



ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΝΕΡΟ, ΒΙΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Τίτλος εργασίας

**Διαστασιολόγηση Ομβροδεξαμενών για τη Λειτουργία
Οικιακών Συστημάτων Συλλογής Όμβριων Υδάτων υπό
Συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής Στη Νήσο Νίσυρο.**

Συγγραφέας

Όνοματεπώνυμο: Θωμάς Σταυρόπουλος

ΑΜ: 7114142200003

Επιβλέπουσα:

**Δρ. Ελισσάβετ Φελώνη,
Διδάσκουσα ΕΚΠΑ**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΡΟ, ΒΙΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ»**

Master Thesis

Title

**Domestic Rainwater Harvesting Tanks' Sizing under Climate
Change Conditions in Nisyros Island**

Student name and surname:

Thomas Stavropoulos

Registration Number:

7114142200003

Supervisor

Dr. Elissavet Feloni

Athens, February 2024

Διαστασιολόγηση Ομβροδεξαμενών Για Τη Λειτουργία Οικιακών
Συστημάτων Συλλογής Όμβριων Υδάτων Υπό Συνθήκες Κλιματικής
Αλλαγής Στη Νήσο Νίσυρο.

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/A	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ
1	Φελώνη Ελισσάβετ	Διδάσκ. ΔΠΜΣ
2	Νάστος Παναγιώτης	Καθηγ. Ε.Κ.Π.Α.
3	Ζαΐμης Γεώργιος	Καθηγ. ΔΙ.ΠΑ.Ε.

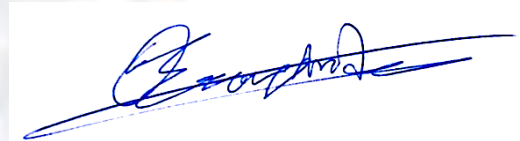
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Θωμάς Σταυρόπουλος του Σπυρίδωνα**, με αριθμό μητρώου **7114142200003** μεταπτυχιακός φοιτητής του ΔΠΜΣ «Νερό, Βιόσφαιρα και Κλιματική Αλλαγή», δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



ΘΩΜΑΣ ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους αυτούς που συνέβαλλαν στην πραγματοποίησή της. Συγκεκριμένα θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Αρχικά, την επιβλέπουσα, Δρ. Ελισσάβετ Φελώνη, διδάσκουσα του Διϊδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νερό, Βιόσφαιρα και Κλιματική Αλλαγή» , για την ανάθεση του θέματος, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση που μου έδωσε για την διεξαγωγή της διπλωματικής μου εργασίας. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, τους καθηγητές κ. Π. Νάστο και Γ. Ζαϊμη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την απεριόριστη βοήθεια, και συμπαράσταση που πρόσφεραν για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	i
Κατάλογος Σχημάτων	iv
Κατάλογος Πινάκων	vi
Περίληψη	vii
Abstract.....	viii
1. Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο της Εργασίας.....	1
1.2 Πρωτότυπα Σημεία	1
1.3 Διάρθρωση της εργασίας	1
2. Διαχείριση Υδατικών Πόρων.....	2
2.1 Επιλογή Περιοχής Μελέτης.....	3
2.2 Υδρολογία	8
2.3 Κλιματικά Χαρακτηριστικά.....	8
2.4 Δημογραφικά Χαρακτηριστικά.....	9
2.5 Ύδρευση στη Νίσυρο.....	11
2.6 Το Πρόβλημα της Λειψυδρίας	14
3. Συστήματα Συλλογής Όμβριων Υδάτων	16
3.1 Γενικά.....	16
3.2 Ιστορική Αναδρομή	16
3.2.1 Συλλογή όμβριων υδάτων στον κόσμο	16
3.2.2 Συλλογή όμβριων υδάτων στην Ελλάδα	17
3.3 Νομοθετικό πλαίσιο συλλογής όμβριων υδάτων στην Ελλάδα	20
3.4 Διάταξη Συστημάτων Συλλογής Όμβριων Υδάτων.....	21
3.5 Διαστασιολόγηση Ομβροδεξαμενών	24
4. Ανάπτυξη – Εφαρμογή Μεθοδολογίας	26
4.1 Ανάπτυξη Μεθοδολογίας	26

4.1.1	Μοντέλο Ημερήσιου Υδατικού Ισοζυγίου	26
4.1.2	Προσδιορισμός όγκου απορροής όμβριων υδάτων από επιφάνεια	26
4.1.3	Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης	27
4.1.4	Διαστασιολόγηση όγκου ομβροδεξαμενής.....	27
4.1.5	Συντελεστής Αποδοτικότητας, Re	28
4.2	Δεδομένα Βροχόπτωσης	28
4.3	Παραδοχές.....	29
4.3.1	Ωφέλιμη Βροχόπτωση $P_{eff,t}$	29
4.3.2	Συντελεστής απορροής, C	29
4.3.3	Επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων, A	30
4.3.4	Αριθμός εξυπηρετούμενων ατόμων ανά νοικοκυριό, N_{cap}	34
4.3.5	Κατανάλωση νερού κατ' άτομο, q	34
4.3.6	Ποσοστό χρήσης συστήματος, p	34
4.3.7	Μέγεθος ομβροδεξαμενής, V_{tank}	34
4.4	Εφαρμογή στη Νίσυρο	34
4.5	Διερεύνηση μελλοντικών σεναρίων	35
5.	Αποτελέσματα – Συζήτηση	38
5.1	Σενάρια Μελέτης (οικιακή διάταξη).....	38
5.2	Ανάλυση Αξιοπιστίας	38
5.3	Αποτελέσματα Αρχικής Προσομοίωσης.....	38
5.4	Αποτελέσματα εφαρμογής κλιματικών μοντέλων σε συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων στο νησί της Νισύρου	43
6.	Συμπεράσματα - Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	47
6.1	Σύνοψη	47
6.2	Συμπεράσματα.....	47
6.3	Μελλοντική Έρευνα.....	48
	Βιβλιογραφία	50
	Ελληνική Βιβλιογραφία	50
	Αγγλική Βιβλιογραφία	51

Διαδικτυακές πηγές.....	56
Παραρτήματα.....	57
Παράρτημα Α. Ετήσια Ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης	57
Παράρτημα Β. Ετήσιες Μελλοντικές Χρονοσειρές – RCP4.5	58
Παράρτημα Γ. Ετήσιες Μελλοντικές Χρονοσειρές – RCP8.5.....	61
Παράρτημα Δ. Αξιοπιστία συστήματος για το μελλοντικό σενάριο RCP4.5	64
Παράρτημα Ε. Αξιοπιστία συστήματος για το μελλοντικό σενάριο RCP8.5	67

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Υδατικά Διαμερίσματα στην Ελλάδα.....	3
Σχήμα 2.2: Απεικόνιση των ορίων του Δήμου Νισύρου.....	4
Σχήμα 2.3: Ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου.....	5
Σχήμα 2.4: Γεωλογικός χάρτης της Νισύρου.....	6
Σχήμα 2.5: Υδρολιθολογικός χάρτης Νισύρου.....	7
Σχήμα 2.6: Δορυφορική απεικόνιση των περιοδικών ρεμάτων και σημείων συγκέντρωσης υδάτων στο νησί της Νισύρου.....	8
Σχήμα 2.7: Η νέα μονάδα αφαλάτωσης στο Δ. Νισύρου.....	13
Σχήμα 2.8: Η λιμνοδεξαμενή της Νισύρου.....	14
Σχήμα 2.9: Απεικόνιση των υδατικών αναγκών ανά έτος σε συνάρτηση με τους επισκέπτες στο νησί της Νισύρου.....	15
Σχήμα 3.1: Η Βασιλική Κινστέρνα της Κωνσταντινούπολης.....	19
Σχήμα 3.2: Σαρνίτσι στο ανατολικό Λασίθι.....	20
Σχήμα 3.3: Διατάξεις φιλτραρίσματος (α) και πρώτης έκπλυσης (β) συλλεχθέντων όμβριων υδάτων πριν την είσοδό τους στη δεξαμενή.....	23
Σχήμα 3.4: Παράδειγμα συστήματος συλλογής βρόχινου νερού.....	24
Σχήμα 4.1: Χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης στη Νίσυρο.....	29
Σχήμα 4.2: Γενική αποτύπωση του νησιού και των οικισμών που επιλέχθηκαν για ψηφιοποίηση μέσω του προγράμματος ArcGis.....	31
Σχήμα 4.3: Ποσοτικό διάγραμμα του εύρους έκτασης στέγης στους οικισμούς που μελετήθηκαν.....	31
Σχήμα 4.4: Ψηφιακή αποτύπωση των κτιρίων για τον Οικισμό Μανδράκι.....	32
Σχήμα 4.5: Ψηφιακή αποτύπωση των κτιρίων για τον Οικισμό Πάλιοι.....	32
Σχήμα 4.6: Ψηφιακή αποτύπωση των κτιρίων για τον Οικισμό Εμπορείος.....	33
Σχήμα 4.7: Ψηφιακή αποτύπωση των κτιρίων για τον Οικισμό Νικία.....	33
Σχήμα 5.1: Αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης από το υπό μελέτη σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, για μέση ημερήσια ζήτηση $q=150l/cap/day$, ποσοστό επί της ζήτησης $p=30\%$ και $N_{cap}=1$ και επιφάνειες συλλογής νερού εύρους 20 έως 120m ² . Α σχήμα η αξιοπιστία σε σχέση με το εύρος επιφανείας και Β σχήμα σε σχέση με τον όγκο δεξαμενής.....	39
Σχήμα 5.2: Αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης από το υπό μελέτη σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, για μέση ημερήσια ζήτηση $q=150l/cap/day$, ποσοστό επί της ζήτησης $p=30\%$ και $N_{cap}=2$ και επιφάνειες συλλογής νερού Α	

εύρους 20 έως 120m². Α σχήμα η αξιοπιστία σε σχέση με το εύρος επιφανείας και Β σχήμα σε σχέση με τον όγκο δεξαμενής.....41

Σχήμα 5.3: Αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης από το υπό μελέτη σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, για μέση ημερήσια ζήτηση $q=150\text{l/cap/day}$, ποσοστό επί της ζήτησης $p=30\%$ και $N_{\text{cap}}=3$ και επιφάνειες συλλογής νερού Α εύρους 20 έως 120m². Α σχήμα η αξιοπιστία σε σχέση με το εύρος επιφανείας και Β σχήμα σε σχέση με τον όγκο δεξαμενής.....42

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Ιστορικά στοιχεία μετεωρολογικού σταθμού, Νίσυρος.....	9
Πίνακας 2.2: Πληθυσμιακά στατιστικά στοιχεία για τον Δ. Νισύρου.....	9
Πίνακας 2.3: Μόνιμος πληθυσμός κατά οικογενειακή κατάσταση, Απογραφή 2011.....	10
Πίνακας 2.4: Αριθμός νοικοκυριών και μελών αυτών κατά μέγεθος νοικοκυριού, Απογραφή 2011.....	10
Πίνακας 2.5: Σύνολο οικονομικών δραστηριοτήτων στη Νίσυρο για το 2011, ΕΛΣΤΑΤ.....	11
Πίνακας 2.6: Μεταφερόμενες ποσότητες νερού σε m ³ ανά έτος, Νίσυρος.....	12
Πίνακας 4.1: Δεδομένα εισόδου για την εφαρμογή του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου.....	35
Πίνακας 5.1: Συνδυασμοί όγκων ομβροδεξαμενών και επιφανειών συλλογής όμβριων υδάτων, για πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος στο σενάριο μελέτης, Ncap=1.....	39
Πίνακας 5.2: Συνδυασμοί όγκων ομβροδεξαμενών και επιφανειών συλλογής όμβριων υδάτων, για πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος στο δεύτερο σενάριο μελέτης, Ncap=2.....	40
Πίνακας 5.3: Σύγκριση ετήσιας κατακρήμνισης για τις διάφορες κλιματικές μελλοντικές χρονοσειρές για το έτος 2060 σε σύγκριση με την ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης για το έτος 2023.....	43
Πίνακας 5.4: Συνολική ποσοστιαία διαφορά ετήσιας κατακρήμνισης για το έτος 2060 σε σύγκριση με την ετήσια βροχόπτωση για το έτος 2023, για τα μελλοντικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.....	44
Πίνακας 5.5: Συνδυασμοί ελαχίστων επιφανειών συλλογής όμβριων υδάτων και όγκων ομβροδεξαμενής, για πλήρης αποδοτικότητα του συστήματος, για το σενάριο Ncap=2.....	45
Πίνακας 5.6: Συνδυασμοί ελαχίστων επιφανειών συλλογής όμβριων υδάτων και όγκων ομβροδεξαμενής, για πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος, για το σενάριο Ncap=3.....	45

Περίληψη

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί ένα από τους βασικούς και αναγκαίους στόχους τόσο σε Ευρωπαϊκό επίπεδο όσο και στην Ελλάδα. Από τα αρχαία χρόνια, η αξιοποίηση των υδατικών πόρων και ειδικότερα η αποθήκευση των όμβριων υδάτων απασχολούσε τους ανθρώπους. Η εφαρμογή μίας αξιόπιστης τεχνικής για αποθήκευση και χρήση του βρόχινου νερού, ιδιαίτερα στην εποχή μας, σε συνθήκες κλιματικής κρίσης, αποτελεί μία πρόκληση. Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων μπορούν να δώσουν λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας και στην υδατική ασφάλεια των νησιών στην χώρα μας, όπως είναι το νησί της Νισύρου, με τα ιδιαίτερα κλιματικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά του.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε ένα μοντέλο ημερησίου υδατικού ισοζυγίου που σκοπό έχει την διερεύνηση σεναρίων για την κάλυψη των υδατικών αναγκών σε επίπεδο οικίας. Για την αξιόπιστη εφαρμογή του μοντέλου αντλήθηκαν δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης, από σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Ε.Α.Α.), για το νησί της Νισύρου, για τη χρονική περίοδο 2017-2023, δηλαδή για 6 υδρολογικά έτη.

Ειδικότερα, διερευνήθηκε το ποσοστό αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων για διάφορα σενάρια σε σχέση με τη το εύρος της επιφάνειας συλλογής, τον όγκο ομβροδεξαμενής, το μέγεθος των νοικοκυριών και το ποσοστό ικανοποίησης των υδατικών αναγκών τους.

Τέλος, έγινε χρήση κλιματικών μελλοντικών χρονοσειρών για την εξέταση σεναρίων, υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής και πιο συγκεκριμένα για τα δύο κλιματικά σενάρια RCP 4.5 και RCP 8.5. Τα δεδομένα μελλοντικών χρονοσειρών βροχοπτώσεων αντλήθηκαν από την διαδικτυακή σελίδα DEAR Clima και εξετάστηκε η περίοδος από το 2026 έως το 2060.

Μετά την ανάλυση των δεδομένων, προέκυψαν χρήσιμα αποτελέσματα και συμπεράσματα για την αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων τόσο για την χρονική περίοδο που μελετήθηκε, όσο και για τις υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής, στο νησί της Νισύρου, καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις κλειδιά: σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, ημερήσιο υδατικό ισοζύγιο, κλιματική αλλαγή, RCP, Νίσυρος

Abstract

Integrated water resources management is one of the fundamental and necessary goals both at the European level and in Greece. Since ancient times, the utilization of water resources, particularly the storage of rainwater, has preoccupied people. Implementing a reliable technique for the storage and use of rainwater, especially in our era of climate crisis, poses a challenge. Rainwater harvesting systems can provide a solution to the problem of drought and water security for islands in our country, such as the island of Nisyros, with its particular climatic and demographic characteristics.

In the context of this thesis, a daily water balance model was developed to explore scenarios for meeting household water needs. For the reliable application of the model, daily rainfall data were collected from a station of the National Observatory of Athens (NOANN) for the island of Nisyros, for the period 2017-2023, covering six hydrological years.

Specifically, the reliability of the rainwater harvesting system was investigated for various scenarios concerning the collection surface area, tank volume, household size, and satisfaction rate of their water needs.

Finally, future climate time series were used to examine scenarios under climate change conditions, specifically for the two climate scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5. Future rainfall time series data were obtained from the DEAR Clima website, and the period from 2026 to 2060 was examined.

After analyzing the data, useful results and conclusions were drawn regarding the efficiency of the rainwater harvesting system both for the studied period and under climate change conditions on the island of Nisyros, as well as proposals for future research.

Keywords: rain water harvesting system, daily water balance models, climate change, RCP, Nisyros

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της Εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων για την κάλυψη ποσοστού των υδατικών αναγκών των κατοίκων στο νησί της Νισύρου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του ημερησίου υδατικού ισοζυγίου. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η αποδοτικότητα των ομβροδεξαμενών, σε συνάρτηση και άλλων παραγόντων, όπως είναι ο αριθμός των μελών ενός νοικοκυριού, οι ημερήσιες υδατικές ανάγκες αυτού, η επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων και ο όγκος ομβροδεξαμενής. Επιπλέον, εξετάστηκαν και μελλοντικά κλιματικά σενάρια για τη χρονική περίοδο από το 2026 έως το 2060.

1.2 Πρωτότυπα Σημεία

Η διερεύνηση της αξιοπιστίας του συστήματος δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων με τη μέθοδο του ημερησίου υδατικού ισοζυγίου εφαρμόστηκε στο νησί της Νισύρου με στόχο την κάλυψη του 30% των οικιακών αναγκών ενός νοικοκυριού 1 έως 3 ατόμων.

Για τις ανάγκες της παραπάνω μεθόδου αντλήθηκαν ημερήσιες χρονοσειρές βροχόπτωσης από τον μετεωρολογικό σταθμό της Νισύρου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Επιπλέον, διερευνήθηκαν μελλοντικά κλιματικά σενάρια και συγκεκριμένα τα RCP=4.5 και RCP=8.5, ώστε να εκτιμηθεί η αποδοτικότητα των ομβροδεξαμενών και σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η διάρθρωση της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει έξι κεφάλαια, τα οποία είναι τα εξής:

Το 1ο Κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας.

Στο 2ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην διαχείριση των υδατικών πόρων και αναλυτική περιγραφή της περιοχής μελέτης και των χαρακτηριστικών της.

Στο 3ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων.

Στο 4ο Κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για το νησί της Νισύρου.

Στο 5ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και γίνεται συγκριτική αξιολόγηση αυτών και με άλλες μελέτες.

Στο 6ο Κεφάλαιο καταλήγουμε σε συμπεράσματα και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Η διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στη περιοχή της Μεσογείου αποτελεί μία συνεχή πρόκληση, λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών, καθώς και των σημαντικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων στο χώρο και το χρόνο, σε συνδυασμό με τη συγκέντρωση του πληθυσμού στις μεγάλες πόλεις και σε περιοχές με ξηρές κλιματικές συνθήκες, έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτει μεγάλη ζήτηση και να προκαλούνται προβλήματα διαθεσιμότητας (water stress).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αντιλαμβάνομενη την ανάγκη της προστασίας των υδάτων, προχώρησε στη διαμόρφωση μιας Οδηγίας Πλαισίου που θα περιλαμβάνει μία ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων. Η Οδηγία Πλαίσιο 2000/60 θέτει τις βασικές αρχές για μία βιώσιμη πολιτική των υδάτων σε όλα τα Κράτη-Μέλη και τέθηκε σε ισχύ στις 22 Δεκεμβρίου του 2000.

Η Οδηγία 2000/60/EK συνδυάζει ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων και θέτει ως κεντρική ιδέα την ολοκληρωμένη διαχείριση τους στη γεωγραφική κλίμακα των Λεκανών Απορροής Ποταμών. Επιπλέον, επαναπροσδιορίζει την έννοια της Λεκάνης Απορροής, η οποία περιλαμβάνει τα εσωτερικά επιφανειακά (ποταμοί, λίμνες), τα υπόγεια ύδατα, τα μεταβατικά (δέλτα, εκβολές ποταμών) και τα παράκτια οικοσυστήματα. Για κάθε περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού καθορίζει, μια σειρά από απαραίτητες ενέργειες που θα πρέπει να υλοποιηθούν εντός των καθορισμένων προθεσμιών, ώστε ο βασικός στόχος της Οδηγίας που είναι η επίτευξη “καλής κατάστασης” όλων των υδάτων, να επιτευχθεί μέχρι το 2015.

Σκοπός της οδηγίας είναι η θέσπιση πλαισίου, το οποίο:

- να αποτρέπει την περαιτέρω επιδείνωση, να προστατεύει και να βελτιώνει την κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων, καθώς και των αμέσως εξαρτώμενων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων και υγροτόπων σε ό,τι αφορά τις ανάγκες τους σε νερό·
- να προωθεί τη βιώσιμη χρήση του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδάτινων πόρων·
- να αποσκοπεί στην ενίσχυση της προστασίας και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος, μεταξύ άλλων με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών ουσιών προτεραιότητας και με την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών των επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας·

- να διασφαλίζει την προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και να αποτρέπει την περαιτέρω μόλυνσή τους και
- να συμβάλλει στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες.

Παράλληλα, αντιμετωπίζονται συνολικά όλες οι χρήσεις και υπηρεσίες νερού, συνυπολογίζοντας την αξία του νερού για το περιβάλλον, την υγεία, την ανθρώπινη κατανάλωση και την κατανάλωση σε παραγωγικούς τομείς.

2.1 Επιλογή Περιοχής Μελέτης

Η περιοχή που επιλέχθηκε είναι το νησί της Νίσυρου. Η Νίσυρος ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου με κωδικό EL14. Το νησί είναι ένα από τα πολλά νησιά του Αιγαίου που αντιμετωπίζουν έντονα το φαινόμενο της λειψυδρίας, κυρίως λόγω, του χαμηλού βροχομετρικού καθεστώσ της περιοχής.



Σχήμα 2.1: Υδατικά Διαμερίσματα στην Ελλάδα.

Η Νίσυρος βρίσκεται στο ανατολικό Αιγαίο και είναι ένα από τα νησιά των Δωδεκανήσων. Συγκεκριμένα γειτνιάζει στα βόρεια με το νησί της Κω και στα νότια με τη Τήλο. Η έκταση του νησιού είναι περίπου 41km και το μήκος των ακτών 30km. Ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα της Κω και παρακάτω απεικονίζονται τα όρια του Καλλικρατικού δήμου Νισύρου.



