



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ-ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ
ΥΔΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΚΙΜΩΛΟ**

Κλεάνθη Κουμουρά

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Ιούλιος 2016

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ-ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΚΙΜΩΛΟ**

Κλεάνθη Κουμουρά

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2016

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

Πρόλογος

Με το τέλος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλα τα άτομα που συνέβαλαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Αρχικά, ευχαριστώ τον επιβλέποντά μου, κ. Καθηγητή Ε. Μπαλτά, για την καθοδήγησή του και την άπογη συνεργασία που είχαμε, για την υπομονή του μέχρι να επιλέξω ένα από τα τόσα ενδιαφέροντα θέματα που μου πρότεινε εξ' αρχής, αλλά και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου ένα όχι και τόσο οικείο για εμένα θέμα.

Πολύ σημαντική και καθοριστική ήταν η βοήθεια από την υποψήφια Διδάκτωρ της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, Ελισσάβητ Φελόνη και την ευχαριστώ ιδιαίτερος για το χρόνο που μου αφιέρωσε όλον αυτόν τον καιρό.

Ευχαριστώ επίσης, τη Δρ. Παρασκευή Λόντρα, Ε.ΔΙ.Π. του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την πολύτιμη βοήθειά της και για τις πρώτες πληροφορίες που μου παρείχε σχετικά με τη διαστασιολόγηση ενός συστήματος συλλογής ομβρίων, όταν αποφάσισα να καταπιαστώ με το συγκεκριμένο θέμα.

Θα ήθελα ακόμη να αναφερθώ στον αντιδήμαρχο Κιμώλου, κ. Σάρδη Τάκη, για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παραχώρησε, έπειτα από προσωπική επικοινωνία μαζί του, καθώς και στον κ. Κωνσταντίνο Παπαδάκη, βοηθό Γενικού Διευθυντή της ΕΥΔΑΠ Νήσων για την παραχώρηση στοιχείων σχετικά με την ύδρευση της Κιμώλου, στοιχεία που ήταν αναγκαία στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Ακόμη, ευχαριστώ τον κ. Καθηγητή Β. Τσιχριτζή και τον κ. Επίκουρο Καθηγητή Χ. Μακρόπουλο για τη συμβολή τους στην αξιολόγηση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής στην παρουσίασή της.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένειά μου για την ηθική και οικονομική υποστήριξη που μου παρείχαν όλον αυτόν τον καιρό, καθώς και τους κοντινούς μου ανθρώπους που δε σταμάτησαν ποτέ να πιστεύουν στις δυνατότητές μου.

Κλεάνθη Κουμουρά

Ιούλιος, 2016

Περιεχόμενα

Πρόλογος	i
Περίληψη	vi
Abstract	viii
Extended abstract	x
Introduction	x
Study area-Data used.....	xi
Methodology	xii
Sizing of rainwater harvesting tank	xii
Generation of monthly synthetic time series	xiv
Generation of daily time series (Disaggregation).....	xv
Results-Discussion	xvi
Scenario 1: Investigation of rainwater harvesting system reliability	xvi
Scenario 2: Optimal rainwater size tank.....	xix
Cost benefit analysis	xxiv
Summary and conclusions-Future research.....	xxv
Selected references.....	xxvi
1.Εισαγωγή	1
1.1. Αντικείμενο εργασίας.....	1
1.2. Πρωτότυπα σημεία.....	1
1.3. Διάρθρωση εργασίας.....	2
2. Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών και αβεβαιότητα	3
2.1. Αβεβαιότητα στους υδατικούς πόρους	3
2.1.2. Στοχαστική προσομοίωση συστήματος με τη χρήση συνθετικών χρονοσειρών.....	3
2.1.3 Χρήσεις της στοχαστικής προσομοίωσης στη διαστασιολόγηση συστημάτων συλλογής ομβρίων	5
2.2. Συλλογή ομβρίων	7

2.2.1. Συλλογή ομβρίων στις Κυκλάδες	10
2.2.2. Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα	13
2.3. Συστήματα συλλογής ομβρίων.....	15
2.4. Μέθοδοι διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών	19
3.Περιοχή μελέτης-Κίμωλος.....	21
3.1. Επιλογή περιοχής	21
3.2. Φυσικό περιβάλλον	23
3.2.1.Μορφολογία	23
3.2.2. Υδρολογία.....	24
3.2.3. Υδρογεωλογία-υδροφόροι ορίζοντες	25
3.2.4.Γεωλογία.....	27
3.2.5. Χλωρίδα-πανίδα	29
3.2.6. Προστατευόμενες περιοχές	31
3.2.7. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία.....	34
3.3. Ανθρωπογενές περιβάλλον	36
3.3.1. Δημογραφικά στοιχεία.....	36
3.3.2. Νοικοκυριά	38
3.3.3. Απασχόληση	40
3.3.4.Τουρισμός.....	41
3.4.Υποδομές.....	42
3.4.1. Δίκτυο ύδρευσης.....	42
3.4.2. Ενέργεια.....	45
3.4.3. Άρδευση.....	45
3.5. Πρόβλημα λειψυδρίας.....	45
3.5.1. Αίτια	45
3.5.2. Προσπάθειες αντιμετώπιση λειψυδρίας	46
3.5.3. Ανάγκες νερού	47

3.5.4. Κόστος νερού	50
4. Ανάπτυξη μεθοδολογίας	52
4.1. Μεθοδολογία για τη συλλογή ομβρίων	52
4.1.1. Μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής	52
4.1.2. Προσδιορισμός συλλεγόμενου όγκου ομβρίων	52
4.1.3. Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης	53
4.1.4. Όγκος ομβροδεξαμενής	53
4.1.5. Συντελεστής αξιοπιστίας (Reliability, Re)	55
4.2. Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών	55
4.2.1. Διαδικασία παραγωγής μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών	55
4.2.2. Επιμερισμός των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσιες (disaggregation)	59
4.3. Εφαρμογή της μεθοδολογίας στην Κίμωλο	61
4.3.1. Βροχομετρικά δεδομένα	61
4.3.2. Παραδοχές	65
4.3.3. Σενάρια μελέτης	67
5. Αποτελέσματα-Συζήτηση	68
5.1. Εφαρμογή μοντέλου ισοζυγίου ομβροδεξαμενής στην Κίμωλο	68
5.2. Διερεύνηση αξιοπιστίας Re του συστήματος συλλογής ομβρίων	71
5.2.1. Σενάριο 1	71
5.2.2. Σενάριο 2	78
5.3. Ανάλυση κόστους-οφέλους	87
6. Συμπεράσματα	90
6.1. Ειδικά συμπεράσματα	92
6.2. Μελλοντική έρευνα	94
Βιβλιογραφία	96
Ελληνική Βιβλιογραφία-Αναφορές	96

Ξένη Βιβλιογραφία.....	97
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία.....	101

Περίληψη

Με σκοπό την ανάλυση της αβεβαιότητας που εμπλέκεται στη διαστασιολόγηση ενός συστήματος συλλογής ομβρίων μέσω της βροχόπτωσης, στο πλαίσιο της εν λόγω μεταπτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε στοχαστική προσομοίωση βροχομετρικών δεδομένων για τη διερεύνηση της αξιοπιστίας ενός τέτοιου συστήματος στη νήσο Κίμωλο.

Με διαθέσιμα τα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης 23 ετών για το νησί της Κιμώλου από τον μετεωρολογικό σταθμό της Μήλου, έγινε παραγωγή 50 μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης μήκους 40 ετών, με τη χρήση του στοχαστικού μοντέλου αυτοσυσχέτισης AR(1). Στη συνέχεια, έγινε επιμερισμός (disaggregation) των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσιες για να γίνει χρήση ενός μοντέλου ισοζυγίου ομβροδεξαμενής για τη διαστασιολόγηση συστήματος συλλογής ομβρίων. Από τις ημερήσιες συνθετικές χρονοσειρές, επιλέχθηκαν τρεις αντιπροσωπευτικές για την διαστασιολόγηση και τη διερεύνηση της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής ομβρίων. Οι παραπάνω συνθετικές χρονοσειρές, καθώς και η διαθέσιμη ιστορική χρονοσειρά, εφαρμόστηκαν 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. Έτσι, με τη βοήθεια της στοχαστικής προσομοίωσης, η αξιοπιστία ενός τέτοιου έργου εξετάστηκε για περίοδο 40 ετών.

Η διερεύνηση της αξιοπιστίας του συστήματος, αφορούσε οικία με αριθμό τεσσάρων ατόμων και ποσοστό ικανοποίησης οικιακών αναγκών 35%, που μεταφράζεται, λαμβάνοντας ως ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο τα 150 L/κάτοικο/ημέρα και τα 120 L/κάτοικο/ημέρα, σε περίπου 53 L/άτομο/ημέρα και 42 L/άτομο/ημέρα αντίστοιχα. Τα ποσοστά αυτά αντιστοιχούν στις ανάγκες μιας οικογένειας για κατανάλωση νερού 15% στο πλυντήριο και 20% για πότισμα.

Με βάση τα αποτελέσματα, προέκυψε ότι ένα σύστημα συλλογής ομβρίων στο νησί της Κιμώλου ή σε άλλο μέρος με παρόμοιο βροχομετρικό καθεστώς, δεν έχει μεγάλη αξιοπιστία για μικρές επιφάνειες συλλογής. Για την επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας ($Re > 80\%$) απαιτείται η ύπαρξη μεγάλων επιφανειών συλλογής νερού, καθώς και μια σχετικά μικρή ημερήσια κατανάλωση νερού ($q < 150$ L/κάτοικο/ημέρα). Το γεγονός ότι στην Κίμωλο δεν υπάρχουν

αρκετές κατασκευές με μεγάλες επιφάνειες συλλογής αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, οδηγώντας σε μέτριες έως και χαμηλές αξιοπιστίες ($Re \leq 50\%$), ειδικά για μια ημερήσια κατανάλωση νερού 150 L/κάτοικο/ημέρα. Για μικρότερες ημερήσιες καταναλώσεις (120 L/κάτοικο/ημέρα), η αξιοπιστία του συστήματος αυξάνει και μπορεί να γίνει χρήση μικρότερων δεξαμενών με χαμηλότερο κόστος. Ενδεικτικά, για επιφάνεια συλλογής νερού 140 m², η χρήση μιας σχετικά μικρής δεξαμενής 15 m³ επιτυγχάνει περίπου 67% αξιοπιστία.

Στο τελευταίο στάδιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε ανάλυση κόστους - οφέλους για το πιο ρεαλιστικό σενάριο για το νησί της Κιμώλου με αξιοπιστία 67%, η οποία έδειξε ότι ένα σύστημα συλλογής ομβρίων κρίνεται επωφελές με βάση τα έξοδα του κρατικού προϋπολογισμού για τη μεταφορά νερού, ενώ δεν οδηγεί σε αντίστοιχη απόσβεση σε χρονικό ορίζοντα 40 ετών - σε επίπεδο ιδιώτη - με βάση την τωρινή κοστολόγηση του νερού ανά οικία.

Abstract

In order to reduce the involved uncertainty in the sizing of a rainwater harvesting system, a stochastic model was used for rainfall data generation to estimate the reliability of such a system on the island of Kimolos.

With available 23 years of daily rainfall data for the island of Kimolos provided by meteorological station of Milos, stochastic autocorrelation AR model (1) was used to produce 50 synthetic time series of monthly rainfall. Then, a disaggregation of monthly to daily synthetic time series was proceeded, to use a rainwater harvest tank balance model for sizing a rainwater harvesting system. Disaggregation was done taking into consideration daily rainfall distributions of historical record per month. From the daily synthetic series, three representative time series were selected for sizing rain water tanks and estimation of the reliability of the rainwater harvesting system. These three synthetic time series, and also historic time series, were applied to rainwater harvest tank balance model and an evaluation of the results was operated. Thus, by using a stochastic model for the generation of synthetic time series, the reliability of such a project was tested for a longer period of 40 years. Reliability (Re) was defined as the percentage of days with water supply from the rainwater harvest tank to the total amount of days that consist the rainwater time series which are used for dimensioning the rainwater harvesting system.

The investigation of the system's reliability, concerned a household of four people, satisfaction of 35% of the total water demand, which refers taking a daily water consumption per person of 150 L / capita / day and 120 L / capita / day, to approximately 53 L / person / day, and 42 L / person / day, respectively. These rates correspond to the needs of a family for 15% water consumption in laundry and dish washing and 20% for irrigation, carwash etc.

The results showed that a rainwater harvesting system in the island of Kimolos or elsewhere with similar rainfall regime, has not great reliability for small collection surface area. In order to achieve high reliability ($Re > 80\%$), existence of large water collection area and a lower daily water consumption from the average (150 L / capita / day) is required. The fact that in Kimolos there is lack of structures with large collection surfaces, is a limiting factor and leads to low reliability ($Re \leq 50\%$), especially for average daily water consumption. For smaller daily water consumption from the average (120 L / capita / day), the system's reliability is increased and can be succeeded by using smaller rainwater harvest tanks which cost less. Indicatively, for a

water collection surface of 140 m², the use of a relatively small rainwater tank of 15 m³, achieves about 67% reliability.

In the end, a cost-benefit analysis was conducted for the most realistic scenario for the island of Kimolos with reliability of 67%, which showed that a rainwater harvesting system is advantageous according to the state's expenses for water transportation (12 €/m³), and it is profitless for households, based on current pricing of water per household (3 €/m³)

Extended abstract

Introduction

Water resources engineering design and analysis deal with the occurrence of water in various parts of a hydrosystem. Specifically, the occurrence of hydrological events often displays variations in time and in space. Their occurrences and intensities cannot be predicted precisely in advance and this indicates the hydrological 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 extend historical records or generate new ones with statistical properties similar to the observed data. Stochastic simulation is aimed to generate synthetic data that represent inputs to the system under study. This allows accounting for uncertainty. Moreover, the use of synthetic time series instead of historical records is essential for providing sufficiently large samples (e.g., greater than the historical series) or ensembles of different time series of the same process, in order to evaluate a wide range of possible outcomes. 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 (Lee et al., 2000; Tsubo et al., 2005; Guo and Baetz, 2007; Cowden et al., 2008; Su et al., 2009; Basinger et al., 2010; Chang et al., 2011), in order to design a rainwater harvesting system or for other purposes.

The rainwater harvesting, as a water management practice, is widespread all over the world and is used for over 4.000 years providing potable and non-potable water for domestic use, as well as water for agricultural use. Rainwater harvesting combined with better technology and knowledge, is used even more as a modern, relatively inexpensive and simple water-saving technology and sustainable water management practice by reducing stormwater runoff and peaks and non-point source pollution. Untreated harvested rainwater can be used for non-potable uses, such as toilet flushing, cloths and dishes washing, bath and shower, garden irrigation, while under appropriate treatment can be used also for potable use. 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 uncertainty analysis of the design of a rainwater harvesting system in Kimolos Island, in order to investigate its reliability depending on historical and synthetic rainfall time series.

Study area-Data used

Kimolos is in Aegean Sea and lies on the southwest of the island group of Cyclades. Kimolos is part of the island group of Cyclades and faces a huge problem of water shortage as the rest of Cyclades' islands. Its population is 910 people, which increases in summer months due to tourists. As it suffers deficits of water resources for many years and there are no other sources of water (e.g. groundwater), this island was selected to investigate the reliability of a rainwater harvesting system to save water for laundry facilities and irrigation. The scarcity of water resources in Kimolos seems to be a result of climate conditions and its small surface which does not allow the creation of aquifers. Water demand is covered by water transportation from Attiki to the island, which has a huge cost to the state. Also, due to delays of water transportation, residents of the island face often lack of water during the year. For all the above, Kimolos was selected to investigate how a rainwater harvesting system can solve or minimize the deficit of water especially during summer months. Although, many efforts have been done to help with drought, still there is no solution to their problem.

Daily rainfall data within the period 1990-2012, were obtained from Meteorological station of Milos, in order to produce synthetic time series and size the rainwater harvesting tank. This Meteorological station was chosen as the closest one to Kimolos Island. In Figure 1, is shown the rainfall data within the period 1990-2012 for Kimolos Island. Average rainfall per year is 383 mm, which indicates a low rainfall regime for Kimolos.

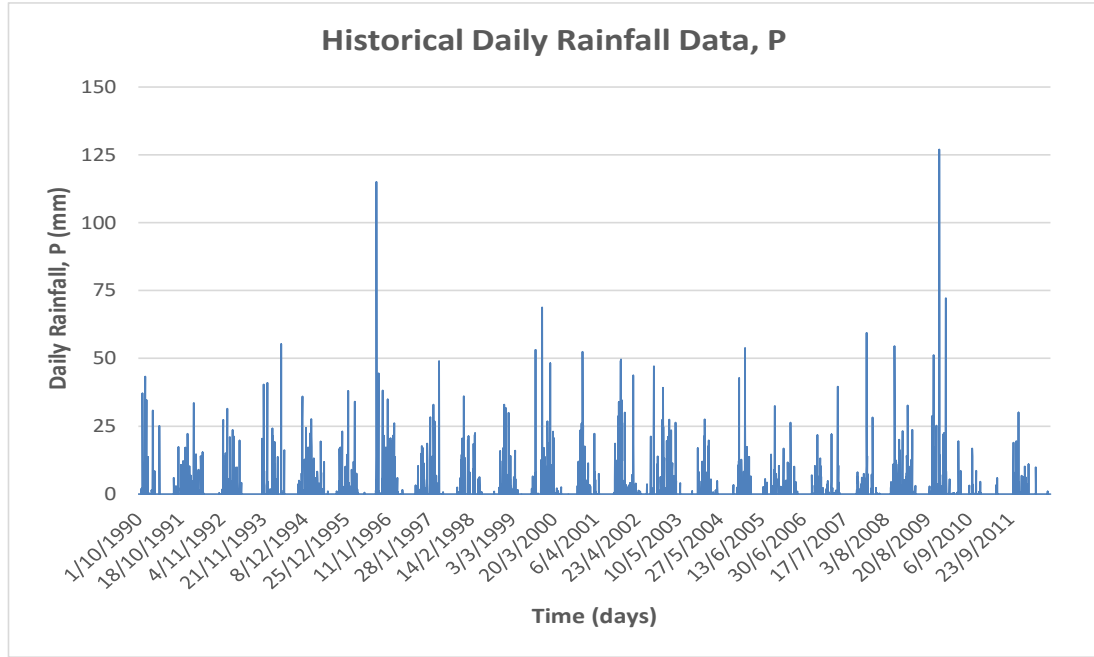


Figure 1: Historical daily rainfall data series for Kimolos 1990-2012.

Methodology

Sizing of rainwater harvesting tank

In the frame of this study, a rainwater harvesting tank balance model was developed for the sizing of rainwater harvesting tank. The water balance equation used is given in Eq. (1) as:

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

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:

$$R_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t} \quad (2)$$

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.

$$P_{eff,t} = P_t - 0,33 \quad (3)$$

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

$$D_t = N_{cap} \cdot q \cdot \left(\frac{p}{100}\right) \quad (4)$$

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 water demand for non-potable use of a household with number of capita $N_{cap}=4$ was determined, assuming $q=120,150$ l/cap/day and p ranged 35% i.e. 42 to 52.5 l/cap/day, respectively. This percentage corresponds to water use for cloths and dish washing (~ 15%) and irrigation (~ 17%).

Taking into account the Eqs. (1) - (4) the daily rainwater stored volume is calculated as:

$$S_t = S_{t-1} + C \cdot A \cdot P_{eff,t} - N_{cap} \cdot q \cdot \left(\frac{p}{100}\right) \quad (5)$$

The daily difference between runoff (inflow) and demand (outflow) is calculated using Eqs. (2) and (4) as follows:

$$\Delta S_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t} - N_{cap} \cdot q \cdot \left(\frac{p}{100}\right) \quad (6)$$

Consequently, the Eq. (5) can be rewritten as:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (7)$$

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, was considered initially full rainwater tank.

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:

$$\text{If } S_t + \Delta S_t > V_{tank} \text{ then } V_{tank} \text{ ,if } S_{t-1} + \Delta S_t < V_{tank} \text{ then } 0, \text{ else } S_t = S_{t,tank} = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (8)$$

$S_{t,tank}$ 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:

$$\text{if } S_t \geq V_{\text{tank}} \text{ then } O_t = S_t - V_{\text{tank}} \text{ else } O_t = 0 \quad (9)$$

In the case that stored water volume in the tank, $S_{t,\text{tank}}$, 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:

$$\text{if } S_t < D_t \text{ then } T_t = D_t - S_{t,\text{tank}} \text{ else } T_t = 0 \quad (10)$$

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:

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

Generation of monthly synthetic time series

The process of generating monthly synthetic time series from historical daily rainfall data was operated by using stochastic autocorrelation AR model (1). To construct the monthly synthetic time series, historical time series of daily rainfall was formulated to monthly rainfall. The steps to produce 50 synthetic time series of monthly rainfall with length of 40 years, are the following:

- 1) Calculation of statistic parameters (Mean, Variance, Standard Deviation, Coefficient of Asymmetry, Coefficient of Skewness),
- 2) Calculation of first and second order autocorrelation coefficient.
- 3) Stabilization of monthly time series by using the following formula:

$$X1(I,J) = \frac{(X(I,J) - M(J))}{SD(J)}$$

$X1(I,J)$ stabilized rainfall value, $X(I,J)$ monthly rainfall value (mm), J rank of month, I rank of year, $M(J)$ month's J average and $SD(J)$ month's J standard deviation.

- 4) Calculation of statistical parameters for stabilized time series
- 5) Calculation of first and second order autocorrelation coefficient

6) Use of AR(1) model to calculate coefficient $F1=R(1)$, where $R(1)$ is first order autocorrelation coefficient of stabilized time series, and theoretical deviation $C1$ by using:

$$C1 = C \cdot (1 - (F1)^2)^{0,5}$$

C^2 variation of stabilized series

7) Random data generation with normal distribution. Calculation of stabilized time series values by using:

$$X(1) = C1 \cdot NR(I) \text{ και } X(I) = C1 \cdot NR(I) + F1 \cdot X(I - 1)$$

$C1$ and $F1$ is theoretical deviation and coefficient of AR(1) model, $NR(I)$ random number

8) Imbalance of synthetic stabilized time series by using opposite formula of step 3) and then change negative values to zero

9) Check average and variance agreement between synthetic and historical time series.

10) Calculation of first order autocorrelation coefficient of synthetic time series (must agree with historical time series coefficient).

Generation of daily time series (Disaggregation)

A disaggregation method was developed to derive monthly synthetic time series to daily synthetic time series, in order to use the rainwater harvesting tank balance model. Disaggregation was done taking into consideration daily rainfall distributions of historical record per month. The procedures for this action are given to Figure 2:

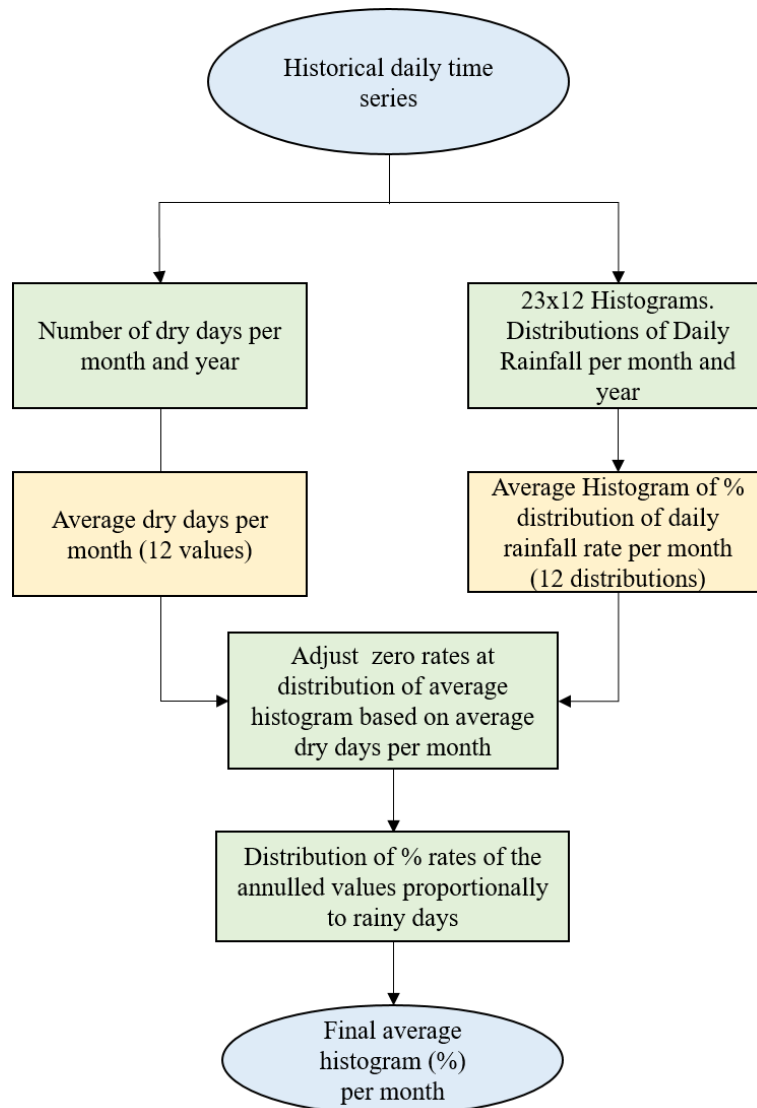


Figure 2: Disaggregation procedures for the generation of daily time series.

Due to statistical parameters of the daily synthetic time series, three were chosen to use in rainwater tank sizing model: (a) ‘mean’ synthetic daily time series (equal mean daily rainfall with historical record), (b) ‘minimum’ synthetic daily time series (minimum mean daily rainfall and less than historical record’s mean daily rainfall) and (c) ‘maximum’ synthetic daily time series (maximum and greater than historical record’s mean daily rainfall).

Results-Discussion

Scenario 1: Investigation of rainwater harvesting system reliability

Firstly, the rainwater tank sizing was done using $N_{cap}=4$, $p=35\%$, $q=150$ L/day/capita, in order to investigate system’s reliability, by changing everytime the collection area A (80-300 m^2) and rainwater tank volume V_{tank} (5-50 m^3). The used rainfall data time series where (a), (b) and

(c) synthetic series and also the historical rainfall data record of Kimolos. These charts can be used to size new rainwater harvesting systems and/or can be used to predict the reliability with which existing systems can be expected to meet a given demand depending on roof area and rainwater tank volume.

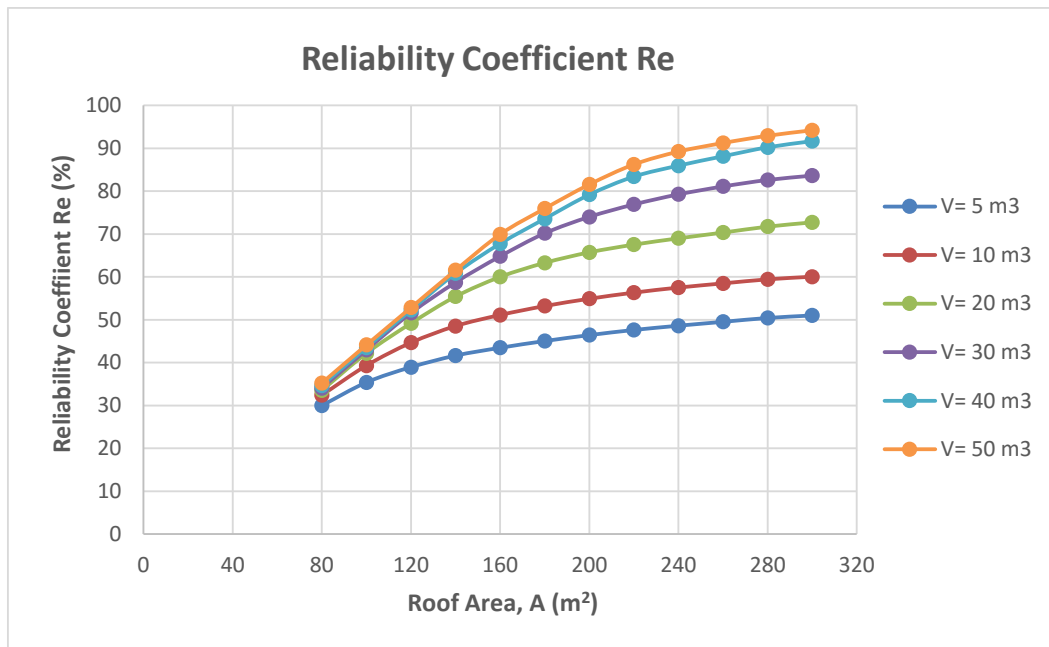


Figure 3: Reliability coefficient for different range of roof area and rainwater volume tank for historical record.

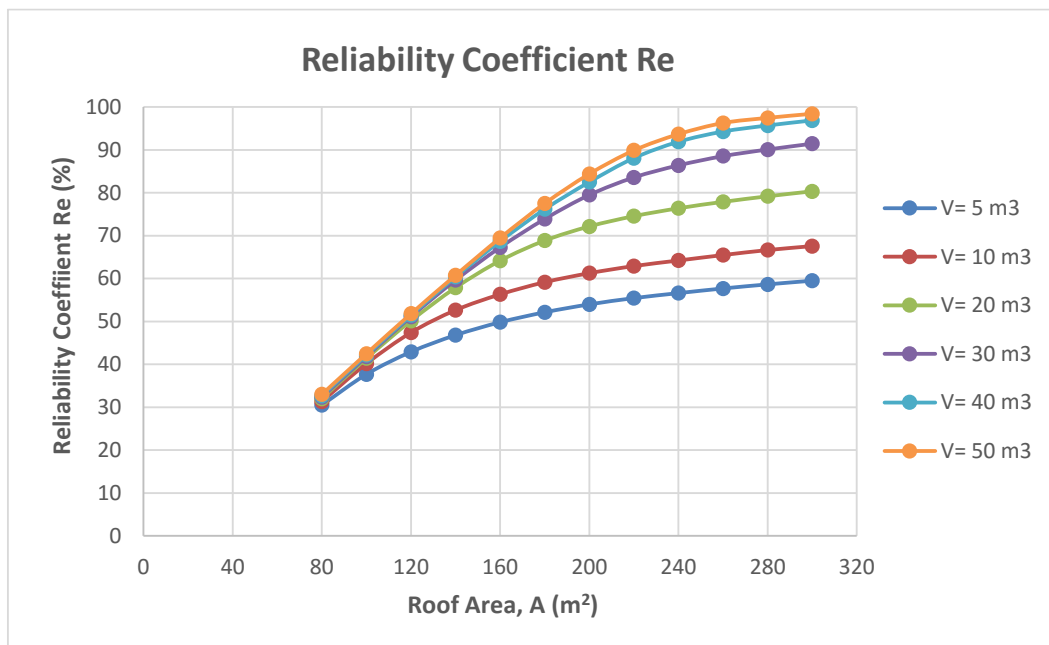


Figure 4: Reliability coefficient for different range of roof area and rainwater volume tank for synthetic time series (a).

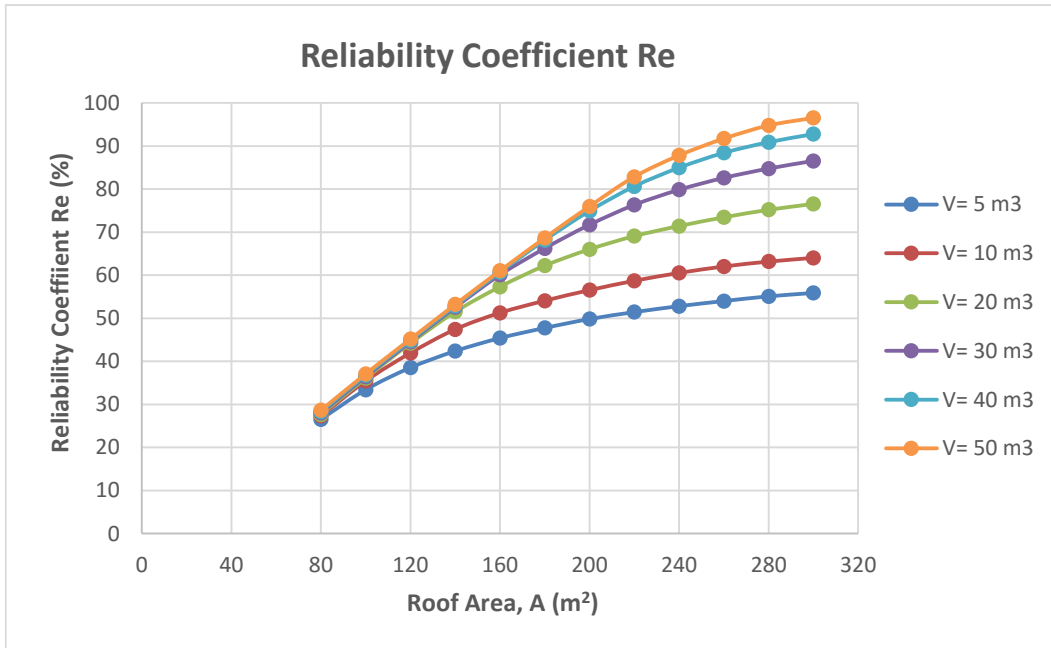


Figure 5: Reliability coefficient for different range of roof area and rainwater volume tank for synthetic time series (b).

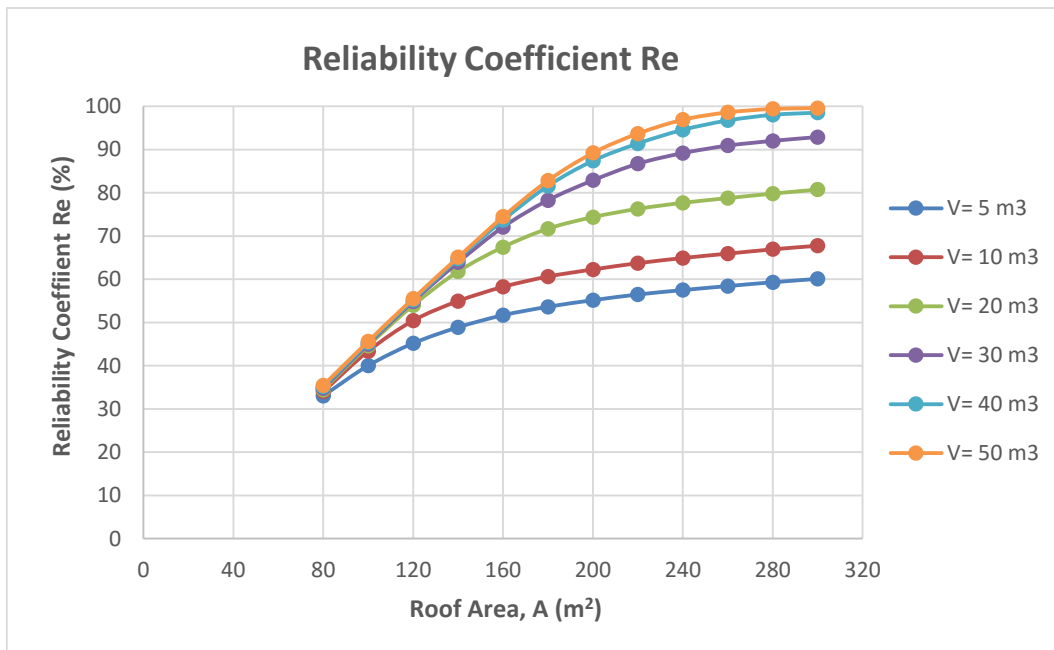


Figure 6: Reliability coefficient for different range of roof area and rainwater volume tank for synthetic time series (c).

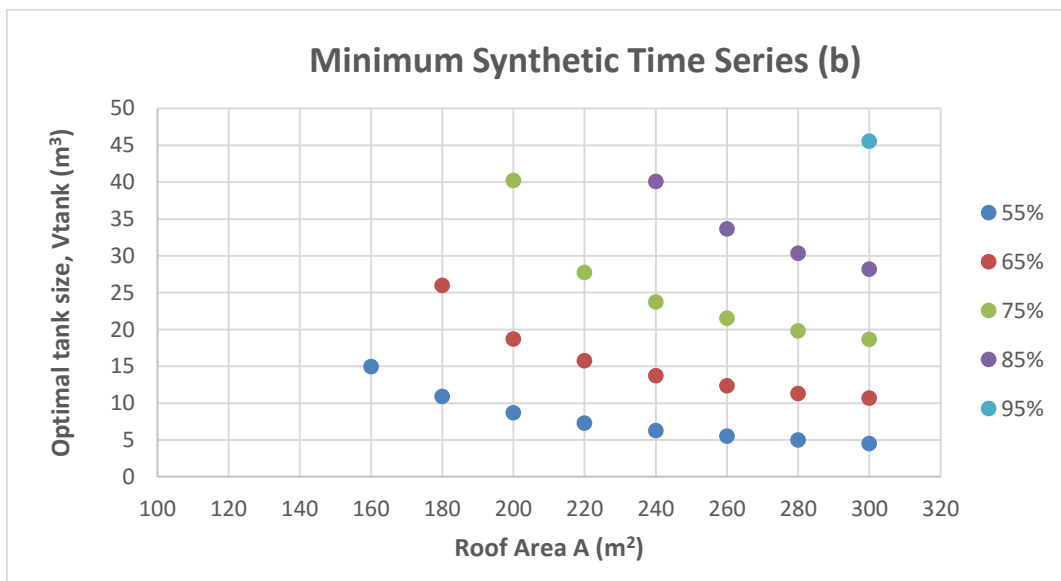
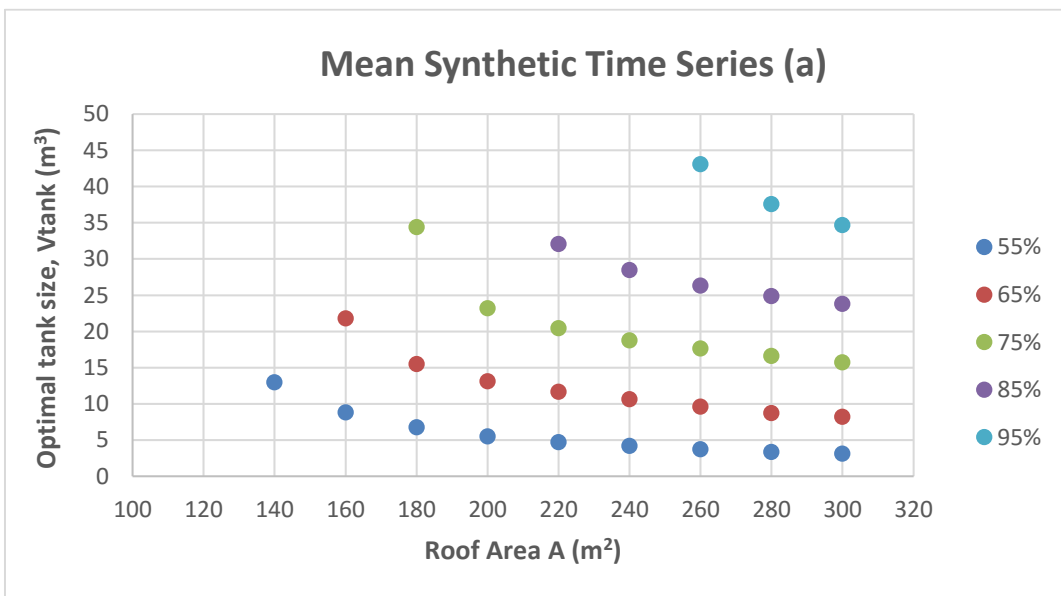
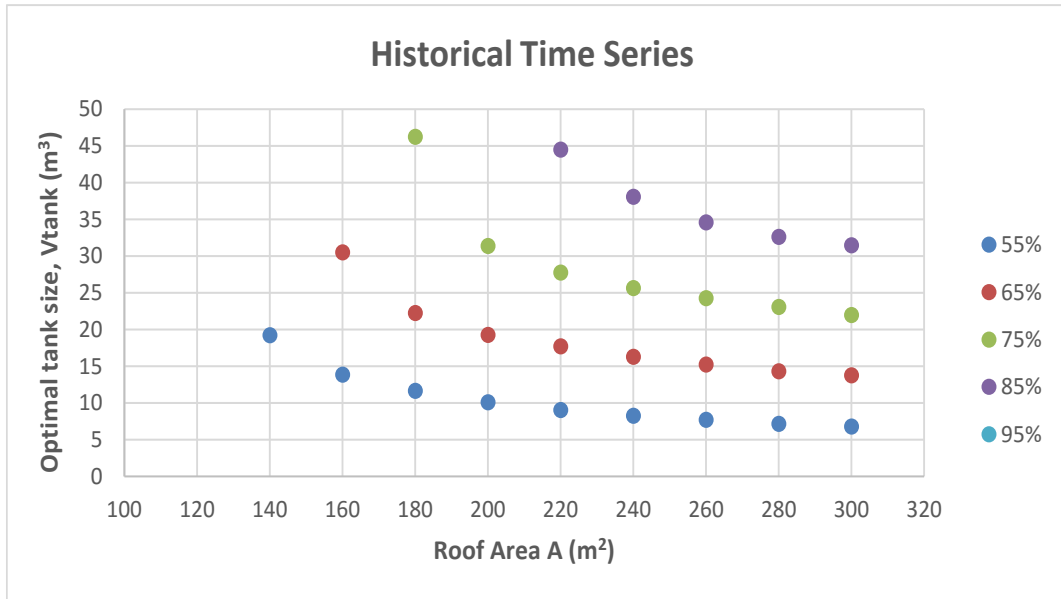
A general aspect of all charts is that reliability increases as roof area is larger. Specifically:

- All time series indicate that a reliability of 100% is impossible for roof area smaller than 300 m².
- Reliability is quite low ($Re < 50\%$), for roof area between 80-120 m² and percentage of total water use is not fully satisfied (35%).
- Only due to time series (c), reliability can reach 50% with a roof area of 120 m² and rainwater volume tank 10 m³. This was expected as time series (c) indicates higher average daily rainfall compared to other time series.
- A reliability of 80% can be succeeded only for large roof area. Due to time series (a) and historical record, this amount of reliability requires a roof area $A \geq 200$ m², although due to time series (b) and (c) the required roof area is $A \geq 220$ m² and $A \geq 180$ m² respectively.
- A mean reliability 50-60%, can be succeeded by available roof area $A \sim 120-140$ m² by choosing certain rainwater tank volume, based on historical record and time series' (a) results.
- As time series (b) is less favourable and (c) is more advantageous, a roof area $A \sim 140-160$ m² and $A \sim 80-100$ m² respectively, is required to succeed reliability 50-60%. These time series differ from historical record due to no good accordance with its statistical parameters.

