



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

**ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ
ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ ΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ**

Παρασκευή Α. Λόντρα

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ
ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Αν. Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2014

Ευχαριστίες

Τελειώνοντας την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου, Αναπληρωτή Καθηγητή Ευάγγελο Μπαλτά, για την ανάθεση του πολύ ενδιαφέροντος θέματος, αλλά και για την άριστη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στο μέλος της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής Καθηγητή Βασίλειο Τσιχριντζή, για την πολύτιμη βοήθειά του στη δημιουργία του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γεώργιο Μπαριάμη, υποψήφιο διδάκτορα του Εργαστηρίου Υδρολογίας και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Σχολής Πολ. Μηχανικών του ΕΜΠ, για τη βοήθειά του στη δημιουργία χαρτών.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον σύζυγό μου Αχιλλέα, όχι μόνο για την υπομονή και κατανόηση που έδειξε κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου, αλλά και για την πολύτιμη βοήθειά του κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερα όμως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον γιο μου Θωμά για την κατανόησή του και να του ζητήσω συγγνώμη για τις ώρες δημιουργικής απασχόλησης που του στέρησα.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Περιεχόμενα.....	iii
Περίληψη.....	v
Extended abstract.....	vii
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο εργασίας.....	1
1.2 Πρωτότυπα σημεία.....	1
1.3 Διάρθρωση της εργασίας.....	2
2 Υδατικά αποθέματα – Χρήσεις νερού.....	3
2.1 Χρήσεις νερού σε παγκόσμια κλίμακα.....	3
2.2 Χρήσεις νερού στην Ευρώπη.....	6
2.2.1 Γεωργική χρήση.....	9
2.2.2 Αστική χρήση.....	10
2.2.3 Βιομηχανική χρήση.....	12
2.2.4 Χρήση νερού για ψύξη στην παραγωγή ενέργειας.....	13
2.3 Κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας.....	14
2.4 Υδατικοί πόροι της Ελλάδας.....	20
2.5 Προτάσεις αντιμετώπισης της πίεσης των υδατικών αποθεμάτων.....	22
3 Συλλογή όμβριων υδάτων.....	25
3.1 Συλλογή όμβριων υδάτων (Rainwater harvesting).....	25
3.2 Ιστορική αναδρομή.....	26
3.2.1 Συλλογή όμβριων υδάτων στον κόσμο.....	26
3.2.2 Συλλογή όμβριων υδάτων στην Ελλάδα.....	27
3.3 Νομοθετικό πλαίσιο συλλογής όμβριων υδάτων στην Ελλάδα.....	33

3.4	Συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων	34
3.5	Ποσότητα όμβριων υδάτων	39
3.6	Ποιότητα όμβριων υδάτων	41
3.7	Κριτήρια επιλογής τεχνολογιών συλλογής όμβριων υδάτων	42
3.8	Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών	43
3.9	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα τεχνολογιών συλλογής όμβριων υδάτων	46
4	Ανάπτυξη – Εφαρμογή μεθοδολογίας	47
4.1	Δεδομένα βροχόπτωσης	47
4.2	Μεθοδολογία	47
4.2.1	Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου	47
4.2.2	Προσδιορισμός όγκου απορροής όμβριων υδάτων από επιφάνεια (R_t)	48
4.2.3	Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης (D_t)	49
4.2.4	Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής	50
4.2.4.1	Όγκος ομβροδεξαμενής με τη μέθοδο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου	50
4.2.4.2	Όγκος ομβροδεξαμενής με τη μέθοδο μέγιστης άνομβρης περιόδου	51
4.2.5	Εφαρμογή	51
5	Αποτελέσματα - Συζήτηση	65
5.1	Ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων	65
5.2	Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών	79
5.2.1	Μέθοδος ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου	79
5.2.2	Μέθοδος μέγιστης άνομβρης περιόδου	115
5.3	Σύγκριση μεθόδων διαστασιολόγησης	122
6	Συμπεράσματα – Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	127
	Βιβλιογραφικές αναφορές	131

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου αναπτύχθηκε, με σκοπό τη διαστασιολόγηση δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων για αστική χρήση. Το βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής υπολογίστηκε επιτρέποντας την περίσσεια του νερού να υπερχειλίζει και ρυθμίζοντας στο μηδέν τη χρήση της δημόσιας παροχής ύδατος.

Απαραίτητες προϋποθέσεις ορθής εφαρμογής του ημερήσιου ισοζυγίου είναι τόσο η διαθεσιμότητα ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης διάρκειας τουλάχιστον 5 έως 10 ετών όσο και η αξιόπιστη καταγραφή των μετρήσεων αυτών, ενισχύοντας έτσι την αξιοπιστία της διαστασιολόγησης των ομβροδεξαμενών.

Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης από 75 βροχομετρικούς σταθμούς, και από τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας, για τη χρονική περίοδο 1980-1996, με μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης να κυμαίνονται μεταξύ 323 mm και 1405.2 mm και τιμές μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου να κυμαίνονται μεταξύ 46 και 217 ημερών.

Η διερεύνηση αφορούσε σε οικία μιας οικογένειας με αριθμό κατοίκων 3 έως 5, και ποσοστά ικανοποίησης οικιακών αναγκών 30% έως 50%, που μεταφράζονται (λαμβάνοντας ως ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο τα 150 l/κάτοικο/ημέρα) σε 45 έως 75 l/άτομο/ημέρα, αντίστοιχα. Τα ποσοστά αυτά αντιστοιχούν στις ανάγκες μιας οικογένειας για κατανάλωση νερού στην τουαλέτα (~30%), στο μπάνιο-ντους (20%-30%) ή/και στα πλυντήρια ρούχων και πιάτων (~15%).

Σε πρώτη φάση προσδιορίστηκαν οι ελάχιστες απαιτούμενες επιφάνειες συλλογής ομβρίων για την κάλυψη των αναγκών ζήτησης σε ετήσια βάση από την ισότητα της ετήσιας συλλογής όμβριων υδάτων και της ετήσιας ζήτησης, για τα συγκεκριμένα ποσοστά κάλυψης αναγκών και αριθμό εξυπηρετούμενων κατοίκων. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε το ημερήσιο ισοζύγιο και υπολογίστηκαν οι απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής, για αυτές τις ελάχιστες απαιτούμενες επιφάνειες και για καθορισμένες ανάγκες ζήτησης. Τέλος, διερευνήθηκε η μείωση των υπολογισμένων όγκων με αύξηση της επιφάνειας συλλογής ομβρίων πέραν της ελάχιστης απαιτούμενης και για επιφάνειες συλλογής έως 300 m².

Στην πλειοψηφία των 75 βροχομετρικών σταθμών που μελετήθηκαν, όγκοι ομβροδεξαμενής μικρότεροι των 50 m^3 μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση του 30% για 3 έως 5 κατοίκους, χωρίς οι επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων να υπερβαίνουν τα 200 m^2 , ενώ όγκοι ομβροδεξαμενής ως 50 m^3 και επιφάνειες συλλογής ομβρίων ως 300 m^2 μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση έως και του 40% των 4 κατοίκων. Μεγαλύτεροι όγκοι και επιφάνειες συλλογής απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών ζήτησης του 50% των 4 κατοίκων και του 40% και 50% των 5 κατοίκων. Ελάχιστες είναι οι εξαιρέσεις και αφορούν είτε σε περιοχές με μεγάλο μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και μικρή τιμή μέγιστης άνομβρης περιόδου, όπου μπορούν να καλυφθούν πλήρως οι ανάγκες και του 50% των 5 κατοίκων, είτε σε περιοχές με μικρό μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και μεγάλη τιμή μέγιστου αριθμού άνομβρων ημερών, όπου μπορούν να καλυφθούν πλήρως μόνο οι ανάγκες του 30% των 3 κατοίκων για επιφάνειες συλλογής ως 300 m^2 .

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η μέγιστη ετήσια άνομβρη περίοδος ασκεί ισχυρή επίδραση στο μέγεθος της ομβροδεξαμενής, με αποτέλεσμα σταθμοί με παρόμοια μέση ετήσια βροχόπτωση και μεγάλη διαφορά στο μέγιστο αριθμό άνομβρων ημερών να έχουν διπλάσια έως τριπλάσια διαφορά στους όγκους ομβροδεξαμενών τους.

Επίσης, η διαστασιολόγηση δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων έγινε και με την απλή μέθοδο της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου, όπου προσδιορίστηκαν οι όγκοι ομβροδεξαμενών για την κάλυψη της ζήτησης για τις ημέρες της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου.

Οι όγκοι ομβροδεξαμενής, που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου, σε γενικές γραμμές είναι αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές του ημερήσιου ισοζυγίου και προσεγγίζουν αυτές μόνο στην περίπτωση της κάλυψης χαμηλών αναγκών (30% των 3-5 κατοίκων) με μεγάλες επιφάνειες συλλογής ομβρίων (μεγαλύτερες των 300 m^2) και σε σταθμούς με μεγάλη άνομβρη περίοδο και μέτρια έως υψηλή βροχόπτωση.

Extended abstract

Introduction

Despite the vast amount of water on the planet, decades of unsustainable management mean that water shortages have reached crisis point in many regions. Globally, humans appropriate more than 50% of all renewable and accessible freshwater, while billions still lack the most basic water services (Pacific, 2009). The balance between water demand and availability has reached a critical level in many areas of Europe, the result of over-abstraction and prolonged periods of low rainfall or drought. Where the water resource has diminished, a worsening of water quality has normally followed because there is less water to dilute pollutants. In addition, salt water increasingly intrudes into “over-pumped” coastal aquifers throughout Europe. Climate change will almost certainly exacerbate these adverse impacts in the future, with more frequent and severe droughts expected across Europe (EEA, 2009).

To address the issue of pressure on water resources in many regions of the world, it is needed to shift the focus on water management from increasing of water supply to minimizing the demand. This can be achieved by implementing a series of policies and practices, including among others the use of alternative water resources, such as gray water and rainwater harvesting to reduce the demand for additional water resources (EEA, 2009).

The rainwater harvesting, as a water management practice, is widespread throughout the world for over 4000 years, traditional in arid and semi-arid areas, providing potable and non-potable water for domestic use, as well as water for agricultural use. Today, gains more and more ground as a modern, relatively inexpensive and simple water-saving technology and sustainable water management practice by reducing stormwater runoff and peaks and non-point source pollution. Untreated harvested rainwater can be used for non-potable uses, such as toilet flushing, cloths and dishes washing, bath and shower, garden irrigation while under appropriate treatment can be used also for potable use.

Rainwater harvesting systems are currently implemented in different regions such as Australia (Marks et al., 2006), Brazil (Ghisi et al., 2009), Greece (Sazakli et al.,

2007), Zambia (Handia et al., 2003), the United Kingdom (Fewkes, 1999a), the United States (Jones and Hunt, 2010), India (Goel and Kumar, 2005; Pandey et al., 2006), Indonesia (Song et al., 2009), Iran (Fooladman and Sepaskhah, 2004), Jordan (Abdulla and Al-Shareef, 2009), Ireland (Li et al., 2010), Spain (Domènech and Saurí, 2011), China (Li and Gong, 2002), Malaysia (Lariyah et al., 2011), Namibia (Sturm et al., 2009), South Africa (Kahinda et al., 2007), South Korea (Song et al., 2003), Singapore (Appan, 1999), Sweden (Villareal and Dixon, 2005), and Taiwan (Chiu et al., 2009).

To determine the optimal size of rainwater tanks, several methodologies have been proposed that are based either on daily water balance model (behavioral models) (Fewkes, 1999b; Fewkes and Butler, 2000; Villarreal and Dixon, 2005; Ghisi and Ferreira, 2007; Mitchell, 2007; Zhou et al., 2010; Imteaz et al., 2011; Palla et al., 2011; Ward et al., 2011; Campisano and Modica, 2012; Hajani and Rahman, 2013; Tsihrintzis and Baltas, 2013), or on stochastic rainfall generations (probabilistic models) (Lee et al., 2000; Tsubo et al., 2005; Guo and Baetz, 2007; Cowden et al., 2008; Su et al., 2009; Basinger et al., 2010; Chang et al., 2011). One advantage of the behavioral 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 mass balance equation (Basinger et al., 2010). This problem can be avoided, in part, with the use of long-term rainfall time series. Probabilistic methods have the advantage of their robustness, for example, by using stochastic rainfall generators. A disadvantage of these methods is their portability. Several models adequately describe the rainfall process in one location but may not be satisfactory in another (Basinger et al., 2010).

However, the capacity of rainwater harvesting tanks cannot be formulated, because it is strongly affected by various local variables, such as local rainfall, the collection surfaces, the demand and the number of served residents (Aladenola and Adeboye, 2010; Eroksuz and Rahman, 2010).

Methods for sizing the rainwater harvesting tank vary from country to country depending on standards and regulations adopted by each country. The capacity of

rainwater harvesting tank can be determined either by using the daily or monthly water balance method or using the dry period demand method.

In Greece, the main reasons that cause problems in the use and rational management of water resources are both the unequal distribution of water resources and demand in space and time. Accordingly, it is imposed statutory the construction of rainwater harvesting tanks in 27 Aegean islands. Additionally, 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. According to the study results, a water saving up to 20% in every household and a total of 3.3 Mm³/year can be achieved (Kyriazopoulou, 2012). It is worth to note that there is not a proposed methodology to calculate the size of rainwater harvesting tank in Greece.

The aim of this postgraduate thesis is the sizing of rainwater harvesting tanks in Greece for domestic use. To determine the optimal size of rainwater harvesting tanks two methods, the daily water balance method and the dry period demand method, are used in 75 regions of Greece to meet non-potable water demand of a household 3 to 5 residents and their results are considered.

Methodology

Study areas

Daily rainfall data within the period 1980-1996 from 75 stations distributed across the 14 Water Districts of Greece (Fig. 1) were obtained from the former Ministry of Environment, Physical Planning and Public Works (<http://kyy.hydroscope.gr>). The stations selection criteria were: a) data availability, b) time series completeness and c) spatial rainfall variability coverage.

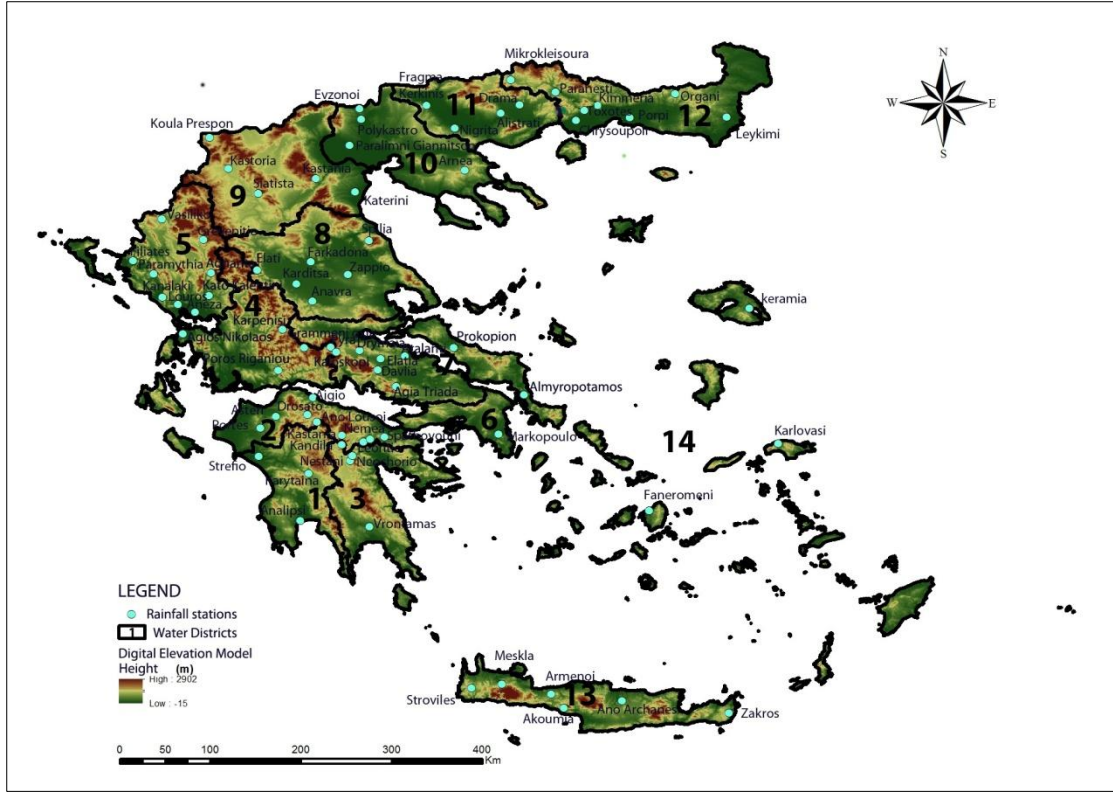


Fig. 1: Locations of the rainfall stations used in this study.

Sizing of rainwater harvesting tank

Daily water balance model

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

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

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

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

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

where C is the runoff coefficient, A the rain collection area (m^2) and $P_{eff,t}$ daily effective rainfall depth at the end of t^{th} day (m). 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, a first flush is assumed equal to 0.33 mm.

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

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

where N_{cap} is the number of residents (capita), q the daily water use per capita (in Greece ranges from 100 l/cap/day to 200 l/cap/day) and p the percentage of total water use satisfied by harvested rainwater. The maximum value of p depends on mean annual rainfall, rain collection area size and number of residents served. If the harvested rainwater is not to be used for potable use and garden irrigation, then the maximum value of p can be ranged from 40% to 55% (Tsihrintzis and Baltas, 2013). In this study, the water demand for non-potable use of a household with number of capita $N_{cap}=3$ to 5 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%).

Based on the daily effective rainfall data, the mean effective annual rainfall can be calculated as

$$\overline{P_{eff}} = 365 \cdot \frac{\sum_{t=1}^N P_{eff,t}}{N} \quad (4)$$

where N is the number of record data points.

Consequently, the mean annual harvested rainwater volume can be calculated from the following equation:

$$R = C \cdot A \cdot \overline{P_{eff}} \quad (5)$$

On the other hand, based on the daily water demand, the mean annual demand can be calculated as

$$D = 365 \cdot N_{cap} \cdot q \cdot (p/100) \quad (6)$$

Assuming that the mean annual harvested rainwater volume is equal to mean annual demand then the minimum required rainwater collection area, A , to satisfy the percentage p of total water demand is calculated as

$$A = 365 \cdot \frac{q}{C \cdot P_{eff}} \cdot \frac{p}{100} \cdot N_{cap} \quad (7)$$

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

$$S_t = S_{t-1} + C \cdot A \cdot P_{eff,t} - N_{cap} \cdot q \cdot (p/100) \quad (8)$$

The daily difference between runoff (inflow) and demand (outflow) is calculated using Eqs. (2) and (3) as follows:

$$\Delta S_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t} - N_{cap} \cdot q \cdot (p/100) \quad (9)$$

Consequently, the Eq. (8) can be rewritten as

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (10)$$

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

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

$$\text{if } S_{t-1} + \Delta S_t \succ V_{tank} \text{ then } V_{tank}, \text{ if } S_{t-1} + \Delta S_t \prec 0 \text{ then } 0 \text{ else } S_t = S_{t,tank} = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (11)$$

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

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

$$\text{if } S_t \geq V_{tank} \text{ then } O_t = S_t - V_{tank} \text{ else } O_t = 0 \quad (12)$$

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

$$\text{if } S_{t,tank} \prec D_t \text{ then } T_t = D_t - S_{t,tank} \text{ else } T_t = 0 \quad (13)$$

The above procedure can be easily applied in a spreadsheet, assuming that the daily rainfall record, at least 5-10 years, (DIN 1989-1, 2002) for the area where the tank will be located, is available.

Dry period demand method

An alternative calculation procedure of rainwater harvesting tank size, used in different countries, is based on meeting demand for the longest annual average dry period (e.g. Caribbean Environmental Health Institute, 2009; Texas Water Development Board, 2005).

In this case, the tank size $V_{tank,dd}$ is calculated as follows:

$$V_{tank,dd} = N_{dd} \cdot N_{cap} \cdot q \cdot (p/100) \quad (14)$$

where N_{dd} is the number of dry days. N_{dd} is equal either the maximum ($N_{dd,max}$) or the mean ($\overline{N_{dd}}$) values of the longest annual dry period recorded.

Results and Discussion

Rainfall data

The analysis of rainfall data from 75 rainfall stations, within 14 water districts of Greece, showed a remarkable spatial variation in rainfall, with mean annual rainfall values ranging from 323 to 1405.2 mm. Figure 2 depicts the mean annual rainfall values and the corresponding standard deviation values for the rainfall time series used in the 75 selected regions. The stations are arranged from west to east in each water district (Fig. 2).

Also, the maximum ($N_{dd,max}$), minimum ($N_{dd,min}$) and mean ($\overline{N_{dd}}$) values of the longest annual dry periods recorded, as well as the corresponding standard deviation for the rainfall time series of all stations studied, were determined and are presented in Table 1. The analysis of the results showed that the smaller values of $N_{dd,max}$ were observed in the central and northern mainland regions of Greece, as well as in mountainous areas of Peloponnesus. In these regions the dry periods are often stopped by summer storms. On the opposite, the greater values of $N_{dd,max}$ were observed in southern regions and Aegean islands.

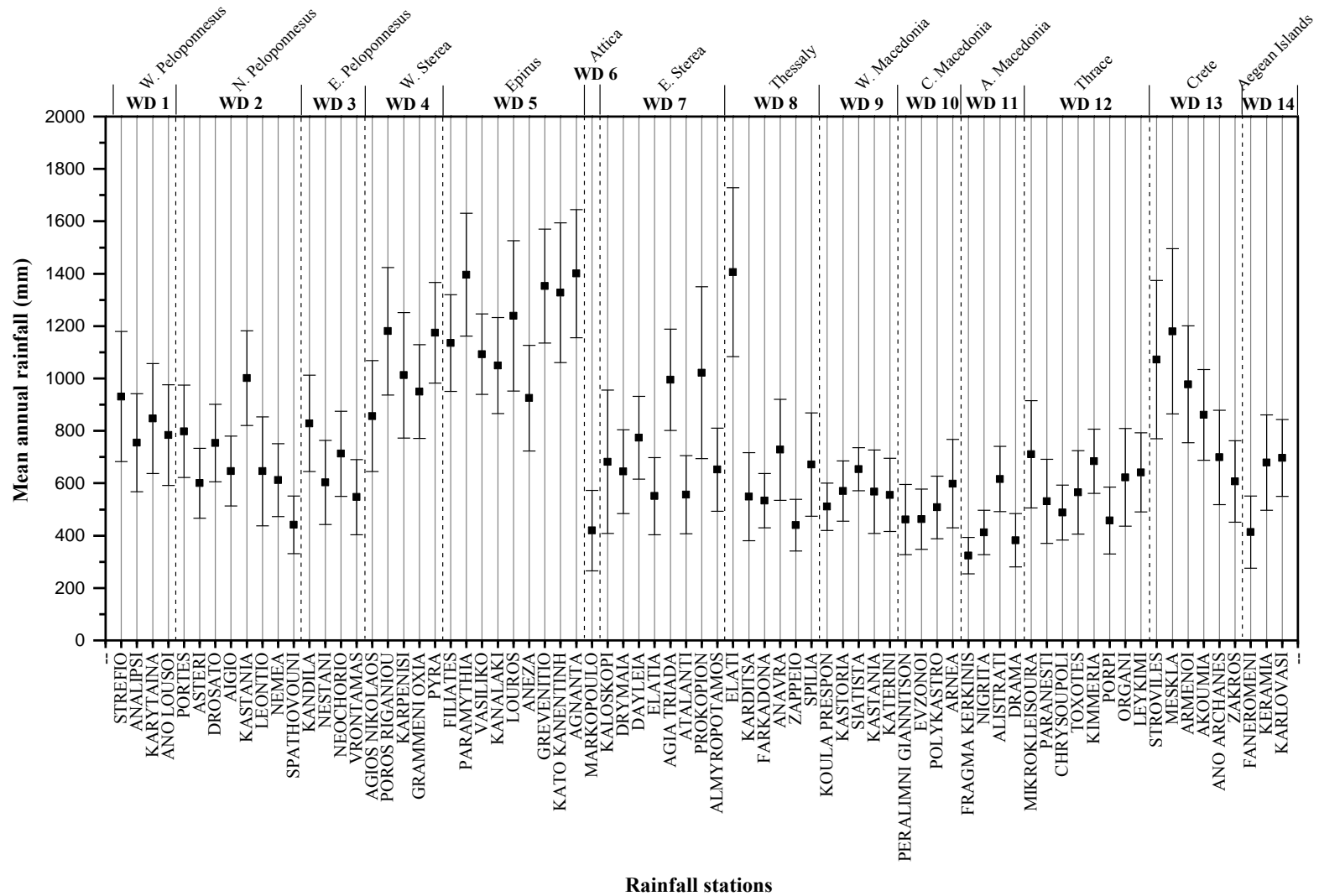


Figure 2: Mean annual rainfall values and the corresponding standard deviation values for the rainfall time series of 75 stations studied. (The stations are arranged in order from west to east within each water district).

Table 1: Max ($N_{dd,max}$), min ($N_{dd,min}$) and mean ($\overline{N_{dd}}$) values of the longest annual dry periods (N_{dd}), and the corresponding standard deviation values (σ) for the rainfall time series of 75 stations studied.

Water District (WD)	Prefecture	Rainfall station	Time series length (years)	$N_{dd,max}$	$N_{dd,min}$	$\overline{N_{dd}}$	σ	
				(days)				
1	WESTERN PELOPONNESUS	ILIA	STREFIO	16	154	41	84.7	38.1
		MESSINIA	ANALIPSI	16	143	37	74.2	34.5
		ARKADIA	KARYTAINA	16	108	30	67.7	23.5
		ACHAIA	ANO LOUSOI	16	114	28	58.6	30.2
2	NORTHERN PELOPONNESUS	ACHAIA	PORTES	16	138	31	76.2	34.0
		ACHAIA	ASTERI	16	193	29	103.3	48.3
		ACHAIA	DROSATO	16	110	30	60.9	24.4
		ACHAIA	AIGIO	16	135	30	74.9	31.3
		KORINTHIA	KASTANIA	16	134	22	55.8	30.8
		KORINTHIA	LEONTIO	16	150	27	73.8	39.1
		KORINTHIA	NEMEA	16	119	30	64.1	29.1
		KORINTHIA	SPATHOVOUNI	16	178	45	86.2	34.9
3	EASTERN PELOPONNESUS	ARKADIA	KANDILA	16	86	25	50.3	17.5
		ARKADIA	NESTANI	16	134	24	53.3	29.1
		ARGOLIDA	NEOCHORIO	16	117	22	50.2	25.5
		LAKONIA	VRONTAMAS	16	154	34	75.8	33.9
4	WESTERN STEREA	AITO/ANIA	AGIOS NIKOLAOS	16	113	31	68.1	20.0
		AITO/ANIA	POROS RIGANIOU	16	104	25	52.4	21.0
		EVKITANIA	KARPENISI	16	87	20	42.2	19.1
		AITO/ANIA	GRAMMENI OXIA	16	92	20	46.5	22.4
		FOKIDA	PYRA	16	77	18	40.2	18.4
5	EPIRUS	THESPROTIA	FILIATES	16	113	34	66.9	21.3
		THESPROTIA	PARAMYTHIA	16	84	23	39.1	15.2
		IOANNINA	VASILIKO	16	79	23	43.7	18.2

		PREVEZA	KANALAKI	16	110	32	54.3	23.2
		PREVEZA	LOUROS	16	87	28	58.3	18.7
		ARTA	ANEZA	16	106	32	64.5	21.0
		IOANNINA	GREVENTIO	16	56	24	34.3	9.9
		ARTA	KATO KALENTINI	16	87	21	54.6	23.5
		ARTA	AGNANTA	16	46	22	33.6	8.3
6	ATTICA	ATTICA	MARKOPOULO	16	191	73	126.7	35.5
		FOKIDA	KALOSKOPI	16	136	31	68.4	26.2
		FTHIOTIDA	DRYMAIA	16	132	26	59.9	30.7
		VIOTIA	DAYLEIA	16	169	41	86.5	39.3
7	EASTERN STEREA	FTHIOTIDA	ELATIA	16	128	33	65.3	29.0
		VIOTIA	AGIA TRIADA	16	97	29	61.4	19.2
		FTHIOTIDA	ATALANTI	16	111	34	61.3	22.4
		EVIA	PROKOPION	16	116	32	62.0	20.4
		EVIA	ALMYROPOTAMOS	16	168	48	89.1	28.2
		TRIKALA	ELATI	16	64	21	45.4	15.3
		KARDITSA	KARDITSA	16	99	20	48.0	19.0
8	THESSALY	TRIKALA	FARKADONA	16	98	35	51.8	18.2
		KARDITSA	ANAVRA	16	104	27	54.2	21.4
		LARISA	ZAPPEIO	16	102	30	54.8	22.3
		LARISA	SPILIA	16	96	25	52.9	24.4
		FLORINA	KOULA PRESPON	11	59	21	34.0	11.1
9	WESTERN MACEDONIA	KASTORIA	KASTORIA	11	58	16	34.9	13.2
		KOZANI	SIATISTA	16	68	19	40.0	14.4
		IMATHIA	KASTANIA	11	57	22	36.5	11.5
		PIERIA	KATERINI	16	67	20	43.5	13.5
10	CENTRAL MACEDONIA	PELLA	PERALIMNI GIANNITSON	10	75	21	48.3	16.5
		KILKIS	EVZONOI	10	54	29	43.1	9.0
		KILKIS	POLYKASTRO	10	55	22	44.4	10.7

		CHALKIDIKI	ARNEA	10	90	21	43.5	19.3
11	EASTERN MACEDONIA	SERRES	FRAGMA KERKINIS	16	104	26	51.7	21.2
		SERRES	NIGRITA	16	122	30	50.5	23.8
		SERRES	ALISTRATI	16	52	22	34.5	8.2
		DRAMA	DRAMA	16	53	23	37.5	9.2
12	THRACE	DRAMA	MIKROKLEISOURA	16	80	19	42.6	19.8
		DRAMA	PARANESTI	16	93	24	47.5	20.3
		KAVALA	CHRYSOUPOLI	16	77	21	42.3	13.9
		XANTHI	TOXOTES	16	64	18	37.1	12.4
		XANTHI	KIMMERIA	9	62	23	39.5	15.3
		RODOPI	PORPI	16	113	22	47.1	22.4
		RODOPI	ORGANI	16	77	26	46.6	16.3
		EVROS	LEYKIMI	16	106	25	49.7	20.7
13	CRETE	CHANIA	STROVILES	16	169	44	124.5	38.4
		CHANIA	MESKLA	16	188	67	125.9	39.7
		RETHYMNO	ARMENOI	16	155	65	118.7	29.1
		RETHYMNO	AKOUMIA	16	208	51	136.8	37.6
		HERAKLIO	ANO ARCHANES	16	183	83	129.1	34.4
		LASITHI	ZAKROS	16	214	81	144.1	42.1
14	AEGEAN ISLANDS	NAXOS	FANEROMENI	7	196	118	152.9	32.2
		SAMOS	KARLOVASI	7	189	130	160.7	22.7
		LESVOS	KERAMIA	16	217	74	144.1	41.6

Water balance method

Taking into account the calculated values of required collection area for all stations studied, the daily water balance model was applied in a spreadsheet of Microsoft Excel using the procedure presented in methodology section. Using an optimization algorithm (e.g. “goal seek” in Microsoft Excel) the required tank capacity is the one which makes zero the use of public water supply for given minimum required collection area A , $C=0.9$, $N_{cap}=3$ to 5, $q=150$ l/cap/day and $p=30\%$ to 50%, with the assumption that the tank is initially full. Since the required tank capacity was calculated then the same optimization algorithm is applied, assuming that public water supply equals to zero, in order to find the minimum required initial tank capacity. As evidenced by the above-mentioned procedure, the relationship between tank size, V_{tank} , and the required collection area, A , as was calculated using eq. (7), is a linear relationship of the following form:

$$V_{tank} = a \cdot A \quad (15)$$

In Table 2, the values of parameter a for all stations studied are presented. The values range from 0.2841 to 1.9819.

Evaluating these results, it becomes clear that the required rainwater tank sizes are very large causing possible problems as it may be impractical to install due to space and cost limitations and there is an increased risk of quality degradation of harvested rainwater. In order to size smaller rainwater tank for both limiting the above-mentioned problems and meeting building rules, efforts were made to determine the tank size increasing gradually the rainwater collection area from the minimum required one, which was used by linear relation $V_{tank}(A)$ for the same number of residents and percentage of total demand. The collection areas applied ranged from 100 to 300 m².

Generally, in all cases studied, regardless of the slope (parameter a) of the equation $V_{tank}(A)$, significant reduction of the required rainwater tank volume was observed by increasing collection area. That reduction can be fitted by a power form equation $V_{opt,t} = c \cdot A^d$ where c and d are the fitting parameters. In Fig. 3a-f six selected cases of the 75 ones studied are presented.

Table 2: Parameter a of the equation of rainwater tank volume as a function of minimum required roof area ($V_{\text{tank}} = a \cdot A$), for all stations studied.

Water District (WD)	Prefecture	Station	a	
1	WESTERN PELOPONNESUS	MESSINIA	ANALIPSI	0.6865
		ACHAIA	ANO LOUSOI	1.0628
		ILIA	STREFIO	1.5526
		ARKADIA	KARYTAINA	1.4053
2	NORTHERN PELOPONNESUS	ACHAIA	AIGIO	0.8718
		ACHAIA	DROSATO	0.9695
		ACHAIA	ASTERI	0.9212
		ACHAIA	PORTES	1.2070
		KORINTHIA	LEONTIO	1.2609
		KORINTHIA	KASTANIA	0.9440
		KORINTHIA	SPATHOVOUNI	0.6759
		KORINTHIA	NEMEA	0.6193
3	EASTERN PELOPONNESUS	ARGOLIDA	NEOCHORIO	0.7661
		ARKADIA	NESTANI	0.8322
		ARKADIA	KANDILA	0.9806
		LAKONIA	VRONTAMAS	0.8514
4	WESTERN STEREA	AITOL/ANIA	GRAMMENI OXIA	0.9649
		AITOL/ANIA	POROS RIGANIOU	1.6124
		AITOL/ANIA	AGIOS NIKOLAOS	1.2855
		EVKITANIA	KARPENISI	1.2278
		FOKIDA	PYRA	1.5462
5	EPIRUS	ARTA	AGNANTA	1.4077
		ARTA	ANEZA	1.2904
		ARTA	KATO KALENTINI	1.7595
		THESPROTIA	PARAMYTHIA	1.9072
		THESPROTIA	FILIATES	1.2302
		IOANNINA	GREVENITIO	1.4856
		IOANNINA	VASILIKO	0.9756
		PREVEZA	KANALAKI	1.5615
6	ATTICA	PREVEZA	LOUROS	1.8035
		ATTICA	MARKOPOULO	0.7093
7	EASTERN STEREA	FOKIDA	KALOSKOPI	1.0984
		VIOTIA	DAYLEIA	0.8456
		VIOTIA	AGIA TRIADA	1.3538
		EVIA	ALMYROPOTAMOS	0.9556
		EVIA	PROKOPION	1.4356
		FTHIOTIDA	ATALANTI	0.9165
		FTHIOTIDA	ELATIA	0.7312
8	THESSALY	FTHIOTIDA	DRYMAIA	0.6596
		KARDITSA	ANAVRA	1.0884
		KARDITSA	KARDITSA	0.6225
		LARISA	ZAPPEIO	0.6209

		LARISA	SPILIA	0.4735
		TRIKALA	ELATI	1.9819
		TRIKALA	FARKADONA	0.6591
9	WESTERN MACEDONIA	IMATHIA	KASTANIA	0.4711
		KASTORIA	KASTORIA	0.4437
		PIERIA	KATERINI	0.8061
		FLORINA	KOULA PRESPON	0.5790
		KOZANI	SIATISTA	0.3955
		PELLA	PARALIMNI GIANNITSON	0.5769
10	CENTRAL MACEDONIA	KILKIS	EVZONOI	0.5110
		KILKIS	POLYKASTRO	0.5720
		CHALKIDIKI	ARNEA	0.6290
11	EASTERN MACEDONIA	DRAMA	DRAMA	0.3518
		SERRES	NIGRITA	0.2841
		SERRES	ALISTRATI	0.7874
		SERRES	FRAGMA KERKINIS	0.3569
		DRAMA	MIKROKLEISOURA	1.1755
12	THRACE	DRAMA	PARANESTI	1.0240
		EVROS	LEYKIMI	1.0181
		KAVALA	CHRYSOUPOLI	0.6899
		XANTHI	TOXOTES	0.7428
		XANTHI	KIMMERIA	0.5119
		RODOPI	PORPI	0.8364
		RODOPI	ORGANI	0.7492
13	CRETE	HERAKLIO	ANO ARCHANES	0.7573
		LASITHI	ZAKROS	0.8878
		RETHYMNO	AKOUMIA	1.4232
		RETHYMNO	ARMENOI	1.0680
		CHANIA	MESKLA	1.7029
		CHANIA	STROVILES	1.7721
14	AEGEAN ISLANDS	NAXOS	FANEROMENI	0.4693
		SAMOS	KARLOVASI	0.4569
		LESVOS	KERAMIA	1.0805

The results, in all 75 rainfall stations studied, were evaluated using a tank size value of 50 m³ that corresponds to a feasible construction tank size according to Greek urban planning and building codes. Overall, in the majority of stations studied, the 30% of total water demand for 3 to 5 residents can be satisfied by smaller tank volumes than 50 m³ and collection area up to 200 m² (e.g. Agnanta, Meskla and Kimmeria, Fig. 3a-c), while tank volumes up to 50 m³ and collection area up to 300 m² are required to satisfy the 40% of total water demand for 4 residents (e.g. Agnanta, Meskla and Kimmeria, Fig. 3a-c). On the other hand, greater tank volumes and collection areas are required to satisfy the 50% of

total water demand for 4 residents, as well as both 40% and 50% for 5 residents (e.g. Keramia, Drama and Faneromeni, Fig. 3d-f). There are few exceptions regard to either in cases with simultaneous high mean annual rainfall and low annual dry period, where the water use of 50% for 5 residents can be fully satisfied (e.g. Agnanta, Fig. 3a), or in cases with simultaneous low mean annual rainfall and high annual dry period, where only the 30% of total water needs for 3 residents can be fully satisfied (e.g. Faneromeni, Fig. 3f).

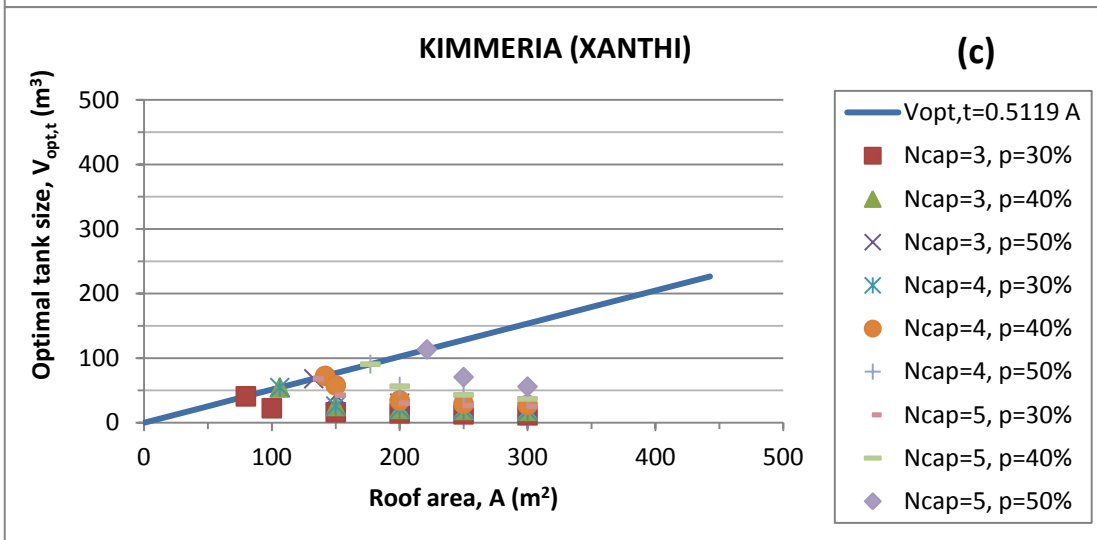
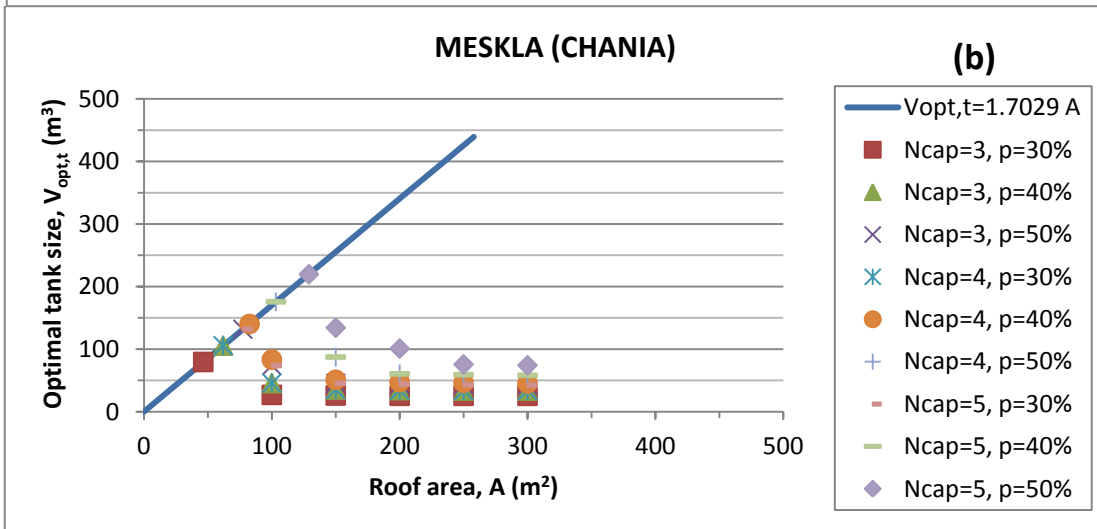
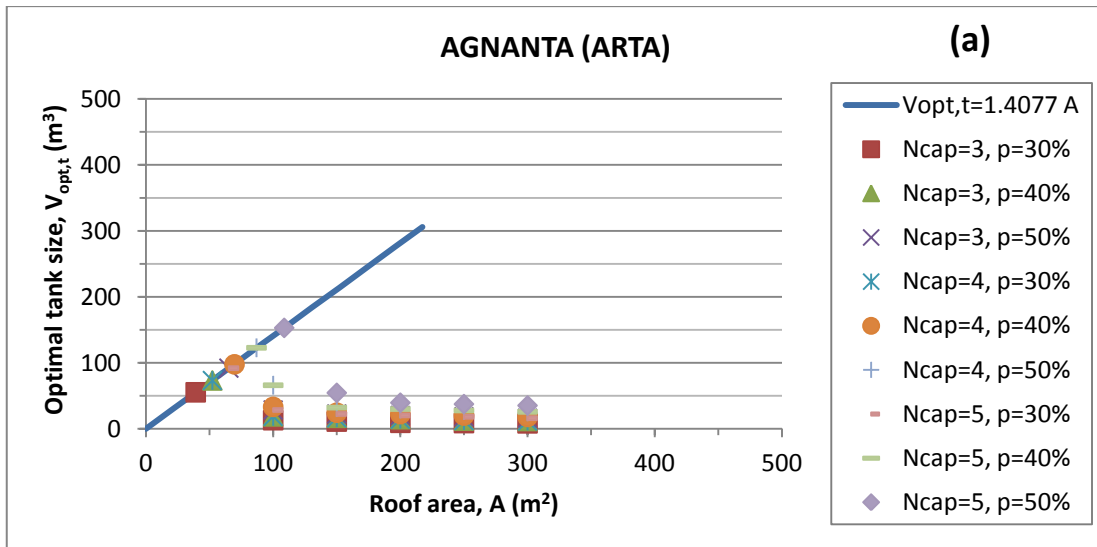
Specifically, in six characteristic cases presented in Fig. 3a-f, stations of Agnanta, Arta and Meskla, Chania have high mean annual rainfall depth and low and high annual dry period, respectively, Kimmeria, Xanthi and Keramia, Lesvos have medium mean annual rainfall depth and low and high annual dry period, respectively, and Drama, Drama and Faneromeni, Naxos have low mean annual rainfall depth and low and high annual dry period, respectively.

Dry period demand method

Additionally, the rainwater tank sizing was done using the maximum ($N_{dd,max}$) and mean ($\overline{N_{dd}}$) values of the longest annual dry period. Based on the $N_{dd,max}$ values the smallest required rainwater tank volumes calculated were observed in Agnanta, Arta with the smallest $N_{dd,max}$ (46 days) and ranged from 6.21 to 17.25 m³ to satisfy the 30% of total water demand for 3 residents and 50% for 5 residents, respectively. While the greatest ones were observed in Keramia, Lesvos with the highest $N_{dd,max}$ (217 days) and ranged from 29.30 to 81.35 m³ to satisfy the 30% of total water demand for 3 residents and 50% for 5 residents, respectively.

Correspondingly, taking into account the $\overline{N_{dd}}$ values the smallest required rainwater tank volumes calculated were observed in Agnanta, Arta with the smallest $\overline{N_{dd}}$ (33.6 days), and ranged from 4.54 to 12.61 m³ and the greatest ones were observed in Karlovasi, Samos with the highest $\overline{N_{dd}}$ (160.7 days) and ranged from 21.70 to 60.27 m³ to satisfy the 30% of total water demand for 3 residents and 50% for 5 residents, respectively.

Therefore, the evaluation of results, using the tank volume of 50 m³, showed that the percentage 50% of total water demand for 5 residents can be satisfied by a dry period up to 133 days.



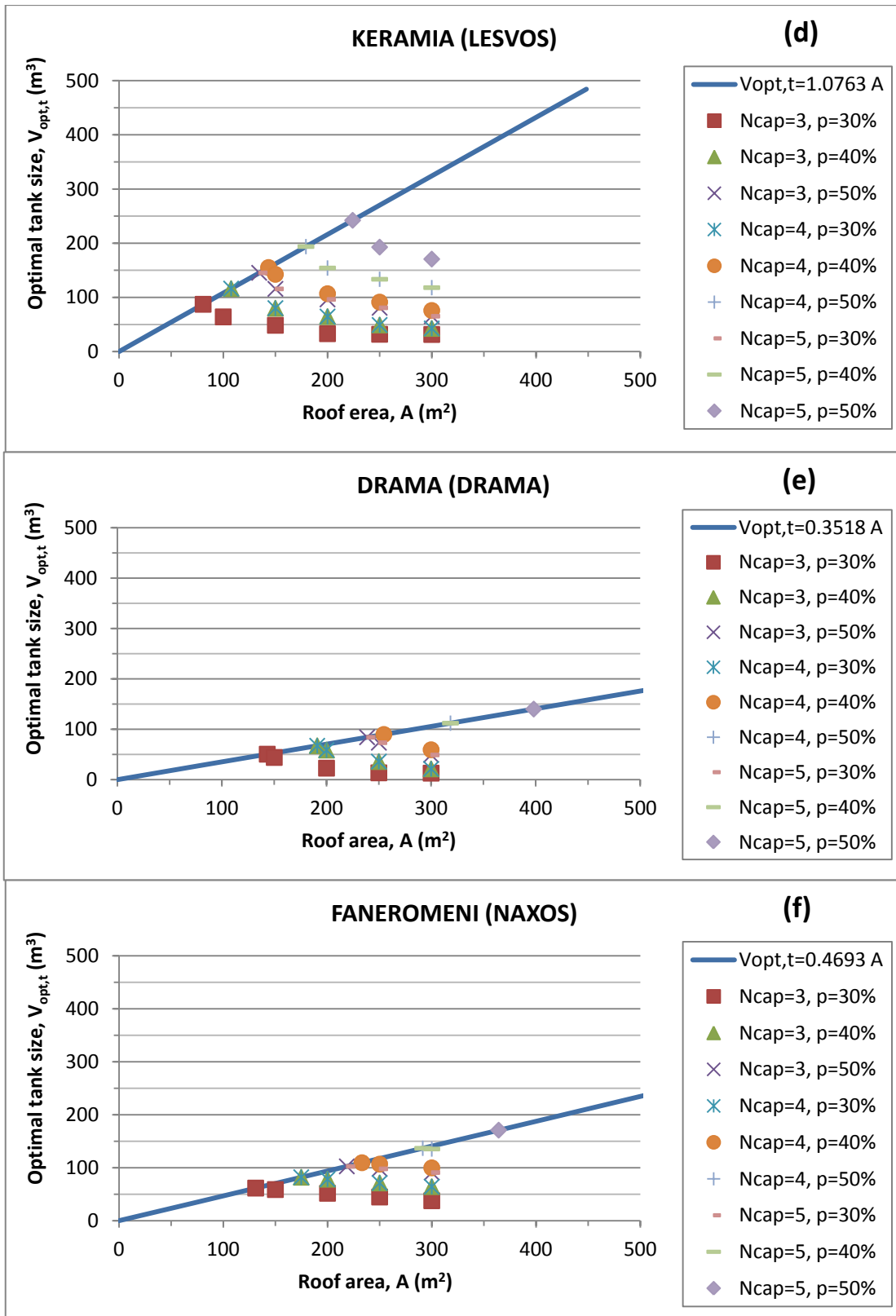


Figure 3a-f: Optimal rainwater tank volumes as a function of roof area using daily water balance model to meet the percentage of $p=30\%$ to 50% of total daily demand for number of capita $N_{cap}=3$ to 5 for zero public water supply.

Sizing methods comparison

Efforts were made to compare tank sizing results among stations with different rainfall regime, for both methods examined. So, pairs of stations were chosen that had similar mean annual rainfall, \bar{P} , and high $N_{dd,max}$ difference. Those pairs were Agnanta, Arta and Meskla, Chania in the case of high \bar{P} , Kimmeria, Xanthi and Keramia, Lesvos in the case of medium \bar{P} , Faneromeni, Naxos and Drama, Drama in the case of low \bar{P} . Results are presented in Tables 3-5 for rainwater collection areas 100-300 m² and all demand levels studied (30%-50% of 3-5 residents).

Results from daily water balance method revealed that the lowest tank volumes are required in Agnanta, Arta station where both high \bar{P} and low $N_{dd,max}$ occur, while the highest volumes are required in Faneromeni, Naxos station where both low \bar{P} and high $N_{dd,max}$ occur (Tables 3-5).

The $N_{dd,max}$ value has strong influence over tank volume, as remarkable volume differences were observed both between stations with similar \bar{P} and high $N_{dd,max}$ difference (e.g Agnanta, Arta and Meskla, Chania) and between stations with high \bar{P} and $N_{dd,max}$ difference (e.g Kimmeria, Xanthi and Meskla, Chania) as presented in Tables 3-5.

Meeting low and medium demands (up to 40% of 4 residents) will need as smaller tanks as smaller the $N_{dd,max}$ value is (Tables 3 and 4). Rainfall value is decisive in tank sizing when high demand (50% of 4-5 residents) should be met and rainfall values are low (e.g Drama, Table 5). Moreover, in low \bar{P} areas, high demand (50% of 4-5 residents) require collection area more than 300 m², regardless $N_{dd,max}$ value (Table 5).

Tank volumes from the dry period method are, in general, much smaller than those from the daily balance method. Volumes from two methods approximate only in the case of high dry period, medium-high \bar{P} stations, for collection areas more than 300 m² and low demand (30%, 3-5 residents) satisfaction (Table 3). A characteristic case is a high \bar{P} , high $N_{dd,max}$ station (Meskla) where $V_{dd,max}$ volumes equals volumes from daily balance method, for collection areas equal or more than 300 m², in all demand levels studied (Tables 3-5).

In the case of using $\overline{N_{dd}}$ value in dry period method, all tank volumes results are much smaller than those in daily balance method, in every case studied, as anticipated (Tables 3-5).

Table 3: Required rainwater tank volumes, $V_{opt,t}$, using the daily water balance to meet the percentage $p=30\%$ of total daily demand $q=150$ l/cap/day for $N_{cap}=3$ to 5 residents and roof areas $A=100$ to 300 m² for zero public water supply. Required rainwater tank volumes, $V_{dd,max}$ και $\overline{V_{dd}}$, by the dry period demand method using the maximum, $N_{dd,max}$, and mean $\overline{N_{dd}}$ values of the longest annual dry periods, respectively. Red coloured values regard tank volumes which refer to collection areas smaller than minimum required ones as calculated by the equality of mean annual demand and mean annual harvested rain water volume.

Station	\overline{P} (mm)	$N_{dd,max}$ (days)	$\overline{N_{dd}}$ (days)	N_{cap}	$V_{opt,t}$ (m ³)					$V_{dd,max}$ (m ³)	$\overline{V_{dd}}$ (m ³)		
					$p=30\%$								
					100	150	200	250	300				
Agnanta (Arta, WD5)	1399.4	46	33.6	3	13.03	10.91	9.05	8.64	8.23	6.21	4.54		
				4	18.79	16.67	14.54	12.42	11.79			8.28	6.05
				5	28.46	22.43	20.30	18.18	16.06			10.35	7.57
Meskla (Chania, WD13)	1178.9	188	125.9	3	26.85	25.87	25.38	25.38	25.38	25.38	17.00		
				4	45.77	35.45	34.49	33.84	33.84			33.84	22.67
				5	73.89	45.35	44.07	43.11	42.30			42.30	28.34
Kimmeria (Xanthi, WD12)	687.1	62	39.5	3	22.32	16.09	14.48	12.87	11.34	8.37	5.33		
				4	73.26	25.81	21.46	19.85	18.23			11.16	7.11
				5	198.49	42.37	30.19	26.82	25.21			13.95	8.89
Keramia (Lesvos, WD14)	678.6	217	144.1	3	63.90	48.40	32.90	31.82	31.46	29.30	19.45		
				4	144.50	80.03	64.53	49.03	42.66			39.06	25.94
				5	358.77	115.60	96.17	80.66	65.16			48.83	32.42
Drama (WD11)	382.0	53	37.5	3	212.62	43.94	22.72	13.41	12.77	7.16	5.06		
				4	442.53	204.00	58.59	35.82	21.34			9.54	6.75
				5	672.44	433.89	195.49	73.24	49.00			11.93	8.44
Faneromeni (Naxos, WD14)	417.6	196	152.9	3	102.57	58.73	51.71	44.69	37.67	26.46	20.64		
				4	207.29	107.47	78.30	71.28	64.26			35.28	27.51
				5	313.67	204.73	117.58	97.88	90.86			44.10	34.39

Table 4: Required rainwater tank volumes, $V_{opt,t}$, using the daily water balance to meet the percentage $p=40\%$ of total daily demand $q=150$ l/cap/day for $N_{cap}=3$ to 5 residents and roof areas $A=100$ to 300 m² for zero public water supply. Required rainwater tank volumes, $V_{dd,max}$ και $\overline{V_{dd}}$, by the dry period demand method using the maximum, $N_{dd,max}$, and mean $\overline{N_{dd}}$ values of the longest annual dry periods, respectively. Red coloured values regard tank volumes which refer to collection areas smaller than minimum required ones as calculated by the equality of mean annual demand and mean annual harvested rain water volume.

Station	\overline{P} (mm)	$N_{dd,max}$ (days)	$\overline{N_{dd}}$ (days)	N_{cap}	$V_{opt,t}$ (m ³)					$V_{dd,max}$ (m ³)	$\overline{V_{dd}}$ (m ³)
					$p=40\%$						
					100	150	200	250	300		
Agnanta (Arta, WD5)	1399.4	46	33.6	3	18.79	16.67	14.54	12.42	11.79	8.28	6.05
				4	33.17	24.35	22.22	20.10	17.98	11.04	8.07
				5	65.97	32.10	29.90	27.78	25.66	13.80	10.09
Meskla (Chania, WD13)	1178.9	188	125.9	3	45.77	35.45	34.49	33.84	33.84	33.84	22.67
				4	83.27	51.05	47.27	46.31	45.34	45.12	30.23
				5	206.25	87.40	60.47	59.09	58.12	56.40	37.78
Kimmeria (Xanthi, WD12)	687.1	62	39.5	3	73.26	25.81	21.46	19.85	18.38	11.16	7.11
				4	246.13	57.69	34.42	29.15	27.53	14.88	9.48
				5	436.71	178.63	56.50	43.02	36.83	18.60	11.85
Keramia (Lesvos, WD14)	678.6	217	144.1	3	144.50	80.03	64.53	49.03	42.66	39.06	25.94
				4	444.27	142.42	106.71	91.21	75.71	52.08	34.58
				5	786.27	337.38	154.13	133.39	117.89	65.10	43.23
Drama (WD11)	382.0	53	37.5	3	207.29	107.47	78.30	71.28	64.26	35.28	25.71
				4	349.13	240.13	143.29	106.74	99.72	47.04	36.69
				5	497.59	381.85	272.98	179.11	135.33	58.80	45.86
Faneromeni (Naxos, WD14)	417.6	196	152.9	3	442.35	203.94	58.59	35.82	21.34	9.54	6.75
				4	748.83	510.29	271.91	102.36	59.20	12.72	9.00
				5	1055.61	817.07	578.52	340.01	129.86	15.90	11.25

Table 5: Required rainwater tank volumes, $V_{opt,t}$, using the daily water balance to meet the percentage $p=50\%$ of total daily demand $q=150$ l/cap/day for $N_{cap}=3$ to 5 residents and roof areas $A=100$ to 300 m² for zero public water supply. Required rainwater tank volumes, $V_{dd,max}$ και $\overline{V_{dd}}$, by the dry period demand method using the maximum, $N_{dd,max}$, and mean $\overline{N_{dd}}$ values of the longest annual dry periods, respectively. Red coloured values regard tank volumes which refer to collection areas smaller than minimum required ones as calculated by the equality of mean annual demand and mean annual harvested rain water volume.

Station	\overline{P} (mm)	$N_{dd,max}$ (days)	$\overline{N_{dd}}$ (days)	N_{cap}	$V_{opt,t}$ (m ³)					$V_{dd,max}$ (m ³)	$\overline{V_{dd}}$ (m ³)
					$p=50\%$						
					100	150	200	250	300		
Agnanta (Arta, WD5)	1399.4	46	33.6	3	28.46	22.43	20.30	18.18	16.06	10.35	7.57
				4	65.97	32.10	29.90	27.78	25.66	13.80	10.09
				5	244.71	54.46	39.50	37.38	35.26	17.25	12.61
Meskla (Chania, WD13)	1178.9	188	125.9	3	73.89	45.35	44.07	43.11	42.30	42.30	28.34
				4	206.25	87.40	60.47	59.09	58.12	56.40	37.78
				5	542.72	134.27	100.91	75.59	74.10	70.50	47.23
Kimmeria (Xanthi, WD12)	687.1	62	39.5	3	198.49	42.37	30.19	26.82	25.21	13.95	8.89
				4	436.71	178.63	56.50	43.02	36.83	18.60	11.85
				5	675.06	416.83	177.83	70.62	55.85	23.25	14.81
Keramia (Lesvos, WD14)	678.6	217	144.1	3	358.77	115.60	96.17	80.66	65.16	48.83	32.42
				4	786.27	337.38	154.13	133.39	117.89	65.10	43.23
				5	1214.49	751.90	341.66	192.67	170.61	81.38	54.04
Drama (WD11)	382.0	53	37.5	3	672.44	433.89	195.49	73.24	49.00	11.93	8.44
				4	1055.61	817.07	578.52	340.01	129.86	15.90	11.25
				5	1438.86	1200.24	961.70	723.15	484.61	19.88	14.06
Faneromeni (Naxos, WD14)	417.6	196	152.9	3	313.67	204.73	117.58	97.88	90.86	44.10	34.39
				4	497.59	381.85	272.98	179.11	135.33	58.80	45.86
				5	687.04	559.15	450.04	341.22	245.47	73.50	57.32

Conclusions

In the majority of 75 rainfall stations studied, tank sizes up to 50 m³ can meet a 135 to 225 l/d demand (30% of total demand of 3 to 5 residents), with roof areas not exceeding 200 m², while a 240 l/d demand (40% of 4 residents) can be met with the same tank size by just increasing roof area to 300 m². More than 50 m³ tank size is needed in order to meet demands of 300 l/d (40% of 5, 50% of 4 residents) or 375 l/d (50% of 5 residents).

Only a few exceptions exist, regarding either stations with high annual rainfall and low dry period (e.g Agnanta, Arta), which can meet a 375 l/d (50% of 5 residents) demand with tank size up to 50 m³, or stations with low annual rainfall and high dry period (Faneromeni, Naxos) which can meet only a 135 l/d demand (30% of 3 residents) with tank size of 50 m³ if the roof area reaches 300 m².

The smallest tanks are needed in Epirus mountain areas, where a 135 l/d demand (30% of 3 residents) can be met with a 10 m³ tank, while the largest tanks are needed in Attica-Cyclades area where a 135 l/d demand needs a 50 m³ tank.

Tank size is strongly affected by dry period value, since comparison among stations with large difference in dry period, regardless their difference in annual rainfall, showed a large difference in tank sizes.

As a result of the dry period's dominant role in tank sizing, it was concluded that small dry period leads to small tanks, with the exception of low rainfall-high demand (300-375 l/d) case, where low rainfall increases sizes, having the dominant role.

In low rainfall areas regardless dry period value, roof areas of more than 300 m² are needed in order to meet high demands (300-375 l/d).

Comparison among dry period demand and daily water balance method showed that in all cases, dry period demand method calculates smaller tanks, with the exception of areas with medium-high rainfall and high dry period on one hand, and low-medium demand (135-225 l/d) and high roof areas (more than 300 m²) on the other.

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η εύρεση του βέλτιστου όγκου ομβροδεξαμενής για αστική χρήση στην Ελλάδα. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζονται δύο μέθοδοι διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών σε 75 περιοχές της Ελλάδας για την κάλυψη των αναγκών μη πόσιμου νερού ενός νοικοκυριού 3 έως 5 ατόμων και τα αποτελέσματά τους κρίνονται τόσο μεμονωμένα όσο και συγκριτικά.

1.2 Πρωτότυπα σημεία

Διαστασιολόγηση δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων με τις μεθόδους του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου και της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου πραγματοποιήθηκε για 75 περιοχές της Ελλάδας, καλύπτοντας και τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας, για την εξασφάλιση του 30% έως 50% των οικιακών αναγκών σε νερό ενός νοικοκυριού 3 έως 5 ατόμων.

Για τις ανάγκες της πρώτης μεθόδου αναπτύχθηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου υπολογισμού του βέλτιστου μεγέθους της δεξαμενής, εισάγοντας ευριστικούς αλγορίθμους επιτρέποντας την περίσσεια του νερού να υπερχειλίζει και ρυθμίζοντας στο μηδέν τη χρήση της δημόσιας παροχής ύδατος. Δεδομένης της ανάγκης για διαστασιολόγηση όσο γίνεται μικρότερων ομβροδεξαμενών, διερευνήθηκε η μείωση των υπολογισμένων όγκων με αύξηση της επιφάνειας συλλογής ομβρίων και διαπιστώθηκε ότι η μείωση αυτή ακολουθεί καμπύλη υπερβολικής μορφής.

Η διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών έγινε και με την απλή μέθοδο της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

Διερευνήθηκαν οι παράγοντες που επιδρούν ισχυρά στο μέγεθος της ομβροδεξαμενής και διαπιστώθηκε ότι καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η κατανομή της βροχόπτωσης έναντι του ετήσιου ύψους. Η μέγιστη ετήσια άνομβρη περίοδος αποτελεί ικανοποιητικό μέγεθος έκφρασης της κατανομής της βροχόπτωσης.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η διάρθρωση της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει 6 κεφάλαια.

Το Κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή και αφορά στο παρόν κεφάλαιο.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια επισκόπηση πάνω στο θέμα των υδατικών αποθεμάτων και χρήσεων νερού τόσο σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο όσο και σε επίπεδο Ελλάδας και διερευνάται η πίεση που δέχονται τα υδατικά αποθέματα.

Στο Κεφάλαιο 3 διερευνάται η συλλογή όμβριων υδάτων ως μέτρο αντιμετώπισης της πίεσης των υδατικών αποθεμάτων και εναλλακτική χρήση υδατικών πόρων και πραγματοποιείται εκτεταμένη βιβλιογραφική επισκόπηση επί αυτού και επί των μεθόδων διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών.

Στο Κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται ανάπτυξη και εφαρμογή των μεθόδων διαστασιολόγησης δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων. Παρουσιάζονται οι μέθοδοι του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου και της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών με τις δύο μεθόδους υπολογισμού και γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων.

