



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Εφαρμογής Υβριδικού Συστήματος για την
Κάλυψη Υδατικών και Ενεργειακών Αναγκών στη Νήσο Ιθάκη»

ΒΟΥΡΑΚΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΜΠΑΛΤΑΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟΣ, 2022

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία σηματοδοτεί το τέλος της φοίτησης μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αισθάνομαι σαν χρέος μου να αναφέρω τα άτομα που με βοήθησαν και με στήριξαν σε αυτή την όμορφη αλλά και απαιτητική πορεία.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή και επιβλέποντα της διπλωματικής μου Ευάγγελο Μπαλτά. Ευχαριστώ για την πρόταση του να εκπονήσω μία τόσο ενδιαφέρουσα διπλωματική εργασία, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την διάρκεια και για το ότι ήταν παρών οποιαδήποτε στιγμή χρειάστηκα την βοήθειά του.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφιο διδάκτορα Σοφία Σκρουφούτα για την συνεχή καθοδήγηση της και την άμεση επίλυση των αποριών μου σχετικά με το θέμα. Χωρίς την συμβολή της η παρούσα διπλωματική εργασία δεν θα είχε πραγματοποιηθεί.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους και συναδέλφισσές μου. Δίχως την αλληλοβοήθεια την ανταλλαγή απόψεων και εμπειριών οι γνώσεις μου θα ήταν πολύ λιγότερες.

Ευχαριστώ, ειδικά, τον αγαπητό φίλο και συνάδελφο Κώστα Μανίκα για τις αμέτρητες ώρες μελέτης που περάσαμε μαζί κατά την διάρκεια της φοίτησής μας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και τις φίλες μου για την ηθική και ψυχολογική υποστήριξη που μου έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια των απαιτητικών σπουδών μου στο Ε.Μ.Π.

Τέλος δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους γονείς μου Κλειώ και Κυριάκο που είναι πάντα δίπλα μου στις πιο δύσκολες στιγμές της ζωής μου.

Βουράκης Θεόδωρος,

Ιούλιος 2022.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	4
Extended Abstract.....	6
Introduction.....	6
Study Area.....	7
Methodology.....	9
Estimation of the Produced Energy.....	13
Results.....	18
Conclusions and future research.....	24
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	25
1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ.....	25
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	26
1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	27
2 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	28
2.1 ΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	28
2.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΣΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	30
2.2.1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	30
2.2.2 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	33
2.2.3 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	35
2.3 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ.....	36
3 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	37
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΘΑΚΗΣ.....	37
3.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ-ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	38
3.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	38
3.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	39
3.5 ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	39
3.6 ΥΠΟΔΟΜΕΣ.....	40
3.6.1 ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ.....	40
3.6.2 ΥΔΑΤΙΚΕΣ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ.....	40

3.6.3 ΠΡΟΙΟΝΤΑ.....	41
3.6.4 ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ	41
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	42
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	42
4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	44
4.2.1 ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΒΡΟΧΗΣ.....	45
4.2.2 ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	46
4.2.3 ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΑΝΕΜΟΥ.....	48
4.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ, ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ.....	53
4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	53
4.3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ	56
4.3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ.....	58
4.3.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ.....	62
4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	66
4.4.1.1 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ Α/Γ.....	66
4.4.1.2 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΜΕ Α/Γ VORTEX	68
4.4.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟ.....	69
4.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	70
4.5.1 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ Α/Γ.....	70
4.5.2 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ Α/Γ VORTEX.....	80
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	83
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	83
5.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86

Περίληψη

«Η ενεργειακή μετάβαση είναι υπερβολικά αργή και ο κόσμος θα υποστεί τις κλιματικές αλλαγές, αλλά και αναστάτωση όσον αφορά τον ενεργειακό εφοδιασμό, αν δεν επενδύσει πιο μαζικά και γρήγορα σε πηγές καθαρής ενέργειας» (Ιστότοπος ¹). Αυτά είναι τα λόγια του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας το 2021 και δυστυχώς η παγκόσμια κοινότητα έχει αρχίσει ήδη να ζει τις πρώτες συνέπειες. Η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ραγδαία αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων ταλανίζουν τις σύγχρονες κοινωνίες. Οι Κυβερνήσεις παγκόσμια και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν αρχίσει να θορυβούνται και να παίρνουν δραστικά μέτρα για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (EU Green Deal), του Δεκεμβρίου του 2019, προβλέπει μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 55% μέχρι το 2030, ενώ στοχεύει στο να καταστεί η Ευρώπη η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος έως το 2050 (Ιστότοπος ²). Η μετάβαση αποτελεί μια μακροπρόθεσμη και απαιτητική διαδικασία που απαιτεί ηθική, πολιτική, θεσμική και οικονομική δέσμευση, ενώ, βασικά εργαλεία στην προσπάθεια αυτή αποτελούν η παραγωγή πράσινων καυσίμων και η επένδυση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).

Ένα άλλο μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα παγκοσμίως είναι η λειψυδρία. Σύμφωνα με στοιχεία του Ο.Η.Ε, 2.2 δισεκατομμύρια άνθρωποι στον πλανήτη δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό, πόσιμο νερό (Ιστότοπος ³). Τα υπόγεια νερά του πλανήτη αποτελούν συρρικνούμενο πόρο. Η βιομηχανική και αγροτική υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών του πλανήτη οδηγεί σε έλλειψη και σε σημαντικές συνέπειες για την ομαλή λειτουργία των οικοσυστημάτων. Ο Ο.Η.Ε. αναφέρει χαρακτηριστικά: «Πρέπει να τα προστατεύσουμε από την υπερεκμετάλλευση - καθώς αντλούμε περισσότερο νερό από αυτό που αναπληρώνεται από τη βροχή και το χιόνι - και τη ρύπανση, που αυτή τη στιγμή είναι μεγάλο πρόβλημα, καθώς μπορεί να οδηγήσει στην εξάντληση αυτού του πόρου, με συνέπεια το επιπλέον κόστος για την επεξεργασία του και, μερικές φορές, ακόμη και την αποτροπή της χρήσης του» (Ιστότοπος ⁴).

Η παραπάνω κατάσταση αφορά και την Ελλάδα. Όπως είναι γνωστό, ο λιγνίτης αποτελεί το βασικό καύσιμο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια. Μέχρι και σήμερα, παρά τις εξαγγελίες των Κυβερνήσεων για «απολιγνιτοποίηση», χρησιμοποιείται λόγω της χαμηλής τιμής και της αφθονίας τού. Η έκρηξη των τιμών του φυσικού αερίου και του πετρελαίου που ακολούθησαν την «Κρίση του Κορονοϊού» οδήγησε την ελληνική Κυβέρνηση στο να βάλει πίσω διακηρυγμένη ενεργειακή στροφή. Παράλληλα, και άλλες ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γερμανία είναι ακόμα «κολλημένες» στον άνθρακα και τον λιγνίτη (Ιστότοπος ⁵). Σύμφωνα με επιτροπή του Υπουργείου Οικονομίας της Γερμανίας που συστάθηκε τον Ιούνιο του 2018, οι δύο πρώτοι στόχοι –μείωση της εκπομπής αέριων ρύπων, συγκριτικά με το 1990, κατά 40% έως το 2020 και κατά 55% έως το 2030– έχουν χαθεί (Ιστότοπος ⁶).

Όσον αφορά την κατάσταση στα ελληνικά νησιά, τα πράγματα είναι εξίσου προβληματικά. Τα περισσότερα νησιά χαρακτηρίζονται άνυδρα με σημαντικές ελλείψεις σε πόσιμο νερό, που οφείλονται στην απουσία μονάδων αφαλάτωσης ή στην ανεπαρκή συντήρησή τους. Παράλληλα, η μεταφορά αφαλατωμένου νερού με πλοία, που χρησιμοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες, είναι ενεργοβόρα και κοστοβόρα. Από την άλλη πλευρά, σημαντικές είναι και οι ελλείψεις των νησιών σε ενέργεια. Με την πλειοψηφία των νησιών να μην είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρισμού της ηπειρωτικής χώρας και να βασίζονται για την κάλυψη των αναγκών τους σε τοπικούς σταθμούς παραγωγής (Τ.Σ.Π) ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η. Οι μονάδες αυτές παράγουν ενέργεια χαμηλής ποιότητας, καίγοντας ορυκτά καύσιμα. Ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο, λόγω της μεγάλης εισροής τουριστών στη χώρα, τα προβλήματα γίνονται εντονότερα.

Φαίνεται λοιπόν πως η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, φιλικών προς το περιβάλλον, είναι μονόδρομος. Τα ελληνικά νησιά χαρακτηρίζονται για τον πλούτο σε ήλιο, αέρα, θάλασσες. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν από εγκαταστάσεις αιολικών, ηλιακών, υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ενέργειας και σε συνδυασμό με μονάδες αφαλάτωσης να συμβάλλουν στην εξάλειψη της λειψυδρίας, στην μείωση της αστάθειας των Τ.Σ.Π, στη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος των νησιών, στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας τους.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός Υβριδικού Συστήματος (ΥΣ) ενέργειας στη νήσο Ιθάκη, με στόχο την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών του νησιού, καθώς και την κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους των ενεργειακών αναγκών. Ο στόχος της εργασίας είναι να γίνει μία εναλλακτική πρόταση για ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας που θα σέβεται το περιβάλλον, τις ανάγκες του νησιού και τις επιθυμίες των κατοίκων. Σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα αλόγιστης χρήσης Α/Γ που οδηγούν σε περιβαλλοντικές συνέπειες και έντονες αντιδράσεις των κατοίκων (Ιστότοπος ²). Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να προταθεί ένα Υβριδικό Σύστημα (ΥΣ) που θα έχει τη μέγιστη δυνατή κάλυψη αναγκών με μικρό οικολογικό αποτύπωμα. Το σύστημα αποτελείται από ένα υδροηλεκτρικό έργο (ΥΗΕ) αντλησοσταμίευσης με ταμιευτήρα θαλασσινού νερού, ένα αιολικό πάρκο με 5 ανεμογεννήτριες (Α/Γ), και μία δεξαμενή αφαλάτωσης. Ο συνδυασμός διαφορετικών μορφών ενέργειας δίνει μεγαλύτερη αξιοπιστία στο σύστημα, ενώ, το ΥΗΕ δίνει την δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Παράλληλα, το ΥΗΕ λειτουργεί με θαλασσινό νερό σε μικρή απόσταση από την θάλασσα, κάτι που σημαίνει ότι θα έχει μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιλέγεται περίοδος προσομοίωσης 40 χρόνια και παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Extended Abstract

Introduction

"The energy transition is too slow and people will suffer from climate change, but also energy supply disruption, if they do not invest more massively and quickly in clean energy sources." These are the words of the International Energy Agency in 2021. The world community has already begun to experience the first consequences. The exhaustion of fossil fuels, the greenhouse effect, air pollution, the rapid rise in fossil fuel prices plague modern societies. Governments around the world and the European Union have begun and take drastic measures to tackle this phenomenon. The European Green Agreement (EU Green Deal) of December 2019 envisages a 55% reduction in carbon dioxide emissions by 2030, with the aim of making Europe the first climate-neutral continent by 2050. The transition is a long-term and demanding process that requires moral, political, institutional and economic commitment, while key tools in this effort are the production of green fuels and investment in renewable energy sources.

Another major global environmental problem is water scarcity. According to UN, 2.2 billion people on the planet do not have access to clean, drinking water. The planet's groundwater is a shrinking resource. Industrial and agricultural overexploitation of the planet's groundwater leads to scarcity and significant consequences for the proper functioning of ecosystems. The UN typically states: "We need to protect them from overexploitation - as we draw more water than is being replenished by rain and snow - and pollution, which is currently a major problem, as it can lead to depletion of this resource, resulting in additional costs for its processing and, sometimes, even the prevention of its use".

The above situation could not but concern Greece. As it is known, lignite is the main fuel used for energy production in Greece the last years. Despite the announcements of the Governments for "de-lignification", it is still used due to its low price and abundance. The rising of gas and oil prices that followed the "Coronavirus Crisis" has led the Greek Government to put back the declared energy transition. At the same time, other European countries such as Germany are still "stuck" in coal and lignite. According to a committee of the Ministry of Economy set up in June 2018, the first two targets - reducing gaseous emissions compared to 1990, by 40% by 2020 and by 55% by 2030 - have been lost.

The situation in Greek islands is bad too. Most islands are characterized by significant shortages of drinking water due to the absence of desalination plants or their inadequate maintenance. At

the same time, the transportation of desalinated water by ships, which is used to meet the needs, is costly and energy demanding. On the other hand, the lack of energy of the islands is also important. With the majority of the islands not being connected to the mainland electricity network and relying to local power plants to meet their needs. These units produce low quality energy by burning fossil fuels. Especially in the summer season due to the large influx of tourists, problems become more intense.

Therefore, it seems that detoxification from fossil fuels and the use of renewable energy sources is the only way. The Greek islands are characterized by the richness in sun, air, seas. These elements can be utilized by installations of wind, solar, hydroelectric power plants and in combination with desalination plants they are able eliminate water scarcity, reduce the instability of local power plants, reduce the ecological footprint of the islands, strengthen their energy autonomy.

The object of this thesis is the creation of a hybrid renewable energy system (HRES) on the island of Ithaca in order to fully meet the water needs of the island, as well as to cover most of the energy needs. The aim of the work is to make an alternative proposal for an energy production system that will respect the environment, the needs of the island and the wishes of the inhabitants, while having a small ecological footprint. The system consists of a hydroelectric power plant (HPP) that will operate with sea water, a wind farm consisting of 5 wind turbines, and a desalination tank. The combination of different forms of energy gives greater reliability to the system, while the HPP gives the possibility of energy storage. At the same time, the HPP operates with seawater at a short distance from the sea, which means that it will have a small environmental footprint.

Study Area

Ithaca is an island of the Ionian Sea and is located south of Lefkada and northeast of Cephalonia, from which it is separated by the homonymous strait. Its capital is Vathi. Ithaca belongs administratively to the Region of the Ionian Islands. Ithaca has 2 ports, Vathi and Piso Aetos, which are both connected to Patras via Sami (port of Cephalonia). The island has total area 117 km². Its highest peak is Mountain Rinito with an altitude of 806 m. It has maximum length 29 km, maximum width 6.4 km and minimum width 0.6 km. In figure 1, map of Ithaca is shown.



Figure 1: Map of Ithaca Island (Source: Google Earth)

Ithaca is the second smallest island of the Ionian Sea, although, the most renowned as it was the homeland of the ingenious Odysseus. According to 2001, census 3084 people inhabit the island. Its biggest settlement is Vathi with 1826 residents followed by Perachori with 345. Ithaca has a temperate Mediterranean climate. It is characterized by mild rainy winters and hot, not rainy, but still humid summers. The surrounding sea is responsible for the lower temperatures in summer compared to mainland Greece. The average annual temperature is 16 °C. The total annual rainfall is about 1000 mm.

In Ithaca, there are no extractions from Surface Water Systems (SFW) for water supply. The water demands of the Island are met using Groundwater Systems and desalination. September of 2021 was the first time in the history of the Island that there was continuous water supply 24 hours a day. The power supply network of mainland Greece covers the islands energy needs.

Methodology

The present study, of a Hybrid Renewable Energy System (HRES) in the Island of Ithaca, is carried out for a period of 40 years. The input data of the model are the historical info of Temperature, Wind, and Rain. Historical timeseries is a set of data that refer to a certain area. The length of the timeseries is 26 years from 1995 to 2020.

To dimension the system with enough safety it is necessary to calculate the uncertainty of the natural processes. To achieve this goal, stochastic and probabilistic methods are used in order to produce synthetic models with 40 years length. The synthetic models give us the opportunity of creating timeseries with longer length, while having the ease of running multiple simulations.

In order to generate the synthetic rainfall timeseries we first receive the necessary data from Hellenic National Meteorological Service. The measurements come from the station of Argostoli in Cephalonia, which has an altitude of 10 meters. The measurements come from Cephalonia, because Ithaca does not have its own meteorological station. The quite small distance between the two Islands has a minor impact on the calculations. The timeseries is generated using a first-order autoregressive model. A model is called autoregressive when a value from the time series is calculated based on previous values from that same time series. The method represents a random process, which argues that rainfall is defined, linearly from its immediately preceding value, since the model is first-order, and from a contemplative term, white noise, which measures errors. The model is written as AR (1). For the production of temperature timeseries, the same method is used.

As far as the production of wind synthetic timeseries, a different process is followed. The method used is "Negra et al." (2007). The steps followed for this method are:

- The classification of historic wind speed data based on their speed.
- The wind speed state probability.
- The state frequency.
- The average state duration.

- The transition rates, one for the transition up and one for the transition down.

Once 12 probability tables for each month are defined, it is possible to produce synthetic windspeed time series. The step-by-step procedure is described as follows:

- The wind speed vector takes an initial value while the time variable receives the initial value of 0 hour. For the first simulation year, the initial wind speed vector takes the value that corresponds to the average historic wind speed.
- Two random numbers are created in the interval (0,1) one for the transition up and one for the transition down.
- Calculation of time to up (TTU) and time to down (TTD), h represents the simulation period which is one year
- If $TTU < TTD$ the wind speed goes to the upper state after TTU hours.

This process creates a 3-hour synthetic timeseries of wind. Then the timeseries' step is changed to 1 hour in order to achieve compatibility between wind and other data. The program used for this whole procedure is Microsoft Office Excel 2017. Then a comparison of historical and synthetic data is made, in order to check if the model is accurate enough. Figure 2 shows the frequency-speed comparison between historical and synthetic data.

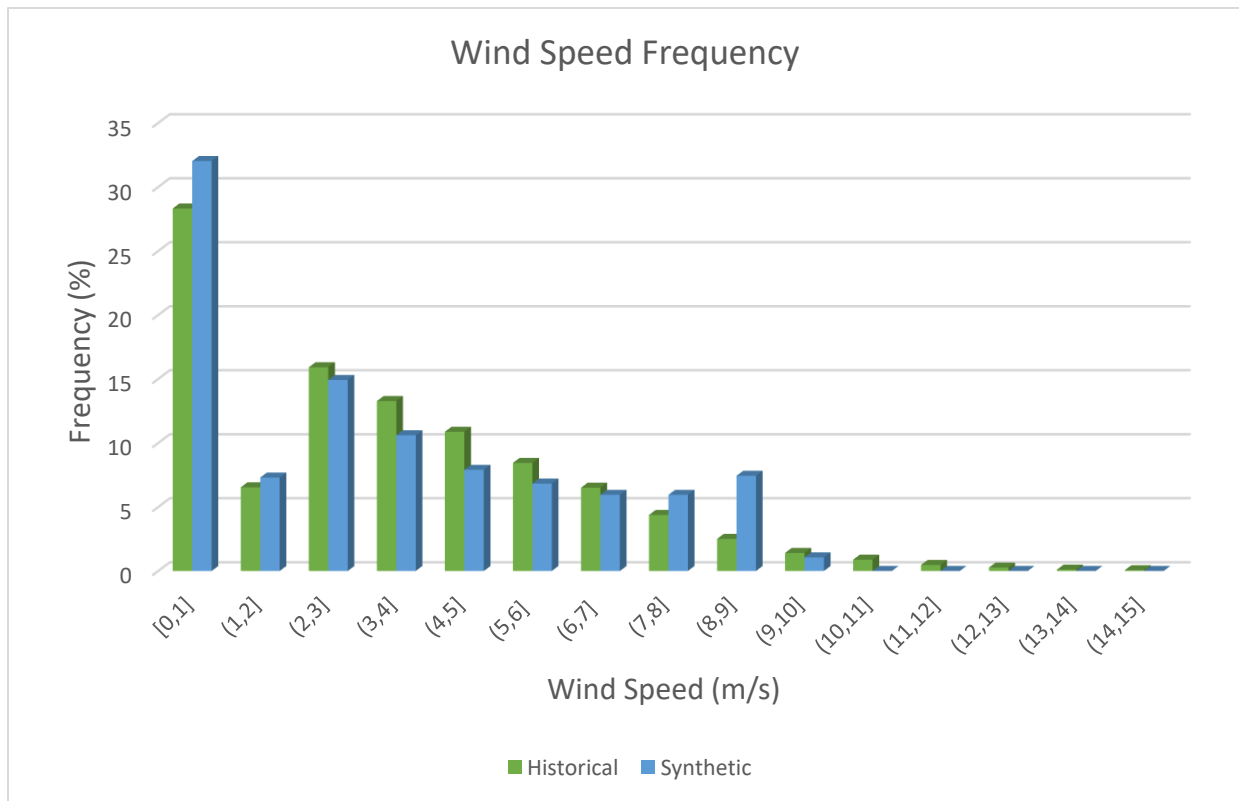


Figure 2: Wind Speed-Frequency Diagram

As far as the energy and water demands are concerned, there is no need for synthetic timeseries to be produced. However, a 40-year timeseries is produced based on the existing historical data. This is achieved by assuming a linear increase of the island’s population and hence an increase in demands. In addition, it is very important to take the consumption of tourists during the summer months of the year, since Ithaca is an excellent tourist destination. In Ithaca, unlike the rest of Greece, in which the tourist season lasts from mid-May to mid-September, the majority of tourists visit the island in July and August. According to the census in 2010, the maximum number of tourists was about 3200.

The assessment of the drinking water supply demands of the inhabitants of Ithaca is done considering the individual water supply needs. Particularly, it is estimated at 150 l/d/capita for the inhabitants and 200 l/d/capita for the tourists. Furthermore, it is vital to increase the estimated consumption in the summer months due to the hot climate of Greece by 20%. The base year of the model is 2022, which has the characteristics of the year 2011, in which Hellenic Statistical Authority conducted the last population census.

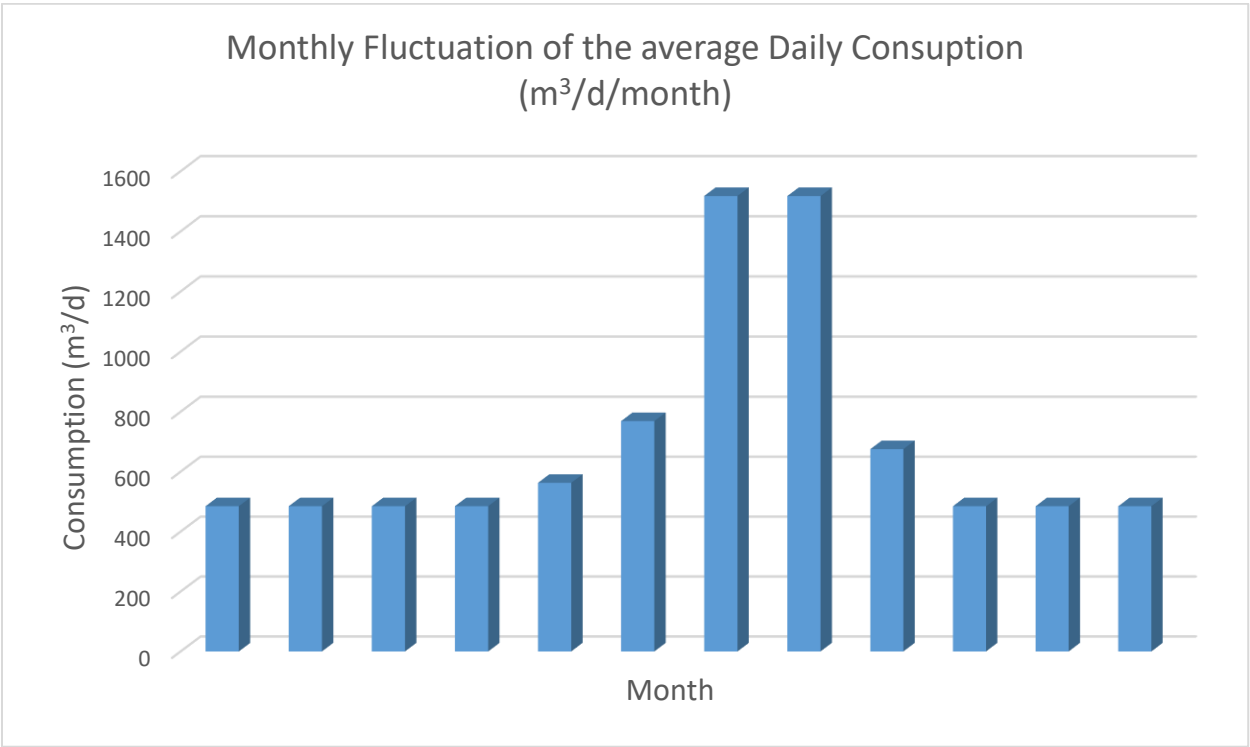


Figure 3: Monthly Fluctuation of the average daily consumption

The assessment of irrigation needs is based on the water needed by the island’s crops. These needs are increased by the consumption of water by animals. The basic precondition for the calculation of irrigation needs is the assessment of evapotranspiration. Evapotranspiration (ET) is a term used to refer to the combined processes by which water moves from the earth’s surface into the atmosphere. It covers both water evaporation (movement of water to the air directly from soil, canopies, and water bodies) and transpiration (movement of water from the soil, through roots and bodies of vegetation, and then into the air). Evapotranspiration is an important part of the water cycle, and measurement of it plays a key role in agricultural irrigation and water resource management. The Blaney-Criddle is used to determine the needs.

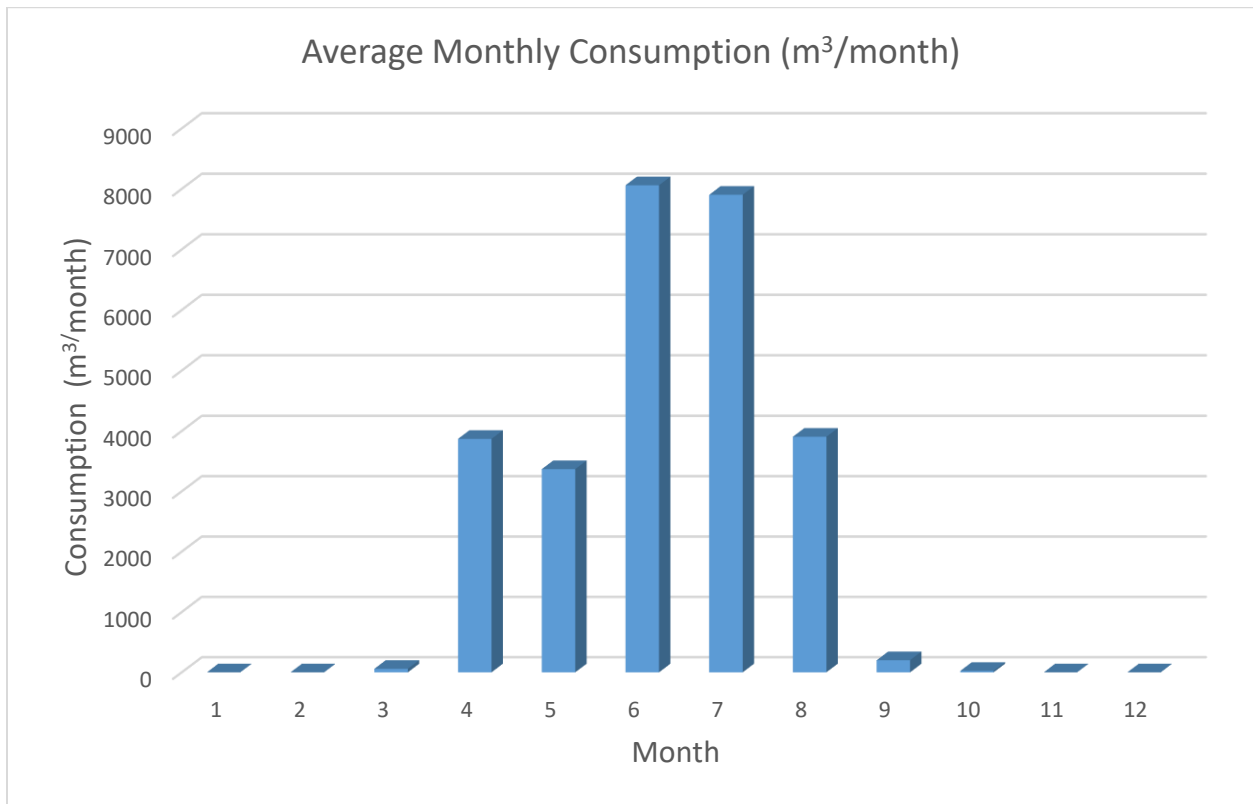


Figure 4: Average monthly variation of Irrigation Consumption

Ithaca is one of the few Greek islands that are connected to the main energy network of mainland Greece. The energy demand data of Ithaca are not available. For this reason, the needs of the island are estimated based on the energy needs of the island of Karpathos making a linear reduction based on the population. Since both islands have a limited number of visitors, mainly in the summer months, the estimate will not differ much. Just like the water needs, electricity needs are linearly increased based on the estimated change in the population of the island. The

following graph shows the comparison of the average monthly consumption between the base year (2022) and the last year of the model (2046).

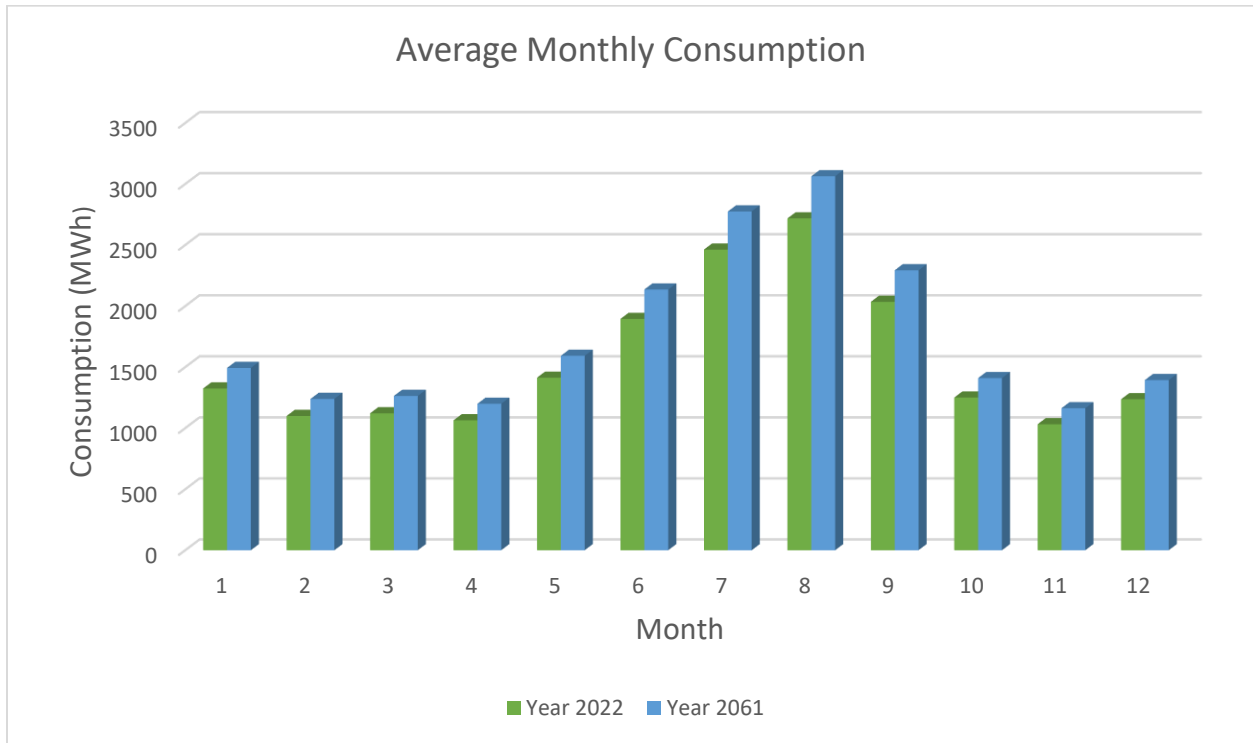


Figure 5: Average monthly consumption, 2022 vs 2061

Estimation of the Produced Energy

In order to meet the water and energy demands of the island, the construction, of an HRES is proposed. It is consisted of an HPP with a seawater dam with a capacity of 2hm³, a desalination plant with a capacity of 1400 m³/d and a desalinated water tank of 500,000 hm³, and a wind farm. The wind farm has a total capacity of 19.8 MW. More specifically, it is consisted of five Enercon wind turbines: four E-126/4200 and 1 E-101/3500. The turbines are chosen after comparison with other models, as they produce the maximum energy. The E-101/3000 model is added to take advantage of the lower wind speeds.

The power curve of each wind turbine is used to estimate the produced energy. Power curve shows the estimated produced energy depending on the wind speed. This is how the energy time series is produced based on the wind time series. It is important to note that before using the power curve, wind speed has been reduced to a specific altitude depending on the area of the

wind farm and the height of each wind turbine. Power curves of both turbines are shown in Figure 7 and Figure 8.

