυρας, (β) της Νάξου

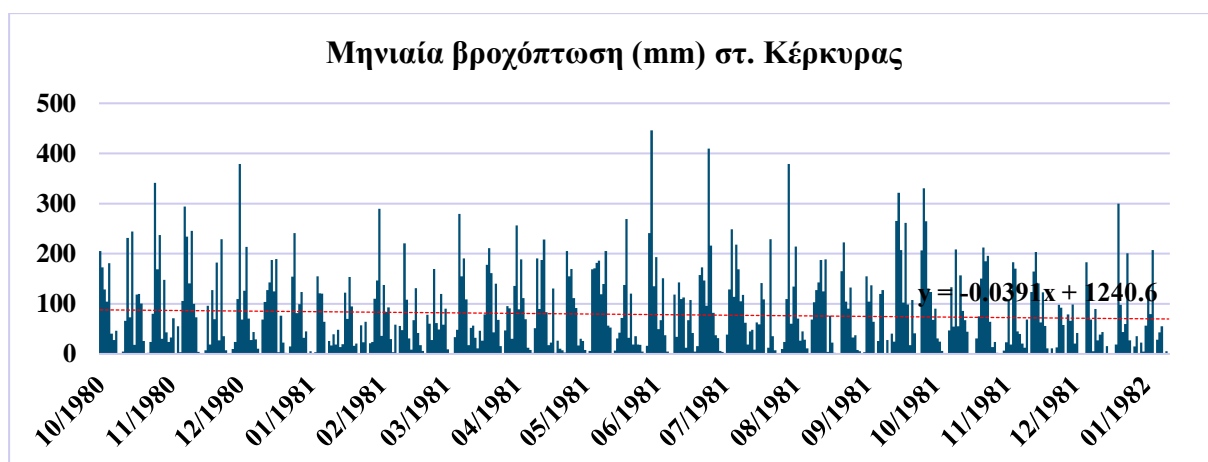
θα φανεί σε επόμενο κεφάλαιο (Κεφ. 4), το εν λόγω χαρακτηριστικό δεν αναδεικνύεται έντονα μέσα από τα κλιματικά σενάρια που διερευνήθηκαν και ως εκ τούτου δεν αποτυπώνεται στα αποτελέσματα που συνδέονται με την αποδοτικότητα των συστημάτων.



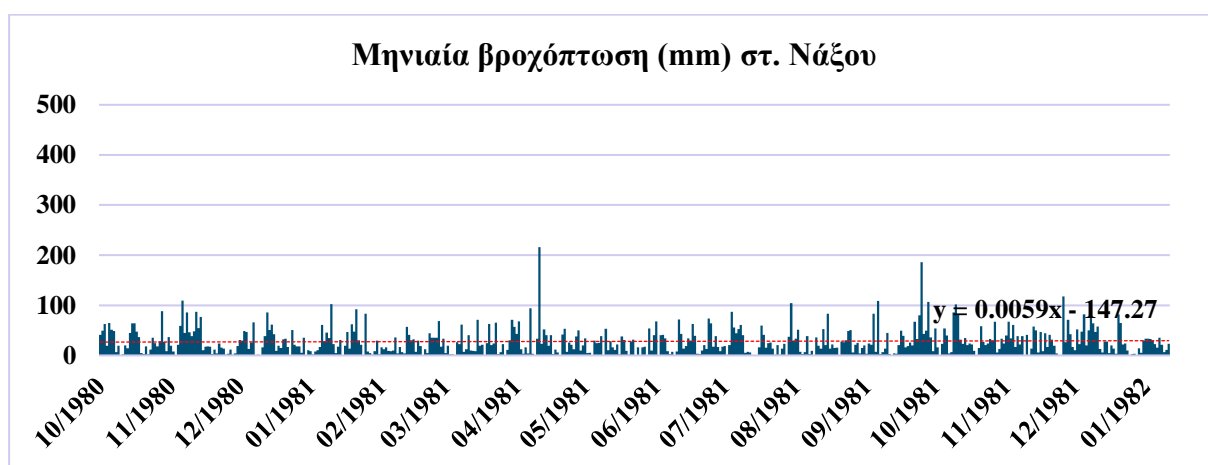
Σχήμα 3.8 Χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης από τον σταθμό της Κέρκυρας (Πηγή: Σταματίου (2021), Παροχή πρωτογενών δεδομένων: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)



Σχήμα 3.9 Χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης από τον σταθμό της Νάξου (Πηγή: Σταματίου (2021), Παροχή πρωτογενών δεδομένων: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)



Σχήμα 3.10 Χρονοσειρά μηνιαίας βροχόπτωσης από τον σταθμό της >Κέρκυρας (Ιδία επεξεργασία, Παροχή πρωτογενών δεδομένων: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)



Σχήμα 3.11 Χρονοσειρά μηνιαίας βροχόπτωσης από τον σταθμό της Νάξου (Ιδία επεξεργασία, Παροχή πρωτογενών δεδομένων: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)

3.2.3 Χρονοσειρές βροχόπτωσης για κλιματικά σενάρια (IPCC, 2014)

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)/ Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική αλλαγή

Η IPCC είναι η επιστημονική διακυβερνητική επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή, υπό την αιγίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών. Ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization, WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme, UNEP) με στόχο να παρέχει στις κυβερνήσεις σε όλα τα επίπεδα επιστημονικές πληροφορίες που μπορούν να αξιοποιηθούν για την ανάπτυξη πιθανών πολιτικών αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και γενικότερα σε ότι αφορά το κλίμα. Επιπλέον, οι εκθέσεις της IPCC συμβάλουν σημαντικά στις διεθνείς διαπραγματεύσεις για την κλιματική αλλαγή.

Η IPCC δεν διεξάγει την δική της έρευνα. Επιστήμονές της προσφέρουν εθελοντικά τον χρόνο τους για να αξιολογήσουν τις χιλιάδες επιστημονικές εργασίες που δημοσιεύονται κάθε χρόνο ώστε να παρέχουν μια ολοκληρωμένη περίληψη για το τι είναι γνωστό σχετικά με τους παράγοντες που συμβάλουν στην κλιματική αλλαγή, τις επιπτώσεις της, καθώς και τους μελλοντικούς κινδύνους που ενέχονται από την κλιματική αλλαγή, και πώς η προσαρμογή και ο μετριασμός μπορούν να μειώσουν αυτούς του κινδύνους. Περιλαμβάνει τρεις ομάδες εργασίας για την αξιολόγηση των επιστημονικών παραμέτρων των κλιματικών μεταβολών, των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεών τους και των πιθανών πολιτικών που μπορούν να εφαρμοστούν για την αντιμετώπισή τους αντίστοιχα.

Οι δραστηριότητες της επιτροπής χρηματοδοτούνται από εθελοντικές συνεισφορές των κυβερνήσεων, ενώ πρόσθετη οικονομική στήριξη παρέχουν η Παγκόσμια Μετεωρολογική Οργάνωση και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του ΟΗΕ. Μέχρι στιγμής έχει δημοσιεύσει πέντε εκθέσεις (1990, 1995, 2001, 2007 και 2014) και αναμένεται και μία έκτη έκθεσης το 2021.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, καθώς η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης και εν τέλει της μεταβλητότητας του κλίματος που επιδρά σημαντικά στη βροχόπτωση, κατά την Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης (IPCC, 2014) διατυπώθηκε πως η βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα αναμένεται να παρουσιάσει έντονη χωρική μεταβλητότητα, με τη μέση ετήσια βροχόπτωση να προβλέπεται να αυξηθεί στις περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη καθώς και στις υγρές περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους, και να μειωθεί στις ξηρές περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους (IPCC, 2014).

- CORDEX (The Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)

Το CORDEX είναι ένα ερευνητικό πρόγραμμα που χρηματοδοτήθηκε από το WRCP (World Climate Research Programme) με σκοπό να οργανώσει ένα διεθνώς συντονισμένο πλαίσιο για την ανάπτυξη βελτιωμένων περιφερειακών προγνώσεων για την κλιματική αλλαγή που αφορά όλες τις χερσαίες περιοχές παγκοσμίως. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το CORDEX θα χρησιμεύσουν ως στοιχεία για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και τις μελέτες προσαρμογής εντός του χρονοδιαγράμματος της πέμπτης έκθεσης αξιολόγησης της IPCC, αλλά και

πέραν αυτής. Το EURO-CORDEX αποτελεί το Ευρωπαϊκό παρακλάδι της διεθνούς πρωτοβουλίας του CORDEX.

- DEAR-Clima (Data Extraction Application for Regional Climate)

Το DEAR-Clima είναι ένα φιλικό προς το χρήστη διαδραστικό διαδικτυακό εργαλείο εφαρμογών που φιλοξενείται στον διακομιστή (server) του Τομέα Μετεωρολογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. και απεικονίζει και παρέχει χρονοσειρές βασικών κλιματικών μεταβλητών και κλιματικών δεικτών με βάση προσομοιώσεις σε περιοχικά κλιματικά μοντέλα υψηλής οριζόντιας ανάλυσης (RCM) του ερευνητικού προγράμματος EURO-CORDEX.

Η αξιόπιστη και φιλική προς το χρήστη ανοιχτή πρόσβαση σε δεδομένα πρόγνωσης για την κλιματική αλλαγή που προκύπτουν από προβολές RCM υψηλής ανάλυσης είναι απαραίτητη τόσο για αυτούς που λαμβάνουν τις αποφάσεις, για τα ενδιαφερόμενα μέρη, όσο και για τους ενδιάμεσους και τελικούς χρήστες που οι δραστηριότητές τους συνδέονται με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, τον μετριασμό της και την προσαρμογή σε αυτή.

Τα δεδομένα RCM που υποβάλλονται σε επεξεργασία σε αυτό το διαδικτυακό εργαλείο - εφαρμογή έχουν υψηλή χωρική ανάλυση για τον ευρωπαϊκό χώρο και καλύπτουν μια χρονική περίοδο από το 1950 έως το 2100. Η ιστορική περίοδος κάθε πειράματος αναφέρεται στο διάστημα 1950-2004 (reference period), ενώ η μελλοντική περίοδος είναι το 2006-2100 (projections) υπό την επήρεια τριών νέων σεναρίων που ονομάζονται Αντιπροσωπευτικές Κατευθύνσεις Συγκέντρωσης (RCP- Representative Concentration Pathways) που εγκρίθηκαν από την IPCC για την Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης (AR5): RCP 2.6, RCP 4.5 και RCP 8.5 (IPCC, 2014). Τα πειράματα προσομοίωσης είναι ένα προϊόν διαφόρων RCM που οδηγούνται από διάφορα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (Global Climate Models, GCMs).

Αναλυτικότερα, τα σενάρια που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν είναι τα RCP 4.5 (ως το σχετικά ευμενές/μέσο) και τα RCP 8.5 (δυσμενές).

- Σύμφωνα με το σενάριο RCP 4.5, η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου κορυφώνεται το 2040 και από εκεί και έπειτα μειώνεται καθώς στοχεύει στη σταθεροποίηση της παγκόσμιας ακτινοβολικής έντασης στα 4.5 W/m² χωρίς να ξεπεράσει αυτήν την τιμή έως το 2100.

- Το σενάριο RCP 8.5 είναι ένα σενάριο που υποθέτει ένα μέλλον με υψηλό πληθυσμό παγκοσμίως, υψηλών εκπομπών, με έλλειψη περιβαλλοντικών και κλιματικών αλλαγών, χαμηλή σχετικά οικονομική ευημερία σε συνδυασμό με μέτριο ρυθμό τεχνολογικών εξελίξεων που δεν επιλύουν αποτελεσματικά τις ενεργειακές ανάγκες.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να επισημανθεί πως τα κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για μελλοντικές κλιματικές εκτιμήσεις ως *προγνωστικά εργαλεία* και χαρακτηρίζονται από σημαντική *αβεβαιότητα*. Στόχος των μελλοντικών κλιματικών προσομοιώσεων δεν είναι η ακριβής πρόγνωση («αναπαράσταση») του κλίματος, αλλά η ανάλυση ευαισθησίας μελλοντικών συμπεριφορών του κλίματος για δεδομένα σενάρια ανάπτυξης.

Οι τελικές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για τις δυο χρονοσειρές προέκυψαν από τον συνδυασμό των παρακάτω κλιματικών μοντέλων που συνοψίζονται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5 Συνδυασμοί κλιματικών μοντέλων - Σενάρια που διερευνήθηκαν

Global and Regional Climate Models	
1. CLMcom-CCLM4-8-17	1.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
	1.3 MPI-M-MPI-ESM-LR
2. CNRM-ALADIN53	2.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
3. SMHI-RCA4	3.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
4. KNMI-RACMO22E	4.1 ICHEC-EC-EARTH
5. IPSL-INERIS-WRF331F	5.1 IPSL-IPSL-CM5A-MR
6. MPI-CSC-REMO2009	6.1 MPI-M-MPI-ESM-LR

Από τις αναλύσεις στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εξαιρέθηκαν οι χρονοσειρές 1.2 MOHC-HadGEM2-ES, 3.2 IPSL-IPSL-CM5A-MR και 3.3 MOHC-HadGEM2-ES καθώς λόγω κάποιου υπολογιστικού προβλήματος της πλατφόρμας, παρατηρήθηκε ότι η 31^η μέρα κάθε μήνα με αριθμό ημερών ίσο με 31 δεν παραγόταν, με αποτέλεσμα οι χρονοσειρές να προκύπτουν χωρίς χρονική συνέπεια.

Έτσι, αξιοποιώντας τις χρονοσειρές για τα σενάρια του Πίνακα 3.5, κατ' αντιστοιχία με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται με βάση την ιστορική χρονοσειρά για τις δύο περιοχές μελέτης, υπολογίστηκε ο συντελεστής αποδοτικότητας (%) και με βάση τις νέες χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης για κάθε έναν από τους συνδυασμούς που

εξετάστηκαν. Όπως παρουσιάζεται αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο (Κεφ. 4), τα αποτελέσματα δίνονται υπό μορφή πίνακα για όλους τους όγκους δεξαμενής (5-30 m³) και για εμβαδό επιφάνειας συλλογής 40-140 m².

Να σημειωθεί ότι τα κλιματικά σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν, ανακτήθηκαν μέσω μιας αρκετά χρονοβόρας διαδικασίας από τον ιστότοπο που φιλοξενεί την πλατφόρμα DEAR-Clima: <http://meteo3.geo.auth.gr:3838> (ενδεικτικός χρόνος προσομοίωσης για παραγωγή ενός σεναρίου σε μια θέση του πλέγματος: 20' - 30').

3.2.4 Ανάλυση χρονοσειρών βροχόπτωσης για κλιματικά σενάρια

Στον Πίνακα 3.6 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα επτά κλιματικά μοντέλα για τα δύο σενάρια εκπομπών καθώς και τα βασικά περιθώρια στατιστικά για τις χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης για τα εξήντα υδρολογικά έτη.

Για το κάθε σενάριο και κάθε νησί έχει υπολογιστεί η τυπική απόκλιση, η μέγιστη ημερήσια και η μέση τιμή για την περίοδο 2030-2090.

Η μέγιστη τιμή δείχνει για την κάθε χρονοσειρά το μεγαλύτερο ύψος βροχής σε mm σε επίπεδο 24ώρου για τα εξήντα υδρολογικά έτη και στην περίπτωση του ευμενούς σεναρίου η Κέρκυρα έχει πάντα μεγαλύτερη τιμή που στην τελευταία περίπτωση φτάνει να είναι και τριπλάσια. Για τα δύο σενάρια όμως του δυσμενούς, η Νάξος έχει παραπάνω βροχόπτωση (σχεδόν στο 80%), κάτι που συνδέεται με την αύξηση της ραγδαιότητας της βροχής και σε πιο ξηρές περιοχές, όπως καταδεικνύει μεγάλος αριθμός κλιματικών σεναρίων. Αναφορικά με την μέση τιμή 24ωρης βροχόπτωσης, η Κέρκυρα έχει σε όλα τα σενάρια τη μεγαλύτερη τιμή. Τέλος, όσο πιο μεγάλη η τιμή της τυπικής απόκλισης, τόσο μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης εμφανίζει το μέγεθος σε σχέση με τη μέση τιμή, κάτι που γενικά παρατηρείται σε σημαντικό βαθμό σε όλα τα σενάρια πλην του τελευταίου.

