



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Πτυχιακή Διατριβή

**«Βελτιστοποίηση Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων  
Πηγών Ενέργειας με την Ενσωμάτωση Τεχνικών  
Διαχείρισης Ενέργειας Τροφοδοτούμενες από Μοντέλα  
Τεχνητής Νοημοσύνης»**

**Γαλφυιανάκης Νικόλαος  
(2017030038)**

Εξεταστική Επιτροπή

ΑΝ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΥΦΤΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΑΝ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΟΥΤΡΟΥΛΗΣ ΕΥΤΥΧΙΟΣ

ΧΑΝΙΑ, 2024

"Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης".

## Ευχαριστίες

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή μου Γυφτάκη Κωνσταντίνο, ο οποίος προσέφερε πολύτιμη καθοδήγηση και στήριξη σε κάθε στάδιο της εκπόνησης του έργου μου.

Επιπλέον, επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Ευτύχιο Κουτρούλη, για τη συμμετοχή του ως μέλος της τριμελούς επιτροπής μου, καθώς και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γεώργιο Αραμπατζή, ο οποίος επίσης διατέλεσε μέλος της επιτροπής, για τις ουσιαστικές παρατηρήσεις και τη συμβολή τους στην αξιολόγηση της εργασίας μου.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Διδάκτορα κ. Νικόλαο Σηφάκη, η συνεργασία του οποίου υπήρξε εξαιρετικά πολύτιμη, παρέχοντας χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις που συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της διατριβής μου.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω το σημαντικότερο ευχαριστώ μου προς την οικογένεια μου και τους φίλους μου, των οποίων η αμέριστη στήριξη και ανιδιοτελής συμπαράσταση υπήρξαν θεμελιώδεις καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	5
Abstract .....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1. Γενική ιδέα – Κίνητρο εκπόνησης διπλωματικής εργασίας .....	7
1.2. Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας Μικροδικτύων .....	7
1.3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργεια.....	9
1.4. Χρήση Αλγορίθμων και Γενετικοί Αλγόριθμοι .....	10
1.5. Στόχος .....	13
1.6. Δομή επόμενων κεφαλαίων .....	13
2. Ανάλυση Βιβλιογραφίας .....	14
3. Μεθοδολογία .....	27
3.1 Περιγραφή περίπτωσης μελέτης .....	27
3.1.1 Ηλιακό δυναμικό περιοχής μελέτης .....	28
3.1.2 Αιολικό δυναμικό περιοχής μελέτης .....	29
3.1.3 Υδροδυναμικό περιοχής μελέτης .....	31
3.1.4 Ενεργειακό προφίλ περιοχής μελέτης .....	32
3.2 Δεδομένα προς συλλογή.....	33
3.2.1 NASA-Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) .....	34
3.2.2 PVGIS.....	34
3.3 Λογισμικά μοντελοποίησης.....	35
3.3.1 HOMER PRO .....	35
3.4 Τεχνολογίες Συστήματος.....	38
3.4.1 Φωτοβολταϊκό (Φ/Β) πλαίσιο.....	38
3.4.2 Ανεμογεννήτρια (Α/Γ) .....	39
3.4.3 Υδροκινητική Γεννήτρια (Υ/Γ).....	40
3.5 Σχηματισμός Αντικειμενικής Συνάρτησης .....	42
3.6 Περιγραφή λειτουργίας Αλγορίθμου.....	43
3.7 Δείκτες Σύγκρισης.....	45
3.8 Σενάρια προς μοντελοποίηση.....	46
4. Αποτελέσματα.....	48
4.1 Σενάριο 0: Μόνο Δίκτυο .....	48
4.2 Σενάριο 1: Προσομοίωση λειτουργίας Homer σε περιβάλλον Python .....	50
4.3 Σενάριο 2: Βελτιστοποίηση λειτουργίας Homer σε περιβάλλον Python .....	54

4.4 Σενάριο 3: Προσομοίωση λειτουργίας Homer σε περιβάλλον Python με Net Metering .....	58
4.5 Σενάριο 4. :Βελτιστοποίηση λειτουργίας Homer σε περιβάλλον Python με Net Metering .....	62
4.6 Σενάριο 5: Βελτιστοποίηση λειτουργίας Homer σε περιβάλλον Python με Net Metering 2.0 .....	66
4.7 Σύγκριση σεναρίων .....	70
5. Συμπεράσματα .....	73
5.1. Ανάλυση Αποτελεσμάτων .....	73
5.2. Προτάσεις για το μέλλον.....	74
6. Βιβλιογραφία .....	75
7 Παράρτημα.....	79
Κατάλογος Εξισώσεων.....	84
Κατάλογος Πινάκων.....	85
Κατάλογος Εικόνων .....	85

## Περίληψη

Στις μέρες μας εξαιτίας της ολοένα και αυξανόμενης ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια καθώς και της αύξησής του κόστους λειτουργίας των δικτύων διανομής, η χρήση μεθόδων και τεχνολογιών για συστήματα διαχείρισης ενέργειας κρίνεται αναγκαία. Η ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι υψίστης σημασίας για την επίτευξη της μείωσης του κόστους ενέργειας. Ωστόσο η χρήση των ΑΠΕ παρουσιάζει τις δικές της προκλήσεις καθώς η παραγωγή ενέργειας τους είναι διεσπαρμένη και εισάγει τεχνικές δυσκολίες και αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος.

Η παρούσα διπλωματική διατριβή μελετάει την βελτιστοποίηση ενός υβριδικού συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας εφαρμόζοντας τεχνικές βασισμένες σε τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης. Αρχικά, συλλέγονται από την ιστοσελίδα της NASA και του PVGIS τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής καθώς και τα ωριαία δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να προσδιοριστεί το ενεργειακό προφίλ της περιοχής μελέτης. Στην συνέχεια τα δεδομένα αξιοποιήθηκαν από το λογισμικό Homer Pro, ψάχνοντας την μέγιστη λύση για την μείωση του ενεργειακού κόστους. Οι κύριες ρυθμιστικές παράμετροι των σεναρίων προσομοίωσης απευθύνονταν στις πηγές παραγωγής ενέργειας (Φωτοβολταϊκά πλαίσια, ανεμογεννήτριες, υδροκινητικές γεννήτριες) καθώς και στην εφαρμογή ή όχι της τεχνολογίας Net Metering. Έπειτα έγινε βελτιστοποίηση με την χρήση γενετικών αλγορίθμων(Genetic Algorithms,GA) και σύγκριση των δυο μεθόδων με βάση οικονομικούς δείκτες. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται λεπτομερώς, με σκοπό να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου των γενετικών αλγορίθμων(GA). Τέλος αναφέρονται ενδεικτικά ιδέες προς μελλοντική έρευνα.

## **Abstract**

Due to the ever-increasing demand for electricity and the rising cost of operating distribution networks, the use of methods and technologies for energy management systems is deemed necessary. The integration of Renewable Energy Sources (RES) is of utmost importance for achieving the reduction of energy costs. However, the use of RES presents its own challenges, as their energy production is dispersed, introducing technical difficulties, and increasing the complexity of the system.

This thesis studies the optimization of a hybrid Renewable Energy Sources system by applying techniques based on artificial intelligence technologies. Initially, meteorological data from the NASA website and PVGIS, as well as hourly electricity consumption data, are collected to determine the energy profile of the study area. Then, the data is utilized by the Homer Pro software, seeking the optimal solution for reducing energy costs. The main regulatory parameters of the simulation scenarios addressed the energy production sources (Photovoltaic panels, wind turbines, hydrokinetic generators), as well as the application or absence Net Metering technology. Subsequently, optimization was performed using Genetic Algorithms (GA), and the two methods were compared based on economic indicators. The simulation results are presented in detail, aiming to evaluate the effectiveness of the Genetic Algorithms (GA) method. Finally, indicative ideas for future research are mentioned.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. Γενική ιδέα – Κίνητρο εκπόνησης διπλωματικής εργασίας

Τα τελευταία χρόνια και ιδιαίτερα στις μέρες μας η ενέργεια θεωρείται ένα απαραίτητο αγαθό και πλέον οι παραδοσιακές πηγές ενέργειας αποτελούν μη βιώσιμη επιλογή προς εκμετάλλευση, οπότε η στροφή προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και η πιο συστηματική τους χρήση αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για χρήση ηλεκτρικής ενέργειας έχει πλήξει σε μεγάλο βαθμό τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία προσπαθούν να εξισορροπήσουν την ζήτηση και την προσφορά ενέργειας. Αυτή η ισορροπία είναι βασικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα και αξιοπιστία του δικτύου, καθώς όταν δεν τηρείται μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα, όπως είναι οι διακοπές ηλεκτροδότησης και οι αυξομειώσεις τάσης.

Στην χώρα μας η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με τους εξής δύο τρόπους, το κύριο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο τροφοδοτεί με ενέργεια την ηπειρωτική χώρα και δεύτερον από τα εκάστοτε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας του κάθε νησιού. Τα περισσότερα νησιά δεν είναι συνδεδεμένα με το κύριο δίκτυο και έτσι καταλήγουν να συντηρούνται από αυτόνομους ηλεκτροπαραγωγικούς μικροσταθμούς, οι οποίοι κυρίως λειτουργούν με τους συμβατικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας. Κάποια από αυτά είναι οι κινητήρες εσωτερικής καύσης οι οποίοι λειτουργούν με μαζούτ και οι αεριοστρόβιλοι. Ωστόσο αυτές οι μέθοδοι παραγωγής ενέργειας έχουν ως αποτέλεσμα την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων CO<sub>2</sub> το οποίο είναι επιβλαβές για το περιβάλλον.

Ευρωπαϊκές έρευνες έχουν δείξει ότι με την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα μικροδίκτυα μπορεί να επιτευχθεί μέχρι και 60% μείωση των εκπομπών του CO<sub>2</sub> σε συγκεκριμένες περιοχές και επιπλέον αν υποστηρίζονται και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει και το 70%.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την δημιουργία μιας μεθοδολογίας βάσει της οποίας γίνεται χρήση γενετικών αλγορίθμων για την μείωση του κόστους ενέργειας σε ένα μικροδίκτυο. Η λογική του αλγορίθμου είναι ότι καθορίζει την ελάχιστη δυνατή τιμή ζητούμενης ισχύος της κάθε πηγής λαμβάνοντας υπόψη ότι το φορτίο θα πρέπει να καλύπτεται κάθε ώρα της μέρας. Σκοπός είναι να ερευνηθεί κατά πόσο η βελτιστοποίηση με βάση τους γενετικούς αλγόριθμους μπορεί να ελαχιστοποιήσει το ενεργειακό κόστος και ταυτόχρονα να πετύχει ικανοποιητικό ποσοστό ενσωμάτωσης ΑΠΕ.

## 1.2. Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας Μικροδικτύων

Το ΣΔΕΜ(Σύστημα διαχείρισης ενέργεια μικροδικτύων) είναι ένα σύστημα ελέγχου που εγκαθίσταται σε μικροδίκτυο με σκοπό να παρακολουθεί και να ελέγχει διάφορα υποσυστήματα του ΜΔ όπως:

- Ροή ενέργειας
- Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας
- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας



Ένα ΣΔΕΜ απαρτίζεται από Software και Hardware και χρησιμοποιεί διάφορα ανοικτά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως :

- Modbus: Πρωτόκολλο επικοινωνίας που αναπτύχθηκε αρχικά για προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC).
- DNP3(Distributed Network Protocol): πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)
- IEC 61850: διεθνές πρωτόκολλο για την αυτοματοποίηση των ηλεκτρικών υποσταθμών αλλά έχει επεκταθεί σε τομείς μικροδίκτυα.
- IEEE 2030.5(SEP 2.0):Είναι γνωστό και ως Smart Energy Profile 2.0 και είναι ένα πρωτόκολλο που προορίζεται για την διαχείριση ενέργειας σε δίκτυα και μικροδίκτυα.

Μέσω αυτών γίνονται διαθέσιμο πλήθος δυνατοτήτων, εκ των οποίων αναφέρουμε:

- Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο
- Καταγραφή μεγεθών-μετρήσεων συναρτήσει του χρόνου
- Ασφαλή μετάδοση δεδομένων
- Δυνατότητα αποθήκευσης και αναμετάδοσης δεδομένων σε περίπτωση απώλειας σύνδεσης.
- Διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφόρων συσκευών και συστημάτων.

Μια βασική λειτουργία του ΣΔΕΜ είναι να ελέγχει και να ισορροπεί την παραγόμενη ενέργεια και ταυτόχρονα την ζήτηση με σκοπό να υπάρχει σταθερή και αξιόπιστη ροή ενέργειας. Επίσης συμβάλει στην ομαλή ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς είναι πιο απρόβλεπτες στην παραγωγή ενέργειας σε σύγκριση με τα συμβατικά μέσα. Επιπλέον βελτιστοποιεί την χρήση του αποθηκευτικού συστήματος ενέργειας με τα να καθορίζει την φόρτιση και εκφόρτωση του παρακολουθώντας την ζήτηση και την τιμή ενέργειας. Μια άλλη λειτουργία είναι ότι μπορεί να βελτιώνει το κόστος της παραγόμενης ενέργειας με το να καθορίζει ποιες πηγές θα παράγουν ενέργεια έχοντας ως κριτήριο την τιμή της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, ευκαιρίες εμπορίου-ανταλλαγής ενέργειας. Τέλος μπορούν να μειώνουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub> με το να βασίζονται περισσότερο στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παραγωγή.

Μικροδίκτυα που χρησιμοποιούν ΣΔΕΜ παρουσιάζουν εξοικονόμηση συνολικού κόστους παραγωγής ενέργειας περίπου 20-25% και στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται και σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, μπορεί να φτάσει και μέχρι το 40%.Επίσης εμφανίζουν δυνατή μείωση στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Όσον αφορά το κόστος των παραπάνω συστημάτων υπάρχουν τα ‘φθηνά’ συστήματα-προγράμματα SCADA με επαρκή ικανότητα διασύνδεσης και υπάρχουν και τα ακριβά συστήματα με άπειρη ικανότητα διασύνδεσης.

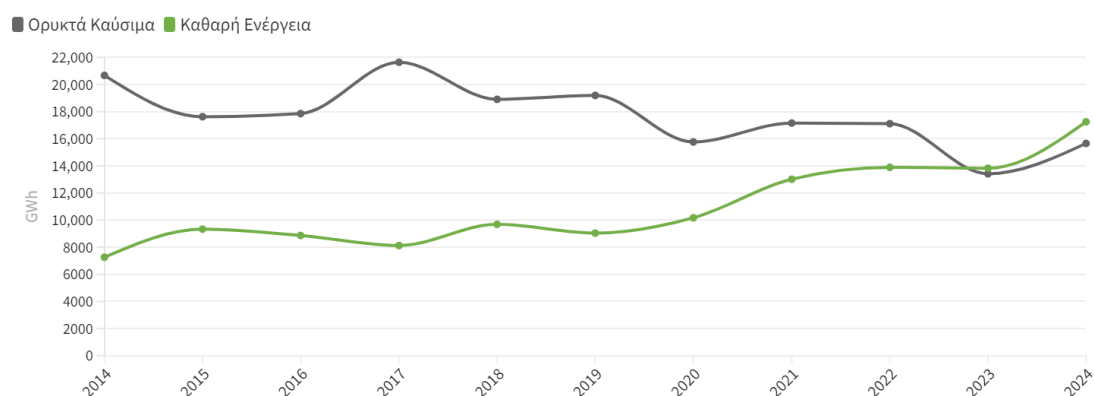
### 1.3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργεια

Κρίσιμο και ουσιαστικό παράγοντα στην εξοικονόμηση κόστους παραγωγής ενέργειας και στην μείωση των ρύπων διαδραματίζει η ενσωμάτωση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) σε ένα μικροδίκτυο.

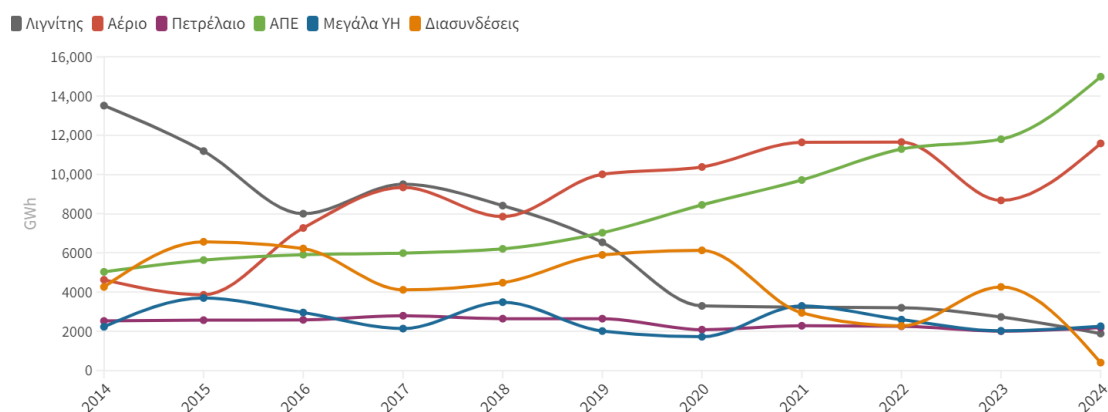
Από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης ο άνθρωπος βασίζεται στις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας, οι οποίες αποτελούνται κυρίως από ορυκτά καύσιμα. Μπορεί αυτές οι μέθοδοι να έχουν αποτελέσει κινητήριες δυνάμεις της εξέλιξης της ανθρωπότητας, ωστόσο έχουν αποδειχθεί αρκετά επιβλαβής τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον άνθρωπο. Ο περιορισμός των εκπομπών CO<sub>2</sub> και στην συνέχεια η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, έστω και τοπικής μας προτρέπει σε πηγές χαμηλής εκπομπής ρύπων δηλαδή σε τεχνολογίες και μεθόδους βασισμένες στις ΑΠΕ.

Οι ΑΠΕ όπως η ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, βιομάζα και γεωθερμική ενέργεια έχουν το δυναμικό να παράσχουν φιλικές προς το περιβάλλον ενεργειακές λύσεις, οι οποίες βασίζονται στην χρήση των διαθέσιμων πόρων της εκάστοτε περιοχής.

Στην Ελλάδα παρατηρούμε μια συνεχή αύξηση όσον αφορά την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο συνολικό ενεργειακό μείγμα τις χώρας. Συγκεκριμένα στο **Εικόνα 1**, παρουσιάζεται το ενεργειακό μείγμα των πρώτων 7 μηνών για την δεκαετία 2014-2024 (admie.gr)[1]. Ως ορυκτά καύσιμα θεωρούνται ο λιγνίτης, το ορυκτό αέριο και το πετρέλαιο και ως καθαρή ενέργεια ορίζονται τα αιολικά, Φωτοβολταϊκά, υδροηλεκτρικά και βιομάζα. Στην **Εικόνα 2**, φαίνεται η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια της κάθε πηγής ανά έτος αλλά και η ενέργεια λόγω διασυνδέσεων για την δεκαετία 2014-2024[2]. Παρόλο που σημειώνεται σημαντική στροφή προς τις ΑΠΕ και το φυσικό αέριο, το οποίο παρότι κατατάσσεται ως ορυκτό καύσιμο, δεν είναι τόσο επιβλαβές κατά την καύση του όσο ο λιγνίτης, η Ελλάδα οφείλει να επενδύσει στην περαιτέρω ανάπτυξη των υποδομών των ΑΠΕ ώστε να επιτύχει τους κλιματικούς της στόχους.



**Εικόνα 1.** Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για τους πρώτους 7 μήνες κάθε έτους για την δεκαετία 2014-2024 (admie.gr)



Εικόνα 2 Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για τους πρώτους 7 μήνες κάθε έτους για την δεκαετία 2014-2024(admic.gr)

## 1.4. Χρήση Αλγορίθμων και Γενετικοί Αλγόριθμοι

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης μελέτης καθώς και για την μοντελοποίηση ενός μικροδικτύου είναι αναγκαία η χρήση προγραμμάτων. Ένα πρόγραμμα για να λειτουργήσει βασίζεται σε αλγορίθμους, χωρίς αυτούς δεν μπορεί να εκτελεστεί και να βγάλει αποτελέσματα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν υπάρχοντες αλγόριθμοι μέσω προγραμμάτων αλλά και νέοι, πιο συγκεκριμένα αναπτύχθηκαν γενετικοί αλγόριθμοι για να υπολογίσουν και να ολοκληρώσουν τις επιθυμητές μετρήσεις.

Στους σημερινούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές ένα πρόγραμμα αποτελείται από μια διατεταγμένη ακολουθία οδηγιών-εντολών, τις οποίες ο υπολογιστής εκτελεί με την σειρά που έχει οριστεί.

Όσον αφορά την επιστήμη των υπολογιστών ο αλγόριθμος είναι ένα αυτόνομο σύνολο εντολών που πρέπει να εκτελεστούν, έως ώστε να πάρουμε τους εκάστοτε υπολογισμούς. Αυτή η διαδικασία γίνεται μέσα σε οριοθετημένο χώρο και χρόνο και με την χρήση μια καλής γλώσσας προγραμματισμού. Η γενική λειτουργία ενός αλγορίθμου είναι η εξής: Αφού ξεκινήσουμε από μια αρχική κατάσταση και αρχική είσοδο δεδομένων, οι εντολές που έχουμε ορίσει και αφορούν τον εκάστοτε υπολογισμό, εκτελούνται με διαδοχική σειρά και παράγουν εξόδους. Έπειτα από ένα πεπερασμένο αριθμό καταστάσεων καταλήγουμε στην τελική κατάσταση στην οποία παίρνουμε και τις τελικές εξόδους- αποτελέσματα. Η σειρά των βημάτων δεν είναι απαραίτητα προκαθορισμένη-ντετερμινιστική καθώς υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι, οι οποίοι ονομάζονται τυχαίοι και δέχονται τυχαίες εισόδους και όχι μόνο εισόδους που έχει ήδη ορίσει ο χρήστης.

Οι αλγόριθμοι είναι πολύ σημαντικοί για τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και την σωστή λειτουργία τους. Τα περισσότερα προγράμματα των υπολογιστών αποτελούνται από αλγορίθμους οι οποίοι είναι πλήρως αναλυτικοί ως προς τις εντολές και την σειρά με την οποία πρέπει να εκτελεστούν από τον υπολογιστή έτσι ώστε να ολοκληρώσουν ένα συγκεκριμένο έργο-στόχο.

Συνήθως όταν ο αλγόριθμος αφορά επεξεργασία δεδομένων, οι πληροφορίες που δέχεται ως είσοδο είτε θα καταλήγουν σε κάποια έξοδο είτε θα αποθηκεύονται για επεξεργασία. Αυτά τα δεδομένα θεωρούνται μέρος της εσωτερικής διαδικασίας του αλγορίθμου.

Επομένως ένας αλγόριθμος θα πρέπει να δημιουργείται με έμφαση στην αυστηρότητα, λεπτομέρεια και σαφή σειρά των βημάτων και διαδικασιών που θα πρέπει να εκτελέσει για να μπορέσει να καλύψει όλες τις πιθανές συνθήκες που μπορούν να προκύψουν.

Οι αλγόριθμοι έχουν μεγάλη ποικιλία χρήσεων με μια πολύ σημαντική από αυτές να είναι η βελτιστοποίηση. Βελτιστοποίηση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία μια ιδέα, εργασία γίνεται καλύτερη. Η βελτιστοποίηση λειτουργεί με το σκεπτικό ότι προσπαθούμε να αλλάξουμε μια αρχική ιδέα μέσα από δεδομένα που προέκυψαν για να γίνει καλύτερη. Ο υπολογιστής είναι το ιδανικό μέσο για να την μεθοδολογία αυτή. Έτσι αφού δώσουμε κάποια δεδομένα στον υπολογιστή ως είσοδο αυτός μας δίνει μια λύση. Αυτή η λύση αρκετές φορές δεν είναι μοναδική αλλά ούτε και η καλύτερη καθώς αυτό έχει να κάνει με τα εκάστοτε κριτήρια του προβλήματος και τις παραδοχές που έχει ορίσει ο χρήστης που θα πρέπει να υλοποιήσει την ιδέα αυτή.

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (ΓΑ) αποτελούν μια κατηγορία αλγορίθμων βελτιστοποίησης και αναζήτησης και είναι εμπνευσμένοι από τις αρχές της φυσικής εξέλιξης και της γενετικής. Αναπτύχθηκαν από τον John Holland την δεκαετία του 1970 με αφορμή τις έννοιες της επιβίωσης του ισχυρότερου και της εξέλιξης των ειδών όπως περιγράφει ο Δαρβίνος. Οι ΓΑ λειτουργούν, **Εικόνα 3** [3] ως εξής:

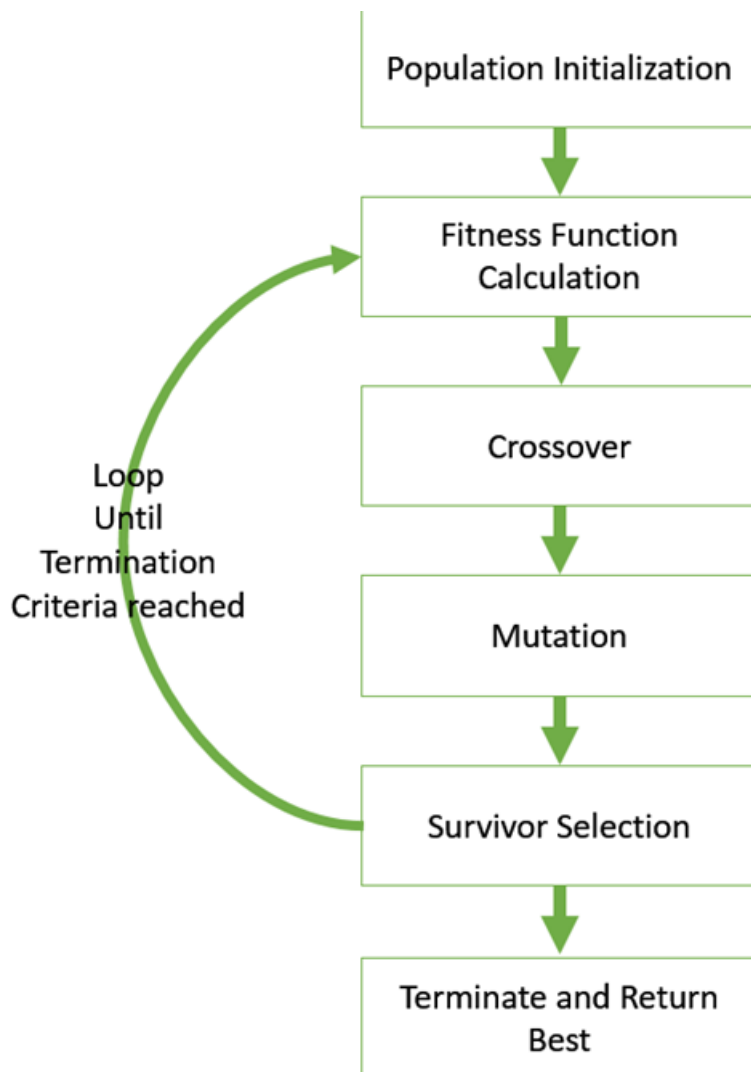
- Αρχικοποίηση Πληθυσμού: Ο αρχικός πληθυσμός λύσεων που στην προκειμένη περίπτωση λέγεται χρωμοσώματα δημιουργείται είτε τυχαία είτε με συγκεκριμένες παραμέτρους.
- Εκτίμηση Καταλληλότητας: Τα χρωμοσώματα αξιολογούνται το καθένα ξεχωριστά βάσει μιας συνάρτησης καταλληλότητας (fitness function), η οποία καθορίζει πόσο καλή είναι η λύση που αντιπροσωπεύει το κάθε χρωμοσώμα.
- Επιλογή: Τα πιο “κατάλληλα” χρωμοσώματα προχωρούν σε αναπαραγωγή με κριτήριο την πιθανότητα που συνδέεται με το πόσο μεγάλη τιμή έχει η καταλληλότητα τους.

Όσον αφορά τις γενετικές λειτουργίες του αλγορίθμου έχουμε: Πρώτον η Διασταύρωση (crossover) το οποίο σημαίνει ότι δύο χρωμοσώματα ανταλλάσσουν κάποια τμήματα της πληροφορίας τους με σκοπό να παράγουν απογόνους. Δεύτερον η Μετάλλαξη, δηλαδή τυχαίες αλλαγές εφαρμόζονται σε κάποια από τα χρωμοσώματα, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μια ποικιλία μέσα στον πληθυσμό. Έπειτα από τις δύο παραπάνω λειτουργίες που πραγματοποιούνται μετά την επιλογή ακολουθούν:

- Νέος Πληθυσμός: Ο νέος πληθυσμός που δημιουργείται από τους απογόνους ακολουθεί την διαδικασία ξεκινώντας την εκτίμηση καταλληλότητας.
- Τερματισμός: Η όλη διαδικασία τερματίζει όταν ικανοποιείται κάποιο κριτήριο σύγκλισης, όπως να βρεθεί μια ικανοποιητική λύση μετά το πέρας ενός καθορισμένου αριθμού γενεών.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι αρκετά διαδεδομένοι σε προβλήματα βελτιστοποίησης διότι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με αλγορίθμους βελτιστοποίησης, από τα οποία αναφέρονται:

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προβλήματα σύνθετα και με μη γραμμικές δομές.
- Έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να βρουν μια ολική βέλτιστη λύση λόγω των λειτουργιών της διασταύρωσης και μετάλλαξης.
- Είναι εκ φύσεως παράλληλοι, δηλαδή πολλαπλές λύσεις αξιολογούνται ταυτόχρονα.
- Εξερεύνηση ευρύτερου χώρου αναζήτησης.
- Χειρίζονται διαφορετικούς τύπους αναπαράστασης λύσεων: δυαδική, αριθμητική, δένδρα και γραφήματα.
- Βρίσκουν βέλτιστες λύσεις σε προβλήματα πολλαπλών στόχων.



**Εικόνα 3** Τυπικό Διάγραμμα Ροής Γενετικού Αλγορίθμου

## **1.5. Στόχος**

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης για την βελτιστοποίηση ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι επιμέρους στόχοι είναι οι εξής:

- Μελέτη και ανάλυση του συστήματος στο λογισμικό Homer Pro[4].
- Μοντελοποίηση του συστήματος στην γλώσσα προγραμματισμού Python και μαθηματική ανάλυση μοντέλου κόστους ενέργειας του συστήματος.
- Εκτίμηση της βέλτιστης δυνατής μείωσης ενεργειακού κόστους με χρήση μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης και πιο συγκεκριμένα γενετικών αλγορίθμων.