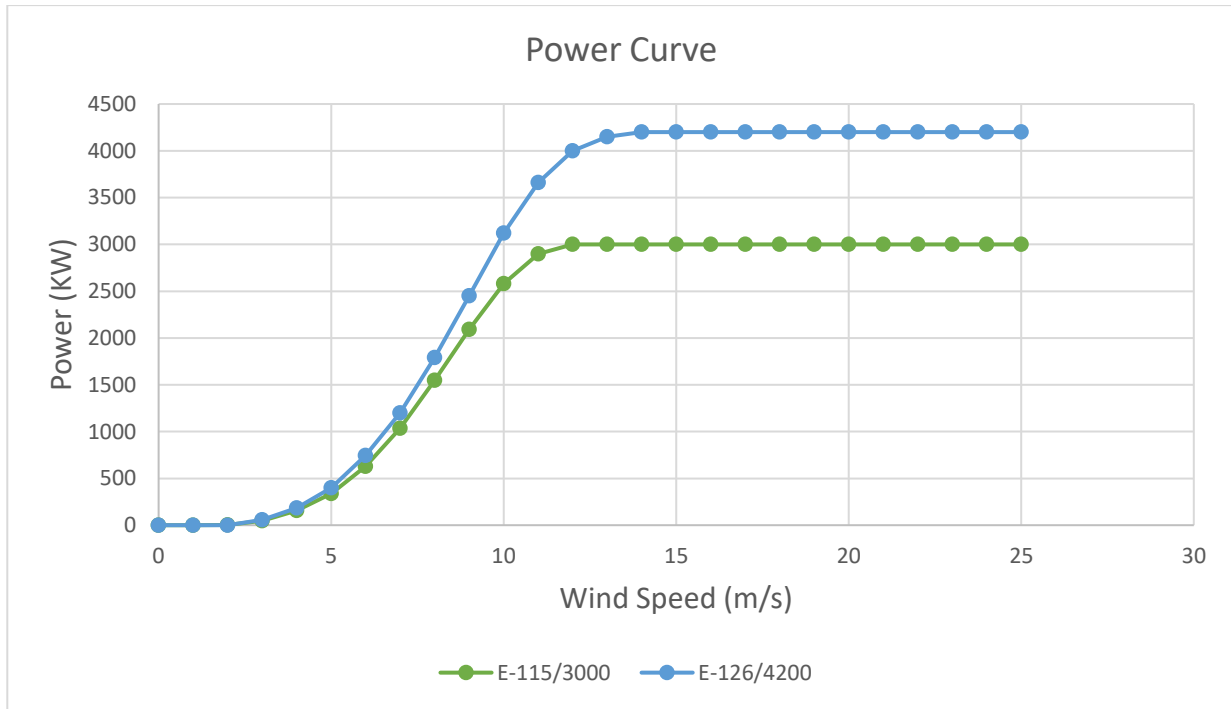


Figure 6: Enercon Power Curves

Then, a second HRES is simulated. The alternative HRES consists of an HPP and desalination plant with the same characteristics as before, but with a different wind farm. This wind farm consists of conventional wind turbines as well as Vortex Bladeless turbines. These turbines have smaller ecological footprint than conventional turbines, as they do not have blades and foundation. When operating they cover an area of 1 m². They have a height of 2.75 m and power of 100 W. They work by converting wind energy into electrical through oscillation, which occurs when the wind turbine reaches the same frequency as whirlwinds created behind it. A phenomenon known in fluid mechanics as "Vortex Effect". The alternative wind farm consists of 2 E-126/4200, 1 E-115/300, and 84000 Vortex Bladeless. Figure 9 shows Vortex Bladeless power curve and Figure 10 shows a typical Vortex Bladeless turbine.

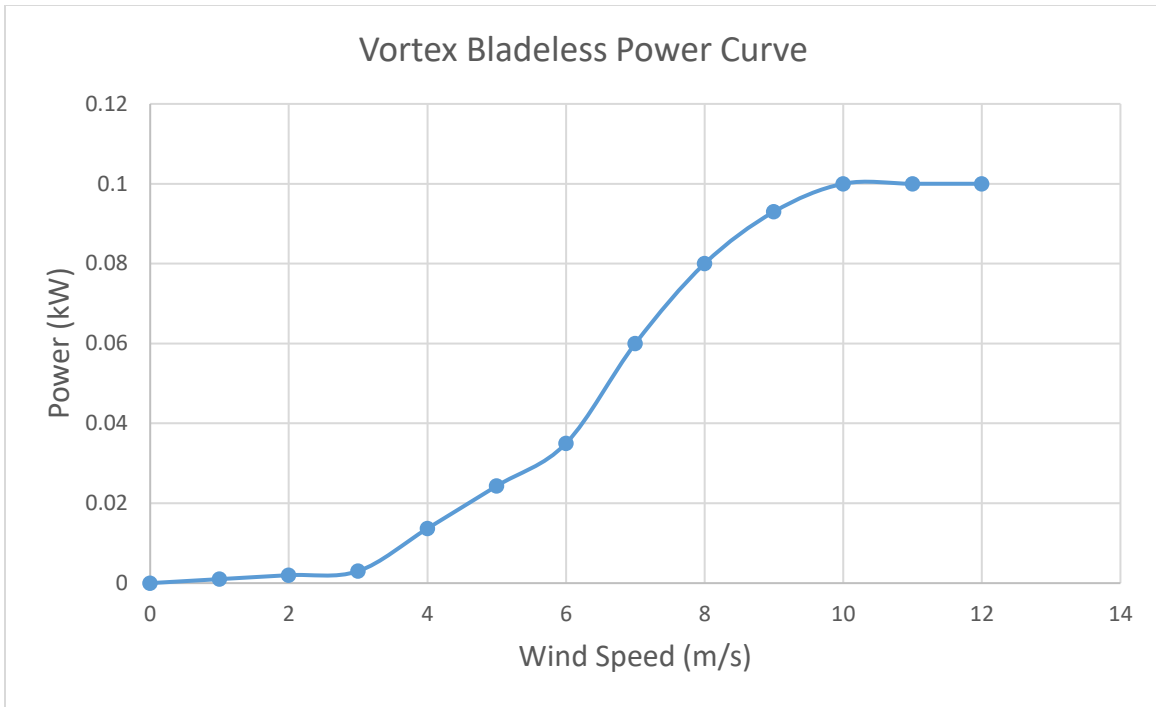


Figure 7: Vortex Bladeless Power Curve



Figure 8: Vortex Bladeless Wind Turbine

The calculation of the energy produced from the hydroelectric system is made with an hourly step. The energy is estimated by the following equation:

$$E = \gamma * Q * H * n$$

Where:

- γ : water specific gravity (9.81 kN/m³),
- Q: turbine flow rate (m³/s),
- H: the altitude difference between the upstream water level and the altitude of the downstream turbine,
- n: turbine efficiency coefficient.

The simulation process of the HRES is following. The goal is to fully cover the water and the biggest percentage of energy demands. Initially, 30% of the energy generated goes directly to the grid. The remaining 70% goes to the desalination plant. The amount of energy left over from desalination is used to pump water to the hydroelectric plant. The operation of the hydroelectric is then simulated. In the opposite case, where there is an energy deficit, the reverse process is activated, with the production of energy from the HPP. Figure 11 shows the location of HRES's units.

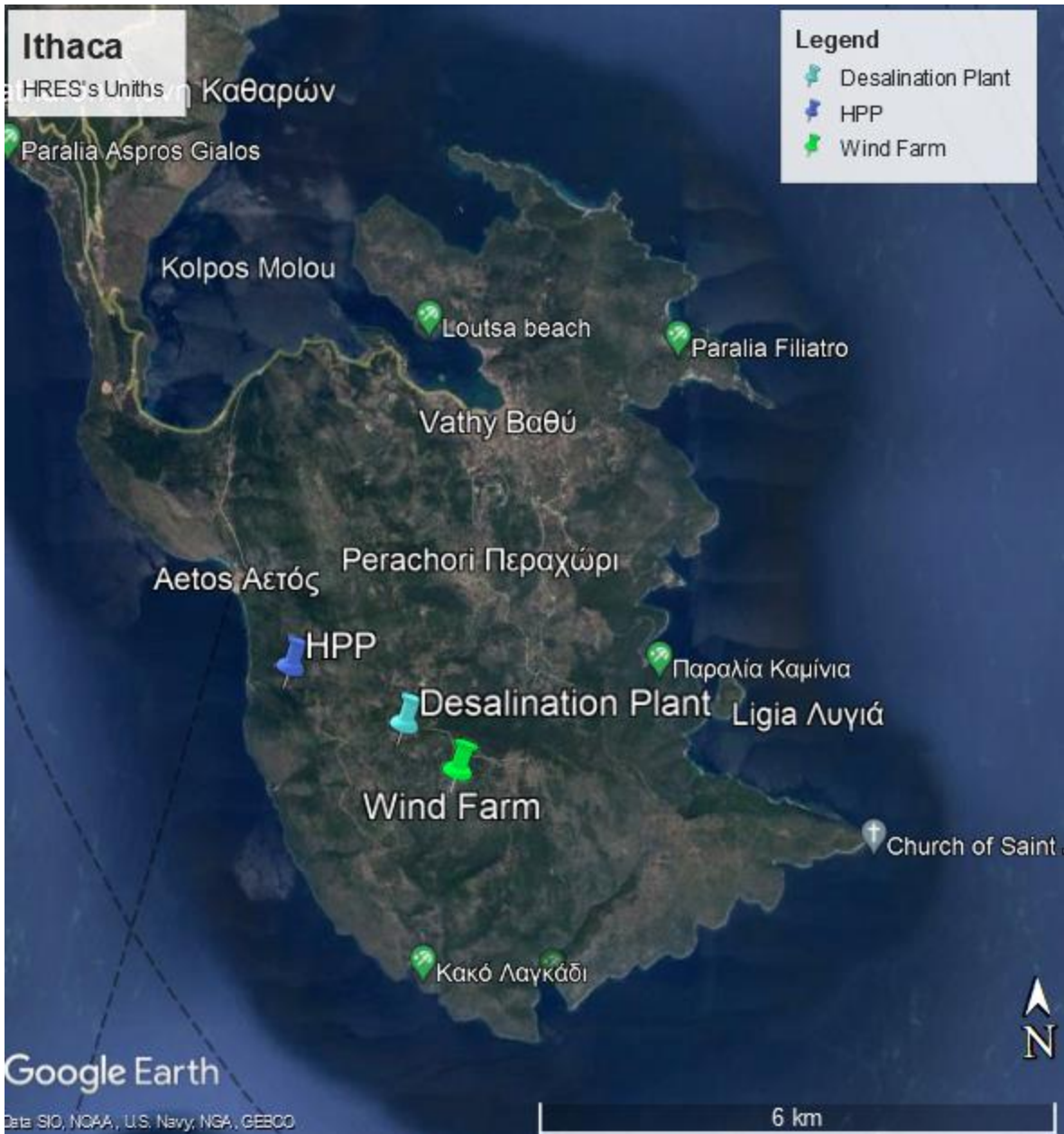


Figure 9: Position of the Units of HRES (Google Earth)

The model is simulated using Microsoft Excel 2017, in an hourly step. The input data is:

- Water demand time series,
- Irrigation demand time series,
- Energy demand time series,
- Rainfall time series,
- Generated wind energy time series,
- Dimensioning characteristics for the hydropower and desalination plants,

- Elevations, reservoir capacities and energy conversion coefficients.

The results of the simulation are the:

- Wind power energy time series,
- Hydroelectric energy time series,
- HRES energy coverage time series,
- Water supply time series,
- Irrigation water supply time series,
- Reliability on any size, on monthly and annual basis.

Results

The results of the simulation are shown below. Figure 10 shows the percentage of water and irrigation coverage, while Figures 11 and 12 show the monthly average supply and demand of water and irrigation needs. As it is shown in Figure 10, the HRES achieves its primary goal to fully cover the water and irrigation demands of the island. This is due to the large enough size of the drinking water reservoir and the adequate power supply of desalination plant.

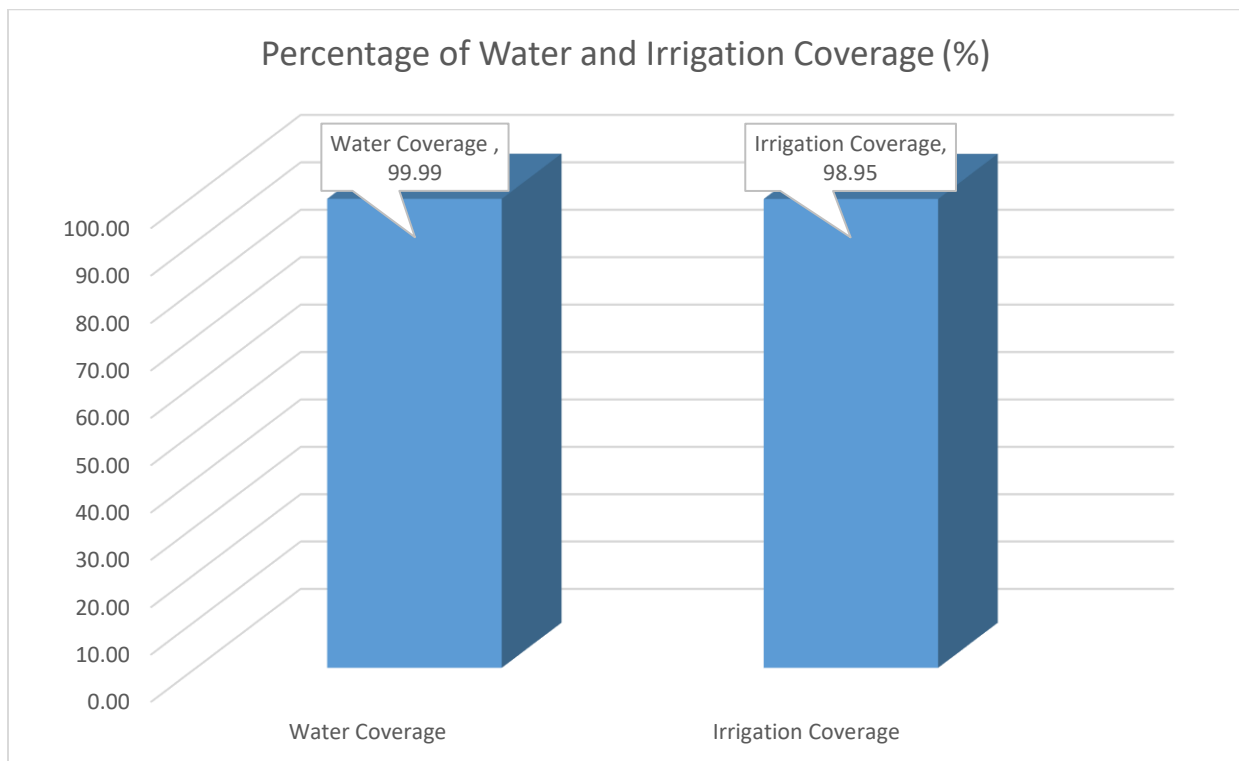


Figure 10: Percentage of Water and Irrigation Coverage

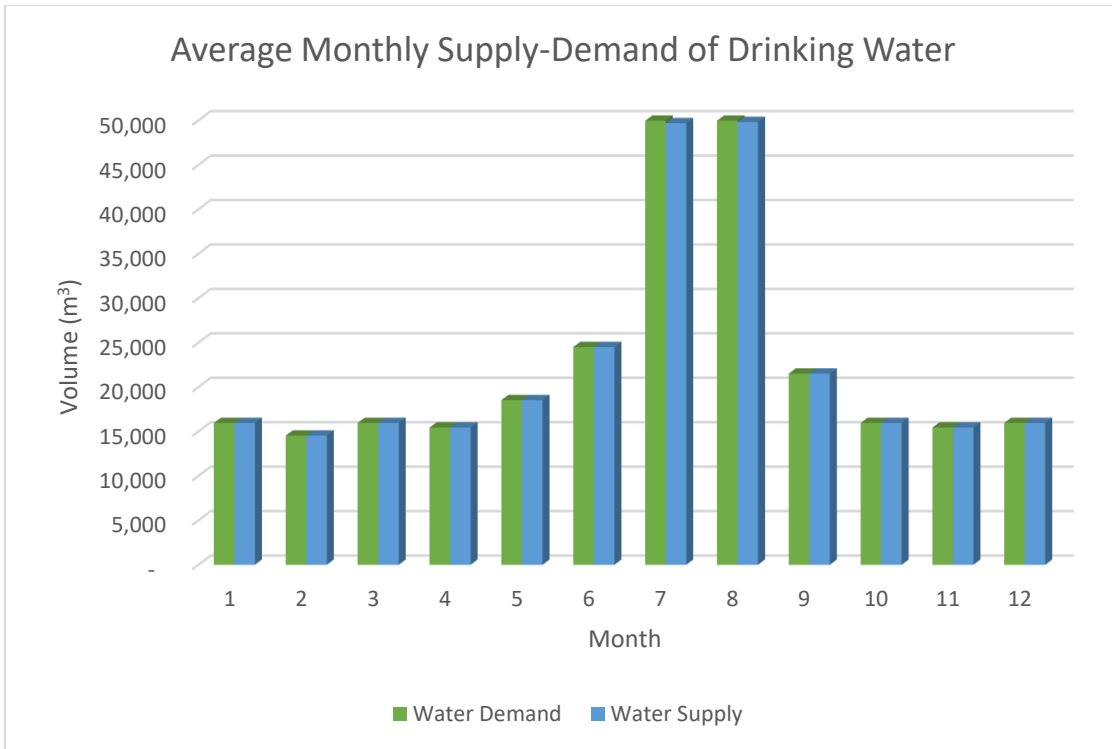


Figure 11: Average Monthly Supply - Demand of Drinking Water

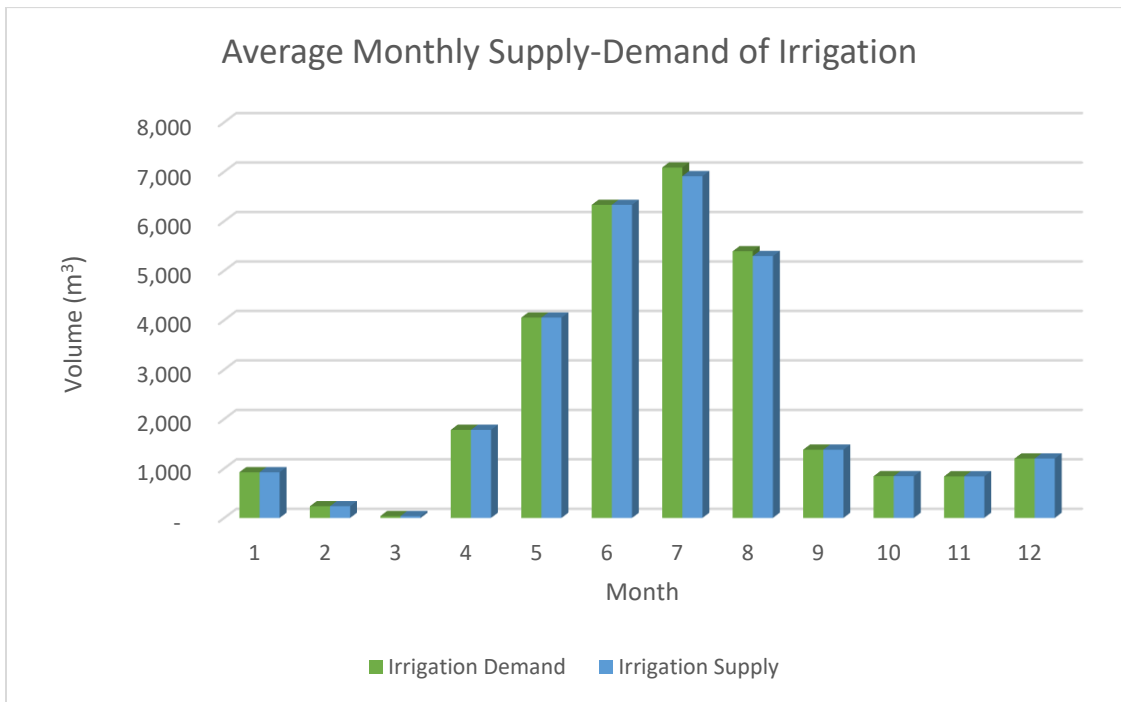


Figure 12: Average Monthly Supply - Demand of Irrigation

Figure 13 shows the annual energy production of the HRES, while Figure 14 shows the percentage of covered energy demand per form of energy. Figure 15 shows the average monthly energy production. As shown in Figure 14 the annual energy production constantly above 5,000 MWh per year. Figure 15 shows that the percentage of covered demands by the HRES is 63%, something quite satisfactory. This is due to the large enough size and height of the seawater tank, as well as the compensatory wind potential. As shown in Figure 16, the participation of mainland Greece's electricity network is greater during the summer due to the large influx of tourists.

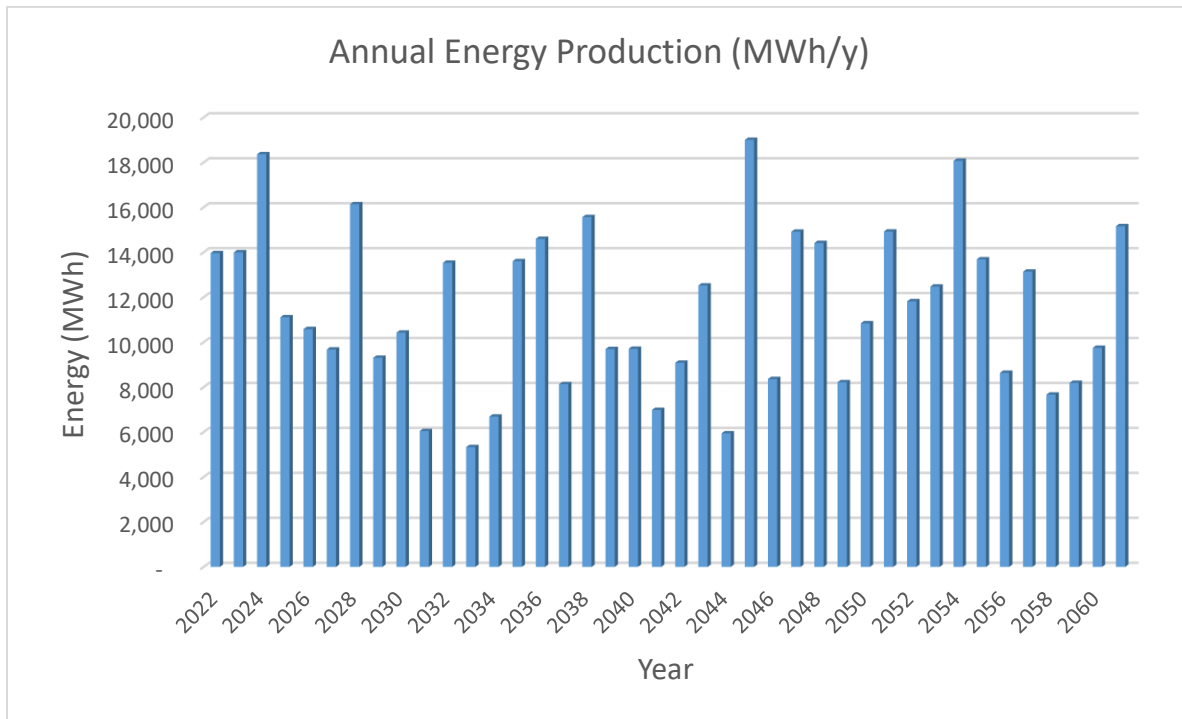


Figure 13: Annual energy production

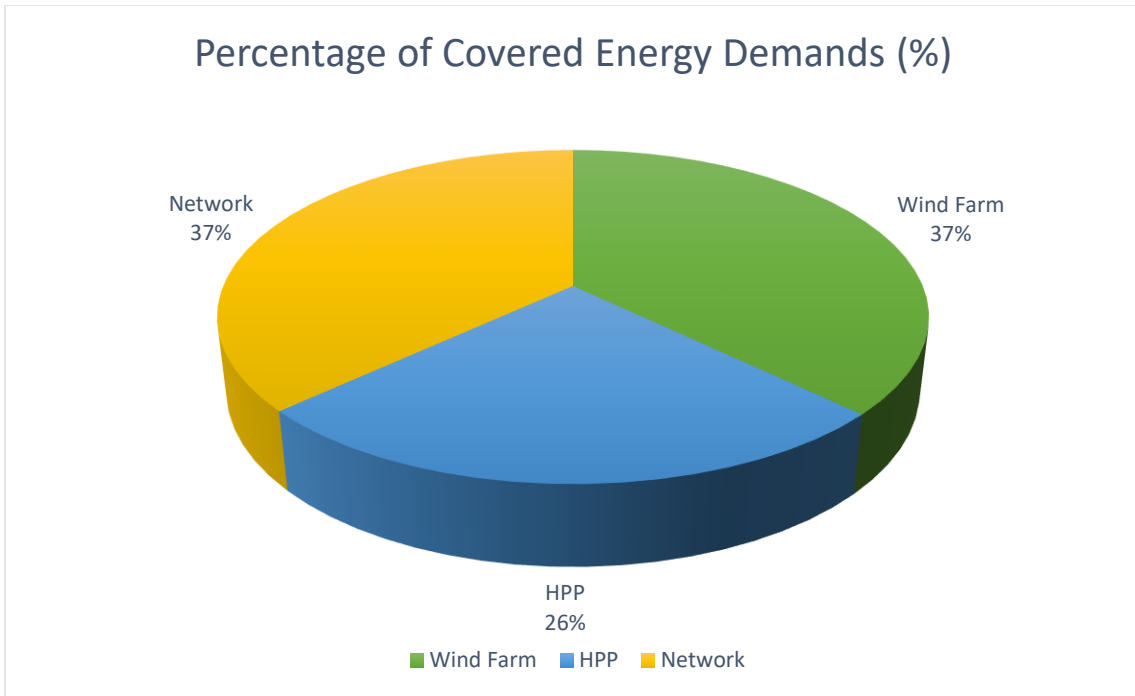


Figure 14: Percentage of covered energy demands

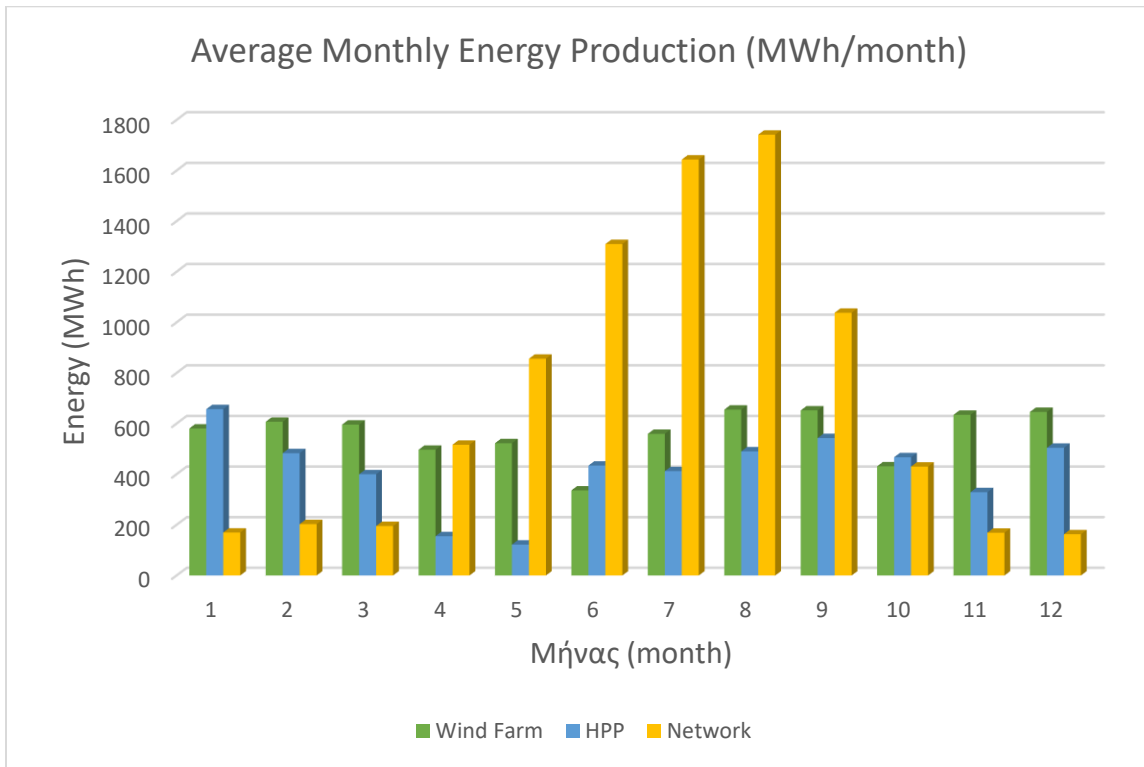


Figure 15: Average Monthly Energy Production

Then, the results of the alternative HRES are shown. Figure 16 shows the water and irrigation demand coverage. Figure 17 shows percentage of covered energy needs per form of energy and Figure 18 shows the average monthly energy production. As shown below there is a small, but, noticeable improvement in all results. More specifically, the coverage of irrigation increases from 98.95 to 99.77 (Figure 16). The wind farm contribution increases from 37% to 41%. In addition, the contribution of the electricity network is reduced from 37% to 32% (Figure 17). While its maximum monthly contribution network no longer exceeds 1,600 MWh. (Figure 18). The results are improved due to the ability of Vortex wind turbines to operate better in lower wind speeds. Hence, the wind farm can take better advantage of a wider range of wind speeds.

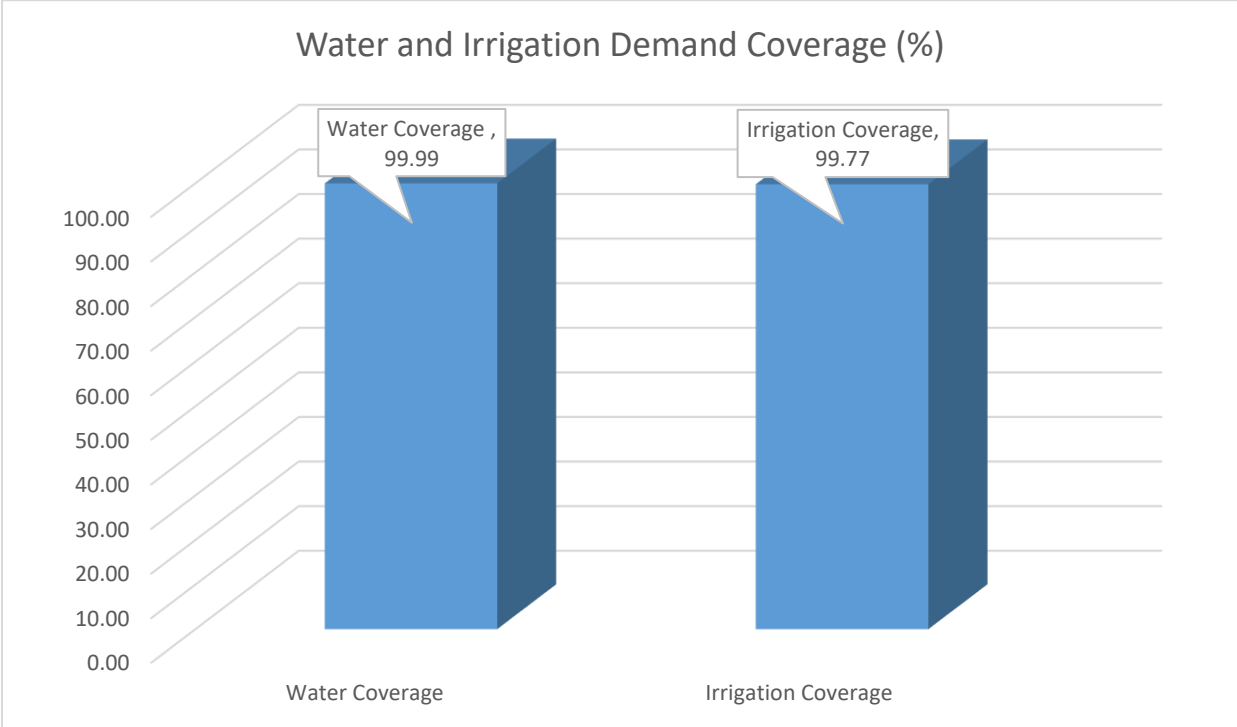


Figure 16: Water and Irrigation Demand Coverage

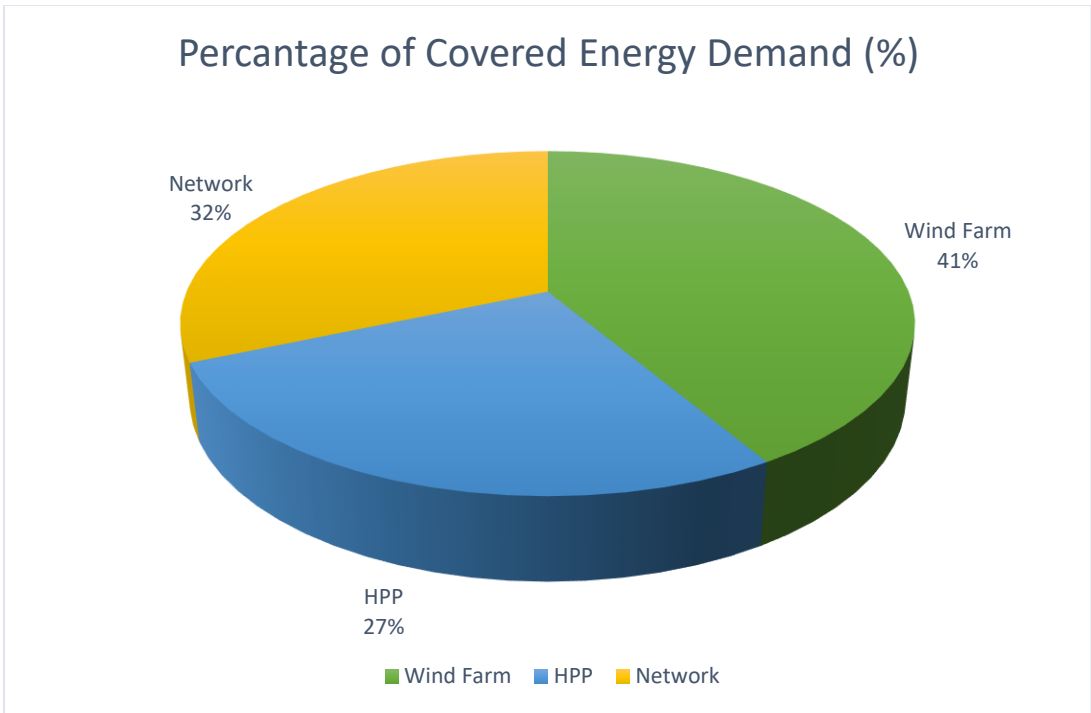


Figure 17: Percentage of Covered Energy Demand

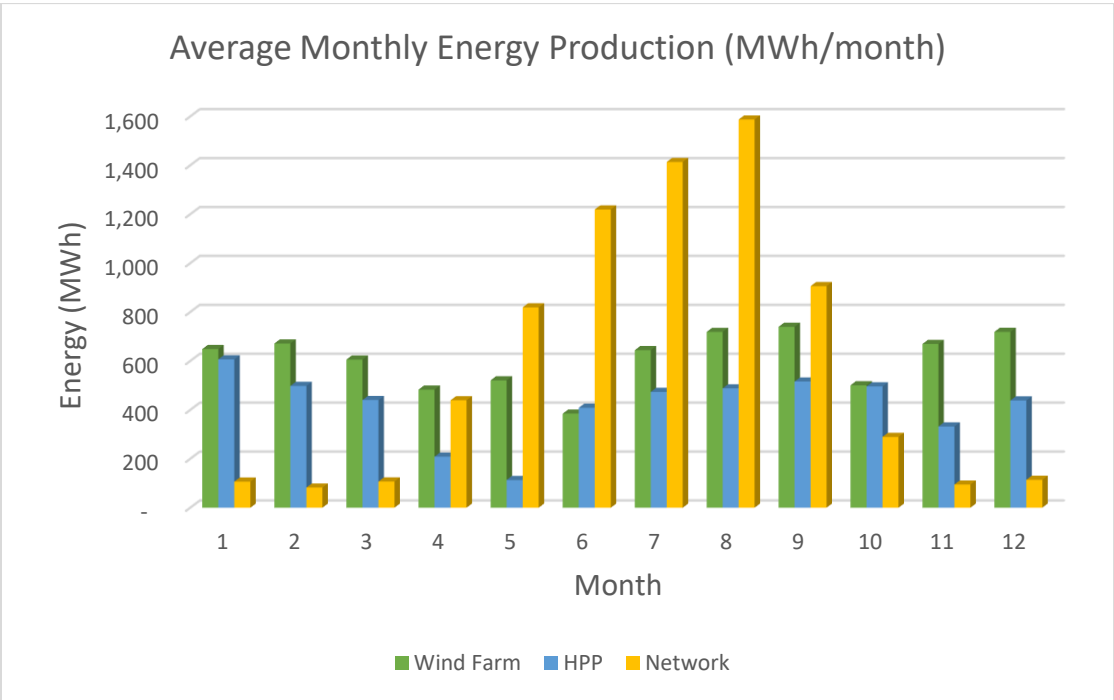


Figure 18: Average Monthly Energy Production

Conclusions and future research

The environmental consequences as well as the depletion of conventional fuels for energy production have led to the interest around HRES's. Hybrid Systems have the advantage of combining different forms of energy and the ability to store energy. In addition, the ability of HRES to operate independently allows them to be implemented in remote areas where connection to the central network is very costly.