Στο Κεφάλαιο 6 συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2 Υδατικά αποθέματα – Χρήσεις νερού

2.1 Χρήσεις νερού σε παγκόσμια κλίμακα

Παρά τα τεράστια αποθέματα νερού στον πλανήτη, δεκαετίες μη βιώσιμης διαχείρισης έφτασαν την έλλειψη νερού σε κρίσιμο σημείο σε πολλές περιοχές. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ανθρωπότητα καταναλώνει περισσότερο από το 50% του συνόλου των προσβάσιμων και ανανεώσιμων πηγών γλυκού νερού, ενώ ταυτόχρονα δισεκατομμύρια άνθρωποι εξακολουθούν να στερούνται τις πιο βασικές υπηρεσίες νερού (Pacific, 2009).

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η χρήση νερού παγκοσμίως ανά τομέα (γεωργία, βιομηχανία, αστική χρήση) στις αρχές της δεκαετίας του 2000 (www.unep.org) και στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζονται οι κυρίαρχες χρήσεις νερού ανά χώρα (www.unep.org), όπως διαμορφώνονται ανάλογα με τα ιδιαίτερα γεωγραφικά, οικονομικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά κάθε χώρας.

Είναι εμφανές ότι ο γεωργικός τομέας είναι μακράν ο μεγαλύτερος χρήστης του νερού.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η γεωργία αντιπροσωπεύει περίπου το 49% της συνολικής κατανάλωσης του γλυκού νερού, με το 80% αυτού να χρησιμοποιείται για άρδευση, ενώ στην Αφρική και την Ασία, εκτιμάται ότι περίπου το 85%-90% του συνόλου του γλυκού νερού που χρησιμοποιείται είναι για τη γεωργία (Shiklomanov, 1999).

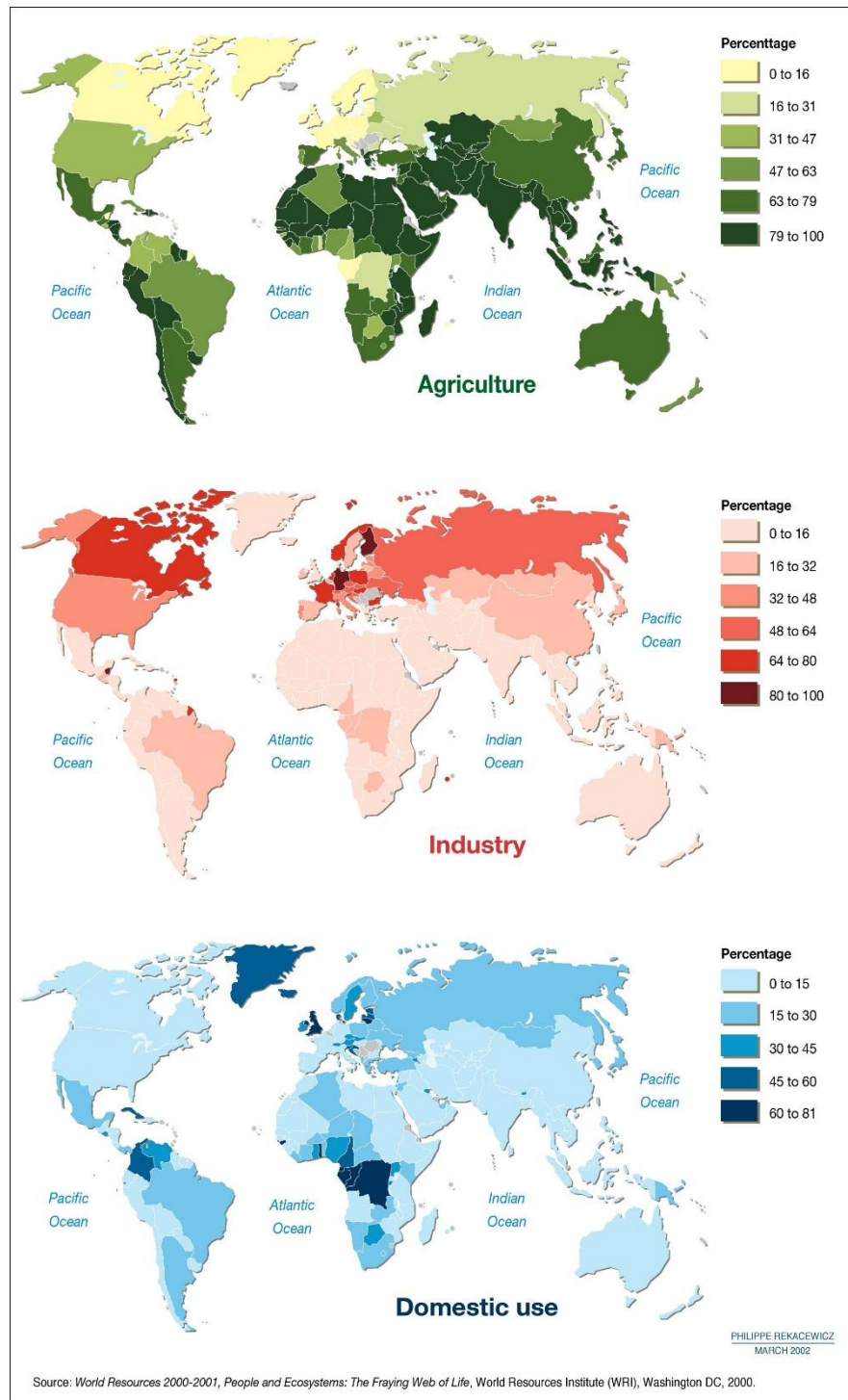
Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις για το έτος 2000, η γεωργία αντιπροσώπευε το 67% της συνολικής απόληψης του γλυκού νερού στον κόσμο και το 86 % της κατανάλωσής της (UNESCO, 2000).

Η βιομηχανική χρήση αντιπροσώπευε περίπου το 13% της παγκόσμιας απόληψης νερού, με το 57%-69% να χρησιμοποιείται για υδροηλεκτρική ενέργεια και πυρηνική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το 30%-40% για βιομηχανικές διαδικασίες και το 0.5%-3% για θερμική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Shiklomanov, 1999).

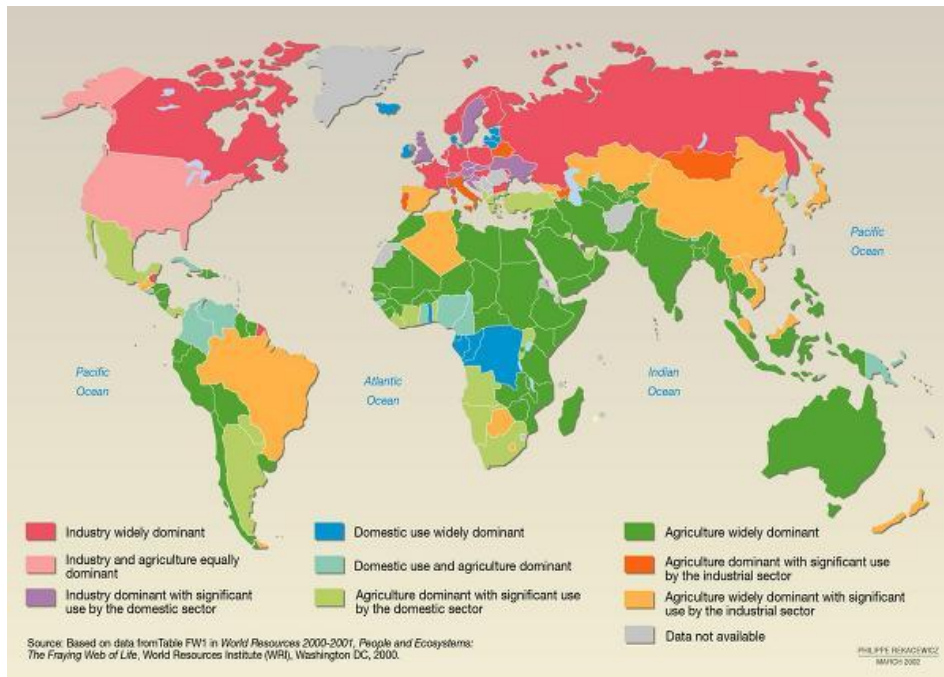
Όσον αφορά στην οικιακή χρήση, οι άνθρωποι στις ανεπτυγμένες χώρες κατά μέσο όρο καταναλώνουν περίπου 10 φορές περισσότερο νερό ημερησίως από εκείνους στις αναπτυσσόμενες χώρες. Εκτιμάται ότι ο μέσος άνθρωπος στις ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιεί 500-800 l/day (300 m³/έτος), σε σύγκριση με 60-150 λίτρα ανά ημέρα (20 m³/έτος) στις αναπτυσσόμενες χώρες (UNESCO, 2000). Στις μεγάλες πόλεις η απόληψη νερού υπολογίζεται σε 300-600 l/άτομο/ημέρα, ενώ στις μικρές πόλεις 100-150

l/άτομο/ημέρα, και η κατανάλωση μπορεί να φτάσει το 40%-60% της συνολικής απόληψης νερού (UNESCO, 2000).

Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζονται οι τάσεις στην παγκόσμια χρήση νερού ανά τομέα (www.unep.org), όσον αφορά στις απολήψεις και καταναλώσεις νερού, έως το 2025.

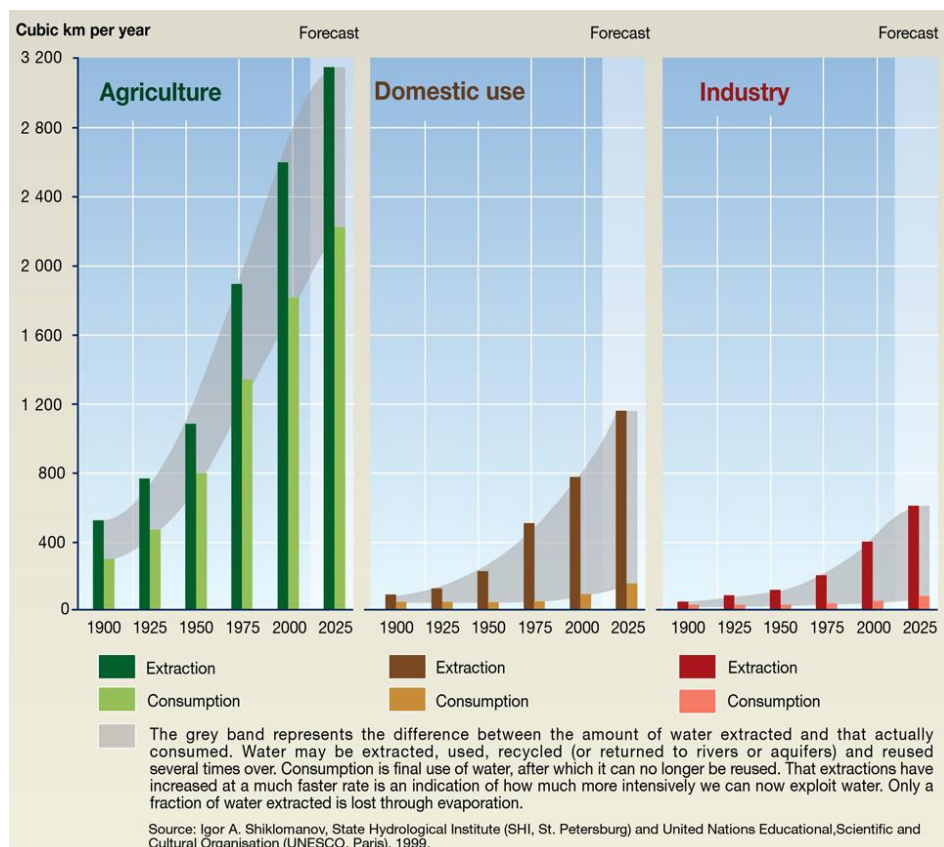


Σχήμα 2.1: Χρήση του νερού ανά τομέα στις αρχές της δεκαετίας του 2000 σε παγκόσμιο επίπεδο (πηγή: www.unep.org).



Σχήμα 2.2: Κυρίαρχες χρήσεις νερού ανά χώρα (πηγή: www.unep.org).

Μέχρι το 2025, η γεωργία αναμένεται να αυξήσει τις ανάγκες της σε νερό κατά 1.3 φορές, η βιομηχανία κατά 1.5 φορές, και η αστική κατανάλωση κατά 1.8 φορές (Shiklomanov, 1999).



Σχήμα 2.3: Τάσεις στην παγκόσμια χρήση νερού ανά τομέα (πηγή: www.unep.org).

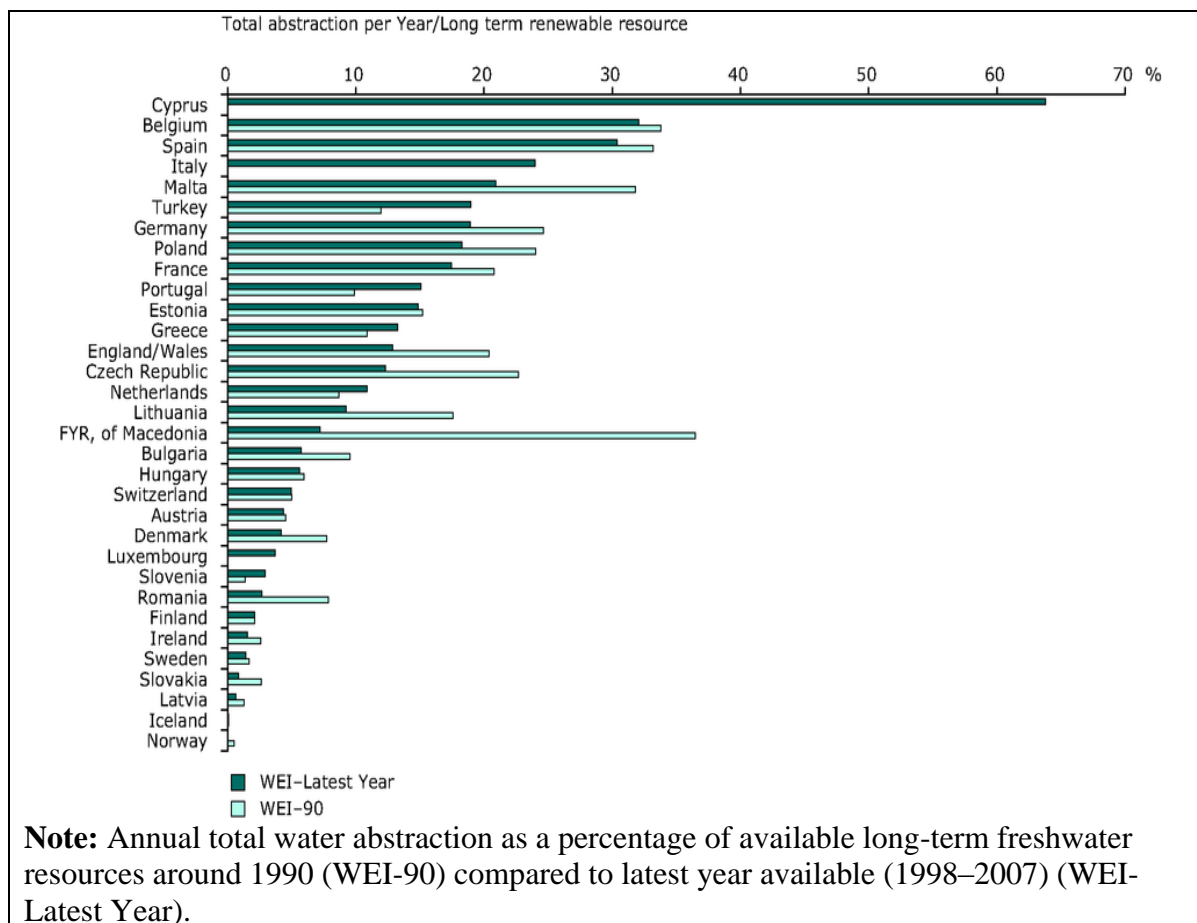
2.2 Χρήσεις νερού στην Ευρώπη

Η ισορροπία μεταξύ ζήτησης και διαθεσιμότητας νερού έφθασε σε κρίσιμο επίπεδο σε πολλές περιοχές της Ευρώπης, ως αποτέλεσμα των υπερ-απολήψεων και των παρατεταμένων περιόδων χαμηλής βροχοπτώσης ή ξηρασίας. Ενώ η νότια Ευρώπη εξακολουθεί να αντιμετωπίζει τα σοβαρότερα προβλήματα λειψυδρίας, η πίεση στους υδατικούς πόρους άρχισε πλέον και σε ορισμένες περιοχές του Βορρά. Επιπλέον, η αλλαγή του κλίματος αναμένεται να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της έντασης και της συχνότητας των φαινομένων ξηρασίας στο μέλλον, επιτείνοντας έτσι ακόμη περισσότερο τη ζήτηση για υδατικούς πόρους, ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (EEA, 2009).

Ο Δείκτης Εκμετάλλευσης Υδάτων (Water Exploitation Index-WEI) αποτελεί ένα καλό μέσο ενημέρωσης της κλίμακας και της κατάταξης των προβλημάτων που αντιμετωπίζουμε. Ο δείκτης WEI δείχνει τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους σε μία χώρα ή περιοχή σε σύγκριση με την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται και υπολογίζεται ως ο λόγος της ετήσιας απόληψης νερού προς την ποσότητα του ανανεώσιμου νερού σε ποσοστό επί τοις εκατό, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4 (EEA, 2009).

Το όριο ασφαλείας για τον δείκτη WEI είναι περίπου το 20% (Raskin et al., 1997), τιμή η οποία διαχωρίζει τις περιοχές όπου οι υδατικοί τους πόροι βρίσκονται υπό πίεση ή όχι. Σοβαρή πίεση παρατηρείται όταν ο δείκτης υπερβαίνει το 40%, υποδεικνύοντας μη βιώσιμη χρήση των υδατικών αποθεμάτων.

Στην Ευρώπη υπάρχουν πέντε χώρες (Κύπρος, Βέλγιο, Ισπανία, Ιταλία και Μάλτα) που μπορεί να θεωρηθεί ότι τα υδατικά τους αποθέματα βρίσκονται υπό πίεση, δηλαδή παρουσιάζουν προβλήματα έλλειψης νερού, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία της eurostat για την περίοδο 1998-2007, και αντιπροσωπεύουν περίπου το 19.5% του πληθυσμού της Ευρώπης. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, η Κύπρος (2007) με 64% και το Βέλγιο με 32% έχουν τις υψηλότερες τιμές του δείκτη WEI (Σχήμα 2.4). Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι στο Βέλγιο η υψηλή απόληψη υδάτων που οδηγεί σε υψηλά επίπεδα τον δείκτη WEI αφορά σε μη καταναλωτικές χρήσεις (νερό ψύξης), ενώ στις υπόλοιπες τρεις χώρες που βρίσκονται υπό πίεση νερού (Ισπανία, Ιταλία και Μάλτα) αφορά σε καταναλωτικές χρήσεις (κυρίως άρδευση) (EEA, 2009).



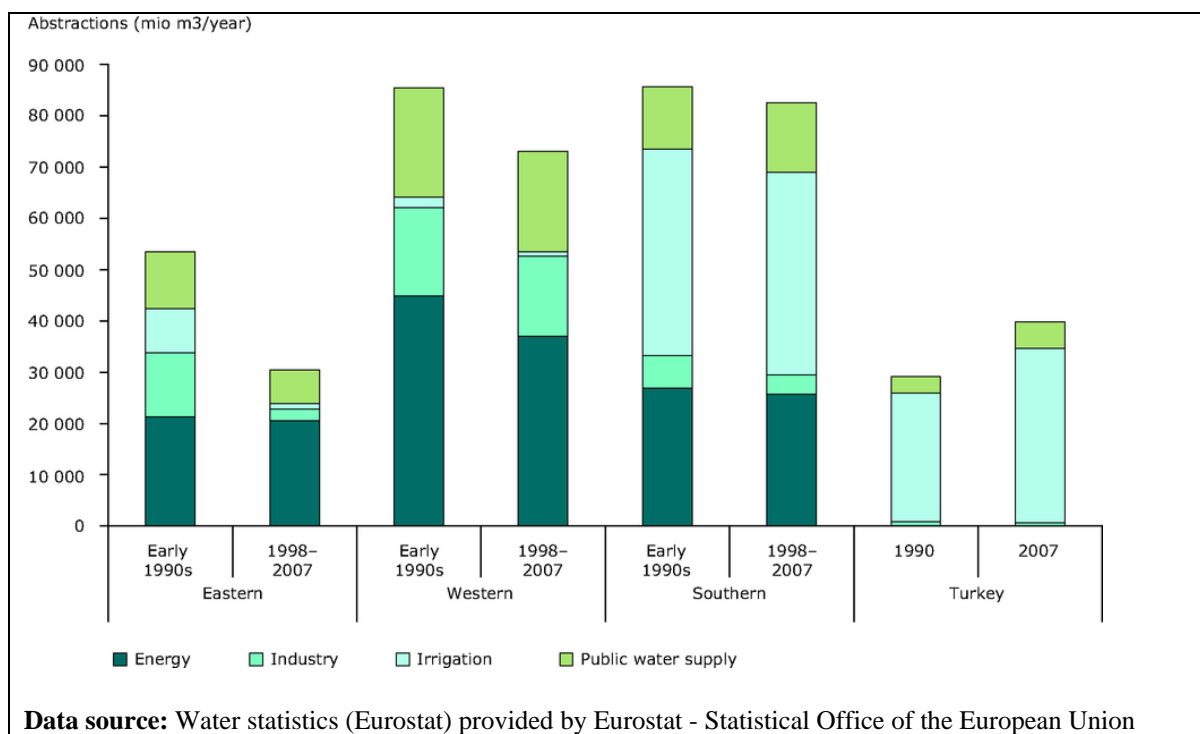
Σχήμα 2.4: Δείκτης Εκμετάλλευσης Υδάτων (Water Exploitation Index-WEI) (πηγή: EEA, 2009).

Ο δείκτης WEI μειώθηκε σε 24 χώρες κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10-17 ετών, που αντιστοιχεί σε μείωση περίπου 12% της συνολικής απόληψης υδάτων. Η μεγαλύτερη μείωση σημειώθηκε στις ανατολικές χώρες, ως αποτέλεσμα της μείωσης της απόληψης νερού στους περισσότερους οικονομικούς τομείς. Η τάση αυτή ήταν το αποτέλεσμα θεσμικών και οικονομικών αλλαγών. Ωστόσο, σε πέντε χώρες (Ολλανδία, Ελλάδα, Φινλανδία, Σλοβενία και Τουρκία) αυξήθηκε ο δείκτης WEI την περίοδο 1990-2007, λόγω της αύξησης της συνολικής απόληψης υδάτων. Επίσης, ο δείκτης WEI έχει αυξηθεί στην Κύπρο την περίοδο 1998-2007, αν και η έλλειψη στοιχείων δεν επιτρέπει τη σύγκριση με την περίοδο πριν από το 1998 (EEA, 2009).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο δείκτης WEI υπολογίζεται σε επίπεδο χώρας και κατά συνέπεια η χωρική μεταβλητότητα δεν μπορεί να απεικονιστεί. Έτσι, ένας χαμηλός δείκτης σε ένα τμήμα της χώρας μπορεί να «κρύψει» έναν υψηλό σε ένα άλλο τμήμα της ίδιας χώρας. Για παράδειγμα, στη λεκάνη απορροής του Πηνειού στην Ελλάδα (Υδατικό

Διαμέρισμα Θεσσαλίας) παρατηρείται σημαντική πίεση των υδατικών αποθεμάτων με δείκτη WEI μεγαλύτερο του 40%, ωστόσο αυτή η τιμή εξομαλύνεται σε επίπεδο χώρας με δείκτη WEI 13%. Ομοίως, η τιμή του WEI στην Πορτογαλία είναι εξαιρετικά μεταβλητή ανά λεκάνη απορροής ποταμού (π.χ. Sado RB 132%, Leca RB 82%, Minho RB 1%, Λίμα RB 5%), αλλά σε επίπεδο χώρας η τιμή είναι κατά μέσο όρο 15% (EEA, 2009).

Όλοι οι οικονομικοί τομείς χρειάζονται νερό για την ανάπτυξή τους. Στην Ευρώπη, στο σύνολό της, το 37% των απολήψεων γλυκού νερού είναι για την ψύξη στην παραγωγή ενέργειας, το 33% για τη γεωργία, το 20% για τα δημόσια συστήματα υδροδότησης και το 10% για τη βιομηχανία (Σχήμα 2.5). Στη νότια Ευρώπη, η γεωργία αντιπροσωπεύει περισσότερο από το μισό του συνόλου των εθνικών απολήψεων, φτάνοντας και περισσότερο από το 80% σε ορισμένες χώρες, ενώ στην δυτική Ευρώπη περισσότερο από το μισό του συνόλου των απολήψεων χρησιμοποιείται για ψύξη στην παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 2.5: Απολήψεις νερού (εκατ. m³/έτος) για άρδευση, μεταποιητική βιομηχανία, ψύξη για παραγωγή ενέργειας, και δημόσια συστήματα υδροδότησης στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και την περίοδο 1997-2007 (EEA, 2009).

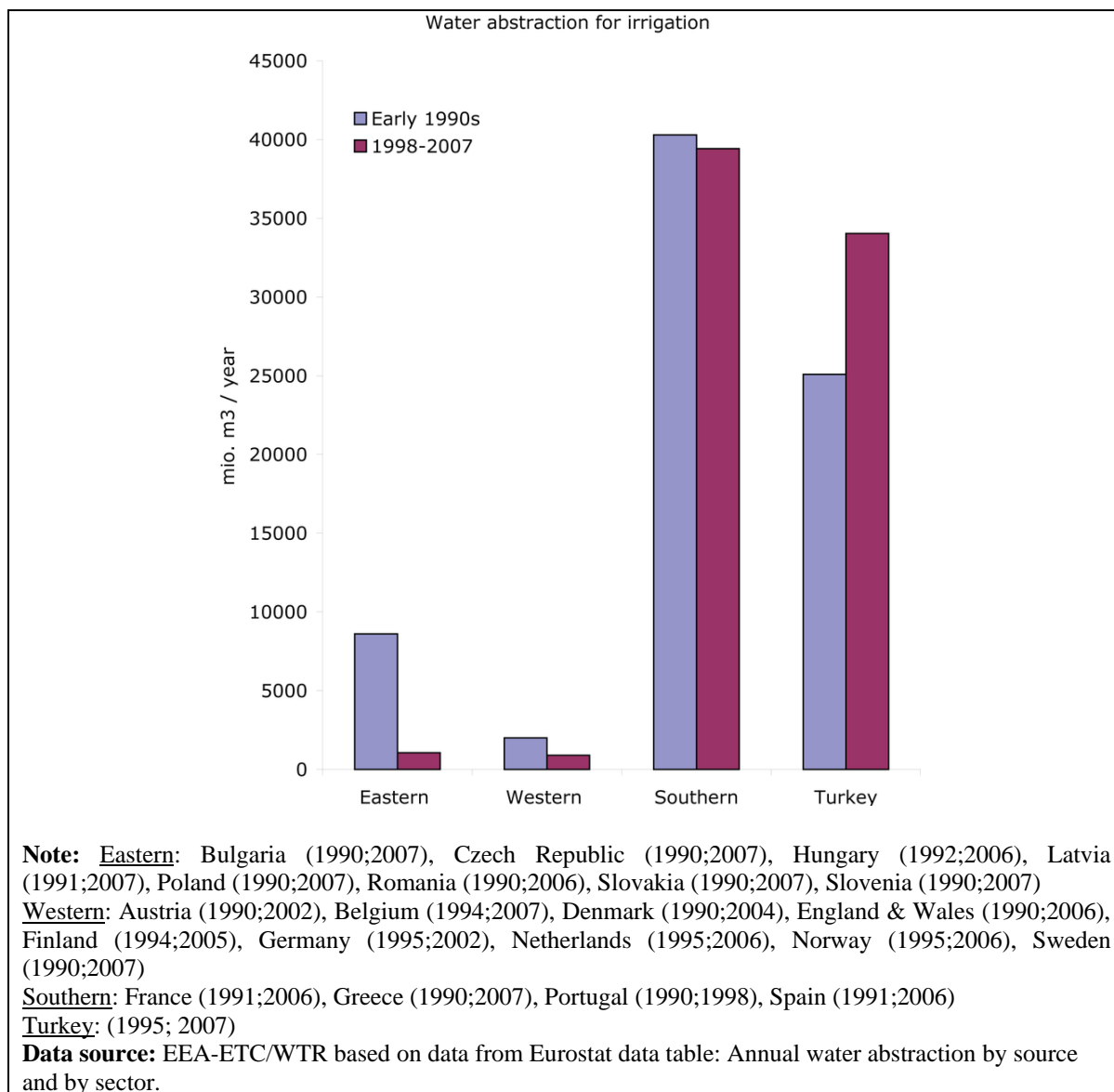
Οι τομείς αυτοί διαφέρουν σημαντικά ως προς την καταναλωτική τους χρήση νερού. Σχεδόν όλο το νερό που χρησιμοποιείται ως νερό ψύξης στην παραγωγή ενέργειας

επιστρέφεται. Αντίθετα, στην κατανάλωση νερού μέσω της ανάπτυξης των καλλιεργειών και της εξάτμισης μόνο το 30% του ποσού απώλησης για τη γεωργία επιστρέφεται.

2.2.1 Γεωργική χρήση

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 υπήρξε μια μείωση κατά 88% στην απώληση νερού για άρδευση στην Ανατολική Ευρώπη. Αυτό προήλθε κυρίως από την υποχώρηση της γεωργίας στη Βουλγαρία και τη Ρουμανία κατά την περίοδο της οικονομικής ύφεσης, λόγω της κακής συντήρησης και της εγκατάλειψης των συστημάτων άρδευσης. Στις υπόλοιπες ανατολικές χώρες της ΕΕ, το σύνολο των αρδευόμενων εκτάσεων έχει μειωθεί περίπου κατά 20%. Η απώληση νερού για άρδευση στη Δυτική Ευρώπη είναι πολύ χαμηλή συγκριτικά με τις νότιες χώρες, αλλά αυξάνεται σε χρόνια με ξηρά καλοκαίρια (Σχήμα 2.6).

Η απώληση νερού για άρδευση μειώθηκε περίπου κατά 2% στη Νότια Ευρώπη, εκτός από την Τουρκία, όπου αυξήθηκε έως και κατά 36% από τα επίπεδα του 1990. Στη Νότια Ευρώπη επικρατεί μια τάση χρησιμοποίησης του νερού άρδευσης πιο αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας στάγδην άρδευση. Επίσης, η χρήση του ανακυκλωμένου νερού σε αυτές τις περιοχές έχει αυξηθεί (EEA, 2009). Παρά το γεγονός ότι η κύρια πηγή του νερού άρδευσης είναι τα επιφανειακά νερά, ανεξέλεγκτη/παράνομη απώληση, κυρίως από υπόγειους υδροφορείς, πρέπει να προστεθούν στα υψηλά ποσοστά απώλησης νερού για άρδευση σε πολλές χώρες της Νότιας Ευρώπης (EEA, 2009).

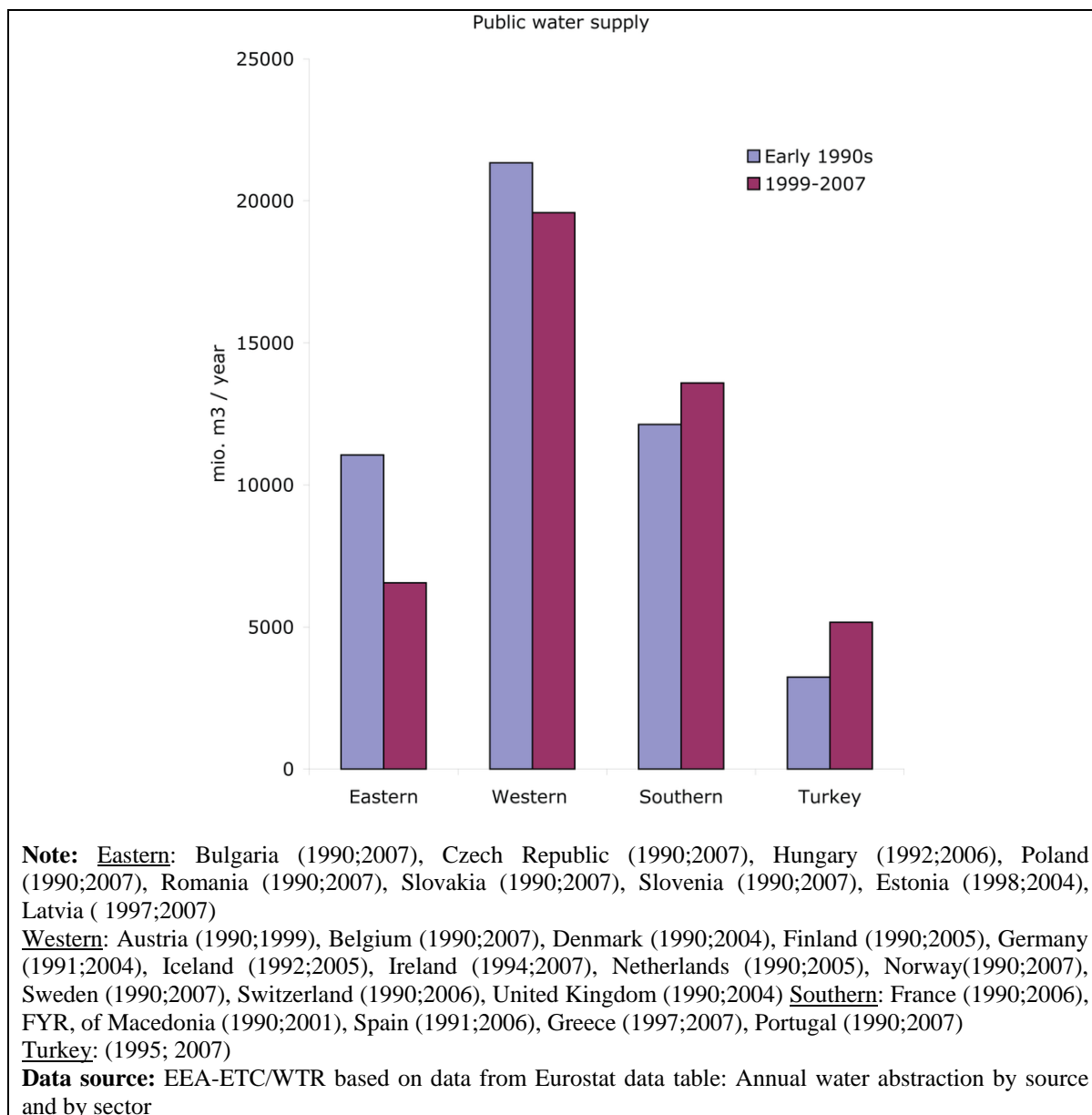


Σχήμα 2.6: Απολήψεις νερού για άρδευση (εκατ. m³/έτος) στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και την περίοδο 1998-2007 (πηγή: EEA, 2009).

2.2.2 Αστική χρήση

Η ζήτηση νερού για αστική χρήση επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων, όπως είναι ο πληθυσμός, το μέγεθος της κατοικίας, ο τουρισμός, το εισόδημα, η τεχνολογία και ο τρόπος ζωής. Η ζήτηση νερού στην Ανατολική Ευρώπη μειώθηκε κατά 40% από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, ως αποτέλεσμα των υψηλότερων τιμών του νερού και της οικονομικής ύφεσης. Λιγότερο σημαντική μείωση της ζήτησης εμφανίζεται στη Δυτική Ευρώπη τα τελευταία χρόνια, χάρη στην ευαισθητοποίηση των πολιτών και στις αυξήσεις των τιμών του νερού. Αντίθετα, στη Νότια Ευρώπη η οικιακή χρήση νερού έχει αυξηθεί κατά 12% και στην Τουρκία έως 59% (Σχήμα 2.7).

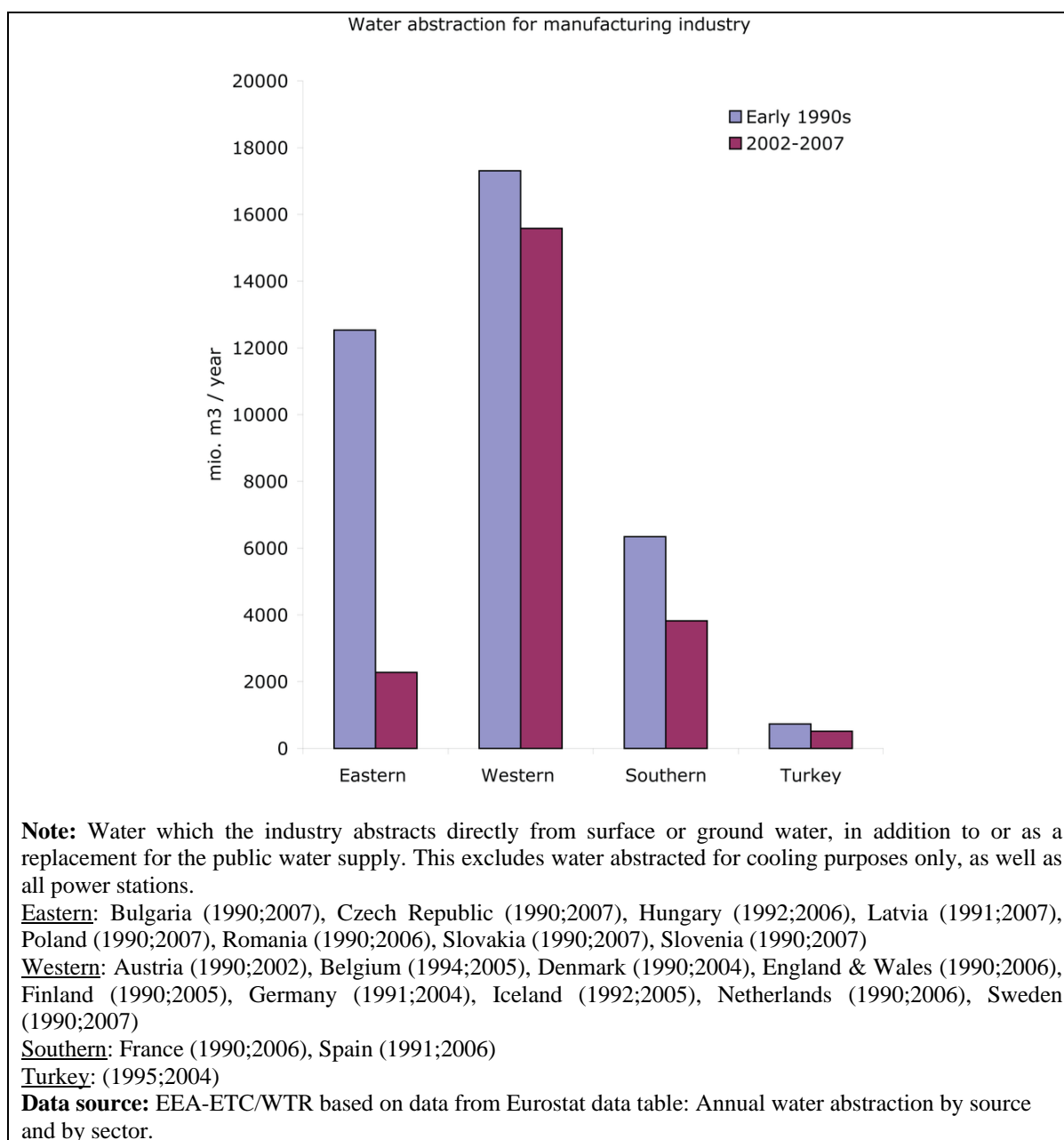
Η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται στα νοικοκυριά καταναλώνεται για χρήσεις: α) εντός της κατοικίας, όπως στην τουαλέτα (33%), στο μπάνιο και στο ντους (20%-32%), στα πλυντήρια ρούχων και πιάτων (15%), σε πόση και μαγείρεμα (3%) και σε άλλες εσωτερικές χρήσεις (14%-27%) και β) εκτός της κατοικίας όπως για πότισμα κήπου, πλύσιμο αυτοκινήτου, καθαρισμό εξωτερικών χώρων, πισίνες και αφορά σε κατανάλωση 3% (Karavitis, 2008, EEA, 2009).



Σχήμα 2.7: Απολήψεις νερού για δημόσια συστήματα υδροδότησης (εκατ. m³/έτος) στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και την περίοδο 1999 – 2007 (πηγή: EEA, 2009).

2.2.3 Βιομηχανική χρήση

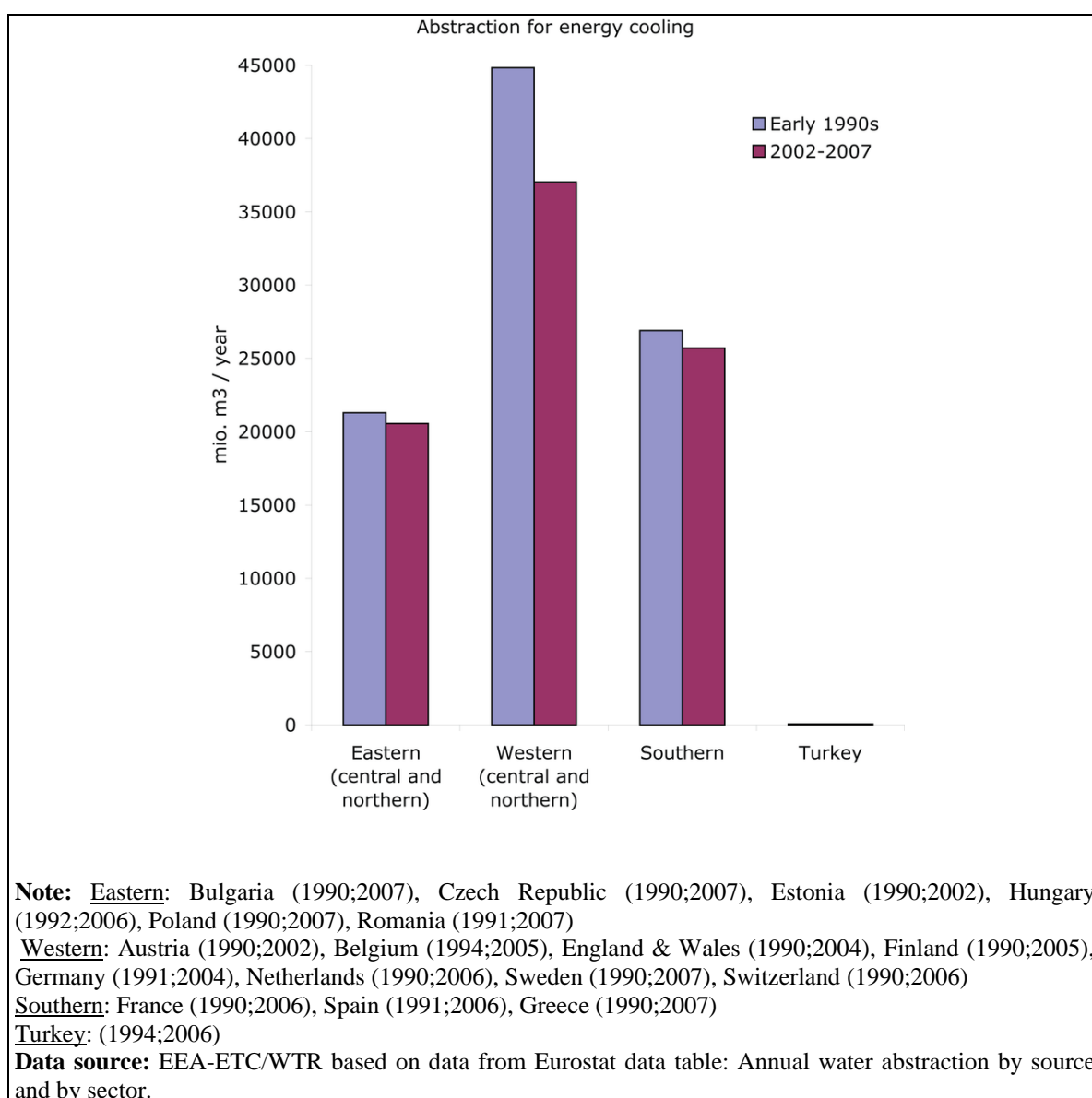
Η απώληση νερού για βιομηχανική χρήση έχει μειωθεί τα τελευταία 20 χρόνια, κατά 10% στις δυτικές χώρες (κεντρικά και βόρεια), κατά 40% στις χώρες του Νότου και έως 82% στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης (Σχήμα 2.8). Στην Τουρκία η μείωση φθάνει το 30%. Η μείωση αυτή οφείλεται εν μέρει στη γενική μείωση της υδροβόρου βαριάς βιομηχανίας, αλλά και στην αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού.



Σχήμα 2.8. Απολήψεις νερού για μεταποιητική βιομηχανία (εκατ. m³/έτος) στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και την περίοδο 2002 – 2007 (πηγή: EEA, 2009).

2.2.4 Χρήση νερού για ψύξη στην παραγωγή ενέργειας

Η απόληψη νερού για ψύξη στην παραγωγή ενέργειας αντιπροσωπεύει το 37% της συνολικής απόληψης υδάτων στην Ευρώπη. Σε ορισμένες χώρες, όπως η Γερμανία, η Γαλλία και η Πολωνία, περισσότερο από το μισό του συνόλου των απολήψεων νερού είναι για ψύξη στην παραγωγή ενέργειας. Στην Ευρώπη οι απολήψεις νερού για ψύξη έχουν μειωθεί συνολικά κατά 10% τα τελευταία 10-15 χρόνια, κυρίως λόγω της εφαρμογής προηγμένων τεχνολογιών ψύξης που απαιτούν λιγότερο νερό (Σχήμα 2.9).



Σχήμα 2.9: Απολήψεις νερού για ψύξη κατά την παραγωγή ενέργειας (εκατ. m³/έτος) στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και την περίοδο 2002-2007 (πηγή: EEA, 2009).

Σε όλες τις περιπτώσεις μελέτης, η Τουρκία απεικονίζεται σε ξεχωριστή στήλη από τις χώρες του Νότου λόγω της μεγάλης τάσης που εμφανίζει στη χρήση νερού στους διάφορους τομείς προκειμένου να αποφευχθεί η επίδρασή της τάσης της s' αυτήν των υπόλοιπων χωρών του Νότου.

2.3 Κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

Η ελληνική επικράτεια έχει σε γενικές γραμμές θερμό, εύκρατο τύπο κλίματος, που χαρακτηρίζεται από ήπιους και βροχερούς χειμώνες και ξηρά καλοκαίρια. Σύμφωνα με την κλιματική κατάταξη κατά Köppen, που βασίζεται σε τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, το κλίμα του συνόλου σχεδόν της χώρας εντάσσεται στη κατηγορία *Csa*. Η κατάταξη *C* αναφέρεται στο υγρό κλίμα με ήπιους χειμώνες, η πρώτη υποκατάταξη *s* αφορά στο ξηρό καλοκαίρι και η δεύτερη υποκατάταξη *a* στο μεγάλο και θερμό καλοκαίρι. Αντιπροσωπεύει δηλαδή το μεσογειακό κλίμα, που χαρακτηρίζεται από ήπιους υγρούς χειμώνες και ήπια, ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, λόγω της επιρροής των υποτροπικών αντικυκλώνων.

Όμως, τα ιδιαίτερα γεωγραφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά του ελληνικού χώρου συμβάλλουν στη διαμόρφωση μιας επιμέρους ποικιλίας κλιμάτων. Τα κυριότερα από τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Η θέση στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης της Μεσογείου, με γεωγραφικά πλάτη μεταξύ των 34° και 42° βόρειο και γεωγραφικά μήκη μεταξύ των 19° και 29° ανατολικό. Η χώρα βρίσκεται στη βόρεια εύκρατη ζώνη, λίγο βορειότερα από την περιοχή μόνιμης εγκατάστασης των υποτροπικών αντικυκλώνων (γύρω στις 30° γεωγραφικό πλάτος), και επηρεάζεται καθοριστικά από τους εξωτροπικούς κυκλώνες (υφέσεις) των μεσαίων πλατών (30° – 60°).
- Η μεγάλη επιφάνεια της θαλάσσιας περιοχής (η αναλογία έκτασης ξηράς-θάλασσας έχει τιμή 1 προς 3) και το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών, που επιδρούν στην ηπιότητα του κλίματος στις παραθαλάσσιες κυρίως περιοχές.
- Το πλούσιο ανάγλυφο (περίπου 13% του ηπειρωτικού τμήματος χώρας είναι σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 1000 μέτρων), που διαμορφώνει ορεινό κλίμα σε μεγάλη έκταση. Ακόμα, ο διαμελισμός της χώρας στην κατεύθυνση βορρά-νότου από την οροσειρά της Πίνδου και τη συνέχειά της στην Πελοπόννησο και την

Κρήτη επηρεάζει το βροχομετρικό καθεστώς, εξαιτίας των ορογραφικών κατακρημνίσεων στις δυτικές και της ομβροσκιάς στις ανατολικές περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας.

Σύμφωνα με το κλασικό βιβλίο «Το κλίμα της Ελλάδος» (Μαριολόπουλος, 1953) διακρίνονται πέντε κυρίως τύποι κλίματος: ορεινό, ηπειρωτικό, θαλάσσιο μεσογειακό, χερσαίο μεσογειακό και ερημοειδές μεσογειακό. Συγκεκριμένα:

- Το ορεινό κλίμα συναντάται στις ορεινές περιοχές και χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες, δριμείς χειμώνες, μικρή θερμή περίοδο και σημαντικές βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις.
- Το ηπειρωτικό κλίμα συναντάται στο μεγαλύτερο μέρος της Ηπείρου, Μακεδονίας, Θεσσαλίας και Θράκης. Το θερμοκρασιακό εύρος είναι μεγάλο, ενώ οι βροχοπτώσεις δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές (με εξαίρεση την Ήπειρο) και κατανέμονται σε όλο το έτος.
- Το θαλάσσιο μεσογειακό κλίμα συναντάται στις δυτικές παραλιακές περιοχές και τα νησιά του Ιονίου. Χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες, δεδομένου ότι η περιοχή προστατεύεται από τους βόρειους ψυχρούς ανέμους, ενώ η ηλιοφάνεια είναι σχετικά μεγάλη παρά τις ισχυρές βροχοπτώσεις.
- Το χερσαίο μεσογειακό κλίμα συναντάται στη νοτιοανατολική Ελλάδα (τμήματα της Θεσσαλίας, Πελοποννήσου, νησιά Αιγαίου και Κρήτη). Μοιάζει με το θαλάσσιο μεσογειακό, αλλά η ελεύθερη πνοή των βόρειων ανέμων το κάνει ψυχρότερο, ενώ και οι χιονοπτώσεις είναι συχνότερες. Η ομβροσκιά της Πίνδου έχει αποτέλεσμα η περιοχή αυτή να είναι κατά πολύ ξηρότερη.
- Το ερημοειδές μεσογειακό κλίμα συναντάται μόνο στη νοτιοανατολική Κρήτη και έχει στοιχεία από το ερημικό κλίμα της βόρειας Αφρικής. Η βροχόπτωση είναι μικρή και η περίοδος ξηρασίας διαρκεί περίπου 6 μήνες.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά ορισμένων από τις κλιματικές παραμέτρους, όπως αυτές εμφανίζονται σε διάφορα σημεία του ελληνικού χώρου:

- Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 14.5 °C στη Μακεδονία και τη Θράκη μέχρι 19.5 °C στην Κρήτη. Οι ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες σημειώνονται στις ηπειρωτικές περιοχές, ενώ το θερμοκρασιακό εύρος είναι μικρότερο στις παραθαλάσσιες περιοχές.

- Η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 400 mm στην Αττική και τα νησιά των Κυκλάδων, στα 700 mm στις ανατολικές περιοχές, στα 1000-1200 mm στις δυτικές περιοχές και τα νησιά του Ιονίου και φτάνει πάνω από 1500 mm στην οροσειρά της Πίνδου και σε άλλες ορεινές περιοχές. Χιονοπτώσεις πραγματοποιούνται συνήθως στις ορεινές περιοχές της χώρας, με το Φεβρουάριο να έχει το μεγαλύτερο αριθμό ημερών χιονιού στις περισσότερες από αυτές.
- Η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 60% και 70%, αλλά οι καλοκαιρινές τιμές είναι κατά πολύ μικρότερες.
- Η ηλιοφάνεια είναι ιδιαίτερα υψηλή σχεδόν σε όλες τις περιοχές της χώρας συγκριτικά με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η μέση ετήσια ηλιοφάνεια κυμαίνεται από 2300– 3100 ώρες. Οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στο Αιγαίο και την Κρήτη και οι μικρότερες στο εσωτερικό της βόρειας Ελλάδας. Χαρακτηριστικό ακόμη είναι το ποσοστό των αίθριων ημερών (με νέφωση μικρότερη από 1.5/8), που κυμαίνεται από 20%–50%.
- Οι άνεμοι στον ελληνικό χώρο είναι σε γενικές γραμμές ισχυροί, κυρίως βόρειοι και δευτερευόντως νότιοι, αν και εξαρτώνται σε πολλές περιπτώσεις από το τοπικό ανάγλυφο και τη σχέση ξηράς-θάλασσας. Οι ημέρες νηνεμίας είναι περισσότερες στο εσωτερικό των ηπειρωτικών περιοχών και λιγότερες στα νησιά. Χαρακτηριστικός άνεμος είναι τα μελέμια, που μεγιστοποιούνται από τα μέσα Ιουλίου μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου και έχουν βορειοδυτική διεύθυνση.

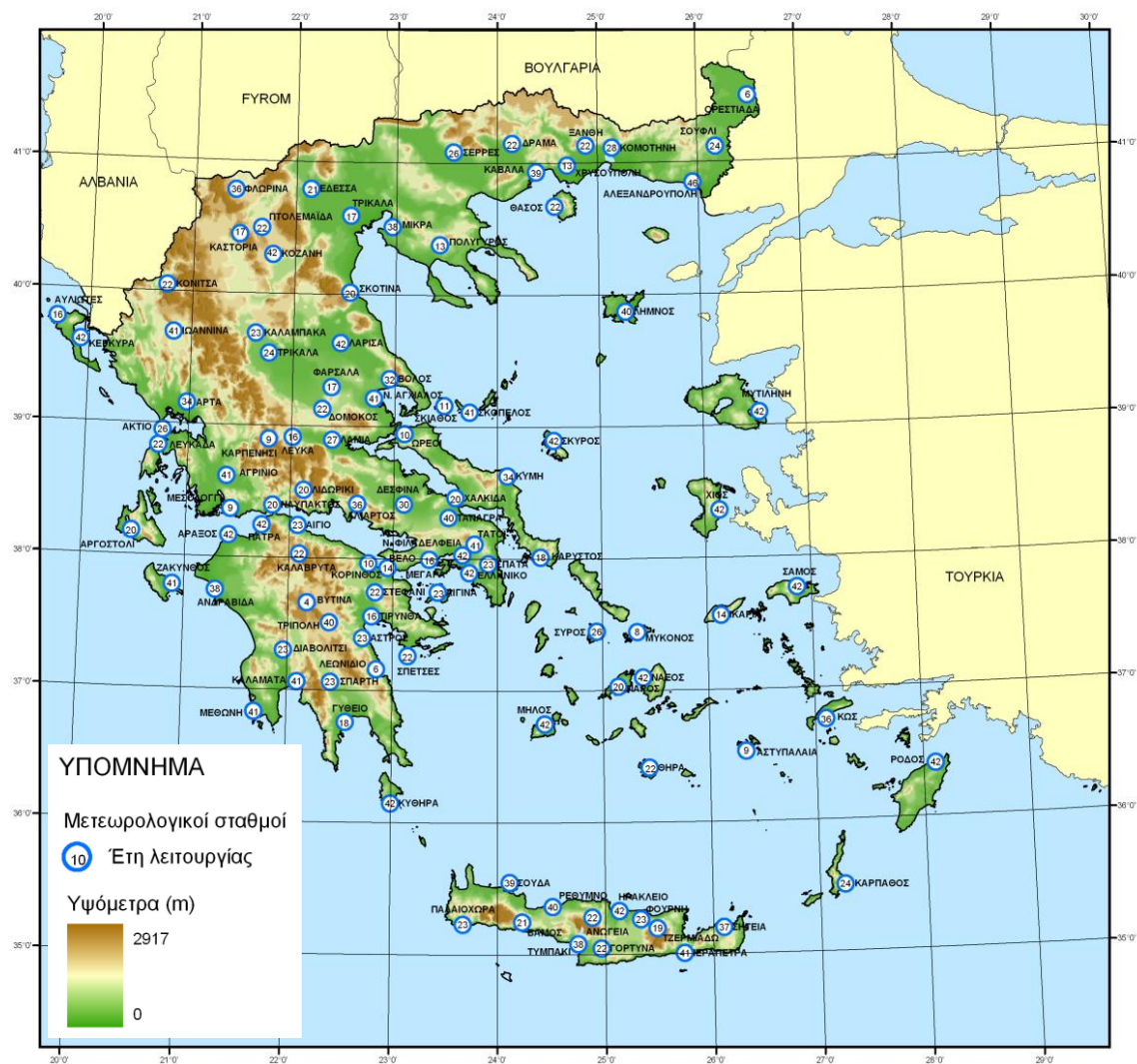
Με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα περισσότερων από 100 επιλεγμένων σταθμών της ΕΜΥ των τελευταίων 25–45 χρόνων (οι θέσεις τους παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.10), έχει παραχθεί χάρτης με τις μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης (Σχήμα 2.11). Επίσης, έχει παραχθεί χάρτης γεωγραφικής κατανομής της βροχόπτωσης με βάση παλαιότερες ισοϋέτιες καμπύλες της ΔΕΗ (Σχήμα 2.12). Τα συμπεράσματα που εξάγονται συνδέονται με τη διαθεσιμότητα νερού στις διάφορες γεωγραφικές περιοχές της χώρας, και είναι τα ακόλουθα:

- Τα μεγαλύτερα ποσά βροχής εμφανίζονται στις δυτικές περιοχές της χώρας, καθώς και σε μερικές άλλες περιοχές με μεγάλα υψόμετρα (Κρήτη, Εύβοια, κεντρική Πελοπόννησος).
- Τα μικρότερα ποσά βροχής εμφανίζονται στην Αττική, τις Κυκλάδες και τη Θεσσαλία (η τελευταία βρίσκεται στην ομβροσκία της Πίνδου).

- Οι βόρειες περιοχές της χώρας, και ειδικότερα η δυτική Μακεδονία, χαρακτηρίζονται από ισοκατανομή των βροχοπτώσεων σε όλους τους μήνες, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές που χαρακτηρίζονται από υγρό χειμώνα και ξηρό καλοκαίρι.
- Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρουσιάζονται στα νότια της χώρας και ειδικότερα στη Κρήτη, και οι μικρότερες στη Μακεδονία και τη Θράκη.
- Οι ηπειρωτικές περιοχές εμφανίζουν μεγαλύτερο θερμοκρασιακό εύρος απ' ό,τι οι παραθαλάσσιες και νησιωτικές περιοχές.
- Οι ηπειρωτικές περιοχές εμφανίζουν μικρότερες τιμές σχετικής υγρασίας.

Με βάση τα κλιματικά αυτά χαρακτηριστικά φαίνεται ότι η διαθεσιμότητα νερού είναι μεγαλύτερη στη δυτική και βόρεια Ελλάδα, ενώ η Αττική, οι Κυκλάδες, η Θεσσαλία και η ανατολική Πελοπόννησος είναι ελλειμματικές σε νερό.

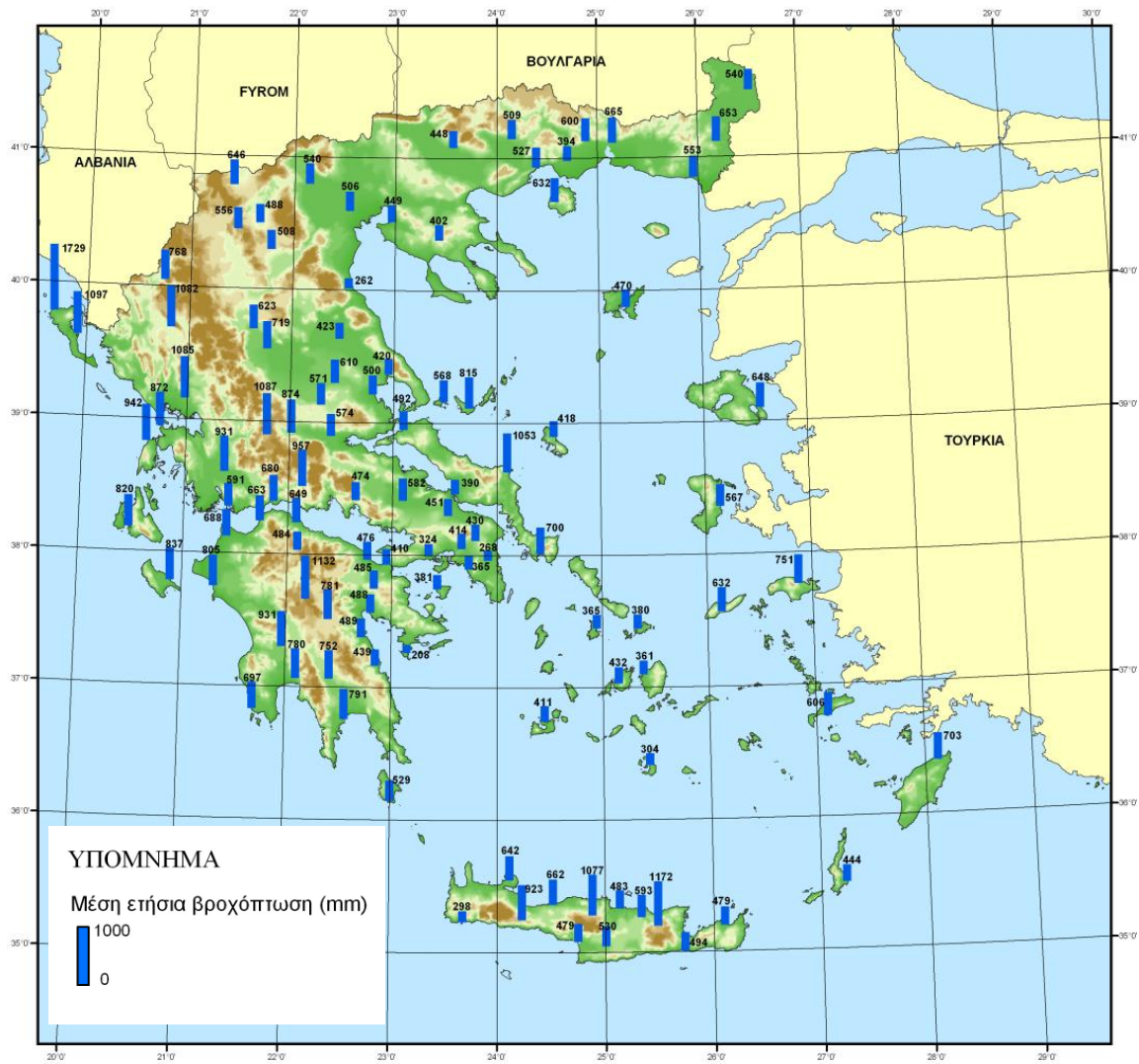
(ΥΠΕΧΩΔΕ, ΕΜΠ, 2008. Εθνικό πρόγραμμα διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων, <http://itia.ntua.gr/getfile/782/101/documents/2008-final-report-v2.pdf>).