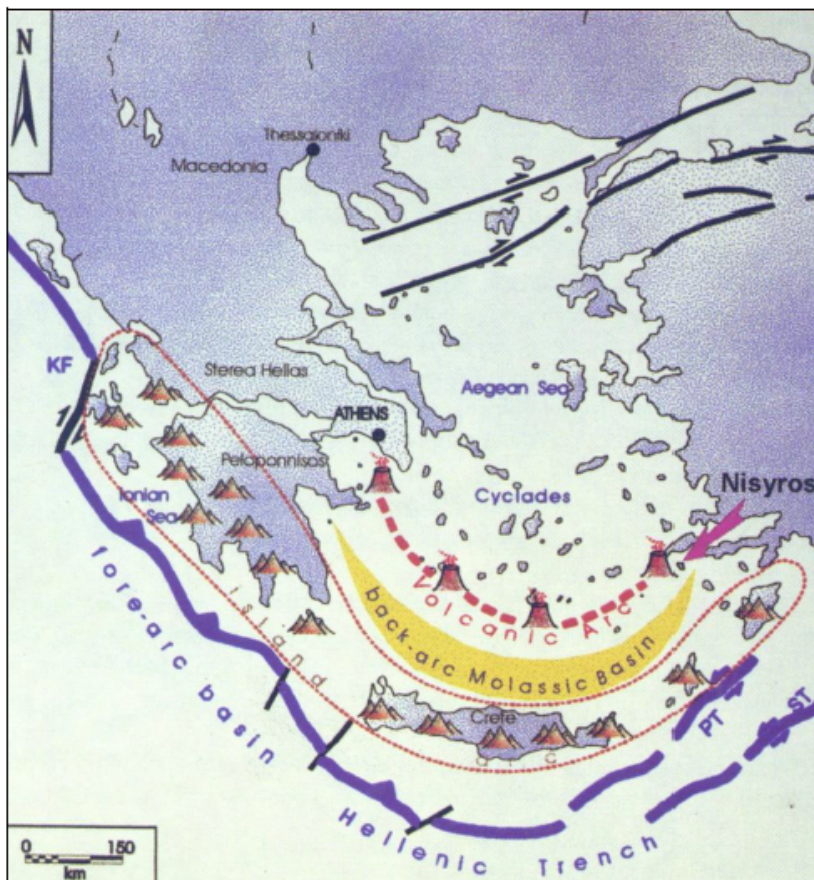
Σχήμα 2.2: Απεικόνιση των ορίων του Δήμου Νισύρου.

Γεωλογία - Υδρογεωλογία

Η Νίσυρος συμπληρώνει το ηφαιστειακό τόξο της Ελλάδας μαζί με το Σουσακι, τα Μέθανα, τη Μήλο και τη Σαντορίνη. Είναι το αποτέλεσμα της καταβύθισης της αφρικανικής πλάκας κάτω από την μικροπλάκα του Αιγαίου. Το ηφαίστειο του νησιού είναι από τα λίγα ενεργά ηφαίστεια στον ελλαδικό χώρο και το νεότερο στην Ανατολική Μεσόγειο.

Συγκεκριμένα, το ηφαιστειακό σύμπλεγμα «Κως-Γυαλί-Νίσυρος-Τήλος» αποτελεί το ανατολικότερο άκρο του ελληνικού ηφαιστειακού τόξου. Η ηφαιστειότητα ξεκίνησε κατά το Πλειόκαινο, πριν από 3 εκατομμύρια χρόνια, με τον σχηματισμό ανδεσιτικών και δακιτικών λαβών στην Κω. Στη συνέχεια, κατά το Πλειστόκαινο, εκχύθηκαν ρυολιθικές λάβες, ενώ η μεγαλύτερη έκρηξη που επηρέασε ολόκληρο το σύμπλεγμα, έγινε πριν από 160.000 χρόνια. Η τελευταία ηφαιστειακή έκρηξη έγινε στη Νίσυρο πριν από 25 χιλιάδες χρόνια, ενώ το 1871-1873 και το 1887 μ.Χ. προκλήθηκαν υδροθερμικές εκρήξεις που συνοδεύτηκαν από λασποροές (mudfows) και έντονους σεισμούς. Από τον

χερσαίο φρεατικό κρατήρα του Στεφάνου στη Νίσυρο εξακολουθούν να εξέρχονται ατμίδες μέχρι σήμερα (Dura et al. 2021).

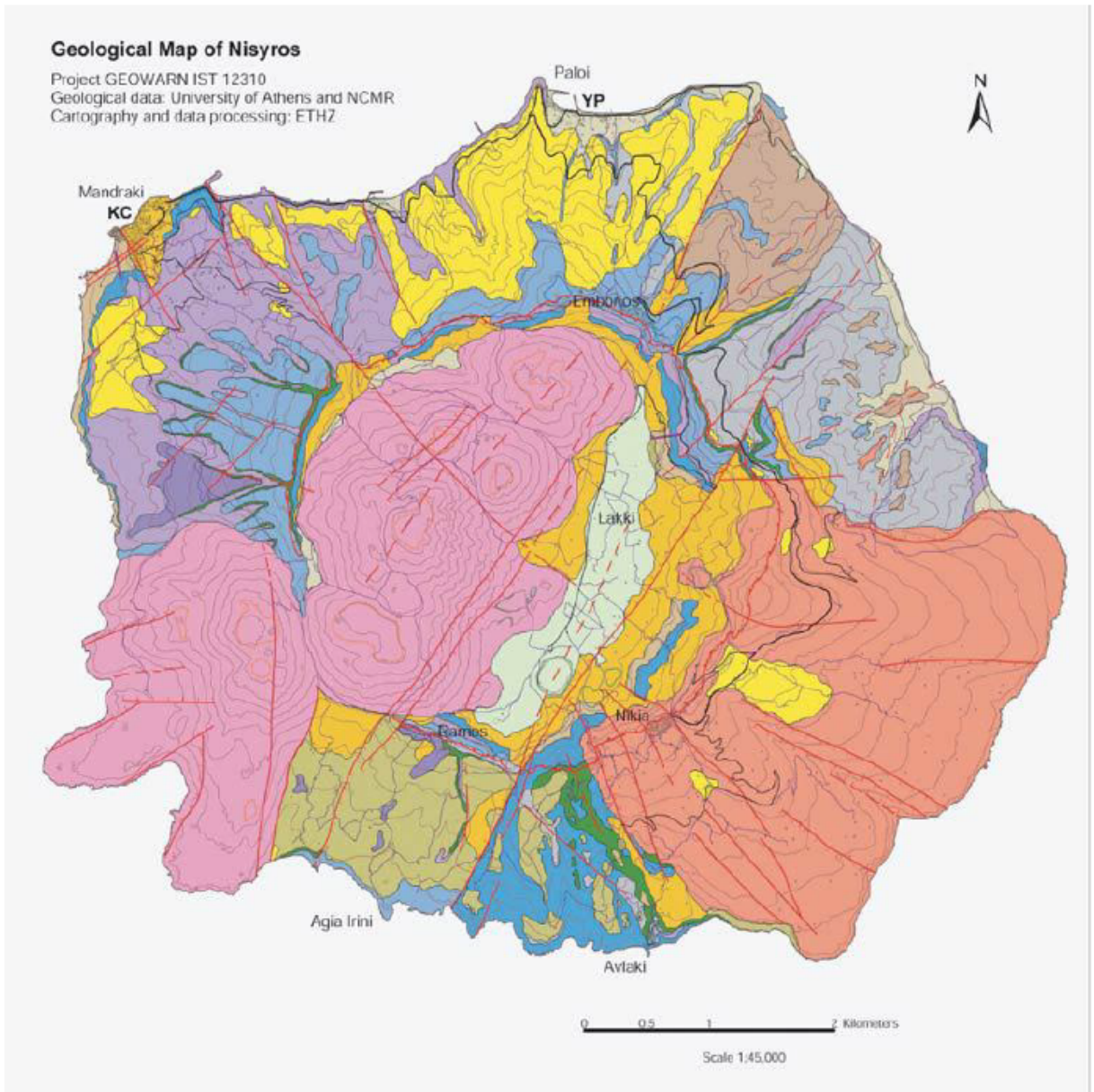


Σχήμα 2.3: Ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου.

Πηγή: Παπανικολάου, 1998.

Στα νησιά Κω, Πάτμο, Νίσυρο, παρατηρούνται εμφανίσεις πετρωμάτων που ανήκουν στην τρίτη και τέταρτη φάση της ηφαιστειότητας (Αν. Μειοκαίνου- Πλειοκαίνου- Τεταρτογενούς) του Νοτίου Αιγαιακού ηφαιστειακού τόξου. Τα ηφαιστειακά πετρώματα του Αιγαιακού τόξου είναι ανδεσίτες, βασάλτες και ρυόλιθοι, τυπικού ασβεσταλκαλικού χημικού χαρακτήρα.

Η γεωλογική δομή της Νισύρου απεικονίζεται στον παρακάτω γεωλογικό χάρτη που κατασκευάστηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Προγράμματος GEOWARN 2003.



Υπόμνημα

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Αλλοίβιοι σχηματισμοί, παράκτιες αποθέσεις Πλευρικά κορηματα, κώνιοι κορημάτων και ρητίδια Εσωτερικά εζήματα καλδέρας και δετρίτικα (φερτά) YP Κίσηρη Γυαλιού Σκωρία (Εμφανίζεται σε όλες τις φάσεις) <p>Σχηματισμός Κύριας Καλδέρας (30000 - 15000 έτη)</p> <ul style="list-style-type: none"> Δεύτερη Φάση Καλδέρας (20000 έως < 15000 έτη) Μετα-καλδερικοί δόμοι και Ροές Λάβας Προφήτη Ηλία Ανώτερη Κίσηρη Πρώτη Φάση Καλδέρας (: 30000 - 20000 έτη) Ρυόλιθι Νικιάν Κατώτερη Κίσηρη | <p>Στρωματο-Ηφαιστείο Πρώιμης Καλδέρας (: 100000 - 30000 έτη)</p> <ul style="list-style-type: none"> Σύμπλεγμα Αργούς - Σταυρού Γκρι πυροκλαστικά και ηφαιστειακές κροκάλες σαν ανώτ. ενότητες Πυροκλαστικό Σύμπλεγμα Ελληνικών - Κυράς - Λιυών (γκρι πυροκλαστικά σαν κατώτερες ενότητες) Σύμπλεγμα Μελισσόρης - Ευαγγελιστράς - Αφίνας Σύμπλεγμα Εμπορειού KC Κροκαλοπαγή Κάστρου Λιμναίοι και πυροκλαστικοί σχηματισμοί Λάβες Μανδρακίου - Αιτωκίου Πυροκλαστικά Λακκίου και Σύμπλεγμα Αιτωκίου <p>Βασικό Ηφαιστειακό Σύμπλεγμα (: 160000 - 100000 έτη)</p> <ul style="list-style-type: none"> Υαλοκλαστίτες Παναγιάς Σπηλιανής - Χολακών Βασαλτικές έως ανδεισικές "μαξιμαροειδείς λάβες" Παναγιάς Σπηλιανής | <ul style="list-style-type: none"> Υδροθερμικοί κρατήρες Ηφαιστειακοί δόμοι (δεύτερη φάση καλδέρας) Ηφαιστειακοί δόμοι (πρώτη φάση καλδέρας) Μείζον μορφολογική ασυνέχεια καλδέρας Φλέβες Ρήγματα |
|---|---|---|

Σχήμα 2.4: Γεωλογικός χάρτης της Νισύρου.

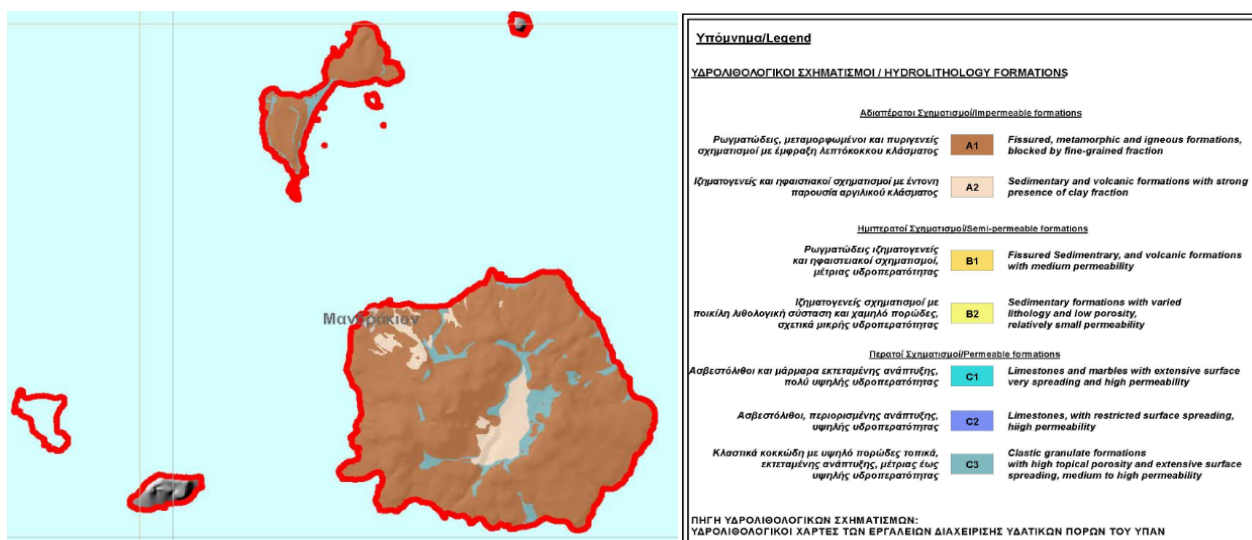
Πηγή: <https://www.geowarn.ethz.ch/index.asp?ID=31>

Υδρογεωλογία

Στην ευρύτερη περιοχή του ΥΔ Νήσων Αιγαίου αναπτύσσονται τρία είδη υδροφόρων συστημάτων, το πρώτο μέσα στις τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις (κοκκώδες σύστημα), το δεύτερο μέσα στα υδροπερατά μάρμαρα και ασβεστόλιθους (καρστικό σύστημα) και το τρίτο σε μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα τα οποία είναι τεκτονισμένα (ρωγματικό σύστημα).

Τα κοκκώδη υδροφόρα συστήματα αναπτύσσονται στις ιζηματογενείς λεκάνες του ΥΔ. Στη Νίσυρο οι υδροφόροι ορίζοντες δημιουργούνται σε αλλουβιακές λεκάνες, μικρής έκτασης και οι υδροφόροι ορίζοντες είναι μικρής μικρής δυναμικότητας.

Σύμφωνα με τον Υδρολιθολογικό χάρτη του ΥΠΕΚΑ για τη Νίσυρο, στη μεγαλύτερη έκταση του νησιού συναντάμε αδιαπέρατους σχηματισμούς με ρωγματώδεις, μεταμορφωμένοι και πυρογενείς σχηματισμούς με έμφραξη λεπτόκοκκου κλάσματος καθώς και ιζηματογενείς – ηφαιστειακοί σχηματισμοί με έντονη παρουσία αργιλικού κλάσματος κυρίως στην περιοχή του κρατήρα Στέφανου και Πολυβώτη. Επιπλέον, σε μικρότερη έκταση βρίσκουμε, περατούς σχηματισμούς με κλαστικά κοκκώδη, υψηλού πορώδους τοπικά, εκτεταμένης ανάπτυξης και μέτρια έως υψηλής υδροπερατότητας.



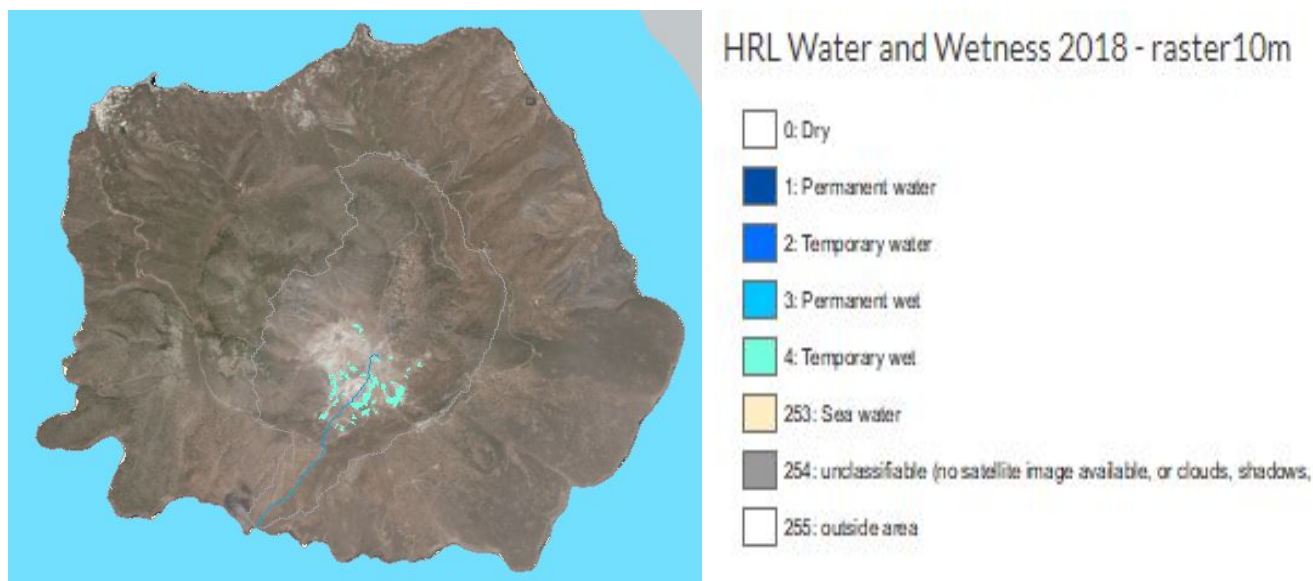
Σχήμα 2.5: Υδρολιθολογικός χάρτης Νισύρου.

Πηγή: <https://floods.ypeka.gr/>, 2023

2.2 Υδρολογία

Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Νήσων Αιγαίου, στο νησί της Νισύρου δεν καταγράφεται κάποια φυσική μεγάλη επιφανειακή λεκάνη απορροής, εκτός από αυτές που σχηματίζονται, προσωρινά κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων.

Συγκεκριμένα με τη χρήση της ευρωπαϊκής υπηρεσίας Copernicus Land Monitoring Service, απεικονίζεται ένα ρέμα περιοδικής ροής καθώς και σημεία με προσωρινό χαρακτήρα συγκέντρωσης υδάτων.



Σχήμα 2.6: Δορυφορική απεικόνιση των περιοδικών ρεμάτων και σημείων συγκέντρωσης υδάτων στο νησί της Νισύρου.

Πηγή: Copernicus Land Monitoring Service (<https://land.copernicus.eu/en/dataset-catalog>)

2.3 Κλιματικά Χαρακτηριστικά

Στο σύνολο των νησιών του Υδατικού Διαμερίσματος EL14, σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών νήσων Αιγαίου του 2015, όπου ανήκει και η Νίσυρος, κυριαρχεί το ήπιο εύκρατο μεσογειακό κλίμα, το οποίο στις νοτιοανατολικές περιοχές κλείνει προς το θαλάσσιο.

Συγκεκριμένα, στο νησί της Νισύρου από τον Μάιο του 2017 έχει εγκατασταθεί μετεωρολογικός σταθμός και τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούνιο του ίδιου έτους, σε συνεργασία του Δήμου Νισύρου και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, όπου έχει και την επίβλεψή του. Ο σταθμός φιλοξενείται στη θέση Δημοτικός Ξενώνας Πολυβώτης και βρίσκεται σε υψόμετρο 5m. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες ιστορικά στοιχεία του σταθμού για την περίοδο 2017 έως και το 2021.

Πίνακας 2.1: Ιστορικά στοιχεία μετεωρολογικού σταθμού, Νίσυρος.

Ιστορικά Στοιχεία (2017-2021)	
Μέση θερμοκρασία	24.7°C
Μέση μέγιστη θερμ.	26.9°C
Μέση ελάχιστη θερμ.	22.4°C
Υψηλότερη μεγ. θερμ.	32.2°C
Χαμηλότερη ελαχ. θερμ.	18.4°C
Μέση βροχόπτωση	1.3mm
Υψηλότερη ημερήσια βροχ.	2.6mm

2.4 Δημογραφικά Χαρακτηριστικά

Ο μόνιμος πληθυσμός της Δημοτικής Ενότητας Νισύρου, σύμφωνα με την απογραφή του πληθυσμού και των κατοικιών του 2021, που διενεργήθηκε από την ΕΛΣΤΑΤ, ανέρχεται σε 1.048 κατοίκους, σε σχέση με το 2011 που ήταν 1008. Συγκεκριμένα, στην Δημοτική Κοινότητα Μανδρακίου οι μόνιμοι κάτοικοι είναι 791, στην Δημοτική Κοινότητα Εμπορείου 215 και στην Δημοτική Κοινότητα Νικιών 42.

Η αναλογία ανδρών και γυναικών είναι σχεδόν ίση, όπως παρουσιάζεται και στον παρακάτω πίνακα, σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ και δεν έχει αλλάξει σημαντικά από το 2011 έως το 2021.

Πίνακας 2.2: Πληθυσμιακά στατιστικά στοιχεία για τον Δ. Νισύρου.

Δήμος	Πληθυσμός		Άνδρες		Γυναίκες	
	2011	2021	2011	2021	2011	2021
Νισύρου	1008	1048	543	548	465	500

Επιπλέον, σχετικά με την οικογενειακή κατάσταση του πληθυσμού, η πλειοψηφία των κατοίκων είναι έγγαμοι σε αριθμό 484 και 402 κάτοικοι δηλώνουν άγαμοι, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ.

**Πίνακας 2.3: Μόνιμος πληθυσμός κατά οικογενειακή κατάσταση,
Απογραφή 2011.**

Κωδικός Οικισμού μόνιμου πληθυσμού	Περιγραφή τού μόνιμου πληθυσμού	Περιγραφή οικογενειακής κατάστασης	Αρ.Ατόμων
6402	ΔΗΜΟΣ ΝΙΣΥΡΟΥ	Άγαμος	402
		Έγγαμος	484
		Χήρος (-α)	82
		Διαζευγμένος (-η)	37
		Σε διάσταση	3

Το πιο σημαντικό στατιστικό στοιχείο για τη διαχείριση των υδατικών πόρων και συγκεκριμένα για τη συλλογή όμβριων υδάτων σε επίπεδο οικιακής χρήσης αποτελεί ο αριθμός των νοικοκυριών και μελών αυτών. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται παρουσίαση του πλήθους των νοικοκυριών από ένα μέλος έως 6 και άνω μέλη.

Πίνακας 2.4: Αριθμός νοικοκυριών και μελών αυτών κατά μέγεθος νοικοκυριού, Απογραφή 2011.

Αριθμός κατά μέγεθος νοικοκυριού	Πλήθος Νοικοκυριών	Αριθμός μελών νοικοκυριού
1 μέλος	152	152
2 μέλη	117	234
3 μέλη	67	201
4 μέλη	56	224
5 μέλη	19	95
6 και άνω μέλη	6	46
Σύνολο	417	952

Οικονομική Δραστηριότητα

Στο νησί της Νισύρου, σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ για την απογραφή του 2011 και συγκεκριμένα για τους απασχολούμενους ανά οικονομική δραστηριότητα παρουσιάζονται τα εξής στοιχεία.

Πίνακας 2.5: Σύνολο οικονομικών δραστηριοτήτων στη Νίσυρο για το 2011, ΕΛΣΤΑΤ.

Σύνολο	327
Γεωργία, Δασοκομία & Αλιεία	23
Κατασκευές	31
Χονδρικό & Λιανικό Εμπόριο - Επισκευή Μηχανοκίνητων Οχημάτων & Μοτοσυκλετών	35
Μεταφορά & Αποθήκευση	12
Δραστηριότητες Υπηρεσιών Παροχής Καταλύματος & Υπηρεσιών Εστίασης	46
Διοικητικές και Υποστηρικτικές Δραστηριότητες	18
Δημόσια Διοίκηση και Άμυνα - Υποχρεωτική Κοινωνική Ασφάλιση	54
Εκπαίδευση	31
Δραστηριότητες Σχετικές με την Ανθρώπινη Υγεία & την Κοινωνική Μέριμνα	10
Λοιποί κλάδοι	67

2.5 Ύδρευση στη Νίσυρο

Η Νίσυρος λόγω της γεωλογικής ιστορίας και δομή της, προκαλείται υποβάθμιση τόσο των υπόγειων όσο και των επιφανειακών υδάτων, εξαιτίας της ύπαρξης θειούχων ηφαιστειακών πετρωμάτων και ορυκτών.