In addition, many Greek islands suffer from the problem of lack of water resources. This situation complicates the life of residents. In addition, it has serious consequences for the livestock, agricultural and economic development of the islands. The problem of water scarcity is typical of the Greek islands due to their limited catchment areas. This problem is exacerbated during the summer months due to the massive influx of tourists and, consequently, the increase in water and energy needs. A method to deal with this phenomenon is the construction of desalination plants. The most common desalination method is that of reverse osmosis due to the low energy consumption, compared to other methods, the increased productivity, and the effective connection to the HRES.

The following conclusions are drawn from the analysis of the simulation of the HRES with a horizon of 40 years.

- The population of the island increases during the summer months due to the influx of tourists. In addition, a geometric increase in population per year is assumed. The result of the above is the corresponding increases in water and energy needs.
- The input data of the model is natural phenomena. They are therefore governed by randomness and variability. In order to make a reliable estimation about them in the coming years, it is necessary to use probabilistic and statistical methods.
- In the operating scenario of the HRES, priority is the coverage of the water supply and irrigation needs and, secondarily, the coverage of the energy needs. The first goal is achieved with reliability greater than 99%. While, the coverage of energy needs reaches 63%.
- Reliability in meeting water needs is inversely proportional to meeting energy needs.
- Vortex bladeless turbines increase the reliability of the HRES. However, they are in early-stage development.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

Η συνεχής αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες του καθιστούν μη βιώσιμη την χρήση των συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αφενός, τα ορυκτά καύσιμα είναι πεπερασμένα και τα αποθέματά τους τελειώνουν, αφετέρου, η καύση τους απελευθερώνει σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), κάτι που οδηγεί σε περιβαλλοντική ρύπανση και υπερθέρμανση του πλανήτη. Προκειμένου να αντιμετωπίσουν την κλιματική κρίση, οι Κυβερνήσεις, σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν πάρει αποφάσεις για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), έτσι ώστε να καλυφθεί ένα μέρος της ενεργειακής ζήτησης με φιλικό τρόπο προς το περιβάλλον.

Όσον αφορά την Ελλάδα, κρίνεται αναγκαία η περαιτέρω εισχώρηση ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα, προκειμένου η χώρα να σταματήσει να βασίζεται στην καύση λιγνίτη για την παραγωγή ενέργειας. Ακόμα πιο επείγουσα είναι η κατάσταση στα ελληνικά νησιά, πολλά από τα οποία δυσκολεύονται να καλύψουν τόσο τις ενεργειακές, όσο και τις ανάγκες τους σε νερό. Πολλά νησιά της Ελλάδας είναι μη διασυνδεδεμένα στο κεντρικό δίκτυο ενέργειας και ανάγκες τους καλύπτονται, είτε μέσω της σύνδεσης τους με το δίκτυο κάποιας απομακρυσμένης περιοχής, είτε με τοπικούς σταθμούς παραγωγής (ΤΣΠ) ενέργειας που καίνε ορυκτά καύσιμα. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της επένδυσης σε ΑΠΕ είναι η αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου ενέργειας, η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, οικονομικά οφέλη, είτε από την μείωση του λειτουργικού κόστους των συμβατικών μονάδων, είτε από την πώληση πράσινης ενέργειας, είτε από την αποφυγή προστίμων που σχετίζονται με εκπομπές CO₂.

Όσον αφορά την εγκατάσταση ΑΠΕ στα νησιά αυτή κρίνεται εξαιρετικά βιώσιμη, αφού τα περισσότερα ελληνικά νησιά έχουν υψηλό αιολικό δυναμικό, ηλιοφάνεια, θάλασσες. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται ελκυστική η εγκατάσταση Α/Γ και φωτοβολταϊκών προκειμένου να αξιοποιηθεί το δυναμικό αυτό. Παρόλα αυτά, το δυναμικό όντας φυσικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται από δυσκολία πρόβλεψης, τυχαιότητα και μεταβλητότητα. Αυτό καθιστά τις ΑΠΕ αμφίβολης απόδοσης και αξιοπιστίας. Σε αυτά τα μειονεκτήματα προστίθεται και η δυσκολία αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας.

Προκειμένου να ξεπεραστεί αυτή η αδυναμία των ΑΠΕ χρησιμοποιούνται τα Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας (ΥΣ). Τα ΥΣ αποτελούνται από τον συνδυασμό διαφορετικών μορφών ΑΠΕ προκειμένου να αντιμετωπίσουν την αναξιπιστία κάθε μεμονωμένης μορφής ΑΠΕ, ενώ δίνουν τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας, όπως μέσω της μεθόδου των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Επιπλέον, μεγάλος αριθμός νησιών αντιμετωπίζει σοβαρές ελλείψεις σε νερό. Οι κύριοι λόγοι που συμβαίνει αυτό είναι έντονη μορφολογία των νησιών που κάνει το βρόχινο νερό να χάνεται, και η πρόσμιξη υδροφόρου ορίζοντα με θαλασσινό νερό, λόγω υπεράντλησης. Το φαινόμενο δυσχεραίνει τους καλοκαιρινούς μήνες, εξαιτίας της μαζικής εισροής τουριστών σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι, είναι πολύ σημαντικό να βρεθούν λύσεις σε αυτό το πρόβλημα, προκειμένου να σταματήσει να δυσχεραίνεται η ζωή των κατοίκων και να προωθηθεί η περαιτέρω ανάπτυξη των νησιών.

Συνήθως, προκειμένου να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, με την πιο συνηθισμένη να είναι η μεταφορά νερού μέσω πλοίων, κάτι που, ωστόσο, είναι αρκετά δαπανηρό, με την τιμή του μεταφερόμενου νερού να φτάνει τα 9 €/m³ (Καραχάλιου Π., 2010). Η πιο βιώσιμη μέθοδος για την κάλυψη των υδατικών αναγκών είναι αυτή της αφαλάτωσης. Παρόλο που είναι αρκετά ενεργοβόρα, όταν εντάσσεται σε ένα ΥΣ, το πρόβλημα αυτό ελαχιστοποιείται.

1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη ενός ΥΣ στη νήσο Ιθάκη, καθώς και η βιβλιογραφική ανασκόπηση του τρόπου λειτουργίας ενός ΥΣ. Το παρόν σύστημα αποτελείται από Α/Γ, μονάδα αφαλάτωσης, ταμιευτήρα αποθήκευσης του θαλασσινού νερού, καθώς και υδροηλεκτρική μονάδα παραγωγής ενέργειας με δυνατότητα αντλησοσταμείωσης. Ζητούμενο του παρακάτω έργου είναι η εκτίμηση του ποσοστού της κάλυψης των αναγκών σε νερό και ρεύμα, η προσομοίωση της λειτουργίας, ο υπολογισμός της αξιπιστίας του έργου.

1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το κεφάλαιο 2 αποτελείται από μία συνοπτική παρουσίαση των ΑΠΕ, παρουσιάζονται τα θετικά και αρνητικά τους και ο τρόπος παραγωγής ενέργειας από την κάθε μία. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα ΥΣ και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον συνδυασμό με διαφορετικές ΑΠΕ. Τέλος, αναφέρεται η αφαλάτωση και η κρίσιμη συνεισφορά της στην παραγωγή νερού για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας. Πιο συγκεκριμένη, αναφορά γίνεται στην μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης, η οποία χρησιμοποιείται στην μονάδα αφαλάτωσης του συγκεκριμένου ΥΣ.

Στο κεφάλαιο 3, αναφέρονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης τα οποία άμεσα ή έμμεσα επηρεάζουν την κατασκευή του έργου. Τέτοια χαρακτηριστικά μπορεί να είναι το καθεστώς υδροδότησης και ηλεκτροδότησης της περιοχής, οι περιβαλλοντικά προστατευόμενες περιοχές, ιστορικά και οικονομικά στοιχεία.

Στο κεφάλαιο 4, περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθείται για την κατασκευή του ΥΣ. Παρουσιάζονται τα τεχνικά στοιχεία του έργου και προσομοιώνεται η λειτουργία του. Η διαδικασία της προσομοίωσης έχει ως απαραίτητα βήματα την επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων, την πρόβλεψη της αύξησης του πληθυσμού, των εκτίμηση των αναγκών σε νερό, καθώς και την πρόβλεψη της παραγόμενης ενέργειας από το ΥΣ.

Στο κεφάλαιο 5, παρατίθενται τα συμπεράσματα από την λειτουργία του ΥΣ, καθώς και ορισμένα θέματα για μελλοντική έρευνα.

2 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 ΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Οι ενεργειακοί πόροι/πηγές χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: 1) ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, γεωθερμική, ενέργεια από εκμετάλλευση της παλίρροιας, των κυμάτων και της πτώσης νερού από μεγάλο ύψος), 2) Μη ανανεώσιμες πηγές (καύσιμα απολιθωμάτων όπως άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο. Οι ΑΠΕ είναι φιλικές προς το περιβάλλον, διότι έχουν σχεδόν μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η οργανωμένη και συστηματική εκμετάλλευση του δυναμικού των ΑΠΕ, εκτός από τα πρωτεύοντα αποτελέσματα, μπορεί να αποδώσει μεγάλα οφέλη, δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας, αποκεντρωμένη ανάπτυξη, αλλά και ανάπτυξη της τεχνολογίας, της τεχνολογίας και της κατασκευαστικής δραστηριότητας σε διάφορους κλάδους (Ματόπουλος, Νικολάου, 2014).

Η Ελλάδα είναι μία χώρα στην οποία οι ΑΠΕ μπορούν να ευδοκιμήσουν λόγω του πλούσιου αιολικού και ηλιακού δυναμικού της. Παρόλα αυτά υπάρχουν και κάποια προβλήματα που εμφανίζονται κατά την προσπάθεια υιοθέτησης των ΑΠΕ. Για παράδειγμα, η ενέργεια που παράγεται από τις Α/Γ ή τα φωτοβολταϊκά έργα (Φ/Β) είναι χαμηλής αξιοπιστίας λόγω της μεταβλητότητας των φαινομένων του ανέμου και του ήλιου. Επιπλέον, παραγωγή ενέργειας κυμαίνεται σημαντικά σε ημερήσια, ωριαία και εποχιακή βάση. Αυτό οδηγεί πολλές φορές σε έλλειψη ενέργειας όταν απαιτείται. Δημιουργείται, επομένως, η ανάγκη της ενσωμάτωσης της ενεργειακής αποθήκευσης (αντλησιοταμίευση, συσσωρευτές ενέργειας, κ.α.) στα συστήματα παραγωγής των ΑΠΕ, με σκοπό την εξομάλυνση των ενεργειακών αιχμών και την ελεγχόμενη παροχή προς το δίκτυο, δηλαδή την καλύτερη εκμετάλλευση και απόδοση των ΑΠΕ. Την ανάγκη αυτή έρχεται να καλύψει η τεχνολογία των ΥΣ (Βρεττός, 2010).

Ένα ΥΣ μπορεί να δημιουργηθεί από διαφορετικούς συνδυασμούς Φ/Β, Α/Γ, γεννητριών ντίζελ, γεωθερμικών και υδροηλεκτρικών, μπαταριών αποθήκευσης. Αυτά τα συστήματα μπορούν να παράγουν όλο το χρόνο, συνεπή, ανανεώσιμη ενέργεια και να μειώσουν την απαίτηση για εφεδρική παραγωγή. Στην πραγματικότητα, το κύριο πλεονέκτημα ενός ΥΣ είναι ότι κάθε πηγή στο ενεργειακό μείγμα συμπληρώνει τις άλλες πηγές και καθιστά το σύστημα πιο αξιόπιστο.

Η αποθήκευση ενέργειας είναι κομβικής σημασίας για την αποτελεσματική λειτουργία των ΥΣ. Δυστυχώς, η αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες είναι ακόμα κοστοβόρα, ενώ οι κατασκευασμένες μπαταρίες είναι τεράστιες. Ιδανική μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας για τα ελληνικά νησιά είναι η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης, λόγω του γεγονότος ότι περιβάλλονται

από θάλασσα. Τα υδροηλεκτρικά έργα αντλησοταμίευσης έχουν την ίδια μορφή με τα κλασσικά ΥΗΕ, ωστόσο έχουν την δυνατότητα για την πραγματοποίηση της αντίστροφης διαδικασίας, δηλαδή, άντλησης νερού. Η λογική της διαδικασίας είναι σχετικά απλή· όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας από τις Α/Γ, τότε ενέργεια κατευθύνεται προκειμένου να αντληθεί νερό, με αυτόν τον τρόπο η ενέργεια δεν σπαταλιέται και αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση. Αντίστοιχα, όταν εμφανιστεί έλλειμα ενέργειας λειτουργεί το ΥΗΕ και συμπληρώνει την υπόλοιπη ενέργεια.

Επιπλέον, κρίσιμης σημασίας για τα ελληνικά νησιά είναι η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι χρόνιες ελλείψεις σε νερό και να αναβαθμιστεί η ποιότητα ζωής των κατοίκων. Δυστυχώς, ακόμη και σήμερα οι ανάγκες αυτές καλύπτονται μέσω της μεταφοράς πόσιμου νερού με πλοία κάτι εξαιρετικά κοστοβόρο. Η αφαλάτωση παρόλο που μπορεί να καταναλώνει αρκετό ρεύμα, όταν συνδυάζεται σε ένα ΥΣ το πρόβλημα αυτό τείνει να εξαλειφθεί. Επίσης, η τεχνολογία των μονάδων αφαλάτωσης εξελίσσεται αρκετά γρήγορα απαιτώντας όλο και μικρότερες καταναλώσεις ενέργειας.

Σύμφωνα με τον νόμο 3468/2006 (Ιστότοπος [8](#)), βασικά χαρακτηριστικά ενός ΥΣ ενέργειας είναι ότι:

- Η ενέργεια που παροχετεύεται από το ΥΣ στο ΥΗΕ δεν είναι μεγαλύτερη από το 30% της ενέργειας που χρειάζεται για να γεμίσει η μονάδα αποθήκευσης του ΥΣ.
- Χρησιμοποιεί τουλάχιστον μία μονάδα ΑΠΕ.
- Η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 120% ισχύος της μονάδας αποθήκευσης

2.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΣΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.2.1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες τεχνολογίες ΑΠΕ. Η χρήση αυξάνεται παγκοσμίως, εν μέρει επειδή το κόστος μειώνεται. Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής αιολικής ενέργειας στην ξηρά και την θάλασσα έχει αυξηθεί πολύ τις τελευταίες δύο δεκαετίες, πηδώντας από 7.5 GW το 1997 σε περίπου 564 GW έως το 2018. Η παραγωγή αιολικής ενέργειας διπλασιάστηκε μεταξύ 2009 και 2013 και το 2016 η αιολική ενέργεια αντιπροσώπευε το 16% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ (Ιστότοπος ⁹). Πολλά μέρη του κόσμου έχουν ισχυρές ταχύτητες ανέμου, αλλά οι καλύτερες τοποθεσίες για την παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι συνήθως απομακρυσμένες. Για το λόγο αυτό τα ελληνικά νησιά είναι ιδανικό σημείο τοποθέτησης.

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται, ήδη από την αρχαιότητα, με την βοήθεια των ανεμόμυλων και κυρίως από τον αγροτικό τομέα. Οι Α/Γ στη σύγχρονη εποχή εμφανίζονται για πρώτη φορά πριν από περισσότερο από έναν αιώνα. Μετά την εφεύρεση της ηλεκτρικής γεννήτριας στη δεκαετία του 1830, οι μηχανικοί αρχίζουν να προσπαθούν να αξιοποιήσουν την αιολική ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή αιολικής ενέργειας λαμβάνει χώρα στο Ηνωμένο Βασίλειο και τις Ηνωμένες Πολιτείες το 1887 και το 1888, αλλά η σύγχρονη αιολική ενέργεια θεωρείται ότι αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη Δανία, όπου οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα κατασκευάστηκαν το 1891 και ξεκίνησε μια ανεμογεννήτρια 22,8 μέτρων λειτουργία το 1897. (Χονδρογιάννης Κ., 2019).

Ο άνεμος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας την κινητική ενέργεια που δημιουργείται από ροή του αέρα. Αυτή μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας Α/Γ ή συστήματα μετατροπής αιολικής ενέργειας. Ο άνεμος χτυπά πρώτα τα πτερύγια μιας τουρμπίνας, αναγκάζοντάς τα να περιστρέφονται και να περιστρέφουν τον στρόβιλο που είναι συνδεδεμένος με αυτά. Αυτό αλλάζει την κινητική ενέργεια σε περιστροφική ενέργεια, μετακινώντας έναν άξονα που είναι συνδεδεμένος με μια γεννήτρια και έτσι παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω του ηλεκτρομαγνητισμού.

Η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τον άνεμο εξαρτάται από το μέγεθος της τουρμπίνας και το μήκος των πτερυγίων της. Η ενέργεια είναι ανάλογη με τις διαστάσεις του ρότορα και με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου. Θεωρητικά, όταν η ταχύτητα του ανέμου διπλασιάζεται, το δυναμικό της αιολικής ενέργειας αυξάνεται κατά οκτώ. Για την εκτίμηση της

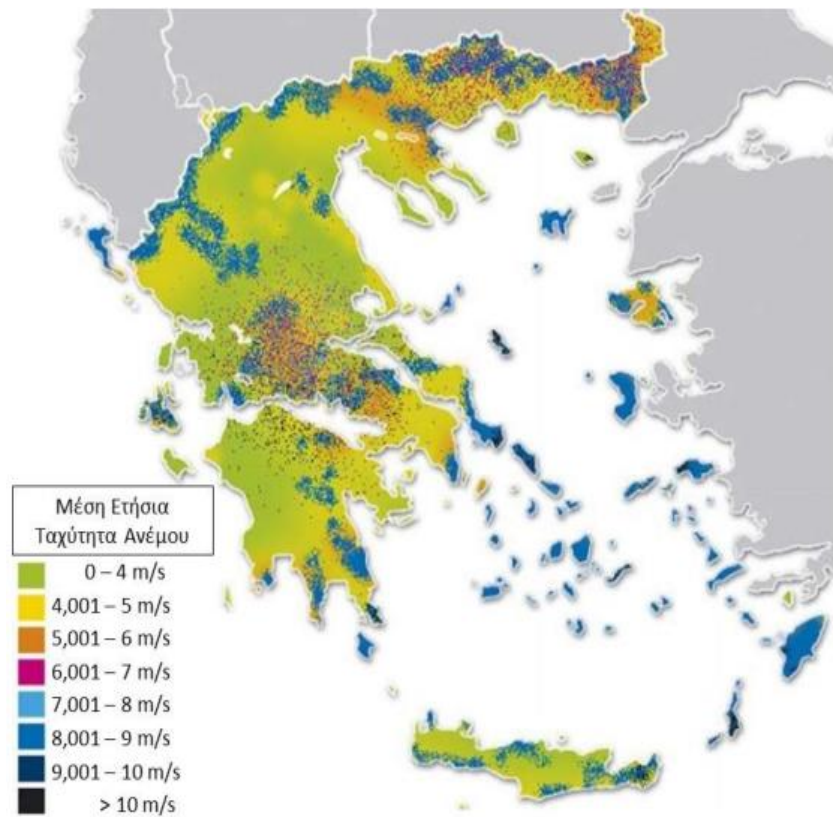
παραγόμενης ενέργειας του ανέμου χρησιμοποιείται η καμπύλη ισχύος της Α/Γ. Η καμπύλη ισχύος δείχνει την παραγόμενη ισχύ ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου και παρέχεται από τον εκάστοτε παρασκευαστή της Α/Γ. (Λυκογιάννη Μ., 2019)

Παρόλα τα σημαντικά πλεονεκτήματα τους, οι Α/Γ παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα. Η παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι δύσκολο να εκτιμηθεί λόγω της στοχαστικότητας του φαινομένου του αέρα. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι λόγω των κατασκευαστικών τους χαρακτηριστικών οδηγούν στο θάνατο πουλιών, ενώ οδηγούν στην υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος στο οποίο ζουν και αναπαράγονται ορισμένα ήδη. Για το λόγο αυτό είναι προτιμότερο να μην τοποθετούνται σε ευαίσθητες οικολογικά περιοχές, όπως οι περιοχές Natura (Ιστότοπος [10](#)).

Λόγω των περιβαλλοντικών μειονεκτημάτων των συμβατικών Α/Γ τα τελευταία χρόνια γίνονται έρευνες για την ανάπτυξη Α/Γ με μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα (Ιστότοπος [11](#)). Παράδειγμα τέτοιων αποτελούν οι Α/Γ Vortex Bladeless. Οι Α/Γ αυτές δεν έχουν φτερά και θεμέλια, ενώ έχουν περιοχή κάλυψης 1 m². Δεν υπάρχει κίνηση περιστροφής, ούτε άξονας στην δομή τους. Η τεχνολογία των Α/Γ αυτών εκμεταλλεύεται το φαινόμενο Vortex. Λειτουργούν μετατρέποντας την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω της ταλάντωσης, που συμβαίνει όταν η Α/Γ φτάσει την ίδια συχνότητα με τις δίνες ανέμου που δημιουργούνται πίσω της. Ένα φαινόμενο γνωστό στην μηχανική των ρευστών (Ιστότοπος [12](#)). Οι Α/Γ αναμένεται να κυκλοφορήσουν στην αγορά τα επόμενα χρόνια. Ενώ, έχουν ήδη γίνει εργαστηριακές μετρήσεις για το μοντέλο Vortex Atlantis με ύψος 2.75 m και ισχύ 100 W. Στο μέλλον υποστηρίζεται ότι θα κυκλοφορήσουν Α/Γ Vortex ισχύος έως και 1 MW και ύψους έως και 150 m (Ιστότοπος [13](#)). Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται μία τυπική Α/Γ Vortex. Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται ο χάρτης του αιολικού δυναμικού της Ελλάδας.



Σχήμα 2.1: Α/Γ Vortex Bladeless (Williams M., 2015)



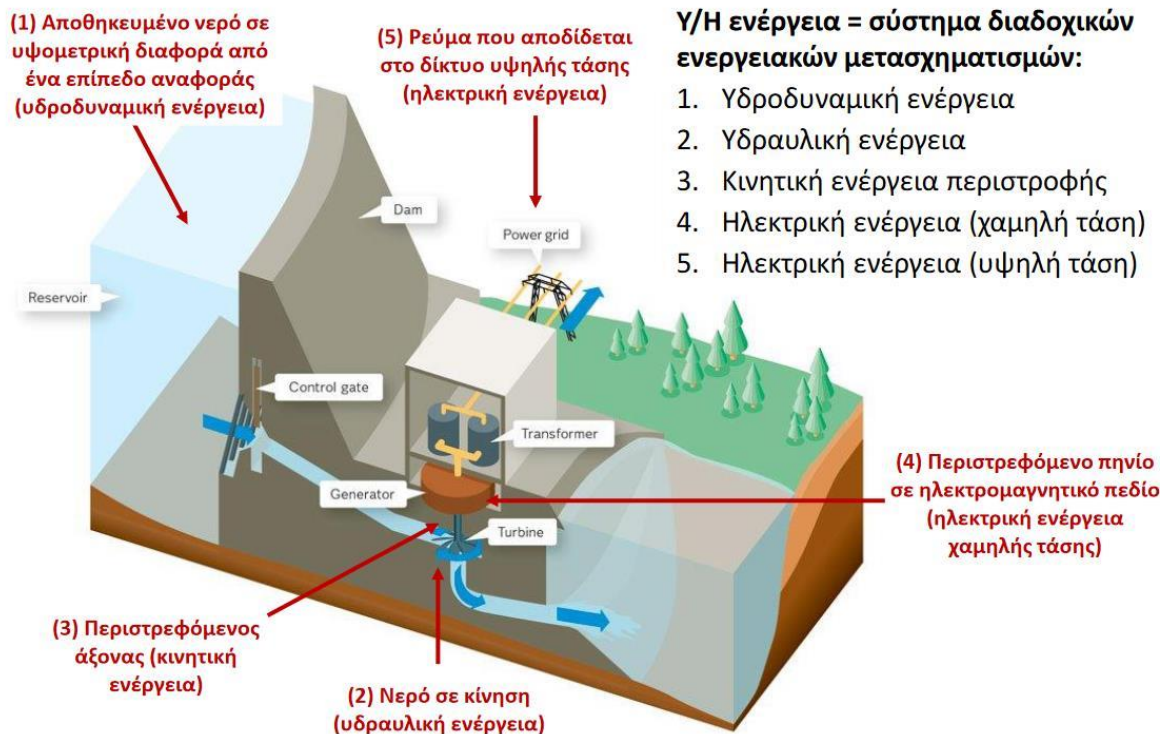
Σχήμα 2.2: Αιολικό δυναμικό της Ελλάδας (μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου σε m/s) (Πηγή: ΚΑΠΕ, 2013)

2.2.2 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται από το νερό που κινείται στον υδρολογικό κύκλο, που οδηγείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από την επιφάνεια της ξηράς ή της θάλασσας, θερμαίνοντας την επιφάνεια και δημιουργώντας εξάτμιση όπου υπάρχει διαθέσιμο νερό. Ένα μεγάλο ποσοστό - σχεδόν το 50% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης - χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του νερού και την κίνηση του υδρολογικού κύκλου. Η δυναμική ενέργεια που ενσωματώνεται σε αυτόν τον κύκλο είναι επομένως τεράστια, αλλά μόνο ένα πολύ περιορισμένο ποσό μπορεί να αναπτυχθεί τεχνικά. Το εξατμισμένο νερό μετακινείται στην ατμόσφαιρα και αυξάνει την περιεκτικότητα σε υδρατμούς στον αέρα. Οι ατμοί συμπυκνώνονται και πέφτουν ως καθίζηση, περίπου 78% στους ωκεανούς και 22% στην ξηρά. Αυτό δημιουργεί μια καθαρή μεταφορά νερού από τους ωκεανούς στην επιφάνεια της γης και μια εξίσου μεγάλη ροή νερού πίσω στους ωκεανούς ως απορροή ποταμών και υπόγειων υδάτων. Είναι η ροή του νερού στα ποτάμια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, ή ακριβέστερα, η ενέργεια του νερού που μετακινείται από υψηλότερα σε χαμηλότερα υψόμετρα στο δρόμο του πίσω στον ωκεανό, οδηγούμενη από τη δύναμη της βαρύτητας. (Amur Kumar et al., 2012)

Η μηχανική ή υδροδυναμική ισχύς του νερού που πέφτει είναι πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες και παραγωγικές χρήσεις. Χρησιμοποιήθηκε από τους Έλληνες για να μετατρέψουν τους νερόμυλους για το άλεσμα του σιταριού σε αλεύρι πριν από περισσότερα από 2,000 χρόνια. Σήμερα, χρησιμοποιείται από τα ΥΗΕ προκειμένου να παράγει πράσινη ενέργεια για τις ανθρώπινες ανάγκες (Ιστότοπος [14](#)).

Ένα τυπικό ΥΗΕ, χρησιμοποιεί ένα φράγμα για την αποθήκευση του νερού του ποταμού σε μια δεξαμενή. Το νερό που απελευθερώνεται από τη δεξαμενή ρέει μέσω μιας τουρμπίνας, περιστρέφοντάς την, η οποία με τη σειρά της ενεργοποιεί μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το νερό μπορεί να απελευθερωθεί για να καλύψει τις μεταβαλλόμενες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια ή άλλες ανάγκες, όπως ο έλεγχος των πλημμυρών, η διέλευση των ψαριών και άλλες περιβαλλοντικές και ποιοτικές ανάγκες του νερού. Στο σχήμα 2.3, παρουσιάζεται μία τυπική διάταξη ΥΗΕ.



Σχήμα 2.3: Κύρια χαρακτηριστικά Υδροηλεκτρικών Έργων (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.α., 2019)

Τα υδροηλεκτρικά παρουσιάζουν πληθώρα πλεονεκτημάτων, τόσο όσον αφορά τη σύγκρισή τους με συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, όσο και με άλλες ΑΠΕ. Μερικά από αυτά είναι: (Ευστρατιάδης κ.α., 2018)

- Η υδροηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιεί την ενέργεια του τρεχούμενου νερού, χωρίς να μειώνει την ποσότητα του, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου, όλες οι υδροηλεκτρικές μονάδες, μικρού ή μεγάλου μεγέθους, είτε από το ποτάμι είτε από συσσωρευμένη αποθήκευση, ταιριάζουν στην έννοια της ανανεώσιμης ενέργειας.
- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί με δεξαμενές συσώρευσης προσφέρουν ασύγκριτη λειτουργική ευελιξία, καθώς μπορούν να ανταποκριθούν άμεσα στις διακυμάνσεις της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ευελιξία και η ικανότητα αποθήκευσης των υδροηλεκτρικών σταθμών τους καθιστά πιο αποδοτικούς και οικονομικούς στην υποστήριξη της χρήσης διακοπτόμενων πηγών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια ή η αιολική ενέργεια.
- Το νερό του ποταμού είναι ένας φυσικός πόρος που, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, δεν υπόκειται σε διακυμάνσεις της αγοράς.

- Οι δεξαμενές των υδροηλεκτρικών σταθμών συλλέγουν το νερό της βροχής, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατανάλωση ή για άρδευση. Συμβάλλουν στην προστασία του υδροφόρου ορίζοντα και στην αντιμετώπιση του κινδύνου από πλημμύρες.
- Η ενέργεια που παράγεται από υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις μπορεί να εγχυθεί στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ταχύτερα από οποιαδήποτε άλλη ΑΠΕ. Η ικανότητα των υδροηλεκτρικών συστημάτων, να φτάσουν τη μέγιστη παραγωγή από το μηδέν με γρήγορο και προβλέψιμο τρόπο, τα καθιστά εξαιρετικά κατάλληλα για την αντιμετώπιση αλλαγών στην κατανάλωση ενέργειας.