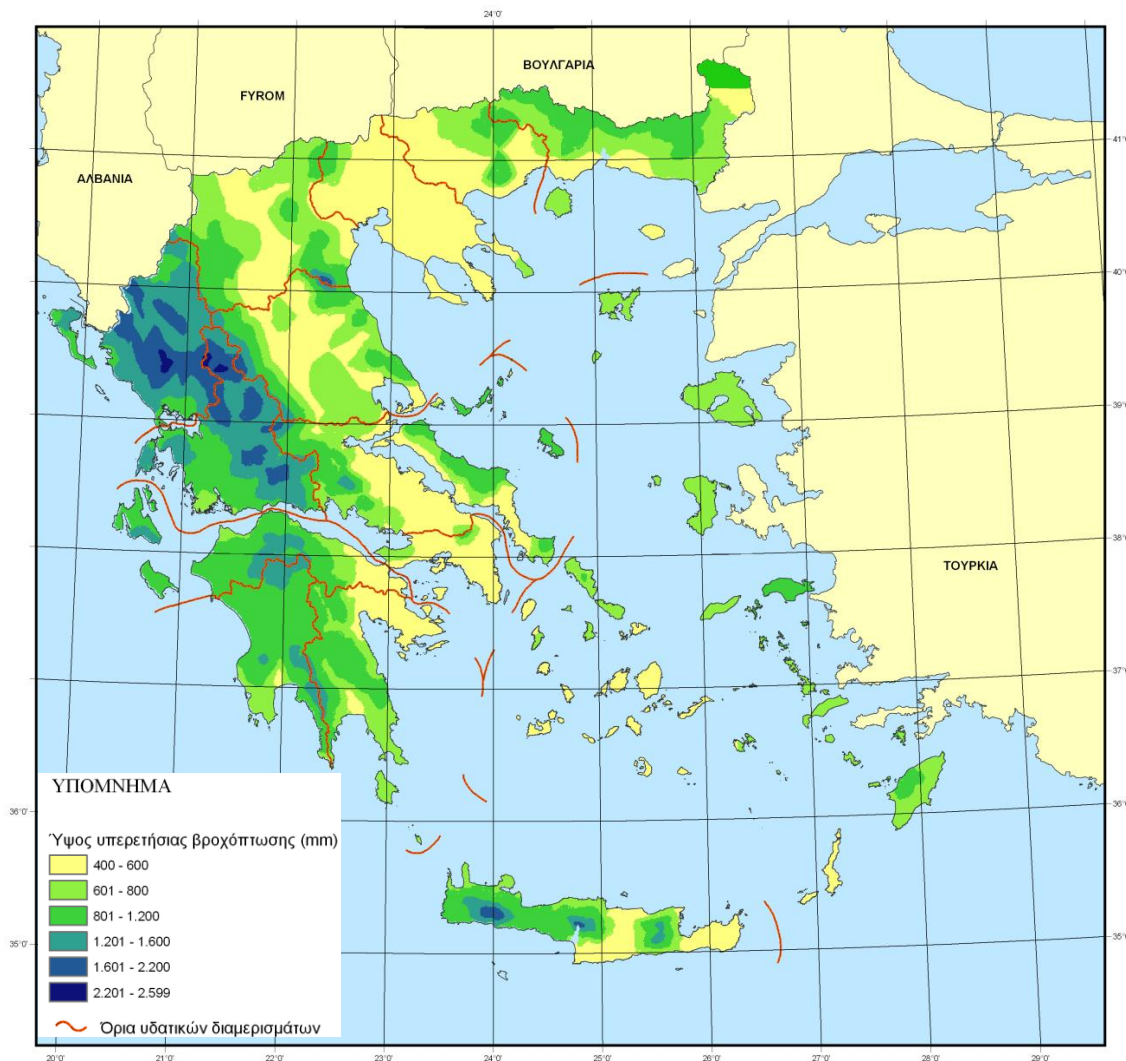
Σχήμα 2.10: Μετεωρολογικοί σταθμοί από το δίκτυο της ΕΜΥ (ΥΠΕΧΩΔΕ, ΕΜΠ, 2008.

Εθνικό πρόγραμμα διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων,

http://itia.ntua.gr/getfile/782/127/documents/2007-map-09_Rain-v2.pdf



Σχήμα 2.11: Γεωγραφική κατανομή μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (ΥΠΕΧΩΔΕ, ΕΜΠ, 2008. Εθνικό πρόγραμμα διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων, http://itia.ntua.gr/getfile/782/127/documents/2007-map-09_Rain-v2.pdf)



Σχήμα 2.12: Γεωγραφική κατανομή υπερετήσιας βροχόπτωσης (ΥΠΕΧΩΔΕ, ΕΜΠ, 2008. Εθνικό πρόγραμμα διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων, http://itia.ntua.gr/getfile/782/123/documents/2007-map-05_rainfall-v2.pdf)

2.4 Υδατικοί πόροι της Ελλάδας

Η Ελλάδα έχει έκταση 131957 km² και παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο, περιορισμένη ενδοχώρα και μεγάλο ανάπτυγμα ακτών. Αποτέλεσμα της ιδιόμορφης αυτής γεωμορφολογικής διάρθρωσης είναι η πολυδιάσπαση του χώρου σε μικρές λεκάνες απορροής, με μικρούς ποταμούς και επιφανειακή απορροή που χαρακτηρίζεται από πλημμυρική διάιτα.

Η χώρα μας διαθέτει, συνολικά, σε ετήσια βάση επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, αλλά διάφοροι λόγοι μειώνουν σημαντικά την πραγματική διαθέσιμη

ποσότητα και δυσκολεύουν την αξιοποίησή τους. Ειδικότερα, για το σύνολο της χώρας τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα εκτιμώνται σε 116330 hm³/έτος, ενώ το συνολικό υδατικό δυναμικό εκτιμάται κατά προσέγγιση σε 57100 hm³/έτος, στα οποία περιλαμβάνονται τα νερά που εισρέουν από γειτονικές χώρες.

Η κατανάλωση του νερού υπολογίζεται σε 8243 hm³/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. 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.

Οι κυριότεροι λόγοι που προκαλούν προβλήματα στην αξιοποίηση και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας είναι:

- Η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο. Η δυτική Ελλάδα δέχεται πολύ μεγαλύτερα ύψη βροχών από την ανατολική. Έτσι, η δυτική Ελλάδα, με έκταση 24% της χώρας, δέχεται το 36% των συνολικών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ενώ ακόμη μεγαλύτερη είναι η διαφοροποίηση στα ποσοστά της επιφανειακής απορροής.
- Η ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων στο χρόνο, με μεγάλη συγκέντρωση βροχοπτώσεων κατά τη χειμερινή περίοδο. Στη νότια Ελλάδα το 80-90% των ετήσιων βροχοπτώσεων συγκεντρώνεται σ' αυτή την περίοδο, ενώ το θερινό ύψος της βροχής αυξάνει προς βορρά, και στα βορειότερα τμήματα παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή του, δηλαδή 20% του ετήσιου όγκου.
- Η άνιση κατανομή της ζήτησης στο χώρο, αναντίστοιχη με την κατανομή της προσφοράς. Ο άξονας Θεσσαλονίκη-Αθήνα-Πάτρα, που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού και δραστηριοτήτων, δεν διαθέτει σημαντικούς υδατικούς πόρους.
- Η ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης στο χρόνο, αναντίστοιχη με την κατανομή της προσφοράς. Ο μεγαλύτερος καταναλωτής του χρησιμοποιούμενου νερού, η γεωργία (84%), το καταναλώνει την ξηρή περίοδο. Την ίδια περίοδο και ειδικότερα τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, διπλασιάζεται λόγω τουρισμού και η κατανάλωση νερού ύδρευσης.
- Η γεωμορφολογία της χώρας. Ο έντονος οριζόντιος και κατακόρυφος διαμελισμός, όπως πιο πάνω αναφέρεται, καθώς και η δομή και διάταξη των πετρωμάτων, έχουν

αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών μικρών υδατορρεμάτων με χειμαρρική κυρίως διαίτα, επιφανειακή απορροή μικρής διάρκειας, αυξημένη κατείδυση και συχνά πλημμυρικά φαινόμενα. Η εκμετάλλευση του δυναμικού αυτών των ρεμάτων είναι δυσχερής και συχνά οικονομικώς ασύμφορη, ενώ η αντίστοιχη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων συχνά αποτελεί σημαντικό παράγοντα αναρρύθμισης των πλημμυρικών παροχών.

- Η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές ποταμών που έρχονται από γειτονικά κράτη (περίπου $13 \text{ km}^3/\text{χρόνο}$).
- Το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών (15021 km) σε συνδυασμό με τη λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων, που συντείνει, λόγω της εντατικής εκμετάλλευσης παράκτιων υδροφορέων, στην υφαλμύρινσή τους.
- Τα πολλά άνυδρα ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά της χώρας.

(ΥΠΕΧΩΔΕ, ΕΜΠ, 2008. Εθνικό πρόγραμμα διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων, <http://itia.ntua.gr/getfile/782/101/documents/2008-final-report-v2.pdf>).

2.5 Προτάσεις αντιμετώπισης της πίεσης των υδατικών αποθεμάτων

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της πίεσης που ασκείται στα υδατικά αποθέματα σε πολλές περιοχές του πλανήτη, θα πρέπει να μετατοπιστεί το επίκεντρο στη διαχείριση των υδάτων, από την αύξηση της προσφοράς στην ελαχιστοποίηση της ζήτησης, με την εφαρμογή μιας σειράς πολιτικών και πρακτικών (EEA, 2009), όπως:

- Τιμολόγηση νερού βάσει του καταναλισκόμενου όγκου, σε όλους τους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας.
- Εφαρμογή σχεδίων προληπτικής διαχείρισης κινδύνων και λιγότερο διαχείρισης κρίσεων.
- Αποφυγή έντονα υδροβόρων καλλιεργειών σε περιοχές με έντονα φαινόμενα λειψυδρίας.
- Εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων άρδευσης με υψηλή απόδοση χρήσης νερού.
- Εφαρμογή μέτρων ευαισθητοποίησης του κοινού για βιώσιμη χρήση των υδατικών πόρων.
- Αντιμετώπιση του φαινομένου των διαρροών στα δημόσια δίκτυα υδροδότησης.
- Εφαρμογή κατάλληλων μέτρων ελέγχου και η θέσπιση συστήματος επιβολής προστίμων ή κυρώσεων προς αποφυγή της παράνομης άντλησης υδάτων.

- Αύξηση της χρήσης εναλλακτικών υδατικών πόρων, όπως επεξεργασμένων λυμάτων, γκρίζου νερού και συλλεχθέντων όμβριων υδάτων, προκειμένου να περιοριστεί η ζήτηση για επιπλέον υδατικούς πόρους.

3 Συλλογή όμβριων υδάτων

3.1 Συλλογή όμβριων υδάτων (Rainwater harvesting)

Η συλλογή όμβριων υδάτων είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευση του βρόχινου νερού από επιφάνειες, όπως είναι οι στέγες, οι βραχώδεις και οι εδαφικές επιφάνειες, με σκοπό τη μελλοντική του χρήση. Τα όμβρια ύδατα είτε αποθηκεύονται σε δεξαμενές για αστική χρήση είτε μέσω της διήθησης συμβάλλουν στον κορεσμό του εδάφους ή/και στην επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων.

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.

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

Από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων έχουν εφαρμοστεί σε διάφορες περιοχές του κόσμου όπως στην Αυστραλία (Marks et al., 2006), τη Βραζιλία (Ghisi et al., 2009), την Ελλάδα (Sazakli et al., 2007), τη Ζάμπια (Handia et al., 2003), το 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), την Κίνα (Li and Gong, 2002), τη Μαλαισία (Lariyah et al., 2011), τη Ναμίμπια (Sturm et al., 2009), τη Νότια Αφρική (Kahinda et al., 2007), τη Νότια Κορέα (Song et al., 2003), τη Σιγκαπούρη (Appan, 1999), τη Σουηδία (Villareal and Dixon, 2005), και την Ταιβάν (Chiu et al., 2009).

3.2 Ιστορική αναδρομή

3.2.1 Συλλογή όμβριων υδάτων στον κόσμο

Ως πρακτική διαχείρισης υδάτων, η συλλογή ομβρίων είναι ευρέως διαδεδομένη σε όλο τον κόσμο για πάνω από 4000 χρόνια, παραδοσιακά σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές, παρέχοντας πόσιμο νερό, νερό για οικιακή χρήση, καθώς και νερό για την κάλυψη αναγκών κτηνοτροφίας και αρδευτικών έργων. Αρκετοί πολιτισμοί στον κόσμο έχουν χρησιμοποιήσει την τεχνική της συλλογής όμβριων υδάτων, στην αρχαία Ελλάδα, τη Μέση Ανατολή, την Ασία, την αρχαία Ρώμη και το Μεξικό.

Στην Ινδία, απλές πέτρινες κατασκευές συλλογής ομβρίων χρονολογούνται από το 3000 π.Χ. (Gould and Nissen-Petersen, 1999). Σύμφωνα με τους Pacey and Cullis (1996), ένας ολόκληρος πολιτισμός επιβίωσε το 2000 π.Χ. στην έρημο Negev (εκεί που σήμερα βρίσκεται το Ισραήλ) συλλέγοντας νερό απορροής από τους λόφους σε στέρνες (υδατοδεξαμενές). Ένα ιστορικό έγγραφο αυτής της εποχής αναφέρει πως ήταν σύνηθες να υπάρχει τουλάχιστον μία στέρνα συλλογής ομβρίων ανά σπίτι, χωρητικότητας 35 έως 200 m³. Αυτές οι ομβροδεξαμενές ήταν συνήθως υπόγειες και είχαν σχήμα αχλαδιού ή φιάλης (Wahlin, 1997).

Οι πρώτες συλλογικές ομβροδεξαμενές ποίκιλαν σε μέγεθος από 4000 m³ έως 42750 m³ όπως ήταν αυτή που βρέθηκε στην Madaba της Ιορδανίας. Αυτές οι δεξαμενές ήταν τεχνολογικά εξελιγμένες με σύστημα πρώτης έκπλυσης και συγκράτησης φερτών υλικών (Wahlin, 1997). Επίσης, στην Petra της Ιορδανίας έχουν βρεθεί στέρνες και κανάλια, λαξευμένα σε τεράστιους βράχους, συλλογής όμβριων υδάτων από στέγες σπιτιών και πλατείες.

Στην αρχαία Ρώμη, τα όμβρια ύδατα συλλέγονταν από σκεπαστά μονοπάτια και εκτρέπονταν σε μικρές δεξαμενές που βρίσκονταν σε κήπους για αισθητικούς λόγους και για μελλοντική αρδευτική χρήση (Winterbottom, 2000). Οι Ρωμαίοι σχεδίαζαν τα σπίτια τους και ολόκληρες πόλεις επωφελούμενοι τη συλλογή των όμβριων υδάτων χρησιμοποιώντας το συλλεγμένο και αποθηκευμένο νερό πρωτίστως για πόση και για άλλες οικιακές χρήσεις (Gould and Nissen-Petersen, 1999).

Σύμφωνα με άλλες πηγές, στο κεντρικό Μεξικό συνέλλεγαν και αποθήκευαν όμβρια ύδατα σε υπόγειες δεξαμενές από στέγες και πλατείες για ανθρώπινη κατανάλωση και άρδευση (Winterbottom, 2000). Στη χερσόνησο του Yucatan, αρχαιολογικά ευρήματα έδειξαν την

ύπαρξη υπέργειων συστημάτων συλλογής ομβρίων που χρονολογούνται στο 300 μ.Χ. και ήταν γνωστά ως Chultuns (Gould and Nissen-Petersen, 1999).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά, τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων είχαν παραδοσιακά χρησιμοποιηθεί από τους ιθαγενείς και τους αποίκους σε απομονωμένες περιοχές όπου δεν υπήρχαν δημόσια συστήματα υδροδότησης. Σε πολλές περιοχές εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται, όπως έδειξε μια έρευνα του 1995, κατά την οποία απογράφησαν περίπου 250000 τέτοια συστήματα στις Ηνωμένες Πολιτείες (Wilson, 1997). Επιπλέον, αυτά τα συστήματα συλλογής ομβρίων σήμερα είναι ξανά αρκετά δημοφιλή, καθώς υπάρχει συνεχόμενο ενδιαφέρον στο πλαίσιο προώθησης της αειφόρου ανάπτυξης.

3.2.2 Συλλογή όμβριων υδάτων στην Ελλάδα

Στην αρχαία Ελλάδα η συλλογή όμβριων υδάτων σε δεξαμενές (στέρνες) χρονολογείται τα τελευταία 4000 με 5000 χρόνια. Μερικές από αυτές ήταν τόσο καλά εγκατεστημένες που λειτούργησαν για αιώνες. Οι περισσότερες χρησιμοποιήθηκαν ως κύρια πηγή ύδρευσης. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις, χρησιμοποιήθηκαν και για άλλους σκοπούς, όπως για την εποχιακή ρύθμιση του νερού μεγάλων συστημάτων μεταφοράς (Antoniou et al., 2006).

Στην Ελλάδα, η συλλογή όμβριων υδάτων αποτελούσε συνήθη πρακτική κατά τη Μινωική Περίοδο, 3300-1200 π.Χ. (Viollet, 2003; Angelakis and Koutsoyiannis, 2003). Η αρχαιότερη γνωστή τεχνολογία συλλογής ομβρίων αναφέρεται στην πολύ πρώιμη Μινωική εποχή, 3300-2200 π.Χ. Πέντε στέρνες είναι γνωστές: δύο στον Πύργο και τον Μύρτο, μία στο ανάκτορο της Ζάκρου, μία στις Αρχάνες και μία στο Οίκημα Γ της Τυλισσού. Οι δύο στέρνες στον Πύργο είναι οι αρχαιότερες γνωστές, και αναγνωρισμένες παγκοσμίως ως στέρνες από τον Μινωικό πολιτισμό (Cadogan, 2006). Στη συνέχεια, στέρνες αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της μέσης και τελευταίας μινωικής περιόδου, στη Φαιστό, τη Ζάκρο, το Χαμέζι και τη Ριζηνία (Koutsoyiannis et al., 2008).

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).

Κατά τη διάρκεια της Ελληνιστικής περιόδου (περ. 323-146 π.Χ.) η τεχνολογία της συλλογής όμβριων υδάτων παρουσίασε σημαντική πρόοδο. Εκείνη την περίοδο, η συλλογή ομβρίων σε στέρνες αποτελούσε την αποκλειστική πηγή ύδρευσης σε πολλές πόλεις σε όλη την Ελλάδα (Angelakis and Spyridakis, 1996). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αρχαία πόλη της Περγάμου, όπου το 1993 βρέθηκαν 149 στέρνες που εξυπηρετούσαν περίπου 7900 κατοίκους (Garbrecht and Garbrecht, 2005).

Η πρακτική της συλλογής όμβριων υδάτων συνεχίστηκε και η τεχνολογία βελτιώθηκε περαιτέρω κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο (περ. 67 π.Χ. - 330 μ.Χ.) και τη Βυζαντινή περίοδο (περ. 330 - 1204 μ.Χ.) (Antonioni et al., 2012).

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. Οι κινστέρνες χτίζονταν στο εσωτερικό του κάστρου, συνήθως μέσα στην ακρόπολη

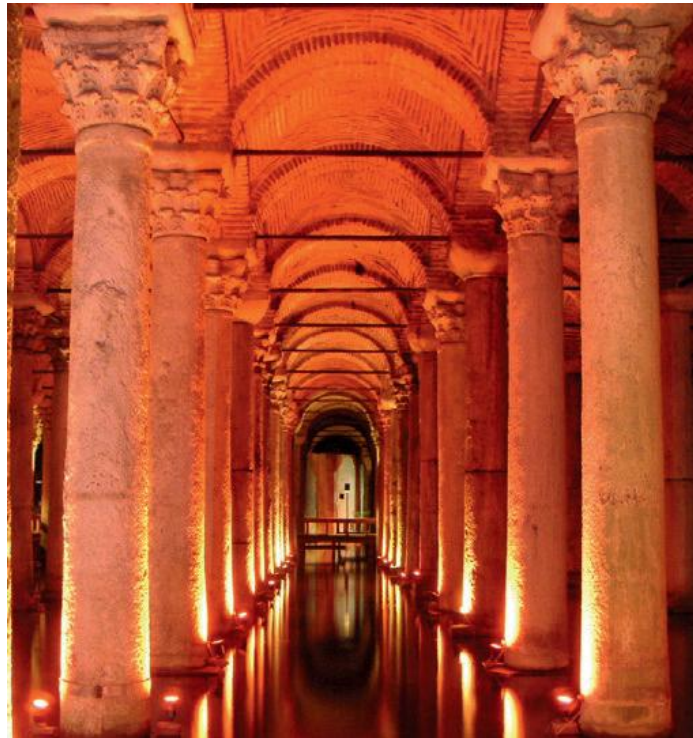
(http://www.medies.net/_uploaded_files/publications/total_rainwater_book.pdf).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Βασιλική Κινστέρνα της Κωνσταντινούπολης που χτίστηκε τον 6ο αιώνα μ.Χ. από τον Ιουστινιανό (Σχήμα 3.1). Έχει διαστάσεις 141 m x 66.5 m και μπορούσε να συγκεντρώσει συνολικά 78000 m³ νερό. Αποτελείτο από 336 κίονες (κορινθιακού ρυθμού) ύψους 8 m και από οροφή με εντυπωσιακούς θόλους. Το νερό που συγκέντρωνε προερχόταν από ένα υδραγωγείο σε απόσταση 20 Km από την κινστέρνα και διασφάλιζε την ύδρευση της Κωνσταντινούπολης, ακόμα και σε περιόδους ξηρασίας ή ανομβρίας

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

Στην Ελλάδα, 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.

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».



© Βίκυ Μαλωτίδη / MIO-ECSDE

Σχήμα 3.1: Φωτογραφία της Βασιλικής Κινστέρνας της Κωνσταντινούπολης
(πηγή: http://www.medies.net/_uploaded_files/publications/total_rainwater_book.pdf)

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.

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

Στη Μάνη η στέρνα ήταν σοβαρό μέρος της προίκας της νύφης, καθώς το νερό θεωρούνταν εγγύηση για την ευημερία των νεόνυμφων.

Στα χωριά του Ταυγέτου και σε άλλα μέρη υπήρχε ο «υδρονόμος» που είχε αναλάβει να προσέχει τις δημόσιες στέρνες, να τις κρατάει καθαρές και να ενημερώνει τους συγχωριανούς πότε θα «περάσει» το νερό από το χωράφι τους.

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

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

Γενικά, τα σπίτια πολλών περιοχών της Ελλάδας είχαν υπόγειες ή υπέργειες ομβροδεξαμενές (στέρνες) για τη συλλογή των όμβριων υδάτων, τα οποία κάλυπταν σημαντικό μέρος των ετήσιων αναγκών οικιακής χρήσης (Σχήματα 3.2 και 3.3).



© Κωνσταντίνα Τόλη, GWP-Med

Σχήμα 3.2: Φωτογραφία υπέργειας ομβροδεξαμενής στην Άνδρο

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

Ως τα μέσα του εικοστού αιώνα, η πλειοψηφία των νοικοκυριών σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές της νότιας, νησιωτικής και παράκτιας Ελλάδας διέθεταν

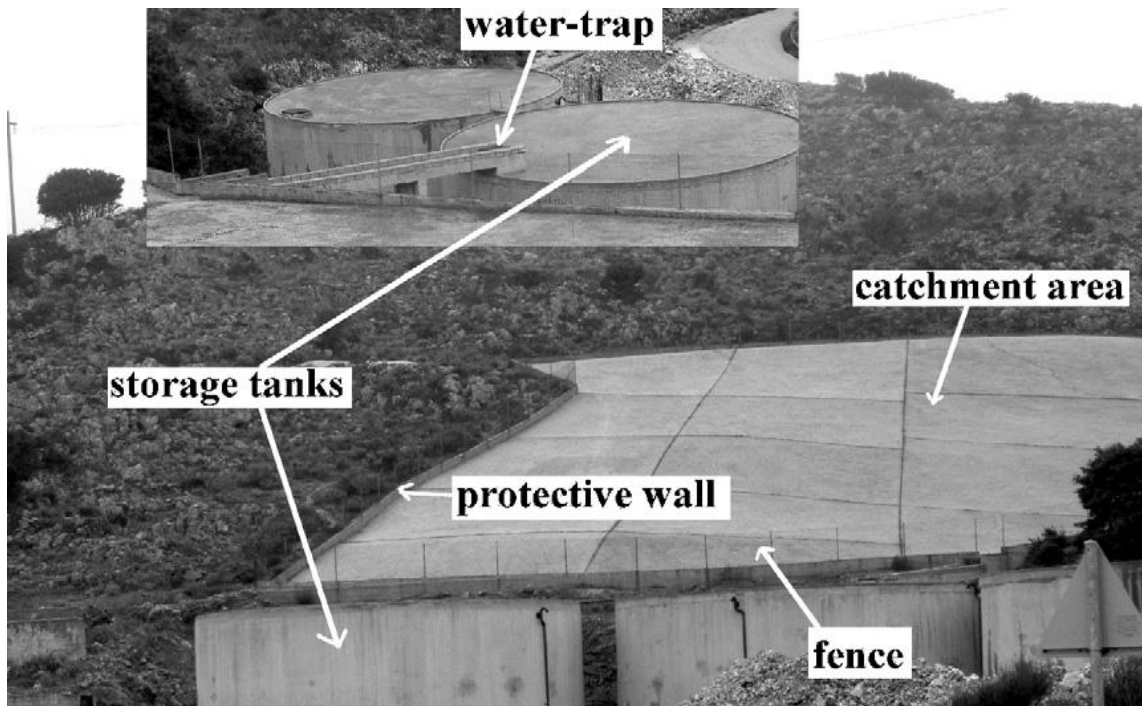
ομβροδεξαμενές (στέρνες). Όμως, τις τελευταίες δεκαετίες η πρακτική αυτή σταδιακά εγκαταλείφθηκε και αντικαταστάθηκε με συνδέσεις στο δημοτικό δίκτυο υδροδότησης.



© Θώμη Βλαχογιάννη /MIO-ECSDE

Σχήμα 3.3: Φωτογραφία χτιστής στέρνας στη Σύρο.
(πηγή: http://www.medies.net/uploaded_files/publications/total_rainwater_book.pdf)

Αξίζει να αναφερθεί, ότι στο Δήμο της Ερίσου Κεφαλονιάς, όπου λόγω γεωμορφολογικής δομής οι ανάγκες σε νερό δεν μπορούν να ικανοποιηθούν πλήρως από τους υπόγειους υδροφόρους, οι ανάγκες ζήτησης καλύπτονται από ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής και διανομής όμβριων υδάτων (Σχήμα 3.4) που κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1970 και το οποίο αποτελείται από τις επιφάνειες συλλογής (600 έως 3000 m²) και 23 κύριες ομβροδεξαμενές χωρητικότητας 300 έως 1000 m³ που αποτελούν τους διανομείς του νερού στα νοικοκυριά και σε πολυάριθμες ιδιωτικές στέρνες (Sazakli et al., 2007).



Σχήμα 3.4: Φωτογραφία της επιφάνειας συλλογής και των παρακείμενων ομβροδεξαμενών στην Έρισο της Κεφαλονιάς (πηγή: Sazakli et al., 2007).

Στην προσπάθεια αναβίωσης της πρακτικής της ομβροσυλλογής και γενικότερα στον τομέα της ευαισθητοποίησης για την εξοικονόμηση νερού, έχουν δραστηριοποιηθεί ιδιωτικές εταιρείες και μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ). Για παράδειγμα στο πλαίσιο του προγράμματος *Συλλογή Όμβριων Υδάτων σε Ελληνικά Νησιά* (συνεργασία των οργανισμών Global Water Partnership Mediterranean - GWP-Med, Μεσογειακό Γραφείο Πληροφόρησης για το Περιβάλλον, τον Πολιτισμό και την Αειφόρο Ανάπτυξη - ΜΙΟ-ΕCSDE, Coca-Cola 3E και Coca-Cola Hellas) που ξεκίνησε το 2008, γίνεται μια προσπάθεια να ξαναμπεί η στέρνα στη ζωή των κατοίκων των νησιών και παράλληλα να βελτιωθούν οι παλαιότερες τεχνικές συλλογής όμβριων υδάτων, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην εξοικονόμηση νερού για την κάλυψη των οικιακών αναγκών, κυρίως των μικρών νησιών (www.medies.net). Το Πρόγραμμα ξεκίνησε πιλοτικά στα νησιά Σύρο, Τήνο και Νάξο και στη συνέχεια επεκτάθηκε σε συνολικά 19 νησιά των Κυκλάδων, όπου σε συνεργασία με τις Δημοτικές Αρχές πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση νέων και επισκευή παλαιότερων ομβροδεξαμενών σε επιλεγμένα δημόσια κτίρια και το νερό που συλλέγεται χρησιμοποιείται κυρίως για άρδευση, πλύσιμο, πότισμα των ζώων κ.ά.

3.3 Νομοθετικό πλαίσιο συλλογής όμβριων υδάτων στην Ελλάδα

Η σύγχρονη Πολεοδομική Νομοθεσία έχει κάνει βήματα προς τη θεσμοθέτηση της πρακτικής της συλλογής όμβριων υδάτων:

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

β) 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», επιβάλλεται η κατασκευή ομβροδεξαμενών στα νησιά Πάρος και Αντίπαρος, ενώ με την οικ. 17250/2582/24-4-12 (ΦΕΚ 148/Α.Α.Π/2-5-12) απόφαση του γενικού γραμματέα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Αιγαίου «Έγκριση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου του Δήμου Πάρου, νήσου Πάρου, Νομού Κυκλάδων» διατυπώνονται οι διατάξεις για την επιτρεπόμενη διαστασιολόγηση αυτών. Αναλυτικότερα στο ΓΠΣ Πάρου προβλέπονται τα κάτωθι:

Επιβάλλεται σε κάθε νέα οικοδομή, για την εξοικονόμηση ύδρευσης των κτισμάτων, η συλλογή του βρόχινου νερού με την κατασκευή υπόγειας δεξαμενής συγκέντρωσης των όμβριων υδάτων. Ο μέγιστος όγκος της δεξαμενής θα πρέπει να είναι $V=0.5 \cdot E$ (όπου E η επιφάνεια της πραγματοποιούμενης κάλυψης των κτηρίων). Ισχύουν ωστόσο ειδικοί περιορισμοί σε κάποιες περιοχές που περιορίζουν το μέγεθος της ομβροδεξαμενής στα 30 ή 45 m³. Επίσης, στην περίπτωση της κατασκευής κολυμβητικών δεξαμενών (πισίνες) επιβάλλεται η κατασκευή ομβροδεξαμενής διπλάσιου όγκου από αυτόν της πισίνας. Όσον αφορά στην τοποθέτηση και το είδος των δεξαμενών επιτρέπονται κατά περίπτωση τόσο οι υπόγειες όσο και οι υπέργειες δεξαμενές, ενώ προβλέπεται γενικά ότι οι υπόγειες υδατοδεξαμενές δεν μπορούν να βρίσκονται κάτω από τα ισόγεια των κτισμάτων (κύριας ή βοηθητικής χρήσης) ή κάτω από τις βεράντες. Η οροφή τους μπορεί να εξέχει του φυσικού εδάφους το πολύ 50 cm και σε περίπτωση αυτόνομης υδατοδεξαμενής εντός του γηπέδου η απόστασή της από κάθε κτίσμα θα είναι κατ' ελάχιστον 5 m.

γ) Το ΥΠΕΚΑ μέσω της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2011 να εξετάζει την κατάρτιση Θεσμικού Πλαισίου και Προγράμματος Μέτρων για την *κατ' Οίκον Εξοικονόμηση Νερού*. Η σχετική μελέτη, που έχει ήδη ολοκληρωθεί, έδειξε ότι απλές παρεμβάσεις στον εξοπλισμό ενός νοικοκυριού μπορούν να επιτύχουν σημαντική εξοικονόμηση νερού. Τα μέτρα που υποδεικνύονται από τη μελέτη και που βρίσκονται υπό διερεύνηση περιλαμβάνουν εκτός των άλλων και χρήση των όμβριων υδάτων για πότισμα ή άλλες δευτερεύουσες οικιακές χρήσεις, όπως π.χ. χρήση στην τουαλέτα. Επιπλέον, προτείνεται η επέκταση της υποχρεωτικής κατασκευής και χρήσης στερνών και σε άλλες περιοχές προτεραιότητας που ανήκουν σε ελλειμματικά ή οριακά Υδατικά Διαμερίσματα, όπως τα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (ΥΔ 7), Θεσσαλίας (ΥΔ 8), Αν. Πελοποννήσου (ΥΔ 3), Κρήτης (ΥΔ 13) και Νήσων Αιγαίου (ΥΔ 14). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση έως 20% σε κάθε νοικοκυριό και συνολικά 3.3 Mm³ το έτος (Κυριαζοπούλου, 2012).

3.4 Συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων

Η πρακτική της συλλογής όμβριων υδάτων έγκειται είτε στη χερσαία συλλογή ομβρίων από κάθε είδους χερσαία επιφάνεια σε αυλάκια, λίμνες, δεξαμενές και ταμειυτήρες, είτε στη συλλογή ομβρίων από τις στέγες κτηρίων σε υπόγειες ή υπέργειες ομβροδεξαμενές παρέχοντας στην περίπτωση αυτή μια πολύ καθαρότερη πηγή νερού.

Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων από τις στέγες κτηρίων μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε νέα όσο και σε υφιστάμενα κτήρια και το συλλεγμένο και αποθηκευμένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αναγκών οικιακής χρήσης, όπως είναι το καζανάκι της τουαλέτας, το πότισμα των κήπων, τα πλυντήρια ρούχων και πιάτων, καθώς και για τις ανάγκες πόσιμου νερού, σε κάποιες περιπτώσεις, μετά από κατάλληλη επεξεργασία.

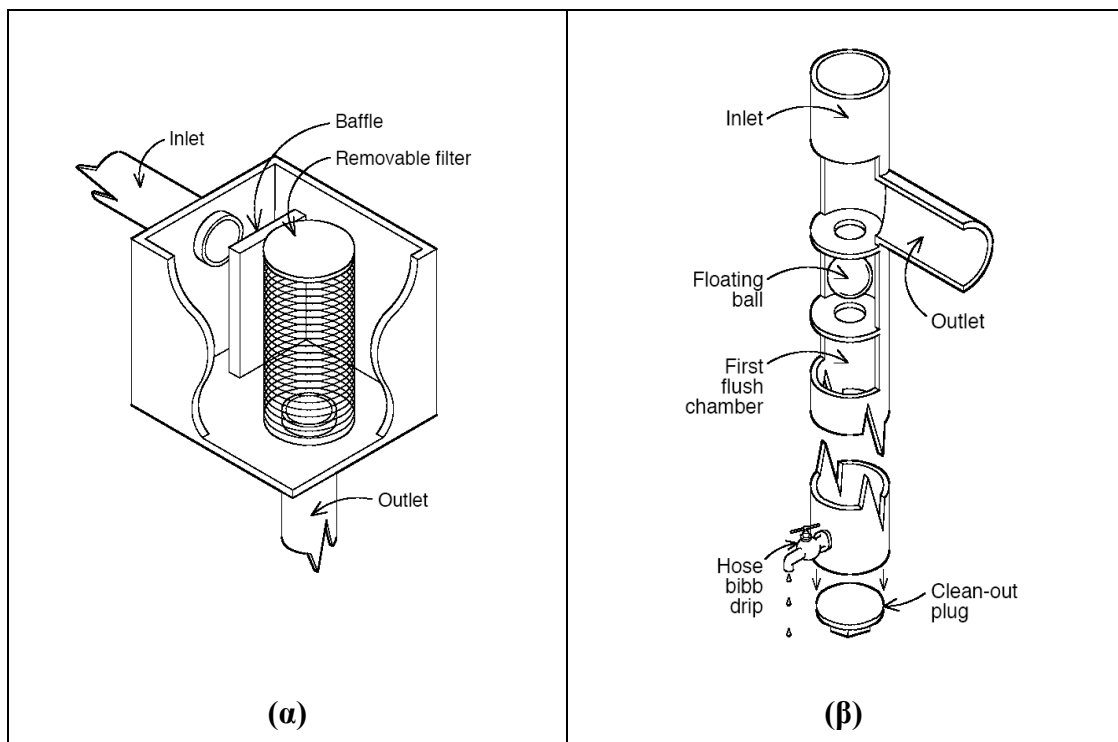
Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων σε γενικές γραμμές αποτελούνται από έξι βασικά στοιχεία (Kinkade-Levario, 2007):

1. *Επιφάνεια συλλογής ομβρίων*: Οι στέγες αποτελούν ιδανικές επιφάνειες συλλογής αφού συλλέγουν εύκολα μεγάλο όγκο του νερού της βροχής. Η ποσότητα και η ποιότητα του νερού της βροχής που συλλέγεται από μια στέγη εξαρτάται από την ένταση της βροχής, το μέγεθος της επιφάνειας της στέγης, και το είδος του υλικού κατασκευής της στέγης. Όταν το νερό της βροχής προορίζεται για μη πόσιμη χρήση

δεν υπάρχει περιορισμός στο υλικό κατασκευής, ενώ στην περίπτωση που προορίζεται για πόσιμη χρήση η στέγη θα πρέπει να είναι κατασκευασμένη από χημικώς αδρανή υλικά, όπως ξύλο, πλαστικό, αλουμίνιο, fiberglass, κεραμίδια από πηλό, πλακίδια από σκυρόδεμα ή φυσική πέτρα και σε κάθε περίπτωση θα πρέπει η επιφάνεια να είναι είτε άβαφη είτε να χρησιμοποιείται μη τοξικό χρώμα (βαφές χωρίς μόλυβδο).

2. *Σύστημα μεταφοράς ομβρίων*: Αποτελείται από σωλήνες που κατευθύνουν το νερό της βροχής από την επιφάνεια συλλογής προς τις δεξαμενές αποθήκευσης. Κατάλληλα υλικά κατασκευής των σωλήνων αποτελούν ο ανοξειδωτος 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.
3. *Σύστημα καθαρισμού στέγης*: Κρίσιμο σημείο αποτελεί η πρόβλεψη και η εγκατάσταση κατάλληλων φίλτρων του νερού πριν αυτό εισέλθει στη δεξαμενή, ώστε να είναι απαλλαγμένο από φερτά υλικά πάσης φύσεως (Σχήμα 3.5α). Επίσης θα πρέπει να υπάρχουν διατάξεις εκτροπής του νερού της πρώτης έκπλυσης (first flush), ώστε να αποφεύγεται η εισροή στη δεξαμενή της αρχικής απορροής κάθε βροχόπτωσης που συνήθως είναι ποιοτικά υποβαθμισμένη (Σχήμα 3.5β). Όσον αφορά στις τιμές της πρώτης έκπλυσης, οι Yaziz et al. (1989) υποστηρίζουν ότι για τη βελτίωση της ποιότητας του συλλεγόμενου νερού θα πρέπει να αφαιρούνται τα πρώτα 0.33 mm βροχής. Η Kinkade-Levario (2007) κάνει λόγο για αφαίρεση των πρώτων 5 gal (18.9 lt) βρόχινου νερού για επιφάνειες συλλογής έως 1000 ft² (92.9 m²), ενώ για μεγαλύτερες επιφάνειες αφαίρεση των πρώτων 10 gal (37.8 lt) νερού για κάθε 1000 ft² (92.9 m²) επιφάνεια στέγης. Επίσης, το Texas Water Development Board (2005) αναφέρει ως ποσό πρώτης έκπλυσης τα 10 gal (37.8 lt) νερού για κάθε 1000 ft² (92.9 m²) επιφάνεια στέγης. 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.
4. *Δεξαμενές αποθήκευσης*: Ως δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατασκευές που είναι υδατοστεγείς, κατάλληλης μηχανικής αντοχής και κατά το δυνατόν από αδρανές υλικό. Στα κατάλληλα υλικά περιλαμβάνονται το

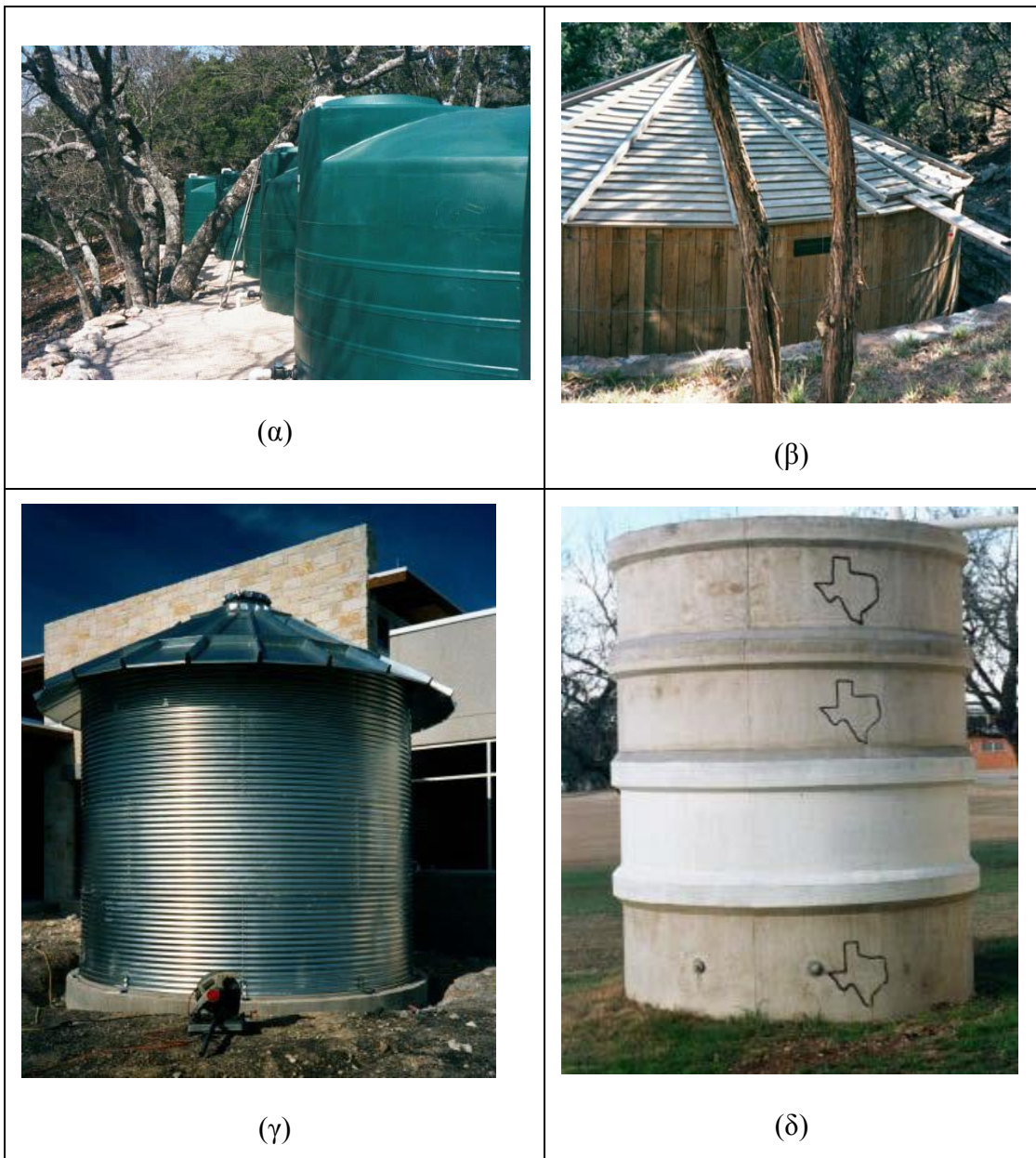
πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο γαλβανισμένος σίδηρος, το σπλισμένο ή μη σκυρόδεμα, κατάλληλα προετοιμασμένο εδαφικό υλικό, ή ακόμη και ξύλο (Σχήμα 3.6). Η επιλογή του υλικού είναι θέμα ανάλυσης κόστους-οφέλους. Μπορούν να είναι είτε πλήρως υπόγειες, είτε πλήρως υπέργειες είτε μερικώς υπόγειες/υπέργειες. Μπορεί να αποτελούν μέρος του κτηρίου ή να βρίσκονται μακριά από αυτό. Χρειάζονται διατάξεις ασφαλούς υπερχειλίσης και εκκένωσης. Οπωσδήποτε πρέπει να μπορούν να επιθεωρούνται και να συντηρούνται σχετικά εύκολα.



Σχήμα 3.5: Διατάξεις φιλτραρίσματος (α) και πρώτης έκπλυσης (β) συλλεχθέντων όμβριων υδάτων πριν την είσοδό τους στη δεξαμενή (πηγή: Texas Water Development Board, 2005).

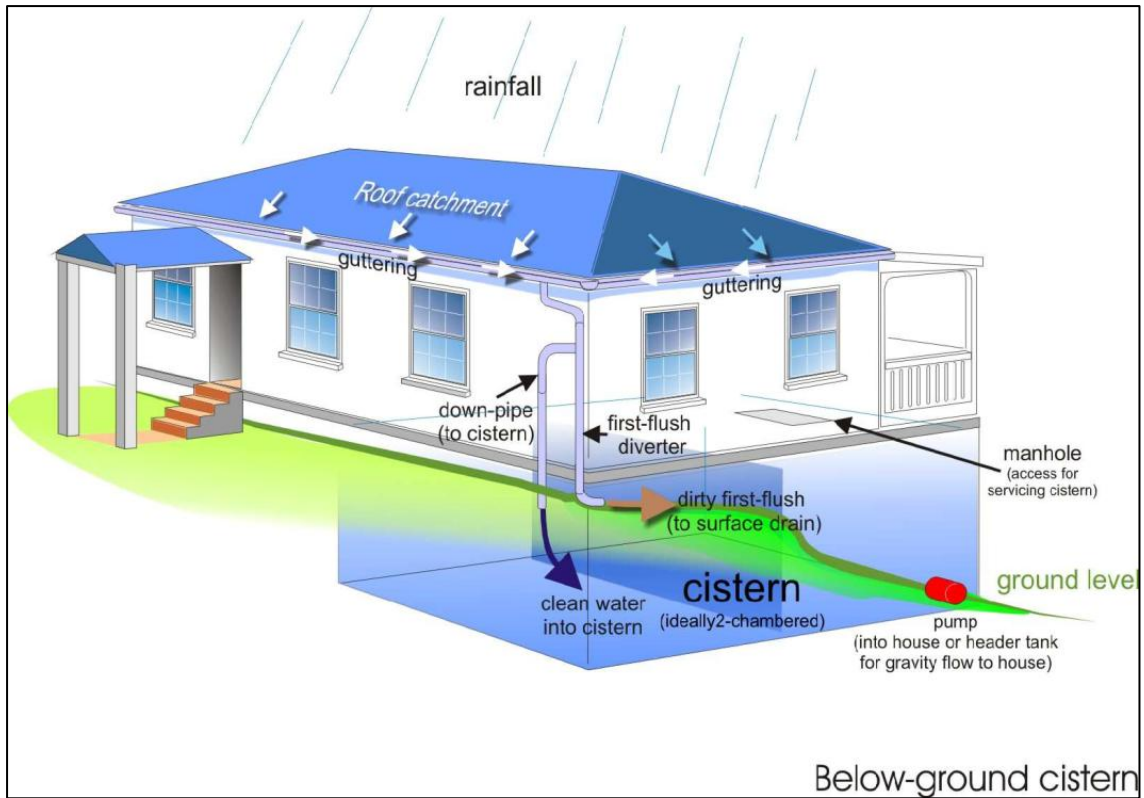
5. *Σύστημα διανομής:* Αυτό περιλαμβάνει συνήθως τις διατάξεις άντλησης και μεταφοράς του νερού από τη δεξαμενή προς το σημείο της τελικής κατανάλωσης.
6. *Σύστημα επεξεργασίας/απολύμανσης:* Διατάξεις απολύμανσης ή/και επεξεργασίας του συλλεχθέντος βρόχινου νερού απαιτούνται μόνο στην περίπτωση που το νερό προορίζεται για πόσιμη χρήση. Σ' αυτή την περίπτωση το βρόχινο νερό θα αντλείται

από τη δεξαμενή και θα οδηγείται στο σύστημα καθαρισμού και στη συνέχεια θα διανέμεται στα σημεία χρήσης.

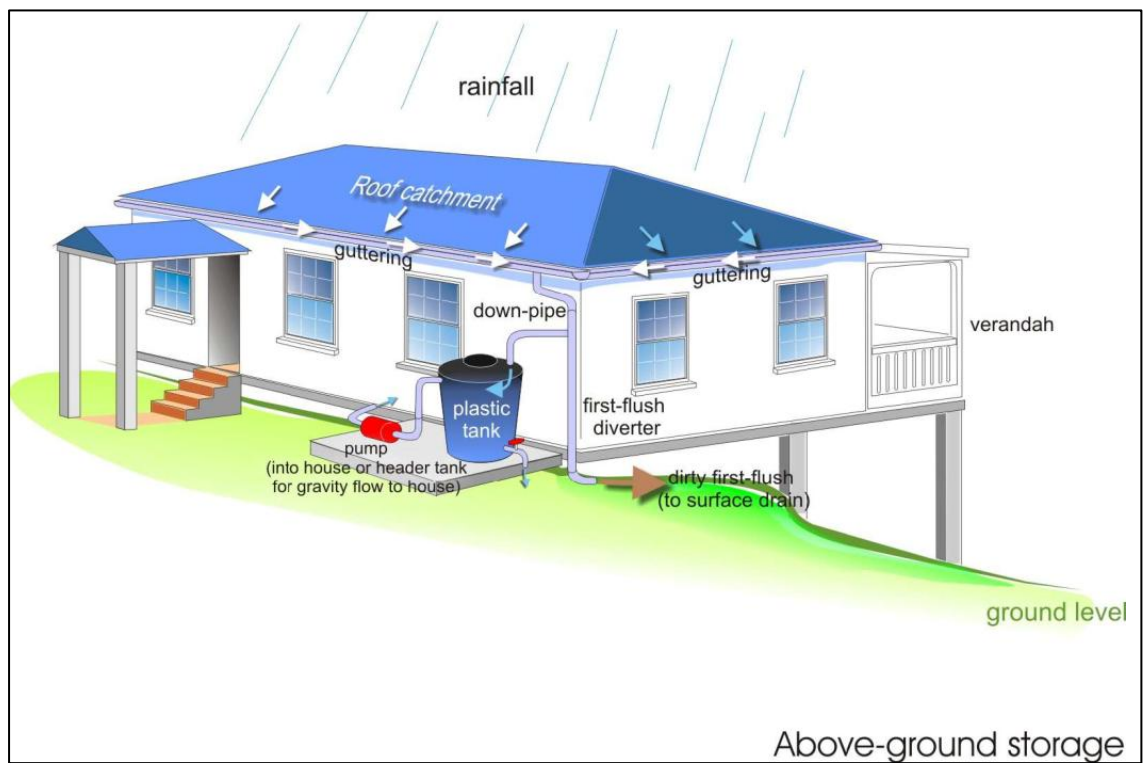


Σχήμα 3.6: Διάφοροι τύποι ομβροδεξαμενών από πολυπροπυλένιο (α), ξύλο (β), γαλβανισμένο σίδηρο (γ) και τσιμέντο (δ) (πηγή: Texas Water Development Board, 2005).

Ολοκληρωμένα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων με υπόγεια και υπέργεια δεξαμενή παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.7 και 3.8, αντίστοιχα.



Σχήμα 3.7: Σύστημα υπόγειας δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων (πηγή: Caribbean Environmental Health Institute, 2009).



Σχήμα 3.8: Σύστημα υπέργειας δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων (πηγή: Caribbean Environmental Health Institute, 2009).

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των υπόγειων και υπέργειων ομβροδεξαμενών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

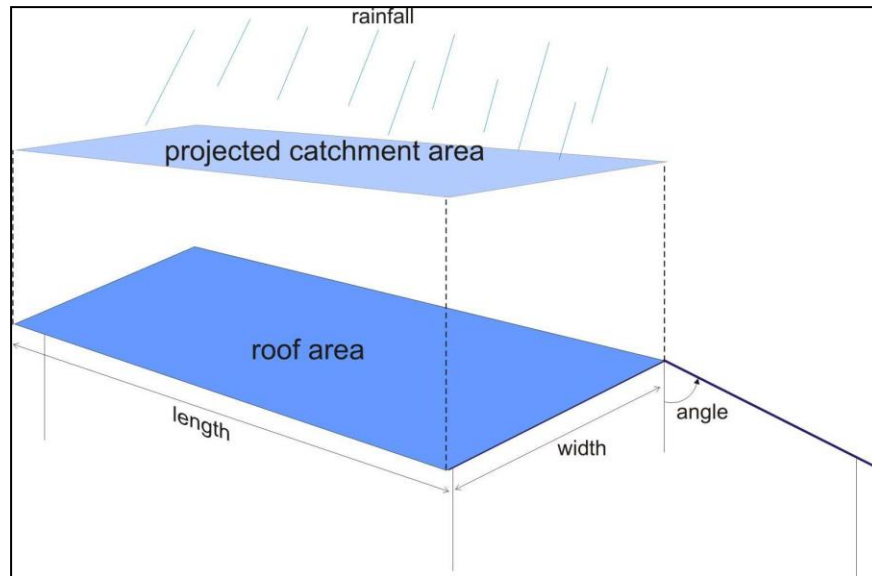
Πίνακας 3.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπόγειων και υπέργειων ομβροδεξαμενών (SOPAC, 2004).

Υπόγειες ομβροδεξαμενές	Υπέργειες ομβροδεξαμενές
<i>Πλεονεκτήματα</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Μειωμένο κόστος εγκατάστασης λόγω μειωμένου πάχους τοιχωμάτων τα οποία «δανείζονται» μηχανική αντοχή από το περιβάλλον έδαφος. • Δυνατότητα ενσωμάτωσης των εργασιών κατασκευής στις εργασίες θεμελίωσης. • Καταλληλότητα για μεγάλους όγκους αποθήκευσης, λόγω της ελάχιστης ή μηδαμινής κατάληψης υπέργειου χώρου. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ευκολία επιθεώρησης και συντήρησης, άρα και ευκολία ανίχνευσης και επιδιόρθωσης διαρροών και κακοτεχνιών. • Χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, ιδιαίτερα για μικρούς όγκους αποθήκευσης. • Δυνατότητα τοποθέτησης σε υψηλό σημείο για αύξηση του πιεζομετρικού φορτίου.
<i>Μειονεκτήματα</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Σχετικά υψηλό κόστος κατασκευής για μικρούς όγκους αποθήκευσης. • Υψηλό κόστος λειτουργίας, λόγω άντλησης. • Δυσκολία ανίχνευσης διαρροών και κακοτεχνιών. • Κίνδυνος κατάρρευσης θεμελίων οικίας, αν κατασκευαστούν σε επικλινές έδαφος. • Πιθανή επιμόλυνση από πλημμυρικά ή υπόγεια νερά. • Πιθανή καταστροφή από ρίζες δένδρων, δίοδος για μικροοργανισμούς. • Δυσκολία επιθεώρησης και συντήρησης. 	<ul style="list-style-type: none"> • Κατάληψη μεγάλων επιφανειών στις περιπτώσεις υψηλών όγκων αποθήκευσης. • Έκθεση δομικών υλικών στις καιρικές συνθήκες. • Κίνδυνος από πιθανή θραύση τυχόν υποστυλωμάτων. • Πιθανά αυξημένο κόστος θεμελίωσης.

3.5 Ποσότητα όμβριων υδάτων

Ο όγκος των όμβριων υδάτων που θα συλλεχθούν εξαρτάται τόσο από τη βροχόπτωση όσο και από το μέγεθος, την υφή, την απορροφητικότητα και την κλίση της επιφάνειας συλλογής ομβρίων.

Στην περίπτωση κτηρίου, την επιφάνεια συλλογής ομβρίων αποτελεί η κάτωψη της στέγης (Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9: Επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων (πηγή: Caribbean Environmental Health Institute, 2009).

Απώλειες της τάξης του 10% έως 70% αναμένονται λόγω της απορροφητικότητας ή διήθησης του υλικού, εξάτμισης και αναποτελεσματικότητας της διαδικασίας συλλογής (Kinkade-Levario, 2007).

Ο συντελεστής απορροής, C , ο οποίος αντιπροσωπεύει τις απώλειες βροχόπτωσης στην επιφάνεια συλλογής ομβρίων, ανάλογα με το υλικό κάλυψης της επιφάνειας, συνήθως λαμβάνει τιμές μεταξύ 0.3 και 0.9 (Kinkade-Levario, 2007). Στον Πίνακα 3.2 δίνονται οι τιμές του συντελεστή απορροής για διάφορες επιφάνειες συλλογής.

Επίσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο υποκεφάλαιο 3.4 ένας αρχικός όγκος βρόχινου νερού (first flush), επιβεβαρυμένος από συγκεντρώσεις σκόνης, φύλλων, λάσπης και περιττωμάτων πουλιών, θα αφαιρεθεί από την ποσότητα του νερού της βροχής που θα συλλεχθεί για την αποφυγή επιβάρυνσης της ποιότητας του αποθηκευμένου νερού στην ομβροδεξαμενή.

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

Πίνακας 3.2: Τιμές συντελεστή απορροής, *C*, ανάλογα με το υλικό κατασκευής της επιφάνειας συλλογής όμβριων υδάτων/στέγης (Kinkade-Levario, H. 2007).

<i>C</i>	Υλικό επιφάνειας
0.90	Λείες, στεγανές στέγες π.χ. από μέταλλο, κεραμίδι, τσιμέντο
0.80	Χαλικόστρωτες στέγες και λιθόστρωτες επιφάνειες
0.60	Επεξεργασμένο έδαφος
0.30	Φυσικό έδαφος

3.6 Ποιότητα όμβριων υδάτων

Η ποιότητα των συλλεγόμενων όμβριων υδάτων έχει γίνει αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών. Προγενέστερες μελέτες έχουν αναφέρει ότι το βρόχινο νερό που συλλέγεται σε δεξαμενές είναι αποδεκτής ποιότητας για όλες τις χρήσεις (Dillaha και Zolan, 1985), ενώ μεταγενέστερες 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). Πρόσφατη μελέτη παρακολούθησης και καταγραφής της ποιοτικής κατάστασης συλλεγμένου βρόχινου νερού, από στέγη κτηρίου στη νοτιοδυτική Γαλλία, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης του, έδειξε καλή φυσικοχημική κατάσταση, αλλά όπως ήταν αναμενόμενο όχι επαρκή για πόσιμο νερό, ενώ η βακτηριολογική του κατάσταση υποβαθμιζόταν συνεχώς με το χρόνο αποθήκευσης (Vialle et al., 2011).

Είναι προφανές ότι η ποιότητα των συλλεγμένων και αποθηκευμένων όμβριων υδάτων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, όπως είναι η τοπογραφία, οι καιρικές συνθήκες και η γειτνίαση με πηγές ρύπανσης (Simmons et al., 2001, Evans et al., 2006, Zhu et al., 2004, Sazakli et al., 2007), το είδος της λεκάνης απορροής (Chang et al., 2004, Zhu et al., 2004), το είδος της ομβροδεξαμενής (Dillaha και Zolan, 1985, Evison and Sunna, 2001) και ο χειρισμός και η διαχείριση του νερού (Pinfold et al, 1993, Evison and Sunna, 2001). Επίσης, η ατμοσφαιρική ρύπανση συμβάλλει σημαντικά στην υποβάθμιση της ποιότητας των συλλεγμένων όμβριων υδάτων (Mantovan et al., 1995,

Yaziz et al., 1989, Chang et al., 2004). Η επεξεργασία και απολύμανση του συλλεγμένου βρόχινου νερού είναι απαραίτητη στην περίπτωση που το νερό αυτό προορίζεται για πόσιμη χρήση.

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.

3.7 Κριτήρια επιλογής τεχνολογιών συλλογής όμβριων υδάτων

Όταν η συλλογή των όμβριων υδάτων προορίζεται για την κάλυψη αναγκών οικιακής χρήσης, οι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι:

- ο τύπος και το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής νερού
- τα τοπικά δεδομένα βροχόπτωσης και οι καιρικές συνθήκες
- το μέγεθος της οικογένειας
- η διάρκεια της περιόδου ξηρασίας
- οι εναλλακτικές πηγές νερού και
- το κόστος του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Ενώ στην περίπτωση που η συλλογή των όμβριων υδάτων προορίζεται για την κάλυψη των αναγκών άρδευσης, οι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι:

- οι ποσότητες βροχής, οι εντάσεις, και οι ρυθμοί εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών
- ο ρυθμός διήθησης του εδάφους, η ικανότητα συγκράτησης νερού, η γονιμότητα και το βάθος του εδάφους
- οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό και η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου
- η υδρογεωλογία της περιοχής και
- οι κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες και κανονισμοί που διέπουν τη χρήση νερού.

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα και ανάλογα με τα δεδομένα και τις συνθήκες που επικρατούν, η χρήση των όμβριων υδάτων για την εξασφάλιση αναγκών οικιακής χρήσης μπορεί να είναι:

- Περιστασιακή: η συλλογή και αποθήκευση ομβρίων γίνεται για λίγες μέρες σε μικρές δεξαμενές.
- Περιοδική: η συλλογή και αποθήκευση ομβρίων γίνεται για τη μακρά περίοδο βροχοπτώσεων, για την κάλυψη όλων των αναγκών οικιακής χρήσης την περίοδο αυτή.
- Μερική: η συλλογή και αποθήκευση ομβρίων γίνεται όλο το χρόνο, αλλά το νερό δεν επαρκεί για την κάλυψη όλων των αναγκών.
- Πλήρης: η συλλογή και αποθήκευση ομβρίων γίνεται όλο το χρόνο, για την κάλυψη όλων των αναγκών οικιακής χρήσης.

3.8 Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών

Ένα από τα σημαντικότερα βήματα στο σχεδιασμό ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων αποτελεί ο προσδιορισμός της βέλτιστης χωρητικότητας της ομβροδεξαμενής. Ο όγκος της ομβροδεξαμενής δεν θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλος, λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής, αλλά ούτε και πολύ μικρός, λόγω του κινδύνου μη ικανοποίησης των αναγκών ζήτησης.

Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες που βασίζονται είτε στην ανάπτυξη μοντέλων ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (behavioral models) (Fewkes, 1999b, Fewkes and Butler, 2000, Villarreal and Dixon, 2005, Ghisi and Ferreira, 2007, Mitchell, 2007, Zhou et al., 2010, Imteaz et al., 2011, Palla et al., 2011, Ward et al., 2011, Campisano and Modica, 2012, Tsihrintzis and Baltas, 2013), είτε στην ανάπτυξη πιθανοτικών μοντέλων (probabilistic models) (Lee et al., 2000, Tsubo et al., 2005, Guo and Baetz, 2007, Cowden et al., 2008, Su et al., 2009, Basinger et al., 2010, Chang et al., 2011). Σε γενικές γραμμές, 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 και Adeboye 2010, Eroksuz και Rahman, 2010).

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

Η ετήσια απόδοση όμβριων υδάτων (Annual Rainwater Yield - *ARY*) (lt) υπολογίζεται ως εξής:

$$ARY = C \cdot \bar{P} \cdot A \quad (3.1)$$

όπου C ο συντελεστής απορροής, ο οποίος αντιπροσωπεύει τις απώλειες βροχής στην επιφάνεια συλλογής και εξαρτάται από το υλικό κάλυψης της επιφάνειας λαμβάνοντας συνήθως τιμές μεταξύ 0.8 (για πλάκα ή πέτρα) και 0.9 (για κεραμίδι), \bar{P} το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της περιοχής εγκατάστασης της δεξαμενής (mm) και A η επιφάνεια συλλογής ομβρίων (m^2).

Η ετήσια ζήτηση όμβριων υδάτων (Annual Rainwater Demand - *ARD*) (lt) συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις χρήσεις μη πόσιμου νερού (δηλαδή νερό για πλυντήριο ρούχων, πλύσιμο δεξαμενής, άρδευση κήπων), ως εξής (<http://oasis-rainharvesting.co.uk/sizing-the-tank>):

$$ARD = 16000 \cdot N_{cap} + 60 \cdot A_G \quad (3.2)$$

όπου N_{cap} ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων και A_G η έκταση του αρδευόμενου κήπου (m^2).

Έτσι, η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής V_{tank} (lt) υπολογίζεται ως:

$$V_{tank} = 0.05 \cdot \min(ARY, ARD) \quad (3.3)$$

Εναλλακτικά, το μέγεθος της δεξαμενής στο Ηνωμένο Βασίλειο μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη μια περίοδο ανομβρίας (τυπικά 3 εβδομάδων, ήτοι έναν αριθμό άνομβρων ημερών $N_{da}=21$ ημέρες), ελέγχοντας την επάρκεια νερού από τη σύγκριση ετήσιας προσφοράς και ζήτησης, ως εξής (www.rainwaterharvesting.co.uk/downloads/TankSizeCalculator.xls):

$$V_{\text{tank}} = \frac{N_{dd}}{365} \cdot (\min(ARY, ARD)) \quad (3.4)$$

Στην Αυστραλία, η ετήσια απόδοση ομβρίων (ARY) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$ARY = C \cdot (\bar{P} - I_a) \cdot A \quad (3.5)$$

όπου ο συντελεστής απορροής C κυμαίνεται μεταξύ 0.80 και 0.85 και η βροχόπτωση \bar{P} μειώνεται κατά μια παράμετρο I_a [mm] που αφορά μια αρχική απόληψη νερού από τη επιφάνεια συλλογής A . Οι προτεινόμενες τιμές της I_a είναι τα 2 mm/μήνα ή τα 24 mm/έτος (Australian Government, 2004).

Η ετήσια ζήτηση ομβρίων υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των εξυπηρετούμενων κατοίκων, N_{cap} , και την ημερήσια κατανάλωση νερού ανά κάτοικο, q , (l/cap/d), ως εξής:

$$ARD = 365 \cdot N_{cap} \cdot q \quad (3.6)$$

Η χωρητικότητα της δεξαμενής υπολογίζεται για κάθε μήνα χρησιμοποιώντας τη μέση μηνιαία βροχόπτωση της περιοχής με βάση το ισοζύγιο μάζας των εισροών και της ζήτησης, με την παραδοχή της άδειας δεξαμενής στην αρχή (Australian Government, 2004), και λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει υπερχείλιση όταν, σε οποιοδήποτε μήνα, η υπολογισμένη εισροή υπερβαίνει τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης και δεν υπάρχει περίσσεια νερού όταν η ζήτηση υπερβαίνει το νερό αποθήκευσης.

