



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



Διπλωματική Εργασία με τίτλο:

**Στοχαστική προσέγγιση στη διερεύνηση αξιοπιστίας
για την κάλυψη αστικής χρήσης νερού με συστήματα ομβροδεξαμενών**

Χριστίνα Γεωργαντά

Επιβλέπων:

Μπαλτάς Ευάγγελος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2019

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου(μας) πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες

Πρόλογος

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί και προσωπική αλλαγή σελίδας καθώς με την τελευταία τελεία εδώ κλείνει και ένας πρώτος κύκλος ζωής. Στην έξοδο λοιπόν από το Πολυτεχνείο η χαρά για την επίτευξη του στόχου του πτυχίου μετριάζεται λόγω του κλεισίματος του κύκλου αυτού που περιείχε ανθρώπους και στιγμές που θέλω να πιστεύω με μετάλλαξαν προς το καλύτερο ως προς τον τρόπο σκέψης και αφήγησης της ζωής. Θα ήθελα να τους ευχαριστήσω μέσα σε λίγες γραμμές.

Η σελίδα αυτή είναι κομμάτι της εργασίας που χωρίς τη βοήθεια του επιβλέποντά μου κ.Ευάγγελου Μπαλτά δε θα είχε περατωθεί επομένως θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά για την καθοδήγηση που μου παρείχε, τη βοήθεια του κατά τη διάρκεια της εργασίας και τις πολύτιμες ώρες που μου αφιέρωσε.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην Δρ. Ελισσάβετ Φελώνη για την καθημερινή ενασχόληση, τη θεωρητική αντίληψη που μου μετέδωσε, τις λύσεις στα προβλήματα που εμφανίστηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας αλλά και τη συμβολή στη συγγραφή του τεύχους που κρατάτε, το οποίο χωρίς τη βοήθεια της δε θα είχε σίγουρα τη μορφή αυτή.

Ο κατάλογος των ανθρώπων που συνέβαλλαν με τον τρόπο τους στην εκπόνηση της εργασίας αυτής, παρότι μερικοί δεν είχαν καμία γνώση επί του θέματος και δεν μπορούσαν αλλά ούτε ήθελαν να βοηθήσουν στη συγγραφή της, είναι μεγάλος και αυτοί σκορπισμένοι στον κόσμο οπότε είναι αδύνατον να τους ονοματίσω όλους. Ένα μεγάλο ευχαριστώ λοιπόν στους συντρόφους και τις συντρόφισες της ανεξάρτητης αριστερής παρέμβασης όχι μόνο γιατί μαζί αποκτήσαμε συναρπαστικές εμπειρίες,ευχάριστες και δυσάρεστες,ούτε για τις νίκες ή τις ήττες που μοιραστήκαμε αλλά κυρίως γιατί δημιουργήσαμε μικρές νησίδες πιο κοντά στην “ουτοπία” κι αυτές θα μας ενώνουν.

Οφείλω, τέλος, να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, ηθική και υλική, που μου έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iii
Ευρετήριο Πινάκων	ix
Ευρετήριο Σχημάτων	ix
Περίληψη	xi
Abstract	xiii
Extended Abstract	xv
Introduction.....	xv
Study area-Data used	xvi
Methodology	xvii
RWH model	xvii
Synthetic time series generation.....	xix
Results and Discussion	xxii
Conclusions – Future Recommendations.....	xxvii
Selected References	xxviii
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Διαχείριση υδατικών πόρων στην Ελλάδα	1
1.2 Αντικείμενο της εργασίας	3
1.3 Πρωτότυπα σημεία	4
1.4 Διάρθρωση της εργασίας	4
2 Περιοχή Μελέτης	7
2.1 Επιλογή Περιοχής.....	7
2.2 Φυσικό Περιβάλλον	8
Γεωλογία και Μορφολογία της Περιοχής	8
Χλωρίδα-Πανίδα-Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις-Χρήσεις Γης	9
Προστατευόμενες Περιοχές	11
Μετεωρολογικά και Κλιματολογικά Στοιχεία	13
Υδρογεωλογία	14
2.3 Ανθρωπογενές Περιβάλλον	15
Πληθυσμιακά και Δημογραφικά Στοιχεία.....	15
Παραγωγικές Δραστηριότητες-Οικονομία -Νοικοκυριά-Εποχιακός Πληθυσμός-Τουρισμός	17
2.4 Ύδρευση στη Σύμη σήμερα	21
3 Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών και αβεβαιότητα	23
3.1 Συλλογή ομβρίων υδάτων.....	23
Γενικά	23
Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα	25

Χρήση των συστημάτων συλλογής ομβρίων και περίοδος αποπληρωμής.....	27
3.2 Περιγραφή συστημάτων συλλογής ομβρίων υδάτων	27
3.3 Αβεβαιότητα στους υδατικούς πόρους	36
Στοχαστική προσομοίωση συστήματος με συνθετικές χρονοσειρές	36
Χρήση της στοχαστικής προσομοίωσης στη διαστασιολόγηση συστημάτων συλλογής ομβρίων	38
4 Ανάπτυξη μεθοδολογίας.....	42
4.1 Μεθοδολογία για τη συλλογή ομβρίων.....	42
Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου.....	42
Προσδιορισμός συλλεγόμενου όγκου όμβριων υδάτων.....	43
Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης	43
Διαστασιολόγηση όγκου ομβροδεξαμενής	44
Υπολογισμός όγκου ομβροδεξαμενής με τη μέθοδο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου	44
4.2 Συντελεστής αποδοτικότητας (Re).....	45
4.3 Παραγωγή Συνθετικών Χρονοσειρών	45
Παραγωγή χρονοσειρών με μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης AR(1).....	46
Μοντέλο Lopeset. al.για την παραγωγή συνθετικών ημερήσιων χρονοσειρών	48
Ενδεικτική κοστολόγηση δεξαμενών και εξαρτημάτων	55
4.4 Εφαρμογή της μεθοδολογίας στη Σύμη.....	57
5 Αποτελέσματα-Συζήτηση	62
5.1 Εφαρμογή μοντέλου ισοζυγίου ομβροδεξαμενής με την ιστορική χρονοσειρά.....	62
5.2 Διερεύνηση αξιοπιστίας Re του συστήματος συλλογής ομβρίων των συνθετικών χρονοσειρών	65
6 Συμπεράσματα-Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	76
6.1 Ειδικά Συμπεράσματα.....	77
6.2 Μελλοντική έρευνα.....	80
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	82

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1 Χρήσεις γης(Πηγή Corine 2000).....	10
Πίνακας 2.2 Κλιματολογικά μηνιαία χαρακτηριστικά (Πηγή ΕΜΥ)	14
Πίνακας 2.3 Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά (Πηγή ΕΛ.ΣΤΑΤ).....	15
Πίνακας 2.4 Πληθυσμιακή εξέλιξη νήσου Σύμης(Πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων,2015)	16
Πίνακας 2.5 Απασχολούμενοι και ποσοστό ανεργίας(Πηγή:ΕΛ.ΣΤΑΤ,2011).....	17
Πίνακας 2.6 Οικονομικός ενεργός πληθυσμός (Πηγή:ΕΛ.ΣΤΑΤ.,2011)	18
Πίνακας 2.7 Απογραφή Πληθυσμού-Κατοίκων 2011, Νοικοκυριά και μέλη αυτών (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ,2011)	18
Πίνακας 2.8 Κανονικές κατοικίες κατά επιφάνεια (m ²) ((Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011).....	19
Πίνακας 2.9 Σύνολο καταλυμάτων και κλινών(Πηγή ΣΕΤΕ).....	20
Πίνακας 2.10 Διακίνηση επιβατών στα Λιμάνια της Σύμης(Πηγή Υπολιμεναρχείο Σύμης).....	20
Πίνακας 2.11 Μεταφερόμενες ποσότητες νερού ανά έτος(Πηγή γραι.gr).....	21
Πίνακας 3.1 Τιμές συντελεστή απορροής, C, για διαφορετικά υλικά (Πηγή: Kinkade - Levario, 2007 και UNEP, 2009)	30
Πίνακας 3.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση τιμών εκτροπής πρώτης έκπλυσης (Πηγή: Παπαγιάννη,2014)	32
Πίνακας 4.1 Πίνακας μετασχηματισμού πιθανοτήτων.....	51
Πίνακας 4.2 Ενδεικτικό κόστος πλαστικών ομβροδεξαμενών οικιακής χρήσης ανάλογα με τη χωρητικότητα και τις διαστάσεις (οι τιμές επιβαρύνονται με Φ.Π.Α. 23%) (Πηγή: .mytherm.gr).....	55
Πίνακας 4.3 Ενδεικτικό κόστος προκατασκευασμένης ομβροδεξαμενής από σκυρόδεμα (Πηγή: Τουμάζης κ.α., 2009)	56
Πίνακας 4.4 Ενδεικτική κοστολόγηση εξαρτημάτων συστήματος συλλογής όμβριων (Πηγή: .e- watershop.gr)	56

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2.1 ΣύμπλεγμαΔωδεκανήσων(Πηγήnotioaigaio.gr).....	7
Σχήμα 2.2ΝήσοςΣύμη (ΠηγήGoogleEarth).....	8
Σχήμα 2.3Καταφύγια άγριας ζωής(Πηγή geodata.gov.gr).....	11
Σχήμα 2.4 Περιοχή Natura 2000 (Πηγή: natura2000.eu)	12
Σχήμα 2.5 Ομβροθερμικό διάγραμμα.....	14
Σχήμα 3.1 Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων για αστική χρήση με υπόγεια δεξαμενή (Πηγή: watertech.ie)	28
Σχήμα 3.2 Αποτύπωμαστέγης (Πηγή:rainwaterharvesting.com)	29
Σχήμα 3.3 Φίλτρο και εκτροπή της πρώτης έκπλυσης σε συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων (Πηγή: aquabarrel.com)	31
Σχήμα 3.4 Υπέργειαξύλινηδεξαμενήαποθήκευσηςβρόχινουνερού(Πηγή: rainwaterharvesting.com) 33	
Σχήμα 3.5 Υπό κατασκευή υπόγεια τσιμεντένια δεξαμενή αποθήκευσης όμβριων υδάτων με σύστημα πρόσβασης (Πηγή: durabuildcare.com)	33
Σχήμα 3.6 Διατάξεις εκτροπής πρώτης έκπλυσης, αποθήκευσης, διανομής και επεξεργασίας σε οικιακό σύστημα αποθήκευσης όμβριων υδάτων (Πηγή:ecoactivehouse.com)	34
Σχήμα 3.7 α)Σύστημαφίλτρανσηςνερού(Πηγή:waterflowcontrol.com.au)καιβ) συσκευέςαπολύμανσηςμε UV ακτινοβολία (Πηγή:adtec.gr))	35
Σχήμα 4.1 Αυτοσυσχετόγραμμα από AR(1)	47
Σχήμα 4.2 Διάγραμμα ροής μοντέλου	49
Σχήμα 4.3 Θηκόγραμμα συνθετικών χρονοσειρών και διάμεσος ιστορικής.....	54

Σχήμα 4.4 Διαθέσιμα σχήματα πλαστικών δεξαμενών νερού (Πηγή: mytherm.gr)	55
Σχήμα 4.5. Ιστορική χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης	57
Σχήμα 4.6 Μέση μηνιαία βροχόπτωση	59
Σχήμα 5.1 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (40-200 m ²) για όγκους 5-30 m ³ με τα βροχομετρικά δεδομένα της ιστορικής χρονοσειράς για N _{cap} =2	62
Σχήμα 5.2 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (40-200 m ²) για όγκους 5-30 m ³ με τα βροχομετρικά δεδομένα της ιστορικής χρονοσειράς για N _{cap} =3	63
Σχήμα 5.3 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (40-200 m ²) για όγκους 5-30 m ³ με τα βροχομετρικά δεδομένα της ιστορικής χρονοσειράς για N _{cap} =4	64
Σχήμα 5.4 Συντελεστής αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής (A=40-200 m ³) για V=30 m ³ για α) N _{cap} =2, β) N _{cap} =3, γ) N _{cap} =4.	66
Σχήμα 5.5 Διάμεσος συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής (A=40-200 m ²) για όγκους V=5-30 m ³ για N _{cap} =2	68
Σχήμα 5.6 Διάμεσος συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής (A=40-200 m ²) για όγκους V=5-30 m ³ για N _{cap} =3	69
Σχήμα 5.7 Διάμεσος συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής (A=40-200 m ²) για όγκους V=5-30 m ³ για N _{cap} =4	70
Σχήμα 5.8 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (40-200 m ²) για όγκους 5-30 m ³ για νοικοκυριό δύο ατόμων, N _{cap} =2	71
Σχήμα 5.9 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (40-200 m ²) για όγκους 5-30 m ³ για νοικοκυριό τριών ατόμων, N _{cap} =3	72
Σχήμα 5.10 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (40-200 m ²) για όγκους 5-30 m ³ για νοικοκυριό τεσσάρων ατόμων, N _{cap} =4	73

Περίληψη

Η σταδιακή μείωση και υποβάθμιση των αποθεμάτων γλυκού νερού στον πλανήτη και η αναγκαιότητα του για τη ζωή, οδηγεί την παγκόσμια κοινότητα στην ανεύρεση εναλλακτικών και βιώσιμων τρόπων παροχής νερού για ύδρευση, άρδευση και βιομηχανική χρήση. Η συλλογή, αποθήκευση και αξιοποίηση των όμβριων υδάτων, παραδοσιακά χρησιμοποιείται ως πρακτική διαχείρισης υδάτων και έχει τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά οφέλη.

Εξαιτίας της στοχαστικότητας της βροχόπτωσης, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε ανάλυση αβεβαιότητας στη διαστασιολόγηση ενός συστήματος συλλογής ομβρίων μέσω της παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών ημερήσιας βροχόπτωσης για τη διερεύνηση της αξιοπιστίας κάλυψης οικιακών αναγκών σε νερό με χρήση ενός τέτοιου συστήματος στη νήσο Σύμη.

Με διαθέσιμα τα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης 36 ετών για το νησί της Σύμης από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό της Ρόδου, έγινε παραγωγή ομάδας ετήσιων συνθετικών χρονοσειρών ημερήσιας βροχόπτωσης μέσω μίας μαρκοβιανής αλυσίδας πρώτης τάξης καιπροσαρμογής κατανομής πιθανότητας Gamma, όπως αναλυτικά περιγράφεται από τους Lopes et. al.,2017, για τον υπολογισμό των ποσοτήτων βροχόπτωσης των υγρών ημερών.

Κάθε ετήσια χρονοσειρά βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της χρήσης της δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων για διάφορες τιμές επιφάνειας συλλογής $A=40-200 \text{ m}^2$, για διάφορα μεγέθη δεξαμενής ($V=5-30 \text{ m}^3$) και για διάφορα σενάρια ως προς των αριθμό κατοίκων ανά οικία (δύο, τριών και τεσσάρων ατόμων. Επίσης, θεωρήθηκε δεδομένη κατανάλωση ανά κάτοικο ($q =180\text{L}/\text{κάτοικο}/\text{ημέρα}$) και δεδομένο ποσοστό κάλυψης συναρτήσει της ζήτησης ($p=30\%$).

Οι παραπάνω συνθετικές χρονοσειρές, καθώς και η διαθέσιμη ιστορική χρονοσειρά, εισήχθησαν στο μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής.Αφού ορίστηκε η αξιοπιστία του συστήματος ως το ποσοστό (%) του αριθμού των ημερών, όπου η ζήτηση εξυπηρετείται πλήρως από το διαθέσιμο αποθηκευμένο νερό της δεξαμενής, προς τον συνολικό αριθμό των ημερών των καταγραφών των βροχομετρικών δεδομένων που προσομοιώνονται για τη διαστασιολόγηση του συστήματος συλλογής, έγινε αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Συμπερασματικά, ένα σύστημα συλλογής ομβρίων στο νησί της Σύμης ή σε άλλο μέρος με παρόμοιο βροχομετρικό καθεστώς, παρουσιάζει ικανοποιητική αξιοπιστία ακόμα και για μικρές ή μέτριες επιφάνειες συλλογής εφόσον γίνει επιλογή μίας μεσαίας σε χωρητικότητα δεξαμενής.

Λέξεις κλειδιά: Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής, Διερεύνηση αξιοπιστίας, Συστήματα συλλογής ομβρίων

Abstract

The gradual decline and degradation of fresh water reserves on planet Earth, coupled with its essential role in supporting life, is prompting the research of alternative and sustainable methods of supplying water for domestic, irrigation and industrial use on a worldwide scale. The harvesting, storage and usage of rainwater have been traditionally employed as a water management practice that yields both financial and environmental benefits.

Because of the stochastic nature of the rainfall, in the framework of this diploma thesis an uncertainty analysis in rainwater harvesting system sizing was carried out by generating synthetic rainfall timeseries to investigate the reliability in meeting household water needs using such a system on the island of Symi. With available 36 years of daily rainfall data provided by meteorological station of the nearby island of Rhodes, a group of synthetic time series (yearlong) of daily rainfall was generated through a lag one Markov chain and Gamma probability function, as defined by Lopes et. al. (2017). Each daily rainfall timeseries was then used to simulate the rainfall collection tank usage for several scenarios of roof area $A=40-200$ m², several tank sizes, $V=5-30$ m³, several scenarios of residents per household, $N_{cap}=2,3,4$, a given scenario of non-potable daily water consumption $q=180$ L/capita/day and a given percentage of total water use satisfied by harvested rainwater $p=30\%$. The synthetic time series, and also historic time series, were applied to rainwater harvest tank balance model and an evaluation of the results was operated. Reliability (Re) was defined as the percentage of days with water supply from the rainwater harvest tank to the total amount of days the rainwater harvesting model was simulated. The investigation of the system's reliability, concerned the following scenarios: a household of two, three and four people, for satisfying 30% of the total water demand. In conclusion, a rainfall collection system on the island of Symi or elsewhere with a similar rainfall status has a satisfactory reliability even for small or moderate collection areas if a medium capacity tank is selected.

Key words: Reliability analysis, Rainwater harvesting systems, Tank sizing.

Extended Abstract

Introduction

Providing water supply to meet urban demands is an increasingly complex challenge, given water scarcity, growth of competing demands, aging infrastructure, variability and uncertainty of hydrological events. The occurrence and intensity of hydrological events cannot be predicted precisely in advance and this indicates uncertainty. The use of a finite record period of rainfall data introduces uncertainty due to sampling error in the estimated rainfall quantiles. In order to face hydrological uncertainty, several techniques can be applied to conduct uncertainty analysis. A common and helpful technique is to use stochastic simulation tools to generate synthetic timeseries with statistical characteristics similar to the observed data. Stochastic simulation is aimed to generate synthetic data that represent inputs to the system that is under study. Probabilistic assessment through stochastic simulation is of high importance for all typical water-related problems, as a major objective in the optimal planning and management of hydrosystems is the maximization of system reliability. For instance, a water-related project is the design of a rainwater harvesting system. Stochastic models have been used for rainfall data generation by many scientists (Youn et al., 2012; Su et al., 2009; Basinger et al., 2010; Chin, 1977), in order to design a rainwater harvesting system or for other purposes.

Rainwater Harvesting Systems (RWHS) can augment water supply to meet urban and rural needs, adding to flexibility and robustness to water systems. RWHS can also fulfil part of the non-potable water demand, preventing the use of potable water for less qualified demanding uses such as car washing, lawn irrigation, toilet flushing and cooling for air conditioning (Gikas and Tsihrintzis, 2012). RWHS require minimal installation and design effort and are a promising alternative to reduce potable water use (Nolde, 2007), as these potentially reduce the wastewater load and, in some cases, diminish the impact of floods by increasing system's detention capacity. Furthermore, water obtained with RWHS is a low cost alternative during dry periods, when water supply systems face severe shortages. However, the capacity of rainwater harvesting tanks cannot be formulated, as it is strongly affected by various local variables. Methods for sizing the rainwater harvesting tank vary and depend on standards and regulations adopted by each country.

The aim of this research work is the examination of the involved uncertainty in the rainwater harvesting system sizing, using a stochastic model for daily rainfall timeseries generation, in order to estimate the reliability of such a system on the island of Symi.

Study area-Data used

Symi Island is in Aegean Sea and lies on the southeast of the Dodecanese complex. Its population is 3070 people, which increases in summer months due to tourists. Its total land area is 57 km² and the highest elevation 550 m. This island was selected to investigate the reliability of a rainwater harvesting system to save water for non-potable usages as it is one of the 12 anhydrous islands of Greece. Water demand for all of these 14 islands is met by water transportation from Rhodes to the island, desalination facilities and by the collection of rainwater in water tanks.

There is a very strong seasonality of rainfall; months such as June, July and August are very dry, and months such as November, December and January are very wet. The annual mean average rainfall is 842 mm. This region was chosen given the long dry season and recurrent water scarcity, which often brings about discussions about the use of rainwater harvesting systems. In regions with such rainfall pattern, a tank size not properly designed will result in either a high rate of failure (i.e., the tank not being able to supply the demand) or an oversized tank that is frequently empty due to the lack of rainfall. For the reasons described above, Symi was selected as a case study to investigate how a rainwater harvesting system can solve or minimize the deficit of water, especially during summer months in a domestic scale.

Daily rainfall data within the period 1982-2017, were obtained from the Meteorological station of Rhodes, in order to produce synthetic time series and size the rainwater harvesting tank. This Meteorological station was chosen as the closest one to Symi Island.

In Figure 1, the rainfall dataset within the period 1982-2017 for Symi Island is shown.

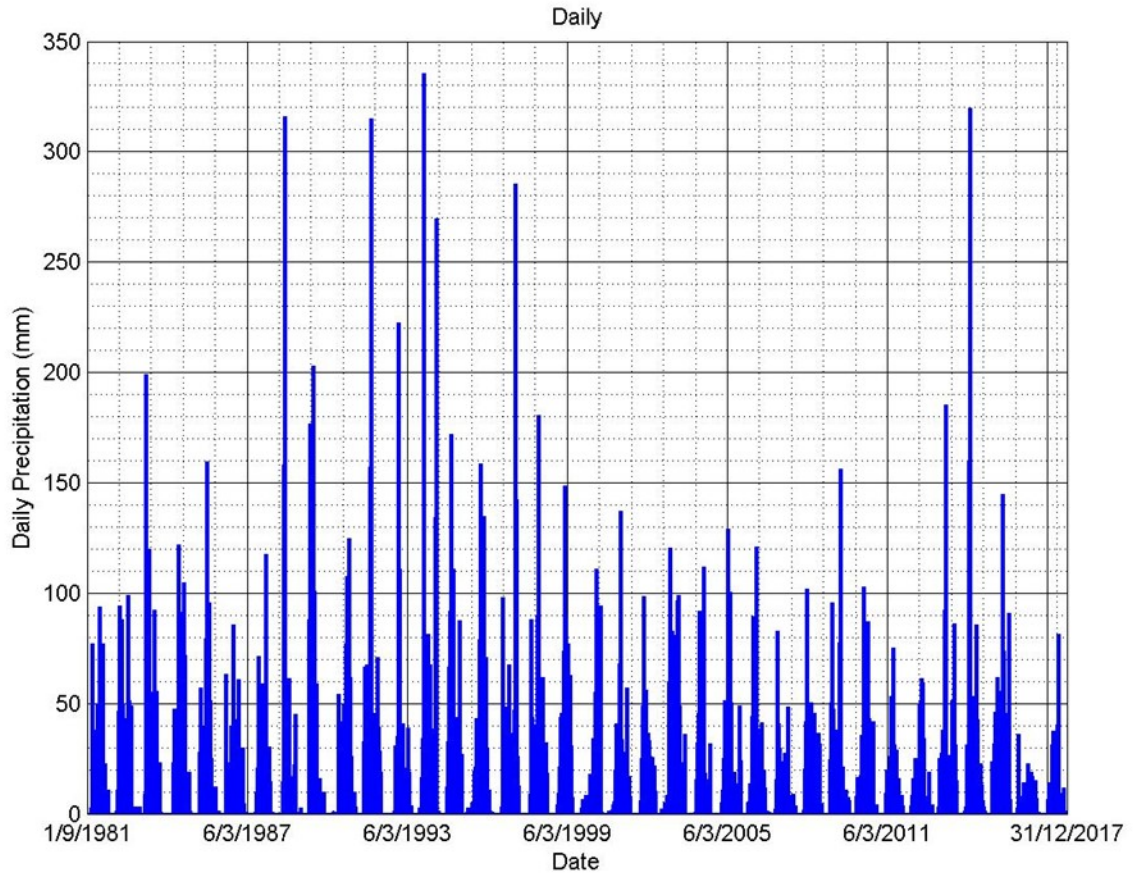


Figure 1 Historical daily rainfall timeseries for Syimi 1982-2017

Methodology

RWH model

In the frame of this study, a rainwater harvesting tank balance model was developed for the rainwater harvesting tank sizing. The water balance equation used is:

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

where, S_t is the stored volume at the end of t day (m^3), S_{t-1} is the stored volume at the beginning of t day (m^3), R_t is the harvested rainwater volume at the end of t day (m^3), D_t the daily water demand (m^3) and V_{tank} the capacity of rainwater tank (m^3).

The daily harvested rainwater volume (runoff), R_t (m^3), from a roof area is calculated as:

$$R_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t}$$

C is the runoff coefficient, A the rainwater collection area (m^2) and $P_{eff,t}$ daily effective rainfall depth at the end of t day (mm). In this study, the runoff coefficient is assumed equal to 0.9 and daily effective rainfall equal to daily rainfall minus first flush. Taking into account the

report of Yaziz et al. (1989) on improving the quality of harvested rainwater from concentrations of dust, leaves and bird droppings in rainwater collection area, a first flush is assumed equal to 0.33 mm.

$$P_{eff,t} = P_t - 0,33 \text{ (mm)}$$

The daily water demand, D_t , of a household is calculated as:

$$D_t = 10^{-3} \cdot N_{cap} \cdot q \cdot (p/100)$$

N_{cap} is the number of residents (capita), q the daily water use per capita (in Greece ranges from 100 L/cap/day to 200 L/cap/day) and p the percentage of total water use satisfied by harvested rainwater. The maximum value of p depends on mean annual rainfall, rainwater collection area size and number of residents served. In this study, the daily water use per capita assuming $q=180$ L/cap/day, the percentage of total water use satisfied by harvested rainwater assuming $p=30\%$ and the number of residents of a household ranges between 2 and 4, $N_{cap}=2,3,4$.

Taking into account the above Equations, the daily rainwater stored volume is calculated as:

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

The daily difference between runoff (inflow) and demand (outflow) is calculated as follows:

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

Consequently, the previous equation can be rewritten as:

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

The calculation is iterative and starts from an initial stored water volume $S_{t-1}=S_0$ at time $t=0$. The most conservative value of S_0 is $S_0=0$ for initially empty rainwater tank, the maximum value $S_0=V_{tank}$ for initially full rainwater tank, or any other value S_0 for partially full rainwater tank. In this study, an initially full rainwater tank was considered.

To take into account the capacity of rainwater tank, V_{tank} , when calculating the daily stored water in the tank, the following heuristic algorithm can be used iteratively:

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

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

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

$S_{t,tank}$ is the actual available stored water volume in the tank at t day.

The volume of water that overflows, O_t , from the tank when the tank is full can be calculated from the following algorithm:

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

In case that stored water volume in the tank, $S_{t,tank}$, is inadequate to meet the demand, D_t , then the demand will be satisfied, in parts or in whole, with water delivered from the public water supply, T_t , that can be calculated as follows:

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

Reliability coefficient (Re) is calculated as the percentage of days with water supply from the rainwater harvesting tank to the total amount of days that consist the rainwater time series which are used for dimensioning the rainwater harvesting system:

$$Re = \frac{\sum(\text{days without tap water use})}{\sum(\text{days of total timespan})}$$

Synthetic timeseries generation

In Figure 2, the diagram presents the overall process for the modelling framework. A group of synthetic time series (yearlong) of daily rainfall is generated through a lag one Markov chain and Gamma probability function. This process is repeated n times with Monte Carlo simulation. Each yearly rainfall series is then used to simulate the rainfall collection tank usage for a given scenario of roof area and non-potable daily water demand. This is performed for several tank sizes. The non-potable water demand is met, whenever possible, with the rainfall water stored.

The number of time series generated is calculated as:

$$n = \left(\frac{Z_{(1+\gamma)/2}}{c} \cdot C_v \right)^2$$

where γ is the confidence level, $Z_{(1+\gamma)/2}$ is the $(1+\gamma)/2$ percentile of normal distribution, C_v is coefficient of variance and c given fraction (Koutsogiannis, 2013).

The coefficient of variance C_v of wet period is $C_v=2.55$. Then, for $\gamma = 95\%$ ($Z_{(1+\gamma)/2} = 1.96$), $c=5\%$, $n=9964$.

Model to generate synthetic daily rainfall

First stage: *first order Markov chain model*

A lag one Markov model was set up to create a synthetic sequence of dry and wet days. Some authors assume that the occurrence of dry and wet days is independent, whereby the previous weather state does not influence the present weather state (Conejo, 1980). However, a Markov Chain model can be used to account for the persistence of rainfall events assuming that the weather states in two consecutive days are not independent. Better results have been shown using the latter assumption (Conejo, 1980).

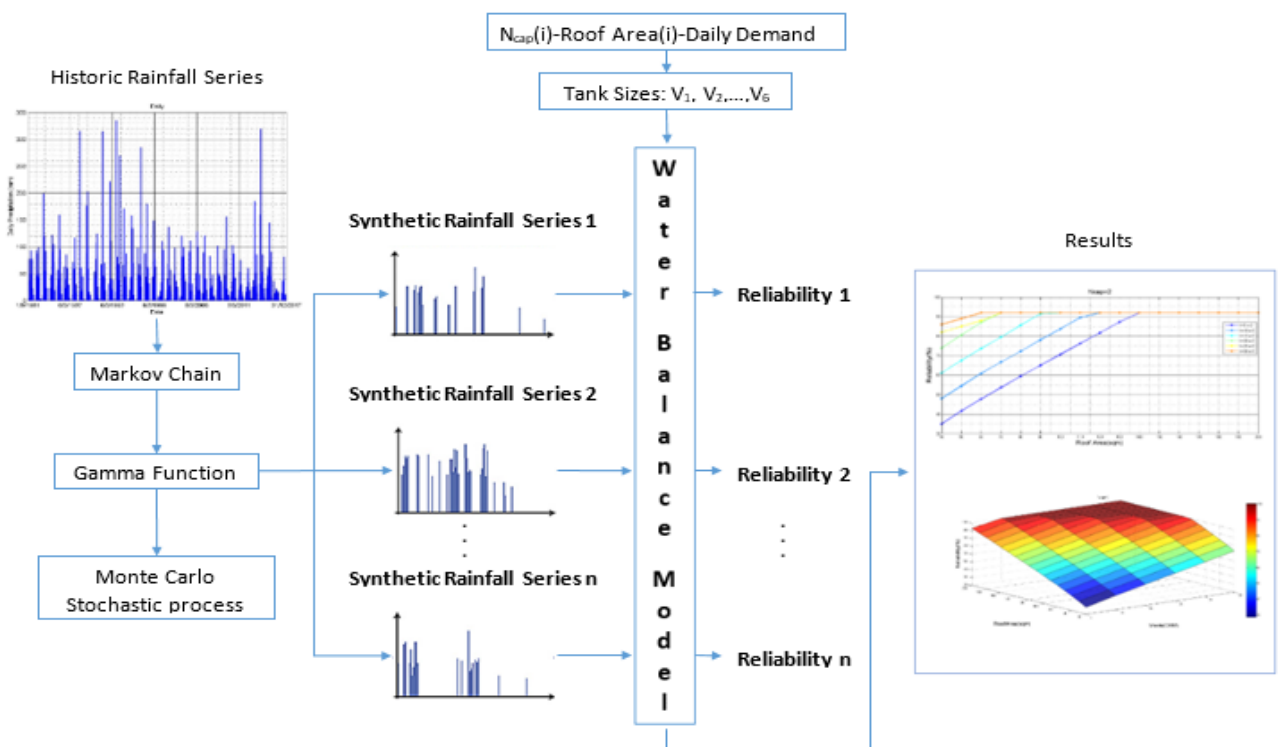


Figure 2 Flowchart for the modelling framework

A division of twelve homogeneous periods, which correspond to the months of the year, was considered, in order to account for the seasonality of the behaviour of the rainfall and to allow a better evaluation of this behaviour for each period.

The Markov Chain firstly establishes the possible states of each day as dry and wet and then uses a matrix of transition probabilities to move from the preceding state to the next accordingly. This matrix is represented in Table 1. These probabilities were obtained using 36 years of daily precipitation data and the following equations:

$$P00 = \frac{N00}{(N00 + N01)}, P01 = \frac{N01}{(N00 + N01)}$$

$$P10 = \frac{N10}{(N10 + N11)}, P11 = \frac{N11}{(N10 + N11)}$$

where N00 is the number of dry days followed by dry days; N01 is the number of dry days followed by wet days; N10 is the number of wet days followed by dry days; N11 is the number of wet days followed by wet days.

Table 1 Markov transition probabilities matrix

		Following day	
Current day	State	Dry	Wet
	Dry	P00	P01
	Wet	P10	P11

Where P00 is the transition probability from a dry day to a dry day; P01 is the transition probability from a dry day to a wet day; P10 is the transition probability from a wet day to a dry day; P11 is the transition probability from a wet day to a wet day.

The synthetic series was obtained by generating a pseudo-random number uniformly distributed between zero and 1 and assuming that the first day in the series was a dry day. The following day will be wet if the pseudo-random number is greater than P01, if the number is lower than this value then the following day will be dry. In addition, if the preceding day were wet, then the following day would be dry if the pseudo-random number value were lower than P10.

Second stage: *fitting of gamma probability function*

In order to estimate the amount of rainfall for each wet day, the precipitation data was fitted to the behaviour of the incomplete Gamma function. The parameters were estimated using maximum likelihood method as it produces parameters with more precision, using less information (Thom, 1958).

The probability density function (pdf) of G2(a, b) is:

$$f(x) = \left\{ \frac{1}{b\Gamma(a)} \frac{x^{a-1}}{b_0} \exp\left(-\frac{x}{b}\right) \right\}, x > 0$$

where, a(a>0) is the shape parameter and b(b>0) is the scale parameter.

Third stage: *Monte Carlo simulation*

The Monte Carlo method is a statistical simulation method that develops simulations using random sampling. In the case of this study, the use of the Markov chain and the fitting of the Gamma function defined the probabilistic characteristics of the daily rainfall data. The Monte Carlo method was then applied generating pseudo-random numbers and sampling from these density probability functions to produce n=9964 year long time series of rainfall and the subsequent simulation of n year long tank use, one for each possible time series of rainfall. Each simulation has a resulting reliability, as defined above. This method considers the uncertainty, given each rainfall series is a realization of a stochastic process.

Results and Discussion

Firstly, in Figure 3, statistic characteristics of synthetic time series as also the comparison of these with historical data are presented. The box plot of distribution of synthetic time series per month is presented below and also the median of historical data.

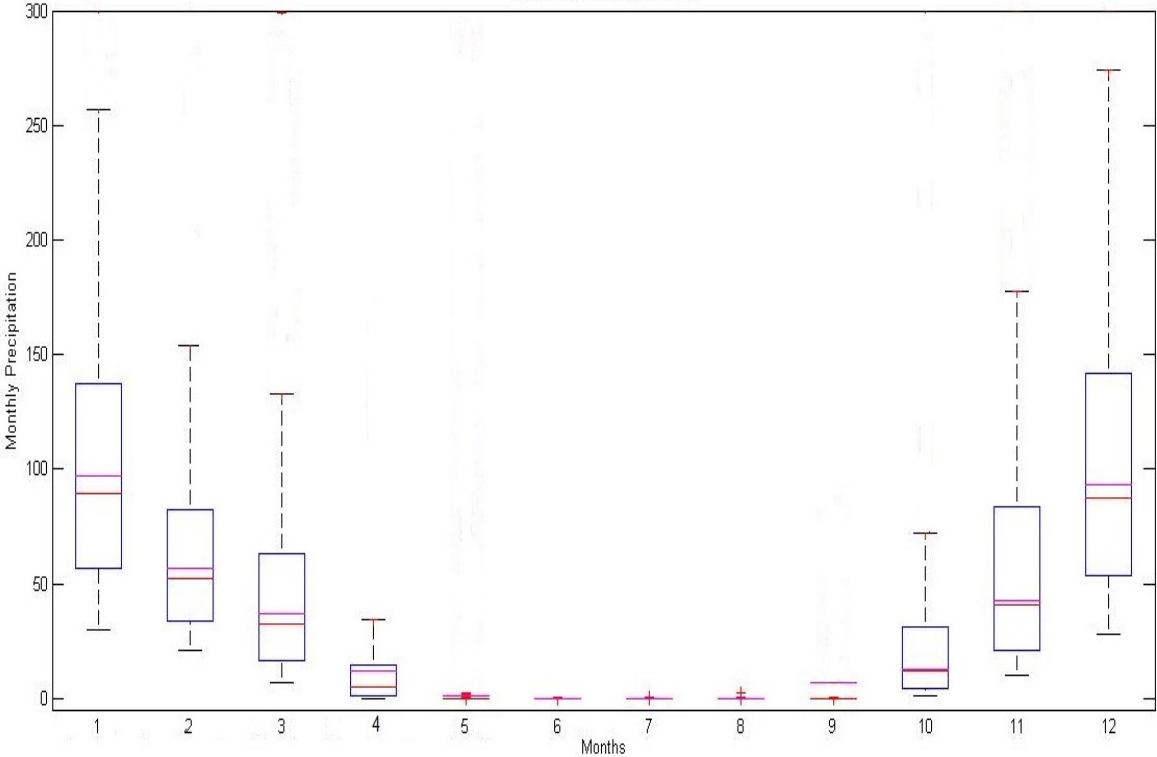


Figure 3 Box plot of distribution of synthetic time series and the median of historical data

The median is selected as characteristic value, as the historical time series varied widely per month and extreme values were present, so that the average was not a representative measure of position. In Figure 3, the median of the historical time series (in red) and the synthetic ones (in purple) are shown. It is obvious that the distributions of the synthetic time

series at month level show all positive asymmetry, i.e., most values are concentrated left and the distributions are skewed to the right. April to October, i.e., those in the dry season, show the smallest range and the smallest interquartile range.