2.2.3 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ηλιακή ενέργεια είναι ένας γενικός όρος για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο. Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να συλληφθεί και να μετατραπεί σε χρήσιμες μορφές ενέργειας, όπως θερμότητα και ηλεκτρισμός, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες. Ωστόσο, η βιωσιμότητα αυτών των τεχνολογιών σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία εξαρτάται από τον διαθέσιμο ηλιακό πόρο.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και η μετατροπή της σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι δυνατή μέσω της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Τα Φ/Β υλικά και συσκευές μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Μια μεμονωμένη φωτοβολταϊκή συσκευή είναι γνωστή ως κυψέλη. Μία κυψέλη είναι μικρή και παράγει περίπου 1 ή 2 Watt ισχύος. Οι κυψέλες κατασκευάζονται από ημιαγώγιμα υλικά και είναι συχνά μικρότερες από το πάχος τεσσάρων ανθρώπινων τριχών. Για να αντέχουν στην ύπαιθρο για πολλά χρόνια, τοποθετούνται ανάμεσα σε προστατευτικά υλικά σε συνδυασμό από γυαλί ή/και πλαστικό. Για την ενίσχυση της ισχύος εξόδου των φωτοβολταϊκών κυψελών, συνδέονται μεταξύ τους σε αλυσίδες για να σχηματίσουν μεγαλύτερες μονάδες γνωστές ως φωτοβολταϊκά πάνελ (Ιστότοπος [15](#)). Τα Φ/Β συστήματα βρίσκουν εφαρμογή στις οροφές, στα σκίαστρα ή ακόμη και στις προσόψεις κτηρίων χρησιμοποιούμενα και ως δομικά υλικά, συνδεδεμένα στο δίκτυο ή ως μέρη ΥΣ. (Λεμονής, 2020).

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των Φ/Β έργων συγκαταλέγονται (Ιστότοπος [16](#)):

- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανανεώσιμη. Αν και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί τη νύχτα ή μέρες χωρίς ηλιοφάνεια, μπορούμε να υπολογίζουμε ότι ο ήλιος θα είναι εκεί την επόμενη μέρα, έτοιμος να μας δώσει περισσότερη ενέργεια και φως. Όσο έχουμε τον ήλιο, μπορούμε να έχουμε ηλιακή ενέργεια.
- Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται εδώ και πολύ καιρό σε καταστάσεις, όπου η ηλεκτρική ενέργεια από το εθνικό δίκτυο δεν είναι διαθέσιμη, όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές.
- Τα Φ/Β απαιτούν πολύ λίγη συντήρηση, είναι πολύ εύκολο να συνεχίσουν να λειτουργούν και διαρκούν πολύ.

2.3 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Η μεγαλύτερη ποσότητα του νερού στον κόσμο είναι μη πόσιμη και βρίσκεται στους ωκεανούς και τις θάλασσες. Πολλές περιοχές του πλανήτη υποφέρουν από λειψυδρία και η κατάσταση γίνεται ολοένα και χειρότερη. Ευτυχώς, υπάρχει μια διαδικασία που ονομάζεται αφαλάτωση κατά την οποία μπορεί να παραχθεί γλυκό νερό από αλμυρό νερό. Η αφαλάτωση ορίζεται ως η αφαίρεση αλατιού και ορυκτών από το θαλασσινό νερό, προκειμένου να καταστεί κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση και βιομηχανική χρήση. Η πιο γνωστή μέθοδος αφαλάτωσης είναι αυτή της αντίστροφης ώσμωσης. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας, το νερό περνάει από μεμβράνες που επιτρέπουν στα μόρια του νερού να περάσουν αλλά μπλοκάρουν τα μόρια του αλατιού και των μετάλλων.

Η εκθετική αύξηση του πληθυσμού στις πόλεις, η άκρατη τουριστικοποίηση συγκεκριμένων περιοχών, η υπερθέρμανση του πλανήτη, οι σύγχρονες μέθοδοι καλλιέργειας έχουν οδηγήσει σε σημαντικές ελλείψεις νερού στον πλανήτη. Όσον αφορά τα ελληνικά νησιά, οι παραπάνω αιτίες σε συνδυασμό με την ιδιαίτερη γεωμορφολογία τους (μικρές λεκάνες απορροής, απότομο ανάγλυφο), οδηγούν σε σημαντικές ελλείψεις νερού (Ιστότοπος [17](#)). Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η λειψυδρία, μια σειρά από μέτρα χρησιμοποιούνται. Συνήθως, οι ανάγκες καλύπτονται με τη μεταφορά νερού μέσω πλοίων. Ωστόσο, η διαδικασία αυτή είναι αρκετά κοστοβόρα. Μία άλλη λύση είναι οι γεωτρήσεις και η αξιοποίηση των πηγαδιών. Παρόλα αυτά, τα υπόγεια ύδατα μειώνονται ταχύτατα και συχνά μπλέκονται με θαλασσινό νερό. Η κατάσταση αυτή αναδεικνύει ότι η μέθοδος της αφαλάτωσης αποτελεί μια αρκετά καλή λύση για τα νησιά.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αφαλάτωσης με αυτή της αντίστροφης ώσμωσης να αποτελεί την πιο διαδεδομένη. Στην Ελλάδα, σήμερα λειτουργούν 50 μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης, συνολικής δυναμικότητας 35,000 m³/d (Λεμονής Α., 2020). Η αντίστροφη ώσμωση λειτουργεί χρησιμοποιώντας μια αντλία υψηλής πίεσης για να αυξήσει την πίεση από την πλευρά της μεμβράνης που περιέχει αλατούχο νερό και να πιέσει το νερό μέσω της ημιπερατής μεμβράνης, αφήνοντας σχεδόν το μεγαλύτερο ποσοστό των διαλυμένων αλάτων πίσω (περίπου 95% έως 99%). Η απαιτούμενη πίεση εξαρτάται από τη συγκέντρωση αλάτων στο νερό τροφοδοσίας. Όσο πιο μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων έχει το νερό τροφοδοσίας, τόσο περισσότερη πίεση απαιτείται για να ξεπεραστεί η ωσμωτική πίεση (Καλίτσης Ν., 2012) Τέλος, ιδανική είναι η περίπτωση συνδυασμού μονάδων με αφαλάτωσης μονάδων αφαλάτωσης με ΥΣ, αφού οι μεγάλες ενεργειακές ανάγκες της αφαλάτωσης καλύπτονται με πράσινη ενέργεια από το ΥΣ.

3 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΘΑΚΗΣ

Η Ιθάκη είναι συνώνυμη με την Οδύσσεια και τις δοκιμασίες αυτής της μυθολογικής ιστορίας. Η Οδύσσεια είναι ένα επικό δράμα που εκτυλίσσεται για δεκαετίες, εμπνέει πολλές ταινίες και βιβλία μέχρι και σήμερα. Η Οδύσσεια περιγράφει τον μεταπολεμικό νόστο του Οδυσσέα, βασιλιά της Ιθάκης, καθώς γυρίζει από τον πόλεμο της Τροίας, τον αιματοβαμμένο εμφύλιο πόλεμο μεταξύ των Ελλήνων. Η Ιθάκη κατοικείται από τα προϊστορικά χρόνια, όπως και τα άλλα νησιά των Ιονίων. Αποδείξεις πρώιμης ζωής στην αρχαία Ιθάκη παρέχουν τα θραύσματα που βρέθηκαν στα Πηλικάτα, με επιγραφή στη Γραμμική Α, που χρονολογείται από τους προϊστορικούς χρόνους.

Στα μεσαιωνικά χρόνια, το νησί κυβερνιόταν από Ενετούς. Τον 12ο αιώνα, η Ιθάκη παραχωρήθηκε στην οικογένεια Ορσίνι και αργότερα στην Οικογένεια Τότσι. Με τη βοήθεια της οικογένειας Τότσι, το νησί της Ιθάκης εξελίχθηκε σε ανεξάρτητο κράτος με πλήρως εξοπλισμένο στρατό και ναυτικό στόλο. Η ενετική εποχή έχει αφήσει μερικά πανέμορφα κτίρια ακόμη και σήμερα στο νησί. Το 1809, τα Επτάνησα περιήλθαν στην αγγλική κυριαρχία και σχηματίστηκε το Ιόνιο Κράτος. Το σύνταγμα του Ιονίου Κράτους σχηματίστηκε το 1817 και η Ιθάκη εκπροσωπούσαν από ένα μέλος στη Γερουσία του Ιονίου. Στα χρόνια της Ελληνικής Επανάστασης κατά των Τούρκων, η Ιθάκη πρόσφερε φιλοξενία και ιατρική περίθαλψη στους επαναστάτες, ενώ συμμετείχε στον εθνικοαπελευθερωτικό πόλεμο (Ιστότοπος [18](#)).

3.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ-ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Ιθάκη είναι νησί των Επτανήσων και βρίσκεται στα νότια της Λευκάδας και στα βορειοανατολικά της Κεφαλονιάς, από την οποία χωρίζεται με τον ομώνυμο πορθμό. Πρωτεύουσά της είναι το Βαθύ. Πρόκειται για επίμηκες νησί με έκταση 117 km² και πληθυσμό 3,084 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2001. Έως το 2011 αποτελούσε, μαζί με άλλα μικρότερα νησιά, την επαρχία Ιθάκης και ανήκε στο Νομό Κεφαλληνίας. Από το 2011, με την εφαρμογή του Προγράμματος Καλλικράτης αποτελεί ξεχωριστή Περιφερειακή Ενότητα. Ουδεμία μεταβολή επήλθε στον ομώνυμο Δήμο, σύμφωνα με το άρθρο 1,§ 2.25.Β. αυτού. Η Ιθάκη ανήκει Διοικητικά στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων (Ιστότοπος [19](#)).

Η Ιθάκη συνδέεται ακτοπλοϊκώς καθημερινά με την Κεφαλλονιά, τη Λευκάδα, την Πάτρα και τον Αστακό. Η Ιθάκη έχει 2 λιμάνια, το Βαθύ και τον Πίσω Αετό, που συνδέονται αμφότερα με την Πάτρα μέσω Σάμης (λιμάνι της Κεφαλονιάς). Ο Πίσω Αετός συνδέεται επίσης με το Φισκάρδο της Κεφαλονιάς, τη Βασιλική της Λευκάδας και τον Αστακό. Πλοία συνδέουν τις Φρίκες με το Φισκάρδο και τη Βασιλική ή το Νυδρί (Ιστότοπος [20](#)).

3.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η Ιθάκη, εξαιτίας της γεωτεκτονικής θέσης (βρίσκεται πολύ κοντά στο «ελληνικό τόξο»), αποτελεί νησί με έντονη σεισμική δραστηριότητα. Παράλληλα, το μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειας καλύπτεται από ασβεστόλιθους. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πληθώρας σπηλαίων με πλούσιο σταλακτικό και σταλαγματικό διάκοσμο. Πρόκειται για ένα μικρό ορεινό νησί (Νήριτο 806 m στο βόρειο τμήμα, Μεροβήγλι 619 m, και Νερόβουλο 582 m στο νότιο τμήμα), όπου η μορφολογία του εδάφους σε συνδυασμό με την έλλειψη νερού, έχουν στρέψει τους κατοίκους του να ζουν από την αλιεία και το τουρισμό. Το σχήμα του νησιού είναι επίμηκες, με διεύθυνση βορειοδυτική, και στο οποίο διακρίνονται δύο τμήματα, το βόρειο και το νότιο. Βόρεια στο νότιο τμήμα βρίσκεται η πρωτεύουσα του νησιού, το Βαθύ. Η Ιθάκη παρουσιάζει πλούσιο διαμελισμό στις ανατολικές ακτές, που χαρακτηρίζονται από πολλούς κόλπους και ακρωτήρια. Το βορειότερο άκρο της νήσου αποτελεί το ακρωτήριο "Μέλισσα", ενώ το νοτιότερο το ακρωτήριο "Άγιος Ανδρέας" (Ιστότοπος [21](#)).

3.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το κλίμα της Ιθάκης είναι θαλάσσιο μεσογειακό. Οι χειμώνες είναι βροχεροί, ενώ τα καλοκαίρια όχι. Τους καλοκαιρινούς μήνες επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και αυξημένη υγρασία. Λόγω του γεγονότος ότι περιβάλλεται από θάλασσα οι μέγιστες θερμοκρασίες τους καλοκαιρινούς μήνες είναι σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες της ηπειρωτικής Ελλάδας.

Η Ιθάκη ανήκει στην Δυτική Ελλάδα, που χαρακτηρίζεται από μεγάλα ύψη βροχής. Η ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 1025 mm, δηλαδή 1025 τμ νερού ανά στρέμμα. Στον πίνακα 3.1, παρουσιάζονται κάποιες χαρακτηριστικές τιμές για την θερμοκρασία, την βροχή και τον άνεμο στο νησί.

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μέση Μην. Βροχή (mm)	136	149	95	61	34	15	1	9	50	124	156	195
Συνολικές Μέρες Βροχής	14	15	7	6	3	3	1	1	3	8	12	15
Μέση Ελάχιστη Μην. Θερμ. (°C)	8.5	7.5	9.5	11.4	14.7	18.1	20.2	20.9	19	16	12.6	9.9
Μέση Μέγιστη Μην. Θερμ. (°C)	14.3	14	15.9	18.2	22.5	26.4	28.6	29.3	26.8	23	18.7	15.6
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	11.5	10.5	12.9	15.2	19.4	23.3	25.5	25.9	23.4	19.7	15.7	12.8
Μέση Μην. Ένταση Ανέμων (Kt)	7	7.2	7.1	6.5	6.2	6.6	4.1	5.4	5.7	6.1	6.8	6.9

Πίνακας 3.1: Μετεωρολογικά στοιχεία Λέρου

3.5 ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η Ιθάκη είναι ένα καταπράσινο νησί. Είναι γεμάτο με άγρια και καλλιεργούμενη βλάστηση. Στην Ιθάκη, ευδοκιμούν πεύκα και κυπαρίσσια, φρύγανα, μακία βλάστηση και πολλά φυτά αμμωδών και βραχωδών ακτών. Όσον αφορά την πανίδα του νησιού έλλειψη νερού και η περιορισμένη τροφή οδηγεί στον περιορισμό των ειδών. Παράδειγμα η μείωση του πληθυσμού της πετροπέρδικας. Στην Ιθάκη συναντώνται είδη όπως παρυδάτια πουλιά, αρπακτικά πουλιά όπως ο φιδαιτός, η αετογερακίνα, η γερακίνα, το ξεφτέρι, ο πετρίτης και το βραχοκιρκίνεζο, νυχτόβια αρπακτικά όπως τυτούδες, κουκουβάγιες και γκιώνηδες, θαλάσσια είδη όπως,

θαλασσοκόρακες, αρτέμηδες, μύχοι, ασημόγλαροι και χειμωνογάρωνα, αμφίβια όπως βαλκανοβάτραχοι και δεντροβάτραχοι, ερπετά χελώνες. Από θηλαστικά εμφανίζονται λίγα είδη όπως ασπάλακες, πετροκούναβα, λαγοί, σκαντζόχοιροι και κάποια είδη μικρών τρωκτικών και νυχτερίδων. Πολύ σημαντικά είναι τα περάσματα του νησιού όσον αφορά τα θαλάσσια θηλαστικά. Στην Ιθάκη ζούνε μεσογειακές φώκιες, ενώ συχνά εμφανίζονται ρινοδέλφια και κοινά δελφινιών. Στα ανοιχτά του νησιού εμφανίζονται περιστασιακά οι εντυπωσιακές πτεροφάλαινες, ενώ στον δίαυλο με την Κεφαλονιά συχνά συναντώνται κοπάδια τόνων. Οι περιοχές Natura του νησιού εμφανίζονται στη Β. Ιθάκη (Ακρωτήριο γερός Κόμπος-Δράκου Πήδημα-Κεντρί-Αγ. Ιωάννης), καθώς και στο στενό ανάμεσα Κεφαλλονιάς-Ιθάκης (Ιστότοπος [22](#)).

3.6 ΥΠΟΔΟΜΕΣ

3.6.1 ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Το οδικό δίκτυο της Ιθάκης είναι σε καλή κατάσταση και το μεγαλύτερο μέρος του είναι ασφαλτοστρωμένο, με εξαίρεση κάποια τμήματα, άλλοτε μικρά άλλοτε μεγάλα, που οδηγούν σε απομακρυσμένες παραλίες. Επιπλέον, για την διευκόλυνση της μετακίνησης των επισκεπτών, στο νησί λειτουργούν γραφεία ενοικιάσεως αυτοκινήτων και δίτροχων. Ενώ το ιδιωτικό ΚΤΕΛ εκτελεί δρομολόγια από την πρωτεύουσα του νησιού το Βαθύ προς τα περισσότερα χωριά της Β. Ιθάκης.

Η πρόσβαση στην Ιθάκη πραγματοποιείται μόνο μέσω της θάλασσας, αφού το νησί δεν διαθέτει αεροδρόμιο. Η Ιθάκη έχει δύο λιμάνια: Το λιμάνι του Πίσω Αετού και το λιμάνι στις Φρίκες. Το λιμάνι του πίσω αετού συνδέει το νησί με την Κυλλήνη της Ηλείας, τον Αστακό της Αιτωλοακαρνανίας, την Σάμη και τον Πόρο της Κεφαλονιάς και τους καλοκαιρινούς μήνες με την Βασιλική της Λευκάδας. Το λιμάνι στις Φρίκες συνδέει καθημερινά, την διάρκεια του καλοκαιριού, την Ιθάκη με το Νυδρί της Λευκάδας.

3.6.2 ΥΔΑΤΙΚΕΣ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ

Η Ιθάκη υδροδοτείται κυρίως από μονάδες αφαλάτωσης και δευτερευόντως από μεταφορά νερού μέσω πλοίων. Η τελευταία μονάδα αφαλάτωσης δυναμικότητας τοποθετήθηκε το 2021 και είναι δυναμικότητας 300 m³/d. Ελπίζεται ότι με την τοποθέτηση και αυτής της δεξαμενής θα λυθούν τα πολύ σημαντικά προβλήματα υδροδότησης που ταλανίζουν διαχρονικά το νησί. Συνολικά, στο νησί λειτουργούν 4 μονάδες αφαλάτωσης συνολικής δυναμικότητας 900 m³/d

(Ιστότοπος [23,24,25](#)). Η ηλεκτροδότηση του νησιού γίνεται από το κεντρικό δίκτυο της ηπειρωτικής Ελλάδας. (Νέτσο Ε., 2018)

3.6.3 ΠΡΟΙΟΝΤΑ

Το κρασί και το λάδι αποτελούν τα κυριότερα προϊόντα που παράγονται στο νησί. Από τα Ομηρικά έπη, ήδη, καταγράφεται η καλλιέργεια της ελιάς για την παραγωγή λαδιού στην Ιθάκη. Σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας του νησιού, η σταφίδα και το λάδι κατέχει την πρώτη θέση στην αγροτική οικονομία και αποτελεί εξαγωγίμο προϊόν και κατά συνέπεια πηγή πλούτου για το νησί. Η καλλιέργεια αμπελιού και η παραγωγή κρασιού αναφέρονται ως ιδιαίτερα σημαντικά στην Οδύσσεια. Έκτοτε ποτέ δεν σταμάτησε αυτή η καλλιέργεια στο νησί. Κατά την διάρκεια της Ενετοκρατείας, η σταφίδα αποτελεί το σημαντικότερο προϊόν του νησιού και εξάγεται στα γύρω νησιά και σε άλλες περιοχές. Ακόμη και σήμερα, εξακολουθούν να καλλιεργούνται αμπέλια σε διάφορα σημεία του νησιού και να παράγεται εξαιρετικής ποιότητας κρασί. Επιπλέον, η πλούσια χλωρίδα του νησιού δίνει ξεχωριστής ποιότητας μέλι. Πλούσια είναι, επίσης, η παραγωγή του νησιού σε τυροκομικά προϊόντα (Ιστότοπος [26](#)).

3.6.4 ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ

Το νησί της Ιθάκης είναι ορεινό και γαλήνιο, με γραφικά λιμάνια και χωριά, καταπληκτική θέα και μικρό ντόπιο πληθυσμό. Είναι ένα παραδοσιακό ελληνικό νησί που περιβάλλεται από καταπράσινα βουνά, με όμορφες λευκές αμμουδιές, την καθαρή τirkουάζ θάλασσα της Μεσογείου και υπέροχα τοπικά βιολογικά πιάτα. Επίσης, είναι ένας από τους βασικότερους προορισμούς στο Ιόνιο Πέλαγος, για όσους ταξιδεύουν με ιστιοπλοϊκά σκάφη και γιότ, λόγω ήπιων έως μέτριας έντασης ανέμων που πνέουν το καλοκαίρι, και της πληθώρας αγκυροβολιών. Η Ιθάκη λόγω της απόμερης θέσης της δεν έχει πολύ τουρισμό, οπότε αποτελεί ιδανικό προορισμό για ήρεμες διακοπές. Παρόλα αυτά έχει αξιόλογη τουριστική υποδομή. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζεται η ξενοδοχειακή υποδομή της Ιθάκης (Ιστότοπος [27](#))

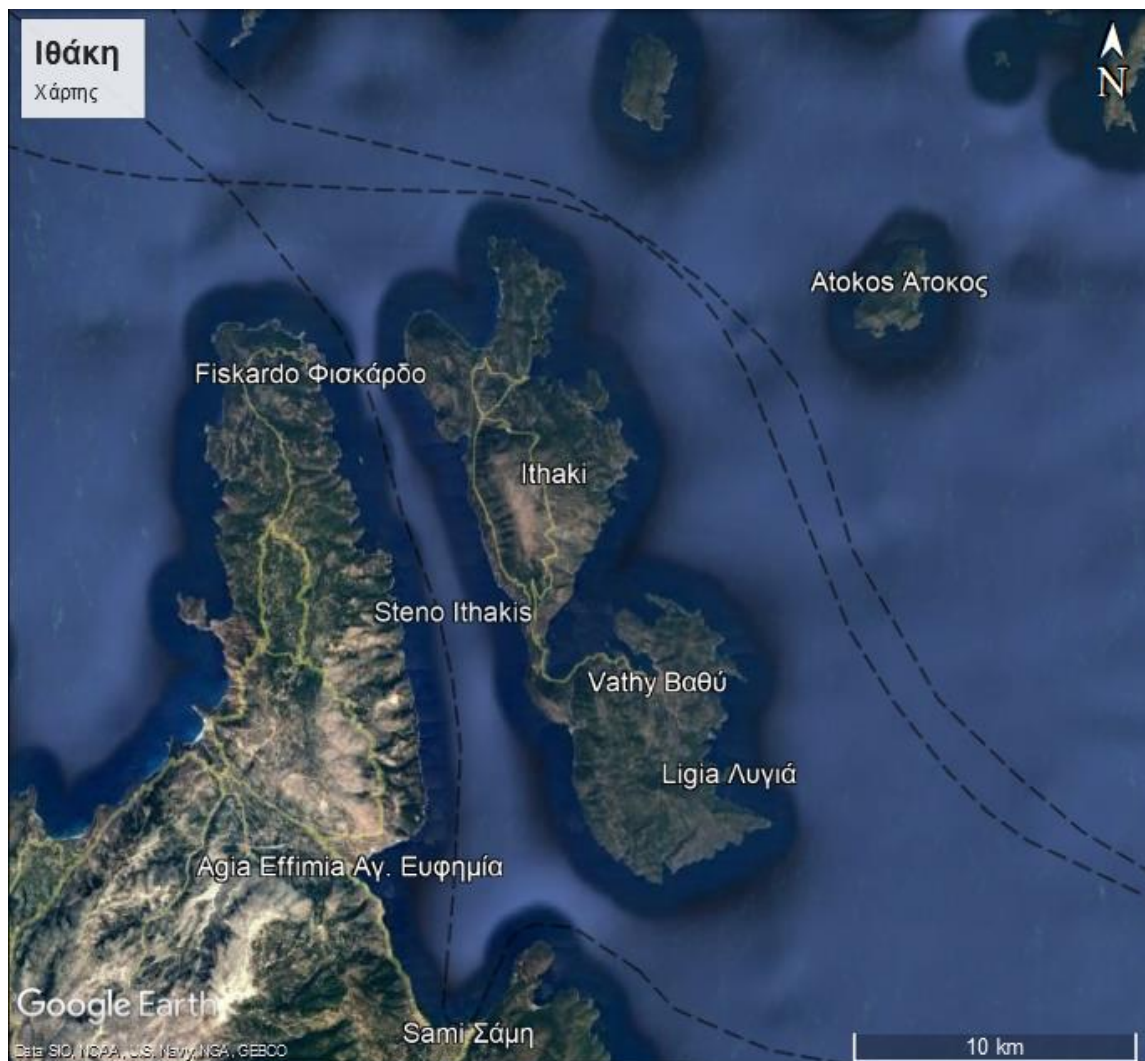
ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΔΩΜΑΤΙΑ	ΚΛΙΝΕΣ
ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ	8	137	265
ΕΝΟΙΚΙΑΖΟΜΕΝΑ	128	516	1343
ΛΟΙΠΑ ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΑ	64	119	506
ΣΥΝΟΛΟ	200	772	2114

Πίνακας 3.2: Ξενοδοχειακή Υποδομή Ιθάκη

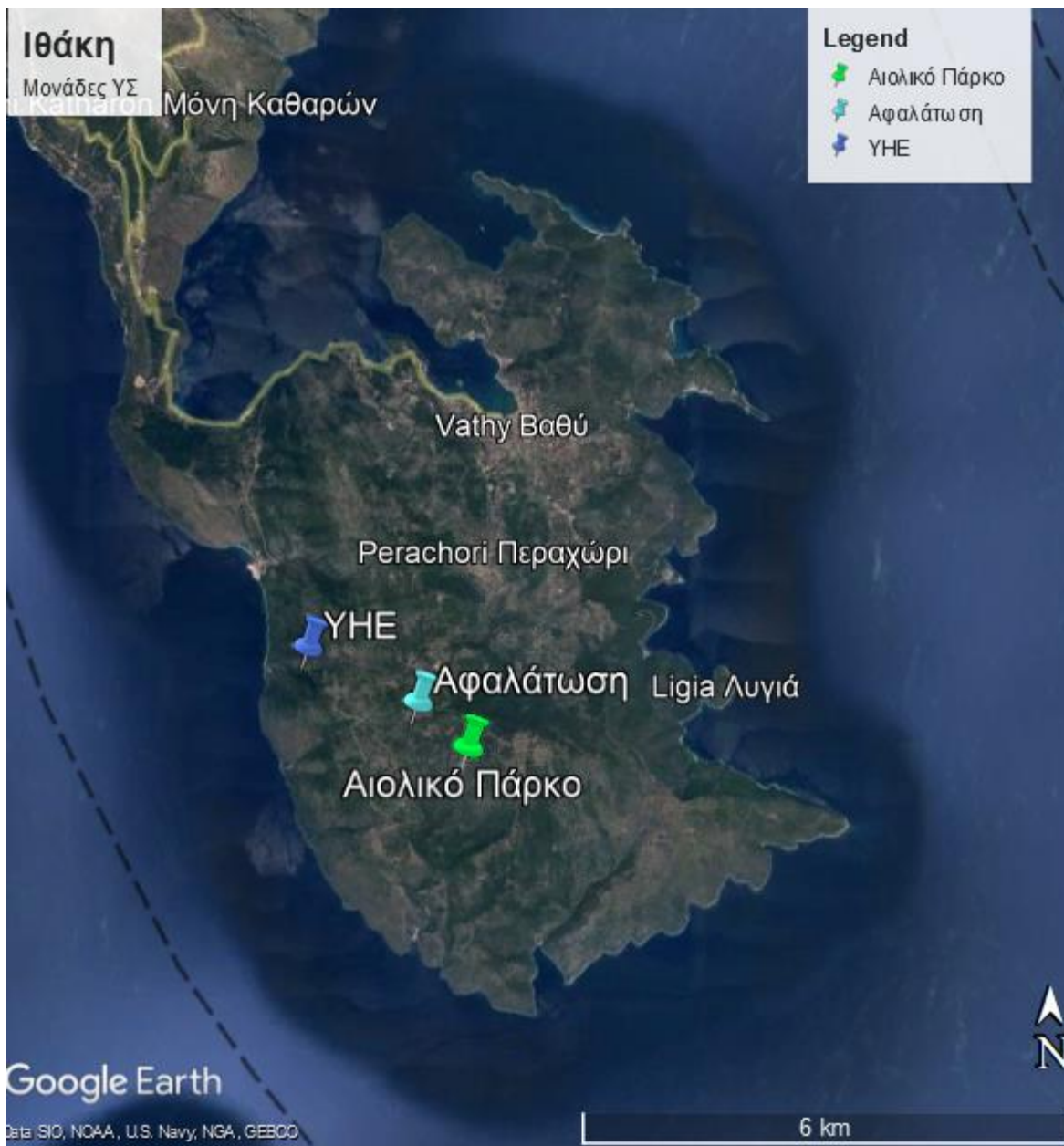
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρών αιολικό πάρκο στη νήσο της Ιθάκης αποτελείται από ένα αιολικό πάρκο συνολικής ισχύος 19.8 MW με 5 Α/Γ, μία μονάδα αφαλάτωσης δυναμικότητας 1,400 m³/d και ισχύος 4 kW/m³, δεξαμενή αφαλατωμένου νερού χωρητικότητας 500,000 m³, έναν υδροηλεκτρικό σταθμό με ταμιευτήρα θαλασσινού νερού χωρητικότητας 2 hm³ με ανώτατη στάθμη λειτουργίας (ΑΣΛ) 360 m και κατώτατη στάθμη λειτουργίας (ΚΣΛ) 220 m. Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται ο χάρτης της Ιθάκης, ενώ στο σχήμα 4.2 οι θέσεις των μονάδων του ΥΣ.



Σχήμα 4.1: Χάρτης νήσου Ιθάκης (Πηγή: Google Earth)



Σχήμα 4.2 Θέσεις μονάδων ΥΣ (Πηγή: Google Earth)

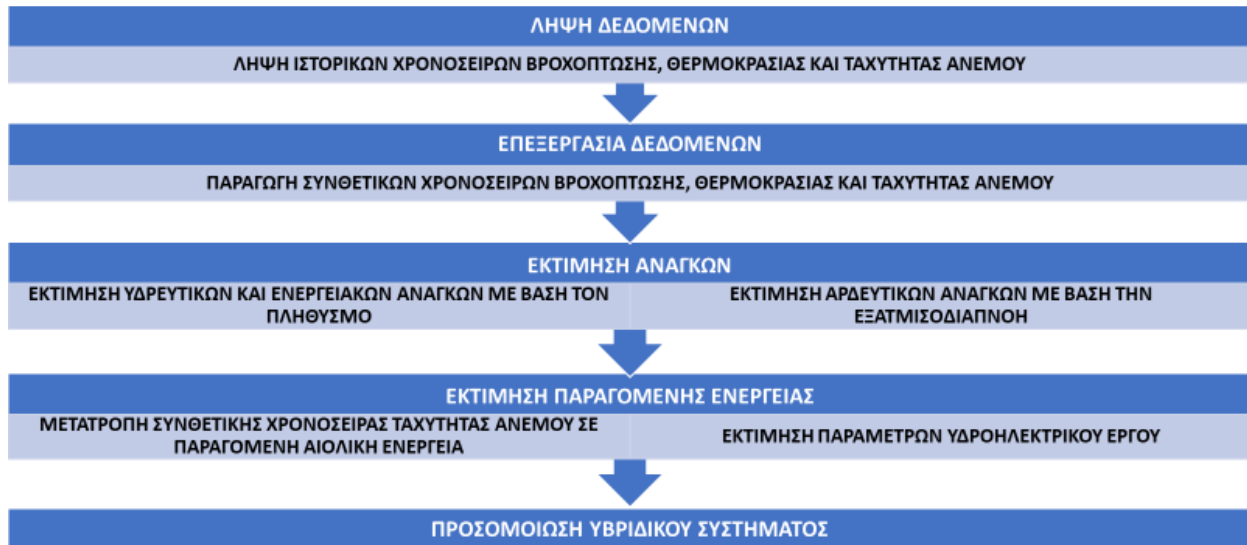
Στο σχήμα 4.2, παρουσιάζεται η τοποθέτηση των μονάδων του ΥΣ. Η τοποθέτηση δεν είναι τυχαία. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγεται διότι η συγκεκριμένη περιοχή είναι μακριά από κατοικημένους οικισμούς, έχει υψηλά υψόμετρα που βελτιστοποιούν την παραγωγή αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας, βρίσκεται μακριά από τις περιοχές Natura του νησιού, μειώνοντας έτσι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του έργου. Παράλληλα, ο σχετικά μικρός αριθμός Α/Γ συνδυάζει την ικανοποιητική αποδοτικότητα με την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και της αισθητικής όχλησης. Επιπλέον, ο αρκετά μεγάλος όγκος του ταμιευτήρα

αφαλατωμένου νερού δίνει την δυνατότητα, όταν υπάρχει περίσσεια νερού, αυτό είτε να προσφέρεται για εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα, ή να πωλείται σε κοντινά νησιά με σκοπό την ενίσχυση της τοπικής οικονομίας.

Η διαδικασία προσομοίωσης του ΥΣ αποτελείται από τα εξής στάδια.

- Συλλογή και στοχαστική επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό την ακριβέστερη αναπαράσταση.
- Μοντελοποίηση και προσομοίωση του συστήματος
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων, εξαγωγή συμπερασμάτων και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Στο σχήμα 4.3, παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα ανάλυσης της μεθοδολογίας.



Σχήμα 4.3: Σχηματικό διάγραμμα ανάλυσης μεθοδολογίας (Λεμονής, 2020)

4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την επεξεργασία των ιστορικών δεδομένων, η διαδικασία είναι η παρακάτω. Αρχικά, συλλέγονται οι ιστορικές χρονοσειρές της βροχής, του ανέμου και της θερμοκρασίας. Ιστορική χρονοσειρά ονομάζεται το σύνολο μετρήσεων μιας φυσικής διεργασίας, που αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη θέση ή περιοχή. Οι χρονοσειρές που συλλέγονται πρέπει να είναι αξιόπιστες και όσο δυνατόν μεγαλύτερου μήκους, προκειμένου να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις. Στη συνέχεια, γίνεται επεξεργασία των

ιστορικών χρονοσειρών με πιθανοτικές και στοχαστικές μεθόδους και παράγονται χρονοσειρές διάρκειας 40 ετών.