As a result, simulation is not so accurate for future predictions by using time series with no accordance with the initial historical record. In conclusion, concerning time series (a) results, a roof area $A \sim 160-200$ m² is required for 80% reliability, while a roof area $A \sim 120-140$ m² is required for 50-60% reliability. In order to have a reliability of 90%, there is need of large roof areas (240-300 m²) that are not available in the island of Kimolos at the moment.

Scenario 2: Optimal rainwater size tank

In this section, optimal rainwater size tank is investigated depending on desirable reliability. Size tank of interest is $V_{tank} \leq 50$ m³, as larger tanks increase cost and take up more space. Roof areas of interest are $120 \leq A \leq 300$ m², daily water use per capita $p=150$ L/capita/day, percentage of total water use $q=35\%$ and $N_{cap}=4$ residents.



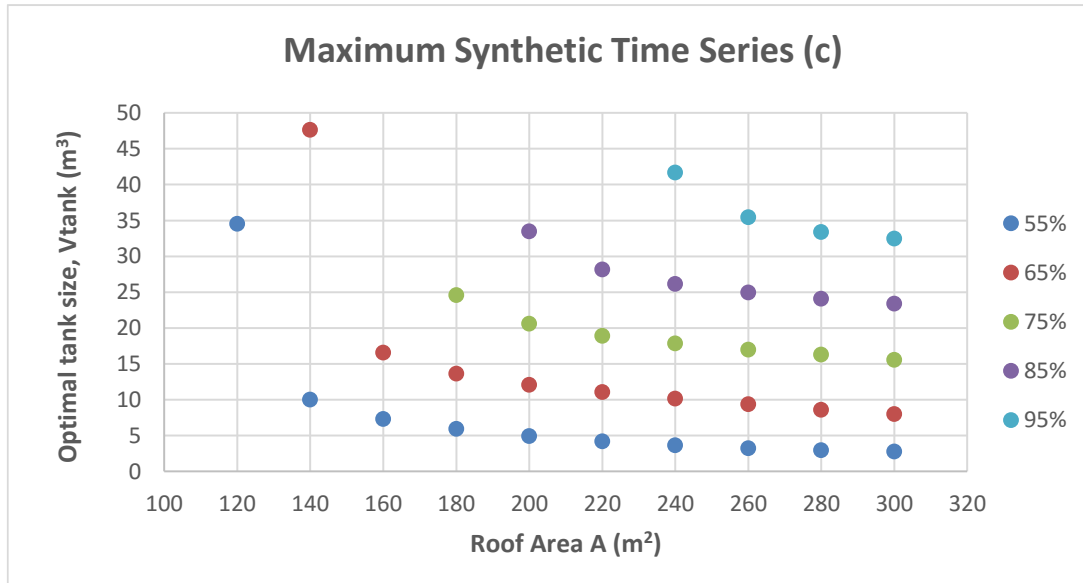


Figure 7: Optimal rainwater tank size due to certain reliabilities to meet the percentage of $p=35\%$ of total daily demand for number of capita $N_{cap}=4$ and 150 L/capita/day daily water use per capita by using historical time series and (a), (b), (c) synthetic time series.

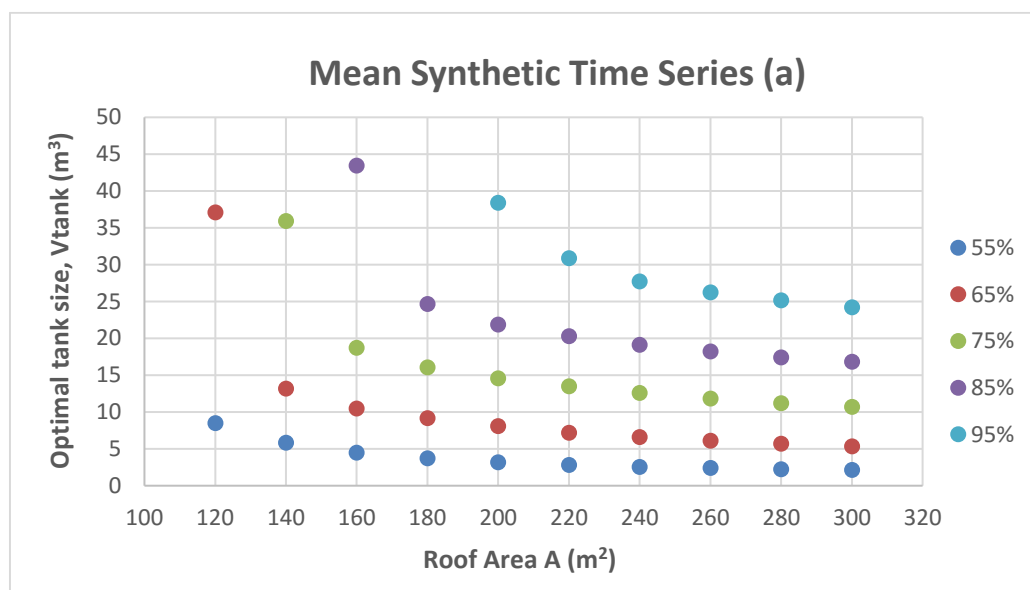
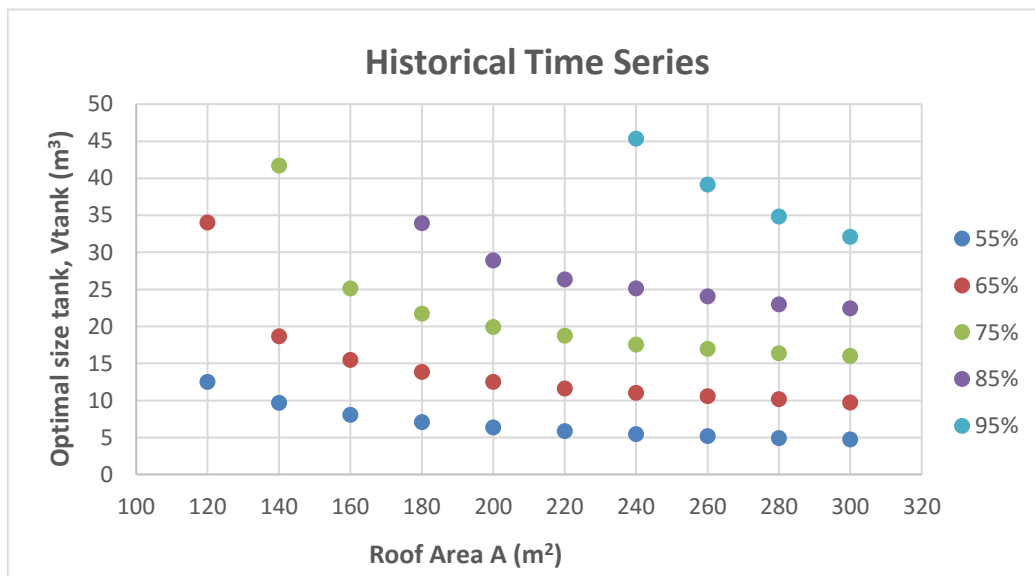
Results of synthetic time series (a) resemble to the results of historical record. When daily water use per capita is 150 L/capita/day , chart showed that:

- A reliability of 95% requires a rainwater tank of $35\text{--}44\text{ m}^3$ and roof area $A \geq 260\text{ m}^2$. Consequently, to succeed this reliability, is only possible by using a large roof area in order to use an acceptable rainwater volume tank less than 50 m^3 .
- For reliability of 85%, rainwater volume tank required $24\text{--}55\text{ m}^3$ needs to be combined with roof area $A \geq 220\text{ m}^2$.
- To succeed 75% reliability, tank volume of $16\text{--}34\text{ m}^3$ and roof area $A \geq 180\text{ m}^2$ need to be available.
- By using rainwater volume tank between $8\text{--}22\text{ m}^3$ and roof area $A \geq 160\text{ m}^2$, reliability reaches 65%.
- For reliability of 55% required rainwater volume tank is at least $3\text{--}13\text{ m}^3$ combined with roof area $A \geq 140\text{ m}^2$.

As desired reliability decreases, smaller volume tanks are required, so the cost of the system is reduced. If roof area is larger, smaller volume tank need to be used, depending on a low rainfall regime like in Kimolos Island. Depending on time series (b) and (c), results differ from historical record and synthetic time series (a) as they indicate lower and higher rainfall regime, respectively. As a result, time series (b), indicates that no desired reliability can be succeed by

using roof area less than 160 m² and even by having available a large catching surface, optimal size tank are bigger compared to the results of historical and synthetic (a) for same reliabilities. On contrary, synthetic time series (c), shows that desired reliabilities can be succeeded even for small catchment areas and smaller optimal tank size is required for same reliabilities compared to the rest of time series results.

The following charts show optimal size tank for a daily water use per capita 120 L/capita/day and rest of parameters same like before.



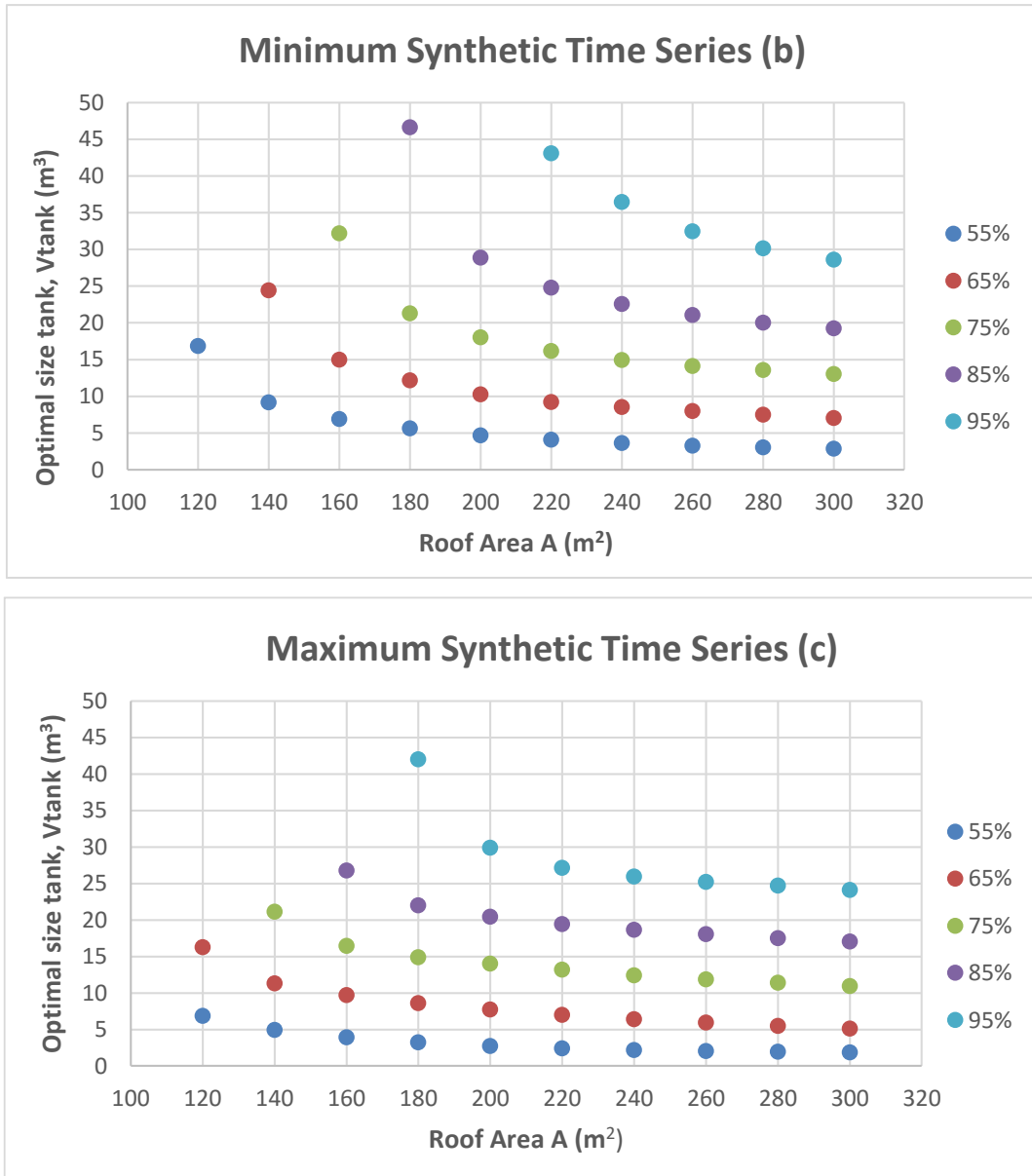


Figure 8: Optimal rainwater tank size due to certain reliabilities to meet the percentage of $p=35\%$ of total daily demand for number of capita $N_{cap}=4$ and 120 L/capita/day daily water use per capita by using historical time series and (a), (b), (c) synthetic time series

In general, reduce of daily water use, succeeded higher reliabilities by considering the results of all time series. Desired reliabilities are possible to be reached even for small roof area $120\text{-}140\text{ m}^2$ and smaller size tank is required. Due to the charts:

- Reliability of 95% can be reached even for small roof area combined with smaller volume tank. Specifically, considering time series (a) as it simulates better the historical record, for reliability of 95% required tank size is $24\text{-}48\text{ m}^3$ combined with roof area $A \geq 200\text{ m}^2$.
- For reliability of 85%, volume tank size needs to be between $17\text{-}43\text{ m}^3$ with roof area $A \geq 160\text{ m}^2$.

- Reliability of 75%, can be achieved by using volume tank of 11-36 m³ and roof area A_≥140 m².
- Reliability of 65% requires volume tank 5-37 m³ with available roof area 120-300 m².
- Finally, for lower reliability of 55%, volume tank of 2-8 m³ are needed with roof area A~ 120-300 m².

Cost benefit analysis

In order to evaluate the investment of a rainwater harvesting system in Kimolos, a cost-benefit analysis was conducted depending on cost of water to the residents and to the state, by using transported water by ships. Table 1, shows the total cost of the investment that will be evaluated.

Table 1: Equipment of a rainwater harvesting system and costs

Investment	
<i>Equipment</i>	<i>Costs €</i>
Pump	250
Filtration Filters	160
Water Distribution System	120
Screening	3
Pipelines	50
First Flushing Separator	100
Backflow prevention device	120
<i>Tank Type</i>	
Πλαστική, Cylinder Vertical Σ8 ELEPHANT, V=15 m ³ (d=2,7 m και h=2,7 m)	2.800
<i>Total Amount</i>	3.603

Due to the current situation, the cost of transferred water to residents is 3 €/m³, and cost for the state is 12 €/ m³. The case that was examined was the most realistic for the island of Kimolos and was for the following parameters: rainwater tank size V_{tank}=15 m³, roof area A=140 m², p=35%, q=120 L/capita/day and N_{cap}=4. Daily draft for a household of 4 people was calculated 0,168 m³/day or 61,32 m³/year. From rainwater harvest tank balance model, the provided water from rainwater tank was 42 m³/έτος, and the water used from the tap is 20 m³/year.

So, if the water provided by rainwater tank is taken from water transportation costs 126 €/year to residents and 504 €/year to the state. In order to do the cost-benefit analysis, a cost of maintenance and operation of 2%/year and discount rate of 3 and 5% was considered. Money savings from using rainwater from the tanks was considered as positive externalities. Investment plan was examined for period of N=40 years.

As a result of cost-benefit analysis, with discount rate 3% and considering the cost of water transportation at the state, the investment is viable with payback period of 20 years. For discount rate of 5%, payback period is 28 years. However, the investment is not viable for residents as the water costs less per household.

Summary and conclusions-Future research

Through this postgraduate thesis, uncertainty analysis in sizing rainwater harvesting systems was implemented by producing synthetic time series of rainfall and use them as entry data at a rainwater harvesting tank balance model.

The most important conclusions from the research were the following:

- A rainwater harvesting system in the island of Kimolos or another area with similar rainfall regime, doesn't seem to have great reliability for small roof areas.
- High reliabilities require presence of large roof area and low daily water use per capita ($q < 150$ L/capita/day). As there are no large constructions with large catchment areas in Kimolos island, leads to medium or low reliabilities ($Re \leq 50\%$) especially for great daily water use per capita.
- By reducing daily water use, reliability increases and it is possible to use smaller rainwater tank. So, daily water use has a huge impact on system's reliability and the volume of rainwater harvesting tank and must be considered for designing a rainwater harvesting system.
- Depending on cost-benefit analysis, an investment of a rainwater harvesting system is viable for the state even for a small amount of water collected from rainwater tanks, but it's not advantageous per household, based on selected scenario for a 40 year investment plan.

A future research needs to be conducted to provide solution for deficits of water in Kimolos and other islands of Cyclades group in similar situation.

As needs of water differ during the year, a rainwater harvesting for different daily water use per capita could be investigated ($q_{\text{summer}} \neq q_{\text{winter}}$). Also, as there is a population increase during summer months caused by tourists, different number of residents (capita) could be used depending on season for sizing more accurate rainwater harvesting tanks.

Also, about stochastic simulation, will be of interest the use of other stochastic model than AR(1) and compare the results with the ones of this report, as AR(1) model has the disadvantage of not reproducing persistence of time series. Another suggestion is to investigate daily rainfall rates distribution, especially in winter months, for adjustment of a theoretical distribution model in future rainfall data series.

Selected references

Abdulla F.A., Al-Shareef A.W., 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan, *Desalination*, 243 (1–3) pp. 195–207.

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

Cowden J.R., Watkins Jr.D.W. and Mihelcic J.R., 2008. Stochastic rainfall modelling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. *Journal of Hydrology*, 361: 64-77.

Ghisi E. and Ferreira D.F., 2007. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-story residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(4): 2512-22.

Lodra P., 2014. Sizing of rainwater harvesting tanks for urban use in Greece. National Technical University of Athens, Athens.

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.

1.Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση της αβεβαιότητας που εμπλέκεται στη διαστασιολόγηση ενός συστήματος συλλογής ομβρίων. 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 Κιμώλου, λόγω της λειψυδρίας που πλήττει το νησί, 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 50 ομοιώματα (συνθετικές χρονοσειρές) μηνιαίας βροχόπτωσης με βάση την διαθέσιμη ιστορική χρονοσειρά χρησιμοποιώντας το στοχαστικό μοντέλο AR(1). Οι συνθετικές χρονοσειρές είχαν μεγαλύτερο μήκος από αυτό τις ιστορικής, που συνέβαλε στην διαστασιολόγηση και τη μελέτη του έργου ενδιαφέροντος για περισσότερα χρόνια (40 έτη). Στη συνέχεια, έγινε επιμερισμός των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσιες, προκειμένου να εφαρμοστεί το επιλεγμένο μοντέλο διαστασιολόγηση. Η μεθοδολογία επιμερισμού αναπτύχθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασίας.

Με την εφαρμογή τριών αντιπροσωπευτικών συνθετικών χρονοσειρών, καθώς και της ιστορικής χρονοσειράς, σε ένα μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής, έγινε διερεύνηση της αξιοπιστίας ενός τέτοιου συστήματος στο νησί της Κιμώλου. 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.

1.2. Πρωτότυπα σημεία

Η διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών για τη νήσο Κίμωλο με τη μέθοδο του ημερήσιου ισοζυγίου ομβροδεξαμενής, έγινε με την εφαρμογή της ιστορικής χρονοσειράς βροχομετρικών δεδομένων, αλλά και με την εφαρμογή συνθετικών χρονοσειρών μεγαλύτερου μήκους της ιστορικής, που προέκυψαν με τη χρήση στοχαστικού μοντέλου από την ιστορική χρονοσειρά. Ενώ, με τη χρήση της ιστορικής χρονοσειράς, η διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών μπορούσε να διερευνηθεί μόνο για περίοδο 23 χρόνων (όσα χρόνια υπήρχαν καταγεγραμμένα στοιχεία βροχόπτωσης για την Κίμωλο), με τη χρήση συνθετικών χρονοσειρών έγινε διερεύνηση της αξιοπιστίας του συστήματος για 40 χρόνια.

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 παραμετρικό στοχαστικό μοντέλο για την παραγωγή χρονοσειρών βροχόπτωσης, η αξιοπιστία του συστήματος εξετάστηκε για διαφορετικά βροχομετρικά δεδομένα και για μεγαλύτερη χρονική περίοδο (40 έτη), αναλύοντας έτσι την αβεβαιότητα της διαστασιολόγησης. Επίσης, αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία επιμερισμού μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσιες, για τη δυνατότητα χρήσης ημερήσιου μοντέλου διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών. Μέσα από τη στοχαστική προσομοίωση μελετήθηκε η κατανομή της ημερήσιας βροχόπτωσης σε περίοδο ετών και προσομοιώθηκε μελλοντικά.

Έτσι, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων του ισοζυγίου ομβροδεξαμενής από όλες τις χρονοσειρές (ιστορική και συνθετικές) και μελετήθηκε υπό ποιες συνθήκες ένα σύστημα συλλογής ομβρίων έχει μέγιστη αξιοπιστία και λιγότερες πιθανότητες αστοχίας μελλοντικά στο νησί της Κιμώλου.

1.3. Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια τα οποία είναι τα εξής:

- Κεφάλαιο 1: αποτελεί την εισαγωγή και αφορά το παρόν κεφάλαιο.
- Κεφάλαιο 2: 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 3: γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης, ο λόγος που επιλέχθηκε και γίνεται αναλυτική παράθεση στοιχείων για το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον της.
- Κεφάλαιο 4: πραγματοποιείται ανάπτυξη της μεθοδολογίας της διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών και ο τρόπος παραγωγής των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών, καθώς και ο επιμερισμός τους σε ημερήσιες συνθετικές χρονοσειρές.
- Κεφάλαιο 5: παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης των ομβροδεξαμενών για όλες τις χρονοσειρές που χρησιμοποιήθηκαν και γίνεται ανάλυση κόστους-οφέλους για το πιο ρεαλιστικό σενάριο για την Κίμωλο.
- Κεφάλαιο 6: συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και προτείνονται θέματα για μελλοντική έρευνα

2. Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών και αβεβαιότητα

2.1. 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).

2.1.2. Στοχαστική προσομοίωση συστήματος με τη χρήση συνθετικών χρονοσειρών

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 (Bras και Rodriguez -Iturbe, 1985, 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 (Κουτσόγιαννης, 2013).

2.1.3 Χρήσεις της στοχαστικής προσομοίωσης στη διαστασιολόγηση συστημάτων συλλογής ομβρίων

Για τη διαστασιολόγηση συστημάτων συλλογής ομβρίων χρησιμοποιούνται χρονοσειρές δεδομένων βροχόπτωσης. Η πιο απλή μέθοδος διαστασιολόγησης συστημάτων ομβρίων είναι με τη χρήση των ιστορικών χρονοσειρών βροχόπτωσης. Ωστόσο, λόγω μη επάρκειας των ιστορικών χρονοσειρών που είτε έχουν μικρό μήκος ή ελλείψεις σε δεδομένα, χρησιμοποιείται η στοχαστική προσομοίωση για παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μεγαλύτερου μήκους από την ιστορική για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και ανάλυση της αβεβαιότητας. Έτσι, διάφοροι ερευνητές όπως για παράδειγμα οι Basinger et al (2010) και Cowden et al (2008), χρησιμοποίησαν μοντέλα στοχαστικής προσομοίωσης για την παραγωγή δεδομένων βροχόπτωσης με σκοπό τη διαστασιολόγηση ενός συστήματος συλλογής ομβρίων υδάτων. Γενικά, η χρήση στοχαστικών μοντέλων για την παραγωγή βροχομετρικών δεδομένων είναι

μία τακτική που έχουν ακολουθήσει αρκετοί ερευνητές είτε για διαστασιολόγηση συστημάτων συλλογής ομβρίων είτε για άλλους σκοπούς, όπως οι Semenov and Barrow (1997), Lee et al. (2000), Tsubo et al. (2005), Guo and Baetz (2007), Su et al. (2009), Chang et al., (2011) κ.α.

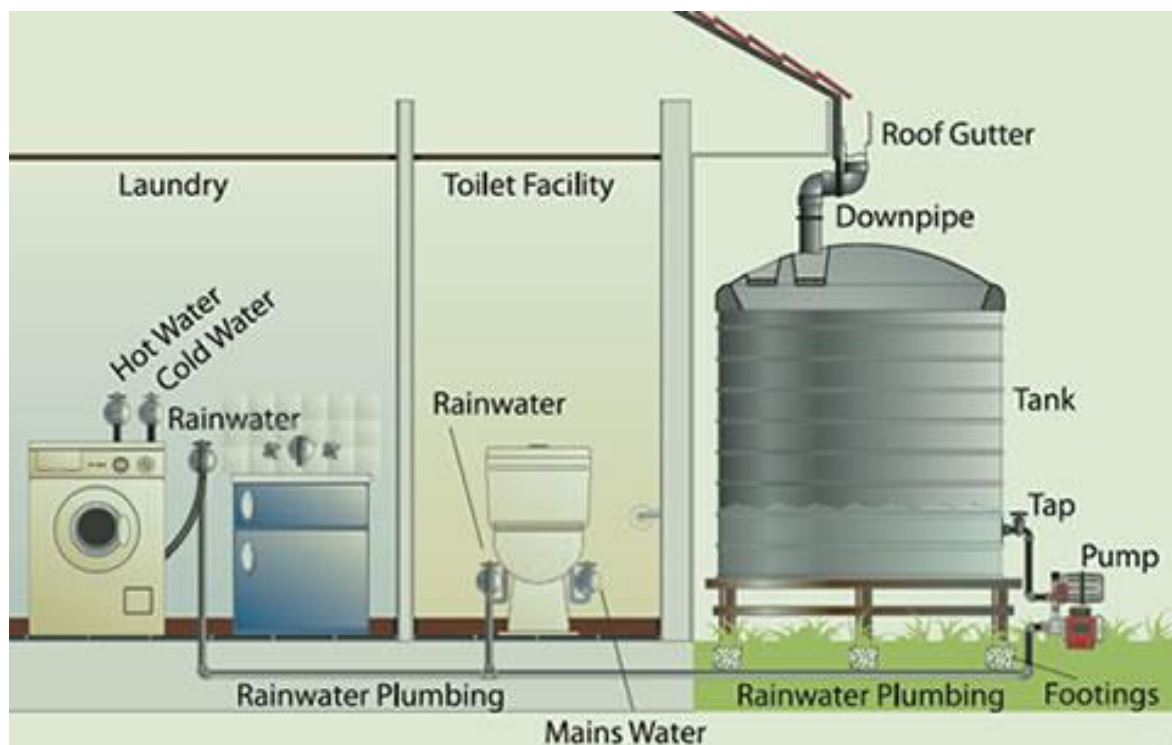
Η προσαρμογή τέτοιων μοντέλων σε διαφορετικές τοποθεσίες εξαρτώνται από την ικανότητα των αλγορίθμων που παράγουν τα δεδομένα βροχής, να παράγουν σύνολα που στατιστικά ταιριάζουν με τις ιστορικές παρατηρήσεις. Τα στοχαστικά μοντέλα για την παραγωγή δεδομένων βροχής χωρίζονται σε παραμετρικά και μη παραμετρικά. Τα παραμετρικά απαιτούν χρήση συγκεκριμένων στατιστικών σχέσεων για την περιγραφή της χρονοσειράς βροχόπτωσης που ενδιαφέρει τον μελετητή.

Τα παραμετρικά μοντέλα έχουν το μειονέκτημα να μην προσαρμόζονται σε όλες τις περιοχές, λόγω του ότι η στατιστική σχέση που περιγράφει το φαινόμενο της βροχής σε μία περιοχή δεν θα ισχύει για άλλη, λόγω του ότι οι ατμοσφαιρικές αιτίες που προκαλούν τη βροχόπτωση διαφέρουν από μέρος σε μέρος (Lall et al, 1996). Ένα παράδειγμα είναι αυτό των Guo and Baetz (2007), οι οποίοι χρησιμοποίησαν παραμετρική προσομοίωση της βροχής για να ορίσουν αναλυτικές εξισώσεις για τη διαστασιολόγηση συστημάτων συλλογής ομβρίων για συγκεκριμένη αξιοπιστία και ποσό χρήσης νερού. Οι συγγραφείς παρήγαγαν συνθετικές χρονοσειρές βροχόπτωσης με τη μέθοδο Poisson και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας παραμέτρους με βάση τις τοπικές συνθήκες της περιοχής (π.χ. μέσο όρο των ημερών βροχόπτωσης το χρόνο), υπολόγισαν τον απαιτούμενο όγκο ομβροδεξαμενής για επιθυμητό ποσοστό χρήσης νερού και αξιοπιστία.

Από την άλλη, τα μη παραμετρικά μοντέλα δεν απαιτούν την τήρηση των πρότερων παραδοχών σχετικά με τη στατιστική μορφή των χαρακτηριστικών βροχόπτωσης. Οι μη παραμετρικές μέθοδοι χρησιμοποιούν συναρτήσεις κατανομής πιθανότητας για να περιγράψουν την εμφάνιση βροχοπτώσεων (διάρκεια υγρών και ξηρών ημερών), οι οποίες προέρχονται απευθείας από τοπικές μετρήσεις. Στη συνέχεια, μπορούν να κατασκευαστούν συνθετικές χρονοσειρές, ως μια διαδοχική εξέλιξη υγρής και ξηρής περιόδου ή ως αλυσίδες Markov διαφορετικών τάξεων. Παράδειγμα χρήσης μη παραμετρικής μεθόδου είναι αυτό των Basinger et al (2010), για τη διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών στην πόλη της Νέας Υόρκης. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε παραμετρική στοχαστική μέθοδος. Σε επόμενο κεφάλαιο, περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης.

2.2. Συλλογή ομβρίων

Η συλλογή ομβρίων (Rainwater harvesting) είναι μία τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη συλλογή και αποθήκευση του βρόχινου νερού από τις στέγες σπιτιών, εδαφικές επιφάνειες, επιφάνειες δρόμων ή πέτρινες επιφάνειες με απλές τεχνικές, όπως δοχεία, δεξαμενές και στέρνες αλλά και πιο πολύπλοκες τεχνικές όπως υπόγεια ελεγχόμενα φράγματα (Arran, 1999, Zhu et al., 2004). Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μία εναλλακτική πηγή καθαρού νερού, ιδανική για οικιακή χρήση. Το συλλεγόμενο νερό, συνήθως χρησιμοποιείται ως μη πόσιμο για παροχή νερού στην τουαλέτα, το πλυντήριο, το πλύσιμο του αμαξιού και για πότισμα.

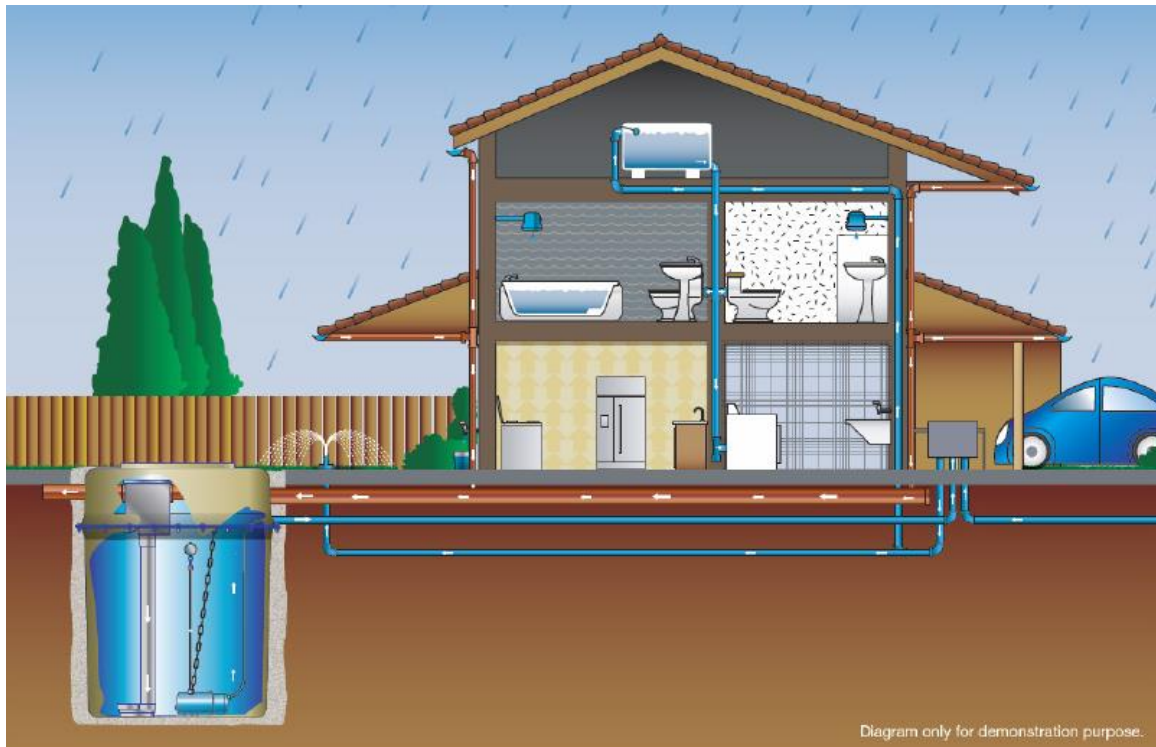


Σχήμα 2.1: Παράδειγμα αξιοποίησης βρόχινου νερού (Πηγή: <https://theriddleofplumbingandelectrical.files.wordpress.com/2014/04/source-housebuildingaustralia.jpg>)

Ωστόσο, το βρόχινο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πόσιμο αν προηγηθεί κατάλληλη επεξεργασία. Η οικιακή χρήση συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού μπορεί να προσφέρει εξοικονόμηση νερού παγκοσμίως. Σύμφωνα, με διεθνείς μελέτες σε σπίτια με συστήματα συλλογής βρόχινου νερού, μπορεί να επιτευχθεί μείωση χρήσης νερού από το δίκτυο σε ποσοστό 30-92% (Abdulla et al., 2009).

Σήμερα, η συλλογή ομβρίων 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

λειψυδρίας και της αυξανόμενης ζήτησης. Παρέχει τη δυνατότητα αύξησης των υδατικών αποθεμάτων επιτρέποντας ταυτόχρονα αυτοδυναμία και αειφορία.



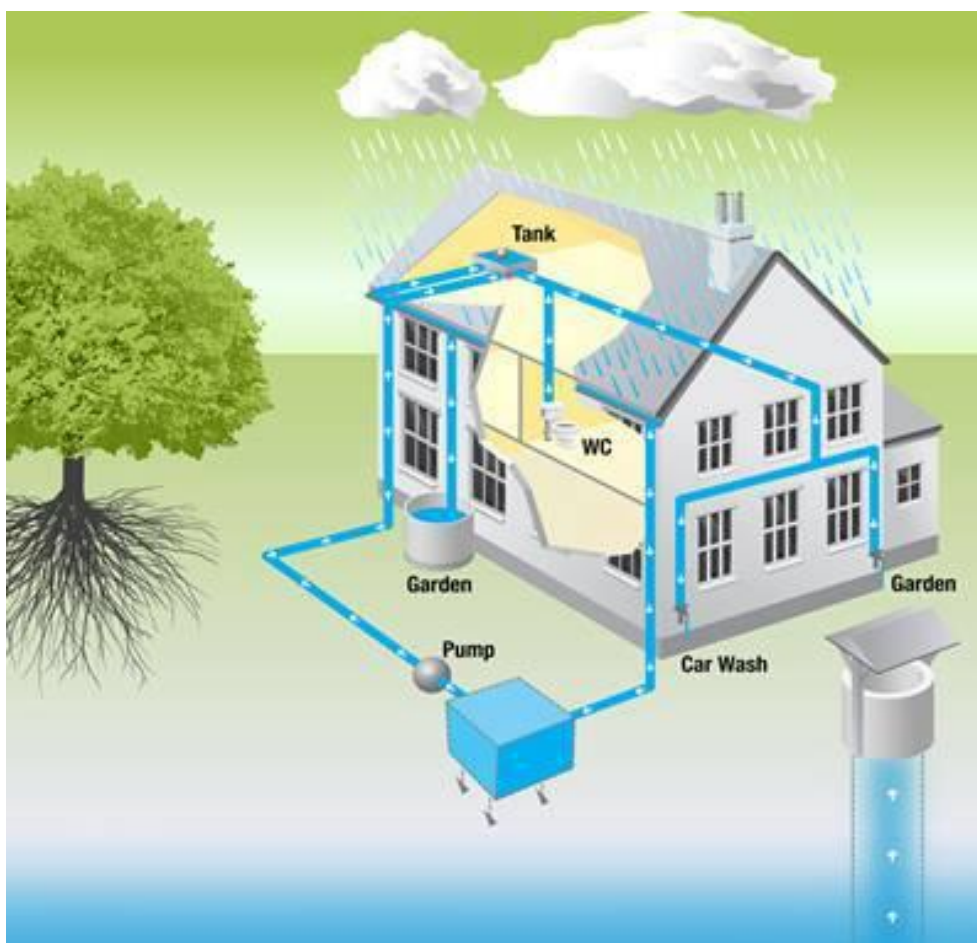
Σχήμα 2.2: Σύστημα διαχείρισης ομβρίων (Πηγή: <http://www.totalwastewatersystemsuk.co.uk/userfiles/Images/commercial-rain-harvesting-system-dia.jpg>)

Το νερό της βροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόση και άλλες οικιακές χρήσεις, ιδιαίτερα σε περιοχές του κόσμου, όπου οι υδατικοί πόροι δεν είναι ποσοτικά και ποιοτικά επαρκείς για κατανάλωση από τον άνθρωπο. Επίσης, σε ορισμένα απομακρυσμένα νησιά σε όλο τον κόσμο, το νερό της βροχής μπορεί να αποτελέσει την κύρια πηγή πόσιμου νερού για τον πληθυσμό τους (Λόντρα, 2014).

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής τεχνολογιών συλλογής ομβρίων είναι:

1. Το επεξεργασμένο βρόχινο νερό καταναλώνεται κοντά ή στο σημείο συλλογής του. Αυτό μειώνει την πιθανότητα μόλυνσης κατά τη μεταφορά του και μειώνει τα έξοδα παροχής νερού από το δημόσιο δίκτυο
2. Ένα σημαντικό ποσοστό ζήτησης από το δημόσιο δίκτυο θα μπορεί να καλυφθεί από ένα σύστημα συλλογής ομβρίων
3. Τα συστήματα συλλογής ομβρίων μπορούν να εγκατασταθούν σε υπάρχουσες και νέες κατοικίες.
4. Το κόστος παρακολούθησης και διαχείρισης είναι γενικά χαμηλό, ειδικά αν το νερό δεν προορίζεται για πόση.

5. Το σπίτι μπορεί να είναι αυτόνομο σε ανάγκες νερού όταν το δημόσιο δίκτυο διακόπτεται. Συστήματα συλλογής ομβρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη και για αποτροπή πλημμυρών ανάλογα την περιοχή (π.χ. Ιρλανδία) (Li et al., 2010).



Σχήμα 2.3: Σύστημα συλλογής ομβρίων (Πηγή: <http://www.solargeo.co.uk/wp-content/uploads/2014/07/raionwaterHarvesting2.jpg>)

Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα ανά τον κόσμο που αποδεικνύουν ότι η συλλογή ομβρίων είναι αποδοτική. Στη Γερμανία, μία μελέτη 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% (Coombes et al., 1999). Στην Βραζιλία, μία άλλη μελέτη (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%.

Άλλες περιοχές που έχουν εφαρμοστεί συστήματα συλλογής ομβρίων είναι η Ελλάδα (Sazakli et al., 2007), η Ζάμπια (Handia et al., 2003), το Ηνωμένο Βασίλειο (Fewkes, 1999a), οι

Ηνωμένες Πολιτείες (Jones and Hunt, 2010), η Ινδία (Goel and Kumar, 2005, Pandey et al., 2006), η Ινδονησία (Song et al., 2009), το Ιράν (Fooladman and Sepaskhah, 2004), η Ιορδανία (Abdulla and Al-Shareef, 2009), η Ιρλανδία (Li et al., 2010), η Ισπανία (Domènech and Saurí, 2011), η Κίνα (Li and Gong, 2002), η Μαλαισία (Lariyah et al., 2011), η Ναμίμπια (Sturm et al., 2009), η Νότια Αφρική (Kahinda et al., 2007), η Νότια Κορέα (Song et al., 2003), η Σιγκαπούρη (Arran, 1999), η Σουηδία (Villareal and Dixon, 2005), και η Ταϊβάν (Chiu et al., 2009).

Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματα που έχει η συλλογή βρόχινου ομβρίων έχει και μειονεκτήματα όπως, το υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης και η αβεβαιότητα στην ποσότητα του νερού που θα συλλέγεται, καθώς εξαρτάται από αβέβαιη υδρολογική παράμετρο (βροχόπτωση).

2.2.1. Συλλογή ομβρίων στις Κυκλάδες

Η τεχνολογία συλλογής ομβρίων αναπτύχθηκε στα νησιά του Αιγαίου κατά τη διάρκεια της Κυκλαδικής περιόδου (περίοδος 3.100-1.600 π.Χ.). Η αποθήκευση του νερού γινόταν σε στέρνες και δεξαμενές, με την παροχή τους να εξασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα συστήματα συλλογής που διέθεταν τα οικιστικά σύνολα. Συστατικό στοιχείο της νησιωτικής αρχιτεκτονικής αποτελούσαν οι υδρορροές των σπιτιών. Σε πολλές περιοχές οι κάτοικοι εκμεταλλεύονταν τις φυσικές κλίσεις του εδάφους για τη συλλογή του νερού σε δεξαμενές υπερκείμενες των οικισμών. Το μικρό με μεσαίο μέγεθος που είχαν οι στέρνες που βρέθηκαν μεταγενέστερα, καθώς και ο μεγάλος τους αριθμός στις Κυκλάδες (πάνω από 55), δείχνει ότι το νερό συλλεγόταν σε μικρή κλίμακα, για παράδειγμα αναλογικά με το μέγεθος της οικίας. Μία τέτοια μέθοδος ήταν σίγουρα αναμενόμενη λόγω της κατασκευή της πόλης σε διάφορα διαδοχικά επίπεδα και τον τεράστιο μηχανισμό για τη συλλογή του νερού στους σωστά διαμορφωμένους υπόγειους χώρους της (Bitis, 2013). Οι αρχαίες τεχνολογίες συλλογής νερού, όπως οι στέρνες, χαρακτηρίζονταν από απλότητα, ευκολία στη χρήση και δεν απαιτούνταν πολύπλοκοι έλεγχοι, γεγονός που τις έκανε πιο βιώσιμες (Mays, 2010).



