ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Διερεύνηση της αποδοτικότητας ομβροδεξαμενών σε νησιά του Αιγαίου

Ευαγγελία Παπαγιάννη

Επιβλέπων: Καθηγητής Μπαλτάς Ευάγγελος

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Ευχαριστίες

Έχοντας ολοκληρώσει την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου, Καθηγητή κ. Ευάγγελο Μπαλτά, για την ανάθεση αυτού του πολύ ενδιαφέροντος θέματος, την καθοδήγηση και την άριστη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στην Δρ. Παρασκευή Λόντρα, Ε.ΔΙ.Π. του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την πολύτιμη βοήθειά της σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους ανθρώπους που στάθηκαν δίπλα μου δείχνοντας υπομονή, διότι χωρίς τη δική τους βοήθεια και υποστήριξη, δεν θα είχα καταφέρει να φτάσω ως εδώ.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες 2
Περιεχόμενα 3
Περίληψη 6
Extented Abstract 8
1. Εισαγωγή 18
1.1. Αντικείμενο εργασίας 18
1.2. Πρωτότυπα σημεία 18
2. Περιγραφή της διαχείρισης των υδατικών πόρων στην Ελλάδα 19
2.1. Η έννοια της διαχείρισης των υδατικών πόρων 19
2.2. Χρήσεις νερού στην Ελλάδα 20
2.2.1. Ανάλυση της ζήτησης νερού ανά χρήστη 20
2.2.1.1. Αστική 20
2.2.1.2. Βιομηχανική 21
2.2.1.3. Αγροτική 21
2.2.1.4. Ενεργειακή 22
2.3. Διαθεσιμότητα Υδατικών πόρων στην Ελλάδα – Υφιστάμενη κατάσταση 23
2.4. Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60 26
2.5. Νομικό και θεσμικό πλαίσιο 26
2.6. Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) Νήσων Αιγαίου 27
2.7. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά 28
2.8. Κλιματικά χαρακτηριστικά 29
2.9. Κάλυψη αναγκών σε νερό 30
2.10. Ύδρευση – πηγές πόσιμου ύδατος 31
3. Συλλογή Όμβριων Υδάτων 36
3.1. Συλλογή όμβριων υδάτων (Rainwater harvesting) 36
3.2. Συλλογή όμβριων υδάτων στην Ελλάδα – Ιστορική αναδρομή 38
3.3. Νομοθετικό Πλαίσιο συλλογής όμβριων υδάτων στην Ελλάδα 41
3.4. Περιγραφή των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων 43
3.5. Ποσότητα όμβριων υδάτων-συντελεστής απορροής 55
3.6. Ποιότητα όμβριων υδάτων 55

3.7. Διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών (tanks sizing) 56

4. Ανάπτυξη της μεθοδολογίας στην περιοχή μελέτης Νήσων Αιγαίου..... 60

4.1. Περιοχή μελέτης 60

4.2. Δεδομένα βροχόπτωσης..... 61

4.2.1. Ανάλυση βροχομετρικών σειρών. 62

4.3. Μεθοδολογία..... 63

4.4. Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (water balance model)..... 63

4.5. Προσδιορισμός του όγκου συλλογής ομβρίων από επιφανεία (Rt)..... 63

4.6. Προσδιορισμός της ζήτησης (Dt) 64

4.7. Εύρεση του όγκου της ομβροδεξαμενής (Vtank) 65

4.8. Συντελεστής αξιοπιστίας (Re) 66

5. Κόστος ομβροδεξαμενών..... 67

5.1. Ανάλυση κόστους 67

5.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά..... 68

5.3. Λειτουργία και συντήρηση 70

6. Αποτελέσματα-Συζήτηση..... 71

6.1. Εφαρμογή της μεθόδου του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου - Λήμνος..... 71

6.2. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων 76

6.3. Σκύρος 77

6.4. Πάρος..... 81

6.5. Μήλος 85

6.6. Σαντορίνη..... 89

6.7. Μύκονος 93

6.8. Ρόδος..... 96

6.9. Λέσβος..... 100

6.10. Χίος..... 103

6.11. Σάμος 106

6.12. Ικαρία..... 109

6.13. Σκιάθος 112

6.14. Νάξος..... 115

6.15. Κως 118

6.16. Συγκριτικά αποτελέσματα 121

7. Συμπεράσματα 130

7.1. Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα 130

Βιβλιογραφία 132

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας εφαρμόστηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με σκοπό τη διερεύνηση της αποδοτικότητας ομβροδεξαμενών για αστική χρήση στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου. Ο προσδιορισμός της αποδοτικότητας των δεξαμενών πραγματοποιήθηκε σε 14 νησιά του Αιγαίου και εξετάστηκε ο βαθμός αξιοπιστίας για την κάλυψη των αναγκών μη πόσιμου νερού ενός νοικοκυριού 3 έως 4 ατόμων.

Επίσης, διερευνήθηκε το κόστος αρχικής επένδυσης για την απόκτηση της ομβροδεξαμενής και συσχετίστηκε με τα επίπεδα αξιοπιστίας για κάθε σενάριο ζήτησης που μελετήθηκε.

Για την εφαρμογή του μοντέλου του υδατικού ισοζυγίου και τον προσδιορισμό της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, απαραίτητες προϋποθέσεις είναι τόσο η διαθεσιμότητα ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης διάρκειας τουλάχιστον 10 ετών, όσο και η αξιόπιστη καταγραφή των μετρήσεων αυτών.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης 22 ετών, για τη χρονική περίοδο 1990-2012, από σταθμούς της ΕΜΥ στα 14 νησιά μελέτης. Η διερεύνηση της αποδοτικότητας ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων πραγματοποιήθηκε για ένα νοικοκυριό με αριθμό κατοίκων 3 έως 4, και ποσοστά ικανοποίησης οικιακών αναγκών 30%, 40% και 50%, που μεταφράζονται (λαμβάνοντας ως ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο τα 150 L) σε 135 έως 300 L/ημέρα. Τα ποσοστά αυτά αντιστοιχούν στις ανάγκες μιας οικογένειας για κατανάλωση νερού στο καζανάκι (~30%), στο μπάνιο-ντους (20%-30%) ή/και στα πλυντήρια ρούχων και πιάτων (~15%).

Ως επιφάνειες συλλογής ομβρίων εξετάστηκαν οι περιπτώσεις των 100, 150, 200, 250 και 300 m^2, οι οποίες είναι κτηριοδομικά και πολεοδομικά συνηθισμένες στα νησιά του Αιγαίου. Οι τιμές των όγκων ομβροδεξαμενών που εξετάστηκαν κυμαίνονταν από 5 έως 50 m^3, ανα διαστήματα των 5 m^3, μεγέθη τα οποία είναι κτηριοδομικά εφικτά, εμπορικά διαθέσιμα και πολεοδομικά επιτρεπτά.

Η αξιολόγηση των βροχομετρικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, έδειξε ότι στα νησιά των Κυκλάδων που μελετήθηκαν (Μήλος, Πάρος, Νάξος, Μύκονος, Σαντορίνη) παρατηρήθηκαν οι μικρότερες μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης, οι οποίες κυμαίνονταν από 293 έως 415 mm και οι μεγαλύτερες μέσες ετήσιες άνομβρες περίοδοι που κυμαίνονταν από 4 έως 5 μήνες περίπου, ενώ στα νησιά του Βόρειου και Ανατολικού Αιγαίου (Σκιάθος, Σκύρος, Λήμνος, Σάμος, Κώς, Λέσβος, Ικαρία, Χίος, Ρόδος) παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης, από 423 έως 685 mm και οι μικρότερες μέσες ετήσιες άνομβρες περίοδοι, από 2 έως 5 μήνες περίπου. Το διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς των νησιών καθόρισε και την αξιοπιστία του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Στα νησιά του Βόρειου και Ανατολικού Αιγαίου, η αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία του συστήματος για όλες τις περιπτώσεις των επιφανειών συλλογής που εξετάστηκαν και για όλα τα επίπεδα ζήτησης. Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση ικανοποίησης της υψηλής ζήτησης (50% των 4 ατόμων-300 L/day) με μικρή επιφάνεια συλλογής (100 m^2) όπου παρατηρούνται αφενός μεν τα χαμηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας και αφετέρου δε τα μικρότερα ποσοστά αύξησής της με την αύξηση του όγκου δεξαμενής. Στα νησιά των Κυκλάδων, η αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής αυξάνει σημαντικά την

αξιοπιστία του συστήματος μόνο στις περιπτώσεις των μεγάλων επιφανειών συλλογής (>200 m^2) και για χαμηλό επίπεδο ζήτησης (30% των 3 ατόμων-135 L/day).

Η διερεύνηση της επίδρασης της επιφάνειας συλλογής επί της αποδοτικότητας του συστήματος συλλογής ομβρίων για το σενάριο της χαμηλής ζήτησης (30% των 3 ατόμων-135 L/day) στα νησιά των Κυκλάδων, έδειξε ότι για επιφάνειες συλλογής μέχρι 100 m^2 είναι αδύνατο να επιτευχθεί αξιοπιστία μεγαλύτερη του 80% και η αύξηση της αξιοπιστίας είναι μικρή για όγκους ομβροδεξαμενών μεγαλύτερους των 20 m^3 περίπου. Υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας που φτάνουν και το 100% παρατηρούνται μόνο στις μεγάλες επιφάνειες (250-300 m^2) και για μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενών. Σε αντίθεση, στα νησιά του Βόρειου και Ανατολικού Αιγαίου η κάλυψη της χαμηλής ζήτησης επιτυγχάνεται με μεγάλα ποσοστά αξιοπιστίας (>90%) ακόμη και για μικρά μεγέθη επιφανειών.

Στα νησιά των Κυκλάδων, η ικανοποίηση της υψηλής ζήτησης (300 L/day) με επιφάνειες συλλογής μέχρι 300 m^2 είναι αδύνατο να επιτευχθεί με αξιοπιστία 100%. Συγκεκριμένα, για επιφάνειες συλλογής 200 m^2 και ομβροδεξαμενές 15 m^3 παρατηρούνται ποσοστά αξιοπιστίας μεγαλύτερα του 40%, ενώ η επίδραση του μεγέθους της δεξαμενής επί της αξιοπιστίας γίνεται ασήμαντη για μεγαλύτερα μεγέθη δεξαμενής. Για επιφάνειες συλλογής 300 m^2 επιτυγχάνεται αξιοπιστία μεγαλύτερη του 40% για δεξαμενές μεγαλύτερες των 5 m^3 και αυξάνεται με την αύξηση του όγκου της δεξαμενής. Ωστόσο, στα νησιά του Βόρειου και Ανατολικού Αιγαίου, η ικανοποίηση της υψηλής ζήτησης (300 L/day) με επιφάνειες συλλογής 200 m^2 επιτυγχάνεται με αξιοπιστία μεγαλύτερη του 40% για ομβροδεξαμενές 5 m^3 και αυξάνεται σε 80% έως 90% για ομβροδεξαμενές 50 m^3. Η αξιοπιστία αγγίζει το 95% για επιφάνειες συλλογής 300 m^2.

Η Σαντορίνη παρουσίασε τα μικρότερα επίπεδα αξιοπιστίας σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά του Αιγαίου που μελετήθηκαν λόγω του δυσμενούς συνδυασμού χαμηλής βροχόπτωσης και μεγάλης άνομβρης περιόδου.

Γενική συνισταμένη όλων των ανωτέρω αποτελεί η διαπίστωση πως για να επιτευχθούν υψηλά ποσοστά αξιοπιστίας χρειαζόμαστε ταυτόχρονα την ισχύ τριών συνθηκών: α) χαμηλή ζήτηση, β) μεγάλη επιφάνεια συλλογής και γ) μεγάλος όγκος ομβροδεξαμενής.

Η διερεύνηση τόσο του κόστους απόκτησης ομβροδεξαμενής όσο και της σχέσης κόστους-αξιοπιστίας έδειξε ότι αφενός μεν το κόστος είναι σε γενικές γραμμές ανάλογο του μεγέθους ομβροδεξαμενής και αφετέρου δε ότι η επίτευξη μεγάλων ποσοστών αξιοπιστίας απαιτεί μεγάλα κόστη αρχικής επένδυσης.

Extented Abstract

Introduction

Greece is endowed with adequate water resources and has relatively high per capita water availability in the Mediterranean area. However, Greece is facing a water imbalance especially in coastal and southeastern regions due to spatial variations in the precipitation and uneven water distribution. (Tsagarakis et al., 2003). A typical example of water shortage is ongoing for Aegean islands where the amount of precipitation is extremely low and the available water resources are insufficient to meet the demand. In addition, Greek islands have to confront the seasonal population variation, due to tourism, which increases the water demand during the drier part of the year. This adverse situation has led many islands to overexploitation of the local water resources.

The islands with the most intense water resource problem are those of Dodecanese and Cyclades. Water resources in those islands are very limited and the water supply includes water bores, floating water carriers, small natural and artificial reservoirs and desalination plants. In addition, the over abstraction of groundwater aquifers can lead to salinization of the water rendering it mostly unusable. In this regard the future of the islands may be threatened by increasing stress in the coastal areas and serious water resources interdependencies.

It is important to address the issue of water deficiency in Aegean islands using sustainable non-conventional methods such as gray water and rainwater harvesting in order minimize the demand. The local authorities should implement a series of policies in order to lead the inhabitants of the islands back to traditional methods of collection and storage of rainwater and shift the focus on an integrated water management solution.

Rainwater harvesting is a practice of collecting rainwater from land catchment area, which can store the collected water in ditches, ponds, tanks and reservoirs, either for irrigation or to recharge groundwater aquifers. Collecting rainwater from roof surface is used mainly in urban areas and water is stored either in above ground or underground tanks aimed mainly for domestic use and irrigation of home gardens. Today, domestic rainwater harvesting has become increasingly important as a modern, relatively cheap and simple water saving technology, being one of the most promising alternative water supply options against the problem of increasing water scarcity and demand. It provides the possibility of increasing water reserves while allowing self-reliance and sustainability.

One of the main methodologies to determine the optimum size of rainwater tank is the water balance model (behavioural models) (Handia 2002, Ward et al., 2011, Campisano and Modica, 2012, Tsihrintzis and Baltas, 2013, Londra et al., 2015a), which is applied either by using daily (Fewkes, 2000), or monthly rainfall data (Watt, 1978).

One advantage of the behavioural methods is that they can measure several variables of the system over time, such as volumes of consumed and overflowed rainwater, percentage of days in which rainwater demand is met (Ghisi et al., 2009), etc. The main disadvantage of these methods is that there is no guarantee of similar results when using different rainfall data from the same region, as the simulation is based on a water mass balance equation (Basinger et al., 2010). Furthermore, another method being used, is sizing the water storage tank based on probability models (probabilistic models) (Cowden et al., 2008; Su et al., 2009; Basinger et

al., 2010; Chang et al., 2011). The main disadvantage of propabilistic methods is their probability.

All methodologies are based on recordings of local rainfall data used either directly as hydrological input data in the system or as input data for forecasting parameters required in a stochastic rainfall model. Overall, the capacity of rainwater harvest tanks cannot be formulated because is strongly influenced by several local variables, such as local rainfall, the collection surfaces, demand and the number of routes residents (Aladenola and Adeboye, 2010, Eroksuz and Rahman, 2010, Londra et al., 2015a,b).

In Greece, it is imposed statutory the construction of rainwater harvesting tanks in 27 Aegean islands. Furthermore, many attempts have already been made in Greece in order to set the necessary legal framework under which the collection of rainwater harvesting could be obtained along with the needed environmental and urban planning conditions. In addition, a recent study proposed the extension of that compulsory construction in other areas that belong in deficient or marginally deficient water districts such as Eastern Central Greece, Thessaly, Eastern Peloponnese, Crete and the rest of Aegean Islands.

This study presents an evaluation of rainwater harvest tanks reliability for domestic use in Aegean islands. The level of reliability is tested in various volumes of water tanks, using the method of daily water balance in 14 Aegean islands to meet non-potable water demand of household 3 to 4 residents.

Methodology

Study area

Daily rainfall data within the period 1990-2012 from stations distributed across the 14 islands in the Water District of Aegean Islands (Fig. 1) were obtained from the Hellenic National Meteorological Service. The stations selection criteria were: a) data availability and b) time series completeness.

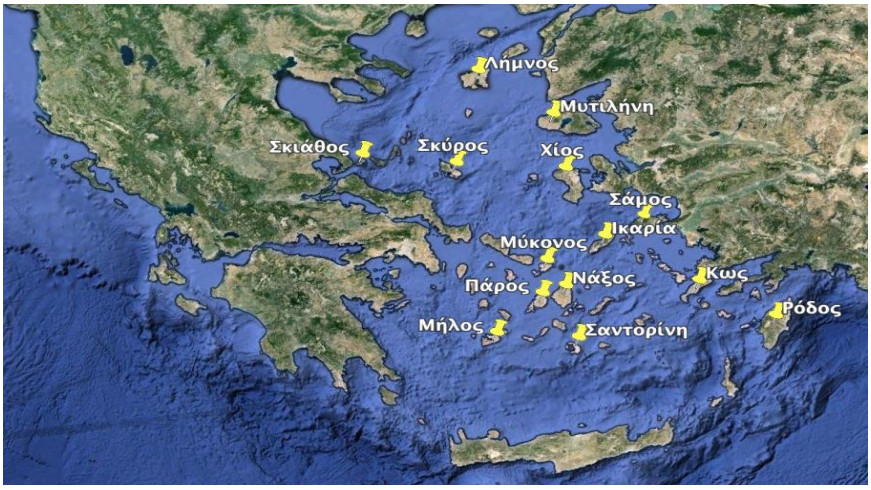


Fig.1: Locations of the rainfall stations used in this study.

Daily water balance method

A spreadsheet based daily water balance model developed considering daily rainfall, contributing catchment (roof) area, losses due to leakage, spillage and evaporation, storage (tank) volume and water uses.

The water balance model equation used is given in Eq. (1) as

$$St = St - 1 + Rt - Dt, 0 \leq St - 1 \leq Vtank \quad (1)$$

where St is the stored volume at the end of tth day (m^3), St-1 the stored volume at the beggining of tth day (m^3), Rt the harvested rainwater volume at the end of tth day (m^3), Dt the daily water demand (m^3) and Vtank the capacity of rainwater tank (m^3).

The daily runoff volume was calculated from daily rainfall amount by multiplying the rainfall amount with the contributing roof area and the runoff coefficient. 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 rain collection area, the first flush is assumed equal to 0.33 mm.

The mathematical equation is described as follows:

$$Rt = C \cdot A \cdot Peff, t \quad (2)$$

where C is the runoff coefficient, A the rain collection area (m^2) and Peff,t daily effective rainfall depth at the end of tth day (m).

The daily water demand, Dt, of a household is calculated as

$$Dt = Ncap \cdot q \cdot (p / 100) \quad (3)$$

where Ncap is the number of residents (capita), q the daily water use per capita and p the percentage of total water use satisfied by harvested rainwater.

The selected rates of demand, p, are 30%, 40% and 50%.In this study, the water demand for non-potable use of a household with number of capita Ncap=3 to 4 was determined, assuming q=150 l/cap/day and p ranged from 30% to 50%, i.e. 45 to 75 l/cap/day, respectively. These percentages correspond to water use for toilet (~ 30%), bathroom-shower (20%-30%) or/and cloths and dishes washing (~ 15%).

The studied rain collection areas A are 100, 150, 200, 250 and 300 m^2.

Taking into account the Eqs. (1)-(3) the daily rainwater stored volume is calculated as:

$$St = St - 1 + C \cdot A \cdot Peff, t - Ncap \cdot q \cdot (p/100) \quad (4)$$

The equation (4) can be written as:

$$St = St - 1 + DSt \quad (5)$$

The daily difference between runoff (inflow) and demand (outflow) is calculated using Eqs. (2) and (3). The calculation is iterative and starts from an initial stored water volume St-1=S0 at time t=0. The most conservative value of S0 is S0=0 for initially empty rainwater tank, the maximum value S0 =Vtank for initially full rainwater tank, or any other value S0 for partially full rainwater tank.

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

$$\text{if } St - 1 + \Delta St > Vtank, \text{ if } St - 1 + \Delta St < 0 \text{ then } 0 \text{ else } St = Stank = St - 1 + St \quad (6)$$

where St,tank is the actual available stored water volume in the tank at t^{th} day. The volume of water that overflows, Ot, from the tank when the tank is full can be computed from the following algorithm:

$$\text{if } St \geq Vtank \text{ then } Ot = St - Vtank \text{ else } Ot = 0 \quad (7)$$

In the case that the stored water volume in the tank, St,tank, is inadequate to meet the demand, Dt, then the demand will be satisfied, in parts or in whole, with water delivered from the public water supply, Tt, that can be calculated as follows:

$$\text{if } St, tank < Dt \text{ then } Tt = Dt - St, tank \text{ else } Tt = 0 \quad (8)$$

Reliability coefficient

The reliability coefficient enables the determination of efficiency of rainwater tanks for the examined demand levels.

The reliability (Re) of a rainwater tank is calculated as the ratio of the number of days when intended demand is met fully by the available stored rainwater and the total number of days simulated. Accordingly, in this study the reliability coefficient is calculated using daily rainfall data records on a continuous time series for a simulation period of twenty-two 22 years.

Results and Discussion

The analysis of rainfall data from 14 rainfall stations, within the Water District of Aegean Islands, showed that the lower mean annual rainfall values were observed in Cyclades islands (Paros, Milos, Naxos, Santorini, Mikonos) with values ranged from 293 to 415 mm. On the other hand, the higher mean annual rainfall values were observed in Northern and Eastern Aegean islands (Skiros, Ikaria, Samos, Kos, Skiathos, Lesvos, Rodos, Limnos, Chios) ranging from 423 to 685 mm (Table 1). Also, the maximum (Ndd,max) and mean (Ndd,ave) values of the longest annual dry periods recorded for the rainfall time series of all stations studied, were determined and are presented in Table 1. The higher values of mean annual dry periods were observed in Cyclades islands ranging approximately from 4 to 5 months and the lower ones were observed in Northern and Eastern Aegean islands ranging approximately from 2 to 5 months (Table 1).

Table 1: Mean annual rainfall values, max (Ndd,max) and mean (Ndd,ave) values of the longest annual dry periods for the rainfall time series of 14 stations studied.

Island locations	Time series length	Mean annual rainfall, P_m (mm)	Ndd,max (days)	Ndd,ave (days)
Skiros	1990-2012	423	130	82
Naxos	1990-2012	343	176	132
Santorini	1990-2012	293	198	141
Paros	1990-2012	377	200	143
Milos	1990-2012	383	169	129
Rodos	1990-2012	620	169	132
Limnos	1990-2012	531	141	67
Mikonos	1990-2012	415	171	131
Lesbos	1990-2012	587	158	104
Chios	1990-2012	582	166	123
Samos	1990-2012	685	170	128
Ikaria	1996-2012	654	180	142
Skiathos	1990-2004	666	126	64
Kos	1990-2012	595	169	137

The daily water balance model was applied in a spreadsheet of Microsoft Excel using the procedure presented in methodology section in order to evaluate the rainwater system performance among 14 Aegean islands.

During the evaluation in rainwater system's performance there was a research in:

- The water demand among different levels (30%-50%) in relation to the reliability being achieved.
- The size of the roof area required in order to achieve high reliability. The collection areas examined as a starting minimum value of 100 to a maximum value of 300 m^2.
- The tank volume range was selected from 5 to 50 m^3 in order to evaluate the efficiency of the rainwater collection system on defined levels of demand and collection surfaces.

The reliability curves for all 14 islands being studied, using a daily water balance for different tank sizes, for a three-people household, for 30% demand to be fulfilled by rainwater (135 L/day) for three roof areas; 100, 200 and 300 m^2 are showed in Figures 2 to 4.

Reliability efficiency of a rainwater harvesting system in 14 Aegean islands for tank sizes among 5-50 m^3 is demonstrated in Figures 2-7.

Major scenarios chosen for evaluation refer to:

- Low demand (135 L/day) satisfaction for catchments areas of 100, 200, 300 m^2.
- High demand (300 L/day) satisfaction for catcmement areas of 100, 200, 300 m^2.

In the same figures an indicative tank cost-size relationship is represented.

Evaluating Figure 2 reliability curves, becomes obvious that Cyclades islands demonstrate lower reliability curves than the rest Northern and Eastern Aegean islands in the low demand (135 L/day) – low area (100 m^2) scenario. Specifically, in Skiathos island, reliability curves range from 66% to 100%, while in Santorini ranges only from 40-55%, for all tank sizes (5-50 m^3).

It is worth noticing that Santorini island has the lowest annual rainfall (293 mm) among 14 islands and a very high dry period (~5 months).

It is characteristic that Cyclades and Skiros islands for low area value (100 m^2), tank raise beyond 15 m^3 doesn't proportionally raise reliability values due to low rainfall.

Also, in the same figure we observe that tank cost is doubled for tank size doubling. So, in Cyclades islands higher initial investments needed than the rest Aegean islands due to high tank sizes needed to achieve the same reliability values.

Catchment area 100 m^2

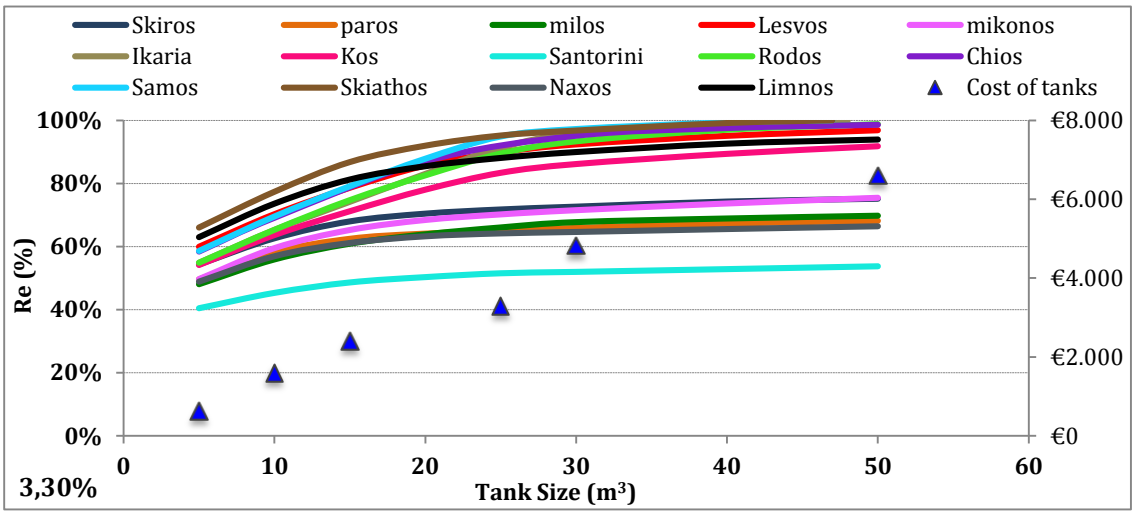


Figure 2: Reliability rates of rainwater harvesting system in relation to tank sizes to meet the demand of 30% of 3 capita (135 L/day) and catchment area of 100 m^2 for 14 Aegean islands.

Evaluating Figure 3 reliability curves, we observe that in all 14 islands, reliability values raise along with tank size. In Northern and Eastern Aegean islands reliability values of 65-78% are achieved for tank sizes of only 5 m^3 while they reach 100% for tank sizes 25-35 m^3 depending on island rainfall regime. In Cyclades islands reliability ranges from 51% to 61% for tank size 5 m^3 and reach 90% for tank size 20 m^3. Santorini is an exception since it needs 50 m^3 for 90% reliability. As far as tank cost concern, it becomes obvious that the raise of catchment area gives the opportunity to use smaller, so cheaper, tanks for the same reliability levels.

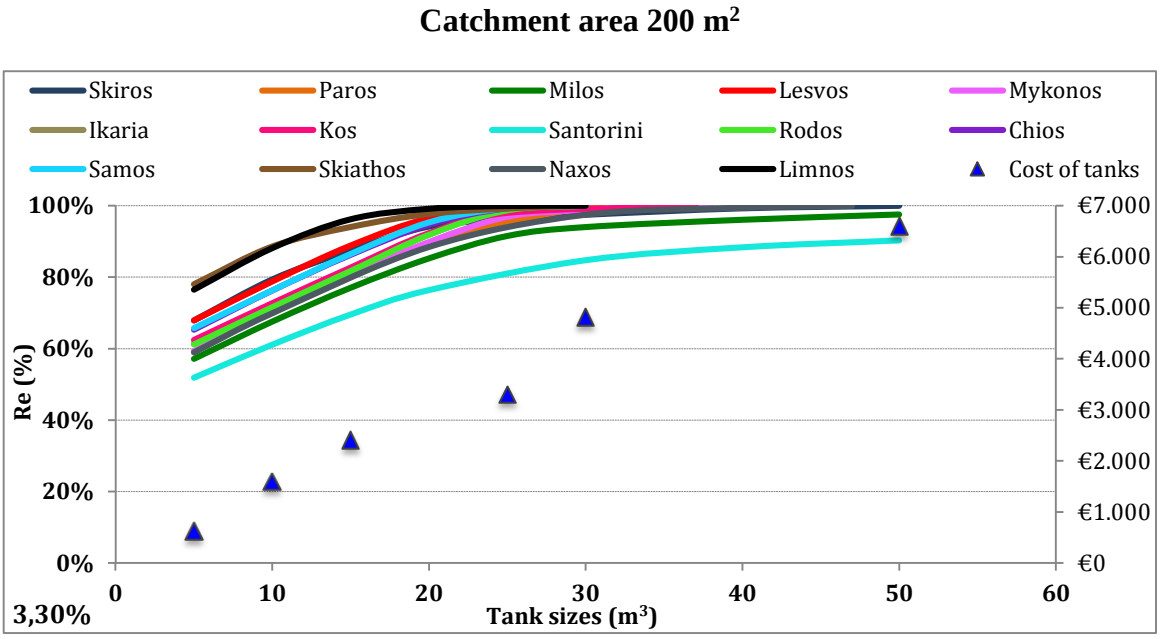


Figure 3: Reliability rates of rainwater harvesting system in relation tank sizes to meet the demand of 30% of 3 capita (135 L/day) and catchment area of 200 m^2 for 14 Aegean islands.

Evaluating Figure 4 where low demand (135 L/day) – high area (300 m^2) scenario is demonstrated, we observe that reliability levels rise and reaches 100% for tank sizes up to 30 m^3, with the exception of Milos which requires 50 m^3 and Santorini which never exceeds 95%.

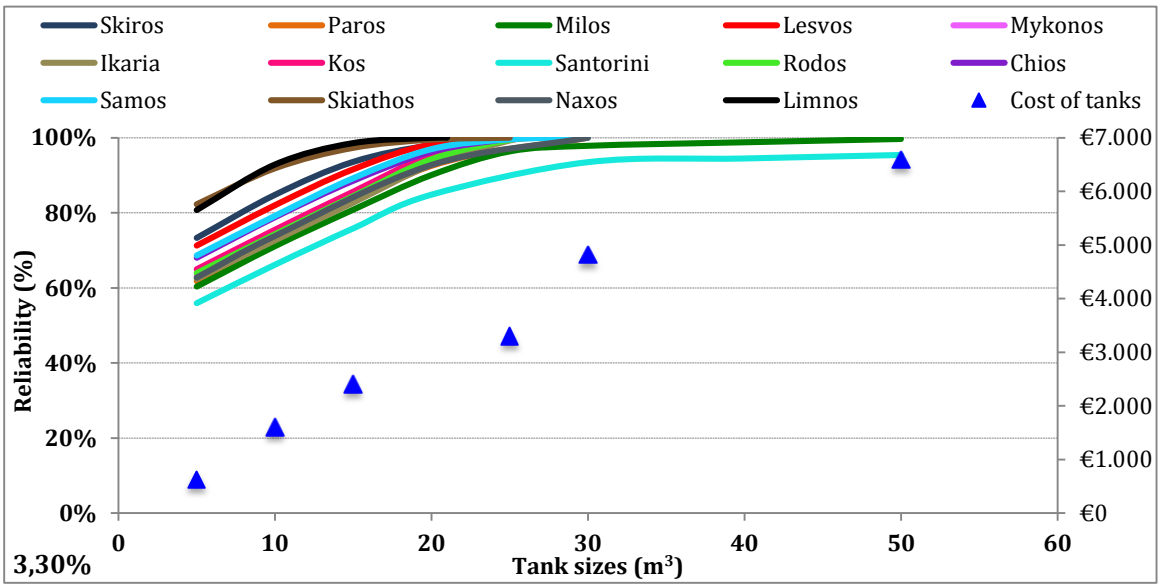


Figure 4: Reliability rates of rainwater harvesting system in relation to tank sizes to meet the demand of 30% of 3 capita (135 L/day) and catchment area of 300 m^2 for 14 Aegean islands.

Evaluating Figure 5 where first part of the second major scenario is demonstrated (demand 300 L/day - area 100 m^2) we observe that reliability values don't exceed 55% even with tank sizes of 50 m^3 in all islands studied. In particular, the higher reliability values range from 35%-55% in Samos and the lower values range from 19-22% in Santorini.

It is obvious that catchment area is the limiting factor which tank size raise can't overcome. Moreover, it has to be noticed that Samos has the highest annual rainfall (685 mm) and a high dry period (~4 months), while Santorini has the lowest annual rainfall (293 mm) and dry period among the highest in all 14 islands studied.

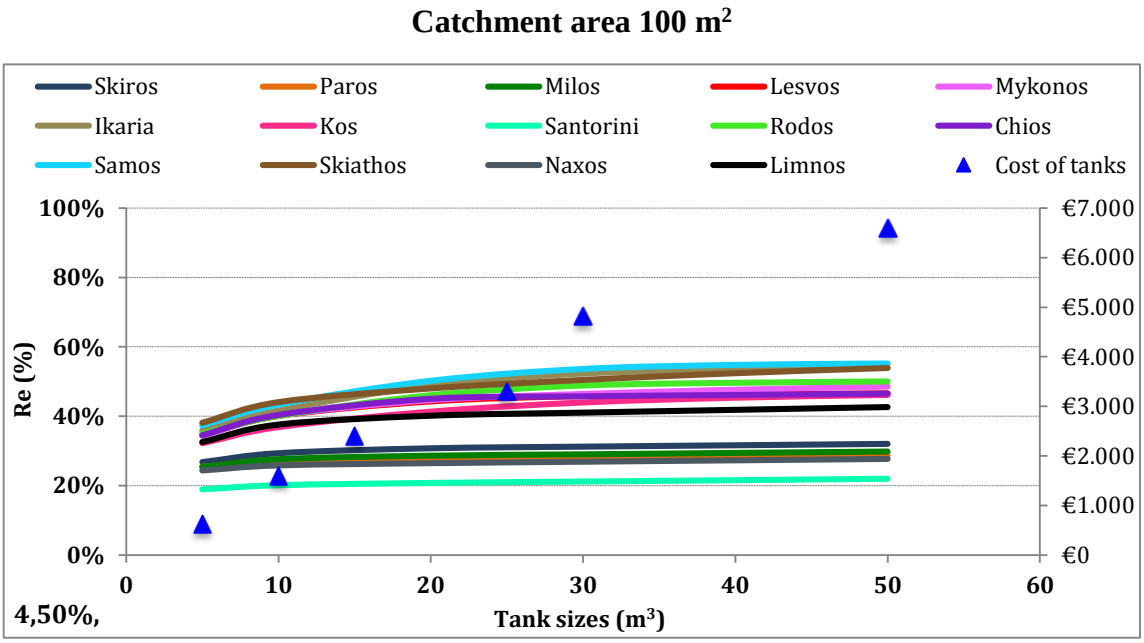


Figure 5: Reliability rates of rainwater harvesting system in relation to tank sizes to meet the demand of 50% of 4 capita (300 L/day) and catchment area of 100 m^2 for 14 Aegean islands.

Evaluating Figure 6 where second part of the second major scenario is demonstrated (demand 300 L/day - area 200 m^2) we observe that reliability values raise along with tank size, for all islands studied.

In Northern and Eastern Aegean islands reliability values range from 43% to 52% for tank size of 5 m^3 and from 65% to 90% for tank size of 50 m^3, depending on rainfall regime. Among them, Skyros has the lowest values due to low rainfall (423 mm).

In Cyclades, respectively, reliability values range values range from 32% to 46% for tank size of 5 m^3 and 39% to 63% for tank size of 50 m^3. Among them Santorini has the lowest values due to low rainfall (293 mm).

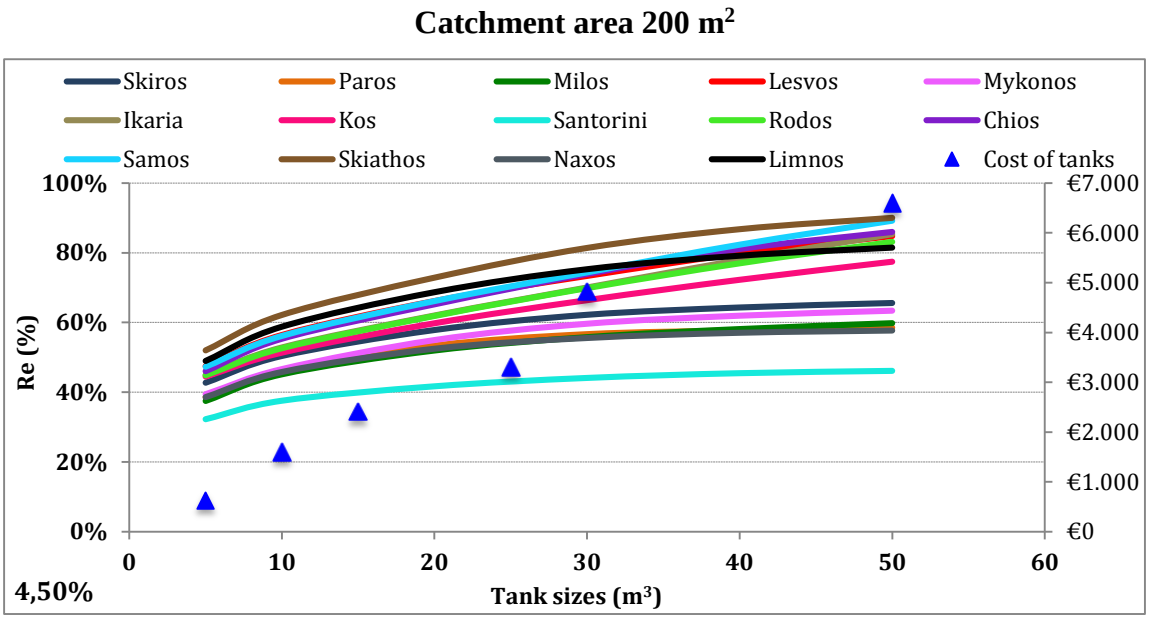


Figure 6: Reliability rates of rainwater harvesting system in relation to tank sizes to meet the demand of 50% of 4 capita (300 L/day) and catchment area of 200 m^2 for 14 Aegean islands.

Finally, evaluating Figure 7 where the high demand (300 L/day) – high area (300 m^2) scenario is demonstrated, we observe that reliability values clearly changes proportionally with tank size and reaches higher levels in all islands studied. In Northern and Eastern Aegean islands reliability values of 48%-58% for tank size of 5 m^3 are achieved, while with tank size of 50 m^3 reliability values reaches values of 89-97%. Santorini still demonstrates the lowest values.

As far as tank cost-reliability relationship concern, we observe that for high demand (300 L/day) scenario, catchment area increase lead to smaller, so cheaper, tanks for achievement of high reliability values.

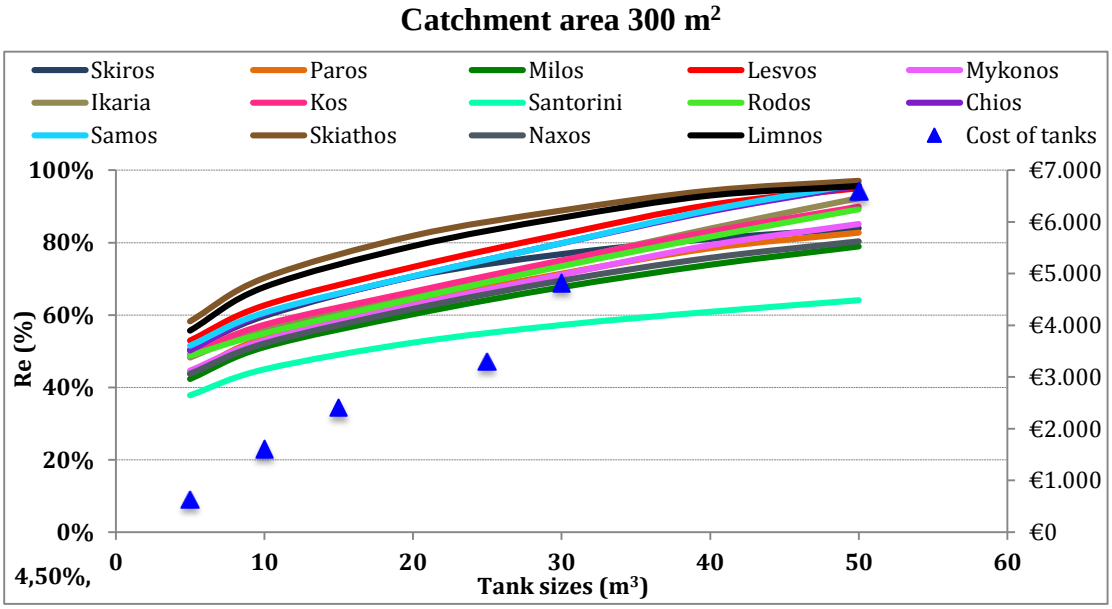


Figure 7: Reliability rates of rainwater harvesting system in relation to tank sizes to meet the demand of 50% of 4 capita (300 L/day) and catchment area of 300 m^2 for 14 Aegean islands.

Conclusions

Reliability levels of rainwater harvesting systems depend on several factors such as precipitation regime, catchment area, tank size and demand.

High levels can be achieved in the case of low demand and high values of catchment area and tank size.

Low levels cannot be avoided in the case of unfavourable precipitation regime e.g low rainfall and high dry period.

As far as the initial investment needed, it seems that in general, high levels of reliability require high investments, since tank cost is proportional to tank size.

1. Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της αποδοτικότητας ομβροδεξαμενών για αστική χρήση στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόζεται η μέθοδος του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου σε 14 νησιά του Αιγαίου και εξετάζεται ο βαθμός αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων για την κάλυψη των αναγκών μη πόσιμου νερού ενός νοικοκυριού 3 έως 4 ατόμων για διάφορους όγκους ομβροδεξαμενών.

1.2. Πρωτότυπα σημεία

Διερευνήθηκε η αξιοπιστία κάλυψης του 30% έως 50% των οικιακών αναγκών σε νερό νοικοκυριών 3 έως 4 κατοίκων για ένα εύρος μεγέθους ομβροδεξαμενών από 5 έως 50 m^3, μεγέθη τα οποία είναι κτηριοδομικά εφικτά, εμπορικά διαθέσιμα και πολεοδομικά επιτρεπτά, και για επιφάνειες συλλογής ομβρίων από 100 έως 300 m^2, οι οποίες είναι κτηριοδομικά και πολεοδομικά συνηθισμένες.

Διερευνήθηκε το κόστος απόκτησης ομβροδεξαμενών.

Πραγματοποιήθηκε συσχέτιση του κόστους ομβροδεξαμενών με τα διάφορα σενάρια κάλυψης των υδατικών αναγκών για τα αντίστοιχα μεγέθη ομβροδεξαμενών.

2. Περιγραφή της διαχείρισης των υδατικών πόρων στην Ελλάδα

2.1. Η έννοια της διαχείρισης των υδατικών πόρων

Το νερό είναι ένας ανανεώσιμος αλλά περιορισμένος πόρος. Εκτός από βασικό αγαθό για τη ζωή και το περιβάλλον, αποτελεί βασικό ρυθμιστικό παράγοντα της οικονομικής, κοινωνικής, τεχνολογικής και πολιτισμικής ανάπτυξης. Αποτελεί οικονομικό πόρο που συμβάλλει στην κάλυψη ευρύτερων ανθρώπινων αναγκών όπως είναι οι γεωργία, βιομηχανία, ενέργεια, ψυχαγωγία κτλ και ζωτικό συστατικό στοιχείο κάθε οικοσυστήματος. Το νερό μπορεί να θεωρηθεί φυσικός πόρος, οικονομικό αγαθό και περιβαλλοντικό στοιχείο, ανάλογα με το κύριο κριτήριο και το είδος της διαχείρισης. Σε σχέση πάντως με άλλους φυσικούς πόρους και με άλλα οικονομικά αγαθά έχει μία ιδιαιτερότητα: είναι μοναδικό και αναντικατάστατο τόσο διότι είναι απαραίτητο για την επιβίωση του ανθρώπου και των άλλων οργανισμών, όσο και διότι, σε μακροχρόνια κλίμακα, θεωρητικά η συνολική διαθέσιμη ποσότητα νερού σε κάθε περιοχή, είναι περίπου σταθερή (Αντωνόπουλος, 2001). Τα αποθέματα γλυκού νερού ανανεώνονται μέσω του υδρολογικού κύκλου, ωστόσο η διαθέσιμη ποσότητα νερού είναι περιορισμένη και η κατανομή του στον χώρο και τον χρόνο άνιση.

Η έννοια των υδατικών πόρων προκύπτει από τη σχέση ανάμεσα στις υδατικές απαιτήσεις για τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες εκφρασμένες με τον όρο υδατικές ανάγκες, την ύπαρξη ή ανεύρεση μέσα στο φυσικό περιβάλλον ροής και αποθεμάτων για εκμετάλλευση και για ικανοποίηση αναγκών. Υπό μια άλλη έννοια, οι υδατικοί πόροι μπορούν να χαρακτηριστούν ως ένα δυναμικό υδατικής προσφοράς από το περιβάλλον. Οι υδατικοί πόροι χρησιμοποιούνται σήμερα ταχύτατα. Με τη γενικότερη επέμβαση, όμως, που έχει γίνει στον υδρολογικό κύκλο έχει σε πολλές περιπτώσεις καταστραφεί η δυναμική ισορροπία ανανέωσης αυτών των πόρων (Ξανθόπουλος και Κουτσογιάννης, 1999).

Η Διαχείριση Υδατικών Πόρων είναι μια περίπλοκη και πολυδιάστατη έννοια. Συνοπτικά και σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες απόψεις στο θέμα, με τον όρο Δ.Υ.Π εννοούμε το σύνολο των δράσεων (έργων και μέτρων) μέσω των οποίων επιδιώκεται η πληρέστερη δυνατή κάλυψη των σημερινών και μελλοντικών αναγκών σε νερό για κάθε χρήση ή στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό να εξασφαλίζεται η ισότιμη ικανοποίηση όλων των ενδιαφερομένων, σε σχέση με την κοινωνική σημασία της κάθε χρήσης. Οι δράσεις αναπτύσσονται σε πέντε επίπεδα (θεσμικό, τεχνολογικό, οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό), έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο αναπτυξιακό, οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό αποτέλεσμα (Τσακίρης, 2001). Η Διαχείριση Υδατικών Πόρων έχει ως στόχο, αρχικά, να προμηθεύσει νερό επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας για την ικανοποίηση των οικιακών, αγροτικών, βιομηχανικών, ενεργειακών και άλλων αναγκών. Στοχεύει, επίσης στην προστασία των υδατικών πόρων από τη ρύπανση καθώς και στην παροχή ικανοποιητικής προστασίας από τα ακραία υδρολογικά φαινόμενα όπως πλημμύρες και ξηρασίες (Dyck, 1990).

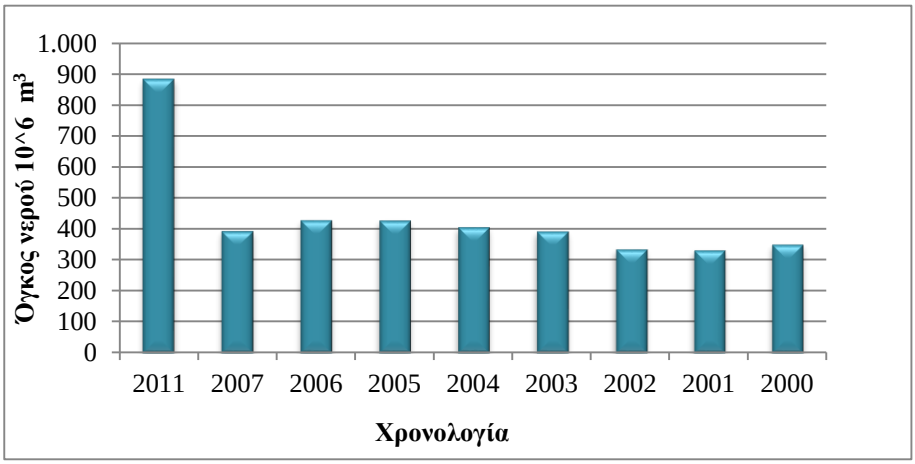
2.2. Χρήσεις νερού στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μια μάλλον πλούσια σε νερό μεσογειακή χώρα. Η έκταση της είναι 131957 km^2 και παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο, περιορισμένη ενδοχώρα και μεγάλο ανάπτυγμα ακτών. Διαθέτει, συνολικά, σε ετήσια βάση επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Ειδικότερα, για το σύνολο της χώρας τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα εκτιμώνται σε 116330 hm^3/έτος, ενώ το συνολικό υδατικό δυναμικό εκτιμάται κατά προσέγγιση σε 57100 hm^3/έτος, στα οποία περιλαμβάνονται τα νερά που εισρέουν από γειτονικές χώρες. Είναι γεγονός ότι, το συνολικό υδατικό δυναμικό υπερκαλύπτει κατά πολύ την ποσότητα που διατίθεται στις χρήσεις όμως η άνιση κατανομή του στο χώρο και το χρόνο, η άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με τη συγκέντρωση του πληθυσμού και των κυριότερων δραστηριοτήτων (μεγάλες πόλεις, γεωργία, τουρισμός) στα ξηρότερα μέρη της χώρας, προκαλούν τελικά προβλήματα διαθεσιμότητας και κάνουν δύσκολη τη διαχείριση των υδάτινων πόρων στην Ελλάδα. Έτσι μικρό μέρος από αυτό το δυναμικό είναι οικονομικά και τεχνικά αξιοποιήσιμο, με αποτέλεσμα την ύπαρξη προβλημάτων ανεπάρκειας νερού σε διάφορες περιοχές και για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (Λόντρα, 2015).

2.2.1. **Ανάλυση της ζήτησης νερού ανά χρήστη**

2.2.1.1. Αστική

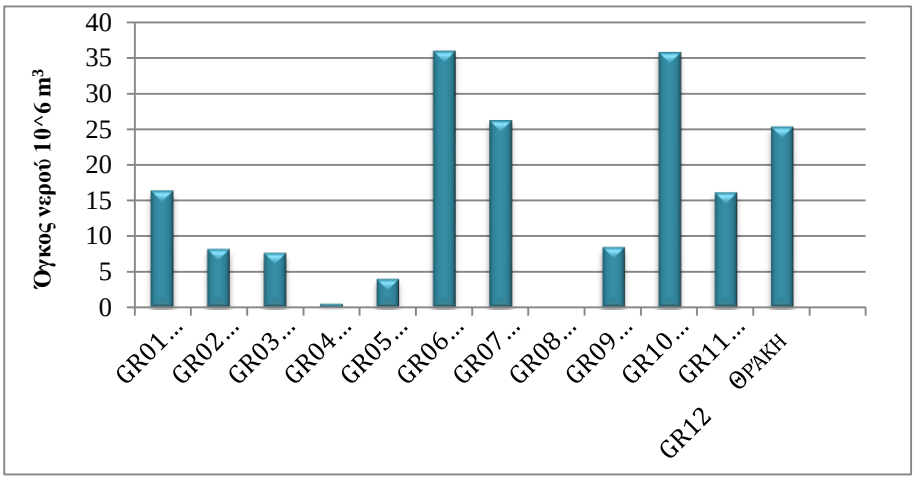
Η σημαντικότερη μορφή αστικής ζήτησης είναι η ύδρευση. Για να ικανοποιηθεί αυτή η ανάγκη κατά την διαχείριση των υδατικών πόρων, υπάρχουν δύο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη: Πρώτον, η πολύ μικρή επιτρεπτή αστοχία στην παροχή και δεύτερον η εξασφάλιση καλής ποιότητας νερού. Κατά την διαχείριση της αστικής ζήτησης νερού λαμβάνονται υπόψη εκτός των αναγκών για ύδρευση των μόνιμων και εποχιακών κατοίκων, οι ανάγκες για την βιοτεχνία, μικροαρδευτικές ανάγκες, οι απώλειες των δικτύων καθώς και οι ειδικές χρήσεις όπως για σχολεία, δημόσια κτίρια, κοινοτικά καταστήματα, νοσοκομεία, πυροσβεστικούς κρουνούς κλπ. Στο Σχήμα 2.1 δίνονται οι αστικές καταναλώσεις σε όγκο νερού του συνόλου των υδατικών διαμερισμάτων της χώρας.



Σχήμα 2.1: Αστική ζήτηση νερού στο σύνολο των Υδατικών Διαμερισμάτων. Για τα έτη αναφορά 2008-2010 δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2011).

2.2.1.2. Βιομηχανική

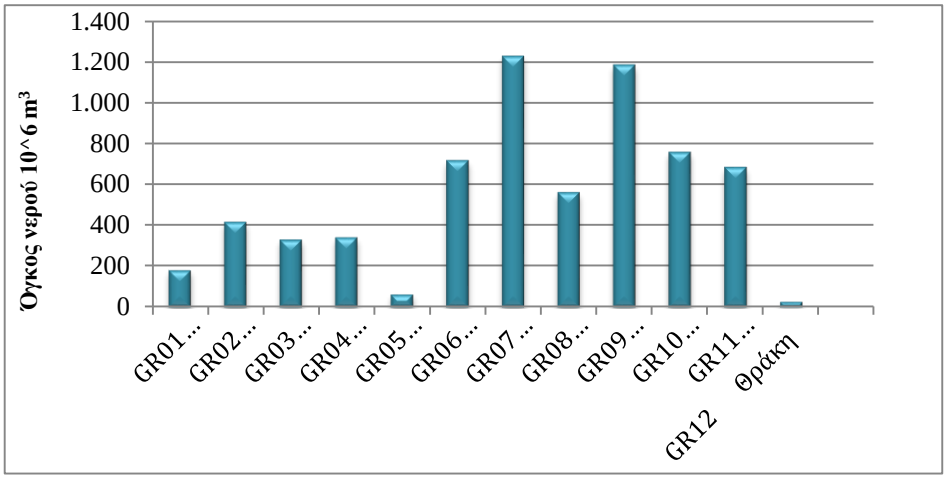
Τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα στα αναπτυγμένα κράτη και λόγω της σημαντικής τεχνολογικής ανάπτυξης, γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την μείωση της κατανάλωσης νερού για βιομηχανική χρήση καθώς και την μείωση παραγωγής βιομηχανικών αποβλήτων. Όπως είναι γνωστό το μεγαλύτερο ποσοστό νερού βιομηχανικής χρήσης χρησιμοποιείται για ψύξη και επειδή το νερό επιστρέφει στον υδρολογικό κύκλο μέσω ενός ποταμού ή μιας λίμνης, ασκούνται σοβαρές πιέσεις στο περιβάλλον καθώς το νερό αυτό είναι συνήθως ρυπανσμένο με βαρέα μέταλλα ή χημικά και συχνά θερμότερο. Οι προσπάθειες λοιπόν για μείωση της βιομηχανικής χρήσης νερού ενισχύονται καταρχήν από τους αυστηρούς κανονισμούς και περιορισμούς που επιβάλλονται από την νομοθεσία και τις οδηγίες που εκδίδονται αλλά και από την κλιμακωτή τιμολόγηση της κατανάλωσης και την ανάπτυξη περιβαλλοντικής και κοινωνικής συνείδησης. Στο Σχήμα 2.2 δίνονται οι καταναλώσεις σε όγκο νερού για τη βιομηχανική χρήση στην Ελλάδα για το έτος 2011.



Σχήμα 2.2: Βιομηχανική χρήση νερού ανά Υδατικό Διαμέρισμα για το έτος 2011. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τα ΥΔ Κρήτης (GR13) και Νήσων Αιγαίου (GR14) (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2011).