Σύμφωνα με το Στρατηγικό Σχέδιο του 2018, για την Εφαρμογή Προγράμματος Ολοκληρωμένων Παρεμβάσεων στη Νίσυρο, καταγράφηκαν 40 παραδοσιακά πηγάδια, από τα οποία λειτουργούν μόνο τα τέσσερα, στην περιοχή του χωριού Μανδράκι. Αυτά τα πηγάδια είναι συγκεντρωμένα στο κέντρο του χωριού και το νερό των πηγαδιών αυτών χρησιμοποιείται για το πότισμα των περιβολιών. Στο υπόλοιπο του νησιού καταγράφηκαν περίπου επτά πηγάδια τα οποία είναι εγκαταλελειμμένα και τα περισσότερα είναι πλέον ξερά. Οι κάτοικοι του νησιού έχουν κατασκευάσει πολυάριθμες δεξαμενές συλλογής βρόχινου νερού σε όλη την έκταση του νησιού οι οποίες χρησιμοποιούνται για την άρδευση μικρής έκτασης καλλιεργειών.

Μικρότερα έργα υποδομής συλλογής υδάτων είναι :

- Δεξαμενή από σκυρόδεμα στη θέση Παλιόκαμπος, χωρητικότητας 100 m³ με λεκάνη συλλογής όμβριων υδάτων επιφάνειας 150 m². Επίσης, κατασκευάστηκαν δύο ποτίστρες σε απόσταση 300μ. μεταξύ τους που συνδέονται με σωλήνα διαμέτρου 32εκ.
- Δεξαμενή από σκυρόδεμα στη θέση Καψάλα-Σωτηρία, χωρητικότητας 80m³ με λεκάνη συλλογής όμβριων υδάτων και παρακείμενης ποτίστρας.

Όσον αφορά τις οικιακές ανάγκες, σε κάθε σπίτι παρατηρείται και από μία δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού χωρητικότητας 10-15 m³ νερού, η οποία τροφοδοτείται σε εβδομαδιαία προγραμματισμένη βάση και με νερό από την μονάδα αφαλάτωσης του νησιού Κάθε οικισμός έχει δεξαμενές νερού που τροφοδοτούνται από υδροφόρες του δήμου με αφαλατωμένο νερό από τη μονάδα αφαλάτωση

Με βάση τα στοιχεία της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής για την εξέλιξη των ετήσιων ποσοτικών στοιχείων του μεταφερόμενου νερού στις Κυκλάδες και στα Δωδεκάνησα για τη περίοδο 1997-2014, αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.6: Μεταφερόμενες ποσότητες νερού σε m³ ανά έτος, Νίσυρος.

ΕΤΟΣ	ΝΙΣΥΡΟΣ -μεταφερόμενες ποσότητες (m³/έτος)
1996	30.592
1997	40.035
1998	44.778
1999	52.394
2000	80.108
2001	88.338
2002	18.016
2003	21.216
2004	22.766
2005	25.351
2006	25.749
2007	56.730
2008	50.175
2009	50.117
2010	35.640
2011	0
2012	0
2013	0
2014	0

Το νησί εξυπηρετεί πλέον τις υδατικές του ανάγκες κυρίως, με τις τρεις μονάδες αφαλάτωσης στην περιοχή Λουτρά, δυναμικότητας 1020 m³/ημέρα. Συγκεκριμένα τον Μάρτιο του 2023 εγκαταστάθηκε η πιο πρόσφατη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού δυναμικότητας 600 m³/ημέρα, με σκοπό να παρέχει επί 24ώρου βάσεως, νερό κατάλληλο για πόση από τους κατοίκους και επισκέπτες του νησιού.



Σχήμα 2.7: Η νέα μονάδα αφαλάτωσης στο Δ. Νισύρου.

Επιπλέον, στο νησί υπάρχει μία λιμνοδεξαμενή, που βρίσκεται, στη θέση Πάλοι, περίπου 1,6 χιλιόμετρα βορειοανατολικά από τον οικισμό Εμποριό. Πρόκειται για μια εξωποτάμια λιμνοδεξαμενή με ακάλυπτη μεμβράνη που ολοκληρώθηκε το 2003. Η τροφοδοσία της γίνεται από δύο υδροληψίες όμβριων υδάτων και έχει ωφέλιμο όγκο νερού 78.000 κ.μ. (Αθανασόπουλος και συν. 2006).



Σχήμα 2.8: Η λιμνοδεξαμενή της Νισύρου.

Πηγή: Google Earth, 2023

Αξίζει να αναφερθεί ότι αυτή δεν χρησιμοποιείται, λόγω τεχνικών αστοχιών, που αφορά στην στεγανότητα του έργου, σύμφωνα με δήλωση του Δημάρχου Χριστοφή, Κορωναίου (<https://www.kathimerini.gr/life/environment/836969/limnodexa-menes-poy-den-gemisan-pote/>).

2.6 Το Πρόβλημα της Λειψυδρίας

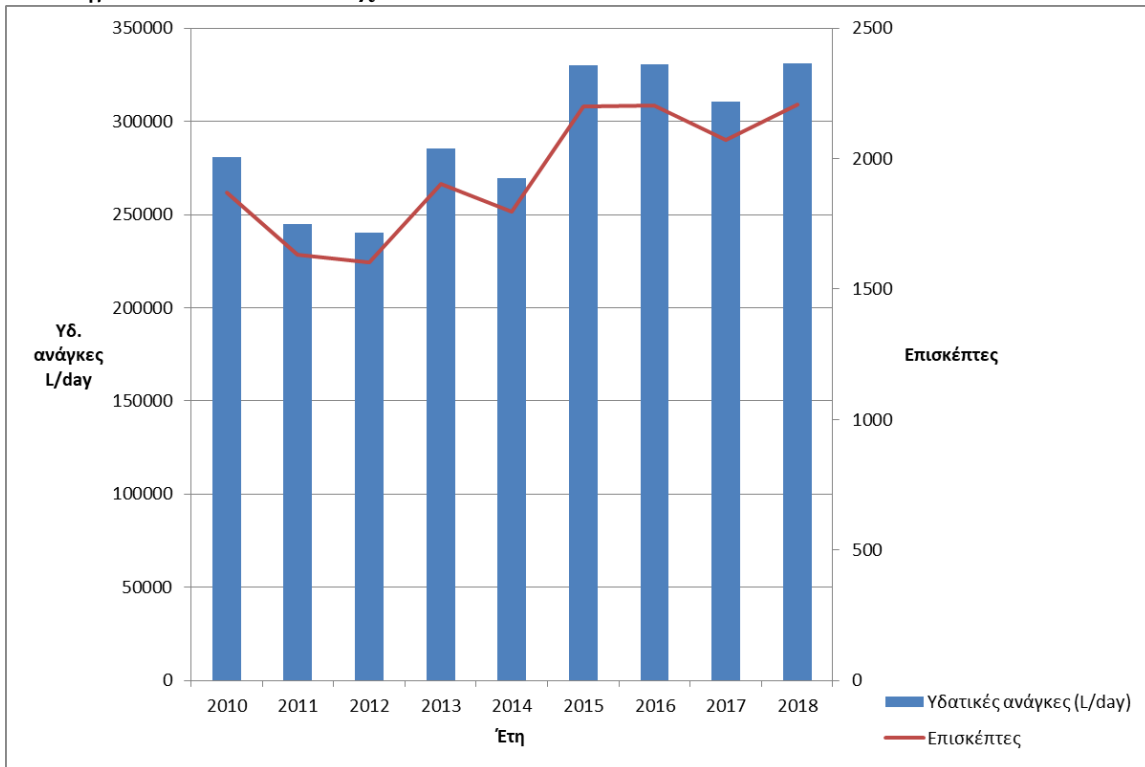
Η Νίσυρος ως άνυδρο ακριτικό νησί των Δωδεκανήσων, έκτος των περιορισμένων υδατικών αποθεμάτων και των ειδικών κλιματολογικών χαρακτηριστικών του, έχει να αντιμετωπίσει και την υδατική πίεση κατά την τουριστική περίοδο, λόγω του μεγάλου όγκου επισκεπτών στο νησί.

Το φαινόμενο της λειψυδρίας οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως είναι:

- η γεωγραφική θέση των νησιών, πολλά είναι απομακρυσμένα και απομονωμένα, κάνοντας δύσκολη και δαπανηρή τη μεταφορά νερού
- η αρκετά χαμηλή ετήσια βροχόπτωση, και οι ξηρές κλιματικές συνθήκες, όπως οι υψηλές θερμοκρασίες.
- οι μονάδες αφαλάτωσης απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας και προκαλούν περιβαλλοντική υποβάθμιση.
- η μεγάλη ζήτηση κατά την τουριστική περίοδο, προκαλεί πίεση στα υδατικά αποθέματα για την κάλυψη των αναγκών των μόνιμων κατοίκων.

- Οι επιπτώσεις της εξελισσόμενης κλιματικής αλλαγής στην περιοχή της Μεσογείου .

Το πρόβλημα της λειψυδρίας γίνεται ακόμα πιο έντονο κατά την τουριστική περίοδο, καθώς τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η τάση αύξησης της ζήτησης σε νερό, καθώς αυξάνεται και ο αριθμός των επισκεπτών, σύμφωνα με τα επίσημα στατιστικά στοιχεία του ΣΕΤΕ.



Σχήμα 2.9: Απεικόνιση των υδατικών αναγκών ανά έτος σε συνάρτηση με τους επισκέπτες στο νησί της Νισύρου.

Στον παρακάτω Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. α ποτυπώνεται η τάση αύξησης των υδατικών αναγκών σε σχέση με τον αριθμό των επισκεπτών κατά το διάστημα 2010 έως 2018. Οι υδατικές ανάγκες έχουν υπολογιστεί με δεδομένο ότι στον κάθε επισκέπτη αντιστοιχούν 150l νερού την ημέρα, μία μέση τιμή των ορίων όπως αυτά προσδιορίζονται στην ΚΥΑ Αριθ. Δ11/Φ.16/8500 (ΦΕΚ 174/Β/1991) σχετικά με την ημερήσια κατανάλωση νερού κατ' άτομο.

Το παραπάνω διάγραμμα είναι ενδεικτικό και παρουσιάζει κατά κύριο λόγο την θετική τάση αύξησης των υδατικών αναγκών. Σημαντικό να αναφερθεί ότι μέσα στη τουριστική περίοδο, οι ξενοδοχειακές μονάδες μπορούν να φτάσουν σε πληρότητα 100% και αυτό επιβαρύνει κατά πολύ τις υδατικές ανάγκες του νησιού. Υπολογίσθηκε ότι οι υδατικές ανάγκες των 1048 μόνιμων κατοίκων του νησιού της Νισύρου, είναι περίπου 157.200L ανά ημέρα.

3. Συστήματα Συλλογής Όμβριων Υδάτων

3.1 Γενικά

Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων ή αλλιώς Rainwater Harvesting, αποτελούν μία ολοκληρωμένη και ορθή διαχείριση των βροχοπτώσεων, καθώς και ενδεδειγμένη πρακτική προσαρμογής στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Η συλλογή όμβριων υδάτων ορίζεται ως η τεχνικές συλλογής, αποθήκευσης και χρήσης του βρόχινου νερού. Η συλλογή αυτού είναι δυνατή να γίνει από τις στέγες των σπιτιών, από πλακόστρωτες επιφάνειες, επιφάνειες δρόμων και γενικότερα από επιφάνειες απορροής, όπου στη συνέχεια αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση, χωρίς να αλλοιώνεται η καθαρότητα του νερού. Η αποθήκευση των όμβριων υδάτων μπορεί να γίνει είτε σε επίγειες είτε σε υπόγειες στεγανές δεξαμενές.

Τα όμβρια ύδατα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ποικίλες χρήσεις, όπως είναι η οικιακή χρήση, η άρδευση καθώς και η επαναφόρτωση των υπόγειων υδροφορέων.

Από τη βιβλιογραφική έρευνα προκύπτει ότι τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων έχουν εφαρμοστεί εκτός από την Ελλάδα (Sazakli et al., 2007) και σε άλλες διαφορετικές περιοχές ανά τον κόσμο, όπως στη Σιγκαπούρη (Tortajada, 2006), στις Ηνωμένες Πολιτείες ((Jones and Hunt, 2010), στη Κένυα (Amani, 2012),

3.2 Ιστορική Αναδρομή

3.2.1 Συλλογή όμβριων υδάτων στον κόσμο

Η συλλογή όμβριων υδάτων χρονολογείται ότι εφαρμόζεται τα τελευταία 4000 χρόνια της ανθρώπινης ιστορίας. Ως πρακτική ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένη σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές. Υπάρχουν πολλοί πολιτισμοί ανά τον κόσμο που έχουν χρησιμοποιήσει την τεχνική συλλογής όμβριων υδάτων, όπως στην αρχαία Ελλάδα, στην αρχαία Ρώμη, στην Μέση Ανατολή, στην Κίνα και στο Μεξικό.

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης του νερού της βροχής έχουν κατασκευαστεί σε ολόκληρη την περιοχή γύρω από την Μεσόγειο και την Εγγύς Ανατολή από την Τρίτη χιλιετία π.Χ..

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.

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

Η Ελλάδα λόγω των κλιματικών χαρακτηριστικών της έχει μακρά ιστορία στη συλλογή όμβριων υδάτων, ήδη από την προϊστορική περίοδο και κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα της χώρας, όπου τα υδατικά αποθέματα παραμένουν ακόμα και σήμερα περιορισμένα.

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..

Οι δεξαμενές χρησιμοποιήθηκαν επίσης και για την αποθήκευση νερού υδραγωγείου για τις εποχιακές μεταβολές. Οι δεξαμενές στην αρχαιότητα ήταν κατασκευές που αποτελούνταν από ακανόνιστου σχήματος οπές και ήταν φτιαγμένες από άμμο ή χαλαρά πετρώματα. Στην συνέχεια επενδύονταν με γύψο (στόκο) για προστασία από την υγρασία, όπως στην Κρήτη από τους Μινωίτες (Mays, 2010).

Πέντε στέρνες είναι γνωστές από την μεσο-και υστερο-μινωική περίοδο (2000 έως 1200 π.Χ.) δύο στον Πύργο Μύρτου και από μια στην κεντρική πλατεία του ανακτόρου της Ζάκρου, στις Αράχνες και στην Οικία Γ. Οι τεχνολογίες αυτές αναπτύχθηκαν από προγενέστερους τύπους όπως αυτός της οικίας στο Χαμαίζι και βελτιώθηκαν περαιτέρω στους μετέπειτα πολιτισμούς (Αγγελάκης, 2011). Προηγμένες τεχνικές αναπτύχθηκαν επίσης στα νησιά του Αιγαίου κατά την Πρωτοκυκλαδική περίοδο (3100 έως 1.600 π.Χ.). Στη Δήλο, νησί των Κυκλάδων διαπιστώθηκε ότι στα περισσότερα σπίτια υπήρχαν κατασκευές συλλογής και αποθήκευσης του βρόχινου νερού σε δεξαμενές κάτω από τις αυλές των οικιών (Koutsoyiannis et al., 2006).

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).

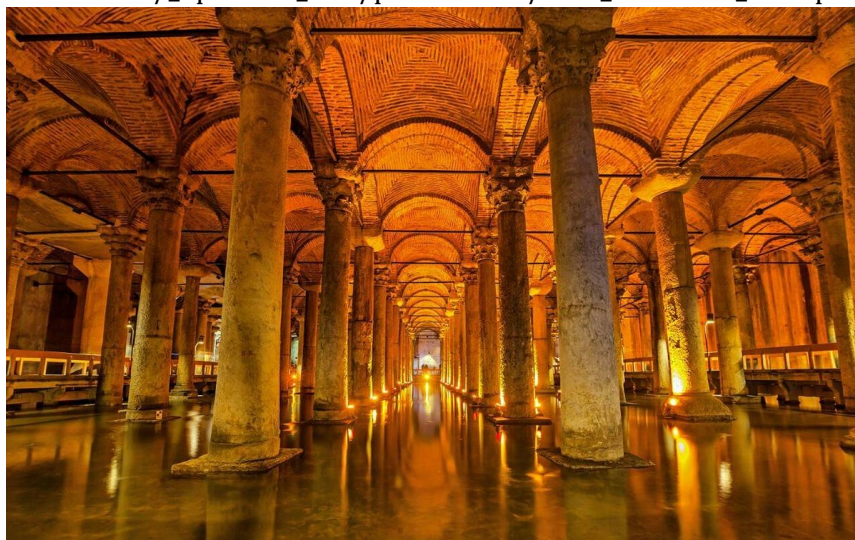
Η πρακτική της συλλογής όμβριων υδάτων συνεχίστηκε και η τεχνολογία βελτιώθηκε περαιτέρω κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο (περ. 67 π.Χ. - 330 μ.Χ.) και τη Βυζαντινή περίοδο (περ. 330 - 1204 μ.Χ.) (Antonioni et al., 2012).

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 οικοήματα 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. 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).



Σχήμα 3.1: Η Βασιλική Κινστέρνα της Κωνσταντινούπολης.

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.



Σχήμα 3.2: Σαρνίτσι στο ανατολικό Λασίθι.

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, Ηρακλειά, Σχοινούσα, Αμοργός, Ανάφη, Σίκινος, Φολέγανδρος, Τήλος, Νίσυρος, Χάλκη, Μεγίστη, Κάσος, Τέλενδος, Ψέριμος, Αστυπάλαια, Λειψοί, Αγαθονήσι, Αρκοί, Αγ. Ευστράτιος, Οινούσες, Ψαρά, Φούρνοι, Θύμαινα, ως περιοχών που έχουν ανάγκη από ιδιαίτερη προστασία και καθορισμός περιορισμών και ειδικών όρων δόμησης στις εκτός σχεδίου και εκτός οικισμών περιοχές αυτών», επιβάλλεται (αρθ. 2β παρ 11) η κατασκευή ομβροδεξαμενών σε εκτός σχεδίου και οικισμού κατοικίες σε αυτά τα 25 νησιά του Αιγαίου.

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 Διάταξη Συστημάτων Συλλογής Όμβριων Υδάτων

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

1. Επιφάνεια συλλογής ομβρίων:

Η συνηθέστερη επιφάνεια συλλογής σε ένα οικιακό σύστημα και όχι μόνο, αποτελεί η στέγη του κτιρίου. Στη στέγη μπορεί εύκολα να συλλεχθεί το βρόχινο νερό με πλεονέκτημα τις μεγάλες ποσότητες και την ποιότητα του

νερού, ωστόσο εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως είναι η έκταση της επιφάνειας και το υλικό κατασκευής της στέγης. Σύμφωνα με την αναφορά της Λόντρα, 2014, 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).

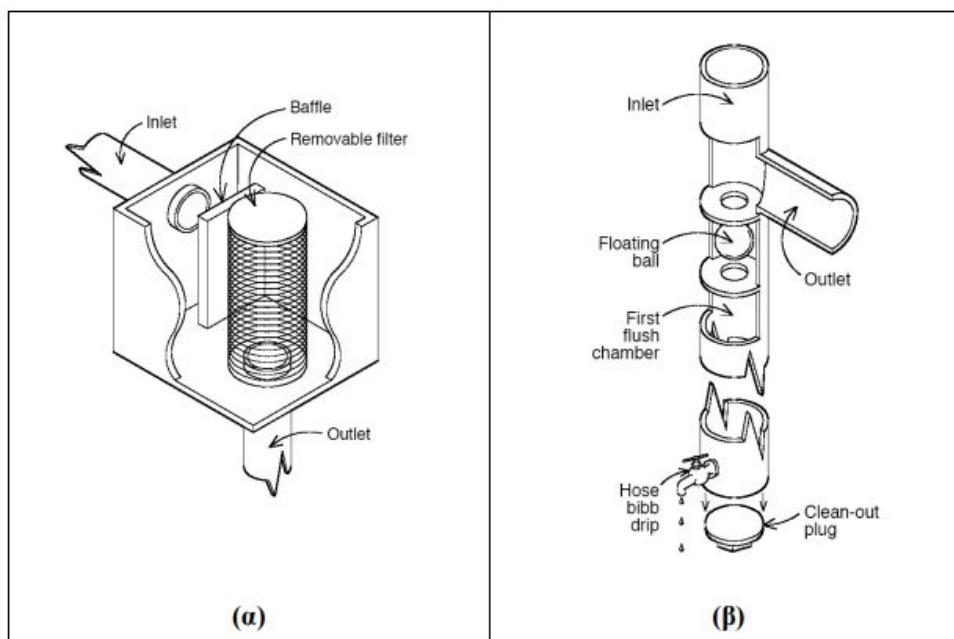
2. Σύστημα μεταφοράς ομβρίων:

Αποτελείται από σωλήνες που κατευθύνουν το νερό της βροχής από την επιφάνεια συλλογής προς τις δεξαμενές αποθήκευσης. Κατάλληλα υλικά κατασκευής των σωλήνων αποτελούν ο ανοξείδωτος χάλυβας, το πολυαιθυλένιο (PE) και το πολυπροπυλένιο (PP). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο υλικό κατασκευής των αγωγών υποδοχής της απορροής, στην περίπτωση των κεκλιμένων στεγών. Οι αγωγοί αυτοί πρέπει να είναι υψηλής μηχανικής αντοχής για να μην παραμορφώνονται από το προβλεπόμενο για κάθε περιοχή φορτίο χιονιού (Λόντρα, 2014).

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 3.3α**). 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 3.3β**). 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 (Λόντρα, 2014).



Σχήμα 3.3: Διατάξεις φιλτραρίσματος (α) και πρώτης έκπλυσης (β) συλλεχθέντων όμβριων υδάτων πριν την είσοδό τους στη δεξαμενή

Πηγή: Texas Water Development Board, 2005.

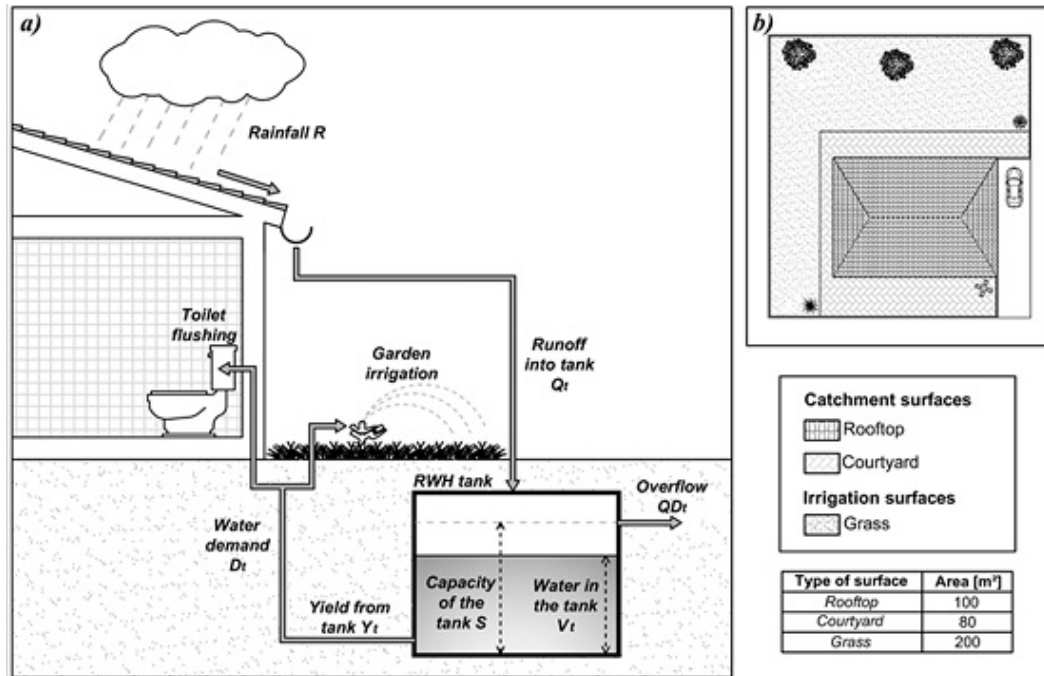
Οι ομβροδεξαμενές μπορεί να είναι είτε πλήρως υπόγειες είτε πλήρως επίγειες (Sturm et al., 2009) και πρέπει να εξασφαλίζεται η στεγανότητα και η δομική και μηχανική τους αντοχή. Η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού πρέπει να έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές: θερμοκρασία μικρότερη των 18°C. Κατασκευασμένη από στεγανό υλικό (π.χ. κατάλληλο πλαστικό), χωρίς να το διαπερνά το φως και να έχει ουδέτερη οσμή. Το μέγεθος της να είναι ανάλογο με το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής. Να προστατεύονται από την διείσδυση αερίων, ακαθαρσιών, φερτά και μικρών ζώων και εντόμων, να έχουν εύκολο σύστημα πρόσβασης για καθαρισμό και συντήρηση.