Σχήμα 2.4: Δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού-στέρνα, Κουφονήσια (Πηγή:http://content-mcdn.ethnos.gr/filesystem/images/20110704/low/assets_LARGE_t_183762_53619854.JPG)

Η ύπαρξη ή μη στέρνας δεν είχε να κάνει με τη χρήση του κτιρίου. Στέρνες έχουν βρεθεί κάτω από ιδιωτικά και δημόσια κτίρια, αλλά και κάτω από ναούς και θέατρα. Η δεξιοτεχνία της κατασκευής τους είναι αξιοθαύμαστη, ειδικότερα όσον αφορά την ποιότητα του γύψου που είχε χρησιμοποιηθεί στην επικάλυψη των εσωτερικών τοιχωμάτων της κάθε στέρνας. Η χρήση εδάφους της Θήρας σαν κονίαμα, λόγω της υψηλή περιεκτικότητάς του σε οξείδιο του πυριτίου, πετύχαινε πολύ καλή μόνωση των τοιχωμάτων της στέρνας. Σε αυτό οφείλεται το γεγονός ότι στέρνες που διατηρούν αυτήν την επικάλυψη από έδαφος της Θήρας, διατηρούν την ικανότητα αποθήκευσης νερού μέχρι και σήμερα.

Αρκετά ευρήματα σε διάφορα νησιά αποδεικνύουν τη χρήση συστημάτων συλλογής ομβρίων. Στο νησί της Δήλου έχουν βρεθεί μικρές στέρνες που αποθήκευαν το βρόχινο νερό σε διάφορα σημεία του νησιού. Η κεντρική στέρνα του νησιού βρίσκεται μπροστά από ένα θέατρο. Η βροχή έπεφτε πάνω στο κοίλο μέρος του θεάτρου και διοχετευόταν σε δεξαμενή που ήταν καλυμμένη με πλάκα (Antonίου et al., 2006, Bitis, 2013).

Στη Σαντορίνη έχουν βρεθεί περισσότερες από 50 στέρνες στον οικισμό της Αρχαίας Θήρας. Τα μεγέθη τους ποικίλουν και χρησιμοποιούνταν για τη συλλογή του νερού της βροχής από τις επίπεδες στέγες των κτηρίων. Έπειτα, με τα κατάλληλα κανάλια το νερό διοχετευόταν στις δεξαμενές (Πρέκα, 2016). Στην Κύθνο έχουν βρεθεί κυρίως δημόσιες στέρνες. Ιδιωτικές στέρνες είχαν μόνο οι πλούσιοι και αυτό ήταν ένδειξη της κοινωνικής θέσης και του πλούτου.

Ένα από τα νησιά που συνέχισε την παράδοση μέχρι και σήμερα είναι η Φολέγανδρος. Στο νησί υπάρχουν 2.500 στέρνες και ομβροδεξαμενές και ίσως αποτελεί μοναδικό παράδειγμα αδιάκοπης συνέχισης αυτής της παράδοσης στις Κυκλάδες, όπου στα περισσότερα νησιά η τελευταία εξέλιπε όταν απέκτησαν δίκτυο ύδρευσης.



Σχήμα 2.5: Δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού-στέρνα, Φολέγανδρος (Πηγή: http://myfolegandros.gr/wp-content/uploads/2014/07/Ecomuseum_Ano_Meria_18-1024x683.jpg)

Στο νησί της Κιμώλου, διατηρούνται ακόμα μερικές στέρνες για τη συλλογή του βρόχινου νερού για χρήση του νερού ως πόσιμο, έπειτα από χλωρίωση. Οι περισσότερες στέρνες έχουν σχήμα πιθαριού, βάθος 3-6 m και βρίσκονται συνήθως στο κατώτερο σημείο του σπιτιού.

Στην προσπάθεια αναβίωσης της πρακτικής της συλλογής ομβρίων και γενικότερα στον τομέα της ευαισθητοποίησης για την εξοικονόμηση νερού, έχουν δραστηριοποιηθεί ιδιωτικές εταιρείες και μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πρόγραμμα «Συλλογή Όμβριων Υδάτων σε Ελληνικά Νησιά» (συνεργασία των οργανισμών Global Water Partnership Mediterranean - GWP-Med, Μεσογειακό Γραφείο Πληροφόρησης για το Περιβάλλον, τον Πολιτισμό και την Αειφόρο Ανάπτυξη - MIO-ECSDE, Coca-Cola 3E και Coca-Cola Hellas) που ξεκίνησε το 2008, με το οποίο γίνεται μια προσπάθεια να ξαναμπεί η στέρνα στη ζωή των κατοίκων των νησιών και παράλληλα να βελτιωθούν οι παλαιότερες τεχνικές συλλογής ομβρίων, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην εξοικονόμηση νερού για την

κάλυψη των οικιακών αναγκών, κυρίως των μικρών νησιών (www.medies.net). Το Πρόγραμμα ξεκίνησε πιλοτικά στα νησιά Σύρο, Τήνο και Νάξο και στη έπειτα επεκτάθηκε σε συνολικά 19 νησιά των Κυκλάδων, όπου σε συνεργασία με τις Δημοτικές Αρχές πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση νέων και επισκευή παλαιότερων ομβροδεξαμενών σε επιλεγμένα δημόσια κτίρια. Το νερό που συλλέγεται, χρησιμοποιείται κυρίως για άρδευση, πλύσιμο, πότισμα κ.α..

Πλέον, η συλλογή του βρόχινου νερού επανέρχεται προσαρμοσμένη στις σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις, ώστε να συντελέσει στην κάλυψη των αυξημένων αναγκών που δημιουργούν ο τουρισμός και οι αλλαγές κλίματος.

2.2.2. 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:

ι. 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 περίξ 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 κτιρίων). Ισχύουν, ωστόσο, ειδικοί περιορισμοί σε κάποιες περιοχές που περιορίζουν το μέγεθος της ομβροδεξαμενής στα 30 ή 45 m³. Επίσης, στην περίπτωση της κατασκευής 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.

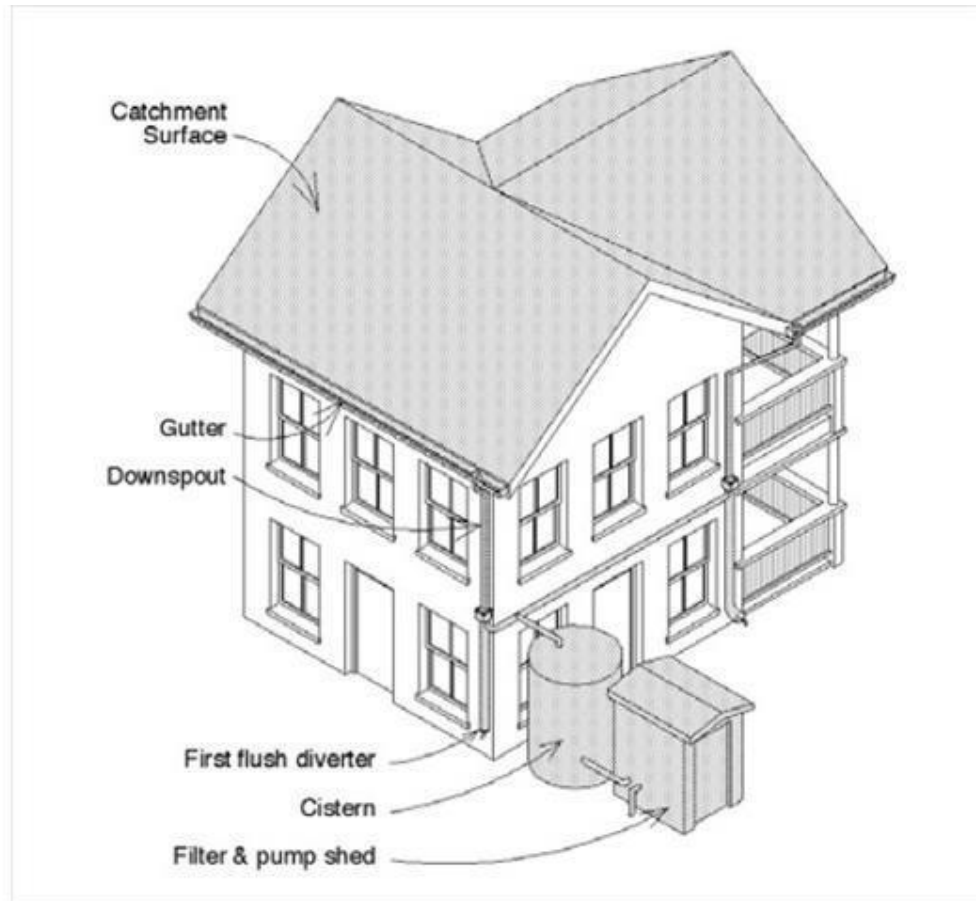
ii. Με το ΠΔ της 10-05-2002 (ΦΕΚ 402/Δ/17-05-2002) «Χαρακτηρισμός των νησιών Κίμωλος, Δονούσα, (Άνω) Κουφονήσι, Ηρακλεία, Σχοινούσα, Αμοργός, Ανάφη, Σίκινος, Φολέγανδρος, Τήλος, Νίσυρος, Χάλκη, Μεγίστη, Κάσος, Τέλενδος, Ψέριμος, Αστυπάλαια, Λειψοί, Αγαθονήσι, Αρκοί, Αγ. Ευστράτιος, Οινούσες, Ψαρά, Φούρνοι, 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 μελέτη, 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 μελέτης μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση έως 20% σε κάθε νοικοκυριό και συνολικά 3.300.000 m³ το έτος (Κυριαζοπούλου, 2012).

2.3. Συστήματα συλλογής ομβρίων

Τα μέρη τα οποία αποτελούν ένα σύστημα συλλογής ομβρίων είναι η δεξαμενή συλλογής νερού, η επιφάνεια συλλογής νερού, το σύστημα πρώτης έκπλυσης, το σύστημα μεταφοράς και το σύστημα διανομής του νερού.



Σχήμα 2.6: Σύστημα συλλογής ομβρίων με υπέργεια δεξαμενή (Πηγή: Mathur, 2013)

Το νερό της βροχής αποθηκεύεται σε δεξαμενές αποθήκευσης (ομβροδεξαμενές) ή στέρνες. Υπάρχουν πολλές επιλογές όσον αφορά την κατασκευή τέτοιων δεξαμενών. Το σχήμα τους μπορεί να είναι κυκλικό, ορθογώνιο ή τετράγωνο. Το μέγεθος τους ποικίλει και εξαρτάται συνήθως από την επιφάνεια συλλογής νερού, από την υφιστάμενη νομοθεσία και το κόστος. Επίσης, υπάρχουν αρκετές επιλογές όσον αφορά τα υλικά κατασκευής τους. Στα κατάλληλα υλικά περιλαμβάνονται το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο γαλβανισμένος σίδηρος, το σπλισμένο ή μη σκυρόδεμα, κατάλληλα προετοιμασμένο εδαφικό υλικό, ή ακόμη και ξύλο (Λόντρα, 2014). Η επιλογή του υλικού είναι θέμα ανάλυσης κόστους-οφέλους, αλλά εξαρτάται και από τη χρήση για την οποία προορίζεται το συλλεγόμενο νερό. Συνήθως προτιμάται το σκυρόδεμα, καθώς διατηρεί καλύτερα την ποιότητα του νερού και σαν

δεξαμενές έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Οι δεξαμενές από πλαστικό αποφεύγονται γενικά για αποθήκευση νερού προς πόση, καθώς υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού.



Σχήμα 2.7: Παραδοσιακή δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού στην Ινδία (Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Rainwater_harvesting_tank,_India.jpg)



Σχήμα 2.8: Ξύλινη δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού στη Hawaii, US (Πηγή: <http://www.rainharvest.co.za/wp-content/uploads/2012/04/wooden-water-tank.gif>)

Οι ομβροδεξαμενές μπορούν να είναι είτε πλήρως υπόγειες είτε πλήρως υπέργειες (M. Sturm, et al., 2009). Και οι δύο τύποι δεξαμενών έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Οι υπέργειες δεξαμενές επιτρέπουν την ανίχνευση ρωγμών και διαρροών και το νερό μπορεί να βγει με τη βαρύτητα. Συνήθως, οι υπέργειες δεξαμενές κοστίζουν λιγότερο από τις υπόγειες (Abdulla and Al-Shareef, 2009), καθώς δεν απαιτείται και εκσκαφή για την εγκατάστασή τους. Επίσης, είναι εύκολο να αφαιρεθεί πλήρως το νερό προκειμένου να καθαριστεί η δεξαμενή. Ωστόσο, οι υπέργειες δεξαμενές καταλαμβάνουν αρκετό χώρο και απαιτούν καλή θεμελίωση, ειδικά σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους.

Οι υπόγειες δεξαμενές σε σχέση με τις υπέργειες, υπερτερούν στο ότι προφυλάσσουν το νερό από την ηλιακή ακτινοβολία και το διατηρούν πιο κρύο, εξοικονομώντας επίσης και χώρο. Ωστόσο, σε περίπτωση που πρέπει να αδειάσει μια υπόγεια δεξαμενή, είναι απαραίτητη η χρήση κάποιας αντλίας. Επίσης, είναι δύσκολη η ανίχνευση ρωγμών ή άλλων προβλημάτων και υπάρχει και ο κίνδυνος μόλυνσης από υπόγεια νερά ή επιφανειακές απορροές. Το γεγονός ότι απαιτούν εκσκαφή του εδάφους αυξάνει το κόστος εγκατάστασης (Zhe et al., 2010).

Οι δεξαμενές μπορούν να είναι σκεπασμένες ή ακάλυπτες. Οι προφυλάξεις που απαιτούνται στη χρήση των δεξαμενών αποθήκευσης περιλαμβάνει την παροχή ενός κατάλληλου περιβλήματος για την ελαχιστοποίηση της μόλυνσης του νερού από τον άνθρωπο, ζώα ή άλλες περιβαλλοντικές προσμείξεις, και ένα σφιχτό κάλυμμα για την πρόληψη της ανάπτυξης φυκών και την αναπαραγωγή των κουνουπιών. Τα ανοικτά δοχεία δεν είναι κατάλληλα για τη συλλογή νερού προς πόσιμη χρήση (Helmreich and Horn, 2009).

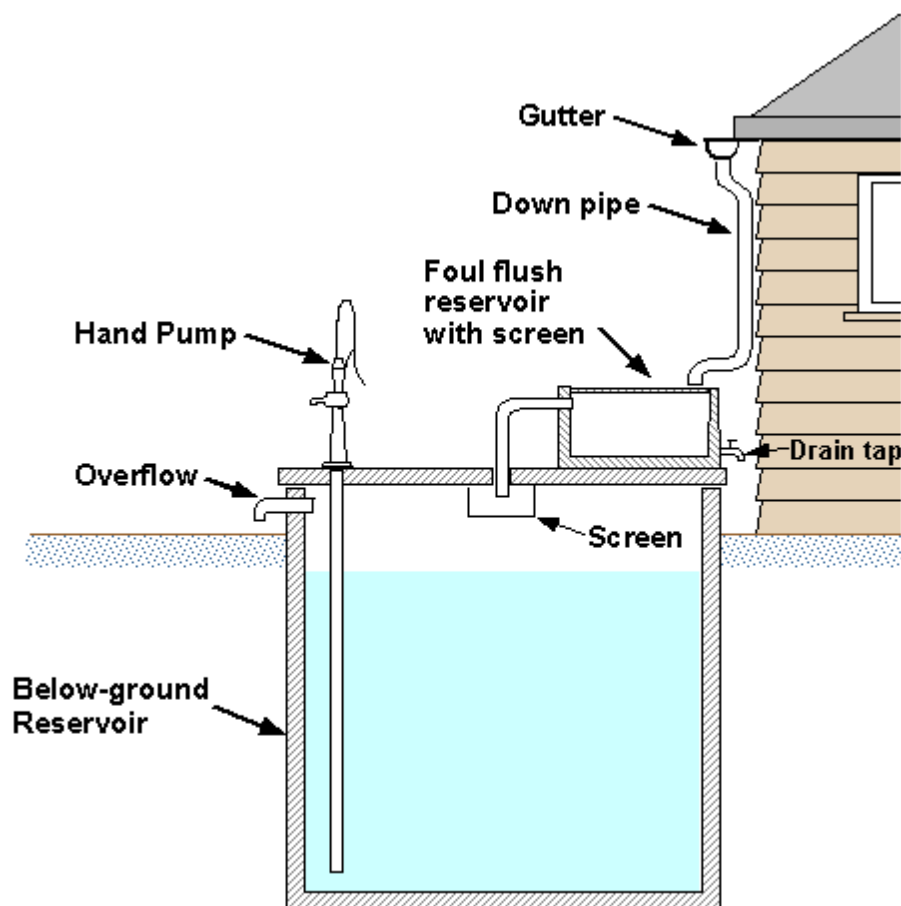
Όσον αφορά την επιφάνεια συλλογής είναι συνήθως η στέγη μιας οικίας ή άλλου κτιρίου ενδιαφέροντος. Η επιφάνεια συλλογής και το υλικό κατασκευής της, επηρεάζει την αποτελεσματικότητα συλλογής του νερού και την ποιότητά του. Συνήθως, προτιμώνται λείες, καθαρές επιφάνειες με αδιαπέρατα υλικά για να επιτευχθεί καλύτερη ποιότητα και ποσότητα συλλεγόμενου νερού (Abdulla and Al-Shareef, 2009). Οι στέγες από τσιμέντο ή επιστρωμένες με πλάκες έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, χαμηλό κόστος και παρέχουν καλή ποιότητα νερού. Αρκετοί σχεδιαστές, ανεξάρτητα από το υλικό της επιφάνειας συλλογής (στέγης), υποθέτουν απώλειες 20% του ετήσιου ύψους βροχής. Αυτές οι απώλειες οφείλονται στην υφή της επιφάνειας, την εξάτμιση, απώλειες από υδρορροές και δεξαμενές αποθήκευσης ή και αστοχία στη διαδικασία συλλογής νερού (Abdulla and Al-Shareef, 2009).

Προκειμένου το συλλεγόμενο βρόχινο νερό να είναι απαλλαγμένο από φερτά υλικά πάσης φύσεως, γίνεται εγκατάσταση συστήματος πρώτης έκπλυσης. Ακόμα, θα πρέπει να υπάρχουν

διατάξεις εκτροπής του νερού της πρώτης έκπλυσης (First flush), ώστε να αποφεύγεται η εισροή στη δεξαμενή της αρχικής απορροής κάθε βροχόπτωσης που συνήθως είναι ποιοτικά υποβαθμισμένη. Ειδικά σε περιοχές που επηρεάζονται από το φαινόμενο της λασποβροχής (π.χ. ανοιξιάτικες βροχές στην Ελλάδα) θα πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα, ώστε να αποτρέπεται η συλλογή του νερού αυτού στη δεξαμενή, αλλά και να αυξάνεται το ποσό πρώτης έκπλυσης της επόμενης καθαρής βροχής (Λόντρα, 2014).

Το σύστημα μεταφοράς του νερού αποτελείται από υδρορροές ή σωλήνες που μεταφέρουν το νερό της βροχής από τη στέγη στις δεξαμενές αποθήκευσης-ομβροδεξαμενές. Οι υδρορροές ή σωλήνες πρέπει να έχουν κατάλληλο μέγεθος, κλίση και να εγκατασταθούν έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη ποσότητα συλλογής νερού. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για υδρορροές είναι γαλβανισμένος σίδηρος, πολυεστέρας, πλαστικό και ανοξείδωτο ατσάλι. Οι υδρορροές και οι σωληνώσεις συνήθως εγκαθίστανται μέσα στον τοίχο του κτιρίου. Το μέγεθος των υδρορροών εξαρτάται από την επιφάνεια της στέγης και το ποσό βροχόπτωσης. Η διάμετρός τους κυμαίνεται μεταξύ 20-50 cm (Abdulla and Al-Shareef, 2009). Οι σωλήνες αποστράγγισης του συστήματος και η επιφάνεια συλλογής πρέπει να είναι κατασκευασμένα από χημικά αδρανή υλικά όπως, ξύλο, πλαστικό, αλουμίνιο, πολυεστέρα, για να αποφευχθεί η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού σε περίπτωση που αυτό προορίζεται για πόση.

Για την διανομή του νερού στους χρήστες, εγκαθίσταται σύστημα διανομής που περιλαμβάνει συνήθως τις διατάξεις άντλησης και μεταφοράς του νερού από τη δεξαμενή προς το σημείο της τελικής κατανάλωσης.



Σχήμα 2.9: Σύστημα συλλογής ομβρίων και εξοπλισμός. (Πηγή: https://webpages.uidaho.edu/larc380/new380/assets/images/lessonHarvesting_files/imagesLunden/IMAGE010.GIF)

Πρόσθετο μέρος του συστήματος συλλογής ομβρίων, σε περίπτωση που το βρόχινο νερό προορίζεται για πόσιμη χρήση, είναι ένα σύστημα επεξεργασίας/απολύμανσης. Το νερό που έχει συλλεχθεί στην ομβροδεξαμενή διοχετεύεται σε αυτό το σύστημα και στη συνέχεια στα σημεία χρήσης.

2.4. Μέθοδοι διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στο σχεδιασμό ενός συστήματος συλλογής ομβρίων αποτελεί ο προσδιορισμός της βέλτιστης χωρητικότητας της ομβροδεξαμενής. Για τη διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένοι παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί είναι το υλικό και το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής ομβρίων, τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης, ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων, η ύπαρξη εναλλακτικών πηγών ύδρευσης, η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά κάτοικο και το κόστος όλου του συστήματος συλλογής.

Ο όγκος της ομβροδεξαμενής πρέπει να έχει τέτοιο μέγεθος, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες ζήτησης του εξυπηρετούμενου πληθυσμού, αλλά και να εξασφαλίζεται χαμηλό κόστος κατασκευής. Άρα δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλος, γεγονός που αυξάνει το κόστος κατασκευής, αλλά ούτε πολύ μικρός με αποτέλεσμα τη μη ικανοποίηση των αναγκών ζήτησης.

Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες που βασίζονται είτε στην ανάπτυξη μοντέλων ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (behavioural models) (Fewkes, 1999b, Fewkes and Butler, 2000, Villarreal and Dixon, 2005, Ghisi and Ferreira, 2007, Mitchell, 2007, Zhou et al., 2010, Imteaz et al., 2011, Palla et al., 2011, Ward et al., 2011, Campisano and Modica, 2012, Tsihrintzis and Baltas, 2013), είτε στην ανάπτυξη πιθανοτικών μοντέλων (probabilistic models) (Lee et al., 2000, Tsubo et al., 2005, Guo and Baetz, 2007, Cowden et al., 2008, Su et al., 2009, Basinger et al., 2010, Chang et al., 2011). Σε γενικές γραμμές, έχει βγει το συμπέρασμα ότι η χωρητικότητα της ομβροδεξαμενής δεν μπορεί να τυποποιηθεί, διότι επηρεάζεται σημαντικά από παράγοντες όπως αυτοί που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Οι μέθοδοι διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών διαφέρουν ανάλογα με τα πρότυπα και τους κανονισμούς που έχει υιοθετήσει κάθε χώρα.

3.Περιοχή μελέτης-Κίμωλος

3.1. Επιλογή περιοχής

Προκειμένου να εξεταστεί η εναλλακτική διαχείριση των ομβρίων σε μια περιοχή με έντονο πρόβλημα λειψυδρίας, επιλέχθηκε το νησί της Κιμώλου. Η Κίμωλος ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (ΥΔ14) και είναι ένα από τα πολλά άνυδρα νησιά του Αιγαίου. Αυτό οφείλεται στο χαμηλό βροχομετρικό καθεστώς της περιοχής, καθώς και στην έλλειψη γεωτρήσεων λόγω του φτωχού σε νερό εδάφους της. Λόγω της απουσίας άλλων υδατικών πόρων, θα εξεταστεί η χρήση ομβροδεξαμενών για την εξοικονόμηση νερού στο νησί.

Η Κίμωλος βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο των Κυκλάδων ανάμεσα στα νησιά Σίφνο και Μήλο. Το νησί είναι περίπου κανονικό πεντάγωνο με διάμετρο 7 μίλια. Η έκτασή της εκτιμάται στα 37,42 km² και το μήκος των ακτών της είναι περίπου 45 km.



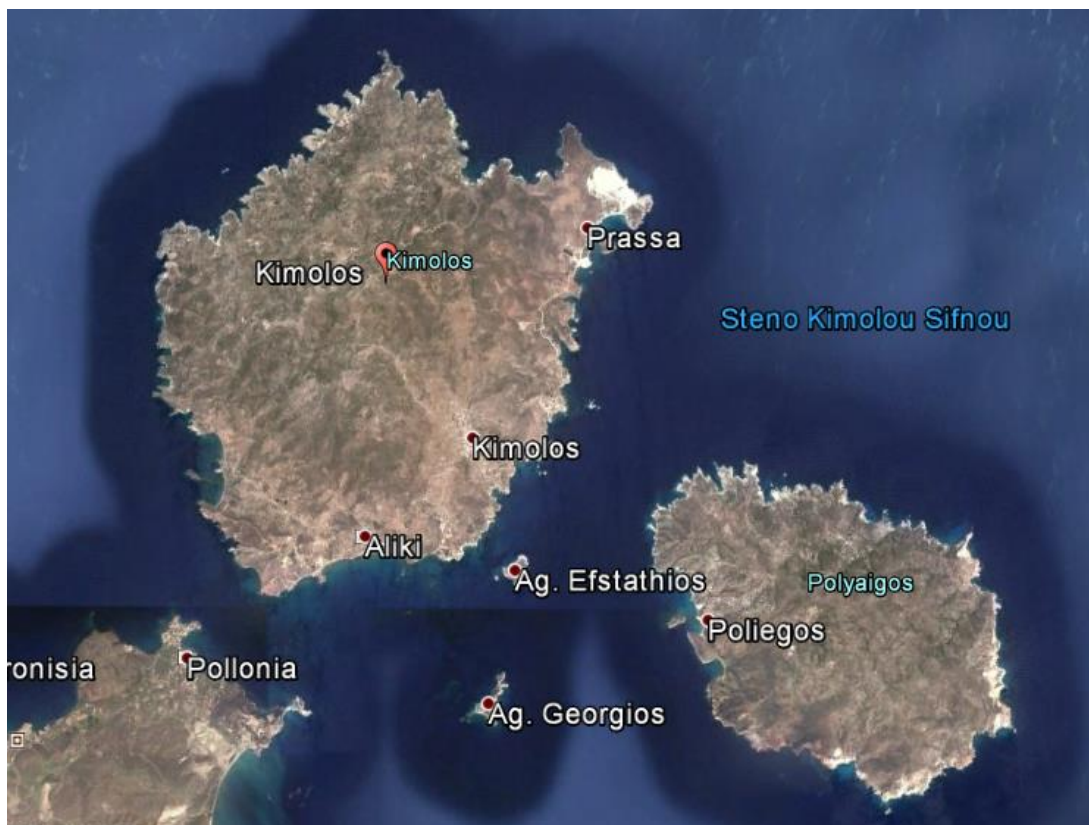
Σχήμα 3.1: Σύμπλεγμα Κυκλάδων (Πηγή: <http://www.notioaigaiο.gr/>)

Η απόσταση της Κιμώλου από το λιμάνι του Πειραιά είναι 88 ναυτικά μίλια με το οποίο συνδέεται, μέσω συμβατικών πλοίων. Το κοντινότερο νησί σε αυτή είναι η Μήλος, από την

οποία χωρίζεται δια του στενού Αμώνι (πλάτους 0,5 μιλίου), 1 μίλι βορειοδυτικά από την Πολύαιγο (κοινώς Πόλυβο) και 7 μίλια νοτιοδυτικά από τη Σίφνο.

Διοικητικά, ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Μήλου (με έδρα την Μήλο) και αποτελεί τον ενιαίο Δήμο Κιμώλου. Ο Δήμος Κιμώλου προέκυψε από την κοινότητα της Κιμώλου, σύμφωνα με τον Νόμο 3852/2010 (ΦΕΚ 87Α'/7.6.2010) Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης – Πρόγραμμα Καλλικράτης'.

Στον Δήμο Κιμώλου, υπάγονται τρία ακατοίκητα νησιά, η Πολύαιγος (=νησί των πολλών αιγών, ένα από τα μεγαλύτερα της Μεσογείου με το μεγαλύτερο τμήμα του να ανήκει σε ιδιώτες), ο Άγιος Ευστάθιος και ο Άγιος Γεώργιος (ανήκει σε Κιμώλιο πλοιοκτήτη), ενώ υπάγονται διοικητικά και οι νησίδες Πίτα, Κασσέλες, Πρασονήσι, Αγ. Ανδρέας, Πυργονήσι, Ρεματόνησα, Γούπα, Κληματόνησα, Θερμοπέτρα, Μανωλονήσι κ.α. (Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου, 2014).



Σχήμα 3.2: Νήσος Κίμωλος (Πηγή: Google Earth)

Η πρωτεύουσα του νησιού είναι το Χωριό Κιμώλου, στο οποίο κατοικεί η πλειοψηφία των κατοίκων του νησιού. Μικρότεροι οικισμοί που κατοικούνται κυρίως το καλοκαίρι, ενώ το χειμώνα έχουν ελάχιστους κατοίκους είναι η Ψάθη (λιμάνι), η Γούπα, του Καρά, τα Πράσα, η Αλυκή, η Μπονάτσα και της Δέκας. Ο κύριος λιμένας του νησιού είναι η Ψάθη, στο

νοτιοανατολικό άκρο του νησιού με απόσταση 0,8 km από το χωριό Κιμώλου. Από το νησί πήρε το όνομά του το λευκό πέτρωμα, η κιμωλία. Σύμφωνα με τα αρχαιολογικά ευρήματα η Κίμωλος κατοικείται συνεχώς, τουλάχιστον από την Ύστερη Νεολιθική εποχή. Το όνομά της λέγεται ότι οφείλεται στον πρώτο οικιστή της, τον Κίμωλο, σύζυγο της κόρης του Ταύρου, Σίδης. Ωστόσο, της αποδίδονταν τα επίθετα Εχινούσα (νήσος των αχινών) και Εχιδνούσα (νήσος των εχιδνών).

Νήσος Πολύαιγος

Η νήσος Πολύαιγος(=νησί των πολλών αιγών) ή Υπόλυβος ή Πόλυβος βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου και ΝΑ της Κιμώλου, με έκταση περίπου 18 km². Πρόκειται για το μεγαλύτερο ακατοίκητο νησί του Αιγαίου και ένα από τα μεγαλύτερα της Μεσογείου. Υπάρχουν ενδείξεις ότι το νησί κατοικήθηκε από τη Μεσολιθική ή τη Νεολιθική Εποχή. Παλαιότερα είχε λίγους κατοίκους, κυρίως κτηνοτρόφους σε ένα μικρό, ερειπωμένο σήμερα, οικισμό. Το μεγαλύτερο μέρος του νησιού ανήκει στο Κληροδότημα Ιωάννου Λογοθέτη, το οποίο νοικιάζει εκτάσεις του ως βοσκότοπους. Υπάρχει ναός του 1622 στο όνομα της Κοίμησης της Θεοτόκου, ο οποίος παλιότερα ανήκε σε ένα εγκαταλελειμμένο πια μοναστήρι και φάρος ο οποίος τα τελευταία χρόνια έγινε αυτόματος. Η Πολύαιγος είναι πλούσια σε βιομηχανικά ορυκτά, κυρίως σε αργυρούχο βαρυτίνη, η οποία έτυχε εκμετάλλευσης από την Α.Ε.Ε. Αργυρομεταλλευμάτων και Βαρυτίνης. Διοικητικά ανήκει στην Κίμωλο από τα αρχαία χρόνια μέχρι και σήμερα, αλλά φαίνεται ότι πάντα ήταν περιζήτητη για τον ορυκτό της πλούτο. Το 416 π.Χ. η Κίμωλος και η Μήλος είχαν δικαστική διαμάχη για την κυριότητα του νησιού, η οποία έληξε το 338 π.Χ. με απόφαση του δικαστηρίου των Αργείων, οι οποίοι επιδίκασαν το νησί στην Κίμωλο (Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου, 2014).

3.2. Φυσικό περιβάλλον

3.2.1.Μορφολογία

Η μορφολογία του νησιού είναι χαμηλή, με το 88% της έκτασής του να έχει υψόμετρο κάτω των 200 m. Το υψηλότερο σημείο είναι το Παλιόκαστρο με υψόμετρο 364 m. Η Κίμωλος έχει σχεδόν κυκλικό σχήμα, με αβαθείς κόλπους, στο βόρειο και νότιο μέρους του νησιού (Οικονομίδης, 2010).

Η Κίμωλος είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος της προϊόν έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας, καθώς βρίσκεται στην εξωτερική ζώνη του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου. Τα ίχνη της ηφαιστειακής δραστηριότητας είναι ορατά παντού στο νησί με την ύπαρξη θερμών πηγών και

ασυνήθιστων γεωλογικών σχηματισμών, καθώς και γεωθερμικού πεδίου ισχύος 5 MW (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015β).

3.2.2. Υδρολογία

Η Νήσος Κίμωλος αποτελείται από 7 λεκάνες απορροής με επιφάνειες που κυμαίνονται από 4-6 km². Γενικά, λόγω της μικρής έκτασης του νησιού και της ύπαρξης ηφαιστειακών δόμων, το υδρογραφικό δίκτυο είναι ακτινικό, στο οποίο οι κύριοι κλάδοι διατάσσονται παράλληλα, στις θέσεις με μεγάλη μορφολογική κλίση. Τα κύρια υδρορέματα σε πολλές θέσεις στην Κίμωλο έχουν αναπτυχθεί καλά και φτάνουν μέχρι τον υδροκρίτη, ενώ τα δευτερεύοντα σε πολλές περιοχές έχουν μικρό μήκος, δεν έχουν αναπτυχθεί κανονικά και έτσι παρατηρείται μονόπλευρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου. Τα κύρια ρέματα σε πολλές θέσεις έχουν αναπτυχθεί κατά μήκος της ροής των λαβών και ξεκινούν από τον υδροκρίτη, ενώ τα δευτερεύοντα ρέματα κατά θέσεις έχουν μικρό μήκος και αναπτύσσονται μόνο από την πλευρά, που η κλίση είναι περισσότερο απότομη. Στην περιφέρεια του νησιού και συγκεκριμένα πάνω στους ηφαιστειακούς τόφους, στα αλλούβια, τα κορήματα και στις εξαλειμμένες λάβες η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου έχει μικρή τιμή και οφείλεται στη μεγάλη περατότητα των πετρωμάτων (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015β).

Πίνακας 3.1: Λεκάνες απορροής Ν.Κιμώλου (Πηγή: Οικονομίδης, 2010)

Όνομα Λεκάνης	Έκταση (km ²)	Μέσο Υψόμετρο (m)	Μέγιστο Υψόμετρο (m)	Μέση κλίση (%)	Δείκτης κυκλικότητας
Γερακιά	6,24	103,4	329,7	36,4	0,19
Μοναστήρια	3,76	153,1	332,1	32,4	0,70
Πράσσα	4,98	50,1	204,1	18,2	0,25
Κλήμα	5,06	117,2	331,9	19,5	0,59
Ρ.Αθηνιάς Αυλάκι	6,23	115,1	331,4	26,7	0,46
Κίμωλος	5,43	85,4	284,2	17,2	0,40
Λέκας	5,64	60,9	286,8	12,6	0,51
Σύνολο Νησιού	37,33	96,1	332,1	23,3	0,25

Τα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου της Νήσου, παρουσιάζονται ανά λεκάνη απορροής στον παρακάτω πίνακα, όπου περιλαμβάνονται πληροφορίες για το συνολικό μήκος των υδατορεμάτων, το μήκος της κύριας μισγάγγειας και την πυκνότητα του δικτύου.

Σύμφωνα με αυτόν, το συνολικό μήκος των υδατορεμάτων είναι 115,7 km. Το μέγιστο μήκος μισγάγγειας παρατηρείται στη λεκάνη απορροής Κλήμα, στα 4,4 km. Όσον αφορά την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, έχει μέγιστη τιμή 4,04 στη λεκάνη Μοναστήρια (Οικονομίδης, 2010).

Πίνακας 3.2 : Χαρακτηριστικά υδρογραφικού δικτύου (Πηγή: Οικονομίδης Δ., 2010)

Όνομα Λεκάνης	Συνολικό μήκος ρεμάτων (km)	Μήκος κύριας μισγάγγειας (km)	Πυκνότητα υδρογρ.δικτύου
Γερακιά	19,5	2,0	3,13
Μοναστήρια	15,2	33	4,04
Πράσσα	9,1	2,1	1,84
Κλήμα	20,4	4,4	4,02
Ρ.Αθηνιάς Αυλάκι	21,1	3,8	3,39
Κίμωλος	15,3	3,8	2,81
Λέκας	15,2	3,7	2,69
Σύνολο Νησιού	115,7	4,4	3,10

3.2.3. Υδρογεωλογία-υδροφόροι ορίζοντες

Όλο το βόρειο και κεντρικό τμήμα του νησιού αποτελείται από ηφαιστειακά πετρώματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από έντονη επιφανειακή απορροή και πολύ περιορισμένη κατείσδυση με αποτέλεσμα την απουσία πηγών (εκτός από θερμομεταλλικές πηγές). Οι μοναδικοί υδροφόροι σχηματισμοί είναι τα πυροκλαστικά ιζήματα που συγκεντρώνονται στο δυτικό και νότιο άκρο του νησιού, καθώς και οι προσχώσεις που απαντώνται στις εκβολές των κυριότερων χειμάρρων. Οι υδροφόροι που σχηματίζονται στα ηφαιστειακά πετρώματα χαρακτηρίζονται από χαμηλή διαπερατότητα και επιφανειακό χαρακτήρα. Οι υδροφόροι που σχηματίζονται σε αλλουβιακές αποθέσεις συναντώνται στις εκβολές των κυριότερων χειμάρρων προς τη θάλασσα. Ως εκμεταλλεύσιμοι υδροφόροι ορίζοντες διακρίνονται μόνο δύο περιοχές. Μικροορίζοντες διαμορφώνονται τοπικά μέσα σε αλλουβιακά καλύμματα. Ο πρώτος κύριος αλλουβιακός ορίζοντας βρίσκεται στην περιοχή του Αγ. Αποστόλου και σχηματίζεται από το υλικό δύο μικρών χειμάρρων. Οι αντλήσεις που γίνονται σε αυτόν τον ορίζοντα έχουν μικρή παροχή, γεγονός που δείχνει ότι το πορώδες των αλλουβίων, λόγω αργιλικού συνδετικού υλικού είναι χαμηλό. Ο δεύτερος κυριότερος αλλουβιακός ορίζοντας βρίσκεται στην περιοχή του Δέκα και χαρακτηρίζεται από σχεδόν τριπλάσια παροχή σε σχέση με τον αλλουβιακό ορίζοντα του Αγ. Αποστόλου (30 m³/day) (Οικονομίδης, 2010).

Στο παρακάτω Σχήμα 3.3, φαίνονται οι υδρογεωλογικές ενότητες της Ν.Κιμώλου.



Σχήμα 3.3: Υδρογεωλογικές ενότητες Ν.Κιμώλου (Πηγή: Οικονομίδης, 2010)

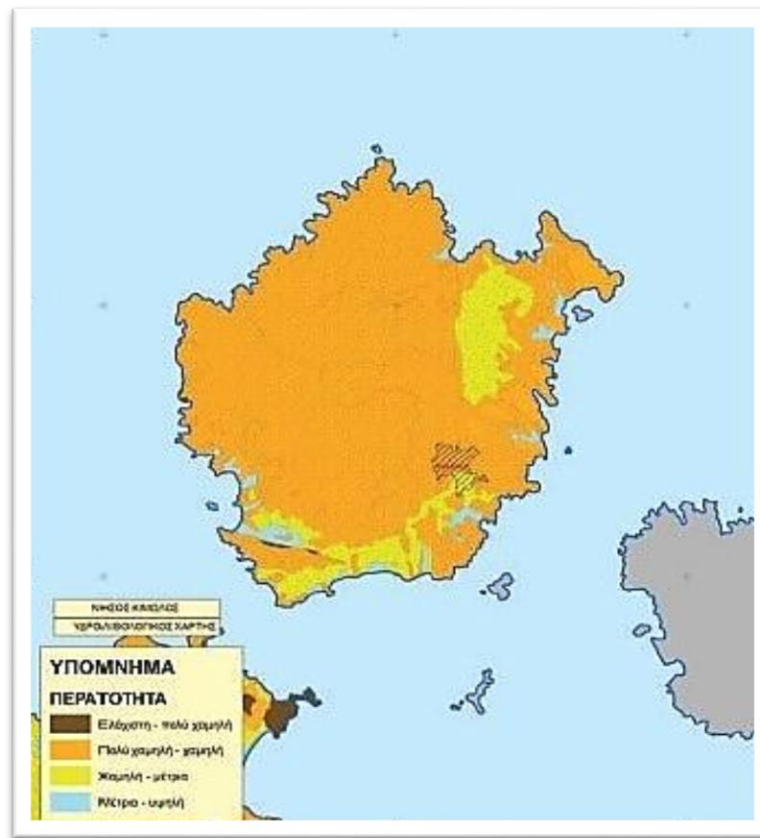
Όσον αφορά τα υπόγεια υδατικά συστήματα στην Κίμωλο, υπάρχει μόνο ένα, στοιχεία για το οποίο δίνονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 : Υπόγεια υδατικά συστήματα Κιμώλου (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015α)

Κωδικός ΥΥΣ	Ονομασία	Τύπος	Έκταση (km ²)
GR1400710,	Σύστημα Κιμώλου, Ν.Κίμωλος	Ρωγματικός	37,3

Η έλλειψη των υπόγειων υδατικών συστημάτων οφείλεται στη μικρή περατότητα των εδαφών του νησιού. Στο Σχήμα 3.4, φαίνεται η περατότητα του εδάφους σε κάθε σημείο του νησιού.

Στην πλειοψηφία του το νησί έχει χαμηλή έως πολύ χαμηλή περατότητα με αποτέλεσμα το έδαφος να μην εμπλουτίζεται με ύδατα.