## **1.6. Δομή επόμενων κεφαλαίων**

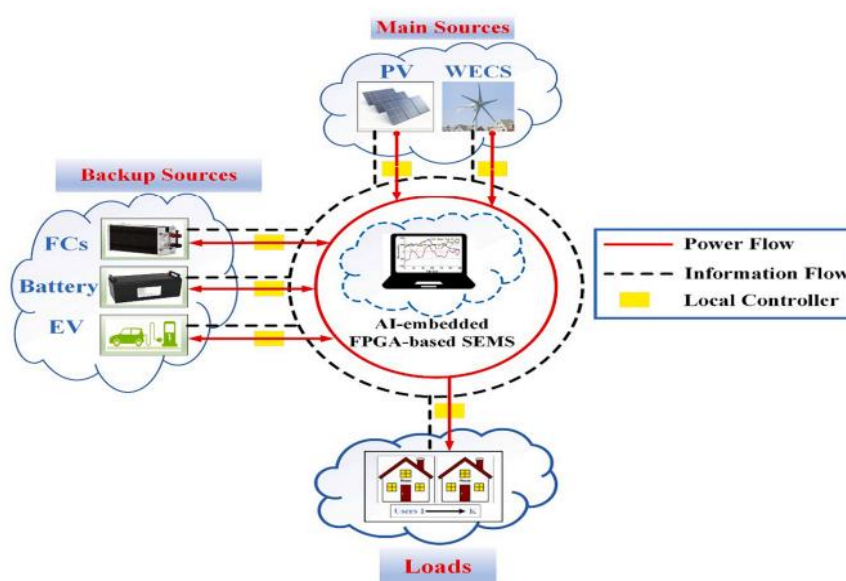
Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια σύνοψη της τρέχουσας βιβλιογραφίας όσον αφορά τις μελέτες που έχουν γίνει στο ζήτημα της μείωσης του κόστους και διαδικασίας ενσωμάτωσης ΑΠΕ. Για την εκάστοτε μελέτη γίνεται μια σύντομη παρουσίαση που εστιάζει στα πιο σημαντικά της στοιχεία. Στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση της περίπτωσης μελέτης της παρούσας εργασίας και παράλληλα παρατίθεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε καθώς και τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Στην συνέχεια στο έκτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα. Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο καταγράφονται όλες οι βιβλιογραφικές πηγές, οι οποίες και λήφθηκαν υπόψιν στα προαναφερθείσα κεφάλαια.

## 2. Ανάλυση Βιβλιογραφίας

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες και μελέτες όσον αφορά την σχεδίαση συστημάτων διαχείρισης ενέργειας μικροδικτύων αλλά και γενικά συστημάτων διαχείρισης ενέργειας. Κάθε σύστημα οφείλουμε να το αντιμετωπίζουμε με μοναδικό τρόπο, καθώς κάθε μια μελέτη-εργασία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και τις δικές της ιδιαιτερότητες.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια ανασκόπηση μερικών από αυτές τις έρευνες με σύντομο τρόπο. Σκοπός της ανασκόπησης αυτής θα είναι να παρουσιαστούν τα σημαντικότερα στοιχεία της κάθε επιμέρους μελέτης, με κάθε αναφορά να έχει έκταση μιας παραγράφου. Επίσης να επισημανθεί ότι όλες οι αναφερόμενες μελέτες έχουν δημοσιευτεί σε επιστημονικά περιοδικά, οπότε είναι αξιόπιστες και χρήσιμες πηγές για την κατανόηση του αντικειμένου προς μελέτη.

Αρχικά καλή δουλειά έχει γίνει μέσα από την συνεργασία του πανεπιστημίου του Ryukyus στην Ιαπωνία και του πανεπιστημίου Zagazig , οι οποίοι πρότειναν ένα ΣΔΕΜ για μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας FPGA(μικροελεγκτής) και αλγορίθμους πολλαπλών στόχων για ένα απομονωμένο μικροδίκτυο της επαρχίας Αλ Σαρκία της Αιγύπτου. Στην **Εικόνα 4**, παρουσιάζεται το διάγραμμα του προτεινόμενου συστήματος. Αφού αναλύθηκαν διάφορα σενάρια αποδείχθηκε ότι η χρήση του FPGA και των αλγορίθμων πολλαπλών στόχων βελτιώνει αρκετά την ισορροπία μεταξύ κατανάλωσης ενέργειας και αξιοπιστίας του συστήματος καθώς το σύστημα μπορεί και προσαρμόζεται σε δυναμικές αλλαγές στη ζήτηση ενέργειας. Ως μελλοντική μελέτη προτείνεται η επέκταση της μελέτης σε μεγαλύτερα και πιο σύνθετα συστήματα καθώς και ενσωμάτωση λειτουργιών IOT(internet of things) ώστε να γίνει καλύτερη η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων.( M.H. Elkholy et al,2023)[5].



Εικόνα 4.Διάγραμμα Προτεινόμενου Συστήματος με FPGA

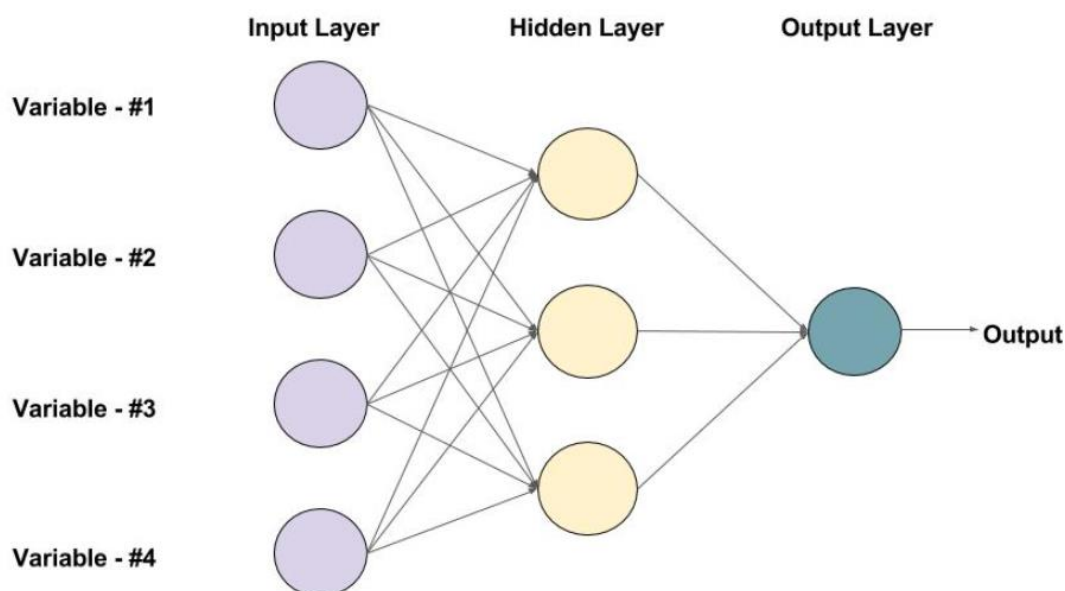
Ο S. Gupta επιχείρησε να εφαρμόσει ενσωματωμένους στοχαστικούς αλγορίθμους βελτιστοποίησης για την βέλτιστη συντονισμένη λειτουργία ενός μικροδικτύου στην Ινδία, το οποίο αποτελείται από ελεγχόμενα και μη ελεγχόμενα φορτία, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, ΑΠΕ, υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα με δυνατότητα φόρτισης (Plug-In Hybrid Electric Vehicles, PHEVs) και έξυπνους μετασχηματιστές. Τα παραπάνω μοντελοποιούνται με στοχαστικές διαδικασίες και μέσω της μεθόδου του Hong's 2m point estimate προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει το κόστος λειτουργίας ικανοποιώντας παράλληλα διάφορους περιορισμούς. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι το κόστος λειτουργίας μειώθηκε κατά 17.53%-17.74% και οι απώλειες του συστήματος μειώθηκαν κατά 39.49%-31.36% επαληθεύοντας την ικανότητα του αλγορίθμου να βελτιστοποιεί το ΣΔΕΜ. Όσον αφορά την μελλοντική δουλειά προτείνεται να γίνει περαιτέρω ανάπτυξη των στοχαστικών μοντέλων, διερεύνηση της λειτουργίας του μοντέλου αυτού σε πιο πολύπλοκα συστήματα και να μελετηθεί κατά πόσο είναι περιβαλλοντικά ωφέλιμο. (S. Gupta et al, 2021)[6].

Ο M. Casini ασχολήθηκε με βιομηχανικά μικροδίκτυα στην Ιταλία, τα οποία είναι μικροδίκτυα που περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων εγκαταστάσεις καταναλωμένης παραγωγής και βιομηχανικά ηλεκτρικά οχήματα. Στόχος της έρευνας ήταν η ανάπτυξη ενός βέλτιστου συστήματος διαχείρισης ενέργειας για να μειωθεί το κόστος λειτουργίας και παράλληλα να εγγυάται η σταθερότητα του δικτύου και να ικανοποιούνται διάφοροι τεχνικοί περιορισμοί. Η προσέγγιση του έγινε μέσα από τα εξής στάδια. Εφάρμοσε την μέθοδο Receding Horizon Framework η οποία περιέχει βέλτιστες δυναμικές εξισώσεις ροής ισχύος που επιτρέπουν τη συνεχή προσαρμογή στα νέα δεδομένα. Για να διαχειριστεί την αβεβαιότητα που προκύπτει εξαιτίας των ηλεκτρικών οχημάτων εφαρμόζει τις μεθόδους Chance Constraint, Convex Relaxation και Worst Case Conditional Value at Risk (CvaR), ώστε να κάνει το πρόβλημα πιο εύκολα υπολογίσιμο. Τέλος στις προσομοιώσεις χρησιμοποιεί μεθόδους διακριτού χρόνου με συγκεκριμένους χρόνους δειγματοληψίας για να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα και την υπολογιστική ικανότητα της μεθοδολογίας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η προσέγγιση του διαλέγει κάθε φορά τη πιο οικονομικά συμφέρουσα πηγή για την παραγωγή ενέργειας, μπορεί να ελέγξει αποτελεσματικά την δυναμική λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων και προσφέρει ανθεκτικότητα (Robustness) στην αυξανόμενη ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων. (M. Casini et al, 2019)[7].

Ο G.k. Venayagamoorthy παρουσίασε ένα έξυπνο δυναμικό ΣΔΕ Intelligent Dynamic Energy Management System, (I-DEMS), το οποίο εφαρμόζει εξελικτική μάθηση (evolutionary learning) και προσαρμοστικό δυναμικό προγραμματισμό (adaptive dynamism programming) για να λύσει δυναμικά προβλήματα βελτιστοποίησης σε ΣΔΕ. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποίησε τις εξής μεθόδους. Το I-DEMS χρησιμοποιεί Action-Dependent ευρετικό δυναμικό προγραμματισμό για την πρόβλεψη και τον έλεγχο του μοντέλου. Επίσης κάνει χρήση feedforward πολυστρωματικών perceptron (είδος νευρωνικού δικτύου), όπως φαίνεται στην **Εικόνα 5** για να



αναβαθμίζει τα βάρη του συστήματος. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του I-DEMS συγκρίθηκαν με δυναμικό ΣΔΕ βασισμένο σε δένδρα αποφάσεων, Decision Tree DEMS(D-DEMS), και έδειξαν ότι το πρώτο ξεπέρασε σε επιδόσεις το δεύτερο σε ότι αφορά την διαχείριση της διανομής ενέργειας υπό διάφορες συνθήκες, δείχνοντας την ανθεκτικότητα και ευελιξία της μεθόδου. (G.k. Venayagamoorthy et al, 2016)[8].



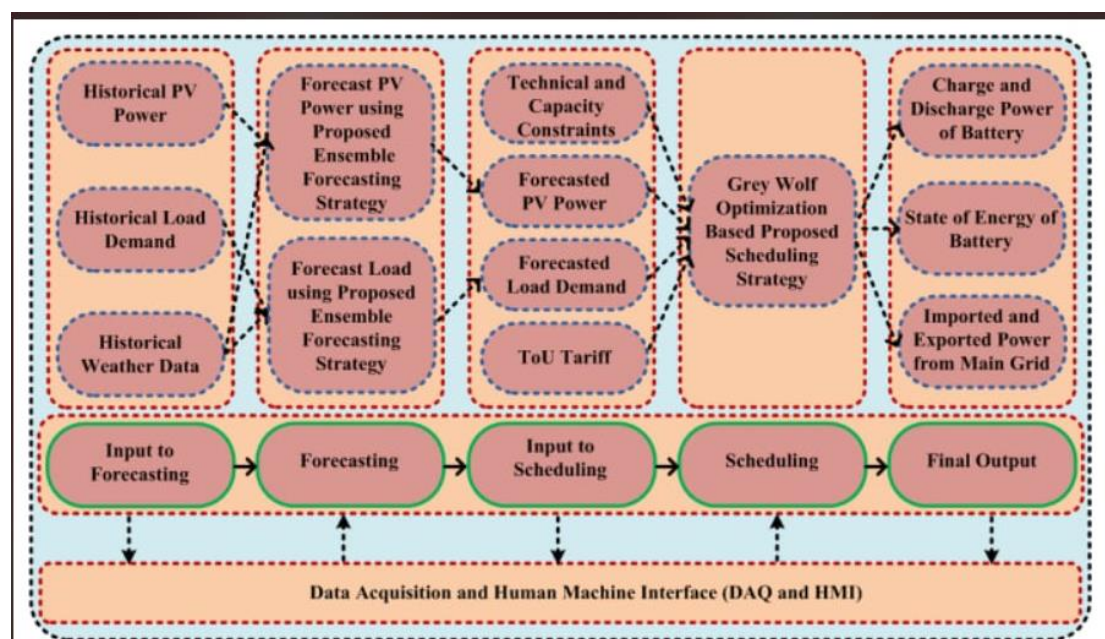
**Εικόνα 5** Σχηματική όψη ενός νευρωνικού δικτύου προώθησης

Ο Α. Merabet ερεύνησε την ανάπτυξη ενός ΣΔΕ συγκεκριμένα για ανανεώσιμα υβριδικά μικροδίκτυα ενέργειας. Η μελέτη αυτή αποσκοπεί στην μείωση του κόστους λειτουργίας, την μεγιστοποίηση χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ενίσχυση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Για την επίτευξη αυτού στόχου χρησιμοποιήθηκαν προηγμένοι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης, οι οποίοι εφαρμόζουν λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και πιο συγκεκριμένα είναι οι : Γραμμικός Προγραμματισμός, Μικτός -Ακέραιος Γραμμικός προγραμματισμός και Δυναμικός προγραμματισμός. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα επιτεύχθηκε μείωση κόστους της τάξης του 26%, αυξημένη ενσωμάτωση ΑΠΕ και βελτιωμένη χρήση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. (A. Merabet et al, 2021)[9].

Ο Μ.Η Elkholly ασχολήθηκε με τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός ΣΔΕ πραγματικού χρόνου ειδικά για απομονωμένα μικροδίκτυα. Το κίνητρο πίσω από την έρευνα αυτήν είναι οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα απομονωμένα μικροδίκτυα όπως είναι η ισορροπία μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ενέργειας και η σταθερότητα και αξιοπιστία του δικτύου. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μέθοδοι. Αρχικά μέσω του αλγορίθμου πρόβλεψης φορτίου (Load Forecasting), ο οποίος προβλέπει το μελλοντικό φορτίο με βάση ιστορικά δεδομένα και υπάρχουσες συνθήκες, προγραμματίζεται η διανομή ενέργειας έτσι ώστε να καλύπτει την αναμενόμενη ζήτηση. Επίσης με αλγορίθμους για την διαχείριση απόκρισης ζήτησης (Demand Response Management) προσαρμόζει τα μοντέλα κατανάλωσης ενέργειας και μειώνει την μέγιστη ζήτηση. Τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα είναι ότι η προτεινόμενη

μεθοδολογία μπόρεσε να διαχειριστεί σε πραγματικό χρόνο το απομονωμένο μικροδίκτυο και πραγματοποιήθηκε σωστή πρόβλεψη φορτίου που οδήγησε σε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.( M.H Elkholy et al,2022)[10].

Ο U.B Tayab πρότεινε την δημιουργία ενός προηγμένου ΣΔΕ για ένα επαρχιακό μικροδίκτυο με σκοπό να διαχειρίζεται τα υποσυστήματα πρόβλεψης και προγραμματισμού όπως φαίνεται στην **Εικόνα 6**. Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της πρόβλεψης μέσω συνόλου ( Ensemble Forecasting) για την βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και ζήτηση ενέργειας. Όσον αφορά το σύστημα του προγραμματισμού βασίστηκε στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης Grey Wolf Optimization(GWO),με τον οποίο σκοπεύει να ελαχιστοποιήσει το κόστος λειτουργίας του διασυνδεδεμένου στο δίκτυο μικροδικτύου. Για την επαλήθευση της μεθοδολογίας προσομοίωσε το σύστημα στην γλώσσα προγραμματισμού Python και με την βοήθεια ενός Raspberry Pi 3B+. Έπειτα σύγκρινε τα αποτελέσματα με μεθόδους όπως νευρωνικό δίκτυο με ανάδραση(back-propagation neural network) και βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων βασισμένη σε τεχνητό νευρωνικό δίκτυο( Particle Swarm Optimization based artificial neural network PSO-ANN) για διαφορετικά σενάρια, τα οποία και έδειξαν ότι η προτεινόμενη μελέτη υπερσχύει των προαναφερθεισών.( U.B Tayab et al. 2021)[11].



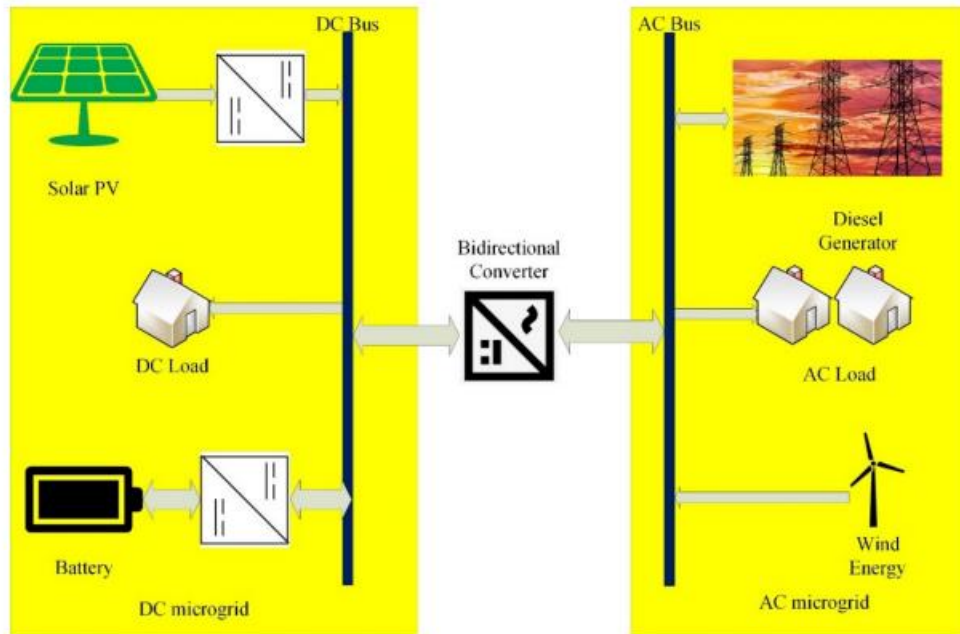
**Εικόνα 6** Προτεινόμενο Σύστημα Διαχείριση Ενέργεια Μικροδικτύου.

Ο I. M. Abdelqawee μελέτησε ένα υβριδικό σύστημα έκτακτης ανάγκης το οποίο απαρτίζεται από κυψέλες καυσίμου, μπαταρίες και υπερπυκνωτές με στόχο να μειώσει την κατανάλωση του υδρογόνου και να αυξήσει την διάρκεια ζωής των πηγών ενέργειας του συστήματος. Η προσέγγιση του έγινε με τη χρήση ενός ελεγκτή αναλογικής ολοκληρωτικής (Proportion Integral), ο οποίος εξασφάλιζε ότι η στοίβα κυψελών καυσίμου(Fuel Cell stack) θα λειτουργούσε μόνο μέσα στη περιοχή βέλτιστης

απόδοσης, οδηγώντας σε μείωση κατανάλωσης υδρογόνου και πίεσης του συστήματος. Για την βελτιστοποίηση του PI ελεγκτή εφαρμόστηκε ένα μείγμα μεταευσριστικών αλγορίθμων το οποίο απαρτίζεται από τους εξής αλγορίθμους: αλγόριθμος βελτιστοποίησης αναζήτησης μέδουσας (Jellyfish Search Optimizer), βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (Particle Swarm Optimization) και τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης νυχτερίδας (BAT Optimizer). Η αποδοτικότητα της τεχνικής αυτής εξετάστηκε μέσα από ένα σετ 50 σύνθετων συναρτήσεων αξιολόγησης (Benchmark Functions), όπου η προτεινόμενη μέθοδος απέδωσε καλύτερα συγκριτικά με άλλες απλές υβριδικές μεταευσριστικές μεθόδους. (I. M. Abdelqawee et al, 2022)[12].

Ο C.Cecati ερεύνει την ενσωμάτωση διανεμημένης παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ σε έξυπνα δίκτυα στην Ιταλία. Επισημάνει πως είναι πολύ σημαντική η συμμετοχή του καταναλωτή στην χρηματαγορά της ενέργειας, η οποία με την σειρά της είναι κρίσιμη για την σωστή και αποτελεσματική λειτουργία των έξυπνων δικτύων. Η προσέγγιση του έγινε με δύο τρόπους. Πρώτον εφάρμοσε στρατηγικές διαχείρισης ζήτησης ενέργειας (Demand Side Management) για να ενισχύσει την ευελιξία του δικτύου. Η πιο κύρια από αυτές είναι: Συμμετοχή καταναλωτή ενθαρρύνοντας τον μέσα από προγράμματα ανταμοιβών, όπως η χρονοχρέωση (Time of Use Pricing) με σκοπό να μειώσει ή να μεταφέρει την χρήση ενέργειας από περιόδους μέγιστης ζήτησης σε πιο ομαλές ώρες μέσα στην μέρα, όπου και η τιμή της ενέργειας θα είναι πιο φθηνή σε σχέση με αυτήν τις ώρες αιχμής. Δεύτερον μέσα από στρατηγικές ενεργής διαχείρισης (Active Management Scheme) εξισορροπεί την ζήτηση και την παραγωγή ενέργειας με το να προσαρμόζει την λειτουργία της διανεμημένης παραγωγής, το οποίο οδηγεί και σε μείωση του κόστους λειτουργίας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις επιβεβαιώνουν την παραπάνω μεθοδολογία καθώς δείχνουν μείωση κόστους λειτουργίας, καλύτερη ενσωμάτωση ΑΠΕ στο έξυπνο δίκτυο και μεγαλύτερη ευελιξία του δικτύου. (C.Cecati et al, 2013)[13].

Ο S.K. Murugan επιχείρησε να εφαρμόσει ένα ΣΔΕ για υβριδικά μικροδίκτυα συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος στην Ινδία, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 7**, το οποίο θα λαμβάνει υπόψη του την διανεμημένη παραγωγή, την ζήτηση φορτίου ενέργειας και τα επίπεδα φόρτισης της μπαταρίας. Κίνητρο για αυτήν την μελέτη αποτελεί το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως είναι η ηλιακή, αιολική και γενικά οι ΑΠΕ. Για την εκπόνηση της μελέτης αναπτύχθηκε ένας τεχνητός αλγόριθμος βελτιστοποίησης βασισμένος σε ομάδες γοριλλών (Artificial Gorilla Troops Optimizer), με σκοπό την ενίσχυση της απόδοσης ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου (Artificial Neural Network, ANN). Το ANN εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο για να βελτιστοποιήσει τα βάρη του. Η προτεινόμενη μέθοδος συγκρίθηκε με άλλα παρόμοια ΣΔΕ και τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλή αποδοτικότητα της τάξης του 99.55%. Ως μελλοντική δουλειά αποτελεί η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε πραγματικά συστήματα και η περαιτέρω ενίσχυση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης. (S.K. Murugan et al, 2022)[14].

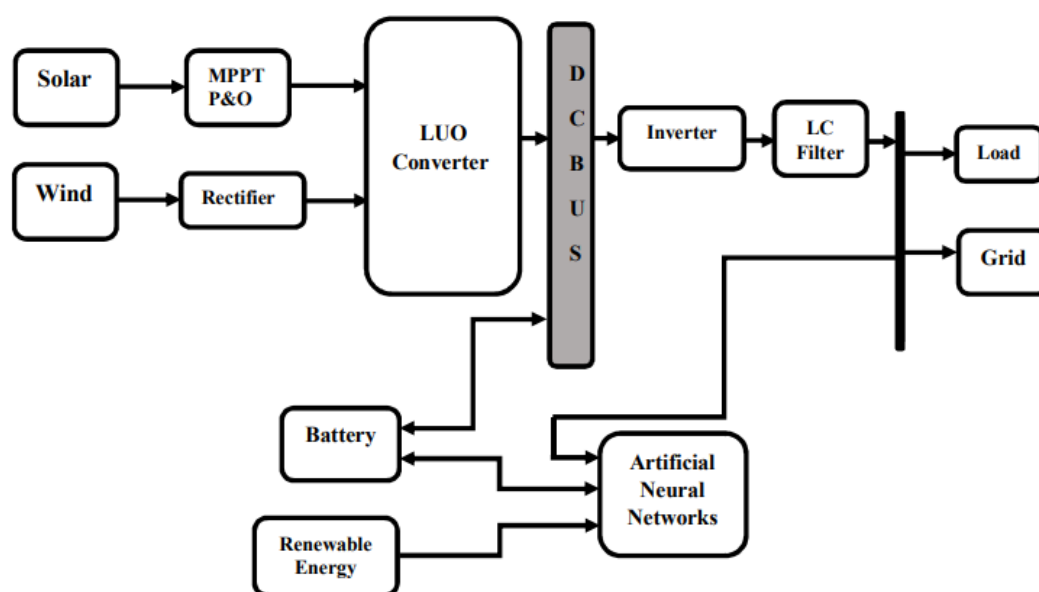


Εικόνα 7 Διάγραμμα συστήματος διανομής υβριδικού AC/DC μικροδικτύου.

Ο S. Rahim διερεύνησε την πρόκληση που υπάρχει στην αξιοποίηση ελεγκτών, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε συστήματα τα οποία ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ως προς το τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος κατέληξε στην χρήση ευρετικών αλγορίθμων για να βελτιστοποιήσει το ΣΔΕ και να κάνει αποδοτικότερη την χρήση των ΑΠΕ. Μερικοί από τους αλγόριθμους που χρησιμοποίησε είναι οι γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic Algorithms, δυαδική βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (Binary Particle Swarm Optimization) και βελτιστοποίηση μέσω αποικίας μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization). Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι ο αλγόριθμος της βελτιστοποίησης μέσω αποικίας μυρμηγκιών είχε καλύτερη απόδοση συγκριτικά με τους υπόλοιπους, καθώς ενίσχυσε σημαντικά την κατανομή των πόρων, οδηγώντας σε μείωση κόστους και αύξηση της ευελιξίας του συστήματος. Όσον αφορά μελλοντικές προτάσεις, ενθαρρύνεται η υλοποίηση της μεθοδολογίας σε πραγματικά συστήματα και να γίνει περιβαλλοντική εκτίμηση της επίδρασης της προτεινόμενης μελέτης. (S. Rahim et al ,2016)[15].

Ο M.Nagendra Babu ασχολήθηκε με ένα υβριδικό σύστημα στην Ινδία, που αποτελείται από αιολική και ηλιακή παραγωγή ενέργειας. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί έναν μετατροπέα DC-DC πολλαπλών εισόδων με κοινή πηγή για να συνδέσει την φωτοβολταϊκή συστοιχία, την ανεμογεννήτρια και το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας όπως φαίνεται στην Εικόνα 8. Πιο συγκεκριμένα είναι ένας Luo μετατροπέας για να διατηρήσει την συνεχή τάση, βοηθώντας στην μείωση των αρμονικών υψηλών συχνοτήτων της ανεμογεννήτριας και παράλληλα αυξάνοντας την πυκνότητα ισχύος. Εφαρμόζοντας έναν ελεγκτή βασισμένο σε τεχνητό νευρωνικό δίκτυο διαχειρίζεται την μεταφορά ενέργειας μεταξύ των ΑΠΕ, του δικτύου και του

συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον για να παράγουν τα Φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες την μέγιστη δυνατή ενέργεια χρησιμοποιείται η τεχνική Ανίχνευση Σημείου Μεγίστης Ισχύος( Maximum Power Point Tracking, MPPT). Τέλος με την χρήση ενός αντιστροφέα με διαμόρφωση εύρους παλμών (Pulse-Width Modulation (PWM) inverter) αντιστρέφει την DC έξοδο του Luo μετατροπέα διασφαλίζοντας σταθερή τάση εξόδου ανεξαρτήτως φορτίου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο ANN ελεγκτής διαχειρίζεται αποτελεσματικά την ροή ισχύος μεταξύ των στοιχείων του συστήματος, ο MPPT αλγόριθμος μεγιστοποιεί την παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ και ο Luo μετατροπέας διατηρεί επιτυχώς την τάση της DC σύνδεσης.( M.Nagendra Babu et al,2023)[16].