Πίνακας 3.6 Παρουσίαση Μέγιστης τιμής, Μέσης τιμής και Τυπικής απόκλισης των ευμενής και δυσμενής σεναρίων για τα νησιά της Κέρκυρας και Νάξου

Σενάριο	Περιθώρια στατιστικά	RCP 4.5		RCP 8.5	
		Κέρκυρα	Νάξος	Κέρκυρα	Νάξος
1.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	Μέγιστη τιμή	210,22	95,03	144,11	214,75
	Μέση τιμή	3,59	0,91	3,47	0,91
	Τυπική απόκλιση	9,79	3,42	9,74	4,24
1.3 MPI-M-MPI-ESM-LR	Μέγιστη τιμή	152,71	79,94	233,61	109,74
	Μέση τιμή	1,94	0,88	1,78	0,78
	Τυπική απόκλιση	6,08	3,40	6,25	3,35
2.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	Μέγιστη τιμή	127,35	75,60	103,30	80,99
	Μέση τιμή	2,61	1,44	2,55	1,34
	Τυπική απόκλιση	5,84	3,64	5,63	3,45
3.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	Μέγιστη τιμή	210,11	178,23	121,95	213,24
	Μέση τιμή	2,34	1,34	2,26	1,35
	Τυπική απόκλιση	6,85	4,65	6,62	4,79
4.1 ICHEC-EC-EARTH	Μέγιστη τιμή	117,73	105,23	88,83	66,48
	Μέση τιμή	2,41	1,42	2,38	1,36
	Τυπική απόκλιση	6,20	4,27	6,11	4,22
5.1 IPSL-IPSL-CM5A-MR	Μέγιστη τιμή	199,32	106,70	243,04	116,24
	Μέση τιμή	3,80	2,14	4,61	2,03
	Τυπική απόκλιση	8,56	5,98	10,18	5,84
6.1 MPI-M-MPI-ESM-LR	Μέγιστη τιμή	261,69	76,21	141,79	130,63
	Μέση τιμή	2,00	1,60	1,88	1,55
	Τυπική απόκλιση	5,92	4,88	5,83	5,08

4 Αποτελέσματα και συζήτηση

4.1 Σενάρια που παρουσιάζονται

Το μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων στα νησιά της Κέρκυρας και της Νάξου εφαρμόστηκε σε μια σειρά από σενάρια που συνδέονται με την επιλογή των τιμών των παραμέτρων του μοντέλου (αριθμό μελών νοικοκυριού και ζήτηση-στόχος, επιφάνεια συλλογής, όγκος δεξαμενής) όπως και με διάφορα κλιματικά σενάρια, τα οποία τελικά αντιστοιχούν σε 14 διαφορετικές χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης για την περίοδο προσομοίωσης (2030-2090). Συγκεκριμένα εξετάζεται και για τα δύο νησιά μια κατοικία που αποτελείται από 2 ή 4 άτομα ($N_{cap}=2$ ή 4) καθώς και από κομινόμενες τις υπόλοιπες παραμέτρους εντός ενός ρεαλιστικού εύρους.

Ενδεικτικά παρουσιάζεται μια προσομοίωση και για τα δύο νησιά με τις εξής παραμέτρους (Πίνακας 4.1):

- η οικία αποτελείται από τέσσερα άτομα ($N_{cap}=4$), με επιφάνεια συλλογής (A) ίση με 60m^2 και χωρητικότητα δεξαμενής (V_{tank}) ίση με 5m^3 .
- Το ποσοστό επί της ζήτησης (p) που τίθεται ως στόχος κάλυψης από το σύστημα ορίστηκε στο 30% της συνολικής ημερήσιας κατανάλωσης (q) ανά οικία, η οποία θεωρήθηκε ίση με $180\text{ L/κάτοικο/ημέρα}$.

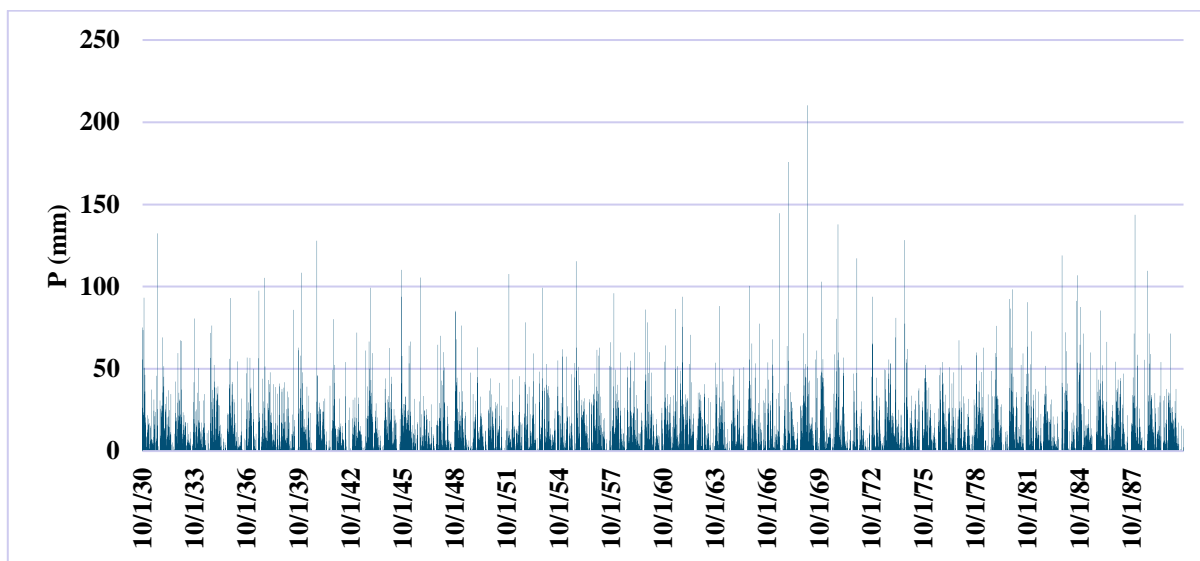
Οι παράμετροι φαίνονται συγκεντρωτικά στον πίνακα που ακολουθεί. Δεδομένο σε κάθε σενάριο θεωρείται ότι η δεξαμενή κατά το πρώτο χρονικό βήμα ($t=0$) είναι πάντα πλήρης, δηλαδή ότι το αρχικό απόθεμα είναι ίσο με την χωρητικότητα της δεξαμενής.

Πίνακας 4.1 Παράμετροι προσομοίωσης για την εφαρμογή ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

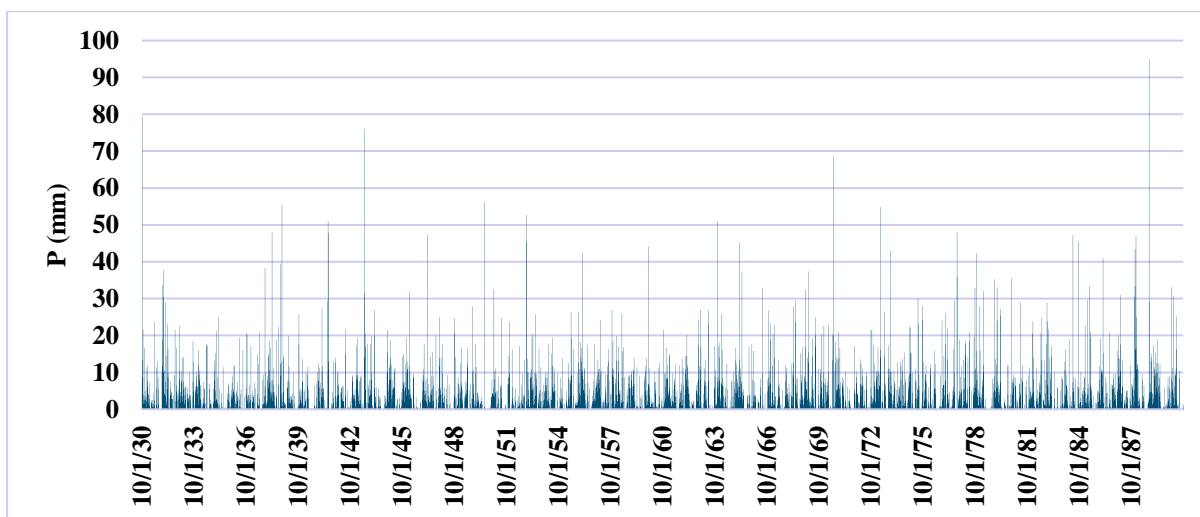
Παράμετρος	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
Μοντέλο	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	
Σενάριο εκπομπών	RCP 4.5	
Βροχομετρικά Δεδομένα	από 01/10/2030 έως 30/09/2090 (60 υδρολογικά έτη)	
Μέση κατανάλωση (q)	180 l/κάτοικο/ημέρα	
Αριθμός μελών (N_{cap})	4	
Ποσοστό ζήτησης (p)	30%	
Επιφάνεια συλλογής (A)	60 m^2	
Χωρητικότητα δεξαμενής (V_{tank})	5 m^3	

Αφού εφαρμόστηκε το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου ώστε να βρεθεί ο συντελεστής αποδοτικότητας (Re) του συστήματος, η παράμετρος αυτή προέκυψε στην Κέρκυρα ίση με 88.20%, ενώ στη Νάξο βρέθηκε αρκετά μικρότερη και ίση με 11.68%.

Στα γραφήματα που ακολουθούν παρακάτω (Σχήματα 4.1 και 4.2) απεικονίζονται οι χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης για τα δύο νησιά, που αποτελούν και το δεδομένο εισόδου για το μοντέλο για χρονική διάρκεια εξήντα υδρολογικών ετών (2030-2090).



Σχήμα 4.1 Χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης (rainfall) της Κέρκυρας

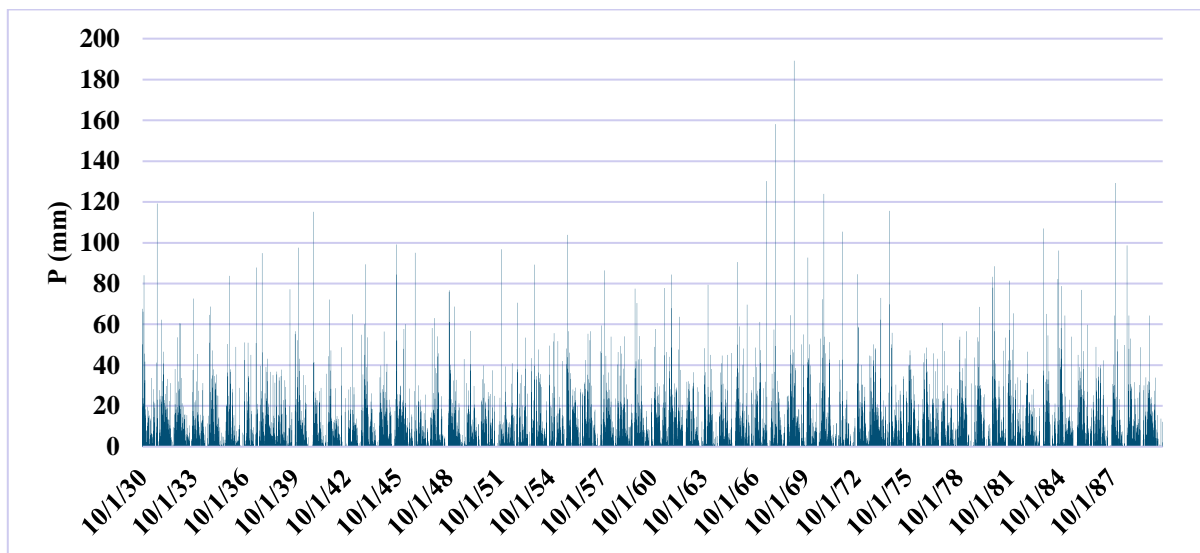


Σχήμα 4.2 Χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης (rainfall) της Νάξου

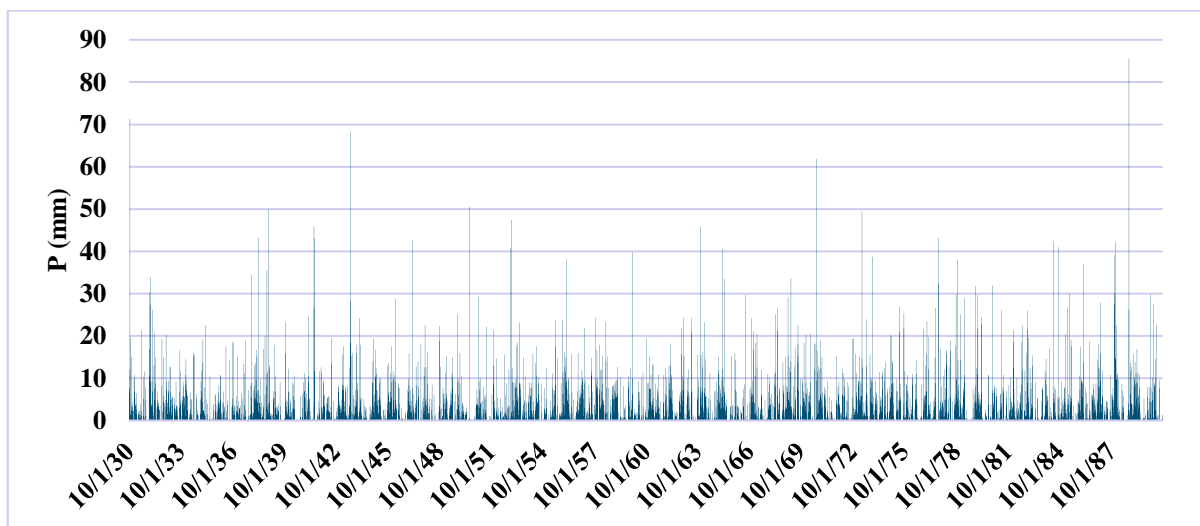
Βάσει του γραφήματος του Σχήματος 4.1, η χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης (rainfall) της Κέρκυρας για τα εξήντα υδρολογικά έτη κυμαίνεται από 0 έως 210 mm ύψους βροχής, ενώ για την Νάξο (Σχήμα 4.2) κυμαίνεται για το ίδιο χρονικό διάστημα από 0 έως 95 mm.

Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούνται μικρά κενά χρονικά διαστήματα όπου το φαινόμενο της βροχόπτωσης δεν υπάρχει λόγω καλοκαιρινών μηνών, με την Νάξο να έχει μεγαλύτερα διαστήματα.

Στα Σχήματα 4.3 και 4.4 παρουσιάζεται το σύνολο της περιόδου προσομοίωσης της χρονοσειράς για την καθαρή ημερήσια βροχόπτωση για την Κέρκυρα και την Νάξο, αντίστοιχα.