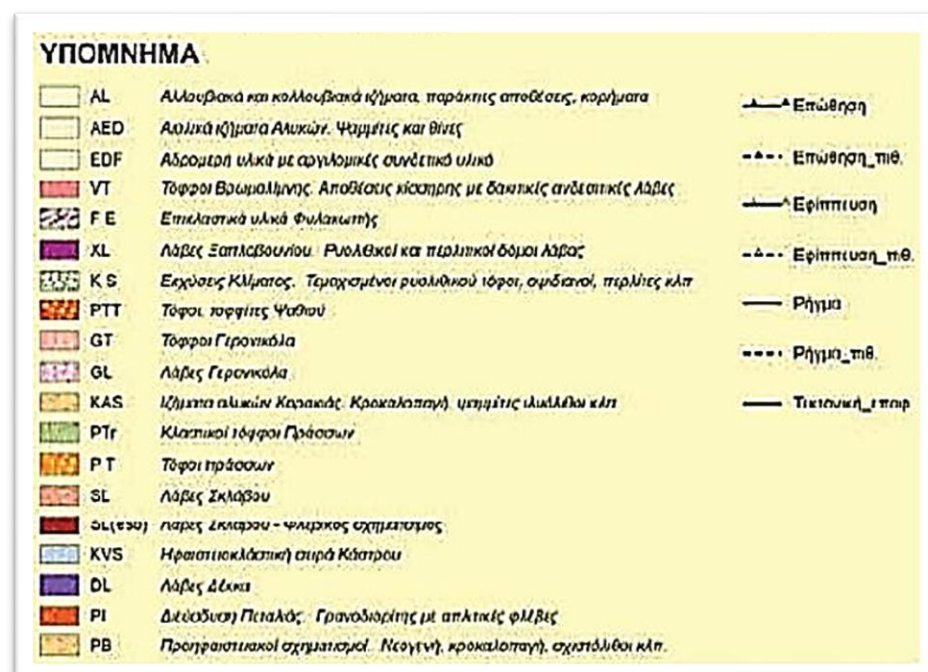
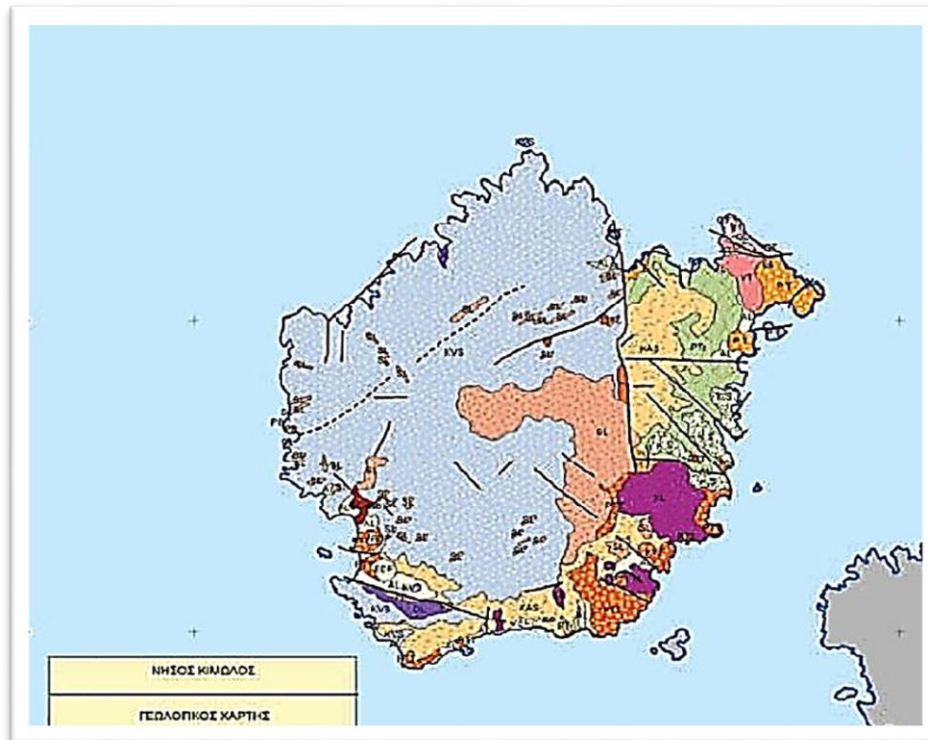
Σχήμα 3.4: Υδρολιθολογικός χάρτης Ν.Κιμώλου (Πηγή: Οικονομίδης Δ., 2010)

3.2.4.Γεωλογία

Τα συνηθέστερα πετρώματα του νησιού είναι ηφαιστειακά, ρυολιθικού τύπου, παρότι δεν λείπει και ο γρανίτης. Σε ελάχιστα σημεία εμφανίζεται το προ-ηφαιστειακό υπόβαθρο. Μεγάλη επιφάνεια του νησιού καλύπτεται από τόφφους. Οι τόφφοι είναι ένα ευκολοκατέργαστο, ελαφρύ, ηφαιστειακό πέτρωμα που χρησιμοποιείται ως οικοδομικό υλικό, κομμένο συνήθως σε σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου. Τα κομμάτια αυτά οι κάτοικοι τα ονομάζουν «πώρια». Η εξαλλοίωση των ηφαιστειακών πετρωμάτων από τα υδροθερμικά ρευστά, το νερό της βροχής και της θάλασσας, πλούτισε το νησί σε βιομηχανικά ορυκτά, κυρίως μπεντονίτη, αλλά και ποζολάνη (λευκό τσιμέντο), περλίτη, καολίνη (πορσελάνη), σιδηρομαγγάνιο (παλαιότερη εξόρυξη), βαρύτη, ζεόλιθους και λίγο θείο. Επίσης, στην Κίμωλο υπάρχει ένα μοναδικό είδος αργίλου, η "κιμωλία γη" όπως αποκαλείται παίρνοντας το όνομά της από το νησί, η οποία έχει απορρυπαντικές και φαρμακευτικές ιδιότητες και είναι γνωστή από τους

προϊστορικούς χρόνους. Ημιπολύτιμα ορυκτά, κυρίως ποικιλίες χαλαζία όπως αμέθυστος, αχάτης, χαλκηδόνιος, ίασπις, οπάλιο είναι συνηθισμένα στο νησί.

Στο Σχήμα 3.5, δίνονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί του νησιού.



Σχήμα 3.5: Γεωλογικοί σχηματισμοί στη νήσο Κίμιλος (Πηγή: Οικονομίδης, 2015)

Στο βορειοδυτικό τμήμα της Κιμώλου, στα δυτικά του υψώματος Σκλάβος, υπάρχει ένα τεράστιο πέτρινο μανιτάρι που οι κάτοικοι το ονομάζουν «Σκιάδι». Είναι ένα μνημείο της φύσης και οφείλει τη δημιουργία του στα διαφορετικά πετρώματα που το αποτελούν και στους ισχυρούς ανέμους. Άλλες μορφές διάβρωσης ηφαιστειακών πετρωμάτων συναντώνται στα Πράσσα, σε Κίσσηρη, Σπηλιά Γερακιάς, Απολιθωμένα ασπόνδυλα (Αειφόρος Σύμβουλοι ΟΤΑ & Επιχειρήσεων, 2012).



Σχήμα 3.6: Σκιάδι (Πηγή: <http://static.panoramio.com>)

3.2.5. Χλωρίδα-πανίδα

Η φυσική βλάστηση του νησιού περιλαμβάνει πάνω από 400 καταγραμμένα μεσογειακά είδη, κοινά και σπάνια, παρόλο που η Κίμωλος είναι κυκλαδίτικο νησί και μάλιστα άνυδρο. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται πολλά αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά. Πέρα από τις συνηθισμένες ελιές, συκιές και κλήματα, συναντώνται σχεδόν παντού φραγκοσυκιές, οι οποίες, αν και είναι ξενικό είδος, έχει προσαρμοστεί απόλυτα στο περιβάλλον της Κιμώλου. Στα πιο αναγνωρίσιμα φυτά περιλαμβάνονται σκίνιοι, μυρτιές, θυμάρια, κέδροι, φίδες, κρινάκια της άμμου, πουρνάρια, καπαριές, αρμυρίκια, άγριο αγιόκλημα, βούρλα και καλάμια.

Όσον αφορά την πανίδα του νησιού, σημαντικότερη θεωρείται η παρουσία της φώκιας *Monachus – monachus* (Σχήμα 3.7), ενώ συναντάται ακόμα η ενδημική μπλε σαύρα *Podarcis*

milensis και η ενδημική κόκκινη οχιά *Macronipera schweizeri* (παλιότερα γνωστή ως *Nipera lebetina*), η οποία πλέον θεωρείται είδος απειλούμενο με εξαφάνιση (Σχήμα 3.8).



© Dendrinos P.

Σχήμα 3.7: Φώκια *Monachus-Monachus*



©Trapp B.

Σχήμα 3.8: Κόκκινη οχιά *Macronipera schweizeri*

Μόνιμα είδη πουλιών στον νησί είναι Γεράκια (γαδινέλια), θαλασσοκόρακες, πέρδικες, γλάροι, αγριοπερίστερα, στρουθιόμορφα, και ένα πλήθος ακόμα ενδημικά. Επίσης, μέχρι αργά την άνοιξη συναντώνται Ερωδιοί, Θαλασσοκόρακες, κύκνοι και άλλα αποδημητικά είδη, όπως βαλτόκιρκοι, αμμοσφυριχτές, διάφορα είδη σκαλίδρων (*Calidris* sp.), λεπτοραμφόγλαροι κ.α. στον υδροβιότοπο της Αλυκής.

Στη θάλασσα, υπάρχουν αχινοί, πίνες, κοράλλια, αστακοί, πολλά είδη ψαριών, καθώς και θαλάσσιες χελώνες (Αειφόρος Σύμβουλοι ΟΤΑ & Επιχειρήσεων, 2012).

3.2.6. Προστατευόμενες περιοχές

Η Βορειοδυτική Κίμωλος από το Ακρωτήριο Γερονικόλα έως την παραλία Ελληνικά, καθώς και η θαλάσσια περιοχή πέριξ της νήσου και η Πολύαιγος με τη θαλάσσια περιοχή γύρω από αυτή έχουν ενταχθεί για τη μεγάλη οικολογική τους σημασία στο δίκτυο Natura 2000 με κωδικό GR4220006 (Σχήμα 3.9).



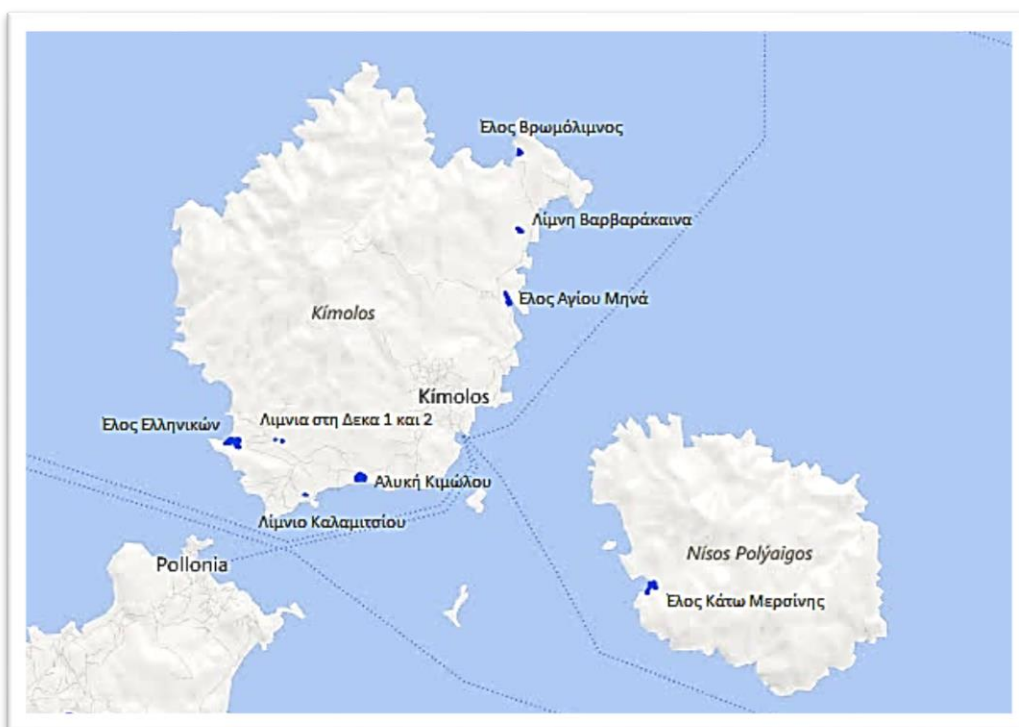
Σχήμα 3.9: Περιοχή Natura 2000 (Πηγή: <http://natura2000.eea.europa.eu/>)

Στον Πίνακα 3.4 φαίνονται οι υγρότοποι που έχουν καταγραφεί στη Νήσο Κίμωλο, σύμφωνα με την απογραφή υγροτόπων που διεξήγαγε η WWF.

Πίνακας 3.4: Υγρότοποι στη νήσο Κίμωλο (Πηγή: <http://www.oikoskopio.gr/map/>)

Όνομα περιοχής	Κωδικός	Θέση	Τύπος Υγροτόπου	Έκταση (m ²)
Έλος Βρωμόλιμνος	KIM004	Παράκτιος	Φυσικός	8.505,85
Έλος Ελληνικών	KIM003	Εσωτερικός	Φυσικός	36.373,9
Αλυκή Κιμώλου	KIM001	Παράκτιος	Φυσικός	21.856
Έλος Αγίου Μηνά	KIM002	Εσωτερικός	Φυσικός	7.327,64
Λίμνη Βαρβαράκαινα	KIM007	Εσωτερικός	Τεχνητός	9.800
Λίμνη Καλαμιτσίου	KIM008	Εσωτερικός	Τεχνητός	2.400
Λιμνίο στη Δέκα 1	KIM009	Εσωτερικός	Τεχνητός	2.900
Λιμνίο στη Δέκα 2	KIM010	Εσωτερικός	Τεχνητός	1.500
Έλος Κάτω Μερσίνης	POL001	Παράκτιος	Φυσικός	24.100

Στην Σχήμα 3.10 φαίνονται με μπλε χρώμα, οι καταγεγραμμένοι υγρότοποι της Νήσου Κιμώλου σύμφωνα με στοιχεία της WWF.



Σχήμα 3.10 : Υγρότοποι στη νήσο Κίμωλο (Πηγή: <http://www.oikoskopio.gr/map/>)

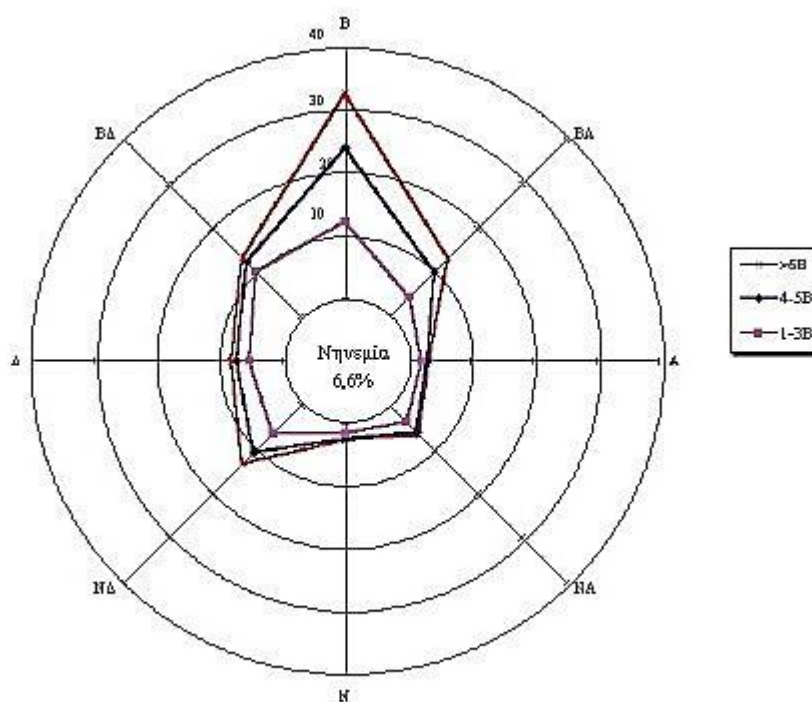
Στο νησί υπάρχουν ακόμη δύο καταγεγραμμένες περιοχές ως προστατευόμενες: η Νήσος Πολύαιγος (GR4220006) ως τόπος κοινοτική σημασίας SCI και το Πράσο ως καταφύγιο άγριας ζωής (Σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.11: Καταφύγιο Άγριας Ζωής, Νήσος Κίμωλος (Πηγή: <http://www.oikoskopio.gr/map/>)

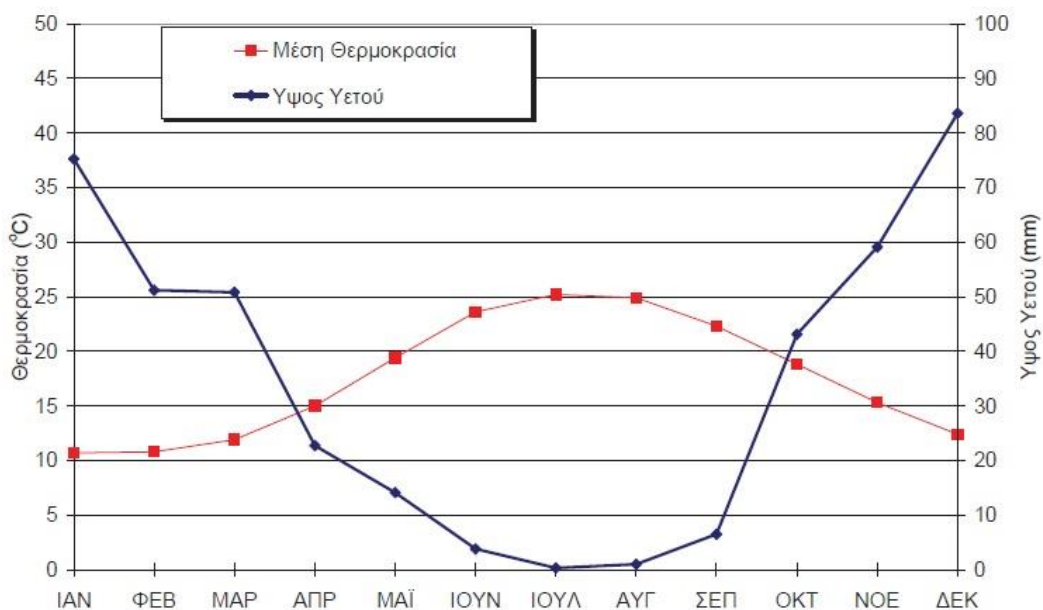
3.2.7. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα του νησιού είναι μεσογειακού τύπου με λίγες βροχές την ψυχρή περίοδο και ανομβρία την καλοκαιρινή περίοδο. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του κλίματος είναι οι συχνά ισχυροί βόρειοι άνεμοι (τα γνωστά μελτέμια), που πνέουν κατά τη διάρκεια της ημέρας, στα μέσα του καλοκαιριού. Οι άνεμοι που επικρατούν είναι βόρειοι, βορειοδυτικοί και νοτιοδυτικοί με συχνότητα 32,7%, 13,3% και 13,3% αντίστοιχα. Η νηνεμία εμφανίζεται σε ποσοστό 6,6% ετησίως (Οικονομίδης, 2010). Στο Σχήμα 3.12 δίνεται το ετήσιο ανεμόγραμμα της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 3.12: Ανεμόγραμμα δεδομένων Σταθμού Μήλου (% συχνότητα εμφάνισης) (Πηγή: Οικονομίδης, 2010)

Τις περισσότερες μέρες του χρόνου επικρατεί ηλιοφάνεια. Οι χειμώνες είναι ήπιοι, ενώ οι βροχοπτώσεις είναι σχετικά σπάνιες. Το χιόνι δεν αποτελεί συνηθισμένο φαινόμενο. Η διάρκεια της ξηρής-θερμής περιόδου είναι από το τέλος Μαΐου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου. Στο Σχήμα 3.13, δίνεται το ομβροθερμικό διάγραμμα των Gaussen και Bagnauls, όπου απεικονίζεται η διάρκεια και η ένταση της ξηράς περιόδου. Η επιφάνεια που περικλείεται από τις καμπύλες βροχόπτωσης και θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σημείων των τομών είναι η διάρκεια και ένταση της ξηράς περιόδου (Οικονομίδης, 2010).



Σχήμα 3.13: Ομβροθερμικό διάγραμμα (Πηγή: Οικονομίδης, 2010)

Η Κίμωλος σύμφωνα με την αναθεώρηση της Κλιματικής ταξινόμησης του συστήματος Köppen (2007) παρουσιάζει ένα θερμό ερημικό κλίμα (BWh) (Αειφόρος Σύμβουλοι ΟΤΑ & Επιχειρήσεων, 2012).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα κλιματολογικά δεδομένα για τη Νήσο Κίμωλο. Η λήψη των κλιματολογικών στοιχείων έγινε από τον μετεωρολογικό σταθμό της Μήλου (γεωγραφικό πλάτος 36° 44'Β, γεωγραφικό μήκος 24° 26'Α, ύψος βαρομέτρου 165,4 m), λόγω απουσίας μετεωρολογικού σταθμού στην Κίμωλο.

Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά στοιχεία του σταθμού της Μήλου, για την περίοδο 1955-2015, το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ανέρχεται σε 408,08 mm. Ο βροχερότερος μήνας είναι ο Δεκέμβριος και ο ξηρότερος είναι ο μήνας Ιούλιος. Ο μήνας με την περισσότερη υγρασία είναι ο Δεκέμβριος (73,42% υγρασία) και ο μήνας με τη λιγότερη υγρασία ο Ιούνιος (54,61% υγρασία). Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17,75°C, ενώ η μέση μέγιστη ετήσια και η ελάχιστη μέση ετήσια θερμοκρασία σε είναι 20,94°C και 14,94°C αντίστοιχα. Οι ημέρες βροχόπτωσης ανέρχονται σε 74 ετησίως (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015β).

Πίνακας 3.5: Γενικό κλιματικό Μήλου-Κιμώλου περίοδος 1955-2015 (Πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015β)

Μήνες	Θερμοκρασία σε °C			Μέση σχετική υγρασία %	ΥΕΤΟΣ		Επικρατ. Διεύθυνση Ανέμων
	Μέση	Μέγιστη	Μέση Ελάχιστη		Μέσο ύψος σε mm	Μέγιστο 24ωρου σε mm	
Ιανουάριος	10,77	13,18	8,63	72,53	74,89	80,80	N
Φεβρουάριος	10,71	13,37	8,52	71,19	54,04	48,20	N
Μάρτιος	12,14	15,17	9,63	69,97	49,17	53,50	N
Απρίλιος	15,25	18,69	12,26	65,64	22,50	73,80	N
Μάιος	19,60	23,40	16,02	60,23	13,62	55,30	N
Ιούνιος	23,91	27,77	20,07	54,61	3,26	50,00	N
Ιούλιος	25,59	29,12	22,11	55,81	0,31	4,20	N
Αύγουστος	25,34	28,84	22,16	59,54	1,29	33,20	N
Σεπτέμβρης	22,63	26,11	19,80	64,17	7,39	47,10	N
Οκτώβρης	18,97	22,22	16,50	69,76	37,79	115,10	N
Νοέμβρης	15,54	18,44	13,21	73,17	58,76	66,00	N
Δεκέμβρης	12,49	14,96	10,36	73,42	85,05	78,70	N

3.3. Ανθρωπογενές περιβάλλον

3.3.1. Δημογραφικά στοιχεία

Ο μόνιμος πληθυσμός της Κιμώλου, σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011, ανέρχεται σε 910 κατοίκους. Είναι ένα μη πυκνοκατοικημένο νησί με πληθυσμό που όπως φαίνεται και παρακάτω από τα στοιχεία τουρισμού, το καλοκαίρι γίνεται σχεδόν τετραπλάσιος. Ο περισσότερος πληθυσμός είναι συγκεντρωμένος στο χωριό της Κιμώλου. Από το 2001 έως το 2011 παρατηρήθηκε μικρή αύξηση του πληθυσμού του νησιού.

Πίνακας 3.6: Πληθυσμός, νήσος Κίμωλος. (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ,2011)

Μόνιμος Πληθυσμός / Απογραφές Πληθυσμού		
Έτος	2001	2011
Ν. Κίμωλος	838	910
Άγιος Γεώργιος (νησί)	-	0
Άγιος Ευστάθιος (νησί)	-	0
Άγιος Νικόλαος	-	2
Αλυκή	15	17
Γούπα - Καρά	9	14
Καλαμίτσι	7	6
Χωριό Κίμωλος	793	837
Πολύαιγος (νησί)	-	2
Πρασονήσι (νησί)	-	0
Πράσσα	4	13
Ψάθη	10	19
Κυκλάδες	109.956	117.987
Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου	298.462	308.975

Η εξέλιξη του πραγματικού πληθυσμού της Κιμώλου φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.7: Εξέλιξη πραγματικού πληθυσμού, νήσος Κίμωλος (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Πραγματικός Πληθυσμός / Απογραφές Πληθυσμού							
Έτος	1951	1961	1971	1981	1991	2001	2011
Κίμωλος	1.551	1.418	1.090	787	728	769	920
Κυκλάδες	125.959	99.959	86.337	88.458	94.005	112.615	124.525
Περιφέρεια	247.439	222.980	207.354	233.529	257.481	302.686	366.795

Παρατηρείται μία μείωση του πληθυσμού κατά την περίοδο 1951-1991 λόγω ίσως της μετανάστευσης των κατοίκων προς τα μεγάλα αστικά κέντρα, αλλά και προς το εξωτερικό, ενώ την τελευταία δεκαετία σημειώνεται αύξηση του πληθυσμού του Δήμου Κιμώλου. Συγκεκριμένα ο πληθυσμός παρουσιάζει μία αύξηση κατά 132 κατοίκους. Από τον πίνακα φαίνεται ότι ο πληθυσμός παρουσίασε συνεχή αύξηση από το 1991 μέχρι το 2011 η οποία οφείλεται στη δημιουργία κατάλληλων προϋποθέσεων για τη γενικότερη ανάπτυξη (δημιουργία υποδομών, βελτίωση συγκοινωνιών κλπ.) και στην ανάπτυξη του τουρισμού με επισκέπτες τόσο από το εξωτερικό όσο και το εσωτερικό της Ελλάδας.

Η ηλικιακή δομή του πληθυσμού φαίνεται στον Πίνακα 3.8 σύμφωνα με την απογραφή του 2011.

Πίνακας 3.8 : Ηλικιακή δομή πληθυσμού, νήσος Κίμωλος (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ 2011)

Ομάδες Ηλικιών	Φύλο		Σύνολο
	Άρρενες	Θήλειες	
0-14	27	24	51
15-24	28	16	44
25-64	228	214	442
65 και άνω	192	181	373
Σύνολο	475	435	910

Παρατηρείται ότι οι περισσότεροι κάτοικοι κατά την τελευταία απογραφή ανήκουν σε ηλικίες που μπορούν να αποτελέσουν οικονομικά ενεργούς πολίτες. Ωστόσο, η ηλικιακή ομάδα 65+ στην οποία αριθμούνται 373 άτομα υπερτερεί της ηλικιακής ομάδας 0-24 που αποτελείται από 95 άτομα με αποτέλεσμα να υφίσταται το νησί κάποιο πρόβλημα γήρανσης του πληθυσμού. Αυτό ίσως να οφείλεται στο ότι αρκετοί από τους μόνιμους κατοίκους είναι συνταξιούχοι, που γυρίζουν στο νησί τους, ελεύθεροι από υποχρεώσεις, ασχολούμενοι με τη γεωργία, την κτηνοτροφία ή το ψάρεμα. Ωστόσο, λόγω της υφιστάμενης οικονομικής κρίσης που πλήττει ιδιαίτερα τα μεγάλα αστικά κέντρα, οδηγεί και τους πιο νέους είτε έχουν καταγωγή είτε όχι από την Κίμωλο, να μετοικήσουν εκεί γεγονός που συμβάλλει στο εργατικό δυναμικό του νησιού και στην αύξηση του πληθυσμού του.

3.3.2. Νοικοκυριά

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, στην Κίμωλο ο συνολικός αριθμός νοικοκυριών είναι 426 και ο συνολικός αριθμός μελών 868. Παρατηρείται, ότι η πλειοψηφία των νοικοκυριών αποτελείται από οικογένεια 2 μελών (216), ενώ δεν έγινε καταγραφή νοικοκυριών με 1 άτομο.

Επίσης, στον Πίνακα 3.9, παρουσιάζεται ο αριθμός των νοικοκυριών αναλόγως με τον αριθμό δωματίων του κάθε σπιτιού. Η πλειοψηφία των σπιτιών αποτελείται από 2 ή 3 δωμάτια, ενώ λιγότερα έχουν πάνω από 4 δωμάτια.

Πίνακας 3.9: Αριθμός νοικοκυριών και μελών αυτών κατά αριθμό δωματίων των κατοικιών τους (Πηγή: ΕΛΣΤΑ,2011)

Δήμος Κιμώλου	Νοικοκυριά	Μέλη	Νοικοκυριά κατά αριθμό δωματίων					
			1	2	3	4	5	6+
1 μέλος	x	120	23	41	30	16	9	x
2 μέλη	216	432	x	47	x	51	13	x
3 "	50	150	x	10	20	11	x	x
4 "	35	140	x	4	12	x	4	x
5 "	4	20	-	-	x	-	x	-
6 "	x	6	-	-	-	x	-	-
Σύνολο		868	43	102	151	91	33	6

Στον Πίνακα 3.10, φαίνεται ο αριθμός των κανονικών κατοικιών με βάση τα m². Η Ελληνική Στατιστική Αρχή, δεν είχε χωριστά στοιχεία για την Κίμωλο, ωστόσο παρατηρούμε ότι επικρατούν σπίτια με επιφάνεια το πολύ 90m² και λιγότερο, γεγονός που επιβεβαιώθηκε μετά από επικοινωνία με το Δήμο Κιμώλου. Εκπρόσωπος του Δήμου Κιμώλου επιβεβαίωσε ότι ο μέσος όρος επιφάνειας κατοικιών της Κιμώλου είναι περίπου 80 m², ενώ απουσιάζουν μεγάλες κατασκευές (π.χ. μεγάλες ξενοδοχειακές μονάδες).

Πίνακας 3.10: Κανονικές κατοικίες κατά επιφάνεια (m²) (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

	Σύνολο	Επιφάνεια σε m ²									
		Κάτω από 40	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100-109	110-119	120+
Περιφερειακή Ενότητα Μήλου	11.678	2.499	1.469	1.627	1.480	1.204	1.139	696	647	220	697
Δήμοι Μήλου και Κιμώλου	5.906	1.110	817	777	782	533	591	388	360	135	413

3.3.3. Απασχόληση

Οι νέοι απασχολούνται κυρίως στα μεταλλεία της Κιμώλου και της Μήλου, είναι τεχνίτες, έμποροι, επαγγελματίες, ψαράδες, ναυτικοί και σχεδόν όλοι, αγρότες.

Η εξόρυξη είναι ένας από τους κυριότερους τομείς ενασχόλησης και οικονομικής ενίσχυσης για το νησί της Κιμώλου. Σύμφωνα με στοιχεία του 2010 από τον Δήμο Κιμώλου, δραστηριοποιούνται στον συγκεκριμένο τομέα 68 άτομα. Συγκεκριμένα, στον Δήμο Κιμώλου λειτουργεί ορυχείο - λατομικός χώρος, το οποίο βρίσκεται στο βορειοανατολικό μέρος της Κιμώλου και καλύπτει έκταση περίπου 120.000 m². Το λατομείο ανήκει αποκλειστικά στην εταιρεία ΜΠΕΝΤΟΜΑΙΝ Α.Ε. ή ΒΕΝΤΟΜΙΝΕ S.A. και απασχολεί περίπου 25 εργαζόμενους. Τα κύρια ορυκτά που εξάγονται από το λατομείο είναι Μπεντονίτης και Ποζολάνη. Η ποιότητα των εξαγομένων υλικών είναι από τις καλύτερες στην Διεθνή αγορά, με δυναμικό παραγωγής που ανέρχεται σε 350.000 μετρικούς τόνους το χρόνο (Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου, 2014).

Πίνακας 3.11: Οικονομικά ενεργός και μη ενεργός πληθυσμός, απασχολούμενοι κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας και άνεργοι, νήσος Κίμωλος (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ 2011)

Σύνολο κατοίκων Κιμώλου	Οικονομικά ενεργός πληθυσμός					Μη οικονομικά ενεργός πληθυσμός	
	Σύνολο	Απασχολούμενοι	Τομείς				Άνεργοι
			Πρωτογενής	Δευτερογενής	Τριτογενής		
910	219	199	21	71	107	20	691

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ του 2011, παρατηρείται αυξημένη η ενασχόληση των κατοίκων της Κιμώλου με τον τριτογενή τομέα, ενώ αρκετός είναι ο μη οικονομικά ενεργός πληθυσμός. Η ενασχόλησή τους αυτή είναι αποτέλεσμα της ανάπτυξης του τουρισμού και άλλων δραστηριοτήτων, αλλά και της εγκατάλειψης της υπαίθρου γενικά.

Ο Τριτογενής τομέας είναι ο πιο αναπτυγμένος στο νησί με τον Τουρισμό και το Εμπόριο να κατέχουν εξέχουσα θέση. Η τουριστική υποδομή είναι αναπτυγμένη κυρίως στην περιοχή του Χωριού Κιμώλου, ενώ τα υπόλοιπα ενοικιαζόμενα διαμερίσματα βρίσκονται διάσπαρτα στην Ψάθη, την Αλυκή, τη Μπονάτσα, το Καλαμίτσι και τα Πράσα. Στο Χωριό Κιμώλου βρίσκονται

τα περισσότερα τουριστικά καταλύματα, ταβέρνες και άλλα καταστήματα που εξυπηρετούν τους τουρίστες.

Στην Κίμωλο το κομμάτι «Γεωργία - Φυτική Παραγωγή» του πρωτογενή τομέα διαδραματίζει μικρό ρόλο πλέον στην οικονομία της. Οι κλάδοι που συμβάλλουν περισσότερο στην οικονομία του νησιού είναι η «Κτηνοτροφία – Μελισσοκομία» και η «Εξορυκτική Δραστηριότητα».

Στην περιοχή του Δήμου Κιμώλου η υποαπασχόληση είναι φαινόμενο ιδιαίτερα έντονο, τόσο σε επιχειρήσεις (κυρίως τις τουριστικές που υπάρχουν στο νησί) όσο και σε αγροτικές εργασίες. Σημειώνεται, ότι η συντριπτική πλειοψηφία των εργαζομένων στον τουριστικό τομέα, (ξενοδοχεία, δωμάτια, ταβέρνες, τουριστικά καταστήματα κλπ.) εργάζονται εποχιακά για 4-5 μήνες και μετά ασχολούνται με άλλες εποχιακές επίσης εργασίες (γεωργία, αλιεία κλπ.)(Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου, 2014).

3.3.4.Τουρισμός

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της Κιμώλου, όπως και αρκετών μικρών νησιών των Κυκλάδων, είναι ότι ενώ έχουν μικρό αριθμό κατοίκων το χειμώνα, το καλοκαίρι ο πληθυσμός τους αυξάνεται σημαντικά. Αυτό φυσικά οφείλεται στην επισκεψιμότητα του νησιού από τουρίστες ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες.

Από στοιχεία της ΕΥΔΑΠ Νήσων, φαίνεται η αύξηση του πληθυσμού της Κιμώλου λόγω τουρισμού, κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Πίνακας 3.12: Εποχιακός πληθυσμός Κιμώλου για το 2012 (Πηγή: ΕΥΔΑΠ Νήσων)

Μήνας	Μόνιμος Πληθυσμός	Εποχιακός Πληθυσμός	Σύνολο
Ιανουάριος	966	0	966
Φεβρουάριος	966	0	966
Μάρτιος	966	246	1.212
Απρίλιος	966	479	1.445
Μάιος	966	989	1.955
Ιούνιος	966	1.914	2.880
Ιούλιος	966	3.952	4.918
Αύγουστος	966	4.941	5.907
Σεπτέμβριος	966	2.868	3.834
Οκτώβριος	966	989	1955
Νοέμβριος	966	0	966
Δεκέμβριος	966	246	1.212

Στο νησί της Κιμώλου υπάρχουν αρκετά καταλύματα φιλοξενίας παραθεριστών. Στην πλειοψηφία τους είναι ενοικιαζόμενα δωμάτια, ενώ απουσιάζουν μεγάλες ξενοδοχειακές μονάδες. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τουριστικές υποδομές του νησιού.

Πίνακας 3.13: Τουριστικές υποδομές Κιμώλου (Πηγή: [http://www.grhotels.gr/GR/BussinessInfo/library/DocLib/2013 HOTELS REGIONS](http://www.grhotels.gr/GR/BussinessInfo/library/DocLib/2013_HOTELS_REGIONS) & <http://www.e-kyklades.gr/intro.jsp>)

Κατηγορία	Μονάδες	Δωμάτια	Κλίνες
Ξενοδοχεία	1	5	8
Λοιπά Καταλύματα	23		342
Σύνολο	24		350

3.4.Υποδομές

3.4.1. Δίκτυο ύδρευσης

Η υδροδότηση του νησιού εξασφαλίζεται μόνο με την μεταφορά νερού από την ΕΥΔΑΠ με πλοίο από το Λαύριο. Το πλοίο παραδίδει 1.000 m³ με συχνότητα κάθε 4-5 ημέρες. Το νερό παραλαμβάνεται από το πλοίο με αγωγό Φ160 και μεταφέρεται στις κεντρικές δεξαμενές του νησιού στην θέση Αγ. Αντώνιος σε υψόμετρο +30. Η διανομή του νερού από τις υδροφόρες γίνεται μέσω του δικτύου της Κιμώλου. Το μήκος του δικτύου ύδρευσης είναι περίπου 27 km και καλύπτει 100% τις ανάγκες των κατοίκων (Χωριού, Ψάθης κ.α.). Το δίκτυο χωρίζεται σε τρεις ζώνες:

Χαμηλή ζώνη

Η χαμηλή ζώνη περιλαμβάνει τις δεξαμενές του Άγιου Αντωνίου. Πρόκειται για τέσσερις δεξαμενές χωρητικότητας 500 m^3 η κάθε μία, από τις οποίες υδροδοτείται κυρίως η περιοχή του λιμανιού, καθώς και διπλανές οικίες. Οι δεξαμενές αυτές χωρίζονται σε δύο ομάδες. Οι δύο παλαιότερες τσιμεντένιες δεξαμενές βρίσκονται σε υψόμετρο +30, ενώ οι δύο νεότερες μεταλλικές βρίσκονται λίγο υψηλότερα στο +35. Οι δύο μεταλλικές επικοινωνούν μεταξύ τους, αποτελώντας ουσιαστικά συγκοινωνούντα δοχεία, ενώ οι δύο παλαιότερες είναι αυτόνομες. Λόγω της μορφολογίας του εδάφους, καθώς οι δεξαμενές δεν είναι στο ίδιο υψόμετρο, ο έλεγχος της πλήρωσης τους και η κατανομή του νερού σε αυτές γίνεται πλήρως χειροκίνητα με προσωπικό του Δήμου που είναι υπεύθυνο για την παραλαβή. Στην θέση Αγ. Αντωνίου εκτός των τεσσάρων δεξαμενών αποθήκευσης πόσιμου νερού, υπάρχουν εγκατεστημένες δύο αντλίες που τροφοδοτούν μέσω αγωγού $\Phi 110$ (στη συνέχεια σε αγωγό $\Phi 63$), με εκτιμώμενη παροχή περίπου $40 \text{ m}^3/\text{hr}$ την δεξαμενή Σωτήρος (+83) στον οικισμό της Χώρας στην πρωτεύουσα του νησιού.

Μεσαία ζώνη

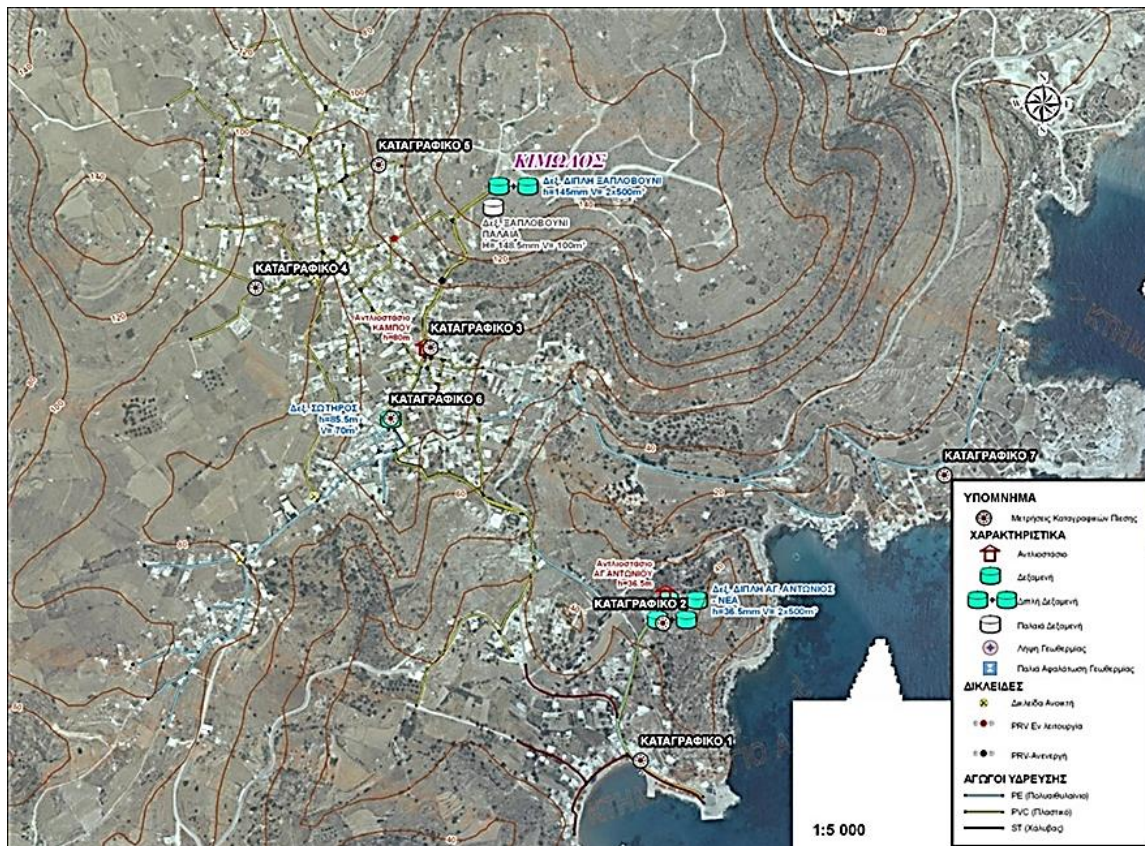
Η μεσαία ζώνη περιλαμβάνει την δεξαμενή του Σωτήρος χωρητικότητας 70 m^3 , η οποία βρίσκεται στο κέντρο του Χωριού Κίμωνος και υδροδοτεί αρκετά σπίτια κοντά στην κεντρική πλατεία και στους γύρω δρόμους. Λόγω της μικρής χωρητικότητας της δεξαμενής, το νερό δεν έχει μεγάλο χρόνο παραμονής και με την βαρύτητα οδηγείται στο αντλιοστάσιο της Πλατείας Οικονόμου (κεντρικής πλατείας του χωριού), όπου τροφοδοτεί τις δεξαμενές Ξαπλοβουνίου.