Στη Γερμανία, η συλλογή των όμβριων υδάτων ρυθμίζεται από τον κανονισμό DIN 1989-1 (2002) του Γερμανικού Ινστιτούτου Τυποποίησης. Σύμφωνα με τον κανονισμό, για ακριβή διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής συνιστώνται δεδομένα βροχόπτωσης διάρκειας τουλάχιστον 5 έως 10 ετών για την περιοχή μελέτης και εφαρμογή ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου.

Εναλλακτικά ο απαιτούμενος όγκος της ομβροδεξαμενής υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{\text{tank}} = 0.06 \cdot \min(ARY, ARD) \quad (3.7)$$

Στην Πορτογαλία, σύμφωνα με το Πρότυπο ETA 0701 της ΜΚΟ ANQIP, ο απαιτούμενος όγκος της ομβροδεξαμενής υπολογίζεται για την κάλυψη ζήτησης άνομβρης περιόδου έως 90 ημερών (Silva-Afonso, 2012).

Στην Ισπανία ο απαιτούμενος όγκος της ομβροδεξαμενής υπολογίζεται ως εξής (ETA 0701):

$$V_{\text{tank}} = \left(\frac{30}{365} \right) \cdot \left(\frac{ARY + ARD}{2} \right) \quad (3.8)$$

Στο Τέξας των ΗΠΑ η διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών γίνεται με τη μέθοδο του μηνιαίου ισοζυγίου προσφοράς και ζήτησης λαμβάνοντας είτε τη μέση μηνιαία (average) τιμή της βροχόπτωσης είτε τη διάμεση (median) μηνιαία τιμή (Texas Water Development Board, 2005). Επίσης, η διαστασιολόγηση γίνεται και με την απλή μέθοδο της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου, όπου προσδιορίζονται οι όγκοι ομβροδεξαμενών για την κάλυψη της ζήτησης για τις ημέρες της μέγιστης άνομβρης περιόδου.

3.9 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα τεχνολογιών συλλογής όμβριων υδάτων

Η χρήση τεχνολογιών συλλογής όμβριων υδάτων, τόσο σε αστικές όσο και σε αγροτικές περιοχές, προσφέρει πολλά οφέλη, τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Υπάρχουν βέβαια και κάποια μειονεκτήματα της χρήσης των τεχνολογιών αυτών που σχετίζονται κυρίως με θέματα υγείας και ασφάλειας. Μια σύνοψη των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων δίνεται παρακάτω:

Πλεονεκτήματα

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

Μειονεκτήματα

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

4 Ανάπτυξη – Εφαρμογή μεθοδολογίας

4.1. Δεδομένα βροχόπτωσης

Για την επίτευξη του σκοπού της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης από 75 βροχομετρικούς σταθμούς του πρώην Υπουργείου Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων) για την χρονική περίοδο 1980-1996 (<http://kyy.hydroscope.gr>). Για ορισμένους σταθμούς, λόγω ελλειπών χρονοσειρών βροχομετρικών δεδομένων, η χρονική περίοδος μελέτης αφορά σε 7 έως 11 έτη εντός της προαναφερθείσας περιόδου.

Η συγκεκριμένη 16-ετία (1980-1996) επιλέχθηκε διότι: α) 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, β) υπάρχουν αρκετοί σταθμοί με πλήρεις χρονοσειρές βροχομετρικών δεδομένων αυτό το χρονικό διάστημα, και γ) ενσωματώνει μία πανελλαδική περίοδο ανομβρίας που δίνει συντηρητικές εκτιμήσεις βροχόπτωσης και άρα μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας στους υπολογισμούς.

Όσον αφορά στην επιλογή των σταθμών τα κριτήρια ήταν: α) η διαθεσιμότητα των δεδομένων, β) η πληρότητα των δεδομένων των χρονοσειρών, γ) η κάλυψη όλης της περιοχής μελέτης (σταθμοί και από τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας) και δ) η κάλυψη της χωρικής διακύμανσης της βροχόπτωσης της χώρας.

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/ίση του 1 mm.

4.2 Μεθοδολογία

4.2.1 Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

Ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου αναπτύχθηκε, στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης με σκοπό τη διαστασιολόγηση δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων.

Οι διαστάσεις μιας ομβροδεξαμενής και κατά συνέπεια ο όγκος των όμβριων υδάτων που θα αποθηκευτούν σ' αυτήν εξαρτώνται από τον όγκο του νερού της βροχής που θα

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2.2 Προσδιορισμός όγκου απορροής όμβριων υδάτων από επιφάνεια (R_t)

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

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

όπου: C ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής ομβρίων

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

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

Στην παρούσα μελέτη κατά την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε συντελεστής απορροής $C=0.9$.

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί, ότι οι συγκεντρώσεις σκόνης, φύλλων, λάσπης αλλά και περιττωμάτων πουλιών στην επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού που θα συλλεχθεί στη δεξαμενή. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει κάποιος αρχικός όγκος νερού απορροής, επιβεβαρυμένος από τα προαναφερόμενα υπολείμματα, να μην εισέρχεται στη δεξαμενή συλλογής, αποτρέποντας κατ' αυτόν τον

τρόπο την ποιοτική υποβάθμιση του συλλεγμένου νερού στη δεξαμενή. Στη συγκεκριμένη μελέτη, λαμβάνοντας υπόψη τις αναφορές των Yaziz et al. (1989) και Kinkade-Levario (2007) για 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.

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

$$P_{eff,t} = P_t - 0.33 \quad (4.3)$$

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

4.2.3 Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης (D_t)

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

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

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. Αν το νερό της ομβροδεξαμενής δε χρησιμοποιηθεί για πόσιμη χρήση και άρδευση κήπου τότε η μέγιστη τιμή του p μπορεί να κυμανθεί μεταξύ 40% και 55% (Tsihrintzis and Baltas, 2013).

Στην παρούσα μελέτη, ο προσδιορισμός των αναγκών ζήτησης αφορά σε οικία μιας οικογένειας με αριθμό κατοίκων $N_{cap}=3$ έως 5, 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 στην τουαλέτα (~30%), στο μπάνιο-ντους (20%-30%) ή/και στα πλυντήρια ρούχων και πιάτων (~15%).

4.2.4 Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής

4.2.4.1 Όγκος ομβροδεξαμενής με τη μέθοδο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

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

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

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

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

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

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

Ο υπολογισμός του ημερήσιου αποθηκευτικού όγκου είναι επαναληπτικός και ξεκινάει από μια αρχική τιμή $S_{t-1}=S_0$ για $t=0$ και αφορά στον αρχικό αποθηκευμένο όγκο νερού στη δεξαμενή. Η τιμή αυτή μπορεί να είναι οποιαδήποτε. Η πιο συντηρητική τιμή είναι μηδέν ($S_0=0$) για αρχικά άδεια δεξαμενή, η μέγιστη τιμή ίση με τον όγκο της δεξαμενής ($S_0=V_{tank}$) για αρχικά γεμάτη δεξαμενή, ή οποιαδήποτε τιμή για μερικώς γεμάτη δεξαμενή.

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

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

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

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

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

Στην περίπτωση που ο αποθηκευμένος όγκος νερού στη δεξαμενή, $S_{t,tank}$, δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της καθορισμένης ζήτησης, D_t , τότε η ζήτηση θα καλυφθεί συμπληρωματικά, εν' μέρη ή εν' όλω, με νερό από τη δημόσια υπηρεσία παροχής νερού ύδρευσης της περιοχής (ΕΥΔΑΠ για την Αττική, ΕΥΑΘ για τη Θεσσαλονίκη και ΔΕΥΑ για οποιαδήποτε άλλη πόλη της Ελλάδας), T_t , που υπολογίζεται από τον παρακάτω αλγόριθμο:

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

Η παραπάνω διαδικασία προσδιορισμού του όγκου της ομβροδεξαμενής μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε ένα πρόγραμμα λογιστικών φύλλων, έχοντας διαθέσιμες τις ημερήσιες καταγραφές βροχόπτωσης, τουλάχιστον 5 έως 10 ετών (DIN 1989-1, 2002), για την περιοχή όπου θα βρίσκεται η ομβροδεξαμενή. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel.

4.2.4.2 Όγκος ομβροδεξαμενής με τη μέθοδο μέγιστης άνομβρης περιόδου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένας εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού της χωρητικότητας ομβροδεξαμενών σε διάφορες χώρες του κόσμου είναι αυτός που βασίζεται στην ικανοποίηση της ζήτησης για τις μέγιστες ετήσιες άνομβρες περιόδους της περιοχής όπου πρόκειται να κατασκευαστεί η δεξαμενή συλλογής όμβριων υδάτων.

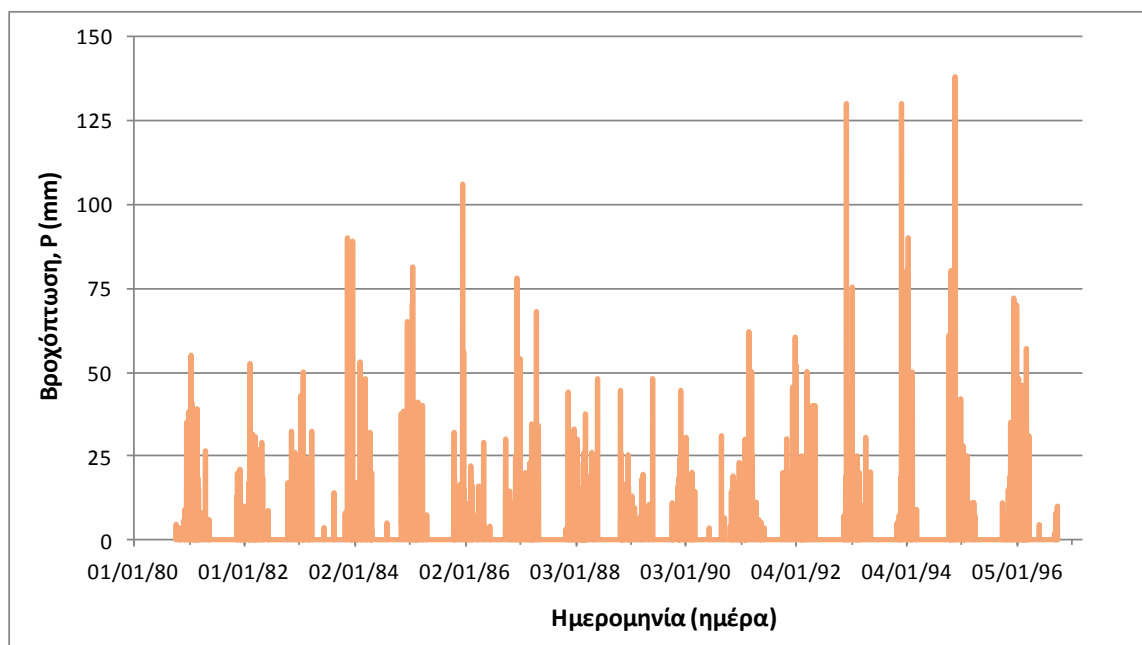
Έτσι λοιπόν, δεδομένων των ημερήσιων αναγκών ζήτησης από την εξίσωση (4.4) και του μέγιστου αριθμού άνομβρων ημερών, N_{dd} , ο όγκος της ομβροδεξαμενής που καλείται να καλύψει τις ανάγκες της άνομβρης περιόδου υπολογίζεται ως:

$$V_{tank,dd} = N_{dd} \cdot N_{cap} \cdot q \cdot (p/100) \quad (4.11)$$

4.2.5 Εφαρμογή

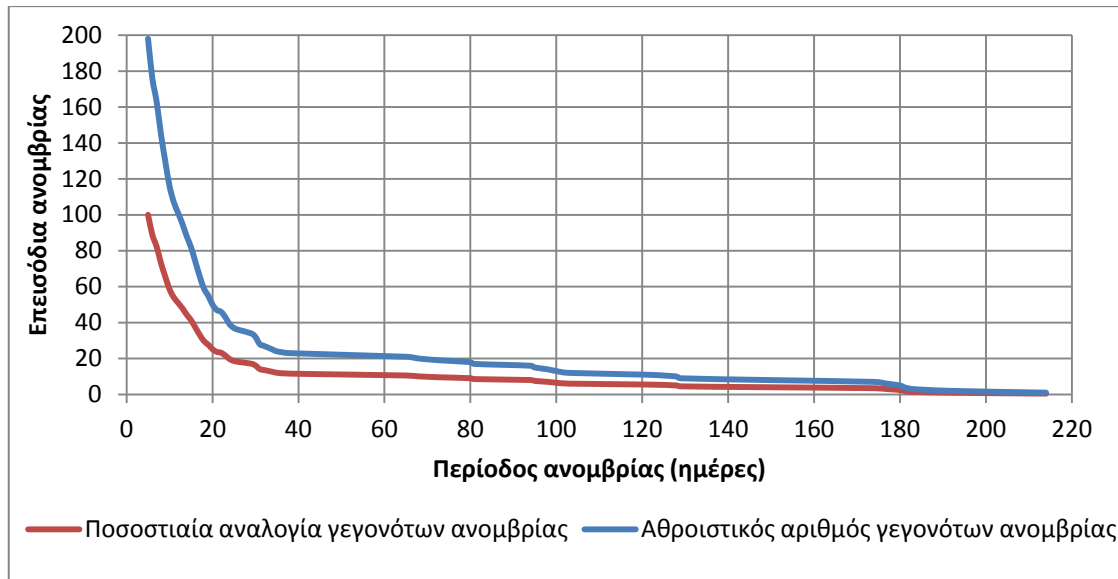
Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά ένα παράδειγμα εφαρμογής των προαναφερθέντων μεθόδων υπολογισμού της χωρητικότητας ομβροδεξαμενής χρησιμοποιώντας βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού “Ζάκρος” Ν. Λασιθίου της Κρήτης, που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του, με συντεταγμένες $x=26.21945$ και $y=35.11235$ σε σύστημα ETRS 89.

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται το ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης, P_t , χρονικής περιόδου διάρκειας 16 ετών. Τα ημερήσια ύψη βροχής κυμαίνονται μεταξύ 0 και 138 mm και το μέσο ετήσιο ύψος είναι $\bar{P} = 615.4 \text{ mm}$.



Σχήμα 4.1: Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 16 ετών από δεδομένα του σταθμού “Ζάκρος” του Ν. Λασιθίου της Κρήτης.

Το Σχήμα 4.2 παρουσιάζει τη συχνότητα εμφάνισης των περιόδων ανομβρίας, η οποία βασίστηκε στην αθροιστική καταμέτρηση των χρονικών διαστημάτων χωρίς βροχή ή με ωφέλιμη βροχόπτωση μικρότερη/ίση του 1 mm, λαμβάνοντας ως ελάχιστη διάρκεια άνομβρης περιόδου αυτή των 5 ημερών, κατά τη διάρκεια καταγραφής βροχοπτώσεων των 16 ετών που μελετήθηκαν. Η μέγιστη τιμή των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων ($N_{dd,max}$) ήταν 214 ημέρες (από 10-03-1994 έως 09-10-1994).



Σχήμα 4.2: Απεικόνιση του αθροιστικού αριθμού και της ποσοστιαίας αναλογίας εμφάνισης άνομβρων περιόδων μεγαλύτερων των 5 ημερών από βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” Λασιθίου.

Από τα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού “Ζάκρος” η μέση ετήσια ωφέλιμη βροχόπτωση, $\overline{P_{eff}}$, υπολογίζεται ως:

$$\overline{P_{eff}} = 365 \cdot \frac{\sum_{t=1}^N P_{eff,t}}{N} \quad (4.12)$$

όπου: $P_{eff,t}$ η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση της t ημέρας (mm), εξ. (4.3)

N ο συνολικός αριθμός ημερών με καταγεγραμμένη βροχόπτωση ($N=5844$ ημέρες)

Με δεδομένη τη μέση ετήσια ωφέλιμη βροχόπτωση υπολογίζονται η ετήσια συλλογή όμβριων υδάτων, R , από την επιφάνεια απορροής και η ετήσια ζήτηση, D , κατ’ αντιστοιχία των εξισώσεων (4.2) και (4.4):

$$R = C \cdot A \cdot \overline{P_{eff}} \quad (4.13)$$

$$D = 365 \cdot N_{cap} \cdot q \cdot (p/100) \quad (4.14)$$

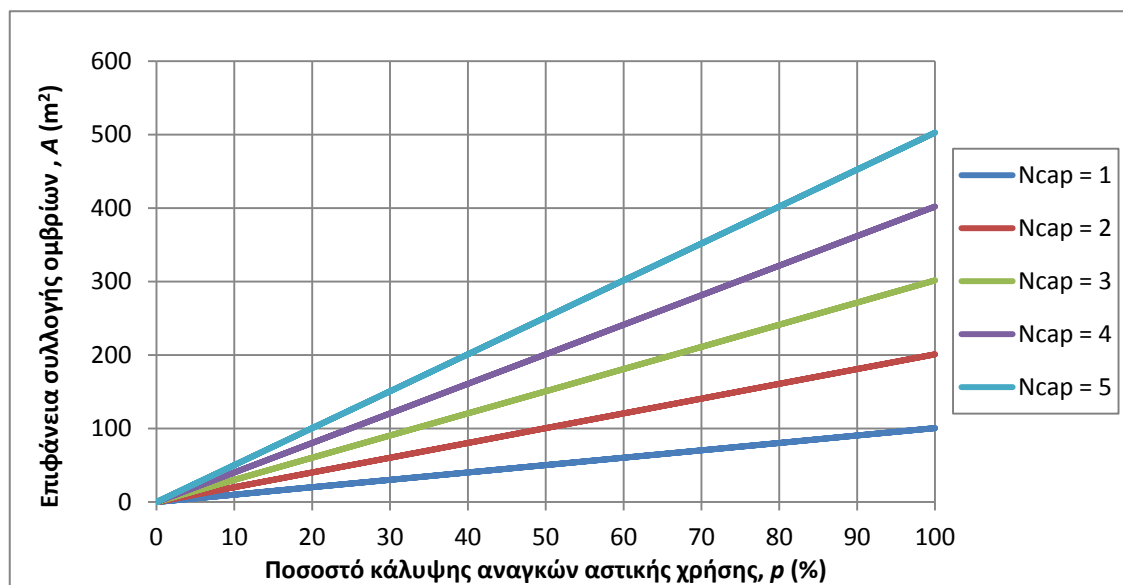
Θεωρώντας ότι σε ετήσια βάση η συλλογή ομβρίων είναι ίση με τη ζήτηση, τότε από την ισότητα των εξισώσεων (4.13) και (4.14) προκύπτει η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια συλλογής ομβρίων, A , για την κάλυψη των αναγκών που καθορίζονται κάθε φορά για

συγκεκριμένο αριθμό κατοίκων, N_{cap} , και ποσοστό κάλυψης αναγκών, p , επί του συνόλου των αναγκών για οικιακή χρήση:

$$A = 365 \cdot \frac{q}{C \cdot \overline{P_{eff}}} \cdot \frac{P}{100} \cdot N_{cap} \quad (4.15)$$

Η απαιτούμενη λοιπόν ελάχιστη επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων ως συνάρτηση του ποσοστού κάλυψης των αναγκών για οικιακή χρήση και του αριθμού των εξυπηρετούμενων κατοίκων παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3. Στους υπολογισμούς τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν είναι: $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $C=0.9$, $\overline{P_{eff}} = 605.2$ mm, $N_{cap}=1$ έως 5, και $p=10\%$ έως 100%.

Παρατηρείται ενδεικτικά ότι για την πλήρη κάλυψη των αναγκών του 1 έως 5 κατοίκων απαιτούνται κατ' ελάχιστον 100 έως 500 m² επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων, αντίστοιχα.



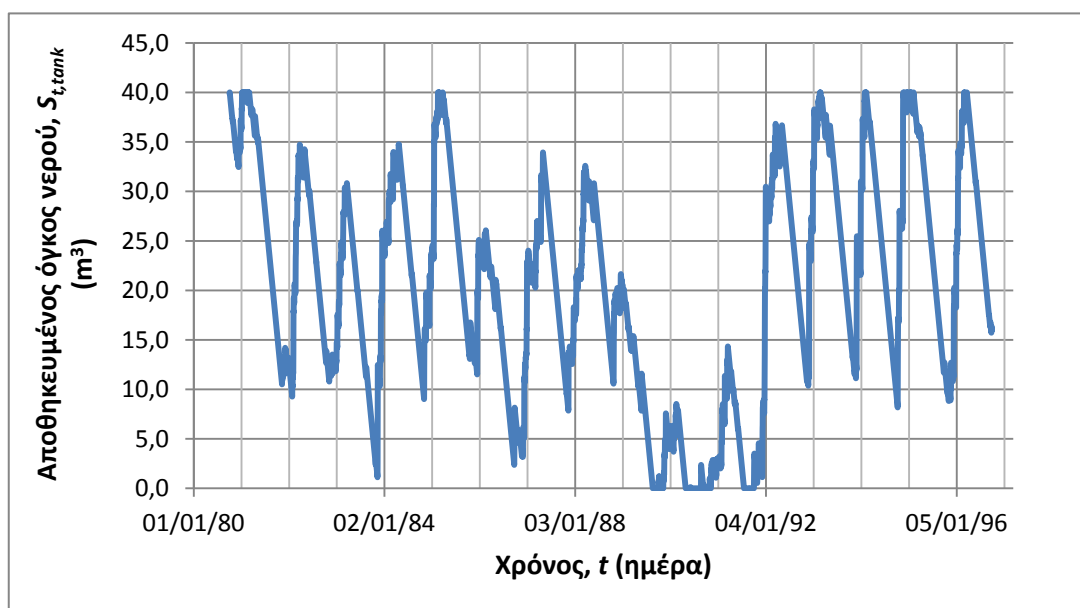
Σχήμα 4.3: Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων, A , συναρτήσει του αριθμού των εξυπηρετούμενων κατοίκων, N_{cap} , και του ποσοστού κάλυψης των αναγκών για οικιακή χρήση, p , χρησιμοποιώντας βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” Λασιθίου. (Δεδομένα εισόδου: $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $C=0.9$, $\overline{P_{eff}} = 605.2$ mm, $N_{cap}=1$ έως 5, και $p=10\%$ έως 100%).

Με δεδομένες πλέον τις ελάχιστες απαιτούμενες επιφάνειες συλλογής ομβρίων για την κάλυψη των αναγκών που έχουν τεθεί, ακολουθήθηκε η μεθοδολογία υπολογισμού του απαιτούμενου όγκου ομβροδεξαμενής, που περιγράφηκε αναλυτικά στο υποκεφάλαιο

4.2.4.1, για το σύνολο των επιφανειών, ποσοτών κάλυψης αναγκών και αριθμού κατοίκων, σ' ένα υπολογιστικό φύλλο του Microsoft Excel, για τα βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” του Ν. Λασιθίου της Κρήτης.

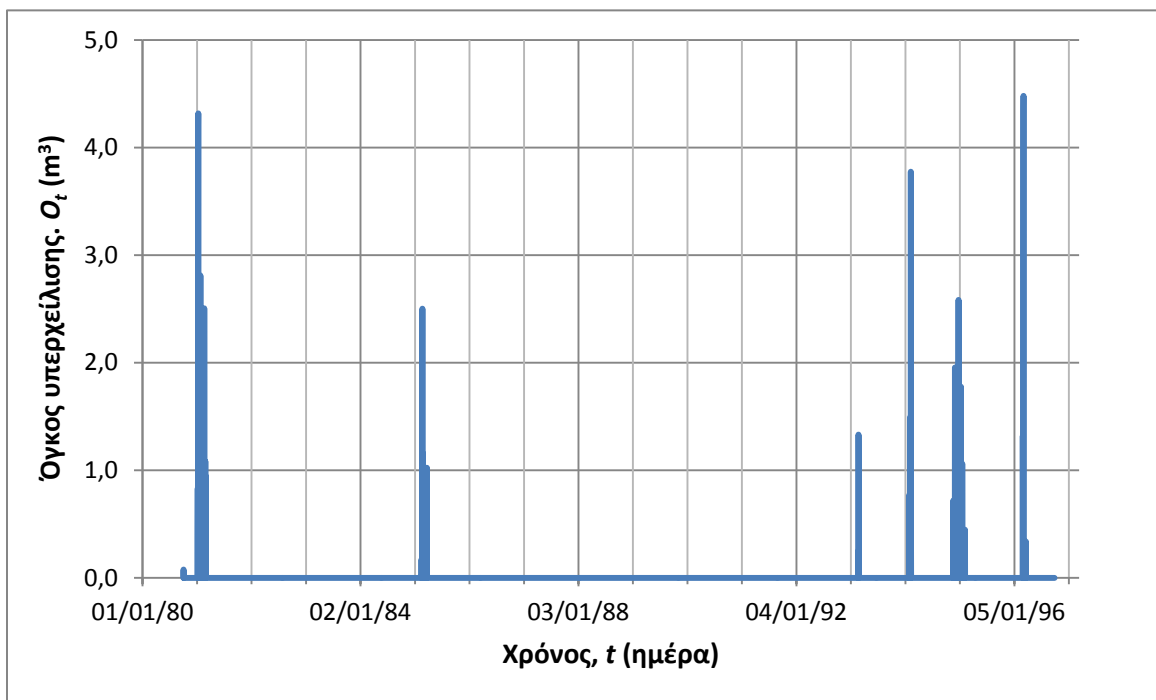
Με βάση τα αποτελέσματα που παρήχθησαν, παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.4 - 4.6 που ακολουθούν, οι αποθηκευμένοι όγκοι των όμβριων υδάτων στη δεξαμενή ($S_{t,tank}$), οι όγκοι υπερχειλίσεως του πλεονάζοντος νερού των ομβρίων από τη δεξαμενή (O_t), και οι όγκοι νερού που θα διατεθούν από τη ΔΕΥΑ (T_t) για την εξασφάλιση της ζήτησης που έχει καθοριστεί, για την περίπτωση που αφορά σε $N_{cap}=3$, $p=30\%$, $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $A=90.5$ m², $C=0.9$, υποθέτοντας χωρητικότητα δεξαμενής $V_{tank}=40$ m³ και αρχικό αποθηκευμένο όγκο νερού στη δεξαμενή $S_0=V_{tank}=40$ m³.

Η διακύμανση του αποθηκευμένου όγκου στη δεξαμενή χωρητικότητας 40 m³, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4, δείχνει ότι η δεξαμενή αδειάζει 8 φορές μέσα σε μια διετία (από 24/08/1989 έως 21/07/1991) εκφράζοντας κατά συνέπεια αδυναμία κάλυψης των αναγκών ζήτησης κατά την περίοδο αυτή.



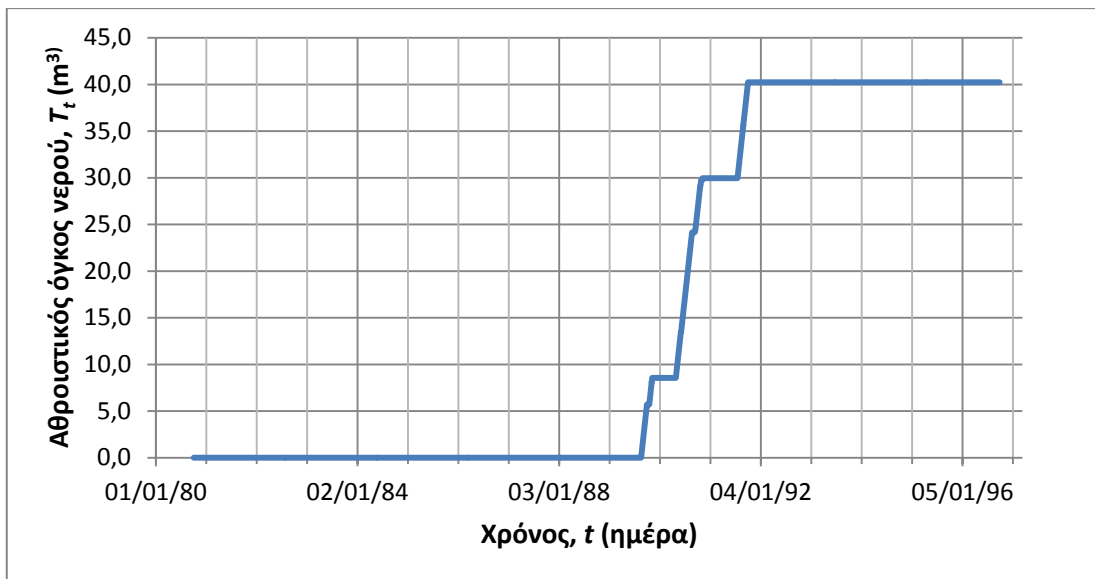
Σχήμα 4.4: Διακύμανση του αποθηκευμένου όγκου νερού ομβροδεξαμενής χωρητικότητας 40 m³, για την κάλυψη ζήτησης του 30% των αναγκών οικιακής χρήσης 3 κατοίκων με αρχικά γεμάτη τη δεξαμενή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” Λασιθίου με $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $A=90.5$ m², και $C=0.9$).

Όσον αφορά στο φαινόμενο της υπερχειλίσεως, εμφανίζονται κάποια επεισόδια υπερχειλίσεως με μέγιστο όγκο υπερχειλίσεως τα 4.48 m³ (στις 06/03/1996) (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Όγκος υπερχείλισης από ομβροδεξαμενή χωρητικότητας 40 m^3 , για την κάλυψη ζήτησης του 30% των αναγκών οικιακής χρήσης 3 κατοίκων με αρχικά γεμάτη τη δεξαμενή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” του Ν. Λασιθίου της Κρήτης με $q=150 \text{ l/κάτοικο/ημέρα}$, $A=90.5 \text{ m}^2$, και $C=0.9$).

Τέλος, στο Σχήμα 4.6 απεικονίζεται ο αθροιστικός όγκος νερού που θα χρησιμοποιηθεί από τη ΔΕΥΑ για την κάλυψη των αναγκών ζήτησης της περιόδου όπου η ομβροδεξαμενή παραμένει άδεια. Ο συνολικός αυτός όγκος φτάνει τα 40.23 m^3 με την προϋπόθεση ότι η δεξαμενή στην αρχή ήταν γεμάτη με νερό ($S_0=V_{\text{tank}}=40 \text{ m}^3$), και 50.31 m^3 με την προϋπόθεση ότι η δεξαμενή κατά την έναρξη είναι άδεια ($S_0=0 \text{ m}^3$). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ελάχιστος αρχικός όγκος που θα πρέπει να είναι αποθηκευμένος στη δεξαμενή, ώστε ο συνολικός όγκος νερού που θα καλυφθεί από την ΔΕΥΑ να είναι τα 40.23 m^3 (όσος δηλαδή με αρχικά γεμάτη δεξαμενή) είναι $S_0=10.22 \text{ m}^3$.



Σχήμα 4.6: Αθροιστικός όγκος νερού που θα καλυφθεί από τη δημόσια υπηρεσία παροχής νερού λόγω ανεπάρκειας κάλυψης της ζήτησης του 30% των αναγκών οικιακής χρήσης 3 κατοίκων από μια αρχικά γεμάτη ή μερικώς γεμάτη ($S_0=10.22 \text{ m}^3$) ομβροδεξαμενή χωρητικότητας 40 m^3 . (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” Λασιθίου με $q=150 \text{ l/κάτοικο/ημέρα}$, $A=90.5 \text{ m}^2$, και $C=0.9$).

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, όλη η διαδικασία της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε αναπτύχθηκε σ’ ένα υπολογιστικό φύλλο του Microsoft Excel, το οποίο μας παρέχει τη δυνατότητα χρήσης αλγορίθμων βελτιστοποίησης. Χρησιμοποιώντας λοιπόν έναν τέτοιο αλγόριθμο, όπως είναι ο “αναζήτηση στόχου”, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής, V_{tank} , για μηδενική χρήση νερού από τη ΔΕΥΑ.

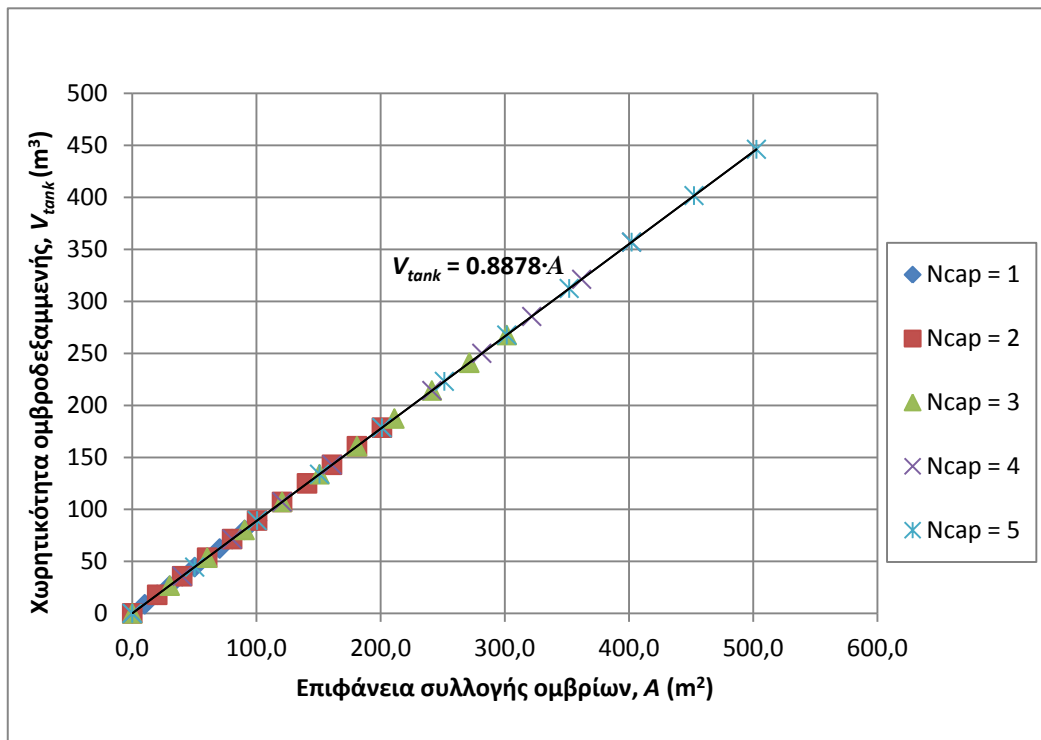
Έτσι, στη συγκεκριμένη περίπτωση του παραδείγματος που προαναφέρθηκε, η μηδενική χρήση νερού από τη ΔΕΥΑ οδηγεί σε δεξαμενή χωρητικότητας $V_{tank}=80.23 \text{ m}^3$ και αρχικό αποθηκευμένο νερό στη δεξαμενή $S_0 \geq 45.42 \text{ m}^3$. Στην περίπτωση $S_0=45.42 \text{ m}^3$ εξαλείφεται το φαινόμενο της υπερχείλισης.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για αριθμό εξυπηρετούμενων κατοίκων από $N_{cap}=1$ έως 5, ημερήσια κατανάλωση νερού ανά κάτοικο $q=150 \text{ l/κάτοικο/ημέρα}$, ποσοστά ζήτησης νερού από $p=10\%$ έως 100% , συντελεστή απορροής $C=0.9$, και τις αντίστοιχες ελάχιστες απαιτούμενες επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων, A , όπως έχουν ήδη προσδιοριστεί και παρουσιαστεί στο Σχήμα 4.3, υπολογίζεται η χωρητικότητα της ομβροδεξαμενής, V_{tank} , που απαιτείται για την κάλυψη της εκάστοτε καθορισμένης ζήτησης, χωρίς χρήση νερού από τη δημόσια υπηρεσία παροχής ύδρευσης (Σχήμα 4.7).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7 η σχέση μεταξύ της χωρητικότητας της ομβροδεξαμενής και της ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας συλλογής ομβρίων (όπως υπολογίστηκε στο Σχήμα 4.3) είναι μια γραμμική σχέση της μορφής:

$$V_{tank} = 0.8878 \cdot A \quad (4.16)$$

που έχει προκύψει από την εφαρμογή του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου στις ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” Λασιθίου και αντιπροσωπεύει την περιοχή αυτή για μηδενική παροχή νερού από τη δημόσια υπηρεσία ύδρευσης.

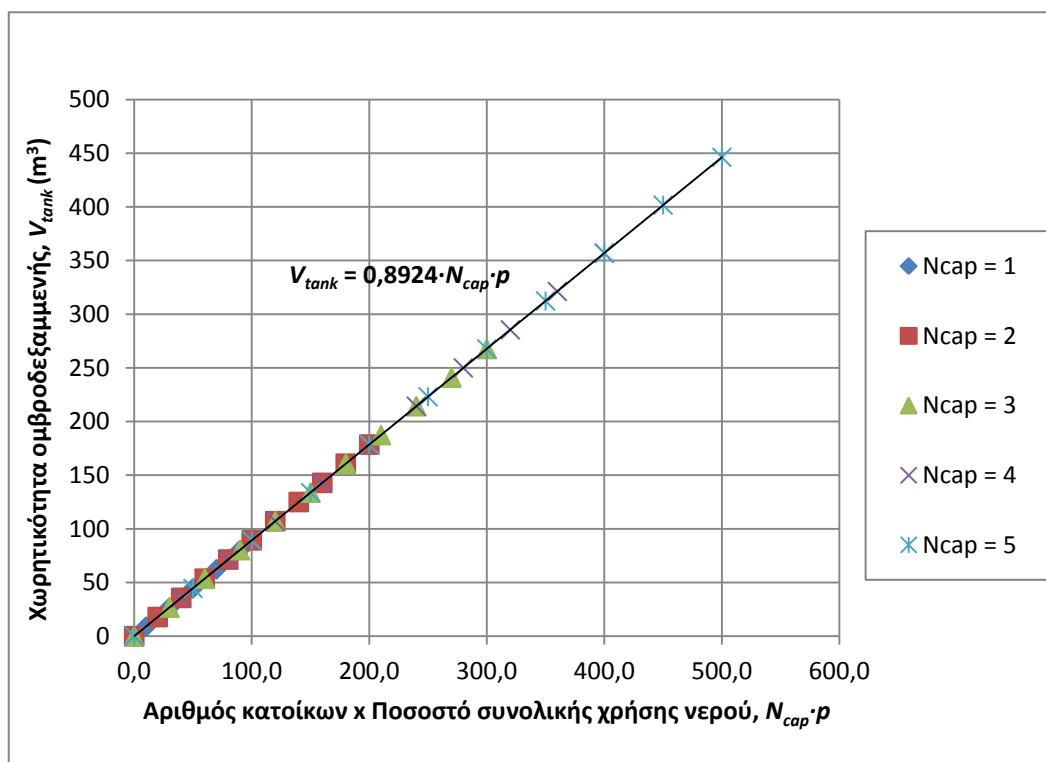


Σχήμα 4.7: Σχέση μεταξύ της χωρητικότητας της ομβροδεξαμενής και της ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας συλλογής ομβρίων (υπολογισμένη από Σχήμα 4.3). (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” Λασιθίου με $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $N_{cap}=1$ έως 5, $p=10\%$ έως 100% και $C=0.9$).

Δεδομένου ότι η επιφάνεια συλλογής ομβρίων, A , είναι εξαρτημένη μεταβλητή, αφού έχει προκύψει από την εξίσωση (4.15), εναλλακτικά μπορεί να δοθεί η σχέση της χωρητικότητας της ομβροδεξαμενής συναρτήσει του αριθμού των εξυπηρετούμενων κατοίκων και του ποσοστού της συνολικής χρήσης νερού (Σχήμα 4.8). Στην περίπτωση

του συγκεκριμένου παραδείγματος μελέτης, η σχέση είναι επίσης γραμμική και δίνεται από τον τύπο:

$$V_{\text{tank}} = 0.8924 \cdot N_{\text{cap}} \cdot p \quad (4.17)$$



Σχήμα 4.8: Χωρητικότητα ομβροδεξαμενής συναρτήσει του αριθμού των εξυπηρετούμενων κατοίκων και του ποσοστού της συνολικής χρήσης νερού. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” με $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $N_{cap}=1$ έως 5, $p=10\%$ έως 100% , $C=0.9$ και A από Σχήμα 4.3).

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.7 και 4.8, γίνεται φανερό ότι οι δεξαμενές συλλογής ομβρίων που προκύπτουν είναι πολύ μεγάλες. Αυτό πρακτικά έχει τα εξής πιθανά προβλήματα: α) να είναι αδύνατη η εγκατάσταση της δεξαμενής λόγω περιορισμών χώρου, β) να είναι οικονομικά ασύμφορη η κατασκευή της και γ) να είναι αυξημένος ο κίνδυνος ποιοτικής υποβάθμισης του συλλεγμένου και αποθηκευμένου νερού συλλογής.

Σ’ αυτό το σημείο θα πρέπει να διευκρινιστεί, ότι η διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών με την παραπάνω μεθοδολογία βασίστηκε στη χρησιμοποίηση των ελάχιστων απαιτούμενων επιφανειών συλλογής όμβριων υδάτων για την εξασφάλιση της

ζήτησης σε ετήσια βάση, όπως προέκυψαν από την ισότητα των σχέσεων της ετήσιας συλλογής ομβρίων και της ετήσιας ζήτησης κάλυψης αναγκών, λαμβάνοντας υπόψη, μεταξύ των άλλων παραμέτρων, μόνο τη μέση ετήσια ωφέλιμη βροχοπτώση και όχι την κατανομή της βροχοπτώσης. Γι' αυτό το λόγο και δεδομένης της ανάγκης για διαστασιολόγηση όσο γίνεται μικρότερων ομβροδεξαμενών, τόσο για τον περιορισμό των προβλημάτων που προαναφέρθηκαν όσο και για την τήρηση των προδιαγραφών των εκάστοτε πολεοδομικών κανονισμών, έγινε προσπάθεια υπολογισμού ομβροδεξαμενών μικρότερων διαστάσεων ξεκινώντας από την γραμμική σχέση (4.16) που υπολογίστηκε και αυξάνοντας σταδιακά την επιφάνεια συλλογής ομβρίων διατηρώντας σταθερό το N_{cap} και το p .

Πιο συγκεκριμένα, στο παράδειγμα που μελετήθηκε για τα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού “Ζάκρος” Λασιθίου με δεδομένα εισόδου $N_{cap}=3$, $p=30\%$, $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $C=0.9$, και $A=90.5$ m², η χωρητικότητα της δεξαμενής προσδιορίστηκε από το Σχήμα 4.7 σε $V_{tank}=80.23$ m³ και ο ελάχιστος αρχικός αποθηκευμένος όγκος νερού στη δεξαμενή προσδιορίστηκε σε $S_0=45.42$ m³ για μηδενική χρήση νερού από τη ΔΕΥΑ της περιοχής.

Στη διαδικασία των νέων υπολογισμών διατηρήθηκαν τα ίδια δεδομένα εισόδου ($N_{cap}=3$, $p=30\%$, $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $C=0.9$, και $A=90.5$ m²) και προσδιορίστηκαν οι νέοι βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για επιφάνειες συλλογής ομβρίων μεγέθους 100, 150, 200, 250, και 300 m², δηλαδή για επιφάνειες μεγαλύτερες της ελάχιστης απαιτούμενης των 90.5 m². Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Παρατηρείται ότι με μια αύξηση της ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας συλλογής ομβρίων κατά 9.5 m² ή 10.5% ($A=100$ m²) ο απαιτούμενος βέλτιστος όγκος της δεξαμενής μειώθηκε κατά 18.09 m³ ή 22.5%, ενώ αύξηση της επιφάνειας κατά 59.5 m² ή 65.7% ($A=150$ m²) οδήγησε σε μείωση του όγκου της δεξαμενής κατά 48.86 m³ ή 60.8%. Οι αυξήσεις αυτές της επιφάνειας μπορούν σχετικά εύκολα να εξευρεθούν (π.χ. αξιοποιώντας το στέγαστρο ενός εξωτερικού χώρου στάθμευσης ή το στέγαστρο μιας εξωτερικής αποθήκης) παρέχοντας σπουδαίο όφελος ως προς την κατασκευή ομβροδεξαμενής πολύ μικρότερων διαστάσεων. Περαιτέρω αύξηση της επιφάνειας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1, δεν επιφέρει σημαντική μείωση του όγκου της δεξαμενής που να συμφέρει. Αξίζει να σημειωθεί ότι για επιφάνειες συλλογής ομβρίων μικρότερες της ελάχιστης απαιτούμενης, οι αντίστοιχοι όγκοι ομβροδεξαμενής που απαιτούνται αυξάνονται υπερβολικά.

Πίνακας 4.1: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής, $V_{opt,t}$, και ελάχιστοι απαιτούμενοι αρχικοί αποθηκευμένοι όγκοι, S_0 , για διάφορες επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων, A , για μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” Λασιθίου με $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $N_{cap}=3$, $p=30\%$, $C=0.9$)

A (m ²)	$V_{opt,t}$ (m ³)	S_0 (m ³)
90.5*	80.23	45.42
100	62.14	7.26
150	31.37	6.17
200	30.97	5.15
250	30.58	4.44
300	30.19	3.97

*Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια συλλογής, υπολογισμένη από το Σχήμα 4.3 ή την εξίσωση (4.16), για κάλυψη ζήτησης $p=30\%$.

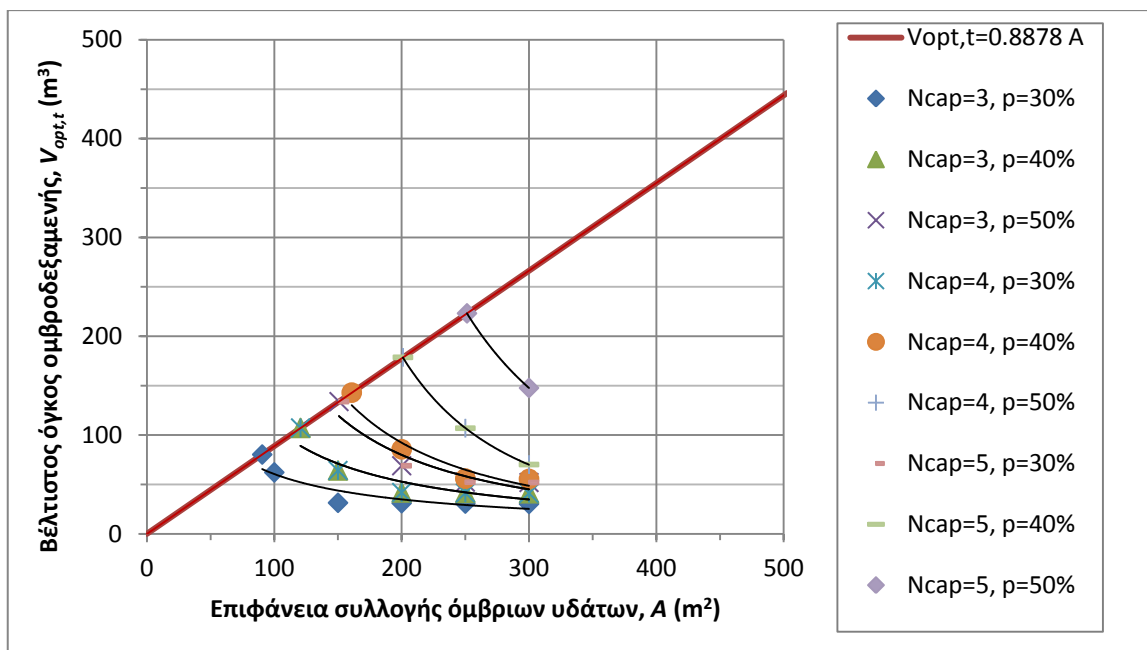
Οι τιμές S_0 που εμφανίζονται στον Πίνακα 4.1 είναι οι ελάχιστες αρχικές τιμές αποθηκευμένου όγκου στη δεξαμενή, ώστε να εξασφαλίζεται μηδενική χρήση από τη δημόσια υπηρεσία παροχής νερού ύδρευσης για κάλυψη του 30% της οικιακής ζήτησης.

Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για δεδομένα εισόδου $N_{cap}=3$ έως 5, $p=30\%$ έως 50%, $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $C=0.9$, και $A=90.5$ m² για μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή για τα καθορισμένα ποσοστά ζήτησης και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.9.

Όπως φαίνεται σε όλες τις περιπτώσεις, ξεκινώντας από την αρχική εξίσωση (4.16) πρόβλεψης του όγκου της ομβροδεξαμενής, για κάθε ζευγάρι τιμών N_{cap} και p προκύπτει αξιοσημείωτη μείωση του όγκου της δεξαμενής με την αύξηση της επιφάνειας συλλογής ομβρίων. Επίσης, παρατηρείται ότι αυτή η μείωση του όγκου μπορεί να αποδοθεί από μια εξίσωση υπερβολικής μορφής:

$$V_{opt,t} = c \cdot A^d \quad (4.18)$$

με σχετικά καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων (Σχήμα 4.9). Στον Πίνακα 4.2 δίνονται οι τιμές των παραμέτρων προσαρμογής c και d και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 από την προσαρμογή της εξίσωσης στα δεδομένα μελέτης.



Σχήμα 4.9: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” Λασιθίου με $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $N_{cap}=3$ έως 5, $p=30\%$ έως 50% , $C=0.9$)

Πίνακας 4.2: Παράμετροι c , d και συντελεστής προσδιορισμού R^2 της εξίσωσης προσαρμογής (4.18) στα αποτελέσματα του βέλτιστου όγκου ομβροδεξαμενής συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής ομβρίων, όπως αυτά παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.9, για ορισμένο αριθμό κατοίκων (N_{cap}) και ποσοστό ζήτησης (p).

N_{cap}	p (%)	c	d	R^2
3	30	2356.5	-0.795	0.7882
3	40	12459	-1.031	0.8206
3	50	142632	-1.413	0.8865
4	30	12459	-1.031	0.8206
4	40	395830	-1.579	0.9102
4	50	$4 \cdot 10^7$	-2.336	1
5	30	142632	-1.413	0.8865
5	40	$4 \cdot 10^7$	-2.336	1
5	50	$9 \cdot 10^7$	-2.331	1

Τέλος, υπολογίστηκαν οι αντίστοιχοι όγκοι ομβροδεξαμενής βασισμένοι στη μέθοδο της μέγιστης άνομβρης περιόδου από την εξίσωση (4.11). Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι απαιτούμενοι όγκοι για την πλήρη κάλυψη του 30% έως 50% των αναγκών οικιακής χρήσης των 3 έως 5 κατοίκων για τη μέγιστη περίοδο ανομβρίας των 214 ημερών.

Πίνακας 4.3: Απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής $V_{tank,dd}$ για την πλήρη κάλυψη του $p=30\%$ έως 50% των ημερήσιων αναγκών οικιακής χρήσης $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα των $N_{cap}=3$ έως 5 κατοίκων για τη μέγιστη περίοδο ανομβρίας N_{dd} . (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 16 ετών του σταθμού “Ζάκρος” Λασιθίου)

N_{cap}	N_{dd} (ημέρες)	$p=30\%$	$p=40\%$	$p=50\%$
		$V_{tank,dd}$ (m^3)		
3		28.89	38.52	48.15
4	214	38.52	51.36	64.20
5		48.15	64.2	80.25

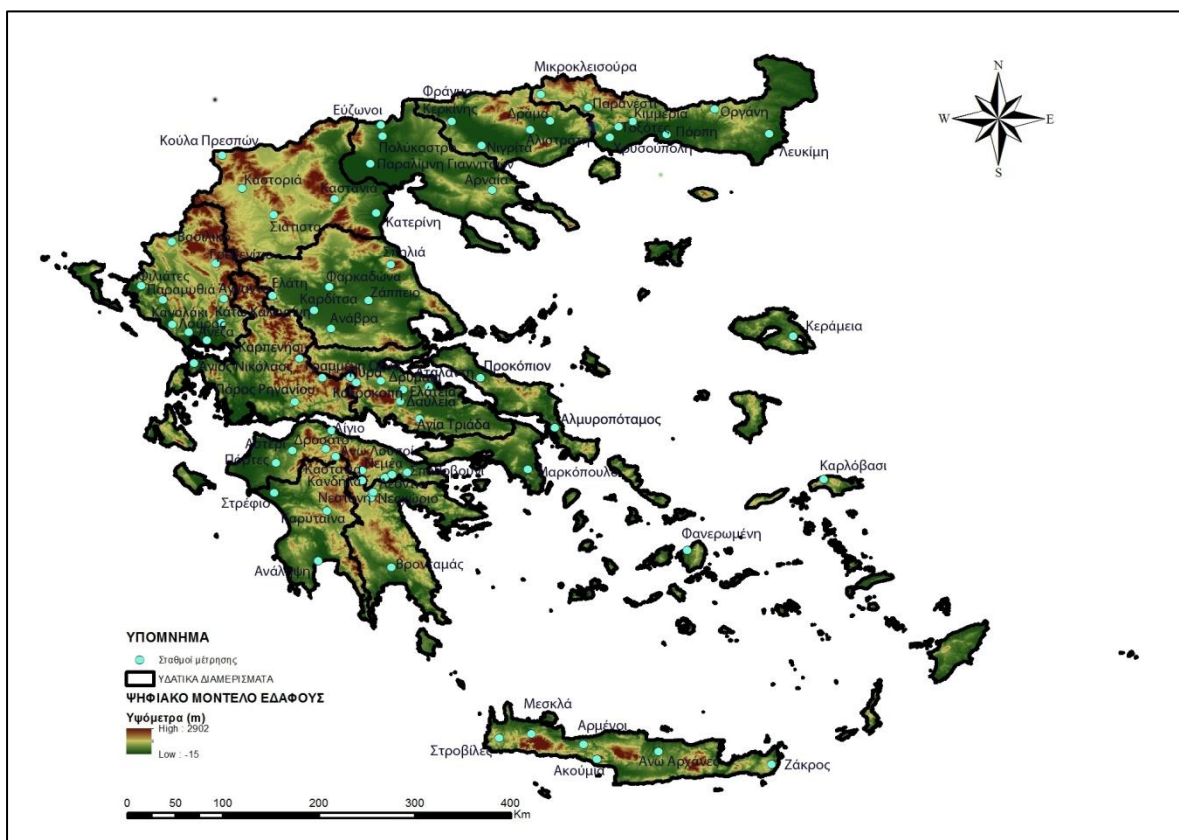
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενής έδειξε ότι οι όγκοι που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της μέγιστης άνομβρης περιόδου, $V_{tank,dd}$, (Πίνακας 4.3) είναι γενικά μικρότεροι αυτών που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (Σχήμα 4.9). Πιο συγκεκριμένα, οι όγκοι $V_{tank,dd}$ τείνουν να εξομοιωθούν με αυτούς του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων μεγαλύτερες των $300 m^2$. Ωστόσο, οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται στην περίπτωση των απαιτούμενων όγκων για την κάλυψη της ζήτησης του 50% των 5 κατοίκων (Σχήμα 4.9, Πίνακας 4.3).

Η προαναφερθείσα διαδικασία διαστασιολόγησης πραγματοποιήθηκε και με τις δύο μεθόδους για το σύνολο των σταθμών μελέτης, με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου όγκου ομβροδεξαμενής για τις περιπτώσεις $N_{cap}=3$ έως 5, $p=30\%$ έως 50% , $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα, $C=0.9$, και $A=100, 150, 200, 250$, και $300 m^2$ και μηδενική χρήση νερού από τη δημόσια υπηρεσία παροχής ύδρευσης για την κάλυψη αυτών των ποσοστών ζήτησης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και αξιολογούνται στο κεφάλαιο 5 που ακολουθεί.

5 Αποτελέσματα - Συζήτηση

5.1 Ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων

Η γνώση του βροχομετρικού καθεστώτος μιας περιοχής είναι εκείνη που θα οδηγήσει στην ορθή διαστασιολόγηση μιας ομβροδεξαμενής που αποτελεί και το κύριο μέρος ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων. Γι' αυτό το λόγο, από το σύνολο των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων (ΥΔ) της χώρας, επιλέχθηκαν 75 βροχομετρικοί σταθμοί (Σχήμα 5.1), τα κύρια χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στον Πίνακα 5.1. Παρουσιάζονται τα ονόματα των σταθμών, ο νομός και το ΥΔ που ανήκουν, το υψόμετρο, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, αλλά και η μέση ετήσια βροχόπτωση, όπως προέκυψε από την επεξεργασία ημερήσιων τιμών, που για την πλειοψηφία των σταθμών αφορούσε σε χρονική περίοδο 16 ετών (1980-1996). Όπως ήταν αναμενόμενο λόγω της ανισοκατανομής των βροχοπτώσεων στη χώρα μας, παρατηρείται μεγάλη χωρική διακύμανση της βροχόπτωσης με μέσες ετήσιες τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 323 mm (“Φράγμα Κερκίνης” Σερρών) και 1405.2 mm (“Ελάτη” Τρικάλων) (Πίνακας 5.1, Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.1: Βροχομετρικοί σταθμοί μελέτης.

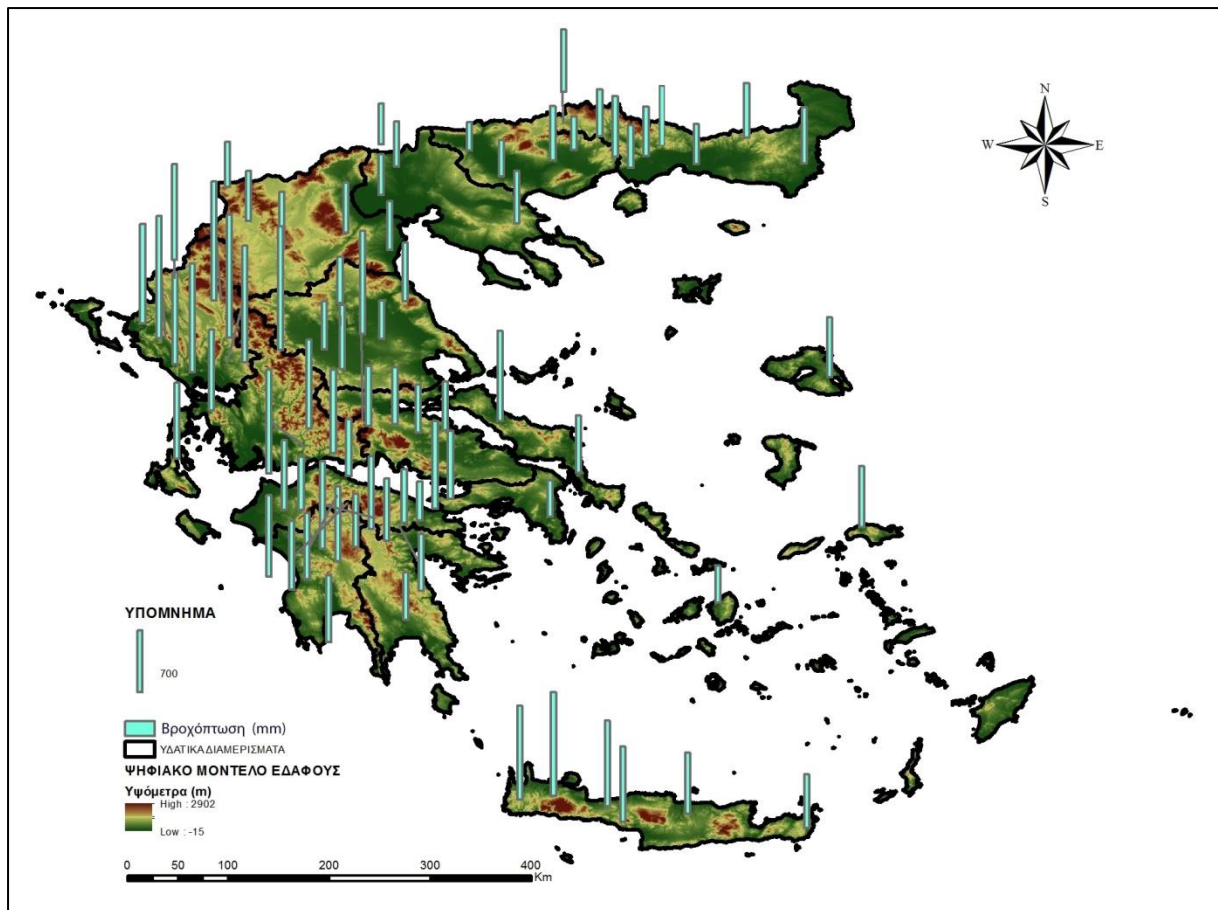
Πίνακας 5.1: Κύρια χαρακτηριστικά των 75 επιλεγμένων βροχομετρικών σταθμών των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων (ΥΔ) της χώρας. Μέση ετήσια βροχόπτωση (\bar{P}) για τις χρονοσειρές μελέτης της περιόδου 1980-1996. Η κατάταξη των σταθμών σε κάθε ΥΔ είναι από δυτικά προς ανατολικά (κατά αύξουσα τιμή γεωγραφικού μήκους).