Secondly, the rainwater tank sizing was performed using $N_{cap}=2-4$, $p=30\%$, $q=180$ L/day/capita, in order to investigate system's reliability, by changing everytime the collection area A ($40-200$ m^2) and rainwater tank volume V_{tank} ($5-30$ m^3). The used rainfall data series were synthetic series, the median of these as characteristic value (as defined above) and also the historical rainfall data record of Symi.

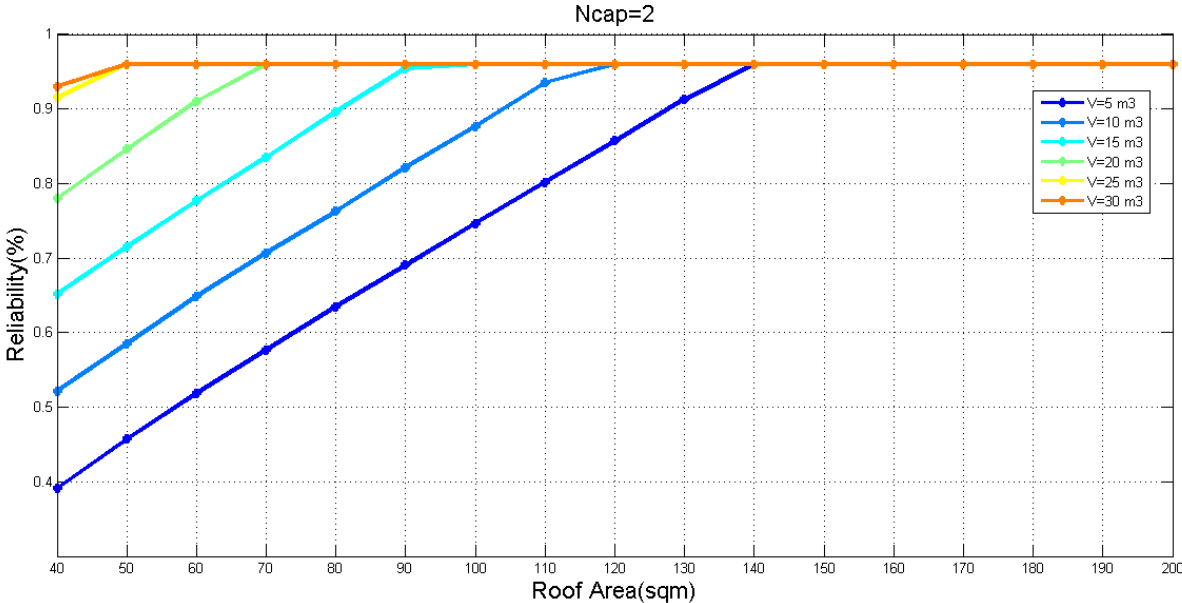


Figure 4 Reliability coefficient for different range of roof area ($A=40-200$ m^2) and rainwater volume tank ($V=5-30$ m^3) for historical record, $N_{cap}=2$.

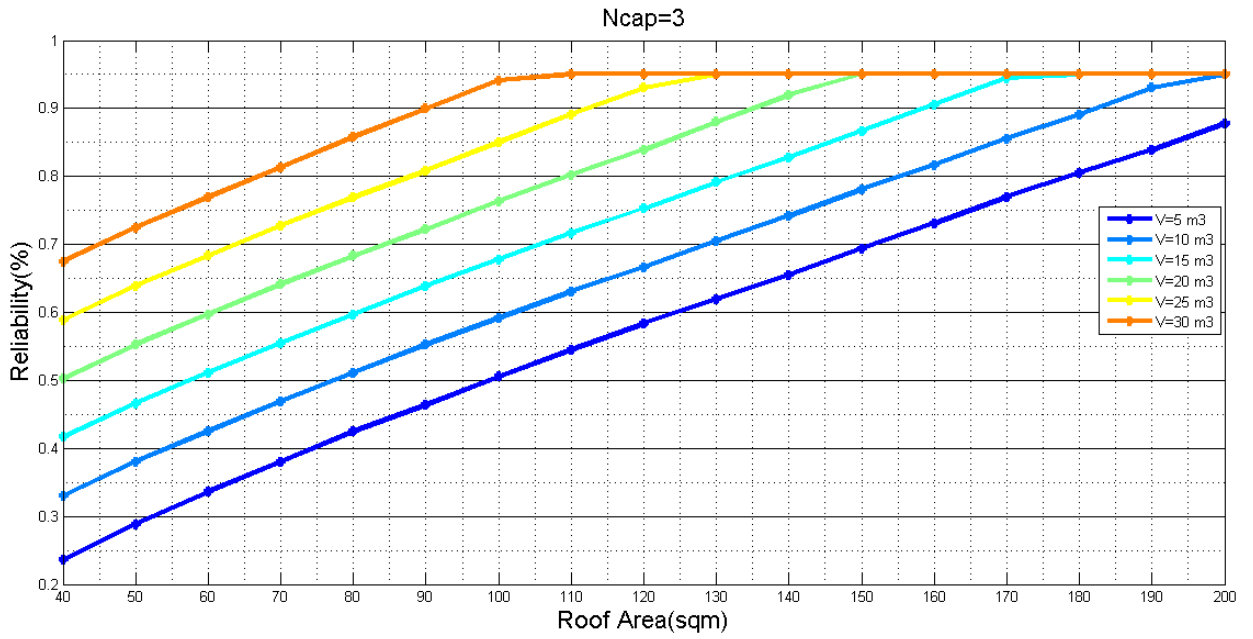


Figure 5 Reliability coefficient for different range of roof area ($A=40-200 \text{ m}^2$) and rainwater volume tank ($V=5-30 \text{ m}^3$) for historical record, $N_{cap}=3$.

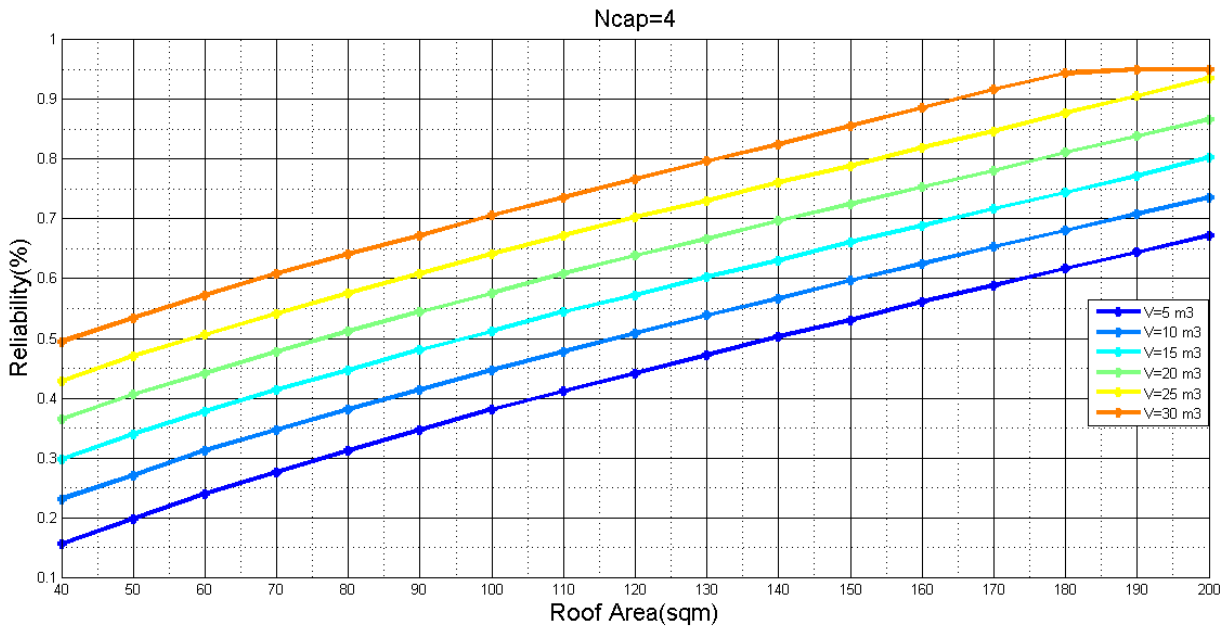


Figure 6 Reliability coefficient for different range of roof area ($A=40-200 \text{ m}^2$) and rainwater volume tank ($V=5-30 \text{ m}^3$) for historical record, $N_{cap}=4$.

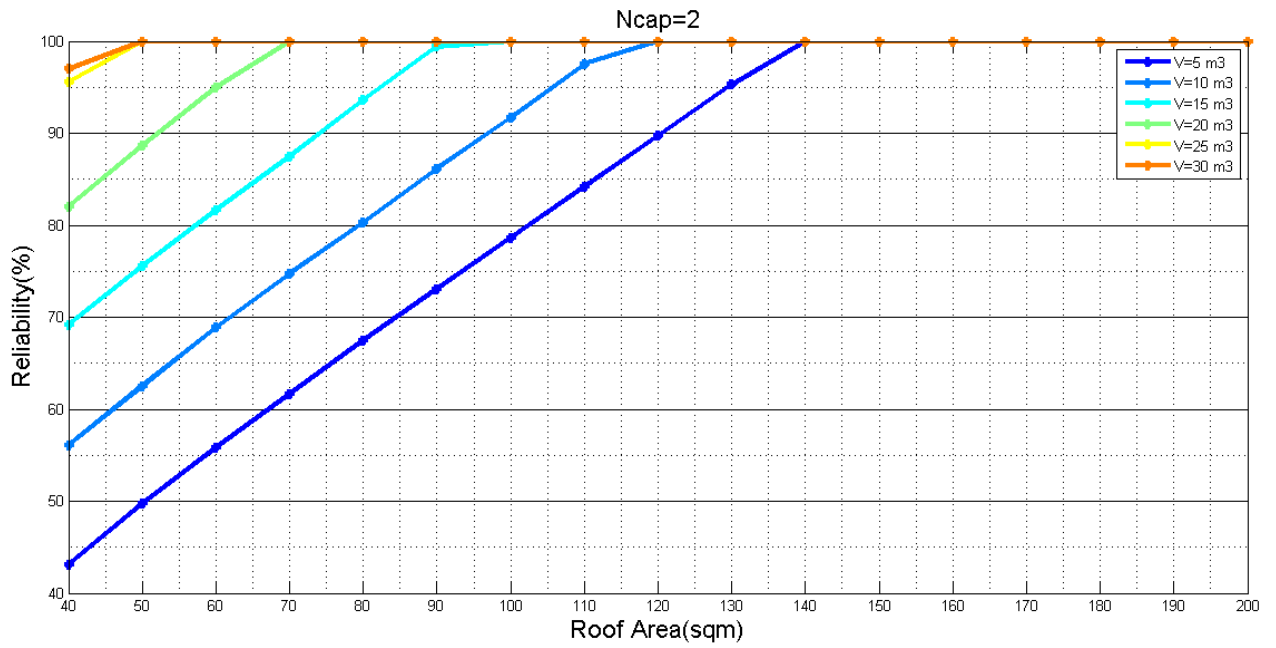


Figure 7 Median of reliability coefficient for different range of roof area ($A=40-200 \text{ m}^2$) and rainwater volume tank ($V=5-30 \text{ m}^3$) for synthetic time series, $N_{cap}=2$.

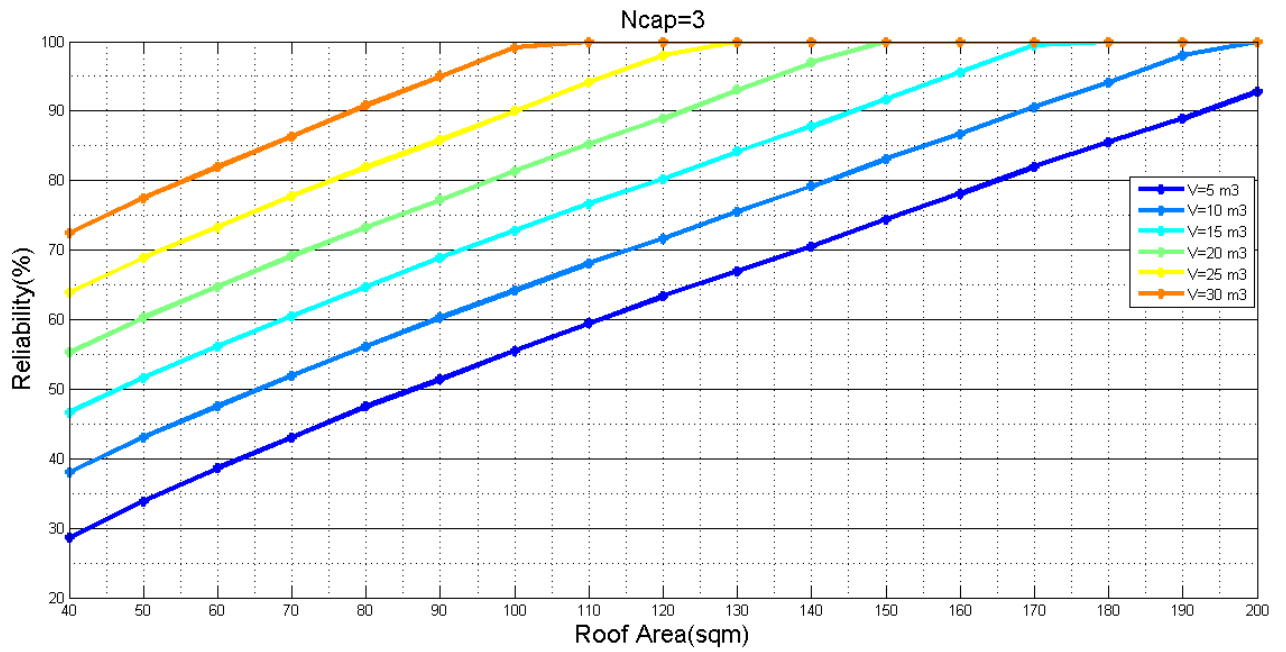


Figure 8 Median of reliability coefficient for different range of roof area ($A=40-200 \text{ m}^2$) and rainwater volume tank ($V=5-30 \text{ m}^3$) for synthetic time series, $N_{cap}=3$.

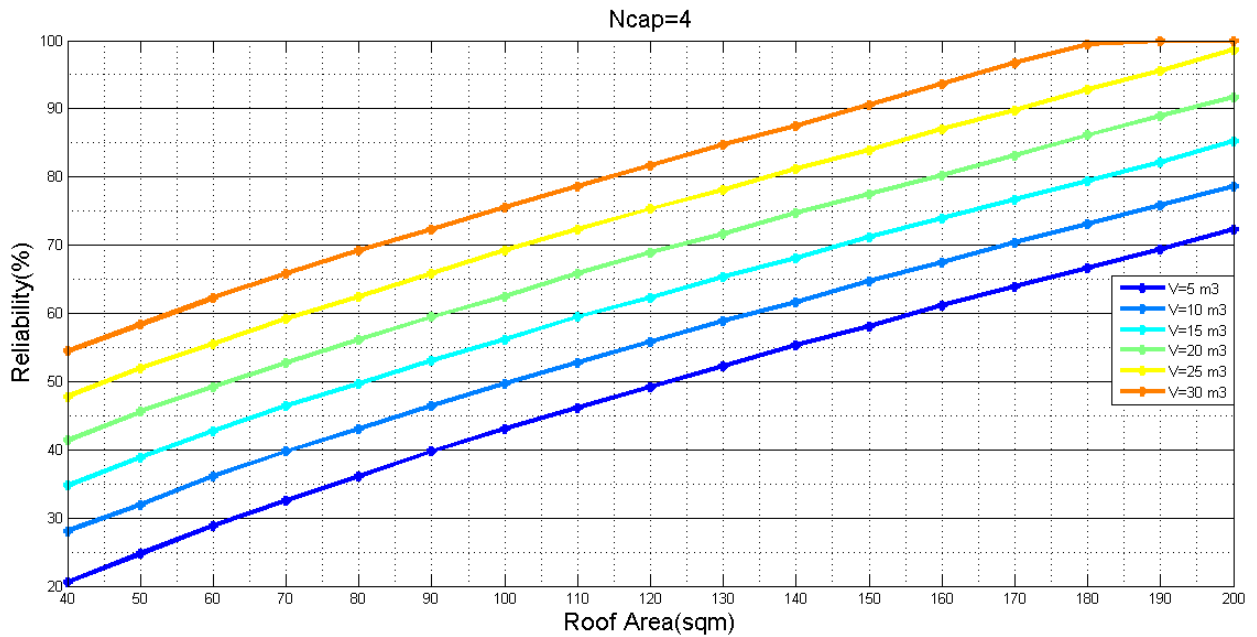


Figure 9 Median of reliability coefficient for different range of roof area ($A=40-200 \text{ m}^2$) and rainwater volume tank ($V=5-30 \text{ m}^3$) for synthetic time series, $N_{cap}=4$

A general aspect of all charts is that reliability increases for a larger roof area, both for historical and synthetic time series. Specifically:

- For the case of two residents per household $N_{cap}=2$, the values of Reliability coefficient range from 39-96%. The values for median reliability of synthetic time series for the same scenario are 43-100%.
- For the case of three residents per household $N_{cap}=3$, the values of Reliability coefficient range from 24-95%. The values for median reliability of synthetic time series for the same scenario are 28-100%.
- For the case of four residents per household $N_{cap}=4$, the values of Reliability coefficient range from 16-94%. The values for median reliability of synthetic time series for the same scenario are 21-100%.

It is noted that for all scenarios examined for both historical and synthetic time series, the range between maximum and minimum reliability rates increases as the number of residents per household increases. For all scenarios investigated, historical time series gives more conservative reliability values than the synthetic ones. This result can be explained statistically as the average precipitation values of synthetic time series per month were higher than the corresponding average values of the historical time series.

As the RWHS simulation performed using the historic timeseries leads to more conservative results, in terms of the pair values of collection area and tank volume required to achieve maximum reliability, the following estimations are drawn:

- Reliability of 96%, for the scenario of 2 residents using historical time series, can be achieved by using: (a) volume tanks of 30 or 25 m³ and roof area $A \geq 50$ m² or (b) volume tank of 20 m³ and $A \geq 70$ m² or (c) volume tanks of 15, 10 and 5 m³, and $A \geq 90, 120, 140$ m² respectively. Using synthetic time series, the same reliability can be achieved by using: (a) volume tank of 30 or 25 m³ and $A \geq 40$ m², or (b) volume tanks of 20, 15, 10 and 5 m³ and roof area $A \geq 61, 82, 106, 130$ m² respectively.
- Reliability of 95%, for the scenario of 3 residents using historical time series, can be achieved by using (a) volume tanks of 30 m³ and roof area $A \geq 100$ m² or (b) volume tanks of 25, 20, 15, 10 m³ and $A \geq 130, 150, 175, 200$ m². By using a small volume tank of 5 m³, maximum reliability cannot be achieved for tested roof areas. Using the synthetic time series, the same reliability can be achieved by using: (a) volume tank of 30 m³ and $A \geq 89$ m², or (b) volume tanks of 25, 20, 15, 10 m³ and roof area $A \geq 111, 135, 160, 182$ m² respectively.
- Reliability of 94%, for the scenario of 4 residents using historical time series, can be achieved only by using a volume tank of 30 m³ and roof area $A \geq 180$ m². Using synthetic time series, the same reliability can be achieved by using: (a) a volume tank of 30 m³ and roof area $A \geq 163$ m² or (b) a volume tank of 25 m³ and $A \geq 185$ m².

Conclusions – Future Recommendations

Through this diploma thesis, reliability analysis in sizing rainwater harvesting systems was examined by generating synthetic time series of daily rainfall to use as entry data in a rainwater harvesting tank balance model. The most important conclusions from the research were the following:

- As far as synthetic time series are concerned, it was found that the fitting of Gamma distribution yielded satisfactory results especially for dry period. For the wet period, the range of observations as well as the interquartile range in which 50% of the observations per month are concentrated was much higher with the maximum occurring in January and December, i.e. the months with the highest rainfall.

According to the Hellenic Statistical Authority, the majority of households in Symi consist of 2 people while the majority of buildings roofs are between 40-80 m². As far as the prevailing scenario is concerned, the following conclusions are drawn:

- For small roof areas of 40-50 m², satisfactory reliability of (a) 78 and 85%, respectively can be achieved by using a tank V=20 m³ and historical time series and (b) 81 and 87% respectively and synthetic time series. Reliability is also satisfactory for intermediate volume V=15 m³.
- For A=60-80 m², high reliability of (a) 91 and 96% respectively, can also be achieved by using a tank V=20 m³ using and historical time series and (b) 95 and 100%, respectively, and synthetic time series.
- For all areas between 40 and 70 m² and especially for areas 60 and 70 m² the use of a volume tank of 20 m³ is optimal and the use of larger tanks of 25 or 30m³ is considered unnecessary because there is a small (or none) increase on reliability.

Regarding future research, a stochastic simulation considering a model of higher-orders of Markov chains could be used and then a comparison of the results with those of the present study is proposed. Also, the distribution of daily rainfall could be further studied, and the fitting of other theoretical distributions in the rainfall beyond Gamma could be investigated, particularly during the winter months. The use of another measure of position, beyond median, could be also adopted.

Selected References

- Basinger, M., Montalto, F., Lall, U., 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *J. Hydrol.* 392,105e118.
- Chin, E.H., 1977. Modeling daily precipitation occurrence process with markov chain. *Water Resour. Res.* 13, 949e956.
- Conejo, J.G., 1980. Technical Report (Boletim Tecnico) DAEE, V. 3, No. 2. may/august. Departamento de aguas e Energia Eletrica, DAEE (Water and Power Department).
- Gikas, G.D., Tsihrintzis, V.A., 2012. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. *J. Hydrol.* 466e467, 115e126.

- Koutsogiannis D., 2013. Stochastic methods in water resources, Version 4, National Technical University of Athens (Academic literature material in Greek)
- Lopes V.A.R, Marques G.F, Dornelles F, Medellin-Azuara J., 2017, Performance of rainwater harvesting systems under scenarios of non-potable water demand and roof area typologies using a stochastic approach.
- Nolde, E., 2007. Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. *Desalination* 215, 1e11.
- Su, M.-D., Lin, C.-H., Chang, L.-F., Kang, J.-L., Lin, M.-C., 2009. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *Resour. Conserv. Recycl.* 53, 393e399.
- Youn, S.-g., Chung, E.-S., Kang, W.G., Sung, J.H., 2012. Probabilistic estimation of the storage capacity of a rainwater harvesting system considering climate change. *Resour. Conserv. Recycl.* 65, 136e144

1 Εισαγωγή

1.1 Διαχείριση υδατικών πόρων στην Ελλάδα

Η Ελλάδα έχει έκταση 131.957 km^2 και παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο, περιορισμένη ενδοχώρα και μεγάλο ανάπτυγμα ακτών. Διαθέτει συνολικά, σε ετήσια βάση ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, που εκτιμώνται σε $116.330 \text{ hm}^3/\text{έτος}$, ενώ το συνολικό υδατικό δυναμικό εκτιμάται κατά προσέγγιση σε $57.100 \text{ hm}^3/\text{έτος}$, στα οποία περιλαμβάνονται τα νερά που εισρέουν από γειτονικές χώρες. Η συνολική κατανάλωση υπολογίζεται σε $8.243 \text{ hm}^3/\text{έτος}$. Παρόλο που το υδατικό δυναμικό επαρκεί για την ικανοποίηση της ζήτησης, η πραγματική διαθέσιμη ποσότητα είναι αρκετά μειωμένη και δύσκολα αξιοποιήσιμη. Σε αυτό συμβάλουν η ανισοκατανομή στο χώρο και το χρόνο των υδατικών πόρων, η άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την χωροχρονική ανισοκατανομή της ζήτησης. Η συγκέντρωση του πληθυσμού και των κυριότερων δραστηριοτήτων (μεγάλες πόλεις, γεωργία, τουρισμός) στα ξηρότερα μέρη της χώρας με αυξημένες απαιτήσεις κατά τις ξηρές περιόδους, προκαλούν τελικά προβλήματα διαθεσιμότητας και κάνουν δύσκολη τη διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα. Έτσι μικρό μέρος από αυτό το δυναμικό είναι οικονομικά και τεχνικά αξιοποιήσιμο, με αποτέλεσμα την ύπαρξη προβλημάτων ανεπάρκειας νερού σε διάφορες περιοχές και για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (Λόντρα, 2014).

Η κατανάλωση του νερού στην Ελλάδα αναλύεται κατά 84% σε αγροτική χρήση, κατά 12% σε αστική, με κύρια μορφή χρήσης την ύδρευση, έπονται η βιομηχανία και η ενέργεια με συνολικό ποσοστό 3% και τέλος σε ποσοστό 1% στην κτηνοτροφία. Η ετήσια κατά κεφαλή κατανάλωση νερού στη χώρα μας είναι περίπου 750 m^3 (κατά 250 m^3 υψηλότερη από το μέσο όρο της ΕΕ).

Η υψηλή αυτή κατανάλωση οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στα υψηλά ποσοστά της άρδευσης, υψηλότερα από τις άλλες ευρωπαϊκές χώρες, γεγονός που οφείλεται πρωτίστως στις υδροκλιματικές συνθήκες της χώρας. Η απόδοση της χρήσης ιδιαίτερα στη γεωργία, είναι χαμηλή. Στο 90% των αρδευόμενων εκτάσεων της χώρας η άρδευση γίνεται με συστήματα & τεχνικές υψηλών απωλειών (μεγαλύτερες του 50%). Η ύδρευση γίνεται γενικά μέσω δικτύων με υψηλά ποσοστά διαρροής, κυρίως λόγω της απουσίας κεντρικών αυτόματων συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης των δικτύων ύδρευσης στις περισσότερες εταιρείες ύδρευσης (με εξαίρεση την ΕΥΔΑΠ και λίγες ακόμα ΔΕΥΑ). Οι ανάγκες σε ύδρευση, για λόγους

συγκέντρωσης πληθυσμού και τουριστικών δραστηριοτήτων, εντοπίζονται στην Αττική, τη Νησιωτική χώρα και αρκετές τουριστικές περιοχές, όπου το υδατικό ισοζύγιο εμφανίζεται έντονα αρνητικό ιδιαίτερα τους θερινούς ξηρούς μήνες με αποτέλεσμα τη δημιουργία προβλημάτων υφαλμύρισης στους υδροφορείς. Επιπλέον, παρατηρείται ευκαιριακή εκμετάλλευση μεμονωμένων υδατικών πόρων και υπερεκμετάλλευση των υπόγειων, ενώ συγχρόνως υπάρχει απουσία μέριμνας για την εξοικονόμηση νερού, ιδιαίτερα στον γεωργικό τομέα (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2013).

Ο συνολικός πληθυσμός του ΥΔ Νήσων Αιγαίου ανέρχεται σε 508.206 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2011), παρουσιάζοντας μικρή μείωση κατά 0,1% από το 2001. Το σύνολο των ετήσιων αναγκών του διαμερίσματος σε νερό το έτος 2008, σύμφωνα με το Υ.ΠΕ.ΚΑ, ανέρχεται στα 125,43 hm³ και οι χρήσεις που σημειώνονται είναι η άρδευση, η ύδρευση, η κτηνοτροφία και η βιομηχανία. Το μεγαλύτερο ποσοστό καταναλώνεται στην άρδευση με ποσοστό 80,20%, ενώ ακολουθεί η ύδρευση με 37,19% και τέλος η κτηνοτροφία με 6,8% και η βιομηχανία με 1,24%.

Τα νησιά του Αιγαίου παρουσιάζουν πρόβλημα λειψυδρίας εδώ και τρεις δεκαετίες, το οποίο εμφανίζεται κυρίως στα μικρότερα νησιά και επεκτείνεται και στα μεγαλύτερα. Το πρόβλημα οφείλεται τόσο σε δυσμενείς υδρολογικούς και υδρογεωλογικούς, όσο και σε κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων παρουσιάζονται:

- Το μικρό μέγεθος των περισσότερων νησιών δεν επιτρέπει την ανάπτυξη εκτεταμένων υπόγειων και επιφανειακών λεκανών, με αποτέλεσμα την ταχεία κίνηση των επιφανειακών νερών προς τη θάλασσα.
- Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι αρκετά χαμηλή, έτσι ώστε η επιφανειακή απορροή και η κατείδυση να είναι μικρές πράγμα που ενισχύεται από τη υψηλή μέση ετήσια θερμοκρασία και ηλιοφάνεια.
- Σε αρκετά νησιά όπου επικρατούν ασβεστολιθικοί σχηματισμοί, οι υδροφόροι που αναπτύσσονται λόγω της μικρής απόστασής τους από τη θάλασσα έχουν υφάλμυρο νερό.
- Η αλλαγή των οικονομιών των νησιών από αγροτικές/κτηνοτροφικές σε οικονομίες παροχής υπηρεσιών (ξενοδοχεία, ενοικιαζόμενα δωμάτια, εστιατόρια, μπαρ, κλπ.) αύξησαν την ζήτηση των υδατικών πόρων.

- Η ολοένα αυξανόμενη παρουσία τουριστών – επισκεπτών στα νησιά, ιδιαίτερα κατά την καλοκαιρινή ξηρή περίοδο, αύξησε την ζήτηση των υδατικών πόρων.

Η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών επομένως έρχεται σε πρώτη προτεραιότητα γιατί πρέπει να καλυφθούν οι υδρευτικές ανάγκες του μόνιμου και του εποχιακού πληθυσμού. Σε δεύτερη προτεραιότητα έρχεται το νερό για την άρδευση και την κάλυψη των κτηνοτροφικών αναγκών αφού στα περισσότερα νησιά (συνήθως τα μικρά) ο πρωτογενής τομέας δεν αποτελεί τον κύριο παράγοντα της οικονομίας τους και στη συνέχεια το νερό για βιομηχανική χρήση η οποία ούτως ή άλλως είναι μικρή στα νησιά.

Το ήδη σημαντικό πρόβλημα λειψυδρίας αναμένεται να οξυνθεί περαιτέρω. Με βάση στοιχεία-εκτιμήσεις Διεθνών Οργανισμών για τις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου για το χρονικό ορίζοντα του 2050 αναμένεται μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης κατά 10-15% με άνοδο της θερμοκρασίας κατά 1,5⁰C.

1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση της αξιοπιστίας συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων μέσω της ανάλυσης αβεβαιότητας που εμπλέκεται στη διαστασιολόγηση αυτών. Για την ανάλυση της αβεβαιότητας κατά τον σχεδιασμό των υδραυλικών έργων, χρησιμοποιούνται στοχαστικά μοντέλα για την παραγωγή χρονοσειρών μεγάλου μήκους υδρολογικών παραμέτρων.

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το νησί της Σύμης- το οποίο υδρεύεται κυρίως από μονάδες αφαλάτωσης, μεταφορά νερού με πλοία από τη Ρόδο και υδατοδεξαμενές- με σκοπό την κάλυψη των αναγκών των κατοίκων σε νερό με ένα σύστημα συλλογής ομβρίων. Έτσι, για την ανάλυση της αβεβαιότητας στη διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών, παρήχθησαν ομοιώματα (συνθετικές χρονοσειρές) ημερήσιας βροχόπτωσης με βάση την διαθέσιμη ιστορική χρονοσειρά ,σύμφωνα με τους Lopes et. al.,2017 μέσω μιας έμμεσης στοχαστικής προσέγγισης. Με την εφαρμογή των συνθετικών χρονοσειρών, σε ένα μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής, έγινε διερεύνηση της αξιοπιστίας ενός τέτοιου συστήματος στο νησί της Σύμης. Εξετάσθηκε ο βαθμός αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών, μη πόσιμου νερού, ενός νοικοκυριού, λαμβάνοντας υπόψη, μεταξύ άλλων παραμέτρων, τον αριθμό των μελών του νοικοκυριού, το ποσοστό χρήσης βρόχινου νερού και την επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων για διάφορους όγκους

ομβροδεξαμενών. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων, πέρα από τα συμπεράσματα για την αξιοπιστία ενός τέτοιου συστήματος, έδειξε και τη χρησιμότητα της στοχαστικής προσομοίωσης στο σχεδιασμό αντίστοιχων έργων.

1.3 Πρωτότυπα σημεία

Δεδομένου, ότι η βροχή είναι ένα φαινόμενο το οποίο έχει σχεδόν μηδενική πιθανότητα να επαναληφθεί με την ίδια κατανομή τα επόμενα χρόνια, με τη χρήση μόνο των ιστορικών δεδομένων θα υπήρχε μεγάλη αβεβαιότητα ως προς την επίδοση του έργου αυτού μελλοντικά. Χρησιμοποιώντας λοιπόν, ένα στοχαστικό μοντέλο για την παραγωγή χρονοσειρών βροχόπτωσης, η αξιοπιστία του συστήματος εξετάστηκε για διαφορετικά βροχομετρικά δεδομένα αναλύοντας έτσι την αβεβαιότητα της διαστασιολόγησης. Διερευνήθηκε επίσης η καταλληλότητα της διπαραμετρικής κατανομής Gamma και των μεθόδων εκτίμησης των παραμέτρων της για την εκτίμηση των ποσοτήτων βροχόπτωσης των υγρών ημερών κατά τη γένεση των συνθετικών χρονοσειρών.

1.4 Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια τα οποία είναι τα εξής:

- Κεφάλαιο 1: αποτελεί την εισαγωγή και αφορά το παρόν κεφάλαιο.
- Κεφάλαιο 2: : γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης, ο λόγος που επιλέχθηκε και γίνεται αναλυτική παράθεση στοιχείων για το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον της.
- Κεφάλαιο 3: .γίνεται αναφορά στην έννοια της αβεβαιότητας και στην αναγκαιότητα ανάλυσης της, καθώς και στα εργαλεία που χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό και δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη συλλογή ομβρίων.
- Κεφάλαιο 4: πραγματοποιείται ανάπτυξη της μεθοδολογίας της διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών και ο τρόπος παραγωγής των ημερήσιων συνθετικών χρονοσειρών.
- Κεφάλαιο 5: παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης των ομβροδεξαμενών για όλες τις χρονοσειρές που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και για χαρακτηριστικές τιμές.

- Κεφάλαιο 6: συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και προτείνονται θέματα για μελλοντική έρευνα.

2 Περιοχή Έρευνας

2.1 Επιλογή Περιοχής

Η Σύμη ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (ΥΔ14) και είναι ένα από τα πολλά άνυδρα νησιά του Αιγαίου. Δεδομένης της έλλειψης άλλων υδατικών πόρων στο νησί (ποτάμια, λίμνες κλπ.) για ύδρευση, πέραν των γεωτρήσεων των δεξαμενών και των μονάδων αφαλάτωσης, κρίνεται ενδιαφέρουσα η ανάλυση της χρησιμότητας και της αναγκαιότητας ύπαρξης και χρήσης δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων.



Σχήμα 2.1 Σύμπλεγμα Δωδεκανήσων (Πηγή: notioaigaiο.gr)

Η Σύμη γεωγραφικά και διοικητικά ανήκει στην Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου και τον πρώην νομό Δωδεκανήσου. Είναι νησί της περιφερειακής ενότητας Ρόδου και βρίσκεται βορειοδυτικά της Ρόδου. Από τη Ρόδο, το κοντινότερο νησί των Δωδεκανήσων και του Αιγαίου Πελάγους απέχει 26 N.M. και από τον Πειραιά 230 N.M. Το νησί της Σύμης είναι το όγδοο σε μέγεθος νησί της Δωδεκανήσου και η έκτασή της εκτιμάται στα 57,86 km², το συνολικό μήκος των ακτών της στα 88 km και το μέγιστο υψόμετρο στα 617 m. Οι μικρές νησίδες που βρίσκονται γύρω από τη Σύμη είναι το Γιαλεσίνο, οι Διαβάτες, ο Κουλούνδρος, ο Μαρμαράς, ο Νίμος, το Σεσκλί και ο Χόνδρος. Επιπλέον, εντοπίζονται οι νησίδες Πλατί, Οχειά, Καραβαλονήσι και Μεγαλονήσι οι οποίες δεν είναι καταγεγραμμένες στους πίνακες της ΕΛ.ΣΤΑΤ. για την εθνική απογραφή. Ειδικότερα, οι μεγαλύτερες από αυτές είναι ο Νίμος

που βρίσκεται στα βορειοδυτικά και το Σεσκλί στα νοτιοανατολικά. Στα βορειοδυτικά σε εγγύτητα με το Νίμο βρίσκονται οι νησίδες Χόνδρος και Πλατή, ενώ σε εγγύτητα με τη νησίδα Σεσκλί, στο νότιο θαλάσσιο χώρο της εντοπίζεται η νησίδα Κουλουνδρός. Οι υπόλοιπες νησίδες βρίσκονται στο νοτιοδυτικό θαλάσσιο χώρο της Σύμης.