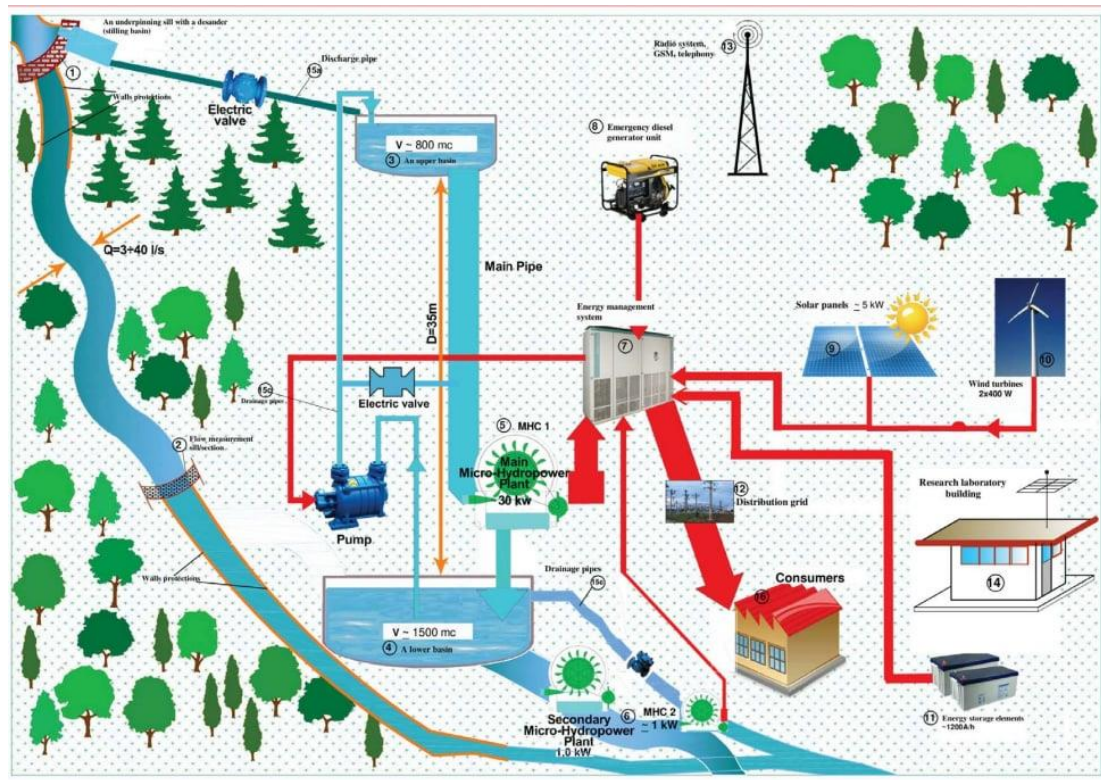


**Εικόνα 8** Σύστημα διαχείρισης ενέργειας με Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο(ANN)

Αξιόλογη δουλειά έχει γίνει και από τον A.K Bhise, ο οποίος μελέτησε ένα ΣΔΕ για οικιακή χρήση στην Ινδία. Κίνητρο για την έρευνα αποτέλεσε η χρήση των ΑΠΕ σε οικιακά συστήματα και η ανάγκη για αλγόριθμους που θα βελτιστοποιούν την χρήση ενέργειας από ΑΠΕ χωρίς να υπάρχει “πέταμα” ενέργειας. Όσον αφορά την προσέγγιση εφάρμοσε τα εξής. Αρχικά μέσω ενός έξυπνου πίνακα διανομής(Smart Distribution Board,SDB) ελέγχει την ζήτηση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ,ώστε να μειώσει τους περιορισμούς του δικτύου. Χρησιμοποίησε μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης, όπως είναι η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση(Multiple Linear Regression), τεχνητά νευρωνικά δίκτυα(ANN), Παλινδρόμηση Υποστηρικτικών Διανυσμάτων( Support Vector Regression ), με στόχο να προβλέψει την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου. Οι προσομοιώσεις από το λογισμικό MATLAB Simulink και με πραγματικά δεδομένα από οικιακά φορτία, έδειξαν ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία κατάφερε να εξισορροπήσει την ζήτηση και παραγωγή μέσω της χρήσης του SDB.( A.K Bhise et al, 2023)[17].



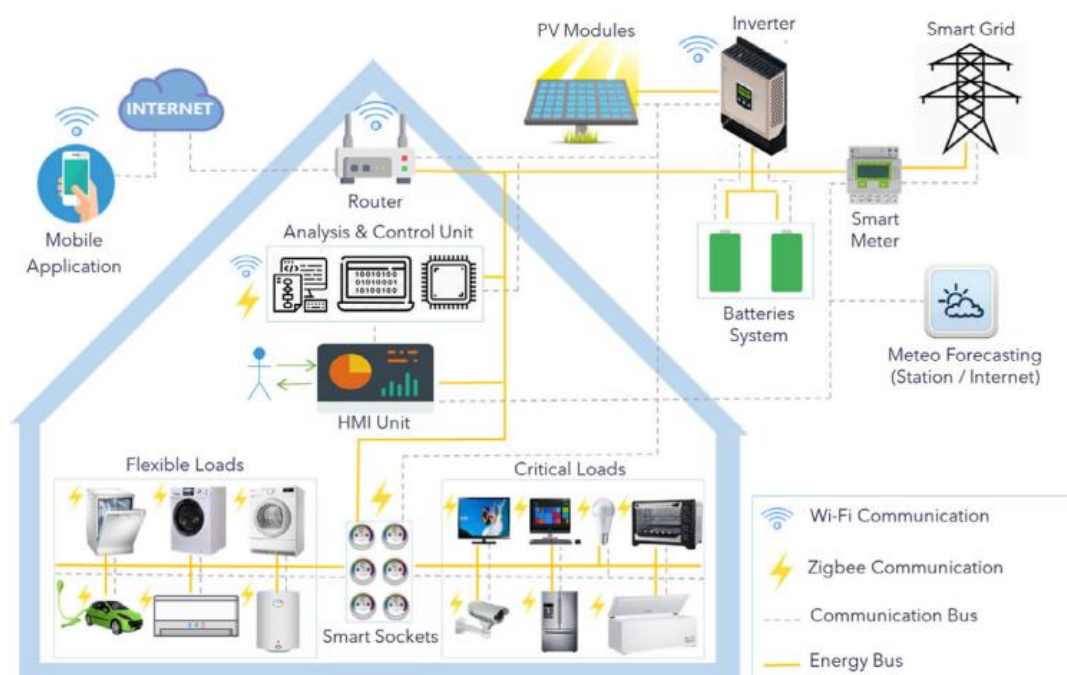
Η Ν.С Gaitan υπογραμμίζει την σημασία της αποδοτικής χρήσης της ενέργειας και κάνει μια σύντομη κριτική σε μελέτες που βασίζονται σε μία μόνο ανανεώσιμη πηγή ενέργεια και ενός είδους συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Προτείνει ένα ΣΔΕ το οποίο θα απαρτίζεται από πολλαπλές ΑΠΕ, όπως αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική ενέργεια μαζί με μπαταρίες και ταμιευτήρα αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ρουμανία, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 9**. Το σύστημα αυτό θα λειτουργεί αυτόνομα, χωρίς σύνδεση σε κάποιο κύριο ηλεκτρικό δίκτυο και θα έχει μια γεννήτρια πετρελαίου ως εφεδρεία. Ως στόχο έχει την βέλτιστη χρήση ενέργειας και την μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου. Χρησιμοποίησε το λογισμικό Homer για να προσομοιώσει και να βελτιστοποιήσει την παραγωγή ενέργειας και την χρήση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με σκοπό να μπορεί το σύστημα να λειτουργεί αυτόνομα. Τα συμπεράσματα είναι ότι το σύστημα καταφέρνει επιτυχώς να αυξήσει την χρήση των ΑΠΕ και να λειτουργεί χωρίς να βασίζεται σε κάποιο κύριο δίκτυο. Επίσης κατάφερε να μετατρέψει τον ταμιευτήρα να λειτουργεί ως “φυσική” μπαταρία που θα ενεργοποιείται όποτε δεν καλύπτουν το φορτίο οι ΑΠΕ.( Ν.С Gaitan et al, 2023)[18].



**Εικόνα 9** Σχέδιο Λειτουργίας Συστήματος

Ο Α. Rochd εξετάζει την αυξανόμενη ανάγκη για ΣΔΕ σε οικιακά περιβάλλοντα και την δυνατότητα που προσφέρουν οι τεχνολογίες της τεχνητής νοημοσύνης και Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT). Η μελέτη λαμβάνει χώρα στην πόλη Benguerir, στο Μαρόκο καθώς παρουσιάζει συγκεκριμένες προκλήσεις και ταυτόχρονα προσφέρει αρκετή ηλιακή ενέργεια. Σκοπός του εγχειρήματος είναι ναδειχθεί η πρακτικότητα ενός τέτοιου συστήματος, **Εικόνα 10**, και τα οφέλη που

μπορούν να προσκομίσουν οι ιδιοκτήτες καθώς και το περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Όσον αφορά την προσέγγιση επιλέχθηκαν διάφοροι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης και IoT συσκευές, τα οποία θα ελέγχουν και θα παρακολουθούν τις συσκευές του σπιτιού, την ροή της ενέργειας και θα αναλύουν τα δεδομένα, ώστε να παίρνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο για την βελτιστοποίηση της ενέργειας. Συγκριτικά με την εφαρμογή του οικιακού ΣΔΕ παρατηρήθηκε 30% μείωση στην χρήση ενέργειας από το δίκτυο και μέχρι 85% ελαχιστοποίηση του ημερήσιου κόστους λειτουργίας. Τέλος αυξήθηκε η ετήσια ροή ρευστού (Annual Cash Flow) κατά 33.33% και η περίοδος αποπληρωμής κατά 6 χρόνια νωρίτερα. (A. Rochd et al, 2021)[19].



Εικόνα 10 Συνολική Αρχιτεκτονική του Συστήματος.

Σημαντική έρευνα έγινε από τον S. Leonori στην Ιταλία, ο οποίος δίνει έμφαση στην ανάγκη για νέες τεχνολογίες και υποδομές που να υποστηρίζουν την εξέλιξη των ηλεκτρικών δικτύων σε έξυπνα δίκτυα. Κινητήρια δύναμη αποτέλεσε η πρόκληση που προκύπτει από την συνεχή αύξηση του πληθυσμού και της κατανάλωσης ενέργειας, τα οποία έχουν οδηγήσει σε μεγαλύτερες εκπομπές από ορυκτά καύσιμα. Προτείνεται ένα ΣΔΕ το οποίο θα χρησιμοποιεί τις μεθόδους Σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού (Fuzzy Inference System ,FIS ) και γενετικούς αλγορίθμους πολλαπλών στόχων (Multi-objective Genetic Algorithms) με σκοπό να μειώσει τις διακυμάνσεις ενέργειας από το δίκτυο και να μεγιστοποιήσει την ιδιοκατανάλωση ενέργειας χρησιμοποιώντας συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού εφαρμόστηκαν οι εξής τεχνικές. Αρχικά γίνεται παραμετροποίηση του FIS να δέχεται τρεις εισόδους για να μπορεί να παίρνει έξυπνες αποφάσεις σχετικά με την διαμόρφωση του μικροδικτύου και τις ροές ενέργειας. Ο γενετικός αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να βελτιστοποιήσει τις παραμέτρους του FIS, μέσω δύο αντικειμενικών συναρτήσεων, οι οποίες επεξεργάζονται και αξιολογούν τις διακυμάνσεις ενέργειας και την

κατάσταση φόρτισης( State of Charge ,SOC) του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το προτεινόμενο ΣΔΕ εφαρμόζει περιορισμό αιχμής( Peak shaving) μόνο για τις αιχμές υπερβολικής ζήτησης. (S. Leonori et al, 2017)[20].

Ο Y. Boujoudar τόνισε την σημασία που έχει ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στην διατήρηση της ασφάλειας και αποδοτικότητας ενός ΣΔΕΜ. Εισάγει την χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων(TNΔ), πιο συγκεκριμένα ένα νευρωνικό δίκτυο με προώθηση προς τα εμπρός(feed-forward) για την εκτίμηση της κατάστασης της Λιθίου-Ιόντων(Lithium-ion) μπαταρίας, καθώς έχουν την δυνατότητα να το κάνουν αυτό χωρίς να χρειάζεται αναλυτικό μοντέλο μπαταρίας ή συγκεκριμένη αρχικοποίηση καταστάσεων για σύγκλιση. Επίσης το νευρωνικό δίκτυο ελέγχει τον διπλής κατεύθυνσης DC/DC μετατροπέα, ο οποίος καθορίζει την φόρτιση και αποφόρτιση της μπαταρίας, διατηρώντας την τάση του ζυγού DC σε μια τιμή αναφοράς. Τέλος χρησιμοποιεί έναν NARMA-L2 ελεγκτή, έναν τύπο ελεγκτή TNΔ, αποτελούμενο από δύο νευρωνικά δίκτυα, ένα για την ταυτοποίηση του συστήματος και ένα για τον σχεδιασμό ελέγχου. Οι προσομοιώσεις στο περιβάλλον MATLAB Simulink απέδειξαν την απόδοση της στρατηγικής ελέγχου, όσον αφορά την ταχύτητα σύγκλισης και την ελαχιστοποίηση του λάθους μεταξύ της μεταβολής τάσης και της τιμής αναφοράς.( Y. Boujoudar et al, 2021)[21].

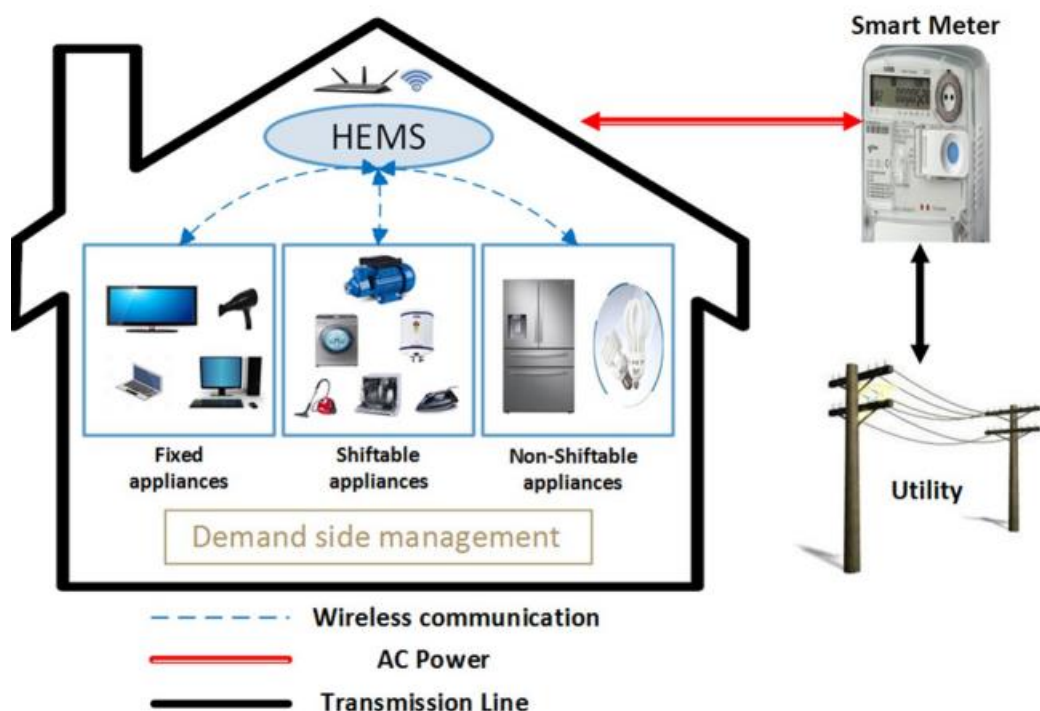
Ο A. Nammouchi μελέτησε την υλοποίηση ενός ΣΔΕ ανοικτής αρχιτεκτονικής για έξυπνα δίκτυα. Η τεχνική αυτή αξιοποιεί αλγορίθμους μηχανικής μάθησης στο άκρο (Machine Learning at the edge) για την πρόβλεψη της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Συγκεντρώνει δεδομένα από διάφορους παραγωγούς και καταναλωτές χρησιμοποιώντας Kafka streams (βιβλιοθήκη επεξεργασίας ροών δεδομένων) και Ανοικτού κώδικα IoT πλατφόρμες. Έπειτα η χρήση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης στα άκρα του δικτύου, δίνει την δυνατότητα για επεξεργασία και πρόβλεψη σε πραγματικό χρόνο. Ταυτόχρονα βασίζεται σε συνδέσιμους (pluggable) αλγόριθμους βελτιστοποίησης για την εφαρμογή εξατομικευμένων στρατηγικών για προγραμματισμό σε πραγματικό χρόνο. Τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις αποδεικνύουν την ακρίβεια των προβλέψεων και την επεκτασιμότητα του συστήματος και επίσης έδειξαν ότι βελτιστοποιεί σε καλό βαθμό μετρίου μεγέθους μικροδίκτυα. Ως μελλοντική δουλειά ενθαρρύνεται η χρήση σε συστήματα στον πραγματικό κόσμο, και η ενσωμάτωση λειτουργιών με επίκεντρο τον χρήστη.( A. Nammouchi et al, 2021)[22].

Ο A. Gupta επισήμανε την αυξημένη ανάγκη για ΑΠΕ, και πιο συγκεκριμένα την αιολική και ηλιακή ενέργεια, καθώς και την ενσωμάτωση τους σε έξυπνα δίκτυα με τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη και τα νευρωνικά δίκτυα. Η μελέτη αυτή εστιάζει σε ένα ΣΔΕ για οικίες στην Ινδία με στόχο να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας από το δίκτυο μέσω ενός αυτόνομου συστήματος φωτοβολταϊκών πάνελ. Όσον αφορά την προσέγγιση εφαρμόζει την εξής μεθοδολογία . Η παραπάνω ενέργεια που χρειάζεται από το δίκτυο πέραν μιας τιμής κατωφλίου θα παρέχεται μέσω ασύρματης μεταφοράς ενέργειας. Επίσης το σύστημα περιλαμβάνει αλγόριθμο



νευρωνικού δικτύου και την τεχνολογία Επικοινωνία μέσω Γραμμών Ρεύματος (Power Line Communication, PLC) για να παρακολουθεί την κατανάλωση. Το νευρωνικό δίκτυο βοηθάει στην λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την διανομή ενέργειας και συμβάλει στο να διατηρείται η ενέργεια κάτω από το κατώφλι για τη κατανάλωση από το δίκτυο. (A. Gupta et al, 2023)[23].

Ο M. Ramezani ξεκινάει με μία συζήτηση για τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα “παραδοσιακά” ηλεκτρικά δίκτυα διανομής όπως είναι οι διακοπές ηλεκτροδότησης, η ασφάλεια των γραμμών μεταφοράς, οι οικονομικοί περιορισμοί και φυσικά οι περιβαλλοντικές ανησυχίες. Πάνω σε αυτό προτείνει ένα σύστημα, **Εικόνα 11.**, το οποίο συνδυάζει έξυπνα δίκτυα και την στρατηγική Διαχείριση Ζήτηση Ενέργειας) για να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας σε κοινοτικά-οικιακά περιβάλλοντα με τις ακόλουθες μεθόδους. Αρχικά με την χρήση του Βελτιωμένου αλγορίθμου βελτιστοποίησης Αντιλόπης πολλαπλών στόχων (Improved Multi-Objective Antlion Optimization, IMOALO) διαχειρίζεται την μη γραμμική και σύνθετη φύση του προβλήματος διαχείρισης ενέργειας. Έπειτα ορίζει την συνάρτηση του κόστους ενέργειας να ελαχιστοποιεί το κόστος έχοντας ως περιορισμό τον όρο “λόγος αιχμής προς μέσο όρο” (Peak to Average ration, PAR). Εφαρμόζει συνάρτηση ποινής (penalty function) που αφορά την συνάρτηση του κόστους για τις παραβάσεις του PAR περιορισμού. Επίσης ενσωματώνει δύο ταρίφες για το κόστος της ενέργειας, την Τιμολόγηση σε Πραγματικό χρόνο (Real-Time Pricing, RTP) και Τιμολόγηση Κρίσιμης Αιχμής (Critical Peak Pricing, CPP) με σκοπό να αξιολογήσει το προτεινόμενο σύστημα σε πραγματικές συνθήκες. Τέλος οι συγκρίσεις με άλλους παρόμοιους αλγορίθμους φανέρωσαν ότι η προτεινόμενη μέθοδος μειώνει καλύτερα τους λογαριασμούς ρεύματος και αυξάνει την άνεση του χρήστη. (M. Ramezani et al, 2020)[24].



Εικόνα 11 Διάταξη Προτεινόμενης Μεθόδου

Αξιόλογη δουλειά έχει γίνει από τον K. Kwon , ο οποίος αρχικά αναφέρει την σημασία που έχει η στρατηγική της διαχείρισης ζήτησης ενέργειας λόγω της κλιματικής αλλαγής και τις ελλείψεις σε ενέργεια. Υπογραμμίζει τον ρόλο των τεχνολογιών Ιοt στην διαχείριση των οικιακών συσκευών και προτείνει ένα βασισμένο στην τεχνητή νοημοσύνη οικιακό ΣΔΕ, το οποίο θα περιέχει μηχανισμούς πρόβλεψης και έξυπνες τεχνικές ελέγχου, με στόχο την εξισορρόπηση της απόδοσης ενέργειας και της ικανοποίησης των ενοίκων. Ένας από τους μηχανισμούς πρόβλεψης και ελέγχου είναι η θερμοκρασίας άνεσης, υπολογίζοντας την κατάλληλη θερμοκρασία για την άνεση των ενοίκων ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα την χρήση ενέργειας. Επιπλέον γίνεται εκτίμηση των ωρών που κοιμούνται, ώστε να ρυθμιστεί η ενεργειακή κατανάλωση κατάλληλα. Τέλος υπολογίζουν την πιθανότητα οι ένοικοι να λείπουν από το σπίτι με στόχο το σύστημα να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας για εκείνες τις ώρες. Μέσα από μετρήσεις σε ένα γκρουπ των 2281 οικιών , αποδείχθηκε ότι η προτεινόμενη μέθοδος ελαχιστοποιεί την ενέργεια κατά 14%, και η ικανοποίηση των ενοίκων αγγίζει το 91%, δείχνοντας ότι γίνεται να εξοικονομηθεί ενέργεια και παράλληλα να διατηρείται υψηλά το επίπεδο της ικανοποίησης.( K. Kwon et al, 2021)[25].

Η C.K Rao αρχικά τονίζει ότι κύριος στόχος ενός έξυπνου δικτύου είναι η μείωση του κόστους ενέργειας ,κατανάλωσης ενέργειας, προγραμματίζοντας τα διακοπόμενα φορτία σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς τομείς. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να μειώσει την ζήτηση αιχμής και να διαλέγει ώρες με μικρότερες τιμές

ηλεκτρικής ενέργειας. Ως προς την προσέγγιση, μελετάται η εφαρμογή της μεθόδου Διαχείριση απόκρισης ζήτησης( Demand Response Management, DRM) ταυτόχρονα στην ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου και στην ηλιακή ενέργεια. Τα σενάρια που επεξεργάζεται είναι δύο: Το πρώτο θα υποθέτει ότι μόνο η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη και το δεύτερο ότι έχουμε μόνο την ενέργεια του δικτύου. Αξιοποιεί ασύρματη επικοινωνία με XBee μονάδες για την σύνδεση των έξυπνων πριζών και της μονάδας πύλης του ΣΔΕ. Επίσης με αλγόριθμους προγραμματισμού φορτίου δίνει προτεραιότητες σε διαφορετικές συσκευές , έτσι ώστε να μειώνει το κόστος και την κατανάλωση, ενεργοποιώντας κάθε φορά τις συσκευές που χρειάζεται. Επιπλέον τα πραγματικά σήματα τάσης και ρεύματος περνάνε από επεξεργασία σήματος και ανάλυση δεδομένων πριν πάνε στον μικροεπεξεργαστή ,τον Arduino ATMEGA328. Τα αποτελέσματα έδειξαν την αποτελεσματικότητα της ασύρματης επικοινωνίας και την σωστή διαχείριση των προτεραιοτήτων στα φορτία. (C.K Rao et al , 2023)[26].

Ο A.R. Boynuegri ξεκινάει κάνοντας μια αναφορά στην δραματική αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας τις τελευταίες δεκαετίες και την ανάγκη για μεγαλύτερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ και επανασχεδιασμό των συμβατών δικτύων, ώστε να είναι πιο έξυπνα, αξιόπιστα και φιλικά προς το περιβάλλον. Προτείνει ένα οικιακό ΣΔΕ στην Τουρκία για να μειώσει τον λογαριασμό ρεύματος του χρήστη. Η προσέγγιση της μελέτης γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους. Αρχικά χρησιμοποιεί την κατάσταση φόρτισης των μπαταριών (State of Charge,SOC) , την διαθεσιμότητα του δικτύου και τις διάφορες ηλεκτρικές τιμές για να βελτιστοποιήσει την χρήση ενέργειας και να μειώσει το κόστος. Επίσης εφαρμόζει την μέθοδο μεταφοράς φορτίου για να μεταφέρει τα μη κρίσιμα φορτία σε ώρες με χαμηλότερη τιμή ρεύματος και παράλληλα θέτει προτεραιότητες στις συσκευές ανάλογα με τα επίπεδα της μπαταρίας και τις προτιμήσεις του χρήστη. Επιπλέον μέσω του SOC μεγιστοποιεί την χρήση των ΑΠΕ όπως αιολική και ηλιακή ενέργεια, και μειώνει την εξάρτηση από το δίκτυο. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων στο λογισμικό MATLAB/Simulink , οι οποίες έτρεξαν για 290 με πραγματικά ηλιακά και αιολικά δεδομένα για αυτό το διάστημα, φανέρωσαν μια μείωση 25% στον λογαριασμό ρεύματος του χρήστη, διατηρώντας τα επίπεδα άνεσης του χρήστη υψηλά. (A.R. Boynuegri et al, 2013)[27].

### 3. Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματική εργασίας. Ξεκινάει με την παρουσίαση μερικών πληροφοριών για την περιοχή μελέτης, καθώς και το διαθέσιμο δυναμικό των ΑΠΕ, αλλά και το ενεργειακό προφίλ της περιοχής, πιο συγκεκριμένα του νησιού. Ύστερα αναλύεται η διαδικασία της μοντελοποίησης, παραθέτοντας τις πηγές συλλογής δεδομένων, τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν και τις τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν.

#### 3.1 Περιγραφή περίπτωσης μελέτης

Ως περίπτωση μελέτης ορίζεται το νησί της Κρήτης, το οποίο βρίσκεται στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στο Αιγαίο Πέλαγος. Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το δεύτερο μεγαλύτερο στην ανατολική Μεσόγειο και τις τελευταίες δύο δεκαετίες αποτελεί διάσημο τουριστικό προορισμό για όλο το έτος, αλλά ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας σε παραλίες (Φαλάσαρνα, Ελαφόνησο, Σεϊτάν Λιμάνια), καθώς και της σημαντικής πολιτισμικής αξίας του (παλάτι τις Κνωσού, ανάκτορο Φαιστού). Στο νησί κατοικούν 617.360 άνθρωποι σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2021 από την ΕΛΣΤΑΤ ενώ η συνολική του έκταση είναι 8.336 km<sup>2</sup>. Πρωτεύουσα του νησιού είναι το Ηράκλειο, το οποίο αποτελεί και την μεγαλύτερη του πόλη[28].

Το νησί της Κρήτης κατοικείται από τα προϊστορικά χρόνια (Μινωικός Πολιτισμός) και αποτελεί μέχρι και σήμερα ένα από τους σημαντικότερους εμπορικούς σταθμούς της ανατολικής Μεσογείου καθώς είναι μοναδικό μέρος της Ελλάδος με μεγάλο λιμάνι, που είναι τόσο κοντά στην Αφρική και την Ασία. Αυτός είναι ένας από τους λόγους που σε περιόδους πολέμου, όπως στον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο αποτέλεσε σημείο στρατηγικής σημασίας τόσο για τους συμμάχους όσο και για την επιτιθέμενη Γερμανία. Στην **Εικόνα 12** παρουσιάζεται ένας δορυφορικός χάρτης του νησιού, μέσα από το λογισμικό Google Maps[29].



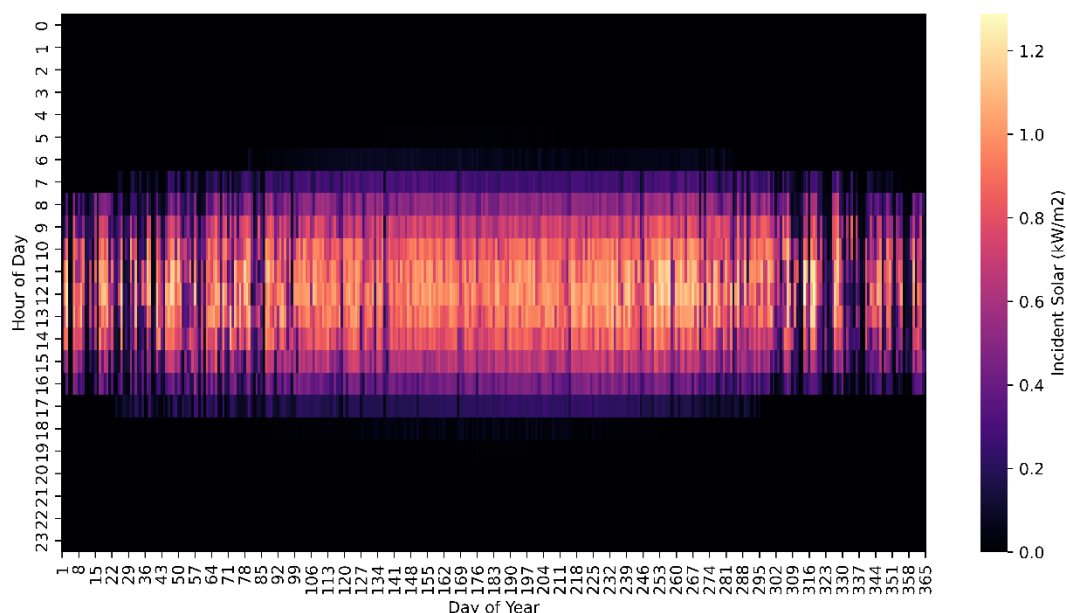
**Εικόνα 12** Χάρτης της περιοχής μελέτης μέσω του λογισμικού Google Maps

### 3.1.1 Ηλιακό δυναμικό περιοχής μελέτης

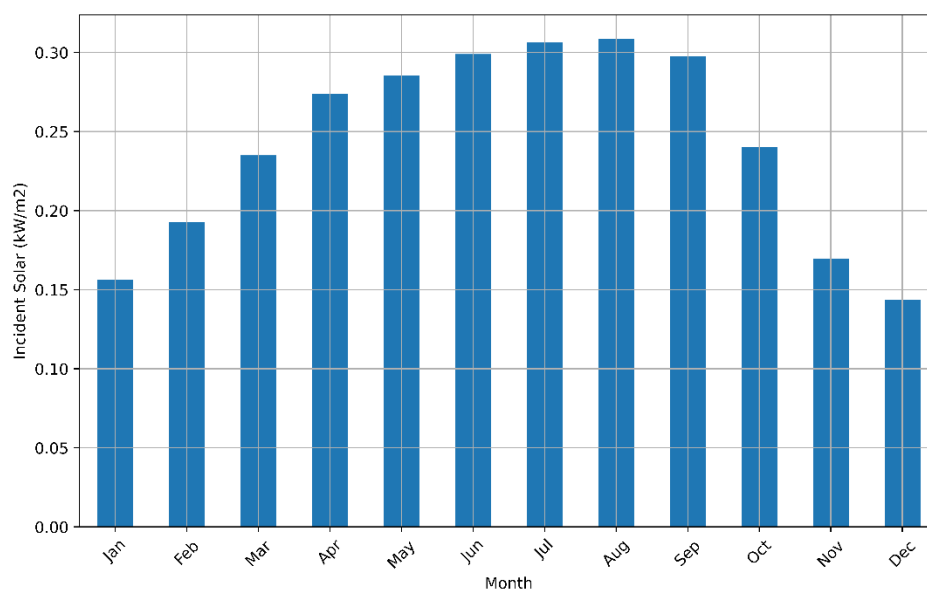
Στον Πίνακα 1. Ετήσια ηλιακά δεδομένα περιοχής μελέτης, παρουσιάζονται δεδομένα σχετικά με το ηλιακό δυναμικό της περιοχής μελέτης (Globalsolaratlas.info, n.d.) [30], τα οποία αποδεικνύουν ότι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού είναι κατάλληλη για την περιοχή μελέτης. Την παραπάνω άποψη επιβεβαιώνουν τα δεδομένα που παρατίθεται στην Εικόνα 13. και στην Εικόνα 14. Όπως βλέπουμε στις εικόνες έχουμε πολλές ηλιόλουστες μέρες τον χρόνο. Συγκεκριμένα το μαύρο χρώμα αντιστοιχεί στις βραδινές ώρες, το μωβ στις πρωινές και απογευματινές ώρες, ενώ με πορτοκαλί και κόκκινο η μεσημβρινές ώρες, όπου έχουμε και την μέγιστη πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας.