4. Σύστημα διανομής:

Αυτό περιλαμβάνει συνήθως τις διατάξεις άντλησης και μεταφοράς του νερού από τη δεξαμενή προς το σημείο της τελικής κατανάλωσης.

5. Σύστημα επεξεργασίας/απολύμανσης:

Διατάξεις απολύμανσης ή/και επεξεργασίας του συλλεχθέντος βρόχινου νερού είναι απαραίτητες μόνο όταν το νερό προορίζεται για πόσιμη χρήση.



Σχήμα 3.4: Παράδειγμα συστήματος συλλογής βρόχινου νερού.

Πηγή: A Reliability Analysis of a Rainfall Harvesting System in Southern Italy, 2016.

3.5 Διαστασιολόγηση Ομβροδεξαμενών

Προκειμένου να υπολογιστεί η βέλτιστη διαστασιολόγηση του μεγέθους της ομβροδεξαμενής, που θα προορίζεται να καλύψει κυρίως, τις οικιακές ανάγκες ενός νοικοκυριού, είναι απαραίτητο κατά την μοντελοποίηση να οριστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν το σύστημα. Οι παράγοντες αυτοί είναι

- η τοπική κατανομή της βροχόπτωσης στο χώρο και τον χρόνο,
- η διάρκεια της άνομβρης περιόδου,
- οι εναλλακτικές πηγές ύδρευσης,
- η έκταση της επιφάνειας της συλλογής όμβριων υδάτων
- οι ανάγκες και ο αριθμός των μελών ενός νοικοκυριού και
- το κόστος του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

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).

Αυτό που θα πρέπει να υπογραμμιστεί είναι ότι, η χωρητικότητα της ομβροδεξαμενής δεν μπορεί να τυποποιηθεί και να εφαρμοστεί καθολικά σε οποιαδήποτε περίπτωση, διότι επηρεάζεται σημαντικά από τις διάφορες τοπικές μεταβλητές.

4. Ανάπτυξη – Εφαρμογή Μεθοδολογίας

4.1 Ανάπτυξη Μεθοδολογίας

4.1.1 Μοντέλο Ημερήσιου Υδατικού Ισοζυγίου

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για εξέταση της αποδοτικότητας συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων αστικής χρήσης από στέγη. Η ανάπτυξη του παραπάνω μοντέλου αποσκοπεί στην εύρεση εκείνων των διαστάσεων της ομβροδεξαμενής που θα επαρκούν για να συλλέξουν τον όγκο του νερού της βροχής που θα εισέλθει σε αυτή, αλλά και να μπορεί ταυτόχρονα να καλύπτει το επιθυμητό ποσοστό της συνολικής ζήτησης για την κάλυψη των αναγκών για οικιακή χρήση. Συνεπώς, καθίσταται αναγκαία η ημερήσια καταγραφή της αποθηκευμένης ποσότητας νερού στη δεξαμενή, η οποία εξαρτάται τόσο από την προσφορά νερού, όσο και από τη ζήτηση για την κάλυψη των απαιτούμενων αναγκών, εκτός της πόσης. Με την προσομοίωση αυτή εξετάζεται ταυτόχρονα η αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

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

όπου:

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

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

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

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

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

4.1.2 Προσδιορισμός όγκου απορροής όμβριων υδάτων από επιφάνεια

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

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

όπου:

C : ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής ομβρίων

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

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

όπου:

P_t : η ημερήσια βροχόπτωση

4.1.3 Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης

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

$$D_t = N_{cap} Nca \times q \times (p/100) \quad (4.3)$$

4.1.4 Διαστασιολόγηση όγκου ομβροδεξαμενής

Σύμφωνα με την Εξίσωση (4.1) του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, ο όγκος του νερού που θα μπορούσε να αποθηκευτεί στη ομβροδεξαμενή οποιαδήποτε ημέρα, S_t , λαμβάνοντας υπόψη τις Εξισώσεις (4.2) και (4.3), υπολογίζεται ως εξής (Λόντρα, 2014)

$$S_t = S_{t-1} + C \times A \times P_{eff,t} - N_{cap} \times q \times (p/100), 0 \leq S_{t-1} \leq V_{tank} \quad (4.4)$$

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

$$\Delta S_t = C \times A \times P_{eff,t} - N_{cap} \times q \times (p/100) \quad (4.5)$$

Από τις δύο παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (4.6)$$

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

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

$$\begin{aligned} & \text{if}(S_{t-1} + \Delta S_t) > V_{tank} \text{ then } S_{t,tank} = V_{tank} \\ & \text{if}(S_{t-1} + \Delta S_t) < V_{tank} \text{ then } 0, \\ & \text{else } S_t = S_{t,tank} = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (4.7) \end{aligned}$$

όπου:

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

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

$$\text{if } S_t \geq V_{tank} \text{ then } O_t = S_t - V_{tank}, \text{ else } O_t = 0 \quad (4.8)$$

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

$$if S_t < D_t then T_t = D_t - S_{t,tank}, else T_t = 0 \quad (4.9)$$

Έχοντας διαθέσιμες τις ημερήσιες καταγραφές βροχόπτωσης, τουλάχιστον 5 έως 10 ετών (DIN1989-1, 2002), η παραπάνω διαδικασία προσδιορισμού του όγκου της ομβροδεξαμενής μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε ένα πρόγραμμα λογιστικών φύλλων.

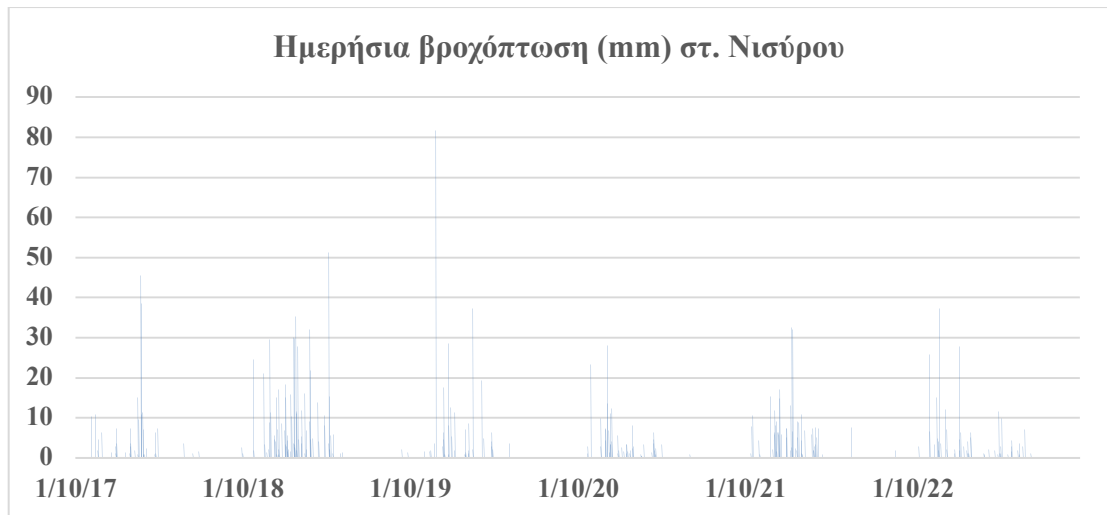
4.1.5 Συντελεστής Αποδοτικότητας, Re

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

$$Re = \frac{\Sigma(\text{ημερών που δεν καλύπτεται η απαιτούμενη ζήτηση από το δίκτυο ύδρευσης})}{\Sigma(\text{ημερών καταγραφών βροχομετρικών δεδομένων})}$$

4.2 Δεδομένα Βροχόπτωσης

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, για το νησί της Νισύρου, για τη χρονική περίοδο 2017-2023, δηλαδή 6 υδρολογικά έτη. Η χρονική περίοδος των 6 υδρολογικών ετών στην περίπτωση της Νισύρου επιλέχτηκε, ώστε να καλύπτει τις απαιτήσεις σε βροχομετρικά δεδομένα για διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής (ο γερμανικός κανονισμός DIN 1989-1 (2002) προτείνει 5 έως 10 έτη βροχομετρικών δεδομένων), καθώς ο σταθμός διαθέτει πλήρη χρονοσειρά βροχομετρικών δεδομένων για τα ανωτέρω χρονικά διαστήματα. Η επιλογή του βροχομετρικού σταθμού έγινε με βάση κριτήρια όπως η διαθεσιμότητα των βροχομετρικών δεδομένων, η πληρότητα των δεδομένων των χρονοσειρών και η κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος, με στόχο να καλύψει πλήρως τις προϋποθέσεις για την διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η ημερήσια διακύμανση του ύψους βροχόπτωσης σε mm για την περιοχή της Νισύρου.



Σχήμα 4.1: Χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης στη Νίσυρο.

Το εύρος τιμών της ημερήσιας βροχόπτωσης για τη χρονική περίοδο που εξετάζουμε κυμαίνονται από 0 έως 81 mm. Η μέση ετήσια βροχόπτωση υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\bar{P} = 365 \times \frac{\sum_{i=1}^N P_t}{N} \quad (4.10)$$

Όπου N το πλήθος ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης για 6 έτη και P_t η ημερήσια τιμή βροχόπτωσης.

4.3 Παραδοχές

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

4.3.1 Ωφέλιμη Βροχόπτωση $P_{eff,t}$

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

$$P_{eff,t} = P_t - 0,33 \text{ (σε mm)}. \quad (4.11)$$

4.3.2 Συντελεστής απορροής, C

Η πλειοψηφία των σπιτιών έχουν στέγες που είναι επίπεδες και χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο τσιμέντο ή πλακάκια. Αυτό οδηγεί στην επιλογή της τιμής του συντελεστή απορροής το $C=0,9$ για τα συγκεκριμένα υλικά (Kinkade-Levario H., 2007).

4.3.3 Επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων, Α

Η διαθέσιμη επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες για τη ποσότητα του συλλεγόμενου νερού. Για τον προσδιορισμό της έκτασης της επιφάνειας συλλογής όμβριων υδάτων μετρήθηκαν κυρίως οι στέγες των κτιρίων. Ύστερα από τη ψηφιακή χαρτογράφηση που έγινε, διαπιστώθηκε ότι η επιφάνεια των κτιρίων στην πλειοψηφία τους κυμαίνεται κάτω από τα 100m². Λόγω της τουριστικής ανάπτυξης που γνωρίζει το νησί τα τελευταία χρόνια και η πιθανότητα μελλοντικά να κατασκευαστούν νέα κτίρια, όπως ξενοδοχεία και καταλύματα, οι επιφάνειες που θα εξεταστούν είναι από 20m² έως 120m².

Μέτρηση Επιφανειών Συλλογής Όμβριων Υδάτων με τη Χρήση Γεωπληροφοριακών Συστημάτων

Η δημιουργία ενός ρεαλιστικού μοντέλου και προσέγγισης για το νησί της Νισύρου υποστηρίζεται και με τη χρήση των διαθέσιμων Γεωπληροφοριακών Συστημάτων, όπως είναι το Google Earth Pro και το ArcGis Pro.

Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκαν οι τέσσερις κύριοι οικισμοί του νησιού, οι οποίοι είναι το Μανδράκι, οι Πάλιοι, το Εμπορείο και η Νικία. Συγκεκριμένα για τον Οικισμό Μανδράκι επιλέχθηκε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα κτιρίων προς μελέτη και για τους υπόλοιπους οικισμούς ψηφιοποιήθηκαν σχεδόν το σύνολο των κτιρίων.

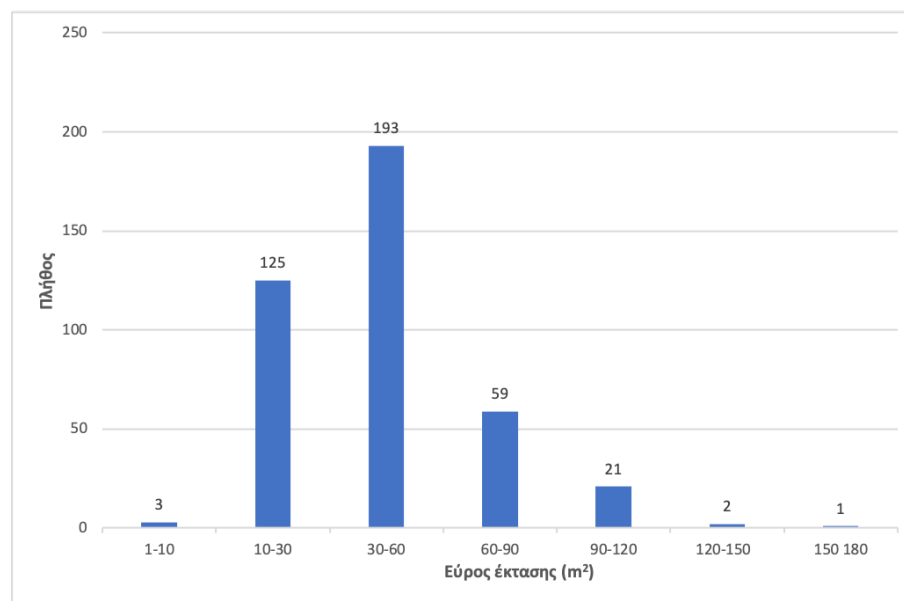
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προσαρμόστηκε στα τοπικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, είναι βιβλιογραφικά αποδεκτή (Durgasrilakshmi Hari et al 2018) και περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω στα εξής βήματα:

1. Επιλογή των οικισμών προς μελέτη.
2. Ψηφιοποίηση της έκτασης της στέγης των κτιρίων, σε μορφή polygons, με τη χρήση του Google Earth Pro, για ένα αντιπροσωπευτικό αριθμό κτιρίων από τον κάθε οικισμό.
3. Συλλογή των δεδομένων και αποθήκευση του ψηφιοποιημένου χάρτη που προέκυψε σε μορφή αρχείου kml/kmz,
4. Εξαγωγή στο ArcGis Pro και μετατροπή σε αρχείο shape file.
5. Υπολογισμός του εμβαδού της έκτασης της στέγης για κάθε κτίριο που ψηφιοποιήθηκε και ανάλυση των μετρήσεων.
6. Δημιουργία χαρτών προς τεκμηρίωση.

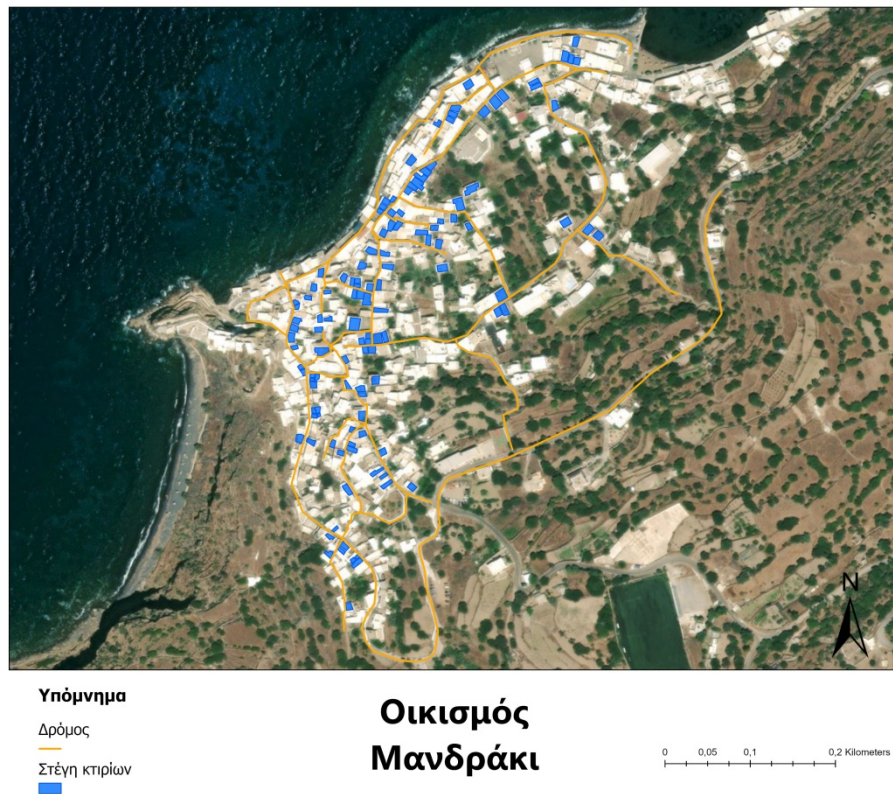


OID *	Shape *	Name	Shape_Length	area
1	3	Polygon Z mandraki roof	0,000349	73,40833
2	4	Polygon Z mandraki roof	0,000296	45,640154
3	5	Polygon Z mandraki roof	0,000315	52,319715
4	6	Polygon Z mandraki roof	0,000372	52,445975
5	7	Polygon Z mandraki roof	0,000426	77,892212
6	8	Polygon Z mandraki roof	0,000292	41,49073
7	9	Polygon Z mandraki roof	0,00036	42,680338
8	10	Polygon Z mandraki roof	0,001135	727,554657
9	11	Polygon Z paloi roof	0,000392	72,803338
10	12	Polygon Z paloi roof	0,000387	84,144803
11	13	Polygon Z paloi roof	0,000299	47,147724
12	14	Polygon Z paloi roof	0,000336	62,10138
13	15	Polygon Z paloi roof	0,000245	37,09494
14	16	Polygon Z paloi roof	0,000272	37,853881
15	17	Polygon Z paloi roof	0,000275	45,043015
16	18	Polygon Z paloi roof	0,000253	34,227436
17	19	Polygon Z paloi roof	0,000307	47,673962

Σχήμα 4.2: Γενική αποτύπωση του νησιού και των οικισμών που επιλέχθηκαν για ψηφιοποίηση μέσω του προγράμματος ArcGis.



Σχήμα 4.3: Ποσοτικό διάγραμμα του εύρους έκτασης στέγης στους οικισμούς που μελετήθηκαν.



Σχήμα 4.4: Ψηφιακή αποτύπωση των κτιρίων για τον Οικισμό Μανδράκι.



Σχήμα 4.5: Ψηφιακή αποτύπωση των κτιρίων για τον Οικισμό Πάλι.



Υπόμνημα
 Δρόμος
 Στέγη κτιρίων
 ■

Οικισμός Εμπορείος

0 0.03 0.06 0.12 Kilometers

Σχήμα 4.6: Ψηφιακή αποτύπωση των κτιρίων για τον Οικισμό Εμπορείος.



Υπόμνημα
 Δρόμος
 Στέγη κτιρίων
 ■

Οικισμός Νικία

0 0.02 0.04 0.08 Kilometers

Σχήμα 4.7: Ψηφιακή αποτύπωση των κτιρίων για τον Οικισμό Νικία.

4.3.4 Αριθμός εξυπηρετούμενων ατόμων ανά νοικοκυριό, N_{cap}

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ του 2011, τα οποία παρουσιάστηκαν και σε προηγούμενο κεφάλαιο, για τον αριθμό των μελών προκύπτει ότι τα περισσότερα νοικοκυριά αποτελούνται από 1 έως 3 μέλη. Συνεπώς, θα εφαρμοστούν σενάρια για $N_{cap}=1$, $N_{cap}=2$ και $N_{cap}=3$.

4.3.5 Κατανάλωση νερού κατ' άτομο, q

Η ημερήσια οικιακή κατανάλωση νερού ανά άτομο προσδιορίστηκε σε 150l/day/cap. Η επιλογή της τιμής αυτής είναι η μέση τιμή των ορίων, σύμφωνα με το ΦΕΚ Β 174/1991, όπου η ελάχιστη ποσότητα προσδιορίζεται σε 100l την ημέρα ανά κάτοικο και 200l την ημέρα ανά κάτοικο, το ανώτατο.

4.3.6 Ποσοστό χρήσης συστήματος, p

Το ποσοστό της χρήσης συστήματος, p , που επιλέχθηκε είναι το ποσοστό 30%, 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%).

4.3.7 Μέγεθος ομβροδεξαμενής, V_{tank}

Οι όγκοι των ομβροδεξαμενών που εξετάστηκαν ξεκινούν από 5m³ έως και 30m³. Οι τιμές αυτές θεωρούνται ρεαλιστικές, καθώς στο νησί της Νισύρου σε πολλά κτίρια οι ομβροδεξαμενές είναι εγκατεστημένες και υπόγεια.

4.4 Εφαρμογή στη Νίσυρο

Στη συνέχεια σε ένα υπολογιστικό φύλλο Microsoft excel εφαρμόζεται η μεθοδολογία υπολογισμού της απαιτούμενης χωρητικότητας ομβροδεξαμενής για τα ιστορικά βροχομετρικά δεδομένα της Νισύρου. Για την εφαρμογή του μοντέλου του υδατικού ισοζυγίου προβλέπονται οι παράμετροι που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1: Δεδομένα εισόδου για την εφαρμογή του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου.

Δεδομένα εισόδου	Τιμές
Βροχομετρικά δεδομένα	Σταθμός Ε.Α.Α. (2017-2023)
$q(l/cap/day)$	150l
Συντελεστής απορροής (C)	0.9
$p(\%)$	30%
N_{cap}	1-3
V_{tank}	5-30
$A(m^2)$	20-120

4.5 Διερεύνηση μελλοντικών σεναρίων

Γενικά

Τα κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται, για την εκτίμηση των μελλοντικών συνθηκών που επιφέρει η κλιματική αλλαγή και περιέχονται μεταβλητές, όπως είναι η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η σχετική υγρασία και η εξατμισοδιαπνοή. Αξίζει να σημειωθεί, ότι υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα σε όλα τα κλιματικά μοντέλα, κυρίως στην αδυναμία ολοκληρωμένης κατανόησης των εξωτερικών παραγόντων που επιδρούν στο κλίμα.

Υπάρχουν πολλά ερευνητικά κέντρα που ασχολούνται με την ποσοτικοποίηση της μεταβολής του κλίματος, τα οποία ποικίλουν από άποψη πολυπλοκότητας. Στην Ελλάδα έχουν χρησιμοποιηθεί σενάρια για υδρολογικές μελέτες από μεγάλα ερευνητικά κέντρα, όπως το Hadley Center, στη Μ. Βρετανία και το Deutsches Klimarechenzentrum στη Γερμανία (Mimikou et al, 2000). Τα σενάρια αυτά αναφέρονται σε μελλοντικά έτη στόχους, όπως το 2050 και 2100.