Σχήμα 2.2 Νήσος Σύμη (Πηγή Google Earth)

2.2 Φυσικό Περιβάλλον

Γεωλογία και Μορφολογία της Περιοχής

Η Σύμη είναι ένα ορεινό νησί με το μεγαλύτερο του μέρος να καταλαμβάνεται από βραχώδεις και άγονες εκτάσεις. Έχει μήκος περίπου στα 10 χλμ, ενώ λόγω του ιδιόμορφου σχήματος έχει μέγιστο πλάτος περίπου 9,3 χλμ και ελάχιστο πλάτος περίπου 1,3 χλμ. Η υψηλότερη κορυφή του νησιού είναι η Βίγλα στα 550 μ., ορεινός όγκος που νοητά χωρίζει το νησί σε δύο

τμήματα. Το βόρειο τμήμα του νησιού έχει πιο ήπιες κλίσεις με αποτέλεσμα να καθίσταται καλλιεργήσιμο. Στο σύνολο της έκτασης του νησιού αναπτύσσονται μικρά οροπέδια ανάμεσα στα οποία σχηματίζονται οι κοιλάδες Παναϊδακία, Νιμπορειού και Πέδι η οποία αποτελεί και την κύρια καλλιεργήσιμη ζώνη.

Στα 88 χλμ της ακτογραμμής της σχηματίζονται πλήθος κόλπων, όρμων και ακρωτηρίων γεγονός που οφείλεται στον πλούσιο θαλάσσιο διαμελισμό του. Οι ακτές του νησιού είναι βραχώδεις με απόκρημνες πλαγιές, ενώ μικρές παραλίες υπάρχουν σε ορισμένους όρμους, στις θέσεις Μαραθούντα, Πανορμίτη, Νάνου, Πέδι και Λάπαθος.

Χλωρίδα-Πανίδα-Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις-Χρήσεις Γης

Η χλωρίδα της Σύμης περιλαμβάνει κυρίως αγροτικές καλλιέργειες στην κοιλάδα στο Πέδι, ενώ τα ορεινά και ημιορεινά καταλαμβάνονται από φρυγανικά οικοσυστήματα και δασικές εκτάσεις. Ο φυσικός πλούτος του νησιού έχει μεσογειακά χαρακτηριστικά με την αγριελιά και τα ψηλά κωνοφόρα δέντρα να κυριαρχούν στους δασικούς ορεινούς και ημιορεινούς όγκους. Κύριο χαρακτηριστικό της βλάστησης του νησιού και η οποία καταλαμβάνει και το μεγαλύτερο του μέρος είναι οι θάμνοι και οι συστάδες από σκίνους, ενώ δεν απουσιάζουν και άλλα είδη μακίας βλάστησης. Πρέπει να σημειωθεί, όμως, ότι η βλάστηση του νησιού κατά τα τελευταία έτη έχει υποστεί σημαντική ζημιά από την υπερβόσκηση. (ΥΠΕΚΑ, 2013).

Σύμφωνα με τις χρήσεις γης που έχουν καταγραφεί από το πρόγραμμα Corine που οργανώνεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για το συντονισμό των πληροφοριών του περιβάλλοντος διαπιστώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης του νησιού καλύπτεται από βοσκοτόπους με ποσοστά κάλυψης 44%. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις του νησιού είναι λιγότες και καταλαμβάνουν μόλις το 7,5% περίπου της έκτασής του. Αμιγείς δασικές εκτάσεις και ειδικότερα εκτάσεις κωνοφόρων σε συνδυασμό με τις μεταβατικές δασικές εκτάσεις συναντώνται στο κεντρικό και νότιο τμήμα του νησιού και αποτελούν το 17% περίπου. Η υπόλοιπη έκταση, με εξαίρεση αυτή που καταλαμβάνεται από οικιστική ανάπτυξη, καλύπτεται από χαμηλή βλάστηση στην οποία απαντώνται μεσογειακά είδη. Η κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης αφορά στο σύνολο των εκτάσεων που ανήκουν στο δήμο Σύμης, συμπεριλαμβανομένου και των μικρών νησιών και βραχονησίδων.

Πίνακας 2.1 Χρήσεις γης(Πηγή Corine 2000)

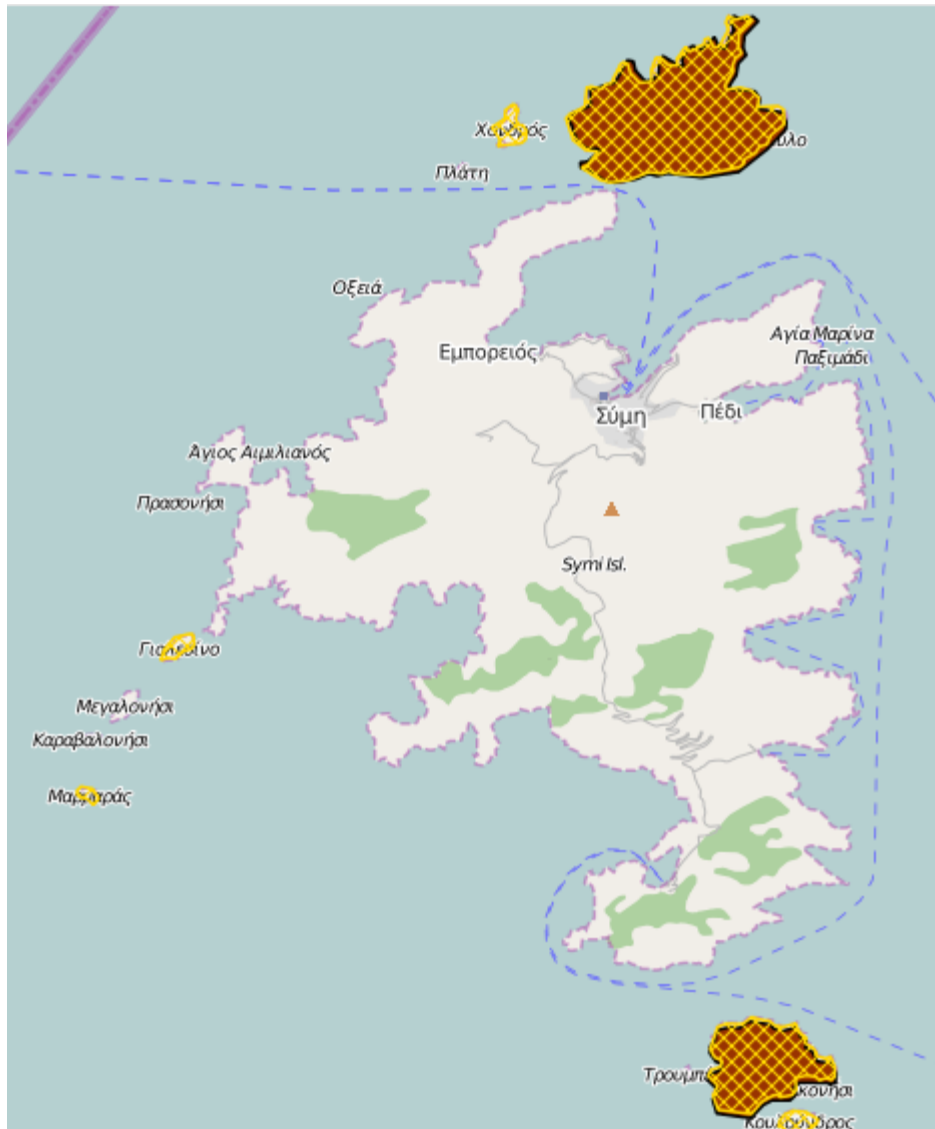
Κωδικός Corine	Χρήση γης	Έκταση (km ²)	Ποσοστό επί της έκτασης (%)
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	0.6	0.95
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	1.0	1.60
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία μεσημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	4.0	6.26
312	Δάσος κωνοφόρων	6.9	10.66
321	Φυσικοί βοσκότοποι	28,3	43,58
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	6.5	9.98
324	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	5,0	7,69
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	12.5	19.28
Σύνολο		65,1	100

Στη Σύμη και τις νησίδες της συναντώνται καταφύγια άγριας ζωής τα οποία είναι:

- Νησίδες Σέσκλι-και Νιμός Σύμης, 6500 στρ., ΦΕΚ 706/Β/24-9-82

- Νησίδες Χόνδρος, Μαρμαράς, Γιαλεσίνο, Κουλούνδρος και Γιαλεσίνο, ΦΕΚ 1149/Β/4-9-02

Η ίδρυση καταφύγιων άγριας ζωής και η διαχείριση των περιοχών αυτών εξασφαλίζει τις απαραίτητες συνθήκες για την προστασία συγκεκριμένων ειδών και βιοκοινοτήτων που απαιτούν ανθρώπινη επέμβαση για τη διαίωσή τους. Ως τέτοιο καταφύγιο ορίζεται μια συγκεκριμένη και απαγορευμένη περιοχή για το κυνήγι στην οποία επικρατούν ευνοϊκές οικολογικές συνθήκες για τη διαβίωση και την αναπαραγωγή των θηραματικών ειδών.

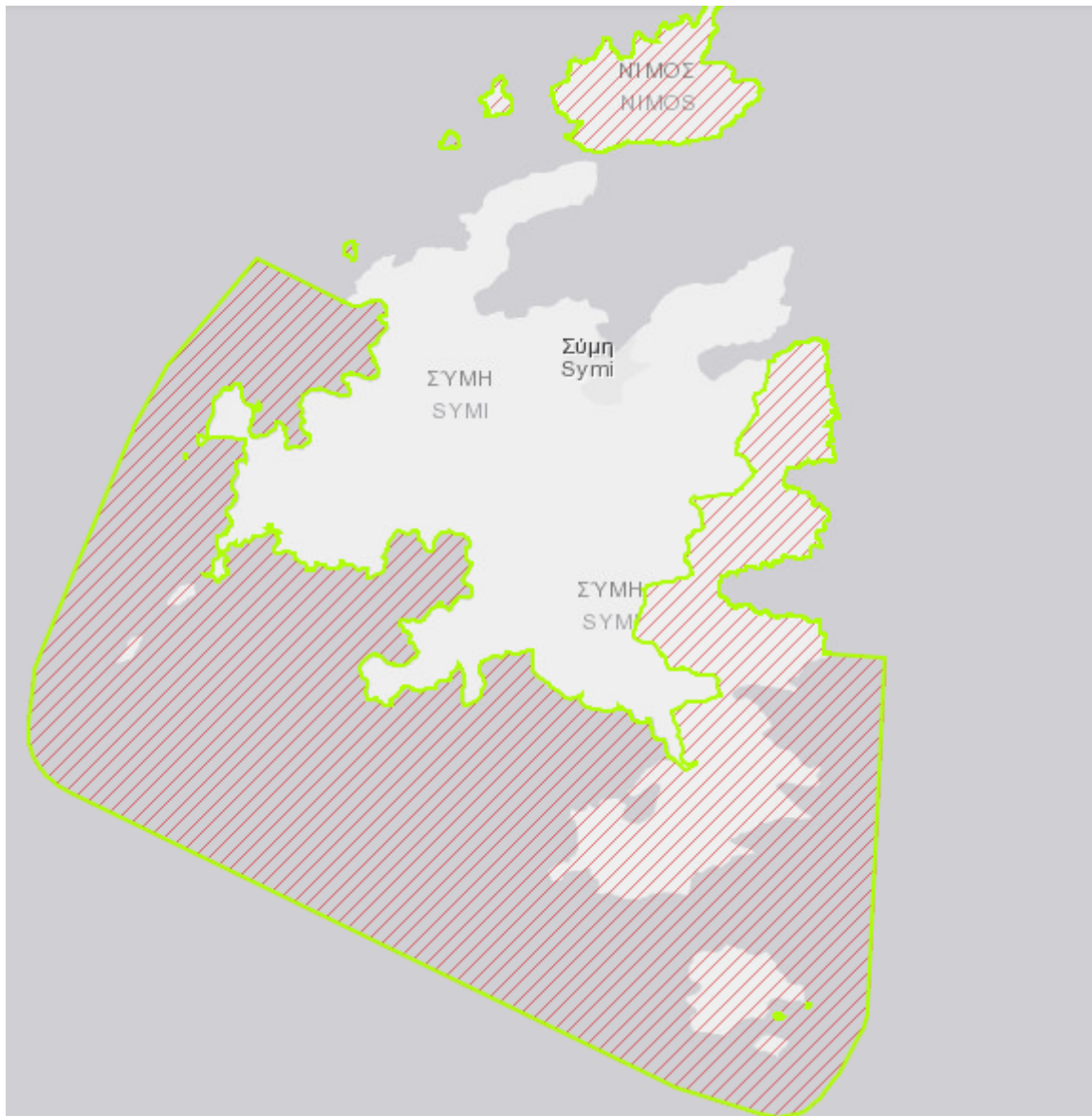


Σχήμα 2.3 Καταφύγια άγριας ζωής (Πηγή geodata.gov.gr)

Προστατευόμενες Περιοχές

Περιοχές Δικτύου Natura 2000

Το Δίκτυο Natura 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Στο Δίκτυο Natura 2000 ανήκει μία ευρύτερη περιοχή στην οποία περιλαμβάνονται εκτάσεις του ανατολικού τμήματος του νησιού της Σύμης καθώς και οι νησίδες γύρω από αυτό. Συγκεκριμένα η περιοχή χαρακτηρίζεται ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας της Οрниθοπανίδας και έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Κωδικός GR4210025: Ανατολικό τμήμα νήσου Σύμης και νησίδες Κούλουνδρος, Σεσκλί, Τρουμπέτο, Μαρμαράς, Καραβαλονήσι, Μεγαλονήσι, Γιαλέσινο, Οξειά, Χονδρός, Πλατύ, Νίμος, συνολικής έκτασης 23.031 στρ)



Σχήμα 2.4 Περιοχή Natura 2000 (Πηγή: natura2000.eu)

Περιοχές IBA

Σε ολόκληρη την έκταση του νησιού καταγράφεται μία σημαντική περιοχή για τα πουλιά η οποία περιλαμβάνει όλη την έκταση του νησιού και τις μικρές νησίδες που το περιβάλλουν. Η περιοχή αυτή ορίζεται ως:

- gr169: Νήσος Σύμη και γειτονικές νησίδες

Περιοχές Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους

Σύμφωνα με το ν. 1468/50 ορίζονται τα Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους. Ως τέτοια προστατευόμενα τοπία χαρακτηρίζονται περιοχές μεγάλης αισθητικής ή πολιτιστικής αξίας και εκτάσεις που είναι ιδιαίτερα πρόσφορες για αναψυχή του κοινού ή συμβάλλουν στην

προστασία ή αποδοτικότητα των φυσικών πόρων λόγω των ιδιαίτερων φυσικών ή ανθρωπογενών γνωρισμάτων τους. Η Σύμη αποτελεί ολόκληρη ένα Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους με κωδικό:

- ΑΤ5011035: Νήσος Σύμη, έκτασης 57.998,7στρ.

Ως περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους έχουν αναγνωριστεί οι νησίδες Σεσκλιό, Χόνδρος, Μαρμαράς, Κουλουνδρός και Γιαλεσινό σύμφωνα με υπουργική απόφαση αριθ. ΔΠΑ/9387 που δημοσιεύεται στο ΦΕΚ 1176/Β/22-9-2000 και η νησίδα Διαβάτες στα νοτιοδυτικά της Σύμης σε εγγύτητα, σύμφωνα με υπουργική απόφαση αριθ. ΔΠΑ/9914 που δημοσιεύεται στο ΦΕΚ 1323/Β/1-11-2000. Στις νησίδες επιτρέπεται μόνον η άσκηση των παραδοσιακών ασχολιών αγροτικού χαρακτήρα, η επισκευή και αποκατάσταση τυχόν υφιστάμενων κτισμάτων και υποδομών και η κατασκευή κτισμάτων προσαρμοσμένων στο περιβάλλον για την εξυπηρέτηση των αναγκών εθνικής άμυνας, φαροφύλαξης, αρχαιολογίας, επιστημονικής έρευνας και για λόγους προστασίας και διαχείρισης του φυσικού περιβάλλοντος μετά από σύμφωνη γνώμη της αρμόδιας ΕΠΑΕ.

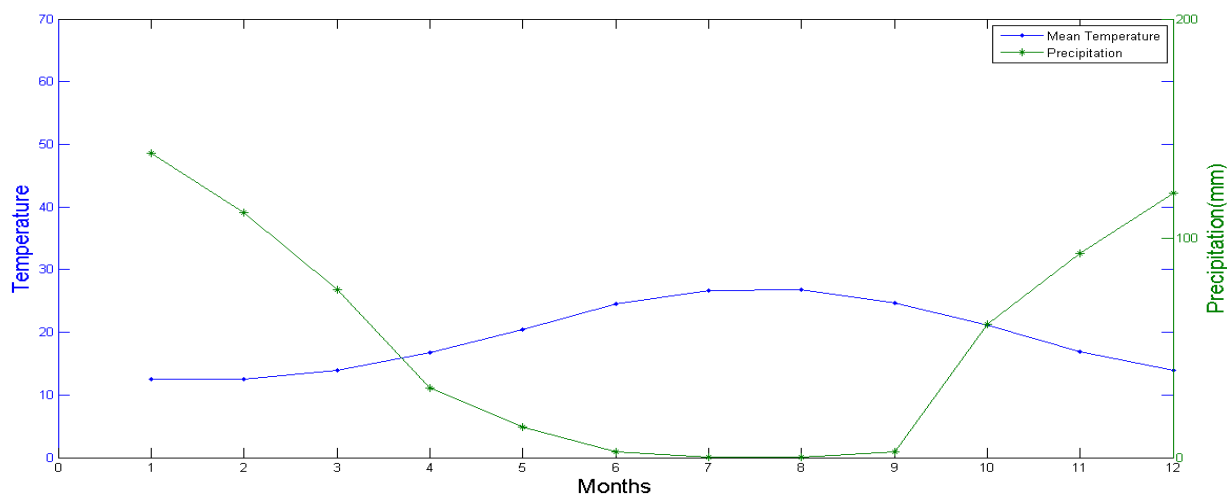
Μετεωρολογικά και Κλιματολογικά Στοιχεία

Στην Σύμη δεν υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός και τα παρακάτω δεδομένα είναι από τον μετεωρολογικό σταθμό της Ρόδου (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) και αφορά την χρονική περίοδο 1955-2013. Η μέση ετήσια θερμοκρασία που καταγράφεται στον προαναφερθέντα μετεωρολογικό σταθμό ανέρχεται στους 19,27 °C, ενώ οι μέσες μηνιαίες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 12,18°C (Ιανουάριος) και 27,24 °C (Αύγουστος). Η μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία αέρα 9,18°C, καταγράφεται το μήνα Φεβρουάριο, ενώ η μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία καταγράφεται τον Αύγουστο και ανέρχεται σε 30,65 °C. Όσον αφορά τις απόλυτες ελάχιστες και μέγιστες τιμές, η ελάχιστη καταγράφεται τον Ιανουάριο και η τιμή της ανέρχεται στους -4,00°C, και η μέγιστη τον Αύγουστο όπου ο υδράργυρος ανέρχεται μέχρι και τους 40 °C.

Επίσης, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 2.2 οι μήνες που εμφανίζουν τη μέση ένταση ανέμου είναι οι καλοκαιρινοί μήνες και ειδικά ο Ιούλιος με επικρατέστερη διεύθυνση τη Δυτική. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία, για την ευρύτερη περιοχή της Ρόδου, ανέρχεται σε 66,24%. Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής.

Πίνακας 2.2 Κλιματολογικά μηνιαία χαρακτηριστικά(Πηγή ΕΜΥ)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	12.18	12.29	13.92	16.76	20.68	24.86	27.02	27.24	24.83	21.03	16.8	13.7
Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία	15.11	15.23	16.94	19.96	24.11	28.26	30.41	30.65	28.16	24.48	20.15	16.68
Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία	9.27	9.18	10.54	13	16.31	20.4	22.74	23.23	21.06	17.45	13.64	10.83
Απολύτως Μέγιστη Θερμοκρασία	22.0	22.0	27.6	30.6	34.8	37.4	40	42	36.6	33.2	28.4	22.8
Απολύτως Ελάχιστη Θερμοκρασία	-4.00	-2.20	0.20	5.20	5.00	12.60	14.60	17.00	10.20	7.20	2.40	1.20
Μέση Σχετική Υγρασία (%)	70.52	69.56	69.44	67.41	65.67	59.23	58.46	60.81	62.16	67.69	71.42	72.55
Μέση μηνιαία διεύθυνση ανέμων	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Μέση Ένταση ανέμου σε κόμβους	7.31	8.24	8.4	8.56	8.36	10.26	11.52	11.21	9.54	6.61	5.96	6.89



Σχήμα 2.5 Ομβροθερμικό διάγραμμα

Υδρογεωλογία

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες στη Σύμη δεν προσφέρονται για το σχηματισμό και την εκμετάλλευση υπόγειων υδροφόρων οριζόντων, γιατί η καρστικότητα των ασβεστόλιθων που κυριαρχούν στη γεωλογική δομή του νησιού (οι ασβεστόλιθοι αποτελούν το 90% της

επιφάνειας του νησιού και το υπόλοιπο 10% είναι φλύσχης) και η έλλειψη στεγανού υποβάθρου, ευνοούν τη δημιουργία μεγάλου δικτύου υπόγειων καρστικών αγωγών και την αποστράγγιση των νερών της βροχής στην επιφάνεια της θάλασσας, γι' αυτό και οι υδροφόροι καρστικοί ορίζοντες είναι υφάλμυροι. Η εκφόρτισή τους γίνεται με παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές, μεγάλης, συνήθως, παροχής. Είναι αισθητή η απουσία πηγών γλυκού νερού σε όλο το νησί.

Τα εδάφη του νησιού είναι, ως επί το πλείστον, σκελετικά, αβαθή, διαμορφωμένα κατά θέσεις σε αναβαθμίδες, υποβασταζόμενα από ξηρολιθιές, πλην των περιοχών που έχουν αναπτυχθεί σε κλειστές λεκάνες και δεν έχουν ανάγκη υποστήριξης (Πέδι κλπ)

Τα κεντρικότερα ρέματα συγκεντρώνονται στο κεντρικό τμήμα του νησιού όπου αναπτύσσεται πυκνή και δασώδης βλάστηση, ενώ ρέμα βρίσκεται σε εγγύτητα με τον οικισμό Πέδι, στα ανατολικά του και εντός του βορειοδυτικού τμήματος του Εμπορείου. Η εγγύτητα αυτών των οικισμών με τους υδατικούς αυτούς πόρους αποτελεί σημαντικό παράγοντα της διαμόρφωσης της οικιστικής τους ανάπτυξης.

2.3 Ανθρωπογενές Περιβάλλον

Πληθυσμιακά και Δημογραφικά Στοιχεία

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. για τις τελευταίες εθνικές απογραφές προκύπτει ότι το νησί της Σύμης εμφανίζει σημαντική αύξηση του πληθυσμού του στο διάστημα μιας δεκαετίας.

Πίνακας 2.3 Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά(Πηγή ΕΛ.ΣΤΑΤ)

Περιοχή	Πληθυσμός 2011	Πληθυσ- μός 2001	Πληθυσ- μός 1991	Εκταση(κ m ²)	Πληθυσμιακή μετ αβολή%	Πυκνότητα κατοίκησης(res./km ²)
ΔΗΜΟΣ ΣΥ- ΜΗΣ	3.070	2.606	2.332	65,754	11.75	39.63
Δ.Δ. Σύμης	3.070	2.606	2.332	65,754	11.75	39.63

Σύμφωνα με στοιχεία των απογραφών πληθυσμού ανά οικισμό της ΕΛ.ΣΤΑΤ. από το 1947 έως και το 2001 είναι δυνατόν να παρατηρηθεί η εξέλιξη του πληθυσμού του νησιού, να εντοπιστούν οι φθίνουσες περιοχές και να αναδειχτούν οι νέες. Τα στοιχεία παρουσιάζονται ανά οικισμό, ενώ στην πρώτη γραμμή διακρίνεται η εξέλιξη του συνολικού πληθυσμού του νησιού.

Από τον πίνακα παρατηρείται ότι ο πληθυσμός του νησιού ακολουθεί φθίνουσα πορεία μέχρι και την απογραφή του 1991, ενώ αύξηση σημειώνει για πρώτη φορά στις τελευταίες δεκαετίες στην απογραφή που διενεργείται το Μάρτιο του 2001. Την πορεία του πληθυσμού του συνόλου του νησιού ακολουθεί και ο οικισμός Σύμη, που αποτελεί το μεγαλύτερο του νησιού. Στην απογραφή του 2001, φαίνεται, επιπλέον, να κατοικούνται ορισμένες νέες περιοχές του νησιού, χωρίς όμως να μπορούν να χαρακτηριστούν ως οικισμοί. Οι περιοχές αυτές είναι το Ξίσος, ο Ρουκουνιώτης και το Συκίδι. Αντίθετα, για πρώτη φορά δεν απογράφεται πληθυσμός στον οικισμό της Μαραθούνας και σύμφωνα με την πληθυσμιακή του εξέλιξη καθ'όλες τις απογραφές φαίνεται να εγκαταλείπεται. Από τις μικρότερες νησίδες της Σύμης, κατοικημένη από το 1947 ήταν το Σεσκλί το οποίο εγκαταλείπεται μετά την απογραφή του 1971 και η νησίδα Νίμος η οποία φαίνεται να έχει μόνιμους κατοίκους μόνο κατά την απογραφή του 1971.

Πίνακας 2.4 Πληθυσμιακή εξέλιξη νήσου Σύμης (Πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015)

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	1947	1961	1971	1981	1991	2001	2011
Δήμοι, Δημοτικές Ενότητες & Οικισμοί							
Ν. Σύμη	4.087	3.126	2.497	2.273	2.332	2.606	3.070
Σύμη, η	3753	2.982	2.344	2165	2.225	2427	2.831
Γιαλεσίνο, το (νησίς)					0	0	0
Διαβάτες, οι (νησίς)					0	0	0
Εμπορείός, ο	28		22	5	3	9	17
Κουλούνδρος, ο (νησίς)					0	0	0
Μαραθούνα, η	12	24	19	7	2	0	0
Μαρμαράς, ο (νησίς)					0	0	0
Νίμος, η (νησίς)			6	0	0	0	0
Ξίσος, το	-				0	4	14
Πανορμίτης, ο	57	19	31	36	29	42	26
Πέδιον, το	230	98	73	60	73	120	105

Ρουκουινιώτης, ο					0	3	74
Σεσκλίον, το(νησίς)	7	3	2	0	0	0	0
Συκίδι, το					0	1	1
Χονδρός, ο(νησίς)					0	0	0

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι όλοι οι οικισμοί του δήμου Σύμης, εκτός από την πρωτεύουσα του νησιού, τον οικισμό Σύμη, είναι οικισμοί κάτω των 2.000.

Παραγωγικές Δραστηριότητες-Νοικοκυριά-Εποχιακός Πληθυσμός Οικονομικές Δραστηριότητες

Η ανάλυση της οικονομικής δραστηριότητας είναι εξίσου σημαντική με την πληθυσμιακή εξέλιξη καθώς μέσω αυτής μπορούν να διεξαχθούν συμπεράσματα για την πορεία και τις προοπτικές του νησιού. Επιπλέον, με αυτό τον τρόπο δίδεται μια εικόνα σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξης του νησιού και τις συνθήκες των κατοίκων. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα στοιχεία εκείνα που αφορούν τον οικονομικώς ενεργό πληθυσμό καθώς και το ποσοστό ανεργίας αυτών, τόσο σε επίπεδο χώρας, όσο νομού, περιφέρειας και νησιού.

Πίνακας 2.5 Απασχολούμενοι και ποσοστό ανεργίας(Πηγή:ΕΛ.ΣΤΑΤ,2011)

Περιοχή αναφοράς	Οικονομικώς ενεργοί			
	Σύνολο	Απασχολούμενοι	Άνεργοι	Ποσοστό ανεργίας
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	4.621.848	4.108.083	513.765	11,12%
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	128.715	109.587	19.128	14,86%
ΝΟΜΟΣ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	82.541	67.933	14.608	17,70%
ΔΗΜΟΣ ΣΥΜΗΣ	819	662	157	19,17%

Η Σύμη είναι ένα μικρό νησί με 2.606 κατοίκους (2001) εκ των οποίων μόλις οι 819 είναι οικονομικά ενεργοί. Σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2001 οι άνεργοι του νησιού ήταν 157, γεγονός που σημαίνει ότι το ποσοστό ανεργίας ανέρχεται περίπου σε 19%. Σύμφωνα με τα στοιχεία για το νομό και την περιφέρεια διαπιστώνεται ότι η Σύμη έχει ιδιαίτερα αυξημένο ποσοστό ανεργίας, παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την πληθυσμιακή εξέλιξη του νησιού.

Εξειδικεύοντας, τα στοιχεία που αφορούν τον οικονομικά ενεργό πληθυσμό ανά παραγωγικό τομέα, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας από τον οποίο διαπιστώνεται ότι η οικονομία του

νησιού στηρίζεται κυρίως στον τριτογενή τομέα, με σημαντική συμμετοχή του δευτερογενή και μικρή παρουσία του πρωτογενή. Το γεγονός αυτό οφείλεται αφενός στην ιδιαίτερη τουριστική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής των Δωδεκανήσων η οποία οδηγεί σε τριτογενοποίηση της παραγωγής και αφετέρου στις εκτεταμένες άγονες εκτάσεις οι οποίες περιορίζουν την αγροτική παραγωγή.

Πίνακας 2.6 Οικονομικώς ενεργός πληθυσμός (Πηγή:ΕΛ.ΣΤΑΤ.,2011)

Περιοχή αναφοράς	Οικονομικώς ενεργοί							Οικονομικώς μη ενεργοί
	Σύνολο	Απασχολούμενοι					Άνεργο	
		Σύνολο	Πρωτογενής Τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας	Δεδήλωσαν κλάδο οικονομικής δραστηριότητας	Σύνολο	
ΝΟΜΟΣ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	82.541	67.933	4.329	12.532	47.236	3.836	14.608	84.525
ΔΗΜΟΣ ΣΥΜΗΣ	819	662	65	151	390	56	157	1.507
Δ.Δ.Σύμης	819	662	65	151	390	56	157	1.507

Μέγεθος Νοικοκυριών

Σύμφωνα με την απογραφή που πραγματοποιήθηκε από την ΕΛΣΤΑΤ το 2011 (Πίνακας), το σύνολο των νοικοκυριών της Σύμης είναι 1009 με συνολικό αριθμό μελών 2458. Αναλυτικότερα, τα νοικοκυριά με δύο μέλη καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό με 31.12 %, ενώ έπονται τα μονομελή με ποσοστό 28.34 % και τα τετραμελή με 17.24 %. Τα τριμελή νοικοκυριά κατέχουν το 17.05 %, ενώ τα νοικοκυριά με πέντε μέλη το 4.76 %. Τέλος τα νοικοκυριά με συνολικό αριθμό μελών άνω των έξι ατόμων κατέχουν ποσοστό της τάξης του 1.49 %. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.7

Πίνακας 2.7 Απογραφή Πληθυσμού-Κατοίκων 2011, Νοικοκυριά και μέλη αυτών (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ,2011)

ΔΗΜΟΣ ΣΥΜΗΣ	Νοικοκυριά	Ποσοστό	Μέλη	Ποσοστό
Σύνολο	1.009	100%	2.458	100%
1 μέλος	286	31.12%	286	11.64%

2 μέλη	314	28.34%	628	25.55%
3 >>	172	17.05%	516	20.99%
4 >>	174	17.24%	696	28.32%
5 >>	48	4.76%	240	9.76%
6 μέλη και άνω	15	1.49%	92	3.74%

Τα στοιχεία που προέκυψαν από την πιο πρόσφατη απογραφή πληθυσμού και κατοικιών της ΕΛΣΤΑΤ το 2011, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.8. Οι επιφάνειες των κατοικιών που συναντώνται πιο συχνά βρίσκονται στο διάστημα μεταξύ 40-60 m². Μεγάλος αριθμός κατοικιών αντιστοιχεί επίσης στο διάστημα μεταξύ 60-70 m².

Πίνακας 2.8 Κανονικές κατοικίες κατά επιφάνεια (m²) ((Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011))

	ΣΥΝΟΛΟ	Επιφάνεια (m ²)									
		Κάτω από 40	40 - 49	50 - 59	60 - 69	70 - 79	80 - 89	90 - 99	100 - 109	110 - 119	120+
ΔΗΜΟΣ ΣΥΜΗΣ	2.171	245	361	361	344	233	217	140	122	29	119

Εποχιακός Πληθυσμός-Τουρισμός

Η τουριστική υποδομή είναι αναπτυγμένη κυρίως στο Γυαλό όπου βρίσκονται τα περισσότερα τουριστικά καταλύματα (ξενοδοχεία, ξενώνες, ενοικιαζόμενα δωμάτια κ.λπ.), ταβέρνες και άλλα καταστήματα που εξυπηρετούν τους τουρίστες. Στη Σύμη δεν υπάρχουν μεγάλα συγκροτήματα, αλλά μικρά ξενοδοχεία με δωμάτια ή και ολόκληρα σπίτια προς

ενοικίαση. Τουριστικά καταλύματα υπάρχουν επίσης στο Πέδι, στον Νημπορίο και στο Χωριό. Επίσης η Μονή του Πανορμίτη φιλοξενεί τα καλοκαίρια στα κελιά της μεγάλο αριθμό παραθεριστών. Στον Πίνακα 2.9 φαίνεται η υπάρχουσα υποδομή διανυκτέρευσης επισκεπτών.

Πίνακας 2.9 Σύνολο καταλυμάτων και κλινών(Πηγή ΣΕΤΕ)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΔΩΜΑΤΙΑ	ΚΛΙΝΕΣ
ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ	15	248	482
ΛΟΙΠΑ ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΑ	77	274	566
ΣΥΝΟΛΟ	92	522	1.048

Στοιχειώδεις υποδομές για να δέσουν ιδιωτικά σκάφη υπάρχουν στο Γυαλό, στον Νημπορειό, στο Πέδι, στον Πανορμίτη και στον Άγιο Αμιλιανό.Στον πίνακα 2.10 καταγράφεται η διακίνηση επιβατών στα λιμάνια Γυαλού και Πανορμίτη της Σύμης για τα έτη 2011 και 2012 με Επιβατηγά-Οχηματαγωγά-Καταμαράν και Κρουαζιερόπλοια.Παρατηρούμε πως ενώ έχει αυξηθεί το 2012 πάνω από 240% η διακίνηση των επιβιβαζόμενων και αποβιβαζόμενων στο λιμάνι του Πανορμίτη, στο λιμάνι του Γυαλού παρατηρείται μείωση κατά 4,2% στους αποβιβαζόμενους, 16% στους επιβιβαζόμενους και 19,5% στους επιβάτες κρουαζιερόπλοιων το ίδιο έτος. Το καλοκαίρι ο πληθυσμός της Σύμης σχεδόν τριπλασιάζεται και διαμορφώνεται στις 10.379 (πηγή ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2011).

Πίνακας 2.10 Διακίνηση επιβατών στα Λιμάνια της Σύμης(Πηγή Υπολιμεναρχείο Σύμης)

ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΕΠΙΒΑΤΩΝ/ ΛΙΜΑΝΙ	ΕΤΟΣ 2011			ΕΤΟΣ 2012		
	ΓΥΑΛΟΣ	ΠΑΝΟΡΜΙΤΗΣ	ΣΥΝΟΛΟ	ΓΥΑΛΟΣ	ΠΑΝΟΡΜΙΤΗΣ	ΣΥΝΟΛΟ
ΑΠΟΒΙΒΑΖΟΜΕΝΟΙ	111.683	17.497	129.180	107.022	60.043	167.065
ΕΠΙΒΙΒΑΖΟΜΕΝΟΙ	127.077	14.614	141.691	106.524	59.270	165.794
ΕΠΙΒΑΤΕΣ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ	9.336		9.336	7.521		7.521

2.4 Ύδρευση στη Σύμη σήμερα

Το νησί καταλαμβάνει μικρή έκταση με αποτέλεσμα να μην ευνοείται η ανάπτυξη μεγάλων υδρολογικών λεκανών σε αυτό. Η κίνηση του νερού προς τη θάλασσα γίνεται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα την αδυναμία τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων. Η υψηλή μέση ετήσια θερμοκρασία και ηλιοφάνεια ενισχύουν την εξάτμιση του νερού.

Η κάλυψη των αναγκών της Σύμης σε νερό γίνεται από τις εξής πηγές:

Με μεταφορά νερού μέσω υδροφόρων πλοίων από τον Κάλαθο της Ρόδου καθώς το νησί συγκαταλέγεται στο πρόγραμμα των 12 μικρών άνυδρων νησιών του Υ.ΠΕ.ΚΑ. Στον Πίνακα 2.11 παρουσιάζονται οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού ανά έτος από το 2010 έως το 2014 σύμφωνα με στοιχεία της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής. Ενδεικτικά για το έτος 2012 το χρηματοοικονομικό κόστος για τη μεταφορά ανήλθε στα 1.492.637 €.