2.2.1.3. Αγροτική

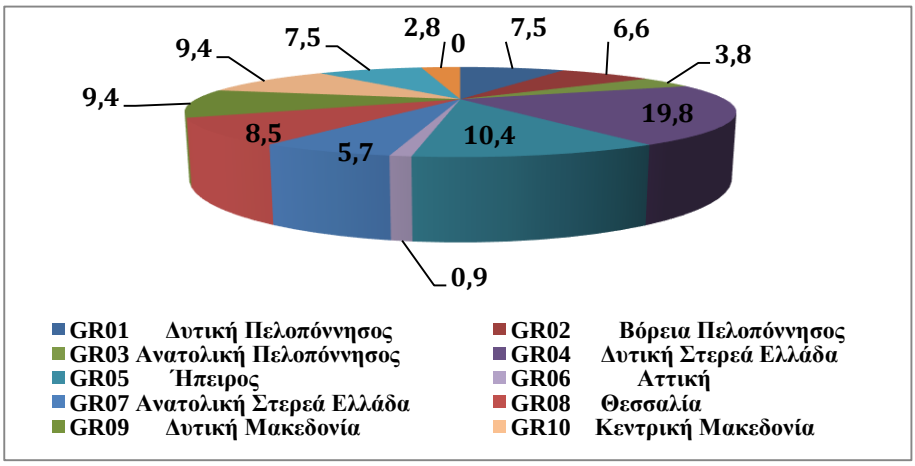
Η άδρευση θεωρείται παγκοσμίως ο μεγαλύτερος χρήστης νερού, καθώς αγγίζει το 70% με 90% της συνολικής χρήσης (στην Ελλάδα είναι 86% περίπου). Παρότι αυτό επιφέρει εκτεταμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, δεν μπορεί να παραβλέψει κανένας τον ζωτικό ρόλο της άρδευσης στην παραγωγή τροφής. Εκτιμάται ότι το 50% της παραγόμενης τροφής προέρχεται από αρδευόμενες εκτάσεις. Για να διατηρηθεί σταθερή η αναλογία αρδευόμενων εκτάσεων και πληθυσμού θα έπρεπε μέχρι το 2025 οι αρδευόμενες εκτάσεις να αυξηθούν κατά 20-30%. Όμως, υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που δεν επιτρέπουν την αύξηση της, κυρίως η ανταγωνιστική σχέση με τις άλλες μορφές ζήτησης. Έτσι, οι πρακτικές στην αρδευόμενη αγροκαλλιέργεια προσανατολίζονται στην αύξηση της παραγωγής ανά μονάδα καταναλώσιμου νερού, παρά στην αύξηση της αρδευόμενης έκτασης. Στο Σχήμα 2.3 δίνεται η αγροτική ζήτηση νερού για άρδευση ανά υδατικό διαμέρισμα της χώρας.



Σχήμα 2.3: Αγροτική χρήση νερού για άρδευση ανά Υδατικό Διαμέρισμα για το έτος 2011. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τα ΥΔ Κρήτης (GR13) και Νήσων Αιγαίου (GR14)_ (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2011).

2.2.1.4. Ενεργειακή

Το 1996, το 18.4% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας προέρχονταν από υδροηλεκτρική ενέργεια. Σήμερα, η υδροηλεκτρική ενέργεια, μαζί με την αιολική, θεωρείται η μόνη μορφή ενέργειας που είναι ανανεώσιμη και οικονομικά βιώσιμη. Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται η ενεργειακή ζήτηση νερού (%) ανά Υδατικό Διαμέρισμα για το έτος 2000.



Σχήμα 2.4: Ενεργειακή ζήτηση νερού ανά Υδατικό Διαμέρισμα για το έτος 2011. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τα ΥΔ Κρήτης (GR13) και Νήσων Αιγαίου (GR14) (Πηγή: ΕΤΥΜΠ, 2000).

2.3. Διαθεσιμότητα Υδατικών πόρων στην Ελλάδα – Υφιστάμενη κατάσταση

Η Ελλάδα διαθέτει συνολικά, σε ετήσια βάση επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους πόρους. Ειδικότερα για το σύνολο της χώρας τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα εκτιμώνται σε 116330 hm^3/έτος ενώ το συνολικό υδατικό δυναμικό εκτιμάται κατά προσέγγιση σε 57100 hm^3/έτος, στα οποία περιλαμβάνονται τα νερά που εισρέουν από γειτονικές χώρες. Η κατανάλωση του νερού υπολογίζεται σε 8184.3 hm^3/έτος, από τα οποία το 84% διατίθεται στην άρδευση, το 1% στην κτηνοτροφία, το 12% στην ύδρευση και το 3% στη βιομηχανία και ενέργεια. Αναμφίβολα το συνολικό υδατικό δυναμικό υπερκαλύπτει κατά πολύ την ποσότητα που διατίθεται στις χρήσεις (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2013).

Ωστόσο, μικρό μέρος από αυτό το δυναμικό είναι οικονομικά και τεχνικά αξιοποιήσιμο, με αποτέλεσμα την ύπαρξη προβλημάτων ανεπάρκειας νερού σε διάφορες περιοχές και για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Έτσι, λοιπόν η επιβαλόμενη μεθοδολογία διαχείρισης των υδατικών αποθεμάτων στην Ελλάδα καθορίζεται από τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η χώρα του έντονου κατακόρυφου και οριζόντιου διαμελισμού, χαρακτηρίζεται από μικρού σχετικά μεγέθους υδρολογικές-υδρογεωλογικές ενότητες και από έντονη εποχιακή διακύμανση των επιφανειακών υδατικών πόρων που διατίθενται για χρήση. Μεγάλη είναι και η σημασία των υπόγειων υδατικών πόρων, κυρίως των καρστικών υδροφορέων, για την κάλυψη των τοπικών αναγκών. Η ανάπτυξη και η κατανομή τους στο χώρο συναρτάται με την πολύπλοκη γεωλογική δομή της χώρας, ενώ η ποιοτική κατάστασή τους επηρεάζεται σημαντικά από τη μεγάλη ανάπτυξη της επαφής τους με την θάλασσα, από την εντατική τους εκμετάλλευση, και από σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης.
- Η κατανομή στο χώρο της ζήτησης νερού για τις διάφορες χρήσεις σε γενικές γραμμές χαρακτηρίζεται από μεγάλη διασπορά, μικρή κλίμακα, με σημαντική συγκέντρωση στην παραλιακή ζώνη και τις μεγάλες πεδινές εκτάσεις, κυρίως στον ιστορικό αναπτυξιακό άξονα της χώρας Θεσσαλονίκη-Αθήνα-Πάτρα. Η κλιμάκωσή της μέσα στο χρόνο επηρεάζεται άμεσα από το είδος της χρήσης (άρδευση, ύδρευση κλπ.) και γενικά εμφανίζει αύξηση το πεντάμηνο Μαΐου-Σεπτεμβρίου, με μήνα αιχμής τον Ιούλιο.
- Πολύ πιο έντονα, σε σύγκριση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες, κυρίως τις κεντρικές και βόρειες, σοβαρό υδατικό πρόβλημα της χώρας, λόγω της μεγάλης εποχιακής διακύμανσης των πόρων, είναι το ποσοτικό. Για το λόγο αυτό έχουν εκτελεστεί, εκτελούνται ή προγραμματίζονται σε ολόκληρη τη χώρα μεγάλα έργα αποθήκευσης και μεταφοράς (ύδρευση Αθήνας, ύδρευση Θεσσαλονίκης, έργα Αλιάκμονα, εκτροπή Αχελώου κλπ.). Τα έργα αυτά, που αποσκοπούν στην αύξηση του προσφερόμενου στους χρήστες νερού, θα πρέπει πάντα να εξετάζονται ως προς την αναγκαιότητά τους, η οποία θα πρέπει να τεκμηριώνεται με συγκεκριμένες και λεπτομερείς αναλύσεις. Στις αναλύσεις αυτές θα λαμβάνονται υπόψη στα πλαίσια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, μεταξύ άλλων, η φύση των εξυπηρετούμενων αναγκών, οι εναλλακτικές δυνατότητες, οι ενδεχόμενες δυνατότητες περιορισμού της ζήτησης και οι συνεπαγόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εκτός από αυτά τα χαρακτηριστικά του ελληνικού χώρου διαπιστώνονται στη συνέχεια και τα εξής:

- Η βόρεια Ελλάδα εξαρτάται από τις επιφανειακές απορροές ποταμών από γειτονικές χώρες.
- Η δυτική Ελλάδα παρουσιάζει χαμηλές ζητήσεις σε σχέση με τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους.
- Η ανατολική Ελλάδα είναι λιγότερο ευνοημένη σε υδατικούς πόρους, παρουσιάζει όμως μεγάλες ζητήσεις και συνεπώς παραουσιάζει προβήματα ελλειματικότητας. Τα σημαντικότερα από αυτά καλύπτονται με έργα μεταφοράς και αποθήκευσης, με σημαντικά αυξημένο κόστος κατασκευής και λειτουργίας.
- Η νησιώτικη Ελλάδα παρουσιάζει υδατικά προβλήματα οξυμένα, αλλά μικρής κλίμακας, που αναφέρονται κυρίως στις εποχιακές διακυμάνσεις λόγω του τουρισμού.
- Η συγκέντρωση του πληθυσμού σε λίγα μεγάλα αστικά κέντρα στη χώρα οδηγεί σε σημειακές αυξήσεις της ζήτησης νερού, αλλά και σε αντίστοιχη αύξηση του σημειακού ρυπαντικού φορτίου.
- Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στη χώρα και η δυνατότητα που προσφέρει για κατασκευή σχετικά φθηνών και ευέλικτων θερμικών μονάδων παραγωγής ενέργειας, έχει καταστήσει την κατασκευή ταμιευτήρων για ενεργειακή μόνο χρήση σχετικά αντιοικονομική. Έτσι, η κατασκευή των έργων αυτών είναι πλέον απαραίτητο να γίνεται στη βάση της εξυπηρέτησης πολλών σκοπών συμπεριλαμβανομένης και της προστασίας του περιβάλλοντος και βέβαια με ανάλογη κατανομή των οικονομικών βαρών στις χρήσεις που εξυπηρετούνται, σύμφωνα και με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ.
- Η υποβάθμιση της ποιότητας των υδατικών πόρων, που έχει αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία των οικοσυστημάτων και επιπλέον μειώνει τη διαθέσιμη για κατανάλωση ποσότητα νερού, συναρτάται με την ένταση και τον τύπο οικονομικής ανάπτυξης και εκδηλώνεται με μεγαλύτερη ένταση σε παράκτιες και αστικές ή γεωργικές περιοχές της ανατολικής κυρίως χώρας.

Μετά από τα παραπάνω, καθίσταται σαφές ότι η υδατική πολιτική της Ελλάδας δεν είναι δυνατόν παρά να προκύψει από τη σύνθεση των διαχειριστικών πολιτικών, που παίρνουν υπόψη όλες τις ιδιαιτερότητες του χώρου, μεταξύ των οποίων και αυτές που προαναφέρθηκαν.

Παρά τις επί σειρά ετών προσπάθειες δημόσιων φορέων και οργανισμών δεν έχουν ακόμη συγκεντρωθεί τα απαραίτητα δεδομένα για μια πλήρη και αξιόπιστη εκτίμηση του υδατικού δυναμικού της χώρας. Στον Πίνακα 2-1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η εκτίμηση ενός γενικού υδρολογικού ισοζυγίου της χώρας σε μέση ετήσια χρονική βάση. Η εναρμόνιση της Ελλάδας με την Οδηγία 2000/60 έγινε με το νόμο 3199/2003. Η διαχείριση των υδάτινων πόρων γίνεται σε επίπεδο υδατικού διαμερίσματος (σύνολο λεκανών απορροής με κατά το δυνατόν όμοιες υδρολογικές-υδρογεωλογικές συνθήκες), που αποτελεί το περιφερειακό επίπεδο διαχείρισης του νερού (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2013).

Πίνακας 2-1: Εκτίμηση γενικού υδρολογικού ισοζυγίου της Ελλάδας (Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2007-2013).

Υδατικά Διαμερίσματα	Έκταση (km^2)	Όγκος βροχής[4] (hm^3)	Εξάτμιση[4] (hm^3)	Υδατικό δυναμικό (hm^3)	Προσφορά[3] (hm^3)	Ζήτηση[3] (hm^3)	Παρατηρήσεις
01 Δυτικής Πελοποννήσου	7301	8031	3614	4417	73	55	Πλεονασματικό
02 Βόρειας Πελοποννήσου	7310	6404	2824	3580	122	104	Πλεονασματικό
03 Ανατολικής Πελοποννήσου	8477	6563	3290	3273	56	67	Ελλειματικό
04 Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	10199	13973	5310	8663	415	82	Πλεονασματικό
05 Ηπείρου	10026	17046	6818	10228	193	33	Πλεονασματικό
06 Αττικής	3207	1642	1150	492	56	54	Οριακά Πλεονασματικό[1]
07 Ανατ. Στερεάς Ελλάδας	12341	9516	5257	4259	128	187	Ελλειματικό[2]
08 Θεσσαλίας	13377	10434	6260	4174	210	335	Ελλειματικό
09 Δυτικής Μακεδονίας	13440	10470	5654	4816	159	136	Πλεονασματικό
10 Κεντρικής Μακεδονίας	10389	6068	3034	3034	137	130	Οριακά Πλεονασματικό
11 Ανατολικής Μακεδονίας	7280	4917	2722	2195	354	132	Πλεονασματικό
12 Θράκης	11177	8574	5352	3249	424	253	Πλεονασματικό
13 Κρήτης	8335	7500	4874	2626	130	133	Οριακά Πλεονασματικό
14 Νήσων Αιγαίου	9103	5192	3104	2088	7	25	Ελλειματικό
Σύνολο χώρας	**131962**	**116338**	**59236**	**57094**	**2464**	**1726**	

[1] Οι υδατικοί πόροι είναι κατά βάση μεταφερόμενοι από γειτονικά διαμερίσματα

[2] Οι αρδευόμενες εκτάσεις κατά ΕΣΥΕ φαίνονται υπερεκτιμημένες και γι΄αυτό το διαμέρισμα ενώ έχει σήμερα οριακά επαρκείς πόρους εμφανίζεται ελλειματικό

[3] Σήμερα η ζήτηση καλύπτεται κυρίως από πηγές και γεωτρήσεις. Οι τιμές και τα χαρακτηριστικά τους αφορούν το μήνα Ιούλιο

[4] Οι τιμές είναι σχετικά υπερεκτιμημένες

2.4. Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60

2.5. Νομικό και θεσμικό πλαίσιο

Η οδηγία πλαίσιο για το νερό θεσπίστηκε στις 23 Οκτωμβρίου 2000 και αποτελεί μια φιλόδοξη και καινοτόμο προσέγγιση για την ορθολογική και ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτων.

Σύμφωνα με αυτήν, «το νερό δεν είναι εμπορικό προϊόν όπως όλα τα άλλα αλλά αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει της κατάλληλης μεταχείρισης». Σκοπός είναι να συγχωνευθούν και να αντικατασταθούν ένα πλήθος υφιστάμενων οδηγιών, οι οποίες δημιουργήθηκαν παλαιότερα για την πρόληψη της υποβάθμισης του υδάτινου περιβάλλοντος λόγω φυσικών και ανθρωπογενών πιέσεων με απώτερο σκοπό την εξυγίανση και τη διασφάλιση της ποιότητας των εσωτερικών επιφανειακών, μεταβατικών, παράκτιων και υπόγειων υδάτων σε όλους τους ευρωπαϊκούς οργανισμούς ύδατος.

Τα σημαντικότερα στοιχεία της οδηγίας είναι:

Η προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων, αποτρέποντας την περεταίρω επιδείνωση της καταστασής τους και την μακροπροθεσμη βελτίωσή τους σε συνδυασμο με την βελτίωση των αμέσως εξαρτώμενων απο αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων και υγροτόπων σε ότι αφορά τις ανάγκες τουσ σε νερό.

Η προώθηση της βιώσιμης χρήσης του νερού, βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδάτινων πόρων.

Η βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος μέσω εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων για τη σταδιακή μείωση της απόρριψης ρυπαντικών ουσιών προτεραιότητας και την εξάλειψη της απόρριψης τοξικών ρυπαντικών ουσιών προτεραιότητας.

Η διασφάλιση της προοδευτικής μείωσης της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και η αποτροπή της περαιτέρω μόλυνσής τους.

Ο μετριασμός των επιπτώσεων από πλημμυρες και ξηρασιες.

Βασικός σκοπός της Οδηγίας, όπως ορίζει το Άρθρο 4, είναι η επίτευξη «καλής κατάστασης» όλων των υδατικών συστημάτων (εσωτερικών επιφανειακών, μεταβατικών, παράκτιων και υπόγειων υδάτων) το αργότερο έως το έτος 2015. Για την επίτευξη του στόχων αυτού η Οδηγία–Πλαίσιο για τα νερά θέτει συγκεκριμένες προθεσμίες για την ολοκλήρωση ορισμένων συγκεκριμένων δράσεων. Η Οδηγία αναφέρεται σε όλες τις κατηγορίες των υδάτων, επιφανειακά, υπόγεια, μεταβατικά και παράκτια ανεξαρτήτους μεγέθους και χαρακτηριστικών. Η διακριτοποίηση γίνεται μέσω κριτιρίων σχετικών με τα γεωγραφικά και υδρομορφολογικά χαρακτηριστικά τους και με το αν το υδάτινο σώμα είναι τεχνητό (ΤΥΣ) ή ιδιαιτέρως τροποποιημένο (ΙΤΥΣ), καθώς και με την ανάλυση πιέσεων και επιπτώσεων ενώ παράλληλα προστατευόμενες περιοχές ή υδάτινα σώματα τα οποία έχουν σαφώς διαφορετική χρήση, αποτελούν διακριτά στοιχεία νερού.

Η διάκριση σε υδάτινα σώματα, ως το πρώτο ουσιαστικό βήμα για την θέσπιση των στόχων και την οργάνωση των διαχειριστικών σχεδίων των λεκανών, αποτελεί ουσιαστικά μια επαναληπτική διαδικασία με την δυνατότητα αναθεωρήσεων. Συγκεκριμένα, η οδηγία, κάνει αναφορά στην αξιολόγηση των επιπτώσεων. Τα κράτη μέλη αξιολογούν την ευαισθησία της

κατάστασης των συστημάτων επιφανεια- κών υδάτων στις πιέσεις και χρησιμοποιούν τις πληροφορίες που συλλέγουν, καθώς και κάθε άλλη διαθέσιμη πληροφορία, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων παρακολούθησης του περιβάλλοντος, προκειμένου να αξιολογούν κατά πόσον είναι πιθανόν τα συστήματα επιφανειακών υδάτων να μην τηρήσουν τους ποιοτικούς περιβαλλοντικούς στόχους που καθορίζονται για τα συστήματα αυτά. Για τα συστήματα για τα οποία εντοπίζεται κίνδυνος μη τήρησης των ποιοτικών περιβαλλοντικών στόχων, πρέπει να διεξάγεται, κατά περίπτωση, περαιτέρω χαρακτηρισμός με στόχο τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού.

2.6. Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) Νήσων Αιγαίου

Το Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων περιλαμβάνει τα νησιωτικά συγκροτήματα των Νομών Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Λέσβου, Σάμου και Χίου. Απαρτίζεται δηλαδή από όλα τα νησιά των Περιφερειών Βόρειου και Νότιου Αιγαίου, εκτός από τη Μακρόνησο και τα Κύθηρα. Η συνολική έκτασή του ανέρχεται σε 9104 km^2.

Σχήμα2.5: Υδατικό διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (ΥΔ 14) Πηγή: (Γκούμα, 2011).

Πίνακας 2-2 : Έκταση του ΥΔ Νήσων Αιγαίου (Πηγή: ΠΣΔΝΑ, 2015).

Λεκάνη Απορροής	**Περιφέρεια**	**Έκταση (km^2)**
Ανατολικού Αιγαίου	Βορείου Αιγαίου	3836
Κυκλάδων	Νοτίου Αιγαίου	2554
Δωδεκανήσων		2714
Συνολο		**9104**

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι ο διαμελισμός της έκτασής του σε πολλές μικρότερες αυτοτελείς ενότητες, τα νησιά. Σύμφωνα με στοιχεία της Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (ΕΣΥΕ) ο πληθυσμός του Διαμερίσματος το 1991 ήταν 456712 κάτοικοι, για το απογραφικό έτος του 2001 ο πληθυσμός του υδατικού διαμερίσματος νήσων Αιγαίου ανήλθε σε 508807 κατοίκους (Ανδρεαδάκης, 2008), ενώ το 2011 οι κάτοικοι ήταν 508206, (Ε.Σ.Υ.Ε. 2011). Ο πληθυσμός διακρίνεται σε αστικό κατά 31.7%, ημιαστικό κατά 20.3%, και αγροτικό κατά 48.0%.

2.7. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Το έδαφος του συνολικού Υδατικού Διαμερίσματος κατανέμεται σε πεδινό, ορεινό και ημιορεινό, με τα μεγαλύτερα υψόμετρα να συναντώνται στη Ρόδο (1215 m), στη Χίο (1186 m) και στη Λέσβο (968 m). Το μέσο υψόμετρο του ΥΔ είναι 160 m.

Εξαιτίας της μικρής έκτασης των νησιών, δεν αναπτύσσονται αξιόλογες υδρολογικές λεκάνες σε αυτά. Η αποστράγγιση των νερών της βροχής πραγματοποιείται μέσω μικρών παράκτιων ρεμάτων, πολλές φορές σε ακτινωτή διάταξη. Εξαίρεση αποτελούν τα νησιά Λέσβος, Ρόδος και Χίος, που ξεπερνούν σε έκταση τα 500 km^2 (αντίστοιχα 1630, 1398 και 841 km^2). Επίσης, τα μικρά ύψη βροχής που δέχονται πολλά από τα νησιά (Κυκλάδες, Δωδεκάνησα), σε συνδυασμό με τη γεωλογική διαμόρφωσή τους, δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη πυκνού υδρογραφικού δικτύου. Η περιορισμένης εκτάσεως ύπαρξη υδροφορέων, κυρίως καρστικών, αναπτύσσονται κυρίως σε ανθρακικούς σχηματισμούς (μάρμαρα, δολομίτες, ασβεστόλιθους, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους). Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται συχνά σε εναλλαγές με αδιαπέρατους σχηματισμούς (αργιλικούς σχιστόλιθους, γνεύσιους, αμφιβολίτες, κλπ.).

Οι καρστικοί υδροφορείς εκφορτίζονται είτε σε πηγές επαφής, όταν οι αντίστοιχοι ανθρακικοί σχηματισμοί είναι κλειστοί προς τη θάλασσα, είτε σε παραθαλάσσιες ή υποθαλάσσιες πηγές, όταν είναι ανοικτοί προς αυτήν, οπότε υπάρχουν και προβλήματα υφαλμυρώσεως. Ανοικτοί καρστικοί υδροφορείς εμφανίζονται στα νησιά Χίος, Ικαρία, Σάμος, Κάλυμνος, Σίφνος, Πάρος, Αντίπαρος, Νάξος, Σύρος, Σίκινος, Θήρα, Αμοργός, Αστυπάλαια, Σύμη, Τήλος, Ρόδος και Κάρπαθος. Σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζονται μικρής εκτάσεως υδροφορίες μέσα σε ρωγματωμένους πυριγενείς και μεταμορφωμένους σχηματισμούς (π.χ. Λέσβος, Σέριφος, Σίφνος, Άνδρος, Τήνος, Μύκονος, Νάξος, Ίος). Σημαντική υδροφορία υπάρχει στους πορώδεις προσχωματικούς και νεογενείς σχηματισμούς στα μεγάλα νησιά (Ρόδος, Κως, Λήμνος, Χίος, Λέσβος και Σάμος). Στις υδροφορίες που αναπτύσσονται σε πορώδεις σχηματισμούς, απαντώνται φαινόμενα υφαλμυρώσεως εξαιτίας της υπερεκμεταλλεύσεως αυτών, σε συνδυασμό με τις χαμηλές βροχοπτώσεις και με τη δυσκολία επαναπληρώσεως των υπόγειων αποθεμάτων. Οι πορώδεις προσχωματικοί και νεογενείς υδροφορείς στα περισσότερα νησιά έχουν μικρή έκταση, λόγω σχετικώς μικρής αναπτύξεως των αλουβιακών και νεογενών σχηματισμών. Μικρού δυναμικού υδροφορείς αναπτύσσονται και σε ηφαιστειακά πετρώματα και ηφαιστειακούς τόφφους στα νησιά Λήμνος, Λέσβος, Θήρα, Μήλος, Κίμωλος, Τήλος, Νίσυρος και Κως. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν ευνοείται η ανάπτυξη μεγάλων υδρογεωλογικών λεκανών στο 46 υδατικό διαμέρισμα. Κατ' επέκταση οι πηγές δεν έχουν σημαντικό μέγεθος και ανάπτυξη και πολλές φορές παρουσιάζονται προβλήματα ποιότητας νερού. Τα ρυθμιστικά αποθέματα όμως αυτών των πηγών συμβάλλουν σημαντικά στην αντιμετώπιση τοπικών ζητήσεων, κυρίως υδρεύσεων. Η εκτιμηθείσα από το υδρολογικό ισοζύγιο ποσότητα υπόγειου νερού δεν είναι

δυνατό να αξιοποιηθεί παρά μόνο σ' ένα μικρό ποσοστό. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται στα διάφορα νησιά και εξαρτάται από το ανάγλυφο, τη διαμόρφωση υδρογεωλογικών λεκανών με υδραυλικό φράγμα προς τη θάλασσα, και από τη γεωλογία και την τεκτονική της περιοχής (ΠΣΔΝΑ, 2015).

2.8. Κλιματικά χαρακτηριστικά

Σε σχέση με τα κλιματικά χαρακτηριστικά των νησιών στο σύνολό τους κυριαρχεί το ήπιο εύκρατο μεσογειακό κλίμα, το οποίο στις νοτιοανατολικές περιοχές κλίνει προς το θαλάσσιο. Η μέση ετήσια θερμοκρασία του διαμερίσματος κυμαίνεται από 16.9 °C στο βόρειο άκρο μέχρι 19.9 °C στο νότιο (Λήμνος 16.9 °C, Ρόδος 19.2 °C). Το Υδατικό Διαμέρισμα παρουσιάζει σημαντικές κλιματικές παραλλαγές λόγω της γεωγραφικής θέσης, του μεγέθους και της απόστασης των νησιών από τις πλησιέστερες ηπειρωτικές ακτές με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ύψος βροχήςνα δέχονται τα νησιά που βρίσκονται κοντά στις μικρασιατικές ακτές και το μικρότερο οι Κυκλάδες (ΠΣΔΝΑ, 2015).

Τα νησιά μπορούν να διακριθούν σε πέντε ομάδες με παρεμφερή μεγέθη βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής: α) κεντρικές και νότιες Κυκλάδες, β) βόρειες Κυκλάδες, γ) βόρειο Αιγαίο, δ) ανατολικό Αιγαίο και ε) Δωδεκάνησα.

Σύμφωνα με το Προσχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (ΠΣΔΝΑ), τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα έλλειψης νερού επιδεινώθηκε εξαιτίας:

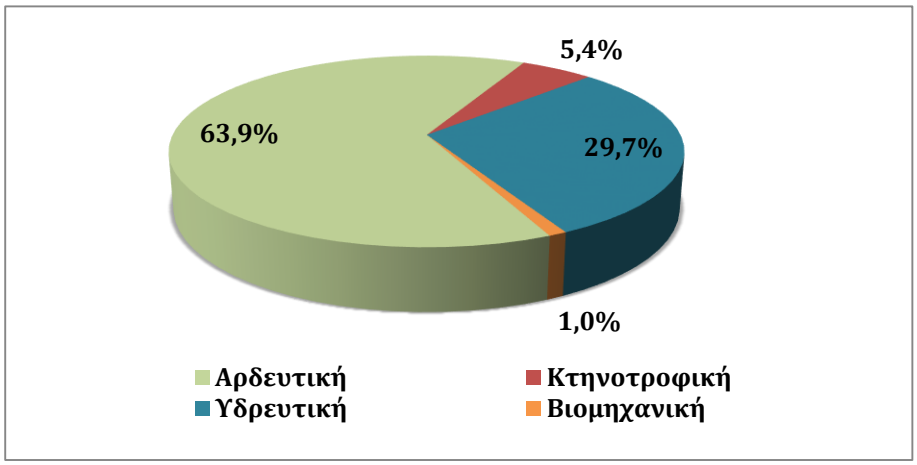
- Του ιδιαίτερου χαμηλού ποσοστού βροχοπτώσεων.
- Την μετατροπή των τοπικών κοινωνιών από κτηνοτροφικές-αγροτικές σε κοινωνίες παροχής τουριστικών υπηρεσιών.
- Την αυξανόμενη τουριστική κίνηση με αποτέλεσμα την υψηλή ζήτηση τους θερινούς μήνες.
- Τη δυσανάλογα αυξανόμενη ζήτηση σε σχέση με την αύξηση του πληθυσμού αλλά και του τουρισμού.
- Τις απώλειες μέσω των δικτύων ύδρευσης (πάνω από 30%).
- Την εγκατάλειψη παραδοσιακών τρόπων συλλογής βρόχινου νερού (ομβροδεξαμενές).
- Της υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων νερών (που καλύπτουν και το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος των απαιτήσεων) πού έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία υδραυλικών συνθηκών που ευνοούν τη υφαλμύρινση και την εισροή ρυπασμένων νερών στους υδροφορείς.
- Την απουσία πολιτικής πρόβλεψης και πρόληψης των επιπτώσεων από την αυξανόμενη ζήτηση ύδατος.
- Την απουσία ολοκληρωμένου σχεδιασμού ανά περιφέρεια που οφείλεται στην ελλειπή υλοποίηση του νομοθετικού πλαισίου.
- Τον έντονο κατακερματισμό των προσπαθειών και τελικά το μεγάλο κόστος των απαιτούμενων συνολικά παρεμβάσεων.

Το ήδη σημαντικό πρόβλημα λειψυδρίας αναμένεται να οξυνθεί περαιτέρω εξαιτίας της αναμενόμενης κλιματικής αλλαγής στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Με βάση

στοιχεία-εκτιμήσεις Διεθνών Οργανισμών για τις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου για το χρονικό ορίζοντα του 2050 αναμένεται μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης κατά 10-15% με άνοδο της θερμοκρασίας κατά 1.5 ^{o}C (ΠΣΔΝΑ, 2015).

2.9. Κάλυψη αναγκών σε νερό

Το σύνολο των ετήσιων αναγκών του διαμερίσματος σε νερό ανέρχεται στα 124.2 hm^3 και οι χρήσεις που σημειώνονται είναι η άρδευση, η ύδρευση και η κτηνοτροφία. Το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής το διαθέτει, και σε αυτή την περίπτωση, η άρδευση (64.5%), ενώ η ύδρευση το 30% και η κτηνοτροφία το 5.5% (Ανδρεαδάκης, 2008). Στον Σχήμα 2.6 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις για τη χρήση νερού στο ΥΔ Νήσων Αιγαίου, σύμφωνα με την μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ το 2008.



Σχήμα 2.6: Ζήτηση νερού ανά χρήση για το ΥΔ Νήσων Αιγαίου (Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008).

Η ζήτηση σε νερό του Υδατικού Διαμερίσματος Αιγαίου καλύπτεται από τις παρακάτω πηγές:

Γεωτρήσεις εκμετάλλευσης του υπόγειου δυναμικού. Έχουν κατασκευαστεί τόσο από φορείς του δημοσίου (νομαρχίες, δήμοι, κοινότητες) όσο και από ιδιώτες. Το νερό των γεωτρήσεων χρησιμοποιείται για κάλυψη αναγκών ύδρευσης, άρδευσης ή μικρών βιομηχανιών και κτηνοτροφίας.

Πηγές αποστράγγισης των υπόγειων υδροφορέων. Συναντάται μεγάλος αριθμός μικρών κυρίως πηγών, που καλύπτουν κατά κύριο λόγο υδρευτικές και κατά δεύτερο λόγο αρδευτικές ανάγκες. Αξιοποιείται σήμερα το σύνολο των πηγών αυτών, λόγω της έλλειψης νερού, κυρίως το καλοκαίρι.

Λιμνοδεξαμενές και φράγματα. Στα νησιά του Αιγαίου τα τελευταία χρόνια υπάρχει σε εξέλιξη πρόγραμμα μελέτης και κατασκευής λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων για την καλύτερη αξιοποίηση του επιφανειακού κυρίως και μέρους του υπόγειου νερού.

Μεταφορά νερού με υδροφόρες. Με τον τρόπο αυτό καλύπτονται οι ανάγκες των μικρών κυρίως νησιών του Αιγαίου.

Αποθήκευση νερού σε στέρνες. Με τον τρόπο αυτό καλύπτονται υδρευτικές ανάγκες πολλών κατοίκων των νησιών, κυρίως των ΠΕ Κυκλάδων και Δωδεκανήσου.

Εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης για κάλυψη υδρευτικών αναγκών, που δεν είναι δυνατό να καλυφθούν με άλλο τρόπο. Το πρόβλημα της έλλειψης νερού στα νησιά του Αιγαίου είναι υπαρκτό και μεγάλο.

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα της υδροδότησης των νησιών έχει επιδεινωθεί σημαντικά και οφείλεται στους παρακάτω παράγοντες (ΠΣΔΝΑ, 2015):

- Η ύπαρξη μιας συνεχούς ξηροθερμικής περιόδου με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το χαμηλό ποσοστό βροχοπτώσεων, έχει ως συνέπεια την μειωμένη απόδοση (ποιοτικά και ποσοτικά) των υφιστάμενων γεωτρήσεων, την μη πλήρωση των υπαρχουσών λιμνοδεξαμενών κλπ .
- Η αλλαγή των οικονομιών των νησιών από αγροτικές/κτηνοτροφικές σε οικονομίες παροχής υπηρεσιών (ξενοδοχεία, ενοικιαζόμενα δωμάτια, εστιατόρια, μπαρ, κλπ.) αύξησαν την ζήτηση των υδατικών πόρων.
- Η ολοένα αυξανόμενη παρουσία τουριστών – επισκεπτών στα νησιά αύξησε την ζήτηση των υδατικών πόρων.
- Η μεγάλη απώλεια του μεταφερόμενου νερού στα δίκτυα ύδρευσης, απώλεια που οφείλεται στην παλαιότητα του δικτύου και κατά κάποιες εκτιμήσεις ξεπερνά το 30% του μεταφερόμενου νερού.
- Η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών είναι φυσικό να έρχεται σε πρώτη προτεραιότητα τόσο γιατί πρέπει να καλυφθούν τόσο οι υδρευτικές ανάγκες του πληθυσμού όσο και ο βασικότερος τομέα της οικονομίας των νησιών, ο τουρισμός. Σε δεύτερη προτεραιότητα έρχεται το νερό για την άρδευση και την κάλυψη των κτηνοτροφικών αναγκών αφού στα περισσότερα μικρά νησιά, ο πρωτογενής τομέας δεν αποτελεί τον κύριο παράγοντα της οικονομίας τους και στη συνέχεια το νερό για βιομηχανική χρήση η οποία ούτως ή άλλως είναι μικρή στα νησιά. Μεγαλύτερα νησιά όπως η Λέσβος η Χίος και η Ρόδος, τα οποία έχουν τους εδαφικούς πόρους για ανάπτυξη εντατικής καλλιέργειας, απαιτούν σημαντικές ποσότητες νερού που συναγωνίζονται με αυτές για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών. Και σε αυτή την περίπτωση πρώτη προτεραιότητα είναι η ύδρευση και έπειτα η κατασκευή εγγειοβελτιωτικών έργων τα οποία θα καλύψουν τις ανάγκες του νησιού για άρδευση.
- Η ύπαρξη πολλών παράκτιων ρεμάτων, που αποστραγγίζουν το μεγαλύτερο τμήμα του Υδατικού Διαμερίσματος, κάνοντας δύσκολη την εκμετάλλευση των επιφανειακών νερών και η ανάπτυξη καρστικών, υδροφορέων ανοιχτών προς τη θάλασσα, δημιουργεί πρόσθετες δυσκολίες στην αξιοποίηση των υπόγειων αποθεμάτων νερού (υπερεκμετάλλευση, υφαλμύριση).

2.10. Ύδρευση – πηγές πόσιμου ύδατος

Η κάλυψη των αναγκών σε νερό στο υδατικό διαμέρισμα νήσων Αιγαίου, πραγματοποιείται μέσω υπόγειων υδάτων, με ταμιευτήρες, με αφαλατώσεις και με μεταφερόμενες ποσότητες. Σύμφωνα με στοιχεία της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής στις Κυκλάδες υδροδοτούνται με πλωτά μέσα τα νησιά Αμοργός, Κουφονήσια, Κίμωλος, Ηρακλειά, Σχοινούσα, Φολέγανδρος, Τήνος, Σίκινος, Θηρασιά και Δονούσα με προμήθεια νερού από το δίκτυο της Ε.ΥΔ.Α.Π. στην Αττική. Στα Δωδεκάνησα υδροδοτούνται με πλωτά μέσα τα νησιά Αγαθονήσι, Λειψοί, Μεγίστη, Νίσυρος, Πάτμος, Σύμη, Χάλκη, Παληόνησος,

Πλατύ, Φαρμακονήσια, Γρίγος, Αρκοί, Μαράθι, Ψέριμος και Λέρος με προμήθεια νερού από τις Νομαρχιακές γεωτρήσεις της περιοχής Καλάθου Ρόδου ή σε περίπτωση αντίξοων συνθηκών από τη ΔΕΥΑ Ρόδου (ΠΣΔΝΑ, 2015).

Κάθε νησί καλύπτει τις ανάγκες του με διαφορετικό τρόπο για παράδειγμα η Κάρπαθος υδροδοτείται για το σύνολο των αναγκών της από τα υπόγεια ύδατα, η Αστυπάλαια χρησιμοποιεί ταμιευτήρες για το 58.5% των αναγκών και η Νίσυρος χρησιμοποιεί τις αφαλατώσεις για το 71% (Λίττη, 2008). Στην Πάρο χρησιμοποιούνται κυρίως γεωτρήσεις καθώς και οι πηγές Νάουσας και Δρυού (Μαρκαντωνάτος, 2001). Στη Σύρο λειτουργούν μονάδες αφαλάτωσης, γεωτρήσεις, δεξαμενές, πηγές και συχνά παρατηρείται και αγορά νερού από ιδιωτικές γεωτρήσεις (Αποστολάκη, 2006). Στην Τήλο αξιοποιείται ο χείμαρρος Ποτάμι, μέσω μιας λιμνοδεξαμενής και γεωτρήσεων (Βάκκας, 2006). Στη Ρόδο, οι ποταμοί Σιανίτης, Γαδουράς, Λουτάνης και οι λίμνες Νάνων και Πεταλούδων εμφανίζουν ποιοτικά χαρακτηριστικά που τα καθιστούν κατάλληλα για πρόσληψη νερού. Παρομοίως οι ποταμοί Αμφιλισός και Κοκόρρεμα για το νησί της Σάμου (Ανδρεαδάκης, 2008). Τέλος, έχουν αναγνωρισθεί 33 υδατικά συστήματα από όπου αντλείται νερό για ανθρώπινη κατανάλωση (Γκούμα, 2011).

Σύμφωνα με στοιχεία της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής εκτιμάται ότι περίπου το συνολικό ποσό των 70 εκατομμυρίων ευρώ έχει δαπανηθεί για τη μεταφορά νερού σε άνυδρα νησιά του Αιγαίου. Σχετικά με το κόστος, από την 1η Μαΐου 2010 έως σήμερα, στα νησιά των Κυκλάδων η μεταφορά του νερού γίνεται με 8 €/m^3 χωρίς το Φ.Π.Α με την εκτιμώμενη συνολική δαπάνη να ανέρχεται στο ποσό των 13358400 €, για τη χρονική περίοδο μιας διετίας. Η λύση της μεταφοράς νερού έχει υψηλό κόστος αγοράς και μεταφοράς (ενδεικτική τιμή είναι 8-10 €/m^3), αλλά και άλλα μειονεκτήματα, καθώς καθιστά τα νησιά εξαρτημένα από τη διαθεσιμότητα νερού της ηπειρωτικής χώρας και άλλων περιοχών (Ανδρεαδάκης, 2014).

Σύμφωνα με στοιχεία από ΔΕΥΑ/Δήμους, σε απάντηση σχετικού ερωτηματολογίου που έχει σταλεί από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων, στο πλαίσιο της κατάρτισης του Σχεδίου Διαχείρισης, η συνολική παραγωγή νερού δικτύων, η ημερήσια κατανάλωση αιχμής, καθώς και η πηγή του πόσιμου νερού το έτος 2013, ανά νησί, περιγράφονται στον ακόλουθο Πίνακα 2-3:

Πίνακας 2-3 Παραγωγή νερού δικτύων και πηγή πόσιμου νερού, ανά νησί, στο ΥΔ Νήσων Αγαίου (Πήγη: ΠΣΔΝΑ, 2015).

Νησί	Συνολική παραγωγή νερού δικτύων (m^3)	Ημερήσια κατανάλωση αιχμής νερού δικτύων (m^3)	Πηγή πόσιμου νερού (σε m^3 ή %)			
			Ταμιευτήρες	Υπόγεια νερά	Αφαλατώσεις	Μεταφορά με πλοία
Λεκάνη Απορροής Ανατολικού Αγαίου						
Λέσβος	13000000	53	-	100%	-	-
Λήμνος	1147479	3881	-	100%	-	-
Άγιος Ευστράτιος	30000	170	-	100%	-	-
Ψαρά	50000	500	-	100%	-	-
Σάμος	6252450	15000	1%	99%	-	-
Λεκάνη Απορροής Δωδεκανήσων						
Αγαθονήσι	20700	80	-	-	12055	8645
Κάλυμνος	2000000	6000	-	99.50%	0.5	-
Κάρπαθος	663350	5880	-	100%	-	-
Λειψοί	94900	300	2500	29200	-	80000
Λεκάνη Απορροής Κυκλάδων						
Αμοργός	150000	1350	-	60%	-	40%

Νησί	Συνολική παραγωγή νερού δικτύων (m^3)	Ημερήσια κατανάλωση αιχμής νερού δικτύων (m^3)	Πηγή πόσιμου νερού (σε m^3 ή %)			
			Ταμιευτήρες	Υπόγεια νερά	Αφαλατώσεις	Μεταφορά με πλοία
Ανάφη	42000	230	100%	-	-	-
Άνδρος	2193630	9000	30%	30%	-	-
Αντίπαρος	260000	1500	-	100%	-	-
Κέα	330000	80	-	100%	-	-
Κίμωλος	52027	275	-	-	-	100%
Σίκινος	34500	280	-	-	-	-
Σίφνος	240000	4200	-	40%	60%	-
Σύρος	1399112	2745	-	-	100%	-

Μονάδες αφαλάτωσης

Στο ΥΔ Νήσων Αιγαίου λειτουργούν ήδη Μονάδες Αφαλάτωσης σε 20 νησιά, σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα 2-4:

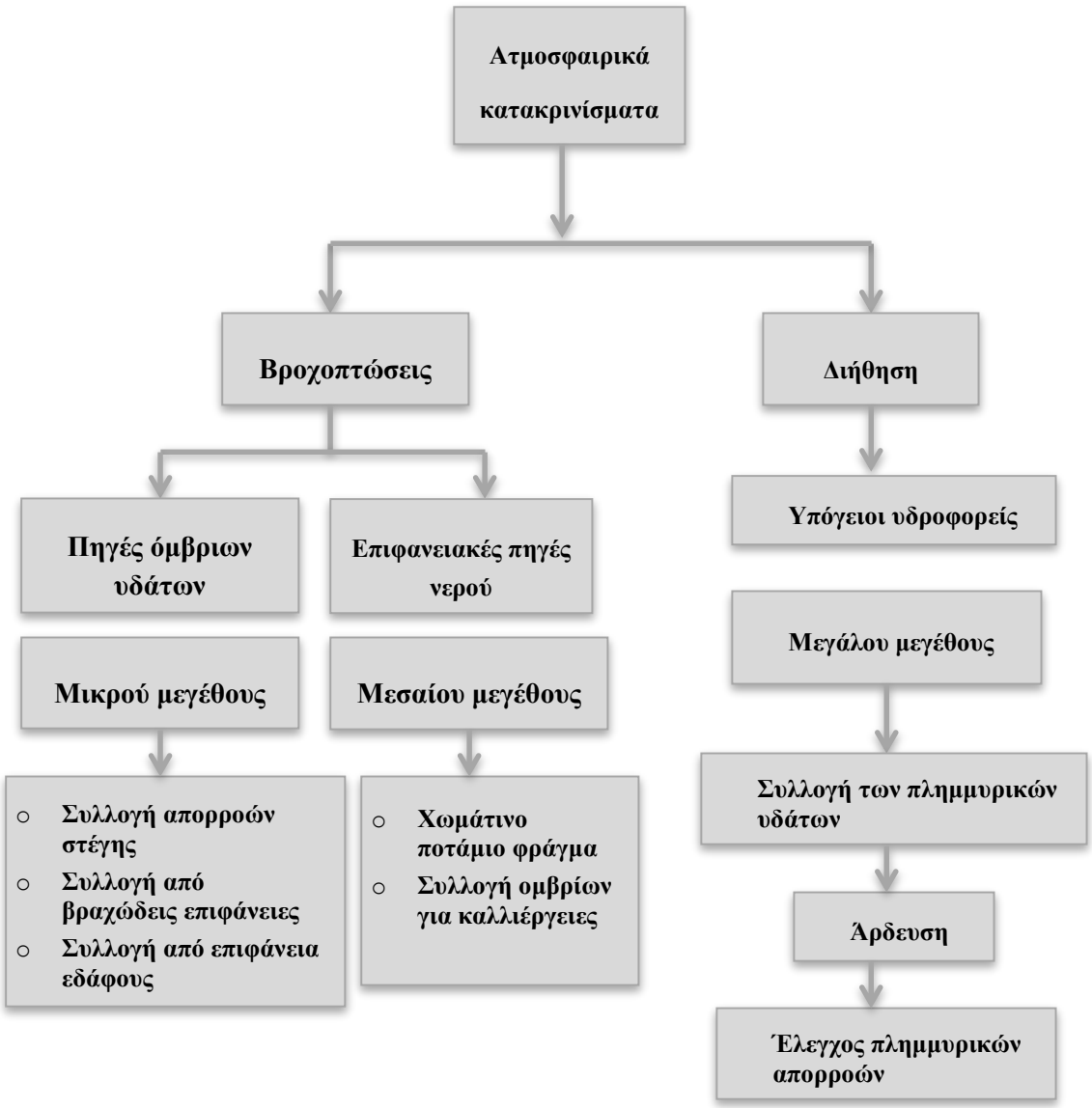
Πίνακας 2-4: Μονάδες αφαλάτωσεις που λειτουργούν στο ΥΔ Νήσων Αιγαίου (Πηγή: ΠΣΔΝΑ,2015).

Νησί	Περιοχή (m^3)	Δυναμικότητα (m^3/ημέρα)
Χίος	Θόλος	4000 (4 μονάδες δυναμικότητας)
Χίος	Μιλιγκάς	1000 (2 μονάδες δυναμικότητας)
Οινούσες	Άγιος Γιάννης	4000
Σύρος	5 θέσεις στο νησί	8400
Τήνος	Άγιος Φωκάς	1000
Μύκονος	Κόρφος	6750
Πάρος	Νάουσα	1200
Σχοινούσα	Μερσίνη	100
Ίος	Μυλοπόταμος	1000
Σίκινος	Χώρα	200
Φολέγανδρος	Καραβοστάσι	700
Θήρα	Οία, Κατοικίες και Έξω Γυαλός Φηρών	4900
Θηρασιά	Ρίβα	140
Μήλος	Συκιά, Τριβασάλου	2000
Σίφνος	Καμάρες.Πλατύς Γιαλός	1300
Αγαθονήσι	Λιμάνι	80
Νίσυρος	Λουτρά	1020
Σύμη	-	2400
Μεγίστη	-	200
Καλάλιμνος	Άγιος Νικόλαος	Για στρατιωτική φρουρά

3. Συλλογή Όμβριων Υδάτων

3.1. Συλλογή όμβριων υδάτων (Rainwater harvesting)

Ο όρος συλλογή όμβριων υδάτων χρησιμοποιείται, συνήθως για να δηλώσει την άμεση συλλογή του βρόχινου νερού από επιφάνειες συλλογής όπως είναι οι στέγες, οι βραχώδεις και οι εδαφικές επιφάνειες για την αποθήκευση του νερού αυτού σε δεξαμενές με σκοπό τη μελλοντική χρήση. Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μικρά, μεσαία και μεγάλα ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής (Gould, 1999). Τα όμβρια ύδατα που αποθηκεύονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αστική χρήση, για την επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων και για την άρδευση καλλιεργούμενων εκτάσεων. Η κατηγοριοποίηση του συστημάτος συλλογής όμβριων υδάτων αναπαριστάται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



Όσον αφορά στη συλλογή όμβριων υδάτων για αστική χρήση τα πλεονεκτήματα συνοψίζονται στα εξής:

ΧΡΗΣΤΕΣ	ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΙΣ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
○ Αποτελεί μία καθαρή και ανεξάντλητη πηγή παροχής νερού. ○ Χρησιμοποιεί απλές τεχνολογίες με χαμηλό οικονομικό κόστος. ○ Εξοικονόμηση χρημάτων με την μείωση της χρήσης του νερού του δημόσιου δικτύου.	○ Μείωση του κόστους των επενδύσεων της αντικατάστασης του δικτύου ύδρευσης. ○ Αποφυγή δυνητικά του κόστους της πρόσβασης σε δημόσια συστήματα όταν δεν είναι οικονομικά εφικτό. ○ Χρήση σε δημόσια κτίρια με στόχο την εξοικονόμηση των δημοσίων δαπανών.	○ Μείωση των όμβριων απορροών που καταλήγουν στο αποχετευτικό δίκτυο-έλεγχο πλημμυρικών φαινομένων. ○ Σημαντική μείωση της άμεσης εξάρτησης χρήσης αρδευτικού νερού από μικρού μεγέθους φράγματα. ○ Χρήση για την αύξηση της υγρασίας του πρασίνου σε αστικό επίπεδο.

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

Από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων έχουν εφαρμοστεί σε διάφορες περιοχές του κόσμου όπως στο Ηνωμένο Βασίλειο (Fewkes, 1999a) τις Ηνωμένες Πολιτείες (Jones and Hunt, 2010), την Ινδία (Goel and Kumar, 2005, Pandey et al., 2006), την Ινδονησία (Song et al., 2009), το Ιράν (Fooladman and Sepaskhah, 2004), την Ιορδανία (Abdulla and Al-Shareef, 2009), την Ιρλανδία (Li et al., 2010), την Ισπανία (Domènech and Saurí, 2011) κ.α.

Η συλλογή των όμβριων υδάτων μελλοντικά θα αποτελεί μία βασική πρακτική για την αποθήκευση και την εκμετάλλευση του βρόχινου νερού εξαιτίας της υψηλής ποιότητας και της ανανεωσιμότητας της πηγής. Κάθε σταγόνα βρόχινου νερού αποκτά οξύτητα, καθώς το διοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο των ατμοσφαιρικών ρύπων διαλύεται (Texas Water Development Board, 2005, MHLG, 2008) και συνήθως το ρυπασμένο τμήμα του νερού απομακρύνεται από την επιφάνεια συλλογής πριν την αποθήκευσή του. Η επεξεργασία που απαιτείται είναι απλή και περιλαμβάνει φίλτρα, ενώ περαιτέρω επεξεργασία με χλωρίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί εάν το νερό προορίζεται για πόση.

3.2. Συλλογή όμβριων υδάτων στην Ελλάδα – Ιστορική αναδρομή

Στην αρχαία Ελλάδα η συλλογή όμβριων υδάτων σε δεξαμενές (στέρνες) χρονολογείται τα τελευταία 4000 με 5000 χρόνια. Μάλιστα, στις άνυδρες περιοχές, η σωστή λειτουργία των συστημάτων συλλογής αποτελούσε όρο επιβίωσης. Η συλλογή όμβριων υδάτων αποτελούσε συνήθη πρακτική κατά τη Μινωική Περίοδο, 3300-1200 π.Χ. (Viollet, 2003; Angelakis and Koutsoyiannis, 2003). Οι στέρνες ανιχνεύονται ήδη στα υδρευτικά συστήματα της Μινωικής Κρήτης (Κνωσός, Φαιστός, Ζάκρος, Μάλια κ.α) όπου η συλλογή του βρόχινου νερού γινόταν με δεξαμενές και με μεγάλη προσοχή στην καθαρότητά τους και στο φιλτράρισμα του νερού πριν την αποθήκευσή του. Οι στέρνες ήταν χτισμένες όχι μόνο στα υπόγεια των σπιτιών αλλά και στα χωράφια για την άρδευση των καλλιεργειών και το πότισμα των ζώων. Επέλεγαν εδάφη κατηφορικά, δημιουργούσαν αυλάκια για να οδηγηθεί το νερό από τις ψηλότερες αναβαθμίδες στη στέρνα και από εκεί, πάλι, με την κλίση του εδάφους στο παρακάτω χωράφι για πότισμα. Χαρακτηριστικό είναι το «σαρνίτσι» σε αγροτικές περιοχές της Κρήτης όπου συλλέγεται το βρόχινο νερό μέσα από ένα μικρό κανάλι. Είναι υπόγεια στέρνα με θολωτή οροφή χτισμένη με πέτρες. Χαρακτηριστική είναι η εικόνα στο Σχήμα 3.1 με τις αρχαιότερες στέρνες σε διάφορα μέρη της Ελλάδας που χρησιμοποιούνταν για υδρευτικούς σκοπούς.

Σχήμα 3.1 Αρχαίες στέρνες ανά την Ελλάδα.

(Πηγή: http://www.itia.ntua.gr/ahw/works/?types__id__exact=2&use__id__exact=1)

Στο Καστελόριζο κυριαρχούσε το δίκτυο μεγάλων δημόσιων δεξαμενών και αυλακιών όπου συγκεντρωνόταν το νερό από τις πλαγιές και τα ρυάκια. Ένα τέτοιο δίκτυο αποτελούταν συνήθως από 9-10 κυκλικές δεξαμενές, κλειστές (με τρούλο) ή ανοιχτές που λέγονταν «πασσάδες». Εκτός από την κάλυψη των αναγκών σε νερό, οι δεξαμενές ήταν τόπος συνάντησης των γυναικών για να προμηθευτούν νερό, να καθαρίσουν χαλιά και στρωσίδια, να κουβεντιάσουν.

Στην Κύθνο δεν υπήρχαν πολλές στέρνες στα σπίτια γιατί οι περισσότερες ήταν δημόσιες. Μόνο οι πλούσιοι είχαν στέρνα στο σπίτι και αυτό ήταν ένδειξη της κοινωνικής θέσης και του πλούτου.

Οι περίφημες «σουβάλες» στην Αίγινα ήταν δημόσιες πελεκητές υπέργειες στέρνες που το καθάρισμα και η συντήρησή τους ήταν ευθύνη της τοπικής κοινωνίας.

Η στέρνα ήταν σοβαρό μέρος της προίκας της νύφης στη Μάνη καθώς το νερό θεωρούταν εγγύηση για την ευημερία των νεόνυμφων.

Η τεχνολογία συλλογής όμβριων υδάτων αναπτύχθηκε επίσης στα νησιά του Αιγαίου κατά τη διάρκεια της Κυκλαδικής περιόδου (περ. 3100-1600 π.Χ.). Στη Δήλο σημαντικά ευρήματα αυτής της περιόδου έδειξαν ότι το συλλεγμένο και αποθηκευμένο νερό σε στέρνες αποτελούσε σημαντική πηγή ύδρευσης. Τα περισσότερα σπίτια είχαν υπόγειες στέρνες στις αυλές τους (Koutsoyiannis et al., 2008).