Υψηλή ζώνη

Η υψηλή ζώνη, περιλαμβάνει τις δύο μεταλλικές δεξαμενές του Ξαπλοβουνίου (+130), χωρητικότητας 500 m^3 η κάθε μία. Υδροδοτεί κυρίως την περιοχή του Κάστρου, της χώρας και των υψηλών περιοχών του οικισμού. Σε μικρή απόσταση από τις παραπάνω δύο δεξαμενές, υπάρχει παλαιότερη τσιμεντένια δεξαμενή με χωρητικότητα 100 m^3 , η οποία έχει απαξιωθεί.

Το 80% της υδροδότησης του νησιού γίνεται κυρίως από την μεσαία και υψηλή ζώνη.

Λόγω του ότι σε καμία από τις δεξαμενές δεν υπάρχει μεταχλωρίωση του νερού, το νερό από το Λαύριο ενισχύεται με χλώριο στην υδροφόρα κατά τη μεταφορά. Η εξουδετέρωση του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου εξαρτάται από τον χρόνο παραμονής στις δεξαμενές, την αύξηση ή μείωση των καταναλώσεων ανάλογα με την εποχή κλπ. (ΕΥΔΑΠ Νήσων).



Σχήμα 3.14: Δίκτυο ύδρευσης, Ν. Κίμωλος (Πηγή: ΕΥΔΑΠ Νήσων)

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΥΔΑΠ Νήσων διαπιστώθηκαν λάθη διαχείρισης του νερού, γεγονός που δυσκολεύει ακόμα περισσότερο την υδροδότηση του νησιού. Για λόγους ασφαλείας, χρησιμοποιείται η μία δεξαμενή του Ξαπλοβουνίου για υδροδότηση, με αποτέλεσμα η δεύτερη δεξαμενή να παραμένει ανενεργή για εβδομάδες. Αποτέλεσμα αυτού είναι η εξουδετέρωση του υπολειμματικού χλωρίου γεγονός που επηρεάζει την αρχική ποιότητα του νερού.

Εκτός των παραπάνω υποδομών, οι κάτοικοι έχουν εγκαταστήσει από μία πλαστικοδεξαμενή στην οροφή κάθε σπιτιού. Η κάθε δεξαμενή τροφοδοτείται με νερό του δικτύου και λειτουργεί σαν εφεδρεία σε περίπτωση διακοπής τροφοδοσίας του νερού από το δίκτυο. Ωστόσο, το συγκεκριμένο νερό είναι αμφίβολης ποιότητας, καθώς βρίσκεται εκτεθειμένο στον ήλιο και σε υψηλές θερμοκρασίες που ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών.

Εναλλακτική πηγή νερού για τους κατοίκους, είναι το βρόχινο νερό που συλλέγεται από τις στέγες των σπιτιών, κυρίως σε στέρνες σε σχήμα πιθαριού. Οι στέρνες αυτές βρίσκονται συνήθως στο κατώτερο σημείο του σπιτιού και έχουν βάθος περίπου 3-6m. Στο συλλεγόμενο νερό η μόνη μικροβιολογική απολύμανση είναι η προσθήκη 70ml έως 100ml χλωρίου μία φορά το χρόνο (ΕΥΔΑΠ Νήσων).

3.4.2. Ενέργεια

Το νησί της Κιμώλου δεν έχει δικιά του μονάδα ηλεκτροδότησης. Στο νησί παρέχεται ρεύμα με υποθαλάσσιο καλώδιο από τη Μήλο, όπου λειτουργεί αυτόνομος σταθμός παραγωγής ενέργειας.

Πίνακας 3.14: Σύστημα παραγωγής ενέργειας Μήλου-Κιμώλου (Πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015β)

Σύστημα	Ενέργεια (MWh)			Ισχύς (MW)			Αιχμή (MW)	Νησιά που τροφοδοτούνται
	Θερμικά	Αιολικά	Φωτοβολταϊκά	Θερμικά	Αιολικά	Φωτοβολταϊκά		
Μήλου	41.657,29	7.465,20	829,40	20,60	2,65	0,52	11,67	Μήλος, Κίμωλος

Η χρήση ήπιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, περιορίζεται στη χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση νερού για οικιακή χρήση.

3.4.3. Άρδευση

Όσον αφορά την άρδευση, χρησιμοποιείται το νερό από τις γεωτρήσεις μικρής παροχής («φλεβίτικα» πηγάδια) που υπάρχουν στο νησί και σπάνια το νερό από τις στέρνες. Το νερό που συλλέγεται στις στέρνες χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για πόση.

3.5. Πρόβλημα λειψυδρίας

3.5.1. Αίτια

Η Κίμωλος, όπως και πολλά νησιά του Αιγαίου, παρουσιάζουν πρόβλημα λειψυδρίας εδώ και τρεις δεκαετίες. Το πρόβλημα οφείλεται σε δυσμενείς υδρολογικούς και υδρογεωλογικούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι:

- Το μικρό μέγεθος του νησιού που δεν επιτρέπει την ανάπτυξη εκτεταμένων υπόγειων και επιφανειακών λεκανών.
- Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι αρκετά χαμηλή, έτσι ώστε η επιφανειακή απορροή και η κατείσδυση να είναι μικρές, πράγμα που ενισχύεται από τη υψηλή

μέση ετήσια θερμοκρασία και ηλιοφάνεια, καθώς και από τη μικρή περατότητα των εδαφών της.

- Η μορφολογία του εδάφους της συμβάλλει στη μη δημιουργία αξιόλογων υδροφορέων.

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα έλλειψης νερού επιδεινώθηκε εξαιτίας:

- Του ιδιαίτερου χαμηλού ποσοστού βροχοπτώσεων.
- Της αυξανόμενης τουριστικής κίνησης, με αποτέλεσμα την υψηλή ζήτηση τους θερινούς μήνες.
- Της δυσανάλογα αυξανόμενης ζήτησης, σε σχέση με την αύξηση του πληθυσμού αλλά και του τουρισμού.
- Της εγκατάλειψης των παραδοσιακών τρόπων συλλογής βρόχινου ύδατος (ομβροδεξαμενές) (με εξαίρεση μερικών κατοικιών).
- Της απουσίας πολιτικής πρόβλεψης και πρόληψης των επιπτώσεων από την αυξανόμενη ζήτηση ύδατος.
- Της απουσίας ολοκληρωμένου σχεδιασμού ανά περιφέρεια που οφείλεται στην ελλιπή υλοποίηση του νομοθετικού πλαισίου.
- Του έντονου κατακερματισμού των προσπαθειών και τελικά το μεγάλο κόστος των απαιτούμενων συνολικά παρεμβάσεων (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015α).

3.5.2. Προσπάθειες αντιμετώπιση λειψυδρίας

Στο πέρασμα των χρόνων έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες αντιμετώπισης της λειψυδρίας στο νησί της Κιμώλου, οι οποίες μέχρι στιγμής δεν έχουν φέρει αποτέλεσμα.

Κοντά στην θέση Πρασιά, είχε εγκατασταθεί το έτος 2000, πιλοτική μονάδα παραγωγής πόσιμου νερού από θαλασινό νερό με την τεχνολογία της εξάτμισης, δυναμικότητας 80 m³/day, σε μια προσπάθεια να αξιοποιηθεί η γεωθερμία της περιοχής. Η μονάδα αυτή πλέον είναι πλήρως απαξιωμένη (ΕΥΔΑΠ Νήσων).

Άλλο έργο που είχε προγραμματιστεί αλλά εν τέλει κρίθηκε μη λειτουργικό, ήταν το φράγμα Κεραμιδίου με ωφέλιμο όγκο 2.000.000 m³ (Δήμος Κιμώλου).

Επίσης, έχει αγοραστεί (εδώ και 2,5 χρόνια περίπου) από τη Γενική Γραμματεία Αιγαίου, μονάδα αφαλάτωσης δυναμικότητας 600 m³/ημέρα με θέση χωροθέτησης τον Άγιο Αντώνιο. Ωστόσο, λόγω της αργής αδειοδότησης η μονάδα δεν έχει τεθεί σε λειτουργία, ενώ η ΕΥΔΑΠ

Νήσων εκφράζει την ανησυχία της για τη λειτουργία του εξοπλισμού της μονάδας (π.χ. μεμβράνες) λόγω αδράνειάς της για πολύ καιρό.

Το γεγονός ότι στο νησί δεν υπάρχουν υπόγεια νερά για αξιοποίησή τους με γεωτρήσεις άντλησης νερού (μικρό υδρογραφικό δίκτυο-μικρή περατότητα εδάφους) συμβάλλει ακόμα περισσότερο στο φαινόμενο της λειψυδρίας.

3.5.3. Ανάγκες νερού

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η υδροδότηση του νησιού γίνεται με πλωτά μέσα που προμηθεύονται νερό από την ΕΥΔΑΠ Αττικής ή σε περίπτωση αντίξοων συνθηκών από τη ΔΕΥΑ Ρόδου. Η Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής έχει από το 1997 την ευθύνη της χρηματοδότησης του έργου της μεταφοράς νερού με υδροφόρα πλοία για κάλυψη των αναγκών της Κιμώλου και των υπολοίπων άνυδρων νησιών του χώρου ευθύνης του. Από το καλοκαίρι του 2005 έχει και την ευθύνη υλοποίησης του έργου (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015α).

Στον Πίνακα 3.15, δίνονται οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού στην Κίμωλο την περίοδο 1997-2014.

Πίνακας 3.15: Μεταφερόμενες ποσότητες νερού στην Κίμωλο, περιόδου 1997-2014 (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015α)

Έτος	Μεταφερόμενες ποσότητες νερού (m ³ /έτος)
1997	16.270
1998	17.990
1999	16.375
2000	22.938
2001	29.983
2002	23.275
2003	23.139
2004	27.922
2005	32.489
2006	39.949
2007	53.880
2008	71.201
2009	57.287
2010	46.488
2011	46.602
2012	48.107
2013	52.027
2014	55.340

Από την διακήρυξη του διαγωνισμού για τη μεταφορά και παράδοση πόσιμου νερού σε δεξαμενές των Ο.Τ.Α άνυδρων νησιών των Νομών Δωδεκανήσου και Κυκλάδων για οκτώ μήνες, στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ενδεικτικά οι ποσότητες νερού που θα χρειαστεί το νησί της Κιμώλου μέσα στο έτος 2016.

Πίνακας 3.16: Μεταφερόμενες ποσότητες νερού για τη Ν. Κίμωλο Μάρτιος-Οκτώβριος 2016 (Πηγή: <http://www.yrai.gr/>)

Μήνας	Ποσότητα νερού σε m ³
Μάρτιος	3.500
Απρίλιος	3.500
Μάιος	4.000
Ιούνιος	4.000
Ιούλιος	7.500
Αύγουστος	8.000
Σεπτέμβρης	3.000
Οκτώβριος	3.000
Σύνολο	36.500

Όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω του τουρισμού κατά τους θερινούς μήνες, η ζήτηση του νερού είναι αυξημένη και συγκεκριμένα τον μήνα Ιούλιο και Αύγουστο, είναι διπλάσια σε σχέση με τους ανοιξιάτικους μήνες.

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΥΔΑΠ, στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ποσότητα του νερού στο δίκτυο ανά μήνα κατά το έτος 2012.

Πίνακας 3.17: Ποσότητα νερού στο δίκτυο της Ν. Κιμώλου (Πηγή: ΕΥΔΑΠ Νήσων)

Μήνας	Ημέρες	Μόνιμος Πληθυσμός	Εποχιακός Πληθυσμός	Σύνολο	Νερό Στο Δίκτυο m ³ /μήνα
Ιανουάριος	31	966	0	966	4.282
Φεβρουάριος	28	966	0	966	3.866
Μάρτιος	31	966	246	1.212	4.602
Απρίλιος	30	966	479	1.445	4.767
Μάιος	31	966	989	1.955	5.568
Ιούνιος	30	966	1914	2.880	6.633
Ιούλιος	31	966	3952	4.918	9.420
Αύγουστος	31	966	4941	5.907	10.706
Σεπτέμβριος	30	966	2868	3.834	7.873
Οκτώβριος	31	966	989	1.955	5.568
Νοέμβριος	30	966	0	966	4.144
Δεκέμβριος	31	966	246	1.212	4.602

Η μεγαλύτερη ποσότητα νερού στο δίκτυο είναι κατά τους θερινούς μήνες, όπου ο πληθυσμός της Κιμώλου αυξάνεται. Το νησί το καλοκαίρι αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα έλλειψης νερού, καθώς η πρόβλεψη των αναγκών σε νερό δεν μπορεί να γίνει με ακρίβεια, ώστε οι υδροφόρες να παρέχουν αρκετή ποσότητα νερού. Ως μήνες αιχμής χαρακτηρίζονται ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με τον πληθυσμό του νησιού σχεδόν πενταπλάσιο.

3.5.4. Κόστος νερού

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΥΔΑΠ Νήσων καθώς και του Δήμου Κιμώλου, η μεταφορά του νερού κοστίζει στο κράτος 12 €/m³. Ενδεικτικά, με βάση τις ποσότητες νερού που θα χρειαστεί το νησί της Κιμώλου το 2016 από το Μάρτιο έως τον Οκτώβριο, το κόστος μεταφοράς του νερού θα είναι 438.000 €. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι η μεταφορά του νερού κοστίζει αρκετά στο κράτος δεδομένου και των στοιχείων για τις ποσότητες νερού που έχει χρειαστεί το νησί της Κιμώλου μέχρι τώρα, που δείχνουν ότι μόνο για το νησί της Κιμώλου ξοδεύονται κατά μέσο όρο περίπου 610.000 €/έτος.

Όσον αφορά το κόστος του νερού για τους κατοίκους, σύμφωνα με στοιχεία του Δήμου Κιμώλου, αντιστοιχεί περίπου σε 2-3 €/m³. Τα χρήματα που συγκεντρώνονται από τους κατοίκους, αξιοποιούνται σε επισκευές του δικτύου π.χ. αντικατάσταση αντλιών κλπ. Το

συνολικό κόστος για τους κατοίκους το χρόνο είναι περίπου 150.000 €/m³/έτος, δηλαδή περίπου 160 €/m³/κάτοικο.

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.

4.1.1. Μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής

Στην παρούσα διπλωματική αναπτύχθηκε το παρακάτω μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής:

$$S_t = S_{t-1} + R_t - D_t \quad , \quad 0 \leq S_{t-1} \leq V_{tank} \quad (4.1)$$

όπου:

S_t : ο όγκος του νερού που θα αποθηκευτεί στη δεξαμενή την t ημέρα (m^3)

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

R_t : ο όγκος του νερού της βροχής που θα απορρεύσει από την επιφάνεια συλλογής και θα εισέλθει στη δεξαμενή την t ημέρα (m^3)

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

V_{tank} : η χωρητικότητα της δεξαμενής (m^3)

4.1.2. Προσδιορισμός συλλεγόμενου όγκου ομβρίων

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

$$R_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t} \quad (4.2)$$

όπου:

C : ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής ομβρίων

A : το εμβαδό της επιφάνειας συλλογής ομβρίων που είναι συνδεδεμένη με τη δεξαμενή (m^2)

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

Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε συντελεστής απορροής $C=0,9$ που αντιστοιχεί για στέγη από τσιμέντο, με βάση τη βιβλιογραφία (Kinkade-Levario H., 2007), υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένες οι στέγες των σπιτιών στο νησί της Κιμώλου.

Για τη βελτίωση της ποιότητας του συλλεγόμενου νερού από τις επιφάνειες συλλογής που χρησιμοποιήθηκαν, ορίστηκε κατά μέσο όρο να αφαιρούνται τα πρώτα 0.33 mm βροχής από τη συνολική ημερήσια βροχόπτωση (Yaziz et al, 1989).

Επομένως, η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση $P_{eff,t}$ υπολογίζεται ως:

$$P_{eff,t} = P_t - 0,33 \quad (4.3)$$

όπου: P_t , η ημερήσια βροχόπτωση της t ημέρας (mm).

4.1.3. Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης

Η ημερήσια ζήτηση νερού, D_t , για μια κατοικία εξαρτάται: α) από τον αριθμό των ατόμων που διαμένουν σ' αυτή, N_{cap} , β) από την ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο, q και γ) από το ποσοστό, p , της συνολικής χρήσης νερού, το οποίο ορίζεται ότι θα ικανοποιείται από το αποθηκευμένο νερό της ομβροδεξαμενής. Επομένως:

$$D_t = N_{cap} \cdot q \cdot (P/100) \quad (4.4)$$

Η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης νερού κατ' άτομο, q , το κατώτερο όριο είναι 100 l/κάτοικο/ημέρα και το ανώτερο όριο 200 l/κάτοικο/ημέρα της ημερήσιας κατανάλωσης νερού κατ' άτομο βάσει της ΚΥΑ Αριθ. Δ11/Φ.16/8500 (ΦΕΚ 174/Β/1991). Όσον αφορά το ποσοστό, p , της συνολικής χρήσης νερού επιλέχθηκε η τιμή 35% για μη πόσιμη χρήση, αλλά για αξιοποίηση του νερού σε πλυντήρια, τουαλέτα, πότισμα κλπ.

4.1.4. Όγκος ομβροδεξαμενής

Για τη διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής του συστήματος θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του μοντέλου ισοζυγίου ομβροδεξαμενής.

Σύμφωνα με την εξίσωση (4.1) του μοντέλου ισοζυγίου ομβροδεξαμενής, ο όγκος του νερού που θα μπορούσε να αποθηκευτεί στη δεξαμενή οποιαδήποτε ημέρα, S_t , λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις (4.2) και (4.4), υπολογίζεται ως εξής:

$$S_t = S_{t-1} + C \cdot A \cdot P_{eff,t} - N_{cap} \cdot q \cdot (P/100) \quad (4.5)$$

Η ημερήσια διαφορά, ΔS_t , μεταξύ ημερήσιας εισροής στην ομβροδεξαμενή και ημερήσιας ζήτησης ισούται με:

$$\Delta S_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t} - N_{cap} \cdot q \cdot (P/100) \quad (4.6)$$

Άρα από τις (4.5) και (4.6) προκύπτει:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (4.7)$$

Ο υπολογισμός του ημερήσιου αποθηκευτικού όγκου είναι επαναληπτικός και ξεκινάει από μια αρχική τιμή $S_{t-1}=S_0$ για $t=0$ και αφορά στον αρχικό αποθηκευμένο όγκο νερού στη δεξαμενή. Η τιμή αυτή 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. Στη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε αρχικά γεμάτη δεξαμενή με $S_0=V_{tank}$.

Για να ληφθεί υπόψη η χωρητικότητα της δεξαμενής κατά τον υπολογισμό της ημερήσιας ποσότητας του αποθηκευμένου νερού στη δεξαμενή, ακολουθείται επαναληπτικά η παρακάτω διαδικασία ευριστικού αλγόριθμου (Λόντρα, 2014):

$$\text{If } S_t + \Delta S_t > V_{tank} \text{ then } V_{tank}, \text{ if } S_{t-1} + \Delta S_t < V_{tank} \text{ then } 0, \text{ else } S_t = S_{t,tank} = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (4.8)$$

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

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

$$\text{if } S_t \geq V_{tank} \text{ then } O_t = S_t - V_{tank} \text{ else } O_t = 0 \quad (4.9)$$

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 μέρη ή πλήρως, με νερό από το δίκτυο ύδρευσης της Κιμώλου (νερό από υδροφόρες), T_t , που υπολογίζεται από τον παρακάτω αλγόριθμο:

$$\text{if } S_t < D_t \text{ then } T_t = D_t - S_{t,tank} \text{ else } T_t = 0 \quad (4.10)$$

Η παραπάνω διαδικασία προσδιορισμού του όγκου της ομβροδεξαμενής μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε ένα πρόγραμμα λογιστικών φύλλων, έχοντας διαθέσιμες τις ημερήσιες καταγραφές βροχόπτωσης, τουλάχιστον 5 έως 10 ετών (DIN 1989-1, 2002), για την περιοχή

μελέτης όπου θα βρίσκεται η ομβροδεξαμενή. Οι υπολογισμοί με βάση τις παραπάνω εξισώσεις γίνανε σε υπολογιστικό φύλλο Excel.

4.1.5. Συντελεστής αξιοπιστίας (*Reliability, Re*)

Ο συντελεστής αξιοπιστίας (*Re*) ορίζεται 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 (Πρέκα, 2016).

$$Re = \frac{\Sigma(\text{days without tap use})}{\Sigma(\text{total timespam})} \quad (4.12)$$

4.2. Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών

Όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, για την ανάλυση αβεβαιότητας στη διαστασιολόγηση του συστήματος συλλογής ομβρίων, έγινε χρήση στοχαστικού μοντέλου για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μεγαλύτερου μήκους από την ιστορική χρονοσειρών βροχομετρικών δεδομένων.

4.2.1. Διαδικασία παραγωγής μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, εφαρμόστηκε η στοχαστική προσομοίωση για τη διαστασιολόγηση συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων στην Κίμωλο. Η προσομοίωση μηνιαίων παρατηρήσεων γενικά γίνεται ως εξής:

1. Προσαρμόζεται ένα στοχαστικό μοντέλο (π.χ. AR(1)) στις μηνιαίες παρατηρήσεις.
2. Παράγεται μια σειρά τυχαίων αριθμών που ακολουθούν την κατανομή των υπολοίπων του μοντέλου.
3. Χρησιμοποιείται η εξίσωση του μοντέλου για την παραγωγή των προσομοιωμένων παραμέτρων που, αν το μοντέλο έχει επιλεγεί σωστά, έχουν κατά προσέγγιση τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά με τις παρατηρήσεις.

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

της Μήλου με παραμετρική μέθοδος, καθώς χρησιμοποιήθηκαν σχέσεις στατιστικής για την περιγραφή της ιστορικής χρονοσειράς. Το στοχαστικό μοντέλο που επιλέχθηκε είναι το μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης (Autoregressive model) 1^{ης} τάξης, AR(1). Το μοντέλο AR(1) εφαρμόζεται σε μόνιμες σειρές και στηρίζεται στη μνήμη κάθε διαδικασίας. Ανήκει στις μαρκοβιανές διαδικασίες και είναι γνωστό για την απλή εφαρμογή του.

Εφόσον, το μήκος της ιστορικής χρονοσειράς ήταν 23 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.

Για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης, χρησιμοποιήθηκαν τα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης περιόδου 1990-2012 (μήκος 23 έτη). Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την παραγωγή τους είναι:

1. Εύρεση μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης ιστορικής: Από τα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης για την Κίμωλο, υπολογίστηκαν οι μηνιαίες τιμές.
2. Εύρεση στατιστικών χαρακτηριστικών της σειράς βροχοπτώσεων. Αν N το πλήθος των μηνιαίων τιμών της σειράς υπολογίζονται τα εξής:

Μέσος όρος:
$$\sum_{i=1}^N Xi/N$$

Διασπορά:
$$VAR = 1/N \sum_{i=1}^N (Xi - M)^2$$

Τυπική απόκλιση:
$$SD = VAR^{1/2}$$

Συντελεστής Ασυμμετρίας:
$$SK = 1/N \sum_{i=1}^N (Xi - M)^3 SD^{-3}$$

Συντελεστής Κύρτωσης:
$$KYR = 1/N \sum_{i=1}^N (Xi - M)^4 SD^{-4}$$

3. Εύρεση συντελεστών αυτοσυσχέτισης της σειράς 1^{ης} και 2^{ης} τάξης.
Ο συντελεστής r_t ακολουθεί ασυμπτωτικά την κανονική κατανομή με διασπορά $1/n$ και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή τυχαιότητας μιας χρονολογικής σειράς.
4. 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. Η σχέση με την οποία γίνεται η μονιμοποίηση είναι:

$$X1(I, J) = \frac{(X(I, J) - M(J))}{SD(J)}$$

Όπου:

$X1(I, J)$ η μονιμοποιημένη τιμή της βροχόπτωσης

$X(I, J)$ η μηνιαία τιμή βροχόπτωσης σε mm

J η τάξη του μήνα

I η τάξη του έτους

$M(J)$ ο μέσος όρος του μήνα J

$SD(J)$ η τυπική απόκλιση του μήνα J

5. Εύρεση στατιστικών χαρακτηριστικών της μονιμοποιημένης σειράς
6. Εύρεση συντελεστών αυτοσυσχέτισης και φύλαξη συντελεστών αυτοσυσχέτισης 1^{ης} και 2^{ης} τάξης.
7. Χρήση του μοντέλου AR(1) για την εύρεση του συντελεστή $F1=R(1)$, όπου $R(1)$ ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης 1^{ης} τάξης της μονιμοποιημένης και της θεωρητικής απόκλισης $C1$ που δίνεται από τη σχέση:

$$C1 = C \cdot (1 - (F1)^2)^{0,5}$$

Όπου:

C^2 η διασπορά της μονιμοποιημένης σειράς

8. Παραγωγή από τον υπολογιστή τυχαίων κανονικών αριθμών (excel) με μέσο όρο 0 και τυπική απόκλιση 1 (κανονική κατανομή). Υπολογισμός τιμών συνθετικής μονιμοποιημένης σειράς βροχοπτώσεων από τις σχέσεις:

$$X(1) = C1 \cdot NR(I) \text{ και } X(I) = C1 \cdot NR(I) + F1 \cdot X(I - 1)$$

Όπου:

$C1$ και $F1$ η θεωρητική απόκλιση και ο συντελεστής μοντέλου AR(1)

$NR(I)$ ο τυχαίος αριθμός

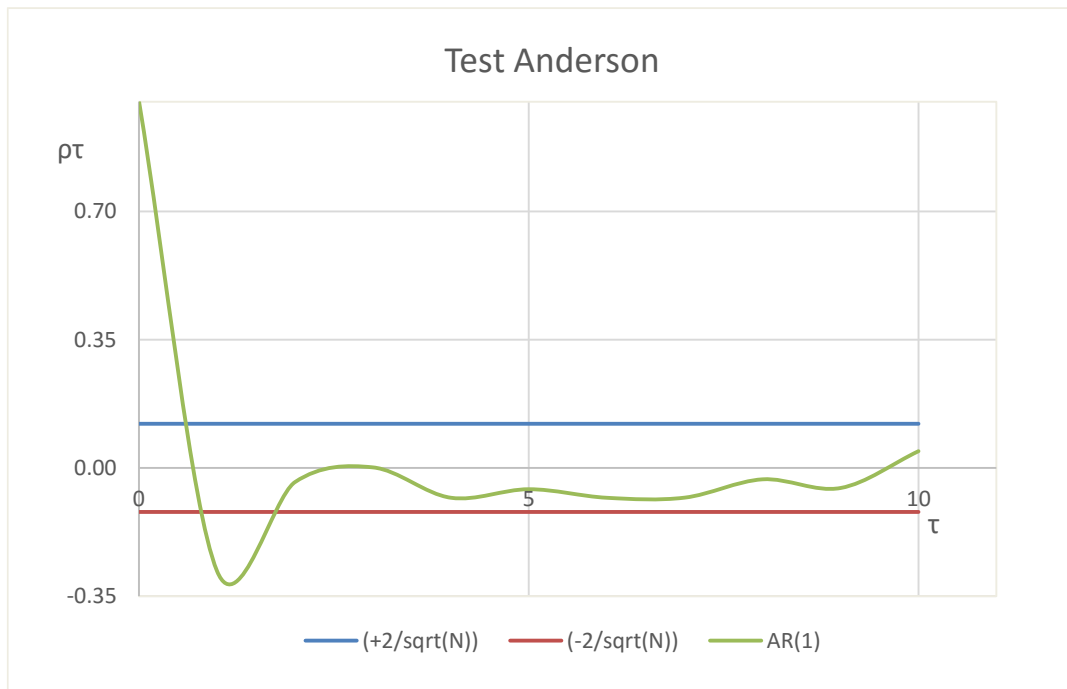
9. Απομονιμοποίηση της συνθετικής μονιμοποιημένης σειράς με την αντίστροφη εξίσωση του βήματος 4.
10. Μηδενισμός των αρνητικών τιμών και εύρεση στατιστικών χαρακτηριστικών της συνθετικής σειράς με το μέσο όρο και τη διασπορά να συμφωνούν με τα αντίστοιχα μεγέθη της ιστορικής-πραγματικής σειράς
11. Εύρεση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης 1^{ης} τάξης της συνθετικής σειράς, ο οποίος θα συμφωνεί με το αντίστοιχο μέγεθος της πραγματικής σειράς.
12. Παραγωγή 50 τέτοιων συνθετικών χρονοσειρών, μήκους 40 ετών.

Γενικά, οι μηνιαίες συνθετικές χρονοσειρές που προέκυψαν, συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό στατιστικά με την ιστορική χρονοσειρά

Αφού λοιπόν, παρήχθησαν τα ομοιώματα της ιστορικής χρονοσειράς και εκτιμήθηκαν οι παράμετροί τους, έγινε διαγνωστικός έλεγχος για την καταλληλότητά τους να αναπαριστούν την ιστορική χρονοσειρά. Στη συγκεκριμένη μελέτη, η μέθοδος ελέγχου καταλληλότητας που χρησιμοποιήθηκε είναι το Τεστ Anderson. Με βάση το τεστ Anderson, οι εκτιμημένες αυτοσυσχετίσεις των χρονοσειρών πρέπει να μη συσχετίζονται και να είναι κατανομημένες στην κανονική κατανομή με μηδέν μέσο όρο και τυπικό σφάλμα $\sqrt{(1/N)}$. Δηλαδή, το $\sqrt{(1/N)}$ είναι ένα άνω όριο τυπικού σφάλματος στις αυτοσυσχετίσεις ρ_k (Μιμίκου, 2006). Για το μοντέλο AR(1), υπολογίστηκε ο λευκός θόρυβος από τη σχέση:

$$\alpha_i = Y_{p,t} - \rho_1 \cdot Y_{p,t-1}$$

Όπου, ρ_1 ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης της μονιμοποιημένης ιστορικής χρονοσειράς και Y οι τιμές της συνθετικής που παράχθηκε από το μοντέλο. Σύμφωνα, λοιπόν, με το τεστ Anderson, οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης για το λευκό θόρυβο πρέπει να είναι μέσα στο διάστημα $\pm 1/\sqrt{N}$ όπου $N=12 \times 23 = 276$. Επειδή, κανένα ομοίωμα δεν έδωσε αποδεκτά αποτελέσματα με το 1 τυπικό σφάλμα, επιλέχθηκε το όριο των 2 τυπικών σφαλμάτων $\pm 2/\sqrt{N}$. Έτσι, επιλέχθηκε ενδεικτικά μία από τις 50 συνθετικές χρονοσειρές, έγινε το τεστ Anderson και προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Αυτοσυσχετόγραμμα υπολοίπων από AR(1) ενδεικτικά για μία από τις συνθετικές χρονοσειρές.

Από το Σχήμα 4.1, προέκυψε ότι το AR(1) πέρασε το τεστ λευκότητας των υπολοίπων και ήταν κατάλληλο για την προσομοίωση της ιστορικής χρονοσειράς, εκτός από 1 τιμή.

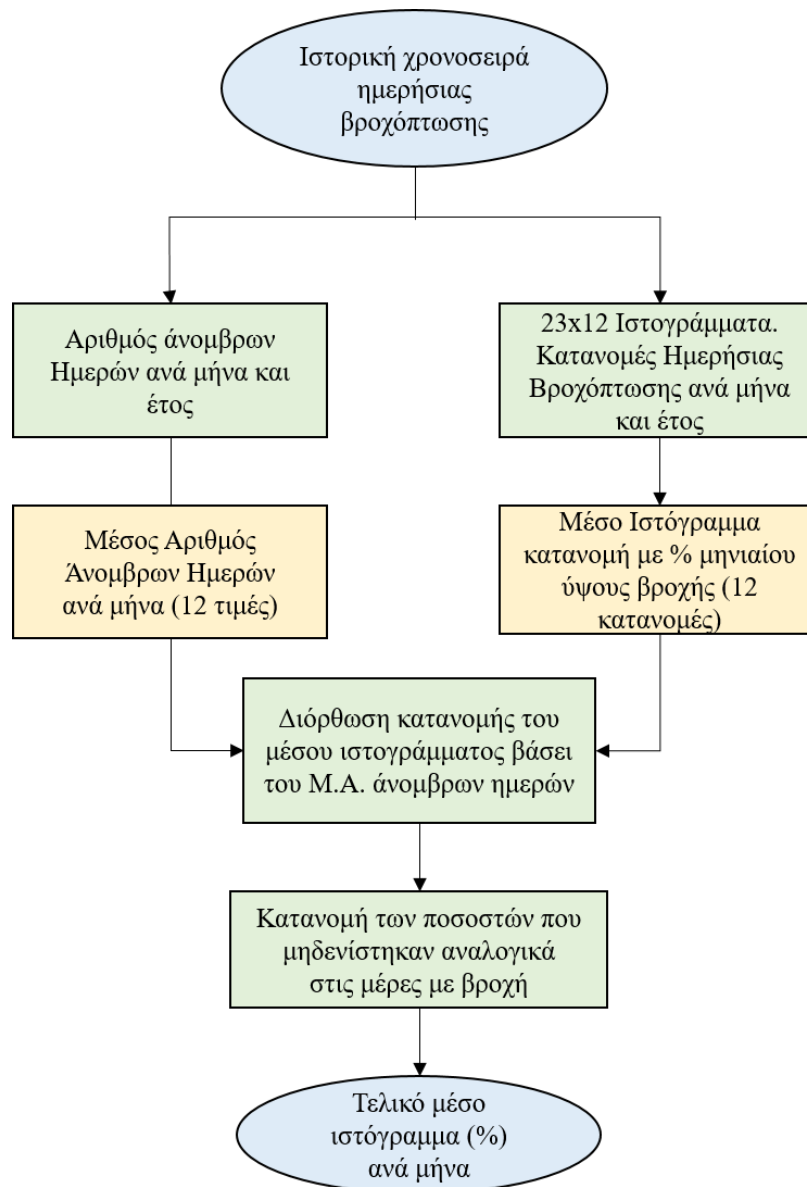
Στη συνέχεια, έγινε η παραγωγή των ημερήσιων συνθετικών χρονοσειρών, τρεις εκ των οποίων χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο διαστασιολόγησης συστήματος συλλογής ομβρίων που περιγράφηκε παραπάνω.

4.2.2. Επιμερισμός των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσιες (disaggregation)

Από τις μηνιαίες συνθετικές χρονοσειρές κρίθηκε σκόπιμο να παραχθούν οι ημερήσιες συνθετικές χρονοσειρές προκειμένου να εφαρμοστεί το μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής σε ημερήσιο χρονικό βήμα. Έτσι, έγινε επιμερισμός των μηνιαίων τιμών σε ημερήσιες ανά μήνα.

Αναφορικά με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, αρχικά υπολογίστηκε ο μέσος όρος άνομβρων ημερών κάθε μήνα και η μέση κατανομή (%) ημερήσιων υψών βροχής στα 23 χρόνια των ιστορικών δεδομένων βροχόπτωσης. Από τα ημερήσια ποσοστά βροχής των 23 χρόνων, υπολογίστηκε για κάθε ημέρα του μήνα μέσο ημερήσιο ποσοστό βροχής (για 1/10-31/10, 1/11-30/11 κ.ο.κ.). Γνωρίζοντας τον μέσο όρο άνομβρων ημερών, μηδενίστηκαν τα ποσοστά βροχής που αντιστοιχούν σε άνομβρες ημέρες και διατηρήθηκαν τα υψηλότερα ποσοστά ως μέρες που έβρεξε. Για παράδειγμα, αν για τον Οκτώβρη υπολογίστηκαν κατά μέσο

όρο 20 άνομβρες μέρες, τότε θεωρείται ότι καταγράφεται βροχόπτωση 11 μέρες το μήνα, που αντιστοιχούν στα υψηλότερα ποσοστά βροχής. Σημειώνεται ότι, τα ποσοστά που αντιστοιχούν στις μέρες που μηδενίστηκαν ως «άνομβρες» μοιράστηκαν αναλογικά στα ποσοστά των ημερών με βροχόπτωση.



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ροής διαδικασίας επιμερισμού (disaggregation)

Από τις 50 συνθετικές χρονοσειρές που παρήχθησαν, επιλέχθηκαν η ‘μέση’ συνθετική χρονοσειρά $AR(1)_4$ ¹ (ίδια μέση ημερήσια βροχόπτωση με την ιστορικής), η ‘ελάχιστη’ συνθετική χρονοσειρά $AR(1)_{15}$ (μικρότερη μέση ημερήσια βροχόπτωση από τις 50 συνθετικές χρονοσειρές και μικρότερη της ιστορικής) και η ‘μέγιστη’ συνθετική χρονοσειρά $AR(1)_{44}$ (μέγιστη μέση ημερήσια βροχόπτωση από τις 50 συνθετικές χρονοσειρές και μεγαλύτερη της

¹ Ο δείκτης $AR(1)_i$, όπου $1 \leq i \leq 50$ υποδηλώνει τον αύξοντα αριθμό της συνθετικής χρονοσειράς

ιστορικής) μήκους 40 ετών, ως ενδεικτικές χρονοσειρές για τη διαστασιολόγηση συστήματος συλλογής ομβρίων στην Κίμωλο και τη μελέτη μιας μέσης και δύο ακραίων καταστάσεων όσον αφορά το βροχομετρικό καθεστώς. Στον Πίνακα 4.1, δίνονται η μέση ημερήσια βροχόπτωση της ιστορικής χρονοσειράς και των συνθετικών χρονοσειρών που επιλέχθηκαν.

Πίνακας 4.1: Μέση ημερήσια βροχόπτωση της ιστορικής χρονοσειράς και των επιλεγμένων συνθετικών χρονοσειρών

<i>Χρονοσειρά</i>	<i>Μέση Ημερήσια Βροχόπτωση</i>
Ιστορική	1,049
‘Μέση’ Συνθετική AR(1) ₄	1,049
‘Ελάχιστη’ Συνθετική AR(1) ₁₅	0,937
‘Μέγιστη’ Συνθετική AR(1) ₄₄	1,119

4.3.Εφαρμογή της μεθοδολογίας στην Κίμωλο

4.3.1. Βροχομετρικά δεδομένα

Για την εφαρμογή στο Νησί της Κιμώλου, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης από τον μετεωρολογικό σταθμό της Μήλου για την περίοδο 1990-2012. Πρόκειται για δεδομένα περιόδου 23 χρόνων που επαρκεί για την εξέταση διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών σύμφωνα με το γερμανικό κανονισμό DIN 1989-1 (2002) του Γερμανικού Ινστιτούτου Τυποποίησης.

Στο Σχήμα 4.3 φαίνονται τα ημερήσια ύψη βροχής με βάση τα ιστορικά βροχομετρικά δεδομένα των 23 χρόνων στη Νήσο Κίμωλο.



Σχήμα 4.3: Ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα της Ν.Κιμώλου από το 1990-2011 (Πηγή: Μετεωρολογικός Σταθμός Μήλου)

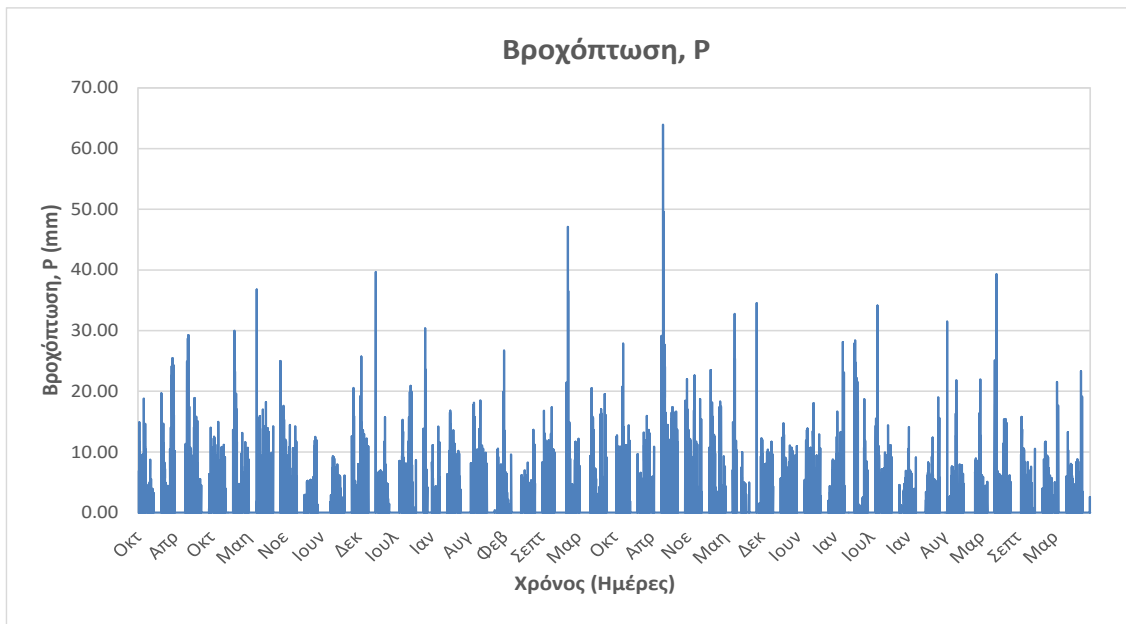
Οι τιμές ημερήσιας βροχόπτωσης κυμαίνονται από 0 έως 127 mm στη χρονική περίοδο που εξετάζεται. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 382,9 mm και υπολογίστηκε από:

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

Όπου N το πλήθος ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης για 23 έτη και P_i η ημερήσια τιμή βροχόπτωσης.