Τα κλιματικά μελλοντικά σενάρια ονομάζονται Representative Concentration Pathways (RCPs). Το κάθε ένα σενάριο προβάλλει τις μελλοντικές συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το έτος 2100 και τις πιθανές διαταραχές που θα προκαλέσουν στην ακτινοβολία σε σχέση με τα επίπεδα της προ-βιομηχανικής περιόδου.

Συγκεκριμένα υπάρχουν τρία βασικά σενάρια τα οποία αναλύονται παρακάτω και είναι τα εξής (<https://www.climfoot-project.eu/en/how-react>):

1. **Σενάριο RCP 2.6:** Το σενάριο RCP 2.6, είναι το πιο αισιόδοξο για την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που ευθύνεται η ανθρώπινη δραστηριότητα και για να συγκρατηθεί η θερμοκρασία κάτω από +2°C (Vuuren et al., 2011).
2. **Σενάριο RCP 4.5:** Το συγκεκριμένο σενάριο θέτει ως στόχο το όριο των 650ppm διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), χωρίς να υπερβεί αυτή τη τιμή συγκέντρωσης μέχρι και το έτος 2100 (Thomson et al., 2011).
3. **Σενάριο RCP 8.5:** Το RCP 8.5, είναι το πιο απαισιόδοξο σενάριο και περιλαμβάνει την περίπτωση, όπου δεν έχουν ληφθεί πολιτικές για την κλιματική αλλαγή και το περιβάλλον, με σχετικό χαμηλό επίπεδο οικονομικής ευημερίας σε συνδυασμό με μέτριο ρυθμό τεχνολογικής προόδου όσον αφορά την αποτελεσματική κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων. Επομένως, συνεχώς αυξάνεται η εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου (Riahi et al., 2011).

Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας

Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Global Circulation Models) είναι παγκόσμια αριθμητικά κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμια κλίμακα. Περιγράφουν διάφορες παραμέτρους του συστήματος της Γης και τις μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις και ανατροφοδοτήσεις μεταξύ τους. Προκειμένου να προσομοιωθεί το κλίμα του παρελθόντος, οι μετρούμενες τιμές χρησιμοποιούνται ως δεδομένα επιβολής, ενώ για μελλοντικές προβολές χρησιμοποιούνται τιμές από συγκεκριμένα σενάρια εκπομπών.

Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα

Πρόκειται για μοντέλα περιορισμένου πεδίου και υψηλής ανάλυσης τα οποία βασίζονται στη δυναμική μείωση της κλίμακας και αναπτύχθηκαν προκειμένου να εισαχθεί η περιοχική πληροφορία στα μεγάλης κλίμακας πεδία που παρέχονται από τα GCMs ή που προκύπτουν από μετεπεξεργασία (Giorgi F., 1990) και (Dickinsonetal.,1989) βασίζονται στη δυναμική μείωση της κλίμακας και αναπτύχθηκαν προκειμένου να εισαχθεί η περιοχική πληροφορία στα μεγάλης κλίμακας πεδία που παρέχονται από τα GCMs ή που προκύπτουν από μετεπεξεργασία (Giorgi F., 1990) και (Dickinsonetal.,1989).

Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας, οι χρονοσειρές των βροχοπτώσεων αντλήθηκαν ελεύθερα από το DEAR-Clima (Data Extraction Application for

Regional Climate) στην διαδικτυακή ιστοσελίδα: <http://meteo3.geo.auth.gr:3838/>. Για την διερεύνηση των σεναρίων χρησιμοποιήθηκαν οι εξής ημερήσιες χρονοσειρές βροχόπτωσης των μοντέλων: (i) IPSL-INERIS-WRF331F_IPSL-IPSL-CM5A-MR, (ii) KNMI-RACMO22E_ICHEC-EC-EARTH61, (iii) SMHI-RCA4_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5, (iv) CLMcom-CCLM4-8-17_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5, (v) CLMcom-CCLM4-8-17_MPI-M-MPI-ESM-LR, (vi) CNRM-ALADIN53_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5, (vii) MPI-CSC-REMO2009_MPI-M-MPI-ESM-LR, (viii) SMHI-RCA4_IPSL-IPSL-CM5A-MR, και εξετάστηκαν και για τα δύο κλιματικά σενάρια RCP=4.5 και RCP=8.5. Ολόκληρη η ανάλυση και ο υπολογισμός της αξιοπιστίας του συστήματος, εκτελέστηκε σύμφωνα με το μοντέλο του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου που αναλύθηκε προηγουμένως.

5. Αποτελέσματα – Συζήτηση

5.1 Σενάρια Μελέτης (οικιακή διάταξη)

Σύμφωνα με την απογραφή του πληθυσμού από τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, τις υδατικές ανάγκες ενός νοικοκυριού και τα βροχομετρικά δεδομένα, τα σενάρια που διερευνήθηκαν είναι τα εξής:

1. Νοικοκυριό με ένα μέλος και επιφάνεια συλλογής ομβρίων 20-120m².
2. Νοικοκυριό με δύο μέλη και επιφάνεια συλλογής ομβρίων 20-120m².
3. Νοικοκυριό με τρία μέλη και επιφάνεια συλλογής ομβρίων 20-120m².

5.2 Ανάλυση Αξιοπιστίας

Για τα παραπάνω σενάρια διερευνήθηκε το ποσοστό αξιοπιστίας του συστήματος ομβροδεξαμενής. Η τιμή εύρεσης του συντελεστή αξιοπιστίας Re (Reliability) του συστήματος είναι σε εξάρτηση με τη μεταβολή των τιμών της επιφάνειας συλλογής όμβριων υδάτων και της χωρητικότητας της ομβροδεξαμενής.

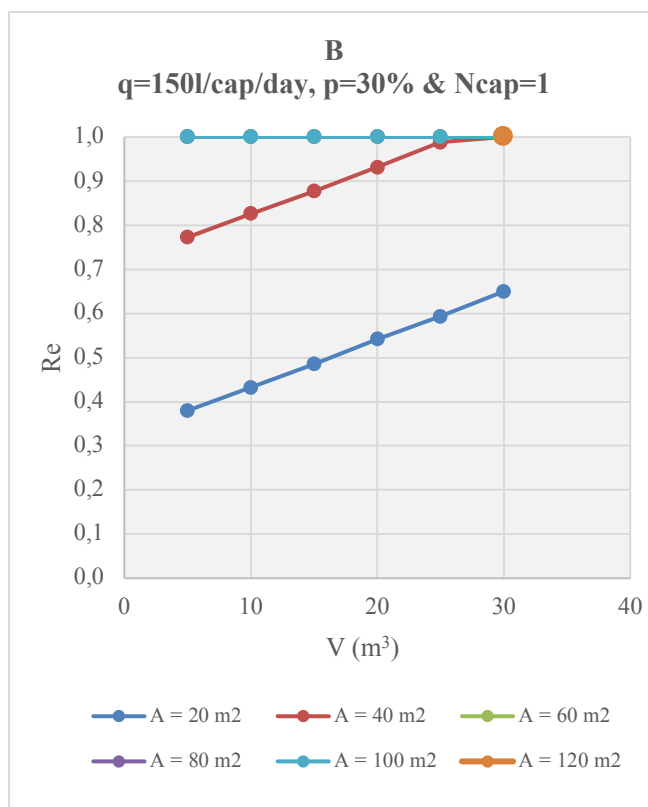
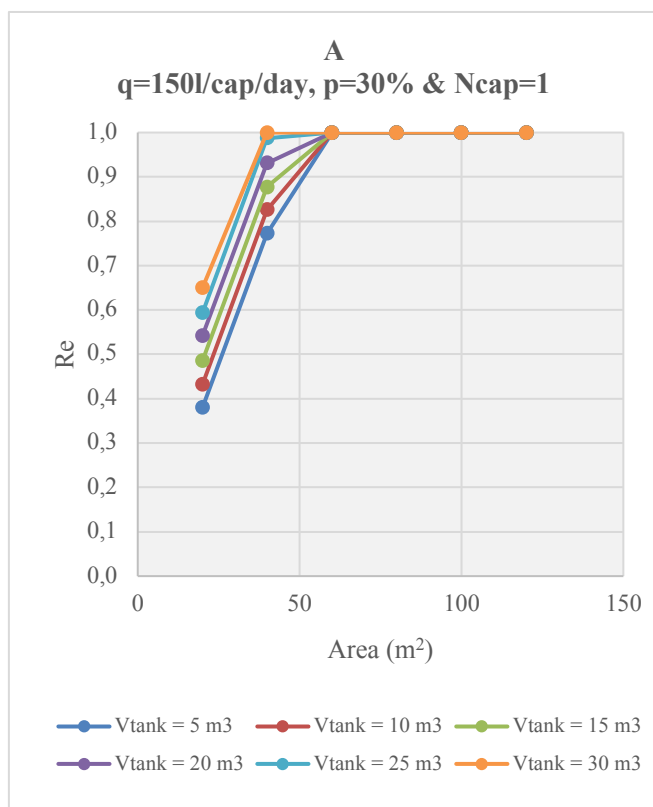
5.3 Αποτελέσματα Αρχικής Προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα για τα σενάρια που εξετάστηκαν παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω μαζί με τα αντίστοιχα διαγράμματα που αποτυπώνεται η αποδοτικότητα του συστήματος.

Συγκεκριμένα στο **Σχήμα 5.1** που αφορά το πρώτο σενάριο, παρατηρείται ότι οι τιμές αξιοπιστίας κυμαίνονται από 38 έως 100%. Η μικρότερη έκταση συλλογής όμβριων υδάτων που το σύστημα φτάνει σε ποσοστό αξιοπιστίας 100%, είναι η περίπτωση των 40m² και για όγκο δεξαμενής 30m³. Ο μικρότερος όγκος ομβροδεξαμενής που το σύστημα επιτυγχάνει πλήρη αξιοπιστία είναι τα 5m³, για επιφάνεια συλλογής 60m². Γενικότερα, για εύρος έκτασης επιφανείας από 60 έως 120m², επιτυγχάνεται 100% αξιοπιστία του συστήματος για νοικοκυριό που αποτελείται από ένα μέλος και όγκους δεξαμενής (V_{tank}), από 5 έως 30m³. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρείται απότομη μεταβολή της αποδοτικότητας του συστήματος για επιφάνειες από 20 έως 40m², ενώ για επιφάνεια με τιμή 20m² δεν φτάνει 100% η αξιοπιστία του συστήματος.

Πίνακας 5.1: Συνδυασμοί όγκων ομβροδεξαμενών και επιφανειών συλλογής όμβριων υδάτων, για πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος στο σενάριο μελέτης, Ncap=1.

Vtank (m ³)	A(m ²)
30	40
5 έως 30	60
5 έως 30	100
5 έως 30	120

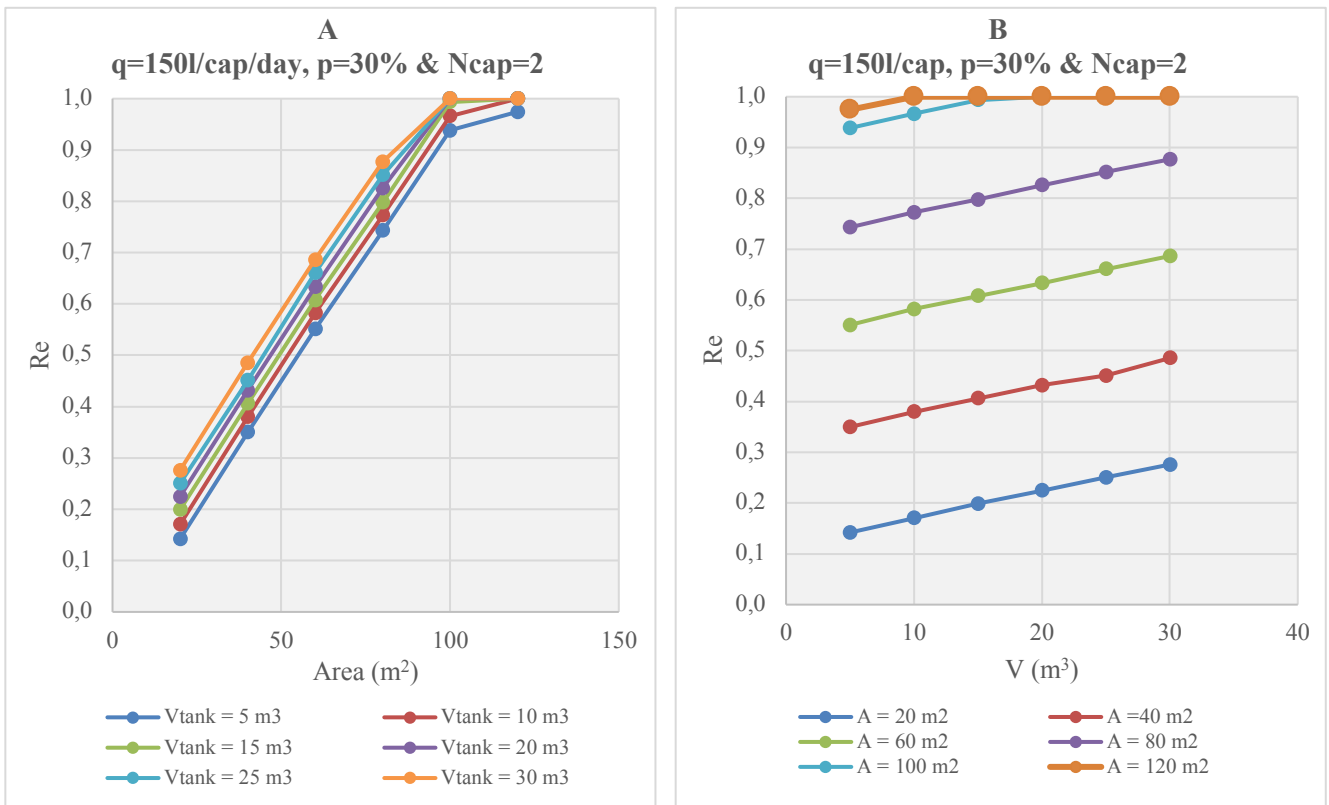


Σχήμα 5.1: Αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης από το υπό μελέτη σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, για μέση ημερήσια ζήτηση q=150l/cap/day, ποσοστό επί της ζήτησης p=30% και Ncap=1 και επιφάνειες συλλογής νερού εύρους 20 έως 120m². Α σχήμα η αξιοπιστία σε σχέση με το εύρος επιφανείας και Β σχήμα σε σχέση με τον όγκο δεξαμενής.

Η αξιοπιστία του συστήματος για το δεύτερο σενάριο μελέτης που αφορά νοικοκυριό με δύο μέλη κυμαίνεται από 14 έως 100%. Η ελάχιστη τιμή της αποδοτικότητας σε σύγκριση με το πρώτο σενάριο, είναι σαφώς μειωμένη καθώς έχει αυξηθεί η ζήτηση, η οποία αφορούσε 1 μέλος ανά οικία, ενώ τώρα δύο μέλη ανά οικία. Παρατηρείται απότομη μεταβολή της αποδοτικότητας του συστήματος από 20 έως 100 m². Το σύστημα παρουσιάζει πλήρη αποδοτικότητα για οικία με έκταση συλλογής 100 και 120m² και για όγκους δεξαμενών από 10 έως 30m³. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνδυασμοί όγκου δεξαμενής και εμβαδού συλλογής που πετυχαίνουν πλήρη αξιοπιστία.

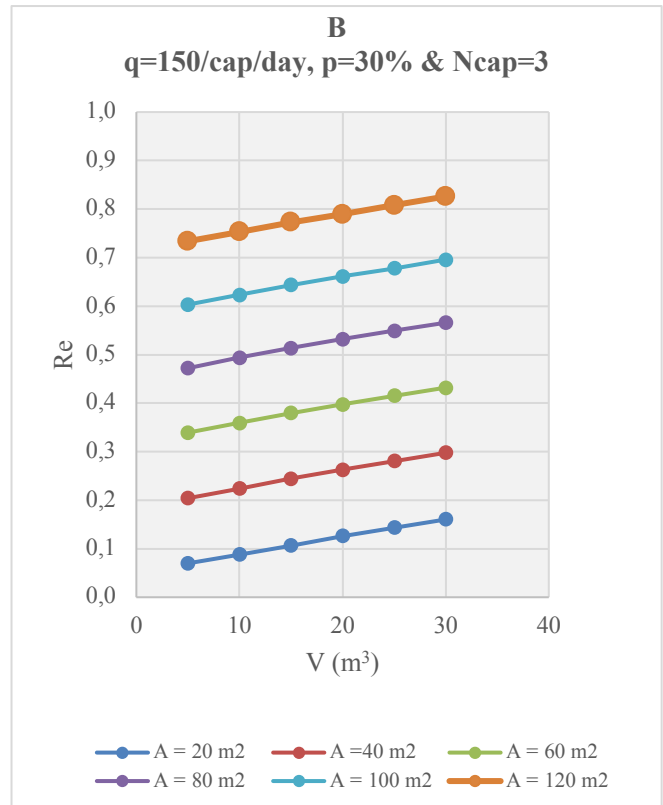
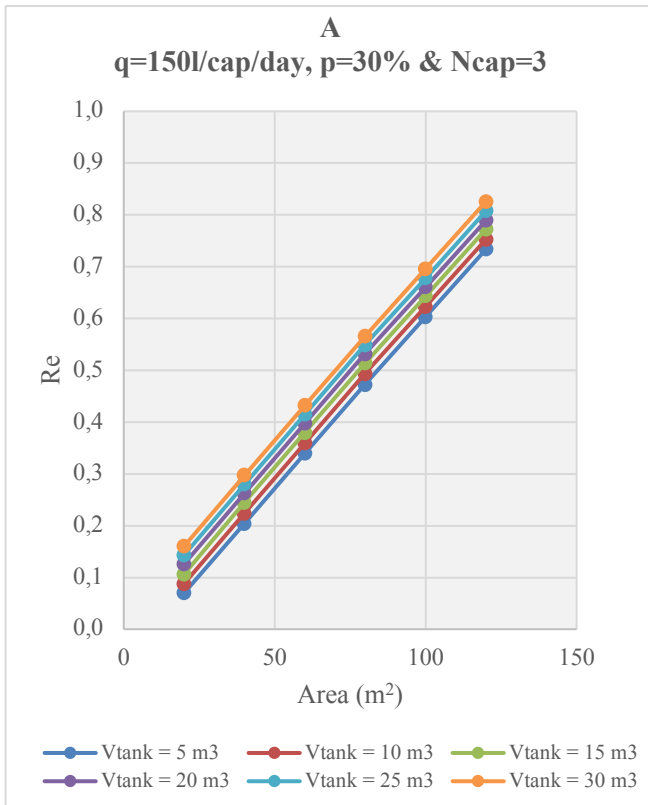
Πίνακας 5.2: Συνδυασμοί όγκων ομβροδεξαμενών και επιφανειών συλλογής όμβριων υδάτων, για πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος στο δεύτερο σενάριο μελέτης, Ncap=2.

V_{tank} (m³)	A(m²)
10	120
15	120
20	100 & 120
25	100 & 120
30	100 & 120



Σχήμα 5.2: Αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης από το υπό μελέτη σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, για μέση ημερήσια ζήτηση $q=150l/cap/day$, ποσοστό επί της ζήτησης $p=30\%$ και $N_{cap}=2$ και επιφάνειες συλλογής νερού A εύρους 20 έως 120m². Α σχήμα η αξιοπιστία σε σχέση με το εύρος επιφανείας και Β σχήμα σε σχέση με τον όγκο δεξαμενής.

Η αξιοπιστία του συστήματος για το τρίτο σενάριο μελέτης, που αφορά κατοικία με τρία μέλη, κυμαίνεται από 6 έως 82%. Στο συγκεκριμένο σενάριο μελέτης δεν επιτυγχάνεται πλήρης αξιοπιστία και παρατηρείται επίσης απότομη μεταβολή στην αξιοπιστία του συστήματος από 20 έως 120m².



Σχήμα 5.3: Αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης από το υπό μελέτη σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, για μέση ημερήσια ζήτηση q=150l/cap/day, ποσοστό επί της ζήτησης p=30% και Ncap=3 και επιφάνειες συλλογής νερού A εύρους 20 έως 120m². Α σχήμα η αξιοπιστία σε σχέση με το εύρος επιφανείας και Β σχήμα σε σχέση με τον όγκο δεξαμενής.

5.4 Αποτελέσματα εφαρμογής κλιματικών μοντέλων σε συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων στο νησί της Νισύρου

Για μία ολοκληρωμένη και αξιόπιστη έρευνα που αφορά στην επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην περιοχή μελέτης, αναλύθηκαν 8 διαφορετικές μελλοντικές χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης. Το χρονικό εύρος αυτών των χρονοσειρών επιλέχθηκε να μελετηθεί από το 2026 έως το 2060, για το κάθε κλιματικό σενάριο των RCP 4.5 και RCP 8.5 (σύνολο 16), και επιλέχθηκαν κατοικίες με εύρος έκτασης συλλογής υδάτων τα 60, 80 και 100m², για όγκο δεξαμενής 5 και 10m³, και για κατοικία με πλήθος ατόμων από δύο έως τρία μέλη.

Η βροχόπτωση είναι καθοριστική μεταβλητή για την απόδοση που θα έχει το σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μελλοντικών κλιματικών σεναρίων, παρατηρείται αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, καθώς η μελλοντική προβολή δείχνει θετική τάση στην ημερήσια βροχόπτωση για την περιοχή ενδιαφέροντος, σε σύγκριση με την ιστορική χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης. Εξαίρεση αποτελεί η μελλοντική χρονοσειρά: 'SMHI-RCA4_IPSL-IPSL-CM5A-MR', στην οποία παρατηρείται αρνητική τάση σε σύγκριση με την ιστορική χρονοσειρά και συνεπώς οι τιμές αξιοπιστίας του συστήματος είναι χαμηλότερες από τις τιμές αξιοπιστίας στα σενάρια προσομοίωσης που χρησιμοποιούν την ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης.

Πίνακας 5.3: Σύγκριση ετήσιας κατακρήμνισης για τις διάφορες κλιματικές μελλοντικές χρονοσειρές για το έτος 2060 σε σύγκριση με την ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης για το έτος 2023.

	Ετήσια Κατακρήμνιση (Έτος)	
Historic Time Series	127.2mm (2023)	
RCP	4.5	8.5
IPSL-INNERIS-WRF331F_IPSL-IPSL-CM5A-MR	517.5 mm (2060)	639.8mm (2060)
KNMI-RACMO22E_ICHEC-EC-EARTH61	216mm (20260)	254.3mm (2060)
SMHI-RCA4_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	134.5mm (2060)	268.5mm (2060)
CLMcom-CCLM4-8-17_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	129.3mm (2060)	264mm (2060)

CLMcom-CCLM4-8-17_MPI-M-MPI-ESM-LR	359.9mm (2060)	135.7mm (2060)
CNRM-ALADIN53_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	366.7mm (2060)	429.1mm (2060)
MPI-CSC-REMO2009_MPI-M-MPI-ESM-LR	367.4mm (2060)	187mm (2060)
SMHI-RCA4_IPSL-IPSL-CM5A-MR	124.4mm (2060)	102.6mm (2060)

Στον Πίνακα 5.4 παρατηρούμαι, ότι έχουμε σημαντική ποσοστιαία αύξηση στην ετήσια κατακρήμνιση το έτος 2060 σε σύγκριση με το 2023, που κυμαίνεται για το κλιματικό σενάριο RCP4.5, από 2 έως 307% και για το σενάριο RCP8.5, από 7 έως 403%. Η μελλοντική χρονοσειρά βροχόπτωσης ‘SMHI-RCA4_IPSL-IPSL-CM5A-MR’, όπως ήταν αναμενόμενο, παρουσιάζει μείωση 2% και 19%, για τα μελλοντικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.4: Συνολική ποσοστιαία διαφορά ετήσιας κατακρήμνισης για το έτος 2060 σε σύγκριση με την ετήσια βροχόπτωση για το έτος 2023, για τα μελλοντικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.