Σχήμα 4.3 Χρονοσειρά καθαρής/ενεργού ημερήσιας βροχόπτωσης (net rainfall) στην Κέρκυρα

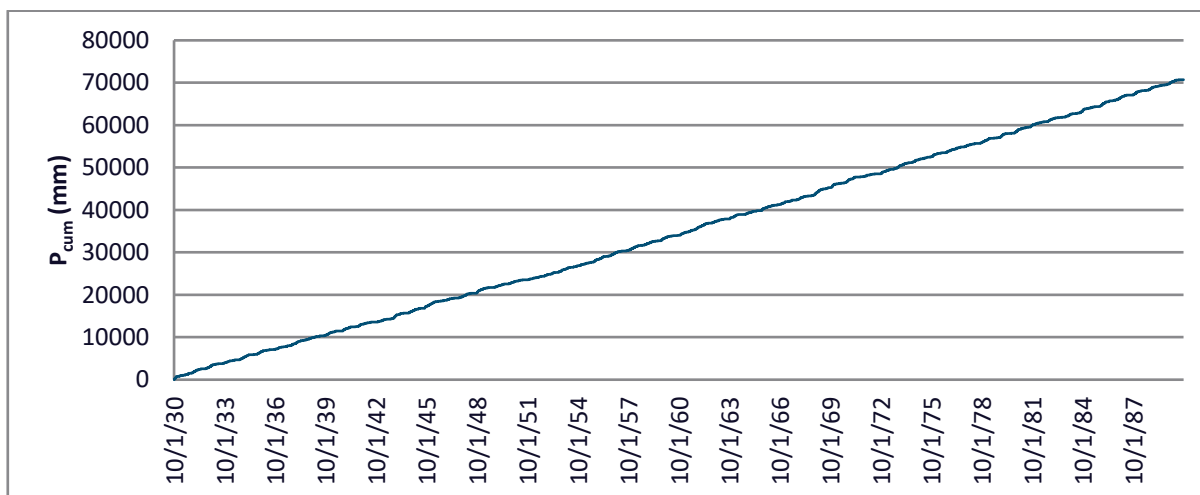


Σχήμα 4.4 Χρονοσειρά καθαρής/ενεργού ημερήσιας βροχόπτωσης (net rainfall) στη Νάξο

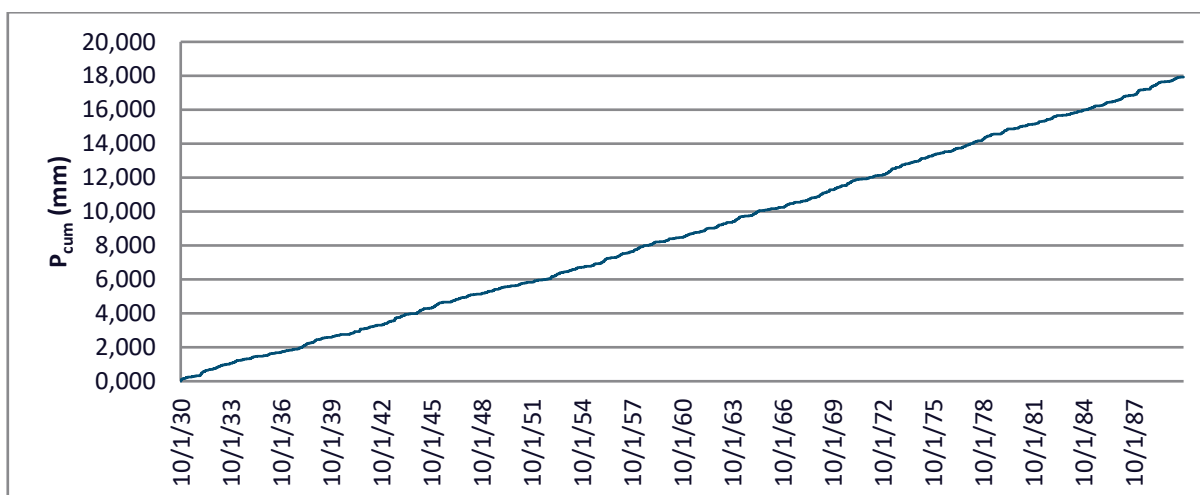
Βάσει των Σχημάτων 4.3 και 4.4, το ημερήσιο ύψος καθαρής βροχής κυμαίνεται από 0 έως 189 mm για την Κέρκυρα, ενώ για την Νάξο το ημερήσιο ύψος κυμαίνεται μεταξύ 0 και 85 mm. Στην Νάξο, η οποία βρίσκεται στην ομβροσκιά, το ημερήσιο ύψος της βροχής είναι πολύ μικρότερο από ότι στην Κέρκυρα, η οποία βρίσκεται στην

ομβροπλευρά όπου και η ένταση και η συχνότητα της βροχής είναι μεγαλύτερη από ότι στην Νάξο.

Στα Σχήματα 4.5 και 4.6 αναδεικνύεται καλύτερα αυτό το χαρακτηριστικό μέσω της κλίσης και τελικής τιμής της καμπύλης, καθώς από κοινού απεικονίζουν την αθροιστική ενεργό ημερήσια βροχόπτωση. Συγκεκριμένα, στην Κέρκυρα για το σύνολο της περιόδου προσομοίωσης η τελική τιμή της αθροιστικής βροχόπτωσης είναι 70695,5 mm ενώ για την Νάξο είναι 17916,3 mm.



Σχήμα 4.5 Καμπύλη αθροιστικής ενεργής ημερήσιας βροχόπτωσης (ΣR) στην Κέρκυρα

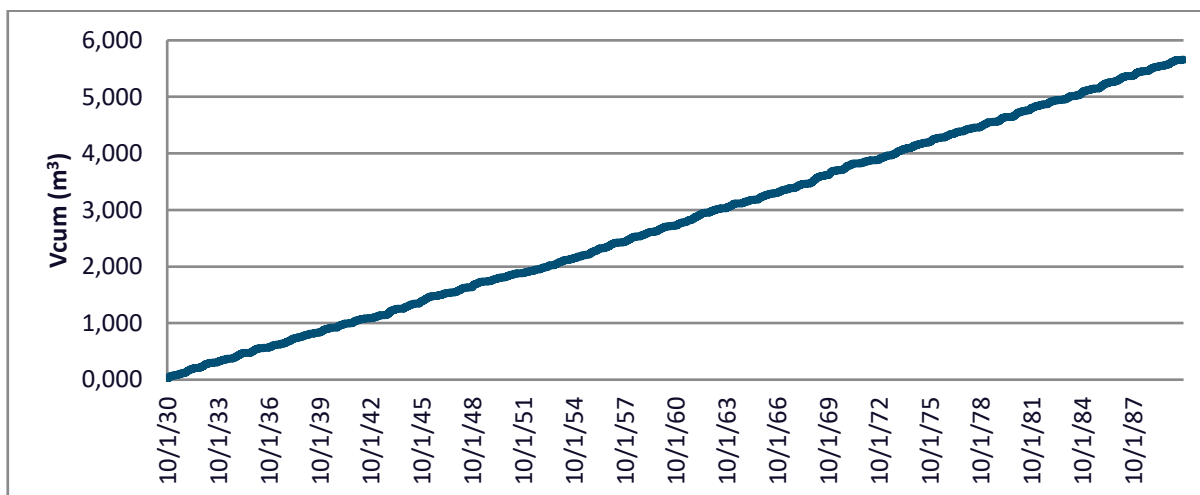


Σχήμα 4.6 Καμπύλη αθροιστικής ενεργής ημερήσιας βροχόπτωσης (ΣR) στη Νάξο

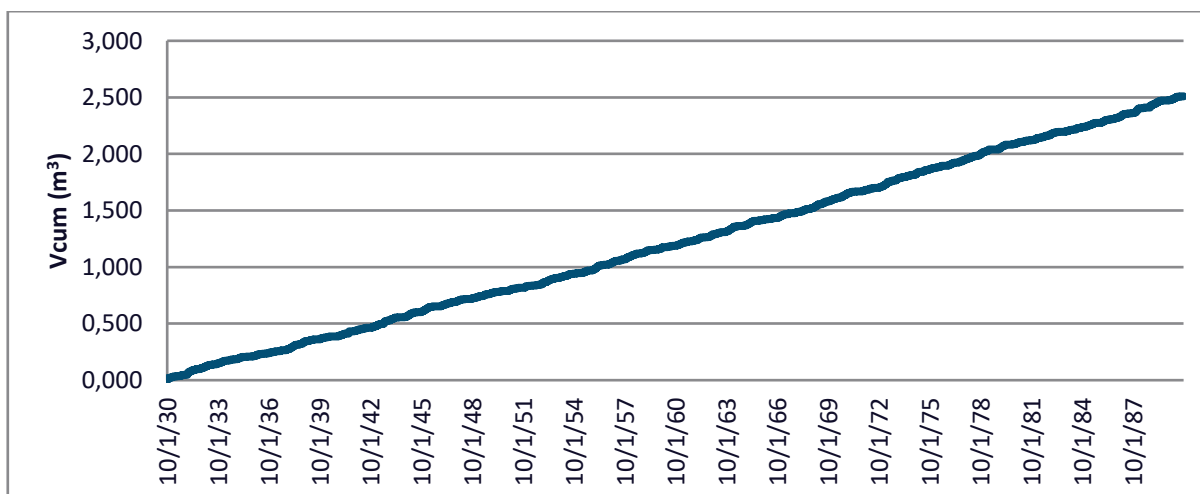
Τα Σχήματα 4.7 και 4.8 απεικονίζουν τις καμπύλες για τον αθροιστικό όγκο νερού βροχής που συγκεντρώνεται στην επιφάνεια συλλογής συστημάτων που έχουν τοποθετηθεί στις υπό εξέταση περιοχές.

Παρόλο που οι καμπύλες αθροιστικού όγκου νερού βροχής και οι αντίστοιχες καθαρής βροχής φαίνονται παρόμοιες, ερμηνεύονται διαφορετικά. Από τις καμπύλες

αθροιστικού όγκου φαίνεται η συνολική ποσότητα νερού που μπορεί να αποθηκευτεί στη δεξαμενή όσο το σύστημα βρίσκεται σε λειτουργία και μέσω αυτού καλύπτεται το ποσοστό των αναγκών της κατοικίας που αυτό αποτελεί και τον στόχο μας. Στις περιπτώσεις όπου το νερό στη δεξαμενή δεν είναι αρκετό για την κάλυψη των αναγκών τους, βάσει του κανόνα λειτουργίας, η κάλυψη της εν λόγω ανάγκης ικανοποιείται από το δίκτυο. Το εν λόγω μέγεθος το οποίο είναι άμεση συνάρτηση της βροχής, εμφανίζει και αυτό σημαντική διαφορά για τα δύο νησιά, όπως ήταν αναμενόμενο



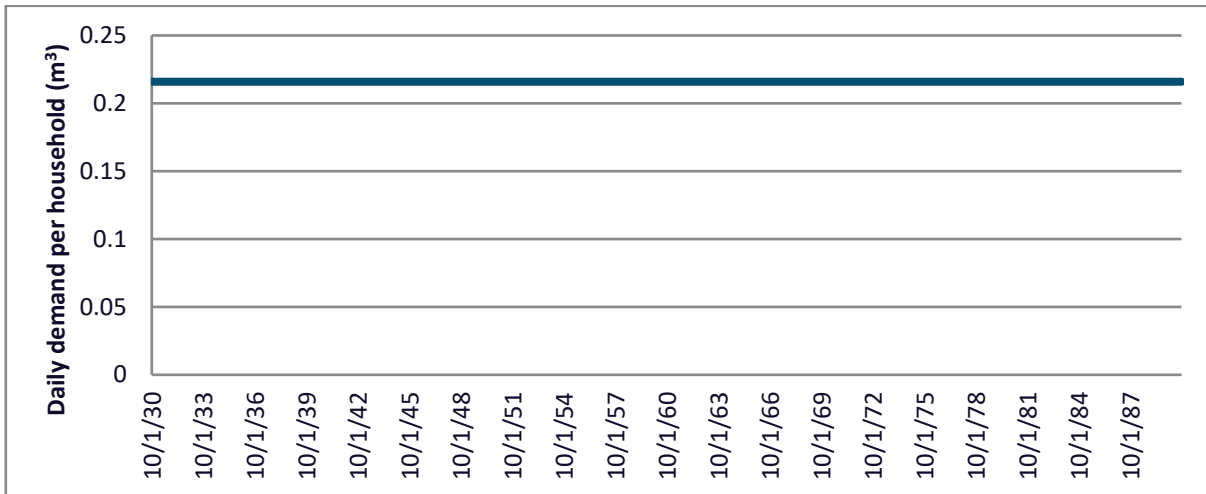
Σχήμα 4.7 Καμπύλη αθροιστικού όγκου (ΣVR) για την Κέρκυρα



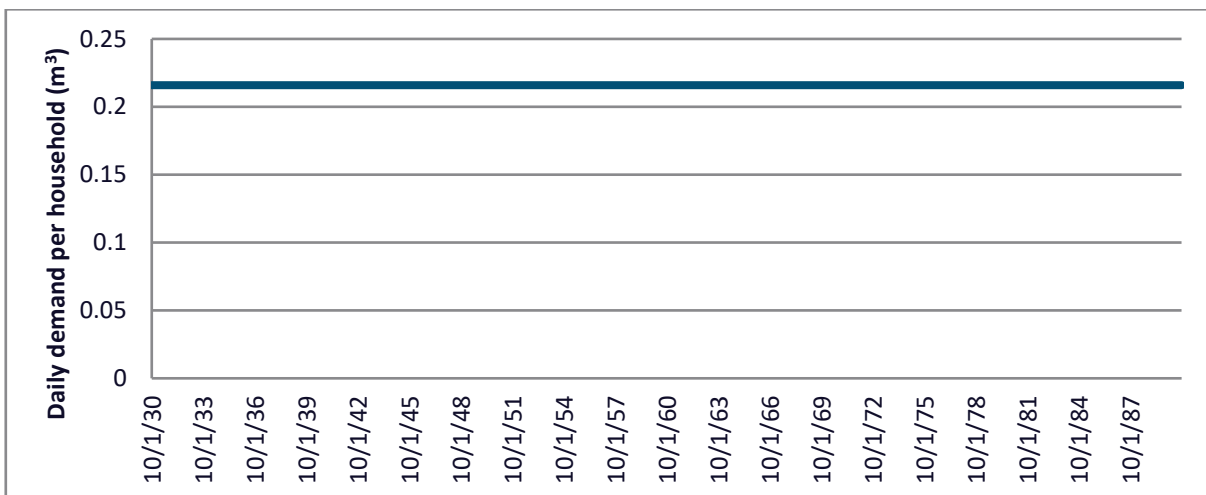
Σχήμα 4.8 Καμπύλη αθροιστικού όγκου (ΣVR) για τη Νάξο

Η ποσότητα του νερού για την κάλυψη των ημερήσιων αναγκών για μία οικία θεωρείται σταθερή και ανεξάρτητη από την περιοχή. Συγκεκριμένα, τόσο για την Νάξο όσο και για την Κέρκυρα βάσει των Σχημάτων 4.9 και 4.10, η ποσότητα αυτή είναι ίδια και ίση με 0.216 m^3 ανά οικία και ανά ημέρα, δεδομένου ότι η συνολική ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο είναι ίση με 180 λίτρα, αφορά οικία τεσσάρων μέλων και το ποσοστό κάλυψης ζήτησης από το σύστημα RWH ίσο με 30%.

Εναλλακτικά, η συγκεκριμένη ποσότητα μπορεί να ληφθεί και ως μεταβαλλόμενη, αν για παράδειγμα θεωρηθεί μικρότερη η ζήτηση κατά τους χειμερινούς μήνες και αυξημένη το καλοκαίρι.