4.2.1 ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΒΡΟΧΗΣ

Η επεξεργασία της ιστορικής χρονοσειράς της βροχής και η παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς αποτελεί κομβικής σημασίας κεφάλαιο για το ΥΣ. Είναι πολύ σημαντική, καθορίζει τις ανάγκες σε αρδευτικό νερό και επομένως επηρεάζει τις ενεργειακές ανάγκες. Αρχικά, λαμβάνονται τα δεδομένα από την ΕΜΥ (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία). Το μήκος της ιστορικής χρονοσειράς που λαμβάνεται είναι 36 χρόνια (1995-2020) με ωριαίο χρονικό βήμα. Επόμενο στάδιο είναι η παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς. Το πρώτο βήμα για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς είναι η παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς είναι παραγωγή της κανονικοποιημένης ιστορικής χρονοσειράς. Στον Πίνακα 4.1, παρουσιάζεται, υπολογίζεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της ιστορικής χρονοσειράς ανά μήνα σε mm.

Μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση τιμή	110.5	72.3	59.0	30.2	14.2	9.9	6.1	7.5	54.4	65.5	122.0	148.2
Τυπική απόκλιση	71.3	50.9	26.2	32.6	13.3	30.3	18.3	14.7	50.3	45.8	76.9	93.6

Πίνακας 4.1: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ιστορικής χρονοσειράς (mm)

Για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών, χρησιμοποιείται το μοντέλο AR(1), το μοντέλο αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξεως. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η τιμή της βροχής ορίζεται με γραμμικό τρόπο από την αμέσως προηγούμενη τιμή και από τον λευκό θόρυβο, έναν στοχαστικό όρο, ο οποίος υπολογίζει τα σφάλματα. Ο λευκός θόρυβος είναι διακριτό σήμα του οποίου τα δείγματα θεωρούνται ως ακολουθία ασυσχέτιστων τυχαίων μεταβλητών με μηδενική μέση τιμή και πεπερασμένη διακύμανση (Μαντζουράνης Ε., 2021). Με την μέθοδο αυτή υπολογίζεται η μηνιαία συνθετική χρονοσειρά της βροχής. Προκειμένου να μετατραπεί σε ημερήσια υπολογίζονται, οι μέσες τιμές της βροχόπτωσης ανά μέρα, ανά μήνα. Στον πίνακα 4.2, παρουσιάζεται η μέση μηνιαία βροχή ανά ημέρα του μήνα σε mm.

ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΒΡΟΧΗ ΑΝΑ ΜΗΝΑ (mm)												
ΜΕ/ΜΗ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3.09	0.56	2.13	0.94	0.41	0.00	0.00	1.20	2.71	0.09	0.69	8.50
2	2.14	0.66	4.18	0.29	0.00	0.00	0.00	4.31	0.53	0.02	1.36	22.91

3	8.20	0.28	8.57	0.21	0.04	0.00	0.00	0.33	0.00	0.08	5.31	12.69
4	4.15	0.21	4.94	0.36	0.09	0.00	0.01	0.00	1.28	0.24	7.31	8.55
5	3.33	0.46	6.51	1.79	0.06	0.00	0.00	0.00	1.42	0.23	0.92	5.87
6	3.13	0.48	5.48	0.19	0.09	0.00	0.01	0.00	2.04	0.38	1.09	3.25
7	0.89	0.57	8.27	1.17	0.02	0.00	0.04	0.00	1.20	0.32	5.82	7.14
8	2.62	0.25	4.30	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	2.89	0.09	7.59	4.72
9	1.98	0.28	4.15	1.07	0.00	0.00	0.00	0.48	4.25	0.14	2.42	7.59
10	1.31	0.44	3.34	0.36	0.08	0.00	0.00	9.37	1.52	0.38	0.50	13.16
11	1.98	0.19	6.19	0.35	0.04	0.00	0.00	1.05	0.85	0.12	4.29	11.40
12	4.37	0.37	6.04	0.56	0.02	0.00	0.00	0.45	1.44	0.33	3.94	8.78
13	0.87	0.66	1.75	1.30	0.49	0.00	0.00	0.00	2.05	0.61	3.49	6.85
14	3.39	0.38	2.22	0.66	0.01	0.00	0.00	0.00	2.96	0.16	10.39	7.80
15	2.12	0.41	1.51	0.59	0.22	0.00	0.08	3.98	2.13	0.12	9.09	3.00
16	3.55	0.44	0.64	1.85	0.07	0.00	0.05	1.65	1.38	0.45	1.77	8.10
17	1.89	0.32	1.89	1.25	0.09	0.00	0.05	8.29	2.59	0.23	6.66	5.10
18	4.01	0.60	2.50	1.31	0.15	0.00	0.00	0.00	4.63	0.19	3.71	11.66
19	2.82	0.59	3.21	0.46	0.01	0.00	0.00	0.00	3.15	0.14	5.23	8.39
20	3.00	0.29	1.42	0.10	0.19	0.00	0.00	0.09	3.09	0.21	7.31	5.95
21	4.15	0.54	2.66	0.53	0.39	0.00	0.00	0.00	1.60	0.13	3.86	8.12
22	7.21	0.37	1.91	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.39	5.70	4.77
23	2.97	0.28	2.23	0.51	0.11	0.00	0.00	0.30	1.54	0.21	10.54	5.27
24	3.86	0.56	4.14	1.19	0.04	0.00	0.00	1.50	3.27	0.36	4.48	1.97
25	2.42	0.20	6.81	0.44	0.12	0.00	0.00	1.44	11.29	0.14	5.22	2.77
26	2.68	0.38	3.77	0.50	0.03	0.00	0.00	0.00	8.04	0.08	6.85	9.61
27	3.29	0.21	3.22	0.06	0.00	0.00	0.18	2.28	3.94	0.53	10.18	3.51
28	2.64	0.28	4.82	0.51	0.00	0.00	0.22	2.10	17.09	0.15	6.12	5.87
29	4.32	0.07	2.19	1.27	0.34	0.00	0.06	4.16	5.39	0.07	4.90	13.85
30	2.08	0.00	3.65	0.92	0.00	0.00	0.06	6.98	0.44	0.28	5.25	9.24
31	3.23	0.00	3.67	0.00	0.07	0.00	0.12	8.35	0.00	0.34	0.00	12.22

Πίνακας 4.2: Μέση Ημερήσια Βροχόπτωση ανά μήνα (mm)

4.2.2 ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς της θερμοκρασίας είναι κρίσιμης σημασίας στοιχείο για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών του έργου. Το πρώτο βήμα για τον υπολογισμό της είναι η διόρθωση και κανονικοποίηση της ιστορικής χρονοσειράς που παρέχεται από την ΕΜΥ. Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζεται η μέση τιμή και τυπική απόκλιση ιστορικής χρονοσειράς ανά μήνα.

ΜΗΝΑΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	11.3	11.7	13.1	16.0	20.2	24.6	27.0	27.4	23.8	19.9	16.2	12.9
ΤΥΠ ΑΠΟΚΛ	2.6	2.6	2.2	2.4	2.4	2.5	2.0	1.9	2.1	2.2	2.9	2.6

Πίνακας 4.3: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ανά μήνα ιστορικής χρονοσειράς θερμοκρασίας (°C)

Η παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς της θερμοκρασίας γίνεται βάσει του μοντέλου AR(1). Με την μέθοδο αυτή καθίσταται ικανή η παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς της θερμοκρασίας ανά μήνα. Στη συνέχεια, η μηνιαία χρονοσειρά μετατρέπεται σε ημερήσια βάσει των μέσων τιμών της βροχόπτωσης ανά μέρα ανά μήνα. Στο Πίνακα 4.4, υπολογίζονται οι παραπάνω τιμές.

ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΑ ΜΗΝΑ (°C)												
ΜΕ/ΜΗ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12.40	10.80	12.42	14.77	21.66	26.19	28.28	25.98	21.70	16.98	12.11	12.84
2	12.02	10.94	11.62	12.13	16.94	21.61	26.33	25.95	24.85	19.90	14.49	13.93
3	10.84	11.48	12.54	12.72	17.40	21.36	26.51	26.25	24.38	20.45	14.28	14.20
4	10.83	11.47	12.28	13.37	17.38	21.64	26.52	26.27	24.75	20.38	14.06	15.39
5	11.77	11.21	12.09	13.24	16.93	21.49	26.90	26.43	24.72	20.12	13.74	15.26
6	10.83	10.14	12.23	13.18	17.47	21.81	26.68	26.53	24.40	19.84	14.24	14.98
7	10.86	10.73	11.60	13.43	17.39	22.56	26.74	26.72	24.27	19.91	14.10	14.40
8	10.74	10.67	11.85	13.32	17.59	22.68	26.92	26.07	23.83	20.21	14.25	14.53
9	11.48	10.72	11.43	13.15	17.18	22.91	26.21	26.24	23.88	19.62	13.98	12.99
10	11.57	9.85	11.25	13.32	17.65	23.41	26.56	26.57	24.32	18.90	14.13	13.61
11	12.13	11.31	11.44	13.46	17.94	23.74	26.56	26.51	24.29	19.55	13.46	12.67
12	11.47	10.96	11.24	13.82	18.77	23.86	26.62	26.58	23.64	19.92	13.80	12.53
13	11.59	10.32	11.86	14.07	19.67	23.81	26.65	25.88	23.59	20.16	14.41	12.46
14	11.52	10.71	12.18	13.52	18.49	24.19	26.77	25.75	23.48	19.10	14.62	13.40
15	11.44	11.29	11.87	13.39	18.36	24.11	27.10	25.81	23.82	18.99	14.30	13.24
16	10.50	10.84	11.58	14.21	17.98	23.74	26.89	25.79	23.03	19.53	14.43	13.23
17	10.19	10.65	11.83	14.25	18.14	24.62	26.75	26.02	22.94	19.14	14.36	13.33
18	11.01	10.18	11.94	13.37	18.16	24.85	26.40	25.84	22.76	18.45	13.80	13.19

19	11.85	10.64	12.07	13.78	18.86	24.27	26.55	25.90	23.12	18.14	14.23	12.46
20	11.81	11.74	12.18	14.34	19.41	23.99	26.95	26.15	22.85	18.23	13.12	12.55
21	11.95	11.53	12.53	14.32	18.39	24.69	27.32	26.37	22.58	17.97	12.07	12.30
22	11.64	10.93	12.13	14.56	19.61	24.71	27.47	26.27	22.82	18.33	11.24	12.46
23	10.69	10.61	11.84	14.60	19.35	24.97	27.68	26.06	22.37	18.54	12.51	13.02
24	11.84	11.02	11.69	14.98	19.00	24.97	27.66	25.94	22.40	18.22	11.57	13.00
25	11.17	10.69	11.60	15.50	19.29	24.88	27.61	26.11	22.22	17.41	11.88	13.74
26	10.98	11.46	12.03	15.37	19.69	24.83	28.26	26.14	21.53	16.99	12.30	13.51
27	11.42	11.35	12.64	15.16	20.31	24.75	27.34	26.09	22.07	17.19	12.83	13.38
28	10.94	10.93	13.39	15.45	21.19	24.60	27.27	25.59	21.30	16.95	12.89	14.05
29	11.45	10.87	13.12	15.37	21.17	24.42	27.04	25.33	21.24	17.16	13.91	12.99
30	11.23	10.87	13.18	16.03	20.59	24.87	27.06	24.99	21.06	17.25	12.54	12.86
31	11.76	10.87	13.47	14.12	20.52	23.78	27.03	24.44	23.11	17.40	13.53	12.19

Πίνακας 4.4: Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία ανά μήνα (°C)

4.2.3 ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΑΝΕΜΟΥ

Η διαδικασία παραγωγής των συνθετικών χρονοσειρών ανέμου είναι διαφορετική από αυτήν της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει διότι είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη η εποχικότητα και η ημερήσια διακύμανση του ανέμου για τον κάθε μήνα. Αρχικά, πραγματοποιείται συμπλήρωση ορισμένων τρίωρων που λείπουν. Τα βήματα της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται (Negra et al., 2007) αναπτύσσονται παρακάτω:

- Αρχικά, οι παρατηρήσεις του ανέμου κατατάσσονται σε κλάσεις ανάλογα με την ταχύτητά τους.
- Στη συνέχεια, υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης κάθε κλάσης, State Probability $p_{ws,i}$.

$$p_{ws,i} = \frac{\sum_{j=1}^{M_{ws}} D_{ws,i,j}}{\sum_{k=1}^{M_{ws}} \sum_{j=1}^{M_{ws}} D_{ws,k,j}} \quad (4.1)$$

Όπου, $D_{ws,i,j}$ ο χρόνος παραμονής στην κλάση.

- Έπειτα, υπολογίζεται η συχνότητα εμφάνισης, Frequency. Η συχνότητα εμφάνισης υποδηλώνει πόσο συχνά ο άνεμος μετακινείται στην συγκεκριμένη κλάση.

$$f_{ws,i} = N_{ws,i,i} + N_{ws,i,i-1} \quad (4.2)$$

- Για κάθε κλάση εξετάζεται η συχνότητα με την οποία ο άνεμος μετακινείται σε αυτή από μία προηγούμενη κλάση, Up, και από μία επόμενη Down.

- Έτσι υπολογίζεται η μέση διάρκεια παραμονής κάθε κλάσης.

$$d_{ws,i} = p_{ws,i} / f_{ws,i} \quad (4.3)$$

- Τέλος, υπολογίζονται οι συντελεστές $\lambda_{ws,i+}$ και $\lambda_{ws,i-}$. Οι συντελεστές αυτοί σχετίζονται με την πιθανότητα μετακίνησης στην επόμενη ή στην προηγούμενη κλάση αντίστοιχα.

$$\lambda_{ws,i\pm 1} = N_{ws,i\pm 1} / p_{ws,i} \quad (4.4)$$

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζεται, ενδεικτικά, ο πίνακας πιθανότητας του Ιανουαρίου. Στον Πίνακα 4.6 και 4.7 παρουσιάζονται τα λ_{up} και λ_{down} κάθε κλάσης ανά μήνα.

Πιθανοτικός Πίνακας Ιανουαρίου					
Κλάσεις	Πιθανότητα	Συχνότητα	Διάρκεια	Up	Down
[0-1]	0.23	4.34	0.05	225.83	0.00
[1-2)	0.07	6.80	0.01	696.57	488.94
(2-3]	0.16	9.38	0.02	471.77	213.42
(3-4]	0.13	10.88	0.01	444.01	530.05
(4-5]	0.11	7.92	0.01	335.55	528.49
(5-6]	0.09	5.57	0.02	281.67	503.76
(6-7]	0.07	4.04	0.02	286.71	413.40
(7-8]	0.05	2.77	0.02	295.34	437.92
(8-9]	0.04	2.11	0.02	368.44	355.28
(9-10]	0.02	0.92	0.02	228.75	320.26
(10-11]	0.01	0.46	0.03	114.38	343.13
(11-12]	0.01	0.35	0.03	258.59	129.30
(12-13]	0.01	0.12	0.05	0.00	254.90
(13-14]	0.00	0.08	0.02	0.00	495.63
(14-15]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(15+)	0.01	0.04	0.16	0.00	76.25

Πίνακας 4.5: Πιθανοτικός πίνακας ανεμολογικών στοιχείων Ιανουαρίου

λ _{up}												
ΚΛ/ΜΗΝ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[0,1]	225.8	198.7	101.0	258.6	205.0	184.8	233.4	207.7	182.6	112.3	161.1	159.9
(1,2]	696.6	850.6	705.6	334.9	376.8	427.3	513.5	429.1	648.2	652.1	719.5	741.5
(2,3]	471.8	467.8	504.4	430.9	446.7	577.7	483.3	524.0	449.8	535.8	506.9	597.7
(3,4]	444.0	439.8	341.5	360.2	434.5	507.3	466.8	495.6	433.8	443.1	441.3	448.0

(4,5]	335.5	396.9	434.7	348.0	334.3	363.3	418.7	418.1	369.5	327.1	399.2	331.3
(5,6]	281.7	291.1	429.1	462.2	387.6	375.4	414.6	422.5	419.1	341.7	347.3	379.6
(6,7]	286.7	405.7	429.9	348.8	355.4	310.9	420.5	451.6	304.8	324.2	332.7	400.4
(7,8]	295.3	309.5	414.0	296.4	318.6	323.6	302.7	429.3	296.3	310.1	286.6	250.9
(8,9]	368.4	304.5	212.0	243.9	277.9	231.3	318.1	268.5	203.9	154.9	249.4	301.9
(9,10]	228.8	159.5	284.0	173.4	270.3	278.5	258.6	361.7	261.6	283.2	258.7	176.2
(10,11]	114.4	93.5	328.2	234.9	171.6	155.6	277.6	169.9	0.0	383.7	44.3	198.3
(11,12]	258.6	339.0	164.1	159.9	0.0	106.6	180.2	0.0	0.0	540.7	221.4	237.9
(12,13]	0.0	271.2	203.7	392.4	991.3	359.7	0.0	495.6	0.0	0.0	179.9	0.0
(13,14]	0.0	0.0	369.2	287.8	0.0	359.7	0.0	0.0	0.0	0.0	239.8	185.9
(14,15]	0.0	452.0	0.0	1438.9	0.0	411.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(15+)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Πίνακας 4.6: λ_{up}

λ_{down}												
ΚΛ/ΜΗΝ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[0,1]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(1,2]	488.9	741.1	806.4	1397.1	1385.1	1262.0	1233.7	1450.6	1075.6	1175.7	931.1	710.6
(2,3]	213.4	157.8	272.1	273.0	305.6	282.1	221.7	225.3	229.1	248.9	220.5	223.0
(3,4]	530.1	471.6	608.0	571.0	599.3	634.1	575.4	665.7	546.7	637.7	512.6	547.3
(4,5]	528.5	486.3	488.5	573.7	529.6	536.8	430.4	418.1	439.1	529.3	530.8	608.8
(5,6]	503.8	442.1	429.1	451.2	437.5	571.2	467.0	455.4	469.4	563.1	507.2	464.0
(6,7]	413.4	368.1	402.1	449.5	464.2	484.5	463.1	548.9	503.3	592.9	510.6	433.3
(7,8]	437.9	358.3	478.5	382.4	531.0	520.1	587.6	418.8	550.2	591.9	470.1	362.4
(8,9]	355.3	478.6	484.7	601.6	472.5	616.7	508.9	619.5	498.5	495.6	594.8	317.0
(9,10]	320.3	524.1	539.6	554.8	463.5	324.9	484.9	361.7	261.6	495.6	485.0	616.8
(10,11]	343.1	374.0	287.1	352.4	629.1	622.2	436.2	424.8	736.2	191.9	442.8	277.6
(11,12]	129.3	113.0	410.2	239.8	0.0	106.6	1081.4	135.2	221.4	270.3	664.1	237.9
(12,13]	254.9	135.6	203.7	392.4	0.0	719.5	297.4	0.0	863.4	0.0	179.9	237.9
(13,14]	495.6	0.0	738.4	0.0	1486.9	359.7	0.0	991.3	0.0	0.0	0.0	0.0
(14,15]	0.0	0.0	0.0	719.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	719.5	0.0
(15+)	76.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2877.9	0.0	0.0	0.0

Πίνακας 4.7: λ_{down}

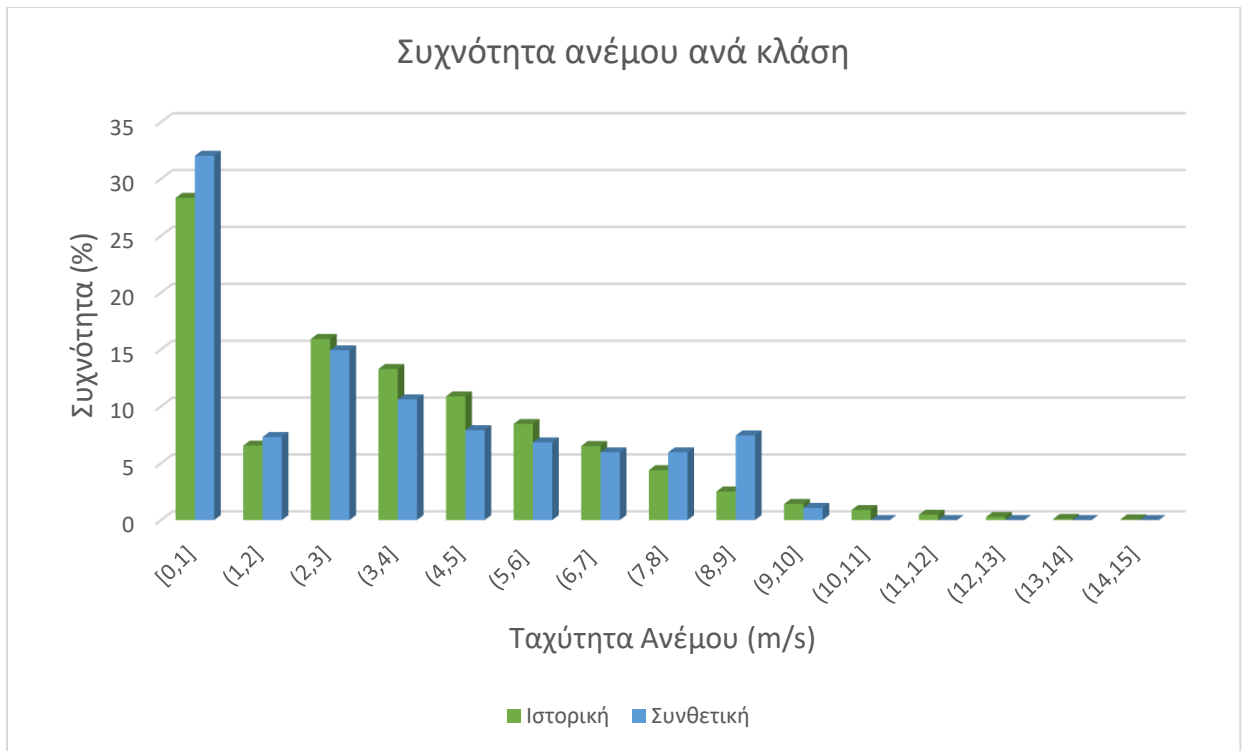
Μετά τον προσδιορισμό των απαραίτητων παραμέτρων σειρά έχει η παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς. Τα βήματα περιγράφονται παρακάτω:

- Αρχικά, προσδιορίζεται η αρχική τιμή του διανύσματος της ταχύτητας, η οποία θα είναι ίση με την μέση ετήσια ταχύτητα.
- Για κάθε χρονικό βήμα επιλέγονται δύο τυχαίοι αριθμοί που ανήκουν στο διάστημα [0,1]. Οι αριθμοί U_1 και U_2 , οι οποίοι δείχνουν την πιθανότητα το διάνυσμα της ταχύτητας να μετατοπιστεί στην επόμενη ή προηγούμενη κλάση.
- Στην συνέχεια, υπολογίζεται ο χρόνος μετάβασης στην επόμενη και στην προηγούμενη κλάση αντίστοιχα.

$$TTU^i = \frac{h}{\lambda_{up}} \ln(U_1^i) \quad (4.5)$$

$$TTD^i = \frac{h}{\lambda_{down}} \ln(U_2^i) \quad (4.6)$$

- Αν $TTU^i=0$, τότε ο άνεμος δεν μπορεί να ανέβει κλάση και μετατοπίζεται στην αμέσως χαμηλότερη σε χρονικό διάστημα TTD^i . Αντίστοιχα αν $TTD^i=0$, τότε μετατοπίζεται στην επόμενη κλάση σε χρονικό διάστημα TTU^i .
- Αν $TTU^i < TTD^i$ τότε το διάνυσμα της ταχύτητας αυξάνεται κατά μία μονάδα, αντίστοιχα αν $TTU^i > TTD^i$, τότε μειώνεται κατά μία μονάδα. Μετά από κάθε χρονικό βήμα το διάνυσμα της ταχύτητας αυξάνεται κατά $t^i = t^{i-1} + TTU^i$ ή $t^i = t^{i-1} - TTD^i$ αντίστοιχα.
- Τα βήματα 2 έως και 4 επαναλαμβάνονται μέχρις ότου το t να ισούται ή να ξεπερνάει το h . Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για 40 έτη που είναι η περίοδος προσομοίωσης για το έργο. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα στο πρόγραμμα Microsoft Excel 2017. Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του μοντέλου είναι αναγκαίο να γίνει σύγκριση της ιστορικής με την παραγόμενη συνθετική χρονοσειρά. Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η συχνότητα κάθε κλάσης που εκφράζει την ποσότητα των μετρήσεων του ανέμου που ανήκουν σε κάθε κλάση.

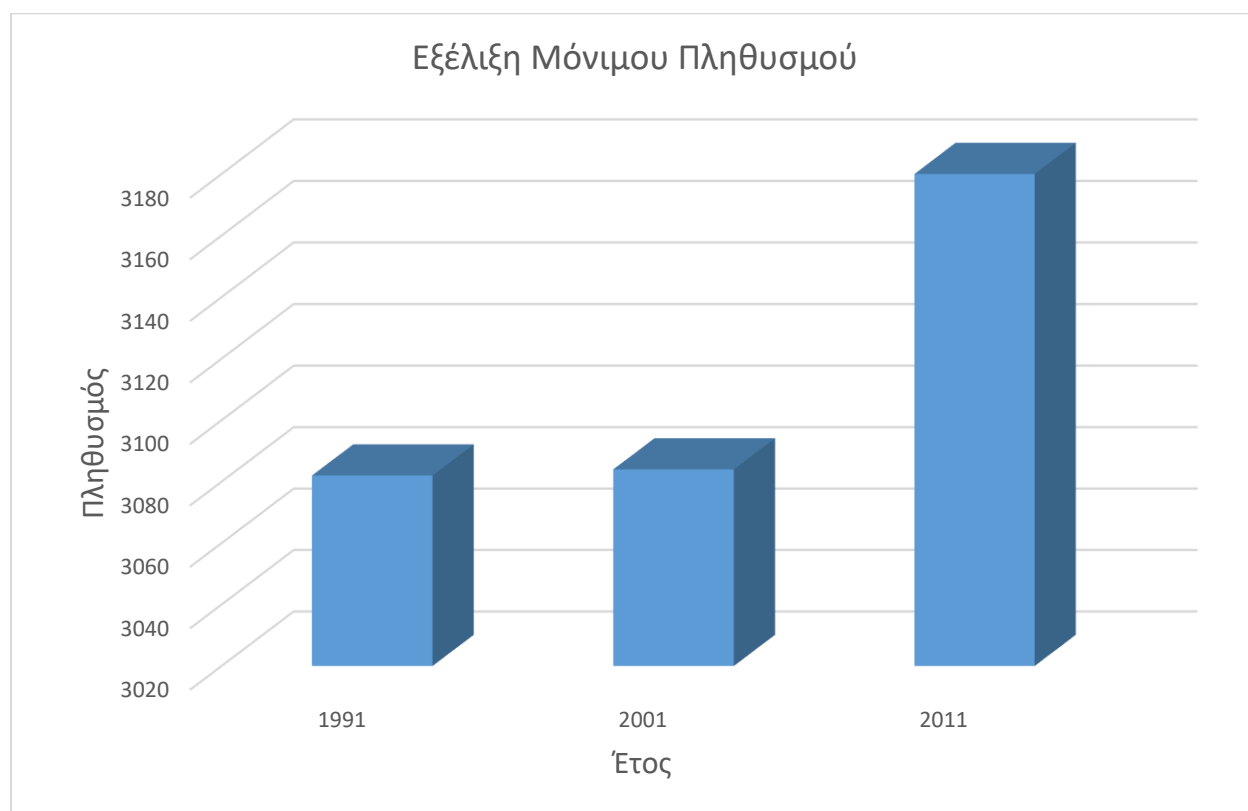


Σχήμα 4.4: Σύγκριση Συχνότητας – Ταχύτητας

4.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ, ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Προκειμένου η προσομοίωση του ΥΣ που λαμβάνει χώρα να είναι ακριβής, είναι απαραίτητη τόσο η υψηλή ποιότητα των συλλεγόμενων μετεωρολογικών δεδομένων, όσο και όσο το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση των ενεργειακών, υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών σε βάθος 40 χρόνων, που είναι και η περίοδος προσομοίωσης του έργου. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι αναγκαίο να μελετηθούν τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά του νησιού και να γίνει αναγωγή των αναγκών του πληθυσμού στον προσδοκώμενο πληθυσμό ανά έτος. Στο σχήμα 4.5, φαίνεται η εξέλιξη του πληθυσμού της Ιθάκης για τις τρεις τελευταίες απογραφές.



Σχήμα 4.5: Μόνιμος πληθυσμός 1991-2011

Χαρακτηριστικό του τουριστικού προϊόντος στην περιοχή των Επτανήσων αποτελεί το γεγονός ότι η τουριστική περίοδος είναι κατά ένα μήνα μικρότερη από την επτάμηνη τουριστική

περίοδο, που ισχύει για την πλειονότητα των υπόλοιπων νησιών, κυρίως λόγω του καιρού. Διαρκεί κυρίως από τις 15 Μαΐου έως τις 15 Σεπτεμβρίου. Πιο συγκεκριμένα, η τουριστική περίοδος τη Ιθάκης είναι ακόμα πιο περιορισμένη και καταλαμβάνει το πολύ δύο μήνες τον χρόνο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, με την τουριστική κίνηση τους υπόλοιπους μήνες να μην ξεπερνά το 15% της δυναμικότητας του νησιού. Τον Ιούλιο του 2011, από την γραμμή Ιθάκη-Σάμη Κεφαλληνίας-Πάτρα έφτασαν στο νησί 3899 επιβάτες (Σύρμης, 2004). Στον πίνακα 4.8, φαίνεται η διάρθρωση του πληθυσμού της Λέρου ανά μήνα για το έτος 2011.

Μήνας	Μόνιμοι	Παραθεριστές/Τουρίστες
Ιανουάριος	3231	0
Φεβρουάριος	3231	0
Μάρτιος	3231	0
Απρίλιος	3231	0
Μάιος	3231	390
Ιούνιος	3231	780
Ιούλιος	3231	3899
Αύγουστος	3231	3899
Σεπτέμβριος	3231	390
Οκτώβριος	3231	0
Νοέμβριος	3231	0
Δεκέμβριος	3231	0

Πίνακας 4.8: Διάρθρωση πληθυσμού της Λέρου ανά μήνα για το έτος 2011

Οι υδρευτικές και ενεργειακές είναι άμεσα εξαρτημένες από τον πληθυσμό του νησιού. Επομένως, για να προσδιοριστούν ακριβέστερα χρειάζεται να εκτιμήσουμε τον πληθυσμό του νησιού για τον χρόνο προσομοίωσης του έργου. Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται με τη συντηρητική και ασφαλή θεώρηση ότι ο μέγιστος πληθυσμός, μόνιμος και εποχιακός, ακολουθεί σταθερή γεωμετρική αύξηση ανά έτος, και υπολογίζεται μέσω της αναδρομικής σχέσης 4.8 (Τσακίρης, 2010):

$$P_i = a * P_{i-1} \quad (4.8)$$

Όπου, $a = 1 + \gamma$ (4.9), $\gamma = \frac{P_i - P_{i-1}}{P_{i-1}}$ (4.10) και i το εκάστοτε έτος

Στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζονται βασικές παράμετροι της αναγωγής πληθυσμού, ενώ στο Πίνακα 4.10 η εξέλιξη του πληθυσμού για τα επόμενα 40 χρόνια.