Ποσοστιαία Διαφορά Κατακρήμνισης		
RCP	4.5	8.5
IPSL-INERIS-WRF331F_IPSL-IPSL-CM5A-MR	307%	403%
KNMI-RACMO22E_ICHEC-EC-EARTH61	70%	100%
SMHI-RCA4_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	6%	111%
CLMcom-CCLM4-8-17_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	2%	108%
CLMcom-CCLM4-8-17_MPI-M-MPI-ESM-LR	183%	7%
CNRM-ALADIN53_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	188%	237%
MPI-CSC-REMO2009_MPI-M-MPI-ESM-LR	189%	47%
SMHI-RCA4_IPSL-IPSL-CM5A-MR	-2%	-19%

Στα περισσότερα σενάρια που αφορούν κατοικία με δύο άτομα, το σύστημα επιτυγχάνει τον στόχο του 30% των συνολικών υδατικών απαιτήσεων. Η έκταση συλλογής των υδάτων (A) είναι μία ευαίσθητη παράμετρος, καθώς στα σενάρια με μικρότερη έκταση συλλογής επιτυγχάνεται και μικρότερη τιμή αξιοπιστίας. Για τη παράμετρο που αφορά τον όγκο ομβροδεξαμενής (Vtank), παρατηρείται ότι με αύξηση του όγκου, έχουμε και ελάχιστη αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος. Στα σενάρια, με κατοικία των τριών ατόμων, η πλήρης αξιοπιστία επιτυγχάνεται σε μερικές περιπτώσεις που αφορούν το κλιματικό σενάριο RCP 4.5. Τα αποτελέσματα για το σενάριο RCP 8.5, δείχνουν ελάχιστη μείωση της αξιοπιστίας σε σχέση με το σενάριο RCP 4.5.

Πίνακας 5.5: Συνδυασμοί ελαχίστων επιφανειών συλλογής όμβριων υδάτων και όγκων ομβροδεξαμενής, για πλήρης αποδοτικότητα του συστήματος, για το σενάριο Ncap=2.

	A (m²)	Vtank (m³)
Historic Time Series	100	20
RCP 4.5	60	5
RCP 8.5	60	5

Πίνακας 5.6: Συνδυασμοί ελαχίστων επιφανειών συλλογής όμβριων υδάτων και όγκων ομβροδεξαμενής, για πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος, για το σενάριο Ncap=3.

	A (m²)	Vtank (m³)
Historic Time Series	-	-
RCP 4.5	80	5
RCP 8.5	80	10

Στον **Πίνακα 5.6**, να σημειωθεί ότι για την ιστορική χρονοσειρά βροχοπτώσεων, στο σενάριο κατοικίας των 3 ατόμων δεν επιτυγχάνεται πλήρης αξιοπιστία και το σύστημα φτάνει σε μέγιστο ποσοστό αξιοπιστίας 82%, για επιφάνεια συλλογής 120m² και όγκο ομβροδεξαμενής 30m³. Αξίζει να σημειωθεί ότι συγκριτικά και με άλλες μελέτες ή επιστημονικά άρθρα για την περιοχή μελέτης, τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα και πολύ κοντά.

Στο Παράρτημα Α, γίνεται παράθεση των διαγραμμάτων της ετήσιας κατακρήμνισης για την ιστορική χρονοσειρά, που αφορά την χρονική περίοδο 2017 έως 2023 και ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα ετήσιας κατακρήμνισης για τα δύο μελλοντικά σενάρια που εξετάστηκαν (RCP 4.5. Και RCP 8.5) στο Παράρτημα Β και Γ, για όλα τα κλιματικά μοντέλα που

μελετήθηκαν στο νησί της Νισύρου, που αφορούν τη χρονική περίοδο από το 2026 έως το 2060.

Στο Παράτημα Δ και Ε, παρατίθενται τα διαγράμματα διερεύνησης της αξιοπιστίας του συστήματος, για το κλιματικό σενάριο RCP=4.5 και για το RCP=8.5, αντίστοιχα. Για την κάθε περίπτωση που μελετήθηκε γίνεται παρουσίαση για την ίδια επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων (Α) σε σύγκριση με τον διαφορετικό αριθμό ατόμων ενός νοικοκυριού (Ncap).

6. Συμπεράσματα - Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

6.1 Σύνοψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διαστασιολόγηση και η διερεύνηση της αξιοπιστίας συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων για το νησί της Νισύρου. Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε εκτενής αναφορά στα γεωλογικά, κλιματικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά της Νισύρου, ώστε να προσδιορισθούν οι ιδιαιτερότητες της περιοχής.

Εφαρμόστηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου και χρησιμοποιήθηκαν ιστορικές χρονοσειρές βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη από το 2017 έως το 2023. Συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν σενάρια, που αφορούν την κάλυψη οικιακών υδατικών αναγκών σε ποσοστό 30% του συνόλου των υδατικών απαιτήσεων ενός νοικοκυριού με 1 έως 3 μέλη για ημερήσιες υδατικές ανάγκες κατά άτομο τα 150l. Για την επιφάνεια συλλογής υδάτων εξετάστηκε ένα εύρος έκτασης από 20m² έως 120m², καθώς επίσης μελετήθηκαν και διαφορετικοί όγκοι ομβροδεξαμενών από 5m³ έως 30m³. Στην εφαρμογή του μοντέλου του υδατικού ισοζυγίου, έγινε η θεώρηση ότι αρχικώς η ομβροδεξαμενή ήταν γεμάτη.

Τέλος, κρίθηκε απαραίτητη η εξέταση μελλοντικών σεναρίων υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής. Για το σκοπό αυτό, το σύστημα προσομοιώθηκε με δεδομένα κατακρήμνισης από την διαδικτυακή ιστοσελίδα DEAR Clima και αντλήθηκαν μελλοντικές χρονοσειρές βροχόπτωσης για τα κλιματικά μοντέλα RCP 4.5 και RCP 8.5. Συγκεκριμένα διερευνήθηκε η αξιοπιστία συστήματος για κατοικία με δύο και τρία άτομα, για τα σενάρια με επιφάνεια συλλογής όμβριων υδάτων, 60 80 και 100m² και για όγκους ομβροδεξαμενής 5 και 10m³.

6.2 Συμπεράσματα

Συνοπτικά θα αναφερθούν τα συμπεράσματα της έρευνας για το νησί της Νισύρου, που σκοπό έχουν την καλύτερη κατανόηση και αποδοτικότερη λειτουργία του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων για αστική χρήση.

Συμπεράσματα για την ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης (2017-2023)

Έπειτα από μελέτη των σεναρίων διαπιστώθηκε ότι η αξιοπιστία του συστήματος παρουσιάζει ευαισθησία και αυξάνεται με την αύξηση της επιφάνειας συλλογής του βρόχινου νερού. Επιπλέον, η αξιοπιστία επηρεάζεται και παρουσιάζει θετική τάση από την αύξηση του όγκου δεξαμενής, για κάθε έκταση επιφάνειας συλλογής που μελετήθηκε. Πιο συγκεκριμένα, τα

αποτελέσματα έδειξαν ότι για κατοικία με ένα άτομο, πρώτη φορά επιτυγχάνεται 100% αξιοπιστία για επιφάνεια συλλογής 40m² και χωρητικότητα ομβροδεξαμενής 30m³, ενώ ο μικρότερος όγκος με πλήρη αξιοπιστία είναι 5m³ και επιφάνεια συλλογής 60m². Για το δεύτερο σενάριο των δύο εξυπηρετούμενων μελών νοικοκυριού, παρουσιάζεται πλήρης αξιοπιστία για πρώτη φορά στα 100m² και όγκο ομβροδεξαμενής 20m³, ενώ ο μικρότερος όγκος ομβροδεξαμενής με 100% αξιοπιστία παρατηρείται να είναι με τιμή 10m³ και με επιφάνεια συλλογής τα 120m². Αξίζει να σημειωθεί ότι για την περίπτωση κατοικίας με τρία μέλη, δεν επιτυγχάνεται πλήρης αξιοπιστία, εξαιτίας των αυξημένων υδατικών αναγκών, ωστόσο ισχύουν τα παραπάνω συμπεράσματα που αφορούν την ευαισθησία του συστήματος.

Συμπεράσματα για τις μελλοντικές κλιματικές χρονοσειρές βροχόπτωσης (2026-2060)

Παρατηρήθηκε ότι στο νησί της Νισύρου, το σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων εμφάνιζε μεγαλύτερα ποσοστά αξιοπιστίας με τη χρήση των δεδομένων βροχόπτωσης των κλιματικών σεναρίων RCP 4.5 και RCP 8.5, σε σύγκριση με αυτά που προέκυψαν σύμφωνα με την ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης, με εξαίρεση την μελλοντική χρονοσειρά βροχοπτώσεων SMHI-RCA4_IPSL-IPSL-CM5A-MR, που εμφάνιζε χαμηλότερο ποσοστό αξιοπιστίας από την ιστορική χρονοσειρά. Στο δυσμενές σενάριο RCP 8.5 παρατηρείται μία ελαφριά μείωση της αξιοπιστίας του συστήματος σε σύγκριση με το σενάριο RCP 4.5, ωστόσο παραμένει υψηλότερη από την ιστορική χρονοσειρά για το χρονικό διάστημα που μελετήθηκε. Ειδικότερα, για το σενάριο με κατοικία 2 ατόμων, παρουσιάζεται πλήρης αξιοπιστία για πρώτη φορά σε επιφάνεια συλλογής 60m² και όγκο δεξαμενής τα 5m³, για τα δύο μελλοντικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Για το σενάριο των τριών εξυπηρετούμενων μελών νοικοκυριού, παρουσιάζεται πλήρης αξιοπιστία για πρώτη φορά στα 80m² και με Vtank=5m³, για την περίπτωση RCP4.5, ενώ για το μελλοντικό σενάριο RCP8.5 στα 80m² με όγκο ομβροδεξαμενής 10m³.

6.3 Μελλοντική Έρευνα

Το νησί της Νισύρου λόγω των ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στη περιοχή των Δωδεκανήσων, της κλιματικής αλλαγής και της συνεχόμενης τουριστικής ανάπτυξης, χρήζει άμεσης αντιμετώπισης. Η παρούσα διπλωματική εργασία θέτει τη βάση για περαιτέρω έρευνα και προτείνεται, η μελέτη περισσότερων σεναρίων και η εγκατάσταση ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων σε κτίριο που πληροί τις προϋποθέσεις, ώστε να διερευνηθεί η αποδοτικότητα αυτού κάτω από πραγματικές συνθήκες, κατά τη διάρκεια ενός

ολόκληρου έτους, καθώς και η ανάλυση του κόστους κατασκευής και χρήσης μακροπρόθεσμα.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αγγελάκης, Α., 2011. Τεχνολογίες Ύδρευσης και Αποχέτευσης στην Αρχαία Κρήτη με έμφαση τη Μινωική Περίοδο.

Αθανασόπουλος και συν., 2006. «Τα φράγματα και οι λίμνοδεξαμενές του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Β΄ Έκδοση – Νέα Έργα».

Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2015. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (GR14).

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, 1991. Προσδιορισμός κατώτατων και ανώτατων ορίων των αναγκαίων ποσοτήτων για την ορθολογική χρήση νερού στην ύδρευση. ΦΕΚ 174/Β/08-05-1991.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, 1993. Προεδρικό Διάταγμα της 16-06-199: «Καθορισμός χρήσεων γης και όρων και περιορισμών των εκτός σχεδίου και εκτός ορίων οικισμών περιοχών των νήσων Πάρου και Αντιπάρου Ν. Κυκλάδων». ΦΕΚ 732Δ/07-07-1993.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, 2002. Προεδρικό Διάταγμα 10-05-2002: «Χαρακτηρισμός των νησιών Κίμωλος, Δονούσα, (Ανω) Κουφονήσι, Ηρακλειά, Σχοινούσα, Αμοργός, Ανάφη, Σίκινος, Φολέγανδρος, Τήλος, Νίσυρος, Χάλκη, Μεγίστη, Κάσος, Τέλενδος, Ψέριμος, Αστυπάλαια, Λειψοί, Αγαθονήσι, Αρκοί, Άγιος 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». ΦΕΚ 402/Δ/17-05-2002.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, 2012. Απόφαση του γενικού γραμματέα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Αιγαίου, με την οικ. 17250/2582/24-4-12: «Έγκριση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου του Δήμου Πάρου, νήσου Πάρου, Νομού Κυκλάδων». ΦΕΚ 8/Α.Α.Π/02-05-2012.

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

Μονάδα Οργάνωσης της Διαχείρισης Αναπτυξιακών Προγραμμάτων, 2018. Στρατηγικό και Επιχειρησιακό Σχέδιο για την Εφαρμογή Προγράμματος Ολοκληρωμένων Παρεμβάσεων στη Νίσυρο.

Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος, Νήσων Αιγαίου (GR14). 2015.

Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (Βορείου και Νοτίου Αιγαίου). 1^η Φάση – Παραδοτέο 1. 2017.

Αγγλική Βιβλιογραφία

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.

Basinger, M., Montalto, F. and Lall, U., 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology*, 392(3-4), pp.105-118.

Amani M. B., 2013. Rainwater harvesting as a means to reduce the problem of water scarcity of Arush region.

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

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(1-2), pp.64-77.

Chang, N. B., Rivera, B. J., & 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(11), 1180-1188.

Dickinson, R.E., Errico, R.M., Giorgi, F. and Bates, G.T., 1989. A regional climate model for the western United States. *Climatic change*, 15(3), pp.383-422

Dura, A., Mertzimekis, T. J., Nomikou, P., Gondikas, A., Gómez Míguez, M. M., Bakalis, E., Zerbetto, F., (2021). The Hydrothermal Vent Field at the Eastern Edge of the Hellenic Volcanic Arc: The Avyssos Caldera (Nisyros). *Geosciences*, 11(7), 290.

Durgasilakshmi Hari et al., (2018). Assessment of rainwater harvesting potential using GIS. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 330 012119102.

Fewkes, A., 1999. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and environment*, 34(6), pp.765-772.

Fewkes, A. and Butler, D., 2000. Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models. *Building Services Engineering Research and Technology*, 21(2), pp.99-106.

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.

Giorgi, F., Marinucci, M.R. and Visconti, G., 1990. Use of a limited-area model nested in a general circulation model for regional climate simulation over Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 95(D11), pp.18413-18431.

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.W., 2007. Sizing of rainwater storage units for green building applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(2), pp.197-205.

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.

Jones, M.P. and Hunt, W.F., 2010. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(10), pp.623-629.

Karavitis, C.A., 2008. Water Use in Europe, Booklet Series: B, Number: 5, Author in: "Land care in desertification affected areas: from science towards application" (LUCINDA) Specific Support Action, DG-Research-1163. Global Change and Ecosystems.

Kinkade-Levario, H., 2007. *Design for water: rainwater harvesting, stormwater catchment, and alternate water reuse*. New society publishers.

Koutsoyiannis, D., Zarkadoulas N., Angelakis A.N., and Tchobanoglous G., 2006. *Urban water management in Ancient Greece: Legacies and lessons*. Athens, Greece.

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.

Lee, K.T., Lee, C.D., Yang, M.S. and Yu, C.C., 2000. SW—soil and water: probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. *Journal of agricultural engineering research*, 77(3), pp.343-348.

Liuzzo, L.; Notaro, V.; Freni, G. A Reliability, 2016. Analysis of a Rainfall Harvesting System in Southern Italy. *Water*, 8, 18.

Londra, P.A., Theocharis, A.T., Baltas, E. and Tsihrintzis, V.A., 2015. Optimal sizing of rainwaterharvesting tanks for domestic use in Greece. *Water Resources Management*, 29(12), pp.4357-4377.

Mays, L. (Ed.). (2010). *Ancient water technologies*. Springer Science & Business Media.

Mimikou, M.A., Baltas, E., Varanou, E., Pantazis, K., 2000. Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators, *Journal of Hydrology*, Volume 234, Issues 1-2, Pages 95-109.

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.

Palla, A., Gnecco, I. and Lanza, L.G., 2011. Non-dimensional design parameters and performanceassessment of rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology*, 401(1-2), pp.65-76.

Riahi, K., Rao, S., Krey, V. *et al.* RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change* 109, 33 (2011).

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.D., Lin, C.H., Chang, L.F., Kang, J.L. and Lin, M.C., 2009. A probabilistic approach to rainwaterharvesting systems design and evaluation. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(7), pp.393-399.

Sazakli, E., Alexopoulos, A. and Leotsinidis, M., 2007. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water research*, 41(9), pp.2039-2047.

Tsihrintzis, V. and Baltas, E., 2013, September. Sizing of rainwater harvesting tank for in-house water supply. In 13th International Conference on Environmental Science and Technology, Athens, Greece (pp. 5-7).

Texas Water Development Board, (2005). *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. Third Edition, Austin, Texas.

Tortajada, C., 2006 Water Management in Singapore. *Water Resources Development*, 22, 227-240.

Tsubo, M., Walker, S. and Ogindo, H.O., 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions: I. Model development. *Field crops research*, 93(1), pp.10-22.

UNEP (2009). *Rainwater harvesting: A lifeline for human well-being*.

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

Viollet P.-L., 2003. The predecessors of European hydraulic engineers: Minoans of Crete and Mycenaeans 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, F.A. and Butler, D., 2012. Performance of a large building rainwater harvesting system. *Water research*, 46(16), pp.5127-5134.

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 roofcatchments. *Water research*, 23(6), pp.761-765.

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

Zhang, X., Hu, M., Chen, G. and Xu, Y., 2012. Urban rainwater utilization and its role in mitigating urban waterlogging problems—A case study in Nanjing, China. *Water resources management*, 26(13), pp.3757-3766.

Διαδικτυακές πηγές

<https://www.climfoot-project.eu/en/how-react> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0060:20130913:EL:PDF> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

<https://floods.ypeka.gr/sdkp-lap/legislation/> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

<https://www.geowarn.ethz.ch/index.asp?ID=31> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

<https://www.ipcc.ch/about/ch/about/> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

<https://www.kathimerini.gr/life/environment/836969/limnodexamenes-poy-den-gemisan-pote/> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

<https://land.copernicus.eu/en/dataset-catalog> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

https://medies.net/uploaded_files/publications/total_rainwater_book.pdf (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

<http://meteo3.geo.auth.gr:3838/> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

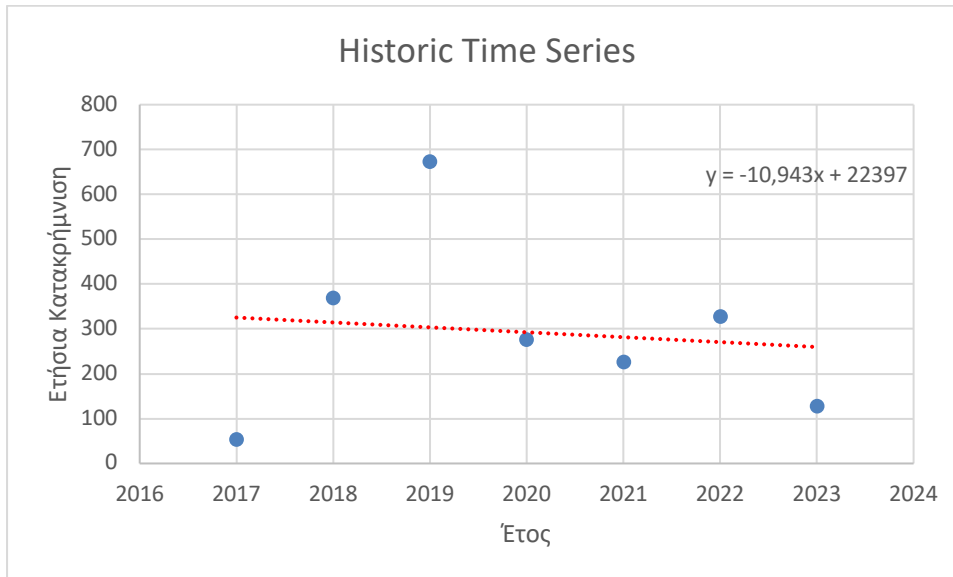
<https://sete.gr/meletes-statistika/> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

<http://www.ypai.gr/site/home.csp> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

<https://ypen.gov.gr/perivallon/ydatikoi-poroi/odigia-plaisio-gia-ta-nera/> (τελευταία προσπέλαση: 07/03/2024)