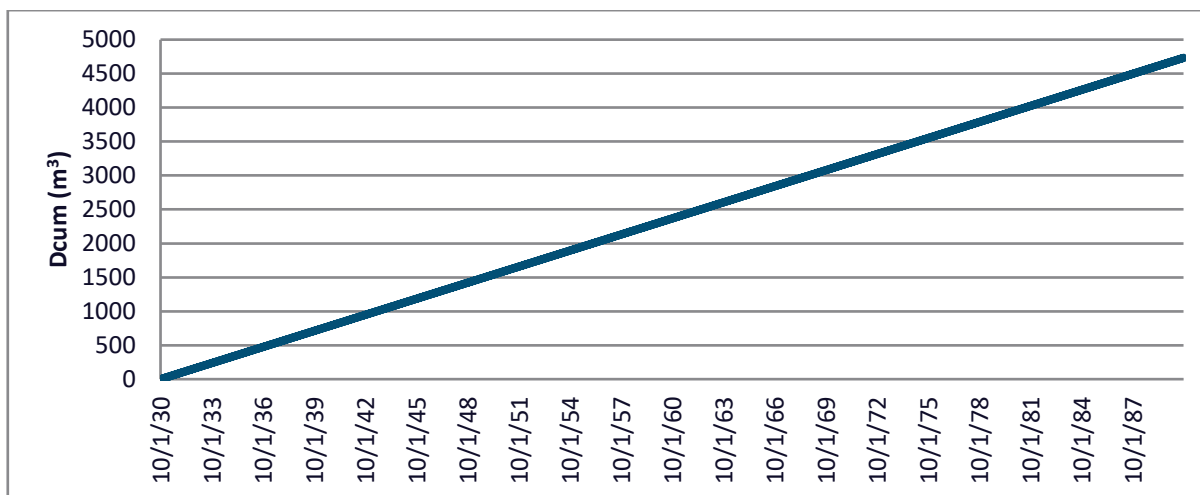


Σχήμα 4.9 Καμπύλη ζήτησης σε νερό ανά ημέρα (daily draft) στην Κέρκυρα

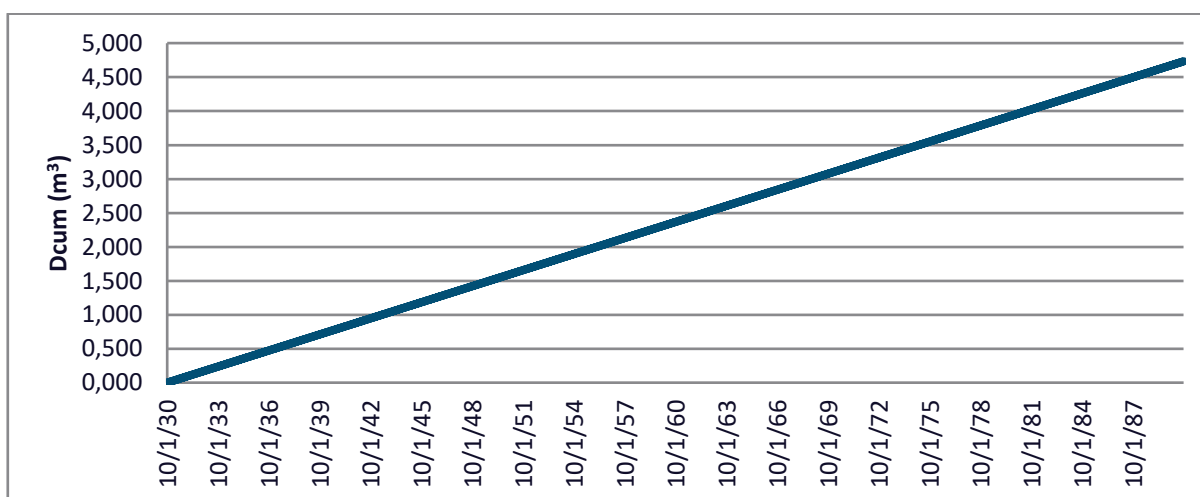


Σχήμα 4.10 Καμπύλη ζήτησης σε νερό ανά ημέρα (daily draft) στη Νάξο

Με παρόμοιο τρόπο, η αθροιστική ζήτηση που παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.11 και 4.12 είναι ίδια για τα δύο νησιά, όμως δεν παραμένει σταθερή σε συνάρτηση με το χρόνο αλλά αυξάνεται γραμμικά, καθώς η ζήτηση ανά ημέρα είναι σταθερή.



Σχήμα 4.11 Καμπύλη αθροιστικής ζήτησης στην Κέρκυρα



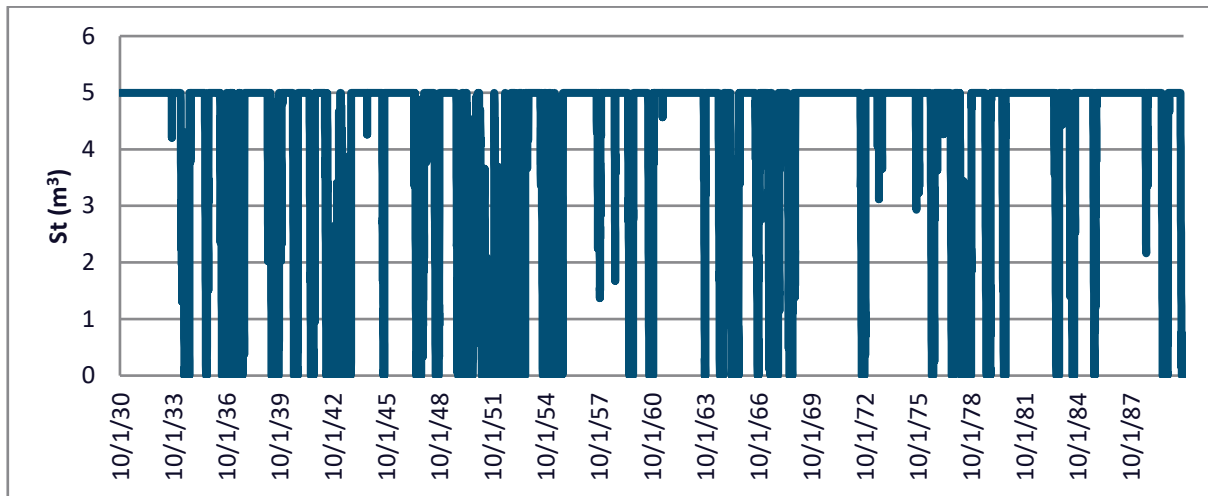
Σχήμα 4.12 Καμπύλη αθροιστικής ζήτησης στη Νάξο

Αναφορικά με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ενδεικτική είναι η διακύμανση του αποθηκευμένου όγκου στη δεξαμενή (υπενθυμίζεται ότι η χωρητικότητα για το παράδειγμα που παρουσιάζεται λήφθηκε ίση με 5 m³). Όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.13 και 4.14, στην Κέρκυρα είναι πολλές οι μέρες όπου η δεξαμενή μπορεί και καλύπτει πλήρως τον ημερήσιο στόχο ενώ παράλληλα παραμένει γεμάτη, σε αντίθεση με τη Νάξο όπου η βροχόπτωση δεν επαρκεί για να γεμίσει ούτε μια δεξαμενή της τάξης των 5 m³, ενώ είναι και αρκετά περισσότερες οι μέρες που σημειώνεται αστοχία κάλυψης της ζήτησης που τίθεται ως στόχος (απόθεμα<ζήτηση).

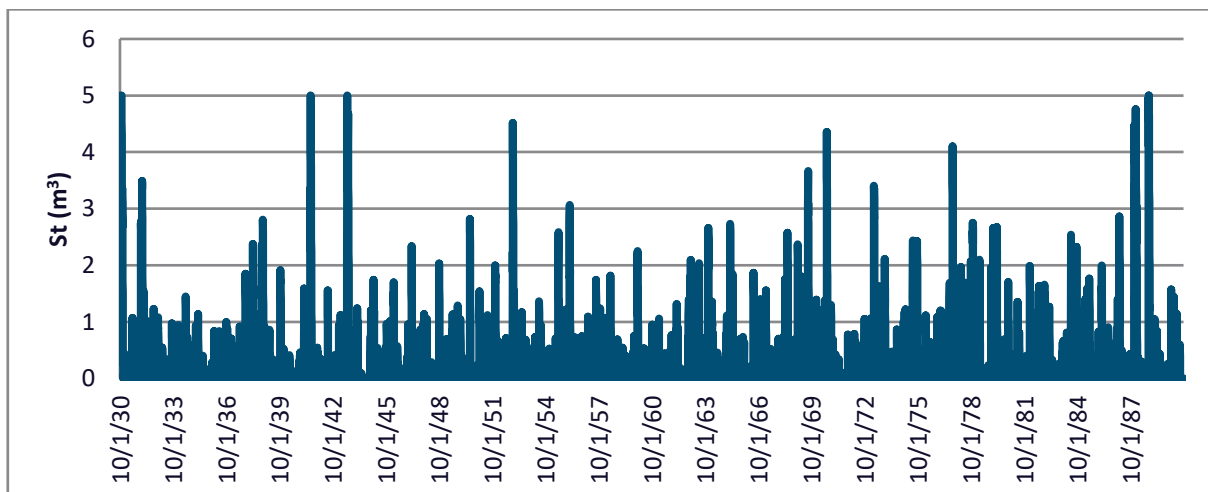
Αναλυτικότερα για τα σχήματα που ακολουθούν, οι διακυμάνσεις που δημιουργούνται δείχνουν ότι η αποθηκευμένη ποσότητα βρόχινου νερού αυξομειώνεται συνεχώς.

Παρατηρείται ότι, εντός ορισμένων υδρολογικών ετών, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, που η έλλειψη βρόχινου νερού είναι γεγονός, το απόθεμα εμφανίζεται ιδιαίτερα

χαμηλό, ή και μηδενικό, ειδικά για τη νήσο Νάξο. Τις ίδιες χρονικές περιόδους σημειώνονται και οι αστοχίες.

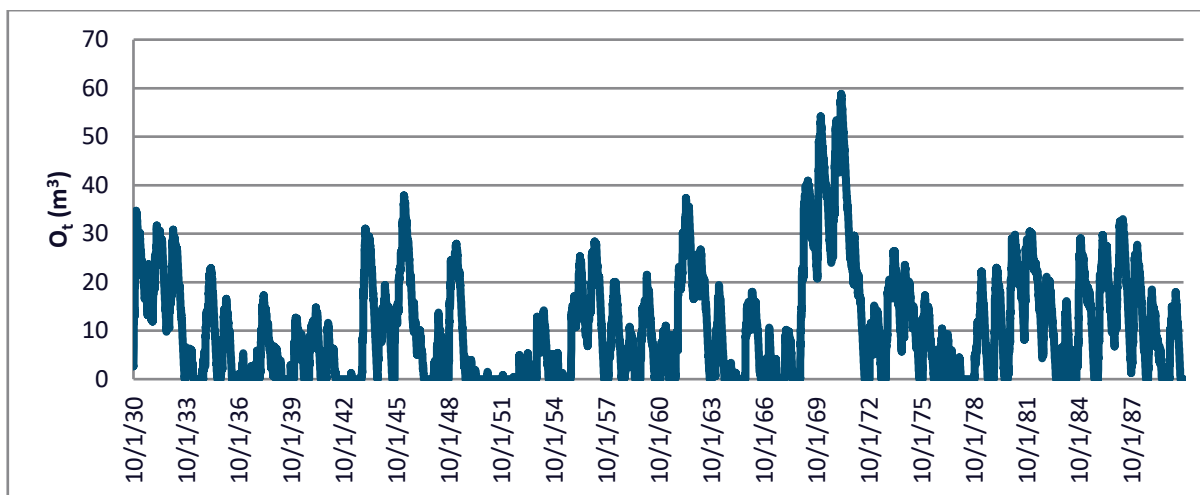


Σχήμα 4.13 Χρονοσειρά Αποθηκευτικότητας Ομβροδεξαμενής (St) για την Κέρκυρα, με χωρητικότητα 5 m^3 , επιφάνεια συλλογής 60 m^2 και 4 μέλη/οικία

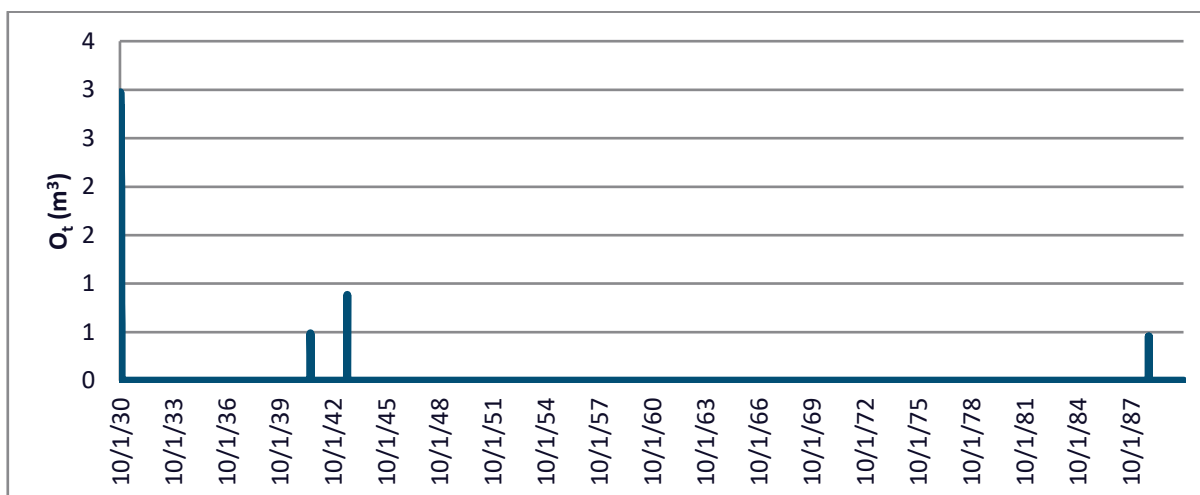


Σχήμα 4.14 Χρονοσειρά Αποθηκευτικότητας Ομβροδεξαμενής (St) για την Νάξο, με χωρητικότητα 5 m^3 , επιφάνεια συλλογής 60 m^2 και 4 μέλη/οικία

Αντίθετα, όταν η βροχόπτωση είναι υψηλή, και ιδιαίτερα για τα σενάρια με δεξαμενές μικρής χωρητικότητας, εμφανίζονται υπερχειλίσσεις. Στην περίπτωση της Κέρκυρας, βάσει του Σχήματος 4.15, για μια μικρή ομβροδεξαμενή μεγέθους 5 m^3 που συνδέεται με επιφάνεια συλλογής 60 m^2 , παρατηρούνται συχνά φαινόμενα υπερχείλισης. Αντίθετα στο νησί της Νάξου (Σχήμα 4.16) εμφανίζονται ελάχιστες υπερχειλίσσεις εξαιτίας του σημαντικά μικρότερου ύψους βροχής.