Πίνακας 1. Ετήσια ηλιακά δεδομένα περιοχής μελέτης

Ειδική παραγωγή ισχύος φωτοβολταϊκού πλαισίου	1.618,8 kWh/kWp
Άμεση κανονική ακτινοβολία	1.851,9 kWh /m <sup>2</sup>
Παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία	1.829,4 kWh /m <sup>2</sup>
Διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία	651,2 kWh /m <sup>2</sup>
Παγκόσμια ακτινοβολία υπό βέλτιστη γωνία κλίσης	2.022 kWh /m <sup>2</sup>
Βέλτιστη κλίση φωτοβολταϊκών πλαισίων	28/180 °
Θερμοκρασία αέρα	18,5 °C
Υψόμετρο εδάφους	58m



Εικόνα 13 Ηλιακό Δυναμικό Περιοχής μελέτης



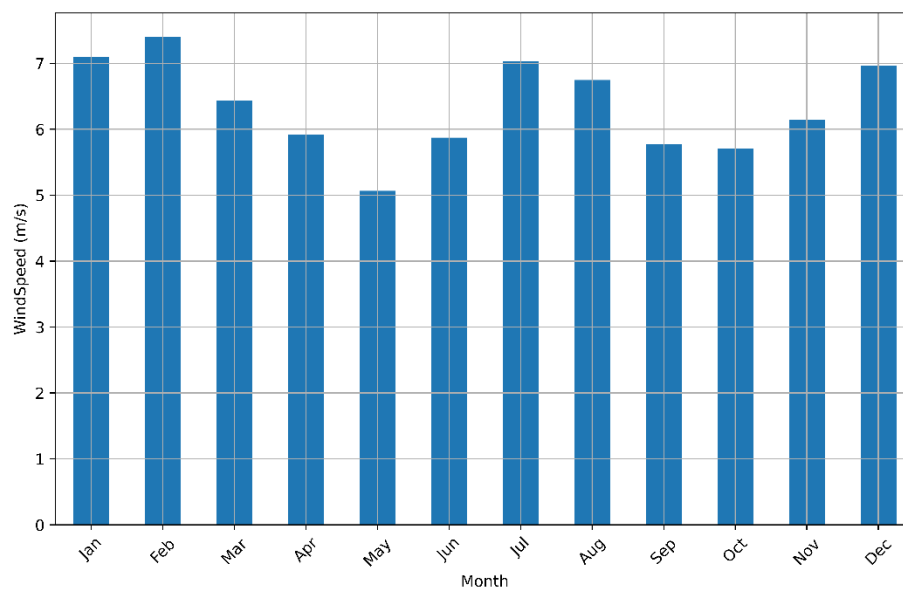
Εικόνα 14 Μηνιαία Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος

### 3.1.2 Αιολικό δυναμικό περιοχής μελέτης

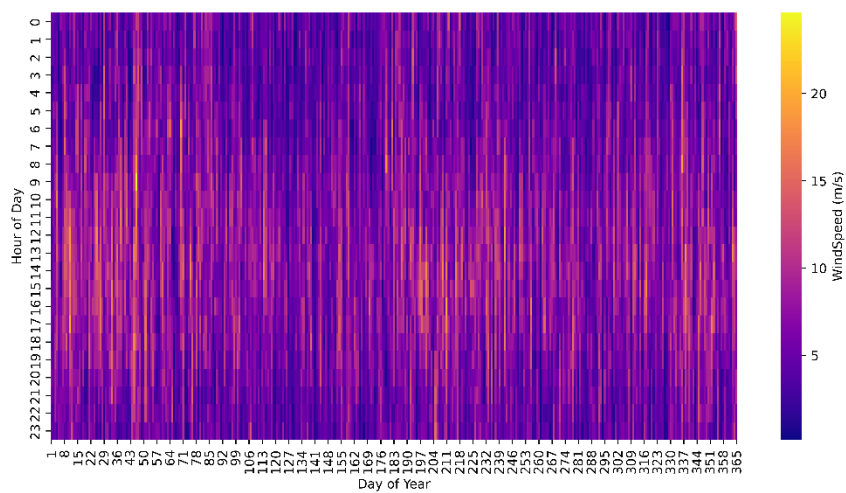
Στον **Πίνακα 2** Ετήσια αιολικά δεδομένα περιοχής μελέτης παρατίθενται δεδομένα σχετικά με το αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης (Globalwindatlas.info, n.d.)[31]., επιβεβαιώνοντας την απόφαση για εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Στην **Εικόνα 15** Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Ανέμου περιοχής μελέτης. βλέπουμε την μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου και στην **Εικόνα 16** το αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα με μαύρο αντιστοιχούν οι χαμηλές ταχύτητες ανέμου (<6m/s), με μωβ οι μέτριες ταχύτητες (<15m/s), και με κίτρινο η υψηλές ταχύτητες (>20m/s), οι οποίες είναι επικίνδυνες ταχύτητες για την σωστή λειτουργία των ανεμογεννητριών.

Πίνακας 2 Ετήσια αιολικά δεδομένα περιοχής μελέτης

Μέση πυκνότητα ισχύος ανέμου( $W/m^2$ )	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)	Ύψος καταγραφής (m)
272	4.48	10
369	6.22	50
463	7.26	100
598	8.06	150
835	8.62	200



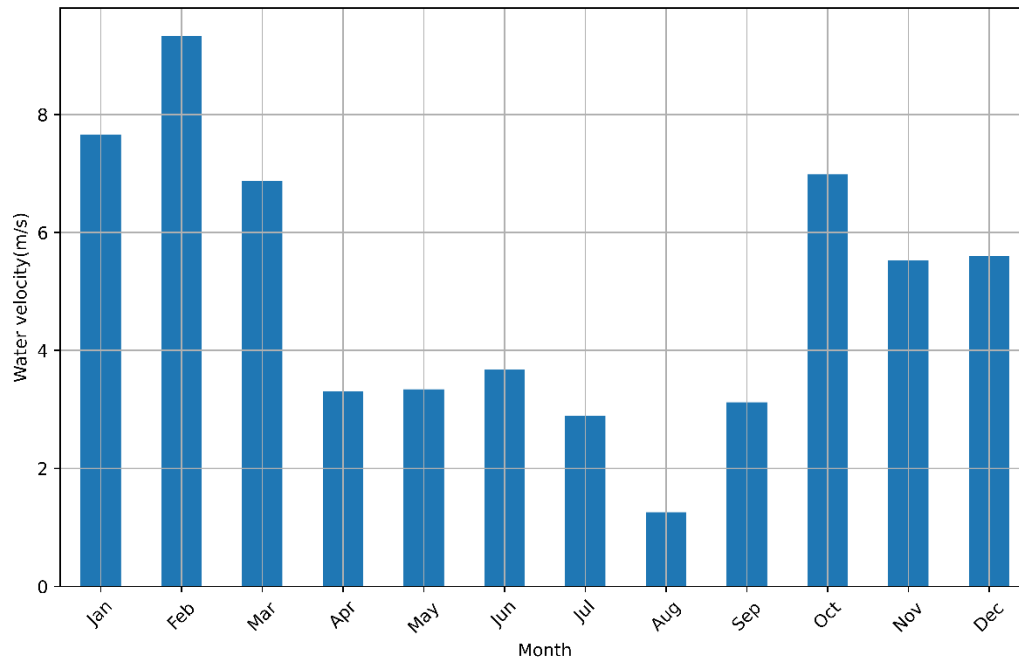
Εικόνα 15 Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Ανέμου περιοχής μελέτης



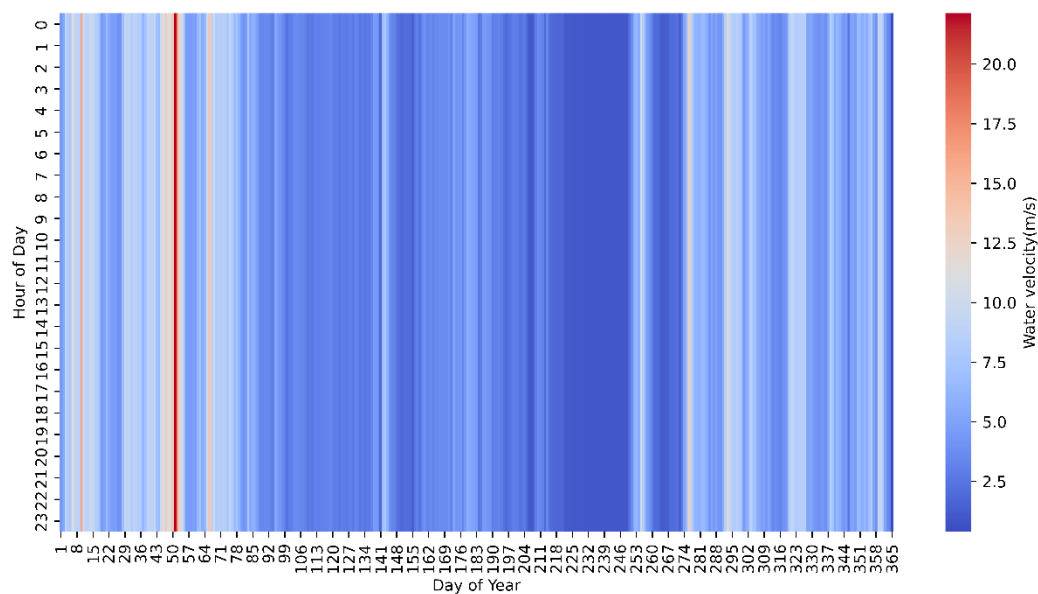
Εικόνα 16 Αιολικό δυναμικό περιοχής μελέτης

### 3.1.3 Υδροδυναμικό περιοχής μελέτης

Στην **Εικόνα 17** παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ταχύτητα του νερού για την περιοχή μελέτης, και στην **Εικόνα 18** το υδροδυναμικό της περιοχής.



**Εικόνα 17** Μέση μηνιαία ταχύτητα του νερού περιοχή μελέτης



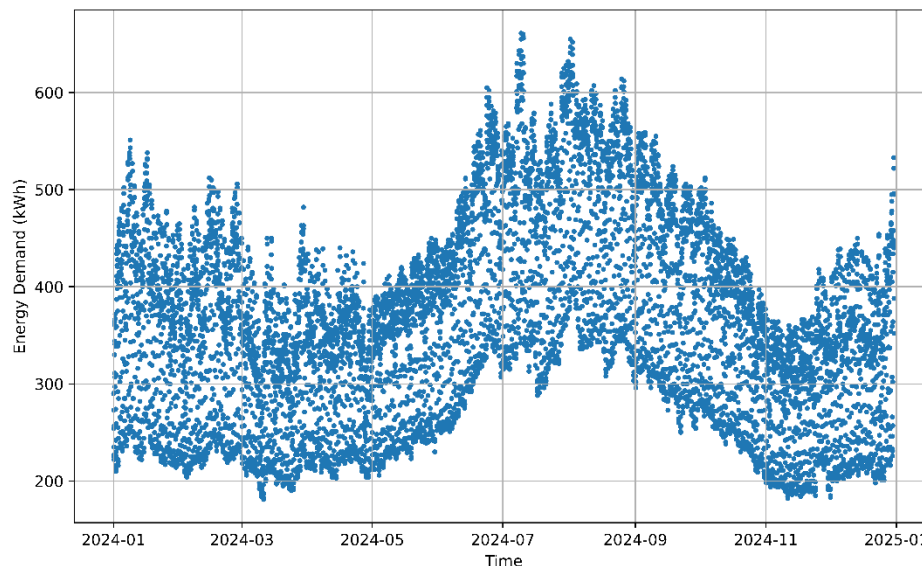
**Εικόνα 18** Υδροδυναμικό προφίλ περιοχής μελέτης



### 3.1.4 Ενεργειακό προφίλ περιοχής μελέτης

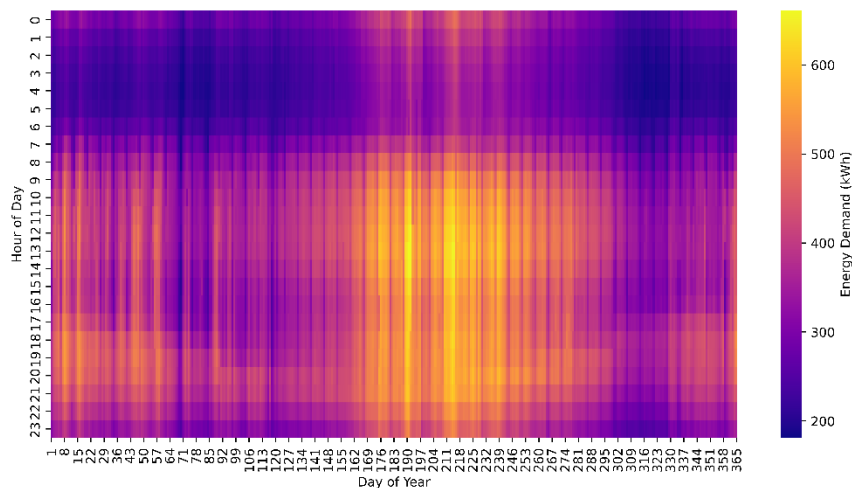
Ύστερα από επικοινωνία και εξασφάλιση σχετικού δικαιώματος, συλλέχθηκαν από τον τοπικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεδομένα που αφορούν την ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά την χρονολογία 2019 για το νησί της Κρήτης. Ο σταθμός αυτός εξυπηρετεί τις ανάγκες των μόνιμων κατοίκων αλλά και τον τουριστών καθόλη την διάρκεια του χρόνου.

Στην **Εικόνα 19** απεικονίζεται η ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί της Κρήτης όπου και γίνεται εμφανής η αύξηση της τους θερινούς μήνες, και η οποία οφείλεται στον τουρισμό.



**Εικόνα 19** Ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρική ενέργειας για το νησί της Κρήτης

Η **Εικόνα 20**, αφορά την ενέργεια που χρειάζεται για την λειτουργία του νησιού κάθε ώρα του έτους. Με μαύρο χρώμα εμφανίζονται οι ώρες χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης(<200kWh),και με κόκκινο και πορτοκαλί χρώμα οι ώρες υψηλής κατανάλωσης(>450kWh). Υπάρχουν λοιπόν εμφανής διακυμάνσεις στην ωριαία καταναλισκόμενη ενέργεια.



Εικόνα 20 Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Κρήτης

### 3.2 Δεδομένα προς συλλογή

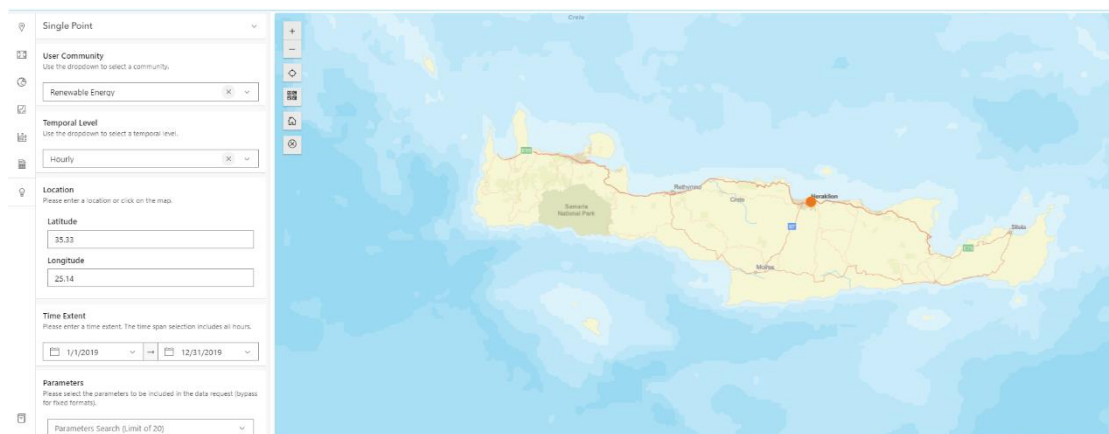
Η συλλογή των κατάλληλων δεδομένων για την δημιουργία και προσομοίωση των μοντέλων του μικροδικτύου της περιοχής μελέτης, για την διαδικασία της βελτιστοποίησης, βασίστηκε σε 3 διαφορετικές πηγές. Αρχικά, πάρθηκαν τα δεδομένα ωριαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2019. Έπειτα από το σύστημα της NASA[32] συλλέχθηκαν τα αιολικά δεδομένα, τα υδροδυναμικά δεδομένα μας τα παρείχε καθηγητής του Πολυτεχνείου Κρήτης από ένα άλλο εργαστήριο και τέλος από το σύστημα PVGIS[33] τα δεδομένα για την ηλιακό δυναμικό της περιοχής μελέτης. Στον Πίνακα 3, αναφέρονται δεδομένα για τις μεταβλητές που συλλέχθηκαν:

Πίνακας 3 Μεταβλητές που προσομοιώθηκαν κατά την διαδικασία βελτιστοποίησης

Μεταβλητές	Μονάδα Μέτρησης
Χρονικό βήμα (timestep)	-
Ημέρα ( Day)	-
Μήνας του έτους( Month)	-
Ωρα (Hour)	-
Θερμοκρασία( Temperature	°C
Ταχύτητα Ανέμου(Wind Speed)	m/s
Ταχύτητα Νερού(Water speed)	m/s
Ηλιακή Ακτινοβολία(Solar Radiation)	kW /m <sup>2</sup>

### 3.2.1 NASA-Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)

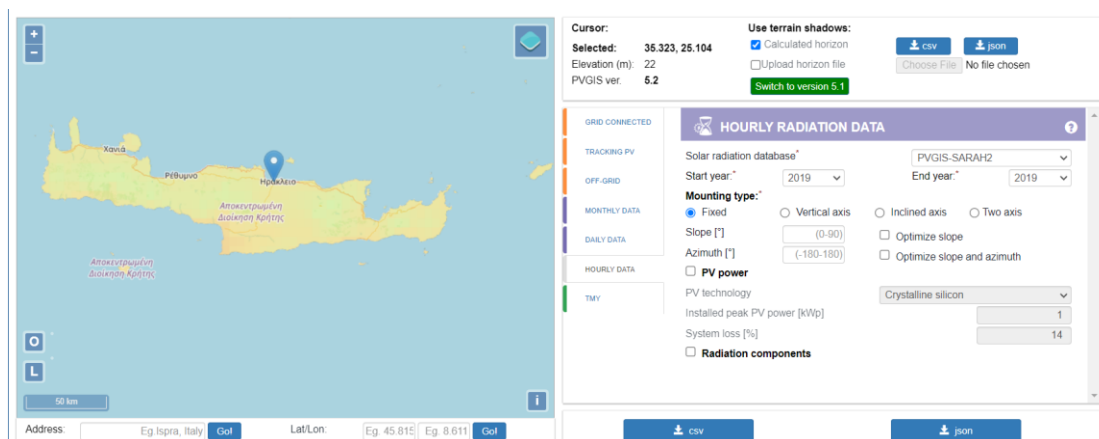
Μέσα από την ιστοσελίδα της NASA-POWER μπορεί ο χρήστης να συλλέξει μετεωρολογικά δεδομένα σε μορφή χρονοσειρών, από την έρευνα της NASA. Τα δεδομένα αυτά έχουν συλλεχθεί χρησιμοποιώντας δορυφόρους και μετεωρολογικά μοντέλα τα οποία έχουν αποδειχθεί αρκετά ακριβή ώστε να παρέχουν αξιόπιστα δεδομένα ακόμα και για περιοχές όπου έχουν πραγματοποιηθεί πολύ μικρές μετρήσεις. Η έρευνα αυτή της NASA γίνεται με σκοπό να μπορούν να υποστηριχθούν έρευνες και εφαρμογές των ΑΠΕ, σχεδιασμούς κτηρίων, στην γεωργία και σε περιβαλλοντικές μελέτες. Στην **Εικόνα 21** Διαδικασία συλλογής δεδομένων από την ιστοσελίδα της NASA-POWER. παρουσιάζεται η ιστοσελίδα της NASA-POWER από όπου έγινε συλλογή των δεδομένων για την περιοχή μελέτης.( [power.larc.nasa.gov](http://power.larc.nasa.gov), n.d.)[27]



**Εικόνα 21** Διαδικασία συλλογής δεδομένων από την ιστοσελίδα της NASA-POWER

### 3.2.2 PVGIS

Το PVGIS ( Photovoltaic Geographical Information System) είναι ένα λογισμικό ,το οποίο παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να κατεβάσει ηλιακά δεδομένα δίνοντας του λεπτομέρειες όπως την τοποθεσία, τον τρόπο που είναι εγκατεστημένο το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, καθώς και σε τη μορφή της να τα κατεβάσεις και από ποια βάση δεδομένων. Στην **Εικόνα 22** φαίνεται το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού.( [re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools) , n.d.)[34].



Εικόνα 22 Λογισμικό συλλογής ηλιακών δεδομένων PVGIS

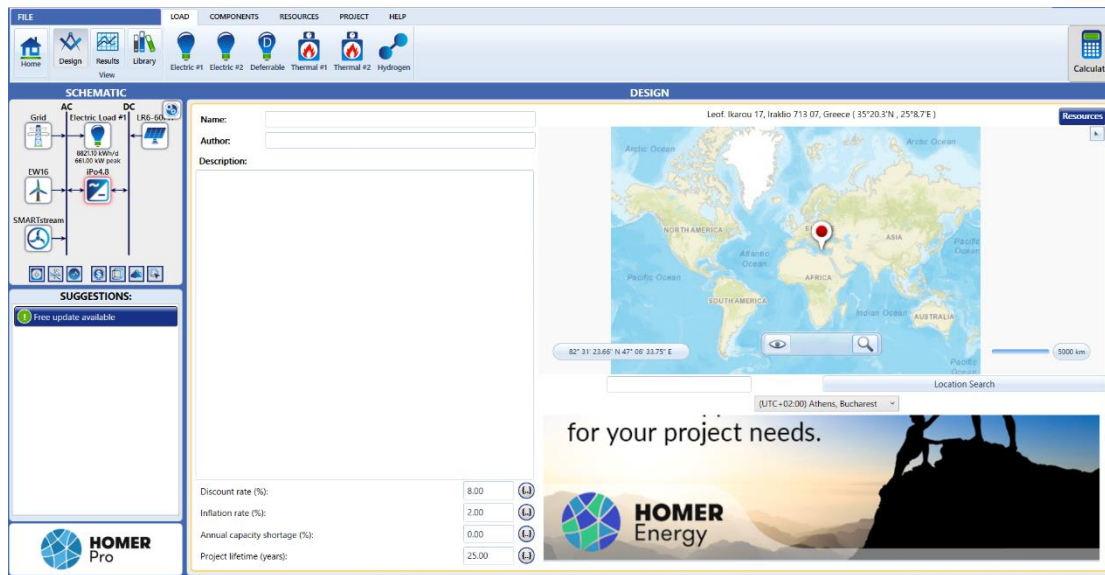
### 3.3 Λογισμικά μοντελοποίησης

Για την διαδικασία της μοντελοποίησης του συστήματος αξιοποιήθηκε το λογισμικό Homer PRO[35], το οποίο προσομοιώνει διάφορα σενάρια με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης.

#### 3.3.1 HOMER PRO

Το Homer Pro Microgrid είναι λογισμικό της HOMER ENERGY( έκδοση 3.14.2) το οποίο χρησιμοποιείται παγκοσμίως ως εργαλείο βελτιστοποίησης μικροδικτύων. Το λογισμικό αυτό προσφέρει την δυνατότητα στον χρήστη να μελετάει οποιαδήποτε περιοχή επιθυμεί και συνεπώς να αναπτύσσει αξιόλογα ενεργειακά σχέδια, τα οποία σχετίζονται με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να περιορίζεται σε κάποια συγκεκριμένη πηγή τροφοδοσίας(συνδεδεμένο με δίκτυο η αυτόνομο).

Για να πετύχουμε έναν ορθό σχεδιασμό κάποιου συστήματος, πρέπει να εξετάσουμε κάποιες βασικές παραμέτρους, όπως είναι η ακριβής αξιοποίηση τεχνολογιών-πηγών παραγωγής ενέργειας, ανάλογα με την εκάστοτε περιοχή μελέτης. Ο ορισμός των πηγών ενέργειας έχει να κάνει με τις διαθέσιμες τεχνολογικές επιλογές, τον αριθμό τους και τις τυχόν αλλαγές στο κόστος. Αφού έχει ρυθμιστεί κάθε παράμετρος το Homer Pro προσομοιώνει το εν λόγω ενεργειακό σύστημα και προσφέρει μια ποικιλία διαφορετικών προσεγγίσεων με σκοπό την ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους και του κόστους επένδυσης. Επίσης προσφέρει την επιλογή για αυτόνομη λειτουργία του συστήματος, για κάποιο χρονικό διάστημα, χρησιμοποιώντας συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Στην **Εικόνα 23**, παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ( Homerenergy.com , n.d.).



Εικόνα 23 Περιβάλλον εργασίας λογισμικού Homer PRO Microgrid

Στην προκειμένη μελέτη το λογισμικό παραμετροποιήθηκε με τον εξής τρόπο. Αρχικά ορίσαμε τις τεχνολογίες του συστήματος, τις οποίες αναφέρω πιο αναλυτικά στην επόμενη ενότητα. Έπειτα με βάση την εκάστοτε περιοχή μελέτης πιο συγκεκριμένα, το νησί της Κρήτης, συλλέξαμε τα πραγματικά δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και τα ενεργειακά δυναμικά για τις τεχνολογίες που αντιστοιχούν στην περιοχή αυτή, προσομοιώσαμε το ενεργειακό μας σύστημα ώστε να μας δώσει το homer την βέλτιστη συνδεσμολογία των τεχνολογιών που οδηγούν στο βέλτιστο, δηλαδή στο μικρότερο ενεργειακό κόστος και κόστος επένδυσης. Να αναφερθεί ότι στην μελέτη αυτή εφαρμόζεται η τεχνολογία net metering για αυτό και δεν χρησιμοποιείται σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Το net metering είναι μια τεχνολογία η οποία δίνει την δυνατότητα στους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ να συμψηφίζουν την ενέργεια που παράγουν με την ενέργεια που καταναλώνουν. Όταν η παραγωγή ενέργειας ξεπερνάει την κατανάλωση τότε οι περισσευούμενες κιλοβατώρες εγγράφονται στον λογαριασμό ηλεκτρικής ενέργειας ως πίστωση. Αντιθέτως εάν η κατανάλωση ξεπερνάει την παραγωγή τότε το επιπλέον ποσό πληρώνεται χρησιμοποιώντας τις πιστώσεις. Αυτή η τεχνολογία ενθαρρύνει την χρήση των ΑΠΕ και μειώνει τους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος. Όσον αφορά την διαδικασία της προσομοίωσης-μοντελοποίησης του συστήματος, το Homer βασίζεται σε κάποιες εξισώσεις, μερικές από αυτές είναι:

Το κόστος του προτεινόμενου συστήματος υπολογίζεται ως το άθροισμα των επιμέρους στοιχείων του. Πιο συγκεκριμένα προστίθενται τα κόστη του φωτοβολταϊκού, της ανεμογεννήτριας και της υδροκινητικής γεννήτριας **Εξίσωση 1**( Homerenergy.com , n.d.)

$$C_{total} = C_{PV} + C_{WT} + C_{HKT}$$

**Εξίσωση 1.** Εξίσωση Κόστους συστήματος στο Homer PRO

Όπου  $C_{PV}, C_{WT}, C_{HKT}$  είναι το κόστος για τα Φωτοβολταϊκά, τις ανεμογεννήτριες και τις υδροκινητικές γεννήτριες. Καθένα από αυτά τα κόστη υπολογίζεται από την **Εξίσωση 2** ( Homerenergy.com , n.d.)

$$C_i = N_i [C_{Cap,i} + (C_{Rep,i} + N_{r,i}) + C_{OM,i}]$$

**Εξίσωση 2** Υπολογισμός αυτοτελούς κόστους τεχνολογιών στο Homer PRO

Όπου  $N_i$  είναι ο αριθμός τεμαχίων του συστήματος,  $C_{Cap,i}$  το συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης κάθε στοιχείου,  $C_{Rep,i}$  το κόστος αντικατάστασης εξαρτήματος,  $N_{r,i}$  ο αριθμός των αντικαταστάσεων και  $C_{OM,i}$  τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης.

Η καθαρή παρούσα αξία του συστήματος υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3** ( Homerenergy.com , n.d.)

$$NPC = \frac{C_{tot,ann}}{CRF(i,n)}$$

**Εξίσωση 3** Υπολογισμός NPC στο Homer PRO

Όπου  $C_{tot,ann}$  είναι το συνολικό ετήσιο κόστος (€/έτος) και CRF ο παράγοντας ανάκτησης κεφαλαίου.