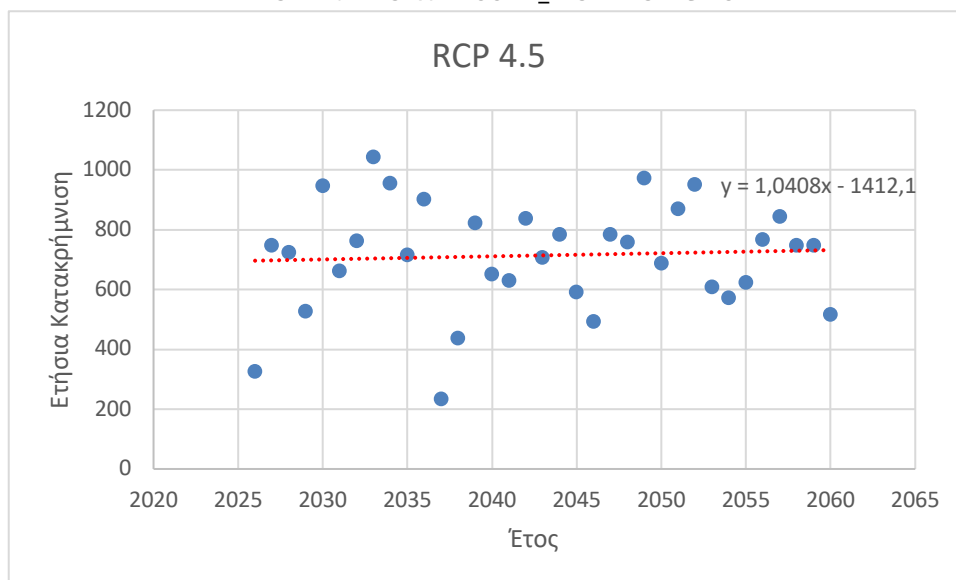
Παράρτημα Α

Παράρτημα Α. Ετήσια Ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης

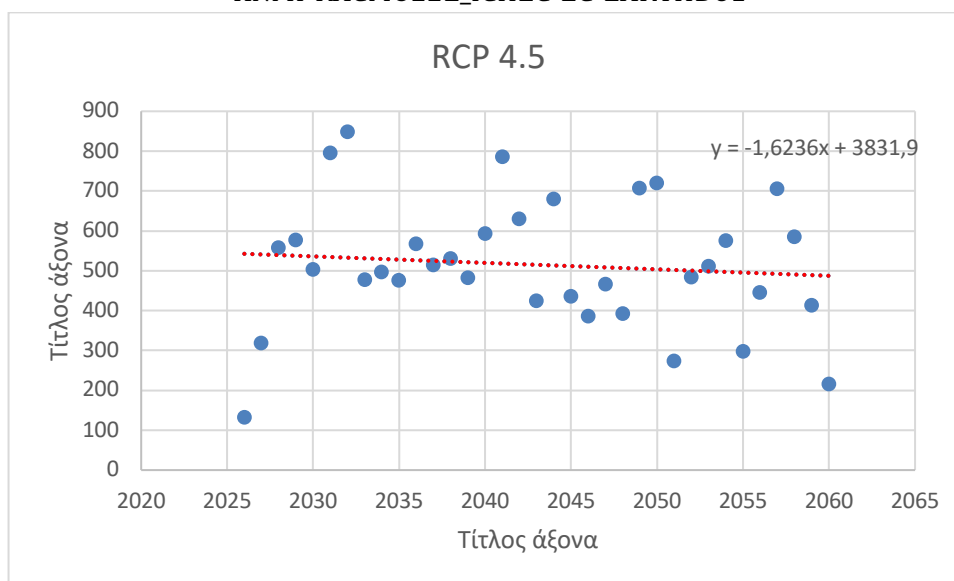


Παράρτημα Β. Ετήσιες Μελλοντικές Χρονοσειρές – RCP4.5

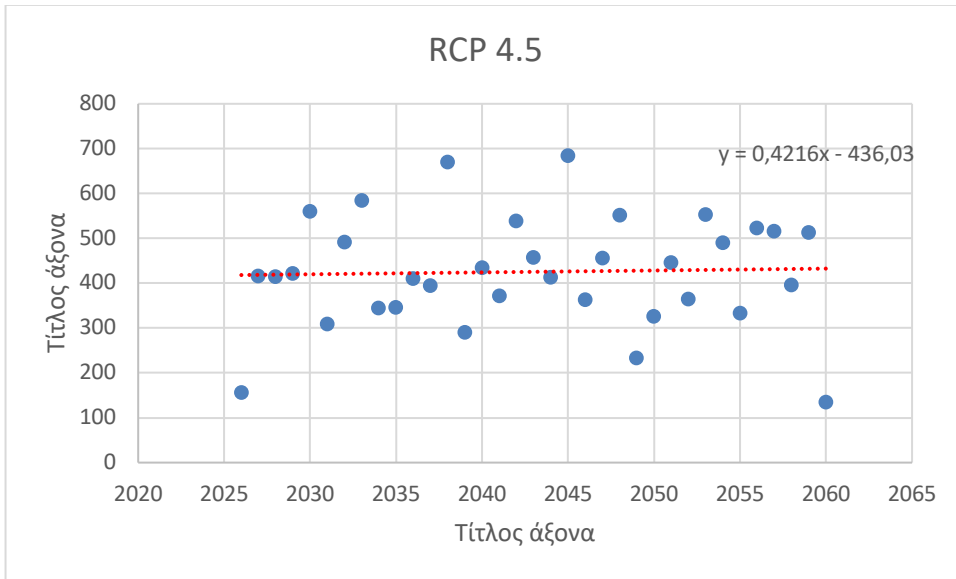
IPSL-INERIS-WRF331F_IPSL-IPSL-CM5A-MR



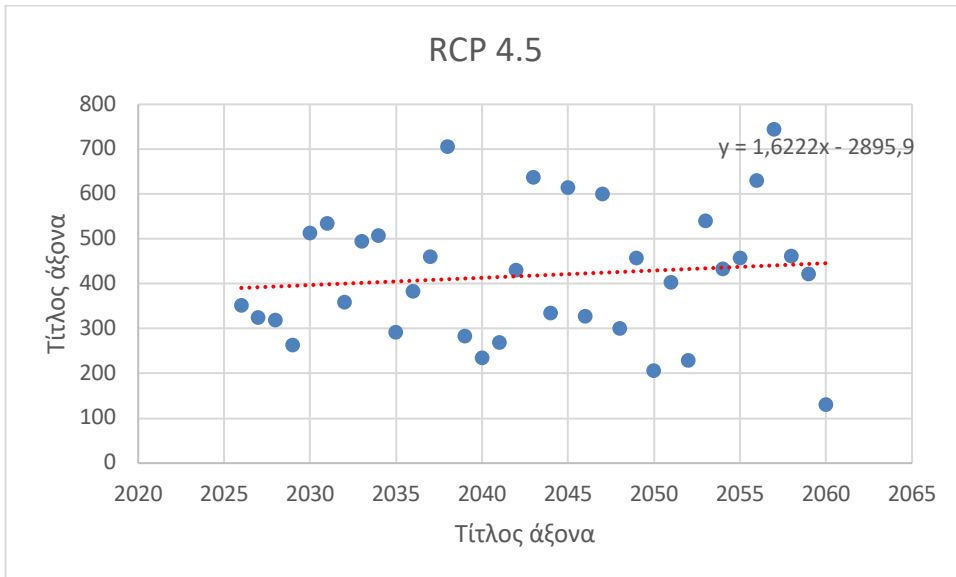
KNMI-RACMO22E_ICHEC-EC-EARTHHD61



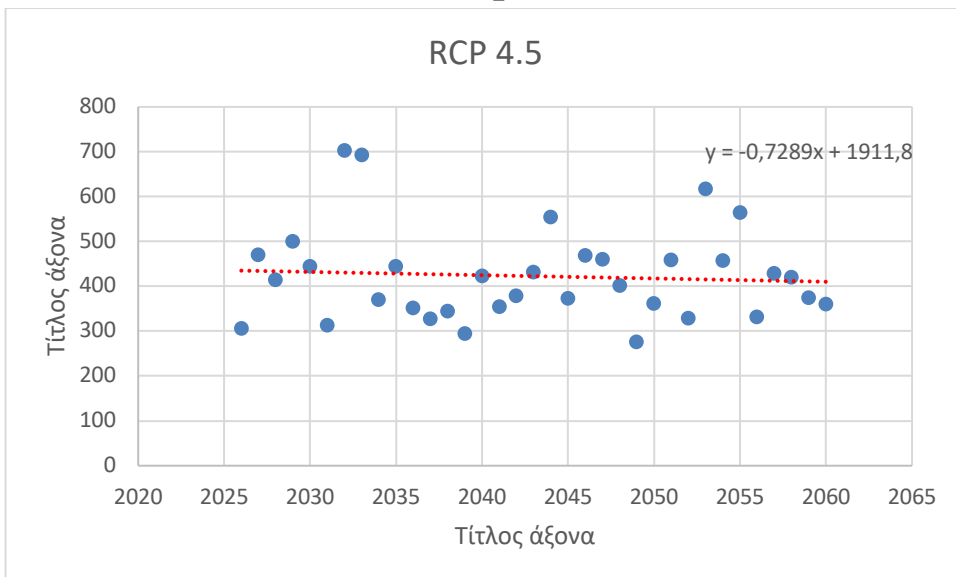
MHI-RCA4_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5



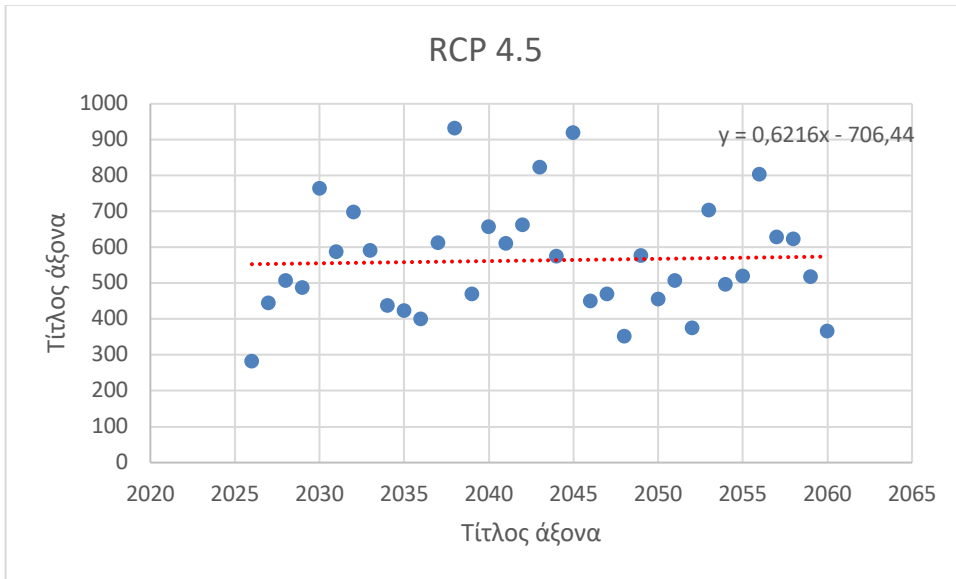
CLMcom-CCLM4-8-17_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5



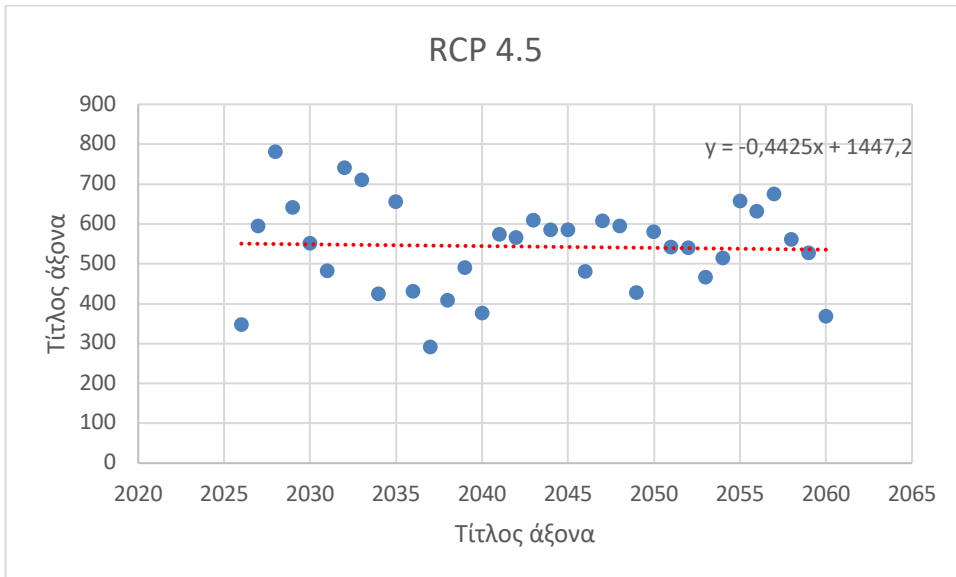
CLMcom-CCLM4-8-17_MPI-M-MPI-ESM-LR



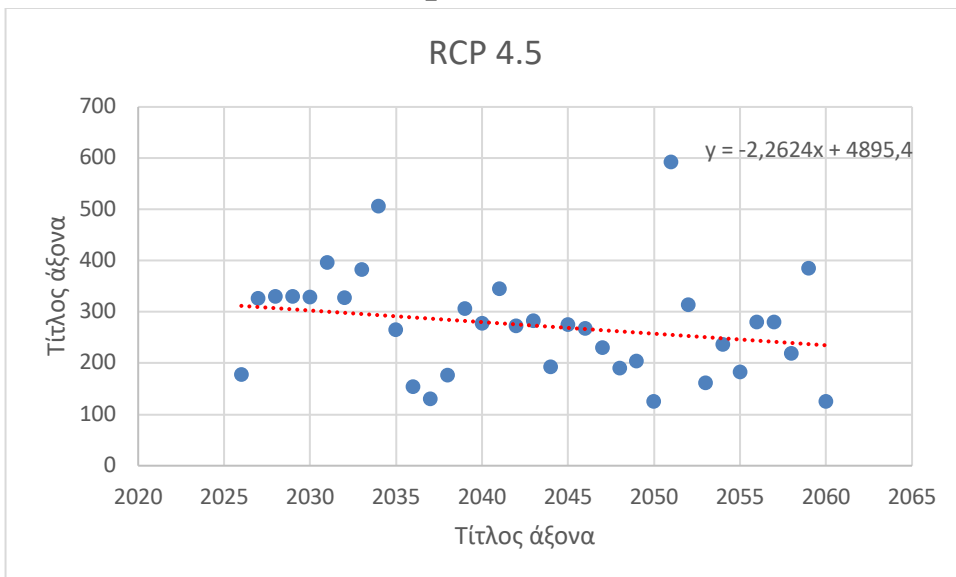
CNRM-ALADIN53_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5



MPI-CSC-REMO2009_MPI-M-MPI-ESM-LR

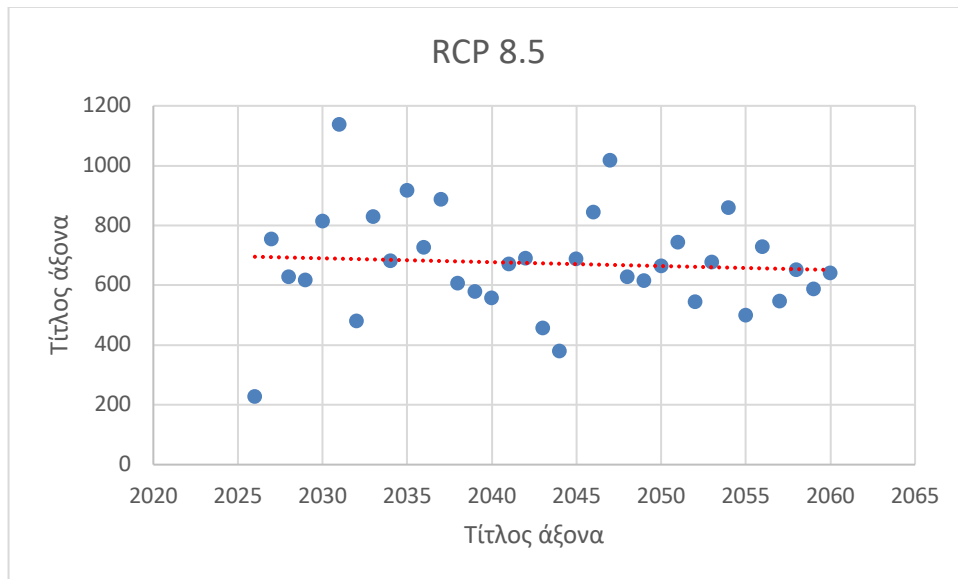


SMHI-RCA4_IPSL-IPSL-CM5A-MR

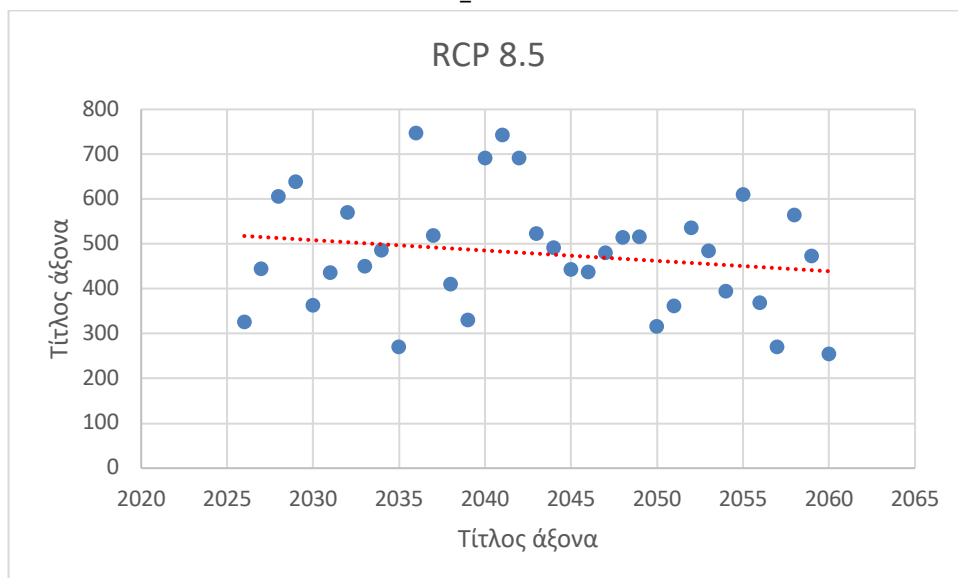


Παράρτημα Γ. Ετήσιες Μελλοντικές Χρονοσειρές – RCP8.5

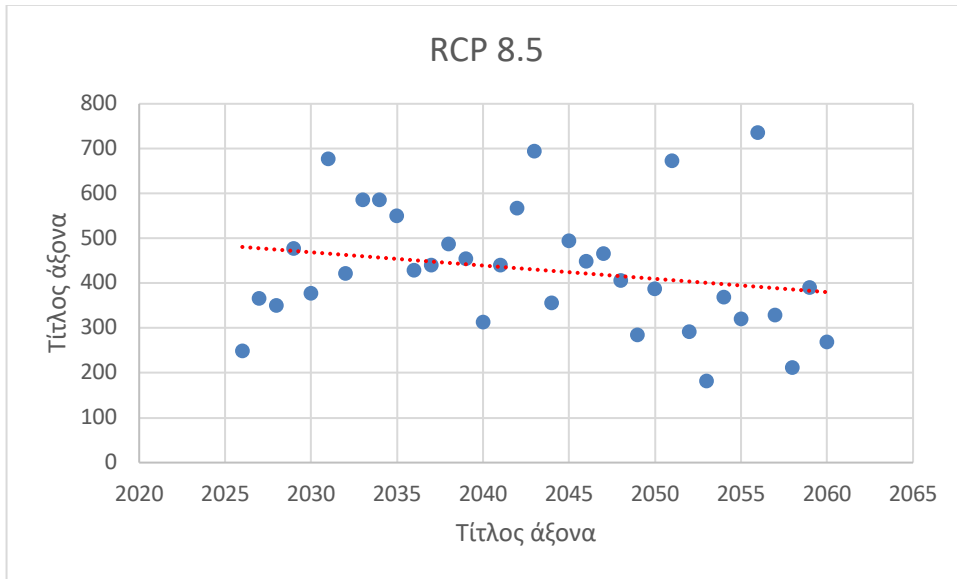
PSL-INERIS-WRF331F_IPSL-IPSL-CM5A-MR



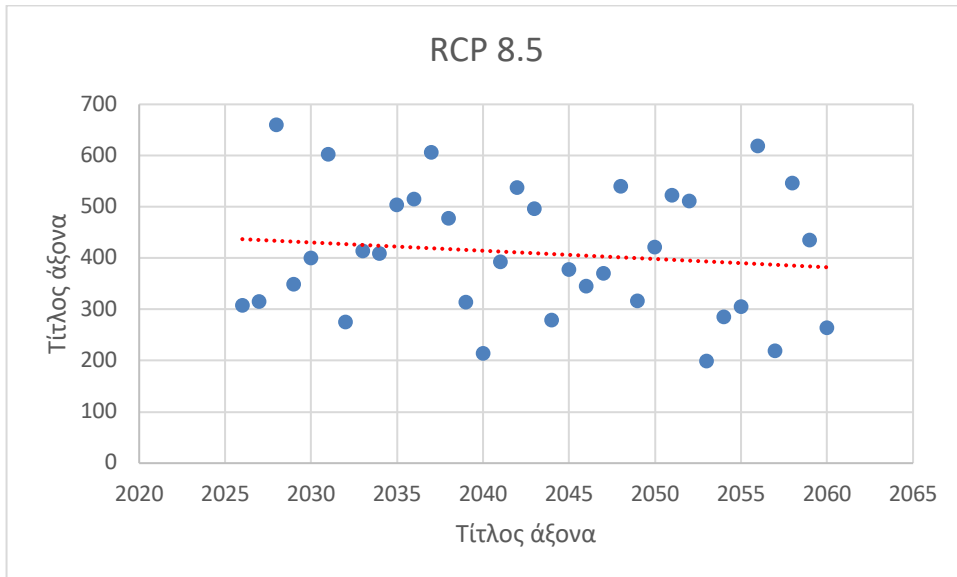
KNMI-RACMO22E_ICHEC-EC-EARTHd61



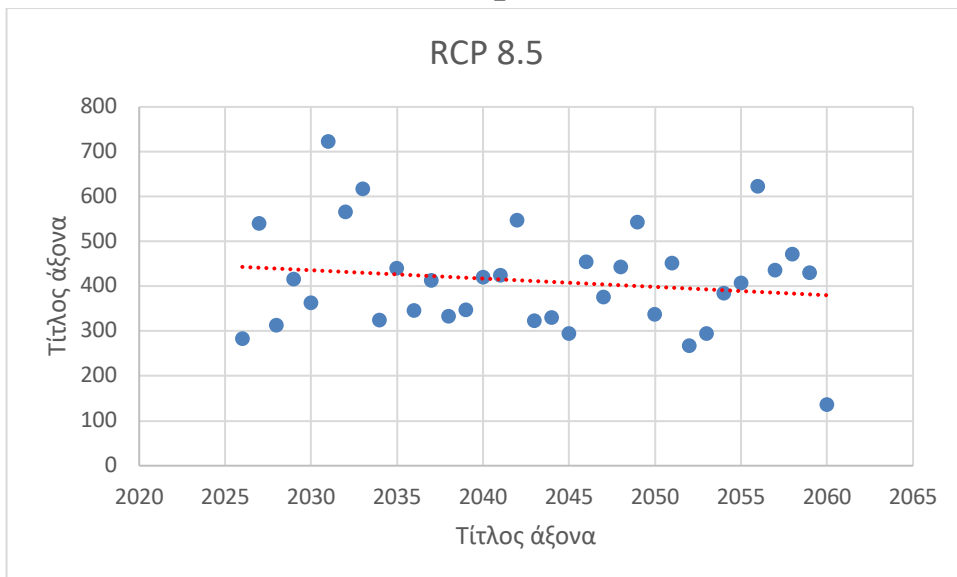
SMHI-RCA4_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5



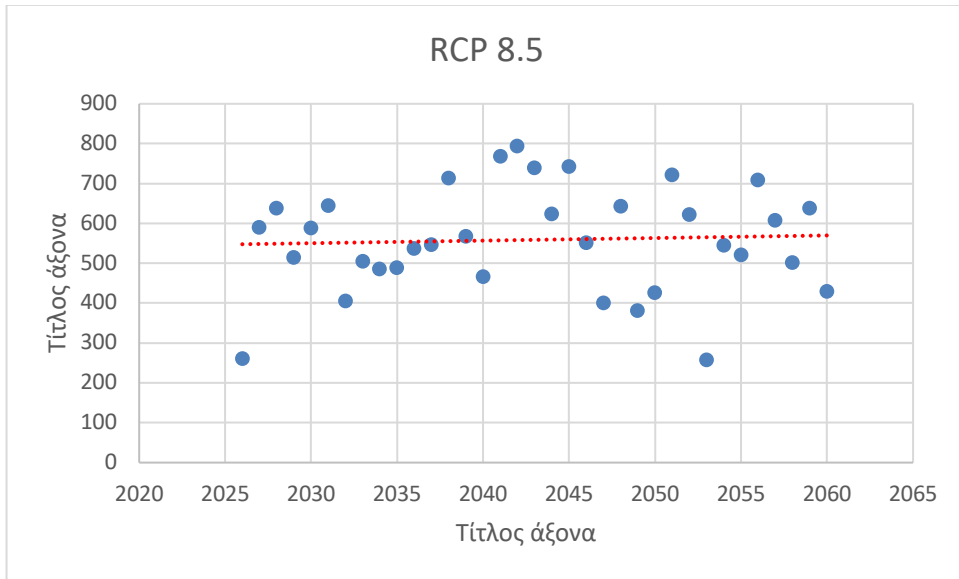
CLMcom-CCLM4-8-17_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5