Πίνακας 2.11 Μεταφερόμενες ποσότητες νερού ανά έτος (Πηγή *ypai.gr*)

Έτος	Μεταφερόμενες Ποσότητες (m ³ /έτος)
2010	40.771
2011	31.979
2012	20.539
2013	8.512
2014	17.175

Από όμβρια νερά που συγκεντρώνονται σε στέρνες. Σχεδόν όλα τα παλιά σπίτια διαθέτουν στέρνα. Επίσης από την πηγή Βρυσί όπου το νερό συγκεντρώνεται σε υδατοδεξαμενές. Πιο συγκεκριμένα λειτουργούν οι εξής. Δύο δεξαμενές χωρητικότητας 2000 m³, μία χωρητικότητας 1500 m³, μία 600 m³, δύο 2000 m³ και δύο 4800 m³

Στή Σύμη λειτουργούν επίσης τρεις μονάδες αφαλάτωσης με δυναμικότητα 800 m³/ημέρα η κάθε μία και το νερό προορίζεται για κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση. (Προσωπική επικοινωνία με τεχνική υπηρεσία του δήμου)..

Στο νησί υπάρχουν επίσης αρκετές ιδιωτικές γεωτρήσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται για την κάλυψη κυρίως των αρδευτικών αναγκών των γεωργικών εκτάσεων. Η συνολική ετήσια παραγωγή του αρδευτικού νερού μέσω αυτών εκτιμάται στα 12.0000 m³ για το έτος 2012 με χρηματοοικονομικό κόστος 3600 € . Δημοτικές γεωτρήσεις δεν υπάρχουν στη Σύμη.

3 Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών και αβεβαιότητα

3.1 Συλλογή ομβρίων υδάτων

Γενικά

Η Συλλογή Όμβριων Υδάτων (Rain Water Harvest – RWH) είναι ένας όρος ο οποίος περιγράφει τις ποικίλες τεχνικές για την εκμετάλλευση των βροχοπτώσεων. Σε πολλές χώρες του κόσμου όπως και στην Ελλάδα, παρουσιάζεται το πρόβλημα της ανεπάρκειας υδατικών πόρων. Το πρόβλημα δεν αφορά μόνο τη συνολική και πεπερασμένη ποσότητα γλυκού νερού, αλλά κυρίως στη γεωγραφική και εποχιακή κατανομή και διαθεσιμότητά του, ιδιαίτερα σε σχέση με τις τοπικές ανάγκες και χρήσεις του. Οι υδατικοί πόροι είναι άνισα κατανομημένοι στο χώρο αλλά και στο χρόνο. Για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας αναπτύχθηκαν διαφορετικές τεχνικές και τοπικά συστήματα RWH. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν αντοχή στο χρόνο, προσαρμοστικότητα στις ξεχωριστές υδρολογικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής και συμβατότητα με την αειφορία των υδατικών πόρων.

Η συλλογή όμβριων υδάτων ορίζεται ως η διαδικασία συλλογής του βρόχινου νερού από επιφάνειες απορροής, όπως στέγες, βραχώδεις και εδαφικές επιφάνειες, η μεταφορά του σε μία περιοχή και η αποθήκευσή του, με σκοπό τη μελλοντική του χρήση. Τα όμβρια ύδατα είτε αποθηκεύονται σε επίγειες ή υπόγειες στεγανές δεξαμενές για αστική ή αρδευτική χρήση είτε μέσω της διήθησής τους στο έδαφος συμβάλλουν στον κορεσμό του εδάφους ή/και στην επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων.

Η συλλογή όμβριων υδάτων για αστική χρήση έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία ως μια σύγχρονη, σχετικά φθηνή και απλή τεχνολογία εξοικονόμησης νερού, αποτελώντας μια από τις πιο υποσχόμενες εναλλακτικές λύσεις παροχής νερού ενάντια στο πρόβλημα της αυξανόμενης λειψυδρίας και της ζήτησης. Παρέχει τη δυνατότητα αύξησης των υδατικών αποθεμάτων επιτρέποντας ταυτόχρονα αυτοδυναμία και αειφορία (Λόντρα, 2014)

Σε περιοχές όπου οι υδατικοί πόροι δεν είναι ποσοτικά και ποιοτικά επαρκείς για κατανάλωση από τον άνθρωπο, το νερό της βροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόση και άλλες οικιακές χρήσεις. Επίσης, με την κατάλληλη επεξεργασία, το νερό της βροχής μπορεί να αποτελέσει την κύρια πηγή πόσιμου νερού για τον πληθυσμό τους.

Για τους χρήστες τα οφέλη είναι:

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

Για την πολιτεία και το περιβάλλον:

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

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

Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα ανά τον κόσμο που αποδεικνύουν ότι η συλλογή ομβρίων είναι αποδοτική. Στη Γερμανία, μία έρευνα έδειξε ότι η δυνατότητα εξοικονόμησης πόσιμου νερού σε ένα σπίτι με σύστημα συλλογής ομβρίων, κυμαίνεται από 30% έως 60%, αναλόγως τη ζήτηση και τη συλλεγόμενη επιφάνεια (Herrmann and Schmida, 1999). Στην Αυστραλία, αναλύθηκαν 27 σπίτια με σύστημα συλλογής ομβρίων στο Newcastle και το συμπέρασμα ήταν ότι η χρήση βρόχινου νερού εξοικονομούσε πόσιμο νερό της τάξης του 60%. Στην Βραζιλία, μία άλλη έρευνα (Ghisi et al., 2006) έδειξε δυνατότητα εξοικονόμησης νερού σε ποσοστό 34% έως 92% με χρήση συστημάτων συλλογής ομβρίων σε 62 πόλεις και μέσο δυναμικό για εξοικονόμηση πόσιμου νερού 69%.

Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια γίνεται η προσπάθεια νομοθέτησης για την συλλογή όμβριων υδάτων. Σύμφωνα με την πολεοδομική νομοθεσία ισχύουν τα εξής:

i. Με το **Π.Δ της 16-06-1993 (ΦΕΚ 732Δ/07-07-1993)** «Καθορισμός χρήσεων γης και όρων και περιορισμών των εκτός σχεδίου και εκτός ορίων οικισμών περιοχών των νήσων Πάρου και Αντιπάρου (Ν. Κυκλάδων)» και σύμφωνα με το άρθρο 2 παράγραφος 11, επιβάλλεται η κατασκευή δεξαμενών νερού περιορισμένων διαστάσεων, η επικάλυψη των οποίων δεν μπορεί να εξέχει πλέον των 0,80 m από την πέριξ φυσική στάθμη του εδάφους. Οι δεξαμενές νερού δεν προσμετρώνται στο συντελεστή δόμησης και την κάλυψη του γηπέδου. Σύμφωνα με την **οικ. 17250/2582/24-4-12 (ΦΕΚ 148/Α.Α.Π/2- 5-12)** απόφαση του γενικού γραμματέα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Αιγαίου «Έγκριση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου του Δήμου Πάρου, νήσου Πάρου, Νομού Κυκλάδων» διατυπώνονται οι διατάξεις για την επιτρεπόμενη διαστασιολόγηση αυτών. Αναλυτικότερα στο ΓΠΣ Πάρου προβλέπονται τα κάτωθι:

Επιβάλλεται σε κάθε νέα οικοδομή, για την εξοικονόμηση ύδρευσης των κτισμάτων, η συλλογή του βρόχινου νερού με την κατασκευή υπόγειας δεξαμενής συγκέντρωσης των όμβριων υδάτων. Ο μέγιστος όγκος της δεξαμενής θα πρέπει να είναι $V=0,5 \cdot E$ (όπου E η επιφάνεια της πραγματοποιούμενης κάλυψης των κτηρίων). Ισχύουν ωστόσο ειδικοί περιορισμοί σε κάποιες περιοχές που περιορίζουν το μέγεθος της ομβροδεξαμενής στα 30 ή 45m. Επίσης, στην περίπτωση της κατασκευής 47 κολυμβητικών δεξαμενών (πισίνες) επιβάλλεται η κατασκευή ομβροδεξαμενής διπλάσιου όγκου από αυτόν της πισίνας. Όσον αφορά στην τοποθέτηση και το είδος των δεξαμενών επιτρέπονται κατά περίπτωση τόσο οι

υπόγειες όσο και οι υπέργειες δεξαμενές, ενώ προβλέπεται γενικά ότι οι υπόγειες υδατοδεξαμενές δεν μπορούν να βρίσκονται κάτω από τα ισόγεια των κτισμάτων (κύριας ή βοηθητικής χρήσης) ή κάτω από τις βεράντες. Η οροφή τους μπορεί να εξέχει του φυσικού εδάφους το πολύ 50cm και σε περίπτωση αυτόνομης υδατοδεξαμενής εντός του γηπέδου η απόστασή της από κάθε κτίσμα θα είναι κατ' ελάχιστον 5 m.

ii. Με το **ΠΔ της 10-05-2002 (ΦΕΚ 402/Δ/17-05-2002)** «Χαρακτηρισμός των νησιών Κίμωλος, Δονούσα, (Άνω) Κουφονήσι, Ηρακλειά, Σχοινούσα, Αμοργός, Ανάφη, Σίκινος, Φολέγανδρος, Τήλος, Νίσυρος, Χάλκη, Μεγίστη, Κάσος, Τέλενδος, Ψέριμος, Αστυπάλαια, Λειψοί, Αγαθονήσι, Αρκοί, Αγ. Ευστράτιος, Οινούσες, Ψαρά, Φούρνοι, Θύμαινα, ως περιοχών που έχουν ανάγκη από ιδιαίτερη προστασία και καθορισμός περιορισμών και ειδικών όρων δόμησης στις εκτός σχεδίου και εκτός οικισμών περιοχές αυτών», επιβάλλεται (αρθ. 2β παρ. 11) η κατασκευή ομβροδεξαμενών σε εκτός σχεδίου και οικισμού κατοικίες σε αυτά τα 25 νησιά του Αιγαίου.

iii. Η **ΚΥΑ αριθ. οικ. 146896 (ΦΕΚ Β' 2878/27-10-2014)** «Κατηγορίες αδειών χρήσης και εκτέλεσης έργων αξιοποίησης των υδάτων. Διαδικασία και όροι έκδοσης των αδειών, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος τους και άλλες συναφείς διατάξεις» απλοποιεί και προτυποποιεί την αδειοδότηση για τη χρήση και τα έργα αξιοποίησης υδάτων. Στην νέα αυτή ΚΥΑ ορίζονται εξαιρέσεις από την αδειοδότηση, μία από τις οποίες είναι οι ομβροδεξαμενές, η πλήρωση των οποίων γίνεται με νερό βροχής από κτιριακές εγκαταστάσεις ή/και θερμοκήπια.

iv. Το ΥΠΕΚΑ μέσω της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2011 να εξετάζει την κατάρτιση Θεσμικού Πλαισίου και Προγράμματος Μέτρων για την *κατ' Οίκον Εξοικονόμηση Νερού*. Η σχετική έρευνα, που έχει ήδη ολοκληρωθεί, έδειξε ότι απλές παρεμβάσεις στον εξοπλισμό ενός νοικοκυριού μπορούν να επιτύχουν σημαντική εξοικονόμηση νερού. Τα μέτρα που υποδεικνύονται από τη μελέτη και που βρίσκονται υπό διερεύνηση περιλαμβάνουν εκτός των άλλων και χρήση των όμβριων υδάτων για πότισμα ή άλλες δευτερεύουσες οικιακές χρήσεις, όπως π.χ. χρήση στην τουαλέτα. Επιπλέον, προτείνεται η επέκταση της υποχρεωτικής κατασκευής και χρήσης στερνών και σε άλλες περιοχές προτεραιότητας που ανήκουν σε ελλειμματικά ή οριακά Υδατικά Διαμερίσματα όπως τα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (ΥΔ 7), Θεσσαλίας (ΥΔ 8), Αν. Πελοποννήσου (ΥΔ 3), Κρήτης (ΥΔ 13) και Νήσων Αιγαίου (ΥΔ 14). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας μπορεί

να επιτευχθεί εξοικονόμηση έως 20% σε κάθε νοικοκυριό και συνολικά 3,3 hm³ το έτος (Κυριαζοπούλου, 2012).

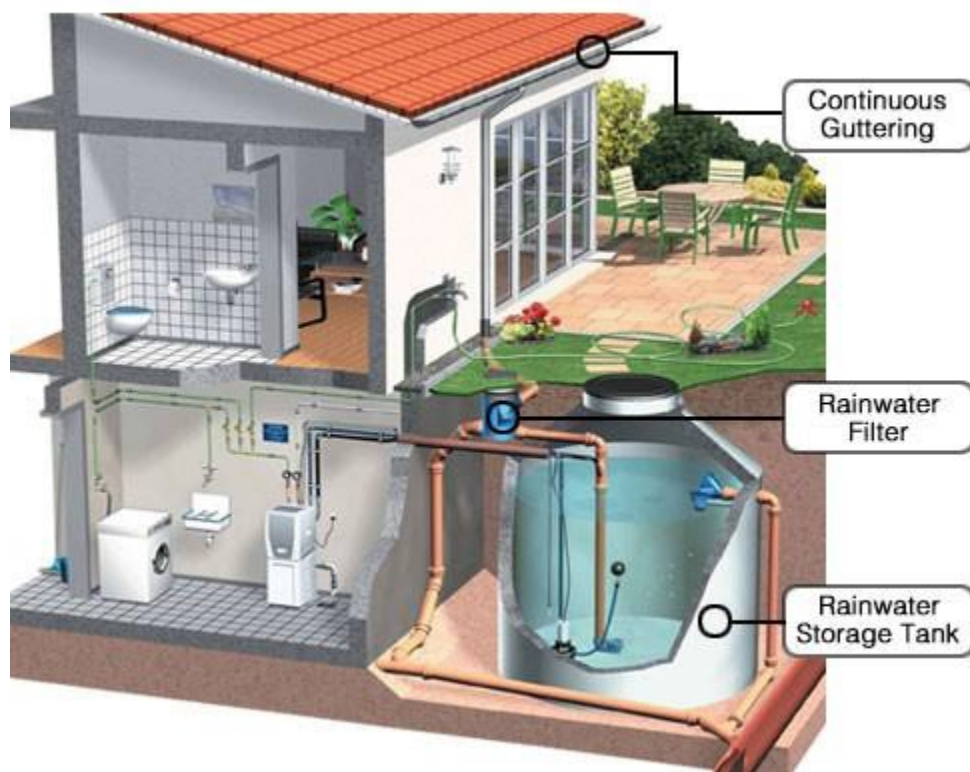
Χρήση των συστημάτων συλλογής ομβρίων και περίοδος αποπληρωμής

Τα Συστήματα Συλλογής Ομβρίων (Rain Water Harvesting Systems-RWHS) μπορούν να αυξήσουν την παροχή νερού για να ικανοποιήσουν τις αστικές και αγροτικές ανάγκες, προσθέτοντας ευελιξία και ευρωστία στα συστήματα ύδρευσης. Τα συστήματα αυτά μπορούν επίσης να καλύψουν μέρος της ζήτησης για μη πόσιμο νερό, αποτρέποντας τη χρήση πόσιμου νερού για λιγότερο απαιτητικές χρήσεις όπως πλύσιμο αυτοκινήτων, άρδευση γκαζόν, ψύξη του κλιματισμού και ψύξη για κλιματισμό (Gikas and Tsihrintzis, 2012). Τα RWHS απαιτούν ελάχιστη προσπάθεια εγκατάστασης και σχεδιασμού και αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για τη μείωση της κατανάλωσης πόσιμου νερού (Nolde, 2007), καθώς αυτά μειώνουν το φορτίο των λυμάτων και σε ορισμένες περιπτώσεις μειώνουν την επίδραση των φρεάτων αυξάνοντας την ικανότητα κράτησης του συστήματος. Επιπλέον, το νερό που λαμβάνεται με το RWHS είναι εναλλακτική λύση χαμηλού κόστους κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων, όταν το κόστος του πόσιμου νερού είναι υψηλότερο ή τα συστήματα υδροδότησης αντιμετωπίζουν σοβαρές ελλείψεις.

Η εκτεταμένη χρήση των συστημάτων αυτών στις αστικές περιοχές εξακολουθεί να είναι περιορισμένη, λόγω οικονομικών λόγων, συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων χρονικών περιόδων αποπληρωμής, ειδικά για τα μικρότερα εγχώρια συστήματα. Οι Santos και Taveira-Pinto (2013) διαπίστωσαν ότι οι χρόνοι αποπληρωμής ήταν μεγαλύτεροι από τα 200 έτη για την τυπολογία μιας κατοικίας. Devkota et al. (2015) βρέθηκαν χρόνοι αποπληρωμής μεγαλύτεροι από 75 χρόνια για ορισμένα σενάρια που προσομοιάστηκαν σε ένα κτίριο πανεπιστημίου. Οι χρόνοι αποπληρωμής εξαρτώνται από αρκετές μεταβλητές, οι οποίες σχετίζονται με τοπικούς παράγοντες, όπως το μοντέλο βροχοπτώσεων, το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης του RWHS και το κόστος νερού, ενέργειας και κατασκευής.

3.2 Περιγραφή συστημάτων συλλογής ομβρίων υδάτων

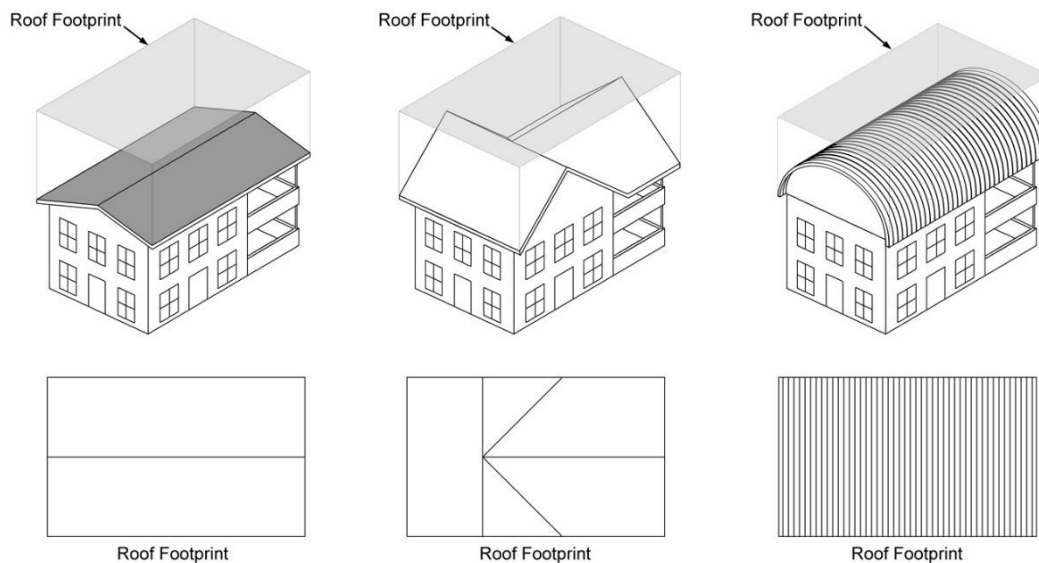
Τα συστήματα συλλογής και αποθήκευσης όμβριων υδάτων μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε υφιστάμενα όσο και σε υπό κατασκευή κτίρια. Συνήθως, τα συστήματα αποτελούνται από τρεις κύριες δομές, την επιφάνεια συλλογής, το σύστημα μεταφοράς και τον χώρο αποθήκευσης του συλλεγόμενου βρόχινου νερού. Συμπληρωματικά, υπάρχουν οι δομές που αφορούν τον καθαρισμό και τη διανομή του νερού (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων για αστική χρήση με υπόγεια δεξαμενή (Πηγή: watertech.ie)

1. **Επιφάνεια συλλογής:** Η επιφάνεια συλλογής είναι το πρώτο σημείο επαφής με τη βροχόπτωση. Οι στέγες αποτελούν ιδανικές επιφάνειες συλλογής αφού συλλέγουν εύκολα μεγάλο όγκο του νερού. Το νερό μπορεί να συλλεχθεί από οποιαδήποτε επιφάνεια στέγης ανεξάρτητα από το υλικό κατασκευής ή την κλίση της. Η ποσότητα και η ποιότητα του συλλεγόμενου νερού επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος της στέγης, τα υλικά κατασκευής και φυσικά εξαρτάται από την ποσότητα και ένταση της βροχόπτωσης.

Η επιφάνεια συλλογής μπορεί να υπολογιστεί με βάση το «αποτύπωμα» της οροφής το οποίο δεν μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την κλίση της στέγης (Σχήμα 3.2). Το «αποτύπωμα» (οριζόντια προβολή), μπορεί να υπολογιστεί με την εύρεση της επιφάνειας του κτιρίου και προσθέτοντας την επιφάνεια προεξοχής της στέγης.



Σχήμα 3.2 Αποτύπωμα στέγης (Πηγή: rainwaterharvesting.com)

Η ποιότητα του νερού που συλλέγεται εξαρτάται από την ένταση της βροχόπτωσης και από το υλικό κατασκευής της οροφής. Σε περίπτωση που το νερό προορίζεται για πόση, υπάρχουν περιορισμοί στα υλικά, επιτρέπονται μόνο τα αδρανή υλικά, όπως ξύλο, πλαστικό, αλουμίνιο, fiberglass, κεραμίδια από πηλό, πλακίδια από σκυρόδεμα ή φυσική πέτρα και σε κάθε περίπτωση θα πρέπει η επιφάνεια να είναι είτε άβαφη είτε να χρησιμοποιείται μη τοξικό χρώμα (βαφές χωρίς μόλυβδο). Όταν το νερό της βροχής προορίζεται για μη πόσιμη χρήση δεν υπάρχει περιορισμός στο υλικό κατασκευής. Επίσης, η τραχύτητα του υλικού φαίνεται να έχει επίδραση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, οι στέγες με λεία και κεκλιμένη επιφάνεια σε σχέση με στέγες που έχουν επίπεδη τραχεία επιφάνεια συγκεντρώνουν νερό με καλύτερη ποιότητα, καθώς οι στέγες από επίπεδο χαλίκι μπορούν να παρουσιάσουν υψηλές τιμές σε σχεδόν όλες τις ρυπαντικές ουσίες λόγω της εναπόθεσης σωματιδίων, αποσάθρωσης του υλικού και της φυτικής ανάπτυξης, σε αντίθεση με τις λιγότερο τραχείς στέγες (από κεραμίδια, μέταλλο και πολυανθρακικό πλαστικό). Η κλίση της οροφής επηρεάζει το πόσο γρήγορα το νερό απορρέει κατά τη διάρκεια μιας εκδήλωσης βροχής. Σε μία απότομη στέγη το νερό απορρέει γρηγορότερα, απομακρύνοντας ρυπαντικά στοιχεία από τη οροφή σε αντίθεση με μία λιγότερο απότομη, επίπεδη στέγη στην οποία το νερό κινείται πιο αργά, αυξάνοντας το ρυπαντικό δυναμικό καθώς παραμένει περισσότερο στην επιφάνεια.

Για τον υπολογισμό του τελικώς συλλεγόμενου νερού χρησιμοποιείται ο συντελεστής απορροής (C), ο οποίος λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά της στέγης και τις τυχόν απώλειες που οφείλονται σε εξάτμιση, διαρροή, υπερχειλίση και τη μεταφορά. Σύμφωνα με τους Kinkade - Levario, 2007, ο συντελεστής απορροής, C, ανάλογα με το υλικό κάλυψης της επιφάνειας, συνήθως λαμβάνει τιμές μεταξύ 0,3 και 0,9, ενώ κατά το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) που εφαρμόστηκε το 2009 κυμαίνονται από 0,6-0,9 (Πίνακας 3.1). Γενική εκτίμηση είναι ότι για τις στέγες οι τιμές κυμαίνονται από 0,75 έως 0,95.

Πίνακας 3.1 Τιμές συντελεστή απορροής, C, για διαφορετικά υλικά (Πηγή: Kinkade - Levario, 2007 και UNEP, 2009)

Υλικό Επιφάνειας	Συντ. απορροής C:Kinkade - Levario, (2007)	Υλικό Επιφάνειας	Συντ. απορροής C:UNEP,2009
Λείες, στεγανές στέγες π.χ. από μέταλλο, κεραμίδι, τσιμέντο	0.90	Με πλακάκια	0.80 – 0.90
Χαλικόστρωτες στέγες και λιθόστρωτες επιφάνειες	0.80	Με μεταλλικά φύλλα	0.70 – 0.90
Επεξεργασμένο έδαφος	0.60	Από σκυρόδεμα(εδάφους)	0.60 – 0.80
Φυσικό έδαφος	0.30	Φυσικό έδαφος	0.1 – 0.5

2. Σύστημα μεταφοράς όμβριων: Το σύστημα μεταφοράς όμβριων είναι ουσιαστικά το δίκτυο των σωληνώσεων και αγωγών που μεταφέρει το συλλεγόμενο νερό από την επιφάνεια της στέγης στη δεξαμενή αποθήκευσης. Είναι σημαντικό να είναι σχεδιασμένο σωστά, ώστε να έχει τις κατάλληλες διαστάσεις για τη μεταφορά του νερού από τη στέγη προς το έδαφος ενδεχομένως με διαφορετικές διαστάσεις, υλικά και τη εγκατάσταση ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη στεγανότητα. Οι διαστάσεις των σωλήνων είναι σκόπιμο να υπολογίζονται με βάση τον νόμο του Manning για την αναμενόμενο όγκο που θα διοχετεύσουν. Ένα σύνθητες εύρος παροχής σχεδιασμού είναι 2,8 έως 4,5 L/sec. Επίσης, οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των όμβριων υδάτων, πρέπει να είναι κατασκευασμένα από πλαστικό, PVC ή άλλα αδρανή υλικά, γιατί το pH του νερού της βροχής μπορεί να είναι όξινο και θα μπορούσε να προκαλέσει διάβρωση, και την ενεργοποίηση βαρέων μετάλλων, σε μεταλλικούς σωλήνες.

Διατάξεις εκτροπής πρώτης έκπλυσης και καθαρισμού στέγης: Είναι πολύ σημαντικό να προλαμβάνεται η εισροή φερτών και ακαθαρσιών στη δεξαμενή αποθήκευσης για οικιακή χρήση. Η αρχική απορροή κάθε βροχόπτωσης είναι συγκεντρώνει υψηλό ρυπαντικό φορτία, όπως σκόνη, φύλλα, περιττώματα πτηνών και φερτά κάθε είδους που συγκεντρώνονται στη στέγη και τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν. Οι διατάξεις εκτροπής είναι μία μορφή φίλτρου που εμποδίζει τη διείσδυση απορριμμάτων στο σύστημα (Σχήμα 3.3). Το σχετικά καθαρό νερό θα είναι διαθέσιμο μετά την πρώτη έκπλυση (first flush), δηλαδή την απομάκρυνση της αρχικής απορροής κάθε βροχόπτωσης. Ο όγκος του νερού που εκτρέπεται για ένα συγκεκριμένο σύστημα συλλογής εξαρτάται από τον αποδεκτό κίνδυνο για τους τελικούς χρήστες. Τα συστήματα αυτά τοποθετούνται πριν την είσοδο την μονάδας αποθήκευσης ώστε να γίνεται το πρώτο εντατικό φιλτράρισμα.



Σχήμα 3.3 Φίλτρο και εκτροπή της πρώτης έκπλυσης σε συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων (Πηγή: aquabarrel.com)

Ο όγκος του νερού που εκτρέπεται για ένα συγκεκριμένο σύστημα συλλογής εξαρτάται από τον αποδεκτό κίνδυνο για τους τελικούς χρήστες. Ως καθοριστικοί παράγοντες για τον υπολογισμό της κατάλληλης τιμής της πρώτης έκπλυσης αναφέρονται η τοποθεσία του συστήματος συλλογής όμβριων και η απόστασή του από δρόμους, τα δέντρα, η ποιότητα του υλικού κατασκευής της στέγης κ.α. Ο Πίνακας 3.2 παρουσιάζει συνοπτικά τις συστάσεις που

διατίθενται στη βιβλιογραφία σχετικά με το πόσο νερό πρέπει να εκτραπεί για την οικιακή συλλογή του νερού της στέγης (Παπαγιάννη, 2014).

Πίνακας 3.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση τιμών εκτροπής πρώτης έκπλυσης (Πηγή: Παπαγιάννη, 2014)

Βιβλιογραφία	Προδιαγραφές	Εκτρεπόμενο νερό
(Yaziz, et al. 1989) και Kinkade-Levario (2007)	Για την προστασία από τη μικροβιακή μόλυνση	0.33 mm
(Ntale, et al. 2003)	Εμπειρικές τιμές (θα πρέπει να μειωθεί σε περίοδο βροχών)	0.83 mm ή για τα πρώτα 10 λεπτά
(Martinson and Thomas 2005)	Με βάση τις μετρήσεις δείγματος στέγης	Για κάθε mm βροχόπτωσης που απομακρύνεται του μολυσματικού φορτίου μειώνεται κατά το ήμισυ
(Cunliffe 1998)	Για μεσαίου μεγέθους στέγες	20 - 25 L
(Pacey and Cullis 1986)	-	Τα πρώτα 10 λεπτά ενός γεγονότος βροχόπτωσης
(Texas Water Development Board 2005)	Ανάλογα με τις ξηρές ημέρες, τα δέντρα, και την εποχή	0.41 – 0.82 mm
(Michaelides 1987)	Με βάση πειραματική εργασία στην Ταϊλάνδη	0.28 mm

4. Δεξαμενές αποθήκευσης: Οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι συνήθως από τα πιο ακριβά εξαρτήματα στα συστήματα συλλογής ομβρίων και επιλογή του κατάλληλου τύπου είναι κρίσιμη. Η επιλογή της δεξαμενής εξαρτάται κυρίως από τη σχέση κόστους – οφέλους, τη διαθέσιμη απορροή και τα διαθέσιμα τοπικά οικοδομικά και εμπορικά υλικά. Οι δεξαμενές μπορεί να είναι επίγειες ή υπόγειες και πρέπει να εξασφαλίζεται η στεγανότητά και η δομική και μηχανική τους αντοχή. Επιπλέον είναι σημαντικό να είναι κατασκευασμένες από αδρανή υλικά, μη περατές από το ηλιακό φως, ουδέτερης οσμής και χρώματος, να διατηρούν θερμοκρασία κάτω από 18°C ώστε να μην επηρεάζεται η ποιότητα του αποθηκευμένου ύδατος. Οι μονάδες αποθήκευσης πρέπει να προστατεύονται από τη διείσδυση αερίων, ακαθαρσιών, φερτά και μικρών ζώων και εντόμων, να έχουν εύκολο σύστημα πρόσβασης για καθαρισμό και συντήρηση. Οι διατάξεις δύναται να τοποθετούνται στο χώρο της οικίας ή στον περιβάλλοντα χώρο, χωρίς να ελλοχεύει κίνδυνος για παιδιά, ή περαστικούς. Στα κατάλληλα υλικά περιλαμβάνονται το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο γαλβανισμένος σίδηρος, το οπλισμένο ή

μησκυρόδεμα, κατάλληλα προετοιμασμένο οδαφικό υλικό, ή ακόμη και ξύλο (Σχήμα 3.4). Επίσης, είναι βασικό να συνοδεύονται από διατάξεις εκκένωσης και υπερχειλίσσης.



Σχήμα 3.4 Υπέργεια ξύλινη δεξαμενή αποθήκευσης βρόχινου νερού (Πηγή: rainwaterharvesting.com)

Οι επίγειες δεξαμενές πλεονεκτούν με στην ευκολία επιθεώρησης, συντήρησης και επιδιόρθωσης και στη δυνατότητα αύξησης του πιεζομετρικού φορτίου σε περίπτωση που τοποθετηθεί σε υψηλό σημείο. Επίσης, έχουν ευκολότερη τοποθέτηση σε υφιστάμενες κατασκευές. Αντιθέτως, τα σημεία που στερούνται είναι οι τιμαυλικά τους είναι εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες και στο φως οπότε και απαιτείται προστασία τους και απαιτείται σημαντική επιφάνεια για την τοποθέτηση τους ειδικά σε περίπτωση μεγάλων όγκων.

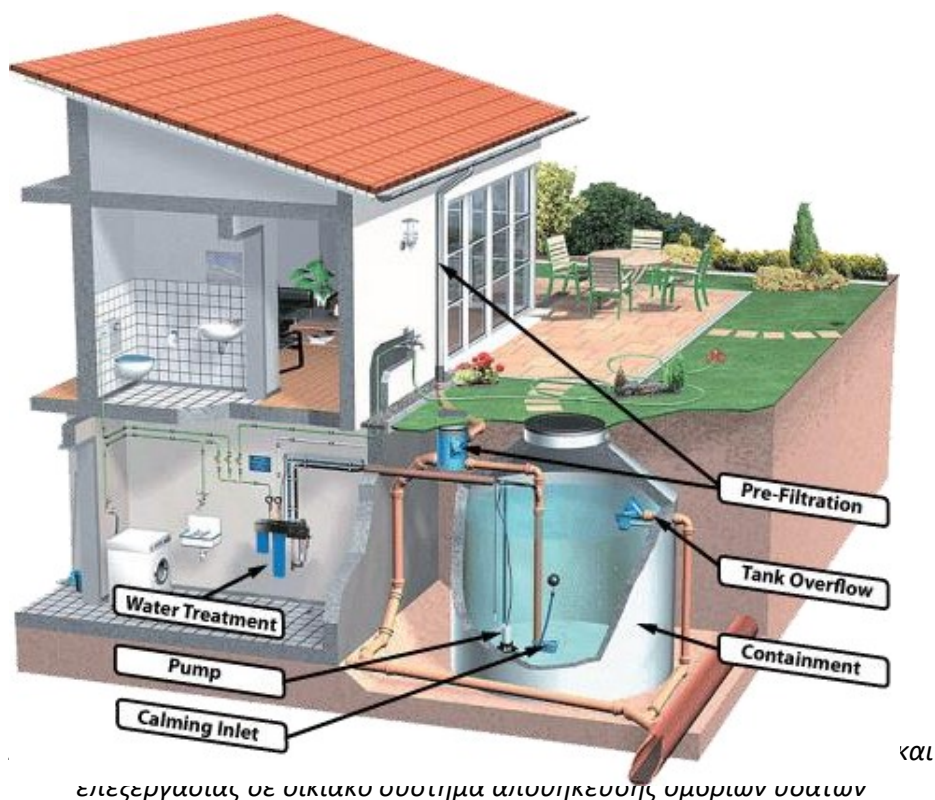


Σχήμα 3.5 Υπό κατασκευή υπόγεια τσιμεντένια δεξαμενή αποθήκευσης όμβριων υδάτων με σύστημα πρόσβασης (Πηγή: durabuildcare.com)

Οι υπόγειες συνήθως κατασκευάζονται μαζί με το υπόλοιπο κτίσμα και ενσωματώνονται στο έδαφος, οπότε και έχουν ανάγκη από μικρότερου πάχους τοιχώματα (Σχήμα 3.5). Είναι ιδανικές για μεγάλους όγκους όμβριων ή όταν υπάρχει περιορισμός χώρου. Επιπλέον, το νερό είναι προστατευμένο από το ηλιακό φως και την εξωτερική θερμοκρασία, οπότε και διατηρείται δροσερό. Όμως, εμφανίζουν περισσότερα προβλήματα σχετικά με την επιθεώρηση και επιδιόρθωσή τους και είναι πιο εκτεθειμένες σε ρίζες δέντρων και μόλυνση από μικροοργανισμούς. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή στην κατασκευή και στη συντήρηση για να μην υπάρξει κίνδυνος διαρροών ή κατάρρευσης.

Σύστημα διανομής: Περιλαμβάνει τις διατάξεις άντλησης και μεταφοράς του νερού από τη δεξαμενή προς το σημείο της τελικής κατανάλωσης.

Σύστημα επεξεργασίας/απολύμανσης: Οι διατάξεις χρησιμοποιούνται όταν το νερό προορίζεται για πόση. Οι διατάξεις επεξεργάζονται και απολυμαίνουν το βρόχινο νερό αφού μπει στο σύστημα διανομής ώστε να αποκτήσει τα απαραίτητα ποιοτικά χαρακτηριστικά που θα το καταστήσουν πόσιμο. Στη συνέχεια διανέμεται στο εσωτερικό δίκτυο σωληνώσεων της οικίας (Σχήμα 3.6).