Το ισοδύναμο κόστος ενέργειας, Levelized Cost of Energy, (LCOE) προκύπτει από την **Εξίσωση 4** ( Homerenergy.com , n.d.)

$$LCOE = \frac{NPC}{E_{served}}$$

**Εξίσωση 4** Υπολογισμός Ισοδύναμου Κόστους Ενέργειας στο Homer PRO

Όπου NPC η καθαρή παρούσα αξία και  $E_{served}$  το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο.

### 3.4 Τεχνολογίες Συστήματος

Στο στάδιο της προσομοίωσης και μοντελοποίησης μέσα από διάφορα σενάρια, αναζητώντας το βέλτιστο, με βάση οικονομικά κριτήρια, αλλά και αυξάνοντας ταυτόχρονα την συμμετοχή των ΑΠΕ αξιοποιήθηκαν οι εξής τεχνολογίες: φωτοβολταϊκό πλαίσιο, μετατροπέας τάσης, ανεμογεννήτρια και υδροκινητική γεννήτρια.

#### 3.4.1 Φωτοβολταϊκό (Φ/Β) πλαίσιο

Το επιλεγμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι το μοντέλο Longi Solar LR6-60PH της εταιρίας LONGI Solar[36] και συνδυάστηκε με τον μετατροπέα τάσης iPower SHO-4.8(240vac), ο οποίο είναι ένας μετατροπέας αποκλειστικά για Φ/β και άρα δεν έχει δυνατότητες διόρθωσης τάσης(rectify).

Στον Πίνακα 4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου Longi Solar LR6-60PH περιγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Φ/Β πλαισίου.

Πίνακας 4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου Longi Solar LR6-60PH

Ισχύς ανά πλαίσιο(kW)	0.31
Βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας °C	40
Αποδοτικότητα(%)	19
Χρόνος ζωής(y)	25
Συντελεστής θερμοκρασίας ισχύος [%/°C]	-0,038

Το κόστος του Φ/Β πλαισίου υπολογίζεται αθροιστικά με τον μετατροπέα τάσης και αντιστοιχεί σε 2000 €/KW και θεωρούμε κόστος αντικατάστασης και ετήσιο κόστος συντήρησης αμελητέα.

Το ωριαίο δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το Φ/Β πλαίσιο δίνεται από την Εξίσωση 5. ( Homerenergy.com , n.d.)[29].

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left\{ \frac{G_T}{G_{T,STC}} \right\} [1 + a_P (T_{cell} - T_{cell,STC})]$$

Εξίσωση 5 Ωριαίο δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β πλαισίου

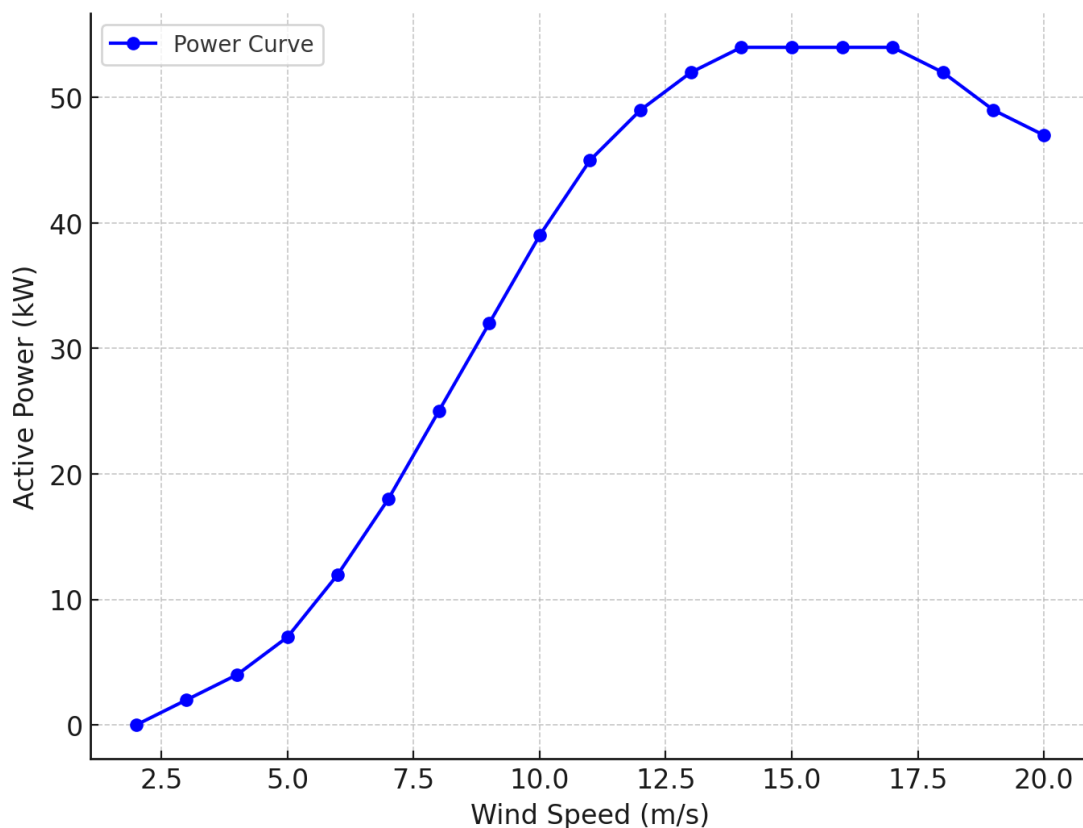
Όπου  $Y_{PV}$  είναι η ονομαστική χωρητικότητα του Φ/Β πλαισίου,  $f_{PV}$  ο λόγος μείωσης,  $G_T$  είναι η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία,  $G_{T,STC}$  η εισερχόμενη ακτινοβολία δοκιμής( $1\text{kW}/\text{m}^2$ ),  $a_P$  ο συντελεστής θερμοκρασίας ισχύος,  $T_{cell}$  η θερμοκρασία του στοιχείου,  $T_{cell,STC}$  η θερμοκρασία σε κανονικές συνθήκες δοκιμής, δηλαδή στους  $25^\circ\text{C}$ .

### 3.4.2 Ανεμογεννήτρια (Α/Γ)

Η Α/Γ που επιλέχθηκε είναι το μοντέλο EW16 Thetis της εταιρίας EUNICE ENERGY GROUP[37]. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στον **Πίνακας 5**. Όσον αφορά την απόδοση της, θα παρατηρήσετε στην **Εικόνα 24**, ότι η Α/Γ δεν ακολουθεί γραμμική συμπεριφορά διότι σε υψηλές ταχύτητες υπάρχει κίνδυνος για την μηχανική αντοχή της Α/Γ και έτσι η λειτουργία της περιορίζεται.

**Πίνακας 5** Τεχνικά Χαρακτηριστικά Α/Γ EW16 Thetis

Ονομαστική Ισχύς (kW)	54
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου (m/s)	12
Ελάχιστη επαρκής ταχύτητα ανέμου (m/s)	3
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (m/s)	20
Ύψος πλήμνης (m)	22.03
Χρόνος Ζωής (y)	25
Αποδοτικότητα (%)	90



**Εικόνα 24** Καμπύλη Ισχύος της Α/Γ EW16 Thetis

Το κόστος της Α/Γ αντιστοιχεί σε 3889 €/KW και θεωρούμε κόστος αντικατάστασης και ετήσιο κόστος συντήρησης αμελητέα.



Η Ταχύτητα του ανέμου σύμφωνα με το ύψος της πλήμνης, υπολογίζεται από την **Εξίσωση 6.**( N. Sifakis et al, 2021)[38].

$$V = V_i \left( \frac{H}{H_i} \right)^a$$

**Εξίσωση 6** Ταχύτητα ανέμου με βάση το ύψος πλήμνης.

Όπου  $V$  είναι η ταχύτητα ανέμου σε ύψος  $H$ ,  $V_i$  η ταχύτητα ανέμου σε ύψος  $H_i$  και  $a$  ο νόμος ισχύος.

Η ισχύς της Α/Γ υπολογίζεται από την **Εξίσωση 7.** ( N. Sifakis et al, 2021 )

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & V < V_{cut-in} \text{ and } V \geq V_{cut-out} \\ \frac{P_r(V - V_{cut-in})}{(V_r - V_{cut-in})} & V_{cut-in} \leq V \leq V_r \\ P_r & V_r \leq V < V_{cut-out} \end{cases}$$

**Εξίσωση 7** Υπολογισμός της ισχύς Α/Γ.

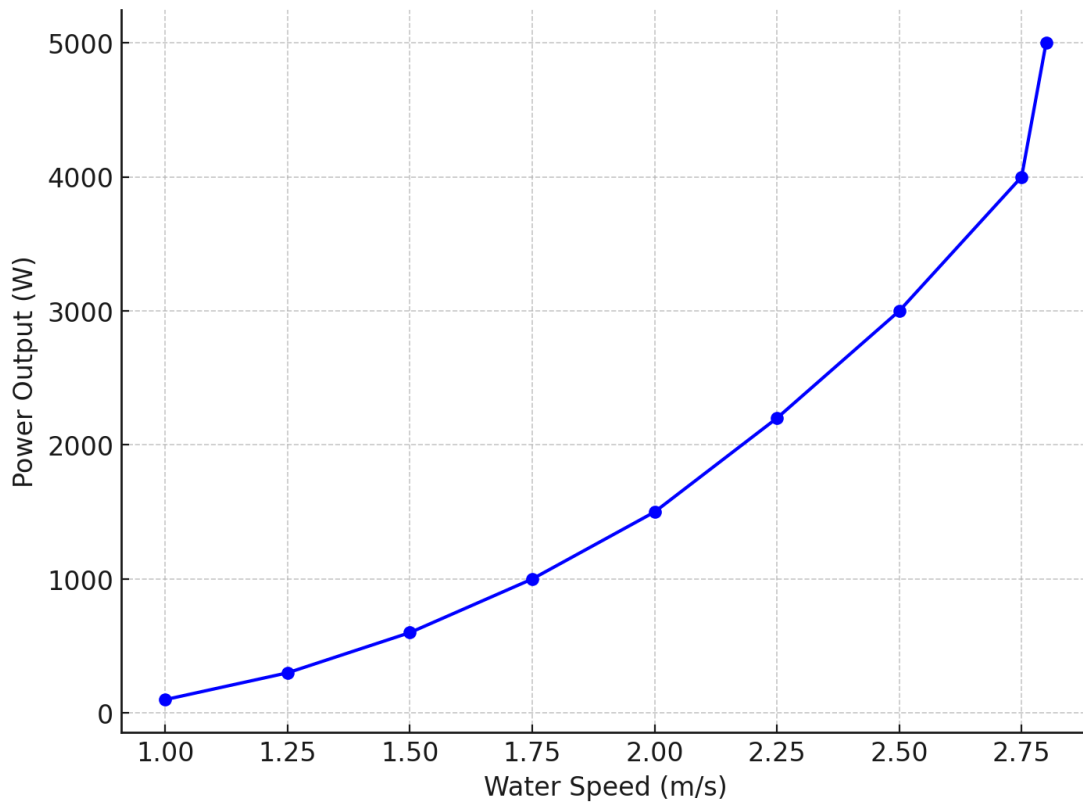
Όπου  $P_r$  είναι η ονομαστική ισχύς,  $V_{cut-in}$ , η ελάχιστη επαρκής ταχύτητα,  $V_{cut-out}$  η ταχύτητα αποκοπής και  $V_r$  η ονομαστική ταχύτητα.

### 3.4.3 Υδροκινητική Γεννήτρια (Υ/Γ)

Η Υδροκινητική Γεννήτρια που επιλέχθηκε είναι το μοντέλο SMART Free Stream 5kw της εταιρίας Smart Hydro Power . Στον **Πίνακα 3.6** παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της Υ/Γ και στην **Εικόνα 25** φαίνεται η συμπεριφορά της Υ/Γ σε σχέση με την ταχύτητα του νερού.

**Πίνακας 3.6.** Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υ/Γ SMART Free Stream 5kw

<b>Ονομαστική Ισχύς (kW)</b>	<b>5</b>
<b>Ελάχιστο βάθος ποταμού(m)</b>	<b>2</b>
<b>Ταχύτητα Αποκοπής(m/s)</b>	<b>2.8</b>
<b>Επιφάνεια Σάρωσης (m<sup>2</sup>)</b>	<b>1</b>



Εικόνα 25 Καμπύλη Ισχύος της Υ/Γ μοντέλο SMART Free Stream 5kw

Η ισχύς της Υ/Γ δίνεται από την **Εξίσωση 8** Υπολογισμός Ισχύος Υ/Γ όπου είναι ίδια με την **Εξίσωση 3.16** με την βασική διαφορά ότι στις ταχύτητες έχουμε ταχύτητες νερού.

$$P_{hkt} = \begin{cases} 0 & V < V_{cut-in} \text{ and } V \geq V_{cut-out} \\ P_r \frac{(V - V_{cut-in})}{(V_r - V_{cut-in})} & V_{cut-in} \leq V \leq V_r \\ P_r & V_r \leq V < V_{cut-out} \end{cases}$$

Εξίσωση 8 Υπολογισμός Ισχύος Υ/Γ

Το κόστος της Α/Γ αντιστοιχεί σε 3000€/KW και θεωρούμε κόστος αντικατάστασης και ετήσιο κόστος συντήρησης αμελητέα.

Οι παραπάνω τεχνολογίες προσομοιώθηκαν στην γλώσσα προγραμματισμού Python με τη παρακάτω μέθοδο. Αρχικά δημιουργήθηκαν 3 κλάσεις, μία για κάθε τεχνολογία. Η κάθε κλάση δέχεται ως είσοδο την εγκατεστημένη ισχύ που θέλουμε και παράγει ως έξοδο ένα csv αρχείο, το οποίο περιέχει την ενέργεια που παράγει η κάθε πηγή για ένα χρόνο, με χρονικό βήμα (timestep) την μία ώρα. Η ενέργεια της κάθε πηγής προκύπτει

μέσα από τις παραπάνω εξισώσεις, οι οποίες γράφτηκαν στην Python. Επιπλέον η κάθε κλάση διαβάζει τους πόρους της τεχνολογίας από ένα αρχείο csv, το οποίο περιέχει τα συγκεκριμένο δυναμικό για έναν χρόνο, με χρονικό βήμα την μία ώρα.

### 3.5 Σχηματισμός Αντικειμενικής Συνάρτησης

Η αντικειμενική συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε για το ενεργειακό μοντέλο του κόστους δίνεται από την **Εξίσωση 9** Αντικειμενική συνάρτηση

$$[\min]F(x) = LCOE_{\text{system}}$$

**Εξίσωση 9** Αντικειμενική συνάρτηση

Το ισοδύναμο ενεργειακό κόστος δίνεται από την **Εξίσωση 10** (Homerenergy.com, n.d.).

$$LCOE_{\text{system}} = \frac{C_{\text{ann}}}{E_{\text{served}}}$$

**Εξίσωση 10** Υπολογισμός Ισοδύναμου Ενεργειακού Κόστους

Το  $C_{\text{ann}}$  αφορά το συνολικό ετήσιο κόστος και υπολογίζεται από την **Εξίσωση 11**. (Homerenergy.com, n.d.):

$$C_{\text{ann}} = NPC * CRF(i, N)$$

**Εξίσωση 11** Συνολικό Ετήσιο Κόστος

Το NPC είναι το καθαρό κόστος παρούσας αξίας και προκύπτει από την **Εξίσωση 12**

$$NPC = C_{\text{total\_initial}} + C_{\text{total\_discounted}}$$

**Εξίσωση 12** Υπολογισμός καθαρού κόστους παρούσας αξίας

Το  $C_{\text{total\_initial}}$  αναφέρεται στο αρχικό κεφάλαιο του συστήματος και δίνεται από την **Εξίσωση 13**

$$C_{\text{total\_initial}} = C_{PV_{\text{tot}}} + C_{wt_{\text{tot}}} + C_{HKT_{\text{tot}}} - C_{grid_{\text{tot}}}$$

**Εξίσωση 13** Υπολογισμός αρχικού κεφαλαίου συστήματος

Όπου τα  $C_{PV_{\text{tot}}}$ ,  $C_{wt_{\text{tot}}}$ ,  $C_{HKT_{\text{tot}}}$ ,  $C_{grid_{\text{tot}}}$  είναι το συνολικό κόστος της κάθε πηγής παραγωγής ενέργειας. Αυτό υπολογίζεται από την εγκατεστημένη ισχύ σε KW της κάθε πηγής πολλαπλασιαζόμενη με το κόστος ανά KW που αντιστοιχεί στην κάθε πηγή. Το κόστος αυτό είναι μια σταθερή τιμή για το φωτοβολταϊκό, την ανεμογεννήτρια, την υδροκινητική γεννήτρια και το δίκτυο, για το δίκτυο είναι ίδια τιμή και για την Kwh. Οι τιμές αυτές είναι:

Τεχνολογία	Κόστος Εγκατάστασης, €/KW
Φωτοβολταϊκό	2000
Ανεμογεννήτρια	3889
Υδροκινητική γεννήτρια	3000
Δίκτυο	0.33

Το  $C_{total\_discounted}$  είναι το μειωμένο κόστος λειτουργίας του δικτύου για την διάρκεια της εργασίας, δηλαδή για  $N=25$  χρόνια και εφαρμόζοντας ποσοστό έκπτωσης  $i = 0.0588$ .

Το  $CRF(i, N)$  είναι ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου και υπολογίζεται από την **Εξίσωση 14** (Homerenergy.com, n.d.):

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

**Εξίσωση 14** Υπολογισμός συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου.

Όπου  $N = 25$  χρόνια διάρκειας εργασίας και ποσοστό έκπτωσης  $i = 0.0588$ .

### 3.6 Περιγραφή λειτουργίας Αλγορίθμου

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του γενετικού Αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη αυτή. Για την υλοποίηση του γενετικού αλγορίθμου, επιλέχθηκε η βιβλιοθήκη `pygad`[39] της Python. Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη προσφέρει μια σειρά από έτοιμες συναρτήσεις και μεθόδους που διευκολύνουν σημαντικά την εφαρμογή γενετικών αλγορίθμων σε διαφορετικούς τύπους προβλημάτων, προσφέροντας ταυτόχρονα ευελιξία στον ορισμό παραμέτρων και στη διαχείριση του πληθυσμού.

Αρχικά ο αλγόριθμος διαβάζει το αρχείο της ωριαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για έναν χρόνο. Η διαδικασία αυτή συνοδεύεται από μηχανισμούς ελέγχου για τη διασφάλιση της επιτυχούς ανάγνωσης των δεδομένων, με διαχείριση εξαιρέσεων που επιτρέπει την ασφαλή εκτέλεση του κώδικα ακόμα και σε περιπτώσεις σφαλμάτων, όπως η απουσία του αρχείου. Έπειτα ορίζονται κάποιες σταθερές μεταβλητές όπως είναι το κόστος εγκατάστασης της κάθε πηγής ενέργειας, (€/KW), τα χρόνια διάρκειας της μελέτης ( $N = 25$ ) το ποσοστό έκπτωσης  $i = 0.0588$ , το επιθυμητό ποσοστό ενσωμάτωσης των ΑΠΕ τεχνολογιών και κάποια πάνω και κάτω όρια, για την κάθε τεχνολογία ΑΠΕ. Οι τιμές αυτές παίζουν κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό της οικονομικής βιωσιμότητας του συστήματος και της δυνατότητας επίτευξης των ενεργειακών στόχων.

Στην συνέχεια γίνεται ο ορισμός την Αντικειμενικής συνάρτησης χρησιμοποιώντας την μέθοδο που παρέχεται από την βιβλιοθήκη `pygad`. Με αυτήν την συνάρτηση θα γίνει η βελτιστοποίηση του συστήματος μέσω του γενετικού αλγορίθμου, και θα μας δώσει ως έξοδο το ελάχιστο ισοδύναμο ενεργειακό κόστος μέσα από τα βήματα που θα αναλυθούν παρακάτω. Η αντικειμενική συνάρτηση, ή αλλιώς *fitness function*, είναι ο βασικός μηχανισμός αξιολόγησης κάθε λύσης. Μέσω αυτής, ο αλγόριθμος καθορίζει πόσο "καλή" είναι μια λύση, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την παραγόμενη ενέργεια όσο και τις οικονομικές επιπτώσεις, όπως το κόστος εγκατάστασης και την ποινή για την υπέρβαση των ενεργειακών ορίων. Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως παραμέτρους, δηλαδή τις μεταβλητές που πρέπει να βελτιστοποιήσει, την ισχύ εγκατάστασης του Φ/Β πλαισίου, της Α/Γ, και της Υ/Γ. Γίνεται η αρχικοποίηση των κλάσεων των τριών αυτών

στοιχείων και καλούνται από τον αλγόριθμο κάθε φορά με την ισχύ που επιλέγει αυτός παράγοντας τα αρχεία που περιέχουν την ωριαία παραγωγή ενέργειας για έναν χρόνο της κάθε πηγής.

Στην συνέχεια αθροίζεται η ωριαία παραγωγή ενέργειας από την κάθε πηγή για να δούμε εάν χρειάζεται να εισαχθεί ενέργεια από το δίκτυο. Η ενέργεια του δικτύου που αγοράζεται είναι η διαφορά του αθροίσματος των ενεργειών που παράγονται από τις ΑΠΕ και του φορτίου, κάθε ώρα. Η συνολική ενέργεια που παράγεται είναι το άθροισμα των ΑΠΕ και του δικτύου. Αυτή η ενέργεια υπόκειται σε περιορισμό, και αν τον ξεπεράσει, επιβάλλεται ποινή μέσω της αντικειμενικής συνάρτησης, μειώνοντας έτσι την καταλληλότητα της συγκεκριμένης λύσης. Τα ποσοστά συμμετοχής της κάθε πηγής είναι η ενέργεια που παράγει η εκάστοτε πηγή προς την συνολική παραγόμενη ενέργεια. Τα ολικά κόστη κάθε πηγής υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας την σταθερά του κόστους εγκατάστασης με την εγκατεστημένη ισχύ που διαλέγει ο γενετικός αλγόριθμος. Το αρχικό κεφάλαιο του συστήματος υπολογίζεται αθροίζοντας τα επιμέρους ολικά κόστη των ΑΠΕ και αφαιρώντας το ολικό κόστος του δικτύου. Στο σημείο αυτό, ο κώδικας προχωρά στον υπολογισμό διαφόρων οικονομικών δεικτών, όπως το καθαρό παρόν κόστος (NPC), η απόδοση της επένδυσης (ROI), η εσωτερική απόδοση επενδύσεων (IRR), και το ισοδύναμο κόστος ενέργειας (LCOE). Αυτοί οι δείκτες προσφέρουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της οικονομικής αποδοτικότητας του συστήματος.

Για τις τεχνολογίες των ΑΠΕ εφαρμόζεται μια μέθοδος αυξομείωσης της ισχύς εγκατάστασης με βήμα την ονομαστική τιμή ισχύς της καθεμίας, πάντα με τήρηση των άνω και κάτω ορίων κάθε τεχνολογίας. Η μέθοδος αυτή ενσωματώνεται στο πλαίσιο της γενετικής μετάλλαξης, επιτρέποντας στον αλγόριθμο να εξερευνά νέες περιοχές στο χώρο αναζήτησης, με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Ύστερα καλείται ο γενετικός αλγόριθμος με τις κατάλληλες παραμέτρους, όπως είναι ο αριθμός των γενεών, ο αριθμός των γονιδίων, η μέθοδος αναπαραγωγής και ο αριθμός των ζευγαρωμάτων σε κάθε γενεά, ο αριθμός των λύσεων στον πληθυσμό και ο τρόπος και η πιθανότητα της μετάλλαξης. Αφού ο γενετικός μας έχει δώσει το βέλτιστο LCOE και ισχύ εγκατάστασης της κάθε τεχνολογίας ΑΠΕ, που αντιστοιχούν σε αυτό τότε καλείται μία μέθοδος η οποία δέχεται ως παράμετρο τις βέλτιστες αυτές ισχύς, εφαρμόζει ξανά την ίδια μεθοδολογία που αναλύθηκε παραπάνω χωρίς όμως να επιστρέφει και να υπολογίζει το LCOE καθώς δεν μας ενδιαφέρει διότι το έχουμε ήδη βρει. Η μέθοδος αυτή είναι κρίσιμη για την επικύρωση της λύσης και την παραγωγή λεπτομερών δεδομένων που αποθηκεύονται σε μορφή CSV. Η μέθοδος αυτή επιστρέφει ένα csv αρχείο, στο οποίο αποθηκεύονται για ένα χρόνο με βήμα την μία ώρα στοιχεία, όπως οι παραγωγές των ΑΠΕ και η εισαγόμενη ενέργεια του δικτύου, το φορτίο, η παραγόμενη ενέργεια, τα ποσοστά συμμετοχής της κάθε πηγής στην κάλυψη του φορτίου, τα δυναμικά κάθε πηγής και όλα αυτά σε ωριαία βάση για ένα χρόνο. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν την περαιτέρω ανάλυση και τον έλεγχο της αποδοτικότητας του συστήματος, με σκοπό τη βελτιστοποίηση και σε άλλα πιθανά σενάρια.

### 3.7 Δείκτες Σύγκρισης

Η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων του γενετικού αλγορίθμου γίνεται με την χρήση οικονομικών δεικτών, οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω.

Αρχικά ένας σημαντικός δείκτης είναι το καθαρό κόστος παρούσας αξία, Net Present Cost, (NPC), ο οποίος αφορά το συνολικό κόστος μιας επένδυσης κατά την διάρκεια ζωής της και υπολογίζεται από την **Εξίσωση 12**, η οποία έχει αναλυθεί σε προηγούμενη ενότητα

Σε μία επένδυση σημαντικός δείκτης αποτελεί η Παρούσα Αξία, Present Worth, (PW) και είναι η διαφορά των NPC του συστήματος μελέτης και του συστήματος αναφοράς, δηλαδή του συστήματος που βασίζεται μόνο στο δίκτυο διανομής, και υπολογίζεται από την **Εξίσωση 15**

$$PW = NPC_{BASE} - NPC_{REF}$$

**Εξίσωση 15** Υπολογισμός Παρούσας αξίας

Όπου  $NPC_{BASE}$  είναι το καθαρό κόστος παρούσας αξίας του συστήματος αναφοράς και  $NPC_{REF}$ , του συστήματος υπό μελέτη.

Την ίδια λογική ακολουθεί και ο δείκτης Ετήσια Αξία, Annual Worth (AW), καθώς μετατρέπει την παρούσα αξία σε ισόποσες ετήσιες ταμειακές ροές και υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την Παρούσα Αξία, (PW) με τον συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου  $CRF(i, N)$ , **Εξίσωση 16**.

$$AW = PW * CRF(i, N)$$

**Εξίσωση 16** Υπολογισμός Ετήσιας Αξίας

Ένας βασικός οικονομικός δείκτης που χρησιμοποιείται για την απόδοση μιας επένδυσης είναι ο δείκτης Απόδοση επένδυσης, Return on Investment (ROI)[40] και υπολογίζεται από την **Εξίσωση 17**.

$$ROI = \frac{\sum_{i=0}^N (C_{i,ref} - C_i)}{N(C_{cap} - C_{cap,ref})}$$

**Εξίσωση 17** Υπολογισμός Απόδοσης Επένδυσης

Όπου  $C_{i,ref}$  είναι η ονομαστική ταμειακή ροή για το σύστημα αναφοράς,  $C_i$  η ονομαστική ταμειακή ροή για το σύστημα υπό μελέτη,  $N$  είναι τα χρόνια διάρκειας της μελέτης,  $C_{cap}$  το κόστος επένδυσης για το σύστημα μελέτης και  $C_{cap,ref}$  το κόστος επένδυσης για το σύστημα αναφοράς, το οποίο είναι μηδενικό καθώς το δίκτυο είναι κάτι που προϋπάρχει και δεν συμπεριλαμβάνεται ως επένδυση.

Εξίσου σημαντικό δείκτη αποτελεί ο δείκτης της Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης, Internal Rate of return, (IRR)[40] και εκφράζει το επιτόκιο απόδοσης μιας επένδυσης, δηλαδή το ποσοστό στο οποίο τα έσοδα της επένδυσης ισοδυναμούν με το αρχικό κόστος. Είναι το σημείο στο οποίο το NPC της επένδυσης γίνεται μηδενικό. Το IRR υπολογίζεται από την **Εξίσωση 18**

$$0 = NPC = \sum_{t=1}^T \left( \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} \right) - C_0$$

**Εξίσωση 18** Υπολογισμός Εσωτερικής Απόδοσης

Όπου  $t$  είναι ο αριθμός των χρονικών περιόδων ή η διάρκεια ζωής της μελέτης,  $N = 25$  χρόνια,  $C_0$  είναι το κόστος αρχικής επένδυσης,  $C_t$  είναι ταμειακές ροές, που στην περίπτωση μας είναι το μειωμένο κόστος λειτουργίας του δικτύου για την διάρκεια του πρότζεκτ, το οποίο υπολογίζεται εφαρμόζοντας ποσοστό έκπτωσης  $i = 0.0588$ .

Τέλος ο δείκτης Χρόνος Αποπληρωμής, Payback Period (PP), χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει σε πόσο χρόνο η επένδυση θα ανακτήσει τα χρήματα του αρχικού κεφαλαίου. Υπολογίζεται με την **Εξίσωση 19**. [38].

$$PP = \frac{C_0}{C_{if}}$$

**Εξίσωση 19** Υπολογισμός Περιόδου Απόσβεσης.

Όπου  $C_0$  είναι το κόστος αρχικού κεφαλαίου και  $C_{if}$ , η διαφορά στο κόστος δικτύου στο σύστημα αναφοράς και στο σύστημα υπό μελέτη.

Για τους δείκτες αυτούς δημιουργήθηκαν σύνθετα μοντέλα για τον βέλτιστο υπολογισμό τους, ώστε να προκύπτουν ασφαλή και αξιόπιστα αποτελέσματα.

### 3.8 Σενάρια προς μοντελοποίηση

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα σενάρια, προς μοντελοποίηση και τα οποία αποσκοπούν στην εύρεση της βέλτιστης τιμής για το Ισοδύναμο Κόστος Ενέργειας, ΙΚΕ. Το κάθε σενάριο αξιολογείται με βάση τους οικονομικούς δείκτες.