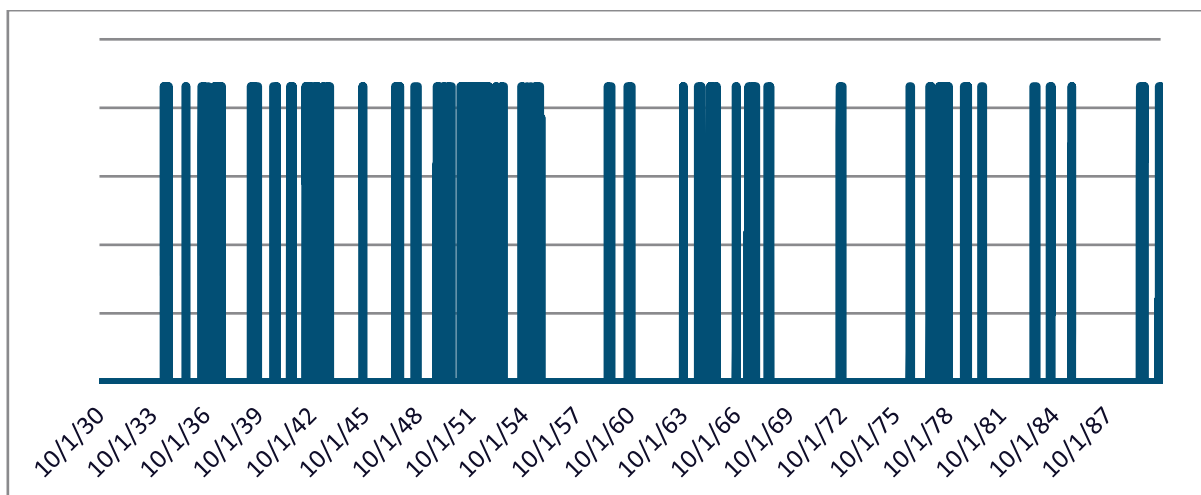


Σχήμα 4.15 Χρονοσειρά Υπερχείλισης Ομβροδεξαμενής (O_t) στην Κέρκυρα, επιφάνεια συλλογής 60 m^2 , χωρητικότητα ομβροδεξαμενής 5 m^3 και 4 μέλη

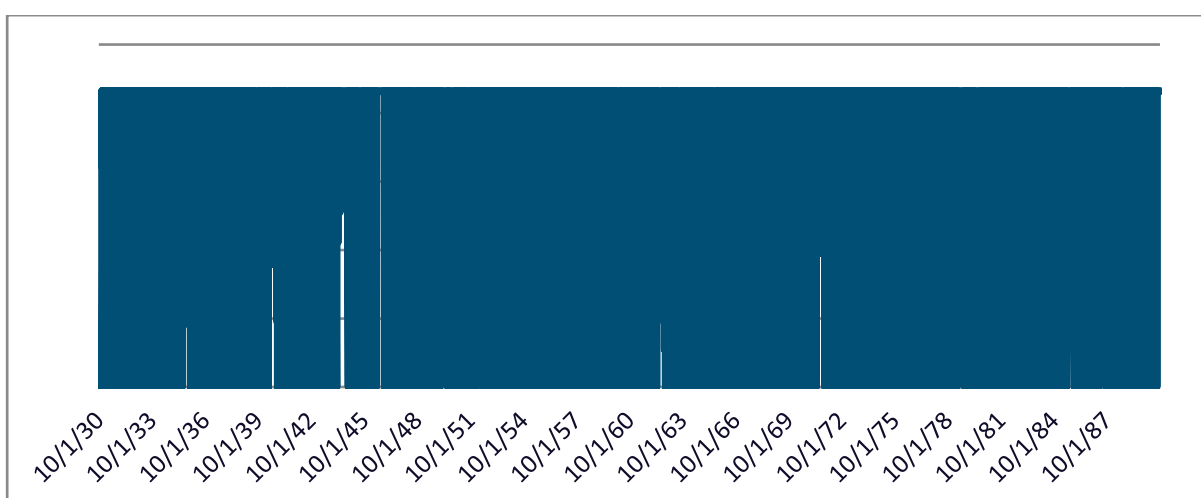


Σχήμα 4.16 Χρονοσειρά Υπερχείλισης Ομβροδεξαμενής (O_t) στην Νάξο, επιφάνεια συλλογής 60 m^2 , χωρητικότητα ομβροδεξαμενής 5 m^3 και 4 μέλη

Μια απεικόνιση με τις αστοχίες, δηλαδή με τις ημέρες όπου το σύστημα δεν κατάφερε να καλύψει τη ζήτηση – στόχο, παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.17 και 4.18. Με βάση τον κανόνα του μοντέλου, τις μέρες που δεν επιτυγχάνεται πλήρης κάλυψη της ζήτησης, για την ποσότητα αυτή γίνεται χρήση του νερού του δικτύου.



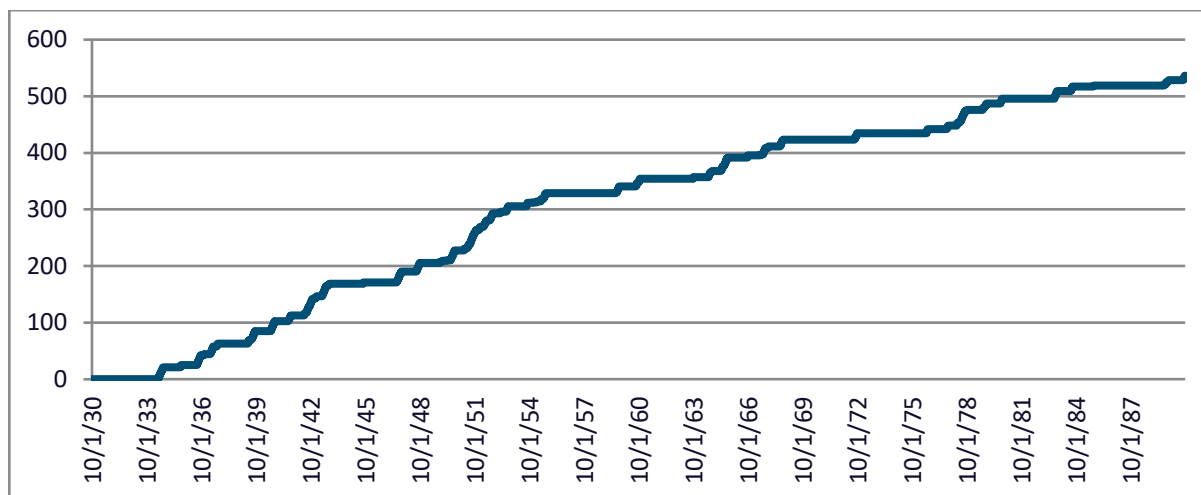
Σχήμα 4.17 Γράφημα ημερήσιας χρήσης δικτύου ύδρευσης (Tap) στην Κέρκυρα



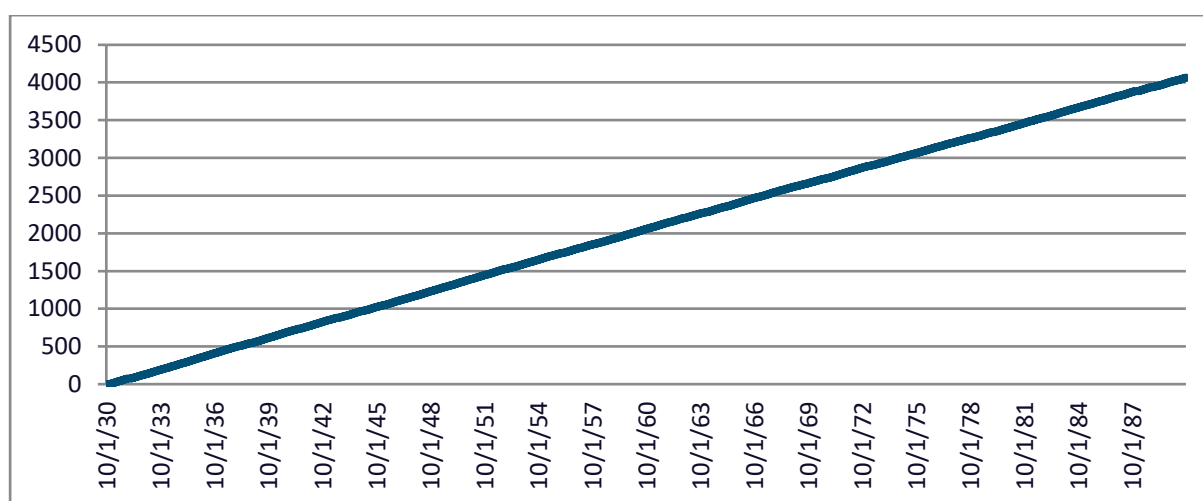
Σχήμα 4.18 Γράφημα ημερήσιας χρήσης δικτύου ύδρευσης (Tap) στην Νάξο

Τα γραφήματα 4.19 και 4.20, δείχνουν την αθροιστική τιμή των ημερών που εμφανίζεται αστοχία κάλυψης της ζήτησης για το δεδομένο σενάριο.

Λόγω των συχνών κι έντονων βροχοπτώσεων που δέχεται το σύστημα στο νησί της Κέρκυρας, καταφέρνει να εξασφαλίζει την απαραίτητη αυτονομία για την επίτευξη της κάλυψης των αναγκών. Αυτό γίνεται κατανοητό βλέποντας τα επόμενα διαγράμματα, αφού οι μέρες που χρειάζεται να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του σεναρίου από το δίκτυο ύδρευσης είναι λίγες. Αντίθετα, στη Νάξο η πλήρης κάλυψη των αναγκών αξιοποιώντας ένα τέτοιο σύστημα με τη μικρότερη ομβροδεξαμενή είναι περιορισμένη.



Σχήμα 4.19 Καμπύλη αθροιστικής ζήτησης (CTap) από το δίκτυο στην Κέρκυρα



Σχήμα 4.20 Καμπύλη αθροιστικής ζήτησης (CTap) από το δίκτυο στην Νάξο

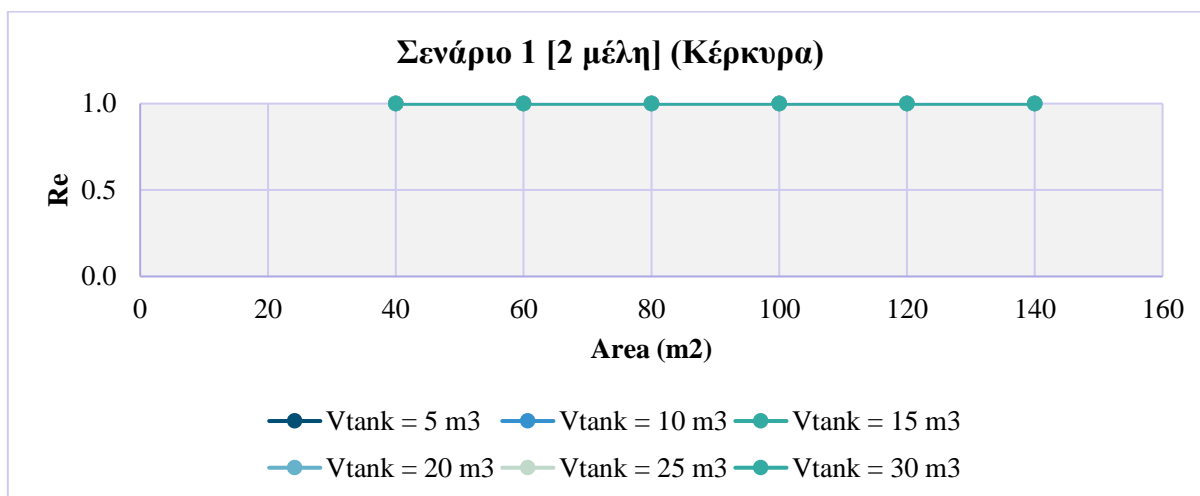
4.2 Διερεύνηση αποδοτικότητας συστήματος με χρήση σεναρίων

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε νησί από την υλοποίηση της προσομοίωσης για κάθε δυνατό συνδυασμό. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν γραφήματα για την αποδοτικότητα συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής (μεταξύ 40 και 140 m²), με διαφορετική καμπύλη για κάθε χωρητικότητα δεξαμενής (5-30 m³, με βήμα προσομοίωσης τα 5 m³). Ακόμα τα αποτελέσματα δίνονται για δύο σενάρια: Σενάριο 1^ο (νοικοκυριό με δύο μέλη) και Σενάριο 2^ο (νοικοκυριό με τέσσερα μέλη).

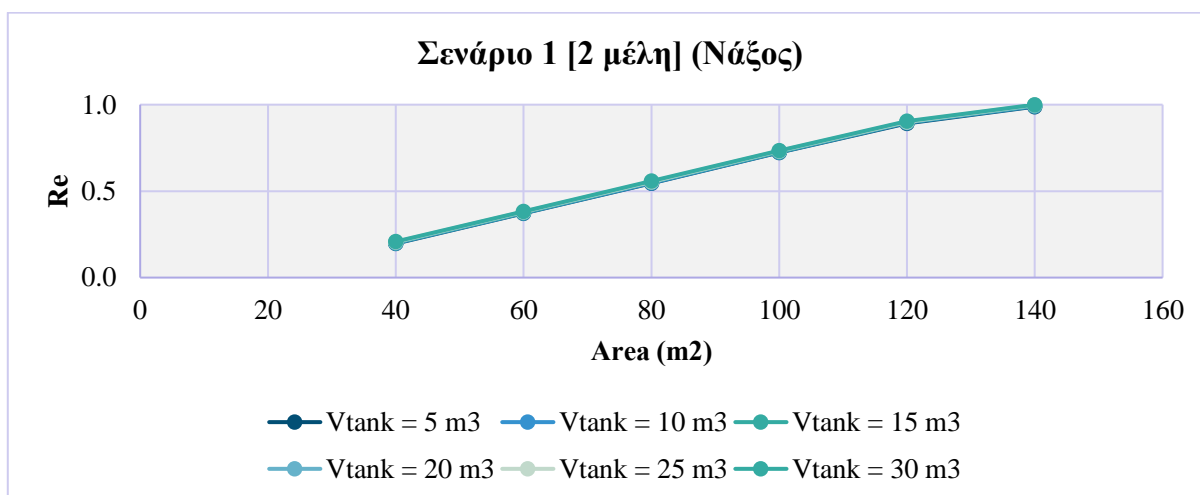
- 1^ο σενάριο

Σε αυτό το σενάριο διερευνήθηκε η αποδοτικότητα του συστήματος για ποσοστό χρήσης (ρ) 30%, μέση ημερήσια κατανάλωση (q) 180L/ημέρα/κάτοικο και αριθμό μελών κατοικίας (Ncar) ίσο με δύο (2). Ο όγκος της δεξαμενής (Vtank), όπως και η επιφάνεια συλλογής (A) μεταβάλλονται έτσι ώστε να μελετηθεί και να βρεθεί ο

συντελεστής αποδοτικότητας (Re) για το σύστημα σε συνάρτηση με αυτά τα δύο μεγέθη. Στα Σχήματα 4.21 και 4.22 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.



Σχήμα 4.21 Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας (Re) σε σχέση με μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) και όγκο ομβροδεξαμενής (V_{tank}) και σταθερό αριθμό μελών της νήσου Κέρκυρας



Σχήμα 4.22 Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας (Re) σε σχέση με μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) και όγκο ομβροδεξαμενής (V_{tank}) και σταθερό αριθμό μελών της νήσου Νάξος

Για όλα τα σενάρια της Κέρκυρας, πιο συγκεκριμένα για επιφάνεια συλλογής (A) από 40 έως 140m² και για όλους τους όγκους της ομβροδεξαμενής επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα του συστήματος. Στις αντίστοιχες συνθήκες για την Νάξο, ο συντελεστής αποδοτικότητας (Re) είναι πολύ μικρότερος. Η αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης για τους υπό μελέτη συνδυασμούς ξεκινά με τιμή 20.00% για τα 40m² και η μέγιστη τιμή επιτυγχάνεται για επιφάνεια συλλογής ίση με 140m² ανεξαρτήτως όγκου δεξαμενής, όπου η τελευταία παράμετρος δεν είναι τόσο ευαίσθητη.

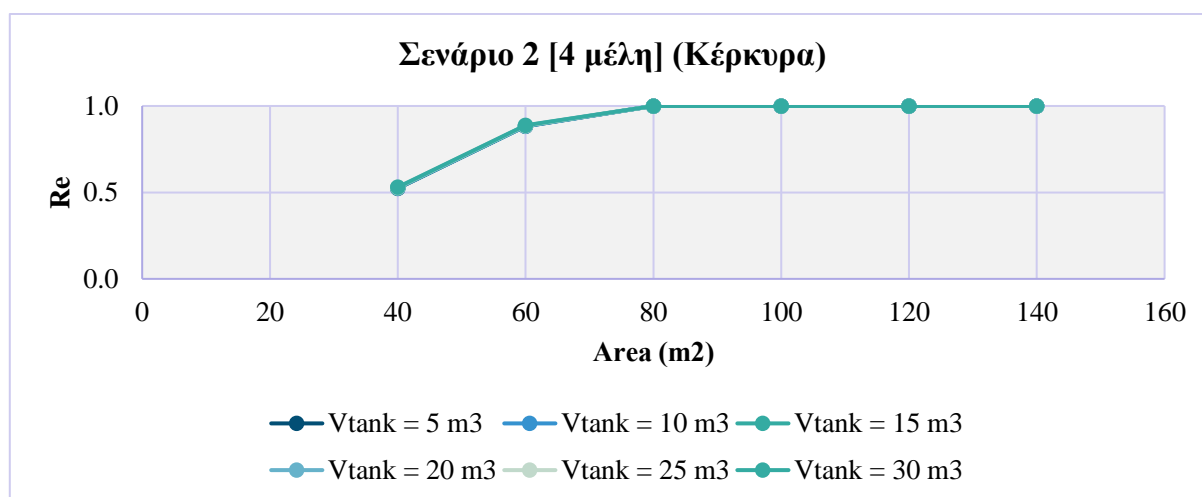
Με βάση τα βροχομετρικά χαρακτηριστικά των δυο περιοχών, παρατηρείται ότι στην Κέρκυρα η μέγιστη αποδοτικότητα του συστήματος επιτυγχάνεται πιο γρήγορα σε σχέση με τη Νάξο, ωστόσο και στις δύο περιοχές το σύστημα για δύο μέλη δύναται να

επιτύχει τη μέγιστη αποδοτικότητα τουλάχιστον για τον συνδυασμό του δεδομένου όγκου και επιφάνειας συλλογής ίσης με 140m^2 .