Στο Βυζάντιο οι κινστέρνες (τεράστιες στέρνες) χρησιμοποιούνταν για τη συλλογή και την αποθήκευση του νερού για την ύδρευση ολόκληρων πόλεων. Μπορεί να ήταν ημιυπόγειες ή υπόγειες και το νερό μεταφερόταν σε αυτές από άλλες περιοχές είτε μέσω υδραγωγείων ή ήταν το βρόχινο νερό που κατέληγε εκεί, μέσα από σωληνώσεις και χτιστά αυλάκια. Το εσωτερικό τους ήταν διαμορφωμένο από κίονες που κατέληγαν σε θόλους. Οι θόλοι στην οροφή των κινστερνών προστάτευαν το νερό από το φως και τον αέρα και το διατηρούσαν δροσερό και καθαρό. Επίσης, υπήρχαν μικρά παράθυρα αρκετά ψηλά από τη στάθμη του νερού. Τα εσωτερικά τους τοιχώματα ήταν επιχρισμένα με υδραυλικό κονίαμα (κουρασάνι) για να είναι στεγανά. Στην οροφή τους οι κινστέρνες είχαν στόμια απ' όπου μπορούσε κανείς να αντλήσει το νερό με κάδους. Στα στόμια, πέτρινα ή μαρμάρινα με διακόσμηση, λαξεύονταν τα οικόσημα των ευγενών και των ηρώων της περιοχής. Κινστέρνες απαντώνται σε διάφορα μέρη της Ελλάδας (π.χ. Θεσσαλονίκη) και ιδιαίτερα στις περίφημες καστροπολιτείες Μυστρά, Μονεμβασιά, Ρόδος κ.α., όπου η κινστέρνα ήταν ζωτικής σημασίας για την ύδρευση και άρα τη ζωή στο κάστρο. Ονι κινστέρνες χτίζονταν στο εσωτερικό του κάστρου, συνήθως μέσα στην ακρόπολη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Βασιλική Κινστέρνα της Κωνσταντινούπολης που χτίστηκε τον 6ο αιώνα μ.Χ. από τον Ιουστινιανό (Σχήμα 3.2).

Σχήμα 3.2 Κινστέρνα Κωνσταντινούπολης.

(Πηγή: http://www.medies.net/_uploaded_files/publications/total_rainwater_book.pdf)

Στους Παξούς, εξαιτίας των άνυνδρων συνθηκών, οι κάτοικοι είχαν σκεφτεί να εκμεταλλευτούν τα νερά της βροχής και άρχισαν να κατασκευάζουν στέρνες. Ήταν λιθόκτιστες, λαξευμένες στο πέτρωμα και υπηρχαν παντού στο νησί (Σχήμα 3.3). Διαφορετικές μεταξύ τους, άλλοτε λαϊκής αρχιτεκτονικής άλλοτε ολόκληρες εγκαταστάσεις, πότε με λαξευτά λούκια πότε με κεκλιμένο αλώνι για να συγκεντρώνονται τα νερά σε πηγάδι, πάντα όμως τόσο σοφά μελετημένες, ενώ είχαν ακόμη και σύστημα φιλτραρίσματος για το νερό.

Σχήμα 3.3 Στέρνες στους Παξούς.

Στο Γαλαξίδι (και αλλού) η ύδρευση γινόταν αποκλειστικά από τα πηγάδια και τις στέρνες του βρόχινου νερού. Κάθε σπίτι είχε στο «κατώι» στέρνα και το νερό έφτανε σε αυτή από τη στέγη περνώντας μέσα από τα «καλάνια» (τσίγκινοι σωλήνες). Ακόμα και σήμερα σε πολλά σπίτια συλλέγουν το νερό της βροχής.

Γενικά σε όλη την Ελλάδα υπήρχαν είτε υπόγειες χτιστές είτε υπέργειες κατασκευές συλλογής του βρόχινου νερού και κυρίως στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου όπου η ανάγκη για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών ήταν επιτακτική. Παραδοσιακά οι στέρνες ήταν υπόγειες, πελεκητές με το σφυρί και το καλέμι σε βράχο που έχει την ιδιότητα να μην απορροφά το νερό. Χρησιμοποιούσαν πέτρα και συνδετικό υλικό (τσιμεντοκονίαμα, ασβέστη, τριμμένο κεραμίδι-«κουρασάνι») για να ολοκληρώσουν και να στεγανοποιήσουν τα τοιχώματα. Επίσης, έκαναν «υάλωμα» για ακόμα καλύτερη στεγανοποίηση απλώνοντας θηραϊκή γη και βάζοντας φωτιά στο εσωτερικό της. Με αυτό τον τρόπο, η στέρνα αποκτούσε πολύ λεία και αδιαπέραστη υφή εσωτερικά.

Σήμερα στην προσπάθεια αναβίωσης και ανακασκευής παλιών υδρευτικών εγκαταστάσεων και στερνών σε μία στροφή στην ορθολογική διαχείριση των υδάτων και στη συλλογή του βρόχινου νερού, έχουν δραστηριοποιηθεί πολλές Μ.Κ.Ο., καθώς και ιδιωτικές εταιρείες σε συνεργασία με διάφορους δήμους και περιφέρειες υλοποιώντας προγράμματα για την εξοικονόμηση νερού στα άνυδρα νησιά.

3.3. Νομοθετικό Πλαίσιο συλλογής όμβριων υδάτων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια γίνεται η προσπάθεια νομοθέτησης για την συλλογή όμβριων υδάτων καθώς και τους περιβαλοντικούς και πολεοδομικούς όρους που διέπουν αυτές τις κατασκευές. Σύμφωνα με την πολεοδομική νομοθεσία ισχύουν τα εξής:

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

   Επιβάλλεται σε κάθε νέα οικοδομή, για την εξοικονόμηση ύδρευσης των κτισμάτων, η συλλογή του βρόχινου νερού με την κατασκευή υπόγειας δεξαμενής συγκέντρωσης των όμβριων υδάτων. Ο μέγιστος όγκος της δεξαμενής θα πρέπει να είναι V=0.5·E (όπου Ε η επιφάνεια της πραγματοποιούμενης κάλυψης των κτηρίων). Ισχύουν ωστόσο ειδικοί περιορισμοί σε κάποιες περιοχές που περιορίζουν το μέγεθος της ομβροδεξαμενής στα 30 ή 45 m. 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 50 cm και σε περίπτωση αυτόνομης υδατοδεξαμενής εντός του γηπέδου η απόστασή της από κάθε κτίσμα θα είναι κατ’ ελάχιστον 5 m.

ii. Με το **ΠΔ** της **10-05-2002 (ΦΕΚ 402/Δ/17-05-2002)** «Χαρακτηρισμός των νησιών Κίμωλος, Δονούσα, (Άνω) Κουφονήσι, Ηρακλειά, Σχοινούσα, Αμοργός, Ανάφη, Σίκινος, Φολέγανδρος, Τήλος, Νίσυρος, Χάλκη, Μεγίστη, Κάσος, Τέλενδος, Ψέριμος, Αστυπάλαια, Λειψοί, Αγαθονήσι, Αρκοί, Αγ. Ευστράτιος, Οινούσσες, 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. Με τη νέα **ΚΥΑ (ΦΕΚ 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 απο 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. Το σχέδιο δράσης που εκπονήθηκε απο το ΕΠΠΕΡΑΑ προωθεί κάποια μέτρα όπως:

- Υποχρεωτική εγκατάσταση εξοπλισμού εξοικονόμησης νερού σε νέες κατοικίες.
- Χρήση των όμβριων υδάτων για πότισμα ή άλλες δευτερεύουσες χρήσεις.
- Παροχή οικονομικών κινήτρων για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε παλιές κατοικίες.
- Θεσμοθέτηση ενός Εθνικού Σήματος Εξοικονόμησης Νερού για τον βασικό κτηριακό εξοπλισμό.

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 3.3 μm^3 το έτος (Κυριαζοπούλου, 2012).

3.4. Περιγραφή των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων

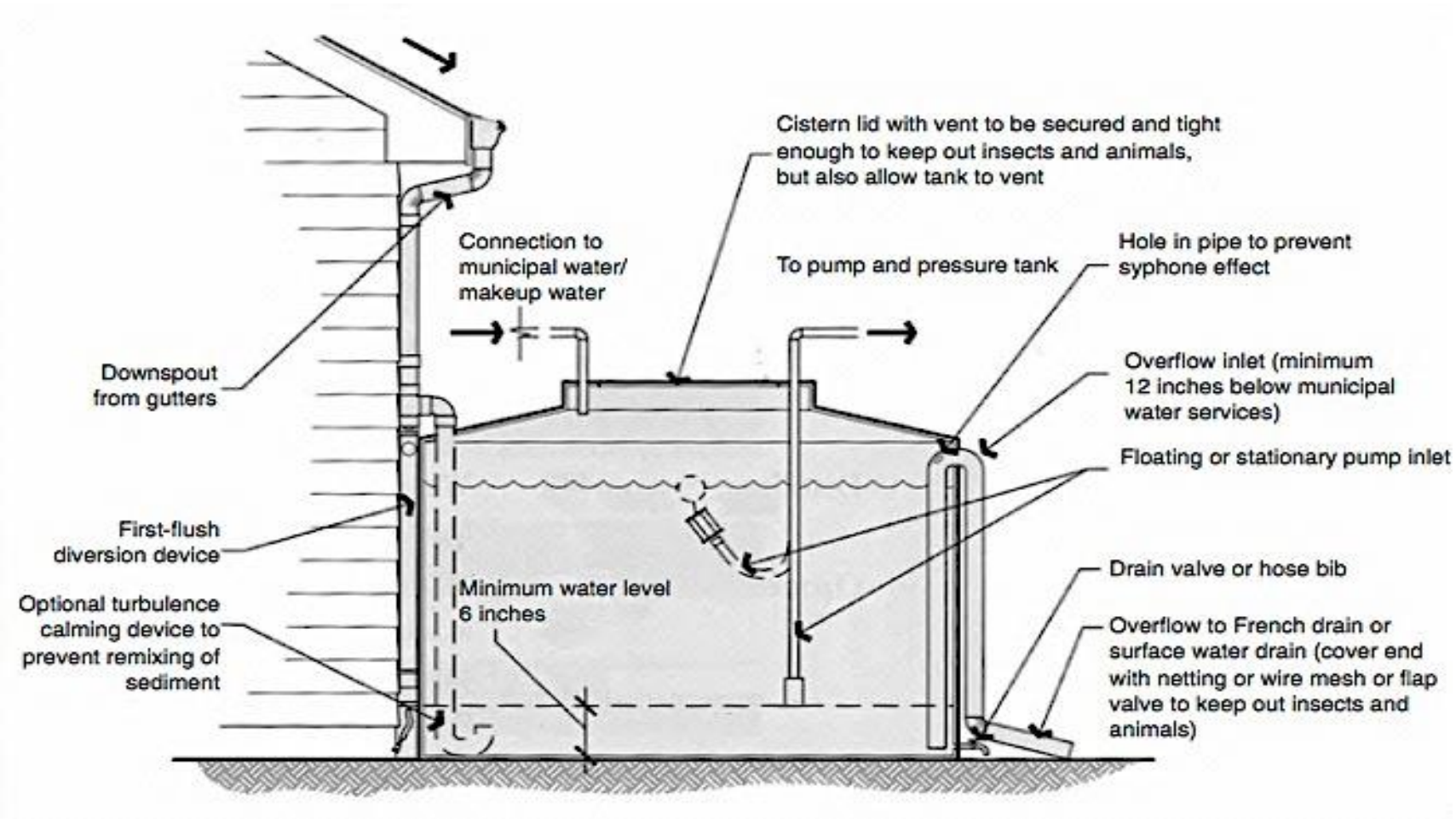
Η συλλογή των όμβριων υδάτων στα συστημάτα συλλογής μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

- Συλλογή των όμβριων υδάτων από λεκάνες απορροής.
- Συλλογή όμβριων υδάτων από την επιφάνεια της στέγης.

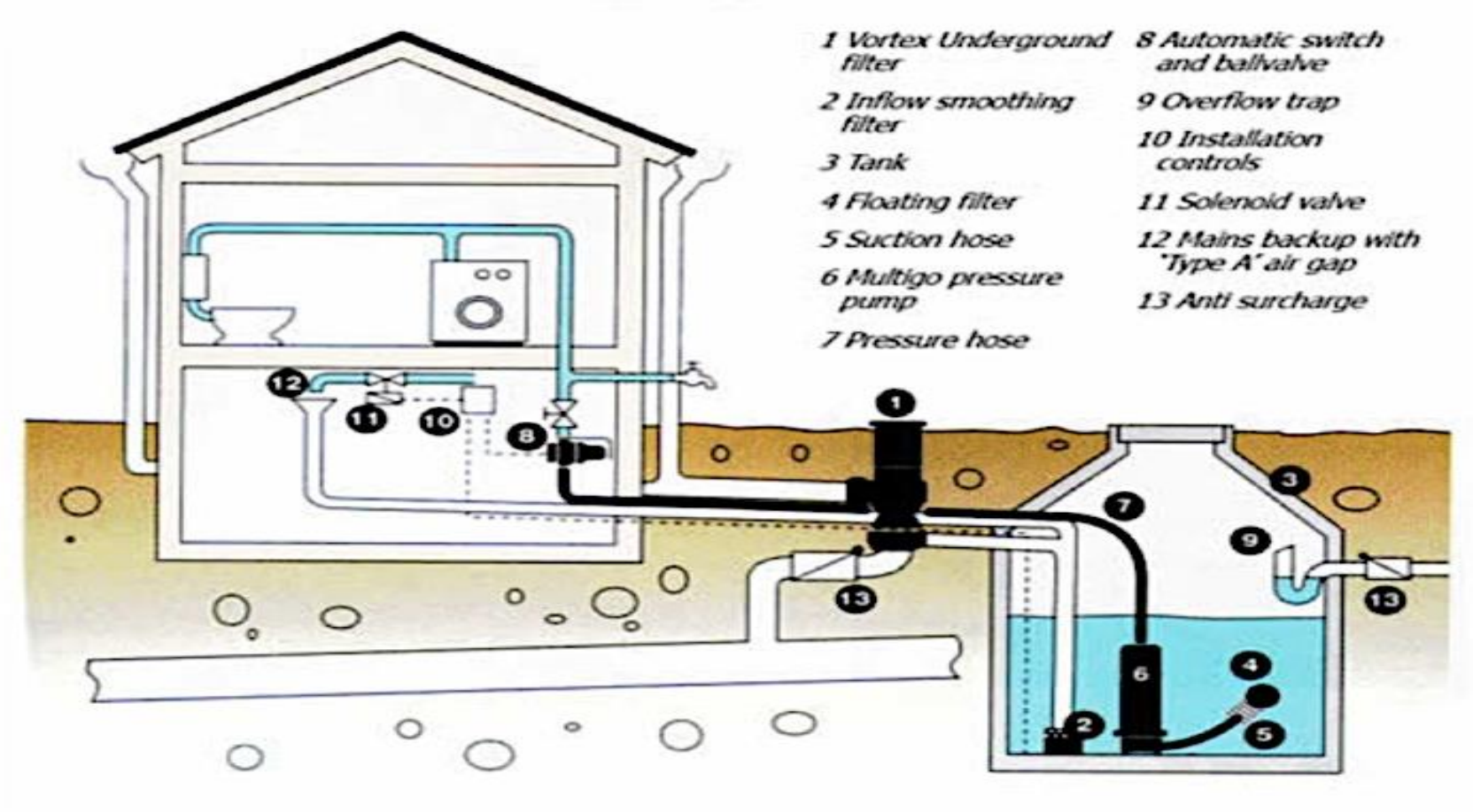
Η πρακτική της συλλογής όμβριων υδάτων από χερσαία επιφάνεια λεκάνης απορροής, που μπορεί να αποθηκεύσει το συλλεγόμενο νερό σε αυλάκια, λίμνες, δεξαμενές και ταμιευτήρες, χρησιμοποιείται είτε για αρδευτικούς σκοπούς είτε για επαναφόρτιση των υπογείων υδροφορέων. Όσον αφορά την πρακτική συλλογής όμβριων υδάτων από την επιφάνεια στέγης, χρησιμοποιείται κυρίως σε αστικές περιοχές και το νερό αποθηκεύεται είτε σε υπέργειες είτε σε υπόγειες δεξαμενές με στόχο κυρίως οικιακή χρήση αλλά και την άρδευση των οικιακών κήπων.

Στη συγκεκριμένη εργασία θα αναλυθεί κυρίως η συλλογή όμβριων υδάτων από επιφάνειες στέγης με σκοπό την οικιακή χρήση εκτός της πόσης.

Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων από στέγες κτιρίων μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε υφιστάμενα κτίρια όσο και σε κτίρια υπό κατασκευή και μπορεί να είναι υπέργεια ή υπόγεια (Σχήματα 3.4 - 3.5).



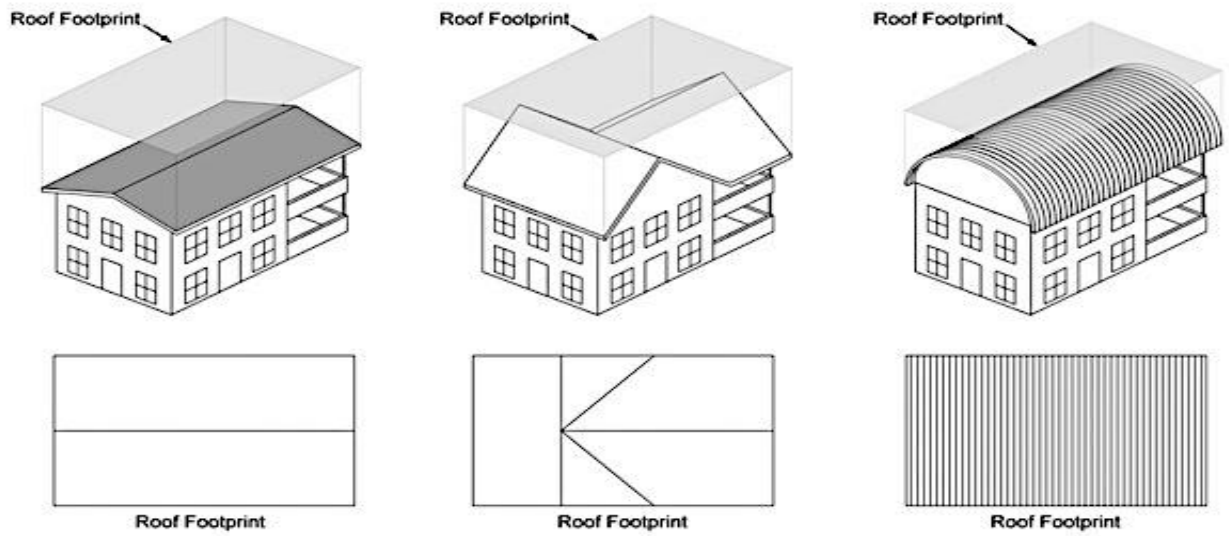
Σχήμα 3.4: Υπέργειο σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων (Πηγή: Kinkade-Levario,2004).



Σχήμα 3.5: Υπόγειο σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων (Πηγή: Construction resources, UK).

Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων σε γενικές γραμμές αποτελούνται από τέσσερα βασικά στοιχεία:

1. **Επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων:** Οι στέγες αποτελούν ιδανική επιφάνεια συλλογής αφού μπορούν να συλλέξουν μεγάλο όγκο νερού. Το νερό μπορεί να συλλεχθεί από οποιαδήποτε επιφάνεια στέγης ανεξάρτητα από το υλικό κατασκευής ή την κλίση της στέγης. Ωστόσο υπάρχουν κριτήρια που καθορίζουν την ποσότητα του όγκου συλλογής καθώς και την ποιότητα του συλλεγόμενου όγκου νερού που εξαρτώνται από το υλικό και τα τεχνικά χαρακτηριστικά κατασκευής της στέγης. Η απορρόη του βρόχινου νερού στην στέγη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ύψος της βροχόπτωσης. Η επιλογή επικλινών στεγών από υλικό κατασκευής λαμαρίνας ή πολυανθρακικού πλαστικού φύλλου δίνει ένα δυναμικό συλλογής 50% μεγαλύτερο από ότι οι στέγες με επίπεδή επιφάνεια και υλικό κατασκευής το χαλίκι (Farreny, 2011). Η κλίση της στέγης σε συνδυασμό με την τραχύτητα του υλικού καθορίζουν, επίσης, τον όγκο του νερού που συλλέγεται. Μία στέγη με μεγαλή κλίση και υλικό κατασκευής το μέταλλο, που έχει χαμηλό συντελεστή τραχύτητας, θα προκαλέσει μια πιο γρήγορη κίνηση του νερού με αποτέλεσμα να μειώσει την πιθανότητα μόλυνσης των ομβρίων απορροών. Όσον αφορά στην επιφάνεια της στέγης, αυτή καθορίζει άμεσα τον όγκο νερού που δεσμεύεται. Η περιοχή συλλογής μπορεί να υπολογιστεί με βάση το 'αποτύπωμα' της οροφής το οποίο δεν μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την κλίση της στέγης όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6. Συμπερασματικά, όσον αφορά τη συλλεγόμενη ποσότητα αυτή εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας της στέγης, την ένταση της βροχής, το είδος του υλικού κατακευής και την κλίση της επιφάνειας.

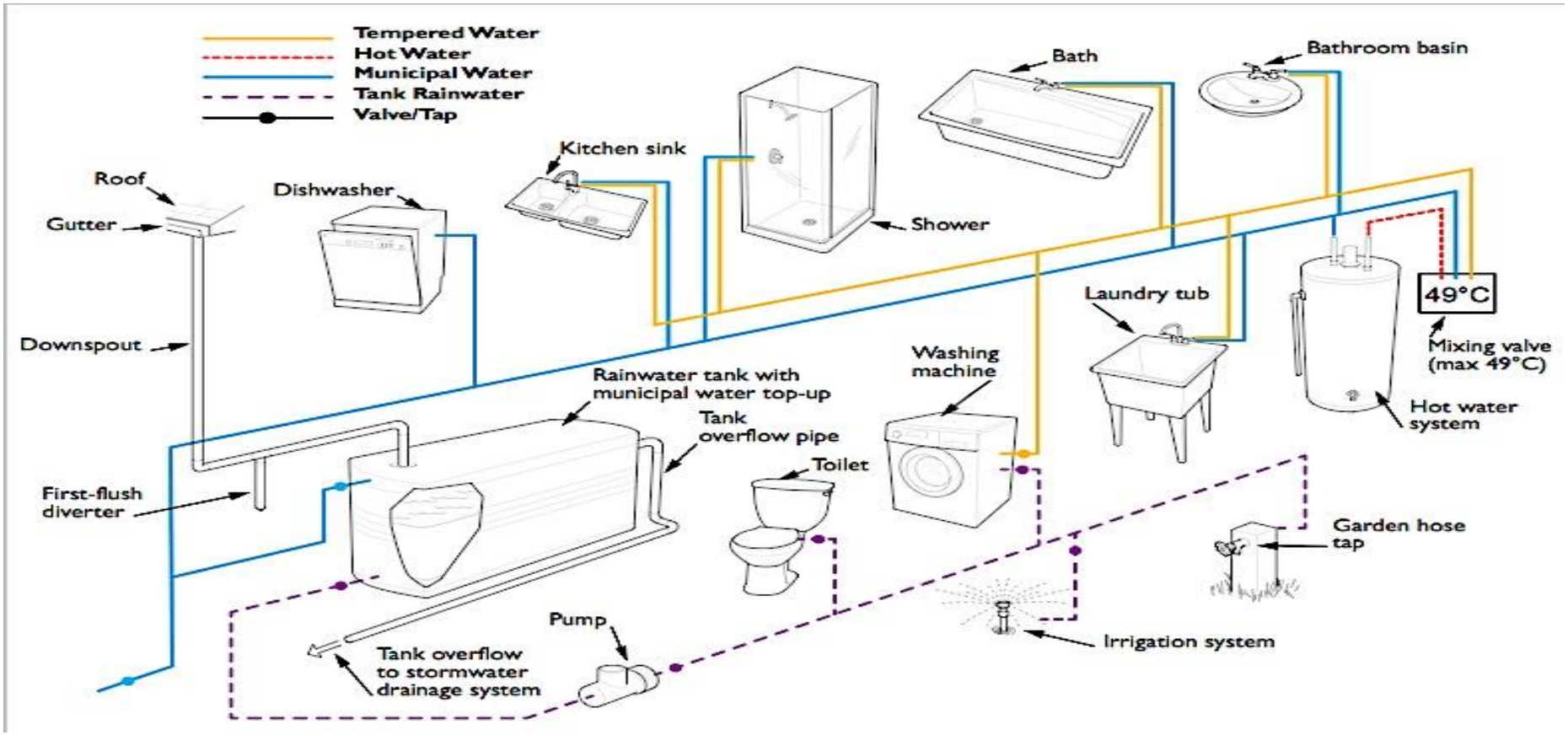


Σχήμα 3.6: Αποτύπωμα στέγης σε διάφορες κλίσεις (Roof Footprint).

(Πηγή http://rainwaterharvesting.tamu.edu/catchment-area/)

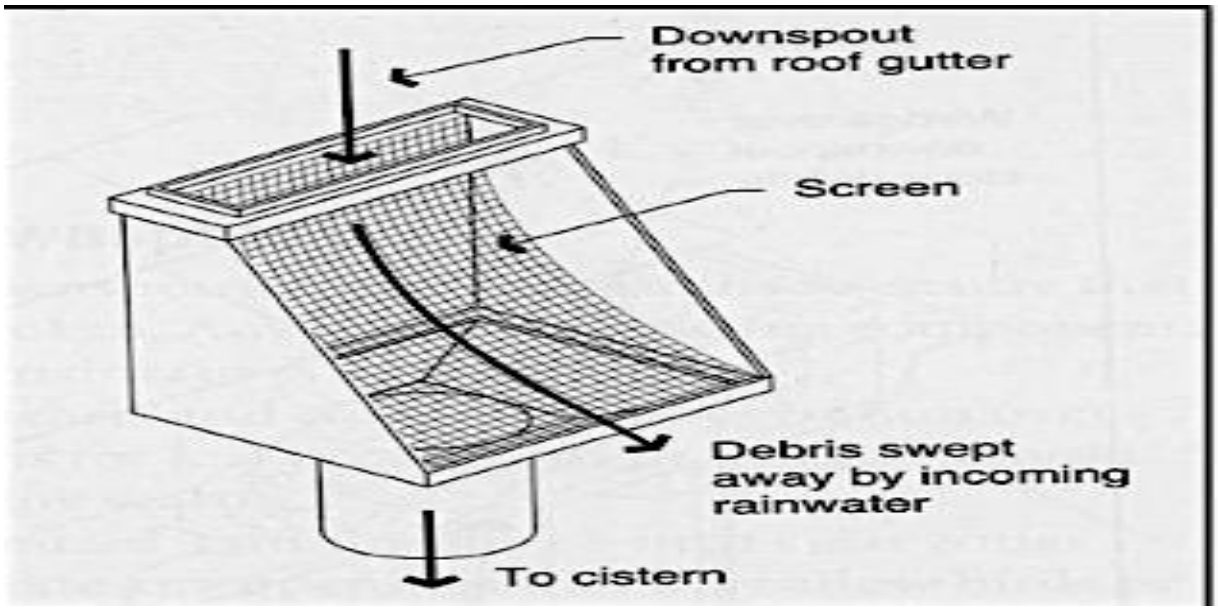
Η ποιότητα του συλλεγόμενου βρόχινου νερού εξαρτάται από το υλικό κατασκευής της στέγης και τον συντελεστή τραχύτητας του υλικού. Συγκεκριμένα, διαφορές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του συλλεγόμενου νερού διαφαίνονται σε στέγες με λεία και κεκλιμένη επιφάνεια σε σχέση με στέγες που έχουν επίπεδη τραχεία επιφάνεια. Μία στέγη από επίπεδο χαλίκι μπορεί να παρουσιάσει υψηλές τιμές σε σχεδόν όλες τις ρυπαντικές ουσίες λόγω της εναπόθεσης σωματιδίων, αποσάρθρωσης του υλικού και της φυτικής ανάπτυξης, σε αντίθεση με τις λιγότερο τραχείς στέγες (από κεραμίδια, μέταλλο και πολυανθρακικό πλαστικό) που παρουσιάζουν καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Σε γενικές γραμμές η ποιότητα του συλλεγόμενου νερού εξαρτάται από το υλικό κατασκευής της στέγης και ειδικά όταν αυτό προορίζεται για πόσιμη χρήση, τότε η στέγη θα πρέπει να είναι κατασκευασμένη από χημικώς αδρανή υλικά όπως είναι το ξύλο, το πλαστικό, το αλλουμίνιο, το κεραμίδι, τα πλακίδια από σκυρόδεμα και το χρώμα της βαφής που χρησιμοποείται δεν θα πρέπει να περιλαμβάνει τοξικές ουσίες.

2. **Το σύστημα μεταφοράς των υδάτων:** Το σύστημα μεταφοράς του συλλεγόμενου βρόχινου νερού αποτελείται από τις υδρορροές και το δίκτυο των σωληνώσεων που οδηγούν το νερό στη δεξαμενή αποθήκευσης καθώς και το σύστημα διανομής του νερού από τη δεξαμενή προς το σημείο της τελικής κατανάλωσης (Σχήμα 3.7). Το σύστημα μεταφοράς του νερού αποτελεί σημανικό παράγοντα στη διαστασιολόγηση έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μεταφορά του νερού στη δεξαμενή χωρίς απώλειες. Ξεχωριστή μελέτη πρέπει να πραγματοποιείται για την εύρεση του μεγέθους και του υλικού των υδρορροών που θα χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά του νερού. Το μέγεθος του όγκου νερού που μπορεί να μεταφερθεί μέσω των υδρορροών μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την εξίσωση του Manning (Zankowski, 2014). Ένας γενικός κανόνας εφαρμογής είναι ότι οι υδροροές πρέπει να έχουν τουλάχιστον 13 m πλάτος (Σχήμα 3.8). Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τους σωλήνες είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας, το πολυαιθυλένιο (PE) και το πολυπροπυλένιο (PP). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο υλικό κατασκευής των αγωγών υποδοχής της απορροής, στην περίπτωση των κεκλιμένων στεγών. Οι αγωγοί αυτοί πρέπει να είναι υψηλής μηχανικής αντοχής για να μην παραμορφώνονται από το προβλεπόμενο για κάθε περιοχή φορτίο χιονιού.



Σχήμα 3.7: Σύστημα διανομής νερού από τη δεξαμενή στο δίκτυο της κατοικίας.

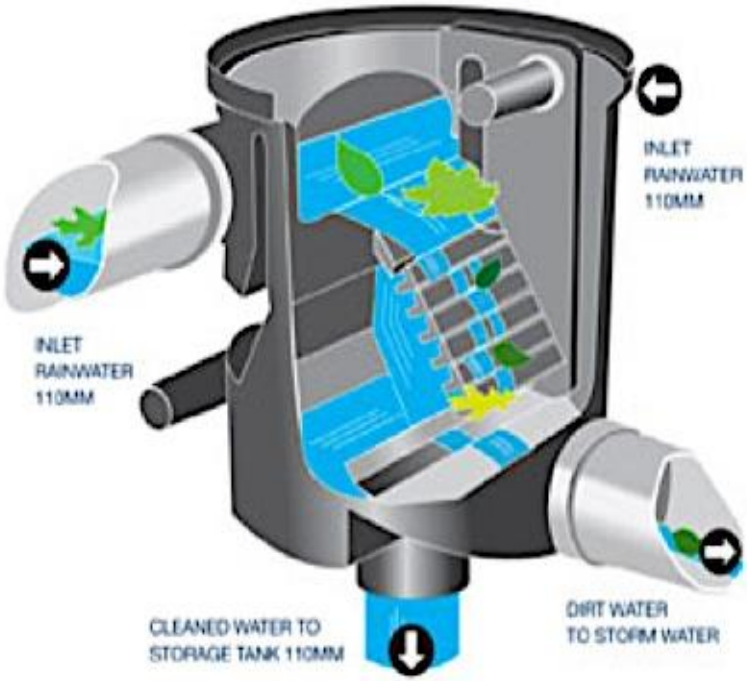
(Πηγή. http://www.harvesth2o.com)

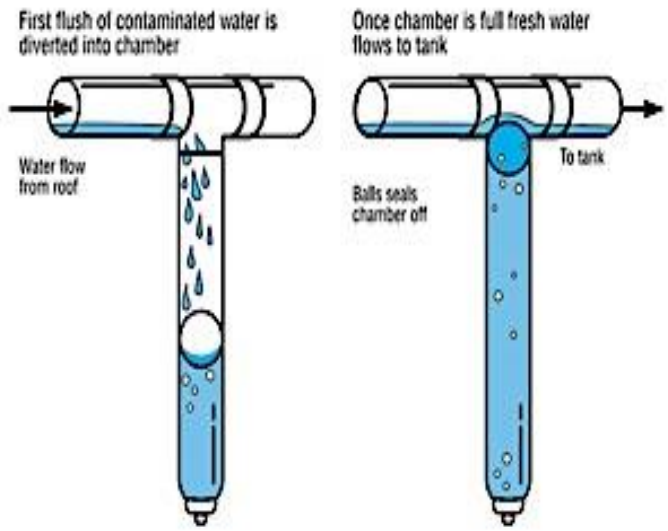


Σχήμα 3.8: Σύστημα πλύσης-υδρορροής για τη συλλογή όμβριων υδάτων.

(Πηγή: Kinkade-Levario, 2004)

3. **Διατάξεις εκτροπής πρώτης έκπλυσης και συστήματα καθαρισμού στέγης:** Ανάλογα με τη χρήση του συλλεγόμενου νερού απαιτείται και η αναγκαία απομάκρυνση των ρυπαντικών φορτίων. Εάν το νερό προορίζεται για πόση πρέπει να πληροί τα όρια της υπάρχουσας νομοθεσίας και η επεξεργασία του οφείλει να είναι η κατάλληλη. Σε γενικές γραμμές, είτε το νερό χρησιμοποιηθεί για πόση είτε για οικιακή χρήση, ένα φίλτρο (Σχήμα 3.9α) μπορεί να τοποθετηθεί στην είσοδο της υδρορροής για την απομάκρυνση των φερτών υλικών (απορριμμάτων) όπως φύλλα, ξύλα και απορρίμματα που συγκεντρώνονται στη στέγη (πχ σκόνη, περιττώματα πτηνών κ.α).





(α) (β)

Σχήμα 3.9: Φίλτρο και εκτροπή της πρώτης έκπλυσης καθαρισμού στα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων.

(Πηγή. http://www.harvesth2o.com)

Σημαντικό επίσης είναι να υπάρχουν διατάξεις εκτροπής του νερού της πρώτης έκπλυσης (first flush), ώστε να αποφεύγεται η εισροή στη δεξαμενή της αρχικής απορροής της βροχόπτωσης που συνήθως είναι ποιοτικά υποβαθμισμένη (Σχήμα 3.9 β). Οι τιμές της πρώτης έκπλυσης ποικίλουν και είναι πιο σωστό να προσδιορίζονται με μετρήσεις στο πεδίο εφαρμογής. Ο όγκος του νερού που εκτρέπεται για ένα συγκεκριμένο σύστημα συλλογής εξαρτάται από τον αποδεκτό κίνδυνο για τους τελικούς χρήστες. Ως καθοριστικοί παράγοντες για τον υπολογισμό της κατάλληλης τιμής της πρώτης έκπλυσης αναφέρονται η τοποθεσία του συστήματος συλλογής ομβρίων και η απόστασή του από δρόμους, τα δέντρα, η ποιότητα του υλικού κατασκευής της στέγης κ.α. Ο πίνακας 3-1 παρουσιάζει συνοπτικά τις συστάσεις που διατίθενται στη βιβλιογραφία σχετικά με το πόσο νερό πρέπει να εκτραπεί για την οικιακή συλλογή του νερού της στέγης. Οι Martinson and Thomas (2005) χρησιμοποιούν ένα μοντέλο που αναπτύχθηκε από τους Sartor and Boyd (1972), όπου προτείνεται ότι η ρύπανση των όμβριων υδάτων ακολουθεί μια εκθετική καμπύλη εξασθένησης που ορίζεται ως $N=N0e-krt$, όπου N η θολερότητα της απορροής, $N0$ είναι το αρχικό φορτίο ιζημάτων στην οροφή πριν την εκδήλωση της βροχής, k είναι σταθερά και ποικίλει ανάλογα με την υφή της επιφάνειας απορροής από 0,01 με 0,18 mm, r είναι η ένταση της βροχόπτωσης σε mm/hr και t είναι η διάρκεια καταιγίδας σε ώρες.. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις περιοχές που επηρεάζονται από το φαινόμενο της λασποβροχής (π.χ. ανοιξιάτικες βροχές στην Ελλάδα). Σ’αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα, ώστε αφενός να αποτρέπεται η συλλογή του νερού αυτού στη δεξαμενή και αφετέρου να αυξάνεται το ποσό πρώτης έκπλυσης της επόμενης καθαρής βροχής (Λόντρα, 2014).

Πίνακας 3-1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τις τιμές της εκτροπής της πρώτης έκπλυσης.

Βιβλιογραφία	Προδιαγραφές	Πόσο νερό εκτρέπεται
(Yaziz, et al. 1989)	Για την προστασία από τη μικροβιακή μόλυνση	0.33 mm
(Ntale, et al. 2003)	Εμπειρικές τιμές (θα πρέπει να μειωθεί σε περίοδο βροχών)	0.83 mm ή για τα πρώτα10 λεπτά βροχόπτωσης
(Martinson and Thomas 2005)	Με βάση τις μετρήσεις δείγματος στέγης	Για κάθε mm βροχόπτωσης που απομακρύνεται του μολυσματικού φορτίου μειώνεται κατά το ήμισυ
(Cunliffe 1998)	Για μεσαίου μεγέθους στέγες	20-25 L
(Pacey and Cullis 1986)	-	Τα πρώτα 10 λεπτά ενός γεγονότος βροχόπτωσης
(Texas Water Development Board 2005)	Ανάλογα με τις ξηρές ημέρες, τα δέντρα, και την εποχή	0.41 – 0.82 mm
(Michaelides 1987)	Με βάση πειραματική εργασία στην Ταϊλάνδη	0.28 mm

Συμπερασματικά, η κατανόηση των μηχανισμών της διαδικασίας της πρώτης έκπλυσης είναι θεμελιώδης για την ποσοτικοποίηση του νερού που εκτρέπεται, το μέγεθος του οποίου επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, χωρίς βέβαια να περιορίζεται μόνο σε αυτούς (Meera and Ahammed, 2006):

- **Το υλικό της στέγης**: τη χημική του σύνθεση, τραχύτητα, την ηλικία, την αντοχή σε αντίξοες καιρικές συνθήκες, καθώς και τη συντήρηση
- **Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της στέγης**: μέγεθος, η κλίση και η έκθεση στον ήλιο, τον άνεμο, τη βροχή και προέλευση πηγών ρύπανσης
- **Τα χαρακτηριστικά της βροχής:** διάρκεια εκδήλωσης, ένταση, τον άνεμο και συγκέντρωση των ρύπων στη βροχή
- **Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά**: άνομβρες περίοδοι, προγενέστερες ξηρές περίοδοι, ηλιακή ακτινοβολία, και την ατμοσφαιρική ρύπανση
- **Η τοποθεσία**: κοντά στο δρόμο, προεξέχοντα δέντρα, αφθονία σε ζώα (τρωκτικά, έντομα, σαύρες, κλπ)
- **Χαρακτηριστικά ρύπων**: η ικανότητα των ρύπων (βακτήρια, ιούς, πρωτόζωα κ.α) να μπορούν να αποστειρωθούν με την ηλιακή ακτινοβολία, και η πυκνότητα των σωματιδίων (εάν μπορούν να μεταφέρονται από τον άνεμο και το νερό)

4. **Δεξαμενές αποθήκευσης**: Ο απώτερος στόχος του σχεδιασμού των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων "*είναι να παράσχει επαρκώς διαστασιολογημένα μέρη με επαρκή δομική αντοχή και ανθεκτικότητα για να παρέχουν τη βέλτιστη ποσότητα του πόσιμου νερού για τους χρήστες στο πιο οικονομικό κόστος*» (Schiller, 1982). Ένα από τα πιο σημαντικά μέρη του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων είναι η δεξαμενή αποθήκευσης νερού, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από την διαθέσιμη βροχοπτώση, την εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων, τη ζήτηση του νερού καθώς και την επιφάνεια συλλογής. Ως δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατασκευές που είναι υδατοστεγείς, κατάλληλης μηχανικής αντοχής και κατά το δυνατόν από αδρανές υλικό. Τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι: τούβλο, μεταλλικές, τοιχοποιία/πέτρα, γαλβανισμένο-σίδηρο, τσιμέντο, ξύλο, πλαστικό, ή σκυρόδεμα (Σχήμα 3.10). Οι δεξαμενές από πλαστικό πολυπροπυλένιο υπερτερούν σε βάρος και διάρκεια ζωής σε σχέση με αυτές από πολυαιθυλένιο. Οι δεξαμενές από σκυρόδεμα έχουν την ευελιξία στο να κατασκευάζονται εύκολα είτε υπέργεια είτε υπόγεια. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα των δεξαμενών από σκυρόδεμα αποτελεί η αντοχή τους στη διάβρωση. Επιπλέον, ένα ακόμη πλεονέκτημα στις δεξαμενές από σκυρόδεμα είναι μια επιθυμητή γεύση που προσδίδεται στο νερό από το ασβέστιο του σκυροδέματος που διαλύεται σε τοποθεσίες όπου υπάρχει ελαφρώς όξινο νερό της βροχής. Οι μεταλλικές δεξαμενές είναι ελαφριές και μπορούν να μετακινηθούν εαν αυτό απαιτηθεί. Ένα όμως μειονέκτημά τους είναι ότι χρειάζεται να επενδυθούν εσωτερικά για να αντέξουν τη διάβρωση και εάν χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση πόσιμου νερού τότε θα πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες τεχνικές προδιαγραφές. Ωστόσο η κατάλληλη επιλογή του υλικού είναι θέμα ανάλυσης κόστους - οφέλους. Οι δεξαμενές μπορούν να είναι είτε πλήρως υπόγειες, είτε πλήρως υπέργειες είτε μερικώς υπόγειες/υπέργειες. Χρειάζονται διατάξεις ασφαλούς υπερχείλισης και εκκένωσης και οπωσδήποτε πρέπει να μπορούν να επιθεωρούνται και να συντηρούνται σχετικά

εύκολα. Ο παρακάτω Πίνακα 3-5 συγκρίνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των πλαστικών και μεταλλικών δεξαμενών (Nshimyimana 2007β).

Πίνακας 3-5 : Σύγκριση μεταλλικών- πλαστικών δεξαμενών.

Γαλβανισμένη μεταλλική δεξαμενή	**Πλαστική δεξαμενή**
Πιο ακριβή σε σχέση με το πλαστικό	(Συνήθως) φθηνότερη από ότι η μεταλλική δεξαμενή
Ανάγκες συμπληρωματικής προστασίας (ειδική βαφή για προστασία από σκουριά)	Μπορεί να χρειαστεί συμπληρωματική προστασία
Ανθεκτική σε βανδαλισμούς και φθορές χρήσης	Επιρρεπής σε βανδαλισμούς και φθορές χρήσης
Ανεπηρέαστη από την υπεριώδη ακτινοβολία	Αν δεν προστατευθεί, επηρεάζεται από την υπεριώδη ακτινοβολία
Επηρεάζεται από την υγρασία	Ανθεκτική στην υγρασία
Η κακή συντήρηση μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του νερού	Κακή συντήρηση μπορεί να ευνοήσει την ανάπτυξη των βακτηρίων στο εσωτερικό της δεξαμενής
Δύσκολο να εγκαταστηθεί εάν χρειάζεται συγκόλληση	Εύκολη στην εγκατάσταση

Σχήμα 3.10: Διάφοροι τύποι ομβροδεξαμενών από πολυπροπυλένιο, σκυρόδεμα, γαλβανισμένο σίδηρο και ξύλο.

3.5. Ποσότητα όμβριων υδάτων - συντελεστής απορροής

Όπως προαναφέρθηκε, η ποσότητα συλλογής των όμβριων υδάτων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διαστασιολόγηση του συστήματος και εξαρτάται συνήθως από το μέγεθος, την υφή, την απορροφητικότητα και την κλίση της επιφάνειας συλλογής ομβρίων υδάτων.

Καθοριστικός παράγοντας στον υπολογισμό της ποσότητας συλλογής των όμβριων υδάτων είναι ο συντελεστής απορροής C, ο οποίος αντιπροσωπεύει τις απώλειες βροχόπτωσης στην επιφάνεια συλλογής των ομβρίων. Ο συντελεστής απορροής είναι ο λόγος του όγκου του νερού που τρέχει από μια επιφάνεια προς τον όγκο του νερού που πέφτει σε αυτήν. Έτσι, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής απορροής τόσο περισσότερο βρόχινο νερό μπορεί να συλλεχθεί (Worm, 2006).

Ο Farreny (2011) εκτιμά την τιμή του συντελεστή απορροής για τέσσερις διαφορετικούς τύπους στέγης στην περίπτωση μεσογειακού κλίματος. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως ο μέσος συντελεστής απορροής για στέγη από κεραμίδια, μέταλλο, πλαστικό και χαλίκι είναι 0.84-0.01, 0.92-0.00, 0.91-0.01 και 0.62-0.04, αντίστοιχα. Δεδομένου ότι το ύψος της βροχόπτωσης επηρεάζει τον συντελεστή απορροής, η έρευνα έδειξε πως οι μεγαλύτερες διαφορές στο C, μεταξύ του συνόλου των στεγών που εξετάστηκαν, βρέθηκαν όταν το ύψος των βροχοπτώσεων ήταν μικρό (π.χ. αν όλα τα ύψη βροχής ήταν 5 mm), ενώ όταν το ύψος των βροχοπτώσεων αυξανόταν οι διαφορές μεταξύ των συντελεστών απορροής ήταν πολύ μικρότερες.

Σύμφωνα με την Kinkade-Levario, (2007) οι τιμές του συντελεστή απορροής για διάφορες επιφάνειες συλλογής είναι οι εξής:

- 0.90 για λείες, στεγανές στέγες π.χ. από μέταλλο, κεραμίδι, τσιμέντο
- 0.80 για χαλικόστρωτες στέγες και λιθόστρωτες επιφάνειες
- 0.60 για επεξεργασμένο έδαφος
- 0.30 για φυσικό έδαφος

Σύμφωνα με το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) που εφάρμοστηκε το 2008, οι τιμές του συντελεστή απορροής είναι οι εξής:

- 0.8-0.9 για επιφάνειες κατασκευασμένες από πλακάκια
- 0.7-0.9 για επιφάνειες κατασκευασμένες από μεταλλικά φύλλα
- 0.6-0.8 για επιφάνειες κατασκευασμένες από σκυρόδεμα

Συμπερασματικά, για την αποτελεσματική λειτουργία ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων απαιτείται ένα καλά σχεδιασμένο, προσεκτικά κατασκευασμένο και καλά συντηρημένο σύστημα συλλογής και μεταφοράς ομβρίων.

3.6. Ποιότητα όμβριων υδάτων

Η ποιότητα των συλλεγόμενων όμβριων υδάτων έχει γίνει αντικείμενο μελέτης από πολλούς ερευνητές, οι οποίοι αναφέρουν ότι στο συλλεγμένο και αποθηκευμένο βρόχινο νερό έχουν βρεθεί χημικές ή/και μικροβιολογικές προσμείξεις σε επίπεδα που δεν υπερβαίνουν (Sazakli et al., 2007) ή συχνά υπερβαίνουν τις διεθνείς ή εθνικές προδιαγραφές για ασφαλές πόσιμο νερό (Simmons et al., 2001, Chang et al., 2004, Zhu et al., 2004). Η ποιότητα των συλλεγόμενων υδάτων εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων, όπως τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (τοπογραφία, καιρικές συνθήκες, γειτνίαση με βιομηχανικές ζώνες ή πηγές

ρύπανσης), το είδος της λεκάνης απορροής ή το υλικό κατασκευής της, ο βαθμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και το είδος της ομβροδεξαμενής (Yaziz et al., 1989, Chang et al., 2004). Σε μία πρόσφατη μελέτη που διεξείχθει στο από το University of Texas στο Austin (Mendez, 2010) εξετάστηκε η επίδραση των συμβατικών υλικών στέγης (δηλαδή, ασφαλτικό υλικό, γαλβανισμένο μέταλλο, μπετόν και κεραμίδι) και εναλλακτικά υλικά για στέγες (όπως, πράσινες στέγες) σχετικά με την ποιότητα των όμβριων υδάτων που συλλέγονται από αυτές. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως τα όμβρια που συλλέγονται από οποιοδήποτε υλικό από αυτές τις στέγες απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία για να φτάσουν τα όρια, σύμφωνα με τα πρότυπα των Ηνωμένων Εθνών, για χρήση τους ως πόσιμο νερό. Ωστόσο, το νερό που συλλέγεται από μεταλλικές στέγες προτιμάται για οικιακή χρήση, καθώς τα αποτελέσματα έδειξαν πως τείνει να έχει χαμηλότερες συγκεντρώσεις κοπράνων και βακτηριδίων σε σύγκριση με άλλα υλικά για στέγες. Σε αντίθεση με τις πράσινες στέγες, όπου η ποιότητα του συλλεγόμενου νερού δεν ήταν καλή, καθώς οι συγκεντρώσεις του οργανικού ανθρακα ήταν υψηλές, όπως και οι συγκεντρώσεις ορισμένων μετάλλων (αρσενικό). Συμπερασματικά, το υλικό της στέγης αποτελεί σημαντικό παράγοντα κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Η ποιότητα των όμβριων υδάτων που συλλέγονται και χρησιμοποιούνται για οικιακή και πόσιμη χρήση στην Κεφαλλονιά μελετήθηκε από τους Sazakli et al. (2007) για μία περίοδο 3 ετών όπου συλλέχθηκαν δείγματα από δεξαμενές με σκυρόδεμα και τα αποτελέσματα έδειξαν πως όλα τα δείγματα ήταν εντός των ορίων (Οδηγία 98/93/ΕΕ) στις φυσικοχημικές παραμέτρους, ενώ στις μικροβιολογικές ανιχνεύθηκαν Escherichia coli και εντερόκοκκοι σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Η ανάλυση έδειξε πως οι μικροβιολογικές παράμετροι επηρεάστηκαν κυρίως από το επίπεδο καθαριότητας των επειφανειών απορροής, ενώ οι χημικές παράμετροι επηρεάστηκαν από την τοπογραφία και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Οι περισσότερες μελέτες αναδεικνύουν την ανάγκη για τη θέσπιση κατευθυντήριων γραμμών και πολιτικών όσον αφορά στην ποιότητα των συλλεγόμενων όμβριων υδάτων, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η πρακτική της συλλογής για περισσότερες χρήσεις (πόσιμη). Ο σωστός σχεδιασμός και η συντήρηση θα εξασφαλίσουν τη μακροπρόθεσμη επιτυχία των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων και σε συνδυασμό με τη συνεχή παρακολούθηση οι κινδύνοι για την υγεία των ανθρώπων θα μετριαστούν. Αυτό θα επιτευχθεί μόνο μέσα από τη συλλογή περισσότερων δεδομένων σχετικά με την εμφάνιση και τη συνεχιζόμενη επικράτηση των παθογόνων μικροβίων στα συστήματα συλλογής (Warish, 2011).

Ωστόσο, προκειμένου για αρδευτική χρήση, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του συλλεγμένου βρόχινου νερού το κατατάσσουν στην πρώτη κατηγορία ποιότητας. Για το λόγο αυτό είναι πολύ διαδεδομένη και ενδεικνυόμενη η πρακτική της ανάμιξης του νερού αυτού με νερά υποβαθμισμένης ποιότητας προερχόμενα κυρίως από γεωτρήσεις (Λόντρα, 2014).

3.7. Διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών (tanks sizing)

Τα τελευταία χρόνια, στο πλαίσιο της διαχείρισης του αστικού νερού, ο σχεδιασμός συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων κέντρισε το ερευνητικό ενδιαφέρον ως μία εναλλακτική πηγή συλλογής αστικού νερού τόσο για την κάλυψη της ύδρευσης όσο και για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Ο προσδιορισμός του βέλτιστου όγκου της δεξαμενής αποθήκευσης νερού αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα βήματα στο σχεδιασμό ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων. Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσεγγίσεις από μελετητές όσον αφορά στη μεθοδολογία διαστασιολόγησης, το

είδος, καθώς και τον τρόπο που χρησιμοποιούνται οι καταγραφές των βροχοπτώσεων ως υδρολογικά δεδομένα εισόδου (Hanson and Vogel, 2014). Οι διαφορετικές προσεγγίσεις που έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία, μπορούν να ταξινομηθούν κυρίως σε τέσσερις τύπους:

1. Τις απλουστευμένες μεθόδους που βασίζονται σε σχέσεις καθορισμένες από το χρήστη.
2. Στις συνεχείς προσομοιώσεις ενός υδατικού ισοζυγίου μάζας.
3. Στις μη-παραμετρικές προσεγγίσεις που βασίζονται σε στοχαστικά μοντέλα.
4. Στις στατιστικές μέθοδους.

Μία από τις βασικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιείται για τη διαστασιολόγηση της δεξαμενής αποθήκευσης βρόχινου νερού είναι η μέθοδος του υδατικού ισοζυγίου (behavioural models) (Handia 2002, Ward et al., 2011, Campisano and Modica, 2012, Tsihrintzis and Baltas, 2013, Londra et al., 2015a), η οποία εφαρμόζεται είτε με ημερήσιες (Fewkes, 2000), είτε με μηνιαίες καταγραφές (Watt, 1978) τιμών βροχοπτώσεων. Επιπλέον, υπήρξαν ερευνητές που ενσωμάτωσαν στη μέθοδο του υδατικού ισοζυγίου αλγόριθμους που χρησιμοποιούσαν πάλι μηνιαίες τιμές στα βροχομετρικά δεδομένα. (Schiller and Latham, 1987).

Υπάρχουν και πιο λεπτομερή μοντέλα που ερευνούν την απόδοση του συστήματος κάτω από ένα πολύπλοκο πρότυπο ζήτησης νερού (όπως πολλαπλές τελικές χρήσεις που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές), τα οποία χρησιμοποιούν ωριαίες τιμές βροχομετρικών δεδομένων (Villarreal and Dixon, 2005).

Επίσης, χρησιμοποιούνται μέθοδοι διαστασιολόγησης που βασίζονται σε μοντέλα πιθανοτήτων (probabilistic models). Οι Cowden et al. (2008) χρησιμοποίησαν ημι-παραμετρικές εξισώσεις για την δημιουργία στοχαστικών μοντέλων πρόβλεψης βροχομετρικών χρονοσειρών στο σύστημα διαστασιολόγησης της συλλογής όμβριων υδάτων και οι Basinger et al. (2010) χρησιμοποίησαν μη-παραμετρικές εξισώσεις.

Όπως είναι φανερό, όλες οι μεθοδολογίες βασίζονται στις καταγραφές τοπικών βροχομετρικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται είτε ως απευθείας υδρολογικό δεδομένο εισόδου στο σύστημα είτε ως δεδομένο εισόδου πρόβλεψης των παραμέτρων που απαιτούνται σε ένα στοχαστικό μοντέλο βροχόπτωσης. Όλες οι μελέτες που διεξήχθησαν και αναφέρθηκαν παραπάνω εξετάζουν το πως οι παράμετροι σχεδιασμού του συστήματος (όγκος αποθήκευσης, επιφάνεια συλλογής, ζήτηση κλπ) επηρεάζουν διάφορα μέτρα απόδοσης του συστήματος (την αξιοπιστία, την αποδοτικότητα στην εξοικονόμηση νερού, τον όγκο υπερχείλισης κα.).

Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χωρητικότητα της ομβροδεξαμενής δεν μπορεί να τυποποιηθεί διότι επηρεάζεται σημαντικά από διάφορες τοπικές μεταβλητές, όπως οι τοπικές βροχοπτώσεις, οι επιφάνειες συλλογής, η ζήτηση και ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων (Aladenola and Adeboye, 2010, Eroksuz and Rahman, 2010, Londra et al., 2015a,b).

Οι μέθοδοι διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών ποικίλλουν από χώρα σε χώρα ανάλογα με τα πρότυπα και τους κανονισμούς που έχει υιοθετήσει η κάθε χώρα.

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

Στόν Πίνακα 3-6 παρουσιάζονται ορισμένες μέθοδοι διαστασιολόγησης ανά χώρα και συγκεκριμένα ο τρόπος υπολογισμού της ετήσιας αποδόσης όμβριων υδάτων και του όγκου της ομβροδεξαμενής (Λόντρα, 2014).

Παρά το γεγονός ότι διάφορες τεχνολογίες και μέθοδοι διαστασιολόγησης χρησιμοποιούνται ανά χώρα το αποτελέσμα είναι πως η συλλογή του βρόχινου νερού προσφέρει πολλά οφέλη τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Κάποια από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της συλλογής όμβριων υδάτων είναι τα εξής:

- Μείωση απορροών-πλυμμηρικών αιχμών.
- Εξοικονόμηση υδατικών πόρων.
- Εξασφάλιση νερού άριστης ποιότητας για άρδευση.
- Εξασφάλιση εναλλακτικής πηγής κάλυψης των υδατικών αναγκών, αύξηση της αυτάρκειας.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας.