Αρχικώς, όλα τα σενάρια χρησιμοποιούν τις ίδιες τεχνολογίες, συγκεκριμένα περιλαμβάνουν Φωτοβολταϊκά πλαίσια, ανεμογεννήτριες, υδροκινητικές γεννήτριες και το δίκτυο. Τα σενάρια που προσομοιώθηκαν ανέρχονται σε έξι. Το ένα σενάριο χρησιμοποιεί μόνο το δίκτυο και λειτουργεί ως σενάριο αναφοράς. Δύο από αυτά εκμεταλλεύονται την τεχνολογία του net metering, ενώ τα άλλα δύο όχι. Το τελευταίο σενάριο χρησιμοποιεί την τεχνολογία net metering και εφαρμόζει ένα επιπλέον πάγιο για την χρήση της τεχνολογίας Όλα τα σενάρια έχουν προσομοιωθεί με τις ίδιες ακριβώς ρυθμιστικές παραμέτρους, χρησιμοποιώντας το λογισμικό Homer PRO.

Αναφορικά με τα σενάρια που δεν περιλαμβάνουν την τεχνολογία του net metering, το πρώτο λειτουργεί ακριβώς όπως το λογισμικό Homer PRO, ενώ το δεύτερο βελτιστοποιεί τον αλγόριθμο σε σύγκριση με το Homer. Με παρόμοιο τρόπο λειτουργούν και τα υπόλοιπα δύο σενάρια που ενσωματώνουν την τεχνολογία του net metering. Τα σενάρια που ταυτίζονται με το Homer έχουν σχεδιαστεί με σκοπό να αναπαραστήσουν τη λειτουργία του λογισμικού, εφαρμόζοντας τον γενετικό αλγόριθμο, προκειμένου να γίνει μια αξιολόγηση της απόδοσης του αλγορίθμου.

Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, στον γενετικό αλγόριθμο έχουν εφαρμοστεί

συγκεκριμένοι συντελεστές διόρθωσης, οι οποίοι αφορούν τις ποσότητες ενέργειας που ρέουν προς και από το δίκτυο. Επιπλέον, στα σενάρια που δεν χρησιμοποιούν net metering, παρατηρείται ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου η ενέργεια που παρέχουμε στο δίκτυο υπερβαίνει την ενέργεια που μας παρέχει το δίκτυο, το λογισμικό Homer ενδέχεται να αντιμετωπίσει δυσκολίες στον υπολογισμό της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται, καταλήγοντας σε υπερεκτίμηση αυτής.

Οι ρυθμιστικές παράμετροι του κάθε σεναρίου που προσομοιώθηκε παρουσιάζονται στον **Πίνακας 6**.

**Πίνακας 6** Ρυθμιστικές Παράμετροι για το κάθε σενάριο

Σενάριο	Φ/β	Α/Γ	Υ/Γ	Δίκτυο	Net Metering	Enhanced	Net Metering 2.0
<b>0</b>	X	X	X	✓	X	X	X
<b>1</b>	✓	✓	✓	✓	X	X	X
<b>2</b>	✓	✓	✓	✓	X	✓	X
<b>3</b>	✓	✓	✓	✓	✓	X	X
<b>4</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
<b>5</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



## 4. Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση των σεναρίων που προσομοιώθηκαν, τα οποία αξιολογούνται σε μια προσπάθεια εύρεσης του βέλτιστου σεναρίου για την μείωση του Ισοδύναμου Κόστους Ενέργειας.

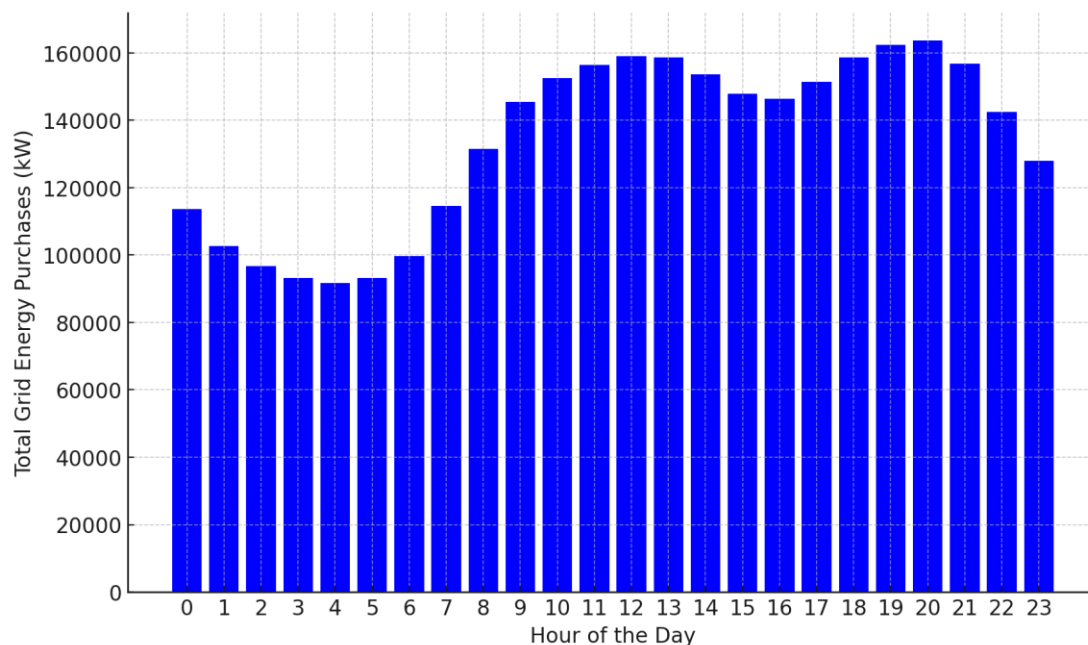
### 4.1 Σενάριο 0:Μόνο Δίκτυο

Σύμφωνα με το σενάριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας μόνο το δίκτυο. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η οποία λειτουργεί ως βάση αναφοράς για τα υπόλοιπα σενάρια, η οποία διεξάχθηκε στο λογισμικό Homer Pro, παρουσιάζονται στον **Πίνακας 7**.

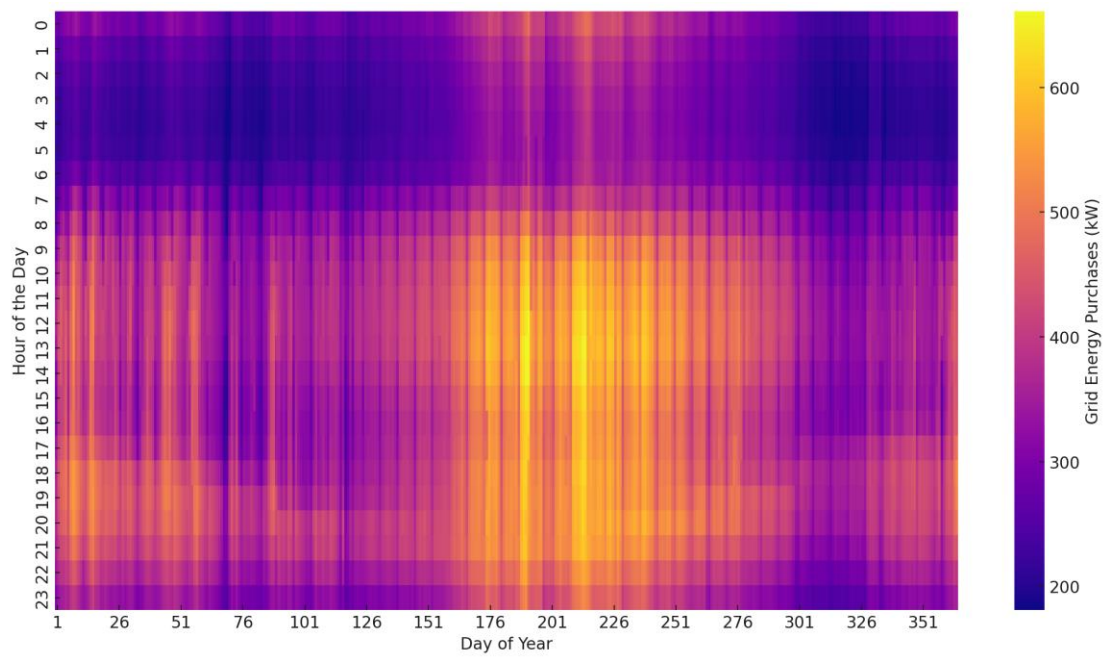
**Πίνακας 7** . Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος σεναρίου μηδέν

Καθαρή παρούσα αξία,(NPC) (€)	13,735,504.41
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας ,(LCOE) (€)	0.330
Συνολική προμηθευόμενη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (kWh/y)	3,219,701
Ποσοστό προμηθευόμενης ενέργειας από το τοπικό δίκτυο (%)	100

Στην **Εικόνα 26** απεικονίζεται η ωριαία εισαγόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σενάριο αναφοράς και στην **Εικόνα 27** φαίνεται η συνολική εισαγόμενη ενέργεια από το δίκτυο.



**Εικόνα 26** Ωριαία Εισαγόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σύστημα του σεναρίου μηδέν



Εικόνα 27 Συνολική εισαγόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σενάριο μηδέν

## 4.2 Σενάριο 1: Προσομοίωση λειτουργίας Homer σε περιβάλλον Python

Για το σύστημα του πρώτου σεναρίου ο αλγόριθμος επέλεξε τις εξής τεχνολογίες και χωρητικότητες:

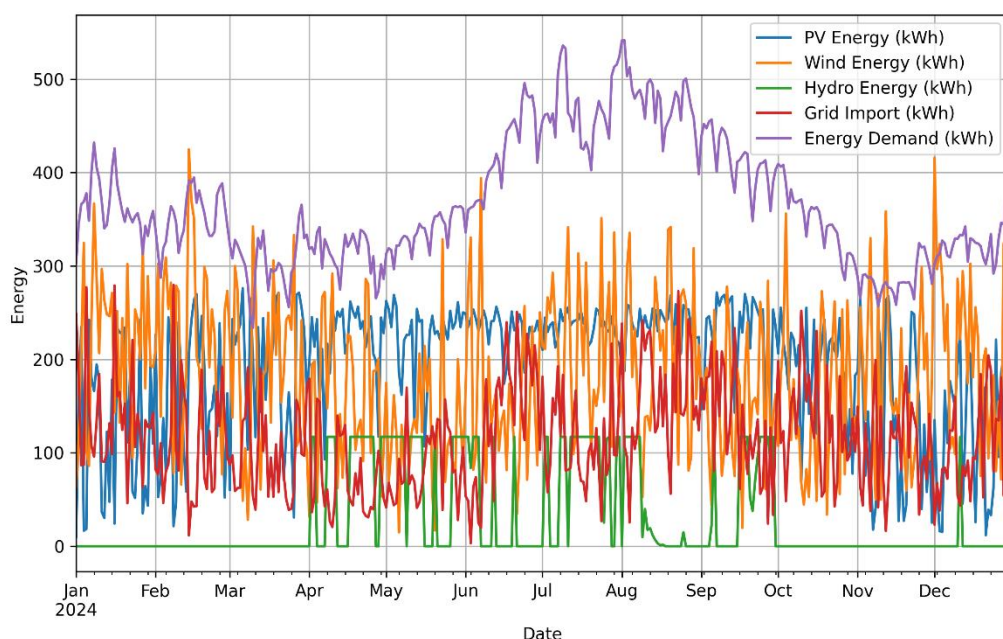
- Φ/Β πλαίσια Longi Solar LR6-60PH συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1045 kW
- Α/ΓΕ EW16 Thetis συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 486 kW (9 τεμάχια)
- Υ/Γ SMART Free Stream 5kW συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 75 kW (15 τεμάχια)

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτού του σεναρίου, παραπέμπονται στον **Πίνακα 8**.

**Πίνακας 8** Αποτελέσματα προσομοίωσης πρώτου σεναρίου

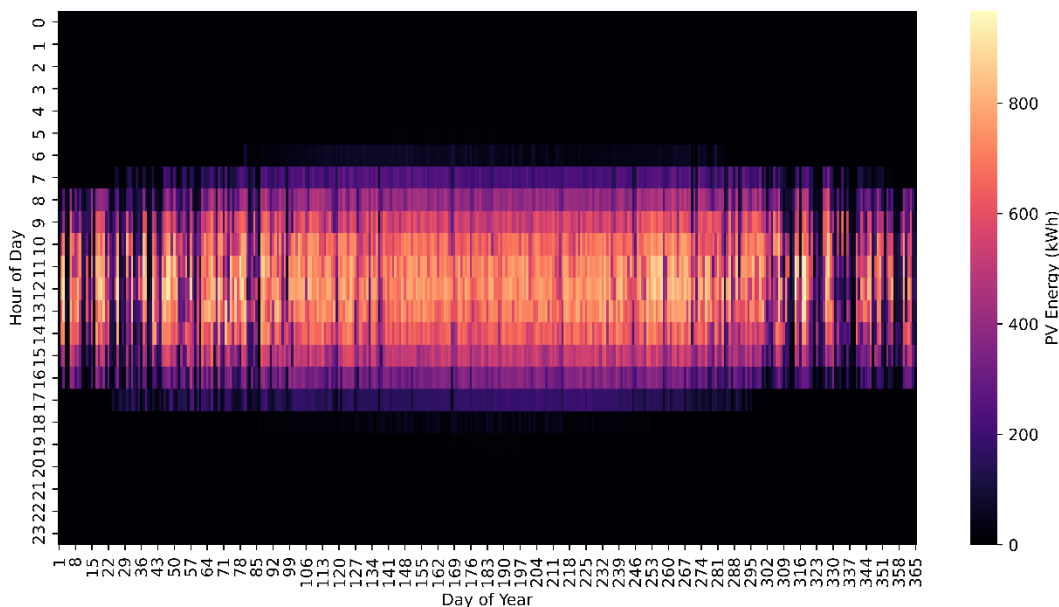
Καθαρή παρούσα αξία, (NPC) (€)	8,520,309.555
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας, (LCOE) (€)	0.1570
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	4,205,000.07
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Φ/Β (kWh/y)	1,681,659.332
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Α/Γ (kWh/y)	1,600,066.33
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Υ/Γ (kWh/y)	251,505.937
Συνολική προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο (kWh/y)	1,011,526.996
Συνολική ενέργεια που παροχετεύτηκε στο τοπικό δίκτυο (kWh/y)	977,601.40
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	77.74
Ποσοστό συμμετοχής δικτύου στην καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	22.26
Παρούσα Αξία, (PW) (€)	5,215,194.855
Ετήσια Αξία (AW) (€)	403,418.1534
Απόδοση Επένδυσης (ROI) (%)	12,76
Εσωτερική Απόδοση (IRR) (%)	16,98
Περίοδος Αποσβέσης (PP) (y)	5,77

Στην **Εικόνα 28** απεικονίζεται η μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου για την κάλυψη του φορτίου. Η μεγάλη συμμετοχή των ΑΠΕ ελαττώνει σε καλό βαθμό την εξάρτηση από το δίκτυο και ταυτόχρονα μειώνει το ισοδύναμο ενεργειακό κόστος. Παρατηρούμε ότι το φορτίο ικανοποιείται κάθε χρονική στιγμή.



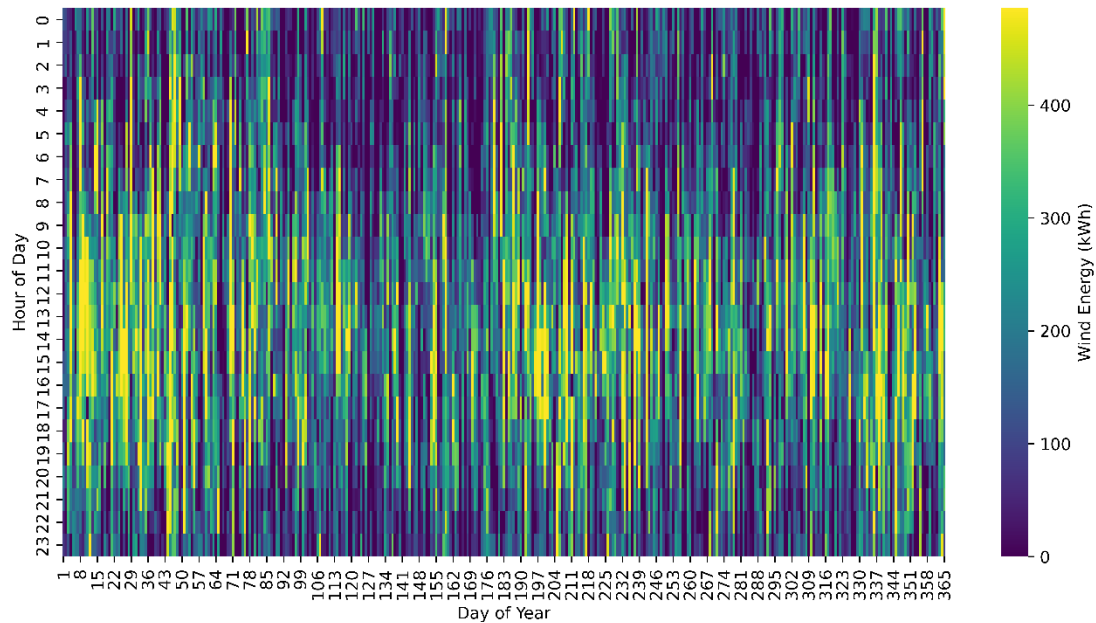
**Εικόνα 28** Μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου

Στη **Εικόνα 29** απεικονίζεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για όλη την διάρκεια του χρόνου, και ιδιαίτερα του θερινούς μήνες, λόγω της άφθονης ηλιακής ακτινοβολίας, επαληθεύοντας το ευνοϊκό ηλιακό δυναμικό της περιοχής.



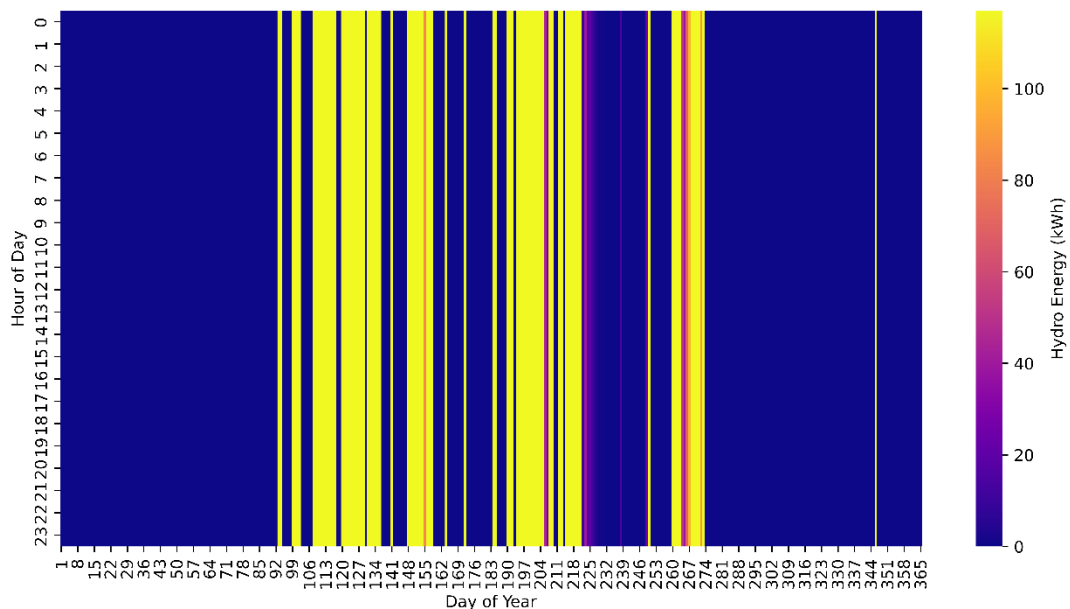
**Εικόνα 29** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του πρώτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 30** φαίνεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Α/Γ. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια συνεχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη την διάρκεια του χρόνου δικαιολογώντας το αρκετά καλό αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης.



**Εικόνα 30** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του πρώτου σεναρίου

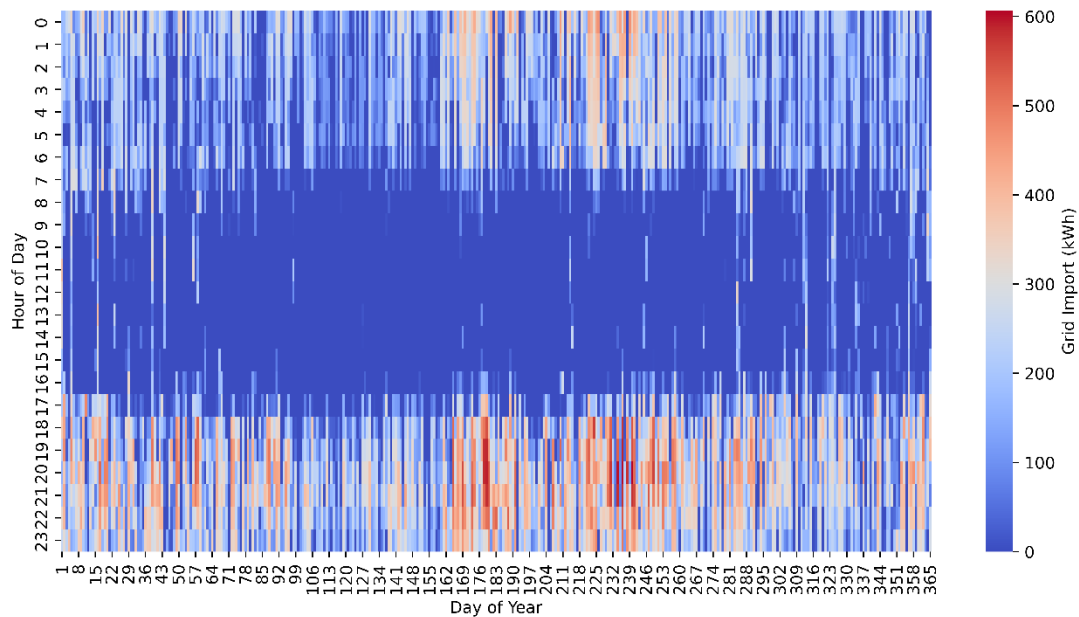
Στην **Εικόνα 31** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια από την λειτουργία των Υ/Γ. Όπως φαίνεται δεν έχουμε μια διαρκή παραγωγή ενέργειας για όλο τον χρόνο καθώς ο ποταμός έχει την ελάχιστη απαιτούμενη ταχύτητα νερού για να ξεκινήσει να παράγει η Υ/Γ μόνο τους μήνες που υπάρχουν σταθερές και δυνατές βροχοπτώσεις, το οποίο είναι και αναμενόμενο.



**Εικόνα 31** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Υ/Γ για το σύστημα του πρώτου σεναρίου

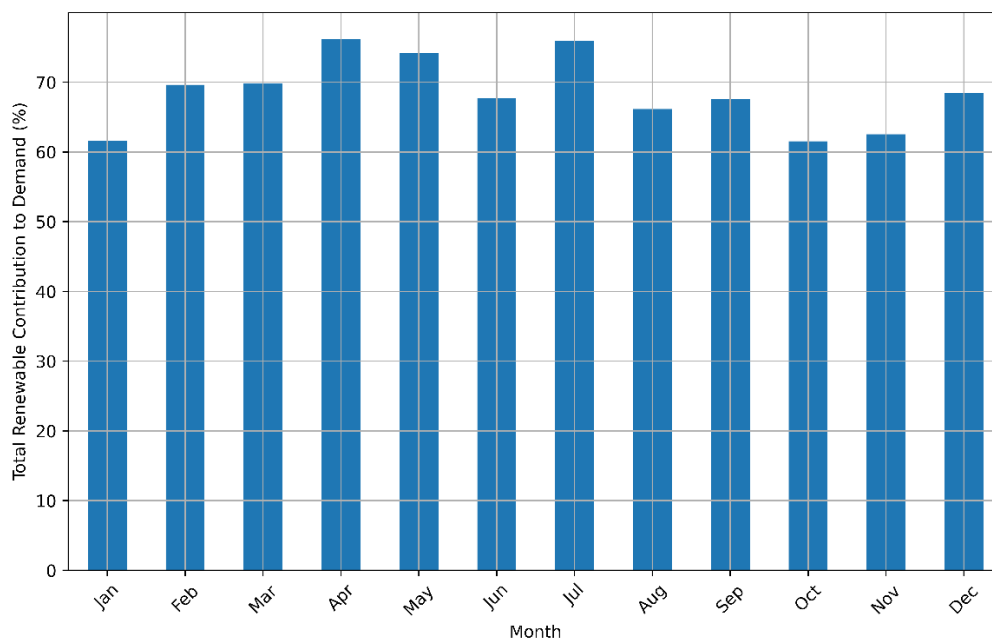
Στην **Εικόνα 32** απεικονίζεται η προμηθευόμενη ενέργεια από την λειτουργία του δικτύου. Όπως φαίνεται στην εικόνα, το σύστημα αδυνατεί να προμηθεύσει την ενέργεια που απαιτείται για να καλύψει τις ανάγκες του νησιού κατά την διάρκεια

των θερινών μηνών , και ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες, διότι η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται εξαιτίας του μεγάλου αριθμού τουριστών του νησιού, το οποίο είναι αναμενόμενο.



**Εικόνα 32** Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια από την λειτουργία του δικτύου για το σύστημα του πρώτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 33** παρουσιάζεται το μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια.. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια σταθερή συμμετοχή των ΑΠΕ της τάξης του 60%-70%, το οποίο βοηθάει στην ανεξαρτητοποίηση του συστήματος από το δίκτυο.



**Εικόνα 33** Μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου.

### 4.3 Σενάριο 2:Βελτιστοποίηση λειτουργίας Homer σε περιβάλλον Python

Για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου ο αλγόριθμος επέλεξε τις εξής τεχνολογίες και χωρητικότητες:

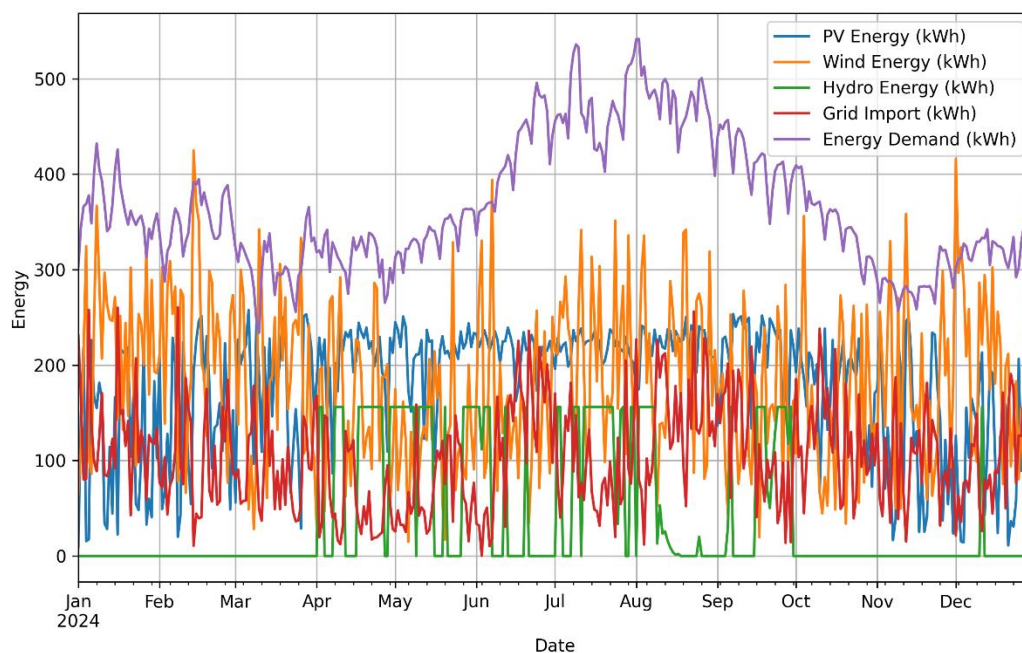
- Φ/Β πλαίσια Longi Solar LR6-60PH συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 975 kW
- Α/ΓΕ EW16 Thetis συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 486 kW(9 τεμάχια)
- Υ/Γ SMART Free Stream 5kw συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 100 kW(20 τεμάχια)

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτού του σεναρίου, παραπέμπονται στον **Πίνακας 9**

**Πίνακας 9** Αποτελέσματα προσομοίωσης δεύτερου σεναρίου

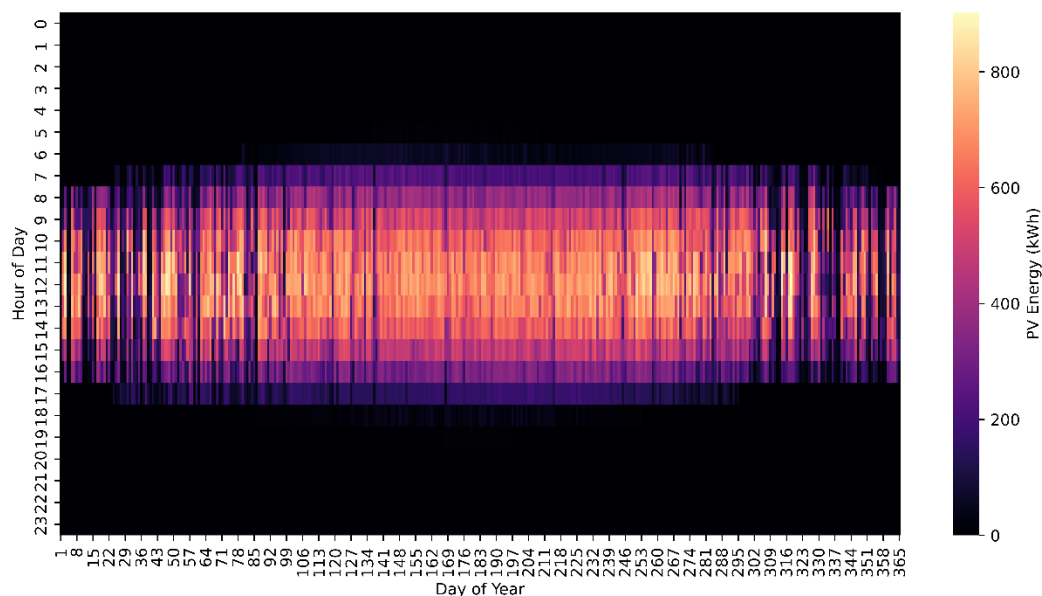
Καθαρή παρούσα αξία,(NPC) (€)	8,015,030.923
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας,(LCOE) (€)	0.1405
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	4,140,000.07
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Φ/Β (kWh/y)	1,569,012.295
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Α/Γ (kWh/y)	1,600,066.33
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Υ/Γ (kWh/y)	335,341.25
Συνολική προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο (kWh/y)	908,322.51
Συνολική ενέργεια που παροχετεύτηκε στο τοπικό δίκτυο (kWh/y)	1,193,041.388
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	79.42
Ποσοστό συμμετοχής δικτύου στην καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	20.58
Παρούσα Αξία,(PW) (€)	5,720,473.487
Ετήσια Αξία(AW) (€)	442,503.6677
Απόδοση Επένδυσης(ROI) (%)	14,29
Εσωτερική Απόδοση(IRR) (%)	18,13
Περίοδος Απώσβεσης(PP) (y)	5,42

Στην **Εικόνα 34** απεικονίζεται η μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου για την κάλυψη του φορτίου. Η μεγάλη συμμετοχή των ΑΠΕ ελαττώνει σε καλό βαθμό την εξάρτηση από το δίκτυο και ταυτόχρονα μειώνει το ισοδύναμο ενεργειακό κόστος. Παρατηρούμε ότι το φορτίο ικανοποιείται κάθε χρονική στιγμή.