επεξεργασίας σε οικιακό σύστημα αποθήκευσης όμβριων υδάτων
(Πηγή:ecoactivehouse.com)

Η διήθηση είναι πολύ απλή μέθοδος, όμως τα φίλτρα θα πρέπει να συντηρούνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή τους για να μην δημιουργηθούν προβλήματα. Η καθίζηση που πραγματοποιείται μέσα στη δεξαμενή αποθήκευσης χείως αποτέλεσμα τα βαρύτερα σωματίδια να καθιζάνουν. Συνεχίζουν όμως να υπάρχουν ακόμα σωματίδια τα οποία αιωρούνται και τα οποία μπορούν να παρασυρθούν με τη ροή του νερού. Ένα φίλτρο με μέγεθος πόρων 5μm είναι απαραίτητο. Μπορεί όμως να είναι απαραίτητη και η χρήση φίλτρου με ακόμα μικρότερο μέγεθος πόρων ανάλογα με το είδος της απολύμανσης το οποίο χρησιμοποιείται. Όλα τα φίλτρα πρέπει να αντικαθιστούν πριν ακόμα τελειώσει ο χρόνος ζωής τους, έτσι ώστε να αποφευχθεί η συμβολή του φίλτρου στη ρύπανση του νερού. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι απολύμανσης του νερού, όμως αυτές που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η φυσική απολύμανση με UV, η χημική απολύμανση με χλώριο και ενώσεις του και η οξειδωτική απολύμανση με ενεργό οξυγόνο. (Ανδρεαδάκης Α., 2008). Από αυτές τις μεθόδους, η πλέον κατάλληλη για συστήματα αυτού του μεγέθους είναι η φυσική απολύμανση με UV (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7α) Σύστημα φίλτρανσης νερού (Πηγή: waterflowcontrol.com.au) και β) συσκευές απολύμανσης με UV ακτινοβολία (Πηγή: adtec.gr)

Απαραίτητη είναι και η συσκευή αποτροπής αντίστροφης ροής στα κτήρια που χρησιμοποιούν και το κεντρικό δίκτυο ύδρευσης, γιατί με αυτό τον τρόπο δεν έχουμε ανάμειξη των δύο τύπων νερού.

3.3 Αβεβαιότητα στους υδατικούς πόρους

Η αβεβαιότητα περιγράφει ένα σύνολο συμβάντων που ο άνθρωπος αδυνατεί να διαχειριστεί (Goodarzi et al, 2013). Η φύση της αβεβαιότητας στους υδατικούς πόρους μπορεί να είναι υδρολογική, υδραυλική, κατασκευαστική και οικονομική. Η σημαντικότερη πηγή αβεβαιότητας που διέπει την λειτουργία ενός συστήματος υδατικών πόρων είναι η υδρολογική. Αυτή συναρτάται με την αδυναμία πρόβλεψης της εξέλιξης των υδρομετεωρολογικών διεργασιών, η χαοτική συμπεριφορά των οποίων, καθιστά αδύνατη την πραγματοποίηση ασφαλών προγνώσεων για χρονικό ορίζοντα πέραν των λίγων ημερών. Ωστόσο, η χρονική κλίμακα ημερών είναι ανεπαρκής για τη διαχείριση υδροσυστημάτων, δεδομένου ότι η ανάγκη ρύθμισης ενός τέτοιου συστήματος προϋποθέτει την προσομοίωση λειτουργίας του για πολλά έτη (Διαλυνάς, 2011). Για την ανάλυση της αβεβαιότητας έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, η εφαρμογή των οποίων έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο στην ανάλυση αβεβαιότητας των υδροσυστημάτων.

Στο σχεδιασμό και τη λειτουργία συστημάτων υδατικών πόρων, οι μηχανικοί αναγνωρίζουν την ποικιλία και την αβεβαιότητα των υδρολογικών παραμέτρων. Η βροχή, η παροχή ποταμού, η εξατμισοδιαπνοή και η παροχή υπόγειων νερών είναι λιγότερο ή περισσότερο απρόβλεπτες υδρολογικές διαδικασίες. Υδρολογική διαδικασία (hydrologic process) χαρακτηρίζεται κάθε υδρολογικό φαινόμενο που δείχνει συνεχή αλλαγή στο χώρο, στον χρόνο, στην επιφάνεια ή πάνω σε μια γραμμή. Μία ακολουθία υδρολογικών παραμέτρων σπάνια θα επαναληφθεί ακριβώς ίδια. Η πολυπλοκότητα τόσο στο μηχανισμό γένεσης όσο και στην ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση των εναλλαγών μεταξύ των υδρολογικών μεταβλητών είναι η βασική αιτία που έχουν γίνει και γίνονται προσπάθειες κατασκευής ομοιωμάτων για την καλύτερη προσομοίωση, δηλαδή αναπαράσταση και αναπαραγωγή, του φυσικού φαινομένου (Μιμίκου, 2006).

Στοχαστική προσομοίωση συστήματος με συνθετικές χρονοσειρές

Για τη μελέτη πολύπλοκων συστημάτων που διέπονται από αβεβαιότητα είναι σύνηθες να χρησιμοποιείται η στοχαστική προσομοίωση. Η στοχαστική προσομοίωση αναφέρεται σε υπολογιστικές τεχνικές που χρησιμοποιούν γεννήτριες τυχαίων αριθμών για την ανάλυση

τέτοιων συστημάτων και την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων, που δεν έχουν αναλυτική λύση. Η στοχαστική προσομοίωση είναι γνωστή και ως μέθοδος Monte Carlo. Η μέθοδος Monte Carlo είναι μια διαδικασία δειγματοληψίας και γι' αυτό, τα αποτελέσματα που προκύπτουν έχουν αναπόφευκτα σφάλματα δειγματοληψίας, που όμως μειώνονται όσο αυξάνεται το μέγεθος του δείγματος.

Η προσομοίωση υδρολογικών συστημάτων βασίζεται σε προσδιοριστικά ή στοχαστικά μοντέλα. Ο σκοπός τέτοιων μοντέλων είναι η αντιγραφή της πραγματικότητας και είναι χρήσιμα στην αξιολόγηση της επίδρασης διαφορετικών σχεδιασμών, στη λειτουργία ενός συστήματος. Τα στοχαστικά υδρολογικά μοντέλα, είναι μοντέλα που δημιουργούνται μέσα από στατιστική ανάλυση των δεδομένων και χρησιμοποιούνται για την εξερεύνηση της δομής των χρονοσειρών για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών της μεταβλητής και τη δημιουργία προσομοιωμένων τιμών της μεταβλητής που χρησιμοποιούνται για τη διαστασιολόγηση υδραυλικών έργων. (Μιμίκου, 2006).

Τα μοντέλα αυτά εφαρμόζονται για τη γέννηση συνθετικών χρονοσειρών που είναι συνεπείς με τις ιστορικές, δηλαδή αναπαράγουν την στατιστική δομή και τα στατιστικά χαρακτηριστικά των παρατηρημένων υδρολογικών διεργασιών. Οι διατεταγμένες σε αυστηρή χρονική ακολουθία μετρήσεις μιας υδρολογικής μεταβλητής (π.χ. βροχή) αποτελούν μία υδρολογική χρονοσειρά (Μιμίκου, 2006). Στόχος της στοχαστικής ανάλυσης των χρονολογικών σειρών είναι η μελέτη της στοχαστικής διαδικασίας διαμόρφωσης των δεδομένων (data generating process) και η διενέργεια προβλέψεων (Κουντούρη, 2008). Η ανάλυση χρονοσειρών αποσκοπεί στην ανεύρεση των χαρακτηριστικών εκείνων που συμβάλουν στην κατανόηση της ιστορικής συμπεριφοράς μίας μεταβλητής και επιτρέπουν την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών της. Η πρόβλεψη μελλοντικών συμπεριφορών στηρίζεται στην ανάλυση παρατηρήσεων που αναφέρονται στο παρελθόν. Στις μεθόδους χρονοσειρών, η πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών μιας μεταβλητής στηρίζεται αποκλειστικά σε ιστορικές τιμές της ίδιας μεταβλητής. Η ιδέα βασίζεται στην πεποίθηση ότι είναι δυνατή η προεκβολή των ιστορικών τιμών, ακολουθώντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Οι συνθετικές χρονοσειρές χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισόδου σε μοντέλα στοχαστικής προσομοίωσης συστημάτων υδατικών πόρων.

Ένας παράγοντας που καθιστά αναγκαία τη χρήση συνθετικών χρονοσειρών, και μάλιστα μεγάλου μήκους, είναι η υιοθέτηση υψηλών επιπέδων αξιοπιστίας, τόσο στη φάση

σχεδιασμού όσο και στη λειτουργία των συστημάτων υδατικών πόρων. Η αξιοπιστία (Reliability) ενός συστήματος ορίζεται ως η πιθανότητα επίτευξης μιας συγκεκριμένης απόδοσης, για καθορισμένο χρονικό διάστημα και καθορισμένες συνθήκες (Chow et al., 1988). Συνεπώς, η ασφαλής εκτίμηση της αξιοπιστίας του προϋποθέτει την ύπαρξη προσομοιωμένων χρονοσειρών για χρονικό ορίζοντα που υπερβαίνει κατά πολύ το σύνηθες μήκος των ιστορικών δειγμάτων.

Η στοχαστική προσομοίωση με χρήση συνθετικών χρονοσειρών κρίνεται αναγκαία για την ορθολογική διαχείριση πολύπλοκων υδροσυστημάτων, αφού δεν τίθενται περιορισμοί ως προς το χρονικό ορίζοντα μελέτης, καθώς δε χρησιμοποιούνται τα ίδια ιστορικά δείγματα (που κατά κανόνα έχουν μικρότερο μήκος και πρακτικά μηδενική πιθανότητα επανάληψης στο μέλλον), αλλά τα στατιστικά τους χαρακτηριστικά, για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων ως προς την αξιοπιστία του συστήματος για ακραία αποδεκτά επίπεδα πιθανότητας (π.χ. 1%) και για τη διερεύνηση της απόδοσης του συστήματος έναντι ενός μεγάλου φάσματος υδροκλιματικών σεναρίων. Ωστόσο, πέρα από την ευελιξία που προσφέρει η στοχαστική προσομοίωση και την ακρίβεια στην περιγραφή του συστήματος (χωρίς απλοποιητικές υποθέσεις), έχει το μειονέκτημα της αργής υπολογιστικής διαδικασίας, καθώς και ότι τα αποτελέσματα που δίνει είναι προσεγγιστικά και εξαρτώμενα από το μέγεθος της δειγματοληψίας. Πέρα από αυτό, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι τα προσομοιωμένα (συνθετικά) δείγματα υδρολογικών μεταβλητών σε καμία περίπτωση δεν υποκαθιστούν τα ιστορικά δείγματα υδρολογικών μετρήσεων. Η επιλογή ενός συγκεκριμένου στοχαστικού μοντέλου και η εκτίμηση των παραμέτρων του βασίζεται πάντα στο διαθέσιμο ιστορικό δείγμα, το οποίο αποτελεί τη μόνη πρωτογενή πηγή πληροφορίας και η γέννηση συνθετικών χρονοσειρών (με συνηθισμένο μήκος πολλαπλάσιο του μήκους του διαθέσιμου ιστορικού δείγματος) δεν προσθέτει ουσιαστική πληροφορία, ούτε επαυξάνει τη διάρκεια του συγκεκριμένου ιστορικού δείγματος (από Κουτσόγιαννη, 2013).

Χρήση της στοχαστικής προσομοίωσης στη διαστασιολόγηση συστημάτων συλλογής ομβρίων

Διάφορες μέθοδοι σχεδιασμού δεξαμενών χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του μεγέθους και της αποτελεσματικότητας της δεξαμενής κάτω από διάφορα προκαθορισμένα μεγέθη δεξαμενών. Πολλές από τις προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται είναι ντετερμινιστικές, βασισμένες σε ένα μοντέλο καθημερινής προσομοίωσης της χρήσης της δεξαμενής χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα βροχόπτωσης που είναι διαθέσιμα. Οι

Rahman et al.. (2012) προσομοίωσαν τρία διαφορετικά μεγέθη δεξαμενών, χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση για διάφορες τοποθεσίες στην Αυστραλία. Οι Zhang et al. (2009) χρησιμοποίησαν παρόμοια προσέγγιση για να βελτιστοποιήσουν το μέγεθος της δεξαμενής αναζητώντας την υψηλότερη αξιοπιστία και πραγματοποίησαν μια οικονομική ανάλυση για τέσσερις πόλεις στην Αυστραλία. Οι Ward et al., 2010 χρησιμοποίησαν μια εξειδικευμένη προσομοίωση ισοζυγίου μάζας για να συγκρίνουν τα αποτελέσματα με απλούστερες μεθόδους σχεδιασμού για ένα συγκρότημα κατοικιών και ένα δημόσιο κτίριο υπηρεσιών .Αν και λιγότερο συχνά, έχουν χρησιμοποιηθεί πιθανοτικές προσεγγίσεις, για παράδειγμα, οι Youn et al. (2012) ανέπτυξαν μια μέθοδο για τον ορισμό πιθανών σχέσεων μεταξύ των ικανοτήτων αποθήκευσης της δεξαμενής και των ποσοστών έλλειψης(δηλαδή τη χρήση του υδρευτικού δικτύου όταν δεν επαρκεί το συλλεγόμενο νερό) λαμβάνοντας υπόψιν την πιθανή κλιματική αλλαγή για εφαρμογή σε ένα τετραώροφο κτίριο. Μια άλλη εναλλακτική λύση για την κατανόηση της αβεβαιότητας είναι τα στοχαστικά μοντέλα. Οι Leung και Fok (1982) πραγματοποίησαν μια στοχαστική εκτίμηση για να επαληθεύσουν την ελάχιστη επάρκεια ενός συστήματος συλλογής ομβρίων στη Χαβάη. Οι Basinger et al. (2010) πρότειναν ένα μοντέλο για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας του συστήματος με βάση μια μη παραμετρική στοχαστική γεννήτρια βροχοπτώσεων και το εφάρμοσαν σε ένα πολυώροφο κτίριο κατοικιών για διαφορετικές χρήσεις μη πόσιμου νερού.

Στην πραγματικότητα, οι ντετερμινιστικές προσεγγίσεις είναι ευρέως διαδεδομένες και συχνά εκτελούνται μαζί με οικονομικές εκτιμήσεις. Οι Moreira Neto et al. (2012) πραγματοποίησαν μια οικονομική ανάλυση της εφαρμογής ενός συστήματος συλλογής ομβρίων σε ένα αεροδρόμιο στη Βραζιλία και προσομοίωσαν τη χρήση της δεξαμενής καθημερινά με μια ντετερμινιστική προσέγγιση για προκαθορισμένα μεγέθη δεξαμενών χρησιμοποιώντας δεδομένα βροχόπτωσης μήκους 20 ετών. Οι Santos and Taveira-Pinto (2013) συνέκριναν πολύπλοκες και απλές μεθόδους με προσομοίωση της απόδοσης της δεξαμενής για ένα κτίριο κατοικιών και δημόσιων κτιρίων που βρίσκεται σε διάφορες περιοχές της Πορτογαλίας. Σχετικά σύντομες χρονοσειρές δεδομένων βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της εξοικονόμησης στην αγορά νερού, 10 και 5 έτη αντίστοιχα. Οι Okoye et al. (2015) ανέπτυξαν ένα γραμμικό μοντέλο βελτιστοποίησης για τον προσδιορισμό της βέλτιστης αποθήκευσης δεξαμενών και του καθαρού χρηματοοικονομικού πλεονεκτήματος, χρησιμοποιώντας μια ντετερμινιστική προσέγγιση για την προσομοίωση

της συλλογής βροχοπτώσεων για οικιακή χρήση. Το συμπέρασμα αυτής της μελέτης είναι ότι το βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής αυξάνεται μαζί με την επιφάνεια στέγης και μειώνεται με το κόστος μονάδας που συνδέεται με την κατασκευή της δεξαμενής. Αυτές οι μελέτες εκτελούν μια πλήρη οικονομική ανάλυση, αλλά δεν λαμβάνουν υπόψη τη μεταβλητότητα και την αβεβαιότητα που σχετίζονται με τα γεγονότα βροχοπτώσεων και θα είχαν σημαντικό αντίκτυπο στην εξοικονόμηση νερού.

Η χρήση πιθανοτικών ή στοχαστικών προσεγγίσεων μαζί με μοντέλα κόστους βελτιστοποίησης θα βελτίωναν την αξιοπιστία τέτοιων μοντέλων. Οι Karim et al.. (2015) χρησιμοποίησαν επίσης ένα ντετερμινιστικό μοντέλο για την προσομοίωση της αξιοπιστίας του συστήματος και εκτέλεσαν μια ανάλυση ευαισθησίας για μεταβολή της ζήτησης και του μεγέθους της επιφάνειας συλλογής για διαφορετική τυπολογία κτιρίων. Η μεταβλητότητα της βροχόπτωσης που ελήφθη υπόψη στην προσέγγισή τους ήταν ο προσδιορισμός των ξηρών, υγρών και μεσαίων ετών από 20ετή ημερήσια δεδομένα βροχοπτώσεων. Η περιοχή μελέτης των Karim et al.. (2015) έχει ζεστό, υγρό τροπικό κλίμα, με υψηλή μεταβλητότητα στις βροχοπτώσεις.

Οι Su et al.. (2009) πρότειναν μια πιθανοτική προσέγγιση για το σχεδιασμό του συστήματος χρησιμοποιώντας την πόλη της Ταϊπέι ως περιοχή μελέτης και την προσομοίωση της αποτελεσματικότητας για την κύρια τυπολογία των κτιρίων της πόλης. Η έρευνα αυτή λαμβάνει υπόψη την αβεβαιότητα καταγράφοντας την απόκριση του συστήματος σε μια περίοδο προσομοίωσης διάρκειας 50 ετών. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος απαιτεί μακροχρόνια σύνολα δεδομένων βροχοπτώσεων, όπως τα 50 χρόνια. Συχνά, τόσο μακροχρόνια αρχεία δεν είναι διαθέσιμα επομένως απαιτούνται διαφορετικές προσεγγίσεις.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία παρουσιάζεται μια μεθοδολογία που συμβάλλει να βελτιωθεί ο σχεδιασμός του μεγέθους της δεξαμενής. Η διερεύνηση μας συμβάλλει στον τομέα αυτό μέσω (α) της διερεύνησης των δυνητικών ωφελειών και της αβεβαιότητας ενός συστήματος συλλογής ομβρίων για διαφορετικά χαρακτηριστικά κτιρίου (.επιφάνεια συλλογής) (β) του προσδιορισμού του ανώτερου και κατώτερου ορίου του μεγέθους της δεξαμενής για κάθε επιφάνεια συλλογής και (γ) της επιλογής του βέλτιστου μεγέθους για την κάλυψη της ζήτησης ανάλογα με τον αριθμό των εξυπηρετούμενων ατόμων.

4 Ανάπτυξη μεθοδολογίας

4.1 Μεθοδολογία για τη συλλογή ομβρίων

Για το σχεδιασμό του συστήματος συλλογής ομβρίων χρησιμοποιήθηκαν διάφορες εξισώσεις και συνθήκες, οι οποίες παρατίθενται στη συνέχεια.

Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

Το μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου ουσιαστικά προσομοιώνει τη λειτουργία της δεξαμενής όμβριων υδάτων ενός συστήματος συλλογής και αποθήκευσης ομβρίων σε ημερήσια βάση. Στο οικιακό σύστημα συλλογής που εξετάζεται, η συλλογή του βρόχινου νερού μπορεί να γίνει από στέγη και άλλες επιφάνειες, που είναι διαθέσιμες, του κτηρίου και η αποθήκευση του σε δεξαμενή. Η ζήτηση αφορά σε κάλυψη αναγκών αστικής χρήσης, εκτός της πόσης, και εξετάζονται διάφορα ποσοστά που μπορούν να ικανοποιηθούν από το βρόχινο νερό του συστήματος. Με την προσομοίωση αυτή εξετάζεται η αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Απαιτούνται βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης, τα οποία χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο και ουσιαστικά καθορίζουν τον όγκο του βρόχινου νερού που δύναται να συλλεχθεί. Ο όγκος αυτός προσδιορίζει τη χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης και κατά συνέπεια θα καθορίσει το ποσοστό κάλυψης των αναγκών ζήτησης.

Η ημερήσια αποθηκευμένη ποσότητα βρόχινου νερού στη δεξαμενή, η οποία εξαρτάται από την ποσότητα και τη συχνότητα της βροχόπτωσης και από τη ζήτηση νερού για την κάλυψη των αναγκών που έχουν οριστεί, υπολογίζεται από την εξίσωση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (Tsihrintzis and Baltas, 2013):

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

Όπου:

S 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} χωρητικότητα της δεξαμενής (m^3)

Προσδιορισμός συλλεγόμενου όγκου όμβριων υδάτων

Ο όγκος του νερού της βροχής που θα απορρεύσει από την επιφάνεια συλλογής και θα συλλεχθεί σε ημερήσια βάση υπολογίζεται ως εξής:

$$R_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t}$$

Όπου:

C ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής.

A το εμβαδό της επιφάνειας συλλογής ομβρίων που είναι συνδεδεμένη με τη δεξαμενή (στέγη και λοιπές επιφάνειες) (m^2).

P_{eff} , η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση της t ημέρας (m).

Λόγω του επιβαρυντικού φορτίου εξαιτίας της σκόνης και άλλων υπολειμμάτων που υπάρχουν στις στέγες και στις άλλες επιφάνειες, κάποιος αρχικός όγκος νερού που απορρέει θεωρείται ποιοτικά υποβαθμισμένος και δεν πρέπει να συλλέγεται και να αποθηκεύεται στην ομβροδεξαμενή. Η πρώτη αυτή έκπλυση του νερού της βροχής (first flush) αφαιρείται από την ημερήσια βροχόπτωση ώστε να προκύψει η ωφέλιμη $P_{eff,t}$. Η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση υπολογίζεται ως:

$$P_{eff,t} = P_t - 0,33 \text{ (σε } mm)$$

Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης

Η ημερήσια ζήτηση νερού, για μια κατοικία εξαρτάται:

α) από τον αριθμό των ατόμων που διαμένουν σ' αυτή, N_{cap} (cap),

β) κατανάλωση νερού κατ' 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.

Η σχέση που δίνει τη ζήτηση είναι:

$$D_t = 10^{-3} \cdot N_{cap} \cdot q \cdot (p/100)$$

Η ημερήσια οικιακή κατανάλωση νερού κατ' άτομο, q , ορίζεται από την ΚΥΑ Αριθ. Δ11/Φ.16/8500 (ΦΕΚ 174/Β/1991). Η ελάχιστη κατανάλωση θεωρείται το όριο 100 L/κάτοικο/ημέρα, δηλαδή 0,1 m³/cap/day, ενώ το ανώτερο τα 200 L/κάτοικο/ημέρα (0,2 m³/cap/day).

Το ποσοστό p , της συνολικής χρήσης νερού που θα χρησιμοποιείται από την ομβροδεξαμενή, εξαρτάται από τη μέση ετήσια βροχόπτωση, το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής και τον αριθμό των κατοίκων που εξυπηρετούνται. Η μέγιστη τιμή του ποσοστού αυτού σε περίπτωση που δε χρησιμοποιείται για πόση, κυμαίνεται από 40 έως 55% (Tsihrintzis and Baltas, 2013).

Διαστασιολόγηση όγκου ομβροδεξαμενής

Χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι για τη διαστασιολόγηση δεξαμενών αποθήκευσης ομβρίων υδάτων που ποικίλουν σε πολυπλοκότητα και εξειδίκευση. Σε αυτή την εργασία περιγράφεται η εξής μέθοδος

Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής με τη μέθοδο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

Υπολογισμός όγκου ομβροδεξαμενής με τη μέθοδο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

Σύμφωνα με την Εξίσωση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, ο όγκος του νερού που θα μπορούσε να αποθηκευτεί στη ομβροδεξαμενή οποιαδήποτε ημέρα, S_t , λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω εξισώσεις υπολογίζεται ως εξής (Λόντρα, 2014):

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

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

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

Από τις δύο 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. Η τιμή μπορεί να είναι οποιαδήποτε. Η πιο συντηρητική τιμή είναι μηδέν ($S_0=0$) για αρχικά άδεια δεξαμενή, η μέγιστη τιμή ίση με τον όγκο της δεξαμενής ($S_0=V_{tank}$) για αρχικά γεμάτη δεξαμενή, ή οποιαδήποτε τιμή για μερικώς γεμάτη δεξαμενή.

Για να ληφθεί υπόψη η χωρητικότητα της δεξαμενής κατά τον υπολογισμό της ημερήσιας ποσότητας του αποθηκευμένου νερού, ακολουθείται επαναληπτικά η παρακάτω διαδικασία:

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

όπου

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

Ο όγκος του νερού που θα υπερχειλίσει από τη δεξαμενή, O_t , όταν αυτή είναι γεμάτη με νερό, υπολογίζεται από:

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

Στην περίπτωση που ο αποθηκευμένος όγκος νερού στη δεξαμενή, $S_{t,tank}$, δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της καθορισμένης ζήτησης, D_t , τότε η ζήτηση θα καλυφθεί συμπληρωματικά, εν μέρει ή εξολοκλήρου, με νερό από τη δημόσια υπηρεσία παροχής νερού ύδρευσης της περιοχής, T_t , και υπολογίζεται από τον παρακάτω αλγόριθμο:

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

4.2 Συντελεστής αποδοτικότητας (Re)

Ο συντελεστής αποδοτικότητας Re υπολογίζεται ως το ποσοστό του αριθμού των ημερών όπου η ζήτηση εξυπηρετείται πλήρως από το διαθέσιμο αποθηκευμένο νερό της δεξαμενής, προς τον συνολικό αριθμό των ημερών των καταγραφών των βροχομετρικών δεδομένων που προσομοιώνονται για τη διαστασιολόγηση του συστήματος συλλογής. Ο συντελεστής επιτρέπει τον καθορισμό της αποδοτικότητας του συστήματος συλλογής ομβρίων για τα εξεταζόμενα επίπεδα ζήτησης.

$$Re = \frac{\sum(\text{ημέρες που δεν γίνεται χρήση νερού από το δίκτυο})}{\sum(\text{ημέρες καταγραφών βροχομετρικών δεδομένων})}$$

4.3 Παραγωγή Συνθετικών Χρονοσειρών

Δεδομένης της σημασίας του μεγέθους της δεξαμενής για τη δημιουργία ενός αξιόπιστου συστήματος συλλογής ομβρίων υδάτων προτείνεται μια έμμεση στοχαστική προσέγγιση για την προσομοίωση και την αξιολόγηση της αποδοτικότητας. Ο κύριος στόχος αυτής της έρευνας είναι η προσομοίωση της συνήθους ζήτησης για μη πόσιμο νερό καθώς και του

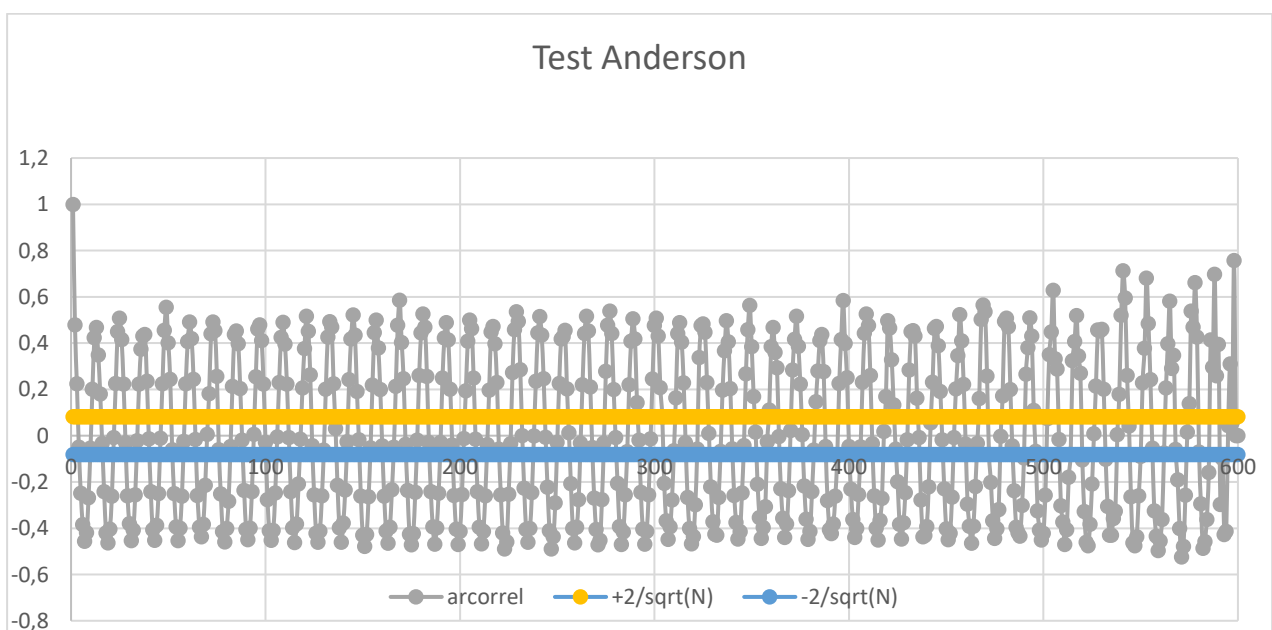
τύπου της στέγης και η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο ο αριθμός των εξυπηρετούμενων ατόμων και ο τύπος της στέγης επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος.

Παραγωγή χρονοσειρών με μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης AR(1)

Αρχικά το στοχαστικό μοντέλο που επιλέχθηκε είναι το μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης (Autoregressive model) 1ης τάξης, AR(1). Το μοντέλο AR(1) εφαρμόζεται σε μόνιμες σειρές και στηρίζεται στη μνήμη κάθε διαδικασίας. Ανήκει στις μακροβιανές διαδικασίες και είναι γνωστό για την απλή εφαρμογή του. Για τη διαστασιολόγηση του συστήματος συλλογής ομβρίων, η υδρολογική παράμετρος που έχει αβεβαιότητα και αποτελεί παράμετρο εισόδου στο μοντέλο ομβροδεξαμενής είναι η βροχόπτωση. Έτσι, έγινε παραγωγή μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης με βάση την ημερήσια ιστορική χρονοσειρά δεδομένων βροχόπτωσης του μετεωρολογικού σταθμού με παραμετρική μέθοδο, καθώς χρησιμοποιήθηκαν σχέσεις στατιστικής για την περιγραφή της ιστορικής χρονοσειράς. Εφόσον, το μήκος της ιστορικής χρονοσειράς ήταν 36 έτη, έγινε παραγωγή 50 συνθετικών χρονοσειρών μήκους 40 ετών η κάθε μία, όσα είναι δηλαδή τα χρόνια για τα οποία μελετάται συνήθως ένα έργο. Η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μεγαλύτερου μήκους συνέβαλε στην διαστασιολόγηση του συστήματος για περισσότερα χρόνια, ενώ δεν υπήρχε αυτή η δυνατότητα με τα ιστορικά δεδομένα. Επίσης, η χρήση συνθετικών χρονοσειρών αντί μόνο της ιστορικής χρονοσειράς για ένα σύστημα, εξαλείφει το μειονέκτημα του αυθαίρετου μήκους της ιστορικής χρονοσειράς και παρέχει ανάλυση της αβεβαιότητας εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία διαστασιολόγησης με τις διαφορετικές συνθετικές χρονοσειρές που προκύπτουν (Κουμουρά, 2016). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή τους είναι η εξής:

Έγινε εύρεση των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης από τις ημερήσιες ιστορικές καθώς και η εύρεση των στατιστικών χαρακτηριστικών αυτών (μέση τιμή, διασπορά, τυπική απόκλιση, συντελεστής ασυμμετρίας και συντελεστής κύρτωσης). Στη συνέχεια γίνεται εύρεση συντελεστών αυτοσυσχέτισης της σειράς 1ης και 2ης τάξης. Ο συντελεστής ρ ακολουθεί ασυμπτωτικά την κανονική κατανομή με διασπορά $1/n$ και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή τυχειότητας μιας χρονολογικής σειράς. Στη συνέχεια έγινε μονιμοποίηση της σειράς των μηνιαίων δεδομένων. Η μονιμοποίηση έγινε με την αφαίρεση από την κάθε τιμή του μέσου όρου και διαίρεση του υπολοίπου με την τυπική απόκλιση του μήνα στον οποίο ανήκει. Συνακόλουθα έγινε η εύρεση στατιστικών χαρακτηριστικών της

μονιμοποιημένης σειράς καθώς και η εύρεση συντελεστών αυτοσυσχέτισης και φύλαξη των συντελεστών αυτοσυσχέτισης 1ης και 2ης τάξης. Η χρήση του μοντέλου AR(1) έγινε ως εξής: Έγινε εύρεση του συντελεστή $F1=R(1)$, όπου $R(1)$ ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης 1ης τάξης της μονιμοποιημένης και της θεωρητικής απόκλισης $C1$. Στη συνέχεια έγινε η παραγωγή τυχαίων αριθμών που ακολουθούν κανονική κατανομή (μέσος όρος 0 και τυπική απόκλιση 1) και ο υπολογισμός τιμών συνθετικής μονιμοποιημένης σειράς βροχοπτώσεων από τις εξισώσεις του μοντέλου. Ακολούθησε η απομονιμοποίηση της συνθετικής μονιμοποιημένης σειράς και ο μηδενισμός των αρνητικών τιμών. Τέλος έγινε η εύρεση των στατιστικών χαρακτηριστικών και του συντελεστή αυτοσυσχέτισης 1ης τάξης της συνθετικής σειράς. Αφού λοιπόν, παρήχθησαν τα ομοιώματα της ιστορικής χρονοσειράς και εκτιμήθηκαν οι παράμετροί τους, έγινε διαγνωστικός έλεγχος μέσω του τεστ Anderson για την καταλληλότητά τους να αναπαριστούν την ιστορική χρονοσειρά. Με βάση το τεστ Anderson, οι εκτιμημένες αυτοσυσχετίσεις των χρονοσειρών πρέπει να μη συσχετίζονται και να είναι κατανεμημένες στην κανονική κατανομή με μηδέν μέσο όρο και τυπικό σφάλμα $\sqrt{(1/N)}$. όπου $N=12*36=432$. Δηλαδή, το $\pm\sqrt{(1/N)}$ είναι τα άνω και κάτω όρια τυπικού σφάλματος στις αυτοσυσχετίσεις ρ_k (Μιμίκου, 2006). Επειδή, το ομοίωμα δεν έδωσε αποδεκτά αποτελέσματα με το 1 τυπικό σφάλμα, επιλέχθηκε το όριο των 2 τυπικών σφαλμάτων $\pm\sqrt{(2/N)}$. Ωστόσο ούτε με αυτό το όριο δώθηκαν αποδεκτά αποτελέσματα όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 4.1 Αυτοσυσχετόγραμμα από AR(1)

Μοντέλο Lopeset. α).για την παραγωγή συνθετικών ημερήσιων χρονοσειρών

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η συνολική μεθοδολογία. Μια ομάδα ετήσιων συνθετικών χρονοσειρών ημερήσιας βροχόπτωσης παράγεται μέσω μίας μαρκοβιανής αλυσίδας πρώτης τάξης καιπροσαρμογής κατανομής πιθανότητας Gamma.