- 2^ο σενάριο

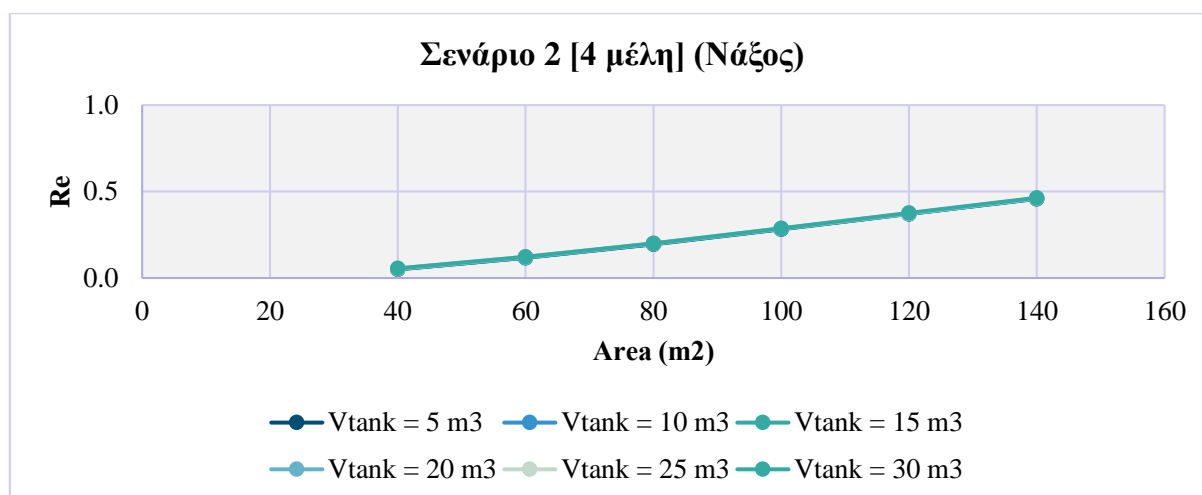
Σε αυτό το σενάριο παρουσιάζονται τα αντίστοιχα γραφήματα (Σχήματα 4.23 και 4.24) για την αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, για κατοικία τεσσάρων μελών και όγκο δεξαμενής από 5 m^3 έως 30 m^3 . Η απόδοση του συστήματος για την περιοχή της Κέρκυρας κυμαίνεται σε ποσοστά από 52.32 έως και 100.00%.

Η ελάχιστη τιμή του Re (%) που επιτυγχάνεται για τη μικρότερη επιφάνεια συλλογής και τον μικρότερο όγκο, όπως αναμενόταν είναι μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή του προηγούμενου σεναρίου. Η απόδοση του συστήματος για επιφάνεια συλλογής (A) από 40 έως 60 m^2 , αυξάνει σταδιακά και παίρνει τιμές από 0.52 έως 0.88, ενώ ο συντελεστής Re (%) αγγίζει τη μέγιστη τιμή σε επιφάνειες από 100 έως 140 m^2 και για όλους του όγκους που διερευνήθηκαν.



Σχήμα 4.23 Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας (Re) σε σχέση με μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) και όγκο ομβροδεξαμενής (V_{tank}) και σταθερό αριθμό μελών, νήσου Κέρκυρα

Στη Νάξο η μεταβολή στην αποδοτικότητα του συστήματος αυξάνει σταδιακά, με ποσοστά από 0.49 έως 46.41%. Καθώς το εν λόγω σενάριο είναι και το δυσμενέστερο από άποψη ζήτησης, η απόδοση του συστήματος για τετραμελή οικογένεια στη Νάξο δεν αγγίζει τη μέγιστη τιμή της, δηλαδή κανένας συνδυασμός επιφάνειας-όγκου δεξαμενής δεν δύναται να καλύψει πλήρως τις ημερήσιες ανάγκες – στόχο (30% της συνολικής ζήτησης) τετραμελούς νοικοκυριού.



Σχήμα 4.24 Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας (Re) σε σχέση με μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) και όγκο ομβροδεξαμενής (V_{tank}) και σταθερό αριθμό μελών, νήσου Νάξο

Συμπερασματικά, λοιπόν, ο αριθμός των μελών μιας οικίας, όπως επίσης και η επιφάνεια συλλογής του συστήματος είναι οι πλέον ευαίσθητες παράμετροι, καθώς ελέγχουν άμεσα τόσο την είσοδο (εισροή) όσο και την έξοδο (ζήτηση) του μοντέλου προσομοίωσης. Επίσης, μέσω των σεναρίων και με τη βοήθεια των γραφημάτων φαίνεται ότι η μεταβολή των μεγεθών είναι γραμμική, σε όλους τους συνδυασμούς που παρουσιάστηκαν και υιοθετήθηκε δεδομένο βήμα κατά την ανάλυση.

4.3 Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων για κάθε κλιματικό σενάριο

Τέλος, η παραπάνω διαδικασία που παρουσιάστηκε αναλυτικά για μία χρονοσειρά ανά νησί, πραγματοποιήθηκε επιπλέον για το σύνολο των 14 υπό εξέταση κλιματικών σεναρίων.

Αναφορικά με τη διαδικασία λήψης των εν λόγω χρονοσειρών, επιλέγοντας τις κατάλληλες παραμέτρους στην εφαρμογής DEAR-Clima και συγκεκριμένα: το βήμα της χρονοσειράς (ημερήσιο), την παράμετρο (βροχόπτωση) και επιλέγοντας καθέ φορά ένα-ένα τα κλιματικά σενάρια του Πίνακα 3.5, καθώς και τις συντεταγμένες της εκάστοτε θέσης (για τα νησιά Κέρκυρα: 39.6243° N, 19.9217° E και Νάξο: 37.1036° N, 25.3777° E), λαμβάνονται κατόπιν on-line διαδικασίας παραγωγής οι χρονοσειρές.

Οι χρονοσειρές που αξιοποιήθηκαν αφορούν σε δυο σενάρια (RCP 4.5 και RCP 8.5) όπως περιεγράφηκαν σε προηγούμενη παράγραφο. Για λόγους συνολικής εποπτίας, ανά κλιματικό σενάριο (επτά) δημιουργήθηκε πίνακας με την τιμή της αποδοτικότητας για όλους τους συνδυασμούς Επιφάνειας-Όγκου, για σενάριο δύο και τεσσάρων μελών και για τα δύο σενάρια εκπομπών (RCP 4.5 και RCP 8.5).

Πίνακας 4.2 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		1.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5			
		RCP 4.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	1,000	0,197	0,523	0,050
60	5	1,000	0,371	0,882	0,117
80	5	1,000	0,546	1,000	0,195
100	5	1,000	0,722	1,000	0,282
120	5	1,000	0,892	1,000	0,370
140	5	1,000	0,989	1,000	0,458
40	10	1,000	0,199	0,525	0,051
60	10	1,000	0,374	0,883	0,118
80	10	1,000	0,548	1,000	0,197
100	10	1,000	0,725	1,000	0,283
120	10	1,000	0,895	1,000	0,371
140	10	1,000	0,991	1,000	0,459
40	15	1,000	0,202	0,526	0,052
60	15	1,000	0,376	0,884	0,120
80	15	1,000	0,551	1,000	0,198
100	15	1,000	0,727	1,000	0,284
120	15	1,000	0,897	1,000	0,372
140	15	1,000	0,994	1,000	0,461
40	20	1,000	0,204	0,527	0,054
60	20	1,000	0,378	0,885	0,121
80	20	1,000	0,553	1,000	0,199
100	20	1,000	0,730	1,000	0,286
120	20	1,000	0,899	1,000	0,374
140	20	1,000	0,996	1,000	0,462
40	25	1,000	0,206	0,529	0,055
60	25	1,000	0,380	0,887	0,122
80	25	1,000	0,556	1,000	0,200
100	25	1,000	0,732	1,000	0,287
120	25	1,000	0,902	1,000	0,375
140	25	1,000	0,999	1,000	0,463
40	30	1,000	0,208	0,530	0,056
60	30	1,000	0,383	0,888	0,123
80	30	1,000	0,558	1,000	0,202
100	30	1,000	0,735	1,000	0,288
120	30	1,000	0,904	1,000	0,376
140	30	1,000	1,000	1,000	0,464

Πίνακας 4.3 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		1.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5			
		RCP 8.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	1,000	0,209	0,503	0,059
60	5	1,000	0,380	0,847	0,127
80	5	1,000	0,556	1,000	0,208
100	5	1,000	0,729	1,000	0,291
120	5	1,000	0,898	1,000	0,379
140	5	1,000	1,000	1,000	0,466
40	10	1,000	0,211	0,504	0,061
60	10	1,000	0,383	0,848	0,128
80	10	1,000	0,558	1,000	0,209
100	10	1,000	0,732	1,000	0,292
120	10	1,000	0,901	1,000	0,380
140	10	1,000	1,000	1,000	0,468
40	15	1,000	0,214	0,505	0,062
60	15	1,000	0,385	0,849	0,129
80	15	1,000	0,561	1,000	0,210
100	15	1,000	0,734	1,000	0,293
120	15	1,000	0,903	1,000	0,382
140	15	1,000	1,000	1,000	0,469
40	20	1,000	0,217	0,506	0,063
60	20	1,000	0,388	0,851	0,131
80	20	1,000	0,563	1,000	0,211
100	20	1,000	0,736	1,000	0,295
120	20	1,000	0,906	1,000	0,383
140	20	1,000	1,000	1,000	0,470
40	25	1,000	0,219	0,508	0,064
60	25	1,000	0,391	0,852	0,132
80	25	1,000	0,565	1,000	0,213
100	25	1,000	0,739	1,000	0,296
120	25	1,000	0,908	1,000	0,384
140	25	1,000	1,000	1,000	0,471
40	30	1,000	0,222	0,509	0,065
60	30	1,000	0,393	0,853	0,133
80	30	1,000	0,568	1,000	0,214
100	30	1,000	0,741	1,000	0,297
120	30	1,000	0,910	1,000	0,385
140	30	1,000	1,000	1,000	0,472

Πίνακας 4.4 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		1.3 MPI-M-MPI-ESM-LR			
		RCP 4.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,598	0,200	0,210	0,052
60	5	0,964	0,372	0,404	0,120
80	5	1,000	0,542	0,597	0,199
100	5	1,000	0,705	0,781	0,284
120	5	1,000	0,865	0,963	0,371
140	5	1,000	0,986	0,998	0,455
40	10	0,600	0,203	0,211	0,054
60	10	0,966	0,375	0,405	0,121
80	10	1,000	0,545	0,598	0,200
100	10	1,000	0,707	0,782	0,285
120	10	1,000	0,867	0,964	0,372
140	10	1,000	0,989	0,999	0,457
40	15	0,603	0,206	0,212	0,055
60	15	0,969	0,378	0,406	0,123
80	15	1,000	0,547	0,599	0,202
100	15	1,000	0,709	0,783	0,286
120	15	1,000	0,869	0,965	0,374
140	15	1,000	0,991	1,000	0,458
40	20	0,606	0,208	0,214	0,056
60	20	0,971	0,380	0,407	0,124
80	20	1,000	0,549	0,600	0,203
100	20	1,000	0,711	0,785	0,288
120	20	1,000	0,871	0,966	0,375
140	20	1,000	0,994	1,000	0,460
40	25	0,608	0,210	0,215	0,057
60	25	0,973	0,382	0,408	0,125
80	25	1,000	0,551	0,602	0,205
100	25	1,000	0,715	0,787	0,289
120	25	1,000	0,874	0,967	0,376
140	25	1,000	0,996	1,000	0,461
40	30	0,610	0,212	0,216	0,059
60	30	0,976	0,384	0,409	0,126
80	30	1,000	0,555	0,603	0,206
100	30	1,000	0,717	0,788	0,290
120	30	1,000	0,876	0,969	0,378
140	30	1,000	0,998	1,000	0,462

Πίνακας 4.5 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		1.3 MPI-M-MPI-ESM-LR			
		RCP 8.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,546	0,180	0,194	0,049
60	5	0,883	0,329	0,371	0,109
80	5	1,000	0,478	0,545	0,179
100	5	1,000	0,623	0,714	0,253
120	5	1,000	0,766	0,881	0,328
140	5	1,000	0,907	1,000	0,404
40	10	0,549	0,183	0,195	0,050
60	10	0,885	0,332	0,373	0,110
80	10	1,000	0,480	0,546	0,180
100	10	1,000	0,625	0,715	0,254
120	10	1,000	0,768	0,883	0,329
140	10	1,000	0,909	1,000	0,405
40	15	0,551	0,185	0,197	0,051
60	15	0,887	0,334	0,374	0,111
80	15	1,000	0,482	0,547	0,181
100	15	1,000	0,628	0,717	0,255
120	15	1,000	0,770	0,884	0,330
140	15	1,000	0,911	1,000	0,407
40	20	0,553	0,188	0,198	0,053
60	20	0,890	0,336	0,375	0,112
80	20	1,000	0,485	0,549	0,183
100	20	1,000	0,630	0,718	0,257
120	20	1,000	0,772	0,885	0,332
140	20	1,000	0,914	1,000	0,408
40	25	0,557	0,190	0,200	0,054
60	25	0,892	0,338	0,376	0,114
80	25	1,000	0,487	0,550	0,184
100	25	1,000	0,633	0,719	0,258
120	25	1,000	0,775	0,886	0,333
140	25	1,000	0,917	1,000	0,409
40	30	0,559	0,192	0,201	0,055
60	30	0,894	0,341	0,377	0,115
80	30	1,000	0,489	0,551	0,185
100	30	1,000	0,635	0,721	0,259
120	30	1,000	0,777	0,887	0,334
140	30	1,000	0,919	1,000	0,410

Πίνακας 4.6 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		2.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5			
		RCP 4.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,829	0,352	0,275	0,076
60	5	1,000	0,654	0,549	0,202
80	5	1,000	0,956	0,828	0,350
100	5	1,000	1,000	1,000	0,500
120	5	1,000	1,000	1,000	0,652
140	5	1,000	1,000	1,000	0,805
40	10	0,833	0,355	0,276	0,078
60	10	1,000	0,656	0,550	0,203
80	10	1,000	0,958	0,829	0,352
100	10	1,000	1,000	1,000	0,502
120	10	1,000	1,000	1,000	0,654
140	10	1,000	1,000	1,000	0,807
40	15	0,836	0,358	0,277	0,079
60	15	1,000	0,659	0,551	0,205
80	15	1,000	0,961	0,831	0,353
100	15	1,000	1,000	1,000	0,503
120	15	1,000	1,000	1,000	0,655
140	15	1,000	1,000	1,000	0,808
40	20	0,838	0,360	0,279	0,080
60	20	1,000	0,661	0,553	0,206
80	20	1,000	0,963	0,833	0,355
100	20	1,000	1,000	1,000	0,505
120	20	1,000	1,000	1,000	0,656
140	20	1,000	1,000	1,000	0,810
40	25	0,840	0,363	0,280	0,082
60	25	1,000	0,665	0,554	0,207
80	25	1,000	0,966	0,834	0,356
100	25	1,000	1,000	1,000	0,506
120	25	1,000	1,000	1,000	0,658
140	25	1,000	1,000	1,000	0,811
40	30	0,844	0,365	0,281	0,083
60	30	1,000	0,668	0,556	0,209
80	30	1,000	0,968	0,836	0,358
100	30	1,000	1,000	1,000	0,507
120	30	1,000	1,000	1,000	0,659
140	30	1,000	1,000	1,000	0,813