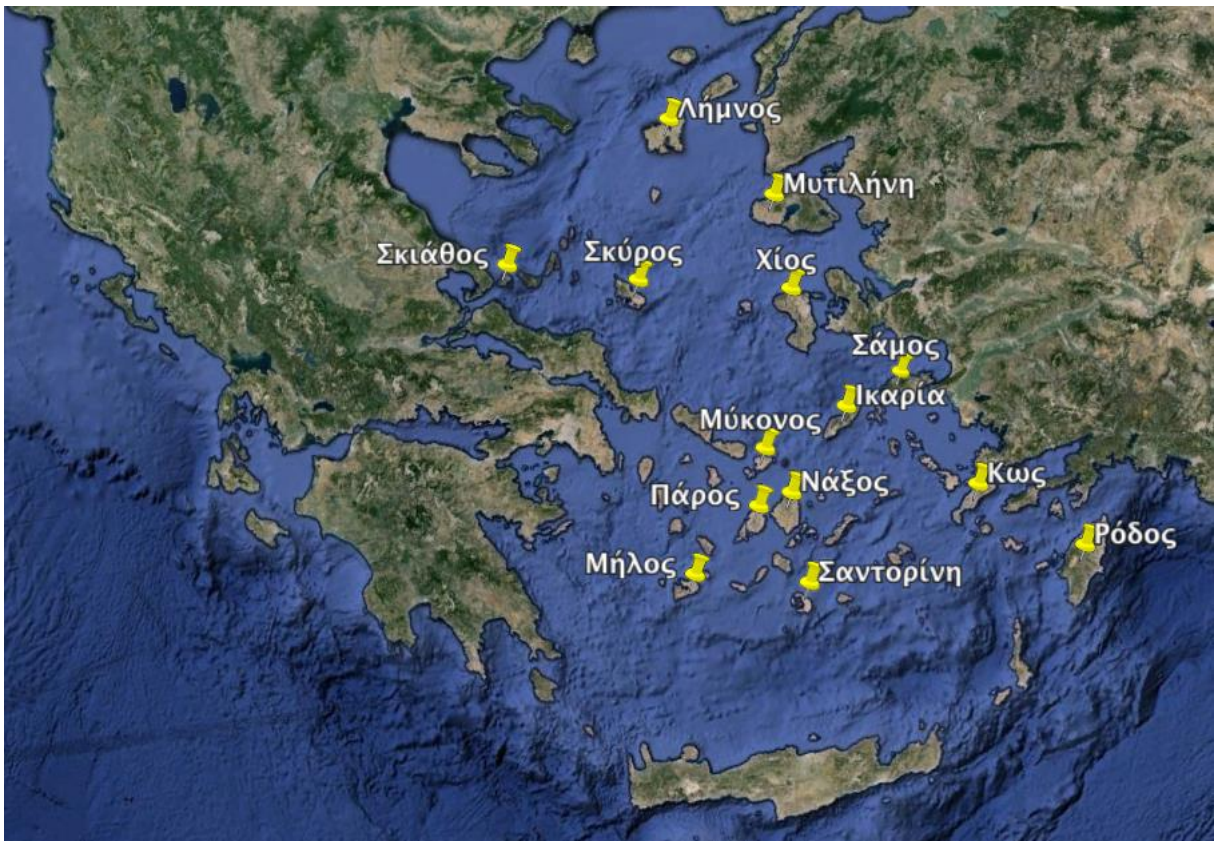
Πίνακας 3-6: Μέθοδοι διαστασιολόγησης ανά χώρα.

Χώρα	**Ετήσια απόδοση όμβριων υδάτων (Annual Rainwater Yield - *ARY*) (lt)**	**Η ετήσια ζήτηση όμβριων υδάτων (Annual Rainwater Demand-ARD),(lt)**	**Απαιτούμενη χωρητικότητατης δεξαμενής Vtank (L)**
Ηνωμένο Βασίλειο	$\mathrm{ARY} = \mathrm{C} \times \mathrm{P} \times \mathrm{A}$ C ο συντελεστής απορροής P οι καταγραφές των βροχοπτώσεων A το εμβαδόν της επιφάνειας συλλογής (m^2)	$\mathrm{ADP} = 16000 \times \mathrm{Ncap} + 60 \times \mathrm{AG}$ Ncap ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων AG η έκταση του αρδευόμενου κήπου (m^2)	$\mathrm{Vtank} = 0.05 \times \min(\mathrm{ARY}, \mathrm{ARD})$
Αυστραλία	$\mathrm{ARY} = \mathrm{C} \times (\mathrm{Pm} \times \mathrm{A}) \times \mathrm{Ia}$ C ο συντελεστής απορροής A το εμβαδόν της επιφάνειας συλλογής (m^2) Ia παράμετρος, 2 mm/μήνα ή 24 mm/έτος (Australian Government, 2004)	$ARD = 365 \times Ncap \times q$ Ncap ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων q ημερήσια κατανάλωση νερού ανά κάτοικο (l/cap/d)	Η χωρητικότητα της δεξαμενής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μέση μηνιαία βροχόπτωση με βάση το ισοζύγιο εισροών και της ζήτησης και λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει υπερχείλιση (Australian Government, 2004)
Γερμανία	-	-	Με βάση τον κανονισμό DIN $\mathrm{Vtank} = 0.05 \times \min(\mathrm{ARY}, \mathrm{ARD})$
Πορτογαλία	-	-	Με βάση το Πρότυπο ETA 0701 $\mathrm{Vtank} = (30 \div 365) \times ((\mathrm{ARY} + \mathrm{ARD}) \div 2)$

4. Ανάπτυξη της μεθοδολογίας στην περιοχή μελέτης Νήσων Αιγαίου

4.1. Περιοχή μελέτης

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιείται σε **δεκατέσσερα (14)** νησιά του Αιγαίου που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμά Νήσων Αιγαίου (ΥΔ), το οποίο περιλαμβάνει τα νησιωτικά συγκροτήματα των Νομών Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Λέσβου, Σάμου και Χίου, με εξαίρεση **ενός (1)** νησιού, τη **Σκιάθο,** η οποία ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) της Θεσσαλίας. Συγκεκριμένα, για το το ΥΔ των Νήσων Αιγαίου επιλέχτηκαν, με βάση την επάρκεια των βροχομετρικών δεδομένων που ελήφθησαν υπόψη για την εφαρμογή της μεθοδολογίας, τα εξής νησιά (Σχήμα 4-1): **Λήμνος, Κως, Λέσβος, Χίος, Ικαρία, Σάμος, Ρόδος, Νάξος, Πάρος, Μύκονος, Σαντορίνη, Μύλος και Σκύρος.**



Σχήμα 4.1: Περιοχή μελέτης.

4.2. Δεδομένα βροχόπτωσης

Για την επίτευξη της μελέτης αυτής χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης από **14 σταθμούς** (Πίνακας 4-1) της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ), έναν για κάθε νησί, για τη χρονική περίοδο 1990-2012. Για ορισμένους σταθμούς, λόγω ελλιπών χρονοσειρών βροχομετρικών δεδομένων, η χρονική περίοδος μελέτης αφορά λιγότερα έτη εντός της προαναφερθείσας περιόδου. Η χρονική περίοδος των 22 ετών (1990-2012) επιλέχτηκε για του εξής λόγους:

- υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις σε βροχομετρικά δεδομένα για διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής (5 έως 10 έτη), σύμφωνα με το γερμανικό κανονισμό DIN 1989-1 (2002) του Γερμανικού Ινστιτούτου Τυποποίησης και
- υπάρχουν σταθμοί με πλήρεις χρονοσειρές βροχομετρικών δεδομένων το ανωτέρω χρονικό διάστημα.

Η επιλογή των σταθμών έγινε ώστε να πλήρουν τα εξής κριτήρια:

- τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και
- την πληρότητα των δεδομένων των χρονοσειρών.

Για όλους τους σταθμούς μελέτης προσδιορίστηκαν η μέση ετήσια βροχόπτωση και η μέγιστη άνομβρη περίοδος κάθε έτους. Ως μέγιστη άνομβρη περίοδος ορίστηκε το μέγιστο χρονικό διάστημα χωρίς βροχή ή με ωφέλιμη βροχόπτωση μικρότερη του 1 mm.

Πίνακας 4-1 Οι επιλεγμένοι σταθμοί της ΕΜΥκαι οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις ανά σταθμό.

Α/Α	**Βροχομετρικός σταθμός**	**Χρονική περίοδος δεδομένων**	**Μέση ετήσια βροχόπτωση, P_m (mm)**
1	Σκύρος	1990-2012	423
2	Νάξος	1990-2012	343
3	Σαντορίνη(Θήρα)	1990-2012	293
4	Πάρος	1990-2012	377
5	Μήλος	1990-2012	383
6	Ρόδος	1990-2012	620
7	Λήμνος	1990-2012	531
8	Μύκονος	1990-2012	415
9	Λέσβος	1990-2012	587
10	Χίος	1990-2012	582
11	Σάμος	1990-2012	685
12	Ικαρία	1996-2012	654
13	Σκιάθος	1990-2004	666
14	Κώς	1990-2012	595

4.2.1. Ανάλυση βροχομετρικών σειρών.

Στο Πίνακα 4-2 παρουσιάζονται η μέγιστη ($N_{dd,max}$) και η μέση τιμή ($N_{dd,ave}$) των μεγίστων άνομβρων περιόδων για κάθε νησί. Ο υπολογισμός τους βασίστηκε στην αθροιστική καταμέτρηση των χρονικών διαστημάτων χωρίς βροχή ή με ωφέλιμη βροχόπτωση μικρότερη του 1 mm λαμβάνοντας ως ελάχιστη διάρκεια άνομβρης περιόδου αυτή των 5 ημερών κατά την διάρκεια της καταγραφής των βροχοπτώσεων την περίοδο μελέτης.

Πίνακας 4-2: Μέγιστη και μέση τιμή των μέγιστων άνοβρων περιόδων για κάθε νησί.

Α/Α	**Βροχομετρικός σταθμός**	**Μέγιστη άνομβρη περίοδος $N_{dd,max}$ (ημέρες)**	**Μέση άνομβρη περίοδος $N_{dd,ave}$ (ημέρες)**
1	Σκύρος	130	82
2	Νάξος	176	132
3	Σαντορίνη(Θήρα)	198	141
4	Πάρος	200	143
5	Μήλος	169	129
6	Ρόδος	169	132
7	Λήμνος	141	67
8	Μύκονος	171	131
9	Λέσβος	158	104
10	Χίος	166	123
11	Σάμος	170	128
12	Ικαρία	180	144
13	Σκιάθος	126	64
14	Κώς	169	137

4.3. Μεθοδολογία

4.4. Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (daily water balance model)

Το τυπικό σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων για οικιακή χρήση βασίζεται στη συλλογή του βρόχινου νερού που προέρχεται από τη στέγη κτιρίου (ή και άλλων επιφανειών) και την προσωρινή αποθήκευσή του μέσα σε μια δεξαμενή. Στο πλαίσιο αυτό, η οικιακή ζήτηση (εκτός της πόσης) για νερό ικανοποιείται αρχικά από το νερό που έχει συσσωρευτεί στη δεξαμενή αποθήκευσης και μετά από το νερό του δικτύου ύδρευσης. Στη παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με σκοπό τον υπολογισμό της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Το μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου προσομοιώνει τη λειτουργία της δεξαμενής αποθήκευσης νερού. Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της ποσότητας του νερού στην παρούσα εργασία είναι σε μορφή χρονοσειρών και βασίζονται σε χρονικό διάστημα ημερών. Το μοντέλο προσομοιώσης βασίζεται στο ότι λαμβάνει την τρέχουσα απόδοση ως την ελάχιστη τιμή μεταξύ του όγκου του αποθηκευμένου βρόχινου νερού στο προηγούμενο χρονικό διάστημα και της ζήτησης στο τρέχον χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια η τρέχουσα αποθηκευμένη ποσότητα νερού υπολογίζεται προσθέτοντας την τρέχουσα ποσότητα απορροής ομβρίων που εισέρχεται από τη στέγη και αφαιρώντας την τιμή της απόδοσης με τον όγκο του βρόχινου νερού κατά την αποθήκευση στο προηγούμενο χρονικό διάστημα, ενώ οποιαδήποτε περίσσεια όγκου νερού (σε σχέση με την ικανότητα αποθήκευσης της δεξαμενής) υπερχειλίζει στο αποχετευτικό δίκτυο.

Αναλυτικά, ο όγκος των όμβριων υδάτων που θα αποθηκευτούν εξαρτώνται από τον όγκο του νερού της βροχής που θα εισέλθει στη δεξαμενή και από τον όγκο του νερού που θα εξέλθει απ' αυτήν για την κάλυψη ποσοστού των συνολικών αναγκών για οικιακή χρήση, ως εναλλακτική πηγή χρήσης νερού έναντι της συμβατικής πηγής από τη δημόσια παροχή ύδρευσης. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη η ημερήσια καταγραφή της αποθηκευμένης ποσότητας της δεξαμενής, η οποία εξαρτάται τόσο από την ποσότητα και τη συχνότητα της βροχόπτωσης όσο και από τη ζήτηση νερού για την κάλυψη των αναγκών που έχουν οριστεί.

Ως εκ τούτου, η μαθηματική εξίσωση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου διαμορφώνεται ως εξής:

$$St = St - 1 + Rt - Dt, 0 \leq St - 1 \leq Vtank \quad (4.1)$$

όπου:

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

4.5. Προσδιορισμός του όγκου συλλογής ομβρίων από επιφανεία (Rt)

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο όγκος των όμβριων υδάτων που απορρέουν απο την επιφάνεια της στέγης (ή και άλλων επιφανειών) σε ημερήσια βάση είναι:

$$Rt = C \cdot A \cdot Peff, t \quad (4.2)$$

όπου:

C ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας των όμβριων υδάτων

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

Peff,t η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση της t ημέρας (m)

Ο συντελέστης απορροής υδάτων όπως αναφέρθηκε και στο υποκεφάλαιο 3.5 είναι ο λόγος του όγκου του νερού που τρέχει από μια επιφάνεια προς τον όγκο των βροχοπτώσεων που πέφτει σε αυτήν και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη διαστασιολόγηση του συστήματος. Στην παρούσα μελέτη επιλέχτηκε συντελεστής απορροής C= 0.9, καθώς σύμφωνα με την βιβλιογραφία η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε στέγες από τσιμέντο, κεραμίδια ή πλακάκια, υλικά που χρησιμοποιούνται κατά το πλείστον στις οικίες στα νησιά του Αιγαίου.

Η επιφάνεια A στην παρούσα μελέτη θεωρήθηκε πως είναι η επιφάνεια της στέγης κάθε κατοικίας ή το σύνολο σε επιφάνεια, της στέγης και οποιασδήποτε άλλης επιφάνειας που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για συλλογή όμβριων υδάτων (όπως, στέγαστρο για το αμάξι κλπ).

Το Peff,t είναι η ωφέλιμη βροχόπτωση και προκύπτει απο την εξής εξίσωση:

$$\mathrm{Peff,t} = \mathrm{Pt} - 0.33 \tag{4.3}$$

όπου:

Pt η ημερήσια βροχόπτωση της t ημέρας (mm)

Όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 3.6, είναι σημαντικό να υπάρχει η πρώτη έκπλυση του νερού της βροχής (first flush) ώστε να αποφεύγεται η εισροή στη δεξαμενή της αρχικής απορροής κάθε βροχόπτωσης που συνήθως είναι ποιοτικά υποβαθμισμένη. Στην συγκεκριμένη μελέτη για την προστασία από την μικροβιολογική μόλυνση και τη βελτίωση της ποιότητας του συλλεγόμενου νερού για τις επιφάνειες συλλογής που χρησιμοποιήθηκαν, ορίστηκε κατά μέσο όρο να αφαιρούνται τα πρώτα 0.33 mm βροχής από τη συνολική ημερήσια βροχόπτωση λαμβάνοντας υπόψη τις αναφορές των Yaziz et al. (1989) και Kinkade-Levario (2007).

4.6. Προσδιορισμός της ζήτησης (Dt)

Η ημερήσια ζήτηση νερού (Dt) από τη δεξαμενή, εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων όπως:

- τον αριθμό των ατόμων που διαμένουν στην κατοικία (Ncap),
- την ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο q,
- από το ποσοστό, p, της συνολικής χρήσης νερού, το οποίο ορίζεται ότι θα ικανοποιείται από το αποθηκευμένο νερό της ομβροδεξαμενής.

Έτσι:

$$\mathrm{Dt} = \mathrm{Ncap} \cdot \mathrm{q} \cdot (\mathrm{p} / 100) \tag{4.4}$$

Στην παρούσα μελέτη, η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης νερού κατ' άτομο, q, ορίστηκε σε 150 L /κάτοικο/ημέρα, δηλαδή μια μέση τιμή μεταξύ του κατώτερου (100 L/κάτοικο/ημέρα) και του ανώτερου ορίου (200 L/κάτοικο/ημέρα) της ημερήσιας κατανάλωσης νερού κατ' άτομο βάσει της ΚΥΑ Αριθ. Δ11/Φ.16/8500 (ΦΕΚ 174/Β/1991).

Όσον αφορά στο ποσοστό, p, της συνολικής χρήσης νερού που θα καλυφθεί από τα αποθέματα της ομβροδεξαμενής, η μέγιστη τιμή του εξαρτάται κυρίως από: α) τη μέση ετήσια βροχόπτωση, β) το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής και γ) τον αριθμό των κατοίκων που θα εξυπηρετηθούν.

Η ζήτηση νερού (Dt) στη παρούσα μελέτη αφορά μόνο την οικιακή χρήση εκτός της πόσης (όπως καζανάκι της τουαλέτας, πλύσιμο ρούχων, θερμοσίφωνας κ.α) .

Η εύρεση της ζήτησης όσο αφορά τα καζανάκια απαιτεί περαιτέρω μελέτη καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως:

- τον όγκο χωρητικότητας νερού απορροής στο καζανάκι (3lt ,6lt ή 9lt) καθώς και ο μηχανισμός απορροής (1 ή 2 λειτουργών)
- τη συχνότητα χρήσης και τον αριθμό των ατόμων που διαμένουν στην κατοικία
- τη πρόβλεψη για συντήρηση ή και αλλαγή μετά από κάποιο χρονικό διάστημα λειτουργίας
- την ευαισθησία κατοίκων για την εξοικονόμηση νερού.

Στην παρούσα μελέτη, ο προσδιορισμός των αναγκών ζήτησης αφορά σε οικία μιας οικογένειας με αριθμό κατοίκων Ncap=3 έως 4, και ποσοστά ικανοποίησης οικιακών αναγκών p=30% έως 50%, που μεταφράζονται (λαμβάνοντας ως ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο q=150 L/κάτοικο/ημέρα) σε 45 έως 75 L/άτομο/ημέρα, αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη τις καταναλώσεις νερού για οικιακή χρήση στην Ευρώπη (Karavitis, 2008), τα ποσοστά αυτά αντιστοιχούν στις ανάγκες μιας οικογένειας για κατανάλωση νερού στο καζανάκι (~30%), στο μπάνιο-ντους (20%-30%) ή/και στα πλυντήρια ρούχων και πιάτων (~15%).

4.7. Εύρεση του όγκου της ομβροδεξαμενής (Vtank)

Σύμφωνα με την εξίσωση (4.1) του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, ο όγκος του βρόχινου νερού που θα μπορούσε να αποθηκευτεί στη δεξαμενή οποιαδήποτε ημέρα, St, λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις (4.2) και (4.4), υπολογίζεται ως εξής (Λόντρα, 2014):

$$\mathrm{St} = \mathrm{St} - 1 + \mathrm{C} \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{Peff}, \mathrm{t} - \mathrm{Ncap} \cdot \mathrm{q} \cdot (\mathrm{p}/100) \quad (4.5)$$

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

$$\Delta\mathrm{St} = \mathrm{C} \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{Peff}, \mathrm{t} - \mathrm{Ncap} \cdot \mathrm{q} \cdot (\mathrm{p}/100) \quad (4.6)$$

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

$$\mathrm{St} = \mathrm{St} - 1 + \Delta\mathrm{St} \quad (4.7)$$

Ο υπολογισμός του ημερήσιου αποθηκευτικού όγκου είναι επαναληπτικός και ξεκινάει από μία αρχική τιμή St-1 =S0 για t=0 και αφορά σον αρχικό αποθηκευμένο όγκο νερού στη δεξαμενή. Η τιμή μπορεί να είναι οποιαδήποτε. Η πιο συντηρητική τιμή είναι μηδέν (S0=0) για αρχικά άδεια δεξαμενή, η μέγιστη τιμή ίση με τον όγκο της δεξαμενής (S0=Vtank) για αρχικά γεμάτη δεξαμενή, ή οποιαδήποτε τιμή για μερικώς γεμάτη δεξαμενή ($0<V_{in.}< V_{tank}$).

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 αλγορίθμου:

$$\text{if } \mathrm{St} - 1 + \Delta\mathrm{St} > \mathrm{Vtank}, \text{if } \mathrm{St} - 1 + \Delta\mathrm{St}, < 0 \text{ then } 0 \text{ else } \mathrm{St} = \mathrm{Stank} = \mathrm{St} - 1 + \mathrm{St} \quad (4.8)$$

όπου:

St,tank ο πραγματικά διαθέσιμος αποθηκευμένος όγκος της δεξαμενής.

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

$$\text{if St} \geq \text{Vtank then Ot} = \text{St} - \text{Vtank else Ot} = 0 \quad (4.9)$$

Στην περίπτωση που ο αποθηκευμένος όγκος νερού στη δεξαμενή, St,tank, δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της καθορισμένης ζήτησης, D_t, τότε η ζήτηση θα καλυφθεί συμπληρωματικά, εν'μέρη ή εν'όλω, με νερό από τη δημόσια υπηρεσία παροχής νερού ύδρευσης της περιοχής, Tt, που υπολογίζεται από τον παρακάτω αλγόριθμο:

$$\text{if St, tank} < \text{Dt then Tt} = \text{Dt} - \text{St, tank else Tt} = 0 \quad (4.10)$$

Η παραπάνω διαδικάσια εφαρμόστηκε στο πρόγραμμα Microsoft Excel και σύμφωνα με τον γερμανικό κανονισμό (DIN 1989-2002) για διαθέσιμες ημερήσιες καταγραφές βροχόπτωσης τουλάχιστον πέντε (5) έως δέκα (10) ετών.

4.8. Συντελεστής αξιοπιστίας (Re)

Ο συντελεστής αξιοπιστίας (Re) στην παρούσα εργασία υπολογίζεται ως το ποσοστό του αριθμού των ημερών όπου η ζήτηση μπορεί να εξυπηρετηθεί 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 βαθμός αξιοπιστίας επιτρέπει τον καθορισμό της αποδοτικότητας στη διαστασιολόγηση του όγκου των δεξαμενών σε σχέση με τα δεδομένα εισόδου της προσομοίωσης για τα εξεταζόμενα επίπεδα ζήτησης.

Με βάση τον συντελεστή αξιοπιστίας καθορίζεται ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης σε σχέση με τρεις σημαντικούς παράγοντες:

1. Τον αριθμό των κατοίκων που διαμένουν στη οικία όπου στη παρούσα εργασία κυμαίνεται από 3-4 ($\text{Ncap} = 3 - 4$)
2. Την επιφάνεια συλλογής, όπου στην παρούσα μελέτη επιλέχτηκε ένα εύρος από 100m^2- 300 m^2 με βήμα τα 50 m^2 (A=100, 150, 200, 250, 300 m^2)
3. Τη ζήτηση, όπου στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν τρία ποσοστά ζήτησης p=30%, 40%, 50%.

Ο συντελεστής αξιοπιστίας υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας ημερήσιες καταγραφές βροχόπτωσης σε συνεχή χρονοσειρά για μία περίοδο προσομοίωσης 22 χρόνων με κάποιες εξαιρέσεις (υποκεφάλαιο 4.1.1, Πίνακας 4-1).

5. Κόστος ομβροδεξαμενών

5.1. Ανάλυση κόστους

Η αντιλαμβανόμενη έλλειψη οικονομικού οφέλους αναφέρεται συχνά ως εμπόδιο για την ευρύτερη εφαρμογή των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων. Υψηλό αρχικό κόστος και εύκολη πρόσβαση σε χαμηλού κόστους δημοτικές πηγές νερού στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας έχει οδηγήσει ορισμένους να προεξοφλούν ως αμελητέα τα οφέλη της χρήσης συστημάτων συλλογής ομβρίων. Ωστόσο, οι πρόσφατες τάσεις στη ζήτηση νερού και οι τιμές, σε συνδυασμό με τον αυξανόμενο αριθμό των νομοθετικών και οικονομικών κινήτρων για τη διαχείριση των όμβριων υδάτων, υποδεικνύουν την ανάγκη για μια πιο λεπτομερή ανάλυση κόστους-οφέλους των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων. Η μακροπρόθεσμη σχέση κόστους-οφέλους και η απόδοση των επενδύσεων για τα συστήματα συλλογής βρόχινου νερού εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, ενώ λίγες αναλύσεις κόστους-οφέλους έχουν δημοσιευθεί μέχρι σήμερα. Τα βασικά θέματα που απαιτούν εξέταση σε μια τέτοια ανάλυση είναι τα εξής:

- **Κόστος κεφαλαίου**: Το αρχικό κόστος κεφαλαίου αποτελεί τον πρωταρχικό παράγοντα κόστους που συνδέεται με την εγκατάσταση ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων. Αυτό το αρχικό κόστος (μαζί με τα πρόσθετα έξοδα που σχετίζονται με τη συντήρηση και λειτουργία) εκτιμάται κατά την παρούσα αξία των μελλοντικών παροχών. Η ανάλυση του αρχικού κόστους απαιτεί τον επιμερισμό τους συστήματος στα μέρη που το απαρτίζουν (αντλιές, φίλτρα, δεξαμενή, σύστημα διανομής κ.α) και η αποτίμηση του χρόνου ζωής τους που θα επιτρέψει τη καλύτερη ανάλυση του κόστους του αρχικού κεφαλαίου στον κυκλο ζώης του έργου.
- **Κόστος συντήρησης:** Όπως προαναναφέρθηκε προηγουμένως, το κόστος συντήρησης που πραγματοποιείται σε μία ρουτίνα και η διορθωτική συντήρηση που ίσως απαιτηθεί στη διάρκεια ζωής του συστήματος αποτελούν δαπάνες που προσμετρούνται στο αρχικό κόστος επένδυσης. Οι δαπάνες αυτές είναι συνήθως ελάχιστες για κατάλληλα σχεδιασμένα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων.
- **Όφελος εξοικονόμησησης νερού**: Η αυξητική τάση στο κόστος του νερού και ιδιαίτερα στα νησιά του Αιγαίου λόγω δαπανηρών επενδύσεων στον τομέα της ύδρευσης (εγκαταστάσεις αφαλατώσεων, γεωτρήσεις, μεταφορά νερού) αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο έρευνας που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην ανάλυση του οφέλους των συστημάτων συλλογής την περίοδο μελέτης. Ωστόσο είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι παράγοντες που θα επηρεάσουν την κλιμάκωση του κόστους του νερού με αποτέλεσμα το επιτόκιο προεξόφλησης μιας επένδυσης συλλογής όμβριων υδάτων να μην μπορεί να εκτιμηθεί με αντικειμενικότητα.
- **Περιβαλλοντικό όφελος**: Αν και είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί το περιβαλλοντικό όφελος από την εγκατάσταση ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων για αστική χρήση και μεμονωμένους ιδιοκτήτες, η αξία αυτών των παροχών μπορεί να θεωρηθεί για μεγαλύτερη κλίμακα ανάλυσης κόστους-οφέλους της συλλογής όμβριων υδάτων.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε ορισμένους παράγοντες που επηρεάζουν το αρχικό κόστος επένδυσης και συντήρησης ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων και κυρίως το κόστος της ομβροδεξαμενής.

5.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τα κύρια έξοδα που σχετίζονται με την εγκατάσταση ενός συστήματος συλλογής βρόχινου νερού είναι η δαπάνη της εγκατάστασης των επιμέρους στοιχείων, το κόστος λειτουργίας και η συντήρηση του συστήματος.

Στα περισσότερα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων η δεξαμενή αποθήκευσης του βρόχινου νερού αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο κόστος στο σύνολο του συστήματος το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από 30% έως 40% του ολικού κόστους επένδυσης, ανάλογα πάντα με τον όγκο της δεξαμενής που θα επιλεγεί. Η επιλογή της κατάλληλης δεξαμενής στο πλαίσιο του σχεδιασμού του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, συνδεέται άμεσα με την επιφάνεια συλλογής ομβρίων, τη ζήτηση του νερού, καθώς και με τις τοπικές καταγραφές των βροχοπτώσεων.

Σημαντικοί παράγοντες που επιδρούν στο κόστος μίας δεξαμενής είναι οι εξής:

- Ο όγκος (χωρητικότητα) της δεξαμενής.
- Το σχήμα και οι διαστάσεις της δεξαμενής (Σχήμα 5.1).
- Το υλικό κατασκευής της δεξαμενής (σκυρόδεμα, πλαστικό, μέταλλο).
- Η ανθεκτικότητα του υλικού κατασκευής.
- Πρόσθετες δαπάνες εάν η δεξαμενή είναι υπόγεια (αντλίες, εσκαφή, σύστημα διανομής).
- Το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.
- Η επιλογή ή μη κατασκευής δεξαμενής ή αγοράς.

Συμπερασματικά, η εύρεση του αρχικού κόστους προυποθέτει έρευνα του καταναλωτή όσον αφορά στις έτοιμες δεξαμενές που κυκλοφορούν στην αγορά και σύγκριση διαφόρων τιμών για επιλεγμένο όγκο και σχήμα δεξαμενής.

Το αρχικό κόστος τοποθέτησης μίας πλαστικής δεξαμενής βρόχινου νερού, κυλινδρικού σχήματος σε σχέση με τον όγκο της παρουσιάζεται στους Πίνακες 5.1-5.2 με βάση τον τιμοκατάλογο ορισμένων εταιρειών που επιλέχτηκαν τυχαία και εξειδικεύονται στην πώληση δεξαμενών όμβριων υδάτων.

Σχήμα 5.1: Διάφορα σχήματα ομβροδεξαμενών.

Πίνακας 5.1: Κόστος πλαστικών ομβροδεξαμενών ανάλογα με τη χωρητικότητα και τις διαστάσεις (οι τιμές επιβαρύνονται με Φ.Π.Α. 23 %).

ΤΥΠΟΣ 40 – ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΕΣ ΦΑΡΔΙΕΣ			
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ LT	ΥΨΟΣ Cm	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ Cm	ΤΙΜΗ
500	94	98	110,00 €
1.000	165	90	182,00 €
1.000	125	110	180,00 €
1.500	137	130	265,00 €
2.000	120	156	285,00 €
4.300	182	185	570,00 €
5.000	209	185	630,00 €
10.000	245	235	1600,00 €
12.000	260	255	2.000,00 €
25.000	270	375	3.300,00 €

Πίνακας 5.2: Κόστος πλαστικών ομβροδεξαμενών ανάλογα με την χωρητικότητα και τις διαστάσεις.

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤ/ΤΗΤΑ [Lt]	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ [cm]			ΤΙΜΗ
		ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	ΥΨΟΣ	€
Κλασική Σ7	500	108	58	107	**93**
	700	112	68	120	**123**
SLIM	1.000	155	64	126	**171**
	1.100	153	68	125	**192**
	1.300	153	68	142	**232**
	1.500	205	67	152	**382**
	2.000	205	67	185	**565**
Κυλινδρική Οριζόντια Σ5 PORKY	500	133	72	85	**108**
	1.000	140	105	118	**174**
	2.000	173	130	150	**331**
	3.000	195	145	160	**447**
Παταριού Σ12 AQUA	260	100	50	55	**68**
Κυλινδρική Κατακόρυφη Σ6 - ECO	300	58		118	**69**
	500	64		165	**93**
	750	74		195	**135**
	1.000	86		200	**158**
Κυλινδρική Κατακόρυφη Σ8 ELEPHANT	5.500	200		200	**561**
	9.000	235		240	**1.538**
	10.000	260		207	**1.716**
	15.000	270		270	**2.410**

Όπως φαίνεται στους προαναφερόμενους πίνακες, οι δεξαμενές άνω των 9 m^3 ξεπερνούν την τιμή των 1000 € γεγονός που απαιτεί από τον καταναλωτή την επένδυση ενός σοβαρού ποσού για την αγορά ομβροδεξαμενής. Σημαντικό ρόλο στην επιλογή της ομβροδεξαμενής συνιστά και ο διαθέσιμος χώρος τοποθέτησης.

5.3. Λειτουργία και συντήρηση

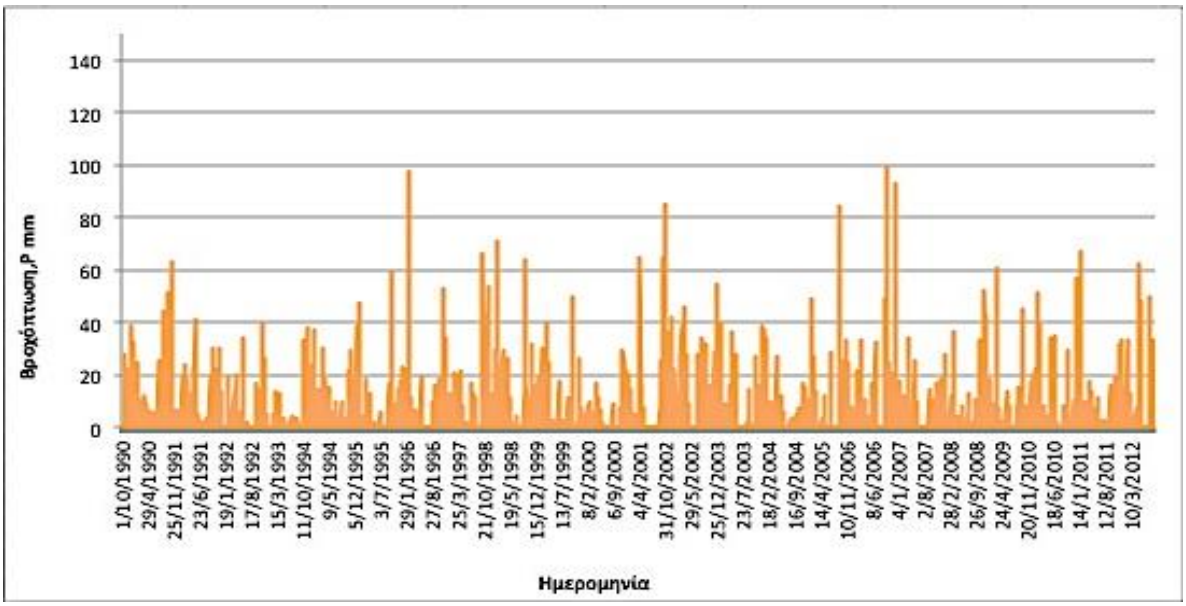
Η συντήρηση των δεξαμενών εξαρτάται άμεσα από το υλικό κατασκευής τους, καθώς και από την τελική χρήση του νερού (άρδευση, πόση κλπ). Σε γενικές γραμμές, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι μικρό καθώς δεν απαιτείται εξειδικευμενό συνεργείο και η συντήρηση της δεξαμενής μπορεί να γίνει και από τον ίδιο τον ιδιοκτήτη. Συνυπολογίζουμε πως για το κόστος συντήρησης μπορεί να ληφθεί ένα ποσοστό του 2% του αρχικού κόστους επένδυσης ανά έτος για δεξαμενές όπου από τη χρήση του νερού θα εξαιρείται η πόση.

6. Αποτελέσματα - Συζήτηση

6.1. Εφαρμογή της μεθόδου του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου - Λήμνος

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου του ημερησίου υδατικού ισοζυγίου για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας συστήματος συλλογής ομβρίων χρησιμοποιώντας βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού ΕΜΥ της Λήμνου (κωδικός 16650, συντεταγμένες x=26.24, y=39.92).

Η μέθοδος εφαρμόστηκε χρησιμοποιώντας ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης χρονικής περιόδου 22 ετών (1990-2012), οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.1. Τα ημερήσια ύψη βροχής, P_t, κυμαίνονται από 0 έως 97.7 mm και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι P_m=570.2 mm.



Σχήμα 6.1: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό της ΕΜΥ στη Λήμνο.

Από τα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού στη Λήμνο η μέση ετήσια ωφέλιμη βροχόπτωση, Peff,m, υπολογίζεται ως:

$$Peff,m=365\cdot \left(\sum_{t=1}^{N} Peff,t\right) / N \qquad (6.1)$$

όπου: Peff,t η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση της t ημέρας (mm) και N ο συνολικός αριθμός ημερών με καταγεγραμμένη βροχόπτωση (N=8395)

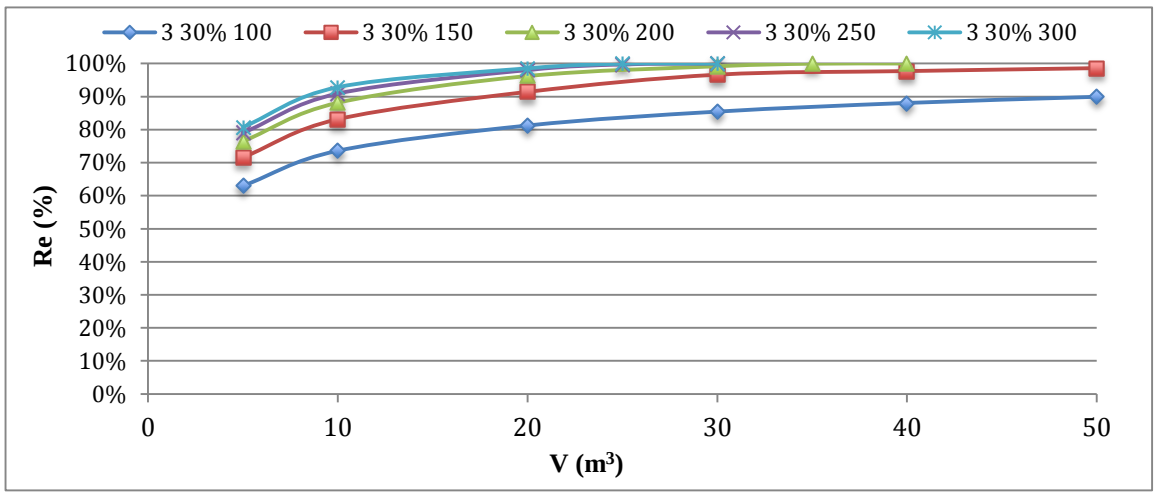
Για τον υπολογισμό του όγκου του βρόχινου νερού που θα συλλεχθεί στην ομβροδεξαμενή χρησιμοποιήθηκαν επιφάνειες συλλογής ομβρίων, A, ίσες με 100, 150, 200, 250 και 300 m^2. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν ώστε να αντιπροσωπεύουν συνηθισμένα σύνολα των επιφανειών που χρησιμοποιούνται για στέγαση στα νησιά του Αιγαίου, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τα οικοδομικά κριτήρια των παραδοσιακών αυτών οικισμών (μικρά οικόπεδα, καθορισμένοι συντελέστες δόμησης), αλλά και άλλες επιφάνειες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη συλλογή όμβριων υδάτων (στέγαστρα, επιφάνεια στέγης αποθηκών κ.α).

Τα ποσοστά κάλυψης των υδατικών αναγκών οικιακής χρήσης, p, που επιλέχθηκαν ήταν 30%, 40% και 50%.

Επίσης, στους υπολογισμούς ως επιπλέον δεδομένα εισόδου χρησιμοποιήθηκαν η ημερήσια κατάναλωση νερού ανά κάτοικο q=150 L/cap/day, ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής ομβρίων C=0.9 και ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων Ncap=3 και 4.

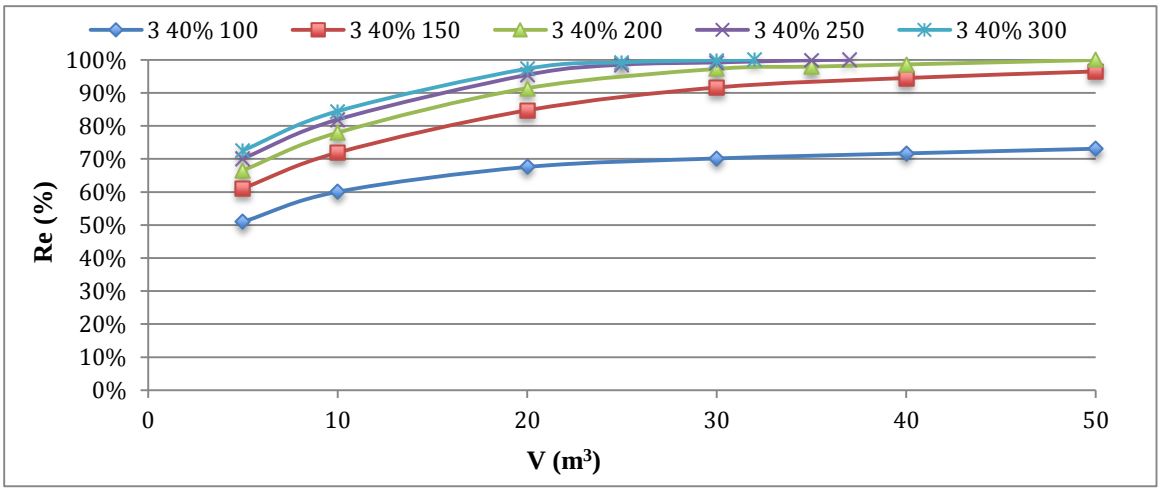
Ο όγκος των ομβροδεξαμενών, Vtank, που επιλέχτηκε να μελετηθεί με την επαναληπτική διαδικασία του αλγορίθμου που παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 4.7, κυμαίνεται από 5 έως 50 m^3. Η επιλογή αυτή καλύπτει ένα εύρος όγκων δεξαμενών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο από τις διαθέσιμες στην αγορά όσο από δεξαμενές που προτίθενται να κατασκευαστούν σε μία νέα οικία.

Με δεδομένες τις επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων A, τα ποσοστά ζήτησης νερού p, για την κάλυψη αναγκών που έχουν τεθεί, τον αριθμό κατοίκων Ncap και το εύρος όγκων ομβροδεξαμενής Vtank, εφαρμόστηκε η μέθοδος του ημερήσιου ισοζυγίου για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας συστήματος συλλογής ομβρίων. Στα Σχήματα 6.2–6.4 παρουσιάζονται οι καμπύλες αξιοπιστίας, Re, συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση.



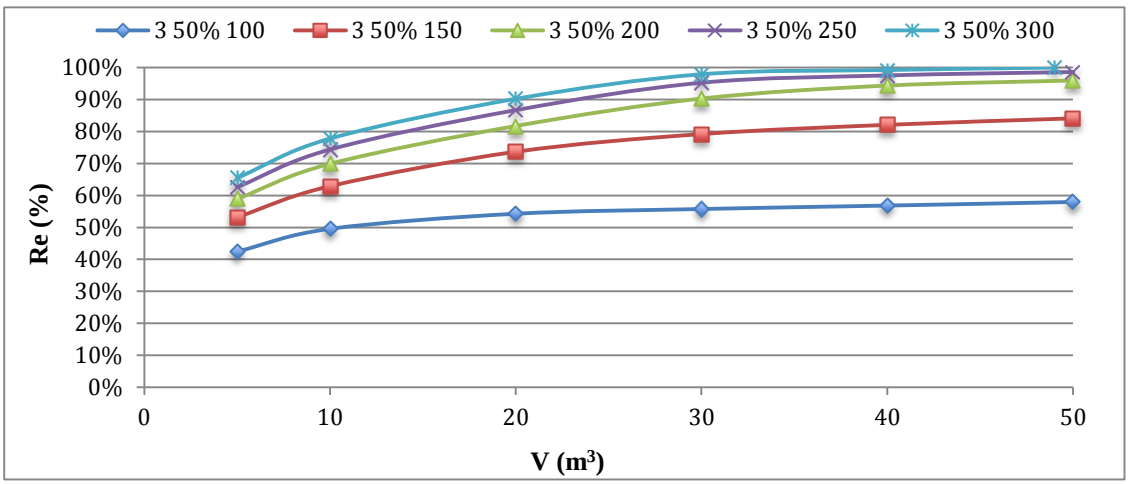
Σχήμα 6.2: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για κάλυψη του 30% των αναγκών των 3 κατοίκων (135 L/day) και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Παρατηρώντας τις καμπύλες αξιοπιστίας του Σχήματος 6.2 γίνεται αντιληπτό πως η κλίση τους μειώνεται για όγκους μεγαλύτερους 10 m^3, γεγονός που φανερώνει πως η αποδοτικότητα του συστήματος βελτιώνεται με μικρότερους ρυθμούς. Όπως είναι φανερό, η χαμηλή ζήτηση (30% των 3 κατοίκων-135 L/day) ικανοποιείται με αξιοπιστία 73% για όγκο ομβροδεξαμενής 10 m^3 και επιφάνεια συλλογής 100 m^2, ενώ για την ίδια δεξαμενή και επιφάνεια συλλογής 300 m^2 (τριπλάσια) η αξιοπιστία αυξάνεται στο 93% και φτάνει στο 100% για όγκο δεξαμενής 25 m^3. Άρα, η μικρή επιφάνεια συλλογής αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην αξιοπιστία του συστήματος.



Σχήμα 6.3: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για κάλυψη του 40% των αναγκών των 3 κατοίκων (180 L/day) και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Όταν αυξηθεί η ζήτηση κατά 10% (40% των 3 κατοίκων-180 L/day), όπως είναι αναμενόμενο, για επιφάνεια συλλογής 100 m^2 παρατηρούνται μικρότερα ποσοστά αξιοπιστιάς για τους ίδιους όγκους δεξαμενών (Σχήμα 6.3). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σ'αυτήν την περίπτωση για όγκο δεξαμενής 10 m^3 απαιτείται επιφάνεια συλλογής 150 m^2 για να επιτευχθεί αξιοπιστία 73% (Σχήμα 6.3). Παρατηρείται, επίσης ότι καθώς αυξάνεται η ζήτηση στο 40% η απαίτηση για μεγαλύτερους όγκους δεξαμενών αυξάνεται, ενώ η αύξηση της αξιοπιστίας γίνεται με μικρότερους ρυθμούς.



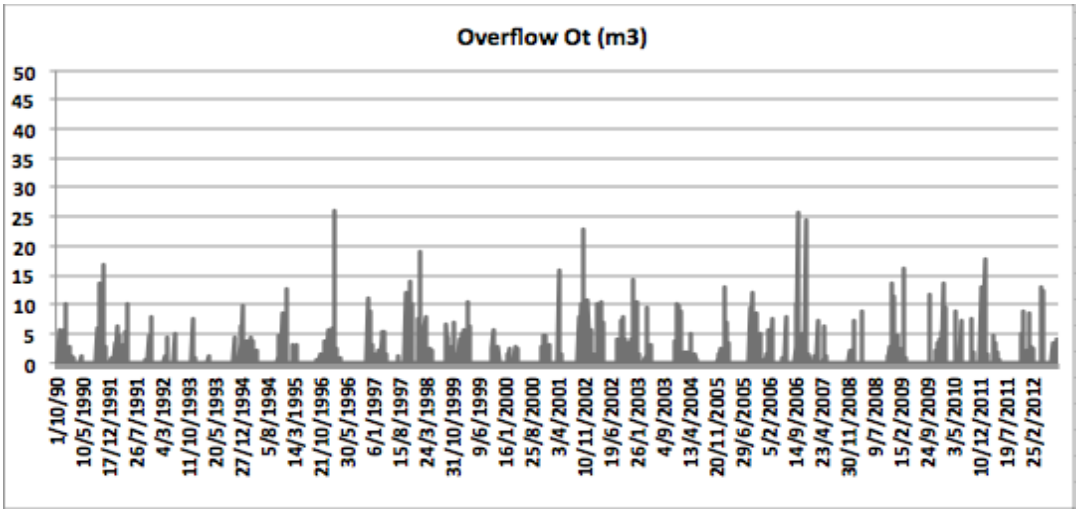
Σχήμα 6.4: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για κάλυψη του 50% των αναγκών των 3 κατοίκων (225 L/day) και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα του Σχήματος 6.4 όπου το ποσοστό ζήτησης αυξήθηκε περαιτέρω κατά 10% (50% των 3 κατοίκων-225 L/day) παρατηρούνται ακόμα μικρότερα ποσοστά αξιοπιστίας για την κάλυψη των αναγκών χρησιμοποιώντας τους ίδιους όγκους και επιφάνειες συλλογής ομβρίων. Συγκεκριμένα, για 10 m^3 όγκο δεξαμενής και 100 m^2

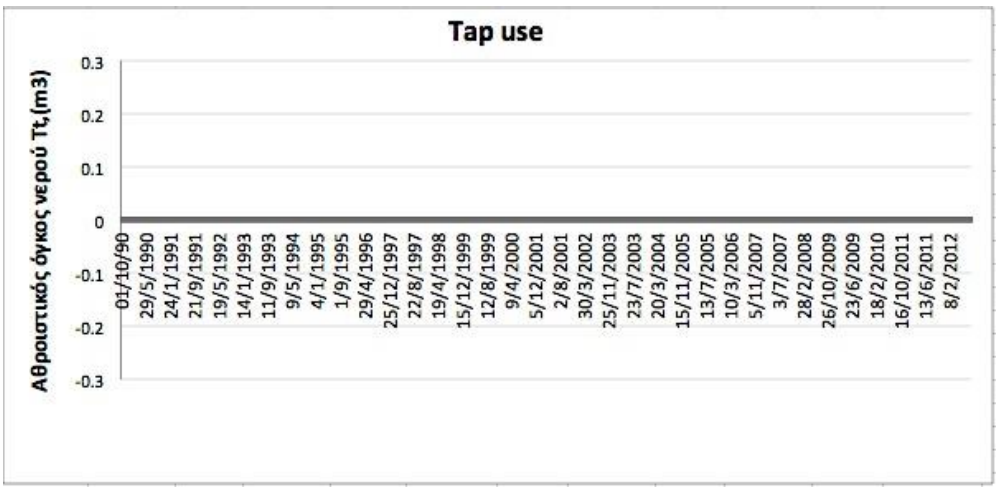
επιφάνεια συλλογής η αξιοπιστία του συστήματος είναι μόλις 50%. Παρατηρείται, επίσης, πως για 10 m^3 όγκο δεξαμενής, αύξηση της επιφάνειας συλλογής στα 200 m^2, δίνει αξιοπιστία συστήματος 69%, ενώ περαιτέρω αύξηση της επιφάνειας συλλογής επιφέρει σχετικά μικρή μεταβολή στην αξιοπιστία. Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός πως εάν διπλασιαστεί ο όγκος της ομβροδεξαμενής στα 20 m^3 και τριπλασιαστεί η επιφάνεια συλλογής στα 300 m^2 η αξιοπιστία του συστήματος φτάνει στο 90% για την κάλυψη της υψηλής ζήτησης που έχει τεθεί (225 L/day).

Στα Σχήματα 6.5–6.8 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι όγκοι υπερχείλισης του πλεονάζοντος νερού των ομβρίων από τη δεξαμενή (Ot), και οι όγκοι νερού που θα διατεθούν από τη ΔΕΥΑ (Tt) για την εξασφάλιση της ζήτησης που έχει καθοριστεί, για την περίπτωση που αφορά σε Ncap=3, p=30%-40%, q=150 L/κάτοικο/ημέρα, A=300 m^2, C=0.9, υποθέτοντας χωρητικότητα δεξαμενής Vtank=30 m^3 και αρχικό αποθηκευμένο όγκο νερού στη δεξαμενή S_0=Vtank=30 m^3.

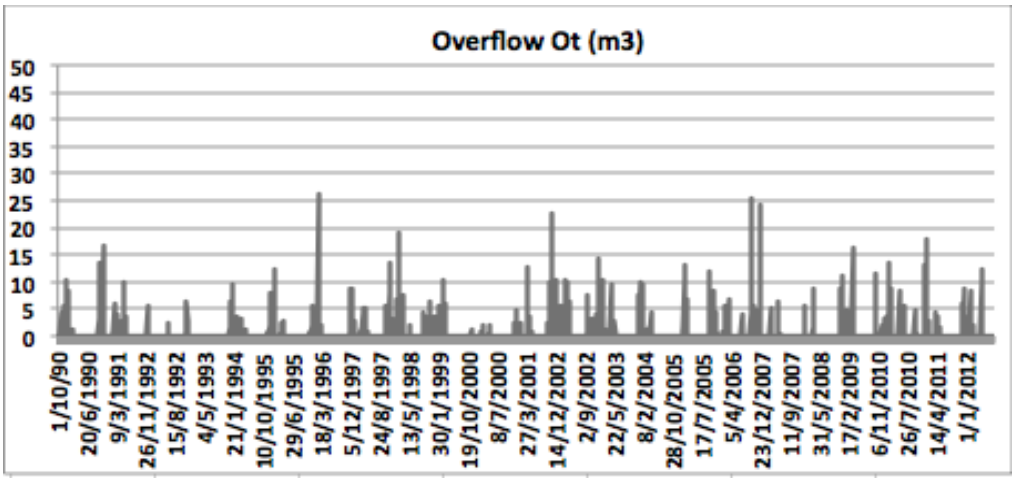
Όπως παρουσιάστηκε στα Σχήματα 6.2-6.4, στην περίπτωση των 300 m^2 κάθε ποσοστό ζήτησης από 30% έως 50% ικανοποιήθηκε με αξιοπιστία κοντά στο 100% για Vtank=30 m^3, γεγονός που υποδεικνύει την πλήρη κάλυψη των αναγκών από το νερό της ομβροδεξαμενής.



Σχήμα 6.5: Όγκος υπερχείλισης από ομβροδεξαμενή χωρητικότητας 30 m^3, για κάλυψη του 30% των αναγκών των 3 κατοίκων (135 L/day) με αρχικά γεμάτη δεξαμενή και επιφάνεια συλλογής 300 m^2.

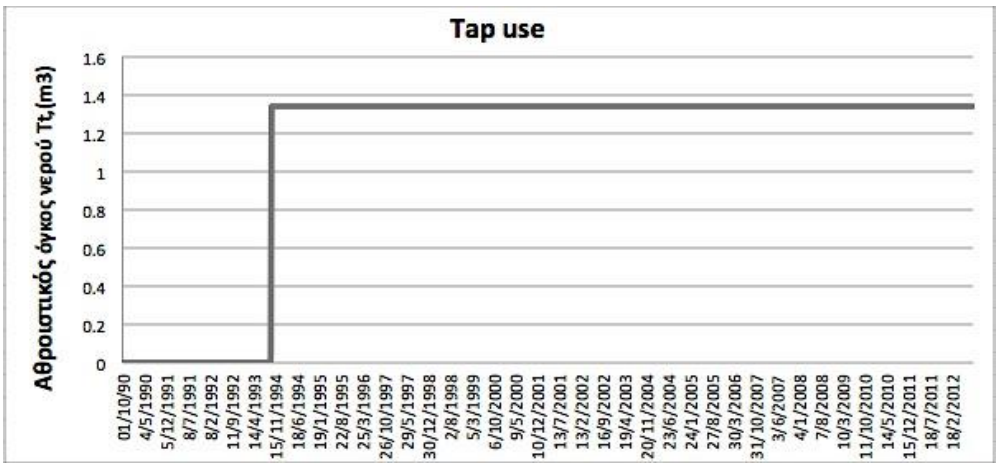


Σχήμα 6.6: Αθροιστικός όγκος νερού που θα καλυφθεί από τη δημόσια υπηρεσία νερού λόγω ανεπάρκειας κάλυψης των 135 L/day από βρόχινο νερό.



Σχήμα 6.7: Όγκος υπερχείλισης από ομβροδεξαμενή χωρητικότητας 30 m^3, για την κάλυψη του 40% των αναγκών των 3 κατοίκων (180 L/day) με αρχικά γεμάτη δεξαμενή και επιφάνεια συλλογής 300 m^2.

m^2.