Υδατικό Διαμέρισμα	Νομός	Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Γ. Μήκος *	Γ. Πλάτος *	\bar{P} (mm)	Μήκος χρονοσειράς (έτη)	
1	ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	ΗΛΕΙΑ	ΣΤΡΕΦΙΟ	19.3	21.55519	37.65772	931.4	16
		ΜΕΣΣΗΝΙΑ	ΑΝΑΛΗΨΗ	34.2	21.96882	37.02055	754.3	16
		ΑΡΚΑΔΙΑ	ΚΑΡΥΤΑΙΝΑ	498.4	22.04930	37.48511	846.4	16
		ΑΧΑΙΑ	ΑΝΩ ΛΟΥΣΟΙ	1082.3	22.13429	38.00095	782.7	16
2	ΒΟΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	ΑΧΑΙΑ	ΠΟΡΤΕΣ	395.3	21.57198	37.93958	797.5	16
		ΑΧΑΙΑ	ΑΣΤΕΡΙ	214.3	21.72425	38.05388	599.9	16
		ΑΧΑΙΑ	ΔΡΟΣΑΤΟ	888.7	22.03728	38.06748	753.0	16
		ΑΧΑΙΑ	ΑΙΓΙΟ	37.2	22.09343	38.24120	648.7	16
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΚΑΣΤΑΝΙΑ	987.2	22.38063	37.86678	1000.5	16
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΛΕΟΝΤΙΟ	379.7	22.59210	37.79900	645.2	16
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΝΕΜΕΑ	305.6	22.65780	37.82641	611.8	16
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΣΠΑΘΟΒΟΥΝΙ	149.7	22.80302	37.84771	441.2	16
3	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	ΑΡΚΑΔΙΑ	ΚΑΝΔΗΛΑ	762.3	22.37822	37.77320	828.3	16
		ΑΡΚΑΔΙΑ	ΝΕΣΤΑΝΗ	647.5	22.46045	37.61210	602.7	16
		ΑΡΓΟΛΙΔΑ	ΝΕΟΧΩΡΙΟ	703.5	22.48392	37.66605	711.9	16
		ΛΑΚΩΝΙΑ	ΒΡΟΝΤΑΜΑΣ	140.6	22.65345	36.96117	546.5	16
4	ΔΥΤΙΚΗ ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	10.1	20.80366	38.86975	868.8	16
		ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ	181.8	21.74962	38.50779	1180.0	16
		ΕΥΡΥΤΑΝΙΑ	ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	962.2	21.79335	38.91478	1011.8	16
		ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΞΥΑ	1107.1	22.00846	38.73601	949.4	16
		ΦΩΚΙΑΔΑ	ΠΥΡΑ	1137.0	22.27196	38.74262	1174.4	16
5	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑ	ΦΙΛΙΑΤΕΣ	207.3	20.31069	39.59971	1134.5	16

		ΘΕΣΠΡΩΤΙΑ	ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	285.2	20.51343	39.46604	1395.3	16
		ΙΩΑΝΝΙΝΑ	ΒΑΣΙΛΙΚΟ	746.8	20.59495	40.00916	1092.2	16
		ΠΡΕΒΕΖΑ	ΚΑΝΑΛΑΚΙ	24.4	20.60041	39.23544	1048.3	16
		ΠΡΕΒΕΖΑ	ΛΟΥΡΟΣ	10.8	20.75262	39.16478	1239.0	16
		ΑΡΤΑ	ΑΝΕΖΑ	3.5	20.92422	39.08674	924.1	16
		ΙΩΑΝΝΙΝΑ	ΓΡΕΒΕΝΙΤΙΟ	1005.6	21.00541	39.80570	1351.7	16
		ΑΡΤΑ	ΚΑΤΩ ΚΑΛΕΝΤΙΝΗ	165.2	21.06005	39.25313	1326.6	16
		ΑΡΤΑ	ΑΓΝΑΝΤΑ	660.0	21.08269	39.47395	1399.4	16
6	ΑΤΤΙΚΗ	ΑΤΤΙΚΗ	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	83.6	23.93447	37.87894	419.1	16
		ΦΩΚΙΔΑ	ΚΑΛΟΣΚΟΠΗ	1052.8	22.32333	38.68932	682.6	16
		ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΔΡΥΜΑΙΑ	502.6	22.55821	38.70600	644.0	16
		ΒΟΙΩΤΙΑ	ΔΑΥΛΕΙΑ	277.4	22.73627	38.51262	773.5	16
7	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΕΛΑΤΕΙΑ	177.6	22.76344	38.62660	550.4	16
		ΒΟΙΩΤΙΑ	ΑΓ. ΤΡΙΑΔΑ	400.0	22.91608	38.34894	995.6	16
		ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΑΤΑΛΑΝΤΗ	78.1	23.00625	38.65085	556.3	16
		ΕΥΒΟΙΑ	ΠΡΟΚΟΠΙΟΝ	69.6	23.48859	38.73440	1021.2	16
		ΕΥΒΟΙΑ	ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	153.7	24.18951	38.27006	651.3	16
		ΤΡΙΚΑΛΑ	ΕΛΑΤΗ	908.9	21.53881	39.50150	1405.2	16
		ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	106.7	21.93047	39.36690	548.4	16
8	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	ΤΡΙΚΑΛΑ	ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	86.2	22.07030	39.58798	533.5	16
		ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΑΝΑΒΡΑ	196.3	22.08920	39.19370	728.5	16
		ΛΑΡΙΣΑ	ΖΑΠΠΕΙΟ	172.3	22.43974	39.46159	439.6	16
		ΛΑΡΙΣΑ	ΣΠΗΛΙΑ	809.0	22.64675	39.79703	671.0	16
		ΦΛΩΡΙΝΑ	ΚΟΥΛΑ ΠΡΕΣΠΩΝ	855.0	21.06602	40.81565	510.3	11
9	ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	636.9	21.25242	40.51055	569.6	11
		ΚΟΖΑΝΗ	ΣΙΑΤΙΣΤΑ	933.1	21.55118	40.26201	653.5	16
		ΗΜΑΘΙΑ	ΚΑΣΤΑΝΙΑ	1053.4	22.12133	40.40842	567.2	11
		ΠΙΕΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΙΝΗ	30.4	22.51264	40.27724	555.1	16
10	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΠΕΛΛΑ	ΠΑΡΑΛΙΜΝΗ ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ	4.1	22.45596	40.74280	461.1	10
		ΚΙΛΚΙΣ	ΕΥΖΩΝΟΙ	72.9	22.55803	41.10406	462.3	10

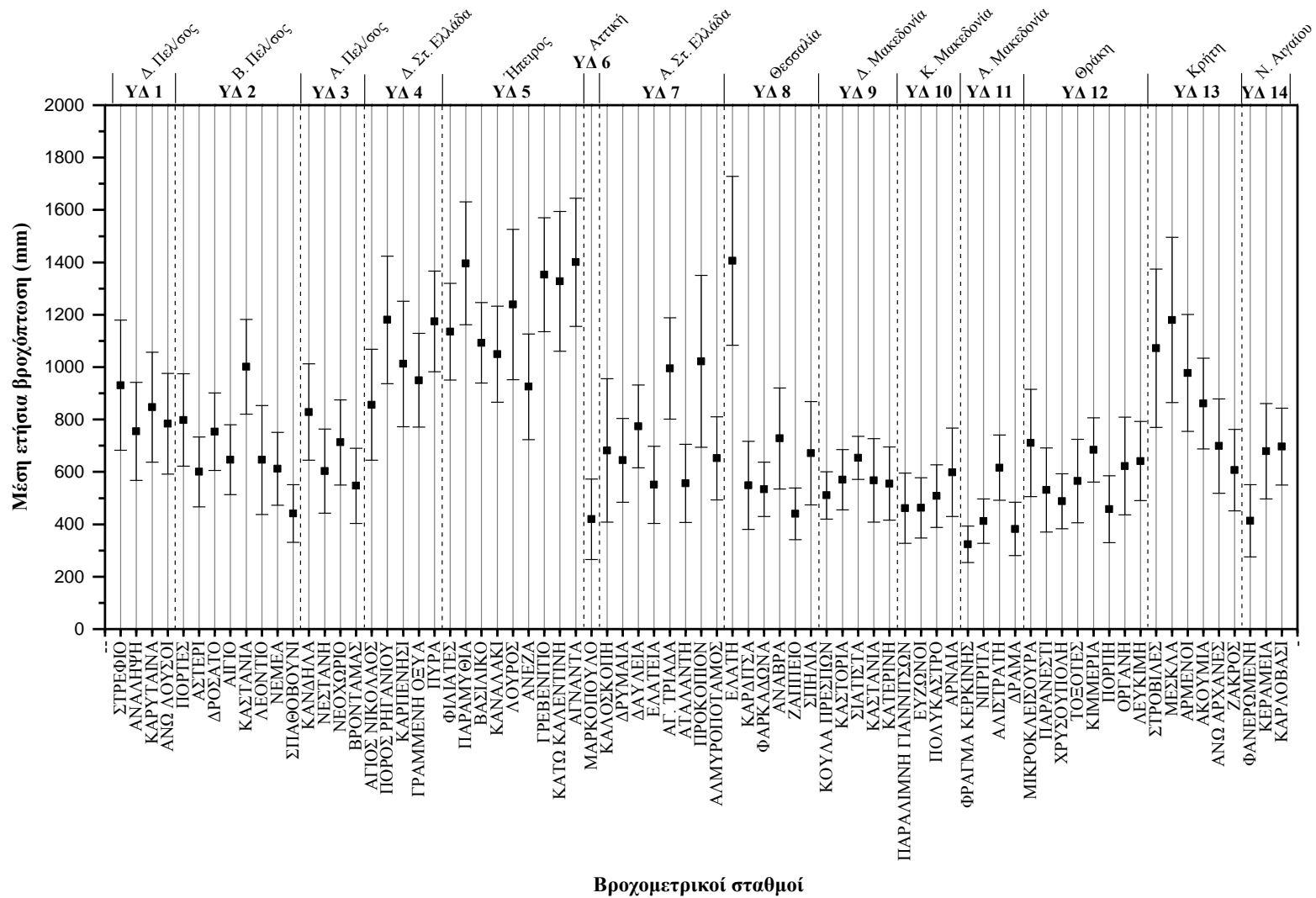
		ΚΙΛΚΙΣ	ΠΟΛΥΚΑΣΤΡΟ	55.6	22.57279	40.99829	507.6	10
		ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ	ΑΡΝΑΙΑ	595.0	23.60097	40.49109	598.1	10
11	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΣΕΡΡΕΣ	ΦΡΑΓΜΑ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	42.5	23.22170	41.13804	323.0	16
		ΣΕΡΡΕΣ	ΝΙΓΡΙΤΑ	65.7	23.49941	40.91015	412.0	16
		ΣΕΡΡΕΣ	ΑΛΙΣΤΡΑΤΗ	281.4	23.95893	41.06123	615.7	16
		ΔΡΑΜΑ	ΔΡΑΜΑ	99.8	24.14637	41.14207	382.0	16
		ΔΡΑΜΑ	ΜΙΚΡΟΚΛΕΙΣΟΥΡΑ	457.4	24.05662	41.38674	710.1	16
12	ΘΡΑΚΗ	ΔΡΑΜΑ	ΠΑΡΑΝΕΣΤΙ	122.4	24.49992	41.26727	530.8	16
		ΚΑΒΑΛΑ	ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	20.4	24.70687	40.98499	487.5	16
		ΞΑΝΘΗ	ΤΟΞΟΤΕΣ	75.4	24.78914	41.08741	564.4	16
		ΞΑΝΘΗ	ΚΙΜΜΕΡΙΑ	70.0	24.91711	41.14617	687,1	9
		ΡΟΔΟΠΗ	ΠΟΡΠΗ	32.1	25.23640	41.01712	457.2	16
		ΡΟΔΟΠΗ	ΟΡΓΑΝΗ	400.4	25.68536	41.25299	622.0	16
		ΕΒΡΟΣ	ΛΕΥΚΙΜΗ	135.5	26.19936	41.02170	640.9	16
13	ΚΡΗΤΗ	ΧΑΝΙΑ	ΣΤΡΟΒΙΛΕΣ	515.2	23.66429	35.36214	1071.2	16
		ΧΑΝΙΑ	ΜΕΣΚΛΑ	200.0	23.96612	35.39890	1178.9	16
		ΡΕΘΥΜΝΟ	ΑΡΜΕΝΟΙ	373.3	24.45970	35.30145	977.7	16
		ΡΕΘΥΜΝΟ	ΑΚΟΥΜΙΑ	511.7	24.58291	35.16440	860.5	16
		ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ	392.3	25.16082	35.23747	698.4	16
		ΛΑΣΙΘΙ	ΖΑΚΡΟΣ	224.1	26.21945	35.11235	615.4	16
14	ΝΗΣΟΙ ΑΙΓΑΙΟΥ	ΝΑΞΟΣ	ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗ	9.0	25.43030	37.11707	417.6	7
		ΛΕΣΒΟΣ	ΚΕΡΑΜΕΙΑ	14.4	26.42248	39.12350	678.6	16
		ΣΑΜΟΣ	ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ	6.0	26.71088	37.78527	696.3	7

* Σύστημα αναφοράς ETRS 89 (όπως δίνονται από <http://kyy.hydroscope.gr/stations/1/?&owner=3>)



Σχήμα 5.2: Γεωγραφική κατανομή μέσης ετήσιας βροχόπτωσης των 75 βροχομετρικών σταθμών μελέτης.

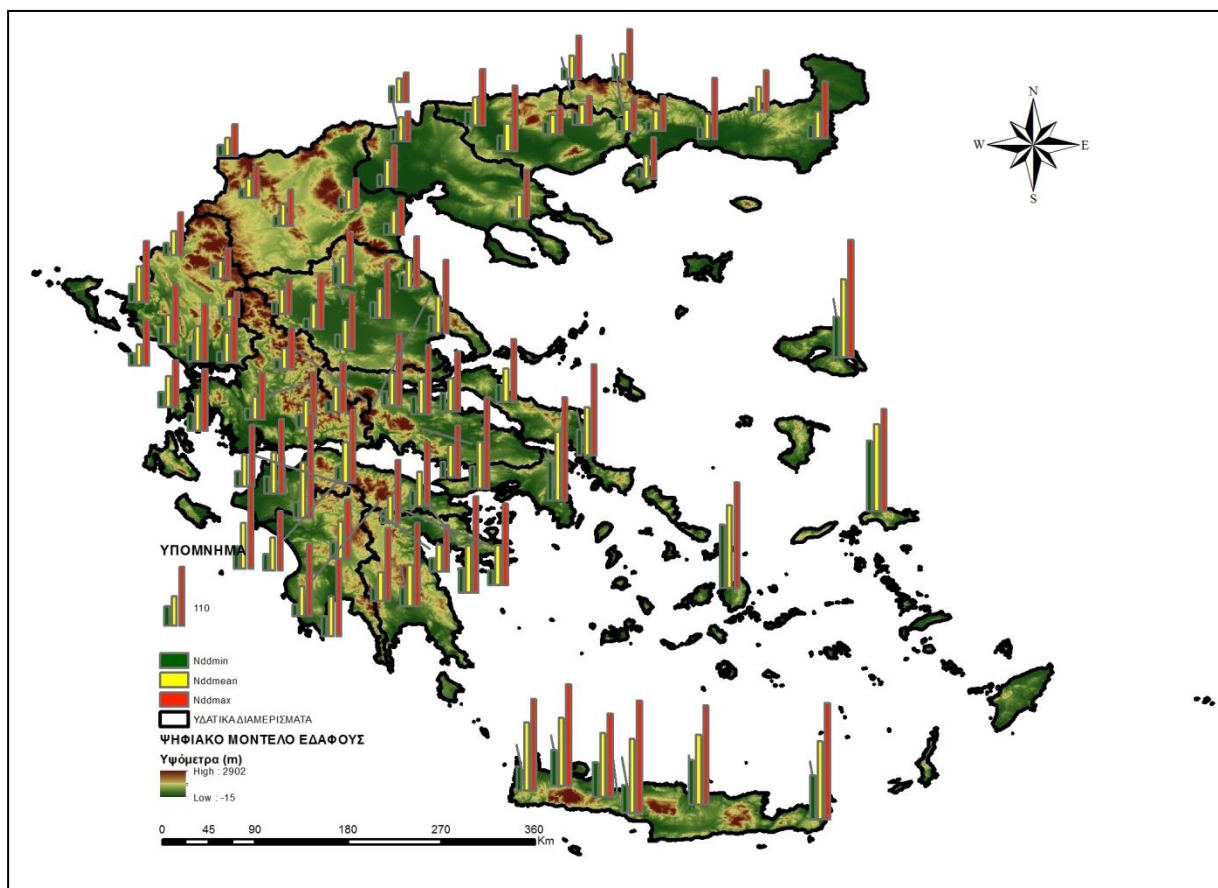
Μια εναλλακτική αποτύπωση της χωρικής μεταβλητότητας της βροχόπτωσης τόσο σε επίπεδο χώρας όσο και σε επίπεδο ΥΔ δίνεται στο Σχήμα 5.3, όπου απεικονίζεται η μέση τιμή της ετήσιας βροχόπτωσης και η αντίστοιχη τυπική απόκλιση για τα βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών μελέτης, σε μια διάταξη σταθμών από δυτικά προς ανατολικά ανά ΥΔ.



Σχήμα 5.3: Μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης και αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις για τις χρονοσειρές βροχομετρικών δεδομένων των 75 σταθμών μελέτης. (Διάταξη σταθμών από δυτικά προς ανατολικά ανά ΥΔ).

Οι Palla et al. (2012), αναλύοντας τη λειτουργία των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων κάτω από διάφορες ευρωπαϊκές κλιματικές ζώνες, έδειξαν ότι η προγενέστερη άνομβρη περίοδος είναι η κύρια παράμετρος που επιδρά σημαντικά στη λειτουργία του συστήματος συλλογής ομβρίων έναντι των άλλων παραμέτρων που χαρακτηρίζουν ένα επεισόδιο βροχής, όπως είναι το ύψος, η ένταση και η διάρκεια βροχόπτωσης.

Δεδομένου ότι σε πολλές χώρες, η μέγιστη άνομβρη περίοδος αποτελεί βασική παράμετρο στη διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών, στην παρούσα μελέτη προσδιορίστηκαν η μέγιστη ($N_{dd,max}$), η ελάχιστη ($N_{dd,min}$) και η μέση τιμή ($\overline{N_{dd}}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων (N_{dd}), καθώς και η αντίστοιχη τυπική απόκλιση (σ) για τις χρονοσειρές βροχομετρικών δεδομένων για κάθε σταθμό μελέτης, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.4 και στον Πίνακα 5.2.



Σχήμα 5.4: Γεωγραφική κατανομή της μέγιστης ($N_{dd,max}$), ελάχιστης ($N_{dd,min}$) και μέσης τιμής ($\overline{N_{dd}}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων (N_{dd}) των 75 βροχομετρικών σταθμών μελέτης.

Πίνακας 5.2: Μέγιστη ($N_{dd,max}$), ελάχιστη ($N_{dd,min}$) και μέση τιμή ($\overline{N_{dd}}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων (N_{dd}), και αντίστοιχη τυπική απόκλιση (σ) για τις χρονοσειρές βροχομετρικών δεδομένων για κάθε σταθμό μελέτης.

Υδατικό Διαμέρισμα	Νομός	Σταθμός	$N_{dd,max}$	$N_{dd,min}$	$\overline{N_{dd}}$	σ
			(ημέρες)			
1	ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	ΗΛΕΙΑ	154	41	84.7	38.1
		ΜΕΣΣΗΝΙΑ	143	37	74.2	34.5
		ΑΡΚΑΔΙΑ	108	30	67.7	23.5
		ΑΧΑΙΑ	114	28	58.6	30.2
2	ΒΟΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	ΑΧΑΙΑ	138	31	76.2	34.0
		ΑΧΑΙΑ	193	29	103.3	48.3
		ΑΧΑΙΑ	110	30	60.9	24.4
		ΑΧΑΙΑ	135	30	74.9	31.3
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	134	22	55.8	30.8
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	150	27	73.8	39.1
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	119	30	64.1	29.1
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	178	45	86.2	34.9
3	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	ΑΡΚΑΔΙΑ	86	25	50.3	17.5
		ΑΡΚΑΔΙΑ	134	24	53.3	29.1
		ΑΡΓΟΛΙΔΑ	117	22	50.2	25.5
		ΛΑΚΩΝΙΑ	154	34	75.8	33.9
4	ΔΥΤΙΚΗ ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	113	31	68.1	20.0
		ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	104	25	52.4	21.0
		ΕΥΡΥΤΑΝΙΑ	87	20	42.2	19.1
		ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	92	20	46.5	22.4
		ΦΩΚΙΔΑ	77	18	40.2	18.4
5	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΘΕΣΣΠΡΩΤΙΑ	113	34	66.9	21.3
		ΘΕΣΣΠΡΩΤΙΑ	84	23	39.1	15.2
		ΙΩΑΝΝΙΝΑ	79	23	43.7	18.2

		ΠΡΕΒΕΖΑ	ΚΑΝΑΛΑΚΙ	110	32	54.3	23.2
		ΠΡΕΒΕΖΑ	ΛΟΥΡΟΣ	87	28	58.3	18.7
		ΑΡΤΑ	ΑΝΕΖΑ	106	32	64.5	21.0
		ΙΩΑΝΝΙΝΑ	ΓΡΕΒΕΝΙΤΙΟ	56	24	34.3	9.9
		ΑΡΤΑ	ΚΑΤΩ ΚΑΛΕΝΤΙΝΗ	87	21	54.6	23.5
		ΑΡΤΑ	ΑΓΝΑΝΤΑ	46	22	33.6	8.3
6	ΑΤΤΙΚΗ	ΑΤΤΙΚΗ	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	191	73	126.7	35.5
		ΦΩΚΙΔΑ	ΚΑΛΟΣΚΟΠΗ	136	31	68.4	26.2
		ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΔΡΥΜΑΙΑ	132	26	59.9	30.7
		ΒΟΙΩΤΙΑ	ΔΑΥΛΕΙΑ	169	41	86.5	39.3
7	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΕΛΑΤΕΙΑ	128	33	65.3	29.0
		ΒΟΙΩΤΙΑ	ΑΓ. ΤΡΙΑΔΑ	97	29	61.4	19.2
		ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΑΤΑΛΑΝΤΗ	111	34	61.3	22.4
		ΕΥΒΟΙΑ	ΠΡΟΚΟΠΙΟΝ	116	32	62.0	20.4
		ΕΥΒΟΙΑ	ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	168	48	89.1	28.2
		ΤΡΙΚΑΛΑ	ΕΛΑΤΗ	64	21	45.4	15.3
		ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	99	20	48.0	19.0
8	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	ΤΡΙΚΑΛΑ	ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	98	35	51.8	18.2
		ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΑΝΑΒΡΑ	104	27	54.2	21.4
		ΛΑΡΙΣΑ	ΖΑΠΠΕΙΟ	102	30	54.8	22.3
		ΛΑΡΙΣΑ	ΣΠΗΛΙΑ	96	25	52.9	24.4
		ΦΛΩΡΙΝΑ	ΚΟΥΛΑ ΠΡΕΣΠΩΝ	59	21	34.0	11.1
		ΚΑΣΤΟΡΙΑ	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	58	16	34.9	13.2
9	ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΚΟΖΑΝΗ	ΣΙΑΤΙΣΤΑ	68	19	40.0	14.4
		ΗΜΑΘΙΑ	ΚΑΣΤΑΝΙΑ	57	22	36.5	11.5
		ΠΙΕΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΙΝΗ	67	20	43.5	13.5
		ΠΕΛΛΑ	ΠΑΡΑΛΙΜΝΗ ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ	75	21	48.3	16.5
10	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΚΙΛΚΙΣ	ΕΥΖΩΝΟΙ	54	29	43.1	9.0
		ΚΙΛΚΙΣ	ΠΟΛΥΚΑΣΤΡΟ	55	22	44.4	10.7
		ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ	ΑΡΝΑΙΑ	90	21	43.5	19.3

11	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΣΕΡΡΕΣ	ΦΡΑΓΜΑ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	104	26	51.7	21.2
		ΣΕΡΡΕΣ	ΝΙΓΡΙΤΑ	122	30	50.5	23.8
		ΣΕΡΡΕΣ	ΑΛΙΣΤΡΑΤΗ	52	22	34.5	8.2
		ΔΡΑΜΑ	ΔΡΑΜΑ	53	23	37.5	9.2
12	ΘΡΑΚΗ	ΔΡΑΜΑ	ΜΙΚΡΟΚΛΕΙΣΟΥΡΑ	80	19	42.6	19.8
		ΔΡΑΜΑ	ΠΑΡΑΝΕΣΤΙ	93	24	47.5	20.3
		ΚΑΒΑΛΑ	ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	77	21	42.3	13.9
		ΞΑΝΘΗ	ΚΙΜΜΕΡΙΑ	62	23	39.5	15.3
		ΞΑΝΘΗ	ΤΟΞΟΤΕΣ	64	18	37.1	12.4
		ΡΟΔΟΠΗ	ΠΟΡΠΗ	113	22	47.1	22.4
		ΡΟΔΟΠΗ	ΟΡΓΑΝΗ	77	26	46.6	16.3
13	ΚΡΗΤΗ	ΕΒΡΟΣ	ΛΕΥΚΙΜΗ	106	25	49.7	20.7
		ΧΑΝΙΑ	ΣΤΡΟΒΙΛΕΣ	169	44	124.5	38.4
		ΧΑΝΙΑ	ΜΕΣΚΛΑ	188	67	125.9	39.7
		ΡΕΘΥΜΝΟ	ΑΡΜΕΝΟΙ	155	65	118.7	29.1
		ΡΕΘΥΜΝΟ	ΑΚΟΥΜΙΑ	208	51	136.8	37.6
		ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ	183	83	129.1	34.4
		ΛΑΣΙΘΙ	ΖΑΚΡΟΣ	214	81	144.1	42.1
14	ΝΗΣΟΙ ΑΙΓΑΙΟΥ	ΝΑΞΟΣ	ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗ	196	118	152.9	32.2
		ΣΑΜΟΣ	ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ	189	130	160.7	22.7
		ΛΕΣΒΟΣ	ΚΕΡΑΜΕΙΑ	217	74	144.1	41.6

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2 και απεικονίζονται στο Σχήμα 5.4, έδειξε ότι οι μικρότερες τιμές μέγιστης άνομβρης περιόδου παρατηρούνται στα κεντρικά και τα βόρεια ηπειρωτικά της χώρας, καθώς και στα ορεινά της Πελοποννήσου, όπου σε αυτές τις περιοχές οι άνομβρες περίοδοι διακόπτονται συχνά από θερινές καταγίδες. Αντίθετα, οι μεγαλύτερες τιμές μέγιστης άνομβρης περιόδου παρατηρούνται στη νότια και κυρίως στη νησιωτική Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων κυμαίνεται από 46 (“Άγναντα” Άρτας) έως 217 ημέρες (“Κεράμεια” Λέσβου), η ελάχιστη τιμή από 16 (“Καστοριά”) έως 130 ημέρες (“Καρλόβασι” Σάμου) και η μέση τιμή από 33.6 (“Άγναντα” Άρτας) έως 160.7 ημέρες (“Καρλόβασι” Σάμου). Τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ανάλυσης των μέγιστων, ελάχιστων και μέσων τιμών των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων στο σύνολο των σταθμών μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

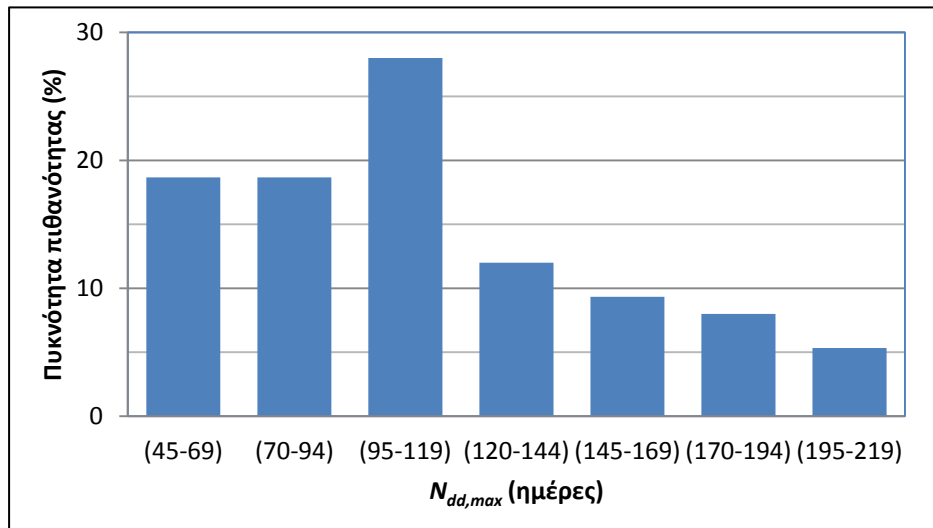
Πίνακας 5.3: Στατιστικά χαρακτηριστικά της κατανομής των μέγιστων ($N_{dd,max}$), ελάχιστων ($N_{dd,min}$) και μέσων τιμών ($\overline{N_{dd}}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων (N_{dd}) στο σύνολο των σταθμών μελέτης. Ελάχιστη (min), μέγιστη (max) και μέση τιμή (μ), τυπική απόκλιση (σ), συντελεστής κύρτωσης ($kurt$) και συντελεστής ασυμμετρίας ($skew$).

	$N_{dd,max}$	$N_{dd,min}$	$\overline{N_{dd}}$
<i>min</i>	46	16	33.6
<i>max</i>	217	130	160.7
μ	114	34	65.7
σ	44.5	21.0	31.7
<i>kurt</i>	-0.45	8.62	1.47
<i>skew</i>	0.61	2.79	1.53

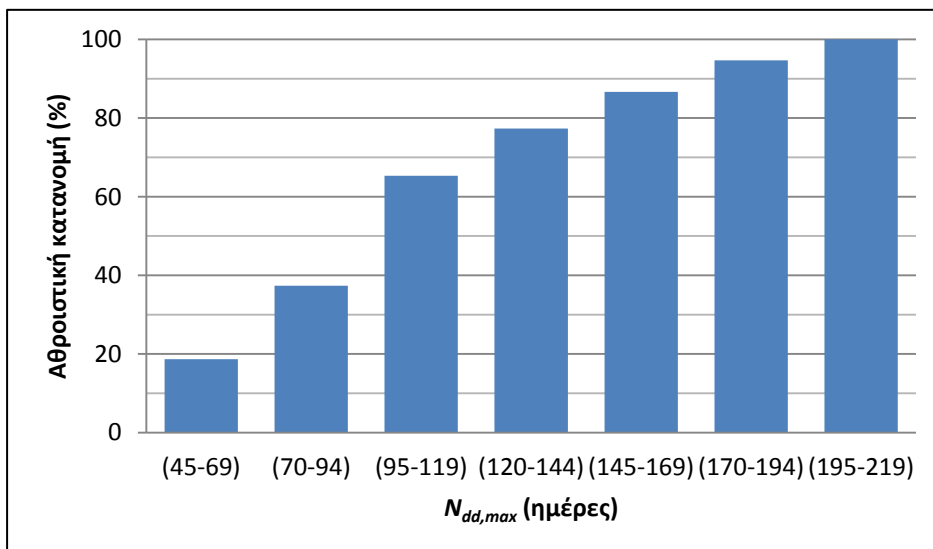
Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζονται οι κατανομές πυκνότητας πιθανότητας και οι αθροιστικές κατανομές των μεγίστων (Σχήμα 5.5, Σχήμα 5.6), ελαχίστων (Σχήμα 5.7, Σχήμα 5.8) και μέσων (Σχήμα 5.9, Σχήμα 5.10) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων των 75 σταθμών μελέτης.

Ο αριθμός των 7 κλάσεων των ιστογραμμάτων (Σχήματα 5.5 – 5.10) υπολογίστηκε από τον τύπο $m=1+3.3 \cdot \log n$, όπου m ο αριθμός των κλάσεων και n ο αριθμός των βροχομετρικών σταθμών μελέτης ($n=75$) και όπως φαίνεται εμπίπτει στο εύρος του 5-20

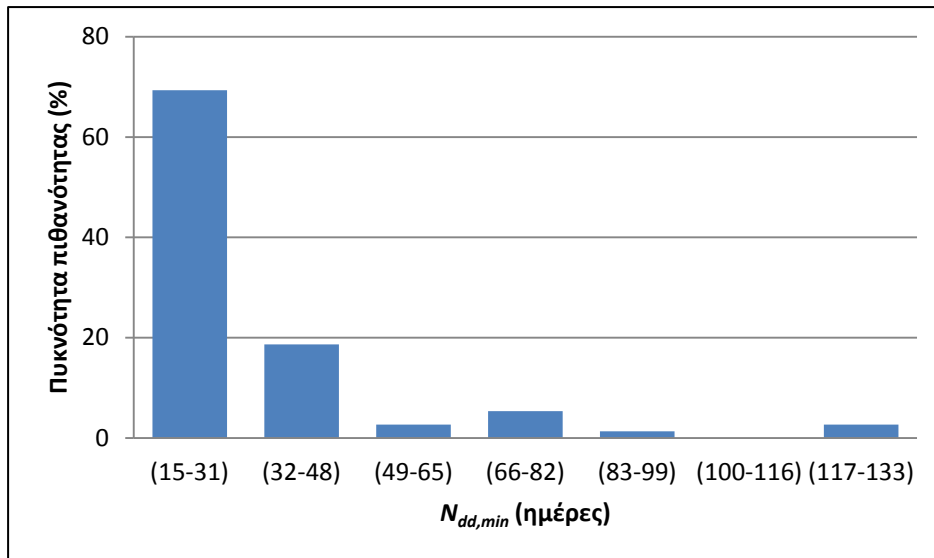
κλάσεων (γενικός κανόνας χρήσης) και δεν υπερβαίνει το $\frac{1}{4}$ έως το $\frac{1}{2}$ των τιμών της τυπικής απόκλισης σ του Πίνακα 5.3 (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012). Το εύρος των κλάσεων υπολογίστηκε από τον τύπο $(\max - \min)/m$, όπου \max και \min οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές, αντίστοιχα, της εκάστοτε παραμέτρου μελέτης που δίνονται στον Πίνακα 5.3.



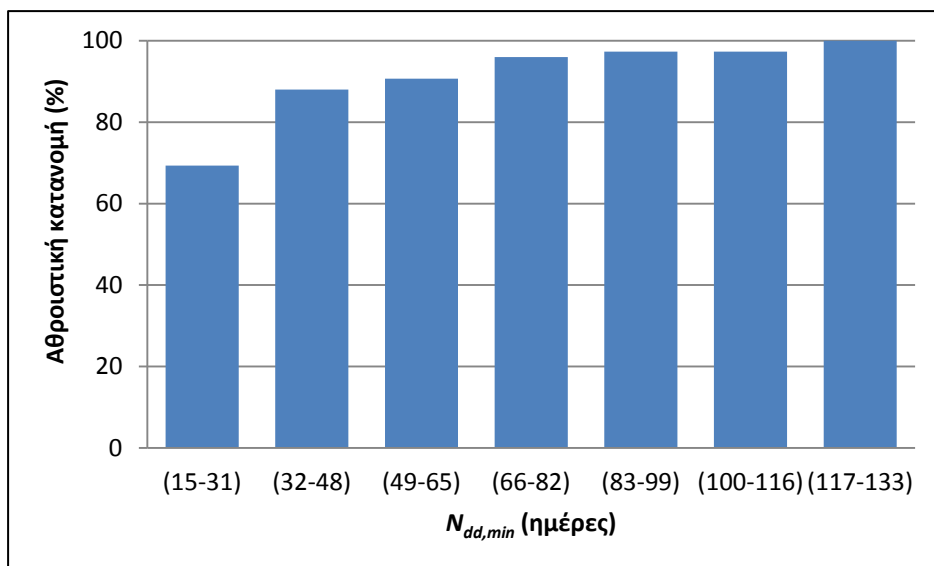
Σχήμα 5.5: Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας των μέγιστων τιμών ($N_{dd,max}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων (N_{dd}) των 75 βροχομετρικών σταθμών μελέτης.



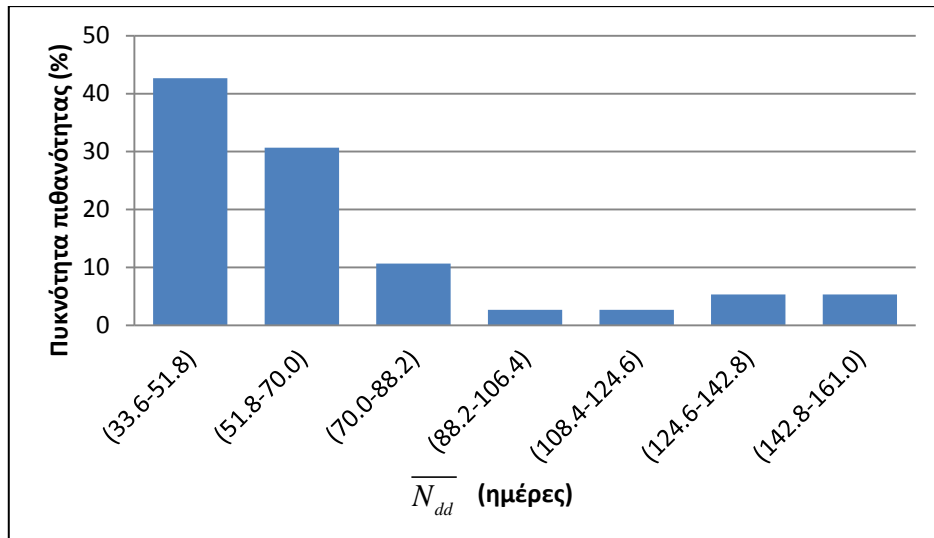
Σχήμα 5.6: Αθροιστική κατανομή των μέγιστων τιμών ($N_{dd,max}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων (N_{dd}) των 75 βροχομετρικών σταθμών μελέτης.



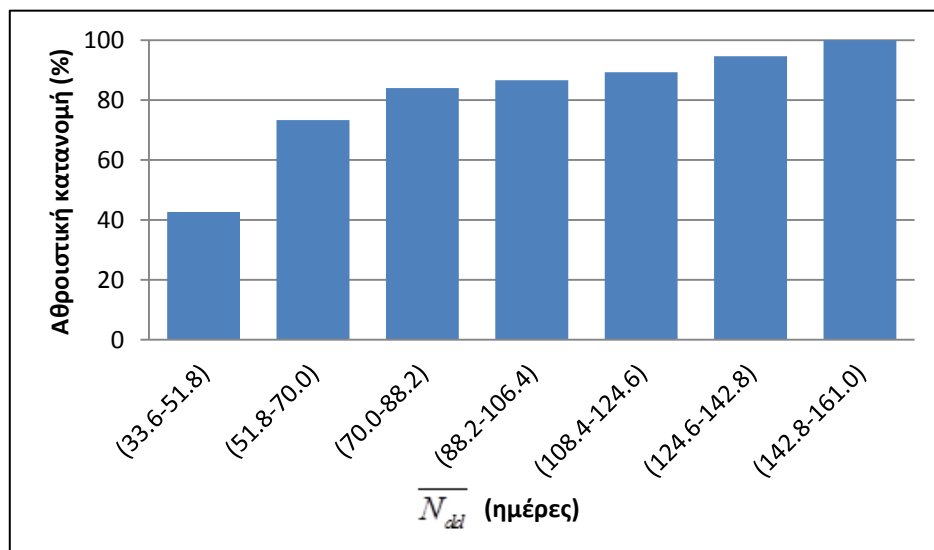
Σχήμα 5.7: Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας των ελάχιστων τιμών ($N_{dd,min}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων (N_{ad}) των 75 βροχομετρικών σταθμών μελέτης.



Σχήμα 5.8: Αθροιστική κατανομή των ελάχιστων τιμών ($N_{dd,min}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων (N_{ad}) των 75 βροχομετρικών σταθμών μελέτης.



Σχήμα 5.9: Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας των μέσων τιμών ($\overline{N_{dd}}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων (N_{dd}) των 75 βροχομετρικών σταθμών μελέτης.



Σχήμα 5.10: Αθροιστική κατανομή των μέσων τιμών ($\overline{N_{dd}}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων (N_{dd}) των 75 βροχομετρικών σταθμών μελέτης.

5.2 Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών

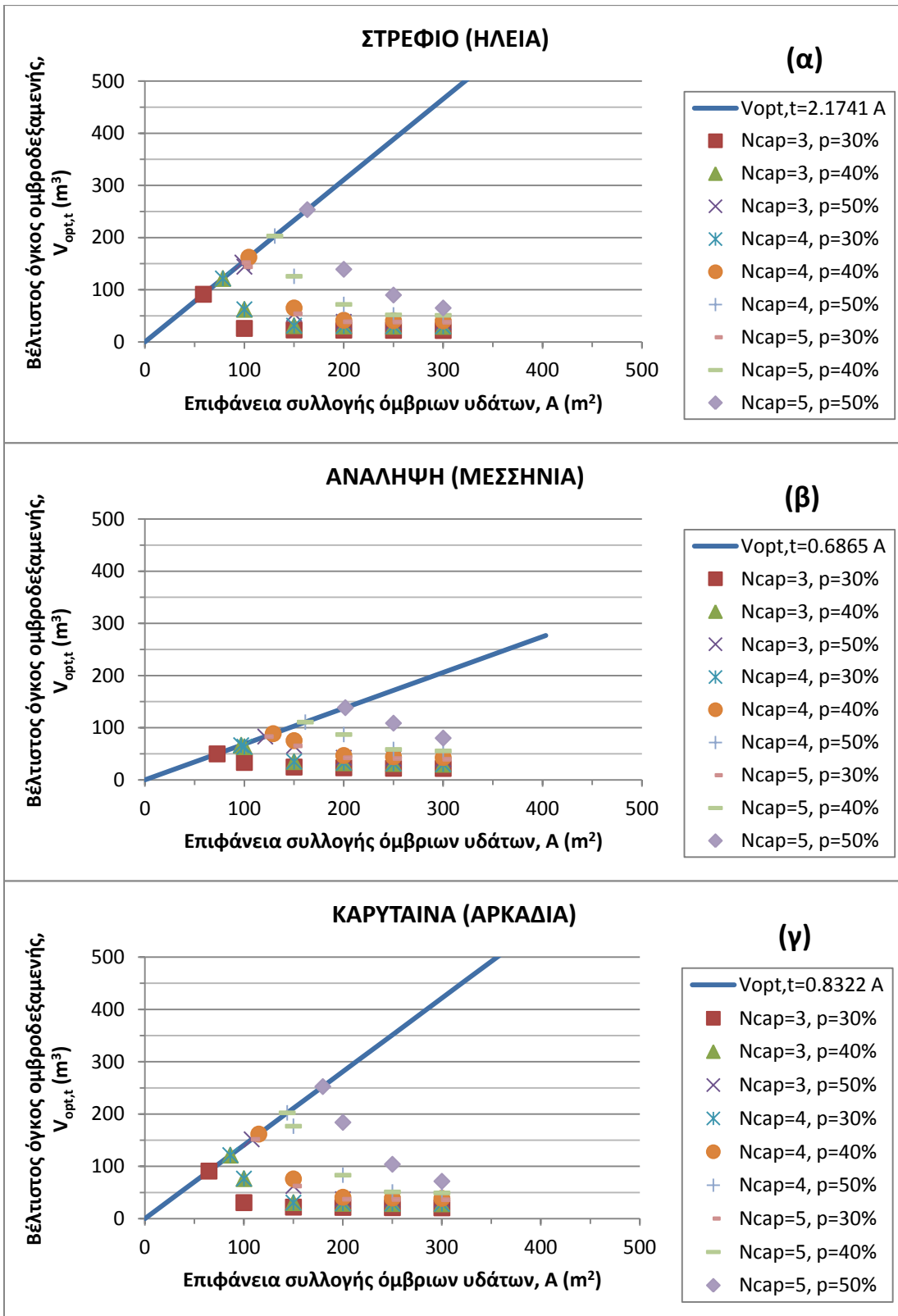
5.2.1 Μέθοδος ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

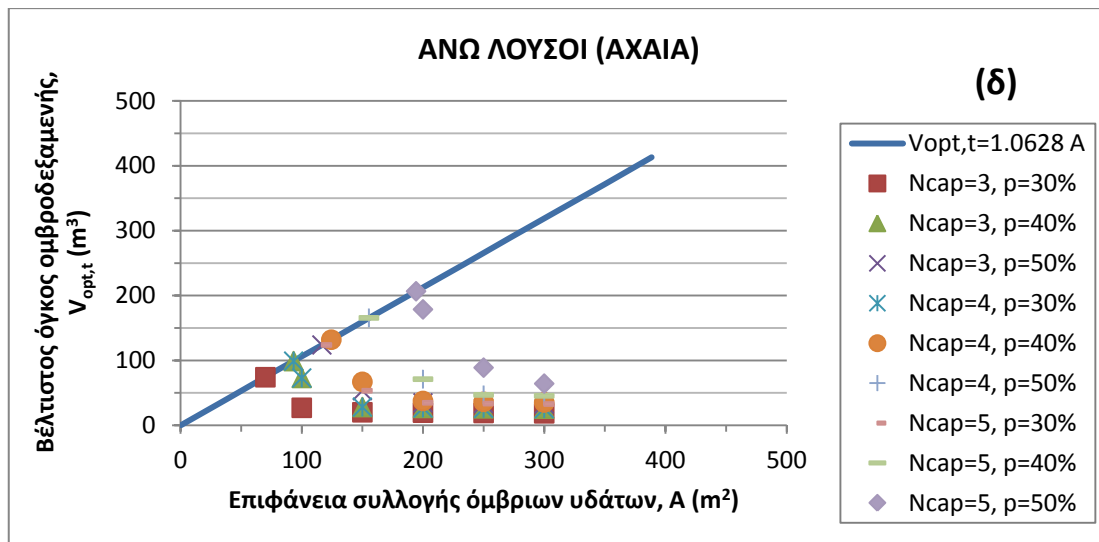
Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων διαστασιολόγησης δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου έγινε καταρχήν με κριτήριο μια εύλογη τιμή μεγέθους ομβροδεξαμενής. Ως τέτοια προκρίθηκε η τιμή των 50 m³, διότι είναι πολυεδομικά και κτιριοδομικά εφικτή, όπως προκύπτει για παράδειγμα από τις απαιτήσεις των όρων δόμησης του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου (Γ.Π.Σ.) Πάρου (ΦΕΚ 148/Α.Α.Π/2-5-12).

Περαιτέρω, διερευνήθηκε: α) το μέγεθος των αναγκών που ικανοποιούνται με τα 50 m³ ομβροδεξαμενής και β) το μέγεθος της επιφάνειας που απαιτείται για την επίτευξη των αναγκών αυτών για μηδενική χρήση νερού από δημόσια υπηρεσία παροχής ύδρευσης. Οι επιφάνειες που εξετάστηκαν είχαν ως αφετηρία τις ελάχιστες απαιτούμενες επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων, όπως υπολογίστηκαν για την κάλυψη καθορισμένων αναγκών (p) συγκεκριμένου αριθμού εξυπηρετούμενων κατοίκων (N_{cap}) και αποδίδονται γραφικά με την εξίσωση $V_{tank} = a \cdot A$, και έφτασαν τα 300 m² που αποτελεί ένα εύλογο, εφικτό κτιριοδομικά, μέγεθος στεγασμένων επιφανειών. Επιπλέον, η διερεύνηση αφορούσε σε οικία μιας οικογένειας με αριθμό κατοίκων $N_{cap}=3$ έως 5, 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. Τα ποσοστά αυτά αντιστοιχούν στις ανάγκες μιας οικογένειας για κατανάλωση νερού στην τουαλέτα (~30%), στο μπάνιο-ντους (20%-30%) ή/και στα πλυντήρια ρούχων και πιάτων (~15%).

Τέλος, κρίθηκε σκόπιμη η ομαδοποίηση των βροχομετρικών σταθμών μελέτης ανά υδατικό διαμέρισμα, ώστε η αξιολόγηση να έχει γενικευμένο χαρακτήρα.

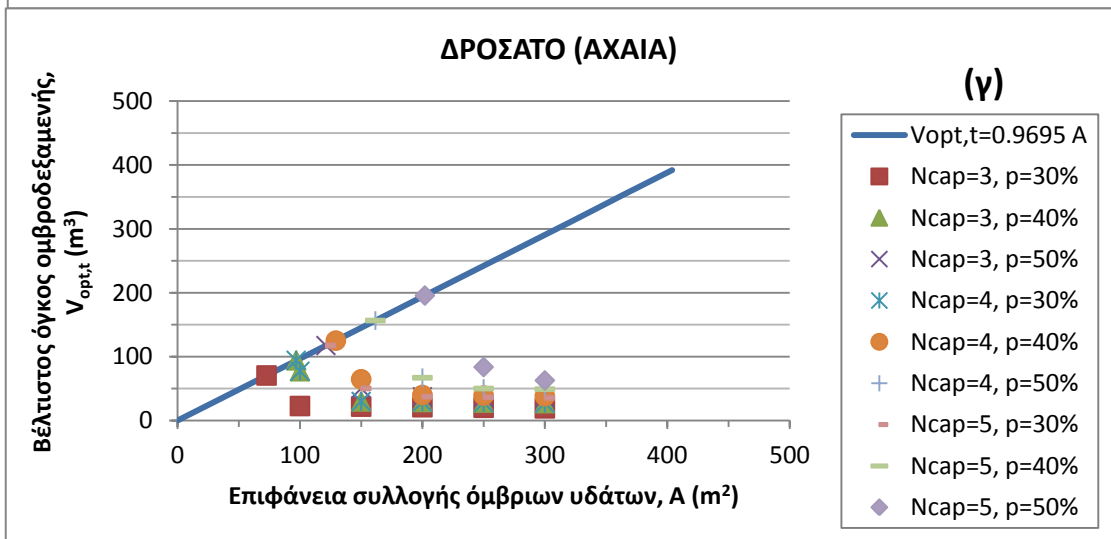
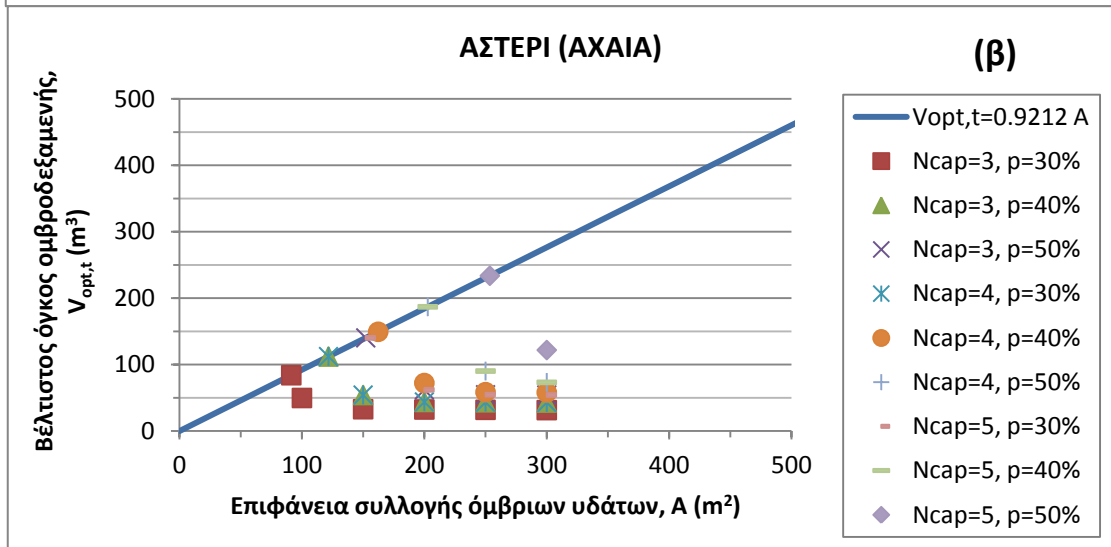
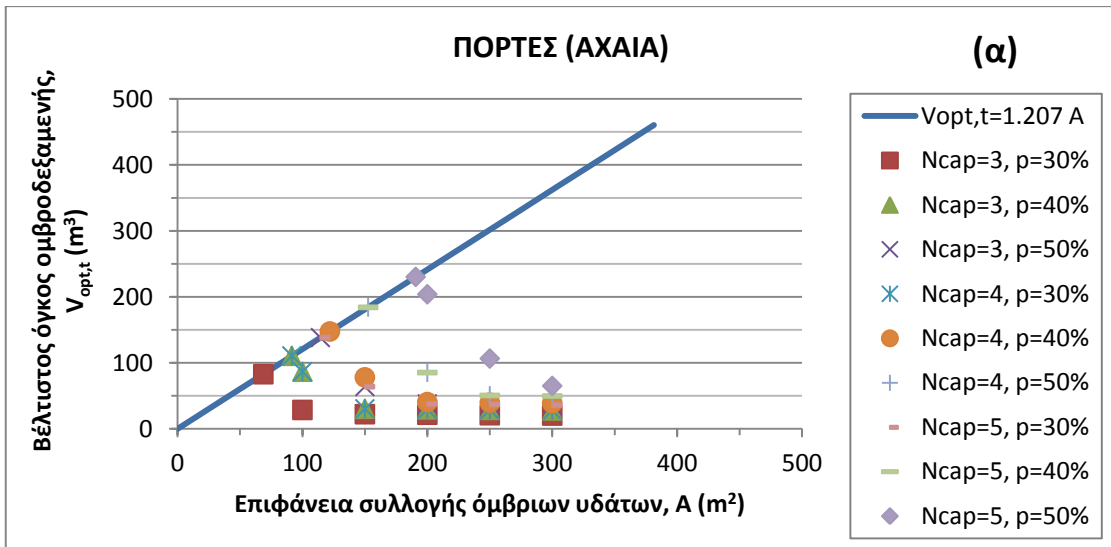
Στο Σχήμα 5.11α-δ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων 4 σταθμών που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου (ΥΔ 1). Σε όλες τις περιπτώσεις, όγκοι ομβροδεξαμενής μικρότεροι των 50 m³ απαιτούν επιφάνεια συλλογής ομβρίων έως 200 m² για την κάλυψη των αναγκών έως και του 30% των 5 κατοίκων και επιφάνεια έως 300 m² για την κάλυψη των αναγκών του 50% των 4 κατοίκων ή του 40% των 5 κατοίκων. Η κάλυψη των αναγκών του 50% των 5 κατοίκων απαιτεί επιφάνεια συλλογής μεγαλύτερη των 300 m² για την επίτευξη όγκου ομβροδεξαμενής έως 50 m³.

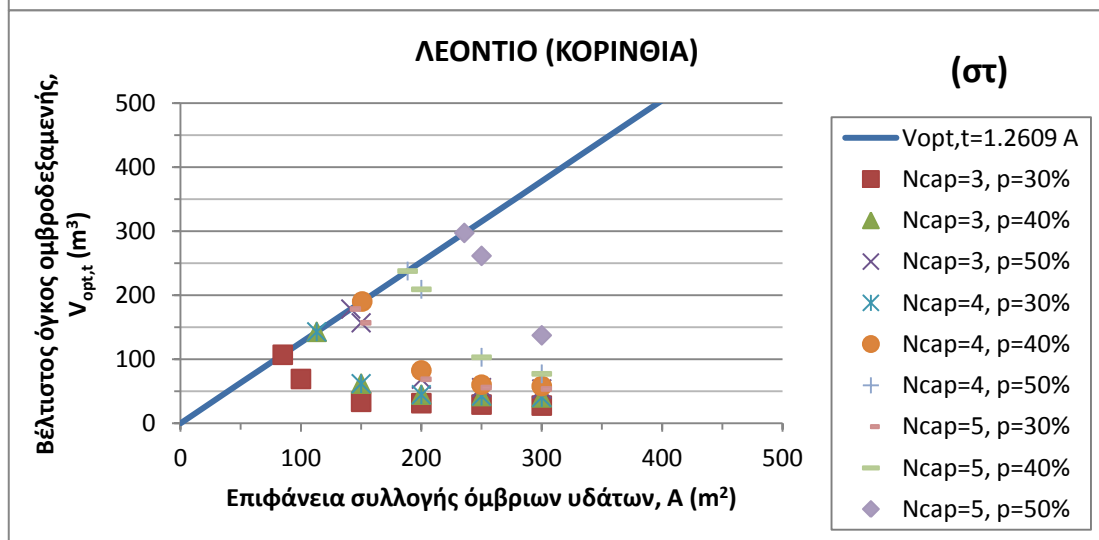
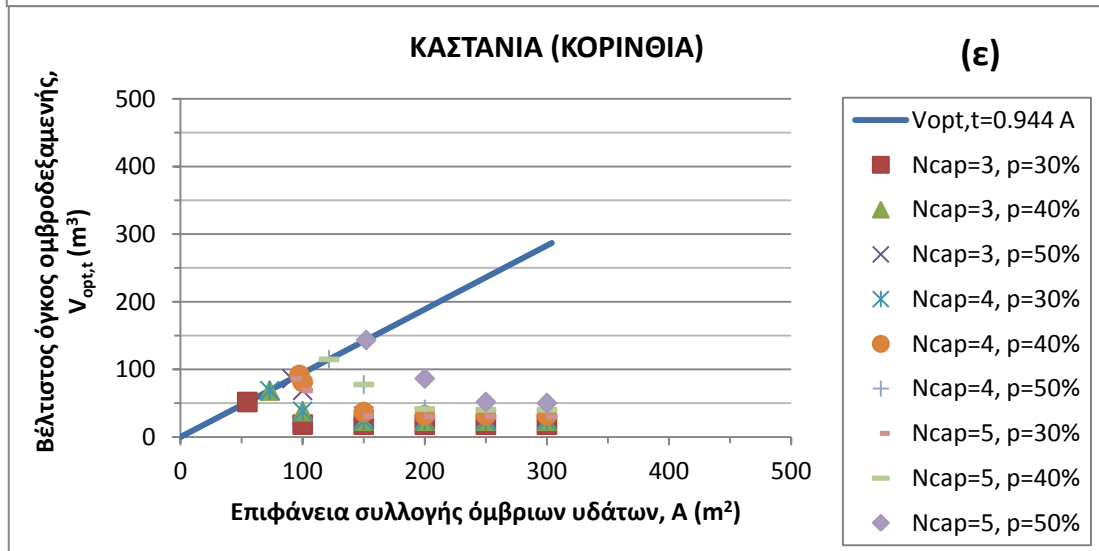
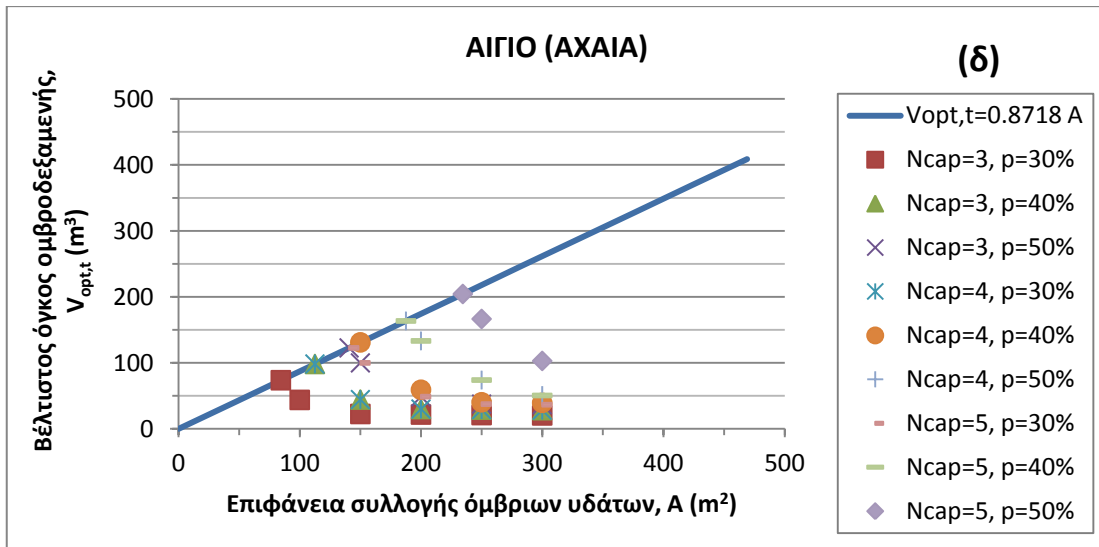


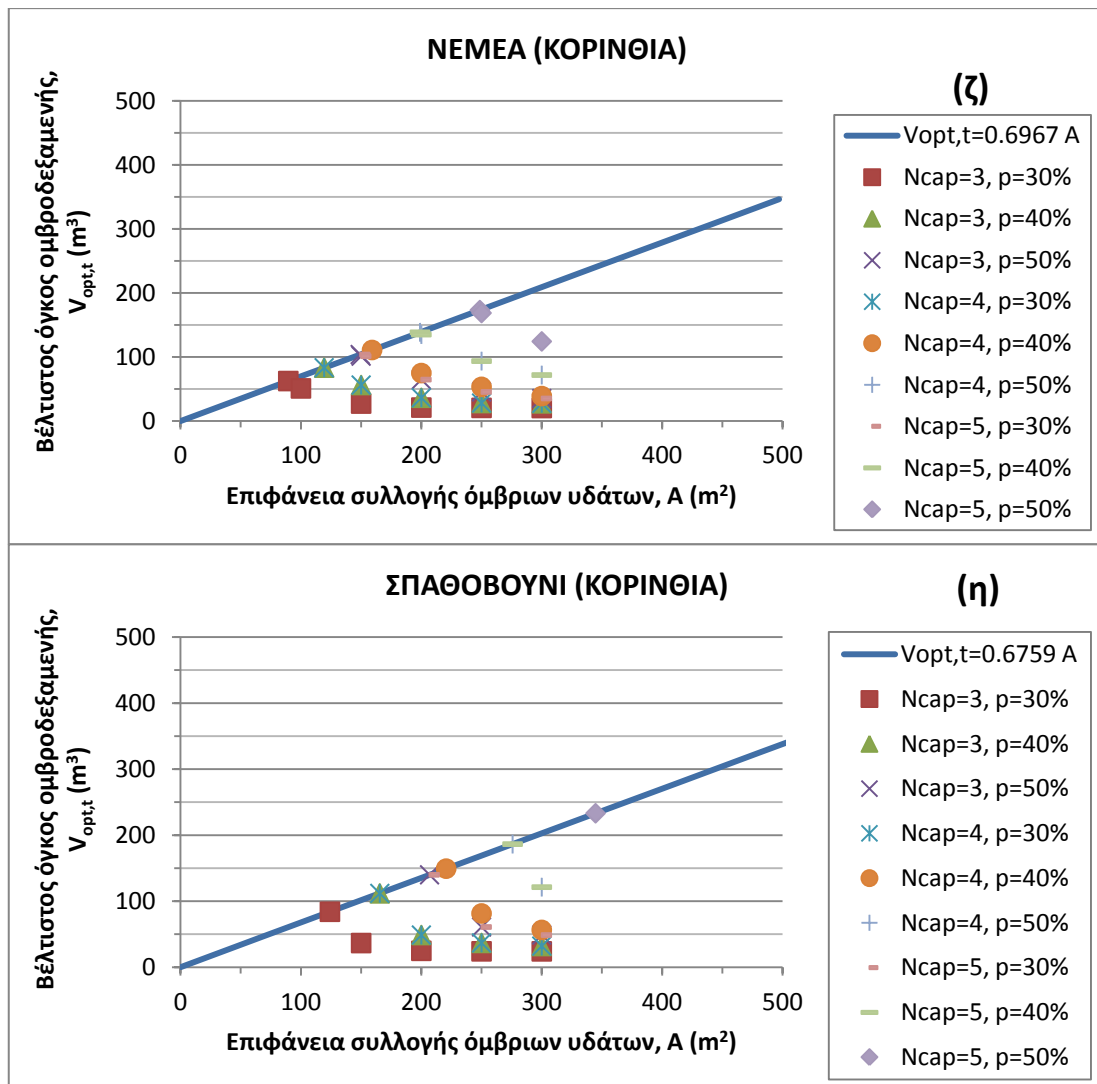


Σχήμα 5.11α-δ: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Μεσσηνίας, Αρκαδίας, Αχαΐας και Ηλείας που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου, ΥΔ 1).

Στην περίπτωση του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου (ΥΔ 2) μελετήθηκαν 4 σταθμοί του Ν. Αχαΐας και 4 σταθμοί του Ν. Κορινθίας (Σχήμα 5.12α-η), που διέφεραν μεταξύ τους τόσο στο μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης όσο και στη μέγιστη άνομβρη περίοδο, στοιχεία που έχουν ήδη παρουσιαστεί στους Πίνακες 5.1 και 5.2, αντίστοιχα. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των σταθμών έδειξε ότι όλοι οι σταθμοί μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες έως και του 50% των 3 κατοίκων και του 30% των 4 και 5 κατοίκων με όγκους ομβροδεξαμενής πολύ μικρότερους των 50 m³ και επιφάνειες συλλογής μικρότερες των 200 m². Η ικανοποίηση του 40% και 50% των 4 κατοίκων και του 40% των 5 κατοίκων απαιτεί μεν μεγαλύτερους όγκους, αλλά έως 50 m³, και μεγαλύτερες επιφάνειες συλλογής ομβρίων αλλά έως 300 m². Μόνο στην περίπτωση του σταθμού “Καστανιά” (Σχήμα 5.12ε) όγκοι ομβροδεξαμενής έως 50 m³ μπορούν να ικανοποιήσουν την κάλυψη των αναγκών έως και του 50% των 5 ατόμων με επιφάνειες συλλογής ομβρίων έως 300 m². Ο σταθμός αυτός έχει μεγαλύτερο μέσο ύψος βροχόπτωσης ($\bar{P}=1000.5$ mm) και μέτρια τιμή μέγιστου αριθμού άνομβρων ημερών ($N_{dd,max}=134$ ημέρες), συγκριτικά με τους υπόλοιπους σταθμούς μελέτης του ΥΔ 2.