Αναγωγή Πληθυσμού	
P ₀	4011
P ₄₀	4520
α	1.003
γ	0.30%
n	40
Συνολική Αύξηση (%)	11

Πίνακας 4.9: Στοιχεία αναγωγής πληθυσμού

A/A	ΕΤΟΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΣΥΝΤ ΑΝΑΓ
1	2022	4011	1.000
2	2023	4023	1.003
3	2024	4035	1.006
4	2025	4048	1.009
5	2026	4060	1.012
6	2027	4073	1.015
7	2028	4085	1.019
8	2029	4098	1.022
9	2030	4110	1.025
10	2031	4123	1.028
11	2032	4136	1.031
12	2033	4148	1.034
13	2034	4161	1.037
14	2035	4174	1.041
15	2036	4187	1.044
16	2037	4200	1.047
17	2038	4212	1.050
18	2039	4225	1.053
19	2040	4238	1.057
20	2041	4251	1.060
21	2042	4264	1.063
22	2043	4277	1.066
23	2044	4291	1.070
24	2045	4304	1.073
25	2046	4317	1.076
26	2047	4330	1.080
27	2048	4344	1.083
28	2049	4357	1.086
29	2050	4370	1.090

30	2051	4384	1.093
31	2052	4397	1.096
32	2053	4411	1.100
33	2054	4424	1.103
34	2055	4438	1.106
35	2056	4451	1.110
36	2057	4465	1.113
37	2058	4479	1.117
38	2059	4493	1.120
39	2060	4506	1.124
40	2061	4520	1.127

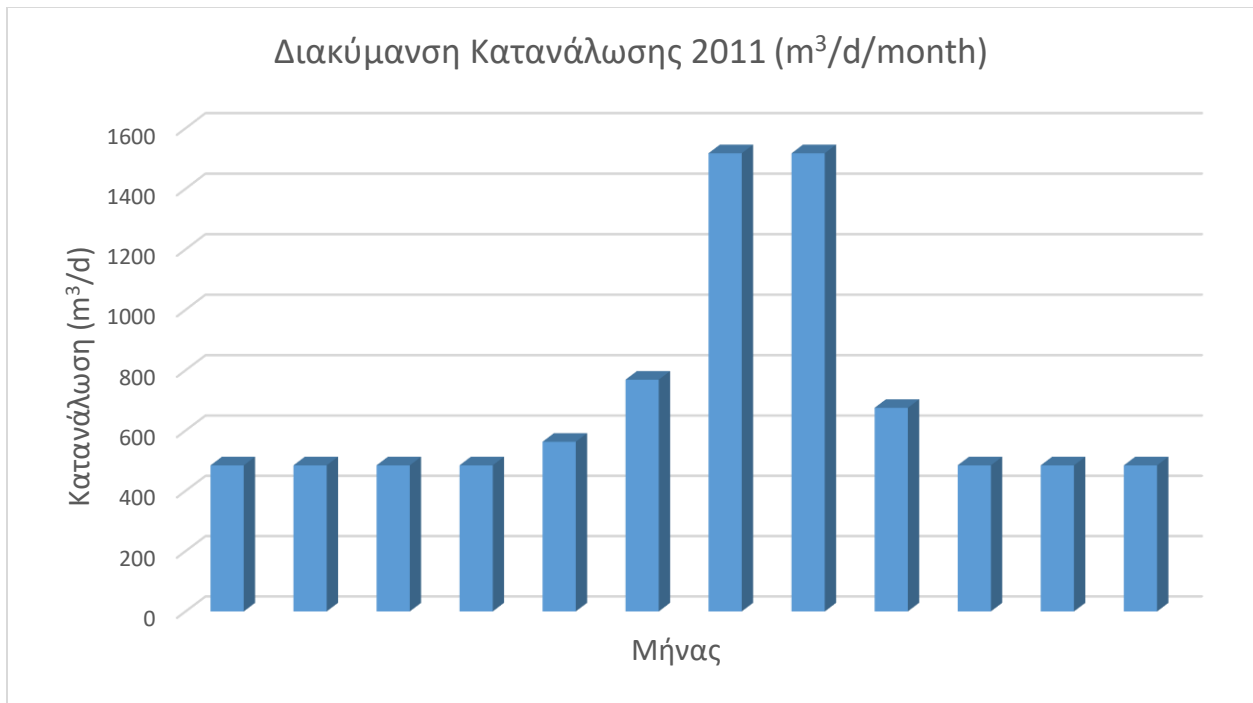
Πίνακας 4.10: Αναγωγή εκτιμώμενου πληθυσμού για 40 έτη

4.3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Η εκτίμηση των αναγκών του νησιού για πόσιμο νερό καθορίζεται βάσει της κατανάλωσης νερού ανά κάτοικο. Η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο θεωρείται 150 L/d/capita για τον μόνιμο πληθυσμό, 200 L/d/capita για τους τουρίστες. Στον πίνακα 4.11, παρουσιάζονται οι εκτιμώμενες ημερήσιες και μηνιαίες καταναλώσεις και στο Σχήμα 4.6 η μηνιαία διακύμανση, για το έτος 2011. Οι αυξημένες υδρευτικές ανάγκες τους θερινούς μήνες, οφείλονται κυρίως στην μαζική εισροή τουριστών στο νησί.

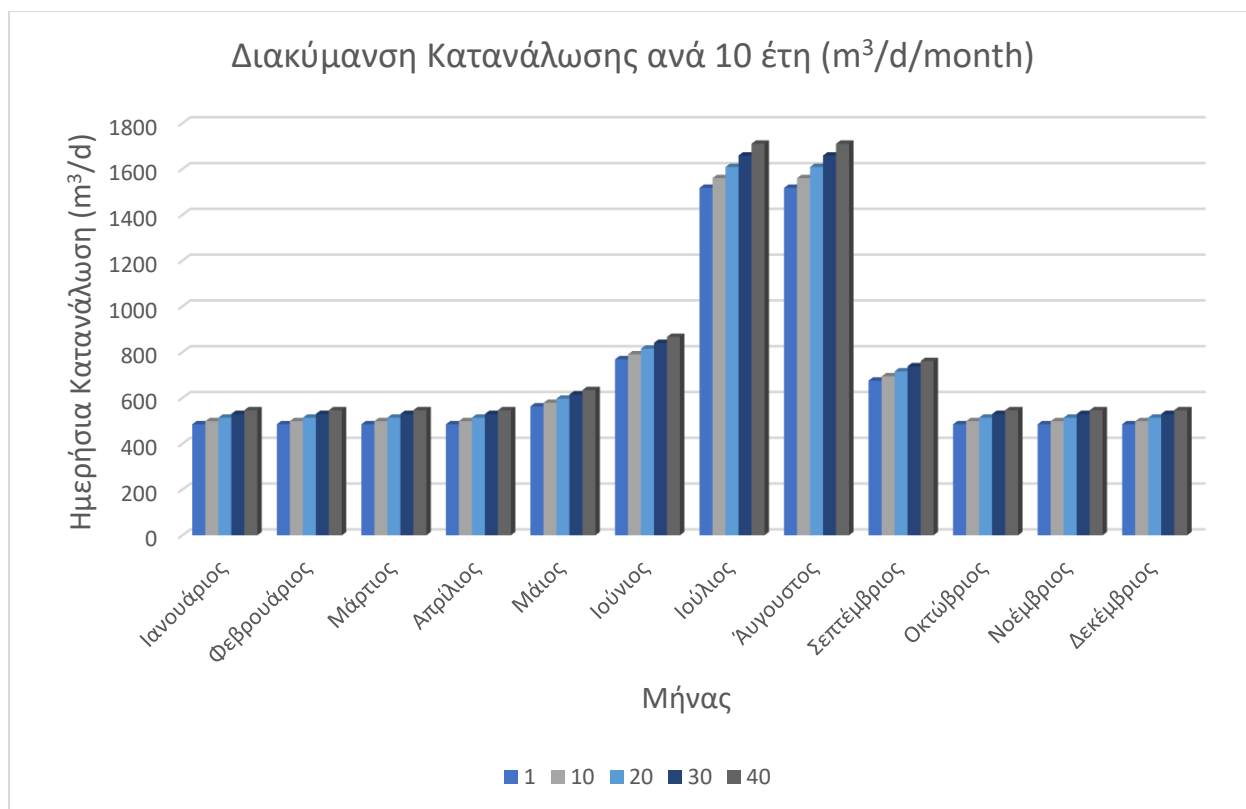
Μήνας	Συν. Πληθυσμός	Ζήτηση (m ³ /d/month)	Ζήτηση (m ³ /month)
Ιανουάριος	3,231	484.65	14,540
Φεβρουάριος	3,231	484.65	14,540
Μάρτιος	3,231	484.65	14,540
Απρίλιος	3,231	484.65	14,540
Μάιος	3,621	562.65	16,880
Ιούνιος	4,011	768.732	23,062
Ιούλιος	7,130	1,517.34	45,520
Αυγουστος	7,130	1,517.34	45,520
Σεπτέμβριος	3,621	675.18	20,255
Οκτώβριος	3,231	484.65	14,540
Νοέμβριος	3,231	484.65	14,540
Δεκέμβριος	3,231	484.65	14,540

Πίνακας 4.11: Διακύμανση μέσης ημερήσιας και μηνιαίας κατανάλωσης για το έτος 2011



Σχήμα 4.6: Μηνιαία διακύμανση ημερήσιας κατανάλωσης (m³/d/month)

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η αναγωγή της ύδρευσης στον αντίστοιχο πληθυσμό για τα επόμενα 40 έτη. Στο σχήμα 4.7, παρουσιάζεται η διακύμανση της ημερήσιας κατανάλωσης ανά 10 έτη. Η αύξηση που παρατηρείται στους μελλοντικούς χρόνους οφείλεται στην παραδοχή αύξησης του πληθυσμού τα επόμενα χρόνια.



Σχήμα 4.7: Μηνιαία διακύμανση κατανάλωσης ενέργειας ανά 10 έτη

4.3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Το νησί της Ιθάκης καλύπτει τις ενεργειακές του ανάγκες μέσω της σύνδεσής του στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης της ηπειρωτικής Ελλάδας. Λόγω έλλειψης επαρκών στοιχείων, δεν μπορεί να εξεταστεί αυτόνομα η ενεργειακή κατανάλωση του νησιού. Η εκτίμηση γίνεται βάσει των αναγκών του νησιού της Καρπάθου. Η εκτίμηση αυτή θεωρείται αξιόπιστη αφού τα δύο νησιά έχουν ομοιότητες στα κοινωνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά τους. Τα δεδομένα που λαμβάνονται είναι:

- Η μέση ωριαία ζήτηση ανά μήνα, η οποία στη συνέχεια ανάγεται στο πληθυσμό της Ιθάκης.
- Η διακύμανση της κατανάλωσης ενέργειας ανά ώρα, ανά μήνα.

Έτσι, συνυπολογίζοντας και την μελλοντική αύξηση του πληθυσμού και κάνοντας αναγωγή της κατανάλωσης για τα μελλοντικά χρόνια υπολογίζεται η χρονοσειρά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα επόμενα 40 χρόνια. Στους Πίνακες 4.12 και 4.13, παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις του νησιού του πρώτου και τελευταίου έτους και οι μέσες

ημερήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του νησιού του πρώτου και τελευταίου έτους αντίστοιχα.

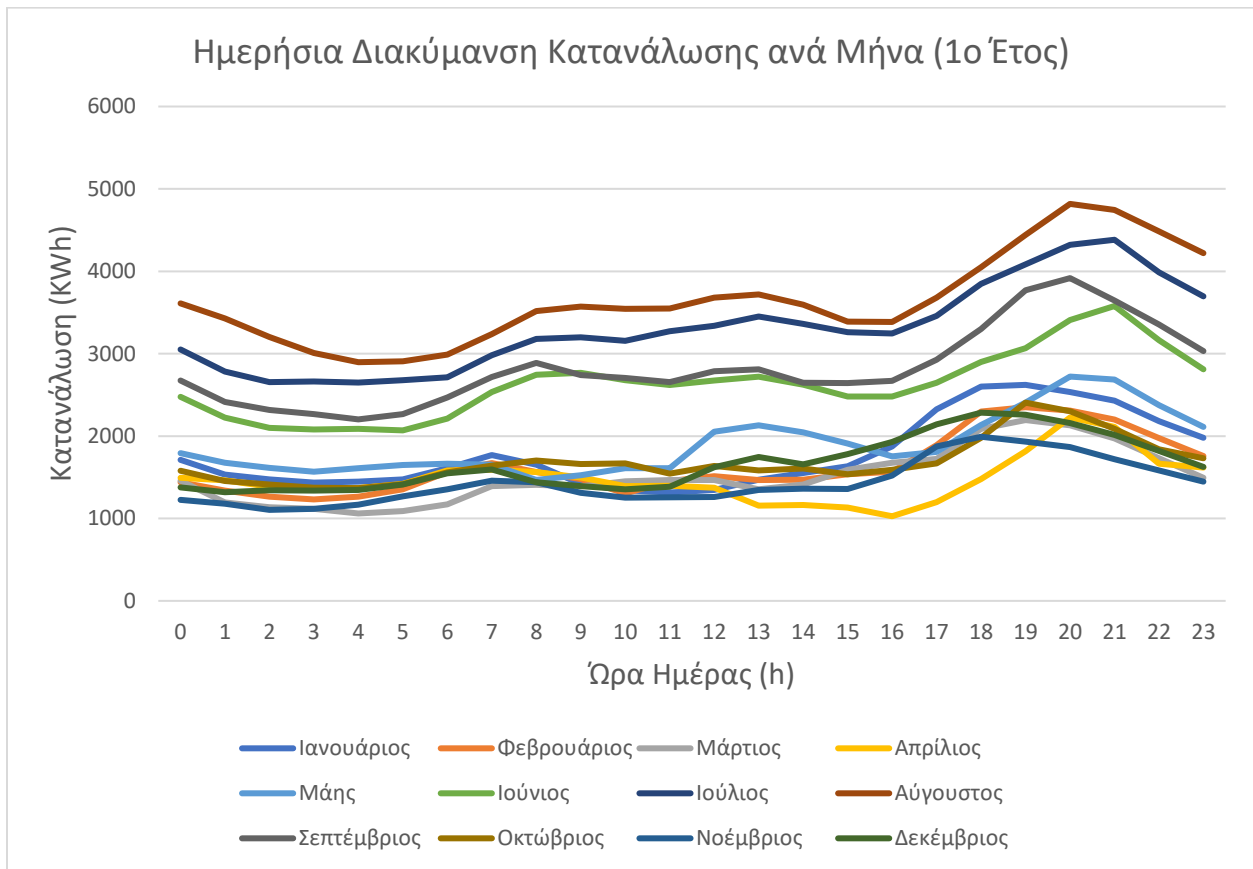
Μήνας	Μέση Μηνιαία Ζήτηση 1ου Έτους (MWh/month)	Μέση Μηνιαία Ζήτηση 40ου Έτους (MWh/month)
Ιανουάριος	1325	1493
Φεβρουάριος	1217	1372
Μάρτιος	1122	1264
Απρίλιος	1100	1240
Μάης	1413	1593
Ιούνιος	1958	2206
Ιούλιος	2462	2775
Αύγουστος	2718	3063
Σεπτέμβριος	2102	2369
Οκτώβριος	1251	1410
Νοέμβριος	1067	1202
Δεκέμβριος	1237	1394

Πίνακας 4.12: Εκτιμώμενη Μέση Μηνιαία Ενεργειακή Ζήτηση

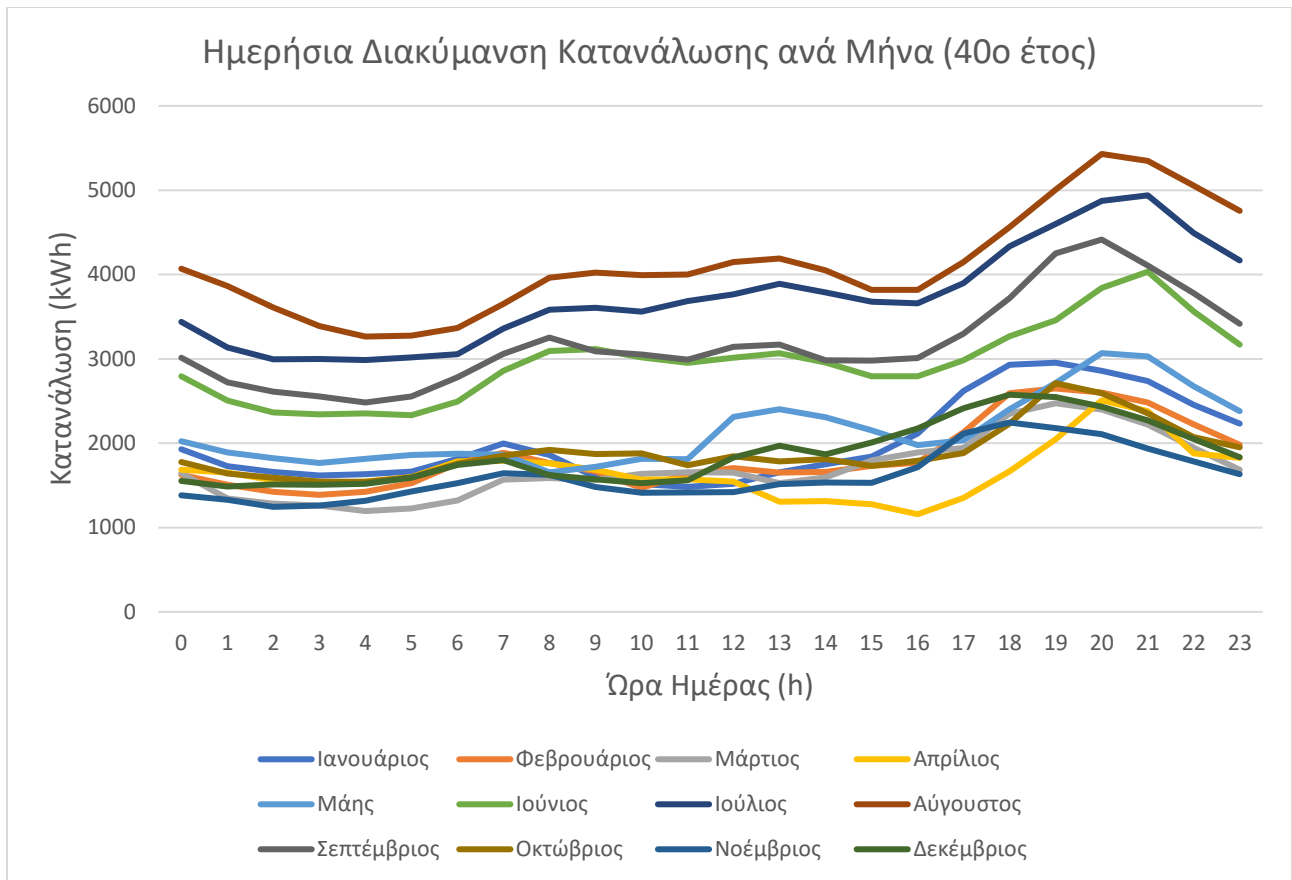
Μήνας	Μέση Ημερήσια Ζήτηση 1ου Έτους (MWh/d)	Μέση Ημερήσια Ζήτηση 40ου Έτους (MWh/d)
Ιανουάριος	44	50
Φεβρουάριος	41	46
Μάρτιος	37	42
Απρίλιος	37	41
Μάης	47	53
Ιούνιος	65	74
Ιούλιος	82	92
Αύγουστος	91	102
Σεπτέμβριος	70	79
Οκτώβριος	42	47
Νοέμβριος	36	40
Δεκέμβριος	41	46

Πίνακας 4.13: Εκτιμώμενη Μέση Ημερήσια Ενεργειακή Ζήτηση

Στα Σχήματα 4.8 και 4.9 παρουσιάζεται η διακύμανση της κατανάλωσης ανά μήνα για το πρώτο και το τελευταίο έτος αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις ο Αύγουστος είναι ο μήνας με τις μεγαλύτερες ενεργειακές καταναλώσεις, ενώ το 40^ο έτος όλες οι καμπύλες έχουν μετατοπιστεί προς τα πάνω λόγω της αύξησης του πληθυσμού. Η μορφή της διακύμανσης είναι ίδια και για τα δύο χρόνια.



Σχήμα 4.8: Ημερήσια Διακύμανση Κατανάλωσης ανά μήνα (1ο Έτος)



Σχήμα 4.9: Ημερήσια Διακύμανση Κατανάλωσης ανά μήνα (40ο έτος)

4.3.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Οι αρδευτικές ανάγκες ορίζονται ως το σύνολο των αναγκών των καλλιεργειών του νησιού σε νερό. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας, ως αρδευτικές ανάγκες του νησιού προσμετρώνται τόσο οι ανάγκες των καλλιεργειών, όσο και των ζώων του νησιού.

Προκειμένου να εκτιμηθούν οι αρδευτικές ανάγκες, είναι αναγκαίο βήμα η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών. Η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα είναι η μέθοδος Blaney–Criddle (Ιστότοπος [28](#)). Η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται βάσει τον παρακάτω τύπο:

$$ET = k_c F = k_c \frac{(1.8T+32)p}{3.94} \quad (4.11)$$

Όπου:

- ET η ημερήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm.
- k_c ο εμπειρικός συντελεστής καλλιέργειας.
- T η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε °C.
- p το μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας.

Ο υπολογισμός της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας T, βασίζεται στην επεξεργασία της ιστορικής χρονοσειράς που έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το ημερήσιο ποσοστό διάρκειας ωρών της μέρας p, υπολογίζεται για κάθε μήνα βάσει το γεωγραφικό πλάτος του νησιού και της μέσης αστρονομικής διάρκειας ημέρας.

$$P = \frac{100 * (N * \mu)}{(365 * 12)} \quad (4.12)$$

Όπου:

- N η μέση αστρονομική διάρκεια της μέρας σε h.
- μ ο αριθμός ημερών του μήνα.

Στον Πίνακα 4.14 παρουσιάζεται το μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας ανά μήνα P.

Μήνας	Μέση Αστρονομική Διάρκεια Ημέρα (h)	Ποσοστό Ωρών Ημέρας (P)
1	9.66	6.62
2	10.48	7.42
3	11.70	8.01
4	13.00	9.20
5	14.04	9.61
6	14.64	10.36
7	14.42	9.88
8	13.52	9.57
9	12.22	8.37
10	10.98	7.77
11	9.88	6.77
12	9.36	6.63

Πίνακας 4.14: Μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας ανά μήνα

Για την εύρεση του εμπειρικού φυτικού συντελεστή K_c είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η διάρκεια κάθε σταδίου βλάστησης (αρχικού, κύριου, μέσου, τελικού), καθώς και ο αντίστοιχος συντελεστής για κάθε στάδιο. Στους Πίνακες 4.15 και 4.16 παρουσιάζονται το μέγεθος των καλλιεργειών ανά κατηγορία και ο φυτικός συντελεστής k_c αντίστοιχα.

Καλλιέργεια	Έκταση (α.σ.)	Έκταση (%)
Κριθάρι για σανό	22.50	0.057
Βρώμη για σανό	34.50	0.087
Τριφύλλια ετήσια και λοιπά πολυετή	3.33	0.008
Κοφτολίβαδα	31.50	0.080
Κριθάρι (γρασίδια)	24.50	0.062
Βρώμη (γρασίδια)	162.83	0.411
Πατάτες άνοιξης	9.00	0.023
Πατάτες καλοκαιρινές	6.17	0.016
Λάχανα	4.67	0.012
Κουνουπίδια	5.83	0.015
Κρεμμυδάκια χλωρά	2.83	0.007
Κρεμμύδια ξερά	4.83	0.012
Κουκιά χλωρά	4.00	0.010
Μαρούλια	5.00	0.013
Αντίδια και ραδίκια	4.83	0.012

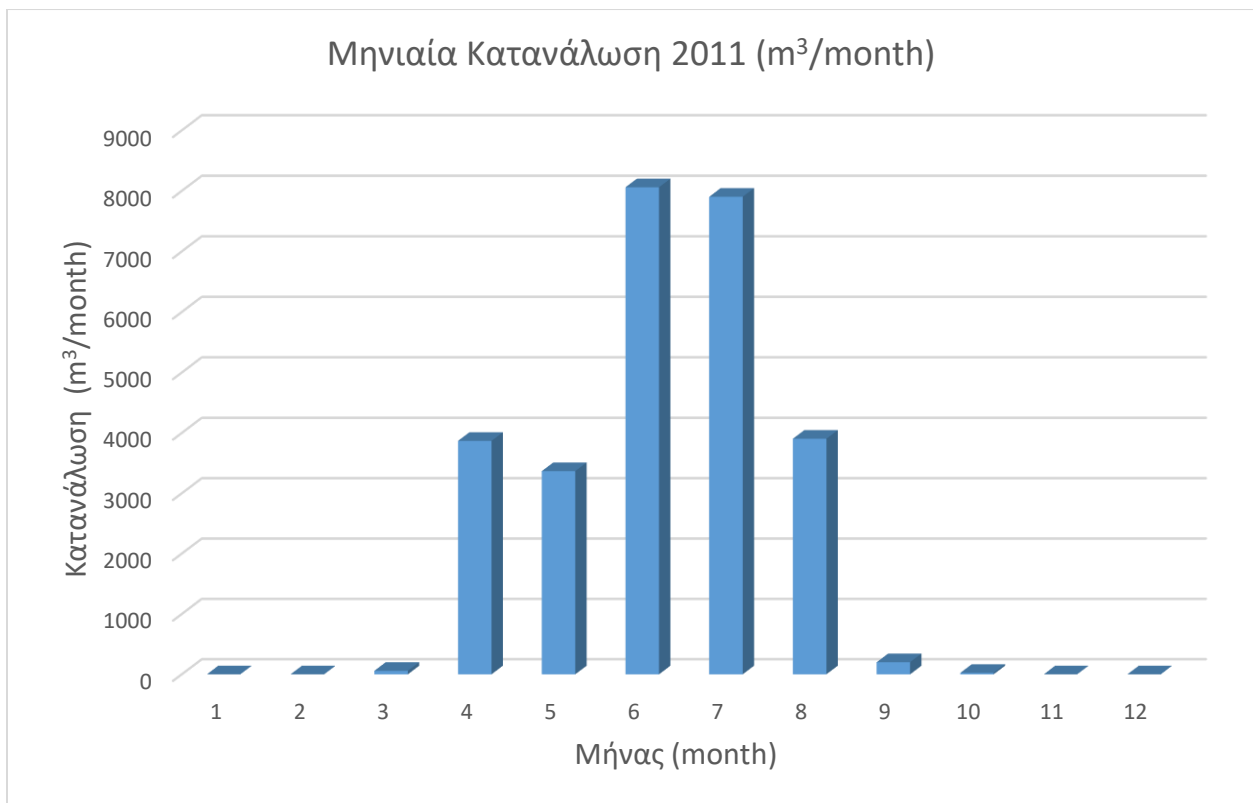
Τομάτες	17.83	0.045
Φασολάκια χλωρά	3.33	0.008
Κολοκυθάκια	8.00	0.020
Αγγούρια υπαίθρου	4.67	0.012
Μελιτζάνες υπαίθρου	2.00	0.005
Πιπεριές χλωρές	0.67	0.002
Αγκινάρες	9.33	0.024
Βίκος	19.00	0.048
Σκόρδα	5.00	0.013

Πίνακας 4.15: Εκτάσεις αρδευόμενων καλλιεργειών

Καλλιέργειες	K_{ini}	K_{dev}	K_{mid}	K_{end}
Κριθάρι για σανό	0.3	0.725	1.15	0.25
Βρώμη για σανό	0.3	0.725	1.15	0.25
Τριφύλλια ετήσια και λοιπά πολυετή	0.95	0.925	0.9	0.7
Κοφτολίβαδα	0.45	0.7	0.95	0.9
Κριθάρι (γρασίδια)	0.3	0.725	1.15	0.25
Βρώμη (γρασίδια)	0.3	0.725	1.15	0.25
Πατάτες άνοιξης	0.5	0.625	0.75	0.6
Πατάτες καλοκαιρινές	0.5	0.625	0.75	0.6
Λάχανα	0.7	0.875	1.05	0.95
Κουνουπίδια	0.7	0.875	1.05	0.95
Κρεμμυδάκια χλωρά	0.7	0.85	1	1
Κρεμμύδια ξερά	0.7	0.875	1.05	0.75
Κουκιά	0.5	0.825	1.15	1.1
Μαρούλια	0.7	0.85	1	0.95
Αντίδια και ραδίκια	0.15	0.15	0.85	0.75
Τομάτες	0.15	0.625	1.1	0.7
Φασολάκια χλωρά	0.5	0.775	1.05	0.9
Κολοκυθάκια	0.15	0.525	0.9	0.7
Αγγούρια υπαίθρου	0.15	0.55	0.95	0.7
Μελιτζάνες υπαίθρου	0.6	0.825	1.05	0.9
Πιπεριές χλωρές	0.6	0.825	1.05	0.9
Αγκινάρες	0.5	0.75	1	0.95

Πίνακας 4.16: Φυτικοί συντελεστές για κάθε στάδιο βλάστησης

Με βάση τους Πίνακες 4.14, 4.15, 4.16, υπολογίζεται ο σταθμισμένος ημερήσιος φυτικός συντελεστής ανά μήνα για την συνολική αρδευόμενη έκταση του νησιού. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή βασισμένη στην συνθετική χρονοσειρά της θερμοκρασίας, σύμφωνα με την Σχέση 4.11. Η τελική ποσότητα αρδευτικού νερού ανά ώρα προκύπτει όταν από την εξατμισοδιαπνοή αφαιρεθεί η ημερήσια βροχόπτωση. Ο ημερήσιος όγκος αρδευτικού νερού προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του αρδευτικού νερού με αρδευόμενη έκταση. Τέλος, στον αρδευτικό όγκο προστίθενται οι ανάγκες σε νερό των ζώων. Στο σχήμα 4.10, παρουσιάζεται μέση μηνιαία κατανάλωση αρδευτικού νερού.



Σχήμα 4.10: Διακύμανση Μέσης Μηνιαίας κατανάλωσης σε αρδευτικό νερό

4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.4.1.1 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ Α/Γ

Για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού της περιοχής εγκαθίσταται αιολικό πάρκο συνολικής ισχύος 19.8 MW αποτελούμενο από 5 Α/Γ, 4 Enercon 126/4200 kW και μία Enercon 115/3000 kW για καλύτερη εκμετάλλευση και του χαμηλότερου αιολικού δυναμικού.

Πρώτο βήμα για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού είναι η αναγωγή των μετρήσεων του ανέμου στο ύψος του ρότορα της εκάστοτε Α/Γ. Η υψομετρική διόρθωση λαμβάνει χώρα σύμφωνα με τον τύπο:

$$u_2 = u_1 \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} \quad (4.13)$$

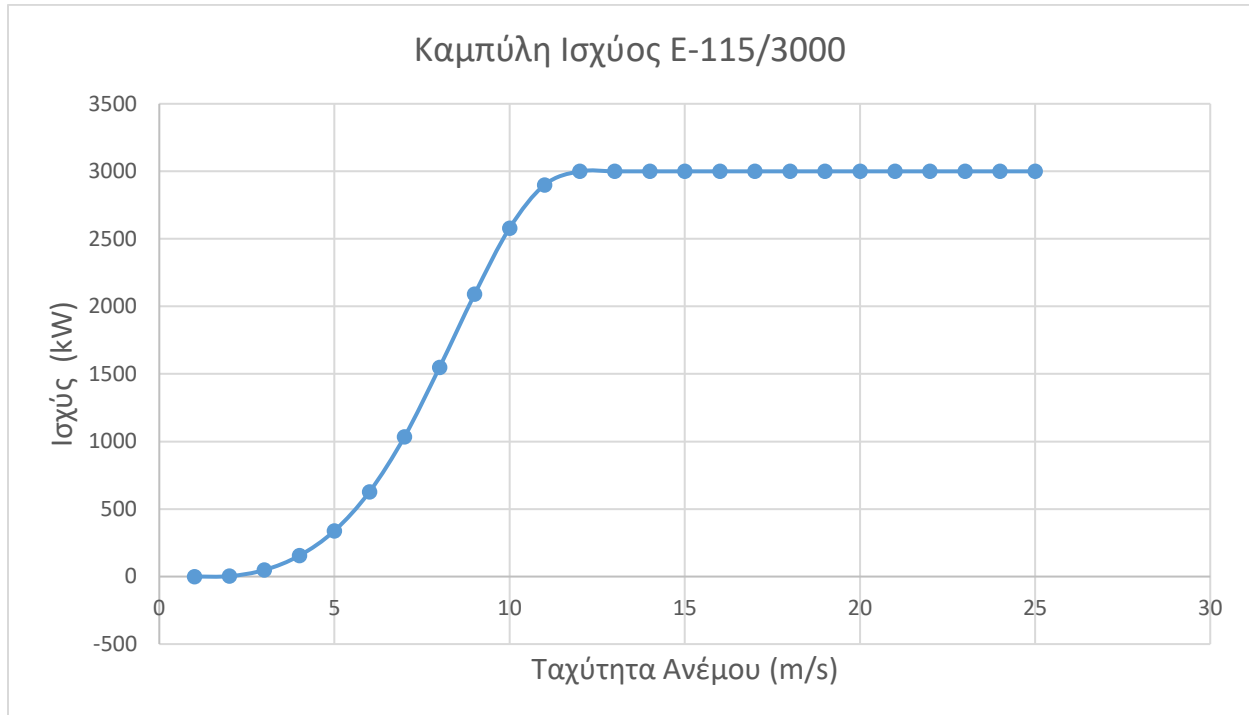
Όπου:

- u_2 η διορθωμένη ταχύτητα στο ύψος $z_{2,1} = 622$ m και $z_{2,2} = 685$ m του ρότορα της εκάστοτε ανεμογεννήτριας.
- u_1 η ταχύτητα στο ύψος $z_1 = 10$ m του μετεωρολογικού σταθμού.
- z_0 η παράμετρος τραχύτητας του εδάφους με τιμή 0.2 cm.