Σχήμα 6.8: Αθροιστικός όγκος νερού που θα καλυφθεί από τη δημόσια υπηρεσία νερού λόγω ανεπάρκειας κάλυψης των 180 L/day από βρόχινο νερό.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα του Σχήματος 6.5, γίνεται φανερό πως για την κάλυψη της ελάχιστης ζήτησης (135 L/day) με επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων 300 m^2 και δεξαμενή 30 m^3, οι όγκοι υπερχείλισης είναι αυξημένοι ιδιαίτερα από το 2001 και μετά, με μέγιστη τιμή τα 26 m^3. Η αξιοπιστία του συστήματος είναι 100% γεγονός που συμπεραίνεται από το Σχήμα 6.6 όπου ο αθροιστικός όγκος νερού που θα καλυφθεί από το δημόσο δίκτυο είναι μηδενικός για την περίοδο μελέτης (1990-2012). Με άλλα λόγια η ζήτηση των 135 L/day θα καλυφθεί εξολοκλήρου από το βρόχινο νερό της δεξαμενής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα μπορούσε να εξεταστεί τι επιπτώσεις θα είχε στην αξιοπιστία του συστήματος το ενδεχόμενο μείωσης του όγκου ομβροδεξαμενής ή/και της επιφάνειας συλλογής ομβρίων.

Στο Σχήμα 6.7, οι όγκοι υπερχείλισης που προκύπτουν από την κάλυψη της ζήτησης των 180 L/day, με την ίδια επιφάνεια συλλογής (300 m^3) και τον ίδιο όγκο ομβροδεξαμενής (30 m^3), είναι κατά μέσο όρο μειωμένοι σε σχέση με τους αντίστοιχους του Σχήματος 6.5. Στο διάγραμμα του Σχήματος 6.8 φαίνεται πως οι ανάγκες ζήτησης δεν καλύπτονται πλήρως από το βρόχινο νερό της δεξαμενής την περίοδο από το 1994 μέχρι και το 2012. Ο αθροιστικός όγκος νερού που προτίθεται να καλυφθεί από το δημόσιο δίκτυο την περίοδο αυτή ανέρχεται στα 1.3 m^3. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι χαρακτηριστικό πως παρά τον μεγάλο όγκο της ομβροδεξαμενής (30 m^3) σε συνδυασμό με τη μεγάλη επιφάνεια συλλογής ομβριών (300 m^2), η κάλυψη μέρους της ζήτησης νερού από το δημόσιο δίκτυο είναι αναγκαία. Συνεπώς, η αξιοπιστία του συστήματος δεν είναι 100%, και θα πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο αύξησης του όγκου ομβροδεξαμενής.

6.2. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Η προαναφερθείσα διαδικασία υπολογισμού της αξιοπιστίας συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για 14 νησιά του Αιγαίου πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου.

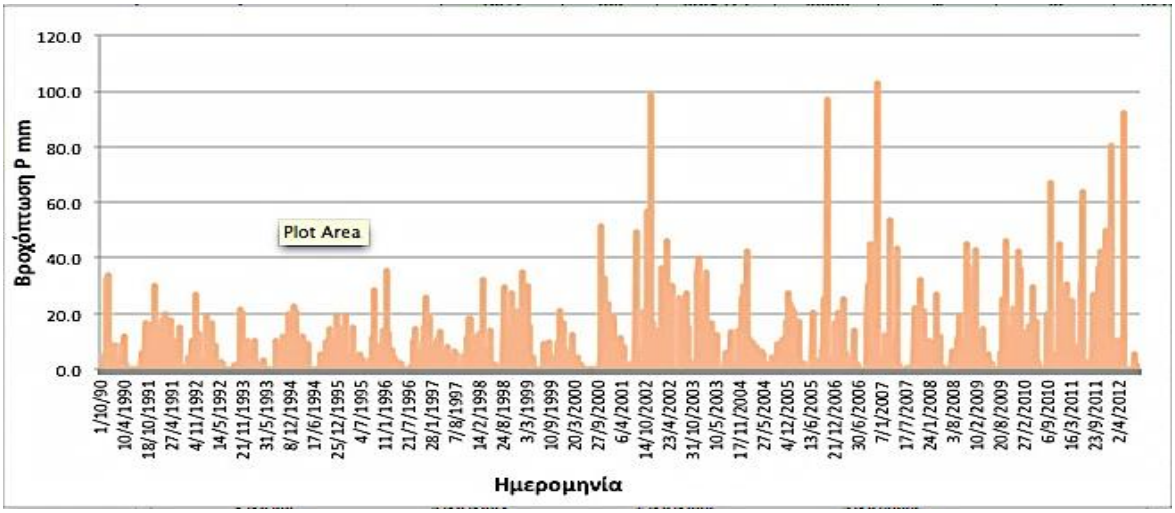
Τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου αφορούσαν σε όγκους ομβροδεξαμενής από 5 έως 50 m^3, επιφάνειες συλλογής από 100 m^2 έως 300 m^2, ποσοστά ικανοποίησης οικιακών αναγκών από 30% έως 50%, που μεταφράζονται (λαμβάνοντας ως ημερήσια κατανάλωση νερού κατά άτομο q=150 L/κάτοικο/ημέρα) σε 45 έως 75 L/κάτοικο/ημέρα αντίστοιχα, αριθμό εξυπηρετούμενων κατοίκων 3 έως 4 και συντελεστή απορροής 0.9.

Η παρουσίαση και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί, θα γίνει με βάση δύο σενάρια μελέτης:

1. **Σενάριο Α**: Αξιολόγηση της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής, διατηρώντας σταθερή τη ζήτηση για την κάλυψη των υδατικών αναγκών.
2. **Σενάριο Β**: Αξιολόγηση της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για διάφορες ζητήσεις διατηρώντας σταθερή την επιφάνεια συλλογής ομβρίων.

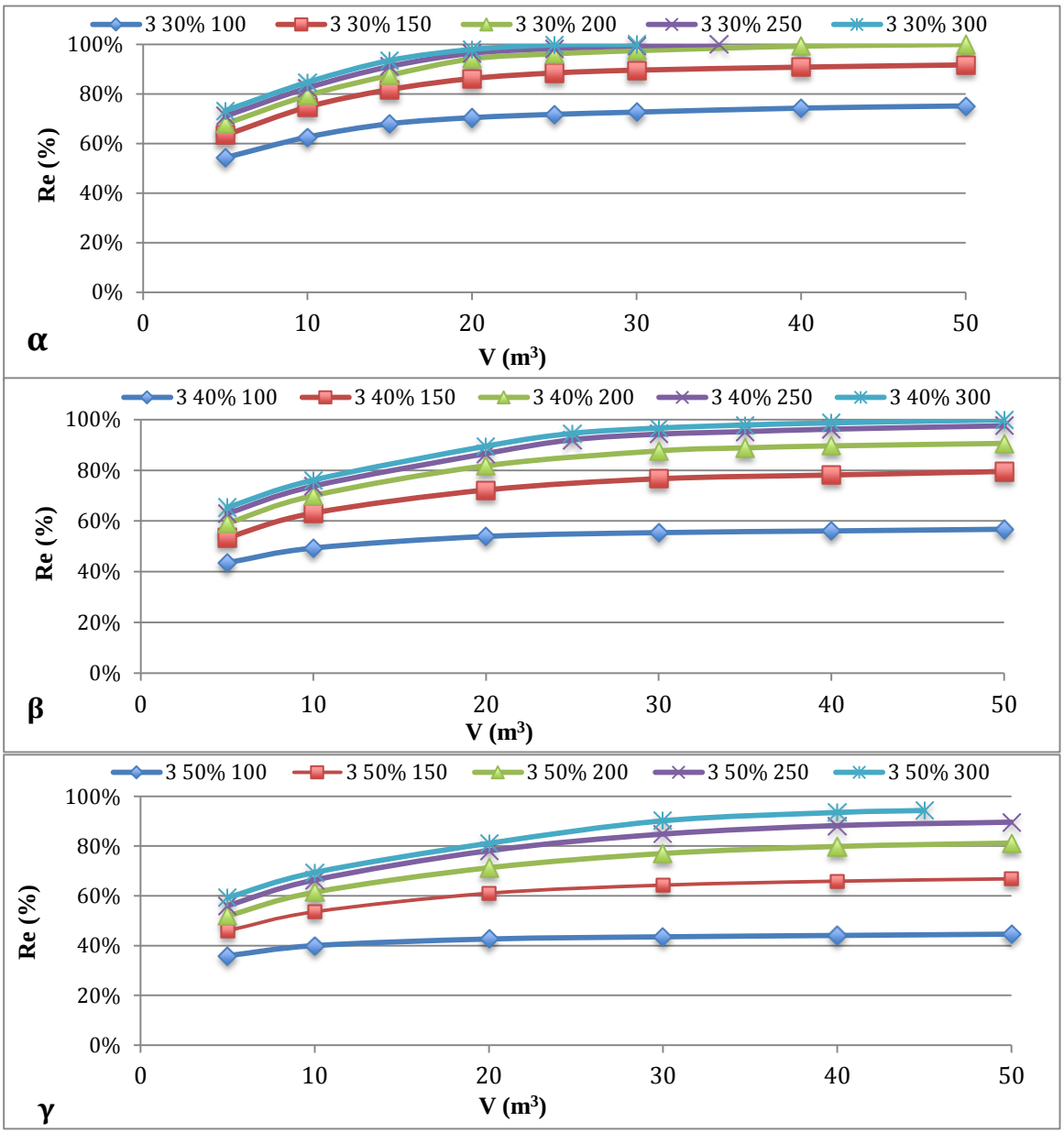
6.3. Σκύρος

Στο Σχήμα 6.9 παρουσιάζεται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, χρονικής περιόδου διάρκειας 22 ετών. Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 103 mm και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι P_m=422.5 mm.

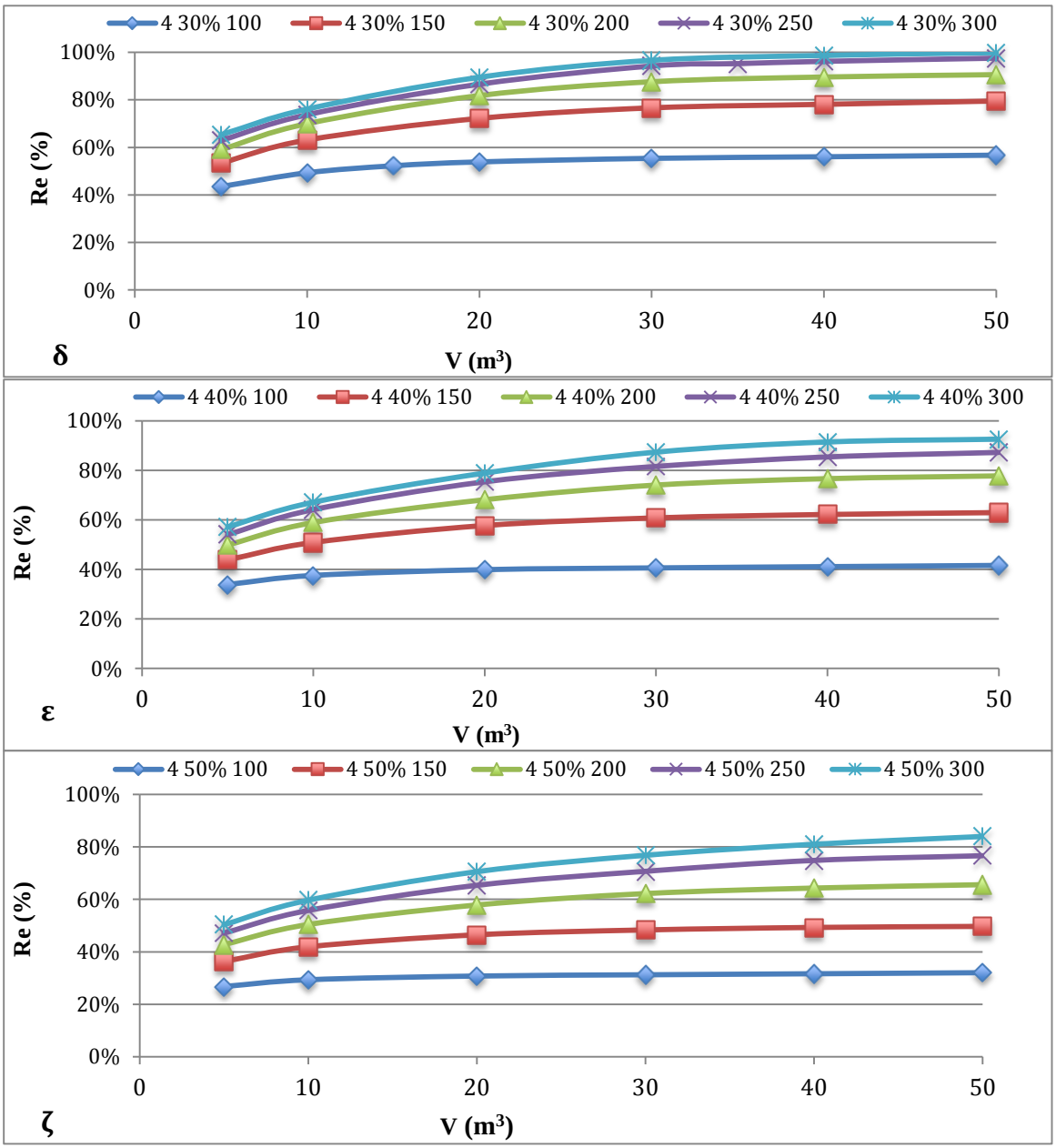


Σχήμα 6.9: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Σκύρου.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα εφαρμογής του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου στη Σκύρο (Σχήματα 6.10α-), φαίνεται πως τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας είναι 27% έως 100% για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Η αξιοπιστία του συστήματος συλλογής ομβρίων φτάνει το 100% μόνο στις περιπτώσεις χαμηλών επιπέδων ζήτησης (30%-40% των 3 κατοίκων, Σχήματα 6.10α,β) και μόνο για μεγάλες επιφάνειες (250-300 m^2) και μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενής. Σε αντίθεση, η καμπύλη αξιοπιστίας του συστήματος για τη μεγάλη ζήτηση (50% των 3 κατοίκων-225 L/day, Σχήμα 6.10γ) με επιφάνεια 100 m^2 παρουσιάζει πολύ μικρή κλίση για μεγάλους όγκους (>10 m^3) και δείχνει πως η επιφάνεια συλλογής αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην ικανοποίηση των αναγκών (ελάχιστη αύξηση της αξιοπιστίας) ανεξαρτήτου της αύξησης του όγκου της ομβροδεξαμενής. Στην περίπτωση αυτή, η ικανοποίηση του ποσοστού ζήτησης των 50% απαιτεί μεγαλύτερες επιφάνειες συλλογής. Και στα τρία διαγράμματα των Σχηματων 6.10 α-γ παρατηρούμε ότι, καθώς αυξάνεται η επιφάνεια συλλογής, η απαίτηση για ολική ικανοποίηση των αναγκών από την ομβροδεξαμενή μπορεί να πραγματοποιηθεί με μικρότερους όγκους δεξαμενής.

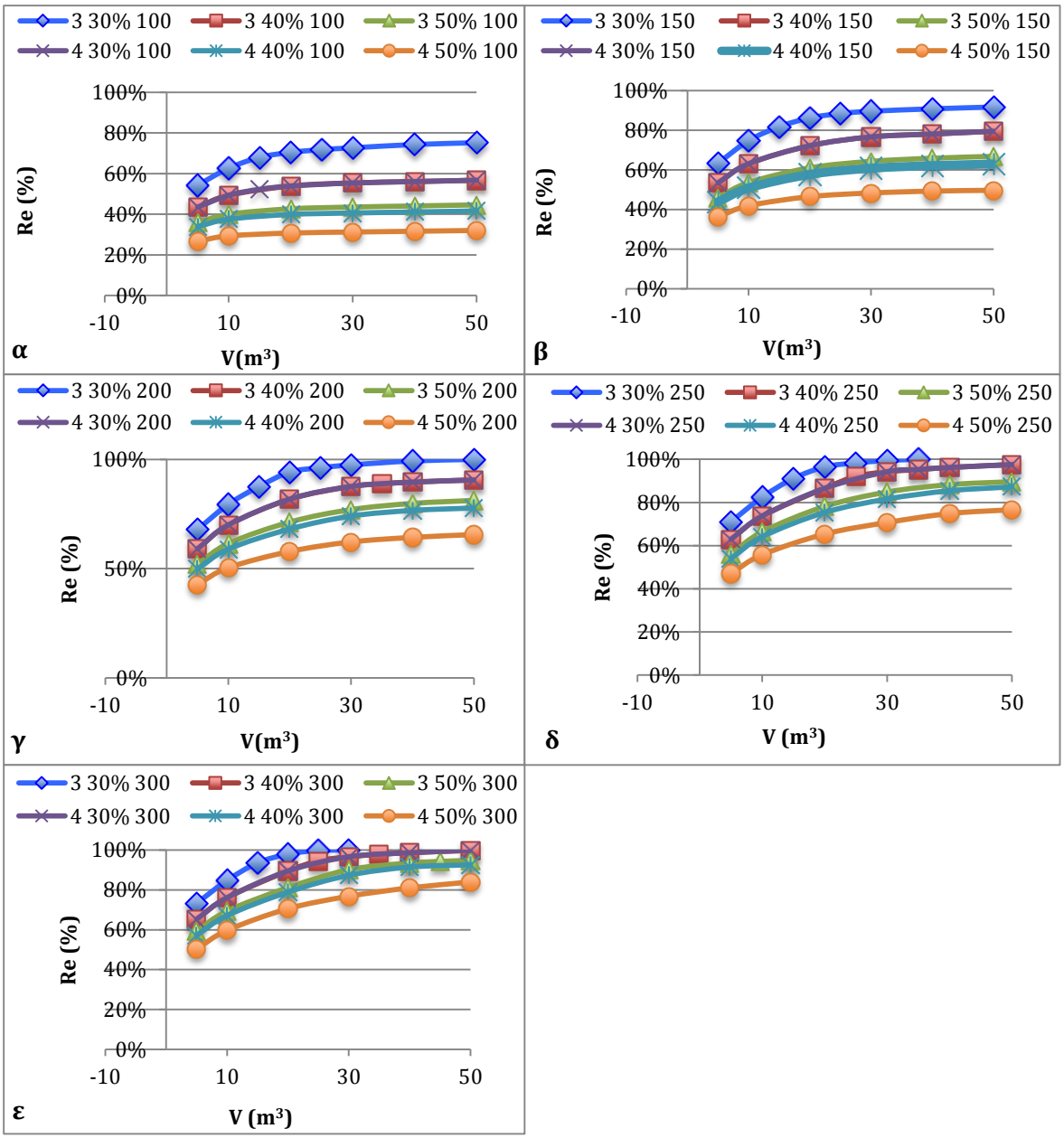


Σχήματα 6.10α-γ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.



Σχήμα 6.10δ-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Στα Σχήματα 6.10δ-ζ φαίνεται πως καθώς αυξήθηκε ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων σε 4 μειώθηκε το ποσοστό της αξιοπιστίας για τους ίδιους όγκους ομβροδεξαμενών σε σχέση με την εξυπηρέτηση 3 κατοίκων. Χρακτηριστικό είναι (Σχήμα 6.10ζ) πως το χαμηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας (27%) παρατηρείται στο υψηλό επίπεδο ζήτησης (50% των 4 κατοίκων), στο οποίο η αξιοπιστία δεν ξεπερνά το 85% ακόμη και για επιφάνεια 300 m^2 και όγκο 50 m^3. Επίσης, παρατηρούμε ότι για κάθε επίπεδο ζήτησης η αύξηση επιφάνειας συλλογής αυξάνει τα επίπεδα αξιοπιστίας για όλους τους όγκους που εξετάστηκαν. Η αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία μόνο στις περιπτώσεις μεγάλων επιφανειών συλλογής (250-300 m^2).

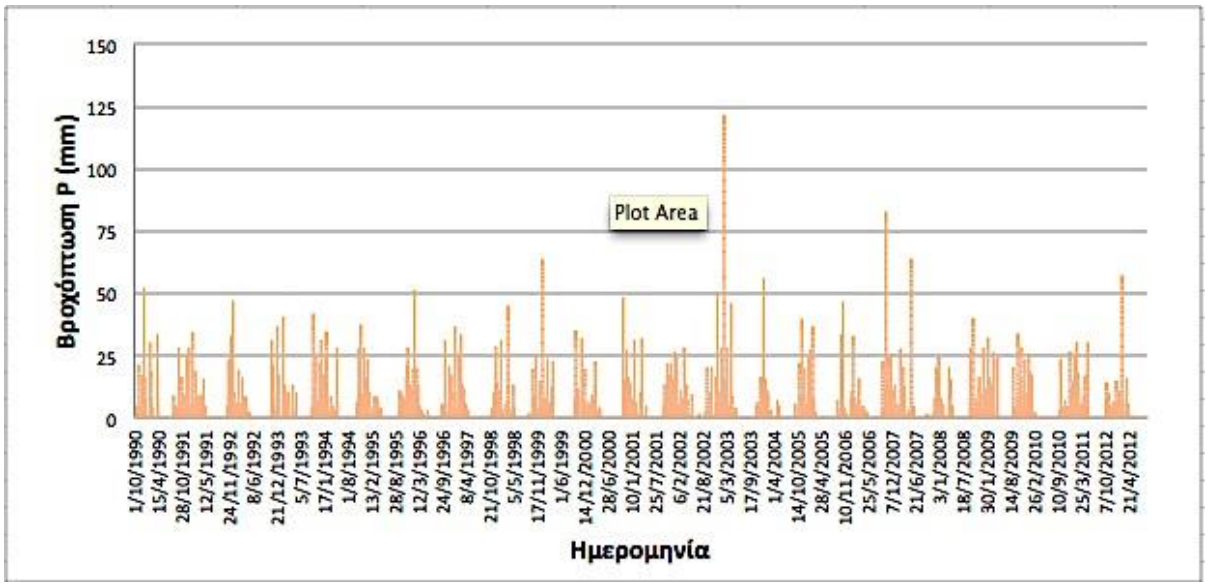


Σχήματα 6.11α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Στο σενάριο Β φαίνεται όπως φαίνεται από τα Σχήματα 6.11α-ε για όλα τα επίπεδα επιφάνειας συλλογής, η αξιοπιστία μειώνεται με την αύξηση του επιπέδου ζήτησης για όλους τους όγκους που εξετάστηκαν. Αξιολογώντας τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η τιμή όγκου 10 m^3 βρίσκεται στο σημείο καμπής των καμπυλών (Σχήματα 6.11α,β) και για επιφάνεια συλλογής 100 m^2 αποτελεί περιοριστικό παράγοντα σε αντίθεση με τα 150 m^2 όπου η ικανοποίηση των αναγκών μπορεί να επιτευχθεί με ελάχιστο ποσοστό αξιοπιστίας 49% και μέγιστο 80%. Χαρακτηριστικό είναι, πως υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας (μεγαλύτερα του 80%) παρατηρούνται μόνο στα υψηλά επίπεδα επιφανειών (250-300 m^2).

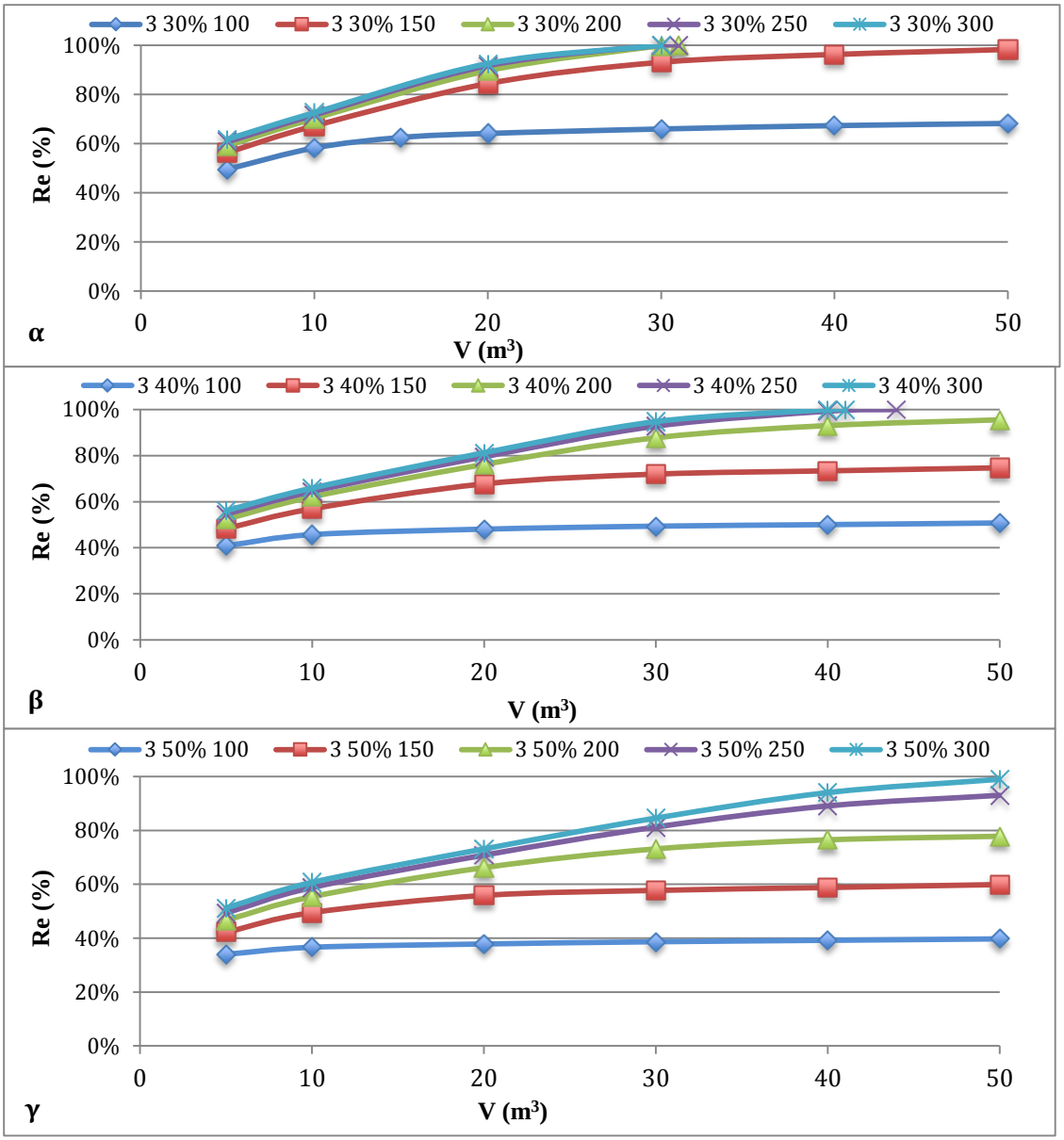
6.4. Πάρος

Στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 121 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m=377.3mm.



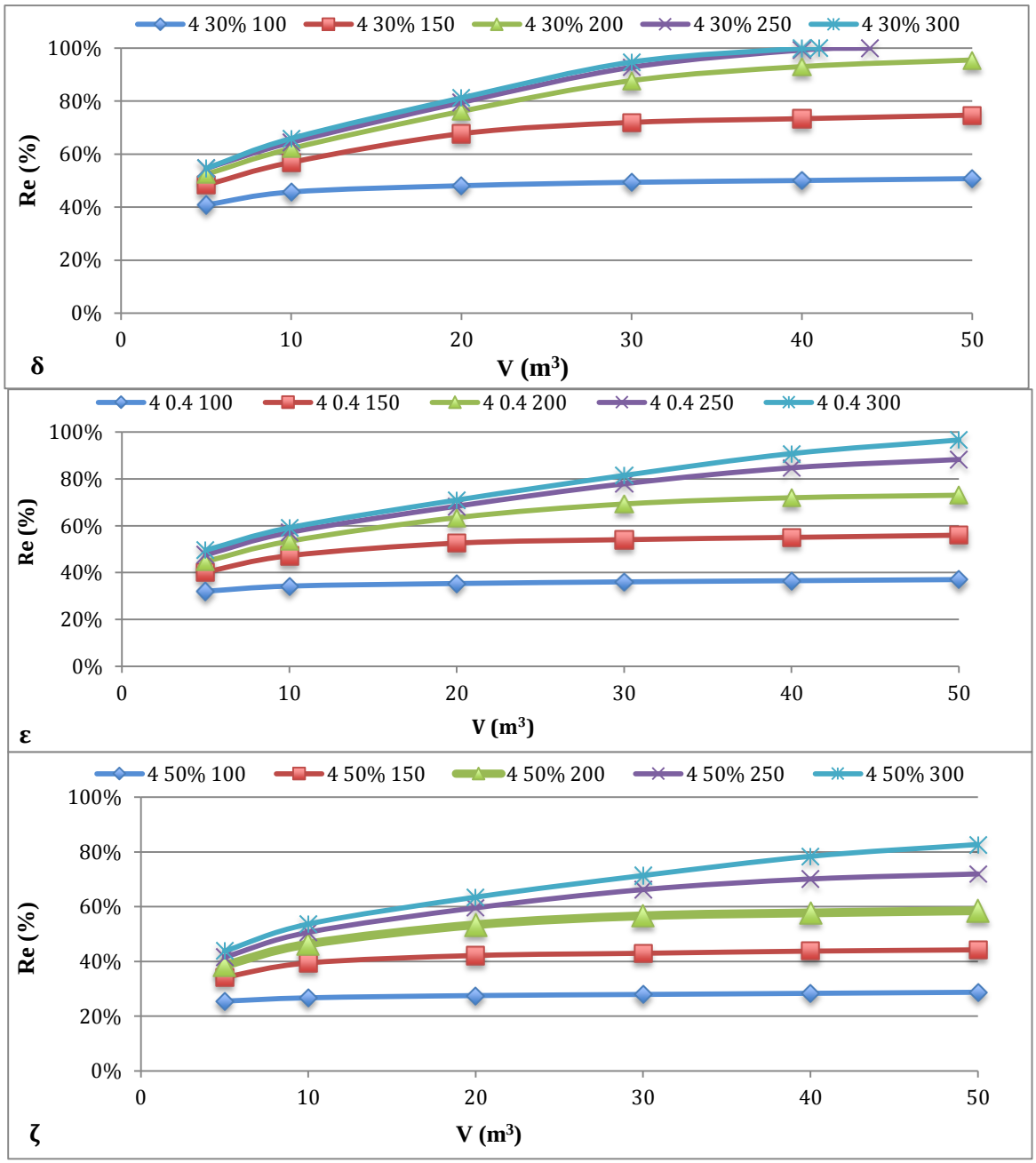
Σχήμα 6.12 Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Πάρου.

Στα επόμενα Σχήματα 6.13α-ζ και 6.14α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για την Πάρο για τη χρονική περίοδο 1990-2012:



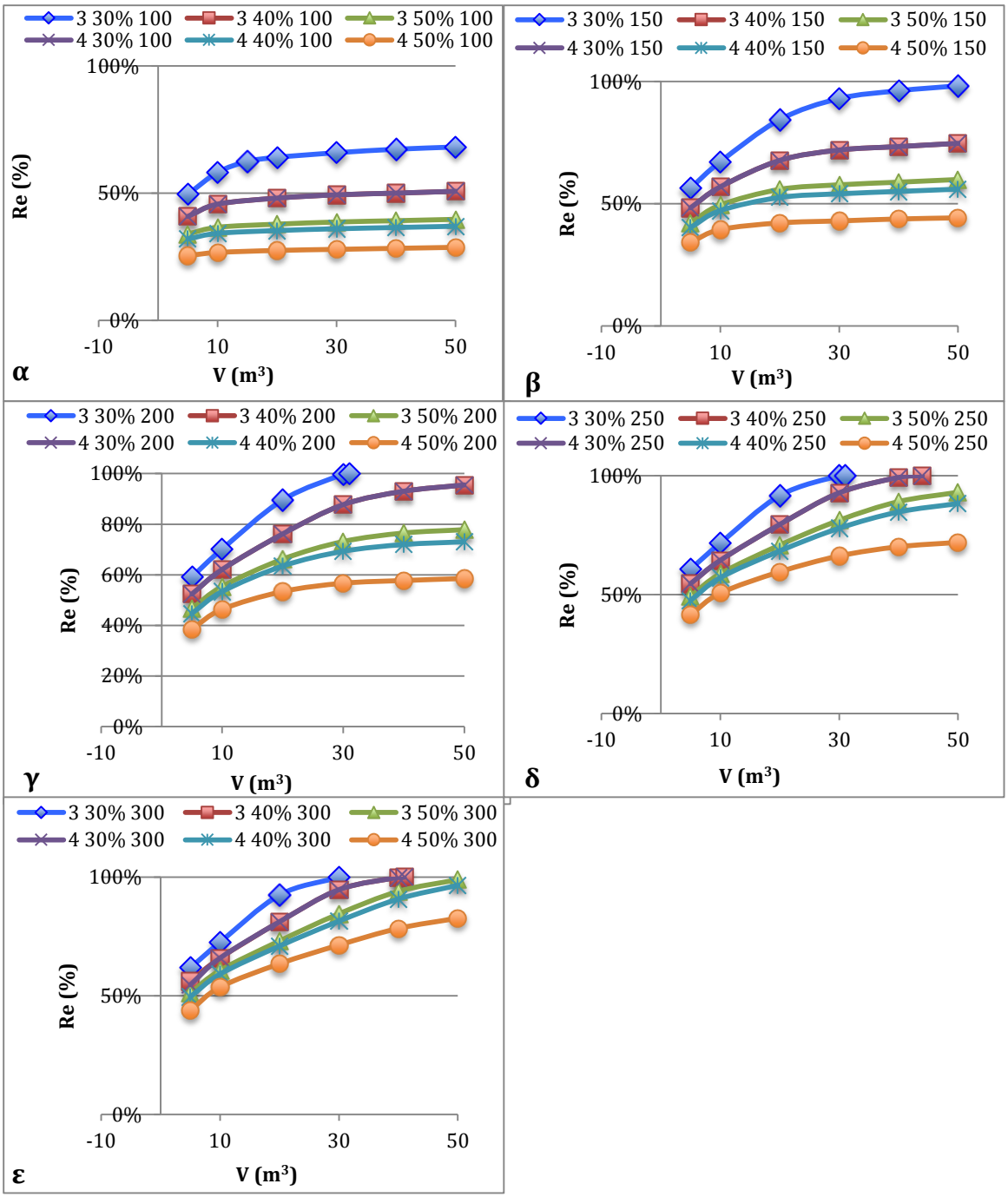
Σχήματα 6.13α-γ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα του Σχήματος 6.13α-γ είναι σαφές πως τα όρια αξιοπιστίας, για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι από 34% έως 100%. Η αξιοπιστία του συστήματος συλλογής ομβρίων φτάνει το 100% μόνο στις περιπτώσεις χαμηλών επιπέδων ζήτησης (30%-40% των 3 κατοίκων, Σχήματα 6.13α,β) και μόνο για μεγάλες επιφάνειες (250-300 m^2) και μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενής. Το χαμηλό μέσο ύψος βροχής του νησιού (P_m=377.3 mm) αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην επίτευξη 100% αξιοπιστίας του συστήματος για την κάλυψη της υψηλής ζήτησης (50% των 3 κατοίκων-225 L/day) όπου απαιτείται επιφάνεια μεγαλύτερη των 300 m^2 και όγκος δεξαμενής μεγαλύτερος από 50 m^3 (Σχήμα 6.13γ).



Σχήματα 6.13δ-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Στα Σχήματα 6.13δ-ζ είναι φανερό πως το κατώτατο όριο της αξιοπιστίας του συστήματος μειώθηκε από 34% (Σχήμα 6.13γ) σε 25% (Σχήμα 6.13ζ) διότι αύξηθηκε το επίπεδο ζήτησης (50% των 4 κατοίκων). Επίσης, υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας (μεγαλύτερα του 80%) παρατηρούνται μόνο στα υψηλά επίπεδα επιφανειών (250-300 m^2) για τη χαμηλή ζήτηση (30% των 4 κατοίκων). Φαίνεται λοιπόν, πως η μικρή επιφάνεια συλλογής (100 m^2) αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, καθώς τα ποσοστά αξιοπιστίας παραμένουν χαμηλά για όλα τα επίπεδα ζήτησης και αυξάνονται ελάχιστα με την αύξηση του όγκου της ομβροδεξαμενής.

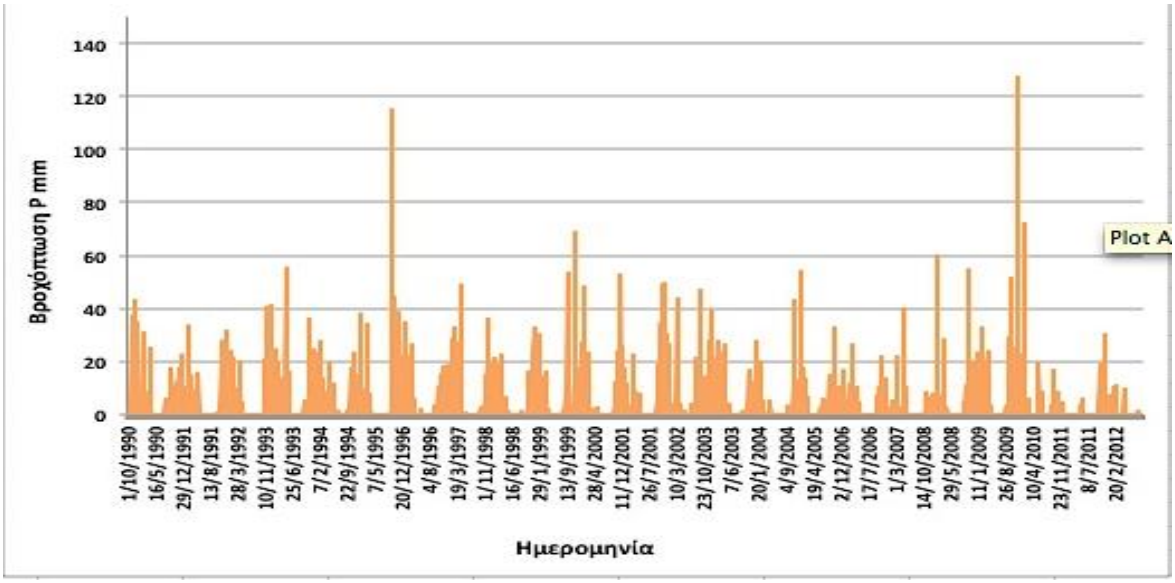


Σχήματα 6.14α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα από το Β σενάριο είναι φανερό πως η αξιοπιστία μειώνεται με την αύξηση των επιπέδων ζήτησης για όλες τις περιπτώσεις επιφανειών που εξετάστηκαν (Σχήμα 6.14α-ε). Τα μεγαλύτερα επίπεδα αξιοπιστίας παρατηρούνται μόνο στα υψηλά επίπεδα επιφανειών (250-300 m^2) .

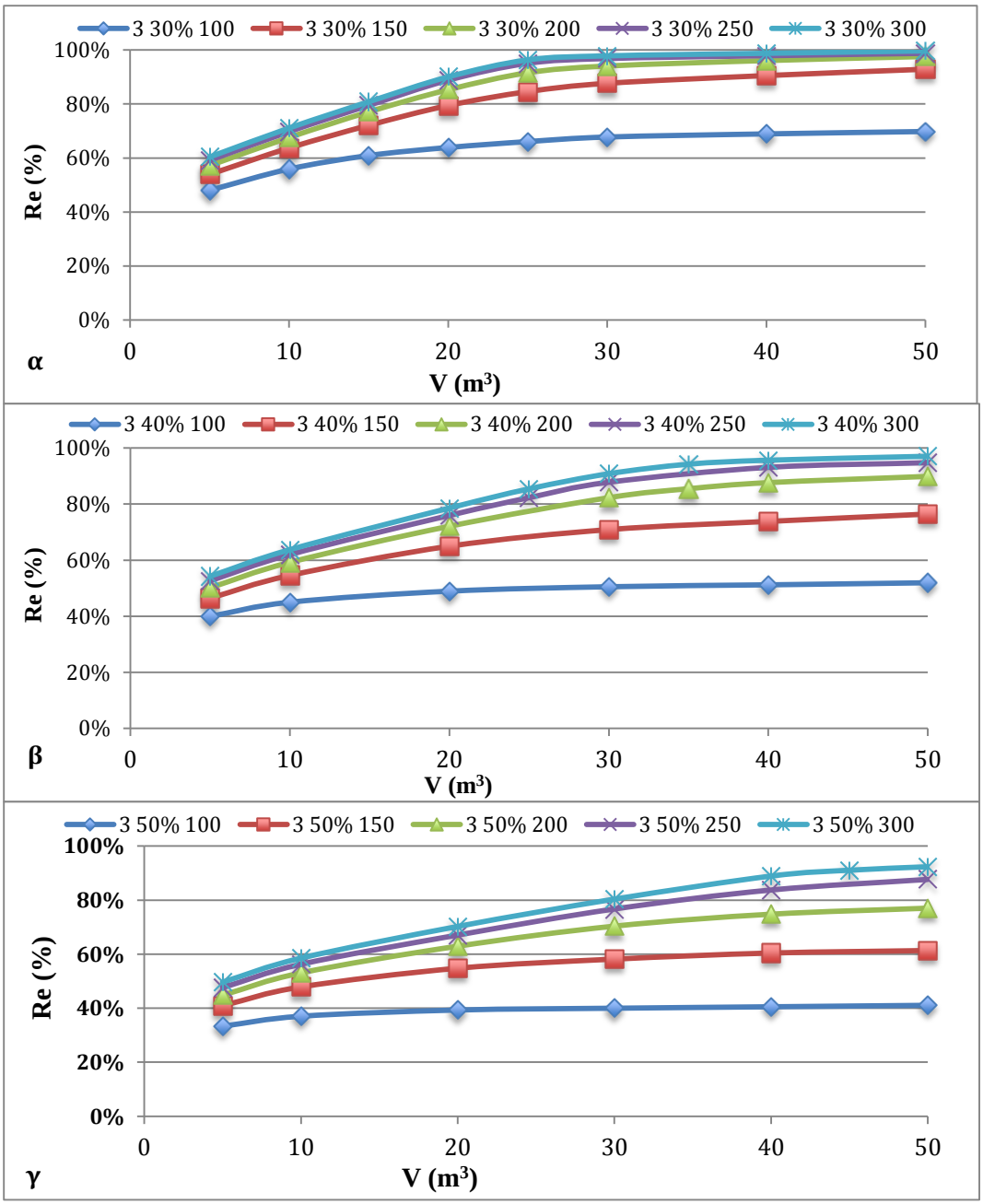
6.5. Μήλος

Στο Σχήμα παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 127 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m=382.9 mm.



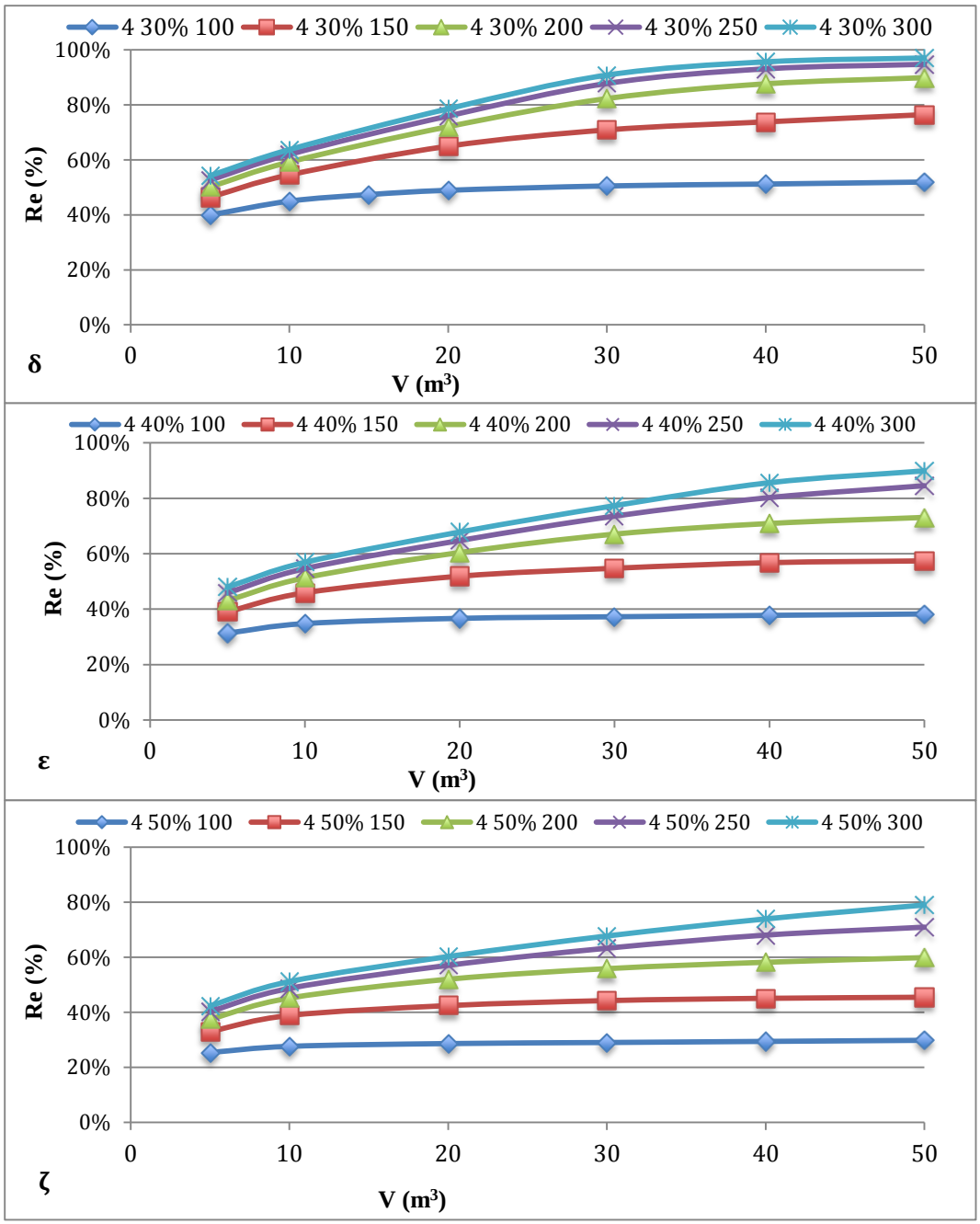
Σχήμα 6.15: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Μήλου.

Στα επόμενα Σχήματα 6.16α-ζ και 6.17α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για τη Μήλο για τη χρονική περίοδο 1990-2012:



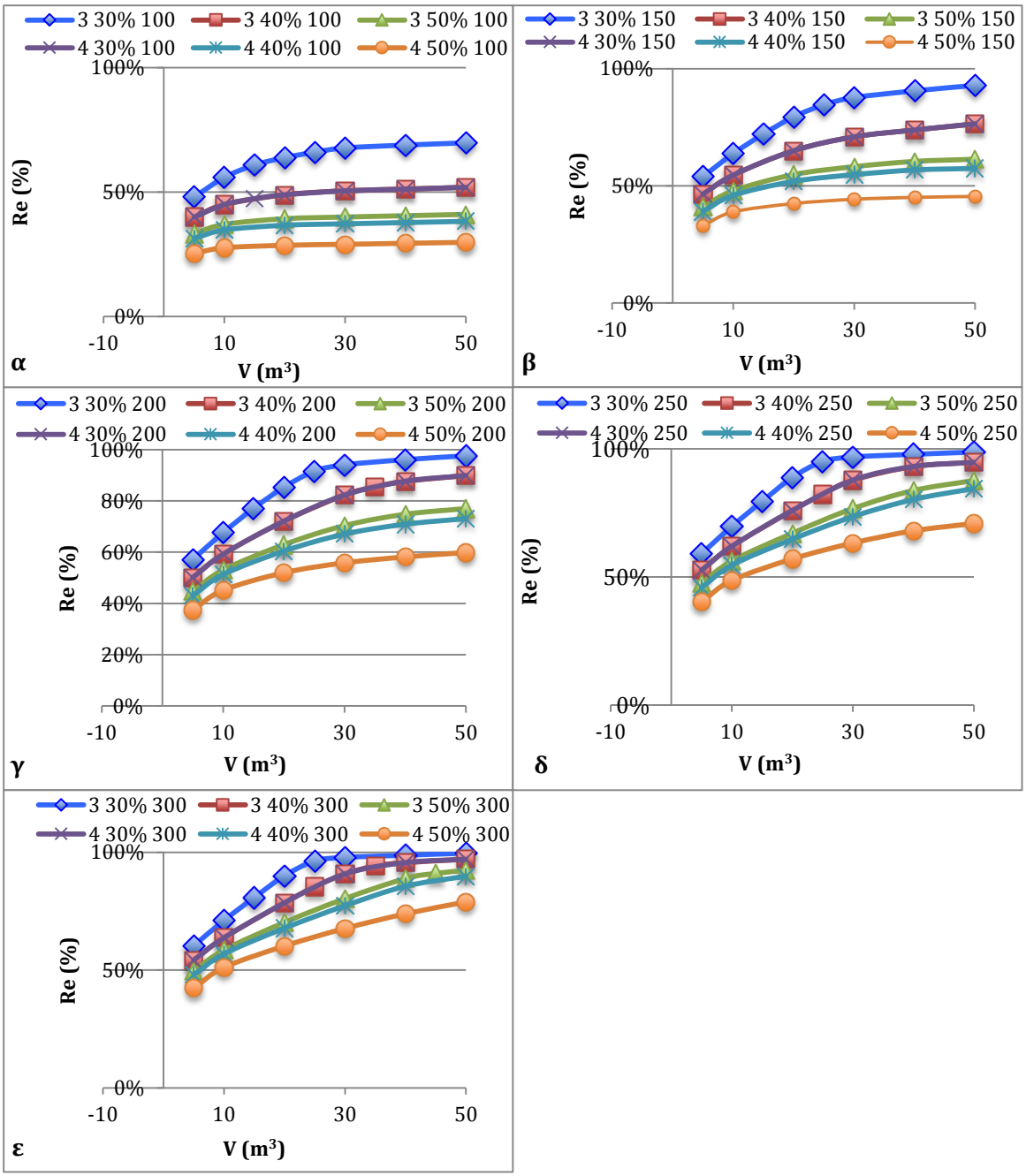
Σχήματα 6.16α-γ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Όπως φαίνεται στα Σχήματα 6.16α-γ τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας του συστήματος για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι 33% έως 99%. Είναι χαρακτηριστικό πως χαμηλό μέσο ύψος βροχής της Μήλου (P_m=382.9 mm) αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην επίτευξη 100% αξιοπιστίας του συστήματος, διατηρώντας χαμηλά τα ποσοστά αξιοπιστίας και στις περιπτώσεις των χαμηλών επιπέδων ζήτησης.



Σχηματα 6.16δ-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Αξιολογώντας τα διαγράμματα στα Σχήματα 6.16δ-ζ φαίνεται ότι η επίτευξη αξιοπιστίας μεγαλύτερη του 40% παρατηρείται μόνο για επιφάνεις συλλογής μεγαλύτερες των 150 m^2 σε όλα τα εξεταζόμενα επίπεδα ζήτησης και δεν ξεπερνά το 80% για επιφάνεια 300 m^2 και όγκο 50 m^3 για το υψηλό επίπεδο ζήτησης.

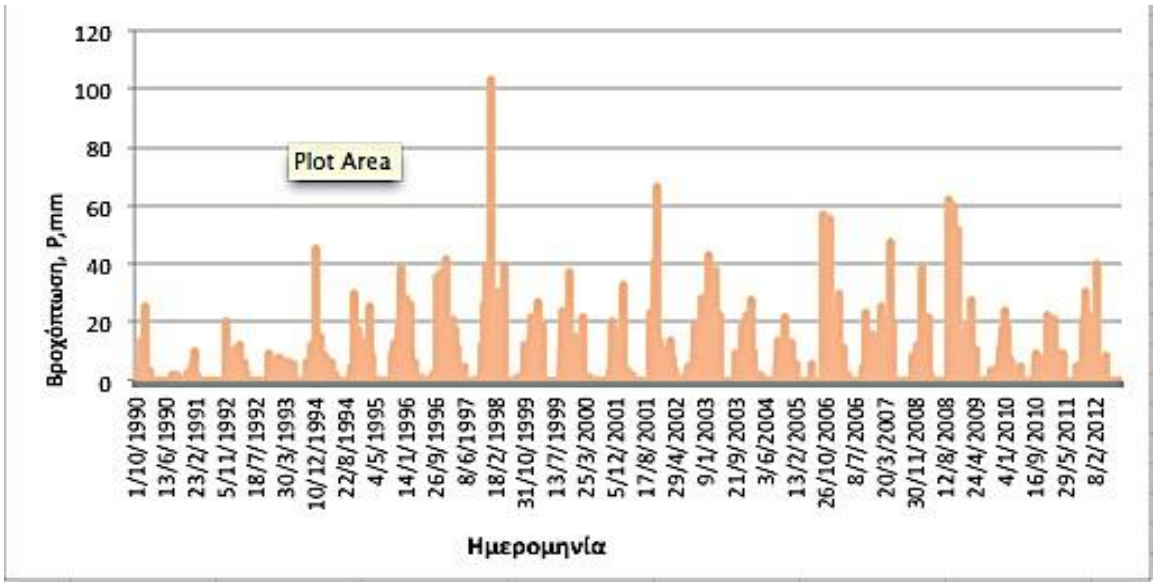


Σχήματα 6.17α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Στο σενάριο Β φαίνεται από τα Σχήματα 6.17α-ε πως η αξιοπιστία μειώνεται με την αύξηση του επιπέδου ζήτησης για όλα τα επίπεδα επιφάνειας συλλογής που εξετάστηκαν. Τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας για όλες τις περιπτώσεις είναι 25% έως 97%. Η αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία στις περιπτώσεις μεγάλων επιφανειών (200-300 m^2).

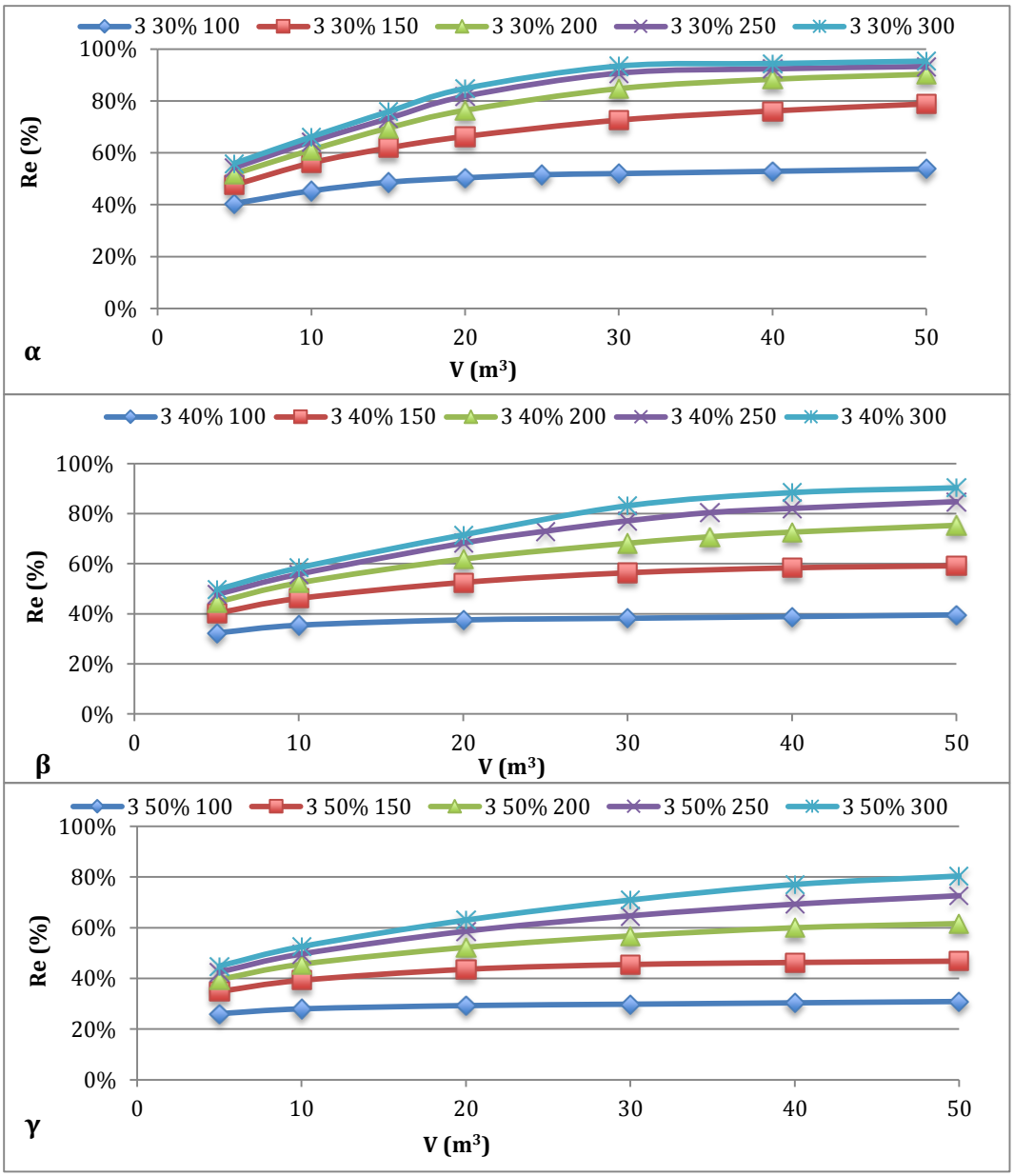
6.6. Σαντορίνη

Στο Σχήμα 6.18 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 103 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m=292.4 mm.