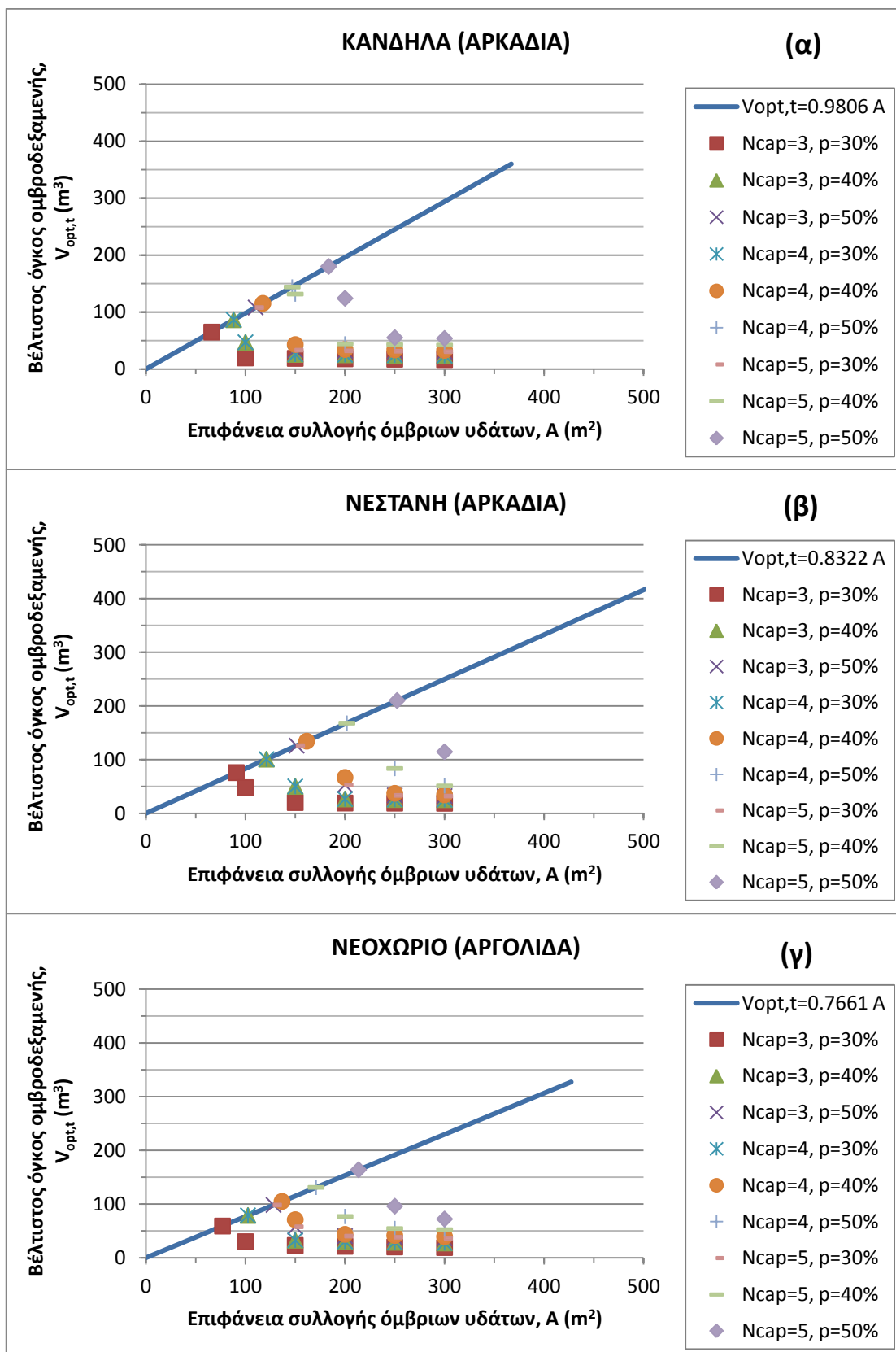


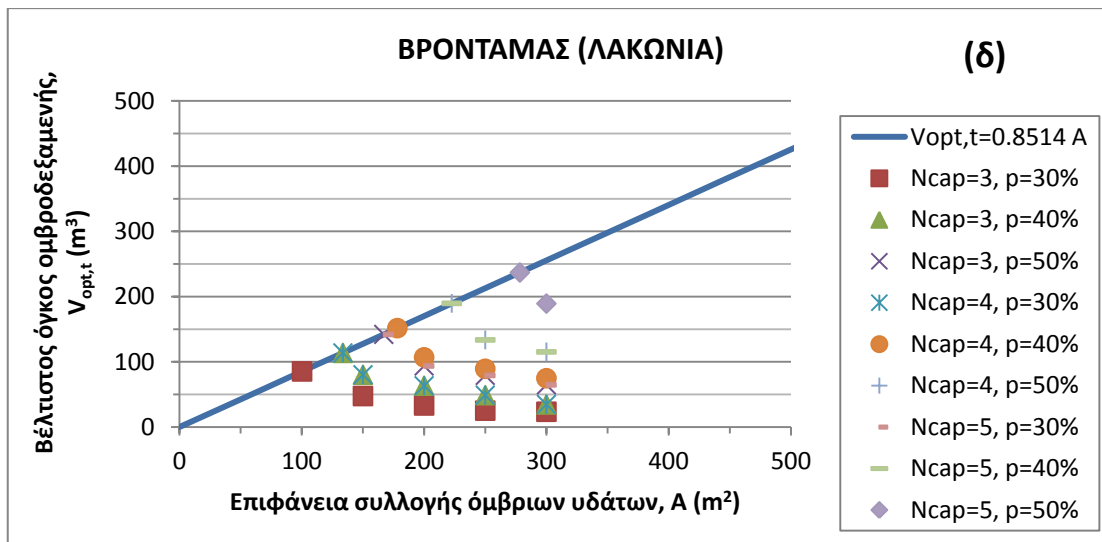


Σχήμα 5.12α-η: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Αχαΐας και Κορινθίας που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου, ΥΔ 2).

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των σταθμών, από δυτικά προς ανατολικά, του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Πελοποννήσου (ΥΔ 3) (Σχήμα 5.13α-δ) έδειξε ότι όγκοι ομβροδεξαμενής έως $50 m^3$ με επιφάνειες συλλογής ομβρίων έως $300 m^2$ απαιτούνται στην “Κανδήλα” Αρκαδίας (Σχήμα 5.13α) για την ικανοποίηση έως και του 50% των 5 κατοίκων, ενώ οι ίδιοι όγκοι και επιφάνειες ικανοποιούν τις ανάγκες 30%-50% μόνο των 3 κατοίκων στην περίπτωση του σταθμού “Βρονταμάς” Λακωνίας (Σχήμα 5.13δ). Οι ενδιάμεσοι σταθμοί (Σχήμα 5.13β,γ) είναι ικανοί να καλύψουν έως και το 40% των 5

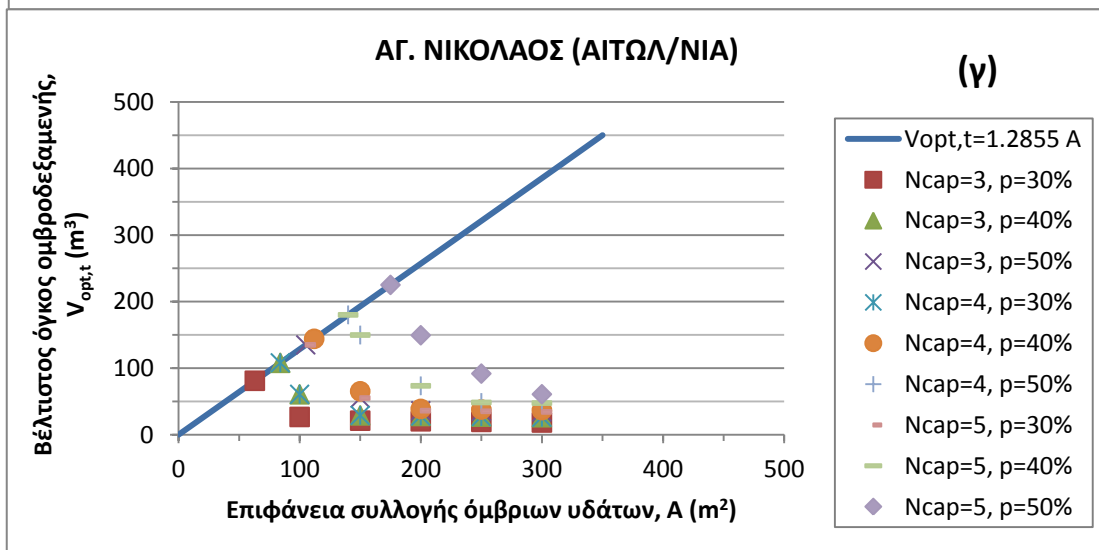
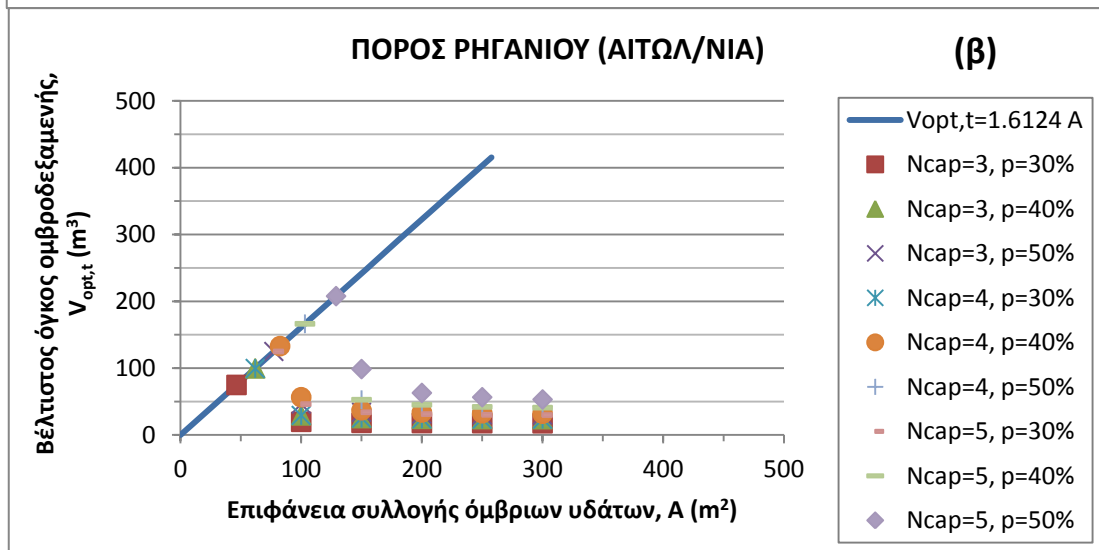
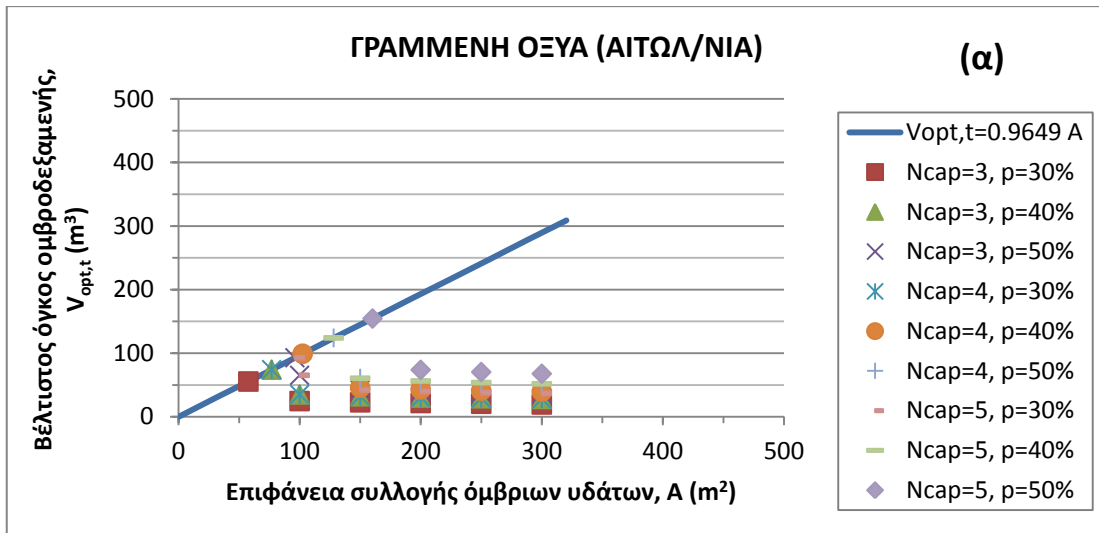
κατοίκων με όγκους ομβροδεξαμενής έως 50 m^3 και επιφάνειες συλλογής ομβρίων έως 300 m^2 .

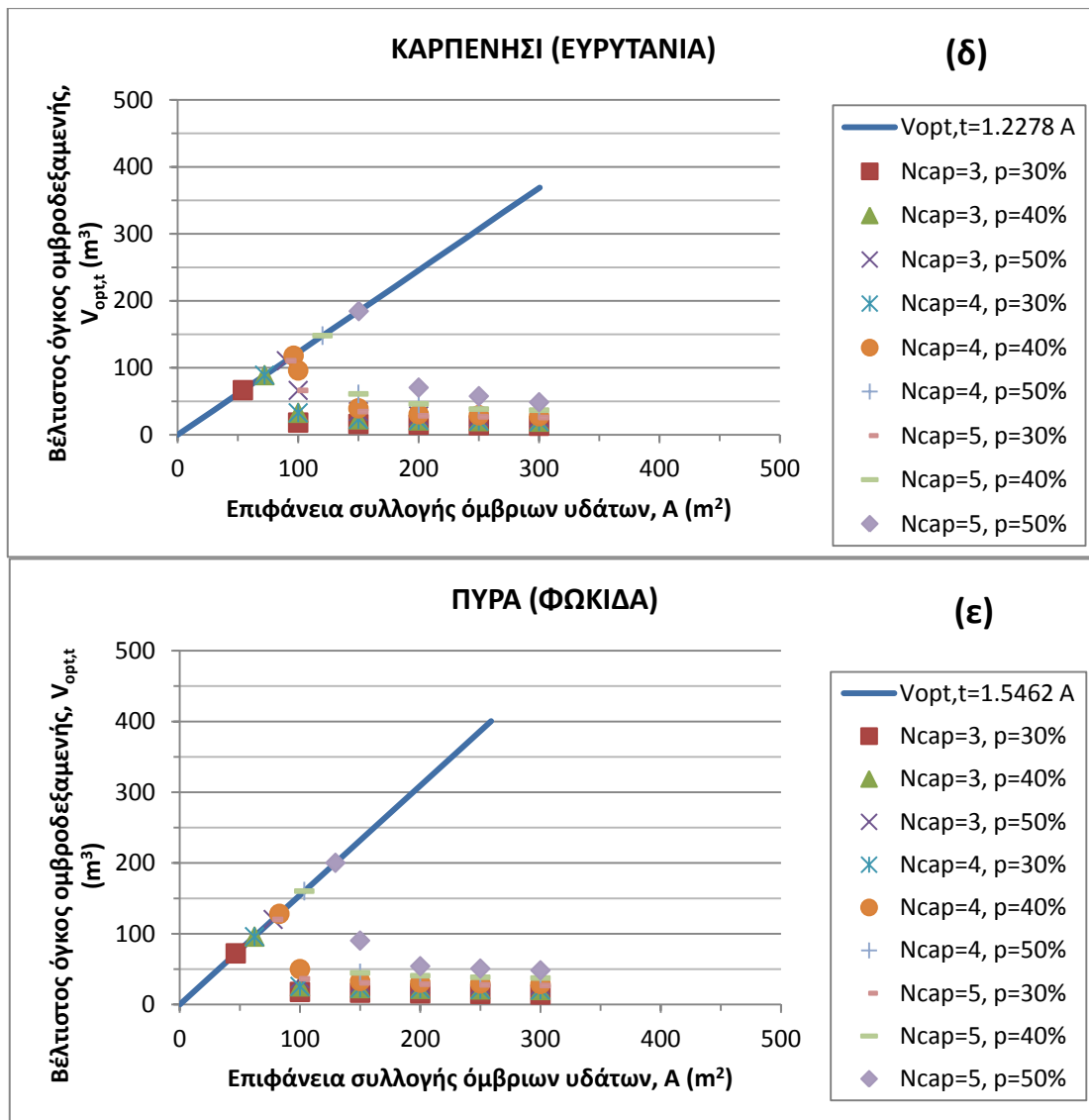




Σχήμα 5.13α-δ: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Αργολίδας, Αρκαδίας και Λακωνίας που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου, ΥΔ 3).

Στην περίπτωση του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (ΥΔ 4) παρατηρείται ότι όγκοι ομβροδεξαμενής μικρότεροι των 50 m^3 ικανοποιούν την κάλυψη των αναγκών έως και του 40% των 5 κατοίκων με επιφάνειες συλλογής ομβρίων έως 200 m^2 (Σχήμα 5.14α-ε), με εξαίρεση τον “Άγιο Νικόλαο” Αιτωλοακαρνανίας (Σχήμα 5.14γ) που απαιτεί μεγαλύτερους όγκους ομβροδεξαμενής για την ικανοποίηση των ίδιων αναγκών με την ίδια επιφάνεια συλλογής ομβρίων. Ο σταθμός αυτός έχει μικρότερο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και παραπλήσια τιμή μέγιστου αριθμού άνομβρων ημερών, συγκριτικά με τους υπόλοιπους βροχομετρικούς σταθμούς του ΥΔ που εξετάστηκαν (Πίνακες 5.1, 5.2).

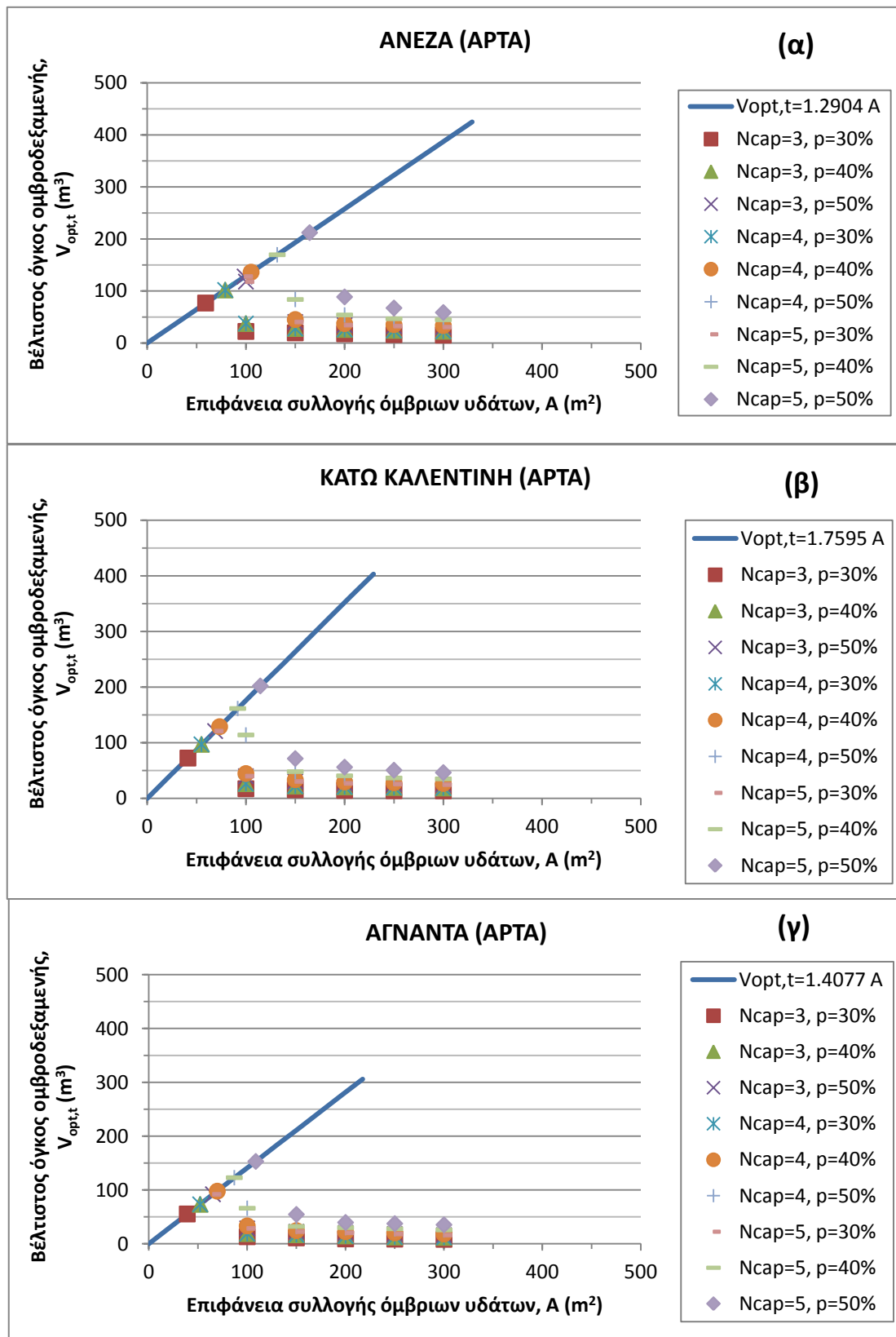


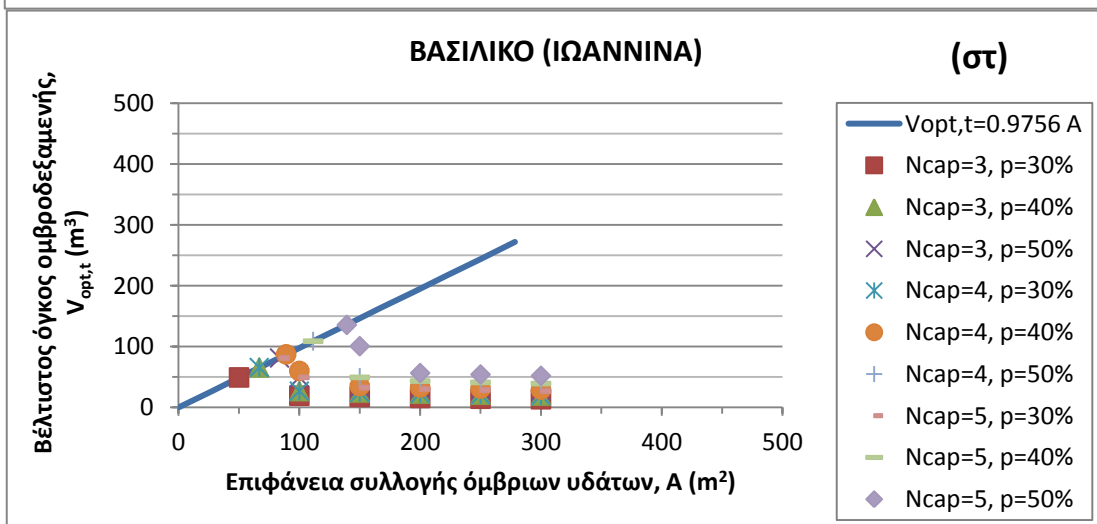
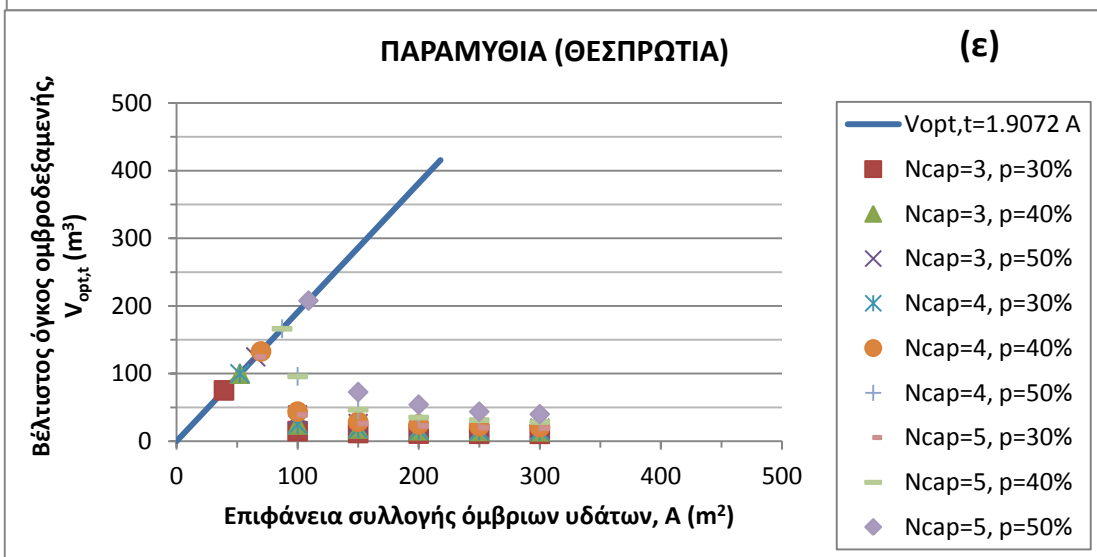
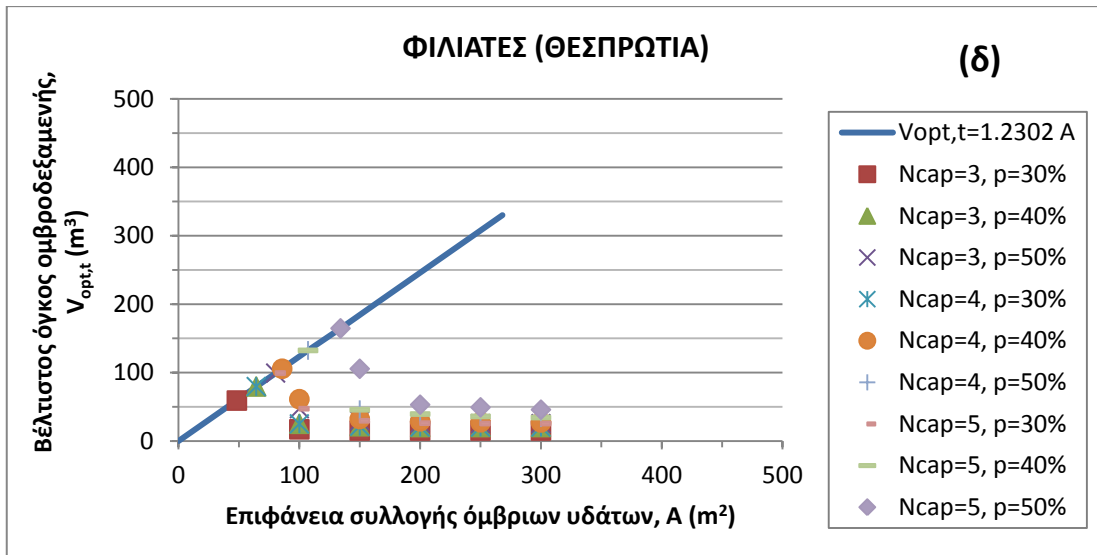


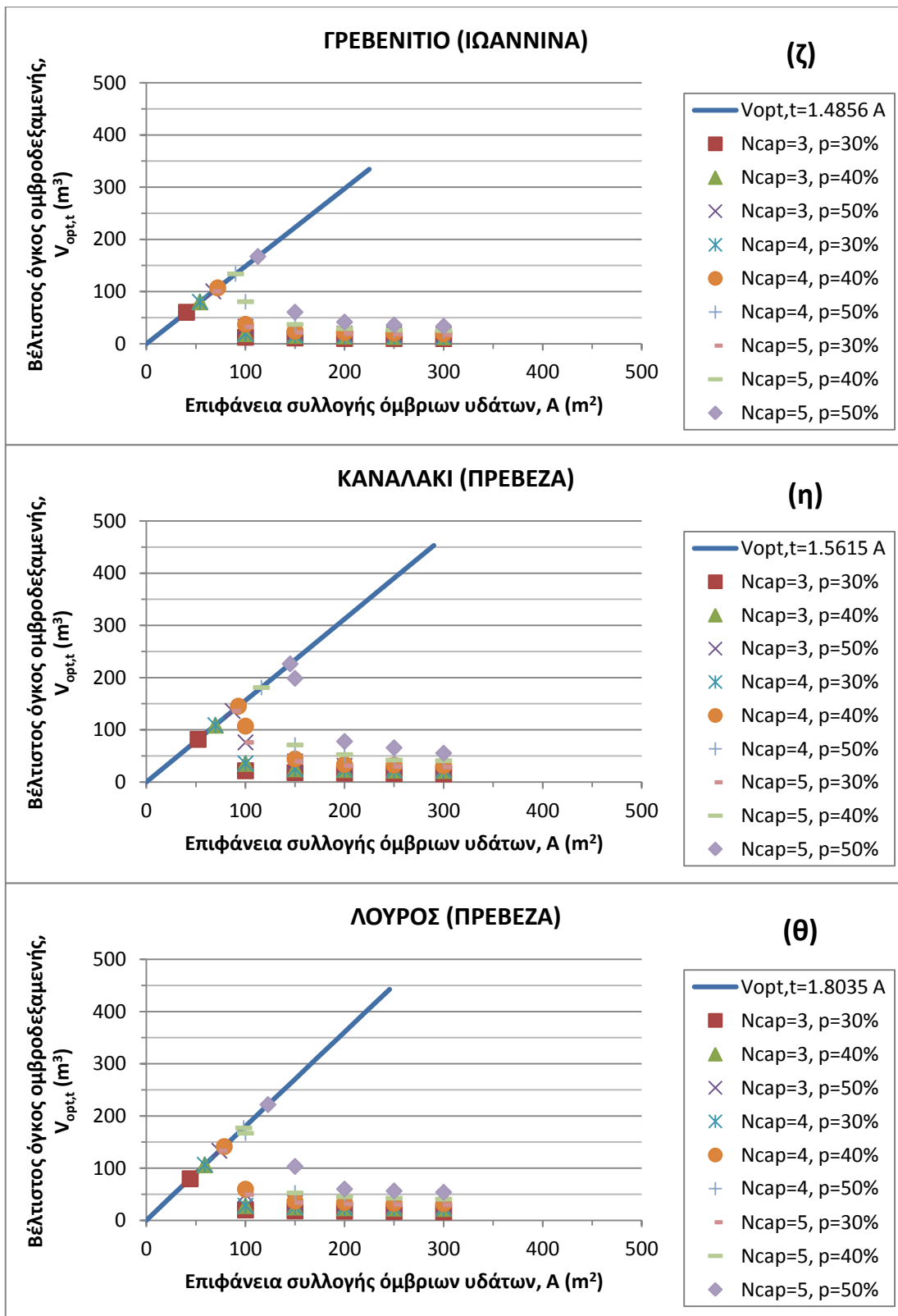
Σχήμα 5.14α-ε: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Αιτωλοακαρνανίας, Ευρυτανίας και Φωκίδας που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, ΥΔ 4).

Η πλειοψηφία των σταθμών που μελετήθηκαν στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (ΥΔ 5), λόγω μεγάλων τιμών ετήσιας βροχόπτωσης, έδειξαν ότι μπορεί να επιτευχθεί ικανοποίηση έως και του 50% των αναγκών 5 κατοίκων με όγκους ομβροδεξαμενής έως $50 m^3$ και επιφάνεια συλλογής έως $200 m^2$ (Σχήμα 5.15β-ζ,θ). Εξάίρεση αποτελούν οι σταθμοί “Ανέζα” Άρτας (Σχήμα 5.15α) και “Καναλάκι” Πρεβέζης (Σχήμα 5.15η) που απαιτούν όγκους ομβροδεξαμενής έως $50 m^3$ και επιφάνειες συλλογής έως $300 m^2$ για την κάλυψη των αναγκών έως και του 40% των 5 κατοίκων. Οι σταθμοί αυτοί είχαν, συγκριτικά,

μικρότερο μέσο ετήσιο ύψος βροχής και μεγάλη τιμή μέγιστου αριθμού άνομβρων ημερών (Πίνακες 5.1, 5.2).

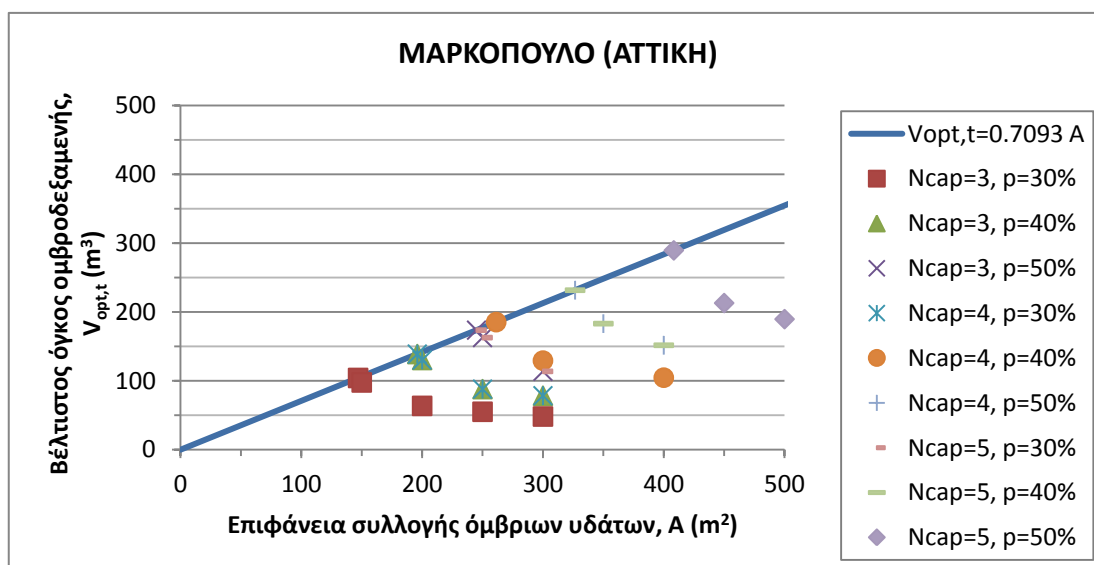






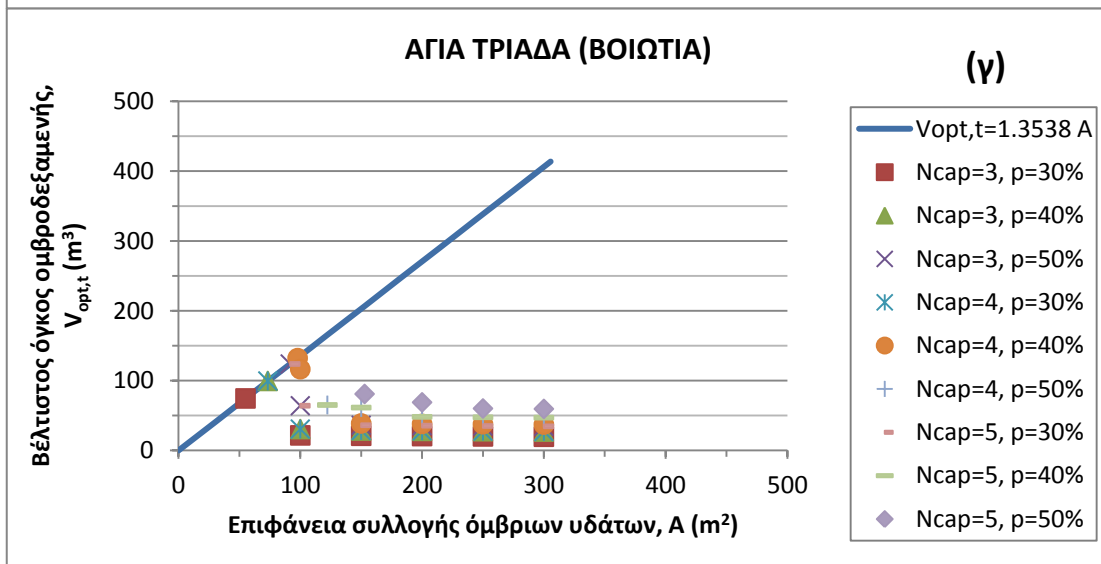
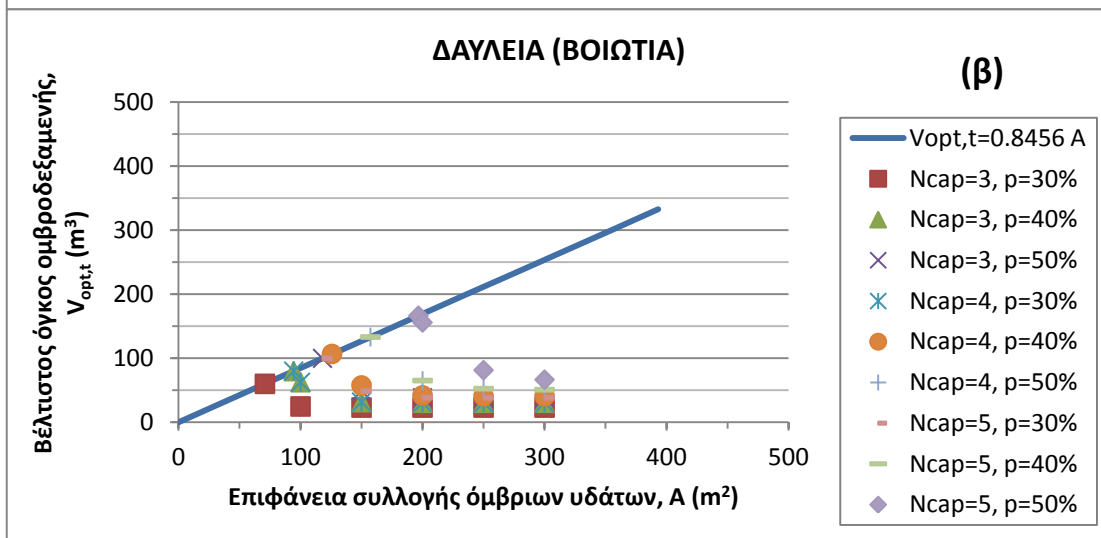
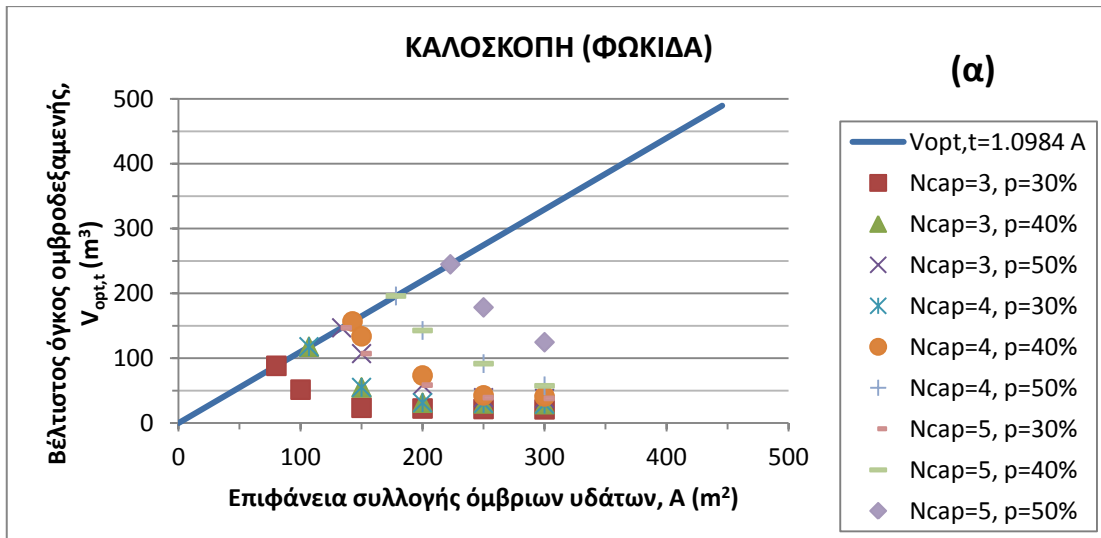
Σχήμα 5.15α-θ: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Άρτας, Θεσπρωτίας, Ιωαννίνων και Πρεβέζης που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου, ΥΔ 5).

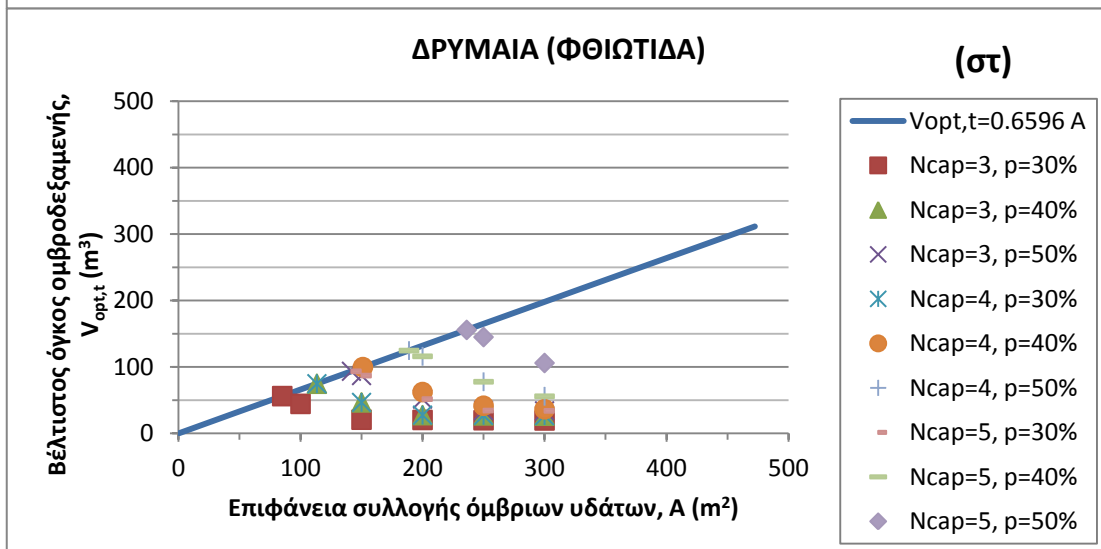
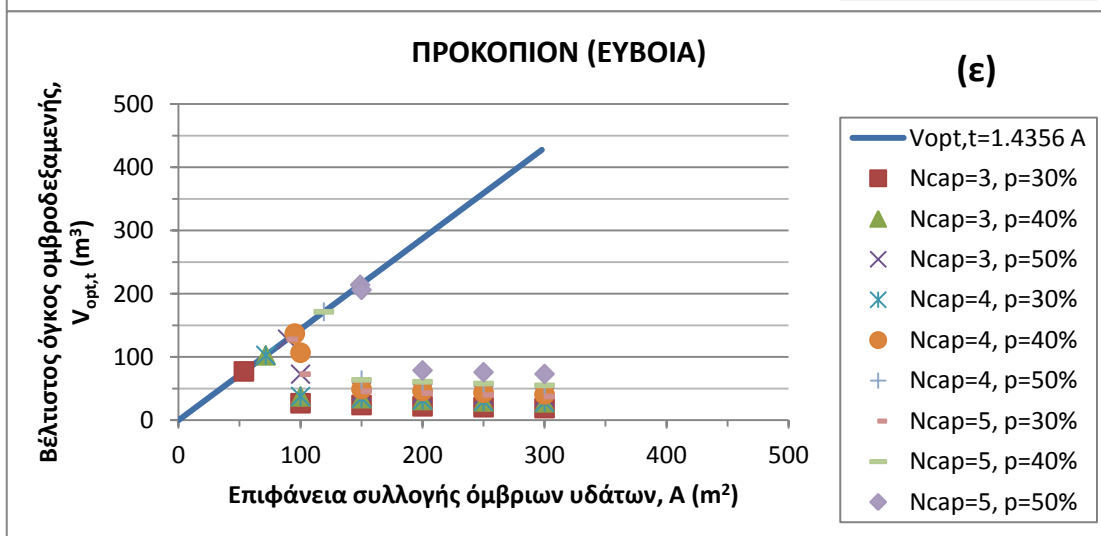
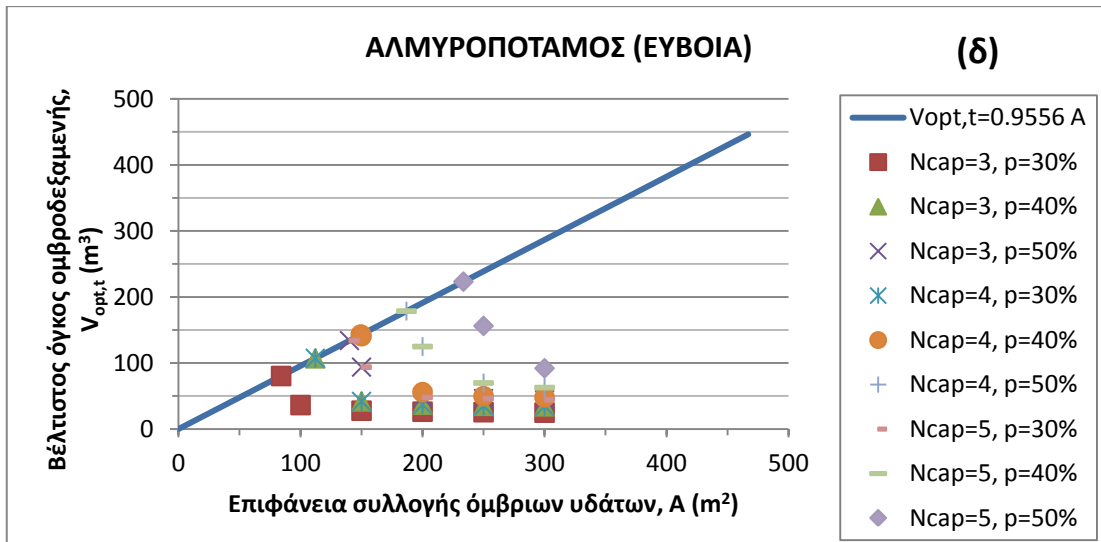
Στο Υδατικό διαμέρισμα της Αττικής (ΥΔ 6) μελετήθηκε ο σταθμός “Μαρκόπουλο” (Σχήμα 5.16). Όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω του μικρού μέσου ετήσιου ύψους βροχόπτωσης (419.1 mm) και της υψηλής τιμής μέγιστου αριθμού άνομβρων ημερών ($N_{dd,max}=191$ ημέρες), απαιτούνται αφενός μεν μεγάλοι όγκοι ομβροδεξαμενής και αφετέρου μεγάλες επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων για την κάλυψη των προκαθορισμένων αναγκών. Οριακά καλύπτονται οι ανάγκες του 30% των 3 κατοίκων με όγκο ομβροδεξαμενής περίπου 50 m^3 και επιφάνεια συλλογής όμβριων 300 m^2 .

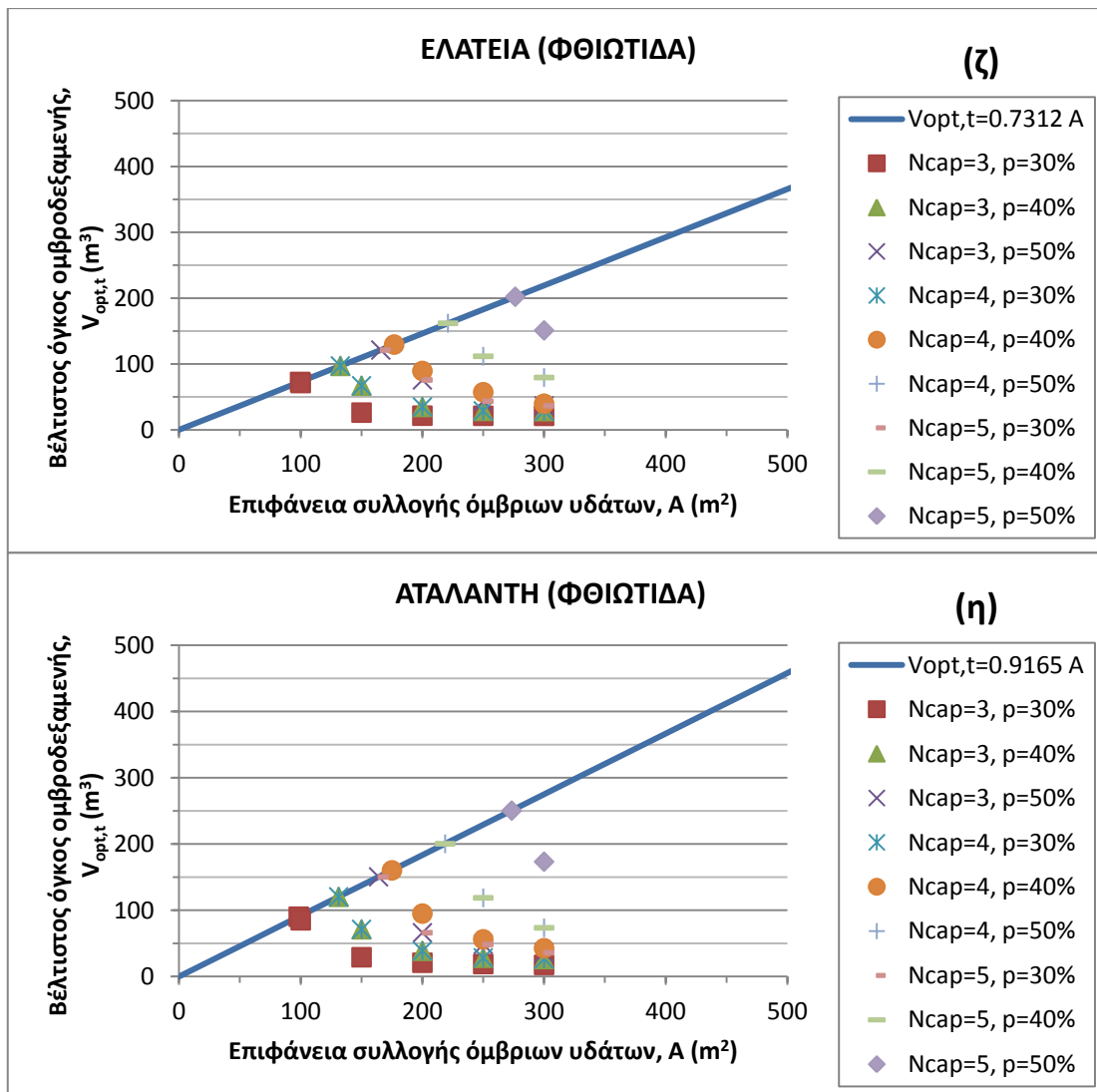


Σχήμα 5.16: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής όμβριων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού Μαρκόπουλου Αττικής του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής, ΥΔ 6).

Η μελέτη των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών Φωκίδας, Βοιωτίας, Εύβοιας και Φθιώτιδας του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (ΥΔ 7), έδειξε ότι όγκοι ομβροδεξαμενής έως 50 m^3 ικανοποιούν την κάλυψη των αναγκών έως και του 40% των 5 κατοίκων με επιφάνειες συλλογής όμβριων έως 300 m^2 (Σχήμα 5.17α-η). Όγκοι ομβροδεξαμενής μεγαλύτεροι των 50 m^3 απαιτούνται για την ικανοποίηση των αναγκών του 50% των 4 κατοίκων και των 40% και 50% των 5 κατοίκων για τις επιφάνειες συλλογής όμβριων που εξετάζονται.



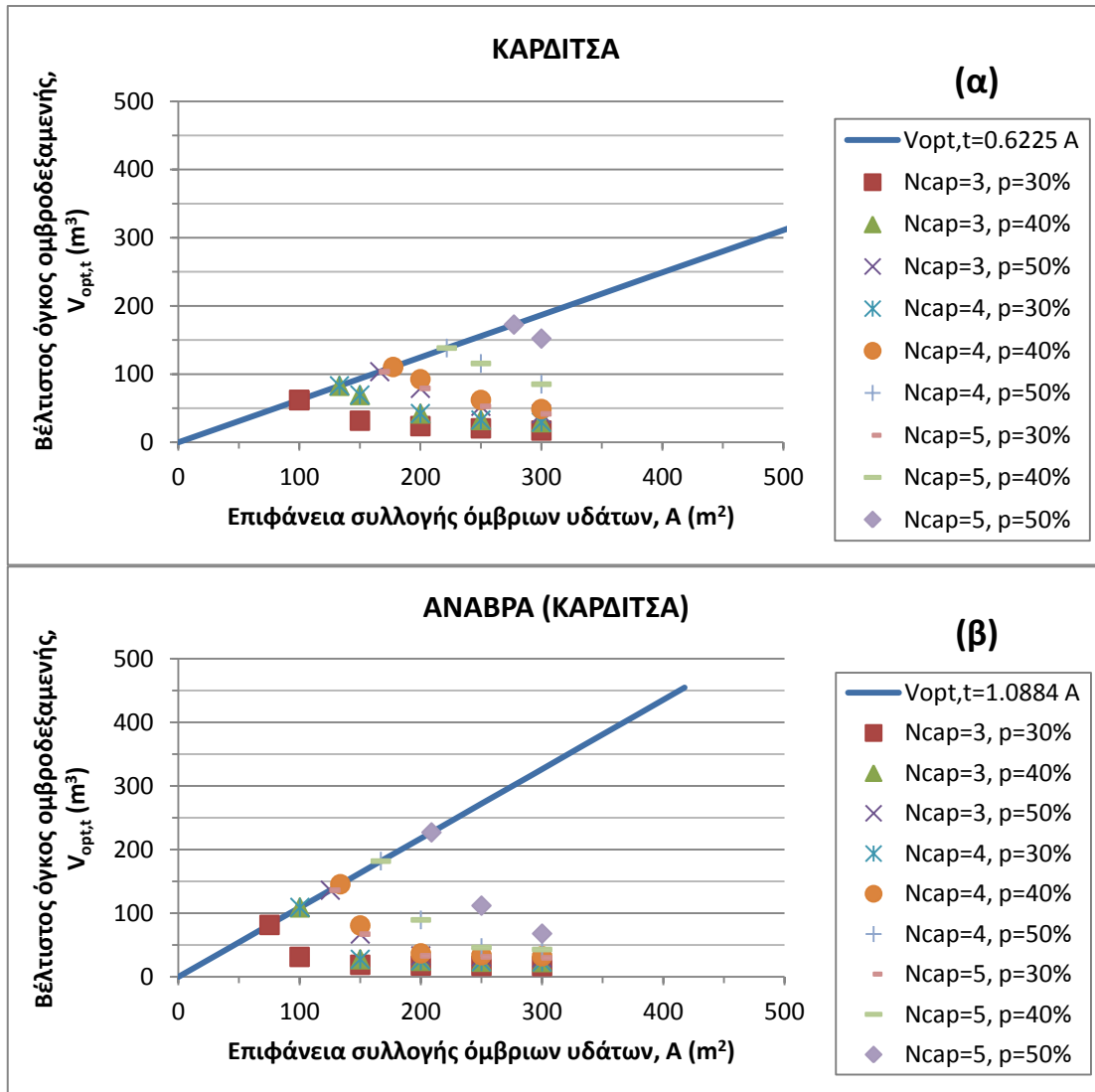


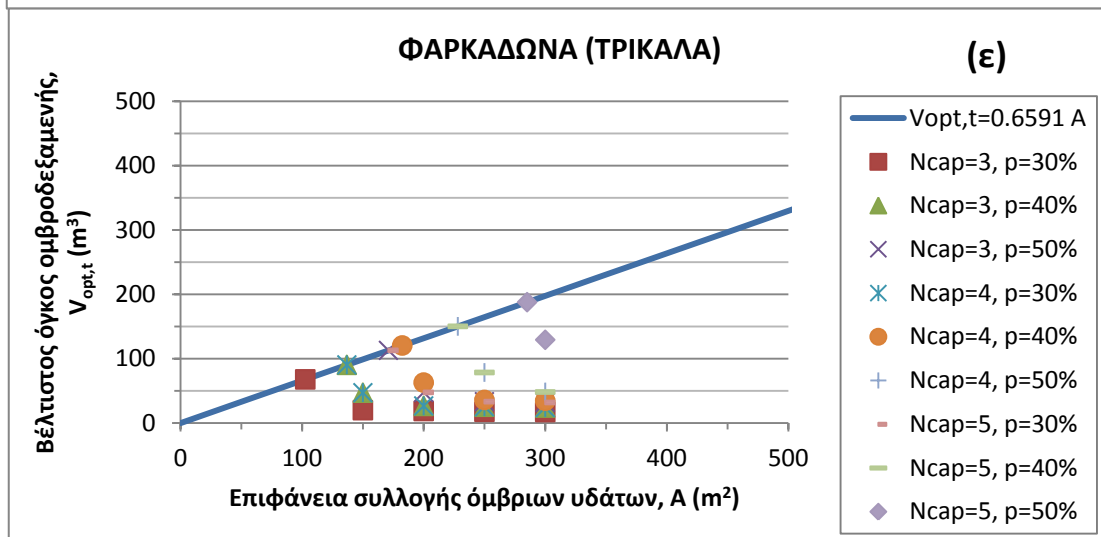
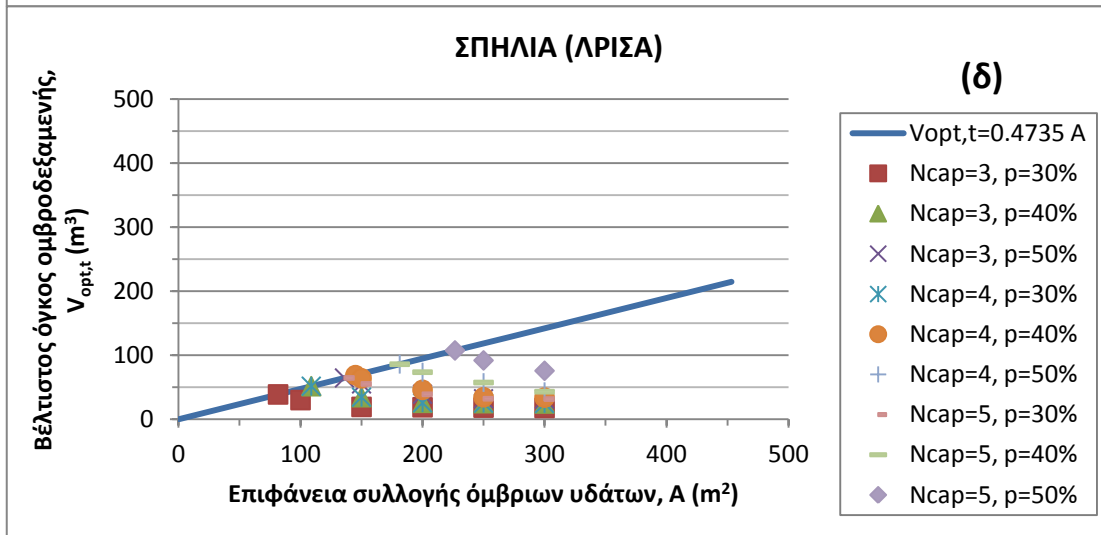
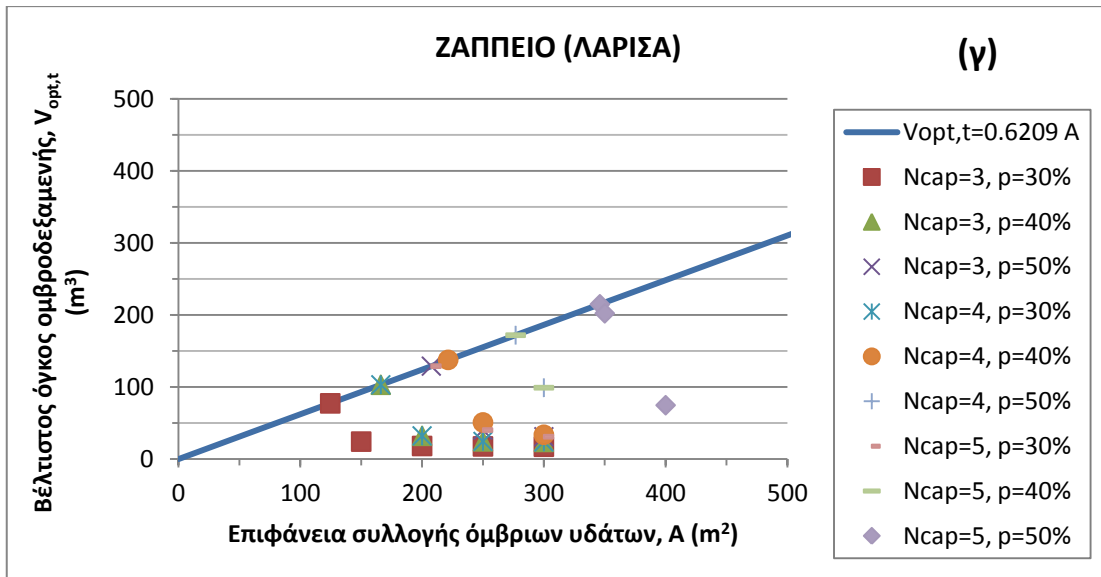


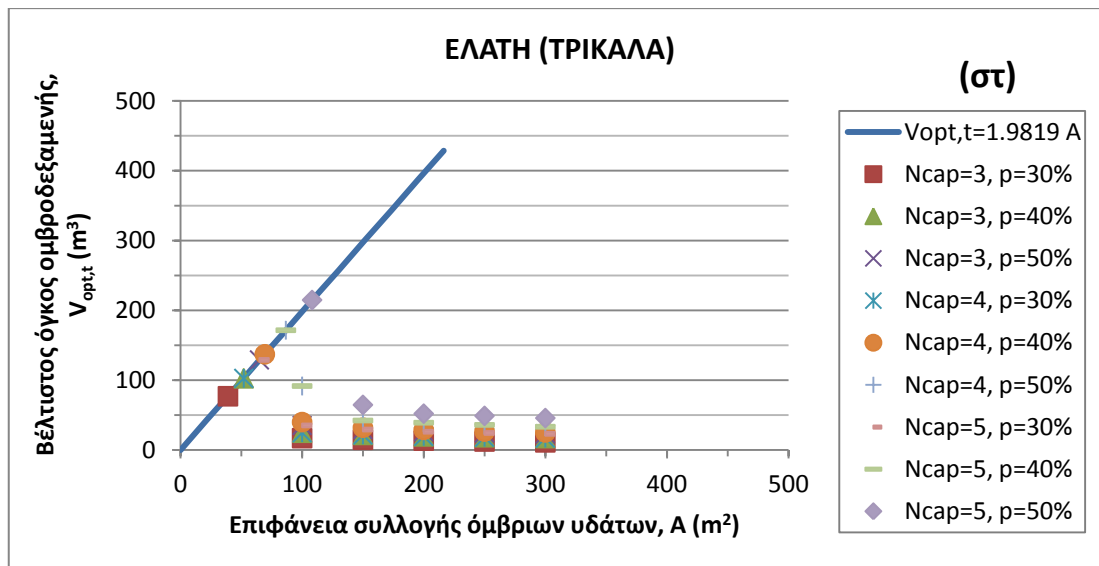
Σχήμα 5.17α-η: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Φωκίδας, Βοιωτίας, Εύβοιας και Φθιώτιδας που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας, ΥΔ 7).

Η πλειοψηφία των σταθμών μελέτης της Θεσσαλίας (ΥΔ 8) (Σχήμα 5.18α-στ) έδειξε ότι απαιτούνται όγκοι ομβροδεξαμενής μικρότεροι των 50 m³ με επιφάνειες συλλογής έως 300 m², για την ικανοποίηση αναγκών έως και του 40% των 5 κατοίκων. Εξάιρεση αποτελούν οι σταθμοί “Καρδίτσα” (Σχήμα 5.18α) και “Ζάππειο” Λάρισας (Σχήμα 5.18γ) που με τα ίδια μεγέθη όγκου και επιφάνειας καλύπτουν τις ανάγκες έως και του 40% των 4 κατοίκων και η “Ελάτη” Τρικάλων (Σχήμα 5.18στ) που μπορεί να ικανοποιήσει και το 50% των 5 κατοίκων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι σταθμοί “Καρδίτσα” και “Ζάππειο” έχουν τη μικρότερη μέση ετήσια βροχόπτωση ($\bar{P}=548.4$ mm και $\bar{P}=439.6$ mm

αντίστοιχα) και μεγάλη μέγιστη άνομβρη περίοδο ($N_{dd,max}=99$ και $N_{dd,max}=102$ ημέρες, αντίστοιχα), ενώ η “Ελάτη” έχει τη μεγαλύτερη μέση ετήσια βροχόπτωση ($\bar{P}=1405.2$ mm) και τη μικρότερη μέγιστη άνομβρη περίοδο ($N_{dd,max}=64$ ημέρες) συγκριτικά με τους υπόλοιπους σταθμούς μελέτης του ΥΔ 8.