Αριθμός προσομοιώσεων n

Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται n φορέςμε προσομοίωση Monte Carlo. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης διέπεται από τους νόμους της στατιστικής. Μια παράμετρος της επίδοσης του συστήματος θ που εκτιμάται από τα εξαγόμενα n προσομοιώσεων του συστήματος (θεωρώντας ότι $\theta = E[X]$, οπότε η θ εκτιμάται ως ο μέσος όρος των προσομοιωμένων τιμών x_i), έχει διάστημα εμπιστοσύνης μήκους

$$2 \cdot Z_{(1+\gamma)/2} \cdot \frac{Sx}{n^{0.5}}$$

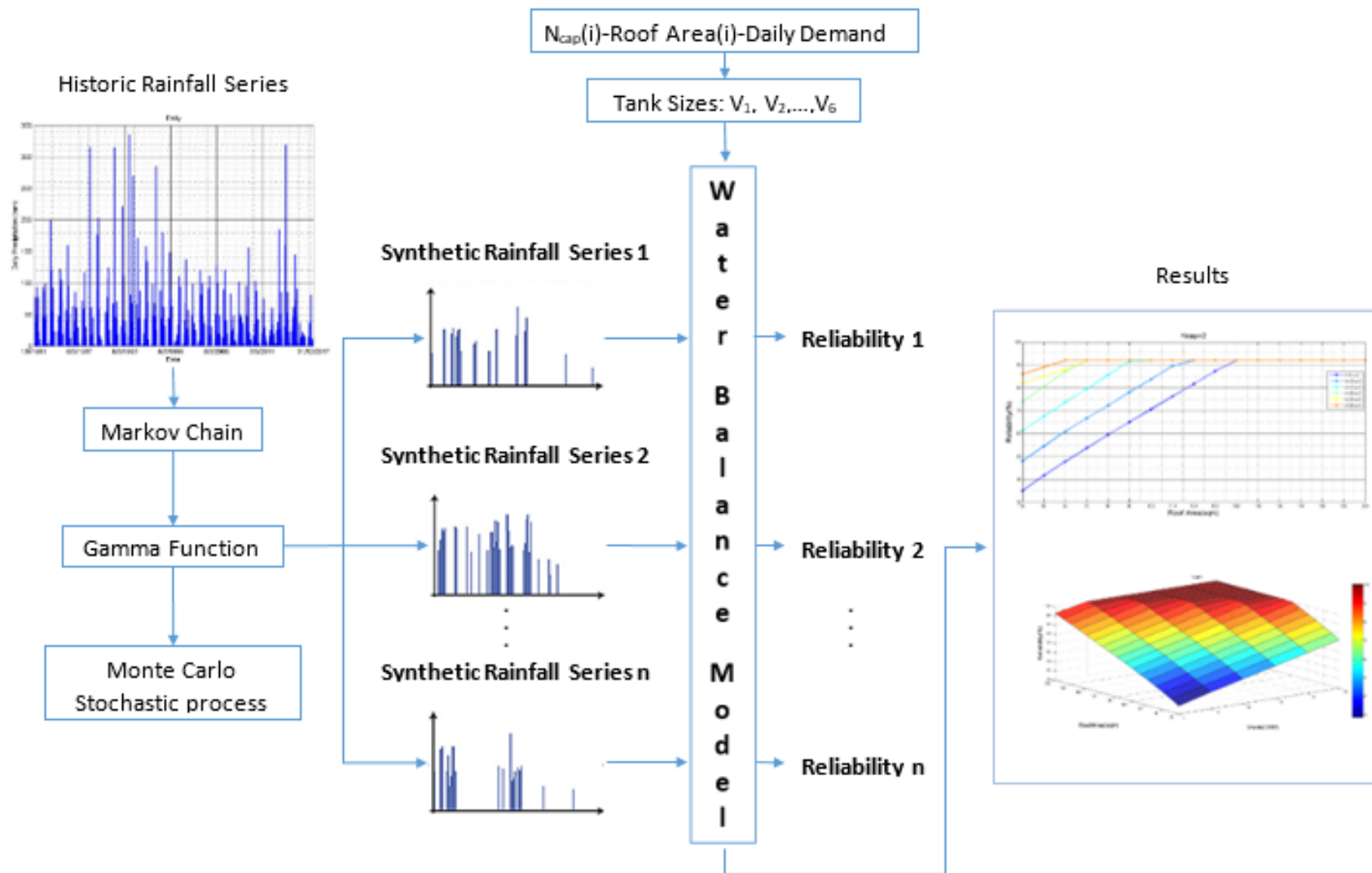
όπου γ ο συντελεστής εμπιστοσύνης, $Z_{(1+\gamma)/2}$ το $(1+\gamma)/2$ ποσοστημόριο της κανονικής κατανομής και Sx η δειγματική τυπική απόκλιση. Αν το διάστημα αυτό είναι επιθυμητό να είναι το πολύ $2c\theta$, όπου c δεδομένο κλάσμα, και ο συντελεστής μεταβλητότητας της X είναι Cv , τότε ο απαιτούμενος αριθμός επαναλήψεων είναι

$$n = \left(\frac{Z_{(1+\gamma)/2}}{c} \cdot Cv \right)^2$$

(Κουτσογιάννης, 2013)

Ο συντελεστής μεταβλητότητας Cv της υγρής περιόδου, όπως αυτή προέκυψε από το ομβροθερμικό διάγραμμα, είναι ίσος με $Cv=2,55$. Επομένως για $\gamma = 95\%$ ($z_{(1+\gamma)/2} = 1.96$), $c = 5\%$ προκύπτει $n=9964$

Κάθε ετήσια σειρά βροχοπτώσεων χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της χρήσης της ομβροδεξαμενής για δεδομένο σενάριο της επιφάνειας της στέγης και για δεδομένη ζήτηση μη-πόσιμου νερού ημερησίως. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για διάφορα μεγέθη δεξαμενών



Σχήμα 4.2 Διάγραμμα ροής μοντέλου

Ένα μαρκοβιανό μοντέλο με συντελεστή υστέρησης 1(lag-one)στήθηκε για να παράξει μια συνθετική ακολουθία ξηρών και υγρών ημερών. Μερικοί συγγραφείς υποθέτουν ότι η εμφάνιση ξηρών και υγρών ημερών είναι ανεξάρτητη, δηλαδή θεωρούν ότι η προηγούμενη καιρική κατάσταση δεν επηρεάζει την παρούσα(Conejo, 1980). Ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο μαρκοβιανής αλυσίδας συνεκτιμώντας έτσι την εμμονή των γεγονότων βροχόπτωσης, υποθέτοντας ότι οι καιρικές καταστάσεις σε δύο διαδοχικές ημέρες δεν είναι ανεξάρτητες. Έχουν παρατηρηθεί καλύτερα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας την τελευταία υπόθεση. Τα μοντέλα Markov αλυσίδας πρώτης τάξης έχουν εφαρμοστεί ευρέως και αποδεικνύονται επαρκή για πολλές τοποθεσίες. Αν και οι συγγραφείς έχουν εξετάσει την ανάγκη χρήσης υψηλότερων τάξεων αλυσίδων Markov (Chin,1977), τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από αρκετές μελέτες χρησιμοποιώντας αλυσίδα πρώτης τάξης αποδείχθηκαν ικανοποιητικά. Για παράδειγμα, οι Kottegoda et al. (2004) επιβεβαίωσαν την καταλληλότητα του μοντέλου πρώτης τάξης markov αξιολογώντας αποτελέσματα από την Ιταλία και τη Σρι Λάνκα ενώ οι Jimoh και Webster (1996) δεν εντόπισαν καμία διακριτή διαφορά μεταξύ της εφαρμογής των μοντέλων πρώτης και δεύτερης τάξης. Ως εκ τούτου, στην παρούσα μελέτη, μια πρώτης τάξης μαρκοβιανή αλυσίδα χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει την ακολουθία ξηρών και υγρών ημερών, επιτρέποντας έναν απλούστερο αλγόριθμο. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν δώδεκα ομοιογενείς περίοδοι που αντιστοιχούν στους μήνες του έτους, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η εποχικότητα της συμπεριφοράς των βροχοπτώσεων και να είναι δυνατή μια καλύτερη αξιολόγηση αυτής της συμπεριφοράς για κάθε μία περίοδο. Η αλυσίδα Markov καθορίζει αρχικά τις πιθανές καταστάσεις καθεμιάς από αυτές τις ημέρες ως ξηρή ή υγρή και στη συνέχεια χρησιμοποιεί ένα πίνακα μετασχηματισμού πιθανοτήτων (matrix of transition probabilities) για να προχωρήσει από την προηγούμενη κατάσταση στην επόμενη. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζεται παρακάτω.

Οι πιθανότητες αυτές παρήχθησαν χρησιμοποιώντας δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης 36 χρόνων στην περιοχή μελέτης καθώς και τις ακόλουθες εξισώσεις

$$P_{00} = \frac{N_{00}}{(N_{00} + N_{01})}, P_{01} = \frac{N_{01}}{(N_{00} + N_{01})}$$

$$P_{10} = \frac{N_{10}}{(N_{10} + N_{11})}, P_{11} = \frac{N_{11}}{(N_{10} + N_{11})}$$

όπου N00 είναι ο αριθμός των ξηρών ημερών που ακολουθούνται από ξηρές ημέρες. N01 είναι ο αριθμός των ξηρών ημερών που ακολουθούνται από υγρές ημέρες N10 είναι ο αριθμός των υγρών ημερών ακολουθούμενες από ξηρές ημέρες. N11 είναι ο αριθμός των υγρών ημερών ακολουθούμενες από υγρές ημέρες.

Ένας πίνακας μετασχηματισμού (transition matrix) υπολογίστηκε για κάθε μήνα καθώς ο κάθε μήνας αντιστοιχεί σε μία ομογενή περίοδο. Ως υγρές θεωρήθηκαν οι ημέρες με τιμές κατακρήμνισης ίσες ή μεγαλύτερες από 0,1 mm.

Πίνακας 4.1 Πίνακας μετασχηματισμού πιθανοτήτων

		Επόμενη ημέρα	
Σήμερα	Κατάσταση	Ξηρή	Υγρή
	Ξηρή	P00	P01
	Υγρή	P10	P11

Όπου P00 είναι η πιθανότητα μετάβασης από μια ξηρή σε μια ξηρή μέρα, P01 είναι η πιθανότητα μετάβασης από μια ξηρή σε μια υγρή μέρα, P10 είναι η πιθανότητα μετάβασης από μια υγρή σε μια ξηρή μέρα; P11 είναι μια πιθανότητα μετάβασης από μια υγρή σε μια υγρή μέρα.

Οι συνθετικές χρονοσειρές παρήχθησαν μέσω γεννήτριας ψευδοτυχαίων (pseudo-random) αριθμών ομοιόμορφα κατανομημένων μεταξύ του 0 και του 1 και θεωρώντας ότι η πρώτη μέρα στη σειρά ήταν ξηρή. Η επόμενη μέρα θα είναι υγρή εφόσον ο ψευδοτυχαίος αριθμός είναι μικρότερος του P01. Αν ο αριθμός είναι μεγαλύτερος από αυτή την τιμή τότε η επόμενη μέρα θα είναι ξηρή. Επιπλέον, αν η προηγούμενη μέρα ήταν υγρή, τότε η επόμενη θα είναι ξηρή αν ο ψευδοτυχαίος αριθμός είναι μικρότερος από το P10.

Προσαρμογή διπαραμετρικής κατανομής Gamma και υπολογισμός παραμέτρων αυτής

Για τον υπολογισμό της ποσότητας της βροχόπτωσης για κάθε υγρή μέρα, τα δεδομένα βροχόπτωσης προσαρμόστηκαν στη συμπεριφορά της ημιτελούς κατανομής Gamma. Η επιλογή της Gamma έγινε γιατί όταν γίνεται προσαρμογή μόνο για τις υγρές μέρες η κατανομή των ποσοτήτων βροχόπτωσης παρουσιάζει μεγάλη λοξότητα, επομένως, η κατανομή Gamma θεωρείται κατάλληλη (Buishand, 1977; Katz, 1977). Οι παράμετροι της κατανομής υπολογίστηκαν μέσω της μεθόδου μέγιστης πιθανοφάνειας καθώς παράγει παραμέτρους με μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιώντας λιγότερα δεδομένα (Thom, 1958).

Η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας(ΣΠΠ) της $G2(\alpha, \beta)$ είναι

$$f(x) = \left\{ \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \frac{x^{\alpha-1}}{\beta_0} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right) \right\}, x > 0, \alpha \text{ λλ} \text{ } \beta > 0$$

όπου α ($\alpha > 0$) είναι η παράμετρος μορφής και β ($\beta > 0$) είναι η παράμετρος κλίμακας

Οι παράμετροι α, β υπολογίζονται με τη μεθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας.

Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας(ML)

Η από κοινού κατανομή των ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_n είναι

$f(x; \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta)$, με $\theta = (\alpha, \beta)$. Θα συμβολίζουμε με \bar{x} τον αριθμητικό μέσο, με \tilde{x} το γεωμετρικό μέσο των τιμών του δείγματος, δηλαδή

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \tilde{x} = (\prod_{i=1}^n x_i)^{1/n}$$

Θεωρούμε τη συνάρτηση πιθανοφάνειας $L(\theta; x) = f(x; \theta)$. Ο εκτιμητής $\theta = (\alpha, \beta)$ του θ με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (ML) είναι το διάνυσμα θ που μεγιστοποιεί την $L(\theta; x)$. Οι συνιστώσες α και β αυτού του διανύσματος λέγονται εκτιμητές ML των παραμέτρων α και β .

Έστω ψ η διγάμα συνάρτηση, $\psi(a) = \frac{d}{da} \log \Gamma(a)$.

Ο εκτιμητής ML α είναι η λύση της εξίσωσης

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log x_i - \log \bar{x} = \psi(\alpha) - \log(\alpha)$$

Για την λύση της χρησιμοποιείται η προσεγγιστική μέθοδος των Greenwood & Durand (1960).

Ή ισοδύναμα, $R_n = \psi(\alpha) - \log(\alpha)$ όπου $R_n = \log \left[\frac{\tilde{x}}{\bar{x}} \right]$.

Ο εκτιμητής ML β προκύπτει από τη σχέση

$$\beta = \frac{\tilde{x}}{\alpha}$$

Στην παρούσα έρευνα υπολογίσθηκαν 12 ζεύγη α, β για κάθε ομογενή περίοδο που αντιστοιχεί στους μήνες του έτους. Στα πλαίσια της διερεύνησης του υπολογισμού των παραμέτρων έγινε και δοκιμή για προσαρμογή με 2 περιόδους και 2 ζεύγη α, β που αντιστοιχούσαν στην υγρή και την ξηρή περίοδο του έτους όπως προέκυψαν από το

ομβροθερμικό διάγραμμα. Ωστόσο κατά των υπολογισμό των ποσοτήτων ημερήσιας βροχόπτωσης X_i παρουσιάστηκαν ακραίες τιμές καθώς ενώ τα στατιστικά χαρακτηριστικά διατηρούνταν σε επίπεδο εποχής αυτό δε συνέβαινε σε επίπεδο μήνα οπότε ο υπολογισμός έγινε με τα 12 ζεύγη.

Η μέθοδος Monte Carlo είναι μια στατιστική μέθοδος προσομοίωσης που αναπτύσσει προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας τυχαία δειγματοληψία. Στην περίπτωση αυτής της έρευνας, μέσω της χρήσης της αλυσίδας Markov και της προσαρμογής της Gamma κατανομής προσδιορίστηκαν τα πιθανοτικά χαρακτηριστικά των δεδομένων βροχοπτώσεων (ημερήσια). Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η μέθοδος Monte Carlo παράγοντας ψευδοτυχαίους αριθμούς και εξάγοντας από αυτούς τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για να παράξουμε n ημερήσιες χρονοσειρές βροχόπτωσης και την επακόλουθη ετήσια προσομοίωση της χρήσης της δεξαμενής για κάθε πιθανή χρονοσειρά. Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψιν την αβεβαιότητα δεδομένου ότι κάθε χρονοσειρά είναι η πραγμάτωση μιας στοχαστικής διαδικασίας.

Στατιστικά χαρακτηριστικά συνθετικών χρονοσειρών

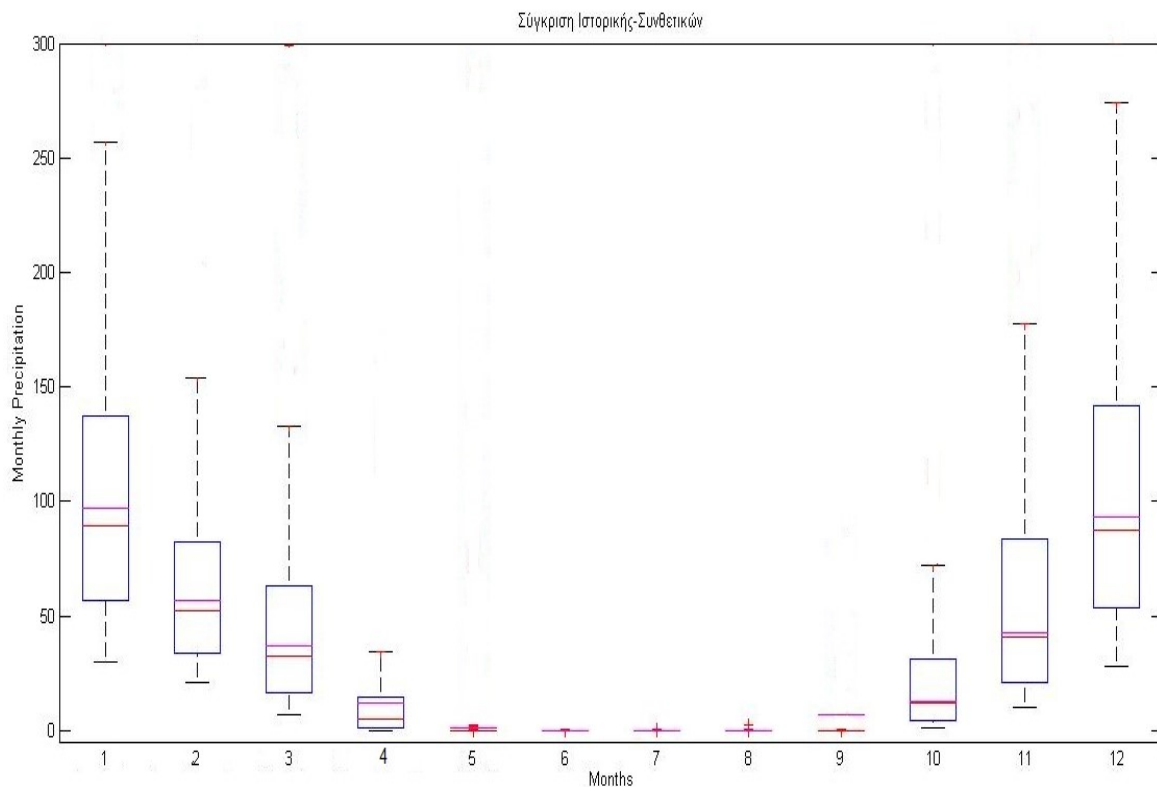
Οι χρονοσειρές που παρήχθησαν είχαν μήκος 365 ημερών (ένα έτος) και για κάθε μια πραγματοποιήθηκε ανάλυση αξιοπιστίας με τη μέθοδο του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου. Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των συνθετικών χρονοσειρών καθώς και η σύγκριση αυτών με την ιστορική. Παρουσιάζεται το θηκόγραμμα της κατανομής των χρονοσειρών ανά μήνα καθώς και η διάμεσος της ιστορικής χρονοσειράς ανά μήνα.

Το θηκόγραμμα (box plot) είναι ένας απλός τρόπος παρουσίασης των κυριότερων χαρακτηριστικών μιας κατανομής για δείγμα πολλών δεδομένων. Αναπαριστούνται τα τέσσερα τεταρτημόρια όπου το 25 –ποσοστιαίο σημείο ονομάζεται πρώτο τεταρτημόριο και το συμβολίζουμε Q_1 , το 50 –ποσοστιαίο σημείο ονομάζεται δεύτερο τεταρτημόριο και το συμβολίζουμε Q_2 ενώ το 75 –ποσοστιαίο σημείο ονομάζεται τρίτο τεταρτημόριο και το συμβολίζουμε Q_3 ενώ οι παρατηρήσεις που βρίσκονται έξω από το εύρος των δύο οριακών τιμών, καλούνται εξωτερικές ή εξωκείμενες τιμές. Η διαφορά $Q_3 - Q_1$ λέγεται ενδοτεταρτημορικό εύρος και δίνει το εύρος που καλύπτουν τα μισά από τα δεδομένα που είναι πιο κοντά στην κεντρική τιμή δηλαδή τη διάμεσο (Φουσκάκης, Περιγραφική Στατιστική).

Επιλέγεται η διάμεσος σα χαρακτηριστική τιμή καθώς η ιστορική χρονοσειρά παρουσίαζε μεγάλη διασπορά σε επίπεδο μήνα και παρουσιάζονταν ακραίες τιμές οπότε η μέση τιμή δεν ήταν αντιπροσωπευτικό μέτρο θέσης . Στο σχήμα φαίνεται η διάμεσος της ιστορικής χρονοσειράς με κόκκινο χρώμα και των συνθετικών με μωβ. Είναι φανερό πως οι κατανομές των συνθετικών χρονοσειρών σε επίπεδο μήνα παρουσιάζουν όλες θετική ασυμμετρία δηλαδή οι περισσότερες τιμές είναι συγκεντρωμένες αριστερά και οι κατανομές εμφανίζουν ουρά προς τα δεξιά. Οι μήνες Απρίλιος έως και Οκτώβριος, δηλαδή αυτοί της ξηρής περιόδου, παρουσιάζουν το μικρότερο εύρος και το μικρότερο ενδοτεταρτημορικό εύρος. Έτσι με σκοπό να μελετηθεί το πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα των χρονοσειρών επιλέχθηκε ένα υποσύνολο (τελικά περίπου στο μισό των χρονοσειρών) με γνώμονα τέτοιο ώστε να μειώνεται το εύρος των διακύμανσης σε επίπεδο μήνα κυρίως για τους χειμερινούς μήνες με βάση τα ελάχιστα μηνιαία ύψη βροχής της ιστορικής χρονοσειράς. Πιο συγκεκριμένα το κριτήριο ήταν το εξής:

if SyntheticSumMonth(i, j) < MinMonthHistoric(i) then , DailyPrec(i, j) = NaN

όπου $i=1,2,\dots,12$ ο μήνας και $j=1,2,\dots,n$ η συνθετική χρονοσειρά



Σχήμα 4.3 Θηκόγραμμα συνθετικών χρονοσειρών και διάμεσος ιστορικής

Ενδεικτική κοστολόγηση δεξαμενών και εξαρτημάτων

Η δεξαμενή αποθήκευσης του βρόχινου νερού αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο κόστος στο σύνολο του συστήματος και κυμαίνεται από 30% έως 40% του ολικού κόστους επένδυσης, ανάλογα πάντα με τον όγκο της δεξαμενής που θα επιλεγεί. Η επιλογή της δεξαμενής στο πλαίσιο του σχεδιασμού του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, συνδέεται άμεσα με την επιφάνεια συλλογής ομβρίων, τη ζήτηση του νερού, καθώς και με τις τοπικές καταγραφές των βροχοπτώσεων. Η εύρεση του αρχικού κόστους αφορά στις έτοιμες δεξαμενές που κυκλοφορούν στην αγορά και σύγκριση διαφόρων τιμών για επιλεγμένο όγκο και σχήμα δεξαμενής (Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4 Διαθέσιμα σχήματα πλαστικών δεξαμενών νερού (Πηγή: mytherm.gr)

Το αρχικό κόστος τοποθέτησης μίας πλαστικής δεξαμενής βρόχινου νερού, κυλινδρικού σχήματος σε σχέση με τον όγκο της παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Ενδεικτικό κόστος πλαστικών ομβροδεξαμενών οικιακής χρήσης ανάλογα με τη χωρητικότητα και τις διαστάσεις (οι τιμές επιβαρύνονται με Φ.Π.Α. 23%) (Πηγή: mytherm.gr)

Τύπος	Χωρητικότητα (L)	Διαστάσεις (cm)			Τιμή €
		Μήκος	Πλάτος	Ύψος	
Κλασική Σ7 SLIM	500	108	58	107	130
	700	112	68	120	152
	1.000	155	64	126	217
	1.100	153	68	125	48
	1.300	153	68	142	300
	1.500	205	67	152	492
	2.000	205	67	185	732
Κυλινδρική Οριζόντια Σ5 PORKY	500	133	72	85	140
	1.000	140	105	118	222
	2.000	173	130	150	432
	3.000	195	145	160	576

Παταριού Σ12 AQUA	260	100	50	55	86
Τύπος	Χωρητικότητα	Διάμετρος (cm)		Ύψος	Τιμή (€)
Κυλινδρική Κατακόρυφη Σ6 - ECO	300	58		118	96
	500	64		165	130
	750	74		195	163
	1.000	86		200	203
Κυλινδρική Κατακόρυφη Σ8 ELEPHANT	5.500	200		200	740
	9.000	235		240	1.780
	10.000	260		207	2.000
	15.000	270		270	2.800
	20.000	310		270	3.800

Για προκατασκευασμένες δεξαμενές από οπλισμένο σκυρόδεμα το ενδεικτικό κόστος αγοράς παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Ενδεικτικό κόστος προκατασκευασμένης ομβροδεξαμενής από σκυρόδεμα (Πηγή: Τουμάζης κ.α., 2009)

Χωρητικότητα (m ³)	Κόστος αγοράς (€)
8	700
22	2700

Στη συνέχεια γίνεται μία εκτίμηση κόστους και των υπόλοιπων εξαρτημάτων συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων. Η κοστολόγηση έγινε με βάση τις ισχύουσες τιμές εταιρειών εμπορίας συναφών ειδών (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.4 Ενδεικτική κοστολόγηση εξαρτημάτων συστήματος συλλογής όμβριων (Πηγή: .e-watershop.gr)

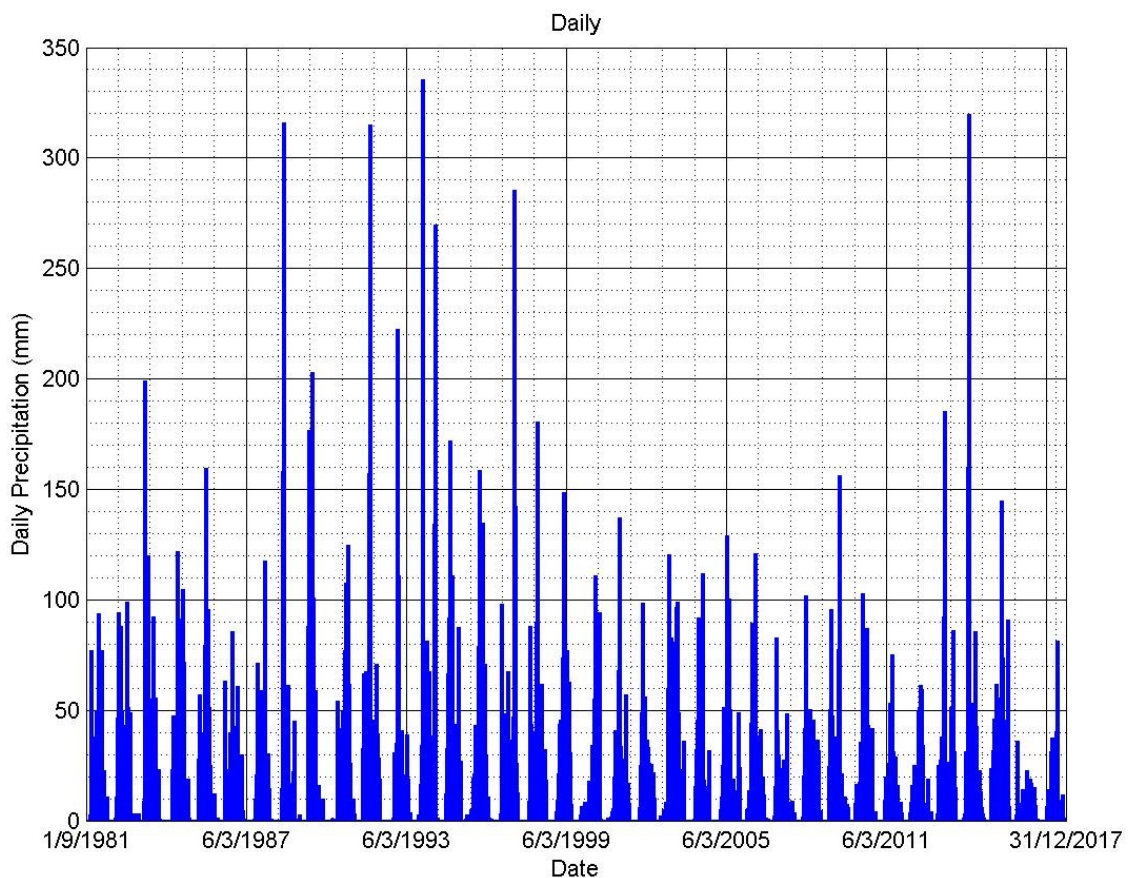
Εξαρτήματα	Κόστος (Ενδεικτική τιμή)
Σωληνώσεις	2.5 €/m
Εσχάρα	3 €
Διαχωριστής πρώτης απόπλυσης	100 €
Αντλία	250 €
Φίλτρα διήθησης	160 €

Απολυμαντήρας UV	400 €
Μηχάνημα αποτροπής αντίστροφης ροής	120 €

4.4 Εφαρμογή της μεθοδολογίας στη Σύμη

Για την εφαρμογή στο Νησί της Σύμης, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης από τον μετεωρολογικό σταθμό της Ρόδου για την περίοδο 1982-2017. Πρόκειται για δεδομένα περιόδου 36 χρόνων που επαρκεί για την εξέταση διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών σύμφωνα με το γερμανικό κανονισμό DIN 1989-1 (2002) του Γερμανικού Ινστιτούτου Τυποποίησης.

Στο Σχήμα φαίνονται τα ημερήσια ύψη βροχής με βάση τα ιστορικά βροχομετρικά δεδομένα των 36 χρόνων στη Νήσο Σύμη.



Σχήμα 4.5. Ιστορική χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης

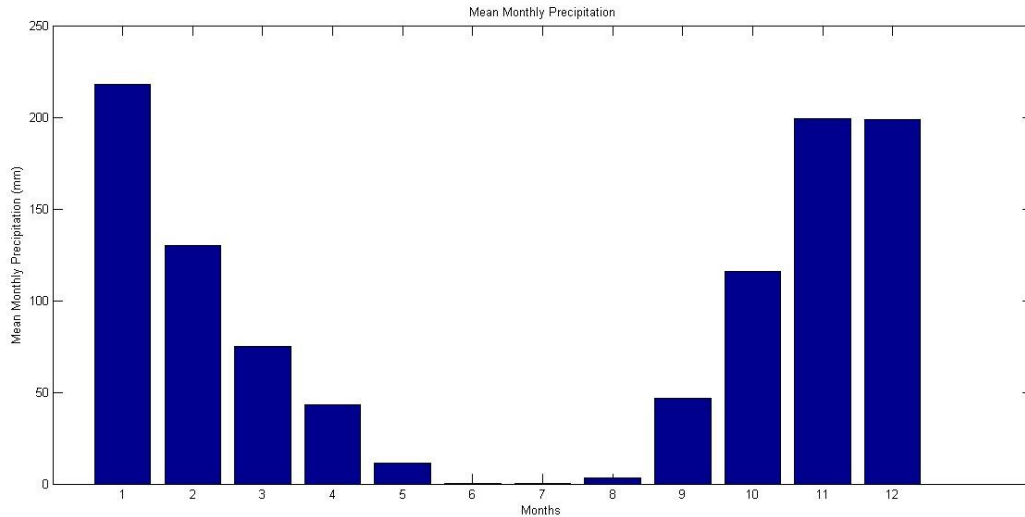
Από τα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού η μέση ετήσια βροχόπτωση, είναι 842 mm και υπολογίζεται από τη σχέση

$$\bar{P} = 365 \cdot \frac{\sum_{i=1}^N Pt}{N}$$

Όπου N το πλήθος ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης για 36 έτη και Pt η ημερήσια τιμή βροχόπτωσης.

Ως άνομβρη περίοδος ορίζεται ο αριθμός των ημερών χωρίς βροχόπτωση ή με ωφέλιμη βροχόπτωση μικρότερη ή ίση του 1mm. Η μέγιστη άνομβρη περίοδος που καταγράφηκε στα 36 χρόνια δεδομένων είναι 167 ημέρες. Οι συνολικές μέρες χωρίς βροχόπτωση για τα δεδομένα των 36 ετών (ωφέλιμη βροχόπτωση μικρότερη ή ίση του 1mm) ήταν 9965 ημέρες.

Η μέση μηνιαία βροχόπτωση εμφανίζεται στο Σχήμα 4.6 . Υπάρχει πολύ έντονη εποχικότητα των βροχοπτώσεων, καθώς μήνες όπως ο Ιούνιος, ο Ιούλιος και ο Αύγουστος είναι πολύ ξηροί, ενώ μήνες όπως ο Νοέμβριος, ο Δεκέμβριος και ο Ιανουάριος είναι πολύ υγροί. Η περιοχή επιλέχτηκε δεδομένης της μακράς ξηρής περιόδου και της επαναλαμβανόμενης έλλειψης, η οποία συχνά προκαλεί συζητήσεις σχετικά με τη χρήση των συστημάτων συλλογής ομβρίων υδάτων. Σε περιοχές με τέτοιο καθεστώς βροχόπτωσης, ένα μέγεθος δεξαμενής που δεν έχει σχεδιαστεί σωστά θα έχει ως αποτέλεσμα είτε ένα υψηλό ποσοστό έλλειψης (δηλαδή η δεξαμενή δεν μπορεί να καλύψει τη ζήτηση) ή μια υπερμεγέθη δεξαμενή που βρίσκεται σε αδράνεια τις περισσότερες φορές λόγω της έλλειψης βροχοπτώσεων.



Σχήμα 4.6 Μέση μηνιαία βροχόπτωση

Στη συγκεκριμένη έρευνα, πριν εφαρμόσουμε τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω για τη διαστασιολόγηση του συστήματος συλλογής ομβρίων έγιναν οι εξής παραδοχές:

Ωφέλιμη Βροχόπτωση $P_{eff,t}$

Για τον υπολογισμό της ωφέλιμης βροχόπτωσης, $P_{eff,t}$, ορίστηκε ως ποσότητα πρώτης έκπλυσης/εκτροπής (First flush) η τιμή 0,33 mm, λαμβάνοντας υπόψη τις αναφορές Yaziz et al. (1989) και Kinkade-Levario (2007) για την προστασία από τη μικροβιακή μόλυνση και τη βελτίωση της ποιότητας του συλλεγόμενου νερού. Έτσι, τα πρώτα 0,33 mm βροχής αφαιρούνται από τη συνολική ημερήσια βροχόπτωση διαμορφώνοντας τη σχέση της ωφέλιμης βροχόπτωσης ως εξής:

$$P_{eff,t} = P_t - 0,33 \text{ (σε mm)}$$

Οπότε, η μέση ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση, \bar{P}_{eff} , είναι $\bar{P}_{eff} = 813,1 \text{ mm}$ και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{P}_{eff} = 365 \cdot \frac{\sum_{i=1}^N P_{eff,t}}{N}$$

Όπου N ο συνολικός αριθμός ημερών δεδομένων βροχόπτωσης (N=13140 ημέρες)

Συντελεστής απορροής, C

Οι στέγες των κατοικιών στη Σύμη είναι επίπεδες και χρησιμοποιούν στην πλειοψηφία τους τσιμέντο ή πλακάκια. Αυτό οδηγεί στην επιλογή της τιμής του συντελεστή απορροής το $C=0,9$. Επίσης, τα μπαλκόνια και οι αυλές, από τις οποίες μπορεί να γίνει συλλογή, είναι επίσης

κατασκευασμένες από τα ίδια υλικά, οπότε ο συντελεστής δεν αλλάζει.(Kinkade-Levario H., 2007).

Επιφάνεια απορροής ομβρίων, A

Η ποσότητα του συλλεγόμενου νερού εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος της επιφάνειας απορροής. Στη Σύμη σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία, οι επιφάνειες των κτηρίων στην πλειοψηφία τους κυμαίνονται κάτω από τα 120 m². Ωστόσο, υπάρχουν κτήρια που καλύπτουν πολύ μεγαλύτερες επιφάνειες. Έτσι, η επιφάνεια συλλογής εξετάζεται για διάφορες τιμές από 40 έως 200 m².

Αριθμός εξυπηρετούμενων ατόμων ανά νοικοκυριό, N_{cap}

Σύμφωνα με τη απογραφή του 2011 από την ΕΛΣΤΑΤ, τα περισσότερα νοικοκυριά αποτελούνται από 2 μέλη. Ωστόσο, λόγω της μεγάλης αύξησης του πληθυσμού του νησιού το καλοκαίρι και για να εξεταστεί το δυσμενέστερο σενάριο και η κάλυψη των αναγκών των κατοίκων για εκείνους τους μήνες, θα επιλεγθούν νοικοκυριά μέχρι 4 εξυπηρετούμενα άτομα ($N_{cap}= 2-4$).

Κατανάλωση νερού κατ' άτομο, q

Η ημερήσια οικιακή κατανάλωση νερού ανά άτομο, q , αντιστοιχεί στο εύρος 150-200/κάτοικο/ημέρα (εντός ορίων της σχετικής ΚΥΑ). Ωστόσο υπάρχουν διαφοροποιήσεις στην κατανάλωση ανάμεσα στους χειμερινούς και του εαρινούς μήνες όπου η κατανάλωση αυξάνεται. Επομένως επιλέχθηκε η τιμή των 180 L/κάτοικο/ημέρα.

Ποσοστό χρήσης συστήματος, p

Όσον αφορά το ποσοστό χρήση συστήματος, p , επιλέχθηκε το ποσοστό 30%. Η μέγιστη τιμή του ποσοστού αυτού σε περίπτωση που δε χρησιμοποιείται για πόση, κυμαίνεται από 40 έως 55% (Tsihrintzis and Baltas, 2013). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Karavitis, 2008), σχετικά με τις καταναλώσεις νερού για οικιακή χρήση για μία τυπική οικογένεια στην Ευρώπη τα ποσοστά που αντιστοιχούν στις ανάγκες μιας οικογένειας για κατανάλωση νερού είναι στην τουαλέτα (~30%), στο μπάνιο-ντους (20%-30%) ή/και στα πλυντήρια ρούχων και πιάτων (~15%) και στο πότισμα και πλύσιμο αυτοκινήτου (17-29%).