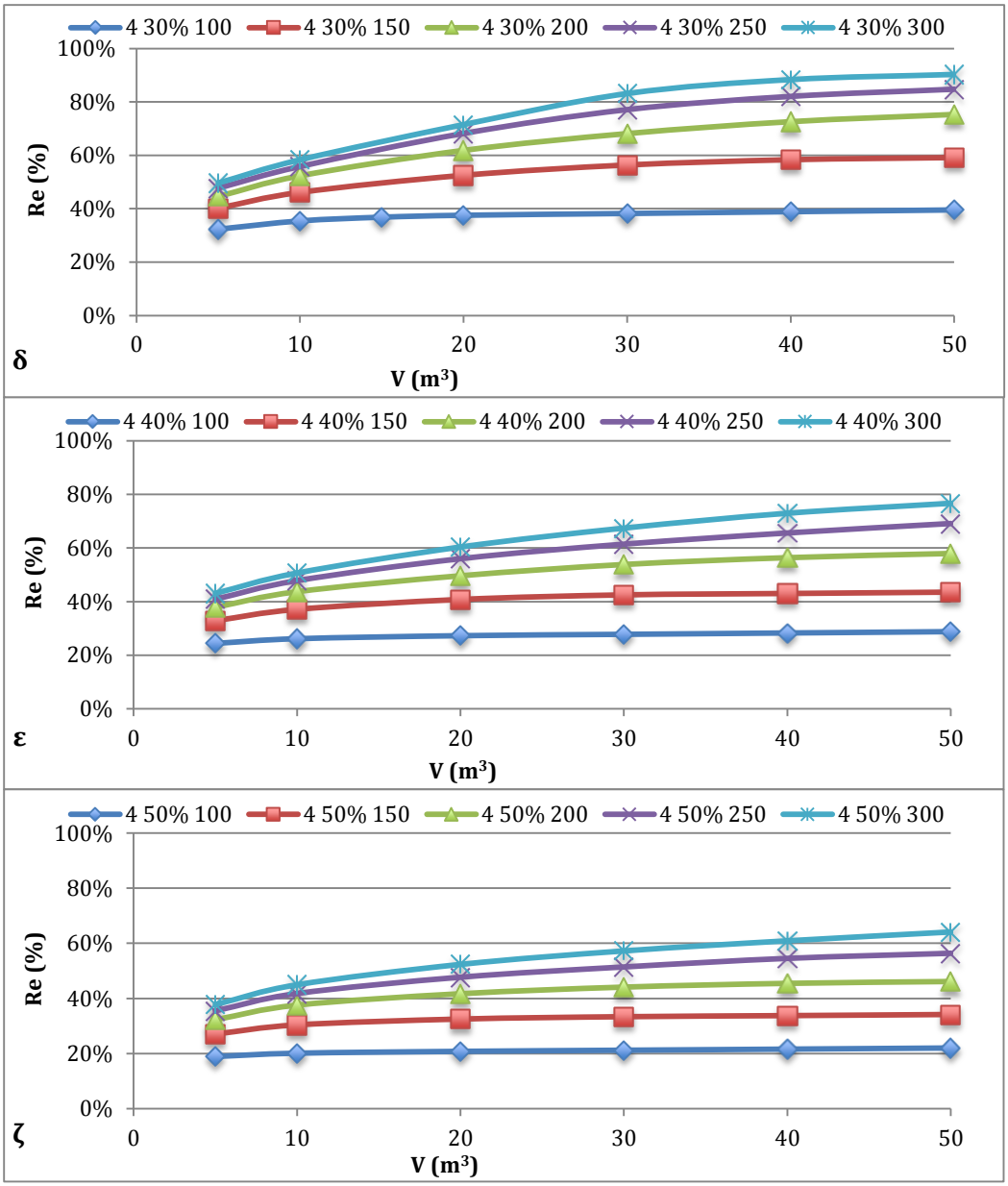
Σχήμα 6.18: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Σαντορίνης.

Στα επόμενα Σχήματα 6.19α-ζ και 6.20α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για τη Σαντορίνη για τη χρονική περίοδο 1990-2012:



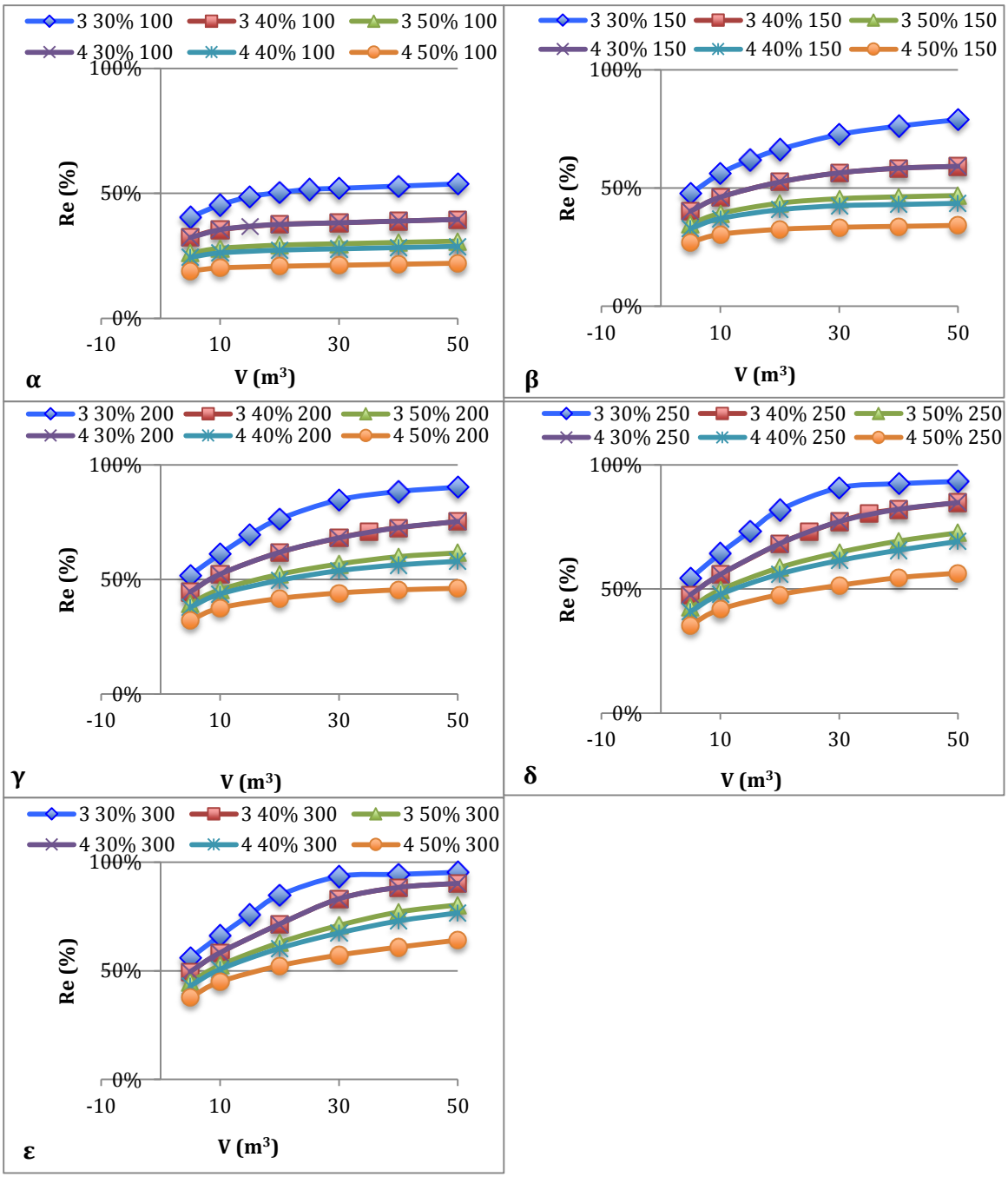
Σχήματα 6.19α-γ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα του σεναρίου Α (Σχήματα 6.19α-γ) φαίνεται πως τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας, για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι 26% έως 95%. Συγκεκριμένα, η αξιοπιστία αδυνατεί να φτάσει το 100% στις περιπτώσεις χαμηλών επιπέδων ζήτησης (30% των 3 κατοίκων), ακόμα και για μεγάλες επιφάνειες (300 m^2) και όγκους ομβροδεξαμενής (50 m^3). Καθώς αυξάνεται το ποσοστό ζήτησης από 30% στα 40% τα ποσοστά αξιοπιστίας του συστήματος μειώνονται για τους ίδιους όγκους ομβροδεξαμενών. Επίσης, παρατηρούμε ότι, εξαιτίας του πολύ χαμηλού μέσου ύψους βροχόπτωσης του νησιού (P_m=292.4 mm), για κάθε επίπεδο ζήτησης η αύξηση επιφάνειας συλλογής δεν μεταβάλλει ικανοποιητικά τα επίπεδα αξιοπιστίας για όλους τους όγκους που εξετάστηκαν.



Σχήματα 6.19δ-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Αξιολογώντας τις καμπύλες αξιοπιστίας (Σχήματα 6.19δ-ζ) φαίνεται πως η αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία μόνο στις περιπτώσεις μεγάλων επιφανειών συλλογής (250-300 m^2). Για επιφάνεια συλλογής 100 m^2 η υψηλή ζήτηση (50% των 4 κατοίκων) δίνει πολύ μικρά ποσοστά αξιοπιστίας, γεγονός που σημαίνει ότι η χρήση νερού από το δημόσιο δίκτυο είναι αναγκαία. Συγκεκριμένα, το όριο κύμανσης της αξιοπιστίας για το εξεταζόμενο επίπεδο της υψηλής ζήτησης (Σχήμα 6.19ζ) είναι 18% έως 64%. Στη Σαντορίνη εξαιτίας του χαμηλού μέσου ύψους βροχόπτωσης, η επίτευξη μεγάλης αξιοπιστίας του συστήματος είναι αδύνατη σε μικρά μεγέθη δεξαμενών και μικρές επιφάνειες συλλογής. Είναι σαφές από το διαγράμμα στο Σχήμα 6.19δ ότι η μέγιστη αξιοπιστία του συστήματος (90%) μπορεί να επιτευχθεί για το χαμηλό επίπεδο ζήτησης (30% των 4 κατοίκων) μόνο με μεγάλη επιφάνεια συλλογής (300 m^2) και μεγάλο όγκο ομβροδεξαμενής (50 m^3).

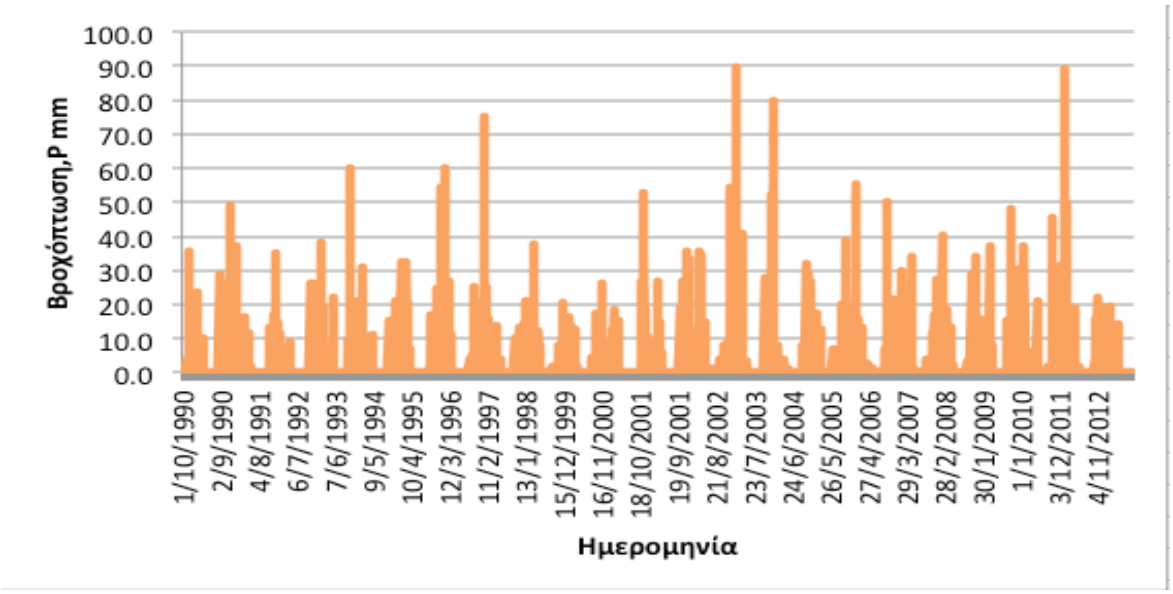


Σχήματα 6.20α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα από το σενάριο Β (Σχήματα 6.20α-ε) φαίνεται πως για μικρή επιφάνεια συλλογής 100 m^2 (Σχήμα 6.20α) η αξιοπιστία κυμαίνεται από 18% έως 53% για όλα τα εξεταζόμενα επίπεδα ζήτησης. Σε αντίθεση, για μεγάλες επιφάνειες συλλογής (>150 m^2) τα όρια κύμανσης της αξιοπιστία είναι 37% έως 90% για όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις ζήτησης (Σχήματα 6.20γ-ε). Είναι χαρακτηριστικό, εάν μελετήσουμε την καμπύλη αξιοπιστίας του συστήματος, για επιφάνεια 100 m^2 παρατηρούμε ότι έχει πολύ μικρή κλίση μετά την τιμή των 10 m^3 με αποτέλεσμα, η επιφάνεια συλλογής να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην ικανοποίηση των αναγκών (ελάχιστη αύξηση της αξιοπιστίας) ανεξαρτήτου της αύξησης του όγκου ομβροδεξαμενής.

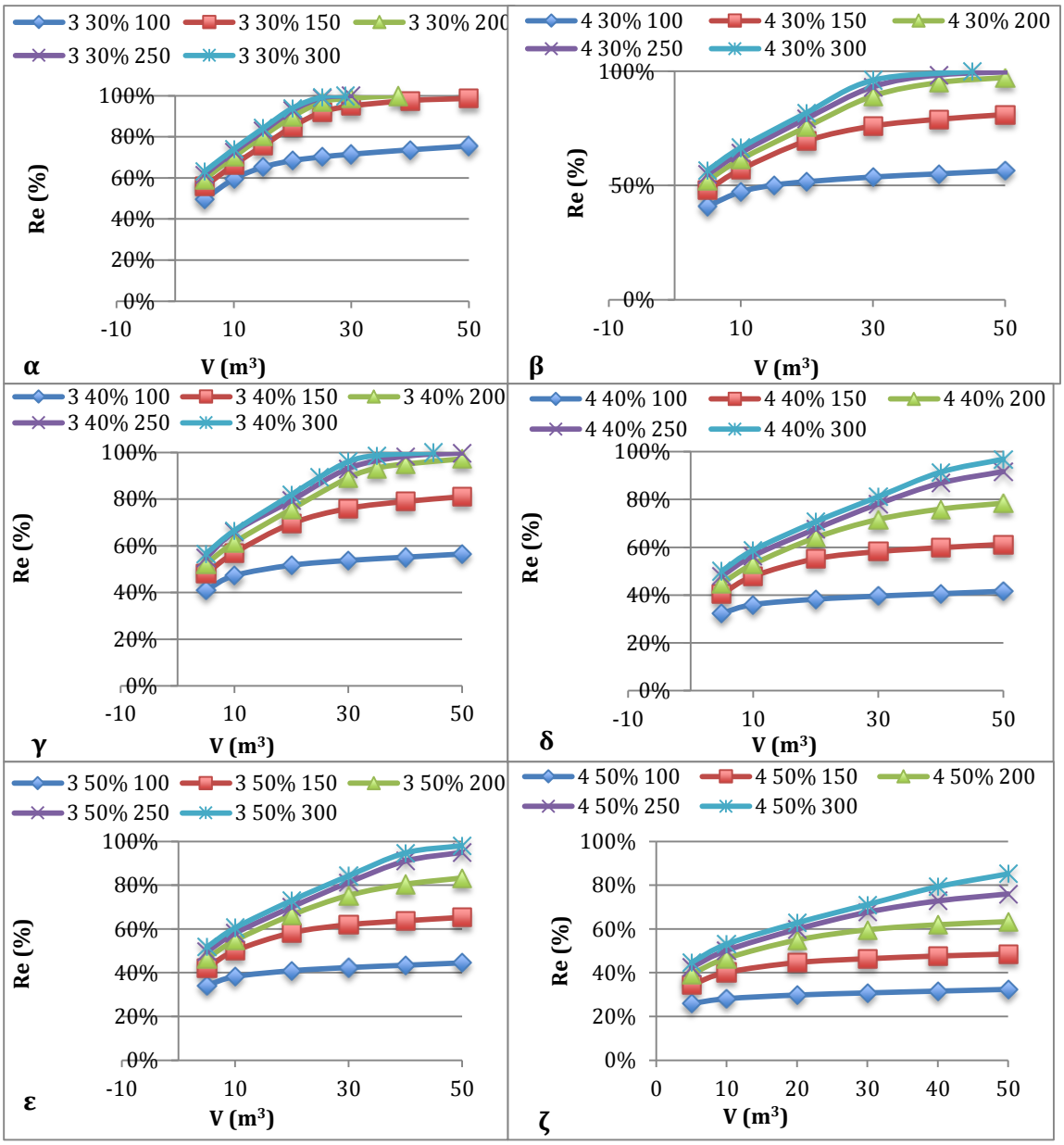
6.7. Μύκονος

Στο Σχήμα 6.21 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 90 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m=415.2 mm.



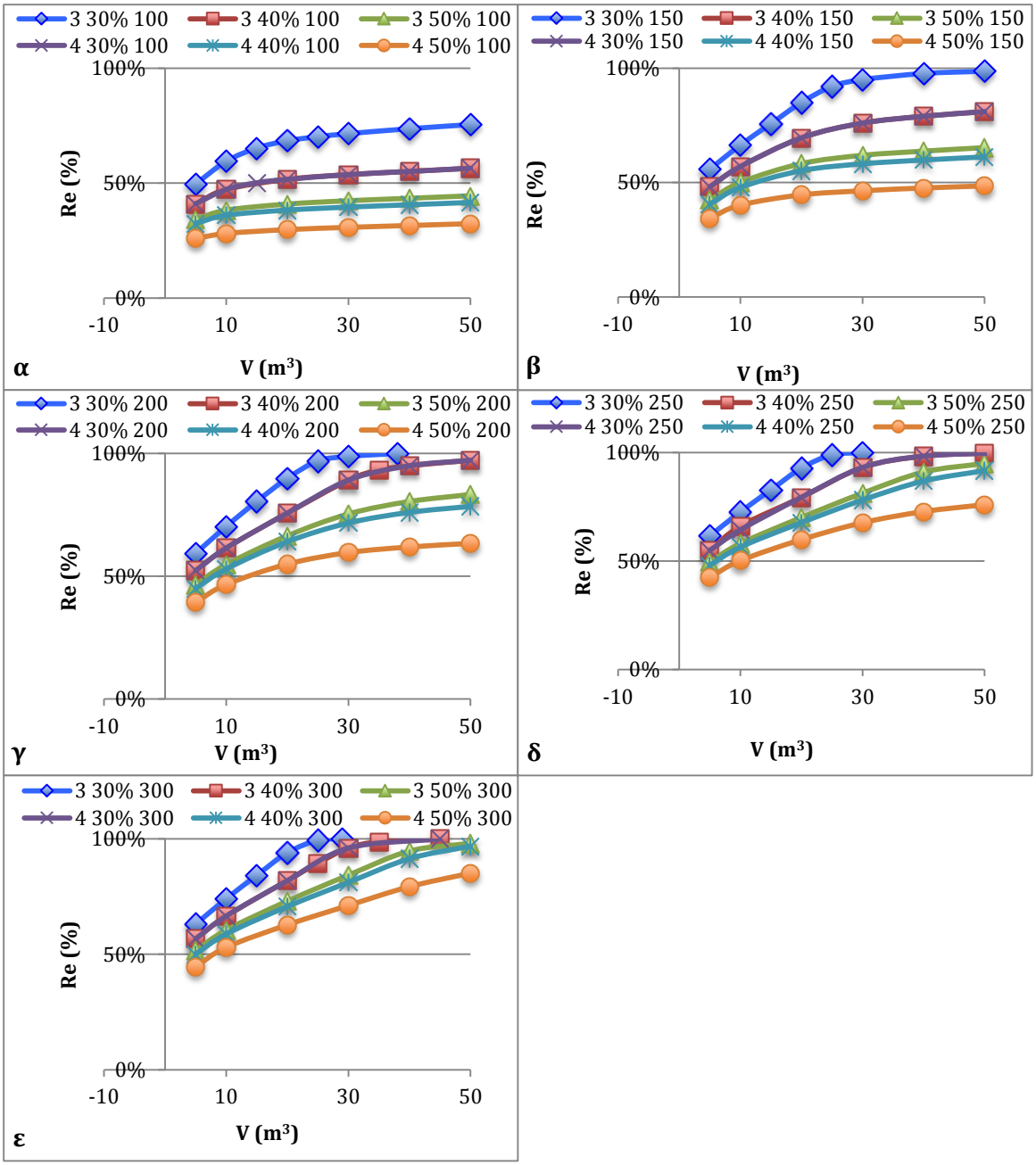
Σχήμα 6.21: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Μυκόνου.

Στα επόμενα Σχήματα 6.22α-ζ και 6.23α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για τη Μύκονο για την περίοδο μελέτης 1990-2012:



Σχήματα 6.22α-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 και 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Στη Μύκονο η αξιοπιστία του συστήματος για το επίπεδο της ελάχιστης ζήτησης (30% των 3 κατοίκων) κυμαίνεται από 49% έως 100%. Αυξάνοντας, ωστόσο τα ποσοστά ζήτησης (50% των 4 κατοίκων) παρατηρούμε μικρότερα ποσοστά αξιοπιστίας με όρια κύμανσης από 39% έως 90%. Όπως είναι φανερό η μικρή επιφάνεια συλλογής (100 m^2) αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, καθώς για τα υψηλά επιπέδα ζήτησης (Σχήματα 6.22ε,ζ) η μεταβολή της αξιοπιστίας είναι μικρή ανεξαρτήτου της αύξησης του όγκου ομβροδεξαμενής. Επίσης, υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας (μεγαλύτερα του 80%) παρατηρούνται μόνο στα υψηλά επίπεδα επιφανειών (250-300 m^2).

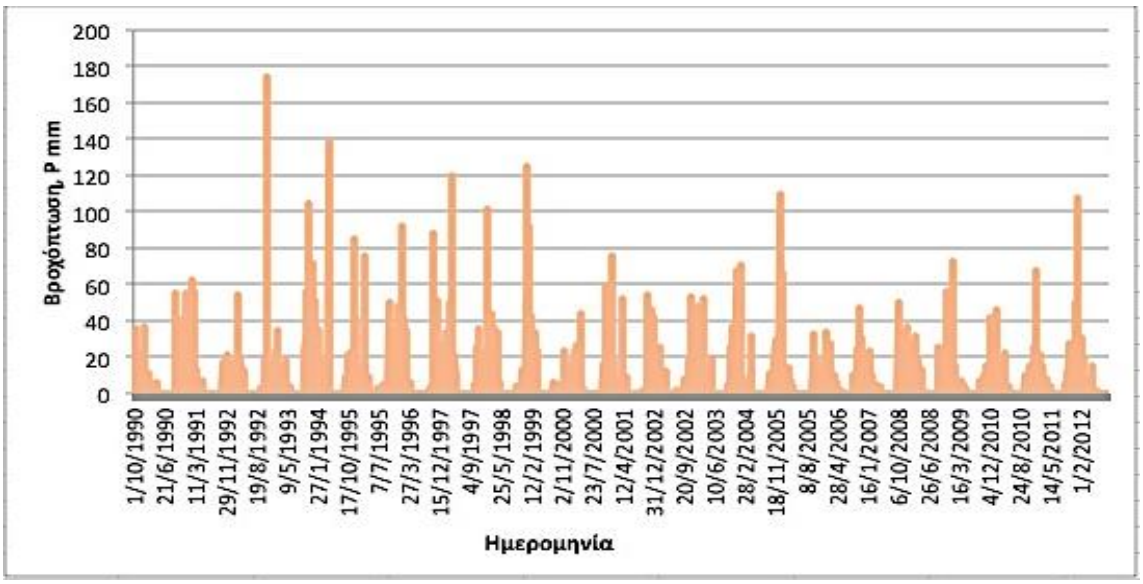


Σχήματα 6.22α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα των Σχήματων 6.22α-ε παρατηρούμε ότι η καμπύλη αξιοπιστίας της μικρής επιφάνειας (100 m^2) δίνει τιμές που κυμαίνονται από 25% έως 75% για το υψηλό και το χαμηλό επίπεδο ζήτησης αντίστοιχα. Επίπεδα αξιοπιστίας μεγαλύτερα του 59% παρατηρούνται μόνο στα υψηλά επίπεδα επιφανειών (250-300 m^2). Είναι σαφές από τα αποτελέσματα (Σχήματα 6.22α-ε) πως καθώς αυξάνει το επίπεδο ζήτησης, μειώνεται η αξιοπιστία του συστήματος.

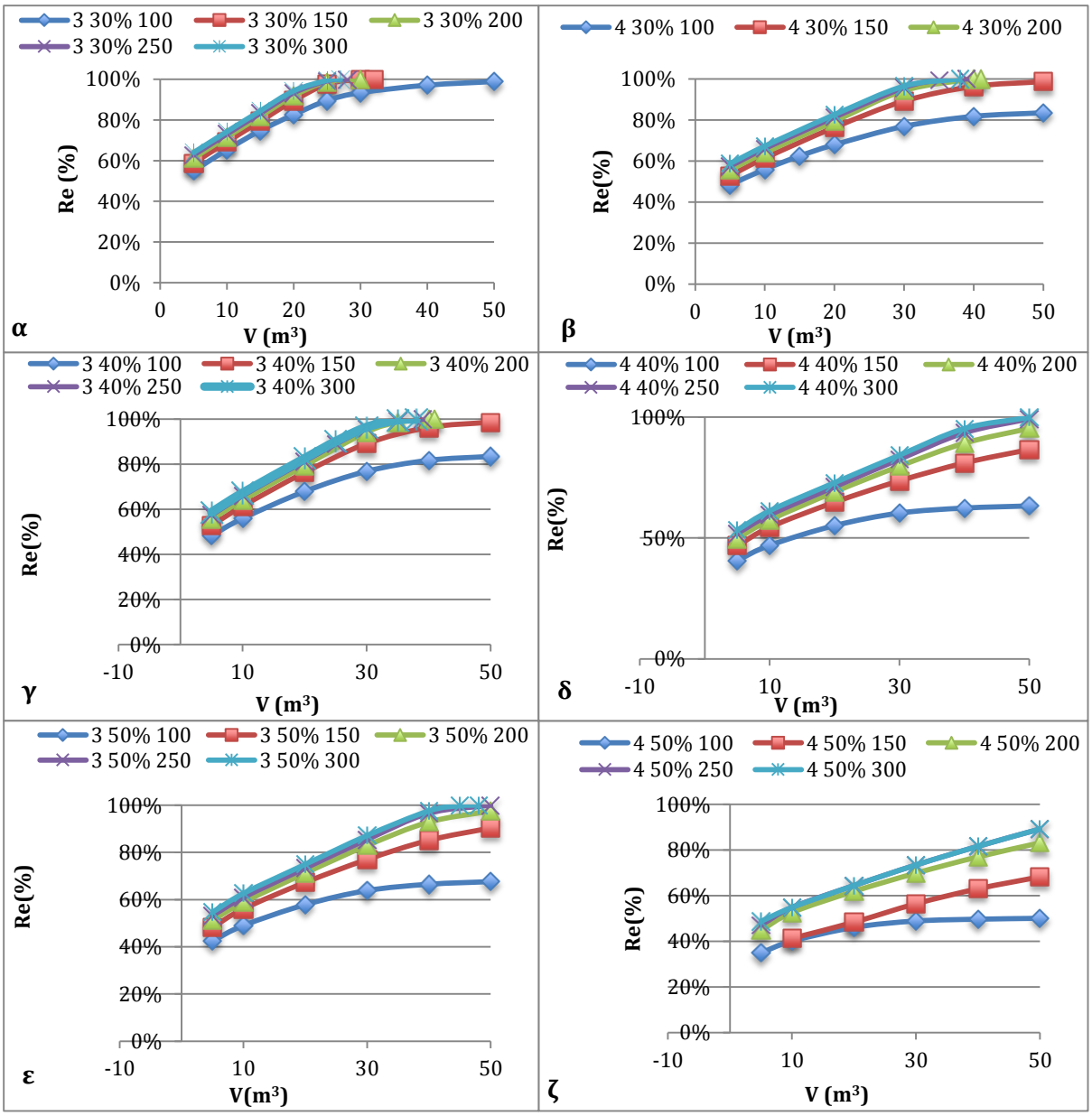
6.8. Ρόδος

Στο Σχήμα 6.23 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 175 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m=619.8 mm.



Σχήμα 6.23: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Ρόδου.

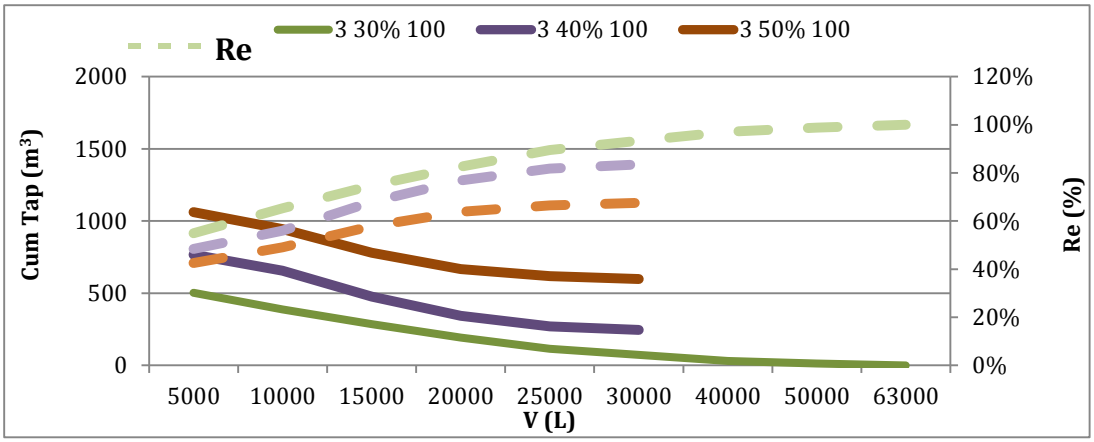
Στα Σχήματα 6.24α-ζ και 6.26α-ε που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για τη Ρόδο τη χρονική περίοδο 1990-2012:



Σχήματα 6.24α-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 και 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

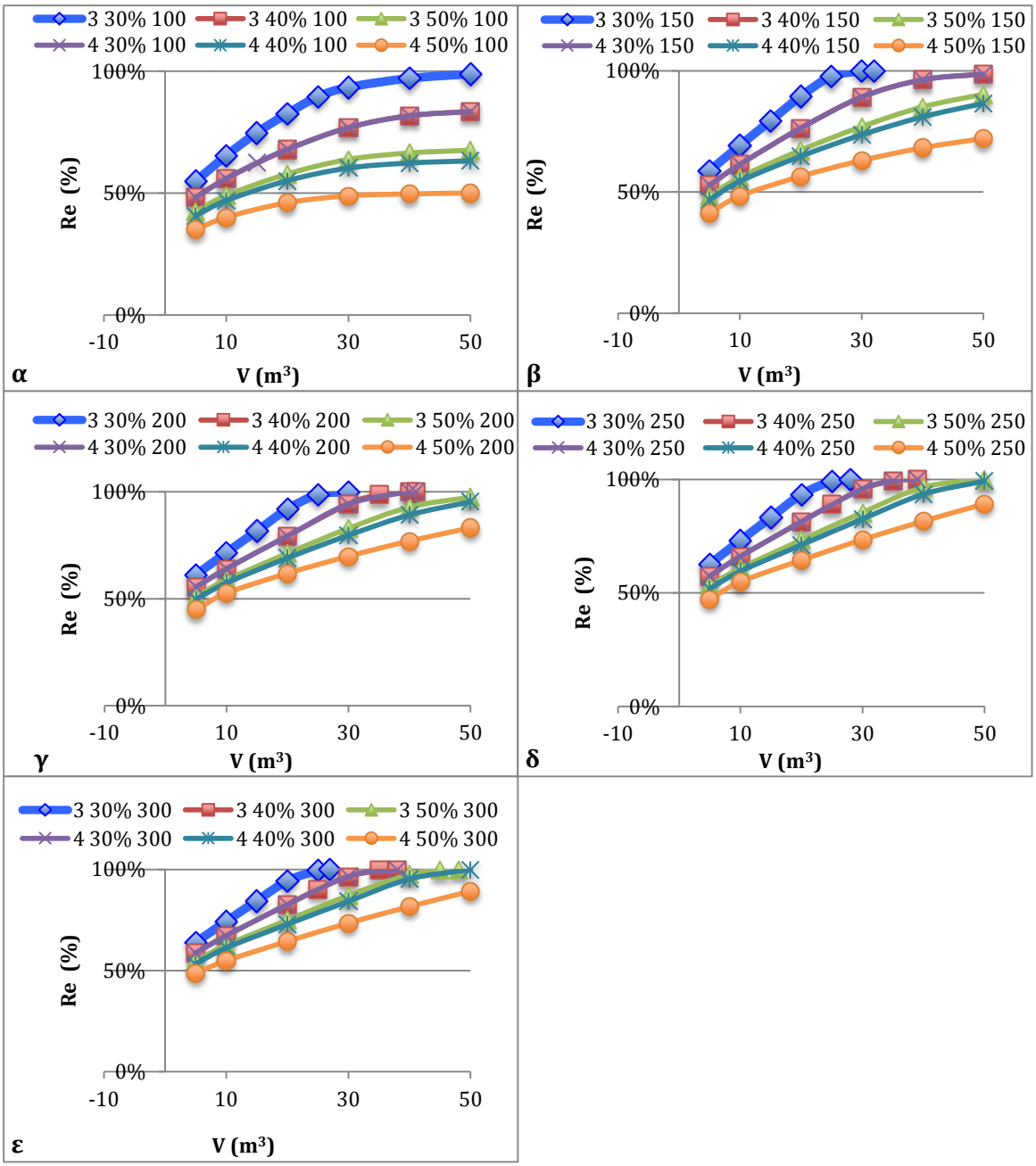
Αξιολογώντας τα αποτελέσματα εφαρμογής του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου στη Ρόδο (Σχήματα 6.24α-ζ), φαίνεται πως τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας είναι 35% έως 100% για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Το χαμηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας (35%) παρατηρείται στο υψηλό επίπεδο ζήτησης (50% των 4 κατοίκων) στο οποίο η αξιοπιστία φτάνει στο 90% για επιφάνεια 300 m^2 και όγκο 50 m^3.

Χαρακτηριστικό είναι το επόμενο διαγράμμα (Σχήμα 6.25) όπου αναπαριστά γραφικά τα ποσοστά αξιοπιστίας και τον όγκο νερού που απαιτείται από το δημόσιο δίκτυο, συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για τη μικρότερη επιφάνεια συλλογής (100 m^2) και για όλα τα εξεταζόμενα επίπεδα ζήτησης.



Σχήμα 6.25: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) και αθροιστικό όγκος νερού του δικτύου για σύστημα συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 κατοίκων και επιφάνεια συλλογής 100 m^2.

Είναι φανερό ότι η απαίτηση νερού από το δίκτυο αυξάνει όσο μικραίνει η αξιοπιστία του συστήματος συλλογής ομβρίων. Συγκεκριμένα, για το επίπεδο της υψηλής ζήτησης (50%) η αξιοπιστία κυμαίνεται από 42% έως 67% και η απαίτηση νερού από το δίκτυο είναι μεγάλη (Σχήμα 6.25). Η μικρή επιφάνεια (100 m^2) αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην ικανοποίηση της μεγάλης ζήτησης ανεξαρτήτως της αύξησης του όγκου ομβροδεξαμενής. Ο όγκος νερού που απαιτείται από το δίκτυο κυμαίνεται από 1061 m^3 έως 600 m^3 για την υψηλή ζήτηση (50%) και από 500 m^3 έως 0 m^3 για τη χαμηλή ζήτηση (30%).

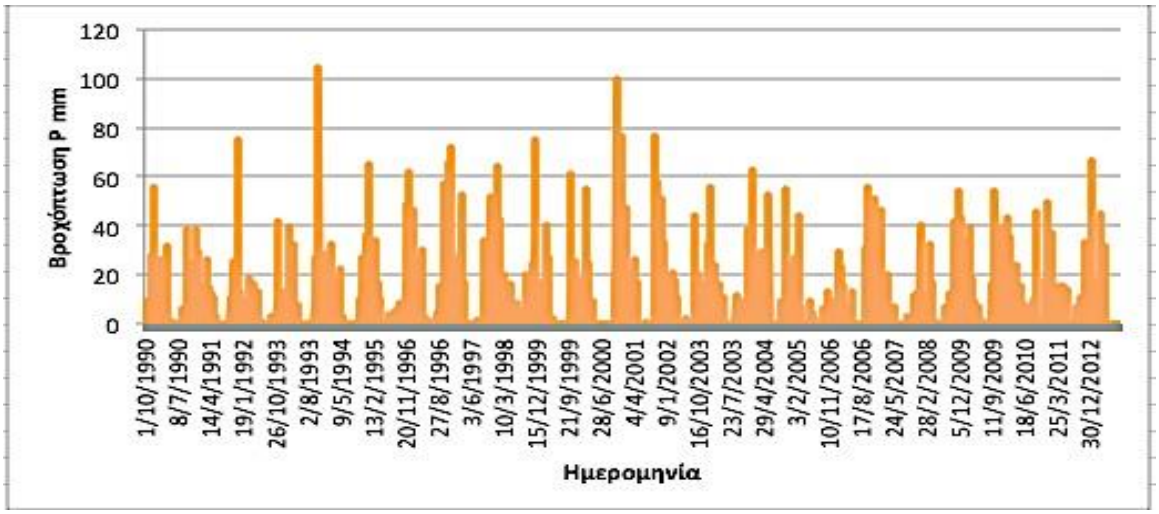


Σχήματα 6.26α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Στα Σχήματα 6.26α-ε φαίνεται ότι τα όρια της αξιοποιστίας στο σενάριο Β για όλα τα εξεταζόμενα επίπεδα ζήτησης και επιφάνειες κυμαίνονται από 34% έως 80%. Για την περίπτωση της μικρής επιφάνειας των 100 m^2 (Σχήμα 6.26α), παρατηρούμε μικρή μεταβολή αξιοπιστίας του συστήματος για δεξαμενές μεγαλύτερες των 15 m^3 στην υψηλή ζήτηση (Re=46%). Σε αντίθεση, η ικανοποίηση του 50% των αναγκών για μεγάλες επιφάνειες δίνει ποσοστά αξιοπιστίας μεγαλύτερα κατά 20% για την ίδια τιμή όγκου δεξαμενής (Σχήμα 6.26ε). Γενικά, τα επίπεδα αξιοπιστίας αυξάνονται για μεγάλες επιφάνειες (250-300 m^2) και μεγάλους όγκους δεξαμενών.

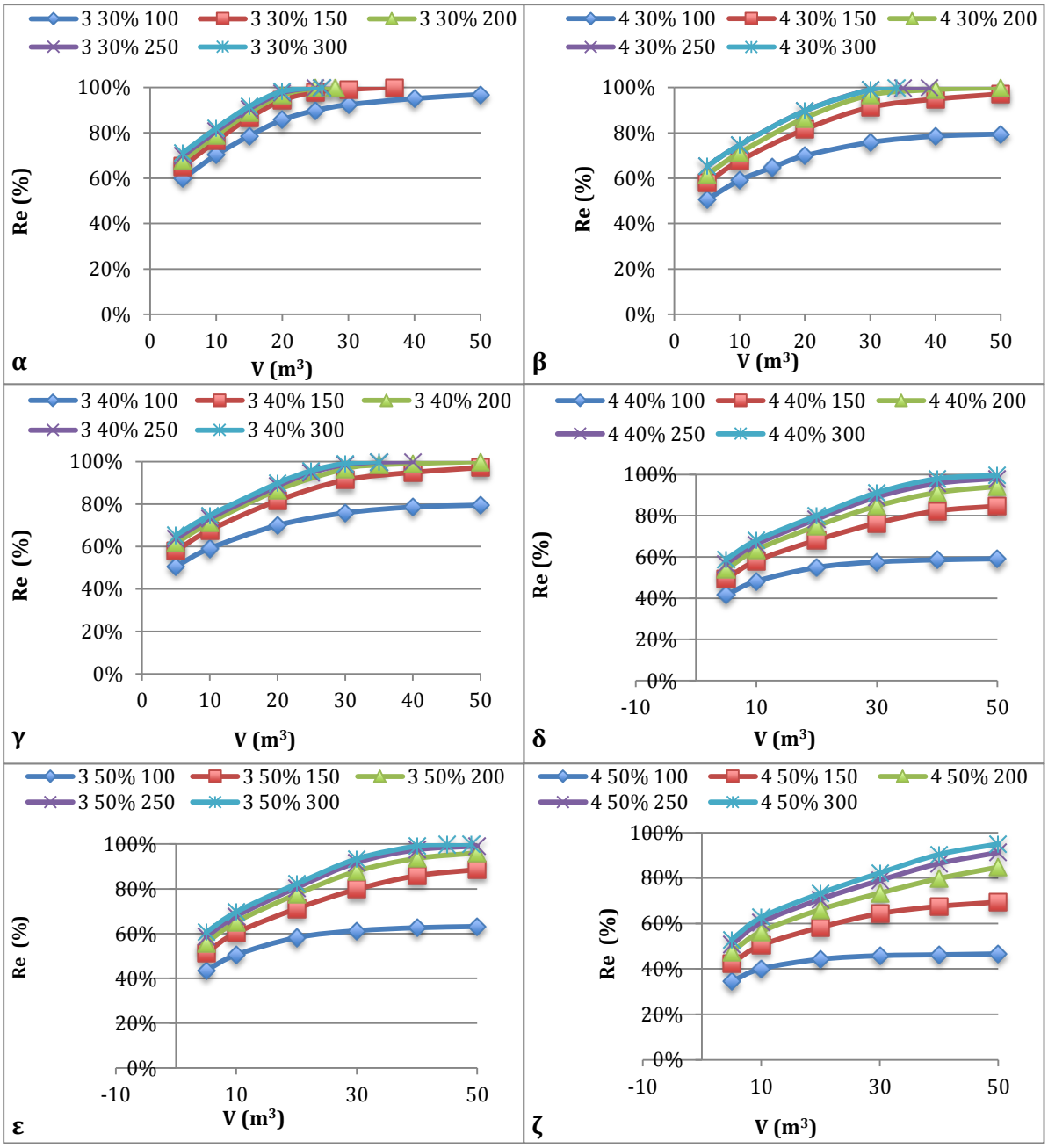
6.9. Λέσβος

Στο Σχήμα 6.27 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 104.4 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m=587 mm.



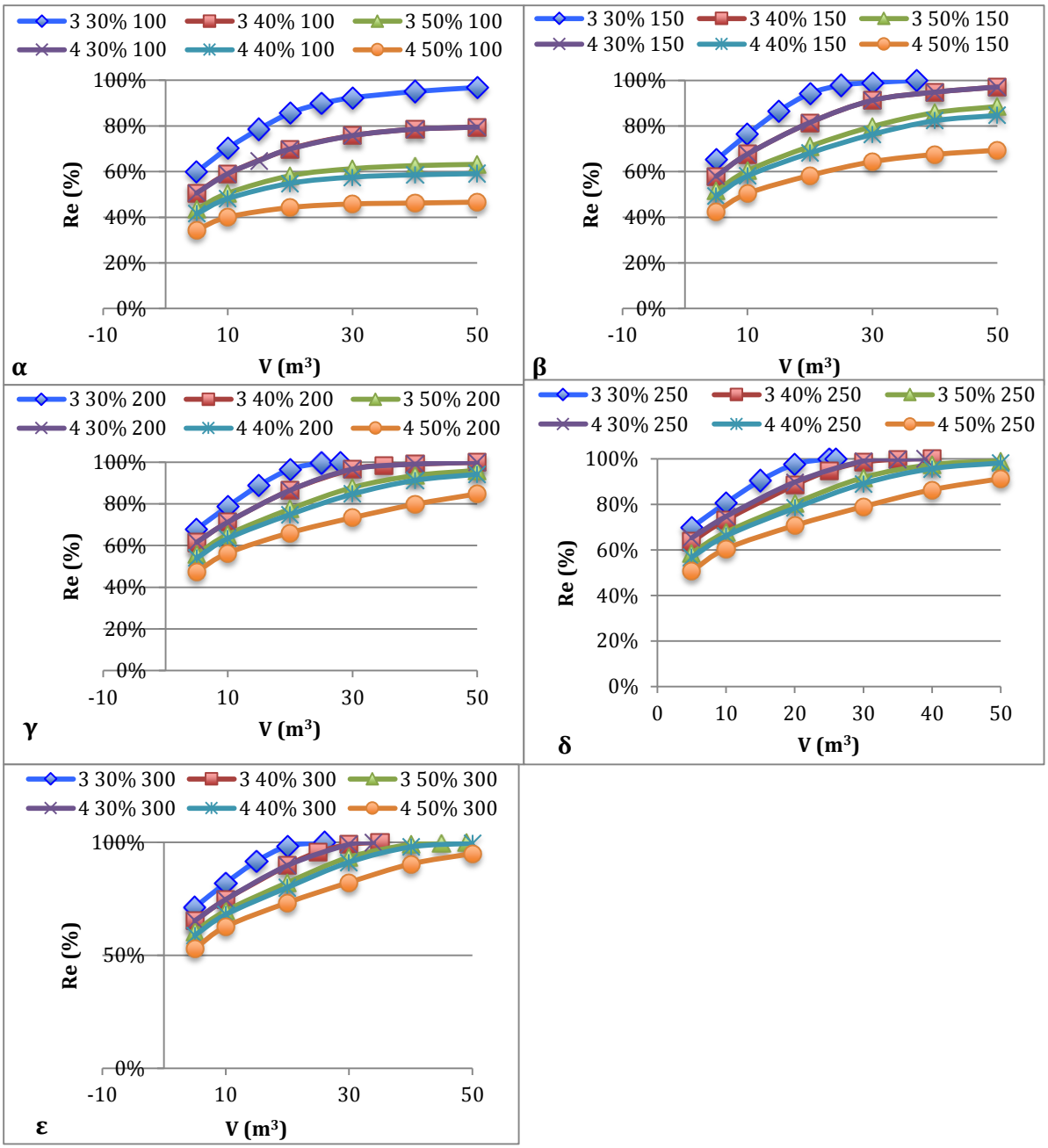
Σχήμα 6.27: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Λέσβου.

Στα Σχήματα 6.28α-ζ και 6.29α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για τη Λέσβο για τη χρονική περίοδο 1990-2012:



Σχήματα 6.28α-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 και 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Στην Λέσβο, όπως φαίνεται στα σχήματα 6.28α-ζ, τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας, για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι 34% έως 100%. Συγκεκριμένα, η αξιοπιστία φτάνει το 100% τόσο στη περιπτώση χαμηλής ζήτησης (30% των 3 κατοίκων) – χαμηλής επιφάνειας (150 m^2) όσο και στη περίπτωση υψηλής ζήτησης (40% των 4 κατοίκων) – υψηλής επιφάνειας (300 m^2) και μόνο για μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενής (μεγαλύτερους των 37 m^3). Το χαμηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας (34%) παρατηρείται στο υψηλό επίπεδο ζήτησης (50% των 4 κατοίκων), στο οποίο η αξιοπιστία δεν ξεπερνά το 95% ακόμη και για επιφάνεια 300 m^2 και όγκο 50 m^3.

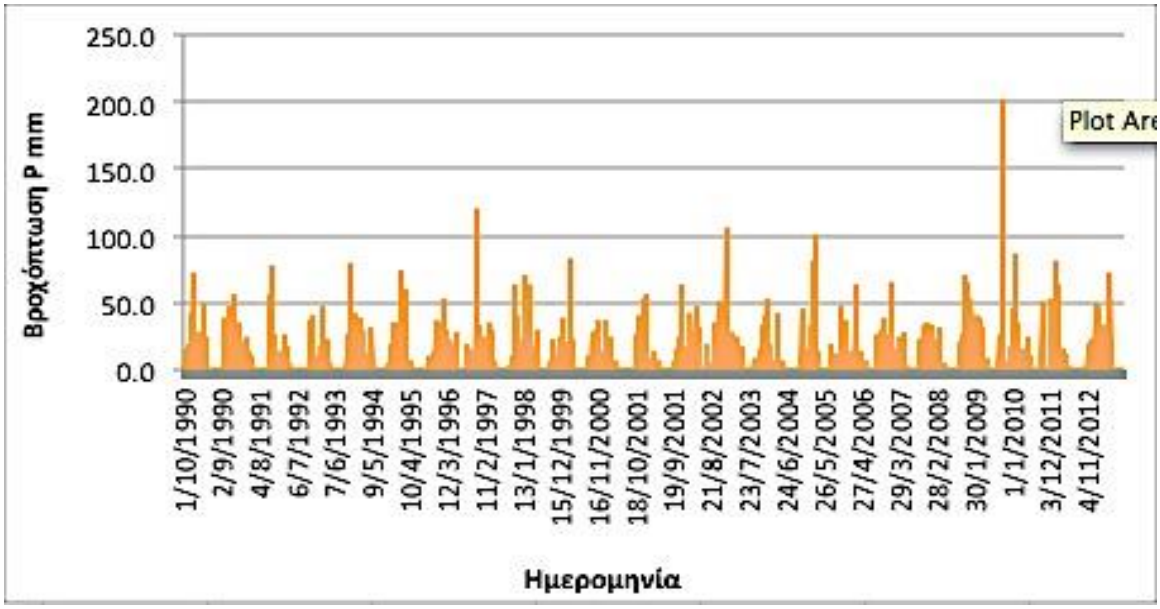


Σχήματα 6.29α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Στα Σχήματα 6.29α-ε παρατηρούμε ότι η αξιοπιστία μειώνεται με τη αύξηση του επιπέδου ζήτησης και αυξάνεται με την αύξηση της επιφάνειας, για όλους τους όγκους που μελετήθηκαν.

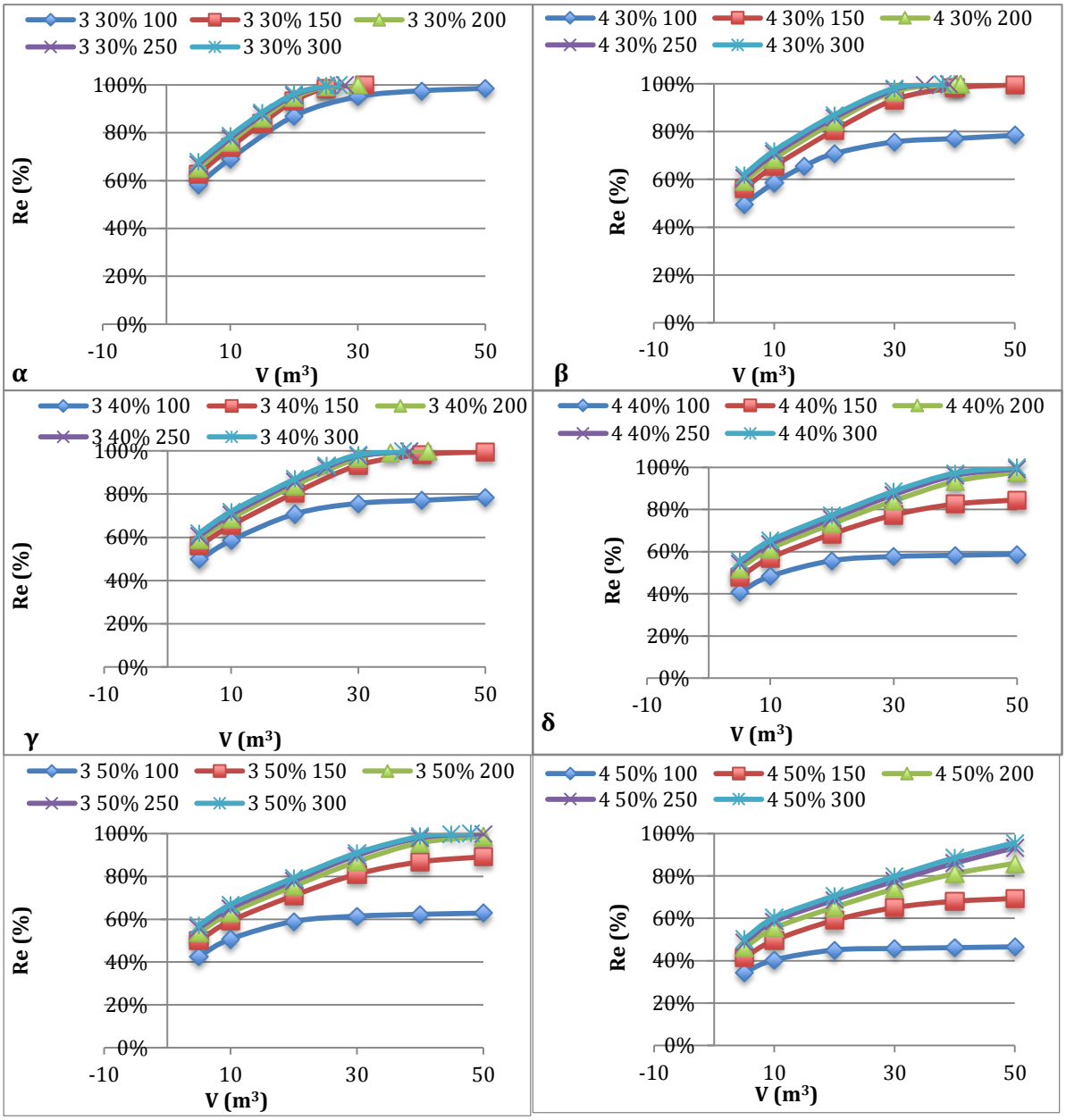
6.10. Χίος

Στο Σχήμα 6.30 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 201 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m=582.3 mm.