Πίνακας 4.7 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		2.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5			
		RCP 8.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,805	0,317	0,266	0,071
60	5	1,000	0,598	0,526	0,186
80	5	1,000	0,872	0,803	0,316
100	5	1,000	1,000	1,000	0,457
120	5	1,000	1,000	1,000	0,596
140	5	1,000	1,000	1,000	0,733
40	10	0,808	0,320	0,268	0,072
60	10	1,000	0,600	0,527	0,187
80	10	1,000	0,875	0,805	0,317
100	10	1,000	1,000	1,000	0,459
120	10	1,000	1,000	1,000	0,598
140	10	1,000	1,000	1,000	0,734
40	15	0,810	0,322	0,269	0,074
60	15	1,000	0,602	0,529	0,189
80	15	1,000	0,877	0,806	0,319
100	15	1,000	1,000	1,000	0,460
120	15	1,000	1,000	1,000	0,599
140	15	1,000	1,000	1,000	0,735
40	20	0,813	0,325	0,270	0,075
60	20	1,000	0,605	0,530	0,190
80	20	1,000	0,880	0,808	0,320
100	20	1,000	1,000	1,000	0,461
120	20	1,000	1,000	1,000	0,600
140	20	1,000	1,000	1,000	0,736
40	25	0,815	0,327	0,272	0,076
60	25	1,000	0,607	0,532	0,191
80	25	1,000	0,882	0,809	0,321
100	25	1,000	1,000	1,000	0,462
120	25	1,000	1,000	1,000	0,601
140	25	1,000	1,000	1,000	0,738
40	30	0,818	0,331	0,273	0,078
60	30	1,000	0,610	0,533	0,192
80	30	1,000	0,885	0,810	0,322
100	30	1,000	1,000	1,000	0,464
120	30	1,000	1,000	1,000	0,602
140	30	1,000	1,000	1,000	0,739

Πίνακας 4.8 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		3.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5			
		RCP 4.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,749	0,372	0,270	0,111
60	5	1,000	0,629	0,515	0,238
80	5	1,000	0,879	0,748	0,371
100	5	1,000	1,000	0,958	0,500
120	5	1,000	1,000	1,000	0,628
140	5	1,000	1,000	1,000	0,753
40	10	0,751	0,374	0,271	0,112
60	10	1,000	0,632	0,516	0,239
80	10	1,000	0,881	0,749	0,372
100	10	1,000	1,000	0,959	0,501
120	10	1,000	1,000	1,000	0,629
140	10	1,000	1,000	1,000	0,754
40	15	0,754	0,377	0,273	0,113
60	15	1,000	0,634	0,517	0,241
80	15	1,000	0,883	0,750	0,373
100	15	1,000	1,000	0,960	0,503
120	15	1,000	1,000	1,000	0,630
140	15	1,000	1,000	1,000	0,756
40	20	0,757	0,379	0,274	0,114
60	20	1,000	0,637	0,518	0,242
80	20	1,000	0,886	0,751	0,374
100	20	1,000	1,000	0,961	0,504
120	20	1,000	1,000	1,000	0,632
140	20	1,000	1,000	1,000	0,757
40	25	0,760	0,381	0,275	0,116
60	25	1,000	0,639	0,519	0,243
80	25	1,000	0,888	0,753	0,376
100	25	1,000	1,000	0,962	0,505
120	25	1,000	1,000	1,000	0,633
140	25	1,000	1,000	1,000	0,758
40	30	0,762	0,384	0,276	0,117
60	30	1,000	0,641	0,521	0,244
80	30	1,000	0,891	0,754	0,377
100	30	1,000	1,000	0,964	0,506
120	30	1,000	1,000	1,000	0,634
140	30	1,000	1,000	1,000	0,759

Πίνακας 4.9 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		3.1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5			
		RCP 8.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,713	0,377	0,257	0,116
60	5	1,000	0,636	0,487	0,244
80	5	1,000	0,891	0,712	0,376
100	5	1,000	0,998	0,929	0,504
120	5	1,000	1,000	1,000	0,635
140	5	1,000	1,000	1,000	0,763
40	10	0,715	0,379	0,259	0,117
60	10	1,000	0,639	0,488	0,245
80	10	1,000	0,894	0,713	0,377
100	10	1,000	1,000	0,930	0,505
120	10	1,000	1,000	1,000	0,636
140	10	1,000	1,000	1,000	0,764
40	15	0,718	0,382	0,260	0,118
60	15	1,000	0,641	0,489	0,247
80	15	1,000	0,896	0,714	0,378
100	15	1,000	1,000	0,931	0,507
120	15	1,000	1,000	1,000	0,638
140	15	1,000	1,000	1,000	0,766
40	20	0,720	0,384	0,262	0,120
60	20	1,000	0,644	0,491	0,248
80	20	1,000	0,898	0,715	0,379
100	20	1,000	1,000	0,932	0,508
120	20	1,000	1,000	1,000	0,639
140	20	1,000	1,000	1,000	0,767
40	25	0,723	0,386	0,263	0,121
60	25	1,000	0,646	0,492	0,249
80	25	1,000	0,901	0,716	0,381
100	25	1,000	1,000	0,933	0,509
120	25	1,000	1,000	1,000	0,640
140	25	1,000	1,000	1,000	0,768
40	30	0,725	0,389	0,264	0,122
60	30	1,000	0,648	0,493	0,250
80	30	1,000	0,904	0,718	0,382
100	30	1,000	1,000	0,935	0,510
120	30	1,000	1,000	1,000	0,641
140	30	1,000	1,000	1,000	0,769

Πίνακας 4.10 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

4.1 ICHEC-EC-EARTH					
RCP 4.5					
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,772	0,409	0,294	0,121
60	5	1,000	0,682	0,540	0,262
80	5	1,000	0,931	0,771	0,408
100	5	1,000	1,000	0,986	0,550
120	5	1,000	1,000	1,000	0,680
140	5	1,000	1,000	1,000	0,808
40	10	0,774	0,411	0,296	0,122
60	10	1,000	0,684	0,541	0,264
80	10	1,000	0,933	0,772	0,409
100	10	1,000	1,000	0,987	0,551
120	10	1,000	1,000	1,000	0,682
140	10	1,000	1,000	1,000	0,809
40	15	0,777	0,414	0,297	0,124
60	15	1,000	0,686	0,542	0,265
80	15	1,000	0,936	0,773	0,410
100	15	1,000	1,000	0,989	0,552
120	15	1,000	1,000	1,000	0,683
140	15	1,000	1,000	1,000	0,810
40	20	0,779	0,416	0,298	0,126
60	20	1,000	0,689	0,544	0,266
80	20	1,000	0,939	0,774	0,411
100	20	1,000	1,000	0,990	0,553
120	20	1,000	1,000	1,000	0,684
140	20	1,000	1,000	1,000	0,812
40	25	0,781	0,418	0,299	0,127
60	25	1,000	0,691	0,545	0,267
80	25	1,000	0,941	0,775	0,413
100	25	1,000	1,000	0,991	0,554
120	25	1,000	1,000	1,000	0,685
140	25	1,000	1,000	1,000	0,813
40	30	0,784	0,421	0,300	0,128
60	30	1,000	0,693	0,546	0,268
80	30	1,000	0,943	0,777	0,414
100	30	1,000	1,000	0,992	0,556
120	30	1,000	1,000	1,000	0,686
140	30	1,000	1,000	1,000	0,814

Πίνακας 4.11 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

4.1 ICHEC-EC-EARTH					
RCP 8.5					
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,764	0,385	0,285	0,117
60	5	1,000	0,642	0,526	0,249
80	5	1,000	0,896	0,763	0,384
100	5	1,000	0,996	0,989	0,513
120	5	1,000	1,000	1,000	0,641
140	5	1,000	1,000	1,000	0,768
40	10	0,766	0,388	0,286	0,118
60	10	1,000	0,645	0,527	0,250
80	10	1,000	0,898	0,764	0,385
100	10	1,000	0,998	0,990	0,514
120	10	1,000	1,000	1,000	0,642
140	10	1,000	1,000	1,000	0,770
40	15	0,768	0,390	0,287	0,119
60	15	1,000	0,647	0,528	0,252
80	15	1,000	0,901	0,765	0,387
100	15	1,000	1,000	0,991	0,516
120	15	1,000	1,000	1,000	0,643
140	15	1,000	1,000	1,000	0,771
40	20	0,771	0,392	0,289	0,120
60	20	1,000	0,649	0,530	0,253
80	20	1,000	0,903	0,766	0,388
100	20	1,000	1,000	0,993	0,517
120	20	1,000	1,000	1,000	0,645
140	20	1,000	1,000	1,000	0,772
40	25	0,773	0,395	0,290	0,122
60	25	1,000	0,652	0,531	0,254
80	25	1,000	0,906	0,767	0,389
100	25	1,000	1,000	0,994	0,518
120	25	1,000	1,000	1,000	0,646
140	25	1,000	1,000	1,000	0,773
40	30	0,775	0,397	0,291	0,123
60	30	1,000	0,654	0,532	0,255
80	30	1,000	0,908	0,768	0,390
100	30	1,000	1,000	0,995	0,519
120	30	1,000	1,000	1,000	0,647
140	30	1,000	1,000	1,000	0,774

Πίνακας 4.12 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		5.1 IPSL-IPSL-CM5A-MR			
		RCP 4.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,998	0,666	0,515	0,235
60	5	1,000	0,999	0,920	0,452
80	5	1,000	1,000	0,997	0,665
100	5	1,000	1,000	0,999	0,872
120	5	1,000	1,000	1,000	0,998
140	5	1,000	1,000	1,000	1,000
40	10	1,000	0,669	0,516	0,236
60	10	1,000	1,000	0,921	0,453
80	10	1,000	1,000	0,998	0,666
100	10	1,000	1,000	1,000	0,873
120	10	1,000	1,000	1,000	0,999
140	10	1,000	1,000	1,000	1,000
40	15	1,000	0,671	0,517	0,238
60	15	1,000	1,000	0,922	0,455
80	15	1,000	1,000	0,999	0,667
100	15	1,000	1,000	1,000	0,874
120	15	1,000	1,000	1,000	1,000
140	15	1,000	1,000	1,000	1,000
40	20	1,000	0,673	0,518	0,239
60	20	1,000	1,000	0,923	0,456
80	20	1,000	1,000	1,000	0,669
100	20	1,000	1,000	1,000	0,875
120	20	1,000	1,000	1,000	1,000
140	20	1,000	1,000	1,000	1,000
40	25	1,000	0,676	0,520	0,240
60	25	1,000	1,000	0,925	0,457
80	25	1,000	1,000	1,000	0,670
100	25	1,000	1,000	1,000	0,876
120	25	1,000	1,000	1,000	1,000
140	25	1,000	1,000	1,000	1,000
40	30	1,000	0,679	0,521	0,241
60	30	1,000	1,000	0,926	0,458
80	30	1,000	1,000	1,000	0,671
100	30	1,000	1,000	1,000	0,877
120	30	1,000	1,000	1,000	1,000
140	30	1,000	1,000	1,000	1,000

Πίνακας 4.13 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		5.1 IPSL-IPSL-CM5A-MR			
		RCP 8.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	1,000	0,626	0,683	0,217
60	5	1,000	1,000	0,990	0,420
80	5	1,000	1,000	1,000	0,624
100	5	1,000	1,000	1,000	0,824
120	5	1,000	1,000	1,000	1,000
140	5	1,000	1,000	1,000	1,000
40	10	1,000	0,628	0,685	0,218
60	10	1,000	1,000	0,991	0,422
80	10	1,000	1,000	1,000	0,626
100	10	1,000	1,000	1,000	0,825
120	10	1,000	1,000	1,000	1,000
140	10	1,000	1,000	1,000	1,000
40	15	1,000	0,630	0,686	0,220
60	15	1,000	1,000	0,993	0,423
80	15	1,000	1,000	1,000	0,627
100	15	1,000	1,000	1,000	0,826
120	15	1,000	1,000	1,000	1,000
140	15	1,000	1,000	1,000	1,000
40	20	1,000	0,633	0,688	0,221
60	20	1,000	1,000	0,994	0,424
80	20	1,000	1,000	1,000	0,628
100	20	1,000	1,000	1,000	0,827
120	20	1,000	1,000	1,000	1,000
140	20	1,000	1,000	1,000	1,000
40	25	1,000	0,636	0,689	0,223
60	25	1,000	1,000	0,995	0,425
80	25	1,000	1,000	1,000	0,629
100	25	1,000	1,000	1,000	0,829
120	25	1,000	1,000	1,000	1,000
140	25	1,000	1,000	1,000	1,000
40	30	1,000	0,638	0,691	0,224
60	30	1,000	1,000	0,996	0,426
80	30	1,000	1,000	1,000	0,630
100	30	1,000	1,000	1,000	0,830
120	30	1,000	1,000	1,000	1,000
140	30	1,000	1,000	1,000	1,000

Πίνακας 4.14 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		6.1 MPI-M-MPI-ESM-LR			
		RCP 4.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,605	0,486	0,202	0,166
60	5	0,981	0,778	0,406	0,328
80	5	1,000	0,997	0,603	0,484
100	5	1,000	1,000	0,795	0,631
120	5	1,000	1,000	0,980	0,777
140	5	1,000	1,000	1,000	0,923
40	10	0,607	0,488	0,203	0,167
60	10	0,984	0,780	0,408	0,329
80	10	1,000	0,999	0,605	0,486
100	10	1,000	1,000	0,796	0,632
120	10	1,000	1,000	0,981	0,778
140	10	1,000	1,000	1,000	0,925
40	15	0,609	0,490	0,205	0,169
60	15	0,987	0,783	0,409	0,331
80	15	1,000	1,000	0,606	0,487
100	15	1,000	1,000	0,798	0,633
120	15	1,000	1,000	0,983	0,779
140	15	1,000	1,000	1,000	0,926
40	20	0,612	0,492	0,206	0,170
60	20	0,989	0,785	0,410	0,332
80	20	1,000	1,000	0,607	0,488
100	20	1,000	1,000	0,799	0,634
120	20	1,000	1,000	0,984	0,780
140	20	1,000	1,000	1,000	0,927
40	25	0,614	0,495	0,207	0,171
60	25	0,992	0,787	0,411	0,333
80	25	1,000	1,000	0,608	0,489
100	25	1,000	1,000	0,801	0,635
120	25	1,000	1,000	0,985	0,781
140	25	1,000	1,000	1,000	0,928
40	30	0,617	0,497	0,208	0,172
60	30	0,995	0,789	0,413	0,334
80	30	1,000	1,000	0,609	0,490
100	30	1,000	1,000	0,802	0,637
120	30	1,000	1,000	0,987	0,783
140	30	1,000	1,000	1,000	0,929

Πίνακας 4.15 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο

		6.1 MPI-M-MPI-ESM-LR			
		RCP 8.5			
		N _{cap} =2 ΚΑΤΟΙΚΟΙ		N _{cap} =4 ΚΑΤΟΙΚΟΙ	
		ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
AREA	ΟΓΚΟΣ	RE	RE	RE	RE
40	5	0,559	0,471	0,192	0,165
60	5	0,932	0,757	0,377	0,315
80	5	1,000	1,000	0,557	0,470
100	5	1,000	1,000	0,745	0,615
120	5	1,000	1,000	0,931	0,756
140	5	1,000	1,000	0,999	0,897
40	10	0,561	0,474	0,194	0,166
60	10	0,935	0,759	0,379	0,317
80	10	1,000	1,000	0,559	0,471
100	10	1,000	1,000	0,746	0,616
120	10	1,000	1,000	0,932	0,757
140	10	1,000	1,000	1,000	0,898
40	15	0,564	0,476	0,196	0,167
60	15	0,938	0,762	0,380	0,318
80	15	1,000	1,000	0,560	0,472
100	15	1,000	1,000	0,747	0,617
120	15	1,000	1,000	0,934	0,758
140	15	1,000	1,000	1,000	0,899
40	20	0,566	0,478	0,197	0,169
60	20	0,940	0,764	0,381	0,319
80	20	1,000	1,000	0,561	0,474
100	20	1,000	1,000	0,749	0,619
120	20	1,000	1,000	0,935	0,759
140	20	1,000	1,000	1,000	0,901
40	25	0,569	0,481	0,199	0,170
60	25	0,943	0,766	0,382	0,320
80	25	1,000	1,000	0,562	0,475
100	25	1,000	1,000	0,750	0,620
120	25	1,000	1,000	0,937	0,761
140	25	1,000	1,000	1,000	0,902
40	30	0,572	0,483	0,200	0,171
60	30	0,945	0,768	0,383	0,321
80	30	1,000	1,000	0,564	0,476
100	30	1,000	1,000	0,751	0,621
120	30	1,000	1,000	0,938	0,762
140	30	1,000	1,000	1,000	0,903

Συνοψίζοντας τις επιμέρους παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων που προκύπτουν:

- και για τα δύο νησιά τα σενάρια κλιματικής αλλαγής που διερευνήθηκαν προβάλλουν μια δυνητική αύξηση (διαφορετική τάση ανά σενάριο) στην παράμετρο της ημερήσιας βροχόπτωσης, κι ως εκ τούτου οι αναλύσεις οδηγούν σε αύξηση του συντελεστή αποδοτικότητας (Re) του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.
- στο νησί της Κέρκυρας στις περισσότερες περιπτώσεις επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση του συστήματος, δηλαδή το σύστημα μπορεί και ικανοποιεί τη ζήτηση-στόχο (30% της συνολικής ζήτησης της οικίας) για το σύνολο των ημερών της προσομοίωσης (περίοδος 2030-2090).
- στη Νάξο, όπου για τους υπό μελέτη συνδυασμούς η αποδοτικότητα βρέθηκε ιδιαίτερα χαμηλή, το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό συνδέεται με το τοπικό χαρακτηριστικό των χαμηλότερων βροχοπτώσεων, που είναι συστηματικό και για τα υπόψη κλιματικά σενάρια.