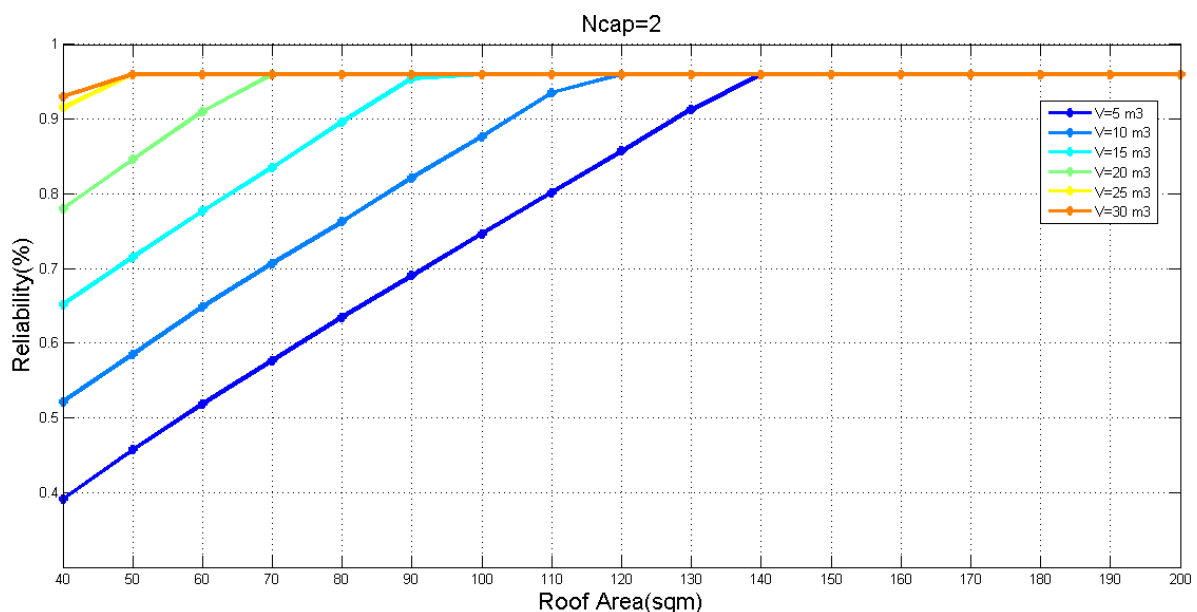
Μέγεθος ομβροδεξαμενής V_{tank}

Οι όγκοι που εξετάστηκαν ξεκινούν από 5 έως 30 m³. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν καθώς οι μεγάλοι όγκοι συναντώνται σε κτίρια με εγκατεστημένες υπόγειες δεξαμενές από σκυρόδεμα, ενώ οι μικρότεροι αφορούν διατάξεις κατασκευασμένες από πλαστικό και είναι διαθέσιμες στο εμπόριο (Πρέκα, 2016). Η μη εξέταση μεγαλύτερων όγκων έγινε με βάση τη νομοθεσία, αλλά και λόγω του μεγάλου κόστους που έχει μία μεγαλύτερη δεξαμενή, το οποίο δε μπορεί να καλύψει εύκολα ένας ιδιώτης.

5 Αποτελέσματα-Συζήτηση

5.1 Εφαρμογή μοντέλου ισοζυγίου ομβροδεξαμενής με την ιστορική χρονοσειρά

Αρχικά εφαρμόστηκε το μοντέλο του ισοζυγίου για τη διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής με δεδομένα εισόδου την ιστορική χρονοσειρά μήκους 36 χρόνων. Εξετάστηκε η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re για όλο το πιθανό εύρος της επιφάνειας συλλογής $A(40-200 \text{ m}^2)$ καθώς και όλους τους όγκους της δεξαμενής $V(5-30 \text{ m}^3)$.

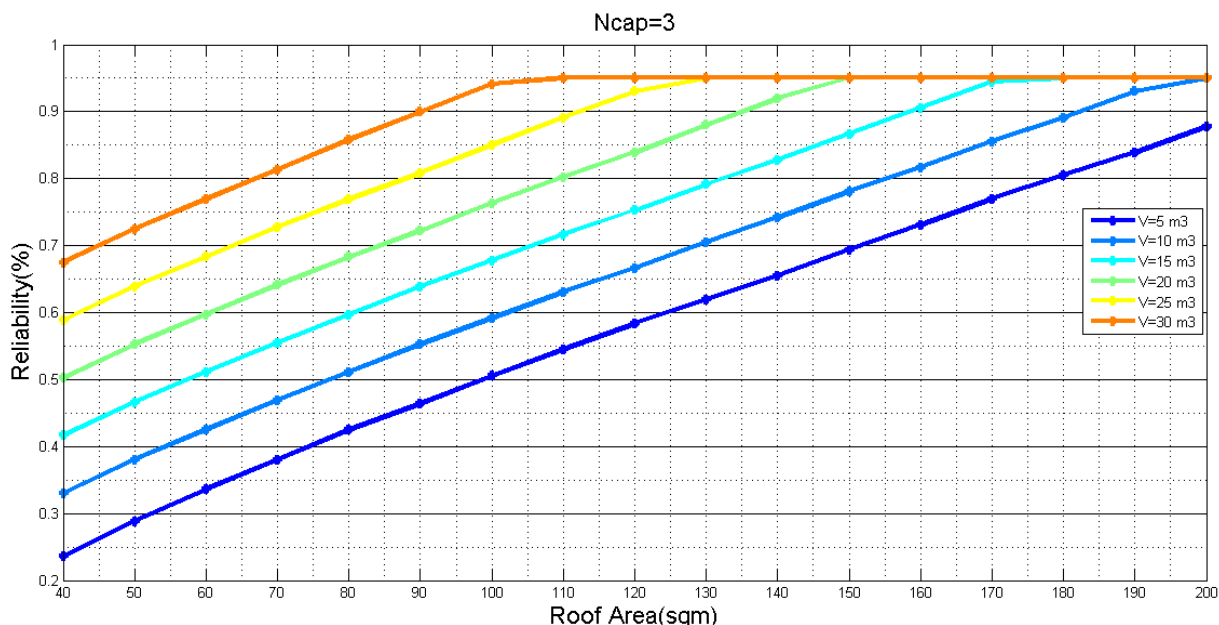


Σχήμα 5.1 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A ($40-200 \text{ m}^2$) για όγκους $5-30 \text{ m}^3$ με τα βροχομετρικά δεδομένα της ιστορικής χρονοσειράς για $N_{cap}=2$

Στο Σχήμα 5.1 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας με χρήση της ιστορικής χρονοσειράς μήκους 36 ετών, για το σενάριο των δύο κατοίκων ανά νοικοκυριό. Οι τιμές της απόδοσης Re κυμαίνονται από 39-96%.

Για όγκους 5 και 10 m^3 παρατηρείται μικρή μεταβολή της αξιοπιστίας με τη μέγιστη τιμή του 96% να επιτυγχάνεται για επιφάνειες συλλογής $A=140$ και 120 m^2 αντίστοιχα ενώ για $V=10 \text{ m}^3$ επιτυγχάνεται υψηλή αξιοπιστία της τάξης του 88% για επιφάνεια 100 m^2 και μικρή αύξηση στη συνέχεια της τάξης του 94 και 96% για επιφάνειες 110 και 120 m^2 αντίστοιχα. Για ενδιάμεσους όγκους 15 και 20 m^3 οι ελάχιστες τιμές είναι 64 και 78% αντίστοιχα για τη μικρότερη επιφάνεια $A=40 \text{ m}^2$ με τη μέγιστη τιμή του 96% να επιτυγχάνεται για επιφάνειες 90 και 70 m^2 αντίστοιχα. Για μεγάλους όγκους 25 και 30 m^3 παρατηρείται μικρή

διαφοροποίηση για όλες τις επιφάνειες συλλογής και συγκεκριμένα είναι 91 και 93% αντίστοιχα για επιφάνεια 40 m². Επίσης, για επιφάνειες 60 και 70 m² οι συντελεστές αξιοπιστίας για όγκους 20 και 25 m³ είναι 91,96% και 96% αντίστοιχα. Τέλος και για A=90 m² ίδια υψηλή αξιοπιστία επιτυγχάνεται για όγκους V=15 και 30 m³. Επομένως, σε τέτοιες περιπτώσεις επιλέγεται ο μικρότερος όγκος για την εξοικονόμηση κόστους και χώρου εγκατάστασης.

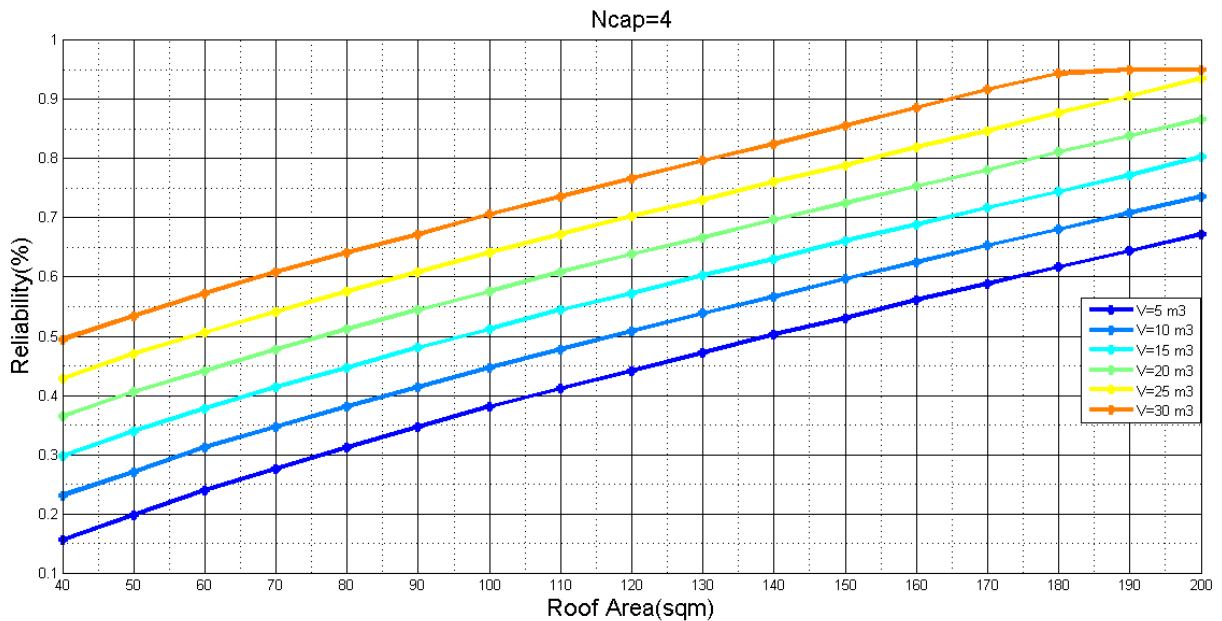


Σχήμα 5.2 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (40-200 m²) για όγκους 5-30 m³ με τα βροχομετρικά δεδομένα της ιστορικής χρονοσειράς για $N_{cap}=3$

Στο Σχήμα 5.2 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας με χρήση της ιστορικής χρονοσειράς μήκους 36 ετών για το σενάριο των τριών κατοίκων ανά νοικοκυριό. Οι τιμές της απόδοσης Re κυμαίνονται από 24-95%.

Παρατηρείται ότι αυξάνοντας την επιφάνεια συλλογής αυξάνεται και η αξιοπιστία του συστήματος για όλους τους όγκους. Για μικρές επιφάνειες συλλογής 40-60 m² παρατηρείται μικρότερο εύρος των ελαχίστων και των μεγίστων τιμών σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο. Συγκεκριμένα για A=40 m² είναι 24-68% και για A=60 m² είναι 34-76%. Κοινό σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο είναι το γεγονός ότι σε περίπτωση μεγάλων επιφανειών ακόμα και για μικρές δεξαμενές επιτυγχάνεται μεγάλη αξιοπιστία. Για παράδειγμα για επιφάνεια 170 m² επιτυγχάνεται σχεδόν ίδιος συντελεστής αξιοπιστίας για δεξαμενές χωρητικότητας V=15 και 30 m³ (94 και 95% αντίστοιχα). Το ίδιο συμβαίνει και για δεξαμενές

με $V=25$ και 30 m^3 στην περίπτωση επιφάνειας 120 και 130 m^2 όπου παρατηρείται συντελεστής αξιοπιστίας $93,95\%$ για $V=25 \text{ m}^3$ και 95% για $V=30 \text{ m}^3$. Τέλος, παρατηρείται ότι και για τον ενδιάμεσο όγκο $V=20 \text{ m}^3$ για επιφάνειες μεγαλύτερες των 140 m^2 επιτυγχάνεται ο ίδιος υψηλός συντελεστής αξιοπιστίας με αυτόν που παρατηρείται στις μεγαλύτερες δεξαμενές.



Σχήμα 5.3 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A ($40-200 \text{ m}^2$) για όγκους $5-30 \text{ m}^3$ με τα βροχομετρικά δεδομένα της ιστορικής χρονοσειράς για $N_{cap}=4$

Στο Σχήμα 5.3 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας με χρήση της ιστορικής χρονοσειράς μήκους 36 ετών για το σενάριο των τεσσάρων κατοίκων ανά νοικοκυριό. Οι τιμές της απόδοσης Re κυμαίνονται από $16-94\%$.

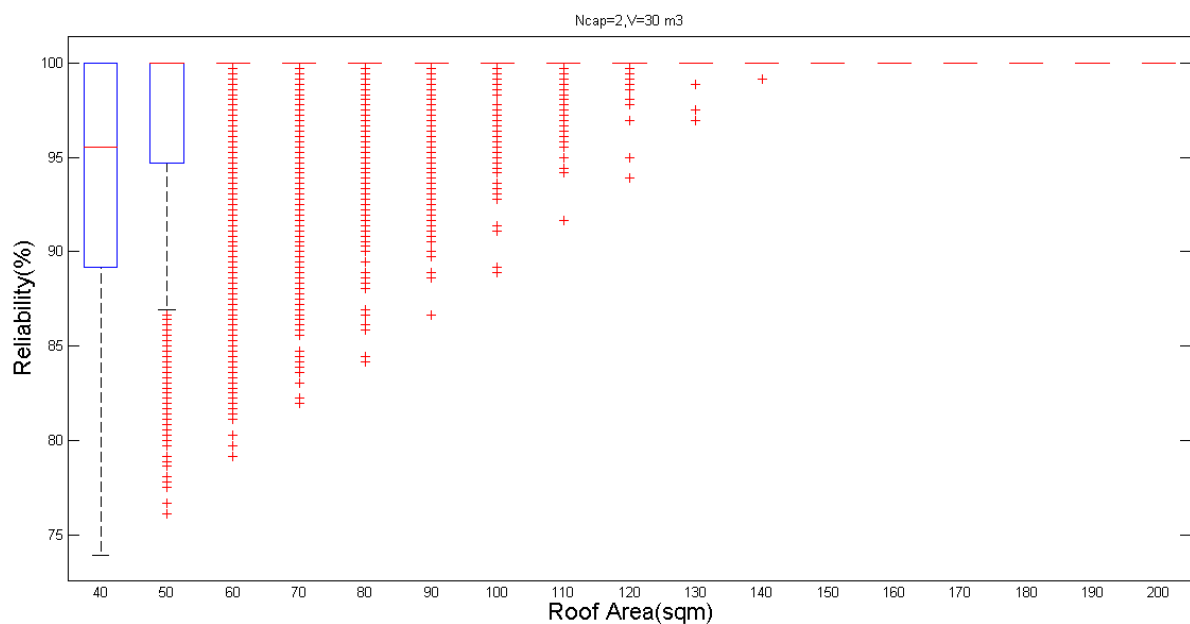
Παρατηρείται ότι ενώ στα προηγούμενα σενάρια και ειδικά για $N_{cap}=2$ η μέγιστη αξιοπιστία επιτυγχανόταν για όλους τους πιθανούς όγκους δεξαμενής αν αυξανόταν η επιφάνεια συλλογής, εδώ η μέγιστη τιμή του 94% επιτυγχάνεται μόνο για $V=30 \text{ m}^3$ και για επιφάνειες 190 και 200 m^2 . Το εύρος των ελαχίστων και των μεγίστων τιμών της αξιοπιστίας στο παρών σενάριο είναι ακόμα μικρότερο και πιο σταθερό σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια. Ενδεικτικά αναφέρεται το εύρος για $A=100 \text{ m}^2$ και για $A=160 \text{ m}^2$ όπου είναι $38-70\%$ και $54-86\%$ αντίστοιχα για την ελάχιστη και μέγιστη χωρητικότητα δεξαμενής.

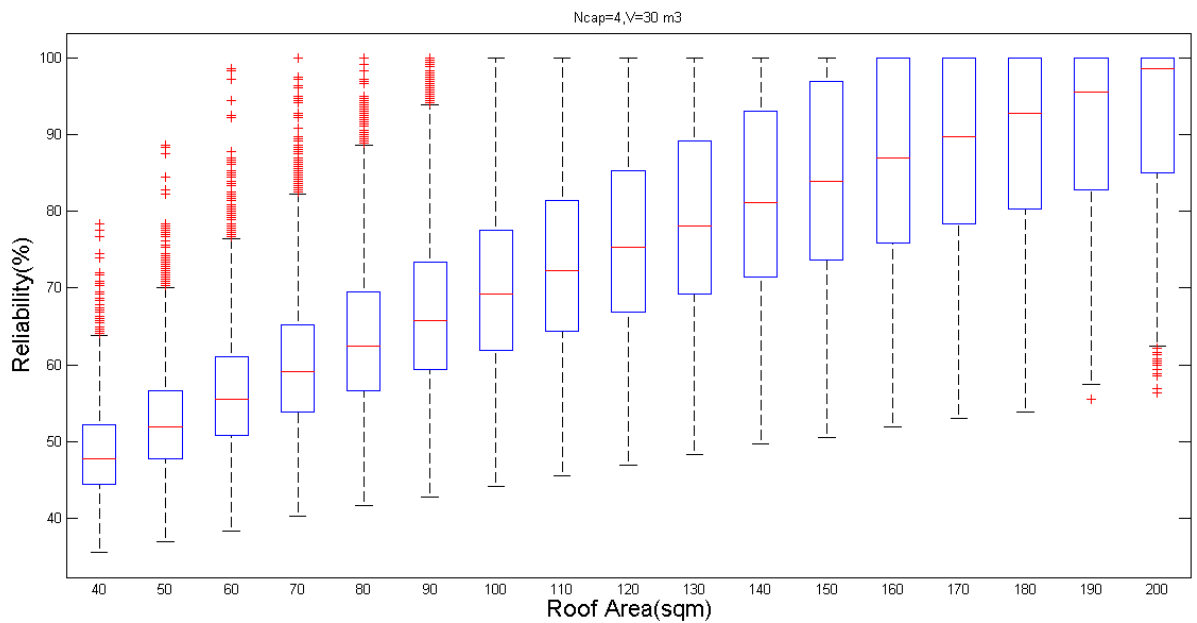
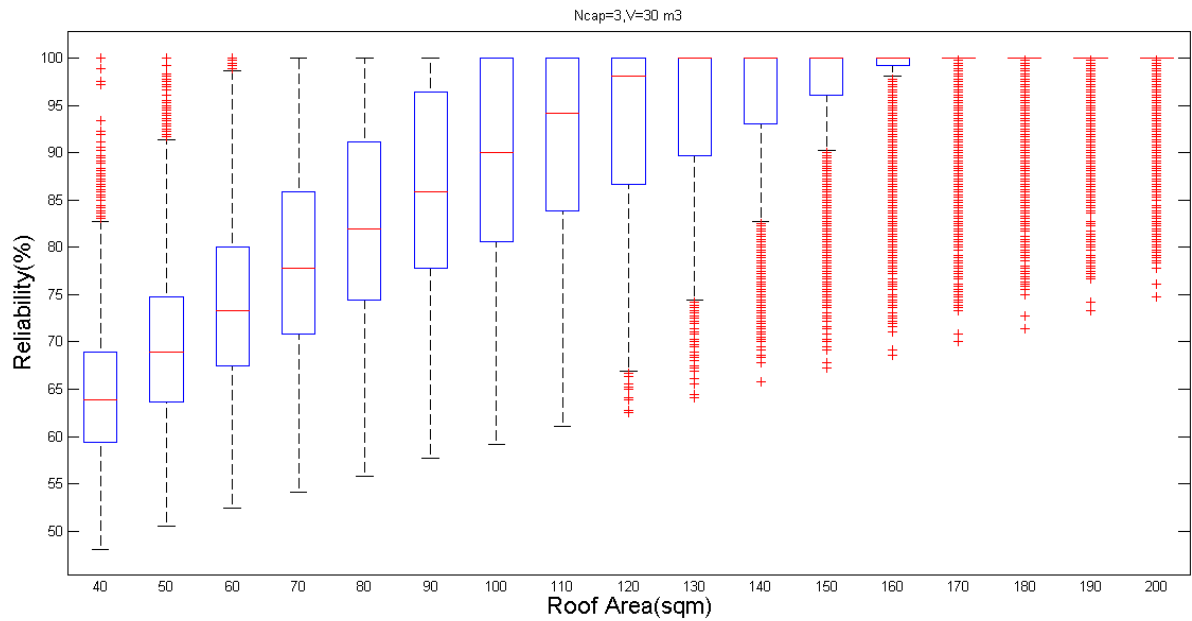
5.2 Διερεύνηση αξιοπιστίας Re του συστήματος συλλογής ομβρίων των συνθετικών χρονοσειρών

Εξετάσθηκε η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re για όλο το πιθανό εύρος της επιφάνειας συλλογής A(40-200 m²) καθώς και όλους τους όγκους της δεξαμενής V(5-30 m³). Τα βροχομετρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ετήσιες συνθετικές χρονοσειρές καθώς και η διάμεσος αυτών σαν χαρακτηριστική τιμή όπως εξηγήθηκε παραπάνω. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε για 3 πιθανά σενάρια δηλαδή για νοικοκυριά δύο, τριών και τεσσάρων ατόμων.

A) Συντελεστής αξιοπιστίας Re συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής A για το σύνολο των τιμών.

Αρχικά διερευνήθηκαν όλες οι τιμές του συντελεστή αξιοπιστίας που προέκυψαν από τις συνθετικές χρονοσειρές για κάθε πιθανή επιφάνεια στο εύρος A=40-200 m² για κάθε όγκο V=5-30 m³ για τα τρία σενάρια N_{cap}=2,3,4. Παρουσιάζεται ενδεικτικά το θηκόγραμμα για δεξαμενή V=30 m³ για τα τρία σενάρια N_{cap}.





Σχήμα 5.4 Συντελεστής αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής ($A=40-200 \text{ m}^2$) για $V=30 \text{ m}^3$ για α) $N_{cap}=2$, β) $N_{cap}=3$, γ) $N_{cap}=4$.

Στο Σημά 5.4 παρουσιάζονται με τη μορφή θηκογράμματος η κατανομή των αποτελεσμάτων για δεξαμενή 30 m^3 .

Για την περίπτωση των δύο εξυπηρετούμενων ατόμων ανά νοικοκυριό για επιφάνεια συλλογής $A=40 \text{ m}^2$ παρατηρείται ότι δεν παρουσιάζονται εξωκείμενες τιμές, το εύρος μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής είναι 27% ενώ το ενδοτεταρτημορικό εύρος είναι 11% με το 50% των παρατηρήσεων να είναι συγκεντρωμένες στο διάστημα αξιοπιστίας 89-

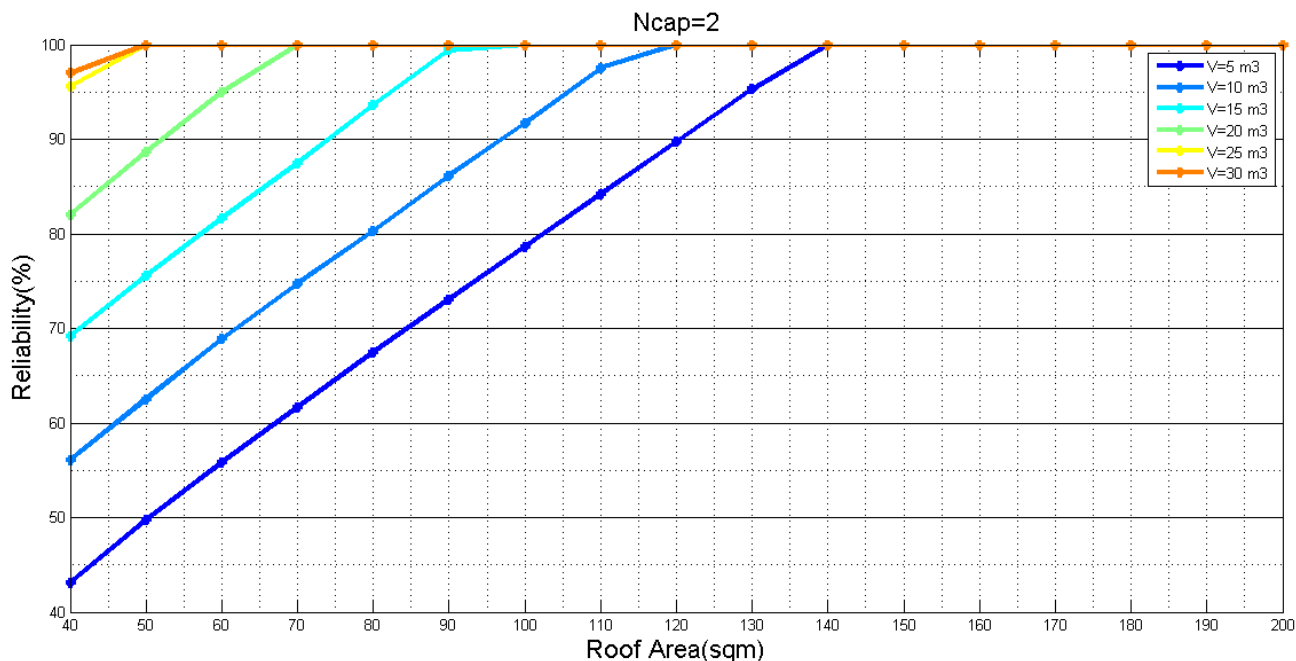
100%. Για επιφάνεια συλλογής $A=50 \text{ m}^2$ το ενδοτεταρτημορικό εύρος είναι 5% με το 50% των παρατηρήσεων να είναι συγκεντρωμένες στο διάστημα αξιοπιστίας 95-100% ενώ όπως είναι λογικό αρχίζουν να παρουσιάζονται εξωκείμενες τιμές για τις χαμηλότερες τιμές αξιοπιστίας. Για επιφάνειες 60-130 m^2 το εύρος μηδενίζεται με το 100% των μη ακραίων στατιστικά τιμών να συγκεντρώνονται στο 100 % της αξιοπιστίας ενώ για μεγάλες επιφάνειες 130-200 m^2 εκλείπουν και οι εξωκείμενες τιμές. Η ασυμμετρία της κατανομής των τιμών είναι αρνητική.

Για την περίπτωση των τριών εξυπηρετούμενων ατόμων ανά νοικοκυριό παρουσιάζονται γενικά μεγαλύτερα εύρη ωστόσο για επιφάνειες συλλογής $A=40-60 \text{ m}^2$ το ενδοτεταρτημορικό εύρος είναι μικρότερο. Συγκεκριμένα για $A=40 \text{ m}^2$ το 50% των παρατηρήσεων είναι συγκεντρωμένες στο διάστημα 59-68% για $A=50 \text{ m}^2$ στο διάστημα 64-74% και για $A=60 \text{ m}^2$ στο διάστημα 67-89%. Για ενδιάμεσες επιφάνειες 70-110 m^2 τα εύρη μεγαλώνουν και η ασυμμετρία των κατανομών γίνεται από θετική αρνητική. Εξωκείμενες χαμηλές τιμές δεν παρατηρούνται σε αυτό το διάστημα. Για τις μέγιστες επιφάνειες 120-200 m^2 τα ενδοτεταρτημορικά εύρη μικραίνουν ξανά με τις τιμές να συγκεντρώνονται κοντά στο 100% και αυξάνονται οι εξωτερικές τιμές για τις χαμηλότερες τιμές αξιοπιστίας.

Για την περίπτωση των τεσσάρων εξυπηρετούμενων ατόμων ανά νοικοκυριό για επιφάνειες συλλογής $A=40-90 \text{ m}^2$ τα εύρη μειώνονται αισθητά σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, τα ενδοτεταρτημορικά εύρη το ίδιο με τιμές από 7% για $A=40 \text{ m}^2$ μέχρι 13% για $A=90 \text{ m}^2$. Για επιφάνειες $A=100-160 \text{ m}^2$ τα εύρη μειώνονται, τα ενδοτεταρτημορικά εύρη συνεχίζουν να αυξάνονται και η ασυμμετρία γίνεται πάλι από θετική αρνητική. Τέλος, για τις μέγιστες επιφάνειες συλλογής 160-200 m^2 τα ενδοτεταρτημορικά εύρη μειώνονται και οι τιμές συγκεντρώνονται κοντά στις μέγιστες τιμές αξιοπιστίας.

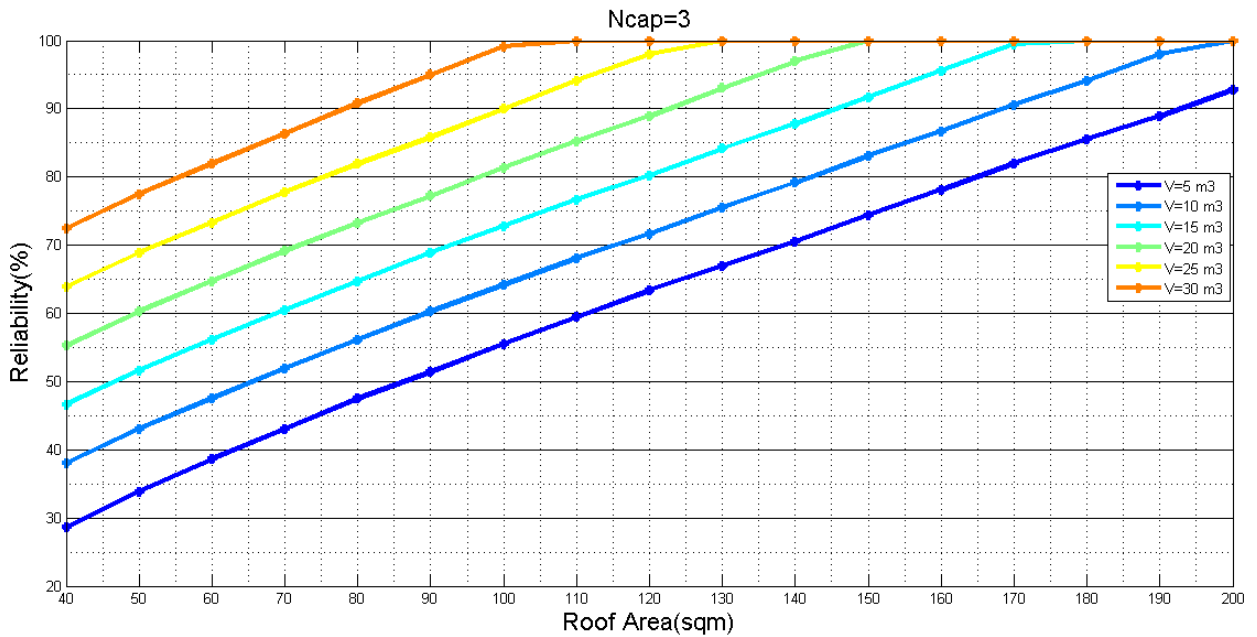
B) Συντελεστής αξιοπιστίας R_e συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής A για τις χαρακτηριστικές τιμές της διαμέσου.

Παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή αξιοπιστίας με τη διάμεσο ως χαρακτηριστική τιμή για κάθε πιθανή επιφάνεια στο εύρος $A=40-200 \text{ m}^2$ για κάθε όγκο $V=5-30 \text{ m}^3$ για τα τρία σενάρια $N_{cap}=2,3,4$.



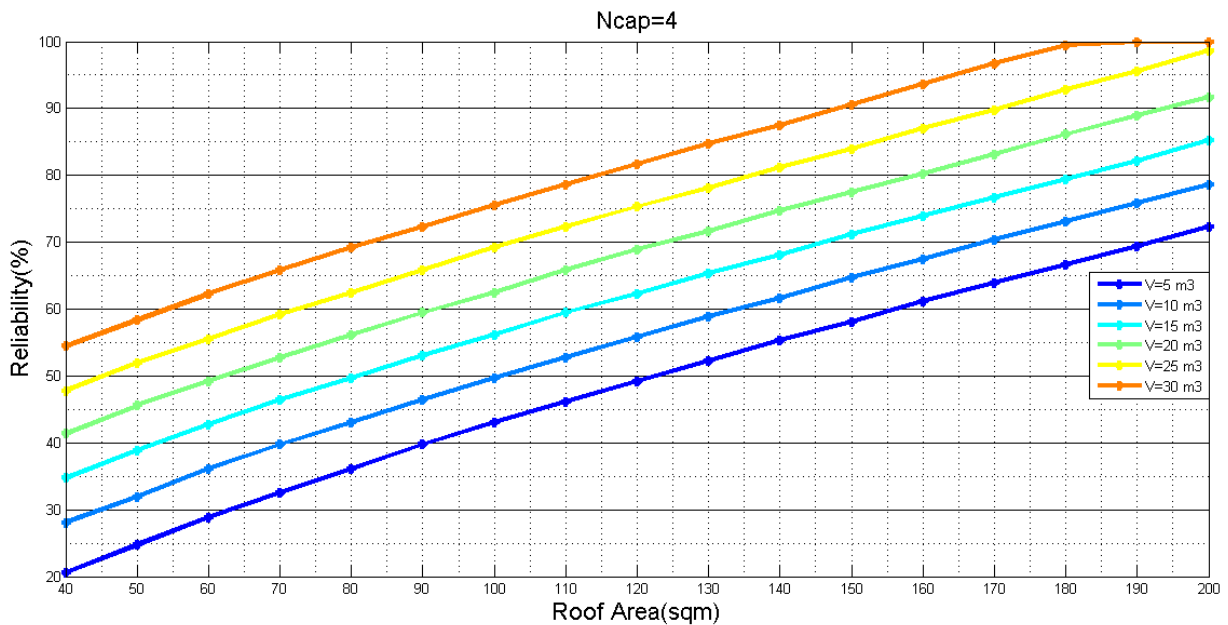
Σχήμα 5.5 Διάμεσος συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής ($A=40-200m^2$) για όγκους $V=5-30 m^3$ για $N_{cap}=2$

Στο σχήμα 5.5 παρατηρείται ότι για μεγάλους όγκους χωρητικότητας δεξαμενής $V=20, 25$ και $30 m^3$ ήδη από την επιφάνεια των $40 m^2$ παρατηρείται μικρή μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας με τιμές 82, 95 και 97% αντίστοιχα. Για επιφάνειες συλλογής A από $70 m^2$ και μεγαλύτερες επιτυγχάνεται 100 % αξιοπιστία και για τις τρεις δεξαμενές. Παρατηρείται επίσης ότι για επιφάνεια συλλογής $90 m^2$ χρήση δεξαμενής με χωρητικότητα $15 m^3$ επιτυγχάνει αξιοπιστία σχεδόν στα ίδια επίπεδα με αυτήν για χρήση δεξαμενής 20, 25 και $30 m^3$. Το ίδιο παρατηρείται και για μεγαλύτερη επιφάνεια συλλογής $A=110 m^2$ όπου ακόμα και χρήση μικρής δεξαμενής $V=10 m^3$ επιτυγχάνει αξιοπιστία της τάξης του 97% σχεδόν ίδια με αυτή που επιτυγχάνεται από τη χρήση μεσαίων και μεγαλύτερων σε μέγεθος δεξαμενών.



Σχήμα 5.6 Διάμεσος συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής ($A=40-200 \text{ m}^2$) για όγκους $V=5-30 \text{ m}^3$ για $N_{cap}=3$

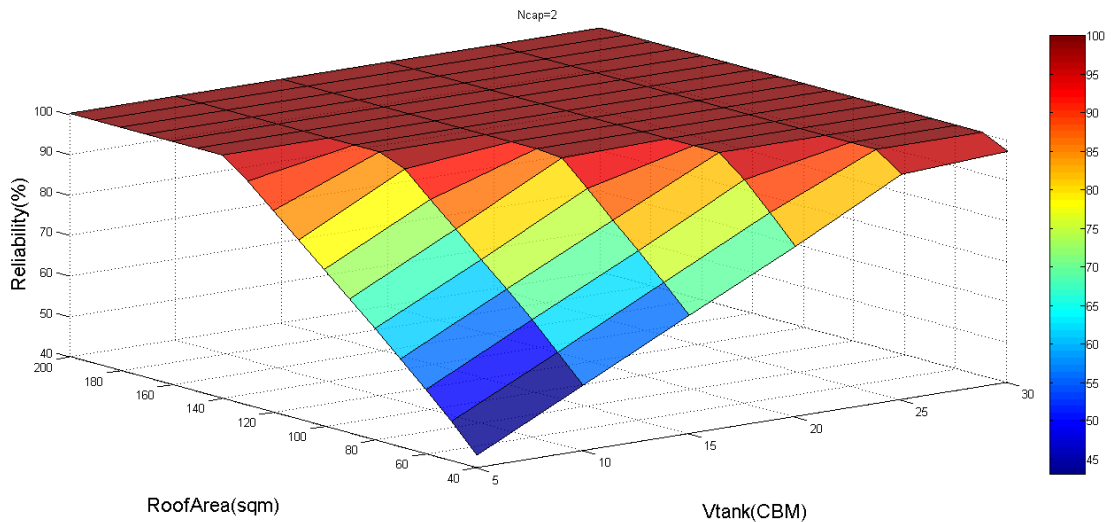
Παρατηρείται ότι για μεγάλες επιφάνειες συλλογής από 160 m^2 με τη χρήση μιας ενδιάμεσης δεξαμενής χωρητικότητας $V=15 \text{ m}^3$ επιτυγχάνεται αξιοπιστία της τάξης του 95% , τιμή πολύ κοντά σε σχέση με το 100% που επιτυγχάνεται για $V=20,25$ και 30 m^3 . Επίσης, για επιφάνειες συλλογής στο εύρος $A=90-120 \text{ m}^2$ παρατηρείται ότι για μεγάλους όγκους 25 και 30 m^3 η μεταβολή της αξιοπιστίας είναι μικρή. Συγκεκριμένα είναι $Re=85,90,95$ και 98% για $V=25 \text{ m}^3$ για τις αντίστοιχες επιφάνειες και $Re=95,98$ και 100% για $V=30 \text{ m}^3$ αντίστοιχα.