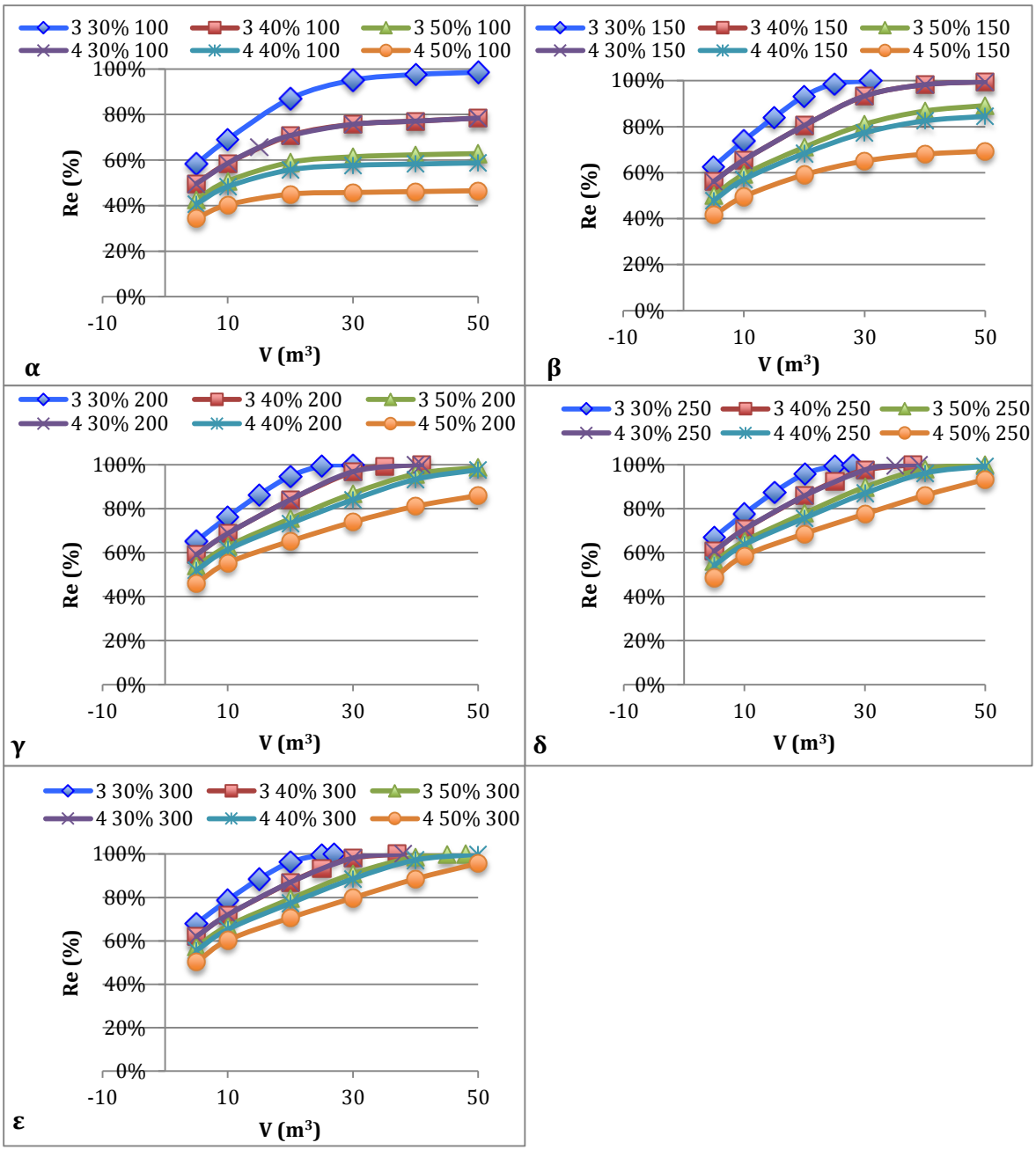
Σχήμα 6.30: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Χίου.

Στα Σχήματα 6.31α-ζ και 6.32α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για τη Χίο για τη χρονική περίοδο 1990-2012:



Σχήματα 6.31α-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 και 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Στην Χίο, όπως φαίνεται στα σχήματα 6.31α-ζ, τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας, για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι 34% έως 100%. Συγκεκριμένα, η αξιοπιστία φτάνει το 100% τόσο στη περιπτώση χαμηλής ζήτησης (30% των 3 κατοίκων) – χαμηλής επιφάνειας (150 m^2) όσο και στη περίπτωση υψηλής ζήτησης (40% των 4 κατοίκων) – υψηλής επιφάνειας (300 m2) και μόνο για μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενής (μεγαλύτερους των 30 m^3). Το χαμηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας (34%) παρατηρείται στο υψηλό επίπεδο ζήτησης (50% των 4 κατοίκων), στο οποίο η αξιοπιστία δεν ξεπερνά το 96% ακόμη και για επιφάνεια 300 m^2 και όγκο 50 m^3.

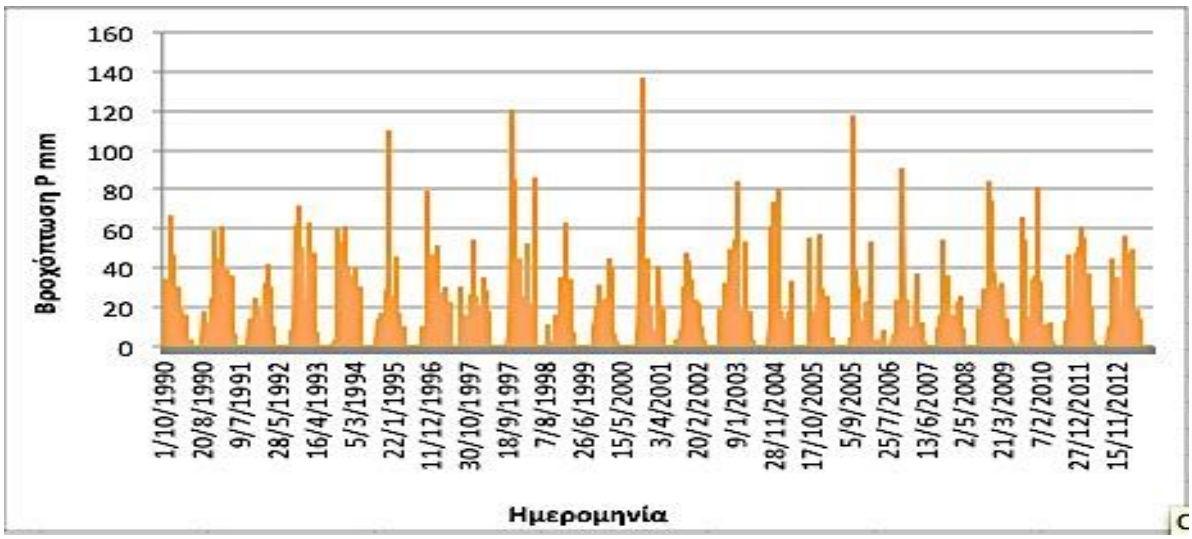


Σχήματα 6.32α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Στα Σχήματα 6.32α- ε παρατηρούμε ότι η αξιοπιστία μειώνεται με τη αύξηση του επιπέδου ζήτησης και αυξάνεται με την αύξηση της επιφάνειας, για όλους τους όγκους που μελετήθηκαν.

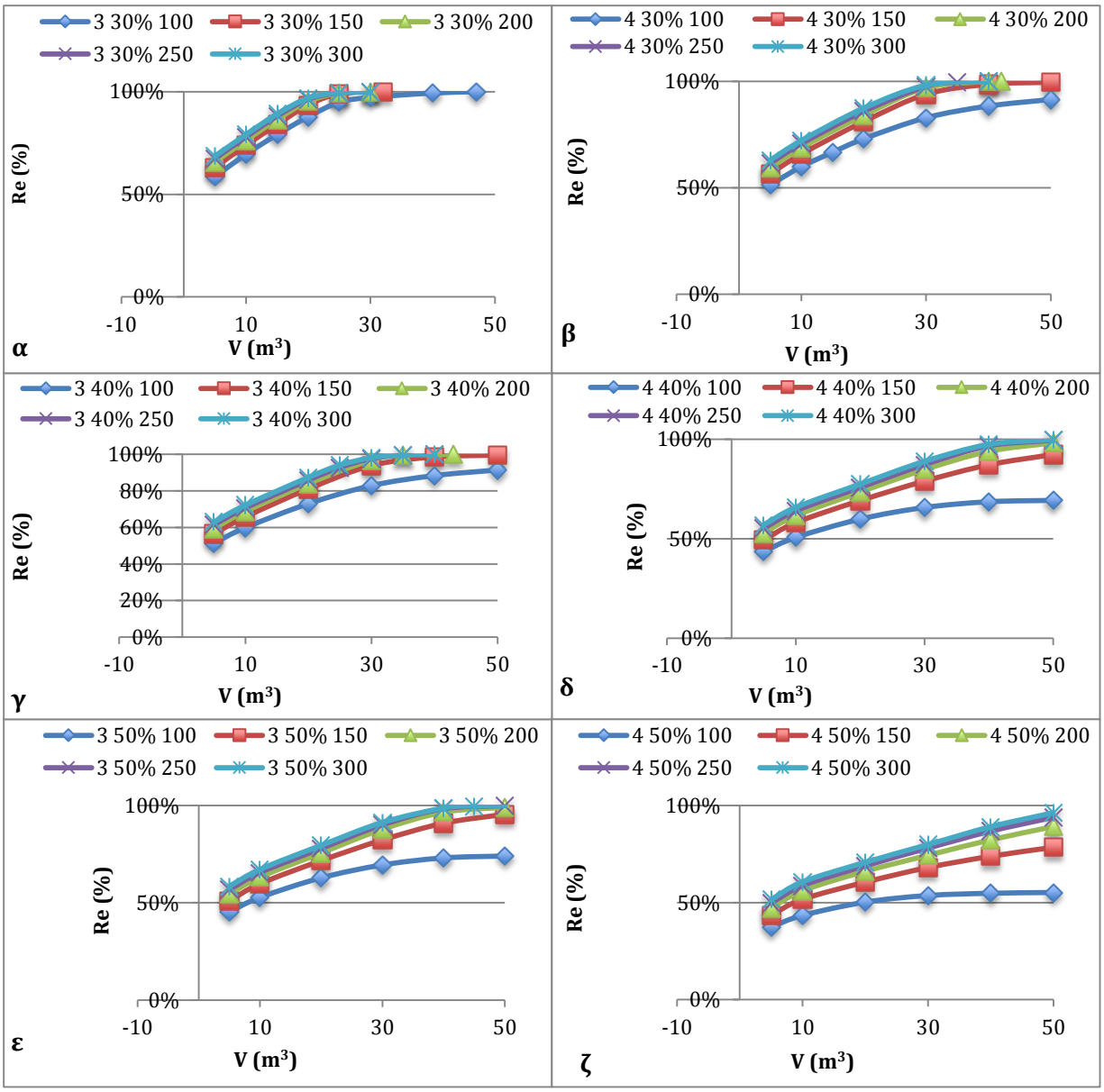
6.11. Σάμος

Στο Σχήμα 6.33 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 136.1 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m= 685.1 mm.



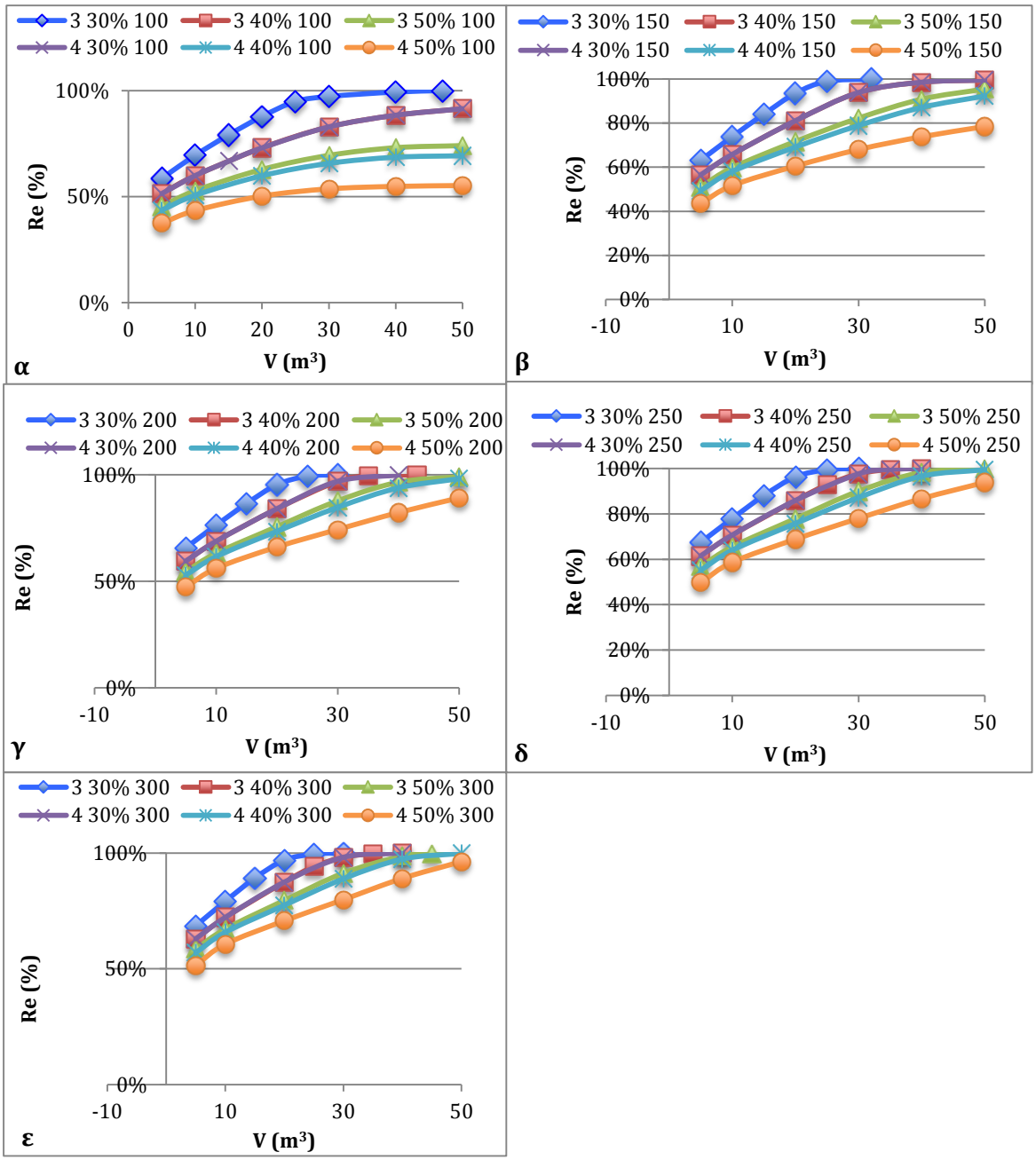
Σχήμα 6.33: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Σάμου.

Στα επόμενα Σχήματα 6.34 α-ζ και 6.35 α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για τη Σάμο για τη χρονική περίοδο 1990-2012:



Σχήματα 6.34 α-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 και 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Στην Σάμο, όπως φαίνεται στα σχήματα 6.34 α-ζ, τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας, για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι 37% έως 100%. Συγκεκριμένα, η αξιοπιστία φτάνει το 100% τόσο στη περιπτώση χαμηλής ζήτησης (30% των 3 κατοίκων) – χαμηλής επιφάνειας (100 m^2) όσο και στη περίπτωση υψηλής ζήτησης (40% των 4 κατοίκων) – υψηλής επιφάνειας (300 m^2) και μόνο για μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενής (μεγαλύτερους των 25 μ3). Το χαμηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας (37%) παρατηρείται στο υψηλό επίπεδο ζήτησης (50% των 4 κατοίκων), στο οποίο η αξιοπιστία δεν ξεπερνά το 96% ακόμη και για επιφάνεια 300 m^2 και όγκο 50 m^3.

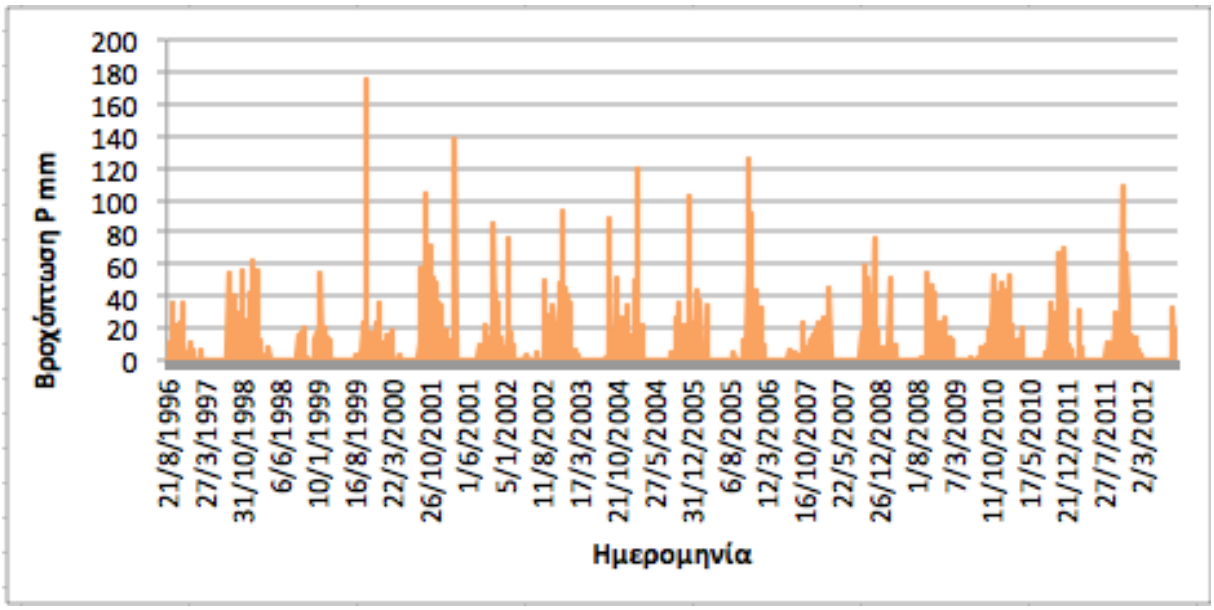


Σχήματα 6.35α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Στα Σχήματα 6.35α- ε παρατηρούμε ότι η αξιοπιστία μειώνεται με τη αύξηση του επιπέδου ζήτησης και αυξάνεται με την αύξηση της επιφάνειας, για όλους τους όγκους που μελετήθηκαν.

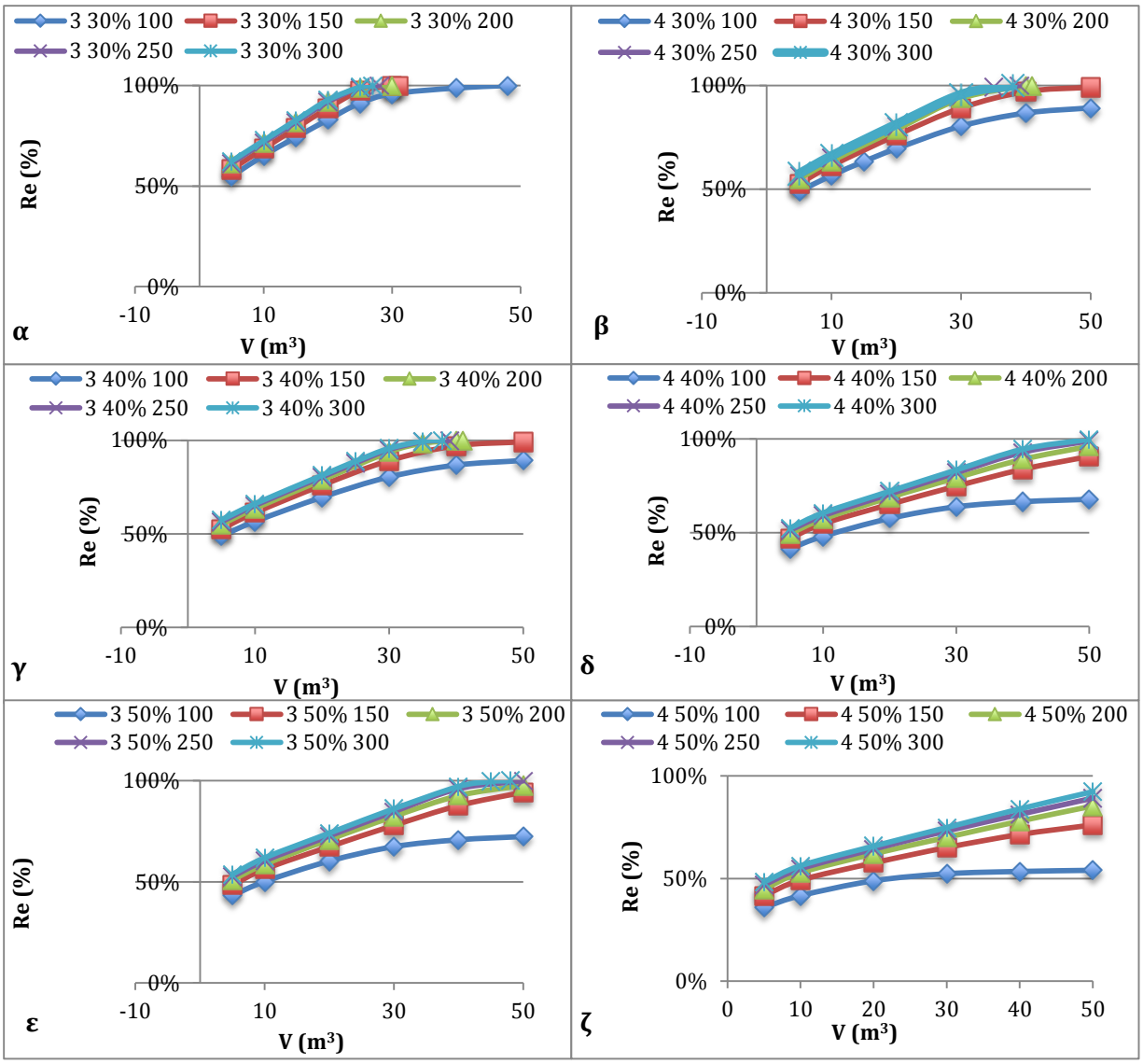
6.12. Ικαρία

Στο Σχήμα 6.36 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 174.7 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m=654.2.mm.



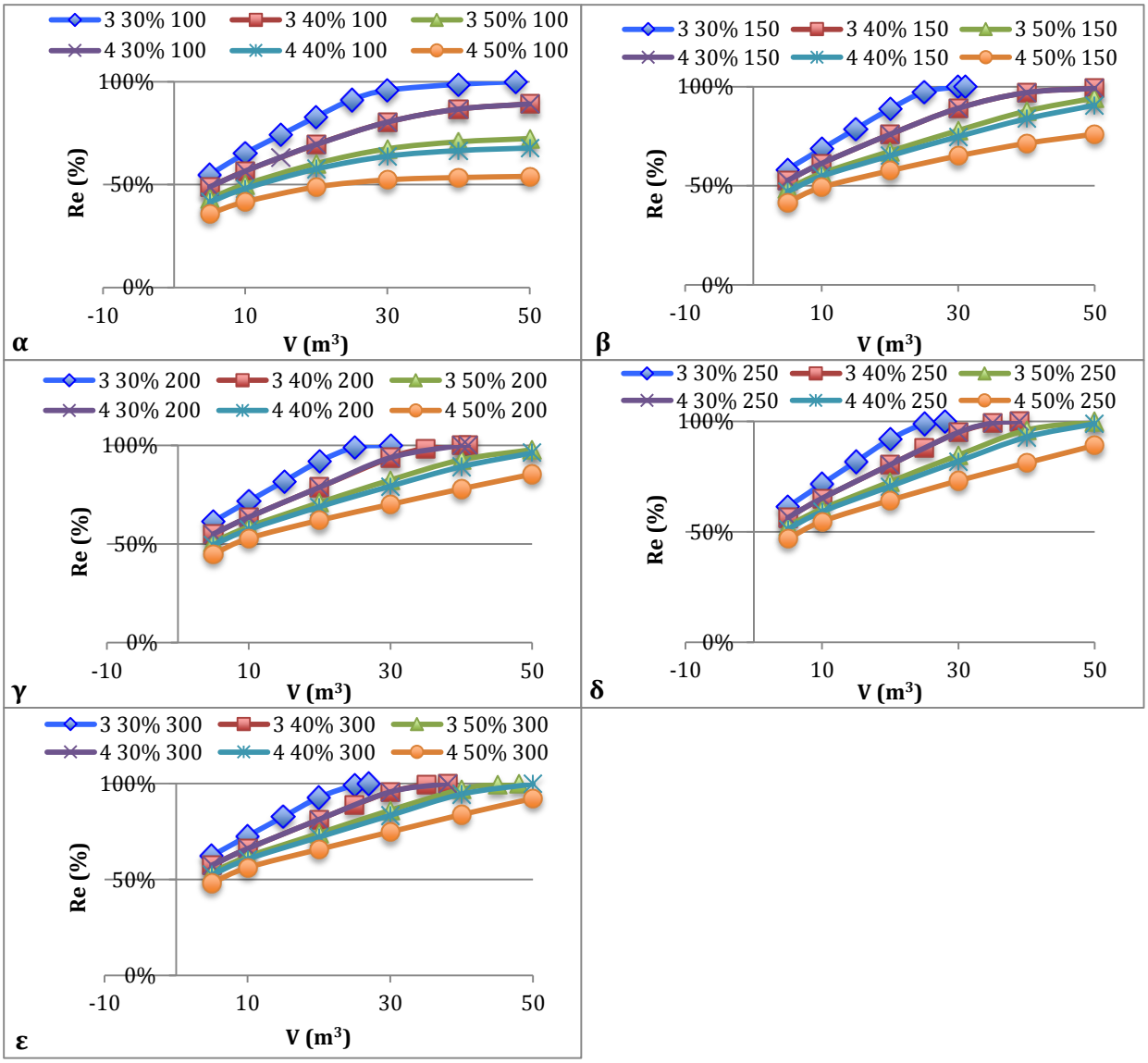
Σχήμα 6.36: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 16 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Ικαρίας.

Στα Σχήματα 6.37α-ζ και 6.38α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για την Ικαρία για τη χρονική περίοδο 1996-2012:



Σχήματα 6.37α-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 και 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Στην Ικαρία, όπως φαίνεται στα Σχήματα 6.37α-ζ, τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας, για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι 36% έως 100%. Συγκεκριμένα, η αξιοπιστία φτάνει το 100% τόσο στη περιπτώση χαμηλής ζήτησης (30% των 3 κατοίκων) – χαμηλής επιφάνειας (100 m^2) όσο και στη περίπτωση υψηλής ζήτησης (40% των 4 κατοίκων) – υψηλής επιφάνειας (300 m^2) και μόνο για μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενής (μεγαλύτερους των 27 m^3). Το χαμηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας (36%) παρατηρείται στο υψηλό επίπεδο ζήτησης (50% των 4 κατοίκων), στο οποίο η αξιοπιστία δεν ξεπερνά το 92% ακόμη και για επιφάνεια 300 m^2 και όγκο 50 m^3.

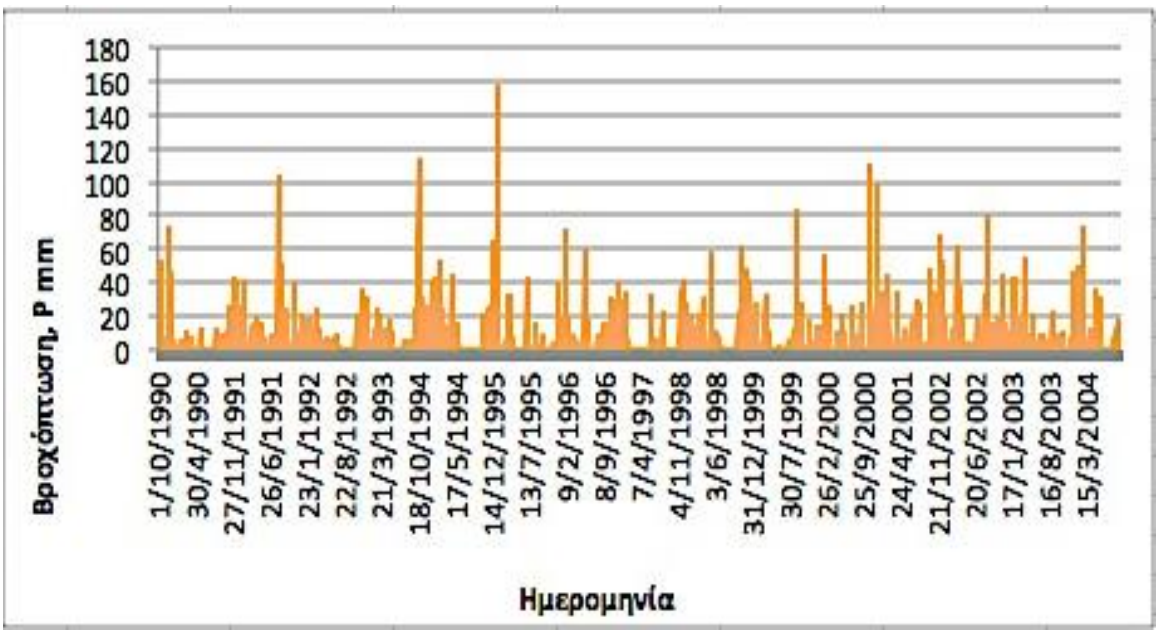


Σχήμα 6.38α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Στα Σχήματα 6.38α- ε παρατηρούμε ότι η αξιοπιστία μειώνεται με τη αύξηση του επιπέδου ζήτησης και αυξάνεται με την αύξηση της επιφάνειας, για όλους τους όγκους που μελετήθηκαν

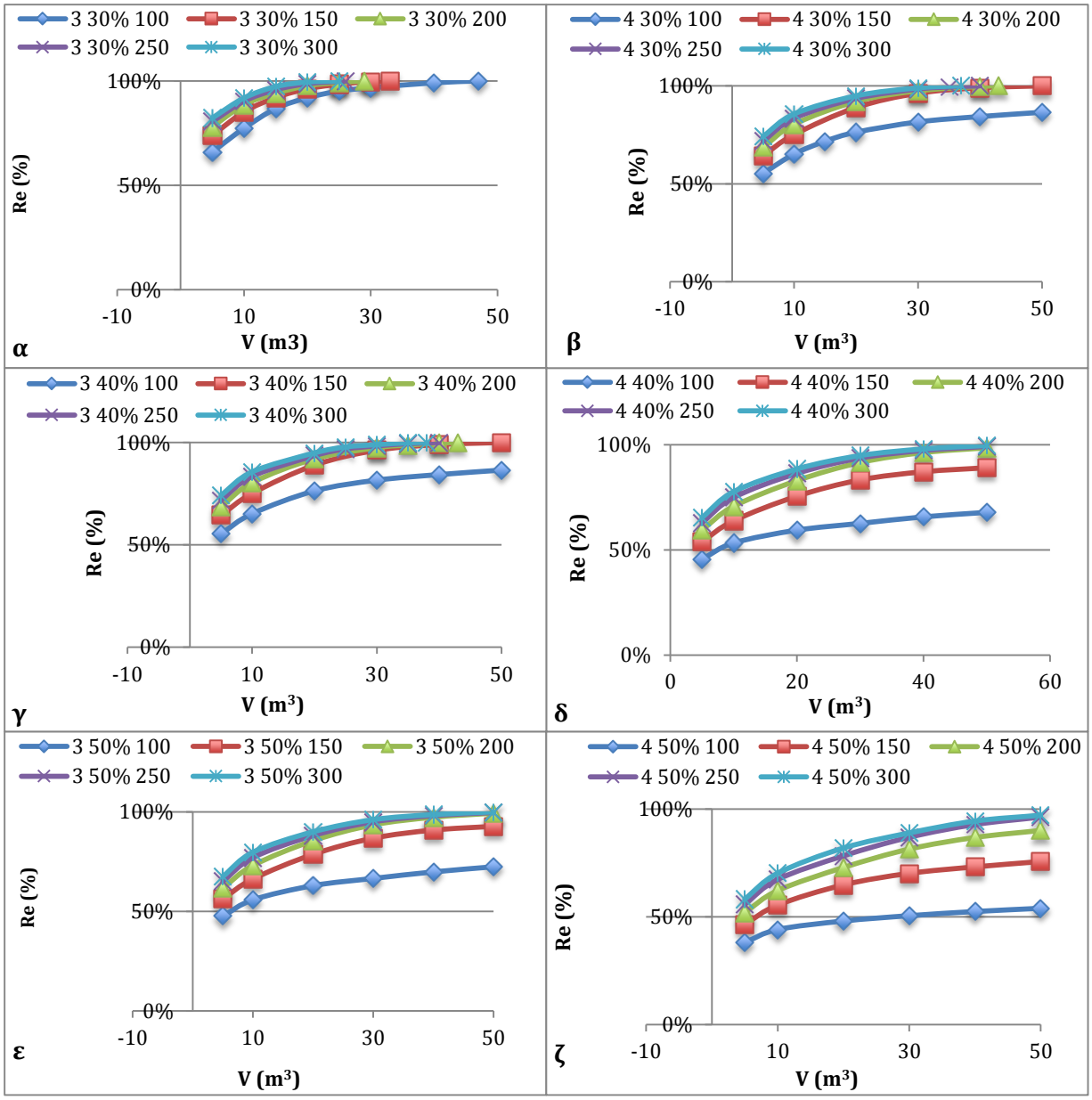
6.13. Σκιάθος

Στο Σχήμα 6.39 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 155.8 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m=666.2 mm.



Σχήμα 6.39: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 14 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Σκιάθου.

Στα Σχήματα 6.40α-ζ και 6.41α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για τη Σκιάθο για τη χρονική περίοδο 1990-2004:

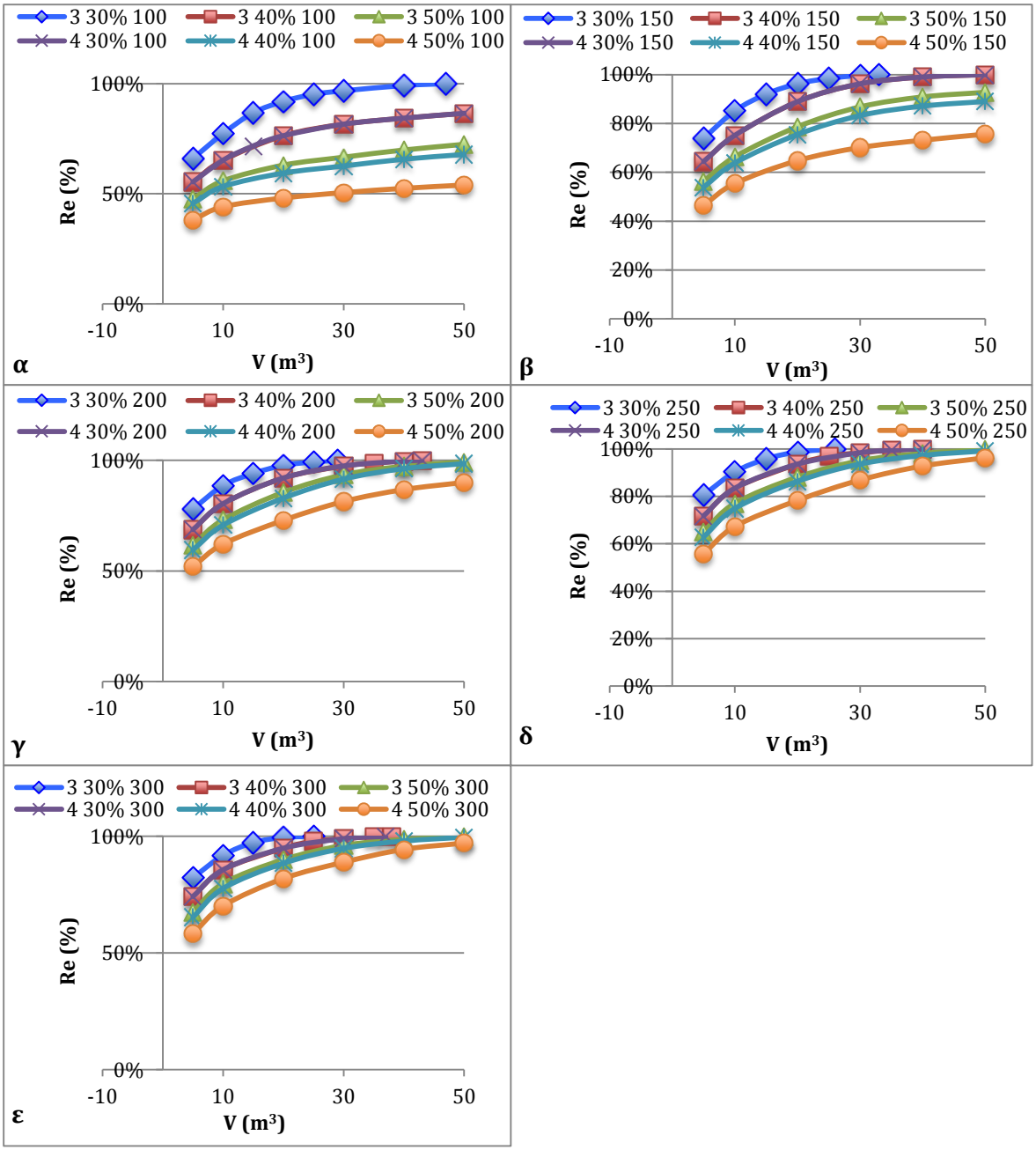


Σχήματα 6.40α-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 και 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα του σεναρίου Α (Σχήμα 6.40α-ζ) φαίνεται πως τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας είναι 38% έως 100% για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

Συγκεκριμένα, η αξιοπιστία φτάνει το 100% για όγκο δεξαμενής άνω των 25 m^3 και επιφάνειες από 100 m^2 για χαμηλή ζήτηση (135 L/d) ως 300 m^2 για υψηλή (240 L/d) ζήτηση.

Η τιμή της χαμηλής αξιοπιστίας αναφέρεται στο σενάριο της υψηλότερης ζήτησης (300 L/d) με τη χαμηλότερη επιφάνεια (100 m^2). Στο σενάριο αυτό η αξιοπιστία δεν ξεπερνά το 54%.

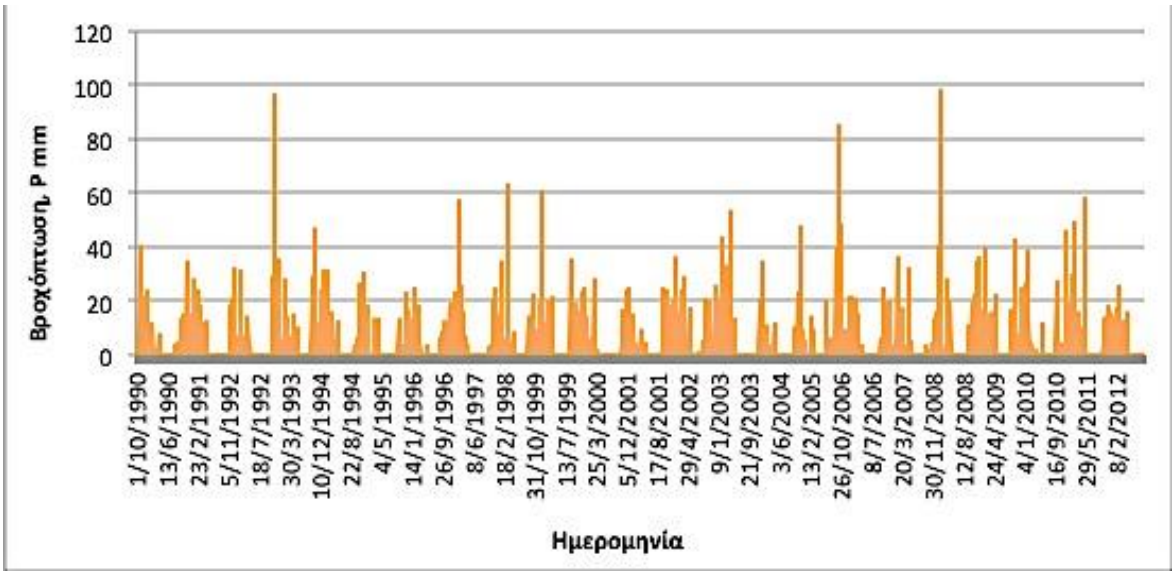


Σχήματα 6.41 α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστή ματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Στο σενάριο Β (Σχήματα 6.41 α-ε) παρατηρούμε ότι η αξιοπιστία μειώνεται με τη αύξηση του επιπέδου ζήτησης και αυξάνεται με την αύξηση της επιφάνειας, για όλους τους όγκους που μελετήθηκαν.

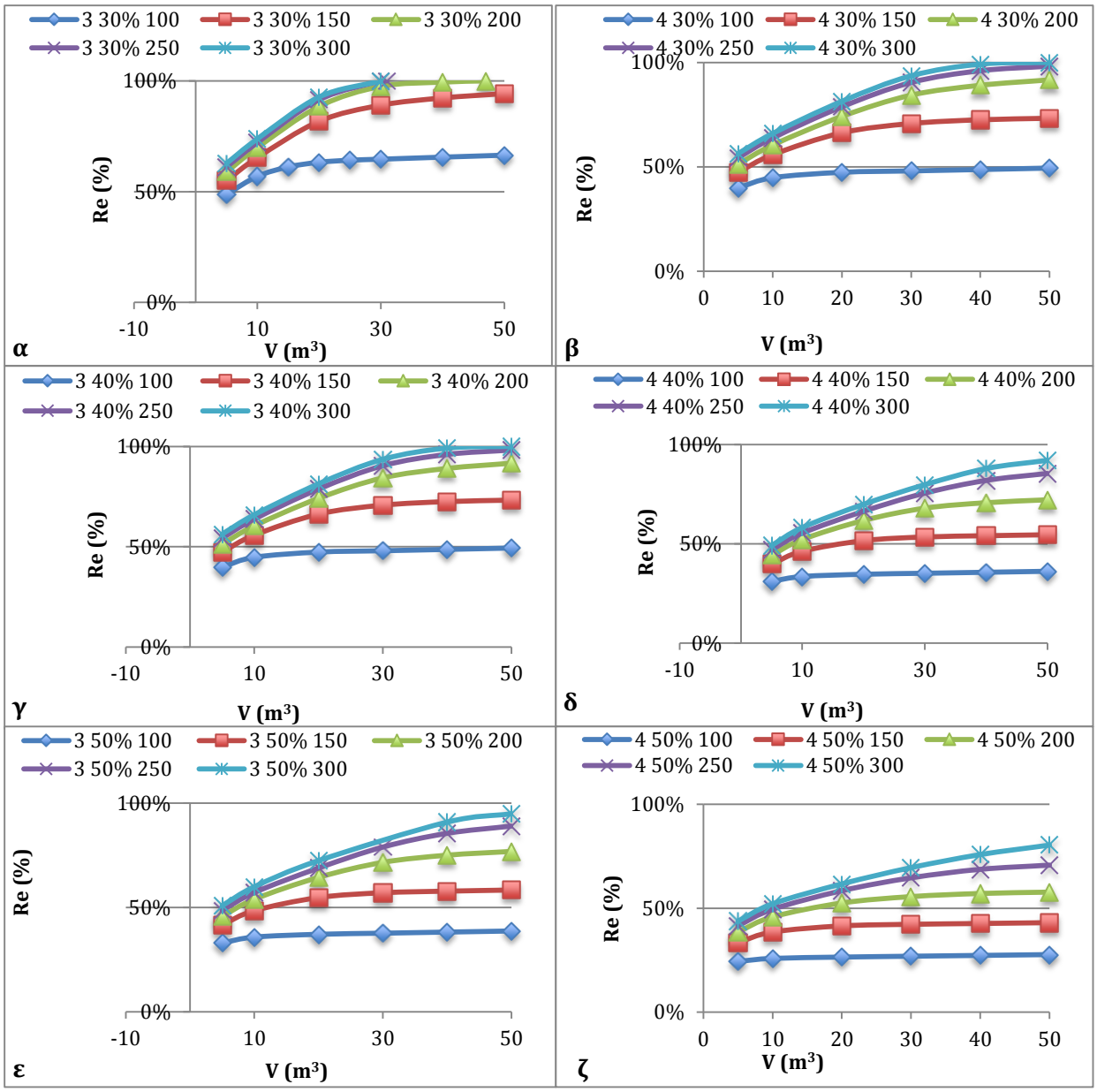
6.14. Νάξος

Στο Σχήμα 6.42 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 99.1 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m= 531.4 mm.



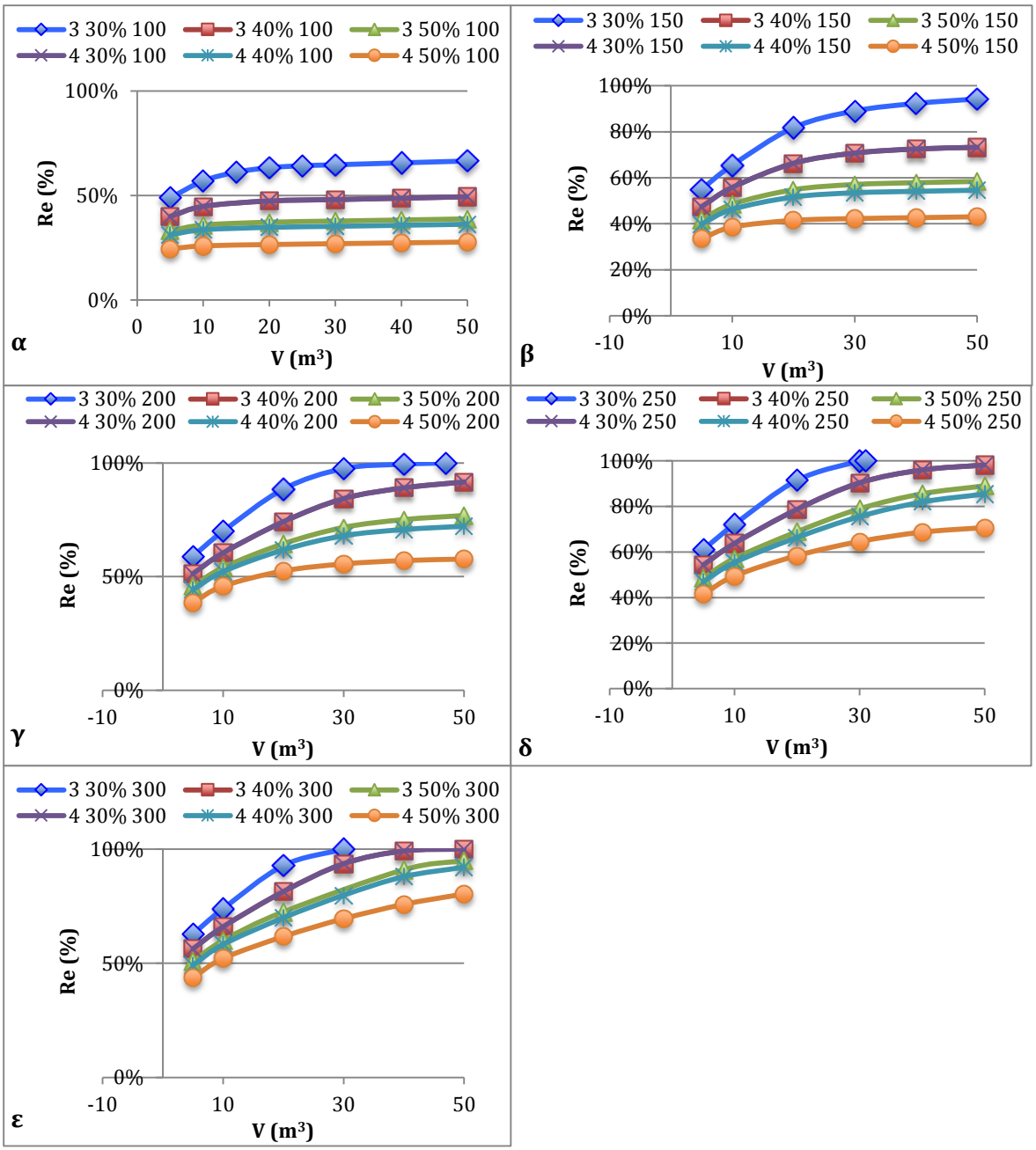
Σχήμα 6.42: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Νάξου.

Στα Σχήματα 6.43α-ζ και 6.44α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για τη Νάξο για τη χρονική περίοδο 1990-2012:



Σχήματα 6.43α-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 και 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα εφαρμογής του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου στη Νάξο (Σχήματα 6.43α-ζ), φαίνεται πως τα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας είναι 24% έως 100% για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Η αξιοπιστία του συστήματος συλλογής ομβρίων φτάνει το 100% μόνο στις περιπτώσεις χαμηλών επιπέδων ζήτησης (30%-40% των 3 κατοίκων, Σχήματα 6.43α-γ) και μόνο για μεγάλες επιφάνειες (250-300 m^2) και μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενής. Η χαμηλότερη αξιοπιστία (24%) παρατηρείται στην υψηλή ζήτηση (50% των 4 κατοίκων) όπου η αξιοπιστία φτάνει έως 80% για τη μέγιστη επιφάνεια (300 m^2) και όγκο δεξαμενής (50 m^3).

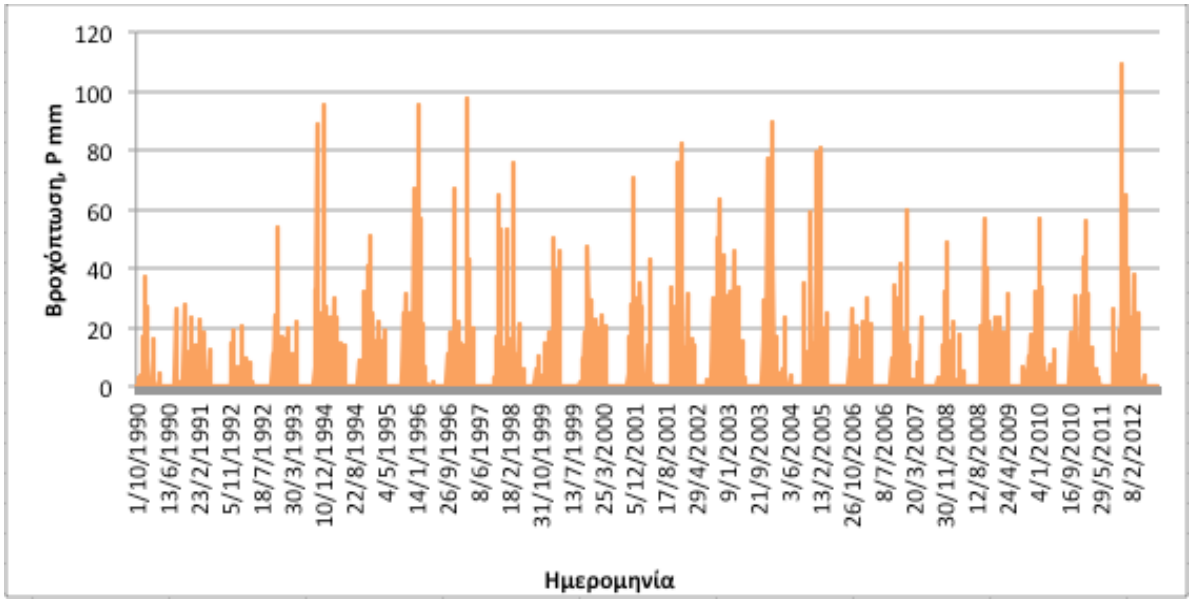


Σχήματα 6.44 α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Για όλα τα επίπεδα επιφάνειας συλλογής, η αξιοπιστία μειώνεται με την αύξηση του επιπέδου ζήτησης για όλους τους όγκους που εξετάστηκαν. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η επιφάνεια των 100 m^2 αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην ικανοποίηση όλων των επιπέδων ζήτησης αφού διατηρεί χαμηλά τα ποσοστά αξιοπιστίας (24% έως 66%) για όλους τους όγκους δεξαμενών που εξετάστηκαν. Αυτό οφείλεται στο χαμηλό ετήσιο ύψος βροχής του νησιού (531.4 mm).

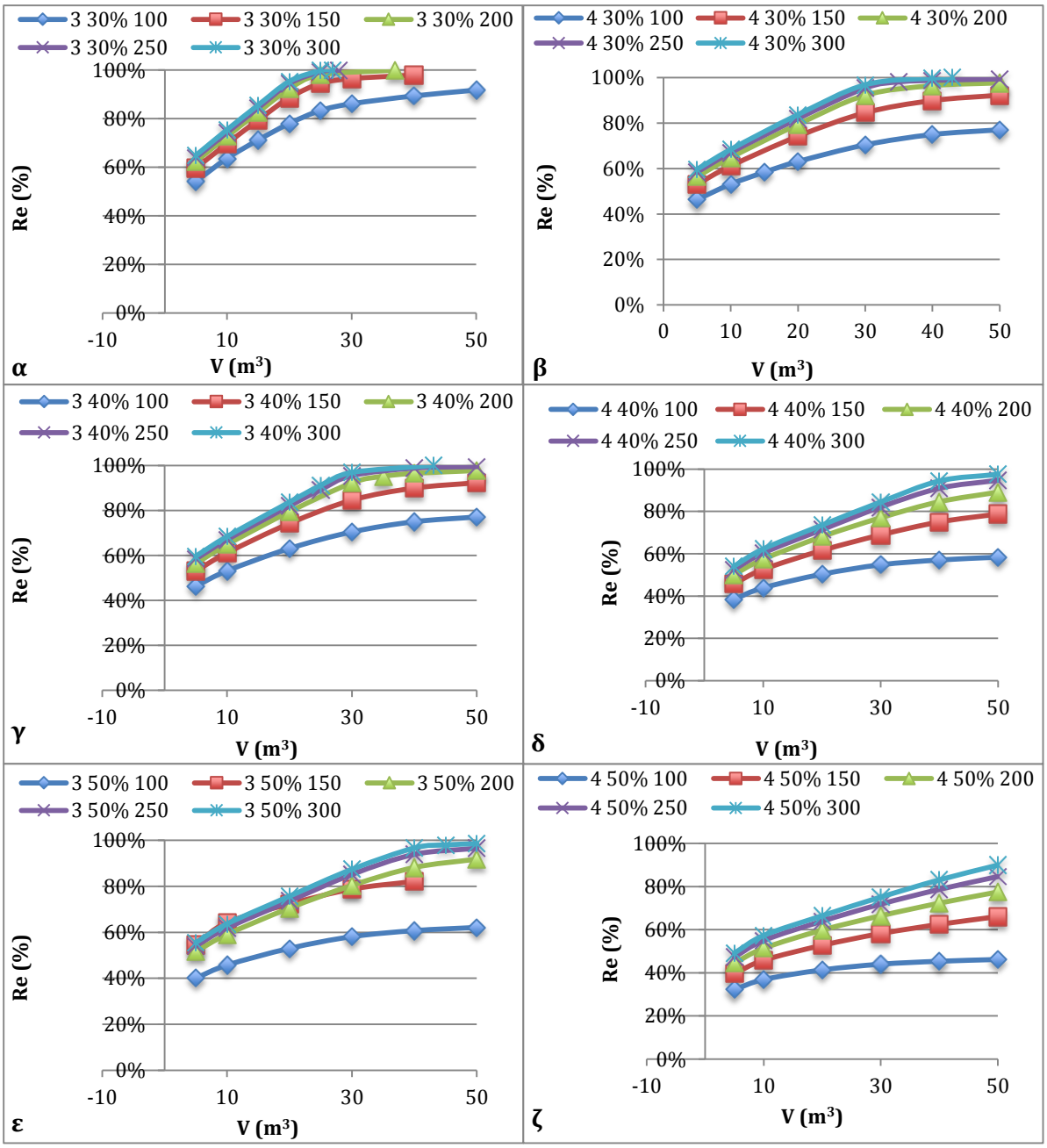
6.15. Κως

Στο Σχήμα 6.45 παρουσιάζονται τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, P_t, με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 108.9 mm και με μέσο ετήσιο ύψος βροχής P_m=563.2 mm.