5 Συμπεράσματα

5.1 Σύνοψη

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε συγκριτική αξιολόγηση αποδοτικότητας συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων για την κάλυψη οικιακών αναγκών σε νερό υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής σε δύο ελληνικά νησιά, την Κέρκυρα και τη Νάξο, τα οποία και εμφανίζουν διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς.

Για να επιτευχθεί αυτό, αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε κατάλληλο μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος με τη μέθοδο του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, όπου διερευνήθηκαν επιμέρους συνδυασμοί διάστασης ομβροδεξαμενής, επιφάνειας συλλογής και αριθμού μελών νοικοκυριού, βασιζόμενοι στα αντίστοιχα βροχομετρικά δεδομένα περιόδου 60 ετών για τις δύο περιοχές μελέτης. Συλλέχθηκαν δεδομένα με τα κύρια χαρακτηριστικά των δυο περιοχών όπως η γεωμορφολογία, ο πληθυσμός και το κλίμα, αλλά επιπλέον αναλύθηκαν ορισμένα στατιστικά χαρακτηριστικά προκειμένου να καθοριστούν ρεαλιστικά σενάρια προσομοίωσης.

Στόχος της δημιουργίας των σεναρίων ήταν ο προσδιορισμός του συντελεστή αποδοτικότητας ή αξιοπιστίας (Re) που εκφράζει τον αριθμό των ημερών που το σύστημα καλύπτει τη ζήτηση-στόχο ως προς το σύνολο των ημερών προσομοίωσης, και η διερεύνηση της αποδοτικότητας για τα εν λόγω σενάρια. Τα σενάρια που αναπτύχθηκαν είχαν παραμέτρους:

- 30% για το ποσοστό κάλυψης των αναγκών,
- μέση ημερήσια κατανάλωση 180L/κάτοικο/ημέρα,
- σταθερό αριθμό μελών κατοικίας $N_{cap}=2$ (Σενάριο 1) και $N_{cap}=4$ (Σενάριο 2),
- μεταβαλλόμενο όγκο ομβροδεξαμενής (V_{tank}) από 5 έως 30 m^3 , με βήμα 5 m^3 ,
- μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) από 40 έως 140 m^2 , με βήμα 20 m^2 και
- αξιοποιούν 14 χρονοσειρές βροχόπτωσης (τυχαίες προσομοιώσεις κλιματικών μοντέλων) για επτά ευμενή/μέσα (RCP 4.5) και επτά δυσμενή (RCP 8.5) σενάρια εκπομπών.

Τέλος, η εξαγωγή αποτελεσμάτων συνδέεται με τη δημιουργία κατάλληλων γραφημάτων για κάθε σενάριο εκ των οποίων έγινε συγκριτική μελέτη για τις δύο περιοχές. Η διερεύνηση έδειξε αυξητική τάση για όλες τις παραμέτρους και σε πολλές περιπτώσεις ο συντελεστής αποδοτικότητας έφτανε την μέγιστη τιμή ειδικά για το νησί της Κέρκυρας, ανεξαρτήτων σεναρίου. Τα αποτελέσματα επίσης είναι ενδεικτικά της ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου, όπου περισσότερο ευαίσθητη είναι η παράμετρος της επιφάνειας συλλογής και η συνολική ζήτηση-στόχος, μέσω του αριθμού μελών νοικοκυριού.

5.2 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα παραπάνω, υπολογίστηκε ο συντελεστή αποδοτικότητας (Re) για κάθε προσομοίωση (συνδυασμό παραμέτρων μοντέλου), για τα νησιά Κέρκυρα και Με βάση τα αποτελέσματα, μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Ένα γενικό συμπέρασμα είναι ότι η χρήση δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων με σκοπό την κάλυψη μέρους των οικιακών αναγκών είναι σημαντικά αποδοτική στο νησί της Κέρκυρας σε σχέση με το νησί της Νάξου. Το συμπέρασμα αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι η Κέρκυρα λόγω της γεωγραφικής της θέσης, οι βροχοπτώσεις (σε αριθμό, ένταση και συχνότητα) είναι μεγαλύτερες από ότι στην Νάξο και επομένως υπάρχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα βρόχινου νερού.
- Ένα δεύτερο γενικό συμπέρασμα είναι ότι ο αριθμός των ατόμων που διαμένουν στην οικία αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αποδοτικότητα των συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού καθώς όσο μικρότερος είναι τόσο αυξάνεται η αποδοτικότητα και συγκεκριμένα, με βάση τους συνδυασμούς που εξετάστηκαν, ο αριθμός κατοίκων που αντιστοιχεί σε 2 άτομα αυξάνει την αποδοτικότητα σε σχέση με τα 4 άτομα όπου οι αποδόσεις είναι χαμηλές. Ενδεικτικά, από τα 19 συνολικά σενάρια όπου η αποδοτικότητα δεν ήταν μέγιστη (100%, πλήρης κάλυψη ζήτησης-στόχου για το σύνολο της περιόδου προσομοίωσης) ανεξάρτητα από το νησί, την επιφάνεια συλλογής, τον όγκο της δεξαμενής και το είδος των σεναρίων εκπομπής αερίων, μόνο τα 4 από αυτά αντιστοιχούσαν για $N_{cap}=2$, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα 15 που αντιστοιχούσαν για $N_{cap}=4$.

- Ένα τρίτο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η αποδοτικότητα των δεξαμενών δεν εξαρτάται σημαντικά από το αν τα σενάρια αντιστοιχούν στο RCP4.5 ή το RCP8.5. Δηλαδή, τα σενάρια εκπομπών για τις περιοχές μελέτης δε δίνουν σημαντική διαφοροποίηση στην βροχόπτωση.
- Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και για τον παράγοντα του όγκου της ομβροδεξαμενής (V_{tank}), όπου για δεδομένη επιφάνεια συλλογής, δεδομένο αριθμό ατόμων και σενάριο καθώς και για δεδομένο νησί, η τιμή της αποδοτικότητας για διαφορετικές τιμές όγκου ομβροδεξαμενής είναι ίδια. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι τιμές αποδοτικότητας για το κλιματικό μοντέλο 6.1 MPI-M-MPI-ESM-LR, βάσει του μέσου σεναρίου εκπομπών RCP4.5, για $N_{\text{cap}}=2$ και επιφάνεια συλλογής $A=40 \text{ m}^2$ για να νησιά Κέρκυρα και Νάξο, όπου για τα δύο νησιά αντίστοιχα η αποδοτικότητα προσδιορίστηκε κοντά στο 60% και 40%. Από τις παραπάνω τιμές προκύπτει ότι η αποδοτικότητα είναι ανεξάρτητη του όγκου ομβροδεξαμενής (ελάχιστη κύμανση).
- Ο παράγοντας της επιφάνειας της συλλογής επηρεάζει ιδιαίτερα τον συντελεστή αποδοτικότητας των συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού και μάλιστα μεγαλύτεροι όγκοι δεξαμενών αντιστοιχούν σε αυξημένες τιμές αποδοτικότητας όταν οι άλλες παράμετροι παραμένουν σταθερές.
- Ενδεικτικά για τα αποτελέσματα, αναφερόμενοι στην περίπτωση της Κέρκυρας για το κλιματικό μοντέλο 6.1 (MPI-M-MPI-ESM-LR), βάσει του RCP8.5, για $N_{\text{cap}}=4$ και $V_{\text{tank}}=10\text{m}^3$, ο συντελεστής αποδοτικότητας είναι 0,194, 0,379, 0,559, 0,746, 0,932 και 1,000 για τιμές επιφάνειας συλλογής (A) ίσες με 40, 60, 80, 100, 120 και 140 m^2 , αντίστοιχα. Επομένως παρόλο που η επιφάνεια συλλογής των 40 m^2 εκτιμάται ότι θα έχει πολύ μικρό ποσοστό αποδοτικότητας (10%), αυξάνοντας την επιφάνεια συλλογής στα 140 m^2 , η αποδοτικότητα μπορεί και φτάνει στο 100%.

5.3 Μελλοντική έρευνα

Η συγκεκριμένη εργασία έθεσε το πλαίσιο προσομοίωσης συστήματος RWH σε επίπεδο οικίας και κατέδειξε το εύρος αποδοτικότητας, λαμβάνοντας υπόψη έναν μεγάλο αριθμό σεναρίων. Για να κριθεί ολοκληρωμένη η αξιολόγηση ενός τέτοιου συστήματος, είναι χρήσιμη η πραγματοποίηση ανάλυσης κόστους-οφέλους μιας σχετικής επένδυσης για το σύνολο των διαθέσιμων όγκων δεξαμενής και η αξιολόγηση

της μεταβολής της πιθανής απόσβεσης μιας τέτοιας διάταξης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της οικίας (επιφάνεια συλλογής, μέλη νοικοκυριού). Τέλος, προτείνεται η διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας στις παραμέτρους του μοντέλου για να ποσοτικοποιηθεί το χαρακτηριστικό που αναδεικνύεται ποιοτικά ήδη από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- **Ahmed, W.** & Toze, S. (2014) in *Rainwater Tank Systems for Urban Water Supply. Microbiological Quality and Associated Health Risks with the Use of Roof-Captured Rainwater*. International Water Association Publishing, London,
- **Angelakis**, (2003) A.N. and Koutsoyiannis D., Urban water engineering and management in ancient Greece. *The encyclopedia of water science*, pp.999-1007.
- **Antoniou G.**, (2006) Xarchakou, R., & Angelakis, A. N. Water cistern systems in Greece from Minoan to Hellenistic period. In *Proceedings of 1st IWA International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations*, National Foundation for Agricultural Research, Institute of Iraklion, Iraklion, Greece (pp. 28-30).
- **Antoniou G.**, (2014) Kathijotes, N., Spyridakis, D.S. and Angelakis, A.N. Historical development of technologies for water resources management and rainwater harvesting in the Hellenic civilizations. *International Journal of Water Resources Development*, 30(4), pp.680-693.
- **AQUAVET**, (2016) Strategic Partnership for the development of a VET course on water efficiency technologies for water technicians.
- **Bruins, H.** (1986) J., Evenari, M. and Nessler, U. (1986). Rainwater-harvesting agriculture for food production in arid zones: the challenge of the African famine. *Applied Geography*, 6, pp. 13-32.
- **Garbrecht J.D.** (2005) and Garbrecht G.K.H.. Water supply challenges and solutions of the ancient city of Pergamon. *Proceedings, Oklahoma Water 2005*, Paper #6, Oklahoma Water Resources Research Institute, Stillwater. Okla.
- **IPCC**, 2014. *Adaptation and Vulnerability, IPCC WGII AR5 Summary for Policymakers*.
- **Kinkade-Levario H.**, (2007). *Design for Water Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment and Alternate Water Reuse*. New Society Publishers, P.O. Box 189, Gabriola Island, BC V0R 1X0, Canada.
- **Koutsoyiannis D.** (2008), Zarkadoulas, N., Angelakis, A.N. and Tchobanoglous, G. Urban water management in Ancient Greece: Legacies and lessons. *Journal of water resources planning and management*, 134(1), pp.45-54.
- **Londra, P. A.**, Theocharis, A. T., Baltas, E., & Tsihrintzis, V. A. (2015). Optimal sizing of rainwater harvesting tanks for domestic use in Greece. *Water resources management*, 29(12), 4357-4377.
- **Λόντρα, Π.** (2014). Διαστασιολόγηση δεξαμενών όμβριων υδάτων στην Ελλάδα για αστική χρήση. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- **Sharma, A.K.**, Begbie, D. & Gardner, T. (2015). *Rainwater Tank Systems for Urban Water Supply*. IWA Publishing, London.

- **Σταματίου Α.** (2021). Διαστασιολόγηση οικιακών ομβροδεξαμενών σε περιοχές με διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα.
- **Aθήνα.**
- **Texas Water Development Board**, (2005). The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Third Edition, Austin, Texas.
- **UNEP (2009)**. Rainwater harvesting: A lifeline for human well-being.
- **Yaziz M.I.**, Gunting H., Sapari N. & Ghazali A.W. (1989) Variations in rainwater quality from roof catchments. Water Research, 23(6): 761-765.
- **ΥΠΕΧΩΔΕ**, ΕΜΠ, (2008). Εθνικό πρόγραμμα διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων, <http://itia.ntua.gr/getfile/782/101/documents/2008-final-report-v2.pdf>.

- <https://cordex.org> (Τελευταία προσπέλαση: 03/07/2021)
- <http://datahub.geocradle.eu> (Τελευταία προσπέλαση: 12/05/2021)
- <https://el.wikipedia.org/wiki/Πύλη:Κύρια> (Τελευταία προσπέλαση: 05/06/2021)
- <https://www.geomeletitiki.gr> (Τελευταία προσπέλαση: 12/07/2021)
- <https://geodata.gov.gr> (Τελευταία προσπέλαση: 22/07/2021)
- <https://www.ipcc.ch/about/> (Τελευταία προσπέλαση: 12/07/2021)
- <https://library2.uniwa.gr/iguana/uploads/file/Dilosi-Syggrafea-Polynoe.pdf> (Τελευταία προσπέλαση: 12/07/2021)
- <http://meteo3.geo.auth.gr:3838> (Τελευταία προσπέλαση: 03/07/2021)
- https://www.researchgate.net/figure/Typical-RWH-system-as-designed-by-Isla-Urbana-The-components-as-installed-by-Isla-Urbana_fig1_316323782 (Τελευταία προσπέλαση: 06/06/2021)
- https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/news/-/asset_publisher/xR9e/content/copernicus-dem-30-metre-dataset-now-freely-available (Τελευταία προσπέλαση: 22/07/2021)
- https://www.skroutz.gr/c/2319/Dexamenes.html?from=category_searches&keyphrase=νερου&o=δεξαμενες+νερου (Τελευταία προσπέλαση: 18/07/2021)
- <https://www.statistics.gr> (Τελευταία προσπέλαση: 03/05/2021)
- <https://rainharvesting.com.au> (Τελευταία προσπέλαση: 30/04/2021)
- <https://urbanupdate.in/residential-buildings-above-100sqm-must-ensure-rainwater-harvesting/> (Τελευταία προσπέλαση: 30/04/2021)
- <https://islaurbana.org/english/> (Τελευταία προσπέλαση: 30/04/2021)
- http://www.4862.syzefxis.gov.gr/images/files/ydatika_diagrammata.jpg (Τελευταία προσπέλαση: 06/06/2021)