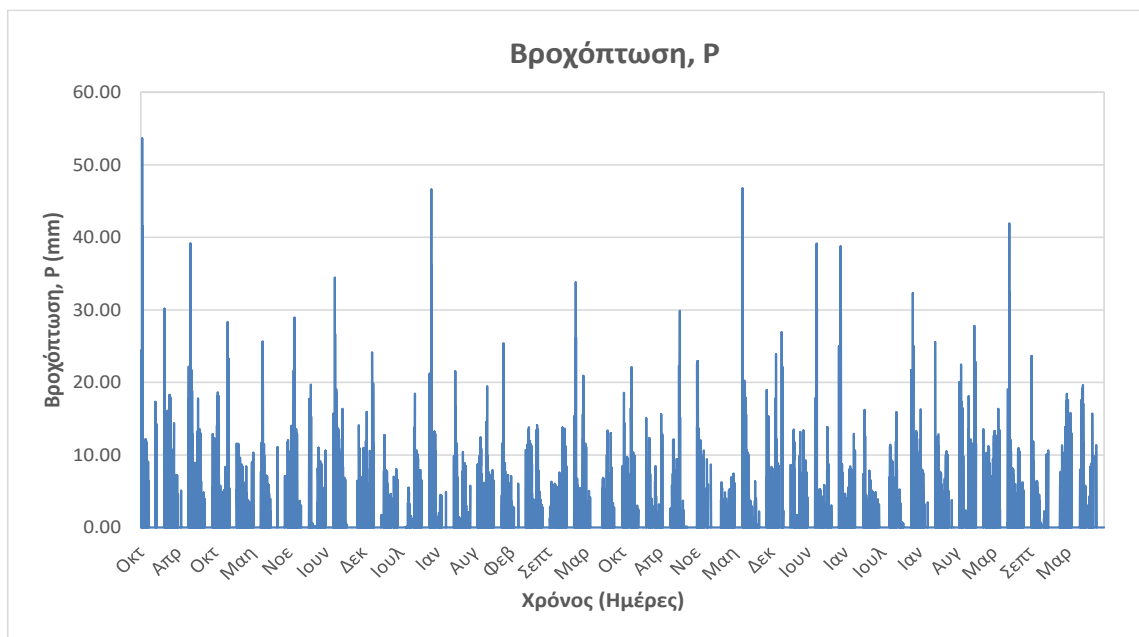
Ως άνομβρη περίοδος ορίζεται ο αριθμός των ημερών χωρίς βροχόπτωση ή με ωφέλιμη βροχόπτωση μικρότερη ή ίση του 1mm. Η μέγιστη άνομβρη περίοδος που καταγράφηκε στα 23 χρόνια δεδομένων είναι από τις 21/4/1992- 13/11/1993, διάρκειας 191 ημερών. Ωστόσο, οι συνολικές μέρες χωρίς βροχόπτωση για τα δεδομένα των 23 ετών (ωφέλιμη βροχόπτωση μικρότερη ή ίση του 1mm) ήταν 7.518 ημέρες. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι η Κίμωλος έχει πολύ χαμηλό βροχομετρικό καθεστώς.

Στα Σχήματα 4.4, 4.5, και 4.6 φαίνονται τα ημερήσια ύψη βροχής για τη ‘μέση’, την ‘ελάχιστη’ και τη ‘μέγιστη’ συνθετική χρονοσειρά αντίστοιχα.



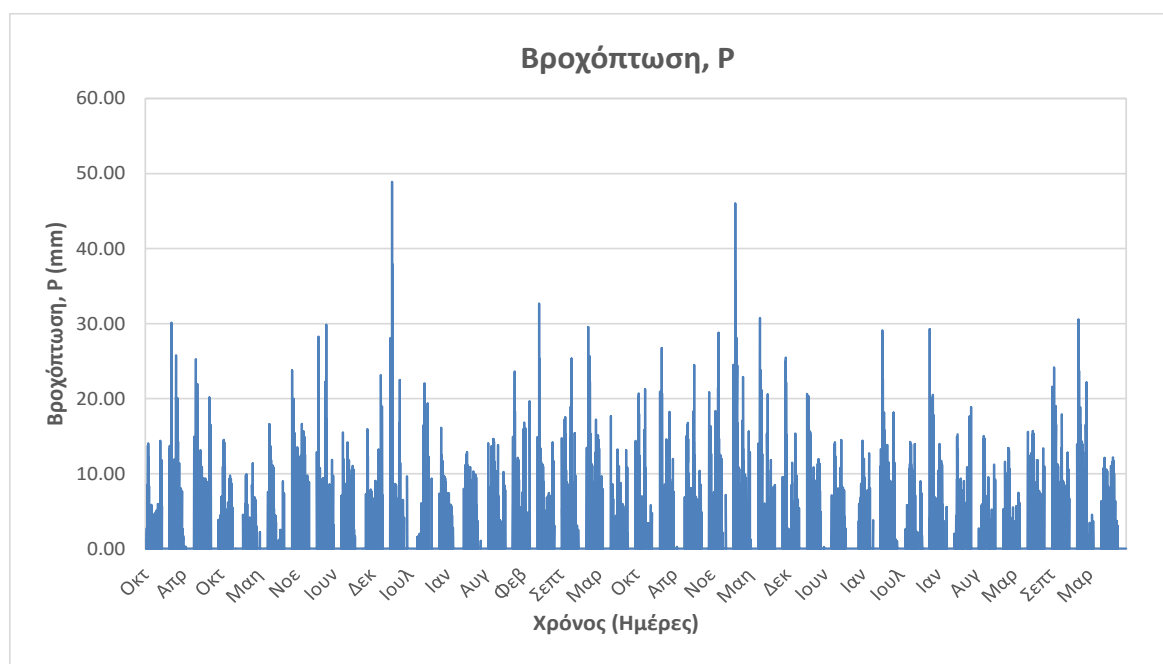
Σχήμα 4.4: Δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης της μέσης συνθετικής χρονοσειράς μήκους 40ετών.

Στη ‘μέση’ συνθετική χρονοσειρά, το ύψος της βροχής κυμαίνεται από 0 έως 63,97 mm (Σχήμα 4.4). Το μέγιστο ύψος βροχής είναι μικρότερο σε σχέση με αυτό της ιστορικής χρονοσειράς. Ωστόσο, η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι ίση με αυτής της ιστορικής, δηλαδή 383 mm, γεγονός που οφείλεται ότι οι χρονοσειρές προέκυψαν με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής χρονοσειράς των 23 ετών. Η συγκεκριμένη χρονοσειρά είναι η πιο κοινή με την ιστορική χρονοσειρά με ίδια μέση τιμή. Η μεγαλύτερη περίοδο ανομβρίας στα 40 έτη είναι 212 ημέρες, ενώ συνολικά οι ημέρες χωρίς βροχόπτωση για 40 έτη είναι 12.688 ημέρες.



Σχήμα 4.5: Δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης της ελάχιστης συνθετικής χρονοσειράς μήκους 40 ετών.

Στην ‘ελάχιστη’ συνθετική χρονοσειρά (Σχήμα 4.5) το ύψος βροχής κυμαίνεται από 0 έως 53,64 mm. Η συγκεκριμένη συνθετική χρονοσειρά έχει μικρότερη μέση τιμή σε σχέση με την ιστορική. Αυτό σημαίνει, ότι τα δεδομένα βροχόπτωσης είναι δυσμενέστερα σε σχέση με της ιστορικής χρονοσειράς. Η μέση ετήσια βροχόπτωση της ελάχιστης συνθετικής για τα 40 χρόνια είναι 342 mm, η οποία είναι μικρότερη αυτής της ιστορικής χρονοσειράς. Συνεπώς, εκτός του ότι είναι δυσμενέστερη όσον αφορά το βροχομετρικό καθεστώς, δεν προσομοιάζει επαρκώς την ιστορική χρονοσειρά. Η μεγαλύτερη περίοδο ανομβρίας για την συγκεκριμένη χρονοσειρά στα 40 χρόνια είναι 198 ημέρες, ενώ οι συνολικές μέρες χωρίς βροχόπτωση στα 40 χρόνια ήταν 12.776 ημέρες.



Σχήμα 4.6: Δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης της μέγιστης συνθετικής χρονοσειράς μήκους 40 ετών.

Στη ‘μέγιστη’ συνθετική χρονοσειρά (Σχήμα 4.6) το ύψος της βροχόπτωσης κυμαίνεται από 0 έως 48.90 mm. Η συγκεκριμένη χρονοσειρά έχει μεγαλύτερη μέση τιμή σε σχέση με αυτή της ιστορικής χρονοσειράς. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στα 40 χρόνια είναι 408 mm και η μεγαλύτερη περίοδος ανομβρίας είναι 198 ημέρες. Οι συνολικές μέρες χωρίς βροχόπτωση είναι 12.606 ημέρες. Το γεγονός, ότι εμφανίζει μεγαλύτερη μέση ετήσια βροχόπτωση σημαίνει ότι η συγκεκριμένη χρονοσειρά δεδομένων βροχόπτωσης είναι ευμενέστερη σε σχέση με την ιστορική, αλλά δεν προσομοιάζει την ιστορική χρονοσειρά, όπως γίνεται με την μέση συνθετική.

Ωστόσο, παρατηρείται ότι και οι τρεις χρονοσειρές εμφανίζουν περίπου ίδιο αριθμό ημερών χωρίς βροχή και μέγιστη άνομβρη περίοδος, ενώ διαφοροποιούνται στην κατανομή των υγρών

και των ξηρών ημερών. Αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται στο γεγονός ότι το μοντέλο AR(1), όπως και τα περισσότερα απλά μοντέλα, έχει την τάση ομαδοποίησης χαμηλών (ή ψηλών) τιμών σε μεγαλύτερες περιόδους ξηρασιών (ή υδρολογικά πλούσιων) ετών (Κουτσόγιαννης, 2013). Έτσι, αυτό συμβάλλει στη διαφοροποίηση των συνθετικών χρονοσειρών από την ιστορική χρονοσειρά ως προς την κατανομή.

4.3.2. Παραδοχές

Στη συγκεκριμένη μελέτη, 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:

$$P_{eff,t} = P_t - 0,33$$

Οπότε, η μέση ετήσια ωφέλιμη βροχόπτωση, $\overline{P_{eff}}$, είναι 365,4 mm και υπολογίζεται από τη σχέση:

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

Όπου N ο συνολικός αριθμός ημερών δεδομένων βροχόπτωσης (8395 days).

❖ Συντελεστής απορροής, C

Οι στέγες των κατοικιών στην Κίμωλο είναι επίπεδες και χρησιμοποιούν στην πλειοψηφία τους τσιμέντο ή πλακάκια. Αυτό οδηγεί στην επιλογή της τιμής του συντελεστή απορροής το $C=0,9$ για τα συγκεκριμένα υλικά (Kinkade-Levario H., 2007).

❖ Επιφάνεια συλλογής ομβρίων, A

Η ποσότητα του συλλεγόμενου νερού εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος της διαθέσιμης επιφάνειας απορροής. Στην Κίμωλο, σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, οι επιφάνειες των κτιρίων στην πλειοψηφία τους κυμαίνονται κάτω από τα 100 m². Ωστόσο, υπάρχουν και κτίρια που καλύπτουν μεγαλύτερες επιφάνειες. Το γεγονός ότι σαν επιφάνεια

απορροής εκτός από την στέγη του σπιτιού, μπορεί να αποτελέσει και κάποιο στέγαστρο (π.χ. σκιάστρο, επιφάνεια του γκαράζ) θα εξεταστούν και μεγαλύτερες επιφάνειες από τα 100 m². Άλλος ένας λόγος για να γίνει αυτό είναι ότι η Κίμωλος είναι ένα νησί που τα τελευταία χρόνια αναπτύσσει τον τουρισμό της και δεν αποκλείεται μελλοντικά να υπάρχουν νέες κατασκευές κτιρίων όπως ξενοδοχεία, νέα καταλύματα, εστιατόρια κλπ. Οι επιφάνειες που θα εξεταστούν είναι από 80-300 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 επιλεγθεί νοικοκυριό με 4 εξυπηρετούμενα άτομα ($N_{cap}=4$).

❖ Κατανάλωση νερού κατ' άτομο, q

Η ημερήσια οικιακή κατανάλωση νερού ανά άτομο, q , που εξετάζεται αντιστοιχεί σε 150 L/κάτοικο/ημέρα, μία μέση τιμή των ορίων της σχετικής ΚΥΑ. Σύμφωνα με τις ετήσιες ανάγκες νερού του νησιού της Κιμώλου, μία τέτοια τιμή είναι ρεαλιστική και ίσως και λίγο υπερτιμημένη. Ωστόσο, λόγω του ότι είναι σημαντικό να εξεταστεί η κάλυψη αναγκών των κατοίκων σε περιόδους αιχμής με τον τουρισμό, επιλέχθηκε η αντίστοιχη ημερήσια κατανάλωση. Παρόλο, που λόγω του χρόνιου προβλήματος λειψυδρίας οι κάτοικοι κάνουν οικονομία στο νερό που τους διατίθεται, δε γίνεται το ίδιο με τους επισκέπτες του νησιού. Για να εξεταστεί όμως και η πιο συντηρητική εκδοχή, θα εξεταστεί και η απόδοση του συστήματος συλλογής ομβρίων υδάτων για ημερήσια οικιακή κατανάλωση 120 L/κάτοικο/ημέρα.

❖ Ποσοστό χρήσης συστήματος, p

Όσον αφορά το ποσοστό χρήση συστήματος, p , επιλέχθηκε το ποσοστό 35% που θα αντιστοιχεί σε νερό για πότισμα και πλυντήριο. 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%). Οπότε θεωρώντας το 15% για πλυντήρια και 20% για πότισμα, πλύσιμο αυτοκινήτου κ.α., επιλέχθηκε ποσοστό χρήσης συστήματος 35%.

Ένας άλλος λόγος που επιλέχθηκε χαμηλό ποσοστό χρήσης είναι το χαμηλό βροχομετρικό καθεστώς της περιοχής.

❖ Μέγεθος ομβροδεξαμενής, V_{tank}

Οι όγκοι που εξετάστηκαν ξεκινούν από 5 έως 50 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.

4.3.3 Σενάρια μελέτης

Με βάση τα στοιχεία από την απογραφή και με σκοπό να εξεταστούν σενάρια λειτουργίας του συστήματος συλλογής ομβρίων για τις ημέρες αιχμής του νησιού, επιλέχθηκαν τα παρακάτω σενάρια:

❖ Σενάριο 1

Νοικοκυριό 4 ατόμων, με ποσοστό χρήσης συστήματος 35% (πλυντήρια-πότισμα κ.α.), ημερήσια κατανάλωση νερού 150 L/κάτοικο/ημέρα με μεταβολή του όγκου και της επιφάνειας συλλογής A για την εύρεση του συντελεστή αξιοπιστίας Re για το σύστημα συλλογής ομβρίων.

❖ Σενάριο 2

Νοικοκυριό 4 ατόμων, με ποσοστό χρήσης συστήματος 35% (πλυντήρια-πότισμα κ.α.), ημερήσια κατανάλωση νερού 150 L/κάτοικο/ημέρα και 120 L/κάτοικο/ημέρα, με μεταβολή της επιφάνειας συλλογής A, για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re (55%, 65%, 75%, 85% και 95%) για την εύρεση του όγκου δεξαμενής (V_{tank}) του συστήματος συλλογής ομβρίων.

Με βάση τα παραπάνω σενάρια μελετήθηκε η αξιοπιστία ενός συστήματος συλλογής ομβρίων για το νησί της Κιμώλου, καθώς και ο όγκος ομβροδεξαμενής που απαιτείται για επιθυμητή αξιοπιστία συστήματος.

5. Αποτελέσματα-Συζήτηση

5.1. Εφαρμογή μοντέλου ισοζυγίου ομβροδεξαμενής στην Κίμωλο

Αρχικά, εφαρμόστηκε το μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής για την Κίμωλο με ένα αντιπροσωπευτικό σενάριο. Ως επιφάνεια συλλογής, επιλέχθηκε λίγο μεγαλύτερη σε σχέση με τα m^2 των επιφανειών των σπιτιών στην Κίμωλο, θεωρώντας ότι σε αυτά δεν συμπεριλαμβάνονται πρόσθετες κατασκευές (σκιάστρα, στέγη πάρκινγκ κλπ.). Οπότε το σενάριο που εξετάστηκε είναι: επιφάνεια συλλογής $A=120 m^2$, ποσοστό ζήτησης $p=35\%$, αριθμός ατόμων $N_{cap}=4$, χωρητικότητα ομβροδεξαμενής $V_{tank}=50 m^3$, και ημερήσια κατανάλωση $q=150 L/day/κάτοικο$. Θεωρήθηκε ότι η λειτουργία του συστήματος ξεκινάει με γεμάτη δεξαμενή και όγκο νερού ίσο με τη χωρητικότητά της, δηλαδή $50 m^3$. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε το μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής για το συγκεκριμένο σενάριο, βρέθηκε ο συντελεστής αποδοτικότητας Re του συστήματος και μέσα από διαγράμματα φαίνονται οι συνθήκες λειτουργίας του.

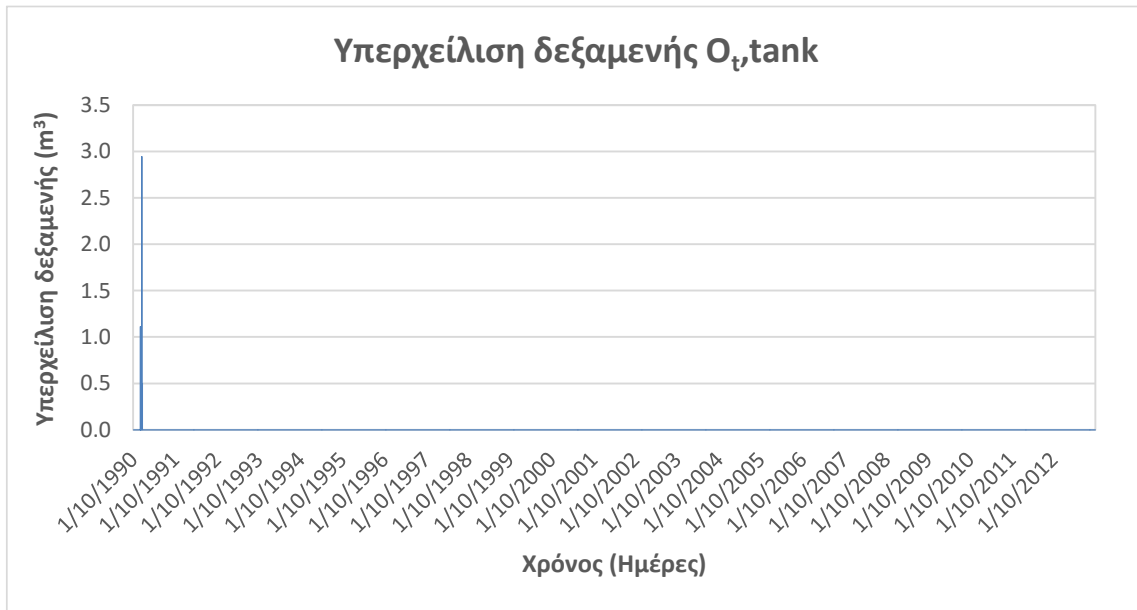
Με βάση το μοντέλο, για τις παραπάνω συνθήκες, η αξιοπιστία του συστήματος είναι $Re=52,83\%$. Συγκεκριμένα, το σύστημα καλύπτει τις ανάγκες των κατοίκων για 4.435 από τις 8.395 ημέρες σε περίοδο 23 ετών.



Σχήμα 5.1: Αποθηκευμένος όγκος νερού στην δεξαμενή συλλογής νερού για $N_{cap}=4$, $p=35\%$, $q=150 L/day/κάτοικο$, $A=120 m^2$ και $V_{tank}=50 m^3$.

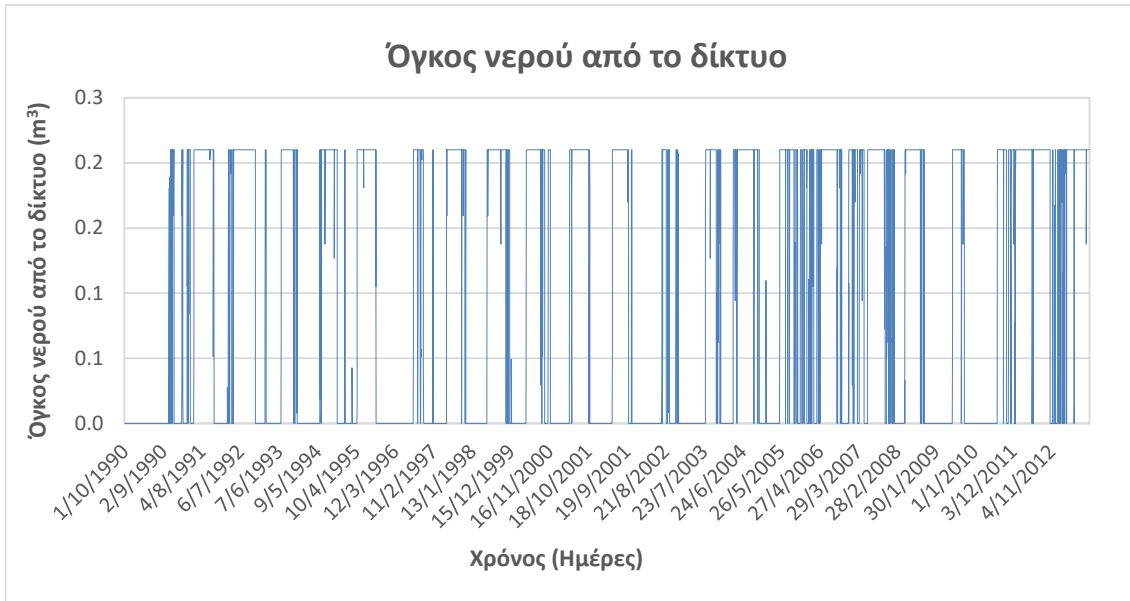
Στο Σχήμα 5.1, φαίνεται ο αποθηκευμένος όγκος νερού κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος με τα δεδομένα βροχόπτωσης των 23 χρόνων. Αυτός ο όγκος νερού προορίζεται

για την κάλυψη 35% των αναγκών των κατοίκων με ημερήσια κατανάλωση 150 L/day/κάτοικο. Σύμφωνα με το μοντέλο, η ημερήσια ποσότητα νερού που απαιτείται από το σύστημα είναι 210 L/day. Οι διακυμάνσεις του σχήματος δείχνουν αυξομειώσεις της ποσότητας του νερού στη δεξαμενή που αυτό φυσικά οφείλεται στο υδατικό ισοζύγιο που αναλύθηκε παραπάνω. Τις υπόλοιπες ημέρες οι ανάγκες των κατοίκων καλύπτονται από το δίκτυο ύδρευσης με παροχή νερού από τις υδροφόρες.



Σχήμα 5.2: Υπερχείλιση της δεξαμενής συλλογής νερού O_t, για $N_{cap}=4$, $p=35\%$, $q=150$ L/day/κάτοικο, $A=120$ m² και $V_{tank}=50$ m³.

Στο Σχήμα 5.2, φαίνεται η υπερχειλίση της ομβροδεξαμενής κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος. Παρατηρείται μία μικρή υπερχειλίση στη λειτουργία του συστήματος κατά τα πρώτα χρόνια, ενώ στη συνέχεια η υπερχειλίση είναι μηδενική. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει πλεόνασμα νερού κατά την περίοδο των 23 χρόνων και άρα ο όγκος των 50 m³ είτε επαρκεί είτε είναι αρκετά μεγάλος για ένα τέτοιο σενάριο. Έτσι, τα 50 m³ δε σημαίνει ότι είναι και ο βέλτιστος όγκος για ένα σύστημα στην Κίμωλο. Ο βέλτιστος όγκος του συστήματος θα εξεταστεί παρακάτω.



Σχήμα 5.3: Όγκος νερού που παρέχεται από το δίκτυο για $N_{cap}=4$, $p=35\%$, $q=150$ L/day/κάτοικο, $A=120$ m² και $V_{tank}=50$ m³.

Στο Σχήμα 5.3, φαίνεται η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται από το δίκτυο σε περίοδο 23 χρόνων. Αρκετές φαίνονται να είναι οι περιπτώσεις που το νερό του δικτύου αντικαθιστά την κάλυψη νερού από την ομβροδεξαμενή, γεγονός που οφείλεται πιθανόν στο χαμηλό βροχομετρικό καθεστώς της περιοχής ή στην κακή διαστασιολόγηση (π.χ. μικρή επιφάνεια συλλογής, επιλογή λάθος όγκου δεξαμενής κλπ.).



Σχήμα 5.4: Αθροιστικός όγκος νερού που παρέχεται από το δίκτυο για $N_{cap}=4$, $p=35\%$, $q=150$ L/day/κάτοικο, $A=120$ m² και $V_{tank}=50$ m³.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.4, η συνολική ποσότητα του νερού (αθροιστική) που χρησιμοποιήθηκε από το δίκτυο σε περίοδο λειτουργίας του συστήματος συλλογής ομβρίων

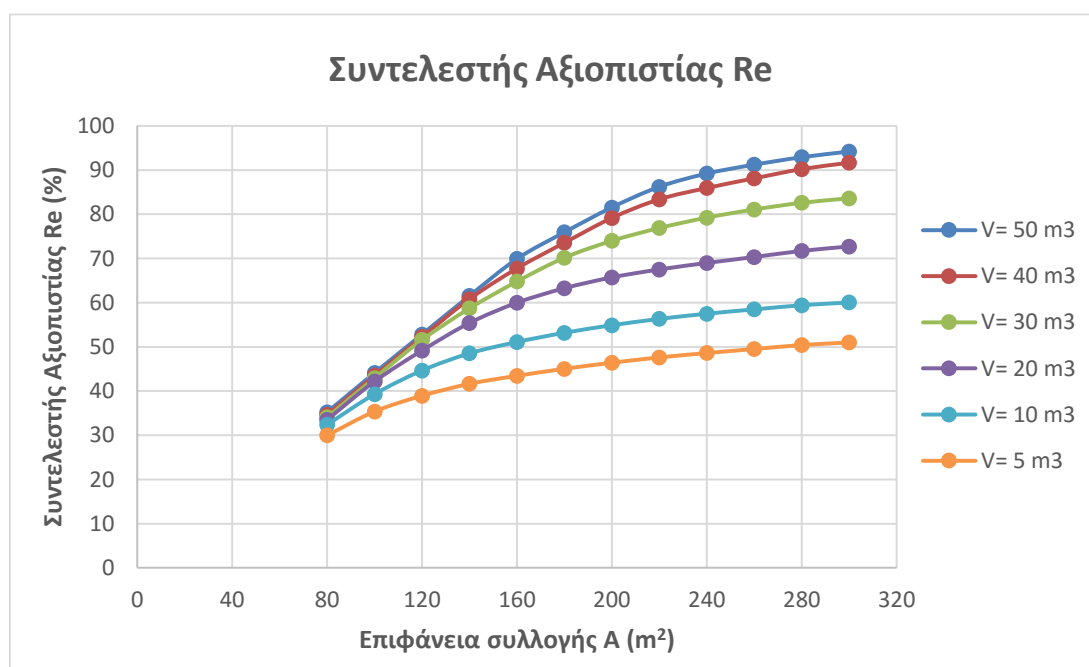
είναι 811,69 m³. Το νερό αυτό παρέχεται στους κατοίκους όταν το νερό που βρίσκεται στη δεξαμενή αποθήκευσης βρόχινου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες τους.

5.2. Διερεύνηση αξιοπιστίας Re του συστήματος συλλογής ομβρίων

5.2.1. Σενάριο 1

Αρχικά, εφαρμόστηκε το Σενάριο 1 ($N_{cap}=4$, $p=35\%$, $q=150$ L/day/κάτοικο) μεταβάλλοντας κάθε φορά την επιφάνεια συλλογής A (80-300 m²) και τον όγκο δεξαμενής V_{tank} (5-50 m³). Τα βροχομετρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι η ιστορική χρονοσειρά, η ‘μέση’, η ‘ελάχιστη’ και η ‘μέγιστη’ συνθετική χρονοσειρά.

A) Συντελεστής αξιοπιστίας Re για την Ιστορική Χρονοσειρά

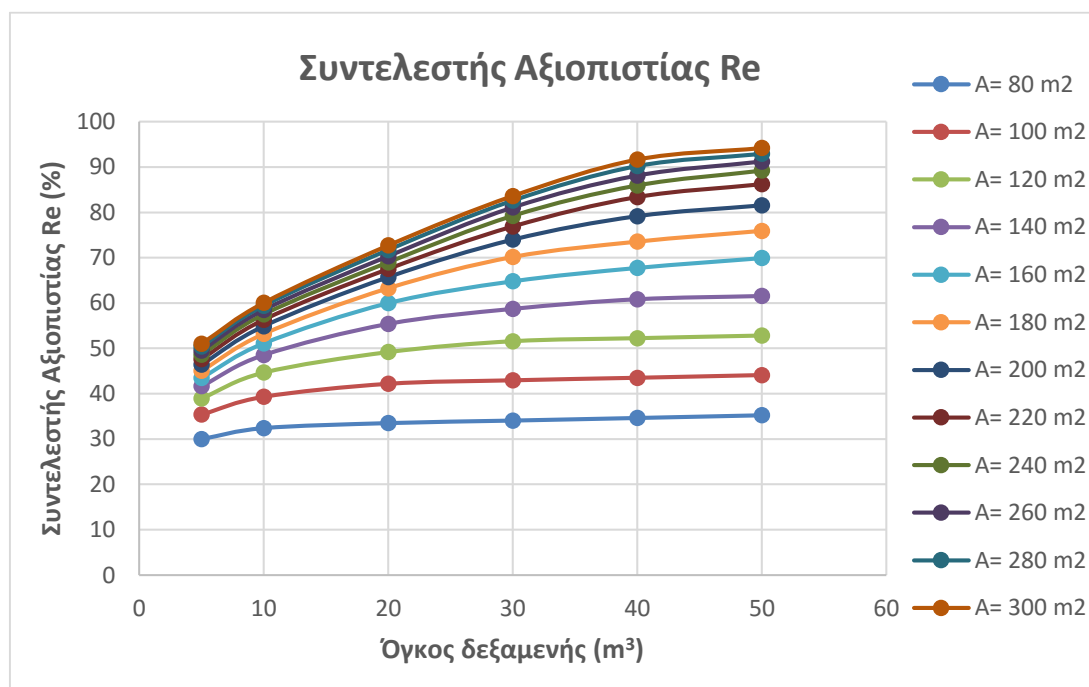


Σχήμα 5.5: Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (80-300 m²) για όγκους 5-50 m³ με τα βροχομετρικά δεδομένα της ιστορικής χρονοσειράς.

Στο Σχήμα 5.5 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας με χρήση της ιστορικής χρονοσειράς μήκους 23 ετών. Οι τιμές της απόδοσης Re κυμαίνονται από 30-94%.

Για όγκους δεξαμενής 5 και 10 m³ παρατηρείται μικρή μεταβολή της αξιοπιστίας, με μέγιστη τιμή το 50% και το 60% αντίστοιχα. Για όγκο δεξαμενής 20 m³, η αξιοπιστία φτάνει περίπου το 72%, αλλά για πολύ μεγάλη επιφάνεια συλλογής. Για μεγαλύτερους όγκους δεξαμενής 30, 40 και 50 m³, ο συντελεστής Re του συστήματος αυξάνεται ιδιαίτερα με την αύξηση της επιφάνειας συλλογής και φτάνει μέγιστη τιμή 82%, 91% και 94% αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι μεγάλη αξιοπιστία συστήματος επιτυγχάνεται για μεγάλη επιφάνεια συλλογής και

δεξαμενές μεγαλύτερες των 30 m³. Για δεξαμενές 5 και 10 m³, όσο και να αυξάνεται η επιφάνεια συλλογής, η αξιοπιστία αυξάνεται ελάχιστα και παραμένει σε χαμηλά επίπεδα (Re<60%).



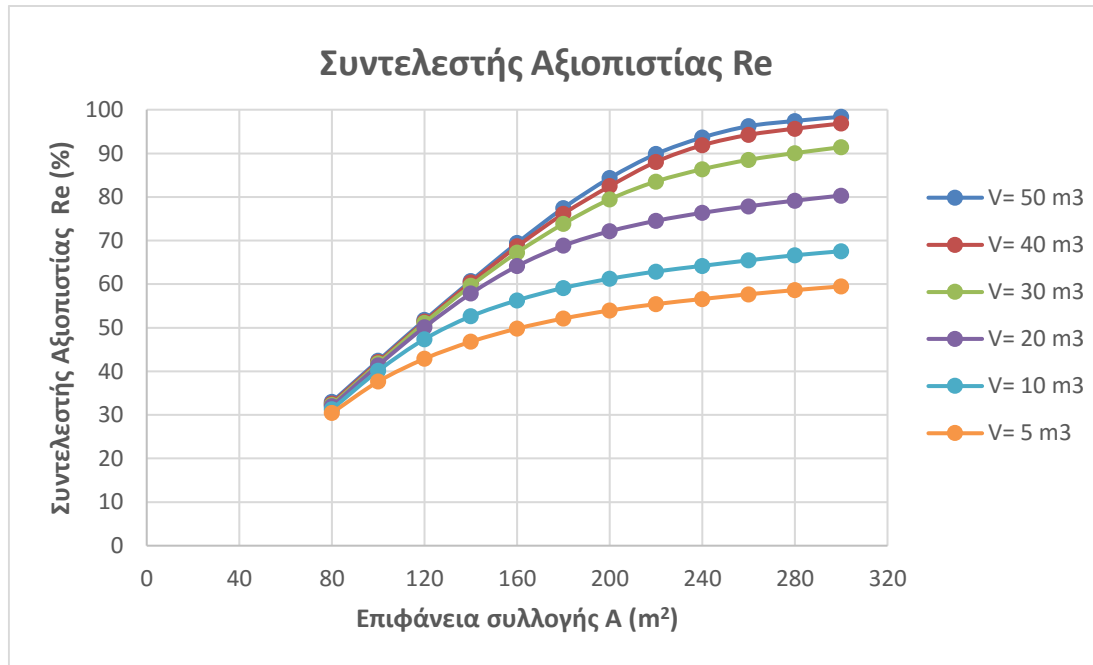
Σχήμα 5.6: Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με τον όγκο της δεξαμενής 5-50 m³ για επιφάνειες συλλογής A (80-300 m²) και με τα βροχομετρικά δεδομένα της ιστορικής χρονοσειράς.

Στο Σχήμα 5.6 απεικονίζεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με τον όγκο τις δεξαμενής V_{tank} για διαφορετικές επιφάνειες A.

Για επιφάνεια 80, 100 και 120 m², ο συντελεστής Re κυμαίνεται από περίπου 30-52% και δε μεταβάλλεται σημαντικά παρά την αύξηση του όγκου από 5 σε 50 m³. Συνεπώς, ένα σύστημα με τόσο μικρή επιφάνεια δεν έχει μεγάλη αξιοπιστία ειδικά για τις επιφάνειες 80 και 100 m². Γενικά παρατηρείται ότι οι επιφάνειες που ανταποκρίνονται καλύτερα στην αύξηση του όγκου δεξαμενής, αυξάνοντας την αξιοπιστία του συστήματος είναι από 180-300 m². Για τέτοιες επιφάνειες, η επιλογή μεγαλύτερη δεξαμενής βελτιώνει την αξιοπιστία του συστήματος. Οι μικρότερες επιφάνειες δεν αυξάνουν σημαντικά την αξιοπιστία με την αύξηση του όγκου, πετυχαίνοντας μέγιστη αξιοπιστία περίπου 52%. Ιδιαίτερα για επιφάνεια 80-100 m², η αύξηση του όγκου δεν αυξάνει σχεδόν καθόλου την αξιοπιστία του συστήματος με μέγιστη τιμή το 44%, ακόμα και με χρήση της μεγαλύτερης δεξαμενής (50 m³). Επίσης, ανάλογα με την επιφάνεια συλλογής που εξετάζεται, προτιμάται ο ελάχιστος όγκος δεξαμενής με το συντελεστή αποδοτικότητας που ζητείται, αν παρατηρείται ότι ο μεγαλύτερος όγκος δεξαμενής δεν αυξάνει περαιτέρω τον συντελεστή Re. Για παράδειγμα, για επιφάνεια

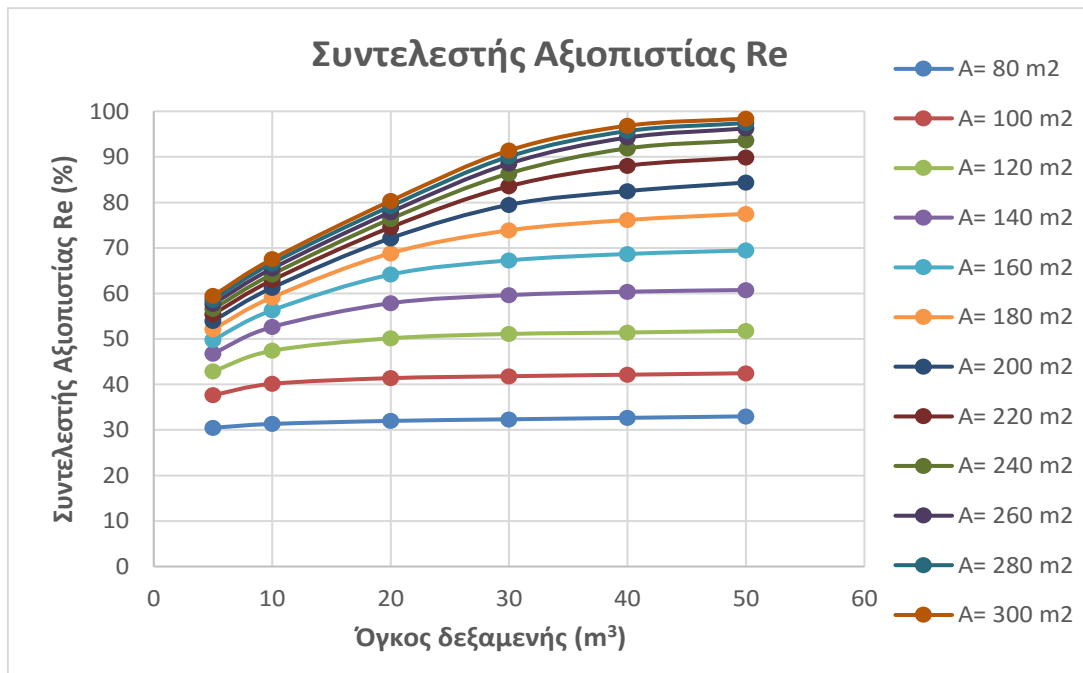
συλλογής 120 m² η αξιοπιστία είναι ίδια με μία δεξαμενή 30 και 50 m³. Επομένως, σε τέτοιες περιπτώσεις επιλέγεται ο μικρότερος όγκος για την εξοικονόμηση κόστους και χώρου εγκατάστασης.

B) Συντελεστής αξιοπιστίας Re για τη ‘μέση’ συνθετική χρονοσειρά



Σχήμα 5.7: Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (80-300 m²) για όγκους 5-50 m³ με τα βροχομετρικά δεδομένα της μέσης συνθετικής χρονοσειράς.

Στο Σχήμα 5.7 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής για διαφορετικούς όγκους δεξαμενής V_{tank} με χρήση της ‘μέσης’ συνθετικής χρονοσειράς μήκους 40 ετών. Ο συντελεστής αξιοπιστίας Re κυμαίνεται από 30-98%. Παρατηρείται ότι αυξάνοντας την επιφάνεια συλλογής αυξάνεται και η αξιοπιστία του συστήματος για όλους τους όγκους. Ωστόσο, παρατηρείται (όπως και με την ιστορική χρονοσειρά) ότι οι μεγαλύτεροι όγκοι δεξαμενής αυξάνουν περισσότερο την αξιοπιστία του συστήματος σε αντίθεση με τους μικρούς όγκους. Συγκεκριμένα, οι όγκοι δεξαμενής 30, 40 και 50 m³, με τη χρήση μεγάλων επιφανειών συλλογής (A>200m²) μπορούν να εξασφαλίσουν αξιοπιστία μεγαλύτερη του 85%. Οι όγκοι 5 και 10 m³ παρά την αύξηση της επιφάνειας συλλογής, δεν αυξάνουν ιδιαίτερα την αξιοπιστία με μέγιστη τιμή της περίπου το 65%.

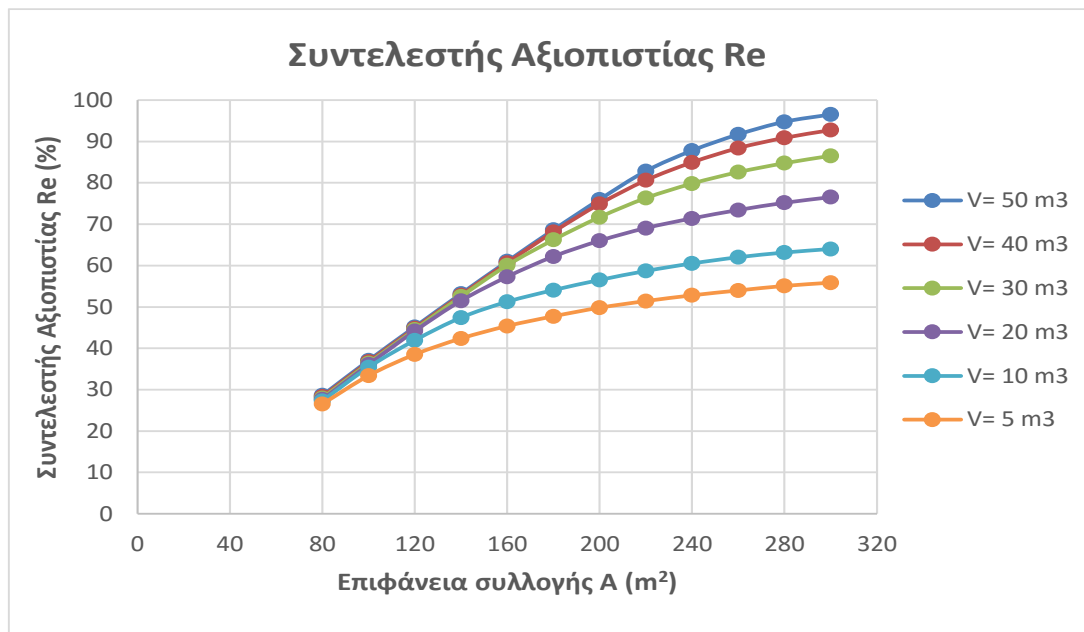


Σχήμα 5.8: Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με τον όγκο της δεξαμενής 5-50 m³ για επιφάνειες συλλογής A (80-300 m²) και με τα βροχομετρικά δεδομένα της μέσης συνθετικής χρονοσειράς.