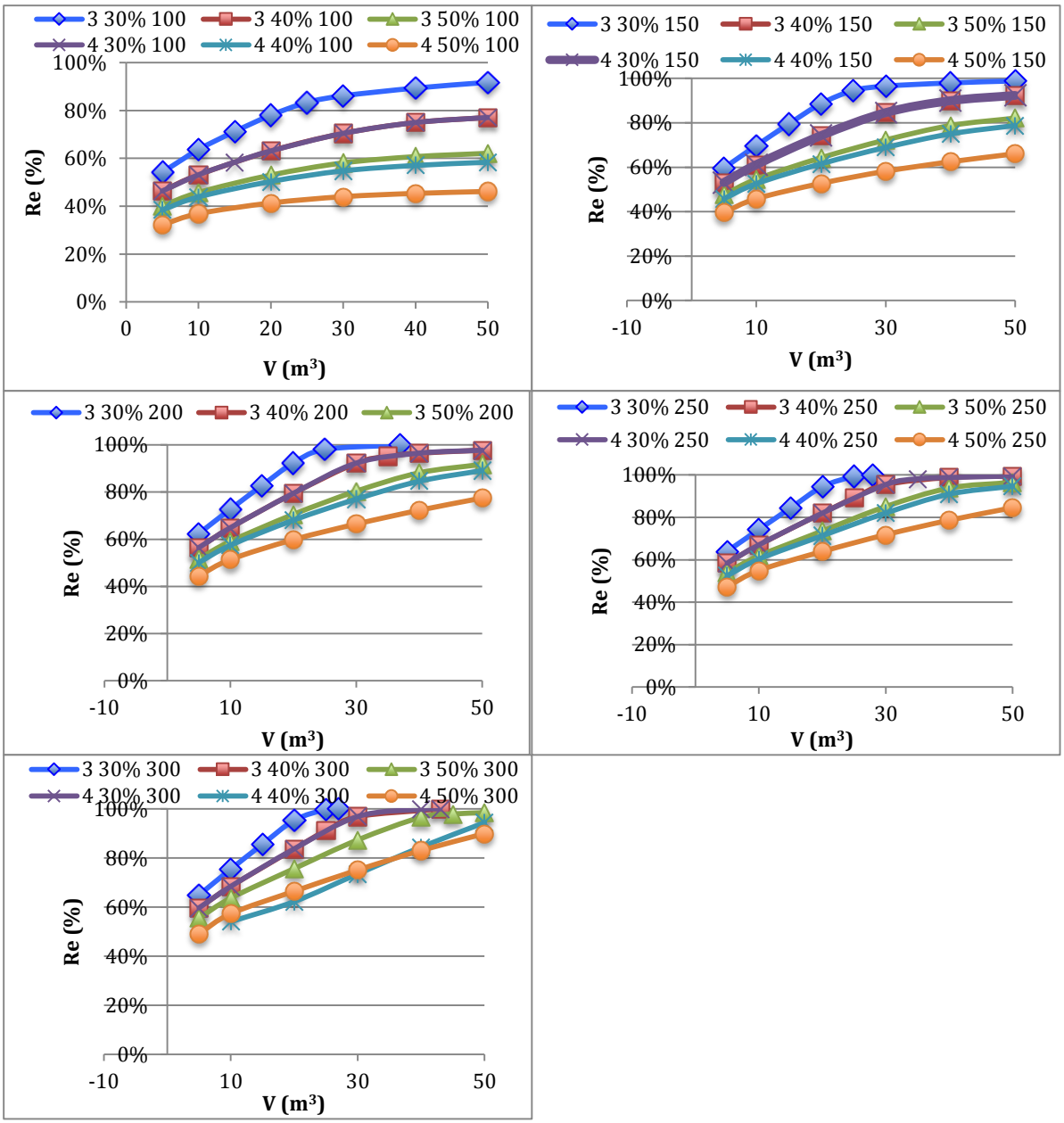
Σχήμα 6.45: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 22 ετών από το βροχομετρικό σταθμό ΕΜΥ της Κω.

Στα Σχήματα 6.46α-ζ και 6.47α-ε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια μελέτης που πραγματοποιήθηκαν για τη Νάξο για τη χρονική περίοδο 1990-2012:



Σχήματα 6.46α-ζ: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερά ποσοστά ζήτησης κάλυψης των αναγκών των 3 και 4 κατοίκων και επιφάνειες συλλογής που κυμαίνονται από 100 έως 300 m^2.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα αξιοπιστίας της Κω (Σχήματα 6.46α-ζ) φαίνεται πως η χαμηλή ζήτηση (30% των 3 και 4 κατοίκων) για όλες τις εξεταζόμενες επιφάνειες συλλογής ικανοποιείται με αξιοπιστία μεγαλύτερη του 45% φτάνοντας το 100% για επιφάνειες μεγαλύτερες των 200 m^2 (Σχήματα 6.46α,β). Αυξάνοντας τα ποσοστά ζήτησης, τα επίπεδα της αξιοπιστίας μειώνονται και η χαμηλότερη τιμή της (32%) παρατηρείται στην περίπτωση της υψηλότερης ζήτησης (50% των 4 κατοίκων), όπου τελικά η αξιοπιστία δεν ξεπερνά το 90% ακόμη και για επιφάνεια 300 m^2 και όγκο 50 m^3. Η αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία στις περιπτώσεις των μεγάλων επιφανειών συλλογής (>200 m^2).



Σχήματα 6.47 α-ε: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για σταθερή επιφάνεια συλλογής και μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Για όλα τα επίπεδα επιφάνειας συλλογής, η αξιοπιστία μειώνεται με την αύξηση του επιπέδου ζήτησης για όλους τους όγκους που εξετάστηκαν. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η επιφάνεια των 100 m^2 αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην ικανοποίηση όλων των επιπέδων ζήτησης, αφού διατηρεί χαμηλά τα ποσοστά αξιοπιστίας (32% έως 91%) για όλους τους όγκους δεξαμενών που εξετάστηκαν.

6.16. Συγκριτικά αποτελέσματα

Στα Σχήματα 6.48 έως 6.53 παρουσιάζονται συνολικά τα αποτελέσματα για τα 14 νησιά του Αιγαίου, με στόχο την ανάλυση της αποδοτικότητας συστήματος συλλογής ομβρίων για όγκους ομβροδεξαμενών από 5 έως 50 m^3. Οι περιπτώσεις που επιλέχτηκαν για αξιολόγηση αφορούν:

1. στην ικανοποίηση της ελάχιστης ζήτησης, του 30% των αναγκών των 3 κατοίκων (135 L/day), για επιφάνεια συλλογής 100, 200 και 300 m^2, και
2. στην ικανοποίηση της μέγιστης ζήτησης, του 50% των αναγκών των 4 κατοίκων (300 L/day), για επιφάνεια συλλογής 100, 200 και 300 m^2.

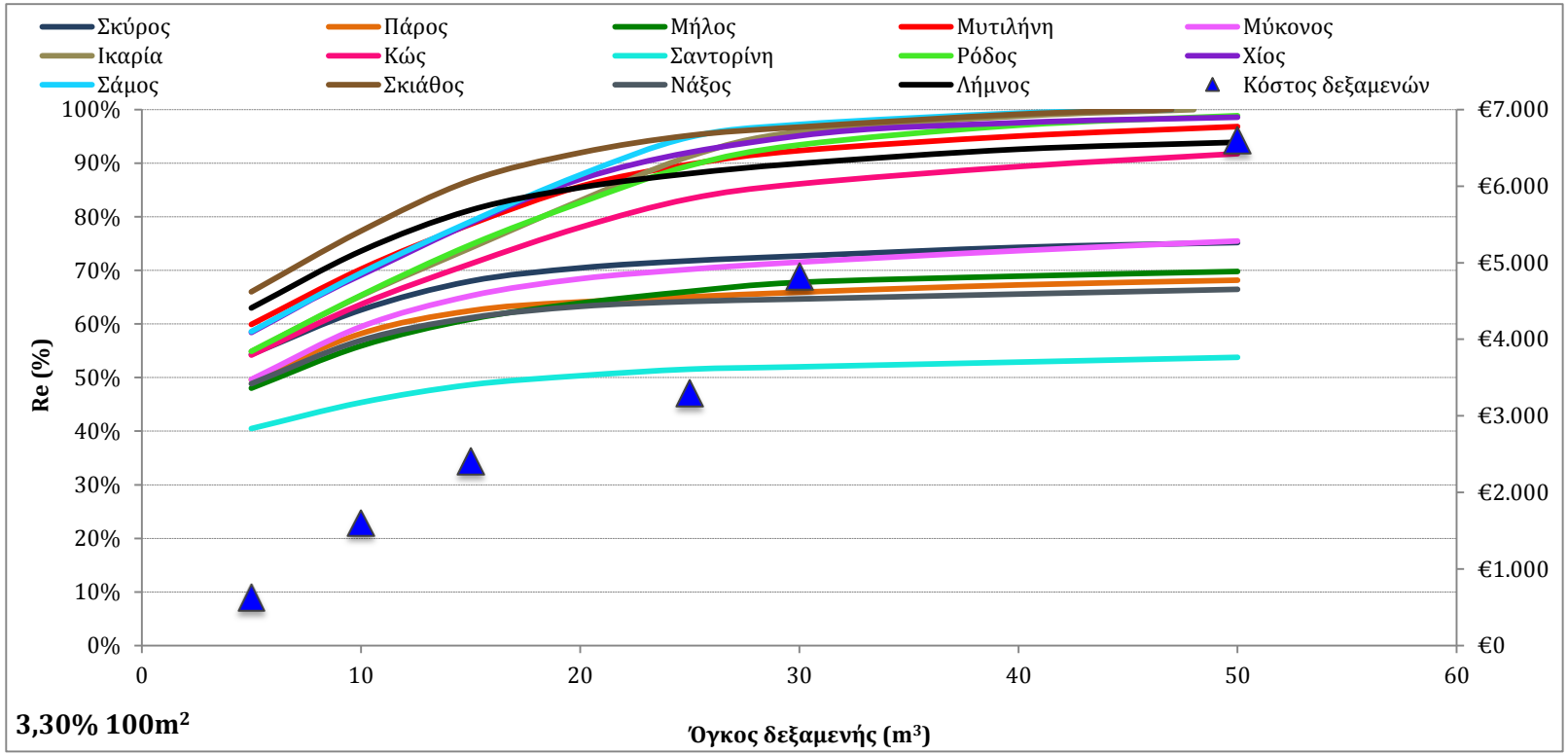
Επίσης, στα ίδια σχήματα δίνεται και η σχέση μεταξύ ενός ενδεικτικού κόστους αγοράς πλαστικών κυλινδρικών ομβροδεξαμενών και του όγκου των ομβροδεξαμενών.

Αξιολογώντας τις καμπύλες αξιοπιστίας του Σχήματος 6.48, είναι φανερό ότι για την ικανοποίηση της χαμηλής ζήτησης (135 L/day) με επιφάνεια συλλογής 100 m^2, τα νησιά των Κυκλάδων (Μήλος, Πάρος, Νάξος, Μύκονος, Σαντορίνη) παρουσιάζουν μικρότερες αξιοπιστίες σε σχέση με νησιά του Ανατολικού και Βόρειου Αιγαίου (Σκιάθος, Σκύρος, Λήμνος, Σάμος, Κώς, Λέσβος, Ικαρία, Χίος, Ρόδος). Συγκεκριμένα, τα υψηλότερα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας παρατηρούνται στη Σκιάθο (66% έως 100%) και τα χαμηλότερα στη Σαντορίνη (40% έως 53%) για διάφορα μεγέθη ομβροδεξαμενών (5 έως 50 m^3) (Σχήμα 6.48).

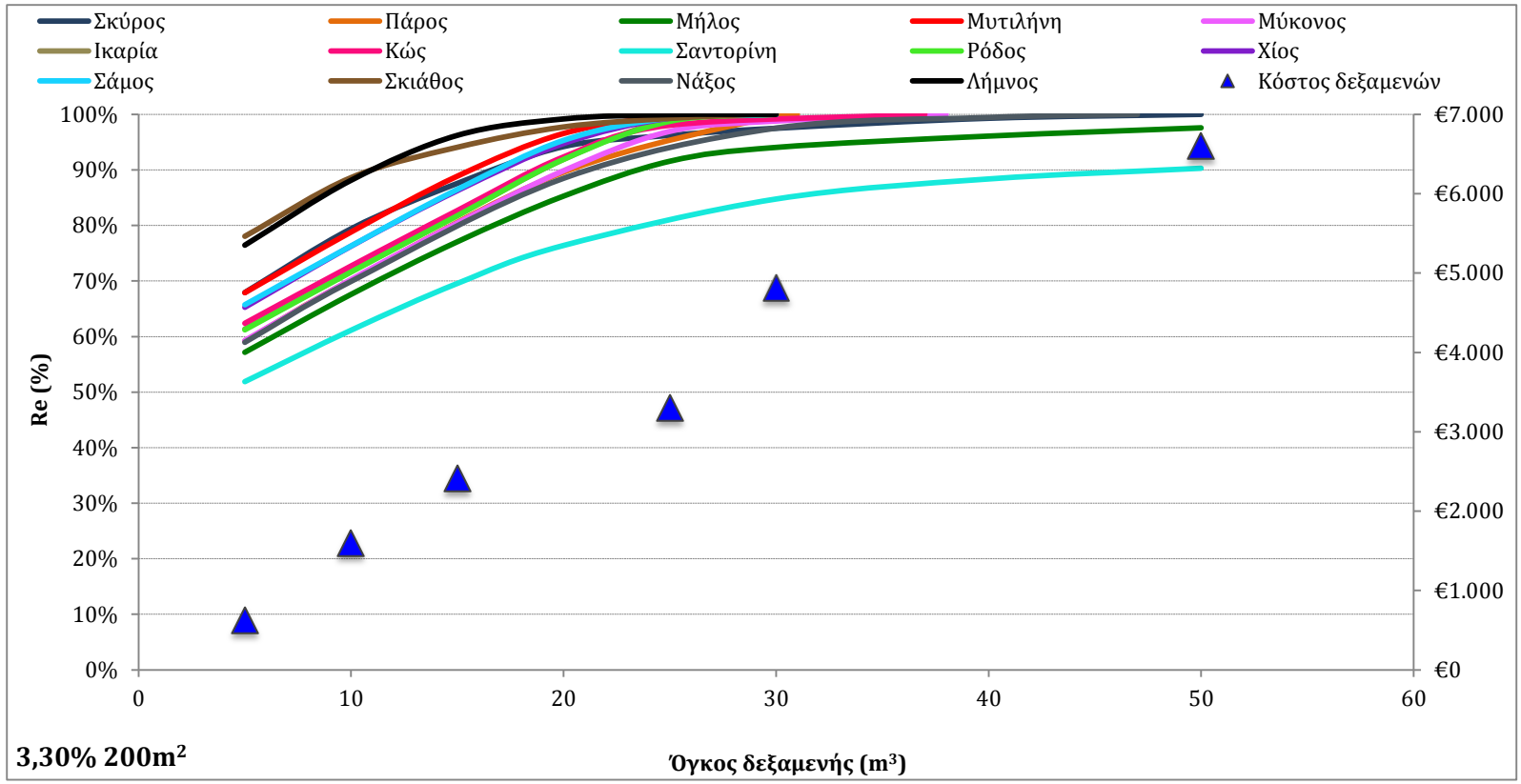
Αξίζει να σημειωθεί, ότι η Σαντορίνη έχει τη μικρότερη βροχοπτώση (293 mm) και από τις μεγαλύτερες άνομβρες περιόδους (~5 μήνες) στο σύνολο των εξεταζόμενων νησιών.

Είναι χαρακτηριστικό, ότι για την επιφάνεια συλλογής των 100 m^2 η αύξηση του όγκου της ομβροδεξαμενής πέρα των 15 m^3 δεν επιφέρει αξιόλογη αύξηση της αξιοπιστίας στην περίπτωση των Κυκλάδων και της Σκύρου λόγω της χαμηλής ετήσιας βροχόπτωσης στα νησιά αυτά.

Επίσης, από τη σχέση κόστους – όγκου ομβροδεξαμενών (Σχήμα 6.48) παρατηρείται ότι το κόστος διπλασιάζεται για διπλασιασμό του όγκου ομβροδεξαμενής. Η αύξηση της τιμής του κόστους που προκαλεί η χρήση μεγαλύτερων δεξαμενών για την κάλυψη των 135 L/day στις Κυκλάδες, δεδομένης της μικρής αύξησης της αξιοπιστίας του συστήματος, αποτελεί περιοριστικό παράγοντα χρήσης μεγάλων δεξαμενών. Ωστόσο, στα νησιά του Ανατολικού και Βόρειου Αιγαίου επιτυγχάνεται ικανοποίηση των 135 L/day με αρκετά μεγαλύτερα ποσοστά αξιοπιστίας για τις ίδιες δεξαμενές και κόστη με αυτά των Κυκλάδων.

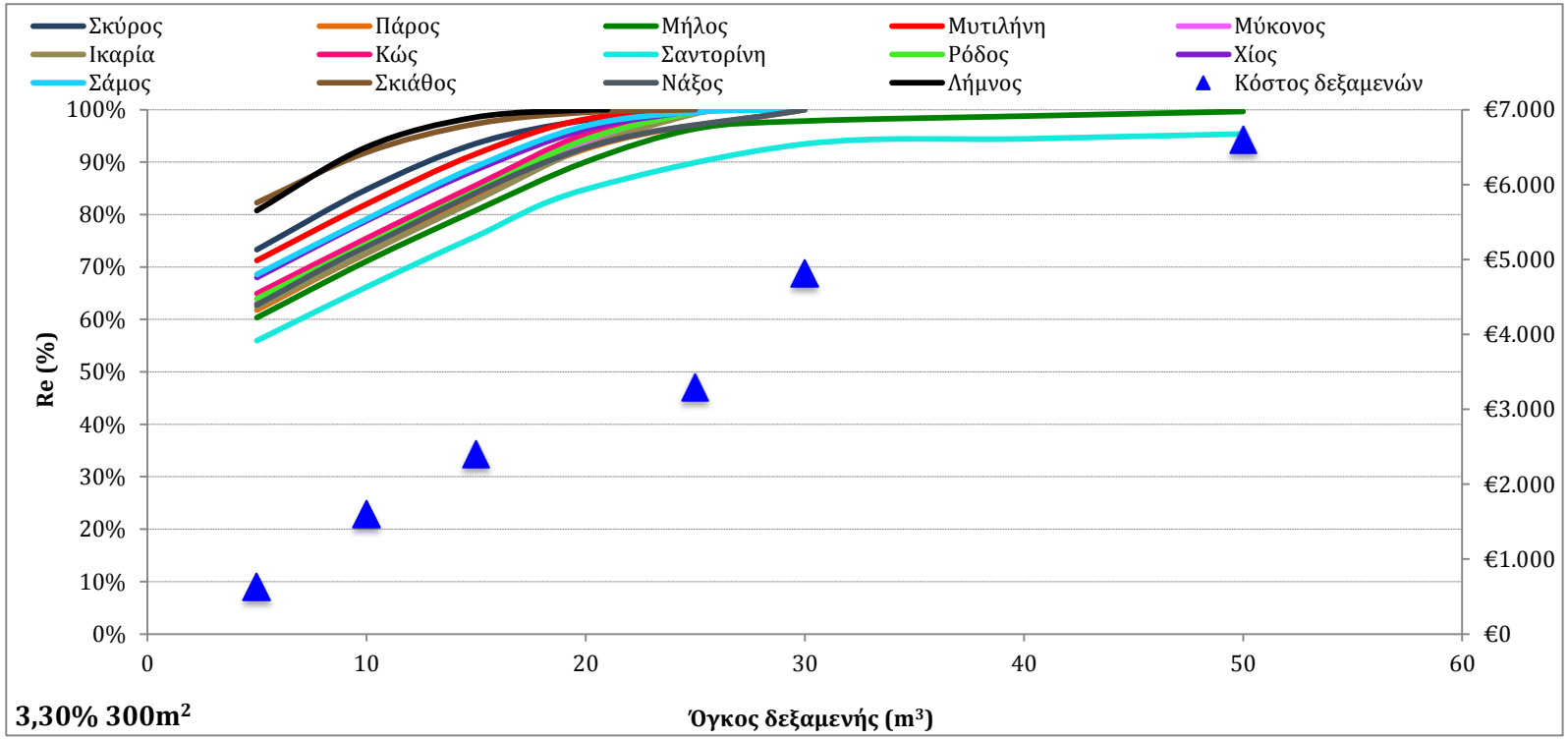


Σχήμα 6.48: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για κάλυψη ζήτησης του 30% των 3 κατοίκων (135 L/day) και επιφάνεια συλλογής 100 m^2 για 14 νησιά του Αιγαίου και ενδεικτικό κόστος αγοράς ομβροδεξαμενής από πλαστικό υλικό.



Σχήμα 6.49: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για κάλυψη ζήτησης του 30% των 3 κατοίκων (135 L/day) και επιφάνεια συλλογής 200 m^2 για 14 νησιά του Αιγαίου και ενδεικτικό κόστος αγοράς ομβροδεξαμενής από πλαστικό υλικό.

.



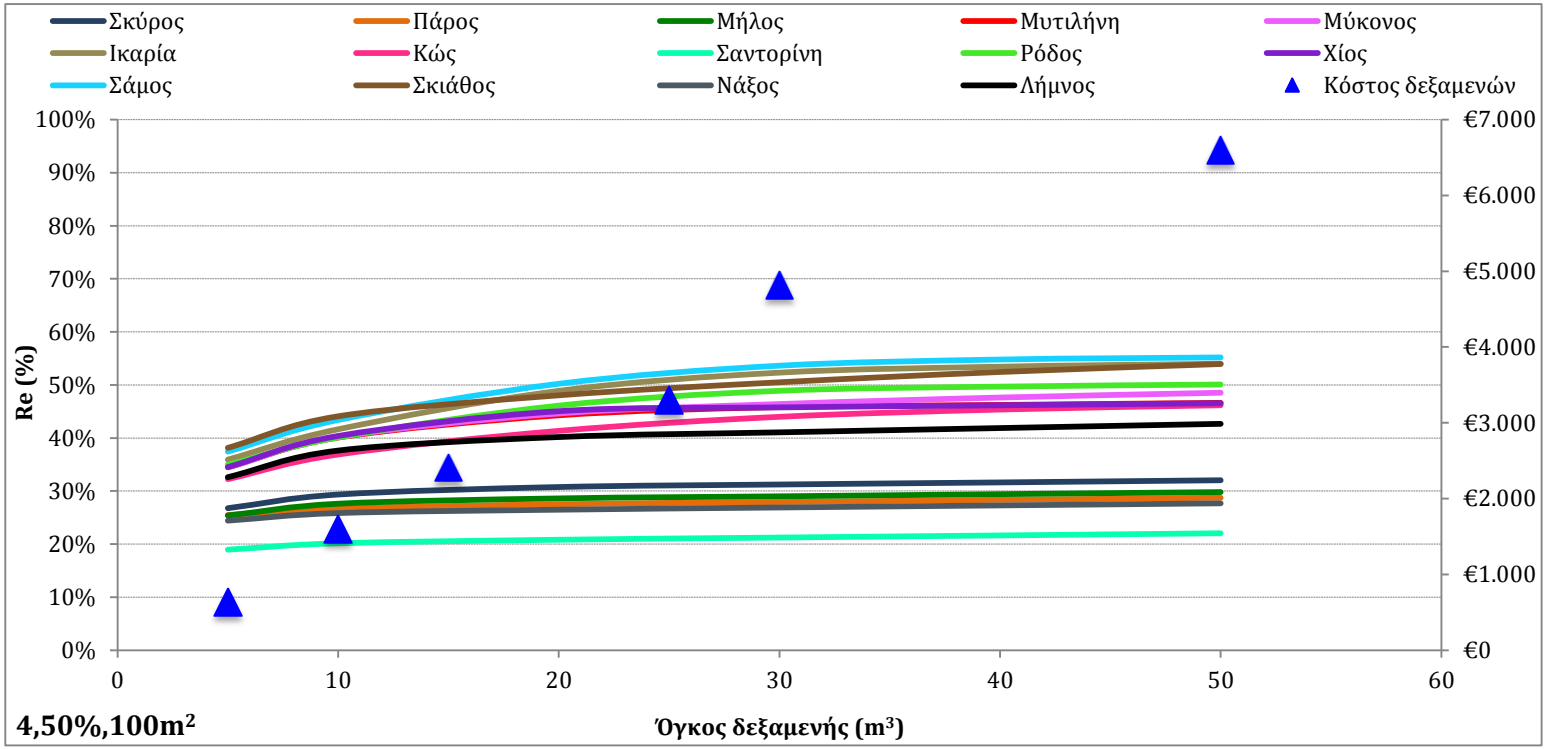
Σχήμα 6.50: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για κάλυψη ζήτησης του 30% των 3 κατοίκων (135 L/day) και επιφάνεια συλλογής 300 m^2 για 14 νησιά του Αιγαίου και ενδεικτικό κόστος αγοράς ομβροδεξαμενής από πλαστικό υλικό.

Στο Σχήμα 6.49, όπου δίνονται οι καμπύλες αξιοπιστίας για την ικανοποίηση των 135 L/day με επιφάνειες συλλογής 200 m^2, παρατηρείται σημαντική αύξηση της αξιοπιστίας με την αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής για όλα τα νησιά που μελετήθηκαν. Στην περίπτωση του Ανατολικού και Βόρειου Αιγαίου επιτυγχάνονται αξιοπιστίες από 65% έως 78% για όγκους 5 m^3 και φτάνουν στο 100% για όγκους δεξαμενών από 25 έως 35 m^3 ανάλογα με το βροχομετρικό καθεστώς των νησιών. Στις Κυκλάδες τα αντίστοιχα ποσοστά αξιοπιστίας κυμαίνονται μεταξύ 51% και 61% για 5 m^3 δεξαμενή και ξεπερνούν το 90% για δεξαμενές μεγαλύτερες των 20 m^3. Εξαίρεση αποτελεί η Σαντορίνη που απαιτεί δεξαμενή 50 m^3 για να φτάσει η αξιοπιστία στο 90%.

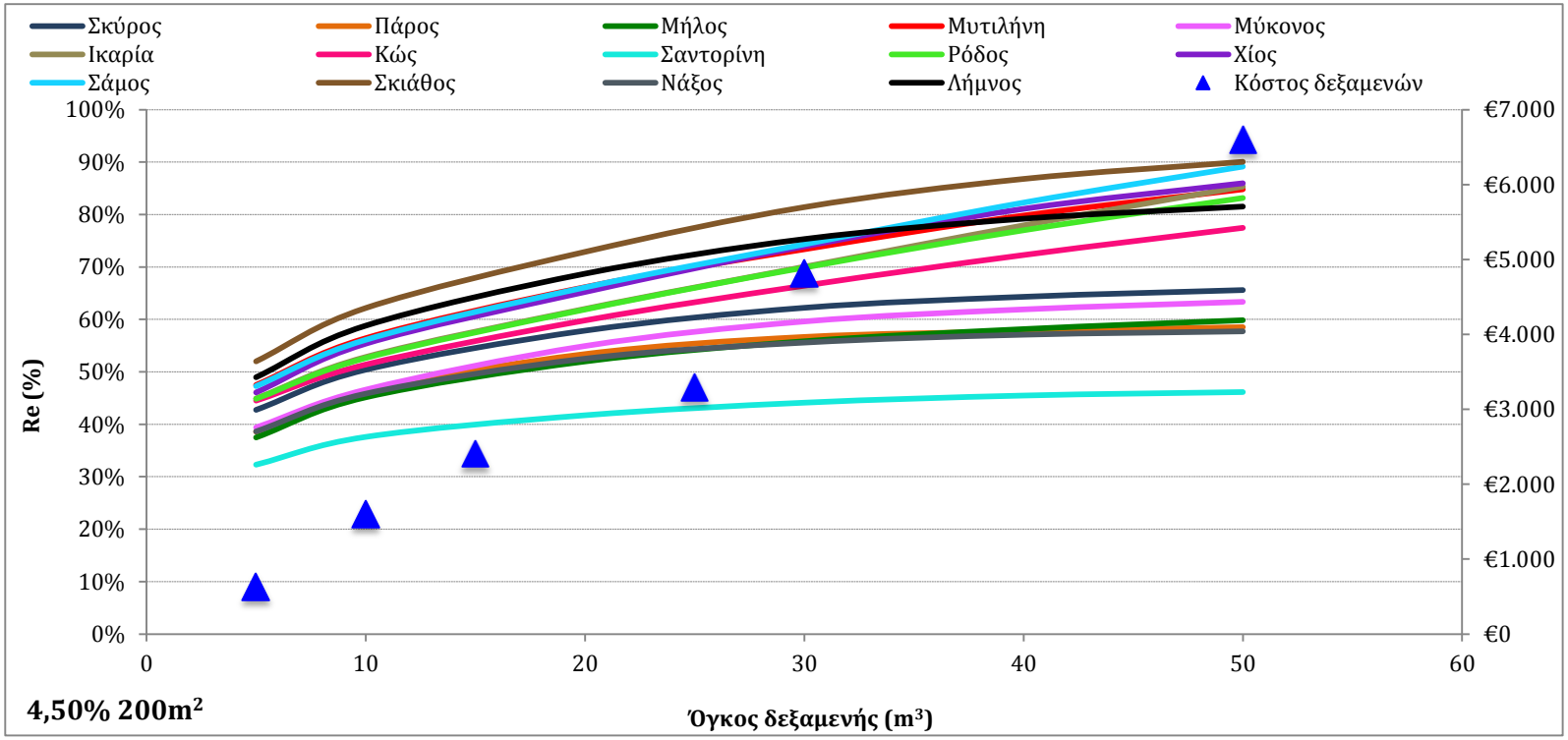
Όσον αφορά στη σχέση κόστους-αξιοπιστίας, η αύξηση της επιφάνειας συλλογής (από 100 σε 200 m^2) για την κάλυψη των 135 L/day, έδωσε τη δυνατότητα χρήσης μικρότερων ομβροδεξαμενών και άρα μικρότερου κόστους για την επίτευξη μεγάλων ποσοστών αξιοπιστίας.

Τέλος, αξιολογώντας τα αποτελέσματα του Σχήματος 6.50, όπου απεικονίζονται οι καμπύλες αξιοπιστίας για την ικανοποίηση των 135 L/day με επιφάνειες συλλογής 300 m^2, παρατηρείται ακόμα μεγαλύτερη αύξηση στα ποσοστά αξιοπιστίας για όλα τα νησιά μελέτης. Η μεγάλη επιφάνεια συλλογής (300 m^2) επιτρέπει την επίτευξη αξιοπιστίας 100% σε όλα τα νησιά για όγκους έως 30 m^3, με εξαίρεση τη Μήλο που απαιτεί δεξαμενή 50 m^3 και τη Σαντορίνη που δεν ξεπερνά το 95%.

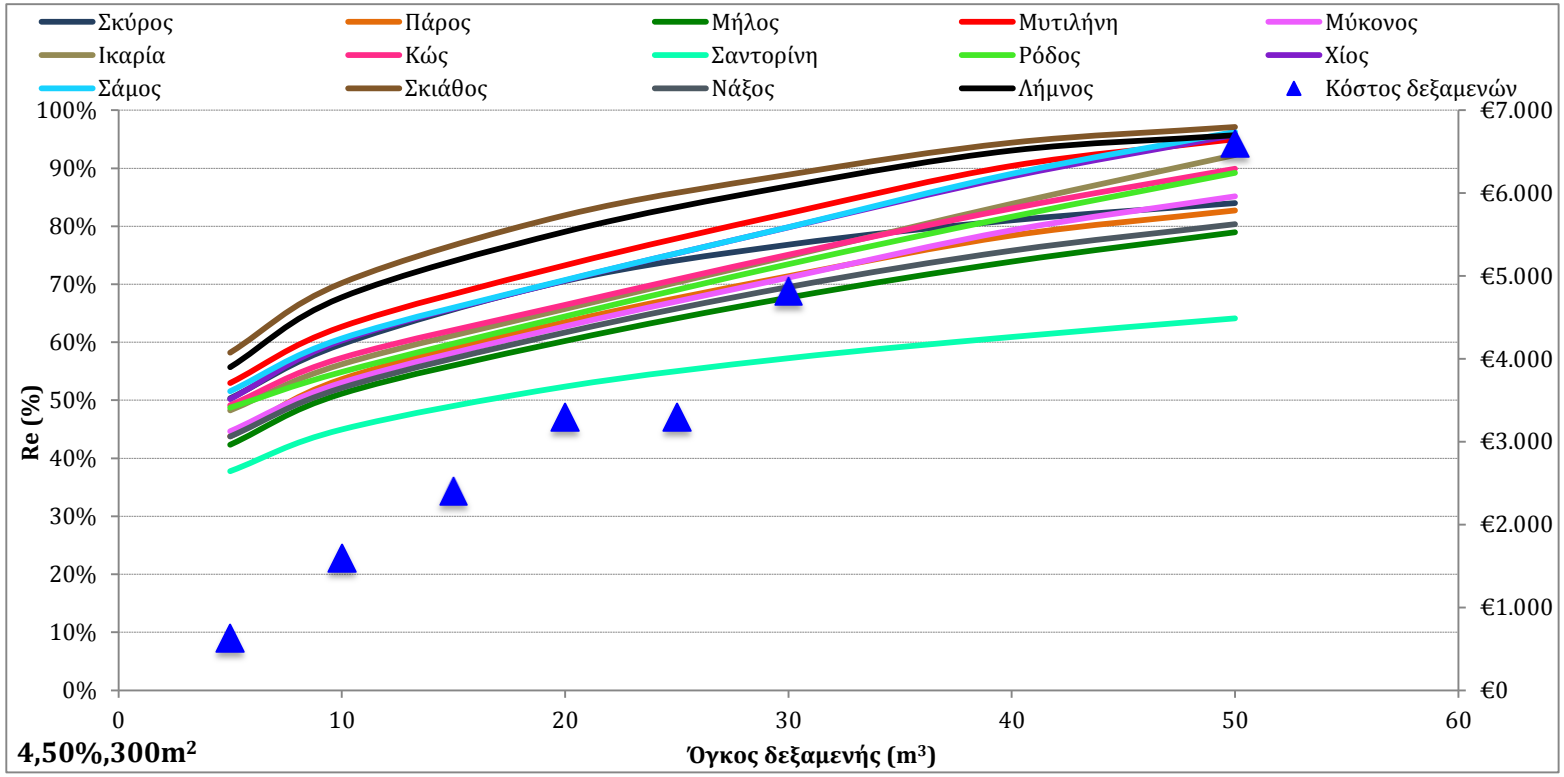
Και σε αυτή την περίπτωση, η περαιτέρω αύξηση της επιφάνειας συλλογής έδωσε τη δυνατότητα περαιτέρω μείωσης της δαπάνης απόκτησης ομβροδεξαμενής, καθώς τα ποσοστά αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής είναι υψηλά για ακόμα μικρότερους όγκους δεξαμενών.



Σχήμα 6.51: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για κάλυψη ζήτησης του 50% των 4 κατοίκων (300 L/day) και επιφάνεια συλλογής 100 m^2 για 14 νησιά του Αιγαίου και ενδεικτικό κόστος αγοράς ομβροδεξαμενής από πλαστικό υλικό.



Σχήμα 6.52: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για κάλυψη ζήτησης του 50% των 4 κατοίκων (300 L/day) και επιφάνεια συλλογής 200 m^2 για 14 νησιά του Αιγαίου και ενδεικτικό κόστος αγοράς ομβροδεξαμενής από πλαστικό υλικό.



Σχήμα 6.53: Ποσοστά αξιοπιστίας (Re) συστήματος συλλογής ομβρίων συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής για κάλυψη ζήτησης του 50% των 4 κατοίκων (300 L/day) και επιφάνεια συλλογής 300 m^2 για 14 νησιά του Αιγαίου και ενδεικτικό κόστος αγοράς ομβροδεξαμενής από πλαστικό υλικό.

Αξιολογώντας τις καμπύλες αξιοπιστίας του Σχήματος 6.51, που αφορούν στην ικανοποίηση της υψηλής ζήτησης (300 L/day) με επιφάνεια συλλογής ομβρίων 100 m^2, παρατηρείται ότι τα ποσοστά αξιοπιστίας δεν ξεπερνούν το 55% για όγκους ομβροδεξαμενών έως 50 m^3 σε όλα τα νησιά που εξετάστηκαν. Συγκεκριμένα, τα υψηλότερα όρια κύμανσης της αξιοπιστίας παρατηρούνται στη Σάμο (38% έως 55%) και τα χαμηλότερα στη Σαντορίνη (19% έως 22%) για μεγέθη ομβροδεξαμενών από 5 έως 50 m^3, αντίστοιχα (Σχήμα 6.51). Είναι φανερό ότι η αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής επιφέρει πολύ μικρή αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής ομβρίων, καθιστώντας την επιφάνεια συλλογής τον περιοριστικό παράγοντα σε συνδυσμό με το βροχομετρικό καθεστώς των νησιών μελέτης.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι η Σάμος έχει τη μεγαλύτερη βροχοπτώση (685 mm) και αρκετά μεγάλη άνομβρη περίοδο (~4 μήνες), ενώ η Σαντορίνη έχει τη μικρότερη βροχοπτώση (293 mm) και από τις μεγαλύτερες άνομβρες περιόδους (~5 μήνες) στο σύνολο των εξεταζόμενων νησιών.

Στο Σχήμα 6.52, όπου δίνονται οι καμπύλες αξιοπιστίας για την ικανοποίηση των 300 L/day με επιφάνειες συλλογής 200 m^2, παρατηρείται αύξηση της αξιοπιστίας με την αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής για όλα τα νησιά που μελετήθηκαν. Στην περίπτωση του Ανατολικού και Βόρειου Αιγαίου επιτυγχάνονται αξιοπιστίες που κυμαίνονται από 43% έως 52% για όγκους 5 m^3 και 65% έως 90% για όγκους δεξαμενών 50 m^3 ανάλογα με το βροχομετρικό καθεστώς των νησιών. Τα μικρότερα ποσοστά παρατηρούνται στη Σκύρο με τη χαμηλότερη βροχόπτωση (423 mm) από τα νησιά του Ανατολικού και Βόρειου Αιγαίου που μελετήθηκαν. Στις Κυκλάδες τα αντίστοιχα ποσοστά αξιοπιστίας κυμαίνονται από 32% έως 46% για 5 m^3 δεξαμενή και 39% έως 63% για δεξαμενές 50 m^3. Τα μικρότερα ποσοστά εξακολουθούν να παρατηρούνται στη Σαντορίνη.

Τέλος, αξιολογώντας τα αποτελέσματα του Σχήματος 6.53, όπου απεικονίζονται οι καμπύλες αξιοπιστίας για την ικανοποίηση των 300 L/day με επιφάνειες συλλογής 300 m^2, παρατηρείται ακόμα μεγαλύτερη αύξηση στα ποσοστά αξιοπιστίας με την αύξηση του μεγέθους ομβροδεξαμενής για όλα τα νησιά μελέτης. Στην περίπτωση του Ανατολικού και Βόρειου Αιγαίου επιτυγχάνονται αξιοπιστίες που κυμαίνονται από 48% έως 58% για όγκους 5 m^3 και 89% έως 97% για όγκους δεξαμενών 50 m^3 ανάλογα με το βροχομετρικό καθεστώς των νησιών. Τα μικρότερα ποσοστά εξακολουθούν να παρατηρούνται στη Σαντορίνη.

Όσον αφορά στη σχέση κόστους-αξιοπιστίας, η αύξηση της επιφάνειας συλλογής (από 100 σε 300 m^2) για την κάλυψη των 300 L/day, έδωσε τη δυνατότητα χρήσης μικρότερων ομβροδεξαμενών και άρα μικρότερου κόστους για την επίτευξη μεγάλων ποσοστών αξιοπιστίας.

7. Συμπεράσματα

7.1. Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων για διάφορους όγκους ομβροδεξαμενών με σκοπό την οικιακή χρήση του νερού. Εφαρμόστηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με δεδομένα εισόδου τις ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης χρονικής περιόδου 22 ετών από 14 σταθμούς της ΕΜΥσε νησιά του Αιγαίου.

Η διερεύνηση αφορούσε στην κάλυψη του 30%, 40% και 50% των συνολικών υδατικών αναγκών ενός νοικοκυριού 3 έως 4 ατόμων, ποσοστά τα οποία μεταφράζονται (λαμβάνοντας ως ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο τα 150 L) σε 45 έως 75 L/άτομο/ημέρα, αντίστοιχα. Ως επιφάνειες συλλογής ομβρίων μελετήθηκαν αυτές μεταξύ 100 και 300 m^2, οι οποίες είναι συνήθεις στα νησιά του Αιγαίου.

Η αξιολόγηση των βροχομετρικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, έδειξε ότι στα νησιά των Κυκλάδων που μελετήθηκαν (Μήλος, Πάρος, Νάξος, Μύκονος, Σαντορίνη) παρατηρήθηκαν οι μικρότερες μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης, οι οποίες κυμαίνονταν από 293 έως 415 mm και οι μεγαλύτερες μέσες ετήσιες άνομβρες περίοδοι που κυμαίνονταν από 4 έως 5 μήνες περίπου, ενώ στα νησιά του Βόρειου και Ανατολικού Αιγαίου (Σκιάθος, Σκύρος, Λήμνος, Σάμος, Κώς, Λέσβος, Ικαρία, Χίος, Ρόδος) παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης, από 423 έως 685 mm και οι μικρότερες μέσες ετήσιες άνομβρες περίοδοι, από 2 έως 5 μήνες περίπου. Το διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς των νησιών καθόρισε και τις διαφορές στην αξιοπιστία του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Στα νησιά του Βόρειου και Ανατολικού Αιγαίου, η αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία του συστήματος για όλες τις περιπτώσεις των επιφανειών συλλογής που εξετάστηκαν και για όλα τα επίπεδα ζήτησης. Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση ικανοποίησης της υψηλής ζήτησης (50% των 4 ατόμων-300 L/day) με μικρή επιφάνεια συλλογής (100 m^2) όπου παρατηρούνται αφενός μεν τα χαμηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας και αφετέρου δε τα μικρότερα ποσοστά αύξησής της με την αύξηση του όγκου δεξαμενής. Στα νησιά των Κυκλάδων, η αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία στου συστήματος μόνο στις περιπτώσεις των μεγάλων επιφανειών συλλογής (>200 m^2) και για χαμηλό επίπεδο ζήτησης (30% των 3 ατόμων-135 L/day).

Η διερεύνηση της επίδρασης της επιφάνειας συλλογής επί της αποδοτικότητας του συστήματος ομβρίων για το σενάριο της χαμηλής ζήτησης (30% των 3 ατόμων-135 L/day) στα νησιά των Κυκλάδων, έδειξε ότι για επιφάνειες συλλογής μέχρι 100 m^2 είναι αδύνατο να επιτευχθεί αξιοπιστία μεγαλύτερη του 80% και η αύξηση της αξιοπιστίας είναι μικρή για όγκους ομβροδεξαμενών μεγαλύτερους των 20 m^3 περίπου. Υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας που φτάνουν και το 100% παρατηρούνται μόνο στις μεγάλες επιφάνειες (250-300 m^2) και για μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενών. Σε αντίθεση, στα νησιά του Βόρειου και Ανατολικού Αιγαίου η κάλυψη της χαμηλής ζήτησης επιτυγχάνεται με μεγάλα ποσοστά αξιοπιστίας (>90%) ακόμη και για μικρά μεγέθη επιφανειών.

Στα νησιά των Κυκλάδων, η ικανοποίηση της υψηλής ζήτησης (300 L/day) με επιφάνειες συλλογής μέχρι 300 m^2 είναι αδύνατο να επιτευχθεί με αξιοπιστία 100%. Συγκεκριμένα, για επιφάνειες συλλογής 200 m^2 και ομβροδεξαμενές 15 m^3 παρατηρούνται ποσοστά αξιοπιστίας μεγαλύτερα του 40%, ενώ η επίδραση του μεγέθους της δεξαμενής επί της αξιοπιστίας γίνεται ασήμαντη για μεγαλύτερα μεγέθη δεξαμενής. Για επιφάνειες συλλογής 300 m^2 επιτυγχάνεται αξιοπιστία μεγαλύτερη του 40% για δεξαμενές μεγαλύτερες των 5 m^3 και αυξάνεται με την αύξηση του όγκου της δεξαμενής. Ωστόσο, στα νησιά του Βόρειου και Ανατολικού Αιγαίου, η ικανοποίηση της υψηλής ζήτησης (300 L/day) με επιφάνειες συλλογής 200 m^2 επιτυγχάνεται με αξιοπιστία μεγαλύτερη του 40% για ομβροδεξαμενές 5 m^3 και αυξάνεται σε 80% έως 90% για ομβροδεξαμενές 50 m^3. Η αξιοπιστία αγγίζει το 95% για επιφάνειες συλλογής 300 m^2.

Η Σαντορίνη παρουσίασε τα μικρότερα επίπεδα αξιοπιστίας σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά του Αιγαίου που μελετήθηκαν λόγω του δυσμενούς συνδυασμού χαμηλής βροχόπτωσης και μεγάλης άνομβρης περιόδου.

Γενική συνισταμένη όλων των ανωτέρω αποτελεί η διαπίστωση πως για να επιτευχθούν υψηλά ποσοστά αξιοπιστίας χρειαζόμαστε ταυτόχρονα την ισχύ τριών συνθηκών: α) χαμηλή ζήτηση, β) μεγάλη επιφάνεια συλλογής και γ) μεγάλος όγκος ομβροδεξαμενής.

Η διερεύνηση τόσο του κόστους απόκτησης ομβροδεξαμενής όσο και της σχέσης κόστους-αξιοπιστίας έδειξε ότι αφενός μεν το κόστος είναι σε γενικές γραμμές ανάλογο του μεγέθους ομβροδεξαμενής και αφετέρου δε ότι η επίτευξη μεγάλων ποσοστών αξιοπιστίας απαιτεί μεγάλα κόστη αρχικής επένδυσης, τα οποία μπορούν να περιοριστούν μόνο με μεγάλες επιφάνειες συλλογής ομβρίων.

Η διερεύνηση της αποδοτικότητας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων στην παρούσα εργασία θέτει τη βάση για περαιτέρω διερεύνηση στον τομέα της αποδοτικότητας και σε μικρότερα άνυδρα νησιά του Αιγαίου για την κάλυψη των υδατικών τους αναγκών (ύδρευση, άρδευση), αλλά και την ανάγκη μιας ολοκληρωμένης οικονομικής ανάλυσης της αποδοτικότητας των συστημάτων συλλογής ομβρίων ανάλογα με τη χρήση του βρόχινου νερού.

Βιβλιογραφία

Ανδρεαδάκης Α., 2014. Προτεινόμενο Στρατηγικό Πλαίσιο Πολιτικής Υδατικών Πόρων. *ΔΠΜΣ: Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.*

Αντωνόπουλος, Β., 2001. Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών, *Εκδόσεις Ζήτη*, Θεσσαλονίκη, σελ. 355.

Αποστολάκη Μ., 2006 Έρευνα για την αειφόρο ανάπτυξη στη Σύρο, Δίκτυο Αειφόρων Νήσων ΔΑΦΝΗ.

Βάκκας Θ., 2006 Έρευνα για την αειφόρο ανάπτυξη στην Τήλο, Δίκτυο Αειφόρων Νήσων ΔΑΦΝΗ.

Γκούμα Α., 2011 Υδατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την άντληση πόσιμου ύδατος σύμφωνα με τα οριζόμενα στην Οδηγία 2000/60/ΕΚ. Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Υ.Π.Ε.Κ.Α, Φεβρουάριος 2015. Προσχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (GR14)

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον & Αειφόρος Ανάπτυξη, 2007-2013. *Ελληνική Δημοκρατία Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων,* Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007.

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 πρόσκληση εν όψει της κλιματικής αλλαγής,* Αθήνα, 13 Ιανουαρίου 2012.

Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, 1999. *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

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

Λίττη Ε., 2008. Υδατικοί Πόροι στα Νησιά του Αιγαίου, Άνδρος, 2008.

Μαρκαντωνάτος Π., 2001. Επισήμανση προβλημάτων ύδρευσης ν. Πάρου και προσδιορισμός αναγκαίων έργων για εξασφάλιση υδροδότησης, Αθήνα, 2001.

Οδηγός για την ολοκληρωμένη Διαχείριση Όμβριων Υδάτων, 'INTEGRATED GREEN CITIES, Σεπτέμβριος 2013. *European Territorial Cooperation Programms,Greece- Bulgaria*: 2007-2013.

Στουρνάρας Γ., Νάστος Π, Γιόξας Γ., Ευελπίδου Ν., Βασιλάκης Ε.Μ., Παρτσινεβέλου Σ.Α, Ηλιόπουλος Β., 2011. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά σώματα του Ελλαδικού χώρου. *Τραπεζα Ελλάδας, Επιτροπή μελέτης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής.*

Τσακίρης Γ., 2001, Σημειώσεις από το μάθημα «Διαχείριση Υδατικών Πόρων».

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

Aladenola O.O., and Adeboye O.B., 2010. Assessing the potential for rainwater harvesting. *Water Resources Management,* 24(10): 2129-2137.

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

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

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

Chang, M., McBroom, M. W., Scott Beasley, R. 2004. Roofing as a source of nonpoint water pollution. *Journal of Environmental Management,* 73(4): 307-315.

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.

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 D.W. and Mihelcic J R., 2008. Stochastic modeling in West Africa: parsimonius approaches for domestic rainwater harvesting assessment *J. Hydrol,* 361: 64-77.

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

experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production,* 19: 598-608.

Dyck S., 1990. Intergrated Planning and Management of Water Resources. *Unesco, Technical Document in Hydrology Paris*.

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

EEA, 2009. *Report No 2/2009 Water resources across Europe - confronting water scarcity and drought.*

Eroksuz E, Rahman A., 2010. A. Rainwater tanks in multi-unit buildings: a case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54:1449–52.

Farreny R., Morales-Pinzon T., Guisasola A., Taya C., Rieradevall J. and Gabarrell X., 2011. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water research,*45: 3245-3254.

Farreny R., Gabarrella X. and Rieradevalla J., 2011. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. *Resources, Conservation and Recycling,* 55: 686-694.

Fewkes A. and Butler D., 2000. Simulating the performance of rainwater collection systems using behavioural models. *Building Services Engineering Research and Technolog.* 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.

Goel A.K. and Kumar R., 2005. Economic analysis of water harvesting in a mountainous watershed in India. *Agricultural Water Management,* 71: 257-266.

Gould, J., Nissen-Petersen, E., 1999. Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation. *Intermediate Technology Publication,* London.

Ghisi E., Cordova M.M., 2009. Analysis of Potable Water Savings Using Behavioural Models. *Federal University of Santa Catarina, Department of Civil Engineering, Laboratory of Energy Efficiency in Buildings*, Florianópolis – SC Brazil.

Hanson L.S. and Vogel R.M., 2014. Generalized storage-reliability-yield relationships for rainwater harvesting systems. *Environmental Research Letters,* Volume 9.

Handia L., Tembo J.M. and Mwiindwa C., 2002. Potential of rainwater harvesting in Urban Zambia. *Proc. of the 3rd WaterNet/Warsfa Symp. Water Demand Management for Sustainable Development,* Tanzania, 30–31st October 2002.

Hajani E. and Rahman A., 2013. Effectiveness of rainwater harvesting system in peri-urban region: A case study for the Greater Sydney. *Journal of Hydrology and Environmental Research,* 1(1): 21-29.

Hajani E. and Rahman A., 2014. Reliability and Cost Analysis of a Rainwater Harvesting System in Peri-Urban Regions of Greater Sydney, Australia. *Water ISSN 2073-4441,* 6:945-960.

Imteaz M.A , Rauf A. and Aziz M.A., 2011. A Decision Support Tool for optimizing rainwater tank size. *19th International Congress on Modelling and Simulation,* Perth, Australia.

Imteaz M.A., Shanableh A., Rahman A. and Ahsand A., 2011. Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling,* 55: 1022-1029.

Imteaz M. A., Ahsanb A., Nasera J., Rahman A., 2011. Reliability analysis of rainwater tanks in Melbourne using daily water balance model. *Resources, Conservation and Recycling,* 56: 80-86.

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.

Khastagir. A., Jayasuriya N., 2010. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. *Journal of Hydrology,* 381: 181–188.

Koutsoyiannis D., Zarkadoulas N., Angelakis A.N. and Tchobanoglous G., 2008. Urban water management in Ancient Greece: Legacies and lessons. *Journal of Water Resources Planning and Management – ASCE,* 134(1): 45-54.

Kumar M.D., Ghosh S., Patel A., Singh O.P. and Ravindranath R., 2006. Rainwater harvesting in India: some critical issues for basin planning and research. *Land Use and Water Resources Research*, 6: 1-17.

Kinkade-Levario, 2007. Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse**.** *New Society Publishers*: BC, Canada.

Li Z., Boyle F. and Reynolds A., 2010. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, 260: 1-8.

Londra P.A., Theocharis A.T., Baltas E., Tsihrintzis V.A. 2015a. Optimal Sizing of Rainwater Harvesting Tanks for Domestic Use in Greece, *Water Resources Management*, 29(12): 4357-4377.

Londra P.A., Theocharis A.T., Baltas E., Tsihrintzis V.A. 2015b. Effect of dry period on sizing of domestic rainwater harvesting tank, *Proc. 14th Int. Conf. on Environmental Science and Technology*, Rhodes, Greece, 3-5 September 2015.

Martinson, D. and Thomas T., 2005. Quantifying the first-flush phenomenon. Coventry, United Kingdom, DTU/University of Warwick. In: Proceedings of the 12th International *Rainwater Catchment Systems Association Conference*, New Delhi, India, November, 2005.

Mendez C.B., Klenzendorf J.B., Afshar B.R., Simmons M.T., Barrett M.T., Kinney K.A. and Kirisits M.J., 2010. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water research*, 45: 2049-2059.

Meera, V. and Ahammed, M. M. (2006). Water quality of rooftop rainwater harvesting systems: a review. *Journal of Water Supply: Research and Technology AQUA*, 55: 257-268.

Morales-Pinzon T., Rieradevall J., Gasol C.M., Gabarrell X., 2014. Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems. *Journal of Cleaner Production*, 87: 613-626.

Montoya G.M., 2015. Simultaneous design of water reusing and rainwater harvesting systems in a residential complex. *Computers and Chemical Engineering*, 76: 104-116.

Ntale H.K. and Moses N., 2003. Improving Quality of Harvested Rainwater by Using First Flush Interceptors/Retainers. *In Proceedings of the 11th International Conference on Rainwater Catchment Systems*, Texcoco.

Nshimyimana, J. P., 2007b. Ecosystem Health Program Water and Sanitation Project Annual Report 2007. *Dian Fossey Gorilla Fund International*, Rwanda.

Pacey A. and Cullis A., 1986. Rainwater Harvesting: The Collection of Rainfall and Runoff in Rural Areas. *London, UK: IT Publication.*

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.

Palla A., Gnecco I., Lanza L.G., La Barbera P., 2012. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. *Resources, Conservation and Recycling*, 62:71-80.

Pande P.K., Panda S.N. and Panigrahi B., 2006. Sizing on-farm reservoirs for crop-fish integration in rainfed farming systems in Eastern India. *Biosyst Engg*, 93: 475-489.

Qi W., Xiang R., Xingyang S., Guangronga H., Enhe Z., Helingc W. and Vancee M.M., 2014. The optimum ridge–furrow ratio and suitable ridge-covering material in rainwater harvesting for oats production in semiarid regions of China. *Field Crops Research*, 172: 106-118.

Rahmana A., Keane J. and Imteaz M.A., 2011. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. *Resources, Conservation and Recycling,* 61: 16-21.

Raimondia A., and Becciua G., 2014. Probabilistic modeling of rainwater tanks. *Procedia Engineering,* 89: 1493–1499.

Santos C. and Taveira-Pinto F., 2012. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and Recycling,*71: 1-6.

Sazakli E., Alexopoulos A. and Leotsinidis M., 2007. Rainwater harvesting. quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water Research,* 41: 2039- 2047.

Silva-Afonso A., 2012. The importance of water efficiency in buildings in Mediterranean countries. The Portuguese approach. *Residential Water Saving Action Plan. Workshop Athens.* January 13, 2012.

Simmons G., Hope V., Lewis G., Whitmore J., and Gao W., 2001. Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Research,* 35(6): 1518-1524.

Schiller, E.J., 1982. Rooftop Catchment Rainwater for Drinking. *Water Supply and Sanitation in Developing Countries*, Michigan, Arbor Publication.

Schiller, E.J. and Latham, B.G. 1987. A comparison of commonly used hydrological design methods for rainwater collectors. Water Resources Development Journal, Vol. 3 No. 3.

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.

Tama W.Y, Tamb L., Zengc S.X., 2009. Cost effectiveness and tradeoff on the use of rainwater tank: An empirical study in Australian residential decision-making. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 178–186.

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.

UNESCO, 2000. *Water Use in the World: Present Situation/Future Needs.* Viewed at www.unesco.org/science/waterday2000/water_use_in_the_world.htm.

Villarreal, E.L., Dixon, A., 2005. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdan- sen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40(9):1174-1184.

Ward, S.; Memon, A. & Butler, D., 2011. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. *Water Science and Technology*, v. 61, n. 1, p. 85-96.

Warish A., Gardner T., Toze S., 2011. Microbiological Quality of Roof-Harvested Rainwater and Health Risks: A Review. *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society*, 40(1): 13-21.

Worm J.H., Van t., 2006. Rainwater Harvesting for Domestic Use. *Agromisa Foundation and CTA: Wageningen*, Netherlands.

Yaziz, M. I., Gunting, H., Sapari, N., 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-science (Applied Physics & Engineering)*, 5:342-348.

Zankowski J., Sun Y., Nassar A., and Mehta K., 2014. Gutter Design and Business Development for Domestic Rainwater Harvesting Systems: A Case Study. *International Journal for Service Learning in Engineering*, No. 1: 64-78.

Zhu K., Zhang L., Hart W. Liu M. and Chen H., (2004). Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of Northern China. *J. Arid Environ*, 57: 487-505.

www.environment-agency.gov.uk

www.waterwise.org.uk

www.wateraid.org

www.medies.net

wwww.unep.org

www.twdb.texas.gov