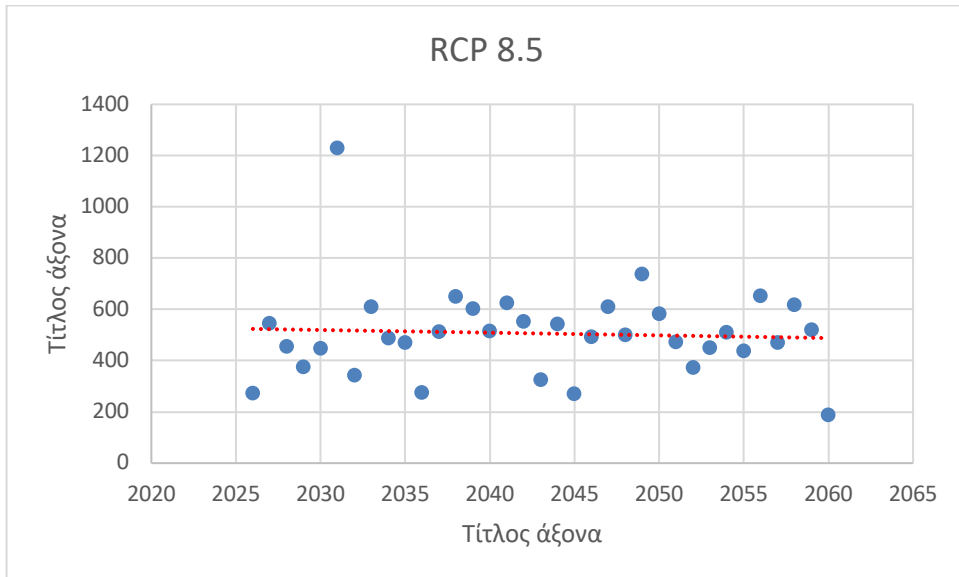
CLMcom-CCLM4-8-17_MPI-M-MPI-ESM-LR



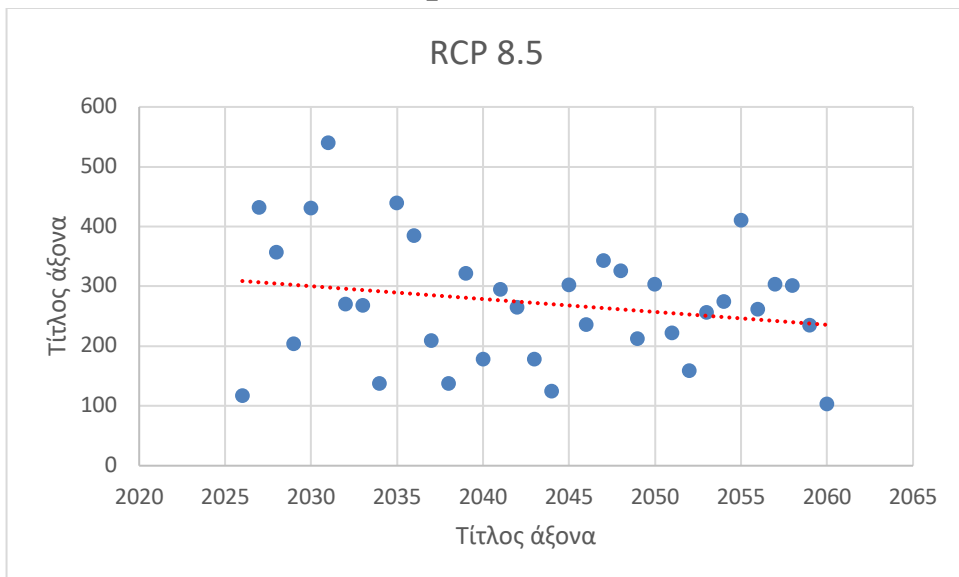
CNRM-ALADIN53_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5



MPI-CSC-REMO2009_MPI-M-MPI-ESM-LR

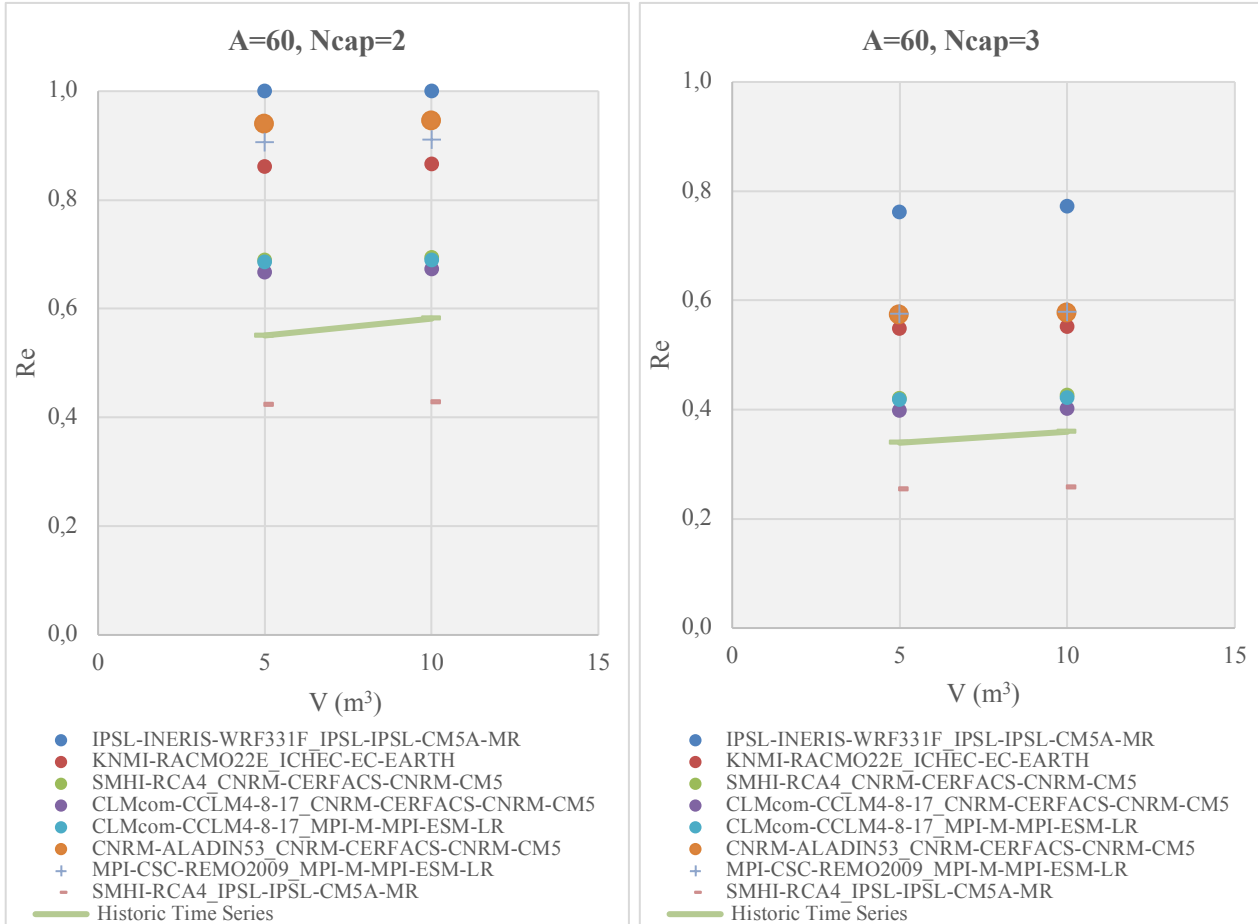


SMHI-RCA4_IPSL-IPSL-CM5A-MR

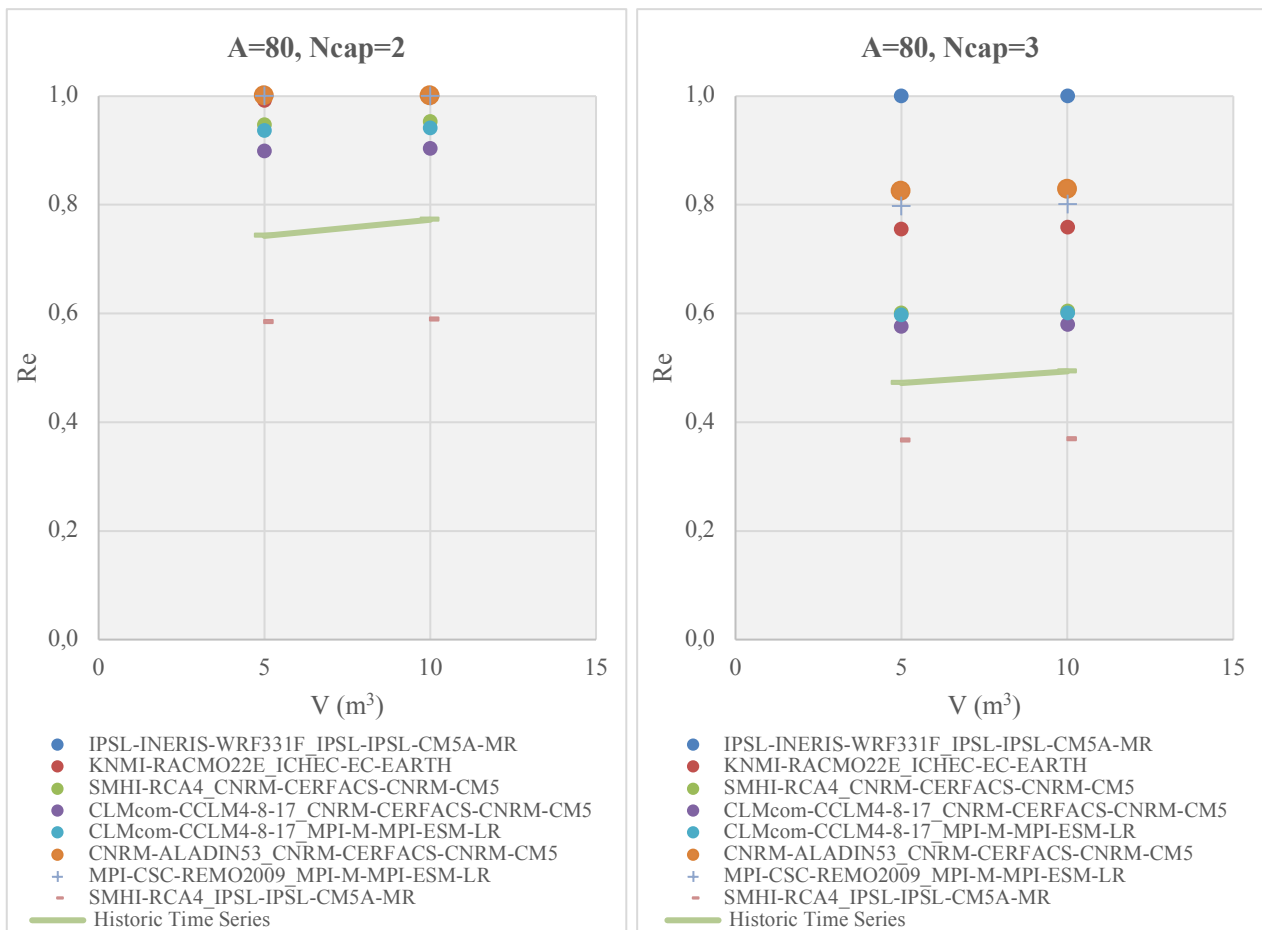


Παράρτημα Δ. Αξιοπιστία συστήματος για το μελλοντικό σενάριο RCP4.5

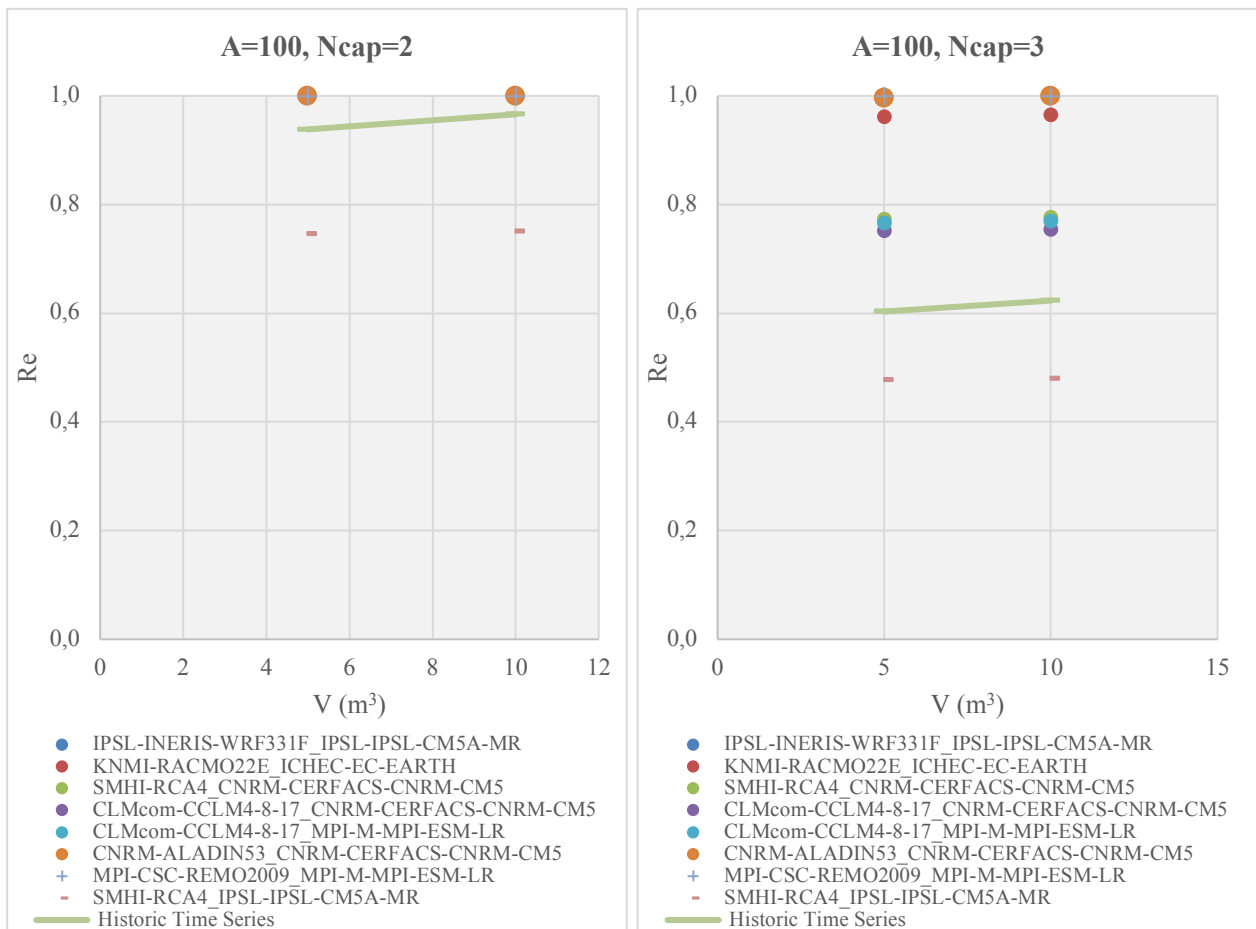
1. Μελέτη σεναρίου με δύο και τρία μέλη για επιφάνεια συλλογής 60m².



2. Για το σενάριο με δύο και τρία μέλη για επιφάνεια συλλογής 80m².

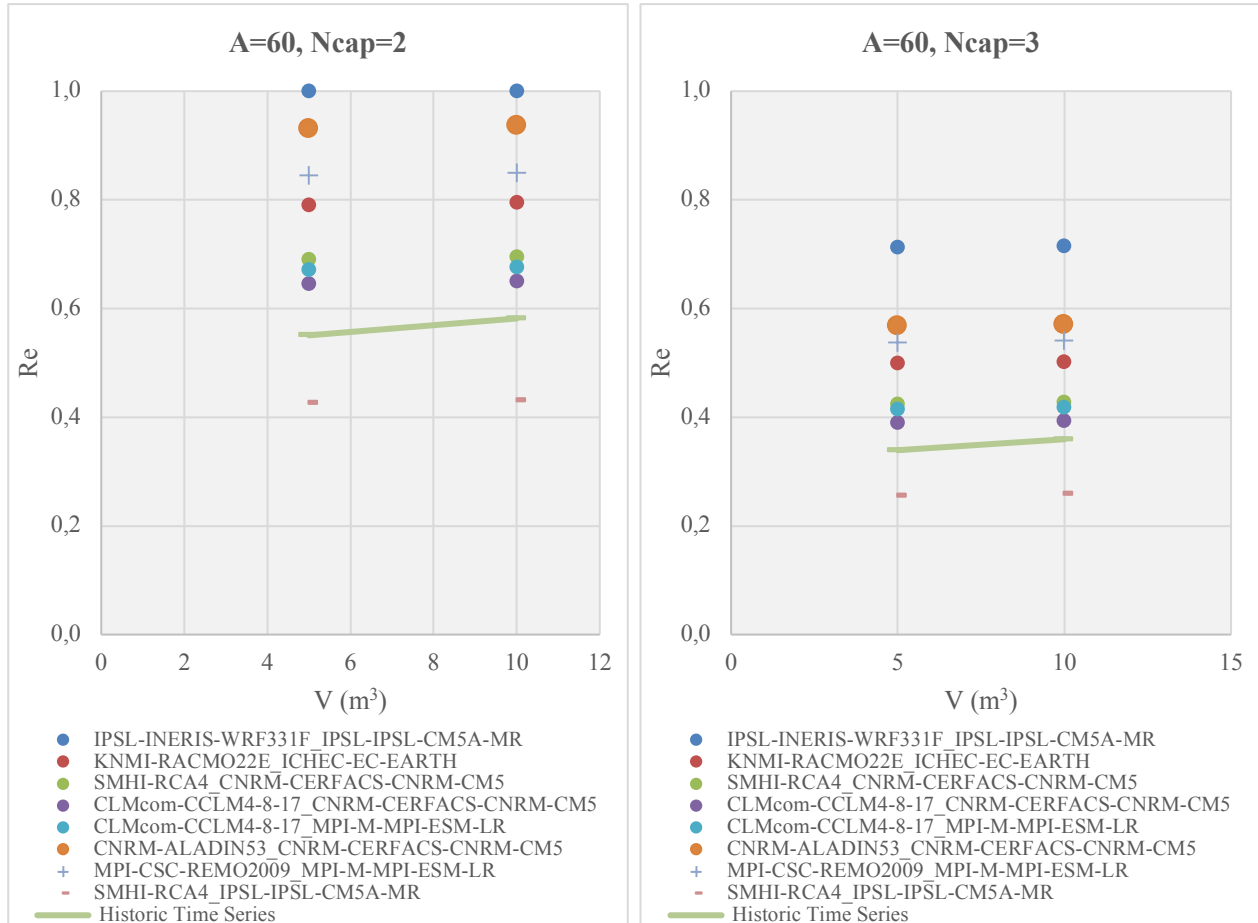


3. Για το σενάριο με δύο και τρία μέλη για επιφάνεια συλλογής 100m².

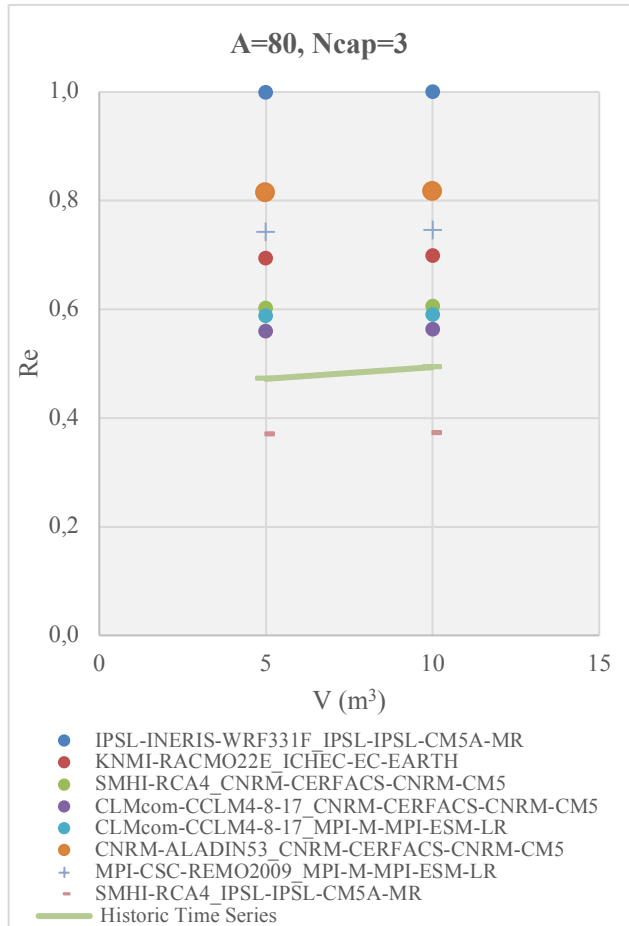
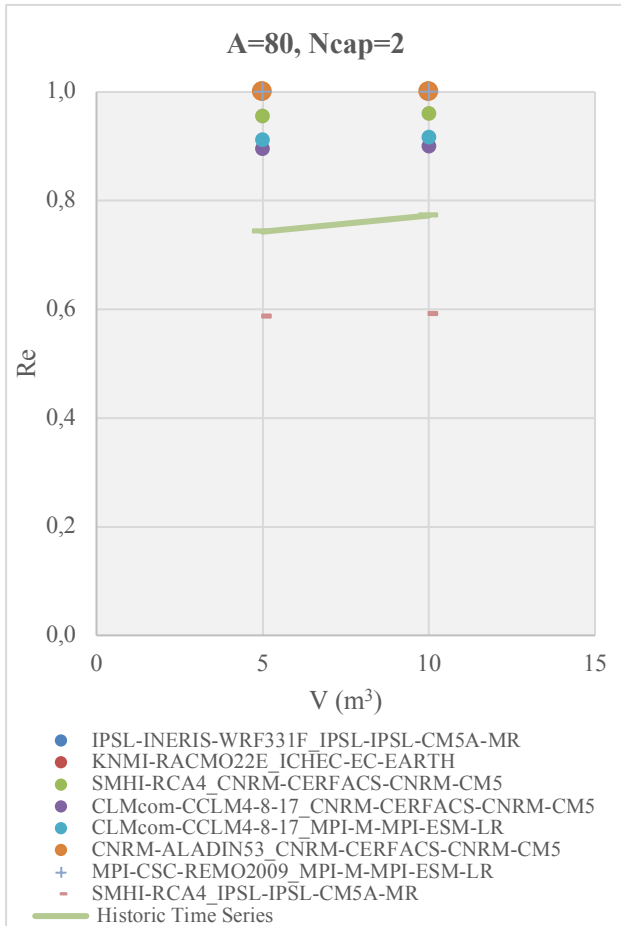


Παράρτημα Ε. Αξιοπιστία συστήματος για το μελλοντικό σενάριο RCP8.5

1. Για το σενάριο με δύο και τρία μέλη για επιφάνεια συλλογής 60m².



2. Για το σενάριο με δύο και τρία μέλη για επιφάνεια συλλογής 80m².



3. Για το σενάριο με δύο και τρία μέλη για επιφάνεια συλλογής 100m².