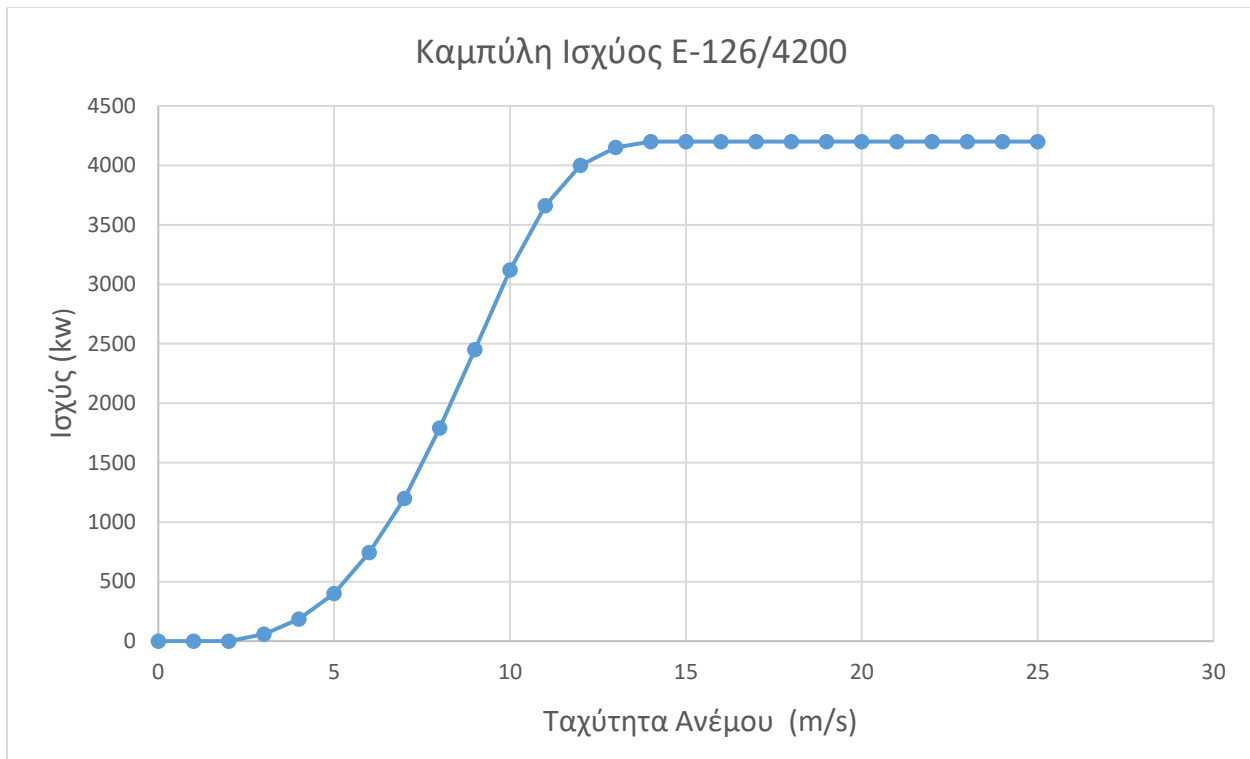
Τυπικές τιμές παραμέτρου z_0	
Πάγος	0.001
Ασφαλτος	0.002
Υδατινη	0.01-0.02
Χλόη έως 1 cm	0.1
Χλόη 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-Σιτηρά 10-50 cm	2-5
Φυτοκάλυψη 1-2 cm	20
Δένδρα 1-2 m	40-70

Πίνακας 4.17: Τυπικές τιμές της παραμέτρου z_0

Σειρά έχει η εκτίμηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις Α/Γ. Απαραίτητο στοιχείο για τον υπολογισμό είναι η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας. Η καμπύλη ισχύος είναι ένα διάγραμμα, το οποίο απεικονίζει πόση ισχύς παράγεται ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Η καμπύλη ισχύος προμηθεύεται από τον κατασκευαστή της εκάστοτε ανεμογεννήτριας. Έτσι, έχοντας την διορθωμένη ταχύτητα και τις καμπύλες ισχύος εκτιμάται παραγόμενη ενέργεια του αιολικού πάρκου. Στα σχήματα 4.11 και 4.12, παρουσιάζονται οι καμπύλες ισχύος των Α/Γ του έργου.



Σχήμα 4.11: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας E-115/3000

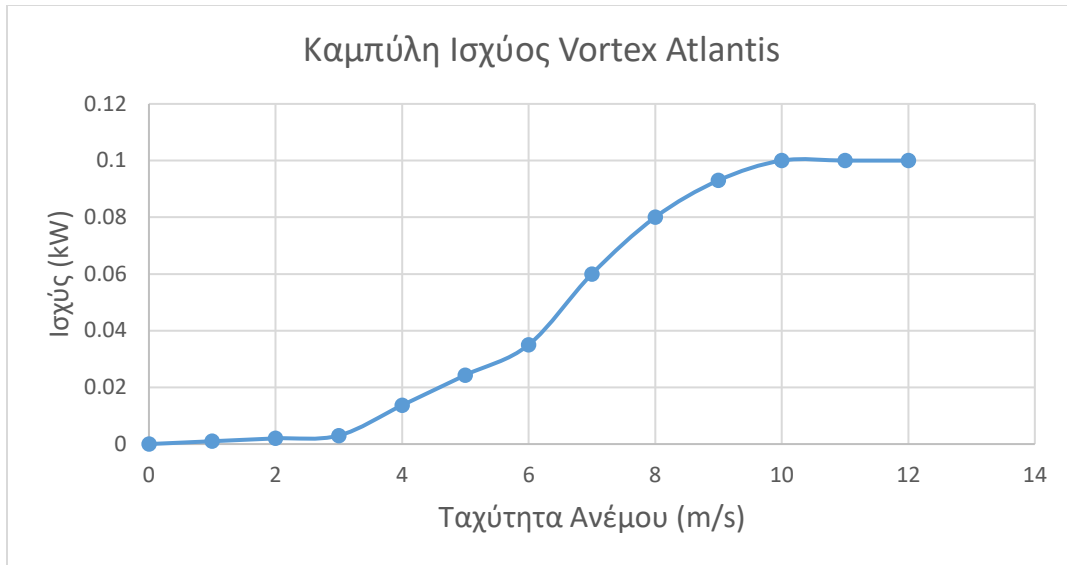


Σχήμα 4.12: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας E-126/4200

4.4.1.2 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΜΕ Α/Γ VORTEX

Παράλληλα, εξετάζεται και η κατασκευή εναλλακτικού αιολικού πάρκου που αποτελείται από συνδυασμό συμβατικών Α/Γ και Α/Γ Vortex. Παρόλο που οι Α/Γ Vortex βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, (αναμένεται να κυκλοφορήσουν στην αγορά το 2022) ο κατασκευαστής παρέχει την καμπύλη ισχύος ενός μοντέλου, επομένως μπορεί να γίνει μία σχετική εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας.

Για την συγκεκριμένη εκτίμηση χρησιμοποιείται η καμπύλη ισχύος Α/Γ Vortex με εγκατεστημένη ισχύ 100 W και ύψος 2.75 m (Ιστότοπος [29](#)). Το εναλλακτικό αιολικό πάρκο αποτελείται από 3 συμβατικές Α/Γ συνολικής ισχύος 11.4 MW (2 E-126/4200 και 1 E-115/3000) και από 84,000 Α/Γ Vortex Atlantis συνολικής ισχύος 8.4 MW σε διάταξη 210 m × 400 m. Στο Σχήμα 4.13, παρουσιάζεται η καμπύλη ισχύος της Vortex Atlantis.



Σχήμα 4.13: καμπύλη ισχύος της Vortex Atlantis

4.4.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟ

Το ΥΗΕ της παρούσας μελέτης αποτελείται από ταμιευτήρα θαλασσινού νερού 2 hm³. Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας (ΑΣΛ) είναι 360 m, ενώ η κατώτατη στάθμη λειτουργίας (ΚΣΛ) είναι 220 m. Το ΥΗΕ βρίσκεται στο κεντροδυτικό τμήμα του νησιού. Έχει την δυνατότητα αντλησοταμίευσης με εγκατεστημένη αντλητική ισχύ 7 MW.

Το μέγεθος του ταμιευτήρα είναι πολύ σημαντικό, αφού αποτελεί την «φυσική μπαταρία» του ΥΣ και είναι κρίσιμο για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες. Επιπλέον, τόσο η χωρητικότητα, όσο και το μεγάλο υψόμετρο είναι κρίσιμης σημασίας για την παραγωγή ενέργειας από το ΥΗΕ. Η ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω των υδροστροβίλων. Η ισχύς που παράγει ένας υδροστρόβιλος δίνεται από την σχέση 4.14.

$$I = g * Q * H_{man} * n_t \quad (4.14)$$

Όπου:

- g η επιτάχυνση της βαρύτητας και ίση με 9.81 m/s².
- Q η παροχή στον αγωγό πτώσης (m³/s).
- H_{man} το μανομετρικό ύψος (m).
- n_t ο συντελεστής απόδοσης του υδροστροβίλου που αγγίζει το 85%.

4.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

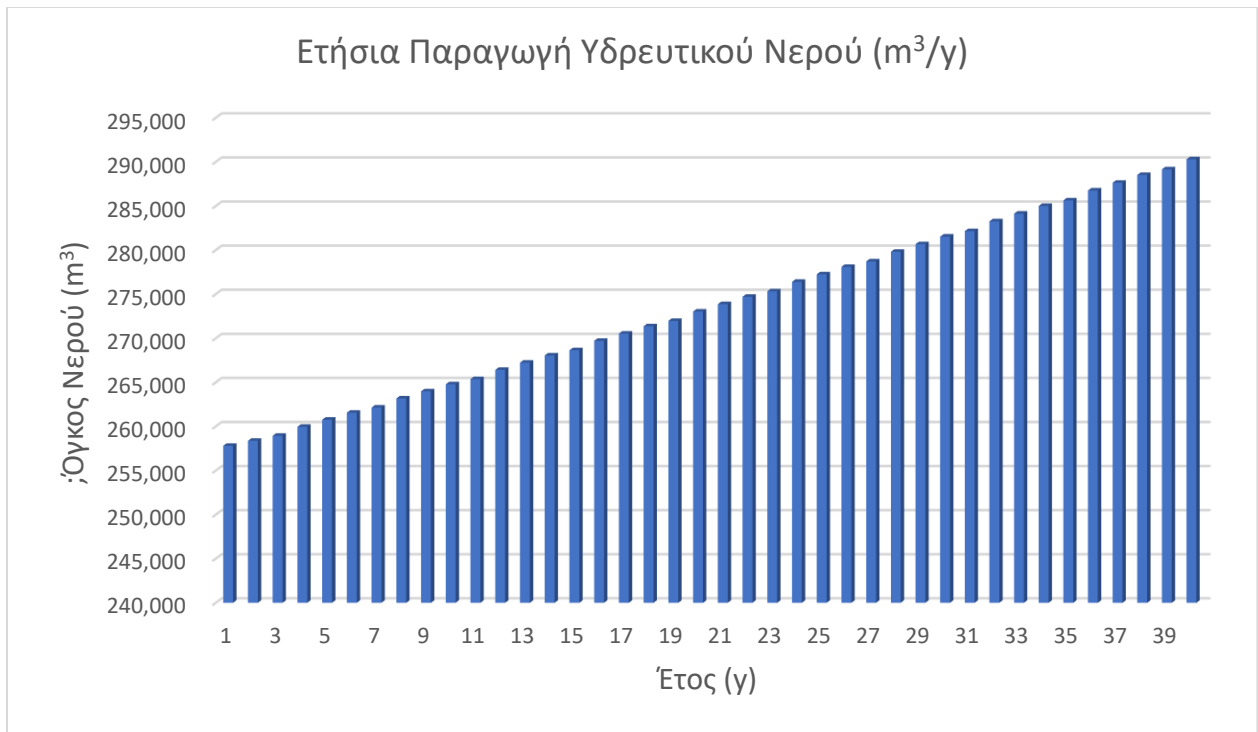
4.5.1 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ Α/Γ

Το μοντέλο προσομοίωσης του ΥΣ πραγματοποιείται με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Excel 2017, το οποίο δέχεται ως δεδομένα:

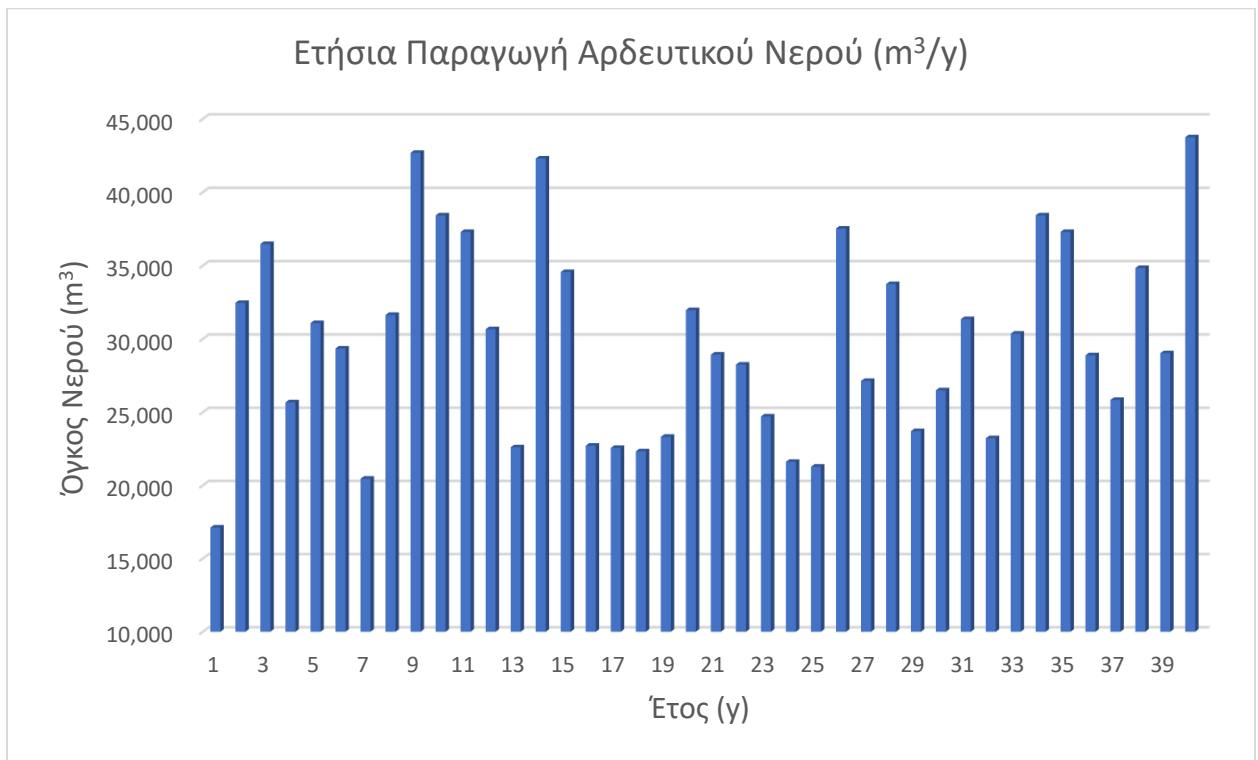
- Τις ωριαίες χρονοσειρές ενεργειακής ζήτησης.
- Τις ωριαίες χρονοσειρές υδρευτικής και αρδευτικής ζήτησης.
- Τις ωριαίες χρονοσειρές παραγωγής ενέργειας από το αιολικό πάρκο.
- Τα χαρακτηριστικά του υδροηλεκτρικού έργου, όπως και η χωρητικότητα, η μέγιστη και η ελάχιστη στάθμη του τελευταίου.
- Τα χαρακτηριστικά των μονάδων αφαλάτωσης, δηλαδή ισχύς μονάδας, παραγωγή αφαλατωμένου νερού και χωρητικότητα του αντίστοιχου ταμιευτήρα.

Οι ωριαίες χρονοσειρές που εισάγονται στο μοντέλο είναι μήκους 40 ετών αντίστοιχα και βάσει αυτών προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα εξόδου:

- Η ωριαία χρονοσειρά ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το ΥΗΕ.
- Η ωριαία χρονοσειρά ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται συνολικά από τις ΑΠΕ του ΥΣ.
- Η ωριαία χρονοσειρά προσφερόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο από το ΥΣ.
- Η ωριαία χρονοσειρά του ελλείμματος ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ποσότητας υδρευτικού και αρδευτικού νερού.
- Η ωριαία χρονοσειρά ελλείμματος υδρευτικού και αρδευτικού νερού.
- Η ωριαία χρονοσειρά της στάθμης των δεξαμενών.
- Η αξιοπιστία της ύδρευσης και άρδευσης του ΥΣ για κάθε έτος και μήνα.
- Το ποσοστό κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης από κάθε μορφή παραγωγής ενέργειας του ΥΣ για κάθε έτος και μήνα.

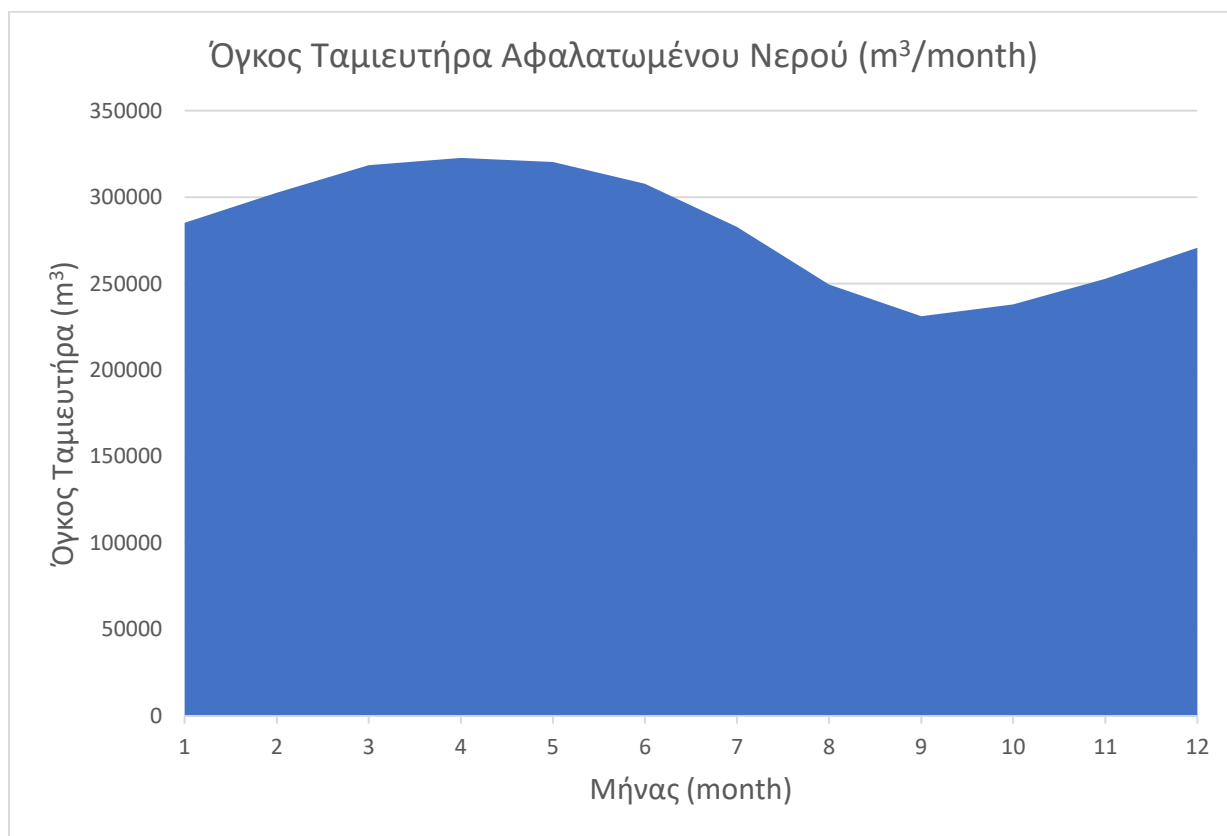


Σχήμα 4.15: Ετήσια παραγωγή υδρευτικού νερού



Σχήμα 4.16: Ετήσια παραγωγή αρδευτικού νερού

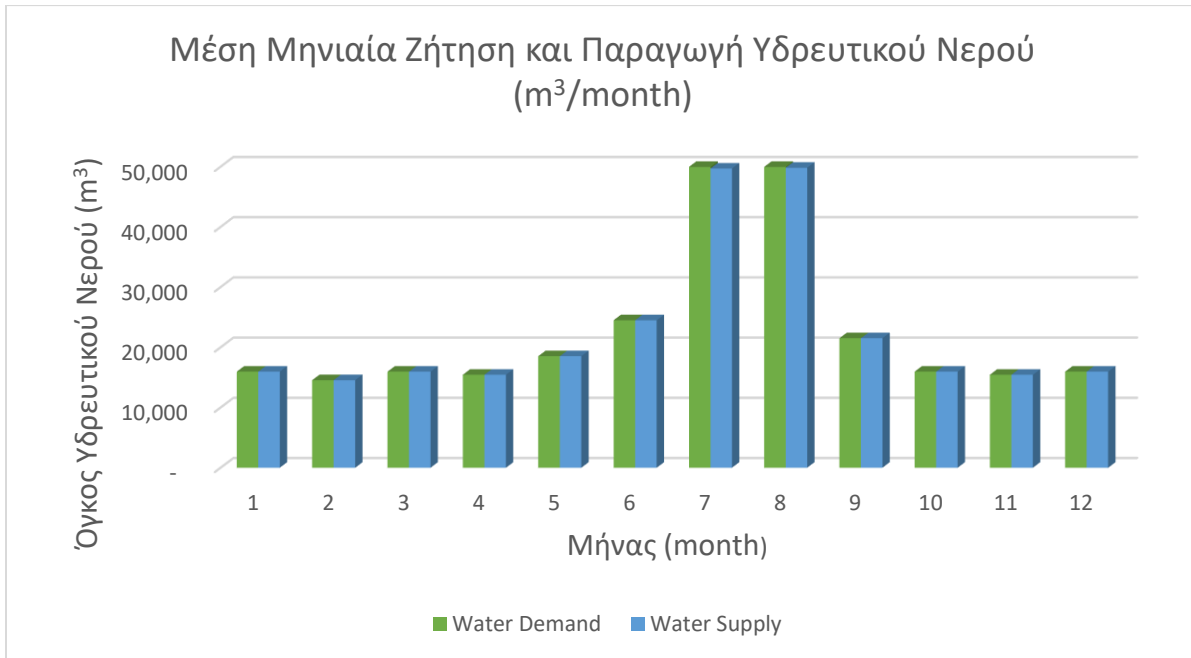
Ο παραπάνω όγκος αφαλατωμένου νερού αποθηκεύεται σε δεξαμενή αφαλατωμένου νερού 500,000 m³. Στη συνέχεια, διατίθεται στο νησί με σκοπό την κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών. Στα Σχήμα 4.17, παρουσιάζεται η μεταβολή του αποθηκευμένου νερού στη μονάδα ανά μήνα. Αξιοσημείωτη είναι η πτώση της στάθμης τους καλοκαιρινούς μήνες και τους πρώτους φθινοπωρινούς, καθώς σε αυτήν την περίοδο συμπίπτουν η αυξημένη είσοδος τουριστών και το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής.



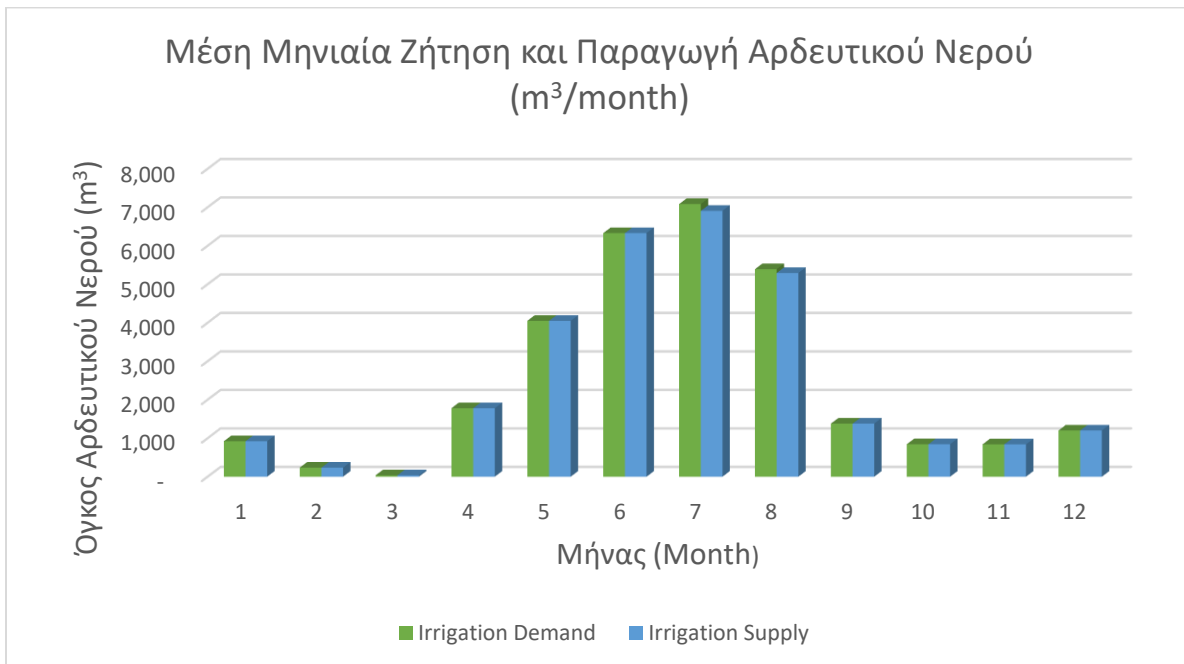
Σχήμα 4.17: Όγκος ταμιευτήρα αφαλατωμένου νερού

Στη συνέχεια, στα Σχήματα 4.18 και 4.19, παρουσιάζονται η μέση μηνιαία παραγωγή υδρευτικού και αρδευτικού νερού, σε σχέση με την αντίστοιχη μέση μηνιαία ζήτηση τους και στο Σχήμα 4.20 το συνολικό ποσοστό κάλυψης της ύδρευσης και άρδευσης. Από το Σχήμα 4.20, καθίσταται εμφανές ότι το έργο πετυχαίνει τον πρωτεύοντα στόχο του, που είναι η κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών με μεγάλη αξιοπιστία. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον ικανοποιητικό όγκο του ταμιευτήρα αφαλατωμένου νερού και στην επαρκή παροχή ενέργειας στην μονάδα αφαλάτωσης. Η αξιόπιστη κάλυψη των υδατικών αναγκών από την μονάδα αφαλάτωσης του ΥΣ είναι κάτι πολύ ελπιδοφόρο για το νησί που ταλανίζεται διαχρονικά από ελλείψεις νερού.

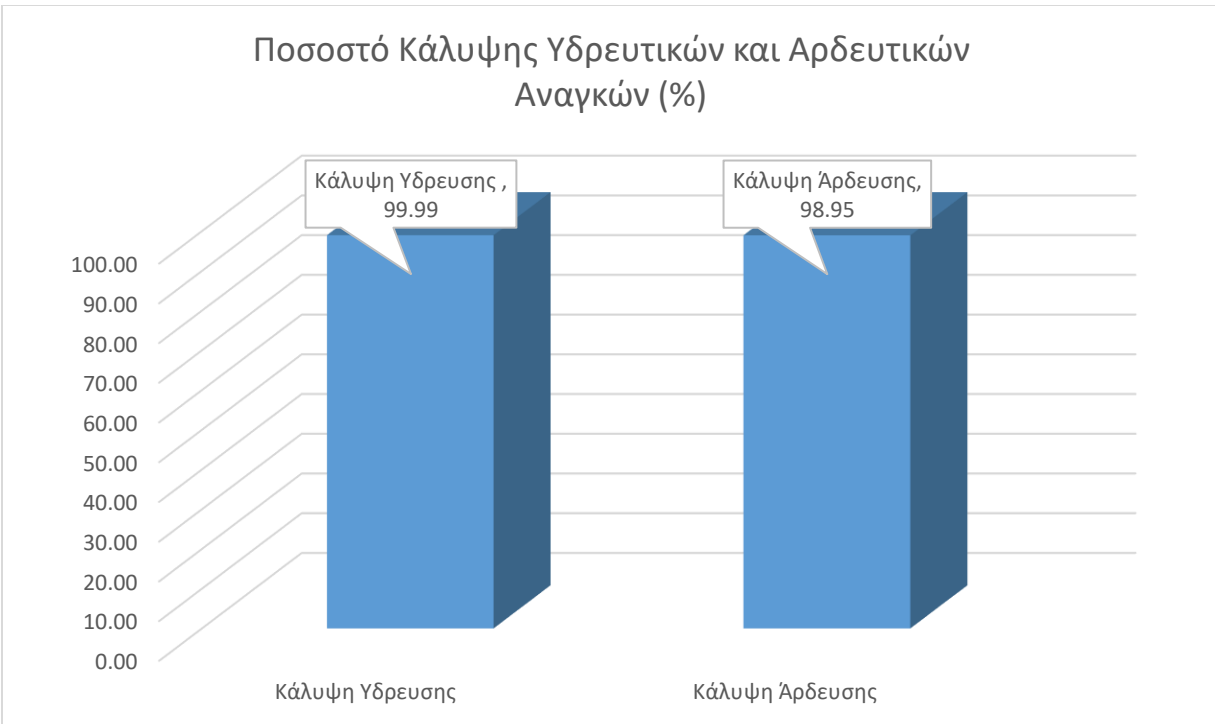
Επιπλέον, ανεξαρτητοποιεί πλήρως τους κατοίκους από την χρήση πηγών και γεωτρήσεων για την κάλυψη των αναγκών σε νερό.



Σχήμα 4.18: Μέση μηνιαία ζήτηση και παραγωγή υδρευτικού νερού



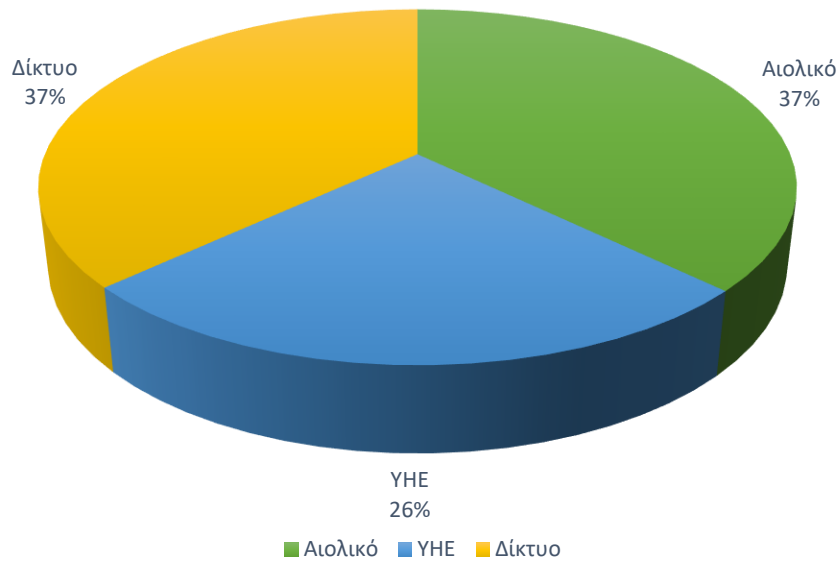
Σχήμα 4.19: Μέση μηνιαία ζήτηση και παραγωγή αρδευτικού νερού



Σχήμα 4.20: Κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών

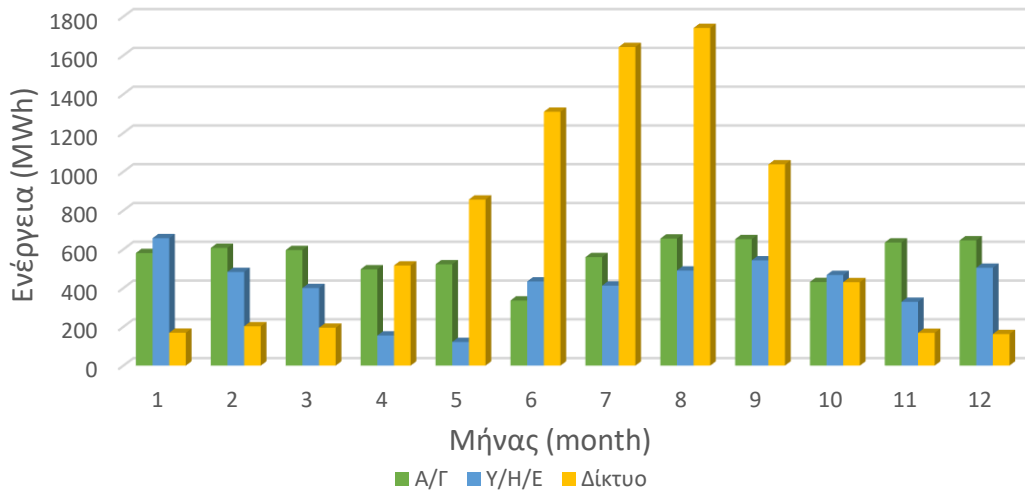
Όσον αφορά την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού, η κάλυψη από το ΥΣ φτάνει γύρω στο 63% κάτι που είναι αρκετά ικανοποιητικό. Η συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι διαχρονικά πάνω από 5,325 MWh. Η μέγιστη ετήσια παραγωγή ανέρχεται στις 18,997 MWh. Η μέγιστη ζήτηση ενέργειας ανέρχεται στις 21,021 MWh. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται το ποσοστό συμβολής κάθε μορφής ενέργειας στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών (Σχ. 4.21) και η μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας από κάθε μορφή ενέργειας (Σχ. 4.22). Στο Σχήμα 4.22, τους θερινούς μήνες φαίνεται μία εκτόξευση της παροχής ενέργειας από το δίκτυο. Αυτό οφείλεται στη μαζική είσοδο τουριστών στο νησί. Η ικανοποιητική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Το ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό, η μεγάλη χωρητικότητα του ταμιευτήρα θαλασσινού νερού για «αποθήκευση» ενέργειας, το μεγάλο υψόμετρο του ταμιευτήρα θαλασσινού νερού καθιστούν σημαντική της συμβολή ενέργειας από το ΥΣ.