Σχήμα 5.7 Διάμεσος συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής ($A=40-200 \text{ m}^2$) για όγκους $V=5-30 \text{ m}^3$ για $N_{cap}=4$

Παρατηρείται μια σχεδόν γραμμική αύξηση του συντελεστή αξιοπιστίας με την αύξηση της επιφάνειας συλλογής για όλους τους πιθανούς όγκους της δεξαμενής. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται ότι μόνο για μεγάλες επιφάνειες συλλογής μεγαλύτερες ή ίσες των 180 m^2 και μόνο για δεξαμενή με χωρητικότητα το μέγιστο όγκο $V=30 \text{ m}^3$ επιτυγχάνεται 100% αξιοπιστία. Παρατηρείται επίσης ότι για ενδιάμεσες επιφάνειες συλλογής $A=80-120 \text{ m}^2$ αλλά και για τις μεγαλύτερες που εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία $A=120-200 \text{ m}^2$ για να επιτευχθεί ικανοποιητικός βαθμός αξιοπιστίας της τάξης του 65% δεν επαρκούν μικρές και ενδιάμεσες δεξαμενές αλλά πρέπει να επιλεγεί δεξαμενή χωρητικότητας 25 ή 30 m^3 .

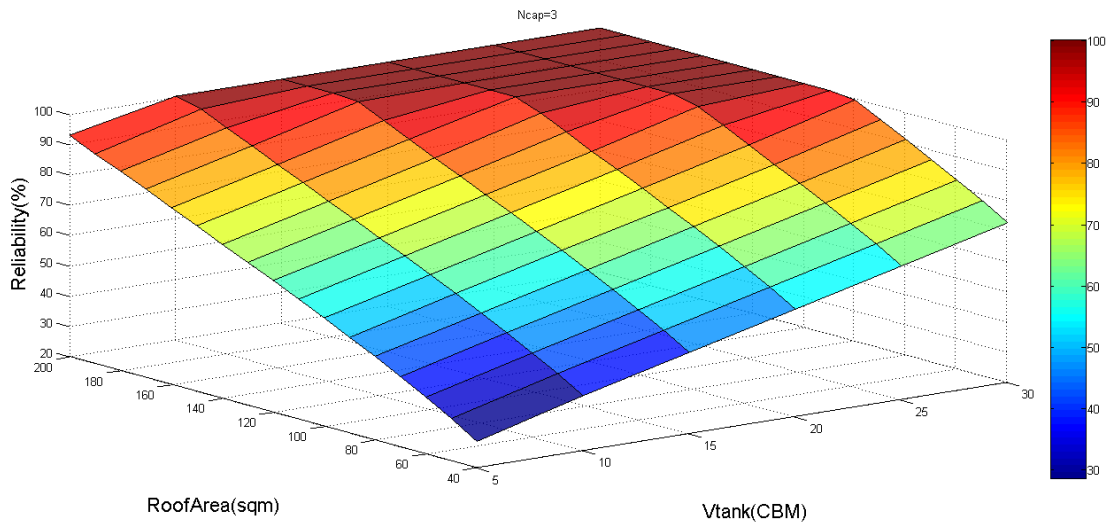
Γ) Α) Τρισδιάστατη ανάλυση για όλο το εύρος των πιθανών σεναρίων



Σχήμα 5.8 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A ($40-200 \text{ m}^2$) για όγκους $5-30 \text{ m}^3$ για νοικοκυριό δύο ατόμων, $N_{cap}=2$

Στο Σχήμα 5.8 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας για $N_{cap}=2$ όπως προέκυψε για τη διάμεσο των συνθετικών χρονοσειρών. Οι τιμές της απόδοσης Re κυμαίνονται από 43-100%.

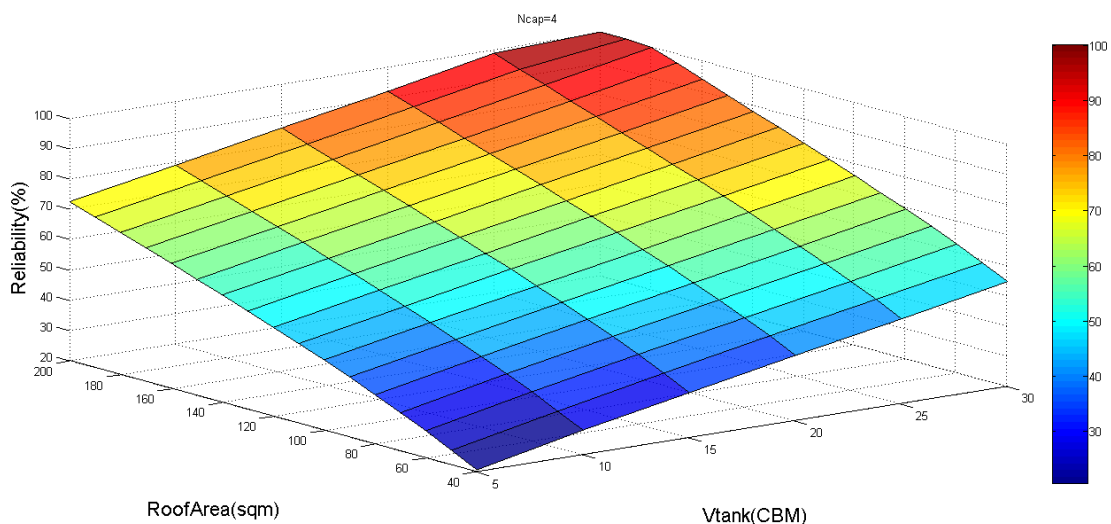
Για όγκους 5 και 10 m^3 παρατηρείται μικρή μεταβολή της αξιοπιστίας με τη μέγιστη τιμή του 100% να επιτυγχάνεται για επιφάνεια συλλογής $A=140$ και 120 m^2 αντίστοιχα ενώ ποσοστό 56% επιτυγχάνεται για μικρές επιφάνειες $A=60$ και 40 m^2 αντίστοιχα. Για μεγαλύτερους όγκους δεξαμενής 15 και 20 m^3 ο συντελεστής Re αυξάνεται ταχύτερα με την αύξηση της επιφάνειας συλλογής όπου για να επιτευχθεί αξιοπιστία 95% απαιτείται επιφάνεια συλλογής $A=90$ και 60 m^2 αντίστοιχα ενώ μεγάλη αξιοπιστία 82% επιτυγχάνεται για επιφάνειες $A=60$ και 40 m^2 αντίστοιχα. Για τους μέγιστους όγκους 25 και 30 m^3 μεγάλη αξιοπιστία της τάξης του 96% επιτυγχάνεται ήδη από την ελάχιστη επιφάνεια των 40 m^2 .



Σχήμα 5.9 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A ($40-200 \text{ m}^2$) για όγκους $5-30 \text{ m}^3$ για νοικοκυριό τριών ατόμων, $N_{cap}=3$

Στο Σχήμα 5.9 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας για $N_{cap}=3$ όπως προέκυψε για τη διάμεσο των συνθετικών χρονοσειρών. Οι τιμές της απόδοσης Re κυμαίνονται από 29-100%.

Για μικρούς όγκους δεξαμενών 5 και 10 m^3 μέγιστη απόδοση της τάξης του 93 και 98% επιτυγχάνεται για πολύ μεγάλες επιφάνειες συλλογής $A=200$ και 190 m^2 αντίστοιχα ενώ ένα ποσοστό της τάξης του 64% επιτυγχάνεται για ενδιάμεσες επιφάνειες συλλογής $A=120$ και 100 m^2 αντίστοιχα. Για ενδιάμεσους όγκους δεξαμενής 15 και 20 m^3 αξιοπιστία της τάξης του 96% επιτυγχάνεται για επιφάνειες συλλογής $A=160$ και 140 m^2 αντίστοιχα ενώ πολύ ικανοποιητική αξιοπιστία 81% επιτυγχάνεται και για ενδιάμεσες επιφάνειες $A=120$ και 100 m^2 αντίστοιχα. Για τους μέγιστους όγκους 25 και 30 m^3 ήδη από την ελάχιστη επιφάνεια συλλογής $A=40 \text{ m}^2$ επιτυγχάνεται αξιοπιστία 64 και 73% αντίστοιχα ενώ 98% αξιοπιστία επιτυγχάνεται για επιφάνειες $A=120$ και 100 m^2 αντίστοιχα.



Σχήμα 5.10 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (40-200 m^2) για όγκους 5-30 m^3 για νοικοκυριό τεσσάρων ατόμων, $N_{cap}=4$

Στο Σχήμα 5.10 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας για $N_{cap}=4$ όπως προέκυψε για τη διάμεσο των συνθετικών χρονοσειρών. Οι τιμές της απόδοσης Re κυμαίνονται από 21-100%.

Για όγκους 5 και 10 m^3 παρατηρείται μικρή μεταβολή της αξιοπιστίας με την τιμή του 73% (μέγιστη για $V=5 m^3$) να επιτυγχάνεται για επιφάνεια συλλογής $A=200$ και $180 m^2$ αντίστοιχα. Για ενδιάμεσους όγκους δεξαμενής 15 και 20 m^3 παρατηρείται αντίστοιχος ρυθμός αύξησης του συντελεστή αξιοπιστίας με την τιμή του 85% (μέγιστη για $V=15 m^3$) να επιτυγχάνεται για επιφάνεια συλλογής $A=200$ και $180 m^2$ αντίστοιχα. Για τους μέγιστους όγκους δεξαμενής 25 και 30 m^3 αξιοπιστία 98% (μέγιστη για $V=25 m^3$) επιτυγχάνεται για επιφάνεια συλλογής $A=200$ και $180 m^2$ αντίστοιχα.

Τέλος, επιχειρείται μία σύγκριση της αξιοπιστίας, για ενδεικτικά μεγέθη δεξαμενής που εξετάσθηκαν προηγούμενα, με άλλα νησιά του ελλαδικού χώρου που πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχες έρευνες.

Για αντίστοιχη ημερήσια κατανάλωση $q=180 L/$ κάτοικο/ημέρα στο νησί της Κιμώλου, φάνηκε ότι είναι αδύνατο η αξιοπιστία του συστήματος συλλογής ομβρίων να φτάσει το 100%, για επιφάνειες μικρότερες των $300 m^2$

Για αντίστοιχο ποσοστό χρήσης $p=30\%$ και αριθμό κατοίκων $N_{cap}=2-4$ στο νησί της Θήρας, φάνηκε ότι υψηλή αξιοπιστία της τάξης του 82% επιτυγχάνεται μόνο για μεγάλα μεγέθη δεξαμενής τουλάχιστον $V=30 m^3$

Για αντίστοιχο εύρος χωρητικότητας δεξαμενής $V=5-30 \text{ m}^3$ και αντίστοιχη ημερήσια κατανάλωση $q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ στο νησί της Πάτμου, φάνηκε ότι επιτυγχάνεται ικανοποιητική αξιοπιστία 72-82 % για επιφάνειες συλλογής $A=70 \text{ m}^2$

6 Συμπεράσματα-Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε στοχαστική προσέγγιση στη διερεύνηση της αξιοπιστίας της κάλυψης οικιακών αναγκών σε νερό με συστήματα συλλογής ομβρίων στο νησί της Σύμης.

Αρχικά έγινε στοχαστική προσομοίωση με τη χρήση του μοντέλου AR(1) για την παραγωγή μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών δεδομένων βροχόπτωσης, ωστόσο το AR(1) δεν πέρασε το τεστ λευκότητας των υπολοίπων και εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι δεν είναι κατάλληλο για την προσομοίωση της ιστορικής χρονοσειράς.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε μια έμμεση στοχαστική προσέγγιση όπου παρήχθη μια ομάδα ετήσιων συνθετικών χρονοσειρών ημερήσιας βροχόπτωσης μέσω μίας μαρκοβιανής αλυσίδας πρώτης τάξης και την προσαρμογή κατανομής πιθανότητας Gamma για τον υπολογισμό των ποσοτήτων βροχόπτωσης των υγρών ημερών.

Οι ημερήσιες συνθετικές χρονοσειρές που προέκυψαν εξετάστηκαν και εφαρμόστηκε το μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής για τη διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών στο σύνολό τους. Στη συνέχεια, ως χαρακτηριστική τιμή επιλέχθηκε η διάμεσος των τιμών του συντελεστή αξιοπιστίας που προέκυψε για την εξέταση των διαφορετικών σεναρίων. Εφαρμόστηκε επίσης το μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής και στην ιστορική χρονοσειρά μήκους 36 χρόνων.

Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε εκτενής συλλογή δεδομένων, γεωλογικών, κλιματικών, πληθυσμιακών κλπ., ώστε να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά και οι ιδιαιτερότητες της περιοχής. Έτσι επιλέχθηκε ποσοστό χρήσης συστήματος $p=30\%$ και κατανάλωση $q=180$ L/κάτοικο/ημέρα. Επίσης, επιλέχθηκε να γίνει έρευνα για νοικοκυριά που αποτελούνται από δύο, τρία και τέσσερα μέλη που καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων στη Σύμη σύμφωνα με την τελευταία απογραφή. Με το ίδιο κριτήριο επιλέχθηκε και το εύρος της επιφάνειας συλλογής $A=40-200$ m². Τέλος επιλέχθηκε το 5-30 m³ για το μέγεθος της δεξαμενής λαμβάνοντας υπόψιν και το κριτήριο του μεγάλου κόστους για μεγαλύτερες δεξαμενές. Έτσι, έγινε διερεύνηση της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής ομβρίων για διαφορετικές επιφάνειες συλλογής και όγκους ομβροδεξαμενής.

Η αξιοπιστία του συστήματος, ορίστηκε ως ο λόγος του αριθμού των ημερών όπου η ζήτηση εξυπηρετείται πλήρως από το διαθέσιμο αποθηκευμένο νερό της δεξαμενής, προς τον

συνολικό αριθμό των ημερών των καταγραφών των βροχομετρικών δεδομένων που προσομοιώνονται για τη διαστασιολόγηση του συστήματος συλλογής.

Συμπερασματικά, ένα σύστημα συλλογής ομβρίων στο νησί της Σύμης ή σε άλλο μέρος με παρόμοιο βροχομετρικό καθεστώς, παρουσιάζει ικανοποιητική αξιοπιστία ακόμα και για μικρές ή μέτριες επιφάνειες συλλογής εφόσον γίνει επιλογή μίας μεσαίας σε χωρητικότητα δεξαμενής. Το συμπέρασμα αυτό εξάγεται τόσο από την προσομοίωση της ιστορικής χρονοσειράς όσο και από την προσομοίωση των συνθετικών χρονοσειρών. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς η περιοχή του νοτιοανατολικού Αιγαίου έχει υγρούς χειμώνες, με υψηλό μέσο μηνιαίο και μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε αντίθεση με νησιά των Κυκλάδων όπου έχουν γίνει αντίστοιχες έρευνες (π.χ Κίμωλος, Θήρα).

6.1 Ειδικά Συμπεράσματα

Αρχικά εξάγονται κάποια συμπεράσματα για τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών.

- Διαπιστώθηκε ότι μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης (Autoregressive model) 1ης τάξης, όπως το AR(1) που εφαρμόστηκε αρχικά, έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα για τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής. Επίσης, το AR(1) έχει το μειονέκτημα μη διατήρησης της εμμονής της αρχικής χρονοσειράς.
- Για τις παραγόμενες χρονοσειρές με την κύρια μεθοδολογία που ακολουθήθηκε διαπιστώθηκε ότι η προσαρμογή της θεωρητικής κατανομής Gamma έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα κυρίως για την ξηρή περίοδο.
- Για την υγρή περίοδο το εύρος των παρατηρήσεων καθώς και το ενδοτεταρτημορικό εύρος στο οποίο συγκεντρώνεται το 50% των παρατηρήσεων ανά μήνα ήταν αρκετά μεγαλύτερο με τα μέγιστα να εμφανίζονται τον Ιανουάριο και το Δεκέμβριο, δηλαδή τους μήνες με τα μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης.

Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση μεταξύ της ιστορικής και των συνθετικών χρονοσειρών για τα αποτελέσματα του συντελεστή αξιοπιστίας που προέκυψαν, για τα διάφορα σενάρια.

- Για την περίπτωση των δύο κατοίκων ανά νοικοκυριό $N_{cap}=2$ οι τιμές του συντελεστή αξιοπιστίας Re κυμαίνονται από 39-96%. Οι τιμές για τη χαρακτηριστική τιμή της διαμέσου των συνθετικών χρονοσειρών για το ίδιο σενάριο είναι 43-100%.

- Για την περίπτωση των τριών κατοίκων ανά νοικοκυριό $N_{cap}=3$ οι τιμές του συντελεστή αξιοπιστίας Re κυμαίνονται από 24-95%. Οι τιμές για τη χαρακτηριστική τιμή της διαμέσου των συνθετικών χρονοσειρών για το ίδιο σενάριο είναι 28-100%.
- Για την περίπτωση των τεσσάρων κατοίκων ανά νοικοκυριό $N_{cap}=4$ οι τιμές του συντελεστή αξιοπιστίας Re κυμαίνονται από 16-94%. Οι τιμές για τη χαρακτηριστική τιμή της διαμέσου των συνθετικών χρονοσειρών για το ίδιο σενάριο είναι 21-100%.
- Διαπιστώνεται ότι για όλα τα σενάρια που εξετάσθηκαν τόσο για την ιστορική όσο για τις συνθετικές χρονοσειρές το εύρος μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της αξιοπιστίας αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των κατοίκων ανά νοικοκυριό.
- Για όλα τα σενάρια που εξετάσθηκαν η ιστορική χρονοσειρά δίνει πιο συντηρητικά ποσοστά αξιοπιστίας σε σχέση με τις συνθετικές. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να εξηγηθεί στατιστικά καθώς οι μέσες τιμές των συνθετικών χρονοσειρών ανά μήνα προέκυψε μεγαλύτερος από το τις αντίστοιχες μέσες τιμές της ιστορικής χρονοσειράς. Γίνεται η εκτίμηση ότι αν είχε διατηρηθεί ο αρχικός αριθμός των χρονοσειρών που παρήχθησαν οι ακραίες τιμές της αξιοπιστίας θα ήταν πιο συντηρητικές, πιο κοντά σε αυτές της ιστορικής, καθώς με το φίλτρο το οποίο επιλέχθηκε αφαιρέθηκαν κάποιες χαμηλές τιμές από το τελικό υποσύνολο οι οποίες θα οδηγούσαν σε χαμηλότερες μέσες τιμές των συνθετικών χρονοσειρών.

Όσον αφορά τις απαιτούμενες επιφάνειες συλλογής για την επίτευξη της μέγιστης αξιοπιστίας -σύμφωνα με την ιστορική που δίνει πιο συντηρητικά αποτελέσματα- ανά σενάριο κατοίκων εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

- Αξιοπιστία 96% για το σενάριο των 2 κατοίκων με τη χρήση της ιστορικής χρονοσειράς επιτυγχάνεται για δεξαμενές 25 και 30 m^2 για επιφάνειες $A \geq 50 m^2$, για δεξαμενή 20 m^3 για επιφάνειες $A \geq 70 m^2$. Για την ίδια αξιοπιστία για δεξαμενές 15, 10 και 5 m^3 απαιτούνται επιφάνειες $A \geq 90, 120, 140 m^2$ αντίστοιχα. Με τη χρήση των συνθετικών χρονοσειρών ίδια αξιοπιστία επιτυγχάνεται για δεξαμενές 25 και 30 m^3 για $A \geq 40 m^2$, ενώ για δεξαμενές, 20, 15, 10 και 5 m^3 οι επιφάνειες που απαιτούνται είναι $A \geq 61, 82, 106, 130 m^2$ αντίστοιχα.
- Αξιοπιστία 95% για το σενάριο των 3 κατοίκων με τη χρήση της ιστορικής χρονοσειράς επιτυγχάνεται για δεξαμενή 30 m^3 για επιφάνειες $A \geq 100 m^2$ ενώ για δεξαμενές

25,20,15,10 m³ απαιτούνται αρκετά μεγάλες επιφάνειες $A \geq 130, 150, 175, 200 \text{ m}^2$. Για μικρή δεξαμενή 5 m³ δεν επιτυγχάνεται η μέγιστη αξιοπιστία για τις εξεταζόμενες επιφάνειες. Με τη χρήση των συνθετικών χρονοσειρών ίδια αξιοπιστία επιτυγχάνεται για δεξαμενή 30 m³ για $A \geq 89 \text{ m}^2$, ενώ για δεξαμενές 25, 20, 15, 10 m³ οι επιφάνειες που απαιτούνται είναι $A \geq 111, 135, 160, 182 \text{ m}^2$ αντίστοιχα.

- Αξιοπιστία 94% για το σενάριο των 4 κατοίκων με τη χρήση της ιστορικής χρονοσειράς επιτυγχάνεται μόνο για δεξαμενή 30 m³ για επιφάνειες $A \geq 180 \text{ m}^2$ ενώ με τη χρήση των συνθετικών χρονοσειρών επιτυγχάνεται για δεξαμενή 30 m³ για επιφάνειες $A \geq 163 \text{ m}^2$ και για δεξαμενή 25 m³ για επιφάνειες $A \geq 185 \text{ m}^2$.

Σύμφωνα με τη στατιστική υπηρεσία η πλειοψηφία των νοικοκυριών στη Σύμη αποτελούνται από 2 άτομα ενώ η πλειοψηφία των κτηρίων έχει στέγες $A=40-80 \text{ m}^2$. Όσον αφορά το επικρατέστερο σενάριο λοιπόν εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Για μικρές επιφάνειες συλλογής 40-50 m² επιτυγχάνεται ικανοποιητική αξιοπιστία με χρήση δεξαμενής $V=20 \text{ m}^3$ της τάξεως του 78 και 85% αντίστοιχα με τη χρήση της ιστορικής χρονοσειράς και 81 και 87% αντίστοιχα με τη χρήση των συνθετικών, ενώ πολύ ικανοποιητική είναι και η αξιοπιστία και για ενδιάμεσο όγκο $V=15 \text{ m}^3$.
- Για $A=60-80 \text{ m}^2$ επιτυγχάνεται επίσης υψηλή αξιοπιστία με χρήση δεξαμενής $V=20 \text{ m}^3$ της τάξεως του 91 και 96% αντίστοιχα με τη χρήση της ιστορικής χρονοσειράς και 95 και 100% αντίστοιχα με τη χρήση των συνθετικών.
- Για όλες τις επιφάνειες στο διάστημα $A=40-70 \text{ m}^2$ και ειδικά για επιφάνειες 60 και 70 m² η χρήση δεξαμενής $V=20 \text{ m}^3$ είναι η βέλτιστη και χρήση μεγαλύτερων δεξαμενών 25 ή 30 m³ κρίνεται άσκοπη αφού αυξάνουν ελάχιστα ή καθόλου την αξιοπιστία.

Στατιστικά στοιχεία που να αντιστοιχούν τον αριθμό κατοίκων ανά οικία με τα αντίστοιχα m² στα οποία κατοικούν δε δημοσιεύονται. Ωστόσο γίνεται μια υπόθεση όπου εξετάζονται τα πιο πιθανά σενάρια όπου για $N_{\text{cap}}=2$ αντιστοιχίζονται οι μικρότερες επιφάνειες $A=40-80 \text{ m}^2$, για $N_{\text{cap}}=3$ αντιστοιχίζονται οι μεσαίες επιφάνειες $A=90-120 \text{ m}^2$ ενώ για $N_{\text{cap}}=4$ οι μέγιστες επιφάνειες συλλογής που εξετάσθηκαν $A=130-200 \text{ m}^2$. Συμπεραίνονται τα εξής:

- Για $N_{\text{cap}}=2$ και $A=40-80 \text{ m}^2$ τα συμπεράσματα και η βέλτιστη δεξαμενή παρουσιάστηκαν παραπάνω.

- Για το δεύτερο σενάριο τόσο από την εφαρμογή της ιστορικής χρονοσειράς όσο και των συνθετικών φαίνεται ότι η αξιοπιστία που επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης δεξαμενής 20 m³ είναι υψηλή και για A=120 m² είναι 85% σύμφωνα με την ιστορική χρονοσειρά και 89% σύμφωνα με τις συνθετικές, οπότε η χρήση μεγαλύτερων δεξαμενών 25 ή 30 m³ δεν έχει ιδιαίτερο νόημα.
- Για το τρίτο σενάριο για την επίτευξη της μέγιστης αποδοτικότητας απαιτούνται οι μεγαλύτερες δεξαμενές ειδικά για τις μεγαλύτερες επιφάνειες συλλογής. Συγκεκριμένα, αξιοπιστία μεγαλύτερη του 80% για επιφάνειες συλλογής μεγαλύτερες των 160 m² απαιτούν δεξαμενές με χωρητικότητα τουλάχιστον 15 m³.

6.2 Μελλοντική έρευνα

Σε άνυδρα νησιά όπως η Σύμη, η εξοικονόμηση νερού έστω και για κάλυψη μικρού ποσοστού χρήσης, θα αναβαθμίσει σε ένα βαθμό την καθημερινότητα των κατοίκων, έστω για την κάλυψη των αναγκών τους κατά τους χειμερινούς μήνες. Έτσι, είναι αναγκαία η μελλοντική έρευνα λύσεων για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας.

Λόγω του όλο και περισσότερο περιορισμού των υδατικών πόρων, λύσεις όπως η συλλογή ομβρίων πρέπει να μελετώνται, καθώς αποτελεί μία από τις πιο παλιές, αλλά και βιώσιμες λύσεις εξοικονόμησης νερού που με τα σύγχρονα πλέον μέσα που έχουμε στη διάθεσή μας μπορεί να δώσει λύσει σε μέρη που υποφέρουν από τη λειψυδρία.

Όσον αφορά την στοχαστική προσομοίωση, θα μπορούσε να γίνει χρήση μαρκοβιανών αλυσίδων μεγαλύτερης τάξης και στη συνέχεια σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα μπορούσε να μελετηθεί περαιτέρω η κατανομή των ημερήσιων υψών βροχής και να γίνει διερεύνηση της προσαρμογής και άλλων θεωρητικών κατανομών στα ημερήσια ύψη βροχής, πέρα από τη Gamma, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ θα μπορούσε να μελετηθεί περαιτέρω και η χρήση άλλου μέτρου θέσης εκτός της διαμέσου όπως έγινε στην παρούσα εργασία.

Ενδιαφέρον θα είχε να εξεταστεί ένα σύστημα συλλογής ομβρίων με κυμαινόμενη ημερήσια κατανάλωση στο έτος ($q_{\text{θέρος}} \neq q_{\text{χειμώνα}}$), καθώς οι ανάγκες νερού στο νησί της Σύμης διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό το χειμώνα και το καλοκαίρι λόγω του τουρισμού.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ελληνικές

Ανδρεαδάκης, Α., 2008. Επεξεργασία Νερού: Βασικές Αρχές και Διεργασίες. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Δήμος Σύμης (Προσωπική επικοινωνία)

Διαλυνάς Ι.Μ., 2011. Ανάπτυξη Υπολογιστικού Συστήματος για τον Πολυμεταβλητό Στοχαστικό Επιμερισμό Μηνιαίων σε Ημερήσιες Υδρολογικές Χρονοσειρές. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015. Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών του υδατικού διαμερίσματος νήσων Αιγαίου (GR14).

ΕΠΠΕΡΑΑ 2013, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη 2007-2013, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής, Αθήνα.

Κουμουρά Κ., 2016. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΚΙΜΩΛΟ, . Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Κουντούρη Φ., 2008. Χρονολογικές Σειρές (Time series), Lecture Notes.

Κουτσογιάννης Δ., 2013. Σημειώσεις Στοχαστικών Μεθόδων στους Υδατικούς Πόρους, Έκδοση 4. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Κυριαζοπούλου, Ι.Μ., 2012. Αποτελέσματα έργου ΕΓΥ για την κατάρτιση προγράμματος μέτρων και θεσμικού πλαισίου για την κατ'οίκον εξοικονόμηση νερού, Ημερίδα: Εξοικονόμηση νερού – Μια σύγχρονη πρόκληση εν όψει της κλιματικής αλλαγής. Αθήνα, 13 Ιανουαρίου 2012.

Λόντρα Π., 2014. Διαστασιολόγηση δεξαμενών όμβριων υδάτων στην Ελλάδα για αστική χρήση. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μιμίκου Μ.Α., 2006. Τεχνολογία Υδατικών Πόρων. Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Παπαγιάννη, Ε., 2014. Διερεύνηση της αποδοτικότητας ομβροδεξαμενών σε νησιά του Αιγαίου. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Πρέκα Μ, 2016. Διερεύνηση της αποδοτικότητας ομβροδεξαμενών στη νήσο Θήρα. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Τουμάζης, Α., Καραβοκύρης Ι., Καϊμάκη Σ., 2009. Μελέτη Διαχείρισης Ομβρίων Υδάτων. Υπουργείο Γεωργίας. Κύπρος.

ΥΠΕΚΑ 2013, Μελέτη μορφολογικών κανόνων δόμησης και αρχιτεκτονικής, στις περιοχές εντός και εκτός οικισμών μέχρι 2.000 κατοίκων της περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής.

Υπολιμεναρχείο Σύμης (Προσωπική επικοινωνία).

Φουσκάκης, Δ., 2013. Περιγραφική Στατιστική, Ανάλυση Δεδομένων με χρήση του Στατιστικού Πακέτου R, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Ξένες

Basinger, M., Montalto, F., Lall, U., 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. J. Hydrol. 392,105e118.

Buishand, T.A., 1977, Stochastic Modelling of Daily Rainfall Sequences. Mededlingen Landbouwhogeschool, Wageningen.

Chin, E.H., 1977. Modeling daily precipitation occurrence process with markov chain. Water Resour. Res. 13, 949e956.

Chow V.T., Maidement D.R. and Mays L.W., 1988. Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York.

Conejo, J.G., 1980. Technical Report (Boletim Tecnico) DAEE, V. 3, No. 2. may/august. Departamento de aguas e Energia Eletrica, DAEE (Water and Power Department).

Cunliffe, D.A., 1998. Guidance on the use of rainwater tanks. National Environmental Health Forum Monographs, Water Series No 3, December 2004.

Devkota, J., Schlachter, H., Apul, D., 2015. Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation. J. Clean. Prod. 95, 311e321

DIN 1989-1, 2002. Rainwater Harvesting Systems - Part 1: Planning, Installation, Operation and Maintenance. German Institute for Standardisation, Berlin, 2002.

Domènech, L. and Saurí, D., 2011. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social

- experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production*, 19: 598-608.
- Fewkes, A., 1999a. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and Environment*, 34: 765-772.
- Ghisi E., Montibeller A. and Schmidt R., 2006. Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. *Building Environment*, 41, 204–210.
- Ghisi, E., Tavares, D.F. and Rocha V.L., 2009. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 79-85.
- Gikas, G.D., Tsihrintzis, V.A., 2012. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. *J. Hydrol.* 466e467, 115e126
- Goodarzi E., Ziaei M. and Teang Shui L, 2013. *Introduction to Risk and Uncertainty in Hydrosystem Engineering. Topics in Safety, Risk, Reliability and Quality*, Springer, New York.
- Herrmann T. and Schmida U., 1999. Rainwater utilisation in Germany: Efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water*, 1, 307–316.
- Jimoh, O.D., Webster, P., 1996. The optimum order of a Markov chain model for daily rainfall in Nigeria. *J. Hydrol.* 185, 45e69
- Jones M.P. and Hunt W.F., 2010. Performance of rainwater harvesting systems in the south eastern United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 623-629
- Kahinda, J.M., Taigbenu, A.E. and Boroto, J.R., 2007. *Domestic Rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa*. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32: 1050-1057
- Karavitis, C.A., 2008. *Water Use in Europe*, Booklet Series: B, Number: 5, Author in: “Land care in desertification affected areas: from science towards application” (LUCINDA) Specific Support Action, DG-Research-1163. *Global Change and Ecosystems*
- Karim, M.R., Bashar, M.Z., Imteaz, M.A., 2015. Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting in a megacity in Bangladesh. *Resour. Conserv. Recycl.* 104, 61e67.

- Katz, R. W. 1974 Computing probabilities associated with the Markov chain model for precipitation. *J. Appl. Meteor.*, 13, 953-954.
- Meteor.*, 1, 3, 9 53-954.
- 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.
- Kottegoda, N.T., Natale, L., Raiteri, E., 2004. Some considerations of periodicity and persistence in daily rainfalls. *J. Hydrol.* 296, 23e37.
- Leung, P., Fok, Y.-S., 1982. Determining the desirable tank storage volume of a raincatchment cistern system: a stochastic assessment. In: *Proceedings of the First International Conference on Rainwater Cistern Systems*. University of Hawaii, Water Resources Center, Honolulu, pp. 233e244.
- Li, X. and Gong, J., 2002. Compacted microcatchments with local earth materials for rainwater harvesting in the semiarid region of China. *Journal of Hydrology*, 257: 134-144.
- Lopes V.A.R, Marques G.F , Dornelles F, Medellin-Azuara J., 2017 Performance of rainwater harvesting systems under scenarios of non-potable water demand and roof area typologies using a stochastic approach
- Marks, R., Clark R., Rooke E. and Berzins A., 2006. Meadows, South Australia: development through integration of local water resources. *Desalination*, 188: 149-161.
- Martinson, D. and Thomas T., 2005. Quantifying the first-flush phenomenon. Coventry, United Kingdom, DTU/University of Warwick. In: *Proceedings of the 12th International Rainwater Catchment Systems Association Conference*, New Delhi, India.
- Michaelides, G., 1987. Laboratory Experiments on Efficiency of Foul Flush Diversion Systems. 3rd Annual International Rainwater Cistern Systems Conference.
- Moreira Neto, R.F., Carvalho, I.C., Calijuri, M.L., Santiago, A.F., 2012. Rainwater use in airports: a case study in Brazil. *Resour. Conserv. Recycl.* 68, 36e43.

- Ntale, H.K. and Moses, N., 2003. Improving Quality of Harvested Rainwater by Using First Flush Interceptors/Retainers. In Proceedings of the 11th International Conference on Rainwater Catchment Systems, Texcoco.
- Nolde, E., 2007. Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. *Desalination* 215, 1e11.
- Okoye, C.O., Solyali, O., Akintug, B., 2015. Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: a linear programming approach. *Resour. Conserv. Recycl.* 104, 131e140.
- Pacey, A. and Cullis, A., 1986. *Rainwater Harvesting: The Collection of Rainfall and Runoff in Rural Areas*. London, UK: IT Publication.
- Rahman, A., Keane, J., Imteaz, M.A., 2012. Rainwater harvesting in Greater Sydney: water savings, reliability and economic benefits. *Resour. Conserv. Recycl.* 61, 16e21.
- Santos, C., Taveira-Pinto, F., 2013. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resour. Conserv. Recycl.* 71, 1e6
- Szakli E., Alexopoulos A. and Leotsinidis M., 2007. Rainwater harvesting. Quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water Research*, 41: 2039-2047.
- Su, M.-D., Lin, C.-H., Chang, L.-F., Kang, J.-L., Lin, M.-C., 2009. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *Resour. Conserv. Recycl.* 53, 393e399.
- Thom, H.C., 1958. A note on the gamma distribution. *Mon. Weather Rev.* 86, 117e122.
- Tsihrintzis V. and Baltas E., 2013. Sizing of rainwater harvesting tank for in-house water supply. 13th International Conference on Environmental Science and Technology, Athens, Greece, 5-7 September 2013.
- UNEP and Stockholm Environment Institute, 2009. *Rainwater harvesting: a lifeline for human well-being*.
- Ward, S., Memon, F.A., Butler, D., 2010. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. *Water Sci. Technol.* 61, 85e96.

Yaziz M.I., Gunting H., Sapari N. and Ghazali A.W., 1989. Variations in rainwater quality from roof catchments. *Water Research*, 23(6): 761-765

Youn, S.-g., Chung, E.-S., Kang, W.G., Sung, J.H., 2012. Probabilistic estimation of the storage capacity of a rainwater harvesting system considering climate change. *Resour. Conserv. Recycl.* 65, 136e144.

Zhang, Y., Chen, D., Chen, L., Ashbolt, S., 2009. Potential for rainwater use in highrise buildings in Australian cities. *J. Environ. Manag.* 91, 222e226.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

<http://www.adtec.gr/> (last visit 19/5/19)

<http://www.aquabarrel.com/>(last visit 13/5/19)

<http://www.durabuildcare.com/>(last visit 13/5/19)

<http://www.ecoactivehouse.com/>(last visit 19/5/19)

<http://www.e-watershop.gr/>(last visit 3/6/19)

<http://www.geodata.gov.gr/>(last visit 20/4/19)

<http://www.hnms.gr/emv/el/> Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (last visit 19/5/19)

<http://www.mytherm.gr/>(last visit 3/6/19)

<http://natura2000.eea.europa.eu/>(last visit 19/5/19)

<http://www.rainwaterharvesting.co.uk/downloads/TankSizeCalculator.xls/>(last visit 19/5/19)

<http://www.sete.gr/>(last visit 23/4/19)

<http://www.statistics.gr/>(last visit 17/3/19) Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία

<http://www.waterflowcontrol.com.au/>(last visit 27/5/19)

<http://www.watertech.ie/>(last visit 27/5/19)

<http://www.ypai.gr/>(last visit 17/3/19) Γενική Γραμματεία Αιγαίου & Νησιωτικής Πολιτικής

<http://www.ypeka.gr/>(last visit 7/6/19)