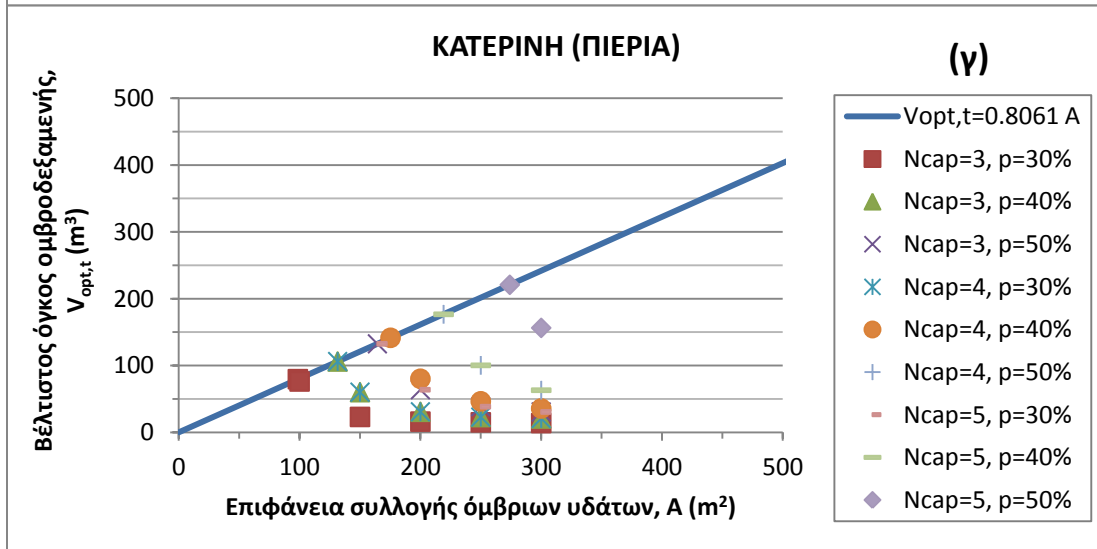
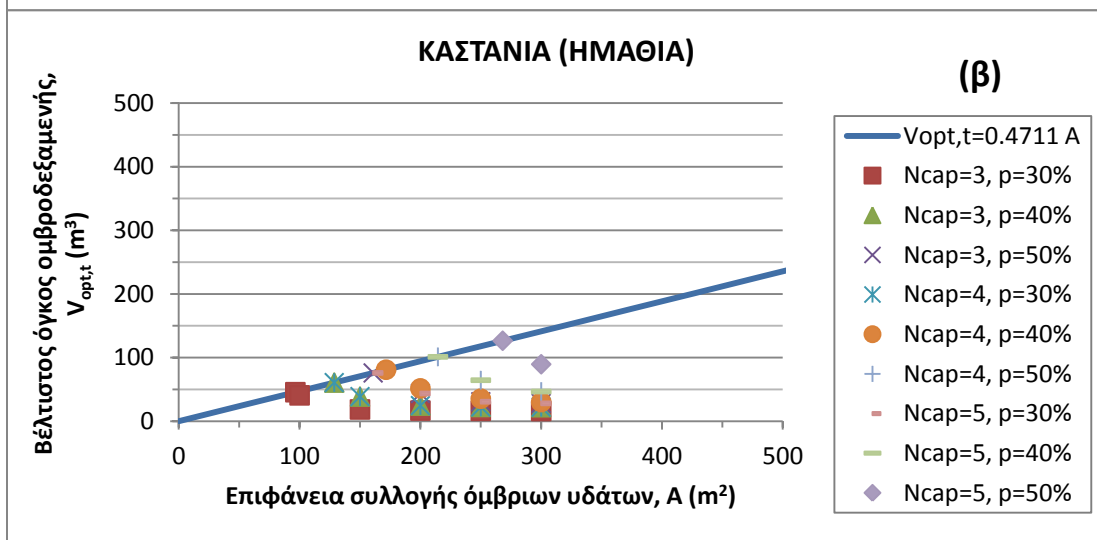
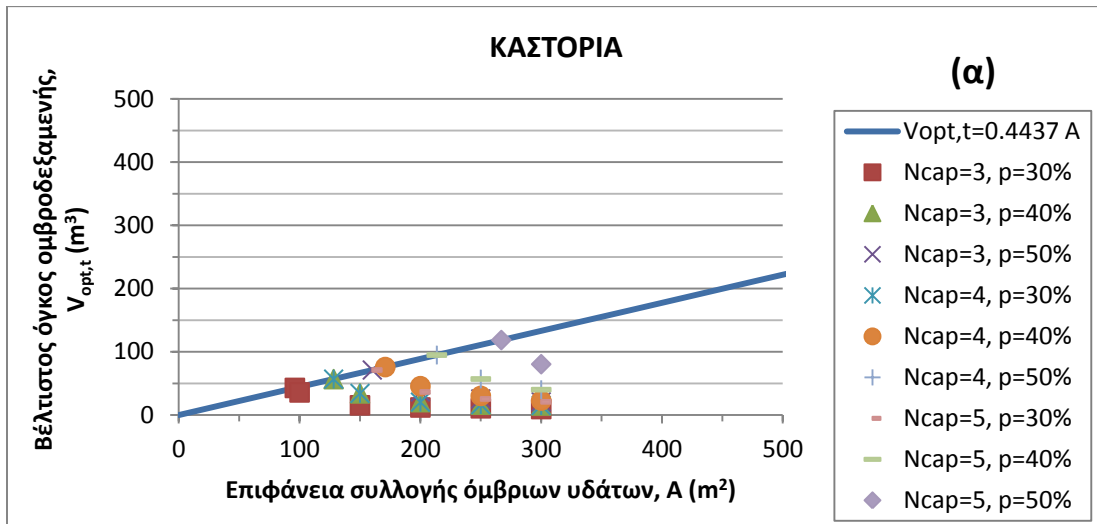


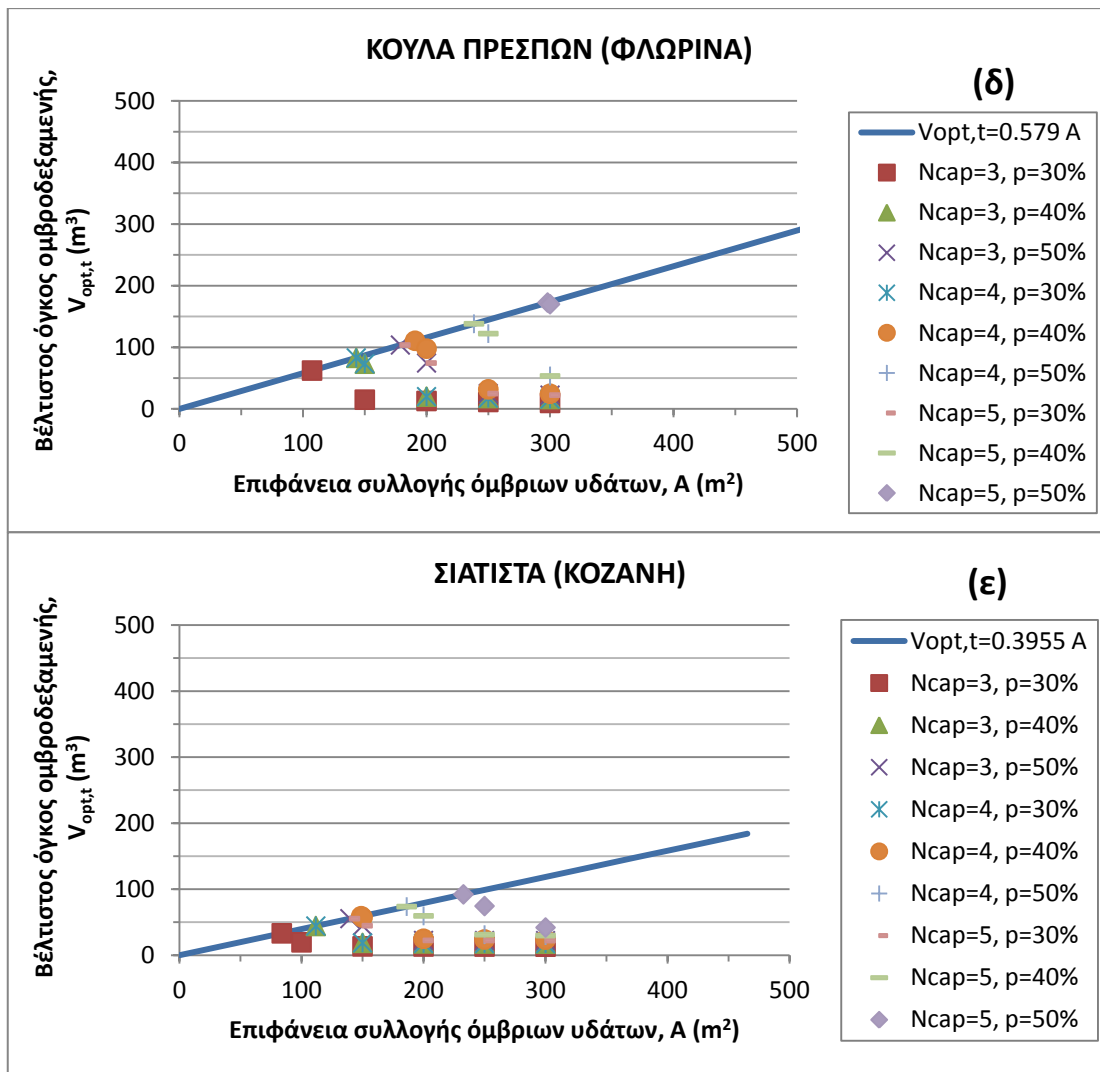




Σχήμα 5.18α-στ: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Καρδίτσας, Λάρισας, και Τρικάλων που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, ΥΔ 8).

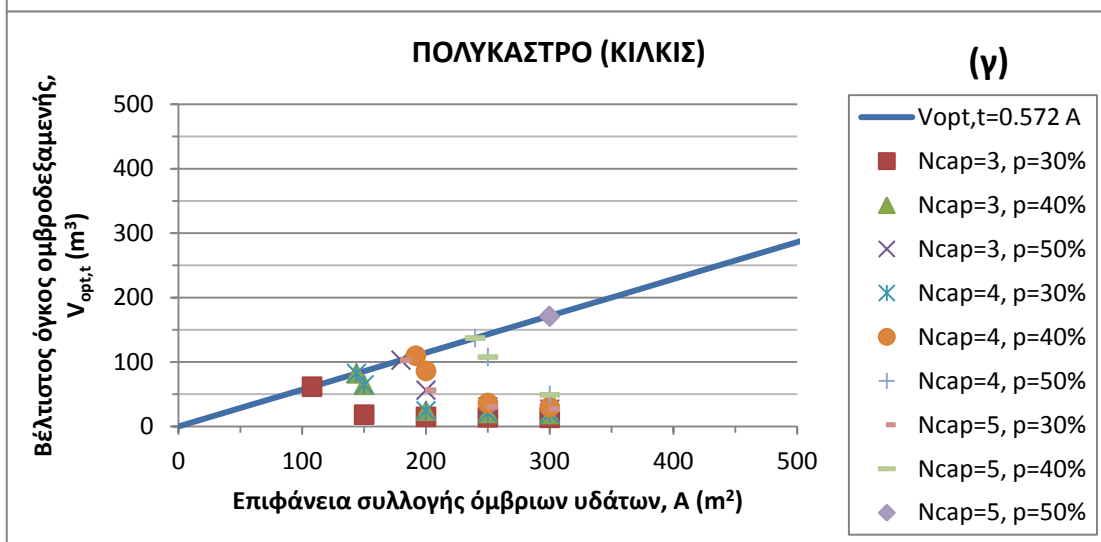
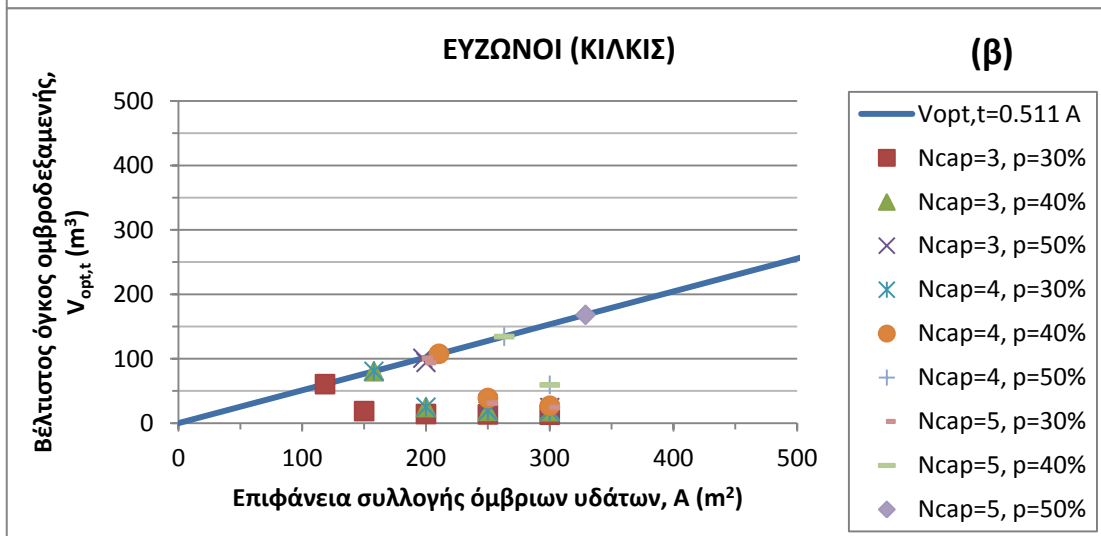
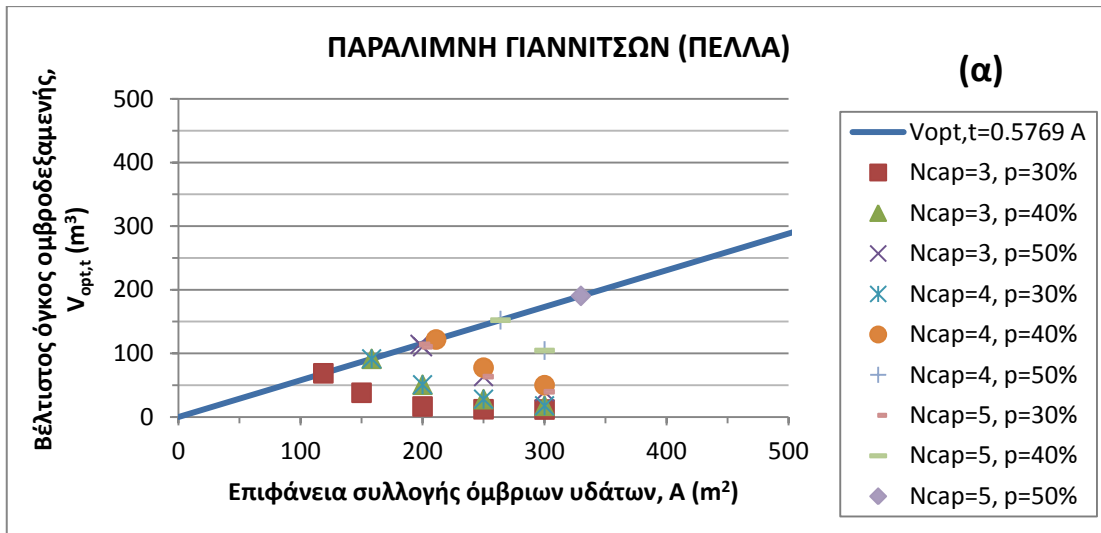
Ομοίως, και στην περίπτωση των σταθμών Ημαθίας, Καστοριάς, Πιερίας, Φλώρινας και Κοζάνης του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας (ΥΔ 9) (Σχήμα 5.19α-ε), όγκοι ομβροδεξαμενής μικρότεροι των 50 m^3 με επιφάνειες συλλογής έως 300 m^2 απαιτούνται για την ικανοποίηση αναγκών έως και του 40% των 5 κατοίκων στην “Καστοριά” (Σχήμα 5.19α) και την “Καστανιά” Ημαθίας (Σχήμα 5.19β), και έως και του 40% των 4 κατοίκων στην “Κατερίνη” (Σχήμα 5.19γ) και στην “Κούλα” Πρεσπών (Σχήμα 5.19δ). Τέλος, η “Σιάτιστα” Κοζάνης (Σχήμα 5.19δ) μπορεί να ικανοποιήσει και το 50% των 5 κατοίκων με ομβροδεξαμενές των 50 m^3 και επιφάνεια συλλογής 300 m^2 .

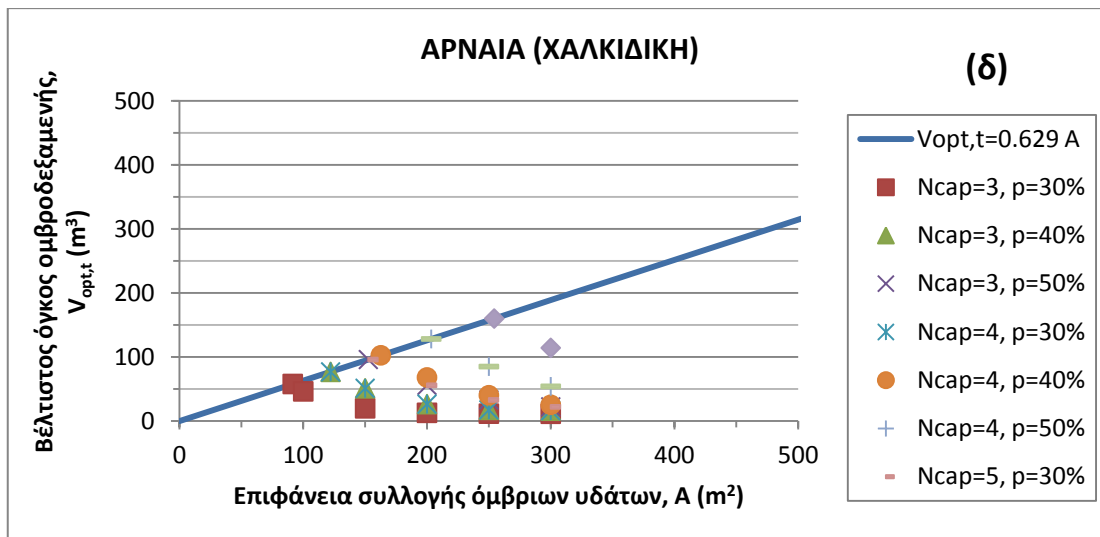




Σχήμα 5.19α-ε: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Ημαθίας, Καστοριάς, Πιερίας, Φλώρινας και Κοζάνης που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας, ΥΔ 9).

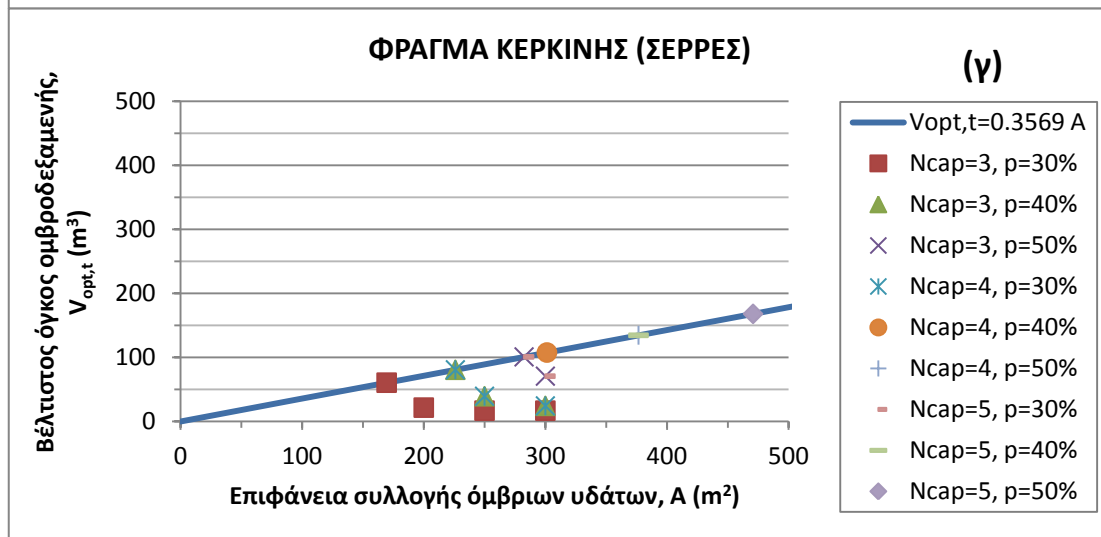
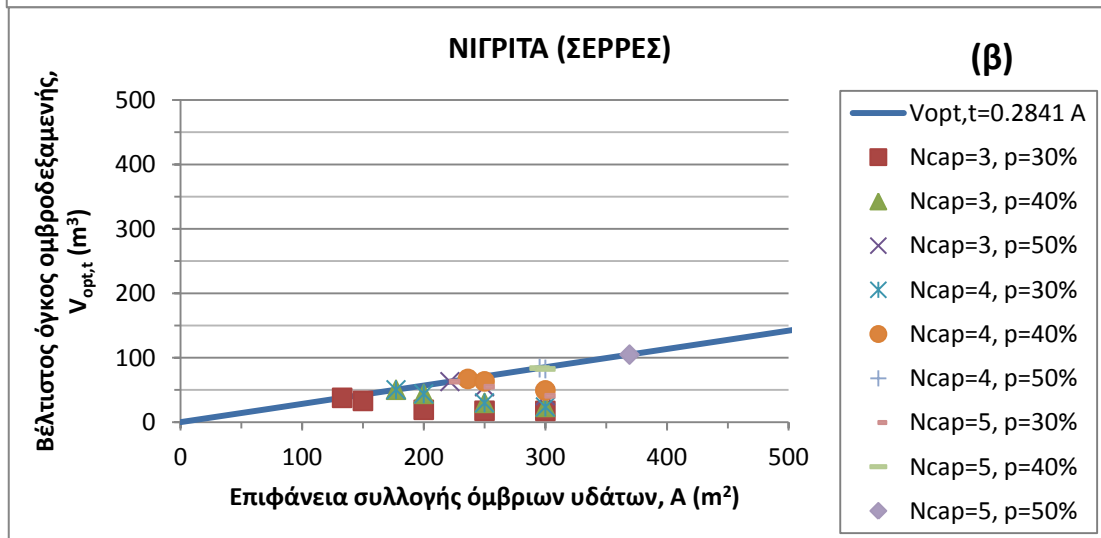
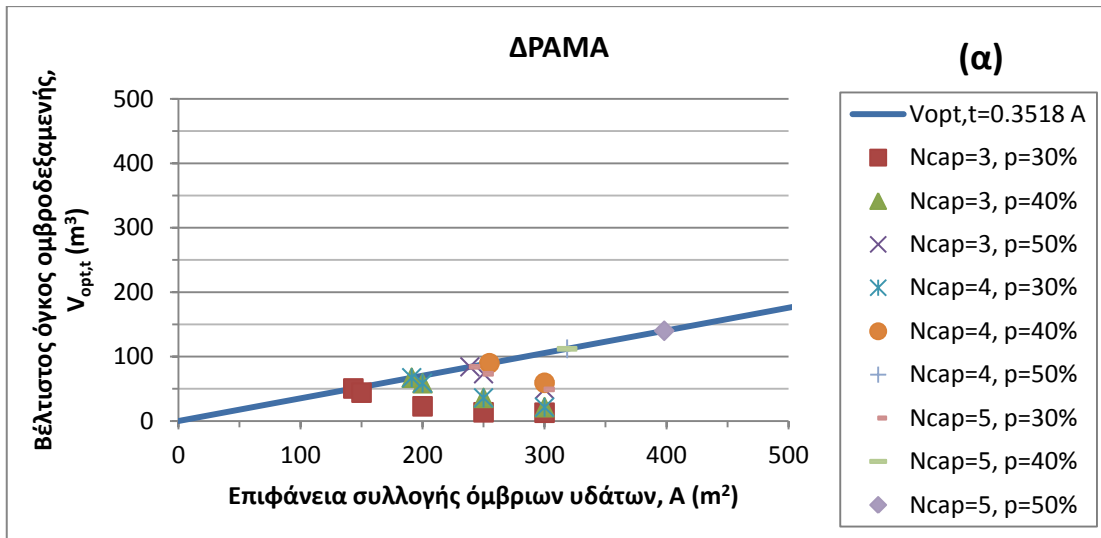
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των σταθμών Πέλλας, Κιλκίς και Χαλκιδικής του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΔ 10), που παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.20α-δ, έδειξε ότι ομβροδεξαμενές έως $50 m^3$ και επιφάνειες συλλογής ως $300 m^2$ απαιτούνται για την ικανοποίηση έως και του 40% των 4 κατοίκων.

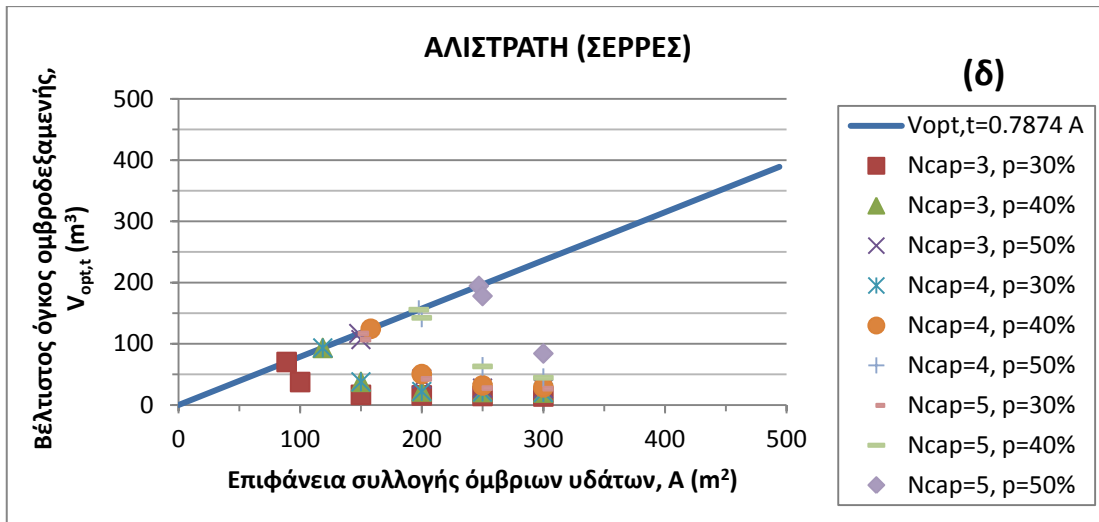




Σχήμα 5.20α-δ: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Πέλλας, Κιλκίς, και Χαλκιδικής που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας, ΥΔ 10).

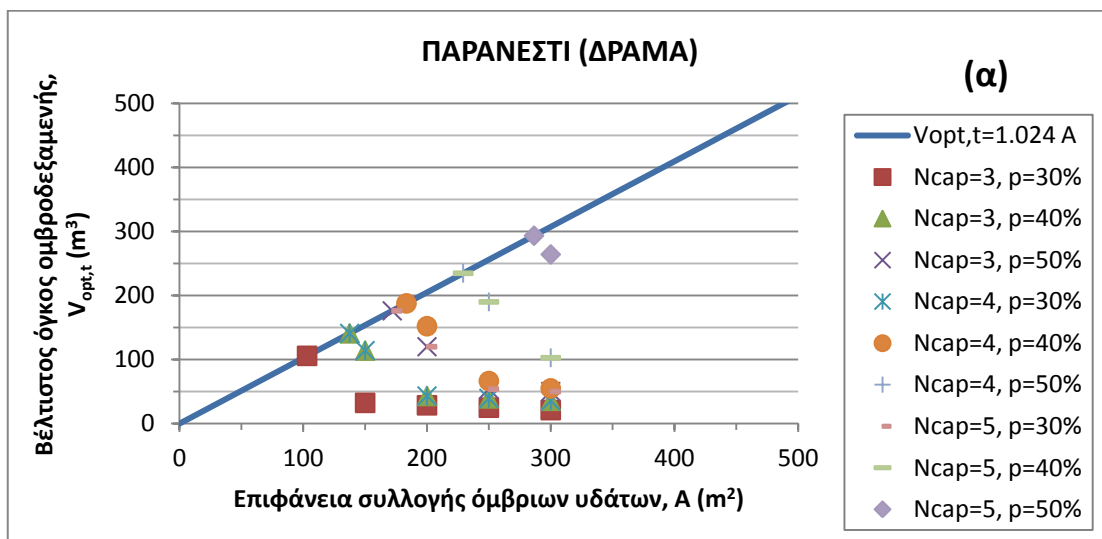
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των σταθμών Δράμας και Σερρών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Μακεδονίας (ΥΔ 11) (Σχήμα 5.21α-δ), έδειξε ότι ομβροδεξαμενές έως 50 m^3 και επιφάνειες συλλογής ως 300 m^2 μπορούν να ικανοποιήσουν έως και το 40% των 5 κατοίκων στην περίπτωση του σταθμού “Αλιστράτη” Σερρών (Σχήμα 5.21δ) και μόνο τις ανάγκες του 30% και 40% των 3 κατοίκων και του 30% των 4 κατοίκων των σταθμών “Δράμα” (Σχήμα 5.21α) και “Φράγμα Κερκίνης” (Σχήμα 5.21γ), λόγω του μικρού ετήσιου ύψους βροχόπτωσης ($\bar{P} = 382 \text{ mm}$ και $\bar{P} = 323 \text{ mm}$, αντίστοιχα) συγκριτικά με τους υπόλοιπους σταθμούς μελέτης του ΥΔ 11 (Πίνακας 5.1). Η “Νιγρίτα” Σερρών μπορεί να ικανοποιήσει έως και το 40% των 4 κατοίκων με τα ίδια μεγέθη ομβροδεξαμενής και επιφάνειας.

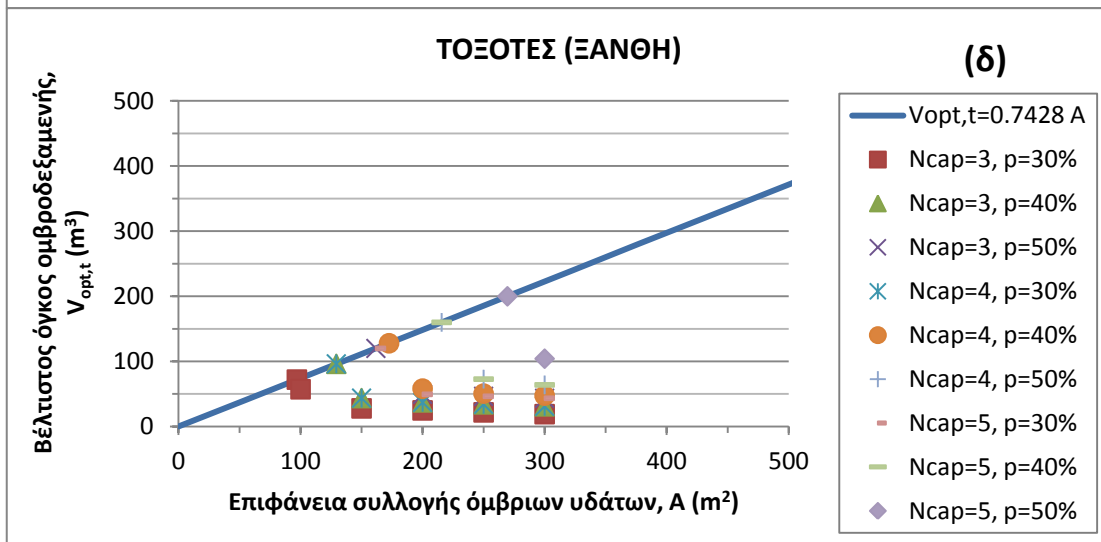
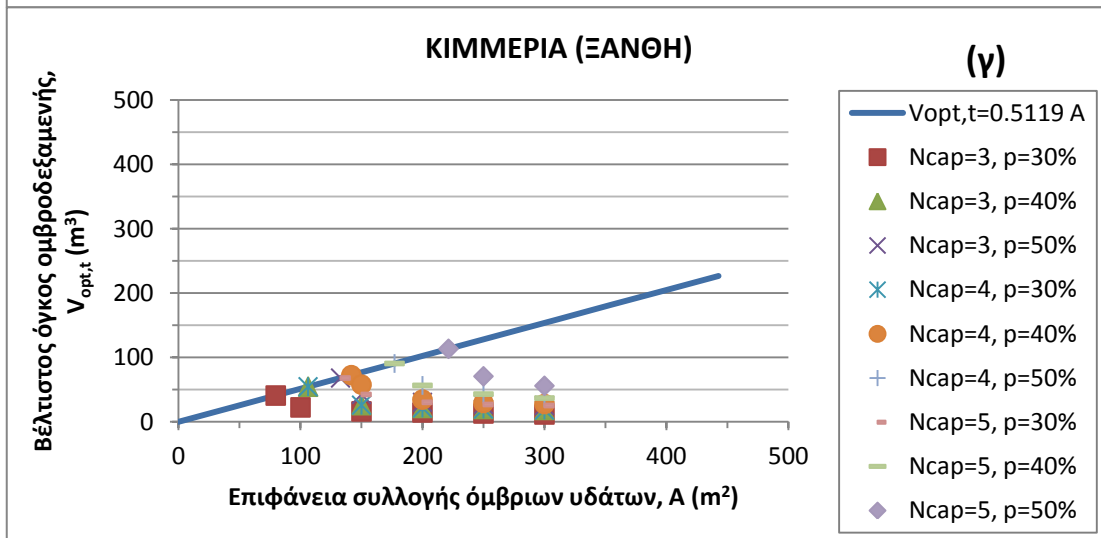
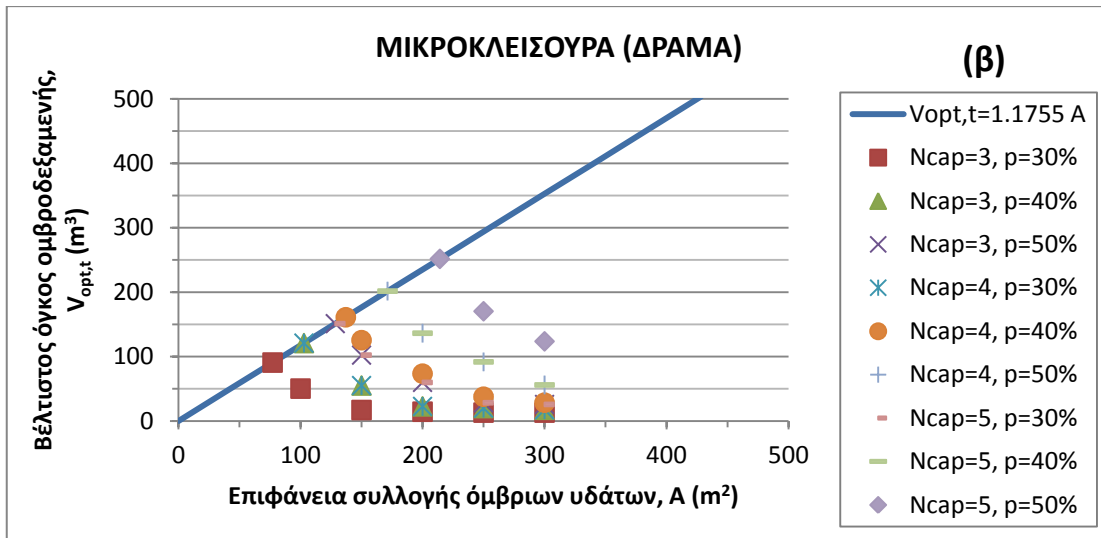


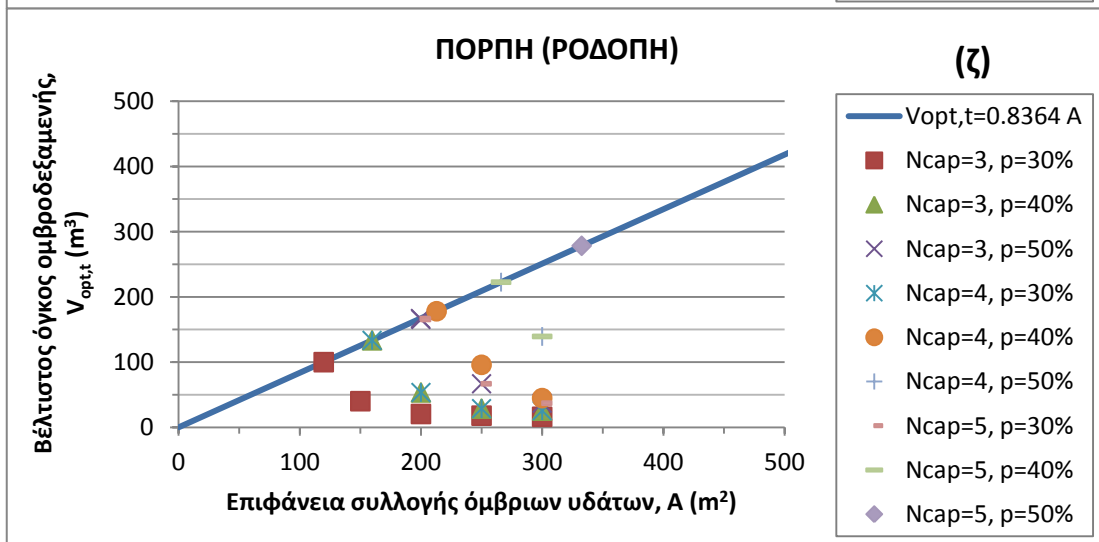
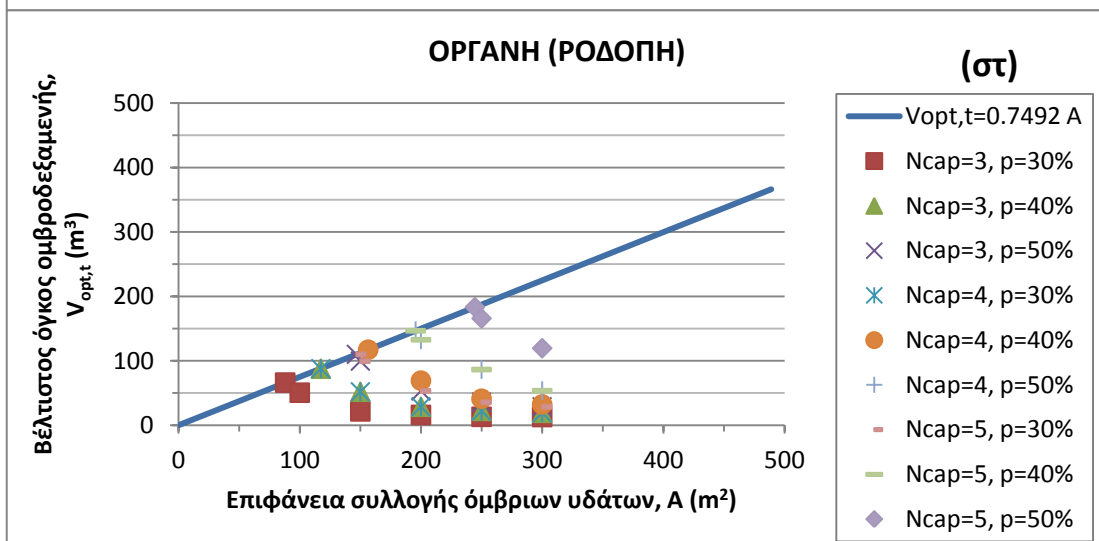
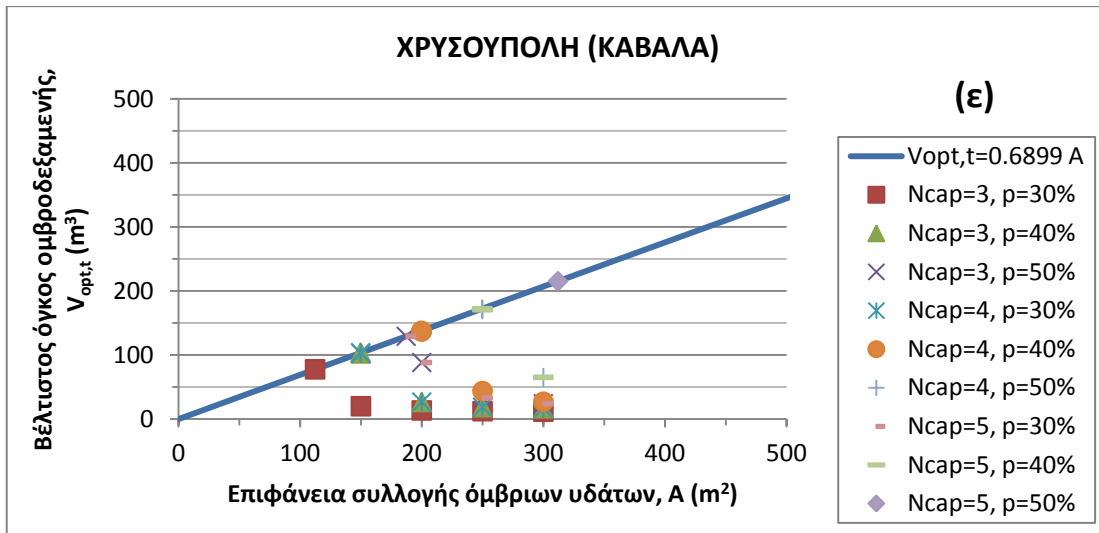


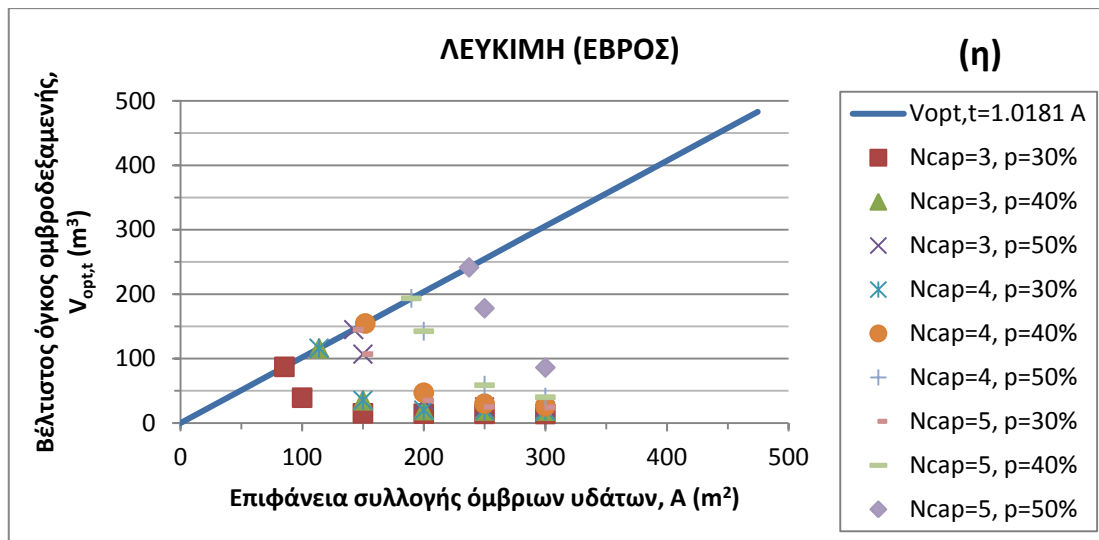
Σχήμα 5.21α-δ: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Δράμας, και Σερρών που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας, ΥΔ 11).

Και στο Υδατικό Διαμέρισμα Θράκης (ΥΔ 12), η σύγκριση των σταθμών Δράμας, Ξάνθης, Καβάλας, Ροδόπης και Έβρου (Σχήμα 5.22α-η) έδειξε ότι ομβροδεξαμενές έως 50 m³ και επιφάνειες συλλογής ως 300 m² ικανοποιούν έως και το 40% των 4 κατοίκων.



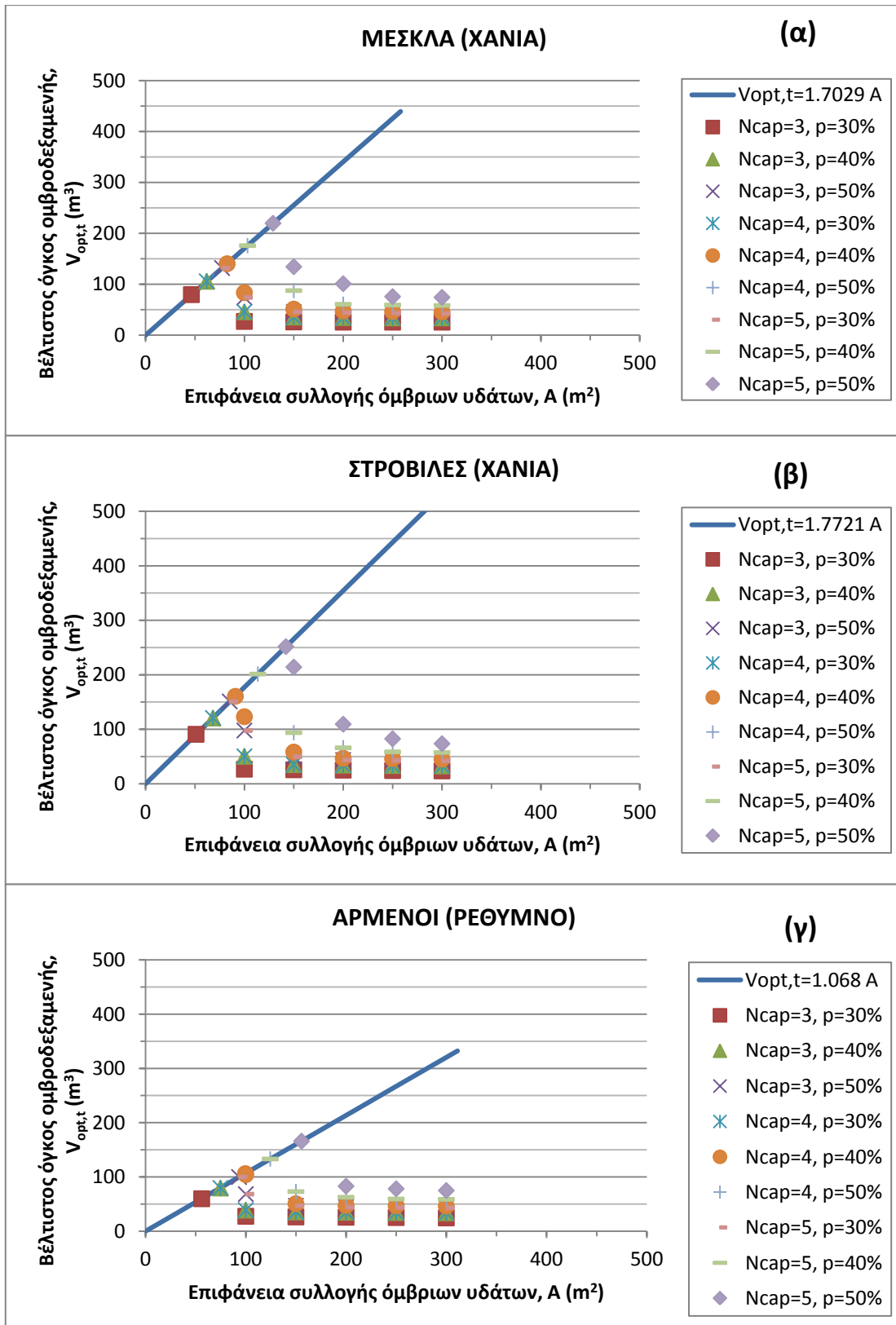


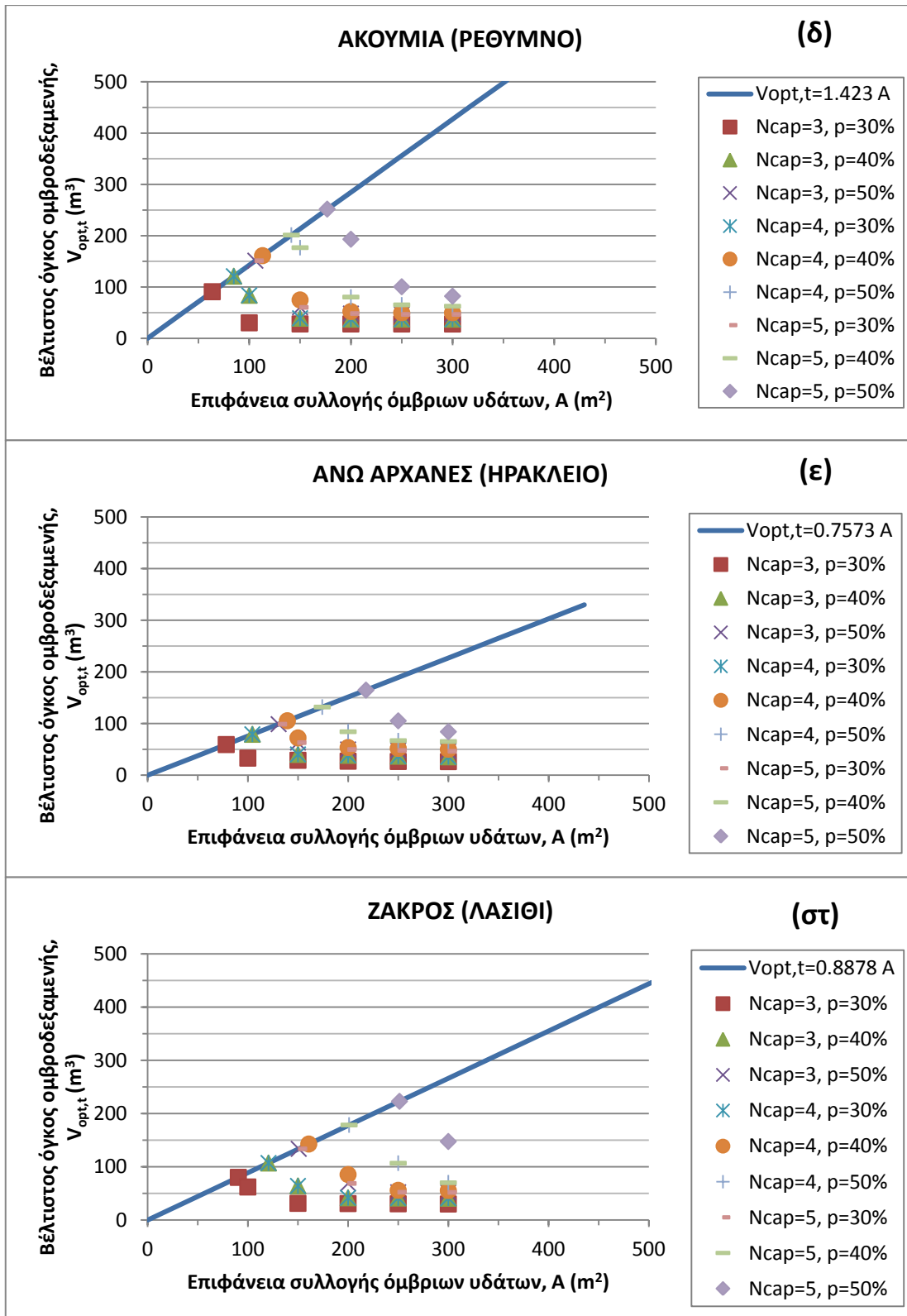




Σχήμα 5.22α-η: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Δράμας, Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης και Έβρου που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Θράκης, ΥΔ 12).

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης (ΥΔ 13) (Σχήμα 5.23α-στ) όγκοι ομβροδεξαμενής μικρότεροι των 50 m^3 με επιφάνειες συλλογής ομβρίων έως 200 m^2 απαιτούνται για την ικανοποίηση έως και του 40% των 4 κατοίκων. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.23στ, στο σταθμό “Ζάκρος” Λασιθίου απαιτούνται μεγαλύτερες επιφάνειες συλλογής για την ικανοποίηση των ίδιων αναγκών, λόγω του μικρότερου ετήσιου ύψους βροχόπτωσης ($\bar{P} = 615.4 \text{ mm}$) και της μεγαλύτερης μέγιστης άνομβρης περιόδου ($N_{dd,max} = 214$ ημέρες) συγκριτικά με τους υπόλοιπους σταθμούς της Κρήτης που μελετήθηκαν (Πίνακες 5.1, 5.2). Να σημειωθεί, ότι τα μέσα ετήσια ύψη βροχόπτωσης, από δυτικά προς ανατολικά, κυμαίνονται μεταξύ 1178.9 mm και 615.4 mm , και η μέγιστη άνομβρη περίοδος από 155 έως 214 ημέρες (Πίνακας 5.1, Πίνακας 5.2).





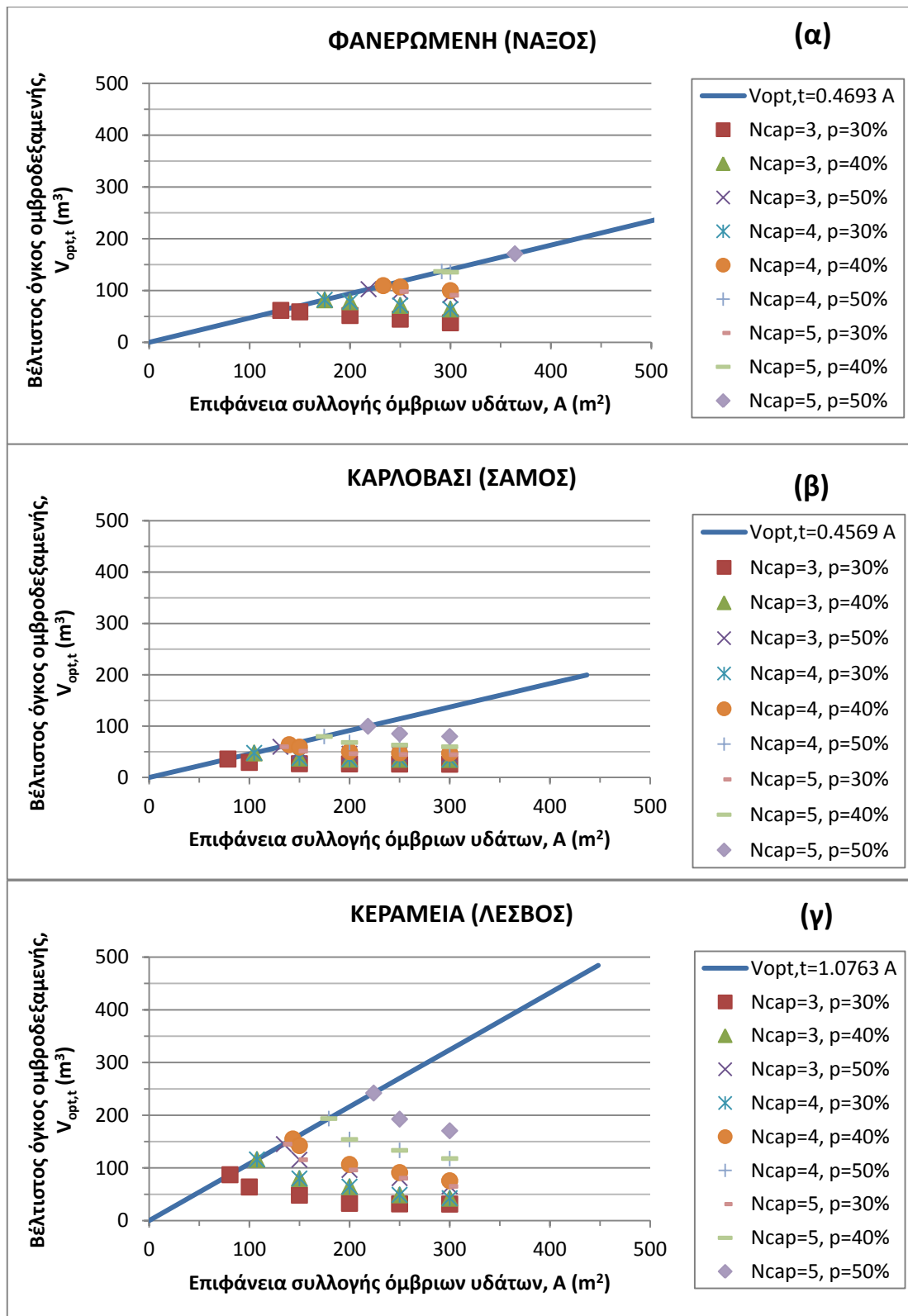
Σχήμα 5.23α-στ: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Ηρακλείου, Λασιθίου, Ρεθύμνου και Χανίων που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης, ΥΔ 13).

Τέλος, όσον αφορά στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (ΥΔ 14) μελετήθηκαν οι σταθμοί “Φανερωμένη” Νάξου, “Καρλόβασι” Σάμου και “Κεράμεια” Λέσβου (Σχήμα 5.24α-γ). Γενικά, και τα τρία νησιά μελέτης απαιτούν μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενής και μεγάλες επιφάνειες συλλογής ομβρίων για την κάλυψη των αναγκών που έχουν τεθεί. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη περίοδο ανομβρίας (6-7 μήνες) και τις μικρές (Νάξος) και μέτριες τιμές (Λέσβος, Σάμος) ετήσιου ύψους βροχόπτωσης.

Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη των αποτελεσμάτων του σταθμού “Φανερωμένη” Νάξου (Σχήμα 5.24α), με $\bar{P}=417.6$ mm και $N_{dd,max}=196$ ημέρες, έδειξε ότι όγκοι ομβροδεξαμενής έως 50 m^3 ικανοποιούν τις απαιτήσεις μόνο του 30% των οικιακών αναγκών των 3 κατοίκων και αυτό με επιφάνειες συλλογής ομβρίων μεταξύ 200 m^2 και 300 m^2 .

Όσον αφορά στο “Καρλόβασι” Σάμου (Σχήμα 5.24β), με $\bar{P}=696.3$ mm και $N_{dd,max}=189$ ημέρες, όγκοι ομβροδεξαμενής έως 50 m^3 και επιφάνειες συλλογής ομβρίων έως 300 m^2 μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες έως και του 40% των 4 κατοίκων και του 30% των 5 κατοίκων.

Τέλος, η επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων του σταθμού “Κεράμεια” Λέσβου (Σχήμα 5.24γ), με $\bar{P}=678.6$ mm και $N_{dd,max}=217$ ημέρες, έδειξε ότι όγκοι ομβροδεξαμενής έως 50 m^3 μπορούν να ικανοποιήσουν μόνο το 30% και 40% των αναγκών των 3 κατοίκων και το 30% των 4 κατοίκων για επιφάνειες συλλογής ομβρίων έως 300 m^2 .



Σχήμα 5.24α-γ: Βέλτιστοι όγκοι ομβροδεξαμενής για διάφορες επιφάνειες συλλογής ομβρίων και μηδενική χρήση νερού από δημόσια παροχή. (Εφαρμογή στα βροχομετρικά δεδομένα σταθμών Νάξου, Σάμου, και Λέσβου που ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου, ΥΔ 14).

Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι στην πλειοψηφία των σταθμών που μελετήθηκαν, όγκοι ομβροδεξαμενής μικρότεροι των 50 m^3 μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση του 30% για 3 έως 5 κατοίκους, χωρίς οι επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων να υπερβαίνουν τα 200 m^2 , ενώ όγκοι ομβροδεξαμενής ως 50 m^3 και επιφάνειες συλλογής ομβρίων ως 300 m^2 μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση έως και του 40% των 4 κατοίκων. Μεγαλύτεροι όγκοι και επιφάνειες συλλογής απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών ζήτησης του 50% των 4 κατοίκων και του 40% και 50% των 5 κατοίκων. Ελάχιστες είναι οι εξαιρέσεις και αφορούν είτε σε περιοχές με μεγάλο μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και μικρή τιμή μέγιστου αριθμού άνομβρων ημερών, όπου μπορούν να καλυφθούν πλήρως οι ανάγκες και του 50% των 5 κατοίκων, είτε σε περιοχές με μικρό μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και μεγάλη τιμή μέγιστου αριθμού άνομβρων ημερών, όπου μπορούν να καλυφθούν πλήρως μόνο οι ανάγκες του 30% των 3 κατοίκων για επιφάνειες συλλογής ως 300 m^2 .

Γενικά, σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, ανεξαρτήτως της κλίσης της εξίσωσης υπολογισμού του όγκου ομβροδεξαμενής συναρτήσει της ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας συλλογής όμβριων υδάτων, $V_{\text{tank}} = a \cdot A$, για την κάλυψη καθορισμένων αναγκών (p) συγκεκριμένου αριθμού εξυπηρετούμενων κατοίκων (N_{cap}), παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του απαιτούμενου όγκου της ομβροδεξαμενής με την αύξηση της επιφάνειας συλλογής ομβρίων, πέραν της αρχικής ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας, για την κάλυψη των ίδιων αναγκών.

Τέλος, στον Πίνακα 5.4 δίνονται συγκεντρωτικά οι παράμετροι. a και b . των εξισώσεων $V_{\text{tank}} = a \cdot A$ και $V_{\text{tank}} = b \cdot N_{\text{cap}} \cdot p$ για όλους τους σταθμούς που μελετήθηκαν. Η παράμετρος a κυμαίνεται από 0.2841 (“Νιγρίτα” Σερρών) έως 1.9819 (“Ελάτη” Τρικάλων) και η b από 0.3681 (“Σιάτιστα” Κοζάνης) έως 1.1889 (“Λεόντιο” Κορινθίας).

Πίνακας 5.4: Παράμετροι, a και b , των εξισώσεων υπολογισμού του όγκου ομβροδεξαμενής συναρτήσει της ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας συλλογής ομβρίων,

$V_{\text{tank}} = a \cdot A$, και του γινομένου του αριθμού των κατοίκων επί του ποσοστού ζήτησης,

$V_{\text{tank}} = b \cdot N_{\text{cap}} \cdot p$, για όλους τους σταθμούς που μελετήθηκαν.

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΝΟΜΟΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ	a	b	
1	ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	ΜΕΣΣΗΝΙΑ	ΑΝΑΛΗΨΗ	0.6865	0.5536
		ΑΧΑΙΑ	ΑΝΩ ΛΟΥΣΟΙ	1.0628	0.8260
		ΗΛΕΙΑ	ΣΤΡΕΦΙΟ	1.5526	1.0141
		ΑΡΚΑΔΙΑ	ΚΑΡΥΤΑΙΝΑ	1.4053	1.0100
2	ΒΟΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	ΑΧΑΙΑ	ΑΙΓΙΟ	0.8718	0.8176
		ΑΧΑΙΑ	ΔΡΟΣΑΤΟ	0.9695	0.7832
		ΑΧΑΙΑ	ΑΣΤΕΡΙ	0.9212	0.9342
		ΑΧΑΙΑ	ΠΟΡΤΕΣ	1.2070	0.9207
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΛΕΟΝΤΙΟ	1.2609	1.1889
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΚΑΣΤΑΝΙΑ	0.9440	0.5740
		ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΣΠΑΘΟΒΟΥΝΙ	0.6759	0.9320
3	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΝΕΜΕΑ	0.6193	0.6928
		ΑΡΓΟΛΙΔΑ	ΝΕΟΧΩΡΙΟ	0.7661	0.6546
		ΑΡΚΑΔΙΑ	ΝΕΣΤΑΝΗ	0.8322	0.8400
		ΑΡΚΑΔΙΑ	ΚΑΝΔΗΛΑ	0.9806	0.7202
4	ΔΥΤΙΚΗ ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	ΔΑΚΩΝΙΑ	ΒΡΟΝΤΑΜΑΣ	0.8514	0.9476
		ΑΙΤΩΛ/ΑΝΙΑ	ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΞΥΑ	0.9649	0.6182
		ΑΙΤΩΛ/ΑΝΙΑ	ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ	1.6124	0.8312
		ΑΙΤΩΛ/ΑΝΙΑ	ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	1.2855	0.9000
		ΕΥΡΥΤΑΝΙΑ	ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	1.2278	0.7382
5	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΦΩΚΙΔΑ	ΠΥΡΑ	1.5462	0.8009
		ΑΡΤΑ	ΑΓΝΑΝΤΑ	1.4077	0.6120
		ΑΡΤΑ	ΑΝΕΖΑ	1.2904	0.8494
		ΑΡΤΑ	ΚΑΤΩ ΚΑΛΕΝΤΙΝΗ	1.7595	0.8068
		ΘΕΣΠΡΩΤΙΑ	ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	1.9072	0.8316
		ΘΕΣΠΡΩΤΙΑ	ΦΙΛΙΑΤΕΣ	1.2302	0.6597
		ΙΩΑΝΝΙΝΑ	ΓΡΕΒΕΝΙΤΙΟ	1.4856	0.6686
		ΙΩΑΝΝΙΝΑ	ΒΑΣΙΛΙΚΟ	0.9756	0.5434
		ΠΡΕΒΕΖΑ	ΚΑΝΑΛΑΚΙ	1.5615	0.9061
		ΠΡΕΒΕΖΑ	ΛΟΥΡΟΣ	1.8035	0.8855
6	ΑΤΤΙΚΗ	ΑΤΤΙΚΗ	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	0.7093	1.1584
		ΦΩΚΙΔΑ	ΚΑΛΟΣΚΟΠΗ	1.0984	0.9789
7	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	ΒΟΙΩΤΙΑ	ΔΑΥΛΕΙΑ	0.8456	0.6650
		ΒΟΙΩΤΙΑ	ΑΓ. ΤΡΙΑΔΑ	1.3538	0.8272
		ΕΥΒΟΙΑ	ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	0.9556	0.8925
		ΕΥΒΟΙΑ	ΠΡΟΚΟΠΙΟΝ	1.4356	0.8552
		ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΑΤΑΛΑΝΤΗ	0.9165	1.0021
		ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΕΛΑΤΕΙΑ	0.7312	0.8081

		ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΔΡΥΜΑΙΑ	0.6596	0.6231
		ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΑΝΑΒΡΑ	1.0884	0.9088
8	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	0.6225	0.6905
		ΛΑΡΙΣΑ	ΖΑΠΠΕΙΟ	0.6209	0.8593
		ΛΑΡΙΣΑ	ΣΠΗΛΙΑ	0.4735	0.4293
		ΤΡΙΚΑΛΑ	ΕΛΑΤΗ	1.9819	0.8580
		ΤΡΙΚΑΛΑ	ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	0.6591	0.7516
		ΗΜΑΘΙΑ	ΚΑΣΤΑΝΙΑ	0.4711	0.5053
9	ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	0.4437	0.4738
		ΠΙΕΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΙΝΗ	0.8061	0.8834
		ΦΛΩΡΙΝΑ	ΚΟΥΛΑ ΠΡΕΣΠΩΝ	0.5790	0.6902
		ΚΟΖΑΝΗ	ΣΙΑΤΙΣΤΑ	0.3955	0.3681
		ΠΕΛΛΑ	ΠΑΡΑΛΙΜΝΗ ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ	0.5769	0.7611
10	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΚΙΑΚΙΣ	ΕΥΖΩΝΟΙ	0.5110	0.6723
		ΚΙΑΚΙΣ	ΠΟΛΥΚΑΣΤΡΟ	0.5720	0.6856
		ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ	ΑΡΝΑΙΑ	0.6290	0.6398
11	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΔΡΑΜΑ	ΔΡΑΜΑ	0.3518	0.5601
		ΣΕΡΡΕΣ	ΝΙΓΡΙΤΑ	0.2841	0.4195
		ΣΕΡΡΕΣ	ΑΛΙΣΤΡΑΤΗ	0.7874	0.7780
		ΣΕΡΡΕΣ	ΦΡΑΓΜΑ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	0.3569	0.6720
12	ΘΡΑΚΗ	ΔΡΑΜΑ	ΜΙΚΡΟΚΛΕΙΣΟΥΡΑ	1.1755	1.0070
		ΔΡΑΜΑ	ΠΑΡΑΝΕΣΤΙ	1.0240	1.1736
		ΕΒΡΟΣ	ΛΕΥΚΙΜΗ	1.0181	0.9663
		ΚΑΒΑΛΑ	ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	0.6899	0.8610
		ΞΑΝΘΗ	ΤΟΞΟΤΕΣ	0.7428	0.8006
		ΞΑΝΘΗ	ΚΙΜΜΕΡΙΑ	0.5119	0.4532
		ΡΟΔΟΠΗ	ΠΟΡΠΗ	0.8364	1.1129
		ΡΟΔΟΠΗ	ΟΡΓΑΝΗ	0.7492	0.7327
13	ΚΡΗΤΗ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ	0.7573	0.6596
		ΛΑΣΙΘΙ	ΖΑΚΡΟΣ	0.8878	0.8924
		ΡΕΘΥΜΝΟ	ΑΚΟΥΜΙΑ	1.4232	1.0061
		ΡΕΘΥΜΝΟ	ΑΡΜΕΝΟΙ	1.0680	0.6645
		ΧΑΝΙΑ	ΜΕΣΚΛΑ	1.7029	0.8787
		ΧΑΝΙΑ	ΣΤΡΟΒΙΛΕΣ	1.7721	1.0064
14	ΝΗΣΟΙ ΑΙΓΑΙΟΥ	ΝΑΞΟΣ	ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗ	0.4693	0.6837
		ΣΑΜΟΣ	ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ	0.4569	0.3992
		ΛΕΣΒΟΣ	ΚΕΡΑΜΕΙΑ	1.0805	0.9649

5.2.2 Μέθοδος μέγιστης άνομβρης περιόδου

Η διαστασιολόγηση δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων με τη μέθοδο της μέγιστης άνομβρης περιόδου πραγματοποιήθηκε για τους 75 σταθμούς μελέτης και οι όγκοι των ομβροδεξαμενών υπολογίστηκαν από την εξίσωση (4.11) για τη μέγιστη και μέση τιμή των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.5 και 5.6, αντίστοιχα.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ό,τι λαμβάνοντας υπόψη τη μέγιστη τιμή ($N_{dd,max}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων, οι μικρότεροι απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής υπολογίστηκαν, ως ήταν αναμενόμενο λόγω της μικρότερης μέγιστης άνομβρης περιόδου ($N_{dd,max}=46$ ημέρες), στο σταθμό “Άγναντα” Άρτας και κυμάνθηκαν μεταξύ 6.21 m^3 για την κάλυψη του 30% της ζήτησης των 3 κατοίκων και 17.25 m^3 για την κάλυψη του 50% της ζήτησης των 5 κατοίκων, ενώ οι μεγαλύτεροι απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής υπολογίστηκαν, ως ήταν αναμενόμενο λόγω της μεγαλύτερης μέγιστης άνομβρης περιόδου ($N_{dd,max}=217$ ημέρες), στο σταθμό “Κεράμεια” Λέσβου και κυμάνθηκαν μεταξύ 29.30 m^3 για την κάλυψη του 30% της ζήτησης των 3 κατοίκων και 81.35 m^3 για την κάλυψη του 50% της ζήτησης των 5 κατοίκων (Πίνακας 5.5). Κατ’ αντιστοιχία, λαμβάνοντας υπόψη τη μέση τιμή ($\overline{N_{dd}}$) των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων, οι μικρότεροι απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής υπολογίστηκαν στο σταθμό “Άγναντα” Άρτας ($\overline{N_{dd}}=33.6$ ημέρες) και κυμάνθηκαν μεταξύ 4.54 m^3 για την κάλυψη του 30% της ζήτησης των 3 κατοίκων και 12.61 m^3 για την κάλυψη του 50% της ζήτησης των 5 κατοίκων, ενώ οι μεγαλύτεροι απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής υπολογίστηκαν στο σταθμό “Καρλόβασι” Σάμου ($\overline{N_{dd}}=160.7$ ημέρες) και κυμάνθηκαν μεταξύ 21.70 m^3 για την κάλυψη του 30% της ζήτησης των 3 κατοίκων και 60.27 m^3 για την κάλυψη του 50% της ζήτησης των 5 κατοίκων (Πίνακας 5.6).

Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ως κριτήριο την τιμή μεγέθους ομβροδεξαμενής των 50 m^3 , που όπως έχει ήδη προαναφερθεί είναι πολεοδομικά και κτιριοδομικά εφικτή (Γ.Π.Σ. Πάρου, ΦΕΚ 148/Α.Α.Π/2-5-12), παρατηρείται ότι καλύπτονται οι ανάγκες ζήτησης έως και του 50% των 5 κατοίκων για άνομβρη περίοδο έως 133 ημέρες (Πίνακες 5.5 και 5.6). Κατά συνέπεια, στην περίπτωση χρήσης της μέσης τιμής των μέγιστων άνομβρων περιόδων, ομβροδεξαμενές 50 m^3 δεν επαρκούν για να καλύψουν πλήρως τη ζήτηση του 50% των 5 κατοίκων στη Ζάκρο Λασιθίου και στα νησιά του Αιγαίου που εξετάστηκαν.

Πίνακας 5.5: Όγκοι ομβροδεξαμενής, $V_{dd,max}$, υπολογισμένοι για τη μέγιστη τιμή, $N_{dd,max}$, των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων, N_{dd} , κάθε σταθμού και κάλυψη ζήτησης του $p=30\%-50\%$ της ημερήσιας κατανάλωσης $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα των $N_{cap}=3-5$ κατοίκους.

ΥΔ	Νομός	Σταθμός	$N_{dd,max}$ (ημέρες)	$V_{dd,max}$ (m ³)								
				$p=30\%$			$p=40\%$			$p=50\%$		
				$N_{cap}=3$	$N_{cap}=4$	$N_{cap}=5$	$N_{cap}=3$	$N_{cap}=4$	$N_{cap}=5$	$N_{cap}=3$	$N_{cap}=4$	$N_{cap}=5$
1	ΗΛΕΙΑ	ΣΤΡΕΦΙΟ	154	20.79	27.72	34.65	27.72	36.96	46.20	34.65	46.20	57.75
	ΜΕΣΣΗΝΙΑ	ΑΝΑΛΗΨΗ	143	19.31	25.74	32.18	25.74	34.32	42.90	32.18	42.90	53.63
	ΑΡΚΑΔΙΑ	ΚΑΡΥΤΑΙΝΑ	108	14.58	19.44	24.30	19.44	25.92	32.40	24.30	32.40	40.50
	ΑΧΑΙΑ	ΑΝΩ ΛΟΥΣΟΙ	114	15.39	20.52	25.65	20.52	27.36	34.20	25.65	34.20	42.75
2	ΑΧΑΙΑ	ΠΟΡΤΕΣ	138	18.63	24.84	31.05	24.84	33.12	41.40	31.05	41.40	51.75
	ΑΧΑΙΑ	ΑΣΤΕΡΙ	193	26.06	34.74	43.43	34.74	46.32	57.90	43.43	57.90	72.38
	ΑΧΑΙΑ	ΔΡΟΣΑΤΟ	110	14.85	19.80	24.75	19.80	26.40	33.00	24.75	33.00	41.25
	ΑΧΑΙΑ	ΑΙΓΙΟ	135	18.23	24.30	30.38	24.30	32.40	40.50	30.38	40.50	50.63
	ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΚΑΣΤΑΝΙΑ	134	18.09	24.12	30.15	24.12	32.16	40.20	30.15	40.20	50.25
	ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΛΕΟΝΤΙΟ	150	20.25	27.00	33.75	27.00	36.00	45.00	33.75	45.00	56.25
	ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΝΕΜΕΑ	119	16.07	21.42	26.78	21.42	28.56	35.70	26.78	35.70	44.63
	ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΣΠΑΘΟΒΟΥΝΙ	178	24.03	32.04	40.05	32.04	42.72	53.40	40.05	53.40	66.75
3	ΑΡΚΑΔΙΑ	ΚΑΝΔΗΛΑ	86	11.61	15.48	19.35	15.48	20.64	25.80	19.35	25.80	32.25
	ΑΡΚΑΔΙΑ	ΝΕΣΤΑΝΗ	134	18.09	24.12	30.15	24.12	32.16	40.20	30.15	40.20	50.25
	ΑΡΓΟΛΙΔΑ	ΝΕΟΧΩΡΙΟ	117	15.80	21.06	26.33	21.06	28.08	35.10	26.33	35.10	43.88
	ΛΑΚΩΝΙΑ	ΒΡΟΝΤΑΜΑΣ	154	20.79	27.72	34.65	27.72	36.96	46.20	34.65	46.20	57.75
4	ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	113	15.26	20.34	25.43	20.34	27.12	33.90	25.43	33.90	42.38
	ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ	104	14.04	18.72	23.40	18.72	24.96	31.20	23.40	31.20	39.00
	ΕΥΡΥΤΑΝΙΑ	ΚΑΡΠΙΕΝΗΣΙ	87	11.75	15.66	19.58	15.66	20.88	26.10	19.58	26.10	32.63

	ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΞΥΑ	92	12.42	16.56	20.70	16.56	22.08	27.60	20.70	27.60	34.50
	ΦΩΚΙΔΑ	ΠΥΡΑ	77	10.40	13.86	17.33	13.86	18.48	23.10	17.33	23.10	28.88
	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑ	ΦΙΛΙΑΤΕΣ	113	15.26	20.34	25.43	20.34	27.12	33.90	25.43	33.90	42.38
	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑ	ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	84	11.34	15.12	18.90	15.12	20.16	25.20	18.90	25.20	31.50
	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	ΒΑΣΙΛΙΚΟ	79	10.67	14.22	17.78	14.22	18.96	23.70	17.78	23.70	29.63
	ΠΡΕΒΕΖΑ	ΚΑΝΑΛΑΚΙ	110	14.85	19.80	24.75	19.80	26.40	33.00	24.75	33.00	41.25
5	ΠΡΕΒΕΖΑ	ΛΟΥΡΟΣ	87	11.75	15.66	19.58	15.66	20.88	26.10	19.58	26.10	32.63
	ΑΡΤΑ	ΑΝΕΖΑ	106	14.31	19.08	23.85	19.08	25.44	31.80	23.85	31.80	39.75
	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	ΓΡΕΒΕΝΙΤΙΟ	56	7.56	10.08	12.60	10.08	13.44	16.80	12.60	16.80	21.00
	ΑΡΤΑ	ΚΑΤΩ ΚΑΛΕΝΤΙΝΗ	87	11.75	15.66	19.58	15.66	20.88	26.10	19.58	26.10	32.63
	ΑΡΤΑ	ΑΓΝΑΝΤΑ	46	6.21	8.28	10.35	8.28	11.04	13.80	10.35	13.80	17.25
6	ΑΤΤΙΚΗ	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	191	25.79	34.38	42.98	34.38	45.84	57.30	42.98	57.30	71.63
	ΦΩΚΙΔΑ	ΚΑΛΟΣΚΟΠΗ	136	18.36	24.48	30.60	24.48	32.64	40.80	30.60	40.80	51.00
	ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΔΡΥΜΑΙΑ	132	17.82	23.76	29.70	23.76	31.68	39.60	29.70	39.60	49.50
	ΒΟΙΩΤΙΑ	ΔΑΥΛΕΙΑ	169	22.82	30.42	38.03	30.42	40.56	50.70	38.03	50.70	63.38
	ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΕΛΑΤΕΙΑ	128	17.28	23.04	28.80	23.04	30.72	38.40	28.80	38.40	48.00
7	ΒΟΙΩΤΙΑ	ΑΓ. ΤΡΙΑΔΑ	97	13.10	17.46	21.83	17.46	23.28	29.10	21.83	29.10	36.38
	ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΑΤΑΛΑΝΤΗ	111	14.99	19.98	24.98	19.98	26.64	33.30	24.98	33.30	41.63
	ΕΥΒΟΙΑ	ΠΡΟΚΟΠΙΟΝ	116	15.66	20.88	26.10	20.88	27.84	34.80	26.10	34.80	43.50
	ΕΥΒΟΙΑ	ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	168	22.68	30.24	37.80	30.24	40.32	50.40	37.80	50.40	63.00
	ΤΡΙΚΑΛΑ	ΕΛΑΤΗ	64	8.64	11.52	14.40	11.52	15.36	19.20	14.40	19.20	24.00
	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	99	13.37	17.82	22.28	17.82	23.76	29.70	22.28	29.70	37.13
	ΤΡΙΚΑΛΑ	ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	98	13.23	17.64	22.05	17.64	23.52	29.40	22.05	29.40	36.75
8	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΑΝΑΒΡΑ	104	14.04	18.72	23.40	18.72	24.96	31.20	23.40	31.20	39.00
	ΛΑΡΙΣΑ	ΖΑΠΠΕΙΟ	102	13.77	18.36	22.95	18.36	24.48	30.60	22.95	30.60	38.25
	ΛΑΡΙΣΑ	ΣΠΗΛΙΑ	96	12.96	17.28	21.60	17.28	23.04	28.80	21.60	28.80	36.00
	ΦΛΩΡΙΝΑ	ΚΟΥΛΑ ΠΡΕΣΠΩΝ	59	7.97	10.62	13.28	10.62	14.16	17.70	13.28	17.70	22.13
9	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	58	7.83	10.44	13.05	10.44	13.92	17.40	13.05	17.40	21.75
	ΚΟΖΑΝΗ	ΣΙΑΤΙΣΤΑ	68	9.18	12.24	15.30	12.24	16.32	20.40	15.30	20.40	25.50

	ΗΜΑΘΙΑ	ΚΑΣΤΑΝΙΑ	57	7.70	10.26	12.83	10.26	13.68	17.10	12.83	17.10	21.38
	ΠΕΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΙΝΗ	67	9.05	12.06	15.08	12.06	16.08	20.10	15.08	20.10	25.13
10	ΠΕΛΛΑ	ΠΑΡΑΛΙΜΝΗ ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ	75	10.13	13.50	16.88	13.50	18.00	22.50	16.88	22.50	28.13
	ΚΙΑΚΙΣ	ΕΥΖΩΝΟΙ	54	7.29	9.72	12.15	9.72	12.96	16.20	12.15	16.20	20.25
	ΚΙΑΚΙΣ	ΠΟΛΥΚΑΣΤΡΟ	55	7.43	9.90	12.38	9.90	13.20	16.50	12.38	16.50	20.63
	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ	ΑΡΝΑΙΑ	90	12.15	16.20	20.25	16.20	21.60	27.00	20.25	27.00	33.75
11	ΣΕΡΡΕΣ	ΦΡΑΓΜΑ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	104	14.04	18.72	23.40	18.72	24.96	31.20	23.40	31.20	39.00
	ΣΕΡΡΕΣ	ΝΙΓΡΙΤΑ	122	16.47	21.96	27.45	21.96	29.28	36.60	27.45	36.60	45.75
	ΣΕΡΡΕΣ	ΑΛΙΣΤΡΑΤΗ	52	7.02	9.36	11.70	9.36	12.48	15.60	11.70	15.60	19.50
	ΔΡΑΜΑ	ΔΡΑΜΑ	53	7.16	9.54	11.93	9.54	12.72	15.90	11.93	15.90	19.88
12	ΔΡΑΜΑ	ΜΙΚΡΟΚΛΕΙΣΟΥΡΑ	80	10.80	14.40	18.00	14.40	19.20	24.00	18.00	24.00	30.00
	ΔΡΑΜΑ	ΠΑΡΑΝΕΣΤΙ	93	12.56	16.74	20.93	16.74	22.32	27.90	20.93	27.90	34.88
	ΚΑΒΑΛΑ	ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	77	10.40	13.86	17.33	13.86	18.48	23.10	17.33	23.10	28.88
	ΞΑΝΘΗ	ΚΙΜΜΕΡΙΑ	62	8.37	11.16	13.95	11.16	14.88	18.60	13.95	18.60	23.25
	ΞΑΝΘΗ	ΤΟΞΟΤΕΣ	64	8.64	11.52	14.40	11.52	15.36	19.20	14.40	19.20	24.00
	ΡΟΔΟΠΗ	ΠΟΡΠΗ	113	15.26	20.34	25.43	20.34	27.12	33.90	25.43	33.90	42.38
	ΡΟΔΟΠΗ	ΟΡΓΑΝΗ	77	10.40	13.86	17.33	13.86	18.48	23.10	17.33	23.10	28.88
	ΕΒΡΟΣ	ΛΕΥΚΙΜΗ	106	14.31	19.08	23.85	19.08	25.44	31.80	23.85	31.80	39.75
13	ΧΑΝΙΑ	ΣΤΡΟΒΙΛΕΣ	169	22.82	30.42	38.03	30.42	40.56	50.70	38.03	50.70	63.38
	ΧΑΝΙΑ	ΜΕΣΚΛΑ	188	25.38	33.84	42.30	33.84	45.12	56.40	42.30	56.40	70.50
	ΡΕΘΥΜΝΟ	ΑΡΜΕΝΟΙ	155	20.93	27.90	34.88	27.90	37.20	46.50	34.88	46.50	58.13
	ΡΕΘΥΜΝΟ	ΑΚΟΥΜΙΑ	208	28.08	37.44	46.80	37.44	49.92	62.40	46.80	62.40	78.00
	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ	183	24.71	32.94	41.18	32.94	43.92	54.90	41.18	54.90	68.63
	ΛΑΣΙΘΙ	ΖΑΚΡΟΣ	214	28.89	38.52	48.15	38.52	51.36	64.20	48.15	64.20	80.25
14	ΝΑΞΟΣ	ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗ	196	26.46	35.28	44.10	35.28	47.04	58.80	44.10	58.80	73.50
	ΣΑΜΟΣ	ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ	189	25.52	34.02	42.53	34.02	45.36	56.70	42.53	56.70	70.88
	ΛΕΣΒΟΣ	ΚΕΡΑΜΕΙΑ	217	29.30	39.06	48.83	39.06	52.08	65.10	48.83	65.10	81.38

Πίνακας 5.6: Όγκοι ομβροδεξαμενής, $\overline{V_{dd}}$, υπολογισμένοι για τη μέση τιμή, $\overline{N_{dd}}$, των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων, N_{dd} , κάθε σταθμού και κάλυψη ζήτησης του $p=30\%-50\%$ της ημερήσιας κατανάλωσης $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα των $N_{cap}=3-5$ κατοίκους.

ΥΔ	Νομός	Σταθμός	$\overline{N_{dd}}$ (ημέρες)	$\overline{V_{dd}}$ (m ³)								
				$p=30\%$			$p=40\%$			$p=50\%$		
				$N_{cap}=3$	$N_{cap}=4$	$N_{cap}=5$	$N_{cap}=3$	$N_{cap}=4$	$N_{cap}=5$	$N_{cap}=3$	$N_{cap}=4$	$N_{cap}=5$
1	ΗΛΕΙΑ	ΣΤΡΕΦΙΟ	84.7	11.43	15.24	19.05	15.24	20.33	25.41	19.05	25.41	31.76
	ΜΕΣΣΗΝΙΑ	ΑΝΑΛΗΨΗ	74.2	10.02	13.35	16.69	13.35	17.81	22.26	16.69	22.26	27.82
	ΑΡΚΑΔΙΑ	ΚΑΡΥΤΑΙΝΑ	67.7	9.14	12.18	15.23	12.18	16.24	20.30	15.23	20.30	25.38
	ΑΧΑΙΑ	ΑΝΩ ΛΟΥΣΟΙ	58.6	7.91	10.55	13.19	10.55	14.07	17.59	13.19	17.59	21.98
2	ΑΧΑΙΑ	ΠΟΡΤΕΣ	76.2	10.29	13.71	17.14	13.71	18.29	22.86	17.14	22.86	28.57
	ΑΧΑΙΑ	ΑΣΤΕΡΙ	103.3	13.95	18.60	23.25	18.60	24.80	30.99	23.25	30.99	38.74
	ΑΧΑΙΑ	ΔΡΟΣΑΤΟ	60.9	8.22	10.96	13.70	10.96	14.61	18.26	13.70	18.26	22.83
	ΑΧΑΙΑ	ΑΙΓΙΟ	74.9	10.11	13.48	16.85	13.48	17.97	22.46	16.85	22.46	28.08
	ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΚΑΣΤΑΝΙΑ	55.8	7.53	10.04	12.54	10.04	13.38	16.73	12.54	16.73	20.91
	ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΛΕΟΝΤΙΟ	73.8	9.96	13.28	16.59	13.28	17.70	22.13	16.59	22.13	27.66
	ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΝΕΜΕΑ	64.1	8.66	11.54	14.43	11.54	15.39	19.24	14.43	19.24	24.05
	ΚΟΡΙΝΘΙΑ	ΣΠΑΘΟΒΟΥΝΙ	86.2	11.64	15.51	19.39	15.51	20.69	25.86	19.39	25.86	32.32
3	ΑΡΚΑΔΙΑ	ΚΑΝΔΗΛΑ	50.3	6.79	9.06	11.32	9.06	12.08	15.09	11.32	15.09	18.87
	ΑΡΚΑΔΙΑ	ΝΕΣΤΑΝΗ	53.3	7.20	9.60	12.00	9.60	12.80	15.99	12.00	15.99	19.99
	ΑΡΓΟΛΙΔΑ	ΝΕΟΧΩΡΙΟ	50.2	6.78	9.03	11.29	9.03	12.05	15.06	11.29	15.06	18.82
	ΛΑΚΩΝΙΑ	ΒΡΟΝΤΑΜΑΣ	75.8	10.23	13.64	17.04	13.64	18.18	22.73	17.04	22.73	28.41
4	ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	68.1	9.19	12.25	15.31	12.25	16.34	20.42	15.31	20.42	25.52
	ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ	52.4	7.08	9.44	11.80	9.44	12.59	15.73	11.80	15.73	19.66
	ΕΥΡΥΤΑΝΙΑ	ΚΑΡΠΙΕΝΗΣΙ	42.2	5.70	7.59	9.49	7.59	10.13	12.66	9.49	12.66	15.82

	ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ	ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΞΥΑ	46.5	6.28	8.37	10.46	8.37	11.16	13.95	10.46	13.95	17.44
	ΦΩΚΙΔΑ	ΠΥΡΑ	40.2	5.43	7.23	9.04	7.23	9.65	12.06	9.04	12.06	15.07
	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑ	ΦΙΛΙΑΤΕΣ	66.9	9.03	12.04	15.05	12.04	16.05	20.06	15.05	20.06	25.08
	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑ	ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	39.1	5.27	7.03	8.79	7.03	9.38	11.72	8.79	11.72	14.65
	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	ΒΑΣΙΛΙΚΟ	43.7	5.90	7.86	9.83	7.86	10.49	13.11	9.83	13.11	16.38
	ΠΡΕΒΕΖΑ	ΚΑΝΑΛΑΚΙ	54.3	7.32	9.77	12.21	9.77	13.02	16.28	12.21	16.28	20.34
5	ΠΡΕΒΕΖΑ	ΛΟΥΡΟΣ	58.3	7.86	10.49	13.11	10.49	13.98	17.48	13.11	17.48	21.84
	ΑΡΤΑ	ΑΝΕΖΑ	64.5	8.71	11.61	14.51	11.61	15.48	19.35	14.51	19.35	24.19
	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	ΓΡΕΒΕΝΙΤΙΟ	34.3	4.63	6.18	7.72	6.18	8.24	10.29	7.72	10.29	12.87
	ΑΡΤΑ	ΚΑΤΩ ΚΑΛΕΝΤΙΝΗ	54.6	7.37	9.82	12.28	9.82	13.10	16.37	12.28	16.37	20.46
	ΑΡΤΑ	ΑΓΝΑΝΤΑ	33.6	4.54	6.05	7.57	6.05	8.07	10.09	7.57	10.09	12.61
6	ΑΤΤΙΚΗ	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	126.7	17.10	22.80	28.50	22.80	30.41	38.01	28.50	38.01	47.51
	ΦΩΚΙΔΑ	ΚΑΛΟΣΚΟΠΗ	68.4	9.23	12.31	15.38	12.31	16.41	20.51	15.38	20.51	25.64
	ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΔΡΥΜΑΙΑ	59.9	8.08	10.78	13.47	10.78	14.37	17.96	13.47	17.96	22.45
	ΒΟΙΩΤΙΑ	ΔΑΥΛΕΙΑ	86.5	11.68	15.57	19.46	15.57	20.76	25.95	19.46	25.95	32.44
7	ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΕΛΑΤΕΙΑ	65.3	8.81	11.75	14.68	11.75	15.66	19.58	14.68	19.58	24.47
	ΒΟΙΩΤΙΑ	ΑΓ. ΤΡΙΑΔΑ	61.4	8.29	11.06	13.82	11.06	14.75	18.43	13.82	18.43	23.04
	ΦΘΙΩΤΙΔΑ	ΑΤΑΛΑΝΤΗ	61.3	8.27	11.03	13.78	11.03	14.70	18.38	13.78	18.38	22.97
	ΕΥΒΟΙΑ	ΠΡΟΚΟΠΙΟΝ	62.0	8.37	11.16	13.95	11.16	14.88	18.60	13.95	18.60	23.25
	ΕΥΒΟΙΑ	ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	89.1	12.03	16.04	20.05	16.04	21.39	26.74	20.05	26.74	33.42
	ΤΡΙΚΑΛΑ	ΕΛΑΤΗ	45.4	6.13	8.18	10.22	8.18	10.91	13.63	10.22	13.63	17.04
	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	48.0	6.48	8.64	10.80	8.64	11.52	14.40	10.80	14.40	18.00
8	ΤΡΙΚΑΛΑ	ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	51.8	6.99	9.33	11.66	9.33	12.44	15.54	11.66	15.54	19.43
	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	ΑΝΑΒΡΑ	54.2	7.32	9.75	12.19	9.75	13.01	16.26	12.19	16.26	20.32
	ΛΑΡΙΣΑ	ΖΑΠΠΕΙΟ	54.8	7.40	9.87	12.33	9.87	13.16	16.44	12.33	16.44	20.55
	ΛΑΡΙΣΑ	ΣΠΗΛΙΑ	52.9	7.15	9.53	11.91	9.53	12.71	15.88	11.91	15.88	19.85
	ΦΛΩΡΙΝΑ	ΚΟΥΛΑ ΠΡΕΣΠΩΝ	34.0	4.59	6.12	7.65	6.12	8.16	10.20	7.65	10.20	12.75
9	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	34.9	4.71	6.28	7.85	6.28	8.38	10.47	7.85	10.47	13.09
	ΚΟΖΑΝΗ	ΣΙΑΤΙΣΤΑ	40.0	5.40	7.20	9.00	7.20	9.60	12.00	9.00	12.00	15.00

	ΗΜΑΘΙΑ	ΚΑΣΤΑΝΙΑ	36.5	4.93	6.58	8.22	6.58	8.77	10.96	8.22	10.96	13.70
	ΠΕΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΙΝΗ	43.5	5.87	7.83	9.79	7.83	10.44	13.05	9.79	13.05	16.31
10	ΠΕΛΛΑ	ΠΑΡΑΛΙΜΝΗ ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ	48.3	6.52	8.69	10.87	8.69	11.59	14.49	10.87	14.49	18.11
	ΚΙΑΚΙΣ	ΕΥΖΩΝΟΙ	43.1	5.82	7.76	9.70	7.76	10.34	12.93	9.70	12.93	16.16
	ΚΙΑΚΙΣ	ΠΟΛΥΚΑΣΤΡΟ	44.4	5.99	7.99	9.99	7.99	10.66	13.32	9.99	13.32	16.65
	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ	ΑΡΝΑΙΑ	43.5	5.87	7.83	9.79	7.83	10.44	13.05	9.79	13.05	16.31
11	ΣΕΡΡΕΣ	ΦΡΑΓΜΑ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	51.7	6.98	9.30	11.63	9.30	12.41	15.51	11.63	15.51	19.38
	ΣΕΡΡΕΣ	ΝΙΓΡΙΤΑ	50.5	6.82	9.09	11.36	9.09	12.12	15.15	11.36	15.15	18.94
	ΣΕΡΡΕΣ	ΑΛΙΣΤΡΑΤΗ	34.5	4.66	6.21	7.76	6.21	8.28	10.35	7.76	10.35	12.94
	ΔΡΑΜΑ	ΔΡΑΜΑ	37.5	5.06	6.75	8.44	6.75	9.00	11.25	8.44	11.25	14.06
12	ΔΡΑΜΑ	ΜΙΚΡΟΚΛΕΙΣΟΥΡΑ	42.6	5.75	7.67	9.59	7.67	10.23	12.79	9.59	12.79	15.98
	ΔΡΑΜΑ	ΠΑΡΑΝΕΣΤΙ	47.5	6.41	8.55	10.69	8.55	11.40	14.25	10.69	14.25	17.81
	ΚΑΒΑΛΑ	ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	42.3	5.70	7.61	9.51	7.61	10.14	12.68	9.51	12.68	15.84
	ΞΑΝΘΗ	ΚΙΜΜΕΡΙΑ	39.5	5.33	7.11	8.89	7.11	9.48	11.85	8.89	11.85	14.81
	ΞΑΝΘΗ	ΤΟΞΟΤΕΣ	37.1	5.01	6.68	8.35	6.68	8.91	11.14	8.35	11.14	13.92
	ΡΟΔΟΠΗ	ΠΟΡΠΗ	47.1	6.36	8.48	10.60	8.48	11.31	14.14	10.60	14.14	17.67
	ΡΟΔΟΠΗ	ΟΡΓΑΝΗ	46.6	6.29	8.38	10.48	8.38	11.18	13.97	10.48	13.97	17.46
	ΕΒΡΟΣ	ΛΕΥΚΙΜΗ	49.7	6.71	8.94	11.18	8.94	11.93	14.91	11.18	14.91	18.63
13	ΧΑΝΙΑ	ΣΤΡΟΒΙΛΕΣ	124.5	16.81	22.41	28.01	22.41	29.88	37.35	28.01	37.35	46.69
	ΧΑΝΙΑ	ΜΕΣΚΛΑ	125.9	17.00	22.67	28.34	22.67	30.23	37.78	28.34	37.78	47.23
	ΡΕΘΥΜΝΟ	ΑΡΜΕΝΟΙ	118.7	16.02	21.36	26.70	21.36	28.49	35.61	26.70	35.61	44.51
	ΡΕΘΥΜΝΟ	ΑΚΟΥΜΙΑ	136.8	18.47	24.63	30.78	24.63	32.84	41.04	30.78	41.04	51.30
	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ	129.1	17.43	23.24	29.05	23.24	30.99	38.74	29.05	38.74	48.42
	ΛΑΣΙΘΙ	ΖΑΚΡΟΣ	144.1	19.46	25.94	32.43	25.94	34.59	43.24	32.43	43.24	54.05
14	ΝΑΞΟΣ	ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗ	152.9	20.64	27.51	34.39	27.51	36.69	45.86	34.39	45.86	57.32
	ΣΑΜΟΣ	ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ	160.7	21.70	28.93	36.16	28.93	38.57	48.21	36.16	48.21	60.27
	ΛΕΣΒΟΣ	ΚΕΡΑΜΕΙΑ	144.1	19.45	25.94	32.42	25.94	34.58	43.23	32.42	43.23	54.04

5.3 Σύγκριση μεθόδων διαστασιολόγησης

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων διαφόρων σταθμών που ανήκουν σε διαφορετικά ΥΔ και χαρακτηρίζονται από διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς. Επιλέχθηκαν ζεύγη σταθμών με παρόμοια μέση ετήσια βροχόπτωση, \bar{P} , και μεγάλη διαφορά στις τιμές της μέγιστης άνομβρης περιόδου, $N_{dd,max}$. Συγκεκριμένα, αξιολογήθηκαν σταθμοί με: α) υψηλή \bar{P} (“Άγναντα” Άρτας και “Μεσκλά” Χανίων), β) χαμηλή \bar{P} (“Φανερωμένη” Νάξου και “Δράμα”), και γ) μέτρια \bar{P} (“Κιμμέρια” Ξάνθης και “Κεράμεια” Λέσβου). Στους Πίνακες 5.7-5.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης των ομβροδεξαμενών για τις περιοχές αυτές και με τις δύο μεθόδους (ημερήσιο υδατικό ισοζύγιο και μέγιστη άνομβρη περίοδο) για την κάλυψη ζήτησης του 30% έως 50% των 3 έως 5 κατοίκων και για επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων από 100 έως 300 m².

Οι τιμές των όγκων ομβροδεξαμενής που εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα στους Πίνακες 5.7-5.9 είναι ιδιαίτερα υψηλές διότι αναφέρονται σε επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων μικρότερες από τις ελάχιστες απαιτούμενες για την κάλυψη των συγκεκριμένων αναγκών, όπως προσδιορίστηκαν από την εξίσωση της ετήσιας προσφοράς ομβρίων και της ετήσιας ζήτησης.

Γενικά, η σύγκριση των αποτελεσμάτων, που προέκυψαν από τη μέθοδο του ημερήσιου ισοζυγίου, έδειξε ότι οι μικρότεροι όγκοι ομβροδεξαμενής παρατηρούνται στο σταθμό “Άγναντα” Άρτας, καθώς ο σταθμός αυτός έχει ταυτόχρονα υψηλή \bar{P} και χαμηλή $N_{dd,max}$, ενώ οι μεγαλύτεροι όγκοι παρατηρούνται στο σταθμό “Φανερωμένη” Νάξου που έχει ταυτόχρονα χαμηλή \bar{P} και υψηλή $N_{dd,max}$ (Πίνακες 5.7-5.9).

Είναι φανερό ότι η τιμή $N_{dd,max}$ ασκεί ισχυρή επίδραση στο μέγεθος της ομβροδεξαμενής, καθώς παρατηρείται αξιοσημείωτη διαφορά στους απαιτούμενους όγκους ομβροδεξαμενών τόσο μεταξύ σταθμών με παρόμοια \bar{P} και αξιόλογη διαφορά στη $N_{dd,max}$ (π.χ. “Άγναντα” και “Μεσκλά”), όσο και μεταξύ σταθμών με αξιόλογη διαφορά στις τιμές \bar{P} και $N_{dd,max}$ (π.χ. “Κιμμέρια” και “Μεσκλά”), όπως φαίνεται στους Πίνακες 5.7-5.9.

Η μικρή τιμή της $N_{dd,max}$ είναι καθοριστική και εν τέλει εκείνη που θα οδηγήσει σε διαστασιολόγηση μικρότερων ομβροδεξαμενών για την κάλυψη της ζήτησης, σε σχέση με την τιμή \bar{P} , εκτός από τις περιπτώσεις υψηλών αναγκών (π.χ. 50% των 4 ή 5 κατοίκων) όπου επιδρά και η μικρή τιμή \bar{P} , όπως συμβαίνει στην περίπτωση του σταθμού “Δράμα”

(Πίνακας 5.7-5.9). Επίσης, σε περιοχές με μικρή \bar{P} , ανεξαρτήτως $N_{dd,max}$, οι μεγάλες ανάγκες (50% των 4 ή 5 κατοίκων) απαιτούν επιφάνειες συλλογής ομβρίων μεγαλύτερες των 300 m² (Πίνακας 5.9).

Οι όγκοι ομβροδεξαμενής που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου της μέγιστης άνομβρης περιόδου (λαμβάνοντας υπόψη την τιμή $N_{dd,max}$), σε γενικές γραμμές, είναι αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές του ημερήσιου ισοζυγίου και προσεγγίζουν αυτές μόνο στην περίπτωση της κάλυψης χαμηλών αναγκών (30% των 3-5 κατοίκων) για μεγάλες επιφάνειες συλλογής ομβρίων (μεγαλύτερες των 300 m²) και σε σταθμούς με μεγάλη άνομβρη περίοδο και μέτρια έως υψηλή βροχόπτωση (Πίνακες 5.7-5.9). Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του σταθμού “Μεσκλά” Χανίων (υψηλή \bar{P} και υψηλή $N_{dd,max}$), όπου οι τιμές του υπολογισμένου όγκου $V_{dd,max}$ εξομοιώνονται με αυτές που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο του ημερήσιου ισοζυγίου για επιφάνειες ίσες και μεγαλύτερες των 300 m², για όλες τις ανάγκες που μελετήθηκαν.

Στην περίπτωση της χρήσης της μέσης τιμής των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων, $\overline{N_{dd}}$, για τη διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής, οι τιμές όγκου που προκύπτουν είναι αρκετά μικρότερες από τις τιμές της μεθόδου του ημερήσιου ισοζυγίου, σε όλες τις περιπτώσεις, όπως είναι αναμενόμενο (Πίνακες 5.7-5.9).

Πίνακας 5.7: Απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής, $V_{opt,t}$, με τη μέθοδο του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για την κάλυψη του $p=30\%$ της ημερήσιας ζήτησης $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα των $N_{cap}=3$ έως 5 κατοίκων με επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων έκτασης 100, 150, 200, 250 και 300 m² και μηδενική χρήση δημόσιας παροχής ύδατος. Απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής, $V_{dd,max}$ και $\overline{V_{dd}}$, με τη μέθοδο της μέγιστης άνομβρης περιόδου για τη μέγιστη, $N_{dd,max}$, και τη μέση τιμή $\overline{N_{dd}}$ των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων, αντίστοιχα. Οι τιμές με κόκκινο χρώμα αναφέρονται σε επιφάνειες συλλογής ομβρίων μικρότερες από τις ελάχιστες απαιτούμενες για την κάλυψη των συγκεκριμένων αναγκών.

Σταθμός	\bar{P} (mm)	$N_{dd,max}$ (ημέρες)	$\overline{N_{dd}}$ (ημέρες)	N_{cap}	$V_{opt,t}$ (m ³)					$V_{dd,max}$ (m ³)	$\overline{V_{dd}}$ (m ³)
					$p=30\%$						
					100	150	200	250	300		
Αγναντα (Αρτα, ΥΔ5)	1399.4	46	33.6	3	13.03	10.91	9.05	8.64	8.23	6.21	4.54
				4	18.79	16.67	14.54	12.42	11.79	8.28	6.05
				5	28.46	22.43	20.30	18.18	16.06	10.35	7.57
Μεσκλά (Χανιά, ΥΔ13)	1178.9	188	125.9	3	26.85	25.87	25.38	25.38	25.38	25.38	17.00
				4	45.77	35.45	34.49	33.84	33.84	33.84	22.67
				5	73.89	45.35	44.07	43.11	42.30	42.30	28.34
Κιμμέρια (Ξάνθη, ΥΔ12)	687.1	62	39.5	3	22.32	16.09	14.48	12.87	11.34	8.37	5.33
				4	73.26	25.81	21.46	19.85	18.23	11.16	7.11
				5	198.49	42.37	30.19	26.82	25.21	13.95	8.89
Κεράμεια (Λέσβος, ΥΔ14)	678.6	217	144.1	3	63.90	48.40	32.90	31.82	31.46	29.30	19.45
				4	144.50	80.03	64.53	49.03	42.66	39.06	25.94
				5	358.77	115.60	96.17	80.66	65.16	48.83	32.42
Δράμα (ΥΔ11)	382.0	53	37.5	3	212.62	43.94	22.72	13.41	12.77	7.16	5.06
				4	442.53	204.00	58.59	35.82	21.34	9.54	6.75
				5	672.44	433.89	195.49	73.24	49.00	11.93	8.44
Φανερωμένη (Νάξος, ΥΔ14)	417.6	196	152.9	3	102.57	58.73	51.71	44.69	37.67	26.46	20.64
				4	207.29	107.47	78.30	71.28	64.26	35.28	27.51
				5	313.67	204.73	117.58	97.88	90.86	44.10	34.39

Πίνακας 5.8: Απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής, $V_{opt,t}$, με τη μέθοδο του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για την κάλυψη του $p=40\%$ της ημερήσιας ζήτησης $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα των $N_{cap}=3$ έως 5 κατοίκων με επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων έκτασης 100, 150, 200, 250 και 300 m² και μηδενική χρήση δημόσιας παροχής ύδατος. Απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής, $V_{dd,max}$ και $\overline{V_{dd}}$, με τη μέθοδο της μέγιστης άνομβρης περιόδου για τη μέγιστη, $N_{dd,max}$, και τη μέση τιμή $\overline{N_{dd}}$ των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων, αντίστοιχα. Οι τιμές με κόκκινο χρώμα αναφέρονται σε επιφάνειες συλλογής ομβριών μικρότερες από τις ελάχιστες απαιτούμενες για την κάλυψη των συγκεκριμένων αναγκών.

Σταθμός	\bar{P} (mm)	$N_{dd,max}$ (ημέρες)	$\overline{N_{dd}}$ (ημέρες)	N_{cap}	$V_{opt,t}$ (m ³)					$V_{dd,max}$ (m ³)	$\overline{V_{dd}}$ (m ³)
					$p=40\%$						
					100	150	200	250	300		
Αγναντα (Αρτα, ΥΔ5)	1399.4	46	33.6	3	18.79	16.67	14.54	12.42	11.79	8.28	6.05
				4	33.17	24.35	22.22	20.10	17.98	11.04	8.07
				5	65.97	32.10	29.90	27.78	25.66	13.80	10.09
Μεσκλά (Χανιά, ΥΔ13)	1178.9	188	125.9	3	45.77	35.45	34.49	33.84	33.84	33.84	22.67
				4	83.27	51.05	47.27	46.31	45.34	45.12	30.23
				5	206.25	87.40	60.47	59.09	58.12	56.40	37.78
Κιμμέρια (Ξάνθη, ΥΔ12)	687.1	62	39.5	3	73.26	25.81	21.46	19.85	18.38	11.16	7.11
				4	246.13	57.69	34.42	29.15	27.53	14.88	9.48
				5	436.71	178.63	56.50	43.02	36.83	18.60	11.85
Κεράμεια (Λέσβος, ΥΔ14)	678.6	217	144.1	3	144.50	80.03	64.53	49.03	42.66	39.06	25.94
				4	444.27	142.42	106.71	91.21	75.71	52.08	34.58
				5	786.27	337.38	154.13	133.39	117.89	65.10	43.23
Δράμα (ΥΔ11)	382.0	53	37.5	3	207.29	107.47	78.30	71.28	64.26	35.28	25.71
				4	349.13	240.13	143.29	106.74	99.72	47.04	36.69
				5	497.59	381.85	272.98	179.11	135.33	58.80	45.86
Φανερωμένη (Νάξος, ΥΔ14)	417.6	196	152.9	3	442.35	203.94	58.59	35.82	21.34	9.54	6.75
				4	748.83	510.29	271.91	102.36	59.20	12.72	9.00
				5	1055.61	817.07	578.52	340.01	129.86	15.90	11.25

Πίνακας 5.9: Απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής, $V_{opt,t}$, με τη μέθοδο του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για την κάλυψη του $p=50\%$ της ημερήσιας ζήτησης $q=150$ l/κάτοικο/ημέρα των $N_{cap}=3$ έως 5 κατοίκων με επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων έκτασης 100, 150, 200, 250 και 300 m² και μηδενική χρήση δημόσιας παροχής ύδατος. Απαιτούμενοι όγκοι ομβροδεξαμενής, $V_{dd,max}$ και $\overline{V_{dd}}$, με τη μέθοδο της μέγιστης άνομβρης περιόδου για τη μέγιστη, $N_{dd,max}$, και τη μέση τιμή $\overline{N_{dd}}$ των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων, αντίστοιχα. Οι τιμές με κόκκινο χρώμα αναφέρονται σε επιφάνειες συλλογής ομβρίων μικρότερες από τις ελάχιστες απαιτούμενες για την κάλυψη των συγκεκριμένων αναγκών.

Σταθμός	\bar{P} (mm)	$N_{dd,max}$ (ημέρες)	$\overline{N_{dd}}$ (ημέρες)	N_{cap}	$V_{opt,t}$ (m ³)					$V_{dd,max}$ (m ³)	$\overline{V_{dd}}$ (m ³)
					$p=50\%$						
					100	150	200	250	300		
					(m ²)						
Αγναντα (Αρτα, ΥΔ5)	1399.4	46	33.6	3	28.46	22.43	20.30	18.18	16.06	10.35	7.57
				4	65.97	32.10	29.90	27.78	25.66	13.80	10.09
				5	244.71	54.46	39.50	37.38	35.26	17.25	12.61
Μεσκλά (Χανιά, ΥΔ13)	1178.9	188	125.9	3	73.89	45.35	44.07	43.11	42.30	42.30	28.34
				4	206.25	87.40	60.47	59.09	58.12	56.40	37.78
				5	542.72	134.27	100.91	75.59	74.10	70.50	47.23
Κιμμέρια (Ξάνθη, ΥΔ12)	687.1	62	39.5	3	198.49	42.37	30.19	26.82	25.21	13.95	8.89
				4	436.71	178.63	56.50	43.02	36.83	18.60	11.85
				5	675.06	416.83	177.83	70.62	55.85	23.25	14.81
Κεράμεια (Λέσβος, ΥΔ14)	678.6	217	144.1	3	358.77	115.60	96.17	80.66	65.16	48.83	32.42
				4	786.27	337.38	154.13	133.39	117.89	65.10	43.23
				5	1214.49	751.90	341.66	192.67	170.61	81.38	54.04
Δράμα (ΥΔ11)	382.0	53	37.5	3	672.44	433.89	195.49	73.24	49.00	11.93	8.44
				4	1055.61	817.07	578.52	340.01	129.86	15.90	11.25
				5	1438.86	1200.24	961.70	723.15	484.61	19.88	14.06
Φανερωμένη (Νάξος, ΥΔ14)	417.6	196	152.9	3	313.67	204.73	117.58	97.88	90.86	44.10	34.39
				4	497.59	381.85	272.98	179.11	135.33	58.80	45.86
				5	687.04	559.15	450.04	341.22	245.47	73.50	57.32

6 Συμπεράσματα – Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, πραγματοποιήθηκε διαστασιολόγηση δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων για οικιακή χρήση, με τις μεθόδους του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου και της μέγιστης άνομβρης περιόδου, σε 75 βροχομετρικούς σταθμούς από τα 14 ΥΔ της χώρας.

Γι' αυτό το σκοπό, ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου αναπτύχθηκε και το βέλτιστο μέγεθος της ομβροδεξαμενής υπολογίστηκε επιτρέποντας την περίσσεια του νερού να υπερχειλίζει και ρυθμίζοντας στο μηδέν τη χρήση της δημόσιας παροχής ύδατος.

Η διερεύνηση αφορούσε σε οικία μιας οικογένειας με αριθμό κατοίκων 3 έως 5 και ποσοστά ικανοποίησης οικιακών αναγκών 30% έως 50%, τα οποία μεταφράζονται (λαμβάνοντας ως ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο τα 150 l) σε 45 έως 75 l/άτομο/ημέρα, αντίστοιχα. Τα ποσοστά αυτά αντιστοιχούν στις ανάγκες μιας οικογένειας για κατανάλωση νερού στην τουαλέτα (~30%), στο μπάνιο-ντους (20%-30%) ή/και στα πλυντήρια ρούχων και πιάτων (~15%).

Από την ισότητα της ετήσιας συλλογής όμβριων υδάτων και της ετήσιας ζήτησης κάλυψης των αναγκών, για συγκεκριμένα ποσοστά αναγκών και αριθμό εξυπηρετούμενων κατοίκων, προσδιορίστηκαν οι ελάχιστες απαιτούμενες επιφάνειες συλλογής ομβρίων για την κάλυψη των αναγκών αυτών. Η εφαρμογή του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για αυτές τις ελάχιστες απαιτούμενες επιφάνειες (A) και για καθορισμένες ανάγκες οδήγησε στον υπολογισμό όγκων ομβροδεξαμενής (V_{tank}) που χαρακτηρίζονται από μια εξίσωση της μορφής $V_{tank} = a \cdot A$. Ο συντελεστής a κυμαίνεται από 0.2841 για το βροχομετρικό σταθμό “Νιγρίτα” Σερρών έως 1.9819 για το σταθμό “Ελάτη” Τρικάλων.

Αύξηση της επιφάνειας συλλογής πέραν της ελάχιστης απαιτούμενης επιφέρει σημαντική μείωση στον απαιτούμενο όγκο ομβροδεξαμενής ακολουθώντας μια εξίσωση υπερβολικής μορφής $V_{opt,t} = c \cdot A^d$. Στην περίπτωση που η διαθέσιμη επιφάνεια συλλογής ομβρίων είναι μικρότερη από την ελάχιστη απαιτούμενη, τότε ο απαιτούμενος όγκος ομβροδεξαμενής αυξάνει σημαντικά ακολουθώντας εξίσωση της ίδιας μορφής.

Στην πλειοψηφία των 75 βροχομετρικών σταθμών που μελετήθηκαν, όγκοι ομβροδεξαμενής μικρότεροι των 50 m³ μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση του 30% για 3

έως 5 κατοίκους (135 l/day έως 225 l/day), χωρίς οι επιφάνειες συλλογής όμβριων υδάτων να υπερβαίνουν τα 200 m², ενώ όγκοι ομβροδεξαμενής ως 50 m³ και επιφάνειες συλλογής ομβρίων ως 300 m² μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση έως και του 40% των 4 κατοίκων (240 l/day). Μεγαλύτεροι όγκοι και επιφάνειες συλλογής απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών ζήτησης του 50% των 4 κατοίκων (300 l/day) και του 40% και 50% των 5 κατοίκων (300 l/day έως 375 l/day). Ελάχιστες είναι οι εξαιρέσεις και αφορούν είτε σε περιοχές με μεγάλο μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και μικρή τιμή μέγιστου αριθμού άνομβρων ημερών (π.χ. “Άγναντα” Άρτας), όπου μπορούν να καλυφθούν πλήρως οι ανάγκες και του 50% των 5 κατοίκων, είτε σε περιοχές με μικρό μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και μεγάλη τιμή μέγιστου αριθμού άνομβρων ημερών (π.χ. “Φανερωμένη” Νάξου), όπου μπορούν να καλυφθούν πλήρως μόνο οι ανάγκες του 30% των 3 κατοίκων για επιφάνειες συλλογής ως 300 m².

Οι μικρότεροι όγκοι ομβροδεξαμενής παρατηρήθηκαν στα ορεινά της Ηπείρου όπου απαιτούνται όγκοι περίπου 10 m³ για την ικανοποίηση του 30% των αναγκών μιας τριμελούς οικογένειας, ενώ οι μεγαλύτεροι όγκοι ομβροδεξαμενής παρατηρούνται στην Αττική και στις Κυκλάδες όπου απαιτούνται όγκοι περίπου 50 m³ για την ικανοποίηση των ίδιων αναγκών.

Η τιμή της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου έχει τον πρωταρχικό και καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του μεγέθους της ομβροδεξαμενής, καθώς παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη διαφορά στους απαιτούμενους όγκους ομβροδεξαμενών, τόσο μεταξύ σταθμών με παρόμοια μέση ετήσια βροχόπτωση και αξιόλογη διαφορά στη μέγιστη άνομβρη περίοδο (διπλάσια έως τριπλάσια διαφορά στους όγκους), όσο και μεταξύ σταθμών με αξιόλογη διαφορά και στις τιμές της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης και της μέγιστης άνομβρης περιόδου.

Η μικρή τιμή της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου οδηγεί σε διαστασιολόγηση μικρότερων ομβροδεξαμενών για την κάλυψη της ζήτησης, ανεξαρτήτως της μέσης ετήσιας τιμής βροχόπτωσης, εκτός από τις περιπτώσεις υψηλών αναγκών (π.χ. 50% των 4 ή 5 κατοίκων) όπου επιδρά και η μικρή μέση ετήσια τιμή της βροχόπτωσης.

Σε περιοχές με μικρή μέση ετήσια βροχόπτωση, ανεξαρτήτως της μέγιστης άνομβρης περιόδου, οι μεγάλες ανάγκες (50% των 4 ή 5 κατοίκων) απαιτούν επιφάνειες συλλογής ομβρίων μεγαλύτερες των 300 m².

Οι όγκοι ομβροδεξαμενής, οι οποίοι προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου της μέγιστης ετήσιας άνομβρης περιόδου (λαμβάνοντας, σε πρώτη φάση, υπόψη τη μέγιστη τιμή των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων), ήταν αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές του ημερήσιου ισοζυγίου και προσέγγιζαν αυτές, μόνο στην περίπτωση της κάλυψης χαμηλών αναγκών (30% των 3-5 κατοίκων) για μεγάλες επιφάνειες συλλογής ομβρίων (μεγαλύτερες των 300 m²) και σε σταθμούς με μεγάλη άνομβρη περίοδο και μέτρια έως υψηλή βροχόπτωση.

Στην περίπτωση της χρήσης της μέσης τιμής των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων, για τη διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής, οι τιμές όγκου ήταν αρκετά μικρότερες από τις τιμές της μεθόδου του ημερήσιου ισοζυγίου, σε όλες τις περιπτώσεις μελέτης.

Η επίτευξη του στόχου της διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών για αστική χρήση σε όλη την Ελλάδα, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, θέτει τη βάση για περαιτέρω διερεύνηση στον τομέα της διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών τόσο για αρδευτική όσο και για άλλες χρήσεις και δημιουργεί την ανάγκη για διερεύνηση της οικονομικής αποδοτικότητας της κατασκευής ομβροδεξαμενών για τις χρήσεις αυτές.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- 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*, 13 Ιανουαρίου 2012, Αθήνα.
- Μαριολόπουλος Η., 1953. *Το κλίμα της Ελλάδος*
- Μιμίκου Μ. και Μπαλτάς Ε., 2012. *Τεχνική Υδρολογία*. 5^η έκδοση. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- ΥΠΕΧΩΔΕ, ΕΜΠ, 2008. *Εθνικό πρόγραμμα διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων*, <http://itia.ntua.gr/getfile/782/101/documents/2008-final-report-v2.pdf>.
- GWP-Med and MIO-ECSDE/MEDIES. *Το δώρο της βροχής*. Παιδαγωγικό υλικό για την εκπαίδευση για την αειφόρο ανάπτυξη. (http://www.medies.net/uploaded_files/publications/total_rainwater_book.pdf)
- 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.
- Angelakis A.N. and Koutsoyiannis D., 2003. Urban water resources management in Ancient Greek times. *The Encyclopedia of Water Science*, Stewart B.A. and Howell T. (editors), Markel Dekker Inc. Madison Ave. New York. N.Y., USA.
- Angelakis A.N. and Spyridakis S.V., 1996. The status of water resources in Minoan times: A preliminary study. *Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region*. Angelakis A.N. and Issar A.S. (editors), Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Antoniou G., Kathijotes N. and Angelakis A.N., 2012. Historical development of the technologies on rainwater harvesting in the Hellenic Civilization. *The 3rd IWA-RWHM Conference & Exhibition*, 20-24 May 2012, Goseong, Korea.

- Antoniou G., Xarchakou R. and Angelakis A.N., 2006. Water cistern systems in Greece from Minoan to Hellenistic Period. *IWA 1st International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations*, 28-30 October 2006, Iraklio, Greece.
- Appan A., 1999. A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable uses. *Urban Water*, 1: 317-321.
- Australian Government, 2004. *Guidance on Use of Rainwater Tanks*. ISBN 0642824436 Publication approval number 3432(JN8304).
- Basinger M., Montalto F. and Lall U., 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology*, 392: 105-118.
- Cadogan G., 2006. Water management in Minoan Crete: The two Cisterns on the Middle Bronze Age Settlement. In *Proceedings of 1st IWA International Symposium on Water and Wastewater Technology in Ancient Civilizations*, 28-30 October 2006, Iraklio, Greece.
- Campisano A. and Modica C., 2012. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63: 9-16.
- Caribbean Environmental Health Institute, 2009. *Rainwater Catch it While You Can*. A Handbook on Rainwater Harvesting in the Caribbean. Funded by The United Nations Environment Program (UNEP)
(<http://www.caribank.org/uploads/2013/08/em-rainwater-handbook-caribbean.pdf>)
- Chang M., McBroom M.W. and Beasley R.S., 2004. Roofing as a source of nonpoint water pollution. *Journal of Environmental Management*, 73: 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 Jr.D.W. and Mihelcic J.R., 2008. Stochastic rainfall modeling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. *Journal of Hydrology*, 361: 64-77.
- Dillaha T.A. and Zolan W.J., 1985. Rainwater catchment water quality in Micronesia. *Water Research*, 19(6): 741-746.
- DIN 1989-1, 2002. *Rainwater Harvesting Systems - Part 1: Planning, Installation, Operation and Maintenance*. German Institute for Standardisation, Berlin, 2002.
- Domènech L. and Saurí D., 2011. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production*, 19: 598-608.
- EEA, 2009. *Report No 2/2009 Water resources across Europe - confronting water scarcity and drought*.
- Eroksuz E. and Rahman A., 2010. Rainwater tanks in multi-unit buildings: a case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 1449-52.
- ETA 0701. *ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA ANQIP*.
- Evans C.A., Coombes P.J. and Dunstan R.H., 2006. Wind, rain and bacteria: the effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater. *Water Research*, 40(1): 37-44.
- Evison L. and Sunna N., 2001. Microbial regrowth in household water storage tanks. *Journal American Water Works Association*, 93(9): 85-94.
- Fewkes A. and Butler D., 2000. Simulating the performance of rainwater collection systems using behavioural models? *Building Services Engineering Research and Technology*, 21(2): 99-106.
- Fewkes A., 1999a. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and Environment*, 34: 765-772.
- Fewkes A., 1999b. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. *Urban Water*, 1: 323-333.

- Fooladman H.R. and Sepaskhah A.R., 2004. Economic analysis for the production of four grape cultivars using microcatchment water harvesting systems in Iran. *Journal of Arid Environments*, 58: 525-533.
- Garbrecht J.D. and Garbrecht G.K.H., 2005. Water supply challenges and solutions of the ancient city of Pergamon. *Proceedings, Oklahoma Water 2005*, Paper #6, Oklahoma Water Resources Research Institute, Stillwater. Okla.
- Ghisi E. and Ferreira D.F., 2007. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-story residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(4): 2512-22.
- Ghisi E., Tavares D.F. and Rocha V.L., 2009. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 79-85.
- 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. and Nissen-Petersen E., 1999. *Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply. Design. Construction and Implementation*. South Hampton Row. London: Intermediate Technology Publications Ltd.
- Guo Y. and Baetz B., 2007. Sizing of rainwater storage units for Green Building applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(2): 197-205.
- 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.
- Handia L., Tembo J.M. and Mwiindwa C., 2003. Potential of Rainwater harvesting in urban Zambia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28: 893-896.
- Imteaz M.A., Shanableh A., Rahman A. and Ahsan A., 2011. Optimisation of rainwater tank design from large roofs: a case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 55: 1022-1029.
- Jones M.P. and Hunt W.F., 2010. Performance of rainwater harvesting systems in the south eastern United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 623-629.

- Kahinda J.M., Taigbenu A.E. and Boroto J.R., 2007. Domestic Rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32: 1050-1057.
- Karavitis C.A., 2008. *Water Use in Europe*. Booklet Series: B, Number: 5, Author In: “Land care in desertification affected areas: from science towards application” (LUCINDA) Specific Support Action. DG-Research-1163. Global Change and Ecosystems, 2008.
- Kinkade-Levario H., 2007. *Design for Water Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment and Alternate Water Reuse*. New Society Publishers, P.O. Box 189, Gabriola Island, BC V0R 1X0, Canada.
- Koutsoyiannis D., 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.
- Kyriazopoulou J.-M., 2012. Special Secretary for Water project results for program measures and institutional framework for residential water saving. *Residential Water Saving Action Plan. Workshop Athens*, January 13, 2012. (in Greek)
- Lariyah M.S., Mohd Nor M.D., Mohamed Roseli Z.A., Zulkefli M. and Amirah Hanim M.P., 2011. Application of Water Sensitive Urban Design at Local Scale in Kuala Lumpur. *Proceedings of 12nd International Conference on Urban Drainage*, 10-15 September, Porto Alegre, Brazil.
- Lee K.T., Lee C.D., Yang M.S. and Yu C.C., 2000. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 77(3): 343-8.
- Li X. and Gong J., 2002. Compacted microcatchments with local earth materials for rainwater harvesting in the semiarid region of China. *Journal of Hydrology*, 257: 134-144.
- Li Z., Boyle F. and Reynolds A., 2010. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, 260: 1-8.
- Mantovan P., Pastore A., Szpyrkowicz L. and Zilio-Grandi F., 1995. Characterization of rainwater quality from the Venice region network using multiway data analysis. *Science of The Total Environment*, 164: 27-43.

- Marks R., Clark R., Rooke E. and Berzins A., 2006. Meadows, South Australia: development through integration of local water resources. *Desalination*, 188: 149-161.
- Mitchell V.G., 2007. How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behavior modeling. *Hydrological Processes*, 21: 2850-2861.
- Pacey A. and Cullis A., 1996. *Rainwater Harvesting. the Collection of Rainfall and Runoff in Rural Areas*. Southampton Row, London: Intermediate Technology Publications.
- Pacific, 2009. *Peak Water, China's Water Crisis, Climate Change Impacts among Pressing Topics Examined by Pacific Institute*. Pacific Institute press release, 13 January 2009. (http://www.pacinst.org/press_center/press_releases/worlds_water_0809.html).
- 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.
- Pandey P.K., Panda S.N. and Panigrahi B., 2006. Sizing on-farm reservoirs for crop-fish integration in rainfed farming systems in Eastern India. *Biosystems Engineering*, 93: 475-489.
- Pinfold J.V., Horan N.J., Wirojanagud W. and Mara D., 1993. The bacteriological quality of rainjar water in rural Northeast Thailand. *Water Research*, 27(2): 297-302.
- Raskin P., Gleick P.H., Kirshen P., Pontius R.G. Jr. and Strzepek K., 1997. *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. Stockholm Environmental Institute, Sweden. Document prepared for UN Commission for Sustainable Development 5th Session 1997 - Water stress categories are described on page 27-29.
- Sazakli E., Alexopoulos A. and Leotsinidis M., 2007. Rainwater harvesting. quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water Research*, 41: 2039-2047.
- Shiklomanov I.A., 1999. *World Water Resources: Modern Assessment and Outlook for the 21st Century* (Summary of World Water Resources at the Beginning of the 21st Century prepared in the framework of the IHP UNESCO). Federal Service of

- Russia for Hydrometeorology and Environment Monitoring, State Hydrological Institute, St. Petersburg.
- 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 Wanzhen G., 2001. Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Research*, 35(6): 1518-1524.
- Song M.Y., Han M.Y. and Kim S.R., 2003. Considerations on the rainwater harvesting regulations. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 17(6): 729-740.
- 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.
- SOPAC, 2004. *Harvesting the Heavens - Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries*. South Pacific Applied Geoscience Commission for the United Nations Environment Programme (UNEP). Collaborators: the Tonga Community Development Trust (TCDT) and the Swedish International Development Agency (SIDA). Available on-line at <http://www.sopac.org/data/virlib/JC/JC0178.pdf>
- Sturm M., Zimmermann M., Schütz K., Urban W. and Hartung H., 2009. Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34: 776-785.
- Su M., Lin C., Chang L., Kang J. and Lin Mei., 2009. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *Resources, Conservation and Recycling*, 53: 393-399.
- Texas Water Development Board, 2005. *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. Third Edition, Austin, Texas.
- Tsihrintzis V. and Baltas E., 2013. Sizing of rainwater harvesting tank for in-house water supply. 13th *International Conference on Environmental Science and Technology*, Athens, Greece, 5-7 September 2013.
- Tsubo M., Walker S. and Hensley M., 2005. Quantifying risk for water harvesting under semi-arid conditions: Part I. Rainfall intensity generation. *Agricultural Water Management*, 76: 77-93.

- UNESCO, 2000. *Water Use in the World: Present Situation/Future Needs*. Viewed at [www.unesco.org/science/waterday2000/water use in the world.htm](http://www.unesco.org/science/waterday2000/water%20use%20in%20the%20world.htm)
- Vialle C., Sablayrolles C., Lovera M., Jacob S., Huau M.C. and Montrejaud-Vignoles M., 2011. Monitoring of water quality from roof runoff: interpretation using multivariate analysis. *Water Research*, 45(12): 3765-75.
- Villareal E.L. and Dixon A., 2005. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40: 1174-1184.
- Viollet P.-L., 2003. The predecessors of European hydraulic engineers: Minoans of Crete and Mycenaean of Greece (2100-1200 B.C.). In: *XXX IAHR Congress. Theme E: Linkage Between Education Research and Professional Development in Water Engineering*, August 2003, Thessaloniki, Greece.
- Wahlin L., 1997. The family cistern: 3000 years of household water collection in Jordan. *Ethnic Encounter and Culture Change*, Sabour M. and Vikor K.S. (editors), Nordic Research on the Middle East No 3, pp. 233-249.
- Ward S., Memon A. and Butler D., 2011. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. *Water Science and Technology*, 61(1): 85-96.
- Wilson A., 1997. Rainwater Harvesting. *Environmental Building News*, 1: 9-13.
- Winterbottom D., 2000. Rainwater harvesting An ancient technology-cisterns-is reconsidered. *Landscape Architecture*, 90: 40-47.
- Yaziz M.I., Gunting H., Sapari N. and Ghazali A.W., 1989. Variations in rainwater quality from roof catchments. *Water Research*, 23(6): 761-765.
- Zhou Y., Shao W. and Zhang T., 2010. Analysis of a Rainwater harvesting system for domestic water supply in Zhoushan, China. *Journal of Zhejiang University*, 11(5): 342-348.
- 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.

Rainwater Harvesting Project at the Development Technology Unit of School of Engineering, University of Warwick, UK (<http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU>)

<http://kyy.hydroscope.gr>

http://oasis-rainharvesting.co.uk/sizing_the_tank

www.medies.net

www.rainwaterharvesting.co.uk/downloads/TankSizeCalculator.xls

www.unep.org