Στο Σχήμα 5.8 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με τον όγκο της δεξαμενής V_{tank} για διαφορετικές επιφάνειες A.

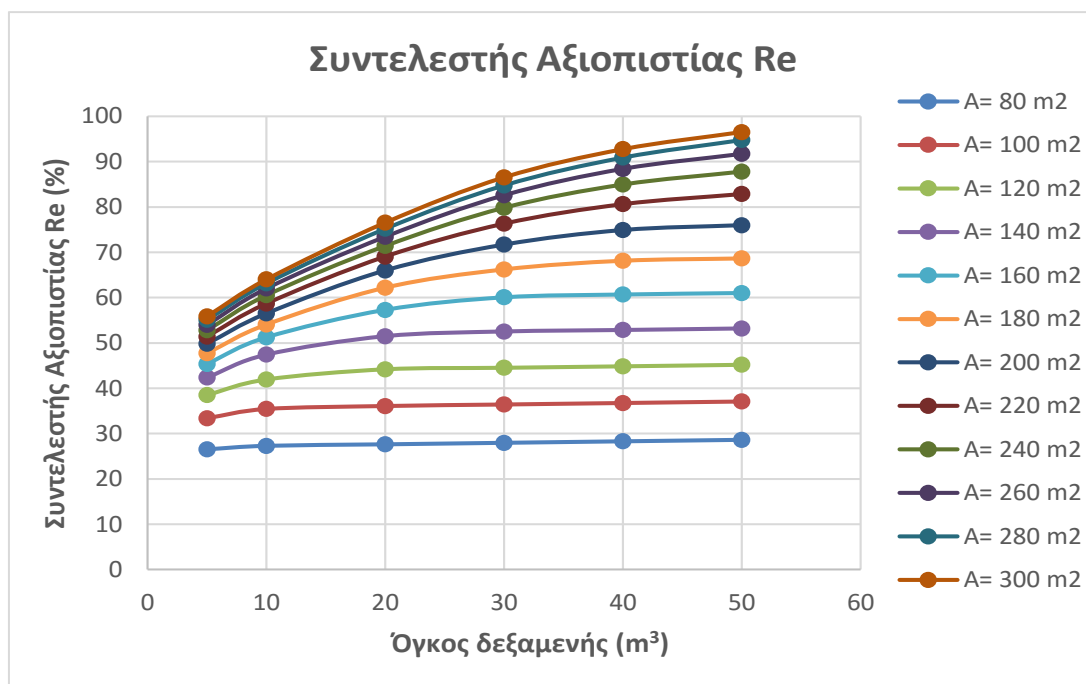
Εδώ παρατηρείται, ομοίως με βάση την ιστορική χρονοσειρά) ότι για επιφάνειες 80, 100 και 120 m², δεν αυξάνεται η αξιοπιστία του συστήματος με την αύξηση του όγκου της δεξαμενής. Δηλαδή, η χρήση όγκους δεξαμενής 20 και 50 m³, εξασφαλίζει την ίδια αξιοπιστία για τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Οι επιφάνειες συλλογής που αυξάνουν αισθητά την αξιοπιστία του συστήματος με την αύξηση του όγκου, είναι από 180-300 m². Για τόσο μεγάλες επιφάνειες, η επιλογή μεγαλύτερου όγκου δεξαμενής θα εξασφαλίσει στο σύστημα καλύτερη αξιοπιστία που μπορεί να φτάσει μέχρι και το 95% για όγκο δεξαμενής 40 m³. Ωστόσο, παρατηρείται ότι η χρήση μιας δεξαμενής 50 m³ σε συνδυασμό με επιφάνεια συλλογής A > 180 m², δεν αυξάνει την αξιοπιστία παραπάνω.

Γ) Συντελεστής αξιοπιστίας Re για την ελάχιστη συνθετική χρονοσειρά



Σχήμα 5.9: Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (80-300 m²) για όγκους 5-50 m³ με τα βροχομετρικά δεδομένα της ελάχιστης συνθετικής χρονοσειράς.

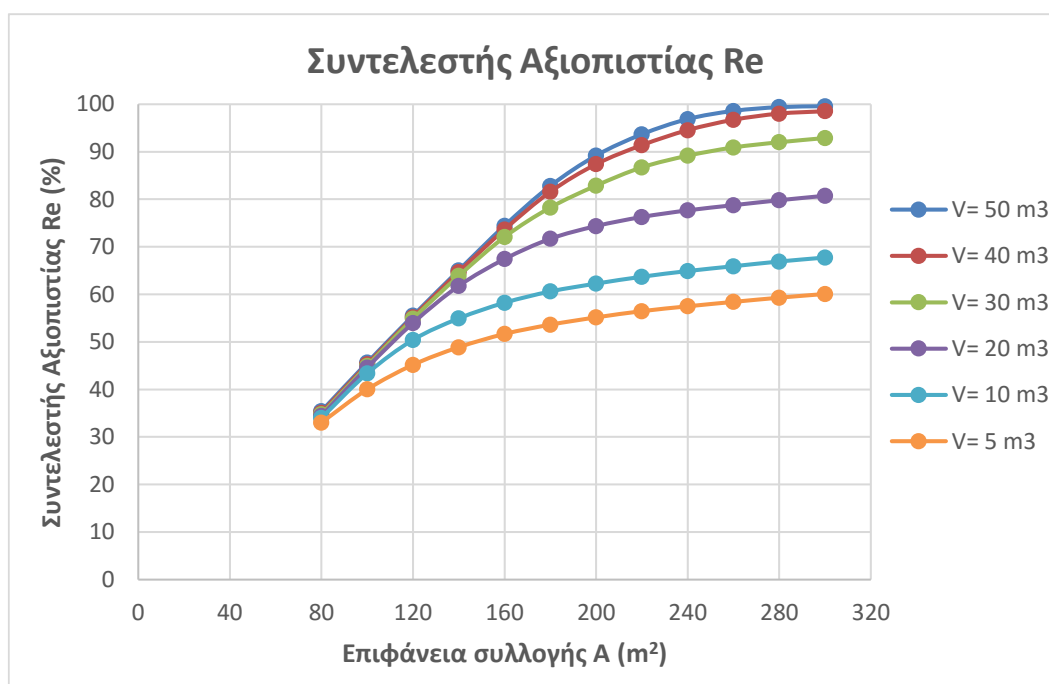
Στο Σχήμα 5.9, απεικονίζεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re για διαφορετικούς όγκους (5-50 m³) σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής νερού. Όσο αυξάνεται η επιφάνεια συλλογής, αυξάνεται ο συντελεστής Re για διαφορετικούς όγκους. Η αξιοπιστία του συστήματος κυμαίνεται από περίπου 26-96%. Όπως και για τις προηγούμενες χρονοσειρές, η μεγαλύτερη αύξηση της αξιοπιστίας με αύξηση της επιφάνειας συλλογής επιτυγχάνεται για δεξαμενές μεγαλύτερες των 20 m³. Με δεξαμενές όγκου 30, 40 και 50 m³, η αξιοπιστία αυξάνεται περισσότερο σε σχέση με τις μικρότερες δεξαμενές, αυξάνοντας την επιφάνεια συλλογής. Όπως φαίνεται και στο σχήμα για τέτοιες δεξαμενές, ακόμα και η αύξηση της επιφάνειας συλλογής κατά 20-40 m², αυξάνει την αξιοπιστία αισθητά φτάνοντας για μεγάλες επιφάνειες αξιοπιστία 97% (V=50 m³). Αντίθετα, οι μικρότεροι όγκοι δεξαμενών (5-10 m³), αυξάνοντας την επιφάνεια συλλογής, εξασφαλίζουν μέγιστη αξιοπιστία 62%, τη στιγμή που με την ίδια επιφάνεια και δεξαμενή 30 m³, η αξιοπιστία φτάνει το 88% (A=300 m²).



Σχήμα 5.10: Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με τον όγκο της δεξαμενής 5-50 m³ για επιφάνειες συλλογής A (80-300 m²) και με τα βροχομετρικά δεδομένα της ελάχιστης συνθετικής χρονοσειράς.

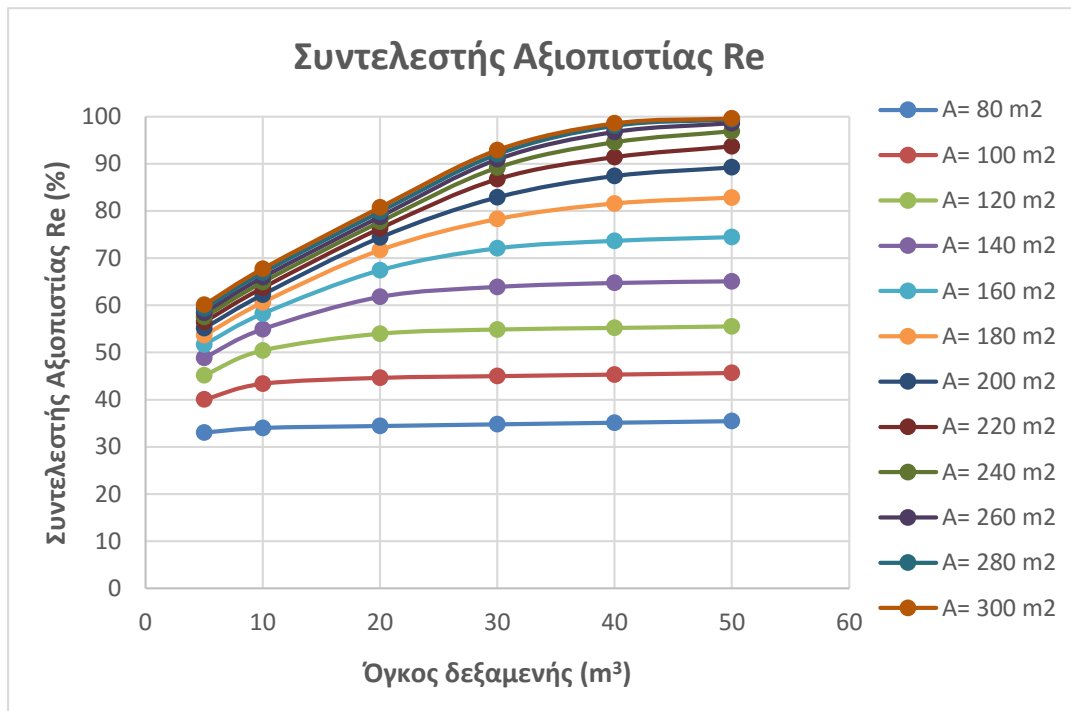
Στο Σχήμα 5.10, φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας για διαφορετικές επιφάνειες συλλογής, σε σχέση με τον όγκο δεξαμενής. Για επιφάνεια 80-120 m², ο συντελεστής Re δεν αυξάνεται ιδιαίτερα παρά την αύξηση του όγκου δεξαμενής. Επίσης, σε αντίθεση με τις προηγούμενες δύο χρονοσειρές, η αξιοπιστία του συστήματος είναι πιο χαμηλή για αυτές τις επιφάνειες. Συγκεκριμένα, για επιφάνεια 80 m², η αξιοπιστία έχει μέγιστη τιμή κάτω από 30%, ακόμα και με χρήση της δεξαμενής των 50 m³. Από το παραπάνω διάγραμμα, είναι εμφανές ότι η αύξηση του όγκου αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος για επιφάνειες μεγαλύτερες των 180 m². Όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια, η αύξηση του όγκου αυξάνει την αξιοπιστία περισσότερο. Για τέτοιου μεγέθους επιφάνειες, η αύξηση του όγκου από 20 σε 40 m³, μπορεί να αυξήσει την αξιοπιστία έως περίπου 25%. Για τις περισσότερες επιφάνειες, φαίνεται ότι η επιλογή μιας δεξαμενής 40 ή 50 m³ δεν ωφελεί την αξιοπιστία του συστήματος, καθώς επιτυγχάνει το ίδιο αποτέλεσμα με μια μικρότερη δεξαμενή. Αυτό ισχύει φυσικά για τις μικρές επιφάνειες (80-140 m²) όπου επαρκεί μία δεξαμενή 20 m³, αλλά και για τις επιφάνειες 180-200 m² για τις οποίες επαρκεί η δεξαμενή των 40 m³.

Δ) Συντελεστής αξιοπιστίας Re για τη μέγιστη συνθετική χρονοσειρά



Σχήμα 5.101: Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A (80-300 m²) για όγκους 5-50 m³ με τα βροχομετρικά δεδομένα της μέγιστης συνθετικής χρονοσειράς.

Στο Σχήμα 5.11, δίνεται η μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής για διαφορετικούς όγκους δεξαμενής. Η αξιοπιστία Re κυμαίνεται από 33-99%. Όπως και στα προηγούμενα διαγράμματα, όσο αυξάνεται η επιφάνεια συλλογής νερού αυξάνεται και ο συντελεστής Re, ανάλογα με τον κάθε όγκο. Η μεγαλύτερη αύξηση της αξιοπιστίας επιτυγχάνεται για όγκους μεγαλύτερους των 20 m³, όπου η αξιοπιστία φτάνει μέχρι και 98%, για όγκους δεξαμενής 40 ή 50 m³ και μεγάλες επιφάνειες συλλογής. Για όλους τους όγκους η αξιοπιστία αυξάνεται μέχρι την επιφάνεια των 260 m², ενώ μεγαλύτερες επιφάνειες δεν επηρεάζουν την αξιοπιστία του συστήματος. Αυτό είναι πιο εμφανές για όγκους 30-50 m³, όπου φαίνεται η αξιοπιστία να παραμένει ίδια για επιφάνειες μεγαλύτερες των 260 m². Με βάση τη μέγιστη συνθετική χρονοσειρά, παρατηρείται ότι ακόμα και ένας όγκος των 10 m³ πετυχαίνει μέγιστη αξιοπιστία σχεδόν 70% για μεγάλες επιφάνειες (280-300 m²), σε αντίθεση με την ιστορική χρονοσειρά που η μέγιστη αξιοπιστία για ίδιο όγκο δεξαμενής και επιφάνεια συλλογής ήταν 60%.



Σχήμα 5.112: Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με τον όγκο της δεξαμενής (5-50 m³) για επιφάνειες συλλογής A 80-300 m² και με τα βροχομετρικά δεδομένα της μέγιστης συνθετικής χρονοσειράς.

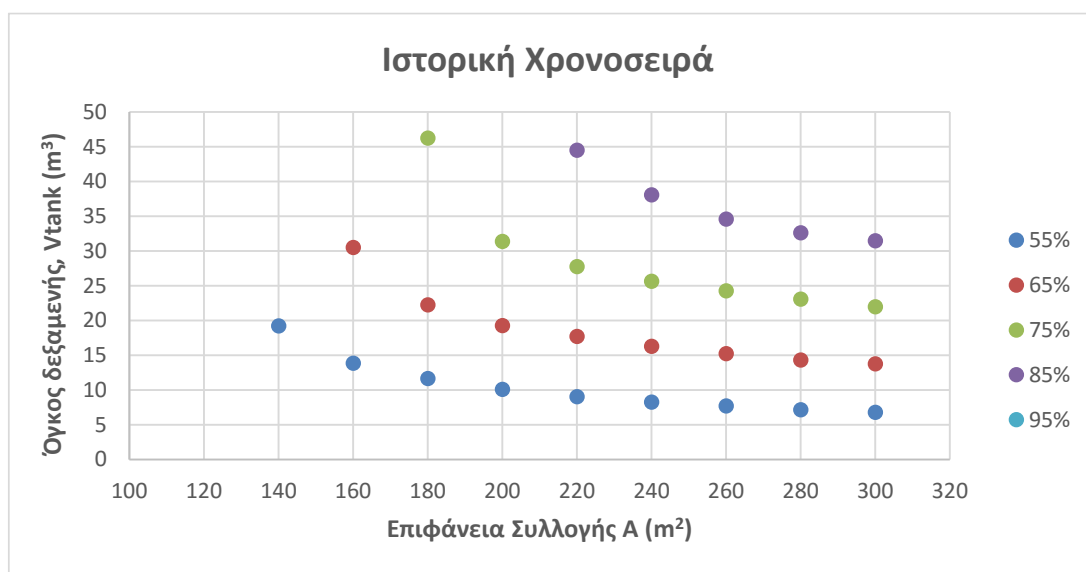
Στο Σχήμα 5.12, απεικονίζεται η μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας Re σε σχέση με τον όγκο της δεξαμενής για διαφορετικές επιφάνειες συλλογής. Για επιφάνειες συλλογής 80 και 100 m², η αύξηση του όγκου της δεξαμενής δεν μεταβάλλει την αξιοπιστία του συστήματος, πετυχαίνοντας αξιοπιστία μέχρι 42%. Η αύξηση του όγκου, μεταβάλλει την αξιοπιστία για επιφάνειες συλλογής ίσες ή μεγαλύτερες των 140 m². Για τέτοιες επιφάνειες συλλογής παίζει καθοριστικό ρόλο το μέγεθος της δεξαμενής που θα επιλεγεί, καθώς κάτι τέτοιο μπορεί να αυξήσει την αξιοπιστία έως και 30%. Για επιφάνειες 80 και 100 m², φαίνεται να επαρκεί μία δεξαμενή όγκου 10 m³, διότι η επιλογή μεγαλύτερης δεξαμενής απλά αυξάνει το κόστος χωρίς να βελτιώνει την αξιοπιστία του συστήματος. Για επιφάνειες 120-140 m², αρκεί μία δεξαμενή 30 m³ για τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία, ενώ για επιφάνειες μεγαλύτερες των 140 m², επιλέγεται δεξαμενή 40 m³ για ελάχιστη αξιοπιστία περίπου 72% και μέγιστη 98% ανάλογα με την επιφάνεια συλλογής.

5.2.2. Σενάριο 2

Με το Σενάριο 2 (N_{cap}=4 άτομα, p=35%) εξετάζεται ποιος πρέπει να είναι όγκος δεξαμενής V_{tank}, για διάφορες επιφάνειες συλλογής (120-300 m²) και ημερήσια κατανάλωση νερού q=150 L/κάτοικο/ημέρα και q=120 L/κάτοικο/ημέρα, για την επίτευξη συγκεκριμένων τιμών του συντελεστή αξιοπιστίας Re: 55%, 65%, 75%, 85% και 95%. Οι χρονοσειρές δεδομένων βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι η ιστορική (23 έτη) και η μέση, ελάχιστη και

μέγιστη συνθετική χρονοσειρά (40 έτη η καθεμία). Αποδεκτοί όγκοι δεξαμενής θεωρούνται οι μικρότεροι ή ίσοι των 50 m^3 , με βάση τη νομοθεσία και λαμβάνοντας υπόψη ότι μεγαλύτερες δεξαμενές αυξάνουν το κόστος του συστήματος. Οι όγκοι δεξαμενών που δεν εμφανίζονται στα διαγράμματα είναι κατά πολύ μεγαλύτεροι σε m^3 , προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές αξιοπιστίες του συστήματος. Τόσο μεγάλες ομβροδεξαμενές δεν συμφέρουν ούτε οικονομικά αλλά ούτε και από θέμα χώρου, γι' αυτό και θεωρούνται ως μη αποδεκτοί και δεν εξετάζονται.

- Όγκος δεξαμενής για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re και για ημερήσια κατανάλωση νερού $q=150 \text{ L/day/κάτοικο}$

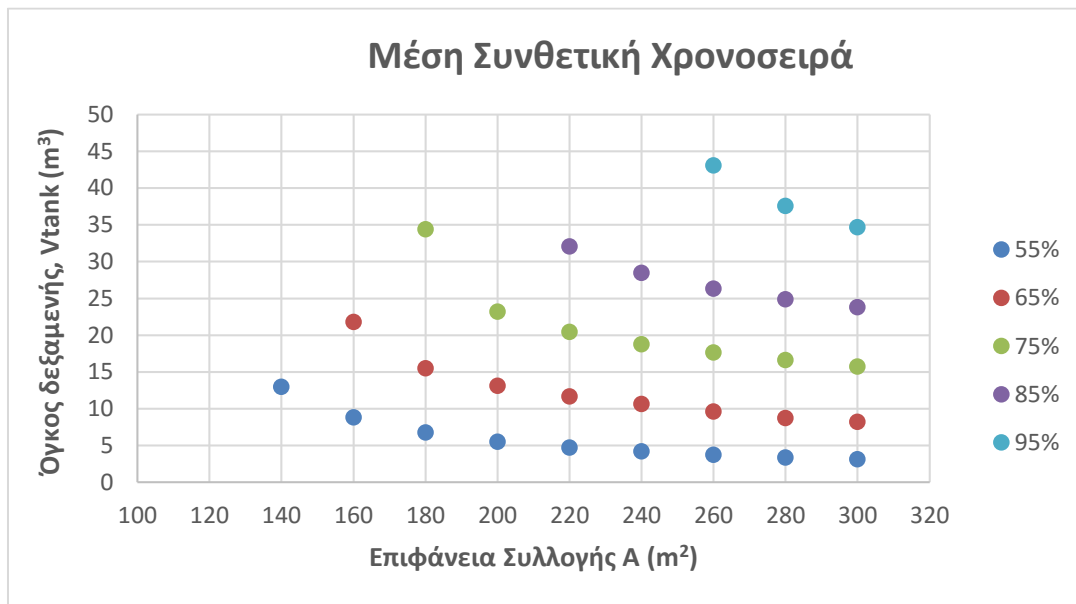


Σχήμα 5.13: Όγκος δεξαμενής V_{tank} (m^3) για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re (%), $q=150 \text{ L/day/κάτοικο}$, με τα δεδομένα της ιστορικής χρονοσειράς (23έτη).

Στο Σχήμα 5.13, φαίνονται οι όγκοι ομβροδεξαμενής για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re .

Με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης της ιστορικής χρονοσειράς για την Κίμωλο, παρατηρείται ότι για επιφάνειες συλλογής μικρότερες των 140 m^2 , δεν επιτυγχάνεται καμία από τις επιθυμητές αξιοπιστίες του συστήματος. Για αξιοπιστία 55%, ο μέγιστος όγκος είναι περίπου 19 m^3 για επιφάνεια 140 m^2 , ενώ με την αύξηση της επιφάνειας συλλογής, ο όγκος δεξαμενής μειώνεται. Για επιφάνειες μεγαλύτερες των 200 m^2 , οι όγκοι, για αξιοπιστία 55%, είναι μικρότεροι των 10 m^3 , με ελάχιστη τιμή τα 6 m^3 για επιφάνεια συλλογής 300 m^2 . Για αξιοπιστία 65% χρειάζεται διαθέσιμη επιφάνεια τουλάχιστον 160 m^2 ή μεγαλύτερη και όγκος ίσος ή μικρότερος των 30 m^3 . Όσο αυξάνεται η επιφάνεια συλλογής, ο όγκος μειώνεται με ελάχιστη τιμή τα 14 m^3 για επιφάνεια συλλογής 300 m^2 . Η αξιοπιστία 75% δεν είναι δυνατή

για επιφάνειες συλλογής μικρότερες των 180 m^2 και αποδεκτούς όγκους ($V \leq 50 \text{ m}^3$). Για αξιοπιστία 75% και επιφάνεια 180 m^2 , ο όγκος της δεξαμενής είναι 46 m^3 με ελάχιστη τιμή 22 m^3 για επιφάνεια 300 m^2 . Αξιοπιστία 85% με αποδεκτούς όγκους δεξαμενής, επιτυγχάνεται μόνο για επιφάνειες συλλογής μεγαλύτερες των 220 m^2 και μέγιστη τιμή όγκου 45 m^3 . Για μεγαλύτερες επιφάνειες συλλογής, ο όγκος, για 85% αξιοπιστία, μειώνεται με ελάχιστη τιμή 32 m^3 για επιφάνεια συλλογής 300 m^2 . Αξιοπιστία 95% δεν επιτυγχάνεται για αποδεκτό όγκο και για επιφάνεια συλλογής μέχρι 300 m^2 .

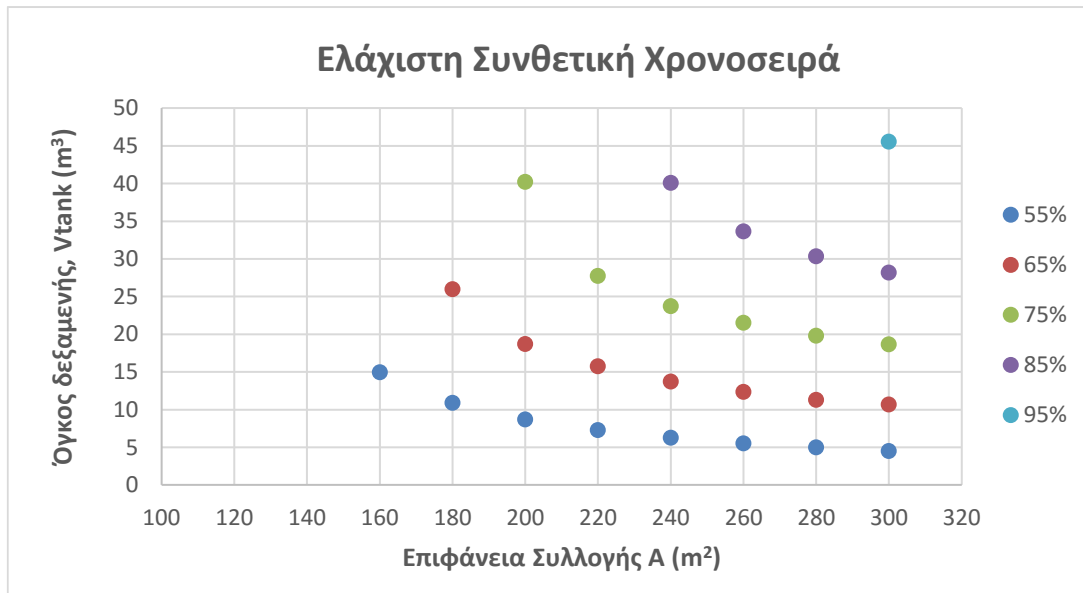


Σχήμα 5.14: Όγκος δεξαμενής V_{tank} (m^3) για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re (%), $q=150 \text{ L/day/κ\acute{α}τοικο}$, με τα δεδομένα της μέσης συνθετικής χρονοσειράς (40έτη).

Στο Σχήμα 5.14, δίνονται οι όγκοι ομβροδεξαμενών για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Αξιοπιστία 55%, με τη χρήση αποδεκτών όγκων, επιτυγχάνεται για επιφάνειες τουλάχιστον 140 m^2 , με μέγιστο βέλτιστο όγκο 13 m^3 ($A=140 \text{ m}^2$) και ελάχιστο βέλτιστο όγκο 4 m^3 ($A=300 \text{ m}^2$). Για αξιοπιστία 65%, απαιτείται επιφάνεια συλλογής τουλάχιστον 160 m^2 , με μέγιστο όγκο δεξαμενής 22 m^3 και ελάχιστο όγκο 9 m^3 ($A=300 \text{ m}^2$). Για αξιοπιστία 75%, απαιτείται επιφάνεια συλλογής τουλάχιστον 180 m^2 , με τη χρήση όγκου δεξαμενής μικρότερο ή ίσο των 50 m^3 . Ο μέγιστος όγκος δεξαμενής για 75% αξιοπιστία είναι 35 m^3 ($A=180 \text{ m}^2$), ενώ ο ελάχιστος όγκος είναι 15 m^3 ($A=300 \text{ m}^2$). Για αξιοπιστία 85%, απαιτείται επιφάνεια τουλάχιστον 220 m^2 και όγκος δεξαμενής 32 m^3 . Για μικρότερες επιφάνειες, είναι αδύνατη μία τέτοια αξιοπιστία χρησιμοποιώντας αποδεκτούς όγκους δεξαμενής. Ο ελάχιστος όγκος για 85% αξιοπιστία είναι 24 m^3 για επιφάνεια συλλογής 300 m^2 . Σε αντίθεση με την ιστορική χρονοσειρά, εδώ επιτυγχάνεται και αξιοπιστία συστήματος 95% για επιφάνειες μεγαλύτερες

των 260 m² με μέγιστο όγκο 44 m³ (A=260 m²) και ελάχιστο όγκο 34 m³ (A=300 m²). Παρατηρείται επίσης, ότι με βάση την συνθετική χρονοσειρά, επαρκούν μικρότεροι όγκοι δεξαμενών σε σχέση με την ιστορική χρονοσειρά, για ίδιες αξιοπιστίες και αντίστοιχες επιφάνειες συλλογής. Ενώ, για τις αξιοπιστίες 55%, 65%, 75% και 85%, οι απαιτήσεις σε επιφάνεια συλλογής είναι ίδιες και για τις δύο χρονοσειρές, οι όγκοι των δεξαμενών διαφέρουν.

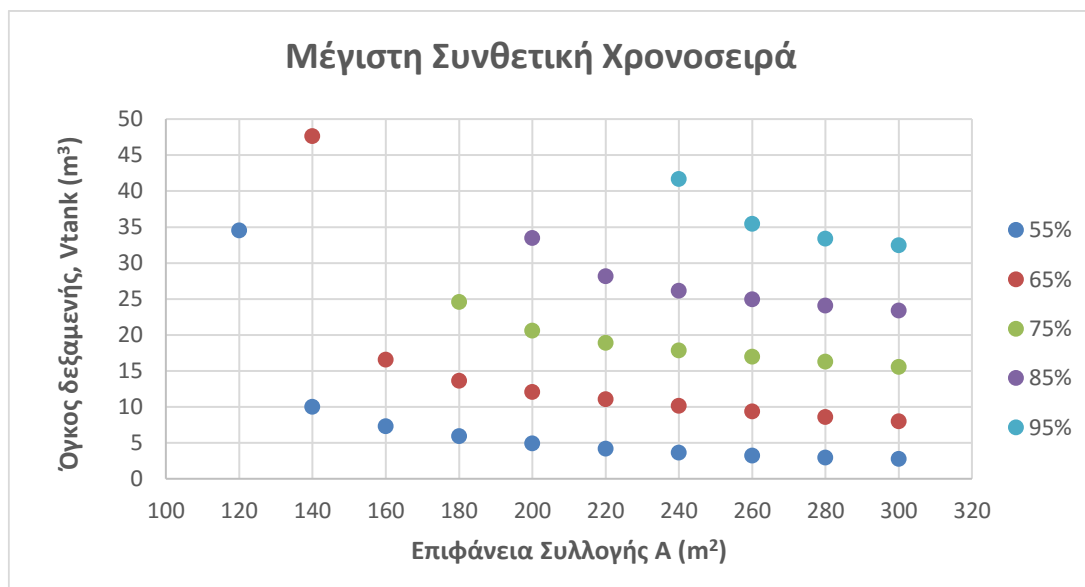


Σχήμα 5.15: Όγκος δεξαμενής V_{tank} (m³) για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re (%), q=150 L/day/κάτοικο, με τα δεδομένα της ελάχιστης συνθετικής χρονοσειράς (40έτη).

Στο Σχήμα 5.15, δίνονται οι απαιτούμενοι όγκοι για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re με βάση την ελάχιστη συνθετική χρονοσειρά. Όπως ήδη έχει αναφερθεί με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα, η συγκεκριμένη συνθετική χρονοσειρά αντιπροσωπεύει χαμηλό βροχομετρικό καθεστώς σε σχέση με την ιστορική χρονοσειρά. Έτσι, παρατηρείται ότι πλέον επιτυγχάνεται αξιοπιστία 55% για επιφάνειες τουλάχιστον 160 m², ενώ δεν επιτυγχάνεται τέτοια απόδοση για μικρότερες επιφάνειες συλλογής και όγκους μικρότερους ή ίσους των 50 m³. Αξιοπιστία 75% επιτυγχάνεται για επιφάνειες συλλογής μεγαλύτερες των 200 m² και χρήση δεξαμενών όγκου 40 m³ ή μικρότερου, όσο η επιφάνεια συλλογής αυξάνεται. Παρόλο, που η ελάχιστη συνθετική χρονοσειρά είναι δυσμενέστερη από την ιστορική, για επιφάνεια συλλογής 300 m², είναι δυνατή απόδοση 95% με χρήση δεξαμενής περίπου 47 m³. Ο μέγιστος όγκος που απαιτείται για το σύστημα είναι 45 m³ για επιφάνεια συλλογής 300 m² και απόδοση 95%, ενώ ο ελάχιστος βέλτιστος όγκος είναι 5 m³ για επιφάνεια συλλογής 300 m² και απόδοση συστήματος 55%.

Η ελάχιστη συνθετική χρονοσειρά διαφοροποιείται από τη μέση συνθετική και την ιστορική χρονοσειρά, στις απαιτήσεις επιφάνειας συλλογής για επιθυμητή αξιοπιστία. Γενικά

απαιτούνται επιφάνειες μεγαλύτερες κατά 20 m² σε σχέση με τη μέση συνθετική και την ιστορική χρονοσειρά για αξιοπιστίες 55%, 65%, 75% και 85%, ενώ για αξιοπιστία 95% απαιτείται επιφάνεια μεγαλύτερη κατά 40 m² σε σχέση με τη συνθετική χρονοσειρά (300 m² αντί 260 m²).



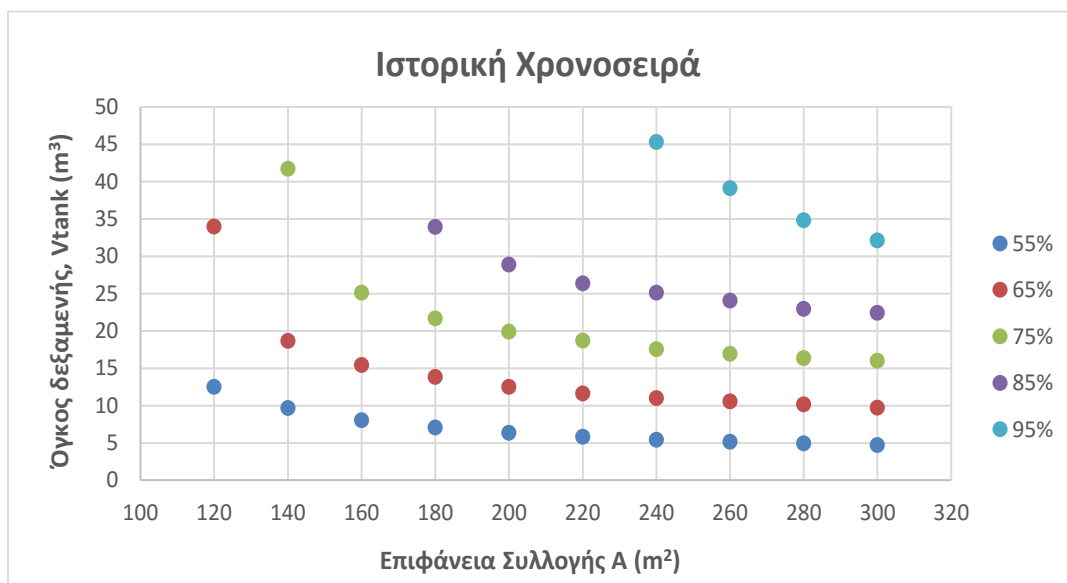
Σχήμα 5.16: Όγκος δεξαμενής V_{tank} (m³) για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re (%), q=150 L/day/κάτοικο, με τα δεδομένα της μέγιστης συνθετικής χρονοσειράς (40έτη).

Στο Σχήμα 5.16, δίνονται οι όγκοι για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας με βάση την μέγιστη συνθετική χρονοσειρά. Λόγω του ότι η μέγιστη συνθετική χρονοσειρά είναι ευμενέστερη αντιπροσωπεύοντας υψηλότερο βροχομετρικό καθεστώς, επιτυγχάνεται επιθυμητή αξιοπιστία και για επιφάνεια συλλογής 120 m². Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα αξιοπιστίας συστήματος 95% για αποδεκτούς όγκους και επιφάνειες συλλογής 240 m² ή μεγαλύτερες. Παρατηρείται ότι για ίδιες αξιοπιστίες και επιφάνειες συλλογής, οι απαιτούμενοι όγκοι είναι μικρότεροι σε σχέση με της μέσης και της ελάχιστης συνθετικής χρονοσειράς. Για απόδοση 65% και επιφάνεια 160 m², ο απαιτούμενος όγκος δεξαμενής είναι περίπου 18 m³, όγκος μικρότερος από αυτόν που απαιτείται με βάση την ιστορική χρονοσειρά και τη μέση, ελάχιστη συνθετική χρονοσειρά. Ωστόσο, η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια για 65% αξιοπιστία είναι 140 m² και απαιτείται όγκος δεξαμενής 47 m³. Εδώ παρατηρείται, ότι με την αύξηση της επιφάνειας συλλογής κατά 20 m², ο απαιτούμενος όγκος δεξαμενής μειώνεται κατά 30 m³ περίπου. Αντίστοιχη μείωση όγκου δεξαμενής συμβαίνει για αξιοπιστία 55%, αυξάνοντας την επιφάνεια συλλογής από 120 σε 140 m², όπου ο απαιτούμενος όγκος μειώνεται κατά 25 m³. Άρα, παρατηρείται ότι ακόμη και η εξασφάλιση 20 m² παραπάνω επιφάνειας, μπορεί να μειώσει το κόστος με τη χρήση μικρότερης δεξαμενής. Για αξιοπιστία 75%, απαιτείται επιφάνεια

τουλάχιστον 180 m^2 και ο απαιτούμενος όγκος είναι 25 m^3 . Για επιφάνειες μικρότερες των 180 m^2 , δεν επιτυγχάνεται αξιοπιστία 75% με βάση τους αποδεκτούς όγκους. Για αξιοπιστία 85% χρειάζεται διαθέσιμη επιφάνεια 200 m^2 και ο όγκος που απαιτείται είναι 34 m^3 . Για επιφάνειες μεγαλύτερες των 260 m^2 , ο απαιτούμενος όγκος μειώνεται και φτάνει τα 24 m^3 για επιφάνεια 300 m^2 . Για αξιοπιστία 95%, απαιτείται επιφάνεια 240 m^2 και όγκος δεξαμενής 42 m^3 . Με την αύξηση της επιφάνειας, ο απαιτούμενος όγκος μειώνεται και φτάνει τα 34 m^3 για επιφάνεια συλλογής 300 m^2 . Με βάση τη μέγιστη συνθετική χρονοσειρά, επιτυγχάνονται περισσότερες επιθυμητές αξιοπιστίες ακόμη και για μικρότερες επιφάνειες, χρησιμοποιώντας αποδεκτούς όγκους μικρότερους ή ίσους των 50 m^3 .

- Βέλτιστος όγκος για επιθυμητό συντελεστή αποδοτικότητας Re και για ημερήσια κατανάλωση νερού $q=120 \text{ L/day/κάτοικο}$

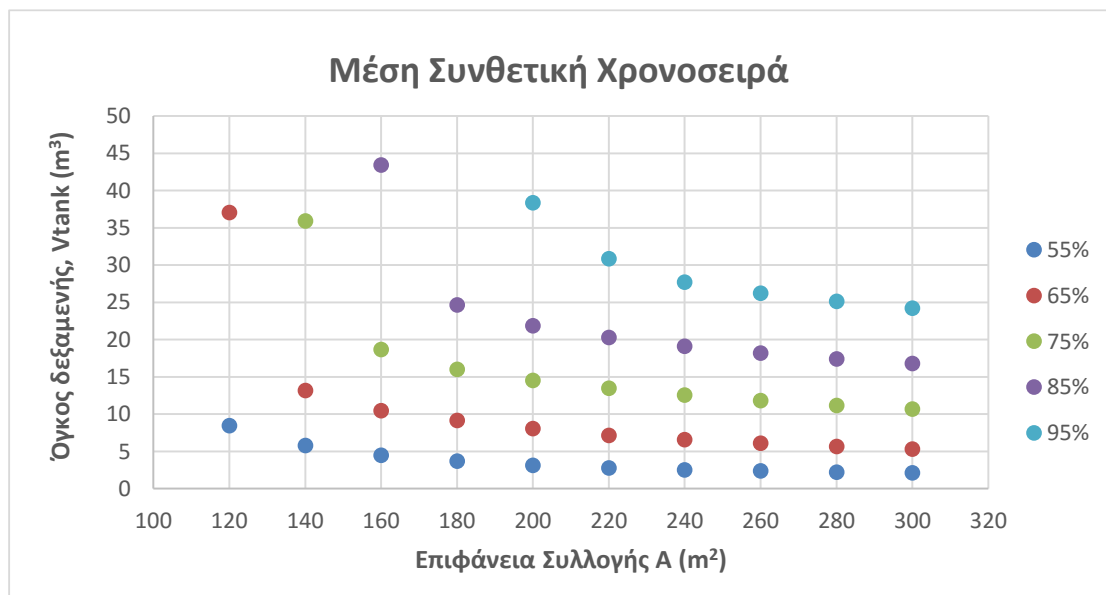
Η μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης, δίνει καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνοντας επιθυμητές αποδόσεις και για μικρότερες επιφάνειες συλλογής για όλες τις χρονοσειρές, όπως φαίνεται από τα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 5.17: Όγκος δεξαμενής V_{tank} (m^3) για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re (%), $q=120 \text{ L/day/κάτοικο}$, με τα δεδομένα της ιστορικής χρονοσειράς (23έτη).