Ποσοστό Κάλυψης Ενεργειακών Αναγκών (%)



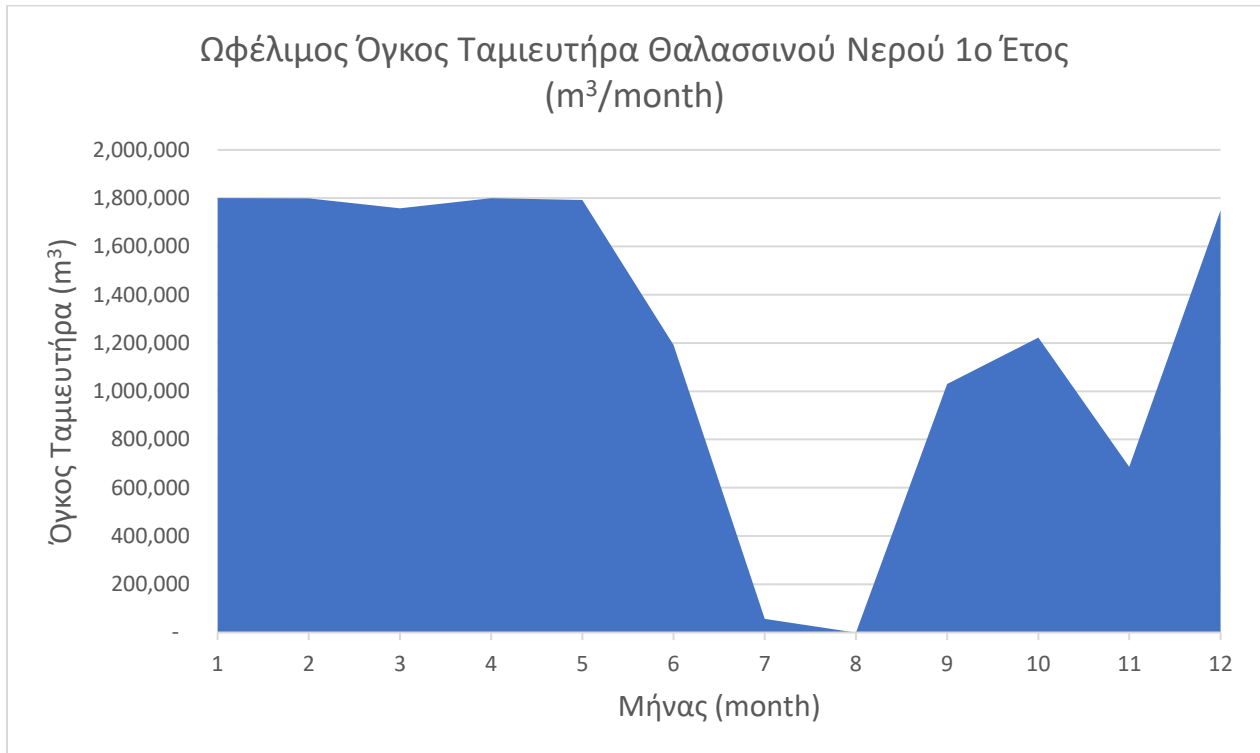
Σχήμα 4.21: Ποσοστό κάλυψης ενεργειακών αναγκών ανά μορφή ενέργειας

Μέση Μηνιαία Παραγωγή Ενέργειας (MWh/month)

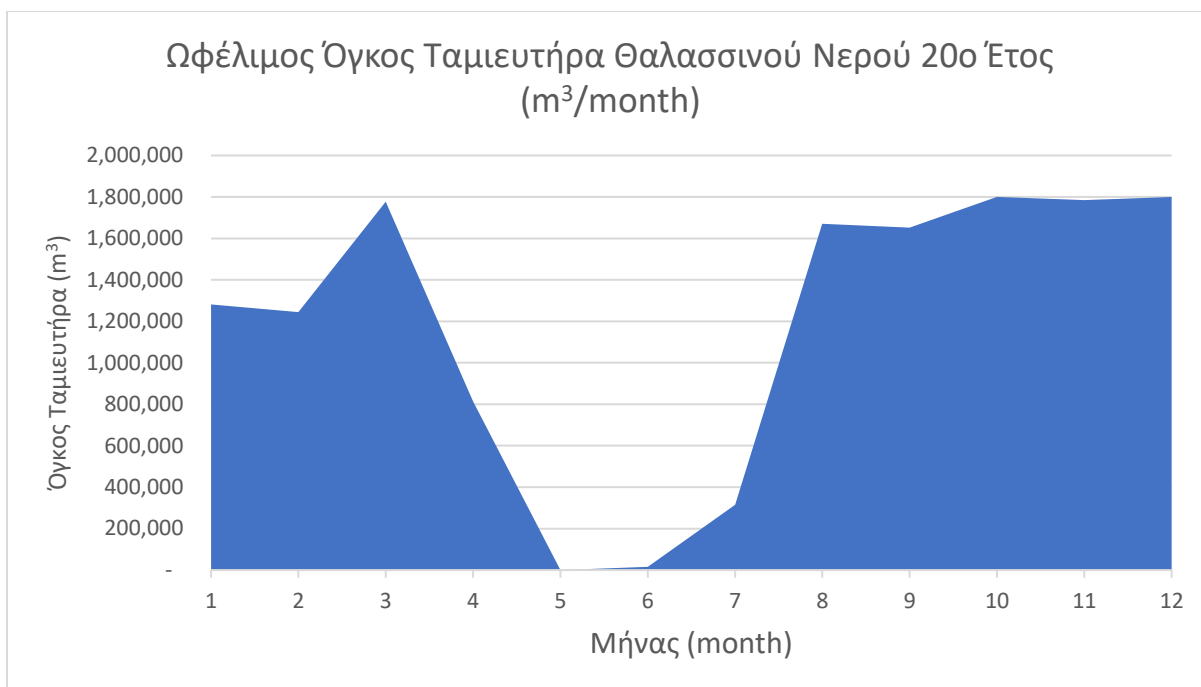


Σχήμα 4.22: Μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας από κάθε μορφή

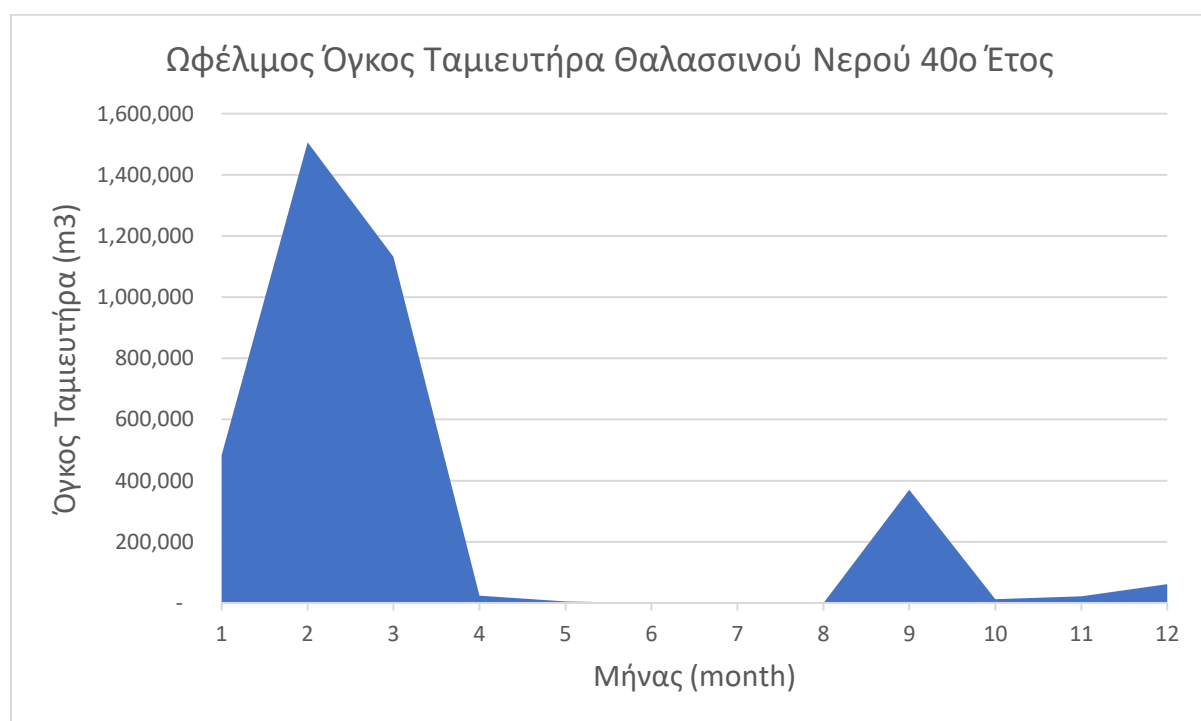
Στα Σχήματα 4.23, 4.24, 4.25 ανά 20 έτη παρουσιάζεται η εξέλιξη της μεταβολής του όγκου του ταμιευτήρα θαλασσινού νερού ανά μήνα. Παρατηρείται σημαντική μείωση του όγκου του ταμιευτήρα τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό οφείλεται στις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες. Η μείωση του όγκου ανά 20ετία οφείλεται στην γεωμετρική αύξηση του πληθυσμού.



Σχήμα 4.23: Όγκος ταμιευτήρα θαλασσινού νερού 1ο έτος



Σχήμα 4.24: Όγκος ταμιευτήρα θαλασσινού νερού 20ο έτος



Σχήμα 4.25: Όγκος ταμιευτήρα θαλασσινού νερού 40ο έτος

Τέλος, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.18 η μέση ετήσια συνολική παραγωγή και κάλυψη ενέργειας και στον Πίνακα 4.19 η μέση μηνιαία συνολική παραγωγή και κάλυψη ενέργειας. Τα ποσοστά κάλυψης είναι αισθητά μικρότερα τους καλοκαιρινούς μήνες.

Έτος	Παραγωγή Ενέργειας (MWh)	Κάλυψη Ενέργειας (%)	Έτος	Παραγωγή Ενέργειας (MWh)	Κάλυψη Ενέργειας (%)
1	13,958	75	21	9,091	46
2	13,995	75	22	12,515	63
3	18,352	98	23	5,942	30
4	11,109	59	24	18,997	95
5	10,582	56	25	8,364	42
6	9,670	51	26	14,909	74
7	16,145	85	27	14,417	71
8	9,322	49	28	8,209	41
9	10,422	55	29	10,844	53
10	6,051	32	30	14,928	73
11	13,535	70	31	11,815	58
12	5,325	28	32	12,480	61
13	6,693	35	33	18,053	88
14	13,600	70	34	13,699	66
15	14,611	75	35	8,633	42
16	8,130	42	36	13,137	63
17	15,566	79	37	7,665	37
18	9,689	49	38	8,171	39
19	9,698	49	39	9,728	46
20	6,991	35	40	15,154	72

Πίνακας 4.18: Μέση ετήσια συνολική παραγωγή και κάλυψη ενέργειας

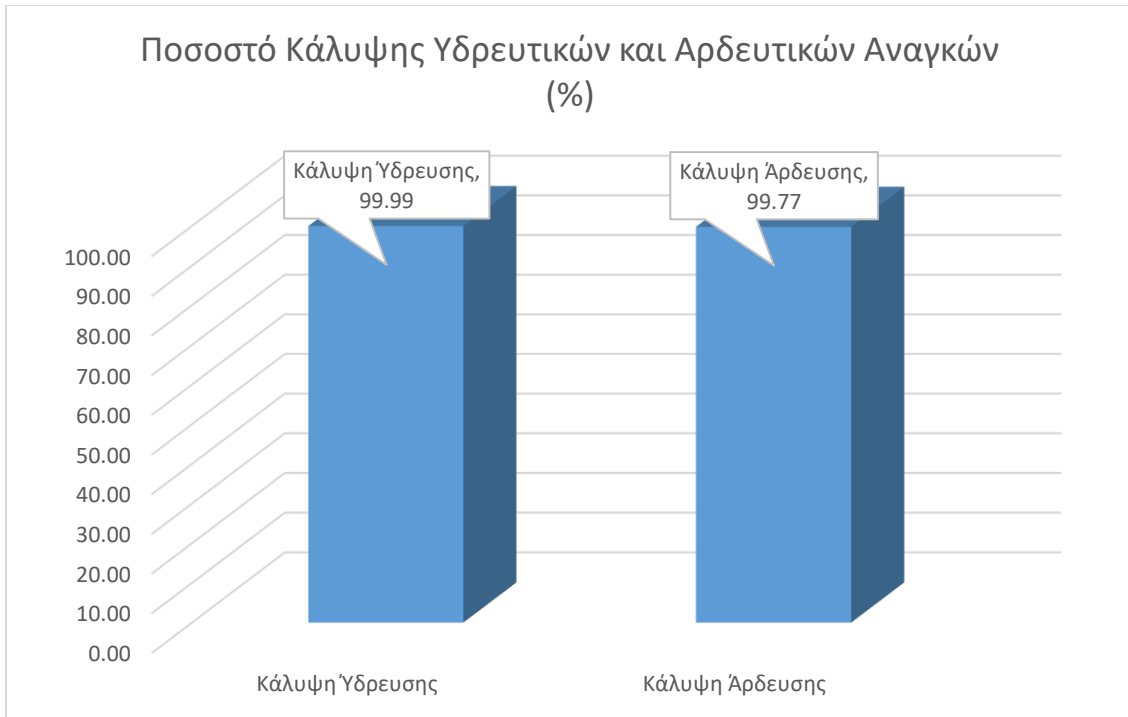
Μήνας	Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	Κάλυψη Ενέργειας (%)
1	1197.88	87.95
2	1055.21	84.31
3	963.92	83.60
4	630.96	55.80
5	623.82	42.94
6	745.36	37.03
7	940.54	37.16
8	1108.64	39.68
9	1156.85	53.53

10	869.57	67.62
11	932.82	85.08
12	1113.56	87.59

Πίνακας 4.19: Μέση μηνιαία συνολική παραγωγή και κάλυψη ενέργειας

4.5.2 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ Α/Γ VORTEX

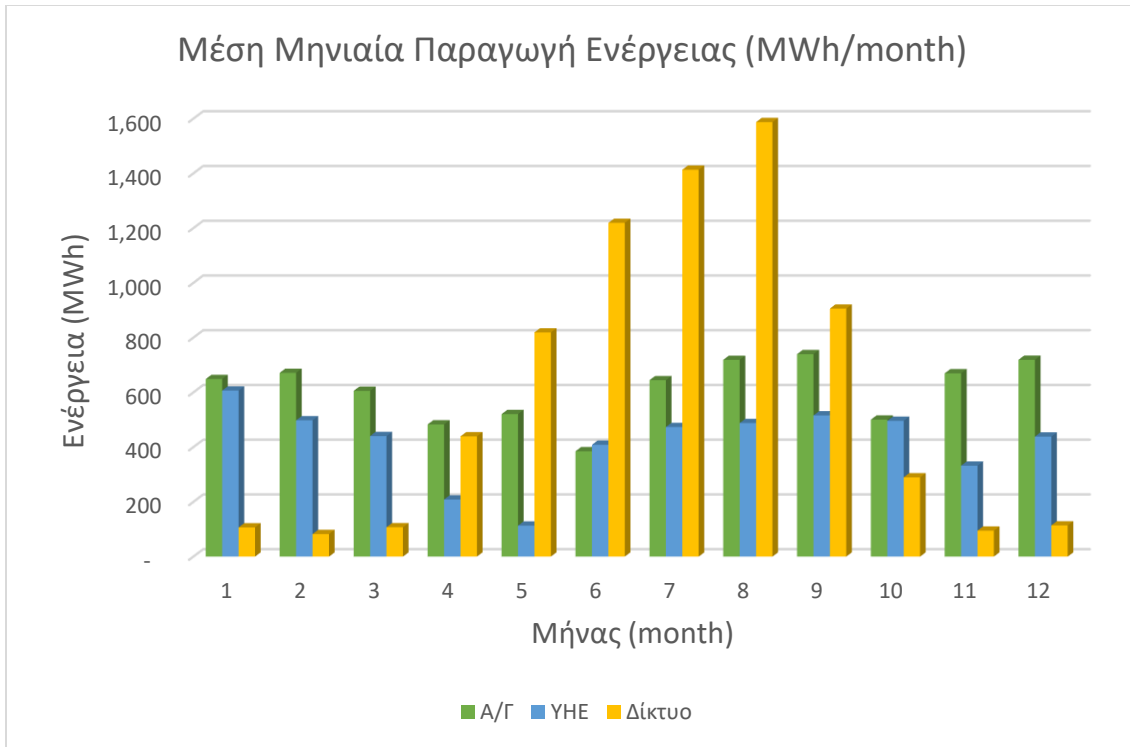
Η διαδικασία της προσομοίωσης του εναλλακτικού ΥΣ είναι ίδια με την προαναφερθείσα. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ΥΣ όταν αξιοποιούνται και Α/Γ Vortex για την παραγωγή αιολικής ενέργειας. Παρουσιάζονται η κάλυψη των υδατικών αναγκών (Σχήμα 4.26), το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ανά μορφή ενέργειας (Σχήμα 4.27), καθώς και η μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας από κάθε μορφή (Σχήμα 4.28). Όπως φαίνεται παρακάτω υπάρχει μικρή, αλλά, αισθητή βελτίωση σε όλα τα αποτελέσματα. Πιο συγκριμένα, η κάλυψη της άρδευσης αυξάνεται από 98.95 σε 99.77 (Σχήμα 4.26). Η αύξηση της συμβολής του αιολικού πάρκου αυξάνεται από 37% σε 41%. Επιπλέον, η συμβολή του δικτύου μειώνεται από 37% σε 32% (Σχήμα 4.27). Η μέγιστη μηνιαία συμβολή του δικτύου δεν ξεπερνάει πλέον τις 1,600 MWh. (Σχήμα 4.28). Η βελτίωση των αποτελεσμάτων οφείλεται στην ικανότητα των Α/Γ Vortex να εκμεταλλεύονται χαμηλότερες τιμές αιολικού δυναμικού. Αφού, φτάνουν στην μέγιστη ισχύ τους νωρίτερα, σε ταχύτητα ανέμου 10 m/s (Σχήμα 4.13). Την ώρα που οι συμβατικές οι E-115/3000 φτάνουν την μέγιστη ισχύ τους στα 12 m/s και οι E-126/4200 στα 14 m/s. Στο Σχήμα 4.29 παρουσιάζεται αισθητική πρόταση για διαμόρφωση αιολικού πάρκου με Α/Γ Vortex (Ιστότοπος [30](#)).



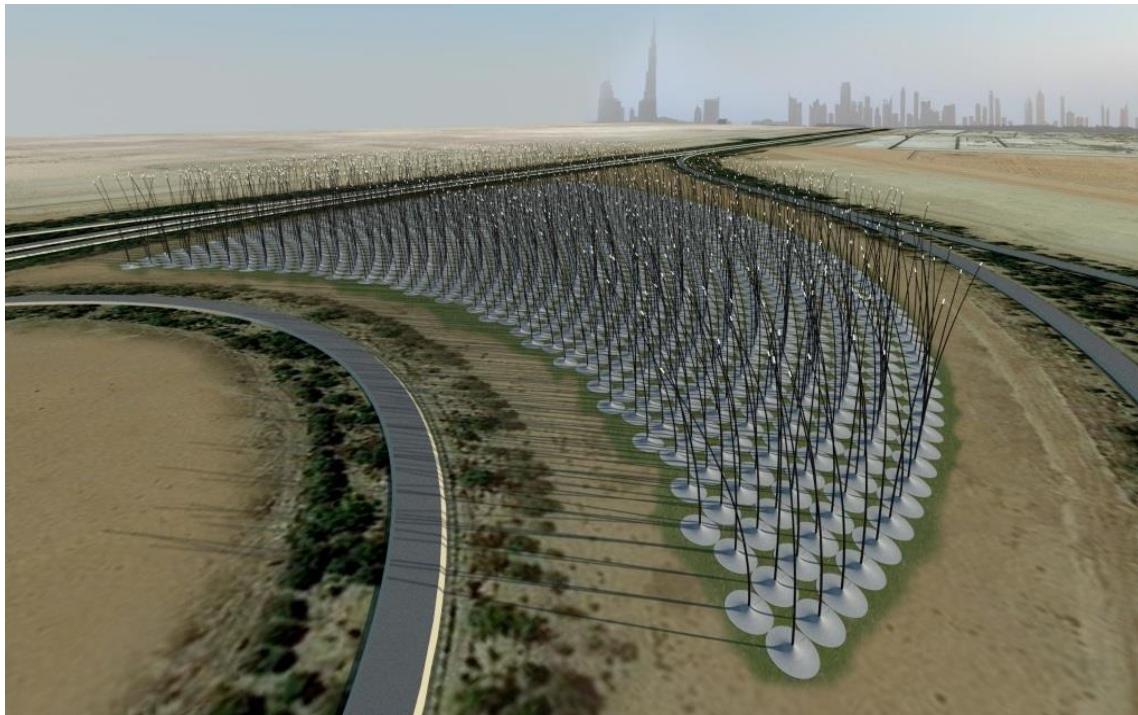
Σχήμα 4.26 : Ποσοστό Κάλυψης Υδατικών Αναγκών



Σχήμα 4.27 : Ποσοστό κάλυψης ενεργειακών αναγκών ανά μορφή ενέργειας



Σχήμα 4.28 : Μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας από κάθε μορφή



Σχήμα 4.29: Αισθητική πρόταση αιολικού πάρκου Vortex (Williams M., 2015)

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασικός στόχος της υπάρχουσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των Υβριδικών Συστημάτων ενέργειας. Πρώτο βήμα αποτελεί μία εισαγωγική παρουσίαση των Υβριδικών Συστημάτων ενέργειας, των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και της αφαλάτωσης. Στη συνέχεια, σειρά έχει η ανάλυση της διαδικασίας διαμόρφωσης του μοντέλου προσομοίωσης του ΥΣ στο νησί της Ιθάκης. Περιγράφονται οι μονάδες που απαρτίζουν το ΥΣ. Το ΥΣ εξετάζεται ως προς την δυνατότητα ικανοποίησης των υδρευτικών, αρδευτικών και ηλεκτρικών αναγκών του νησιού. Η μοντελοποίηση περιλαμβάνει την συλλογή, διόρθωση και ανάλυση των υδρολογικών και ανεμολογικών δεδομένων της περιοχής, την εκτίμηση των αναγκών σε νερό και ενέργεια, καθώς και της παραγόμενης ενέργειας από το ΥΣ.

Οι περιβαλλοντικές συνέπειες, καθώς και η εξάντληση των συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, έχουν οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στο ενδιαφέρον γύρω από τις ΑΠΕ και τα ΥΣ. Τα ΥΣ παρουσιάζουν το πλεονέκτημα του συνδυασμού διαφορετικών μορφών ενέργειας και της δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον, έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν αυτόνομα, έτσι είναι ιδανικά για ανάπτυξη σε απομακρυσμένες περιοχές.

Επιπλέον, πολλά ελληνικά νησιά υποφέρουν από το πρόβλημα της έλλειψης υδατικών πόρων, λόγω των περιορισμένων λεκανών απορροής τους, της υπερεκμετάλλευσης των υδατικών πόρων, και της μαζικής εισροής τουριστών το καλοκαίρι. Η κατάσταση αυτή έχει συνέπειες στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, στην κτηνοτροφική, γεωργική και εν τέλει οικονομική ανάπτυξη των νησιών. Ιδανική μέθοδος για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου είναι η κατασκευή μονάδων αφαλάτωσης. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος αφαλάτωσης είναι αυτή της αντίστροφης όσμωσης λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, σε σχέση με άλλες μεθόδους, της αυξημένης παραγωγικότητας, και την καταλληλότητα σύνδεσής της με ΥΣ.

Τα ακόλουθα συμπεράσματα προκύπτουν από την ανάλυση της προσομοίωσης του ΥΣ με ορίζοντα 40 ετών.

- Ο πληθυσμός του νησιού αυξάνεται τους θερινούς μήνες λόγω της εισροής τουριστών. Επιπλέον, γίνεται παραδοχή γεωμετρικής αύξησης του πληθυσμού ανά χρόνο. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι οι αντίστοιχες αυξήσεις σε υδρευτικές και ενεργειακές ανάγκες.
- Τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου είναι φυσικά φαινόμενα. Επομένως, διέπονται από τυχειότητα και μεταβλητότητα. Για να γίνει δυνατή η αξιόπιστη εκτίμησή τους, τα επόμενα χρόνια, είναι αναγκαία η χρήση πιθανοθεωρητικών και στατιστικών μεθόδων.
- Στο σενάριο λειτουργίας του ΥΣ, προτεραιότητα αποτελεί η κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών και, δευτερευόντως, η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Ο πρώτος στόχος επιτυγχάνεται με αξιοπιστία στην κάλυψη των αναγκών σε νερό μεγαλύτερη του 99%. Ενώ, σημαντική είναι και η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών που φτάνει στο 64%.
- Η αξιοπιστία στην κάλυψη των αναγκών σε νερό είναι αντιστρόφως ανάλογη της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών. Όταν τίθεται ως προτεραιότητα η κάλυψη των υδατικών αναγκών τότε μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας κατευθύνεται στην μονάδα αφαλάτωσης, επομένως μικρότερο ποσοστό αξιοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Αντίστοιχα, όταν προτεραιοποιείται η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μικρότερο ποσοστό ενέργειας αξιοποιείται από την μονάδα αφαλάτωσης. Η προτεραιοποίηση γίνεται βάσει των αναγκών του εκάστοτε νησιού.
- Η αξιοποίηση των Α/Γ Vortex αυξάνει την αξιοπιστία του ΥΣ. Η ανάπτυξη των Α/Γ αυτών βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο και η εκτίμηση της παραγωγής γίνεται βάσει της καμπύλης ισχύος ενός προτύπου που παρέχεται από τον κατασκευαστή. Το μοντέλο αυτό αποτελεί την μικρότερη Α/Γ από αυτές που αναμένεται να κυκλοφορήσουν. Εξού και ο μεγάλος αριθμός Α/Γ που χρειάζεται να τοποθετηθούν. Παρόλα αυτά φαίνεται ότι οι Α/Γ Vortex μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της αξιοπιστίας του ΥΣ, στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

5.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Καθ' όλη την διάρκεια της ανάπτυξης της πατούσας διπλωματικής εργασίας προκύπτουν ορισμένα ζητήματα, τα οποία είτε αποτελούν ελλείψεις είτε χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης και έρευνας. Μερικά από αυτά είναι:

- Η εφαρμογή και ανάπτυξη ΥΣ σε περισσότερα νησιά της χώρας τα οποία καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες από τοπικούς σταθμούς παραγωγής ή/και αντιμετωπίζουν σημαντικές υδατικές ελλείψεις.
- Η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος του νησιού με σκοπό την εξαγωγή της πλεονάζουσας ενέργειας στην ΔΕΗ, κάτι που θα μπορούσε να έχει σημαντικά οφέλη για το Δήμο Ιθάκης.
- Η ενσωμάτωση και άλλων ΑΠΕ στο ΥΣ με σκοπό την μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας και την αύξηση της αξιοπιστίας του.
- Η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας του ΥΣ, και η διερεύνηση των δυνατοτήτων που προσφέρει όσον αφορά την μείωση των εκπομπών CO₂. Της μελέτης των περιβαλλοντικών και οικονομικών οφελών που θα μπορούσε να προσφέρει.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

ΑΔΜΗΕ, Μελέτη Επάρκειας Ισχύος για την Περίοδο 2020-2030, Αθήνα 2019.

Βρεττός Ε., Ενεργειακή Προσομοίωση και Βέλτιστη Διαστασιολόγηση Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ - Συσσωρευτών – Υδρογόνου, Αθήνα 2010.

Ευστρατιάδης κ.α., Υδροηλεκτρικά έργα, 2018.

Ζήσης Θωμάς, Διερεύνηση του Αιολικού Δυναμικού των Νησιών του Ιονίου για Εφαρμογές Αιολικών Πάρκων.

Καλίτσης Ν., Αντίστροφη Όσμωση με Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2012.

Κόμνος Δ., Διερεύνηση της αποδόμησης των δινών σε πτέρυγα Δέλτα με τη μεθοδολογία αριθμητικής προσομοίωσης SAS, Θεσσαλονίκη 2015.

Λεμονής Α., Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Εφαρμογής Υβριδικού Συστήματος για την Κάλυψη Υδατικών και Ενεργειακών Αναγκών στη Νήσο Λέρο, Αθήνα 2020.

Λυκογιάννη Μ., Χωροθέτηση Χερσαίων Αιολικών Εγκαταστάσεων και Διεύρυνση της Ενεργειακής Φέρουσας Ικανότητας: Η Περίπτωση της Νάξου, Ελλάδα.

Μαντζουράνης Ε., Ολοκληρωμένη Αξιολόγηση ενός Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Νήσο Σκύρο στο πλαίσιο Απολιγνιτοποίησης, Αθήνα 2021.

Μεντής Δ., Αφαλάτωση με Χρήση ΑΠΕ στα Άνυδρα Νησιά του Νότιου Αιγαίου, Αθήνα 2011.

Μπαλτάς Ευάγγελος Αν. Καθηγητής ΕΜΠ, Εξατμισοδιαπνοή.

Νέτσο Η., Εκτίμηση της αιολικής εγγυημένης ισχύος σε μη διασυνδεδεμένα Ελληνικά νησιά με χρήση μετεωρολογικών δεδομένων τυπικού ανεμολογικού έτους, Αθήνα 2018.

Ράπτης Δ., Μελέτη αφαλάτωσης με μικρές μονάδες. Ειδικά με αυτόνομη μονάδα αντίστροφης όσμωσης και χρήση ΑΠΕ, 2012.

Σκρουφούτα Σ., Διερεύνηση Διαστασιολόγησης Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ για τη Διασφάλιση των Ενεργειακών και Υδατικών Αναγκών στο Νησί της Καρπάθου, Αθήνα 2020.

Τριανταφυλλίδης Ι., Χωροθέτηση Χερσαίων Αιολικών Εγκαταστάσεων: Κοινωνικά Κριτήρια και Συμμετοχικός Σχεδιασμός.

Υπουργείο Γεωργίας, Οι Υδατικές Ανάγκες των αρδευόμενων Καλλιεργειών, Λευκωσία 2010.

Φώτο Α., Κατασκευή Αιολικού Πάρκου Στη Νήσο Ιθάκη, Πάτρα 2019.

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Η Ιθάκη του Χτες και του Σήμερα: Ταυτότητες και Τουρισμός.

Χονδρογιάννης Κ., Μελέτη Λυγισμού Πυλώνων Ανεμογεννητριών με Χρήση μη Γραμμικών Αναλύσεων Πεπερασμένων Στοιχείων.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Allen R., Pereira L., Raes D., Smith M., Crop Evapotranspiration, 2006.

Amur Kamar et al., Hydropower, 2012.

Negra, N.B., Birgitte, B.J., Sorensen, P., Model of a Synthetic Wind Speed Time Series Generator, 2007.

Ιστοσελίδες

<https://www.capital.gr/diethni/3588099/doe-i-energeiaki-metabasi-einai-uperbolika-argi>

Με πράσινα καύσιμα η ενεργειακή μετάβαση της Ευρώπης,

<https://www.cnn.gr/perivallon/story/269327/me-prasina-kaysima-i-energeiaki-metavasi-tis-eyropis-giati-theoroyntai-simeio-kleidi>

Περισσότεροι από δύο δισ. άνθρωποι χωρίς πρόσβαση σε ασφαλές κι πόσιμο νερό,

<https://www.cnn.gr/perivallon/story/305847/pagkosmia-hmera-neroy-perissoteroi-apo-dyo-dis-anthropoi-xoris-prosvasi-se-asfales-posimo-nero>

Η Γερμανία είναι ακόμη «κολλημένη» στον λιγνίτη,

<https://www.kathimerini.gr/economy/business/989456/i-germania-einai-akomi-kollimeni-ston-ligniti/>

<https://www.kathimerini.gr/society/1067802/kataggelia-stin-e-e-gia-ta-aiolika-parka-se-perioches-natura/>

<https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/11708/nomos-3468-2006>

<https://www.irena.org/wind>

<https://greenagenda.gr/περιβαλλοντικές-επιπτώσεις-από-την-κ/>

<https://www.eib.org/en/stories/renewable-wind-energy>

<https://vortexbladeless.com/technology-design/>

<https://vortexbladeless.com/cost-effectiveness-analysis-bladeless/?highlight=power%20curve>

<https://www.forteachersforstudents.com.au/site/themed-curriculum/water-power/facts/>

<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-technology-basics>

<https://www.researchgate.net/publication/257352252>

<https://www.tovima.gr/2008/11/24/archive/o-efialtis-tis-leipsydrias-sta-nisia/>

<https://ithaki.gr/o-δήμος/ιστορία-του-δήμου/>

<https://ithaki.gr/o-δήμος/>

<https://sites.google.com/site/eptanisagr/zakynthos/leukada/kythera/ithake>

<http://www.hellenicaworld.com/Greece/Geo/gr/Ithaki.html>

<https://kefaloniageopark.gr/node/263>

<https://ithaki.gr/o-δήμος/γλωρίδα-και-πανίδα/>

<http://ikee.lib.auth.gr/record/114068/files/KASAPI.pdf>

<https://www.inkefalonias.gr/aytodiokisi/79050-stin-teliki-eftheia-i-kataskevi-monadas-afalatosis-stin-voreio-ithaki>

<https://www.inkefalonias.gr/aytodiokisi/93848-ithaki-egkrithike-nea-monada-afalatosis-gia-vathy-kai-peraxori>

<https://gtp.gr/LocInfo.asp?inford=42&IncludeWide=1&code=EGRIKF12&PrimeCode=EGRIKF12&Level=6&PrimeLevel=6&LocId=6235&lng=1>

<https://insete.gr/wp-content/uploads/2020/04/Περιφέρεια-Ιονίων-Νήσων.pdf>

<http://users.ntua.gr/dkoutso/courses/hydrometeo/2012BaltasEvap.pdf>

<https://vortexbladeless.com/cost-effectiveness-analysis-bladeless/?highlight=power%20curve>

<https://www.herox.com/blog/354-the-vortex-bladeless-wind-turbine>