**Εικόνα 34** Μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου

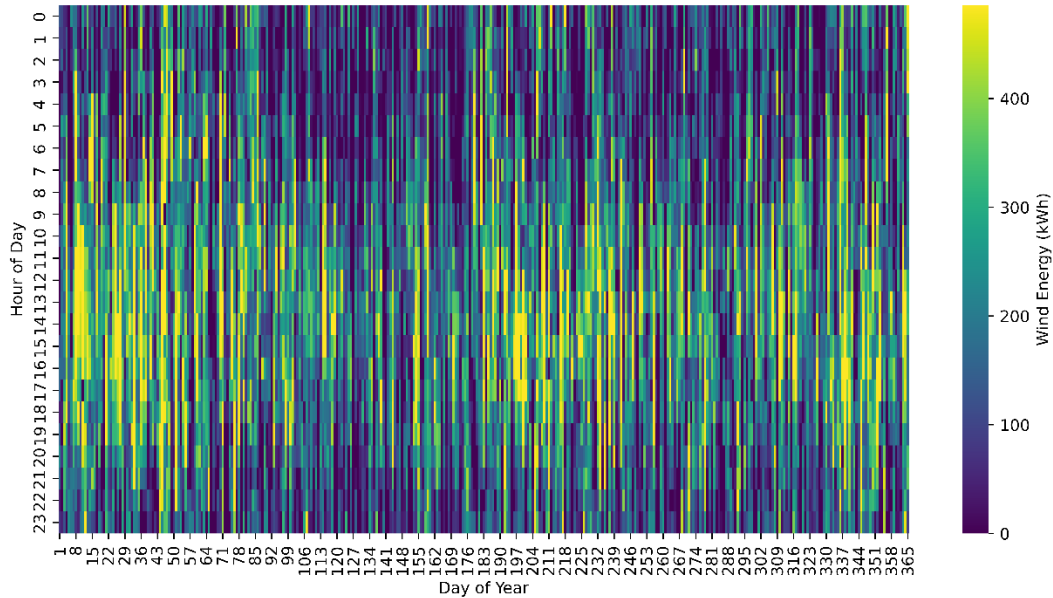
Στη **Εικόνα 35** απεικονίζεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για όλη την διάρκεια του χρόνου, και ιδιαίτερα του θερινούς μήνες, λόγω της άφθονης ηλιακής ακτινοβολίας, επαληθεύοντας το ευνοϊκό ηλιακό δυναμικό της περιοχής.



**Εικόνα 35** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου

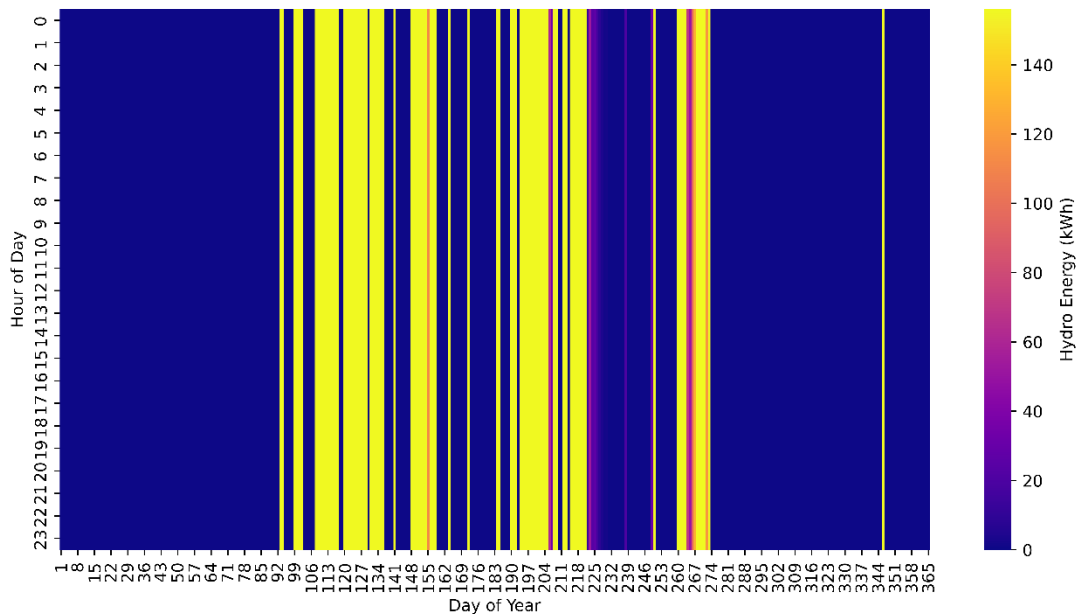
Στην **Εικόνα 36** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Α/Γ. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια συνεχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη την διάρκεια του χρόνου δικαιολογώντας το αρκετά καλό αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης.





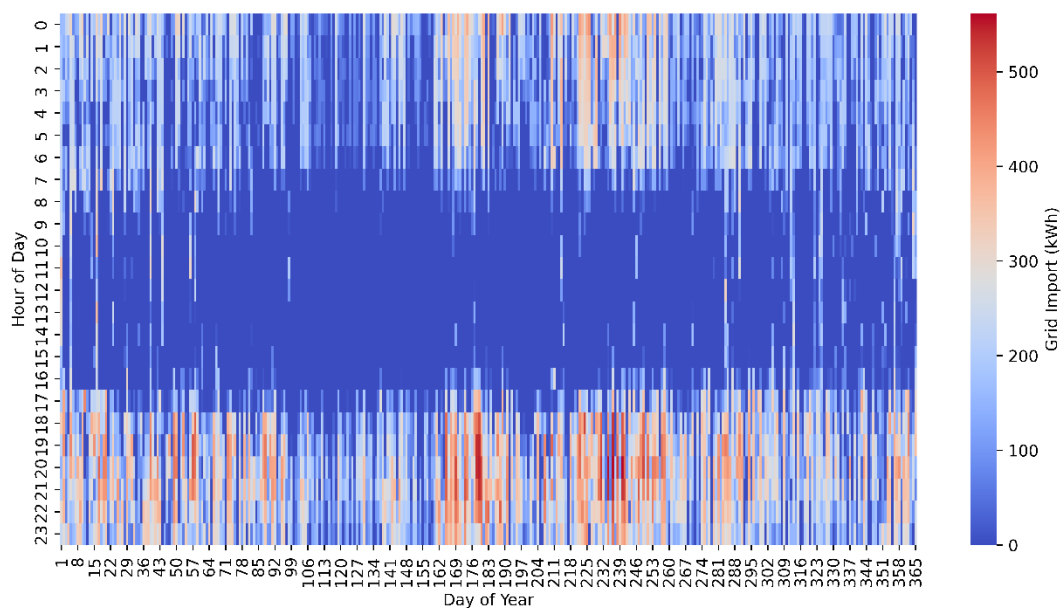
**Εικόνα 36** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου

Στην **Εικόνα 37** φαίνεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Υ/Γ. Όπως φαίνεται υπάρχει μια διασπορά στην ενέργεια παραγωγής, το οποίο είναι αναμενόμενο, καθώς ο ποταμός έχει την ελάχιστη απαιτούμενη ταχύτητα νερού για να λειτουργήσει η Υ/Γ μόνο περιόδους με σταθερές και δυνατές βροχοπτώσεις.



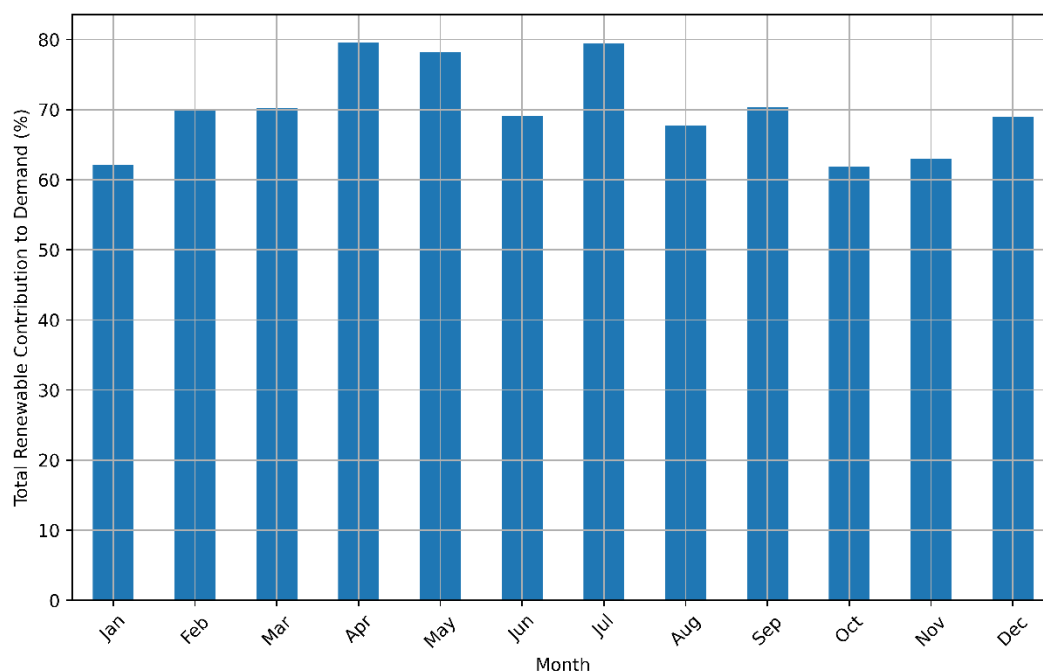
**Εικόνα 37** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Υ/Γ για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου

Στην **Εικόνα 38** απεικονίζεται η προμηθευόμενη ενέργεια από την λειτουργία του δικτύου. Όπως φαίνεται στην εικόνα, το σύστημα αδυνατεί να προμηθεύσει την ενέργεια που απαιτείται για να καλύψει τις ανάγκες του νησιού κατά την διάρκεια των θερινών μηνών, και ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες, διότι η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται εξαιτίας του μεγάλου αριθμού τουριστών του νησιού, το οποίο είναι αναμενόμενο.



**Εικόνα 38** Συνολική προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου.

Στην **Εικόνα 39** παρουσιάζεται το μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια.. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια σταθερή συμμετοχή των ΑΠΕ της τάξης του 65%-70%, αλλά και κατά περιόδους αύξηση του ποσοστού μέχρι και 78% το οποίο βοηθάει στην ανεξαρτητοποίηση του συστήματος από το δίκτυο.



**Εικόνα 39** Μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου.

#### 4.4 Σενάριο 3: Προσομοίωση λειτουργίας Homer σε περιβάλλον Python με Net Metering

Για το σύστημα του τρίτου σεναρίου ο αλγόριθμος επέλεξε τις εξής τεχνολογίες και χωρητικότητες:

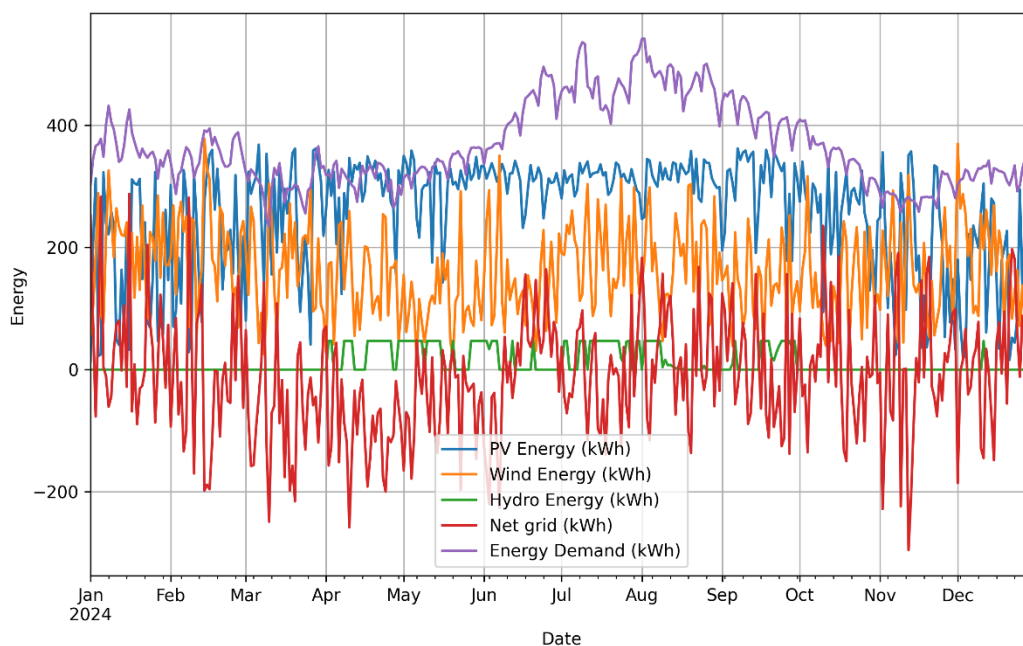
- Φ/Β πλαίσια Longi Solar LR6-60PH συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1393 kW
- Α/ΓΕ EW16 Thetis συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 432 kW(8 τεμάχια)
- Υ/Γ SMART Free Stream 5kw συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 30 kW(6 τεμάχια)

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτού του σεναρίου, παραπέμπονται στον **Πίνακας 10**

**Πίνακας 10** Αποτελέσματα Προσομοίωσης τρίτου σεναρίου

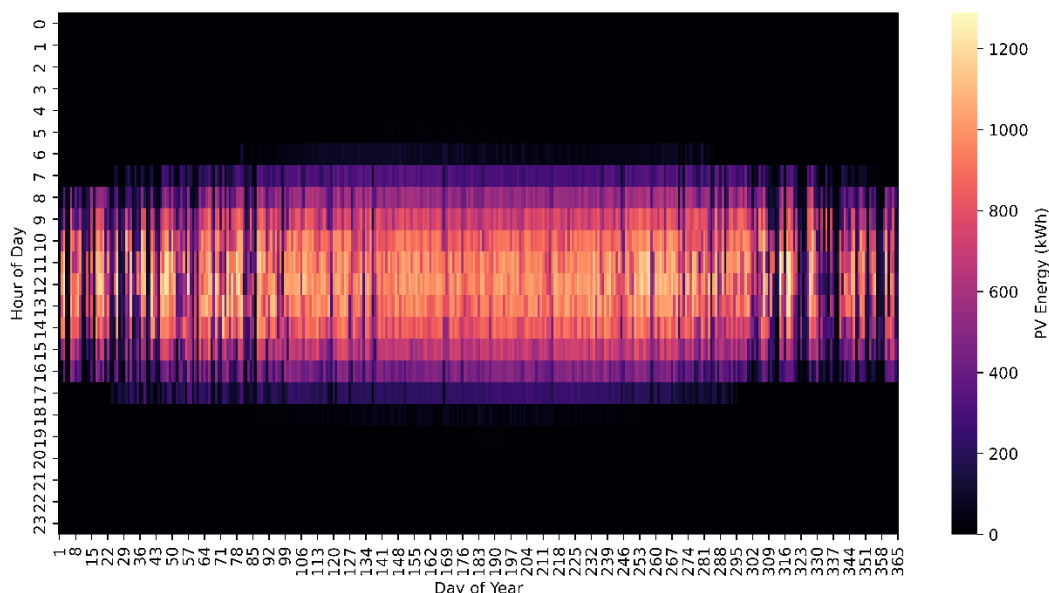
Καθαρή παρούσα αξία,(NPC) (€)	4,556,048
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας,(LCOE) (€)	0.0784
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	4,556,000.07
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Φ/Β (kWh/y)	2,241,676.028
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Α/Γ (kWh/y)	1,422,281.182
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Υ/Γ (kWh/y)	100,602.375
Συνολική προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο (kWh/y)	1,123,711.242
Συνολική ενέργεια που παροχετεύτηκε στο τοπικό δίκτυο (kWh/y)	1,239,729.591
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	77.01
Ποσοστό συμμετοχής δικτύου στην καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	22.99
Καθαρή Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο (kWh/y)	-110,018.35
Παρούσα Αξία,(PW) (€)	9,179,456.41
Ετήσια Αξία(AW) (€)	704,489.416
Απόδοση Επένδυσης(ROI) (%)	18,49
Εσωτερική Απόδοση(IRR) (%)	23,20
Περίοδος Απόσβεσης(PP) (y)	4,29

Στην **Εικόνα 40** απεικονίζεται η μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου για την κάλυψη του φορτίου. Η μεγάλη συμμετοχή των ΑΠΕ καθώς και η χρήση της τεχνολογίας net metering ελαττώνει σε καλό βαθμό την εξάρτηση από το δίκτυο και όπως φαίνεται στον πίνακα η καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο είναι αρνητική, το οποίο σημαίνει ότι έχει παροχετευτεί πίσω στο δίκτυο περισσότερη ενέργεια από ότι έχει εισαχθεί. Επίσης παρατηρούμε ότι το φορτίο ικανοποιείται κάθε χρονική στιγμή.



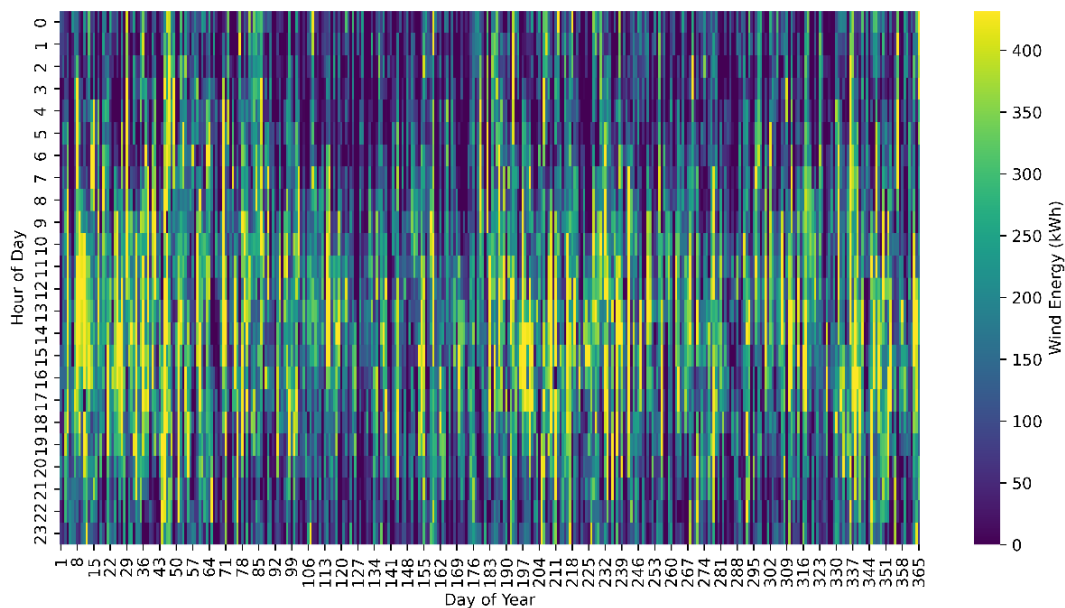
**Εικόνα 40** Μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 41** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για όλη την διάρκεια του χρόνου, και ιδιαίτερα του θερινούς μήνες, λόγω της άφθονης ηλιακής ακτινοβολίας, επαληθεύοντας το ευνοϊκό ηλιακό δυναμικό της περιοχής.



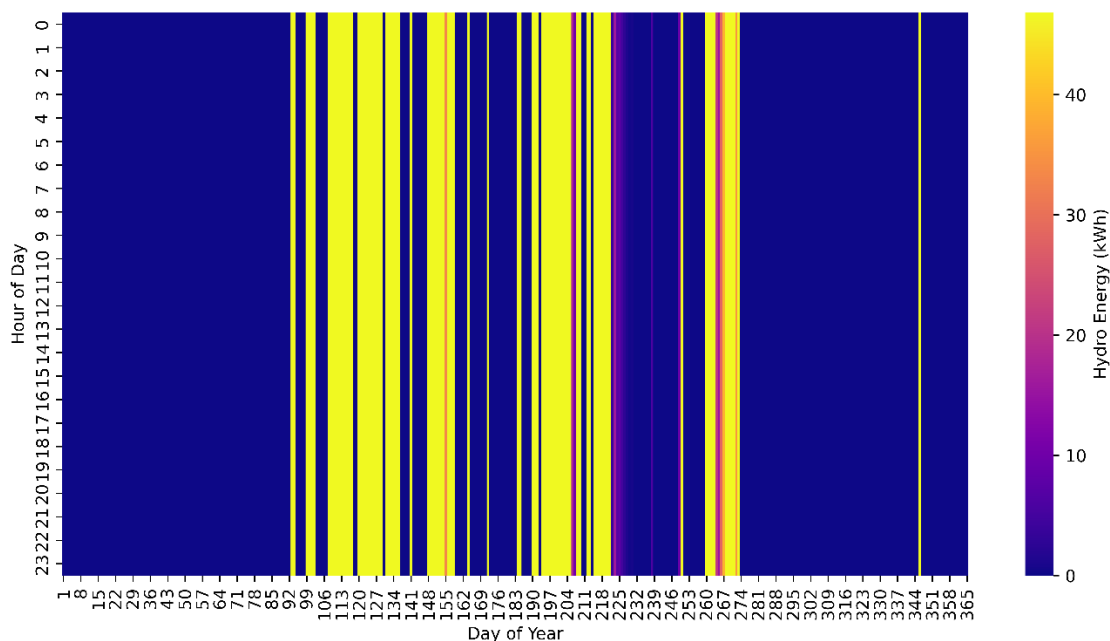
**Εικόνα 41** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 42** φαίνεται η παραγόμενη ενέργεια εξαιτίας της λειτουργίας των Α/Γ. Όπως δείχνει η εικόνα υπάρχει μια συνεχή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για όλο το έτος, αποδεικνύοντας την ύπαρξη καλού αιολικού δυναμικού στην περιοχή.



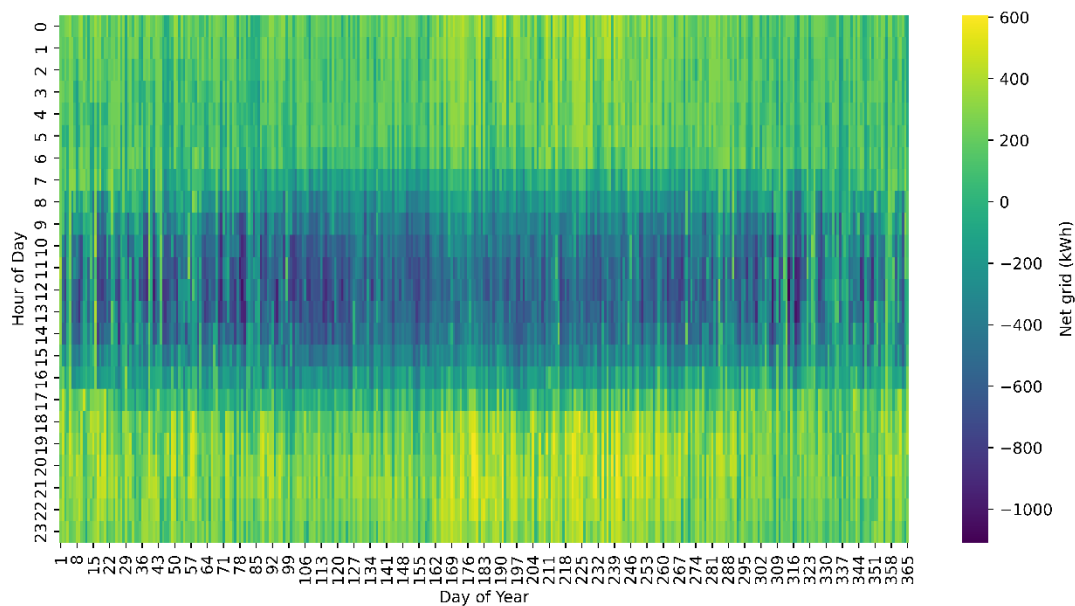
**Εικόνα 42** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Α/Γ για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 43** απεικονίζεται η παραγόμενη ενέργεια εξαιτίας της λειτουργίας των Υ/Γ. Όπως είναι αναμενόμενο η παραγωγή δεν είναι σταθερή κατά την διάρκεια του έτους, καθώς σε περιόδους που δεν έχει βροχόπτωση ο ποταμός ξεραιίνεται.



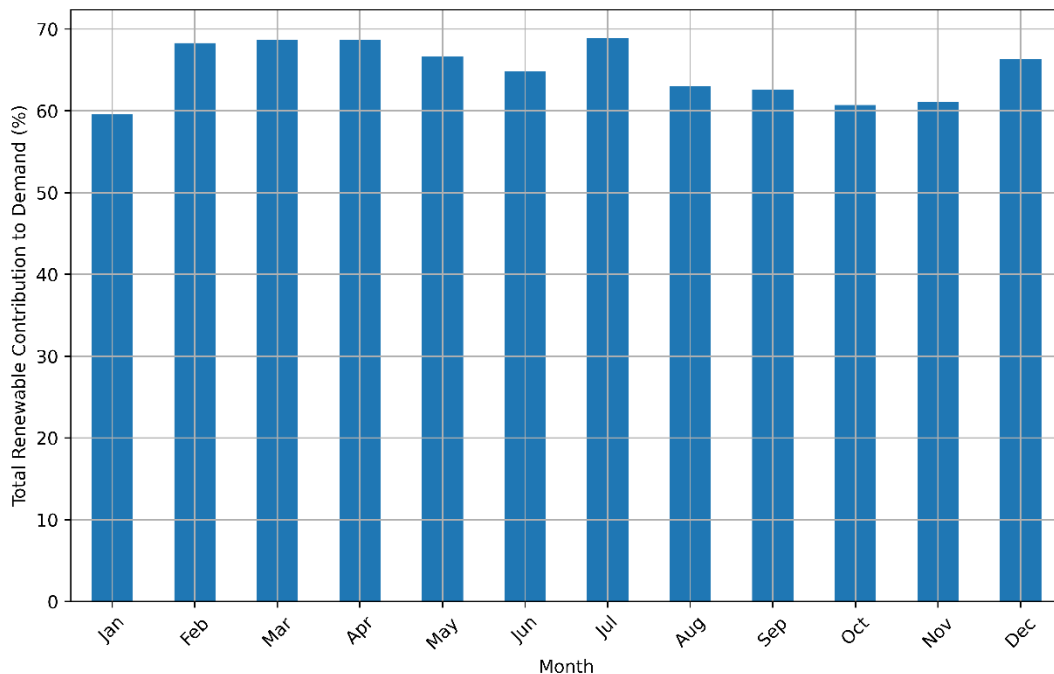
**Εικόνα 43** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Υ/Γ για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 44** παρουσιάζεται η Ετήσια καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο η οποία έχει αρνητικό πρόσημο διότι εξάγει το σύστημα προς το δίκτυο περισσότερη ενέργεια από ότι εισάγει.



**Εικόνα 44** Ετήσια Καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σύστημα του τρίτου σεναρίου.

Στην **Εικόνα 45** φαίνεται μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια.. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια σταθερή συμμετοχή των ΑΠΕ της τάξης του 65%-70%, βοηθώντας στην ανεξαρτητοποίηση του συστήματος από το δίκτυο.