Στο Σχήμα 5.17 δίνονται οι όγκοι δεξαμενής για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας, αλλά με κατανάλωση νερού $120 \text{ L/day/κάτοικο}$. Παρατηρείται ότι πλέον για κατανάλωση νερού $120 \text{ L/day/κάτοικο}$, επιτυγχάνεται αξιοπιστία 55% αλλά και 65% για επιφάνεια 120 m^2 , πράγμα που ήταν αδύνατο με κατανάλωση νερού $150 \text{ L/day/κάτοικο}$ και αποδεκτούς όγκους δεξαμενής. Επίσης, επιτυγχάνεται και αξιοπιστία 95% για επιφάνειες μεγαλύτερες των 240 m^2 , ενώ για μεγαλύτερη κατανάλωση νερού τέτοια απόδοση δεν ήταν δυνατή. Για αξιοπιστία 55%,

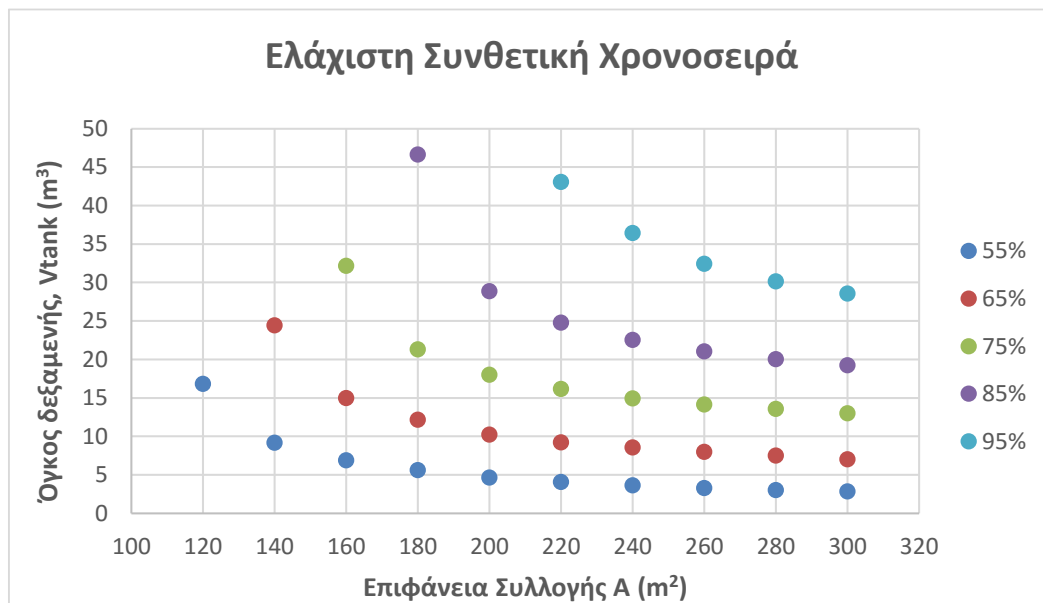
ο απαιτούμενος όγκος δεξαμενής είναι 13 m^3 για επιφάνεια συλλογής 120 m^2 . Με την αύξηση της επιφάνειας, ο απαιτούμενος όγκος μειώνεται και φτάνει μέχρι 5 m^3 για επιφάνεια συλλογής 300 m^2 . Αξιοπιστία 65% επιτυγχάνεται για όλες τις εξεταζόμενες επιφάνειες με μέγιστο απαιτούμενο όγκο 34 m^3 για επιφάνεια συλλογής 120 m^2 και ελάχιστο απαιτούμενο όγκο 10 m^3 για επιφάνεια συλλογής 300 m^2 . Εδώ παρατηρείται ότι με αύξηση της επιφάνειας συλλογής από 120 σε 140 m^2 , ο απαιτούμενος όγκος μειώνεται κατά 15 m^3 . Αντίστοιχη μείωση του απαιτούμενου όγκου με αύξηση της επιφάνειας συλλογής από 140 σε 160 m^2 , παρατηρείται για αξιοπιστία 75%, με μείωση του απαιτούμενου όγκου κατά 17 m^3 . Ο μέγιστος όγκος που απαιτείται για 75% αξιοπιστία και επιφάνεια 140 m^2 είναι 42 m^3 , ενώ ο ελάχιστος απαιτούμενος όγκος είναι 16 m^3 για επιφάνεια συλλογής 300 m^2 . Αξιοπιστία 85% επιτυγχάνεται για επιφάνεια μεγαλύτερη ή ίση των 180 m^2 με απαιτούμενο όγκο 34 m^3 . Ο ελάχιστος απαιτούμενος όγκος για αξιοπιστία 85% είναι 22 m^3 για επιφάνεια 300 m^2 . Για αξιοπιστία 95% ο απαιτούμενος όγκος είναι 45 m^3 για επιφάνεια 240 m^2 . Για μικρότερες επιφάνειες συλλογής, δεν είναι δυνατή τόσο μεγάλη αξιοπιστία, τουλάχιστον με χρήση αποδεκτού όγκου μικρότερου των 50 m^3 .



Σχήμα 5.18: Όγκος δεξαμενής V_{tank} (m^3) για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re (%), $q=120 \text{ L/day/κάτοικο}$, με τα δεδομένα της μέσης συνθετικής χρονοσειράς (40έτη).

Στο Σχήμα 5.18, δίνονται οι όγκοι για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re για κατανάλωση νερού $120 \text{ L/day/κάτοικο}$ με βάση τη μέση συνθετική χρονοσειρά. Η απόδοση 95%, λόγω μικρότερης κατανάλωσης, είναι πλέον δυνατή και για επιφάνειες συλλογής μικρότερες των 260 m^2 . Επίσης, για επιφάνεια 120 m^2 , επιλέγοντας τον κατάλληλο βέλτιστο όγκο, η απόδοση μπορεί να φτάσει και το 65%, πράγμα που ήταν αδύνατο για μεγαλύτερη ημερήσια

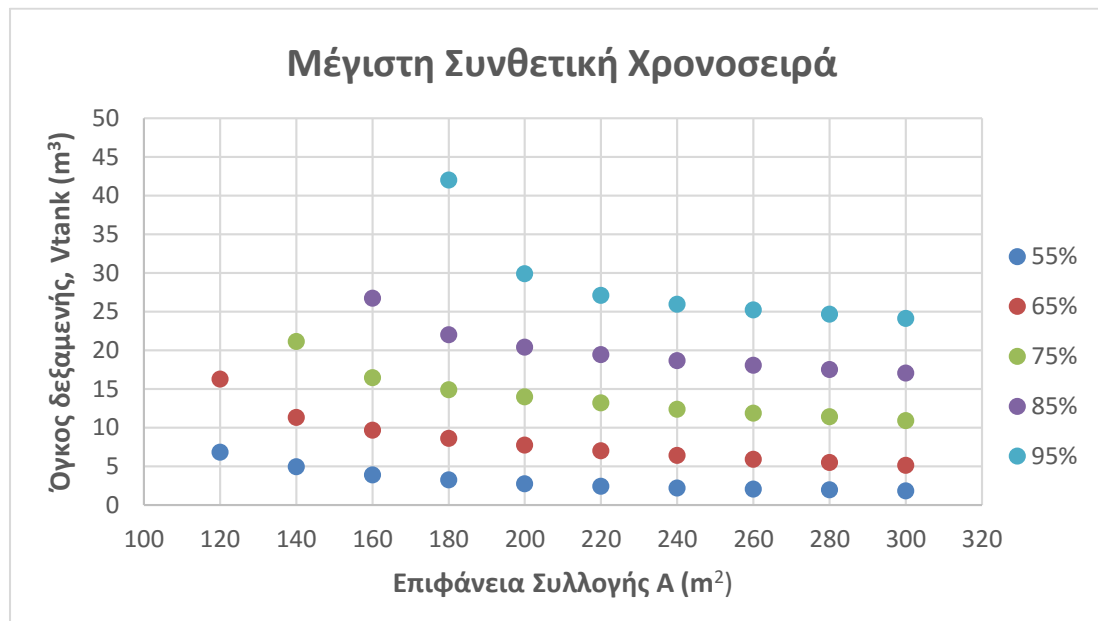
κατανάλωση q . Ο μέγιστος όγκος που απαιτείται είναι 44 m^3 για επιφάνεια συλλογής νερού 160 m^2 και απόδοση 85%, ενώ ο μικρότερος όγκος είναι 2 m^3 για επιφάνεια συλλογής 300 m^2 και απόδοση 55%. Για τις αξιοπιστίες 65%, 75% και 85% παρατηρείται ότι αύξηση της επιφάνειας συλλογής κατά 20%, μειώνει αισθητά τον απαιτούμενο όγκο δεξαμενής. Συγκεκριμένα για αξιοπιστία 65% και αύξηση της επιφάνειας συλλογής από 120 σε 140 m^2 , ο απαιτούμενος όγκος μειώνεται κατά 15 m^3 . Για αξιοπιστία 75% και αύξηση της επιφάνειας συλλογής από 140 σε 160 m^2 , ο απαιτούμενος όγκος μειώνεται κατά 17 m^3 , ενώ για αξιοπιστία 85% και αύξηση της επιφάνειας συλλογής από 160 σε 180 m^2 , ο απαιτούμενος όγκος μειώνεται κατά 18 m^3 . Αξιοπιστία 95% είναι δυνατή για επιφάνεια 200 m^2 με απαιτούμενο όγκο δεξαμενής 43 m^3 , καθώς και για μεγαλύτερες επιφάνειες με μικρότερους απαιτούμενους όγκους.



Σχήμα 5.19: Όγκος δεξαμενής $V_{tank} \text{ (m}^3\text{)}$ για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας $Re \text{ (\%)}$, $q=120 \text{ L/day/κάτοικο}$, με τα δεδομένα της ελάχιστης συνθετικής χρονοσειράς (40έτη).

Στο Σχήμα 5.19, δίνονται οι όγκοι για επιθυμητό συντελεστή αποδοτικότητα Re για κατανάλωση νερού $120 \text{ L/day/κάτοικο}$, με βάση την ελάχιστη συνθετική χρονοσειρά. Παρομοίως με τις άλλες χρονοσειρές, τα αποτελέσματα είναι καλύτερα με τη μείωση της ημερήσια κατανάλωσης νερού q . Πλέον, για επιφάνεια συλλογής 120 m^2 είναι εφικτή απόδοση συστήματος 55% και για επιφάνεια 140 m^2 μπορεί να επιτευχθεί απόδοση 55% και 65% ανάλογα με τον όγκο δεξαμενής που θα επιλεγεί. Επίσης, επιτυγχάνεται απόδοση 95% για επιφάνειες μικρότερες των 300 m^2 , σε αντίθεση με τη μεγαλύτερη κατανάλωση q , που αυτό ήταν δυνατό μόνο για επιφάνεια 300 m^2 . Ο μεγαλύτερος όγκος δεξαμενής που απαιτείται είναι

46 m³ για επιφάνεια 180 m² και απόδοση 85%, ενώ ο μικρότερος απαιτούμενος όγκος είναι 4 m³ για επιφάνεια 300 m² και απόδοση 55%.



Σχήμα 5.20: Όγκος δεξαμενής V_{tank} (m³) για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re (%), $q=120$ L/day/κάτοικο, με τα δεδομένα της μέγιστης συνθετικής χρονοσειράς (40έτη).

Στο Σχήμα 5.20, δίνονται οι όγκοι για επιθυμητό συντελεστή αξιοπιστίας Re για κατανάλωση νερού 120 L/day/κάτοικο, με βάση τη μέγιστη συνθετική χρονοσειρά. Λόγω του ότι η συγκεκριμένη χρονοσειρά είναι ευμενέστερη της ιστορικής, με τη μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης q , επιτυγχάνονται μεγάλες αποδόσεις ακόμα και για μικρές επιφάνειες συλλογής νερού. Πλέον είναι εφικτή η απόδοση 95% για επιφάνεια συλλογής 180 m² και απαιτούμενο όγκο 43 m³. Για επιφάνεια 120 m² επιτυγχάνεται απόδοση 55% και 65% με χρήση όγκου 6 m³ και 16 m³ αντίστοιχα. Ο μέγιστος όγκος που απαιτείται με βάση τη συγκεκριμένη χρονοσειρά είναι 42 m³ για επιφάνεια συλλογής 180 m² και απόδοση 95%, ενώ ο μικρότερος όγκος είναι 1,5 m³ για επιφάνεια συλλογής 300 m² και απόδοση 55%.

Παρατηρείται ακόμα, ότι για ίδια απόδοση και ίδια επιφάνεια συλλογής νερού, αλλά μικρότερη κατανάλωση νερού, οι απαιτούμενοι όγκοι δεξαμενών για οποιαδήποτε αξιοπιστία, είναι γενικά μικρότεροι σε αντίθεση με τη μεγαλύτερη κατανάλωση νερού για όλες τις εξεταζόμενες χρονοσειρές. Επίσης, με βάση τη μέγιστη χρονοσειρά είναι εφικτές οι επιθυμητές αξιοπιστίες για τις περισσότερες εξεταζόμενες επιφάνειες, με μικρούς απαιτούμενους όγκους δεξαμενής για κατανάλωση νερού 120 L/κάτοικο/ημέρα.

5.3. Ανάλυση κόστους-οφέλους

Με σκοπό να ελεγχθεί αν η κατασκευή συστήματος συλλογής ομβρίων είναι επωφελής για την Κίμωλο, πραγματοποιήθηκε ανάλυση κόστους-οφέλους (ΑΚΟ). Στην οικονομική ανάλυση κόστους – οφέλους η προεξόφληση των ταμειακών ροών για τον υπολογισμό της Κοινωνικής Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) πραγματοποιείται με τη χρήση του «κοινωνικού» επιτοκίου προεξόφλησης.

Το κοινωνικό επιτόκιο προεξόφλησης διαφέρει από το επιτόκιο προεξόφλησης που χρησιμοποιούν οι ιδιωτικοί φορείς στο πλαίσιο της χρηματοοικονομικής ανάλυσης και συνήθως, ένα αποδεκτό πραγματικό κοινωνικό επιτόκιο προεξόφλησης είναι από 3 έως 5%. Η αξιολόγηση βασίζεται στη σύγκριση κόστους και οφέλους. Αν τα οφέλη είναι περισσότερα από τα κόστη, τότε το έργο κρίνεται κοινωνικά επιθυμητό, ενώ σε αντίθετη περίπτωση το έργο θεωρείται κοινωνικά μη επωφελές (Δαμίγος και Καλιαμπάκος, 2008).

Για την αξιολόγηση ενός συστήματος συλλογής ομβρίων στην Κίμωλο, εξετάστηκε η επένδυση με χρήση δεξαμενής όγκου 15 m^3 για επιφάνεια συλλογής νερού 140 m^2 , κάλυψη ποσοστού χρήσης 35%, ημερήσια κατανάλωση νερού $120 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ για οικία 4 ατόμων. Η ημερήσια ζήτηση νερού (daily draft) για οικία 4 ατόμων είναι $0,168 \text{ m}^3/\text{day}$ ή $61,32 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Από το μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής, προέκυψε ότι για το παραπάνω σενάριο, η δεξαμενή εξασφαλίζει $42 \text{ m}^3/\text{έτος}$, ενώ το νερό που χρησιμοποιείται από το δίκτυο είναι $20 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

Στον επόμενο πίνακα δίνεται ενδεικτικά η κοστολόγηση του εξοπλισμού και της επιλεγμένης δεξαμενής ενός συστήματος συλλογής ομβρίων (Πρέκα, 2016):

Πίνακας 5.1: Επιμέρους κόστη και συνολικό κόστος επένδυσης συστήματος συλλογής ομβρίων.

Επένδυση	
Εξοπλισμός	Κόστος €
Αντλία	250
Φίλτρα Διήθησης	160
Σύστημα Διανομής	120
Σχάρα	3
Σωληνώσεις	50
Διαχωριστής 1η Έκπλυσης	100
Μηχάνημα Αποτροπής Αντίστροφης Ροής	120
Τύπος Δεξαμενής	
Πλαστική Κυλινδρική Κατακόρυφη Σ8 ELEPHANT , V=15 m ³ (d=2,7 m και h=2,7 m)	2.800
Σύνολο	3.603

Λόγω του ότι το βρόχινο νερό δεν προορίζεται για πόση, δεν είναι απαραίτητη η απολύμανσή του.

Η ποσότητα του νερού που εξοικονομείται από την ομβροδεξαμενή για μια οικία 4 ατόμων είναι περίπου 42 m³/έτος και κοστίζει στους κατοίκους 3 €/m³, δηλαδή 126 €/έτος, ενώ στο κράτος για τη μεταφορά αυτής της ποσότητας κοστίζει 12 €/ m³, δηλαδή 504 €/έτος. Ως κόστη της επένδυσης ορίστηκαν η αρχική επένδυση για το σύστημα συλλογής ομβρίων που είναι 3.603 € και ετήσιο κόστος συντήρησης 2%, δηλαδή 72 €/έτος. Εξεταζόμενα επιτόκια προεξόφλησης ορίστηκαν τα ποσοστά 3 και 5%. Τα χρήματα που εξοικονομούνται με την παροχή νερού από τις ομβροδεξαμενές, ορίστηκαν ως θετικές εξωτερικότητες και είναι 126 €/έτος για τους κατοίκους, ενώ για το κράτος είναι 504 €/έτος. Η περίοδος σχεδιασμού είναι N=40 χρόνια.

Παρατηρείται λοιπόν, ότι με επιτόκιο προεξόφλησης 3% και με βάση το κόστος που έχει η μεταφορά νερού στον κρατικό προϋπολογισμό, η επένδυση είναι βιώσιμη με απόσβεση στα περίπου 20 χρόνια, ενώ με επιτόκιο προεξόφλησης 5%, αποσβένει στα περίπου 28 χρόνια.

Σύμφωνα, με το πόσο κοστίζει το νερό στους κατοίκους (3 €/m³) και επιτόκιο προεξόφλησης 3 και 5%, η επένδυση χαρακτηρίζεται μη βιώσιμη, καθώς δεν αποσβένει σε περίοδο 40 ετών.

Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα, καθώς η μεταφορά νερού κοστίζει στο κράτος πολύ περισσότερο από ότι στους κατοίκους.

6.Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της υδρολογικής αβεβαιότητας (βροχόπτωση) με τη χρήση συνθετικών χρονοσειρών και διαστασιολόγηση δεξαμενών συλλογής ομβρίων για το νησί της Κιμώλου.

Έγινε στοχαστική προσομοίωση με τη χρήση του μοντέλου AR(1) για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών δεδομένων βροχόπτωσης, επιμερισμός των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσιες και εφαρμόστηκε το μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής για τη διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών.

Όσον αφορά τη στοχαστική προσομοίωση που έγινε, παρήχθησαν 50 μηνιαίες συνθετικές χρονοσειρές δεδομένων βροχόπτωσης με μήκος 40 ετών (περίπου διπλάσιο της ιστορικής) από την μηνιαία ιστορική χρονοσειρά. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε μία μεθοδολογία για τον επιμερισμό των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσιες με βάση την κατανομή της ημερήσιας βροχής στην ιστορική χρονοσειρά.

Οι ημερήσιες συνθετικές χρονοσειρές που προέκυψαν είχαν περίπου ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά με την ημερήσια ιστορική χρονοσειρά. Ωστόσο, εξετάστηκαν μόνο τρεις από τις 50 συνθετικές χρονοσειρές: 1) η συνθετική χρονοσειρά με ίδια μέση τιμή με αυτή της ιστορικής, 2) η συνθετική χρονοσειρά με την ελάχιστη μέση τιμή και μικρότερη της ιστορικής και 3) η συνθετική χρονοσειρά με τη μέγιστη μέση τιμή και μεγαλύτερη της ιστορικής χρονοσειράς. Έτσι, μελετήθηκε η διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών στην Κίμωλο, εφαρμόζοντας την ιστορική χρονοσειρά και τις τρεις συνθετικές χρονοσειρές στο μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής με ημερήσιο χρονικό βήμα.

Το βασικό σενάριο μελέτης αφορούσε μια οικία τεσσάρων ατόμων και ποσοστό ικανοποίησης αναγκών 35% με ημερήσια κατανάλωση 120 L/κάτοικο/ημέρα και 150 L/κάτοικο/ημέρα. Το ποσοστό 35% αντιστοιχεί για χρήση νερού σε πλυντήρια (~15%) και για πότισμα, πλύσιμο αυτοκινήτου (~20%). Έτσι, έγινε διερεύνηση της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής ομβρίων για διαφορετικές επιφάνειες συλλογής και όγκους ομβροδεξαμενής, καθώς και διερεύνηση του όγκου για επιθυμητές αξιοπιστίες μεταβάλλοντας την επιφάνεια συλλογής ομβρίων.

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.

Τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης, έδωσαν μια καλή εικόνα της αξιοπιστίας ενός συστήματος συλλογής ομβρίων στην Κίμωλο, καθώς προέκυψαν από την προσομοίωση των ιστορικών βροχομετρικών δεδομένων του νησιού και εξετάστηκε η διαστασιολόγηση και η επίδοση λειτουργίας του για 40 έτη αντί για 23, αν η διαστασιολόγηση γινόταν με βάση την ιστορική χρονοσειρά. Ο επιμερισμός των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσιες, έδειξε ότι οι χρονοσειρές που προέκυψαν, διατήρησαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ημερήσιας ιστορικής χρονοσειράς, με διαφορές στα ημερήσια ύψη βροχής.

Συμπερασματικά, ένα σύστημα συλλογής ομβρίων στο νησί της Κιμώλου ή σε άλλο μέρος με παρόμοιο βροχομετρικό καθεστώς, δεν έχει μεγάλη αξιοπιστία για μικρές επιφάνειες συλλογής. Επομένως, υψηλή αξιοπιστία απαιτεί την ύπαρξη μεγάλων επιφανειών συλλογής νερού, καθώς και μια μικρότερη ημερήσια κατανάλωση από τα 150 L/κάτοικο/ημέρα. Το γεγονός ότι στην Κίμωλο δεν υπάρχουν αρκετές κατασκευές με μεγάλες επιφάνειες συλλογής, αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, οδηγώντας σε μέτριες έως και χαμηλές αξιοπιστίες ($Re \leq 50\%$), ειδικά αν υπάρχει μια ημερήσια κατανάλωση νερού περί τα 150 L/κάτοικο/ημέρα. Για μικρότερες ημερήσιες καταναλώσεις, η αξιοπιστία του συστήματος αυξάνει και μπορεί να γίνει χρήση μικρών δεξαμενών με χαμηλότερο κόστος. Συνεπώς, η ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο και ημέρα, παίζει καθοριστικό ρόλο στην αξιοπιστία ενός συστήματος και στην επιλογή της δεξαμενής, καθώς τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας έδειξαν ότι μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης κατά 30 L, απαιτεί χρήση πολύ μικρότερης δεξαμενής (ακόμα και 20 m³ μικρότερη αναλόγως την επιφάνεια και την αξιοπιστία) και επιτυγχάνονται καλύτερες αξιοπιστίες για ίδια επιφάνεια συλλογής A.

Λαμβάνοντας υπόψη και την ανάλυση κόστους-οφέλους που πραγματοποιήθηκε για σύστημα συλλογής ομβρίων με χρήση ομβροδεξαμενής 15 m³, έδειξε ότι ο κρατικός προϋπολογισμός ωφελείται από ένα τέτοιο έργο, ενώ σε επίπεδο ιδιώτη το έργο κρίνεται ανωφελές. Συνεπώς, αν μία τέτοια επένδυση επιδοτείται από κάποιο φορέα μη επιβαρύνοντας τους ιδιώτες, θα βοηθούσε κατά ένα μέρος στο πρόβλημα λειψυδρίας της Κιμώλου και θα εξοικονομούσε χρήματα του κρατικού προϋπολογισμού που τώρα δίνονται για τη μεταφορά νερού με υδροφόρες.

6.1. Ειδικά συμπεράσματα

Συγκεκριμένα, για ημερήσια κατανάλωση 150 L/κάτοικο/ημέρα, όλες οι χρονοσειρές βροχομετρικών δεδομένων έδειξαν ότι είναι αδύνατη η αξιοπιστία του συστήματος συλλογής ομβρίων να φτάσει το 100%, για επιφάνειες μικρότερες των 300 m². Συγκεκριμένα:

- Με επιφάνεια συλλογής 80-120 m², η αξιοπιστία του συστήματος παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Re<50%) με αδύνατη την κάλυψη του ποσοστού χρήσης 35% επαρκώς. Η μοναδική χρονοσειρά που έδειξε ότι επιφάνεια συλλογής 120 m² επιτυγχάνει αξιοπιστία 50% με τη χρήση όγκου ομβροδεξαμενής 10 m³ ήταν η μέγιστη συνθετική χρονοσειρά, πράγμα αναμενόμενο, καθώς είναι ευμενέστερη της ιστορικής με μεγαλύτερη ετήσια βροχόπτωση.
- Αξιοπιστία 80% επιτυγχάνεται μόνο για πολύ μεγάλες επιφάνειες συλλογής. Με βάση την μέση συνθετική και την ιστορική χρονοσειρά απαιτείται επιφάνεια συλλογής $A \geq 200 \text{ m}^2$, ενώ με βάση την ελάχιστη και τη μέγιστη συνθετική χρονοσειρά απαιτούνται επιφάνειες συλλογής $A \geq 220 \text{ m}^2$ και $A \geq 180 \text{ m}^2$ αντίστοιχα.
- Για μια μέση αξιοπιστία 50-60%, η ιστορική και η μέση συνθετική χρονοσειρά έδειξαν ότι επαρκεί επιφάνεια συλλογής $A \sim 120-140 \text{ m}^2$, επιλέγοντας και τον αντίστοιχο όγκο ομβροδεξαμενής. Η ελάχιστη συνθετική ως δυσμενέστερη και η μέγιστη ως ευμενέστερη βροχομετρική χρονοσειρά, έδειξαν ότι οι ανάγκες επιφάνειας συλλογής είναι $A \sim 140-160 \text{ m}^2$ και $A \sim 80-100 \text{ m}^2$ αντίστοιχα. Η διαφοροποίησή τους σε σχέση με τη μέση συνθετική και την ιστορική οφείλεται στην όχι τόσο καλή στατιστική τους ομοιότητα με την ιστορική (διαφορετική μέση τιμή) περιγράφοντας είτε υψηλότερο είτε χαμηλότερο βροχομετρικό καθεστώς η κάθε μία.
- Χρονοσειρές με διαφοροποίηση στα στατιστικά χαρακτηριστικά σε σχέση με την ιστορική, δεν προσομοιώνουν όπως πρέπει την βροχόπτωση μελλοντικά οδηγώντας σε υπερεκτίμηση ή υποτίμηση αποτελεσμάτων.

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της μέσης συνθετικής χρονοσειράς, για ένα σύστημα στην Κίμωλο, απαιτείται επιφάνεια συλλογής $A \geq 200 \text{ m}^2$ για αξιοπιστία 80%, ενώ για αξιοπιστία 50-60% απαιτείται επιφάνεια συλλογής $A \sim 120-140 \text{ m}^2$. Για αξιοπιστία 90%, οι επιφάνειες συλλογής που απαιτούνται είναι 240-300 m², επιφάνειες κατά πολύ μεγαλύτερες από τις ήδη υπάρχουσες στο νησί της Κιμώλου.

Όσον αφορά τους όγκους δεξαμενής που απαιτούνται για συγκεκριμένη αξιοπιστία, εξετάστηκε το ίδιο βασικό σενάριο (4 άτομα, 35% ποσοστό χρήσης) για ημερήσια

κατανάλωση 120 L/κάτοικο/ημέρα και 150 L/κάτοικο/ημέρα. Ως αποδεκτός όγκος δεξαμενής ορίστηκε ο $V \leq 50 \text{ m}^3$. Όγκοι μεγαλύτεροι αυτού απορρίφθηκαν και δεν εμφανίστηκαν στα αποτελέσματα. Επίσης, οι επιφάνειες συλλογής που εξετάστηκαν είναι 120-300 m^2 .

Γενικά, όλες οι χρονοσειρές και για τις δύο ημερήσιες καταναλώσεις, για ίδια επιφάνεια συλλογής, έδειξαν ότι όσο η επιθυμητή αξιοπιστία αυξάνεται απαιτούνται μεγαλύτεροι όγκοι ομβροδεξαμενών. Ωστόσο, για την ίδια επιθυμητή αξιοπιστία, όσο αυξάνεται η επιφάνεια συλλογής, οι απαιτούμενοι όγκοι είναι μικρότεροι. Τα τελικά συμπεράσματα προκύπτουν πάλι από τη μέση συνθετική και την ιστορική χρονοσειρά, καθώς η ελάχιστη και η μέγιστη συνθετική χρονοσειρά έδειξαν υποτιμημένα και υπερτιμημένα αποτελέσματα αντίστοιχα.

Με βάση, λοιπόν, τη μέση συνθετική χρονοσειρά που προσομοίωσε καλύτερα τα ιστορικά βροχομετρικά δεδομένα καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα όσον αφορά τους απαιτούμενους όγκους:

- Για ημερήσια κατανάλωση 150 L/κάτοικο/ημέρα, η μέση συνθετική έδειξε ότι επιτυγχάνεται αξιοπιστία 95% με απαιτούμενο όγκο δεξαμενής 35-44 m^3 και επιφάνειες $A \geq 260 \text{ m}^2$. Συνεπώς, μία τόσο υψηλή αξιοπιστία είναι δύσκολο να επιτευχθεί, παρά μόνο με τη χρήση πολύ μεγάλης επιφάνειας συλλογής, ώστε ο απαιτούμενος όγκος να είναι μικρότερος των 50 m^3 .
- Για αξιοπιστία 85%, ο απαιτούμενος όγκος είναι 24-32 m^3 με επιφάνειες συλλογής $A \geq 220 \text{ m}^2$.
- Για αξιοπιστία 75% απαιτούνται όγκοι 16-34 m^3 και επιφάνεια συλλογής $A \geq 180 \text{ m}^2$.
- Αξιοπιστία 65% επιτυγχάνεται με χρήση όγκων δεξαμενής 8-22 m^3 και επιφάνεια συλλογής $A \geq 160 \text{ m}^2$, ενώ για αξιοπιστία 55% απαιτούνται όγκοι 3-13 m^3 και επιφάνεια συλλογής $A \geq 140 \text{ m}^2$.

Παρατηρείται, ότι όσο μειώνεται η επιθυμητή αξιοπιστία χρησιμοποιούνται αρκετά μικρότεροι όγκοι και άρα το κόστος κατασκευής του συστήματος θα είναι μικρότερο. Επίσης, οι μεγάλες επιφάνειες συλλογής συνδυάζονται με μικρές δεξαμενές συλλογής με βάση ένα χαμηλό βροχομετρικό καθεστώς, όπως αυτό της Κιμώλου.

Για ημερήσια κατανάλωση 120 L/κάτοικο/ημέρα, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι καλύτερα όσον αφορά την επιθυμητή αξιοπιστία του συστήματος συλλογής. Με τη μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης κατά 30 L, επιτυγχάνεται αξιοπιστία 95% και για πιο μικρές επιφάνειες συλλογής και πλέον οι απαιτούμενοι όγκοι δεξαμενής είναι αρκετά μικρότεροι. Συγκεκριμένα:

- Για αξιοπιστία 95% απαιτούνται όγκοι 24-48 m³ και μια επιφάνεια συλλογής $A \geq 200$ m².
- Αν η επιθυμητή αξιοπιστία είναι 85%, απαιτούνται όγκοι δεξαμενής 17-43 m³ για επιφάνεια συλλογής $A \geq 160$ m².
- Για αξιοπιστία 75%, οι απαιτούμενοι όγκοι δεξαμενής είναι 11-36 m³ για επιφάνεια συλλογής $A \geq 140$ m², ενώ για αξιοπιστία 65%, οι απαιτούμενοι όγκοι δεξαμενής είναι 5-37 m³ για επιφάνεια συλλογής 120-300 m².
- Τέλος, για αξιοπιστία 55%, οι απαιτούμενοι όγκοι δεξαμενής είναι 2-8 m³ για επιφάνεια συλλογής 120-300 m².

Για τις αξιοπιστίες 85-75-65%, παρατηρείται ότι για τις μικρές επιφάνειες συλλογής, μία εξοικονόμηση 20 m² με κάποια πρόσθετη κατασκευή, αν δεν επαρκεί η στέγη της οικίας, οδηγεί σε χρήση αρκετά μικρότερης δεξαμενής, γεγονός που προσφέρει εξοικονόμηση χώρου (για υπέργεια δεξαμενή) και μικρότερο κόστος.

Όσον αφορά το όφελος της επένδυσης για την Κίμωλο, ένα σύστημα συλλογής ομβρίων με χρήση ομβροδεξαμενής 15 m³, είναι επωφελές για τον κρατικό προϋπολογισμό με απόσβεση στα 20 ή 28 χρόνια ανάλογα με το επιτόκιο προεξόφλησης (3 και 5%) σε βάθος 40 χρόνων, ενώ κρίνεται ανώφελο σε επίπεδο ιδιώτη-οικίας, καθώς δεν αποσβένει. Έτσι, μία τέτοια επένδυση ίσως εμφάνιζε απόσβεση -σε επίπεδο ιδιώτη-, σε περίπτωση που το έργο επιδοτείται από κάποιο φορέα.

6.2. Μελλοντική έρευνα

Σε μέρη, όπως η Κίμωλος, με τόσο μεγάλο πρόβλημα λειψυδρίας, 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.

Ενδιαφέρον θα είχε να εξεταστεί ένα σύστημα συλλογής ομβρίων με κυμαινόμενη ημερήσια κατανάλωση στο έτος ($q_{\theta\epsilon\rho\varsigma} \neq q_{\chi\epsilon\iota\mu\omega\nu\alpha}$), καθώς οι ανάγκες νερού στο νησί της Κιμώλου διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό το χειμώνα και το καλοκαίρι λόγω του τουρισμού. Συνεπώς, λόγω αυτής τη διακύμανσης του πληθυσμού μέσα στο χρόνο, θα μπορούσε να

μελετηθεί και σύστημα για διαφορετικό αριθμό ατόμων ανά οικία (N_{cap}) στο έτος, καθώς το καλοκαίρι πιθανόν να εξυπηρετούνται περισσότερα άτομα ανά οικία σε αντίθεση με το χειμώνα που με βάση τα στατιστικά στοιχεία για την Κίμωλο, σε κάθε οικία κατοικούν στην πλειοψηφία από 2-3 άτομα.

Όσον αφορά την στοχαστική προσομοίωση, θα μπορούσε να γίνει χρήση άλλου στοχαστικού μοντέλου και στη συνέχεια σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά του AR(1) της παρούσας εργασίας, καθώς το AR(1) έχει το μειονέκτημα μη διατήρησης της εμμονής της αρχικής χρονοσειράς. Επίσης, θα μπορούσε να μελετηθεί περαιτέρω η κατανομή των ημερήσιων υψών βροχής και να γίνει διερεύνηση της προσαρμογής μιας θεωρητικής κατανομής στα ημερήσια ύψη βροχής, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία-Αναφορές

Αειφόρος Σύμβουλοι ΟΤΑ & Επιχειρήσεων, 2012. Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Κιμώλου, 2012-2014.

Δαμίγος Δ. και Καλιαμπάκος Δ., 2008. Παρουσίαση Μαθήματος Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων. Ανάλυση Κόστους-Οφέλους. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Δήμος Κιμώλου (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, 2015α. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (GR14). Αθήνα.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων 2015β. Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (GR14).

ΕΥΔΑΠ Νήσων (Προσωπική επικοινωνία)

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

Κουτσόγιαννης 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, 13 Ιανουαρίου 2012, Αθήνα.

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

Μετεωρολογικός Σταθμός Μήλου.

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

Οικονομίδης Δ., 2010. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Εγκατάσταση Εξυγίανσης Νερού (αφαλάτωση) στη Ν. Κίμωλο, Ν.Κυκλάδων.

Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου, 2014. Γενική Διεύθυνση Περιφερειακής Αγροτικής Οικονομίας και Κτηνιατρικής. Επιχειρησιακό Σχέδιο Αγροτικής Ανάπτυξης 2014-2020, Νήσος Κίμωλος.

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

Ξένη Βιβλιογραφία

Abdulla F.A., Al-Shareef A.W., 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan, *Desalination*, 243 (1–3) pp. 195–207.

Antoniou G., Xarchakou R., Angelakis A.N., 2006. Water Cistern Systems in Greece from Minoan to Hellenistic Period. In *Proceedings of 1st IWA International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations*, National Foundation for Agricultural Research, Institute of Iraklion, Iraklion, Greece, 28–30 October 2006; Angelakis A.N., Koutsoyiannis D., Eds.; pp. 463–468.

Appan A., 1999. Economic and water quality aspects of rainwater catchment system. *Proc. Internat. Symp. Efficient Water Use in Urban Areas*, UNEP Int. Environ. Tech. Center, Osaka, Japan.

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

Bitis, J., 2013. Water supplying methods in ancient Thera: The case of the sanctuary of Apollo Karneios. *Water Sci. Technol. Water Supply*, 13, 638–645.

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

Chang N., Rivera B.J. and Wanielista M.P., 2011. Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 19: 1180-1188.

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

Chiu Y., Liaw C. and Chen L., 2009. Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities. *Renewable Energy*, 34: 492-498.

- Cowden J.R., Watkins Jr.D.W. and Mihelcic J.R., 2008. Stochastic rainfall modelling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. *Journal of Hydrology*, 361: 64-77.
- DIN 1989-1, 2002. Rainwater Harvesting Systems - Part 1: Planning, Installation, Operation and Maintenance. German Institute for Standardisation, Berlin, 2002.
- Fewkes A. and Butler D., 2000. Simulating the performance of rainwater collection systems using behavioural models? *Building Services Engineering Research and Technology*, 21(2): 99-106.
- Fewkes A., 1999a. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and Environment*, 34: 765-772.
- Fewkes A., 1999b. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. *Urban Water*, 1: 323-333.
- Fooladman H.R. and Sepaskhah A.R., 2004. Economic analysis for the production of four grape cultivars using microcatchment water harvesting systems in Iran. *Journal of Arid Environments*, 58: 525-533
- Fraisse P. and Morett, J.C., 2007. *Le Theatre. Vols. I, II Exp. Arch Delos XLII*; De Boccard: Paris, France.
- Ghisi E. and Ferreira D.F., 2007. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-story residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(4): 2512-22.
- Ghisi E., Montibeller A. and Schmidt R., 2006. Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. *Building Environment*, 41, 204–210.
- Goel A.K. and Kumar R., 2005. Economic analysis of water harvesting in a mountainous watershed in India. *Agricultural Water Management*, 71: 257-266.
- 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.
- Guo Y. and Baetz B., 2007. Sizing of rainwater storage units for Green Building applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12 (2): 197-205.

- Handia L., Tembo J.M. and Mwiindwa C., 2003. Potential of Rainwater harvesting in urban Zambia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28: 893-896.
- Helmreich B. and Horn H., 2009. Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination*, 248, 118–124.
- Herrmann T. and Schmida U., 1999. Rainwater utilisation in Germany: Efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water*, 1, 307–316.
- Imteaz M.A., Shanableh A., Rahman A. and Ahsan A., 2011. Optimisation of rainwater tank design from large roofs: a case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 55: 1022-1029.
- 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*.
- Kinkade-Levario H., 2007. *Design for Water Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment and Alternate Water Reuse*. New Society Publishers, Canada.
- K. Zhu, L. Zhang, W. Hart, M. Liu and H. Chen, 2004. Quality Issues in harvested rainwater in Arid and semi-Arid Loess Plateau of northern China. *Journal of Arid Environments* 57, 487–507.
- Lall U., Rajagopalan B., Tarboton D.G., 1996. A nonparametric wet/dry spell model for resampling daily precipitation. *Water Resources Research* 32 (9), 2803–2823.
- Lariyah M.S., Mohd Nor M.D., Mohamed Roseli Z.A., Zulkefli M. and Amirah Hanim M.P., 2011. Application of Water Sensitive Urban Design at Local Scale in Kuala Lumpur. *Proceedings of 12nd International Conference on Urban Drainage*, 10-15 September, Porto Alegre, Brazil.
- Lee K.T., Lee C.D., Yang M.S. and Yu C.C., 2000. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 77(3): 343-8.

- 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.
- Li Z., Boyle F. and Reynolds A., 2010. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, 260: 1-8.
- Marthur M., 2013. Modelling rainwater-harvesting system reliability based on historical precipitation data for Portland. Portland State University.
- Mays L., Antoniou P. G., Angelakis N.A., 2013. History of Water Cisterns: Legacies and Lessons. *Water*, 5, 1916-1940.
- Mays L.W., 2010. *Ancient Water Technologies*. Springer Science and Business Media. B.V.: Dordrecht, The Netherlands.
- Mitchell V.G., 2007. How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behavior modelling. *Hydrological Processes*, 21: 2850-2861.
- Palla A., Gnecco I. and Lanza L.G., 2011. Non-dimensional design parameters and performance assessment of Rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology*, 401: 65-76.
- P.J. Coombes, J.R. Argue and G. Kuczera, 1999. Figtree Place: a case study in water sensitive urban development (WSUD). *Urban Water*, 1, 335–343.
- Pandey P.K., Panda S.N. and Panigrahi B., 2006. Sizing on-farm reservoirs for crop-fish integration in rainfed farming systems in Eastern India. *Biosystems Engineering*, 93: 475-489.
- Sazakli E., Alexopoulos A. and Leotsinidis M., 2007. Rainwater harvesting. Quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water Research*, 41: 2039-2047.
- Semenov M. and Barrow E.M., 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climate Change* 35, 397-414 (R).
- Song J., Han M., Kim T. and Song J., 2009. Rainwater harvesting as a sustainable water supply option in Banda Aceh. *Desalination*, 248: 233-240.
- Sturm M., Zimmermann M., Schütz K., Urban W. and Hartung H., 2009. Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34: 776-785.
- Su M., Lin C., Chang L., Kang J. and Lin Mei., 2009. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *Resources, Conservation and Recycling*, 53: 393-399.

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.

Tsubo M., Walker S. and Hensley M., 2005. Quantifying risk for water harvesting under semi-arid conditions: Part I. Rainfall intensity generation. *Agricultural Water Management*, 76: 77-93.

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

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

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.

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

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

<http://www.e-kyklades.gr/intro.jsp>

http://www.grhotels.gr/GR/BussinessInfo/library/DocLib/2013_HOTELS_REGIONS

www.hnms.gr Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

www.medies.net

<http://www.notioaigaio.gr/> Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου

<http://www.oikoskopio.gr/map/> Πηγή δεδομένων WWF

<http://www.solargeo.co.uk/wp-content/uploads/2014/07/raionwaterHarvesting2.jpg>

<http://www.statistics.gr/> Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία

<http://static.panoramio.com>

<https://theriddleofplumbingandelectrical.files.wordpress.com/2014/04/source-housebuildingaustralia.jpg>

<http://www.totalwastewatersystemsuk.co.uk/userfiles/Images/commercial-rain-harvesting-system-dia.jpg>

https://webpages.uidaho.edu/larc380/new380/assets/images/lessonHarvesting_files/imagesLunden/IMAGE010.GIF

<http://www.wwf.gr/index.php/areas/protected-areas> Δίκτυο WWF

<http://www.ypai.gr/> Γενική Γραμματεία Αιγαίου & Νησιωτικής Πολιτικής