**Εικόνα 45** Μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου.

#### 4.5 Σενάριο 4. :Βελτιστοποίηση λειτουργίας Homer σε περιβάλλον Python με Net Metering

Για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου ο αλγόριθμος επέλεξε τις εξής τεχνολογίες και χωρητικότητες:

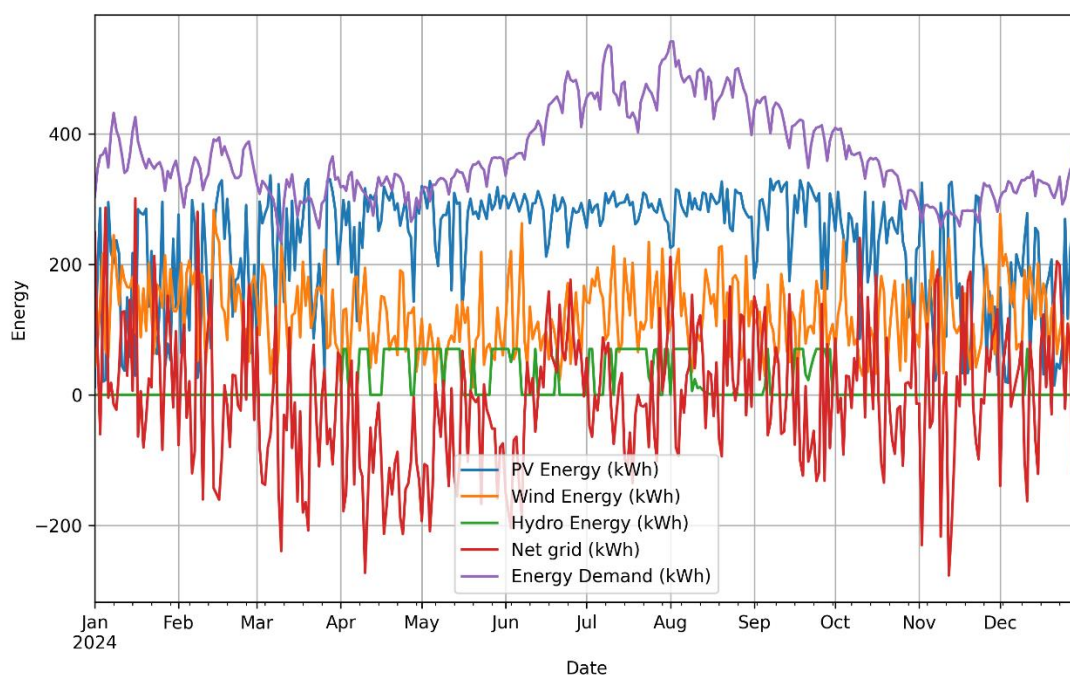
- Φ/Β πλαίσια Longi Solar LR6-60PH συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1273 kW
- Α/ΓΕ EW16 Thetis συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 324 kW(6 τεμάχια)
- Υ/Γ SMART Free Stream 5kw συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 45 kW(9 τεμάχια)

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτού του σεναρίου, παραπέμπονται στον **Πίνακας 11**

**Πίνακας 11** Αποτελέσματα Προσομοίωσης τέταρτου σεναρίου

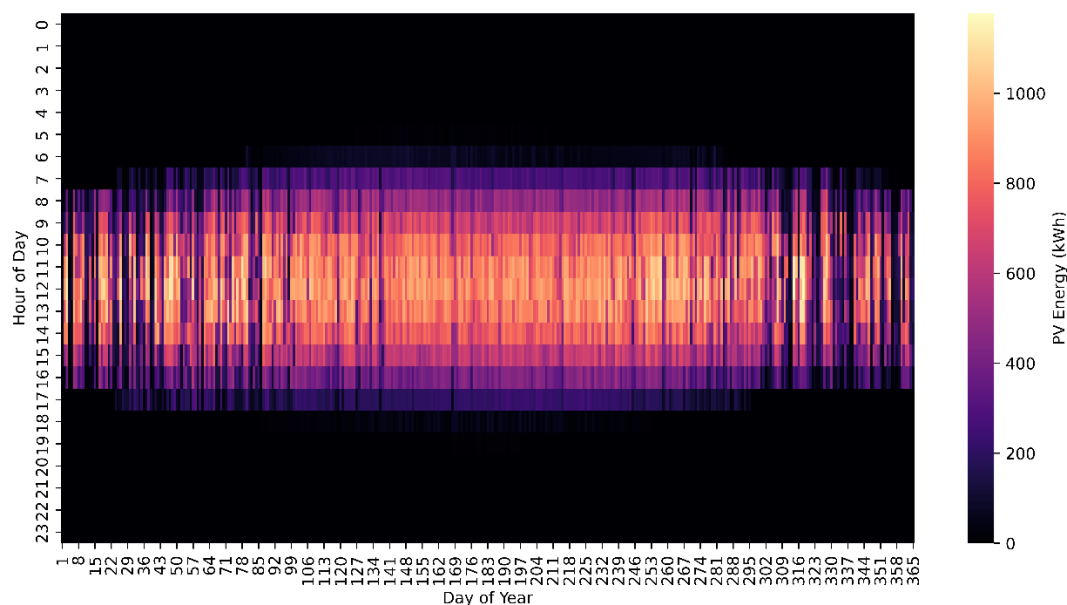
Καθαρή παρούσα αξία,(NPC) (€)	3,941,036
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας,(LCOE) (€)	0.0687
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	3,941,000.15
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Φ/Β (kWh/y)	2,048,566.822
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Α/Γ (kWh/y)	1,066,710.887
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Υ/Γ (kWh/y)	150,903.562
Συνολική προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο (kWh/y)	1,171,803.839
Συνολική ενέργεια που παροχετεύτηκε στο τοπικό δίκτυο (kWh/y)	1,218,284.11
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	73.60
Ποσοστό συμμετοχής δικτύου στην καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	26.40
Καθαρή Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο (kWh/y)	-46,480.27
Παρούσα Αξία,(PW) (€)	9,794,468.41
Ετήσια Αξία(AW) (€)	757,645.01
Απόδοση Επένδυσης(ROI) (%)	22,20
Εσωτερική Απόδοση(IRR) (%)	26,89
Περίοδος Απόσβεσης(PP) (y)	3,71

Στην **Εικόνα 46** απεικονίζεται η μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου για την κάλυψη του φορτίου. Η μεγάλη συμμετοχή των ΑΠΕ καθώς και η χρήση της τεχνολογίας net metering ελαττώνει σε καλό βαθμό την εξάρτηση από το δίκτυο και όπως φαίνεται στον πίνακα η καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο είναι αρνητική, το οποίο σημαίνει ότι έχει παροχετευτεί πίσω στο δίκτυο περισσότερη ενέργεια από ότι έχει εισαχθεί. Επίσης παρατηρούμε ότι το φορτίο ικανοποιείται κάθε χρονική στιγμή.



Εικόνα 46 Μηνιαία Παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

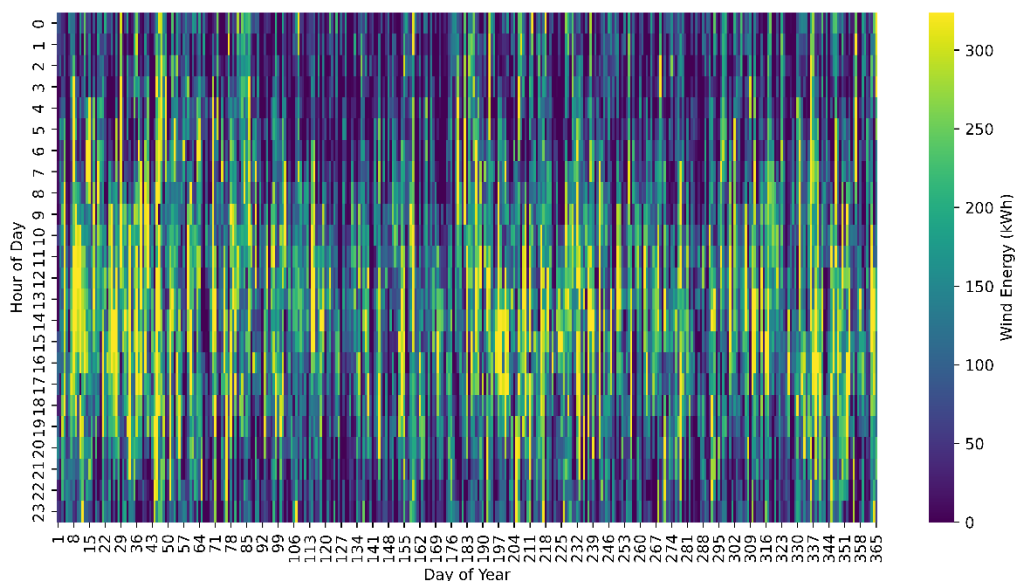
Στην **Εικόνα 47** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για όλη την διάρκεια του χρόνου, και ιδιαίτερα του θερινούς μήνες, λόγω της άφθονης ηλιακής ακτινοβολίας, επαληθεύοντας το ευνοϊκό ηλιακό δυναμικό της περιοχής.



Εικόνα 47 Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

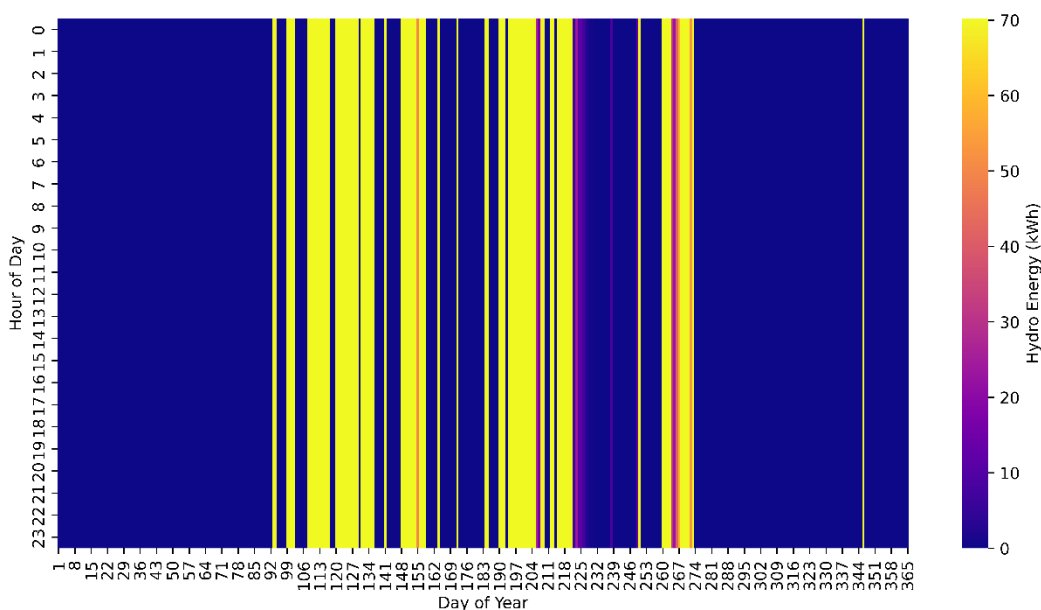
Στην **Εικόνα 48** απεικονίζεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Α/Γ. Όπως φαίνεται στην εικόνα υπάρχει μια συνεχής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη την χρονιά, αποδεικνύοντας την ύπαρξη ευνοϊκού αιολικού δυναμικού στην περιοχή μελέτης





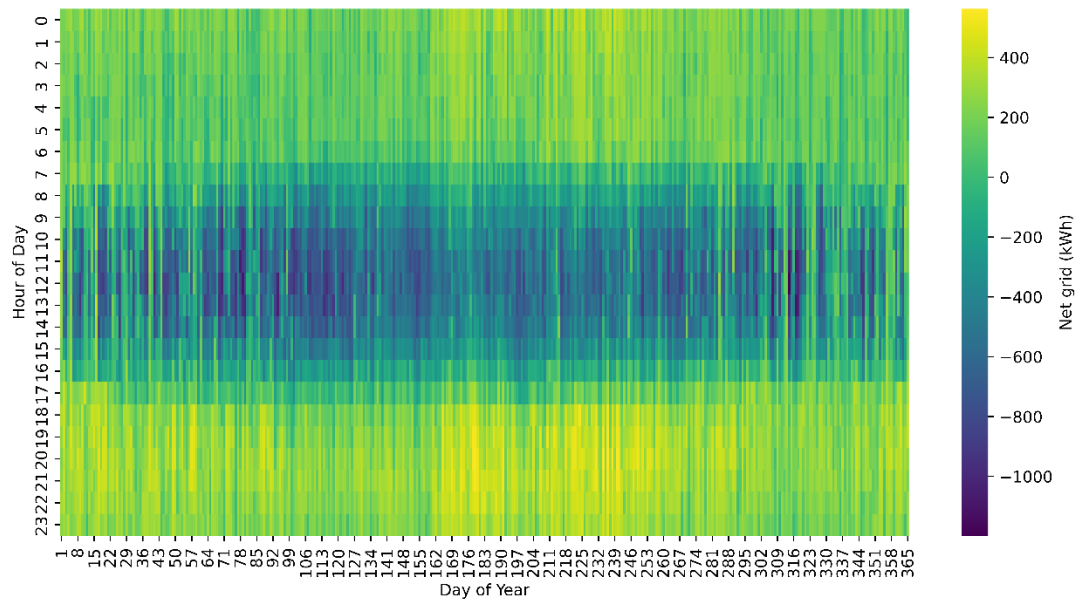
**Εικόνα 48** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Α/Γ για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 49** φαίνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Υ/Γ. Όπως είναι αναμενόμενο υπάρχει διασπορά στην παραγωγή ενέργειας διότι δεν βρέχει όλο το χρόνο και οι ποταμοί στερεύουν, οπότε δεν υπάρχει η απαραίτητη ταχύτητα νερού για να θέσει σε λειτουργία την Υ/Γ.



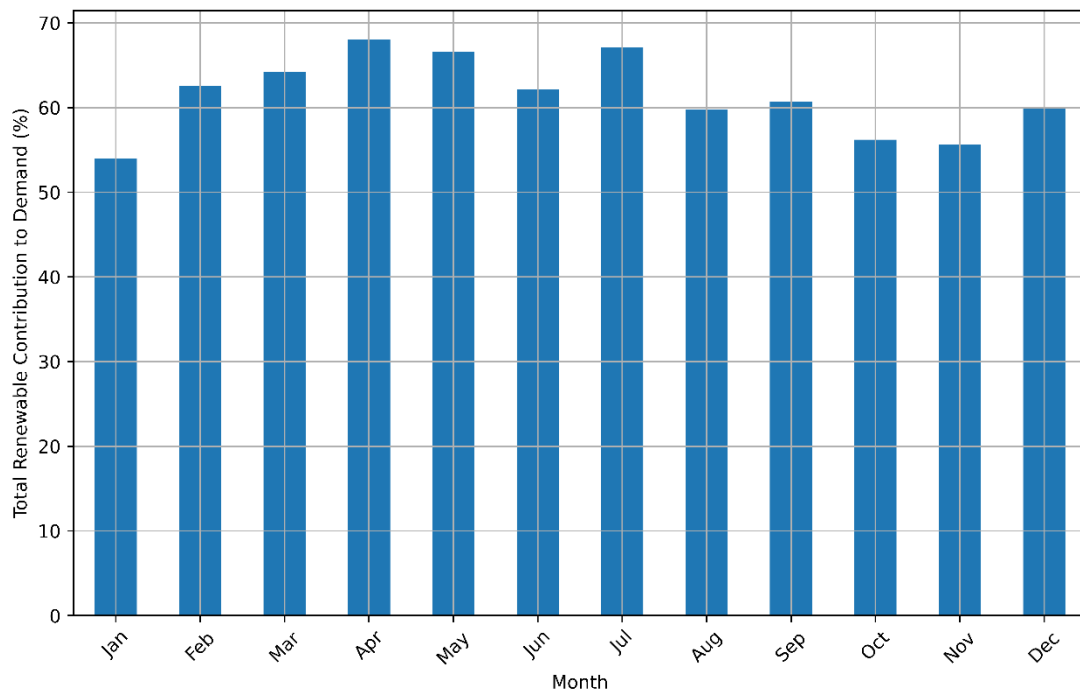
**Εικόνα 49** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Υ/Γ για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 50** απεικονίζεται η Ετήσια καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο η οποία έχει αρνητικό πρόσημο διότι εξάγει το σύστημα προς το δίκτυο περισσότερη ενέργεια από ότι εισάγει.



Εικόνα 50 Ετήσια Καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου.

Στην **Εικόνα 51** φαίνεται το μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια.. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια σταθερή συμμετοχή των ΑΠΕ της τάξης του 58%-68%, βοηθώντας στην ανεξαρτητοποίηση του συστήματος από το δίκτυο.



**Εικόνα 51** Μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου.

## 4.6 Σενάριο 5: Βελτιστοποίηση λειτουργίας Homer σε περιβάλλον Python με Net Metering 2.0

Για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου ο αλγόριθμος επέλεξε τις εξής τεχνολογίες και χωρητικότητες:

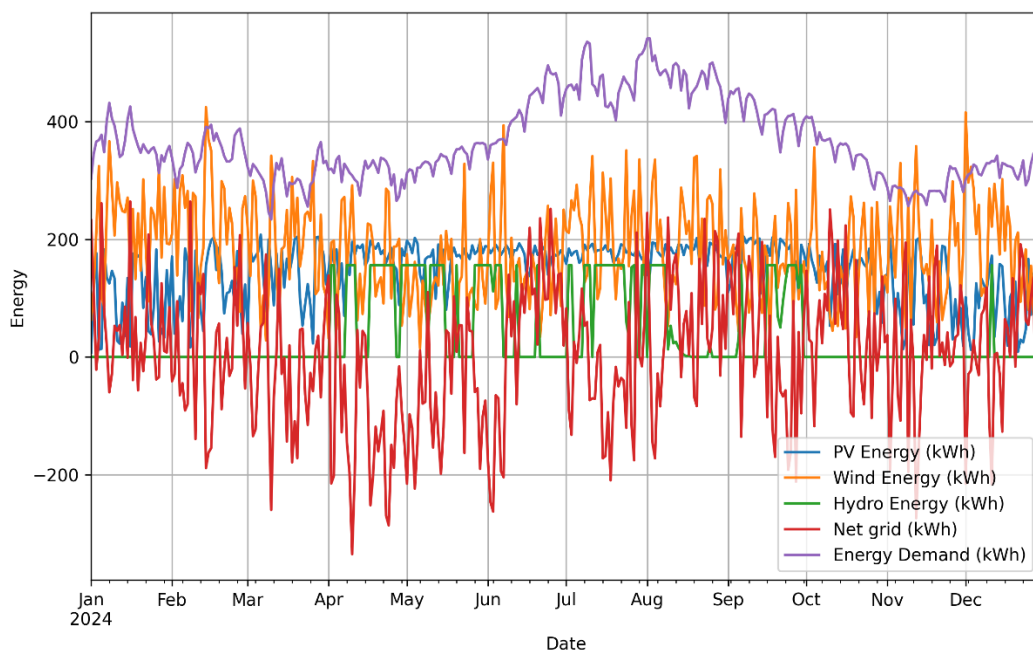
- Φ/Β πλαίσια Longi Solar LR6-60PH συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 787 kW
- Α/ΓΕ EW16 Thetis συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 486 kW(9 τεμάχια)
- Υ/Γ SMART Free Stream 5kw συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 100 kW(20 τεμάχια)

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτού του σεναρίου, παραπέμπονται στον **Πίνακας 12**

**Πίνακας 12** Αποτελέσματα Προσομοίωσης πέμπτου σεναρίου

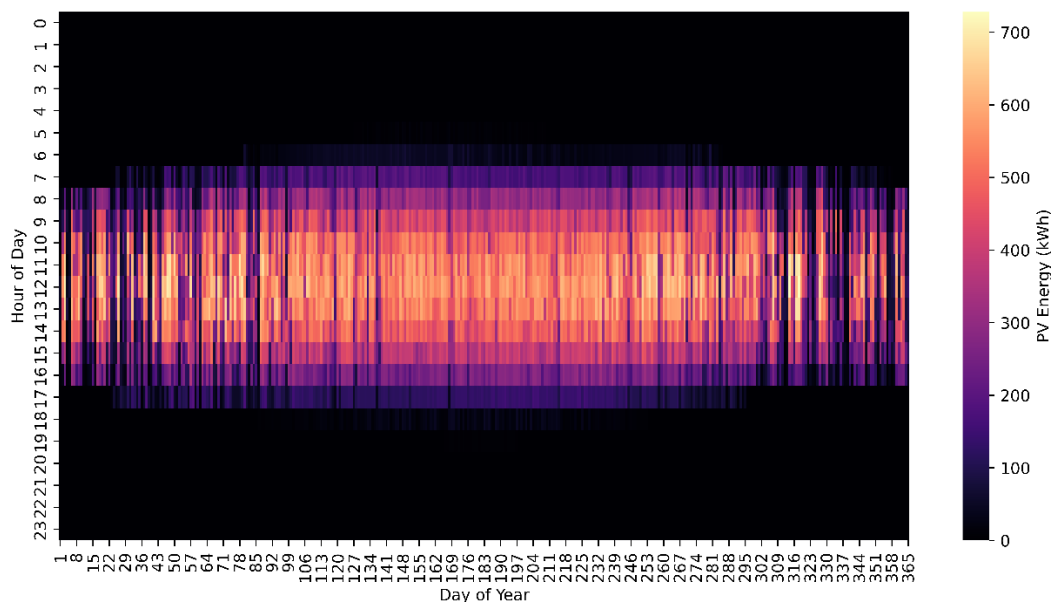
Καθαρή παρούσα αξία,(NPC) (€)	5,145,397.485
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας,(LCOE) (€)	0.0961
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	3,764,000.10
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Φ/Β (kWh/y)	1,266,474.54
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Α/Γ (kWh/y)	1,600,066.33
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Υ/Γ (kWh/y)	335,341.250
Συνολική προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο (kWh/y)	937,228.618
Συνολική ενέργεια που παροχετεύτηκε στο τοπικό δίκτυο (kWh/y)	919,409.7384
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	77.36
Ποσοστό συμμετοχής δικτύου στην καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	22.64
Καθαρή Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο (kWh/y)	17,818.879
Παρούσα Αξία,(PW) (€)	8,590,106.925
Ετήσια Αξία(AW) (€)	664,482.377
Απόδοση Επένδυσης(ROI) (%)	20,26
Εσωτερική Απόδοση(IRR) (%)	27,33
Περίοδος Απόσβεσης(PP) (y)	3,65

Στην **Εικόνα 52** απεικονίζεται η μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου για την κάλυψη του φορτίου. Η μεγάλη συμμετοχή των ΑΠΕ καθώς και η χρήση της τεχνολογίας net metering ελαττώνει σε καλό βαθμό την εξάρτηση από το δίκτυο και όπως φαίνεται στον πίνακα η καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο είναι θετική αλλά πολύ χαμηλή το οποίο σημαίνει ότι έχει παροχετευτεί πίσω στο δίκτυο αρκετά λιγότερη ενέργεια από ότι έχει εισαχθεί. Επίσης παρατηρούμε ότι το φορτίο ικανοποιείται κάθε χρονική στιγμή.



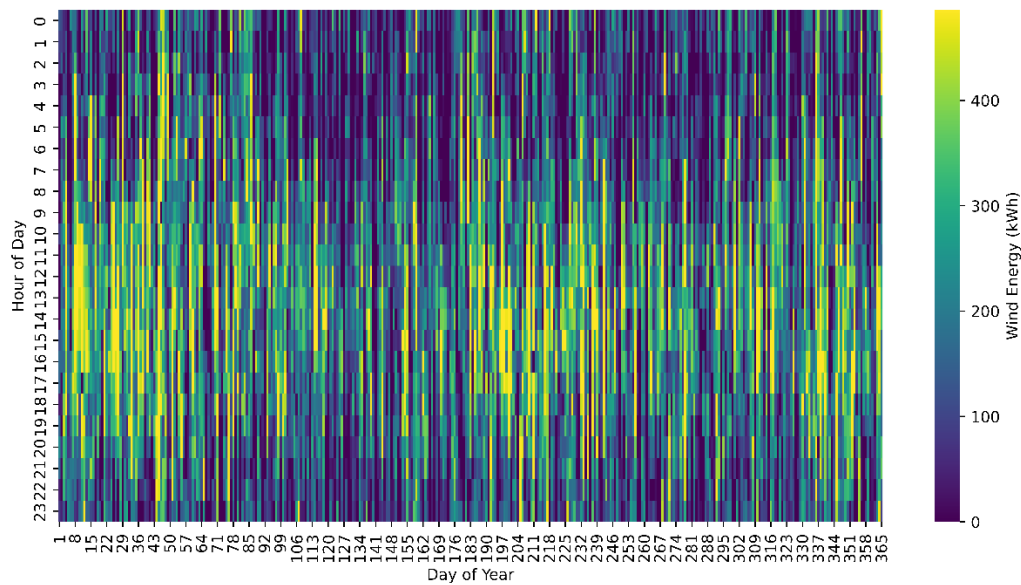
**Εικόνα 52** Μηνιαία Παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 53** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για όλη την διάρκεια του χρόνου, και ιδιαίτερα του θερινούς μήνες, λόγω της άφθονης ηλιακής ακτινοβολίας, επαληθεύοντας το ευνοϊκό ηλιακό δυναμικό της περιοχής.



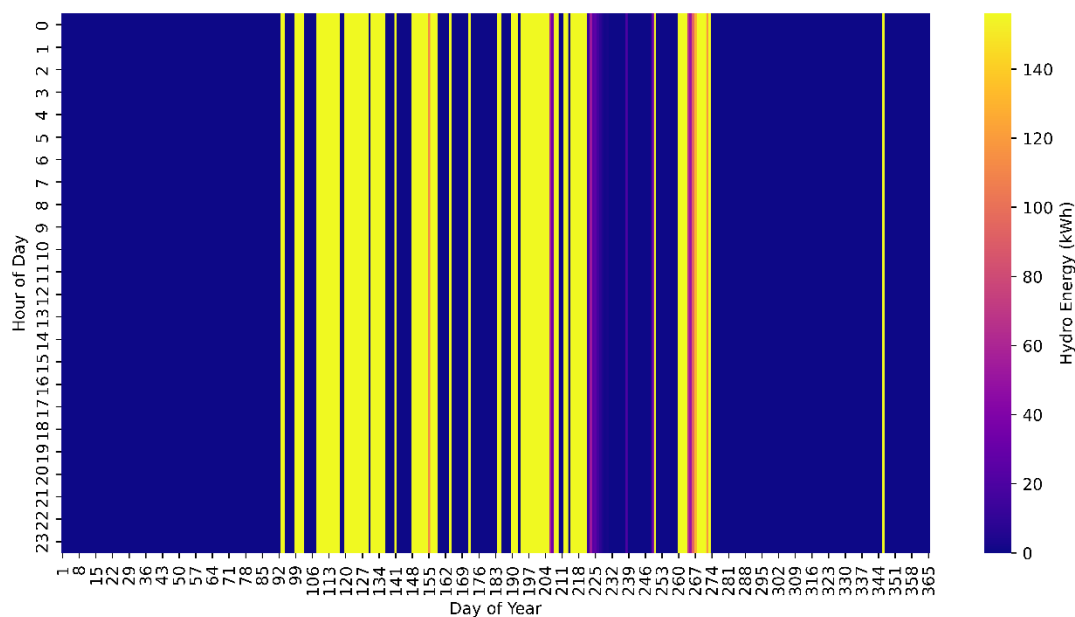
**Εικόνα 53** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 54** φαίνεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Α/Γ. Παρατηρώντας την εικόνα βλέπουμε ότι υπάρχει διαρκής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη την χρονιά, αποδεικνύοντας την ύπαρξη καλού αιολικού δυναμικού της περιοχής.



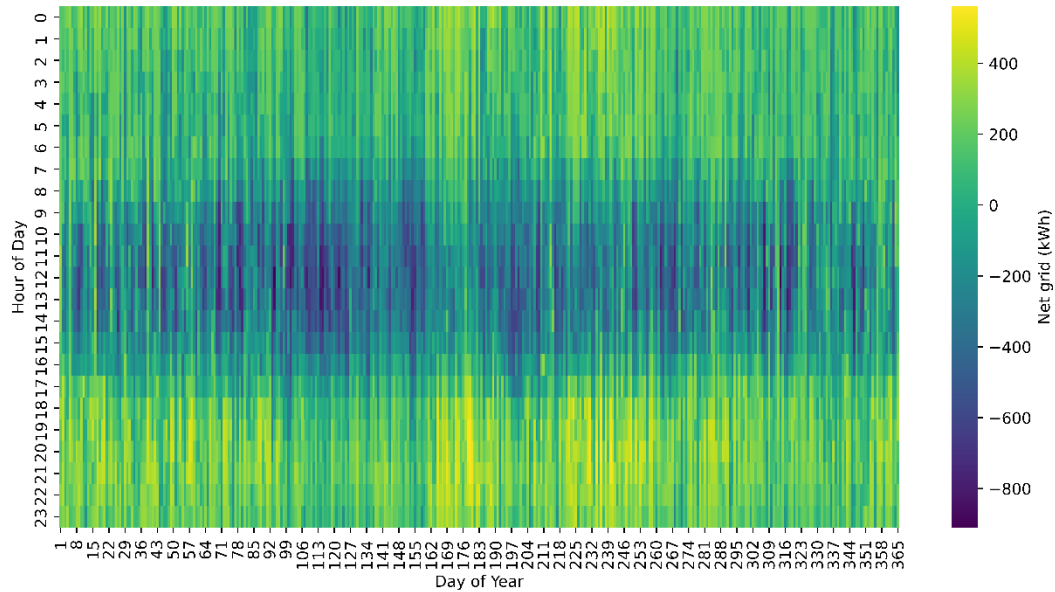
**Εικόνα 54** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Α/Γ για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 55** απεικονίζεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Υ/Γ. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια διασπώμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στο έτος και αυτό συμβαίνει διότι ο ποταμός τους μήνες χωρίς βροχοπτώσεις ξεραιίνεται.



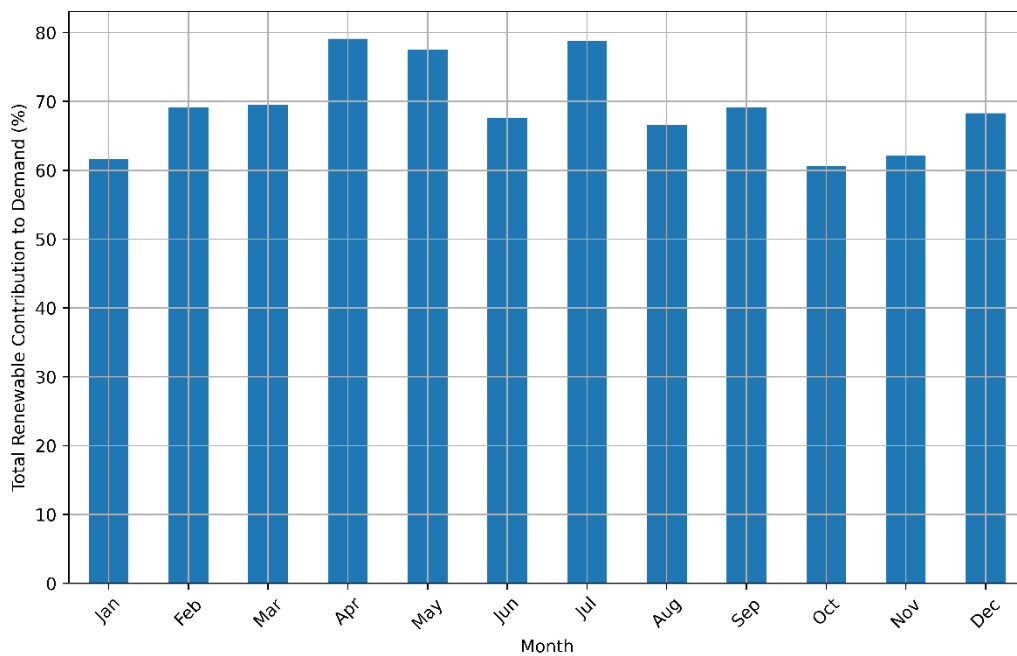
**Εικόνα 55** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Υ/Γ για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

Στην **Εικόνα 56** παρουσιάζεται η Ετήσια καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο η οποία έχει θετικό πρόσημο διότι εξάγει το σύστημα προς το δίκτυο λιγότερη ενέργεια από ότι εισάγει.



**Εικόνα 56** Ετήσια Καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου.

Στην **Εικόνα 57** φαίνεται το μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια.. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια σταθερή συμμετοχή των ΑΠΕ της τάξης του 60%-70%, και σε κάποιους μήνες αγγίζει περίπου και το 77% βοηθώντας έτσι στην ανεξαρτητοποίηση του συστήματος από το δίκτυο.



**Εικόνα 57** Μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου.

## 4.7 Σύγκριση σεναρίων

Αφού ολοκληρώθηκαν οι προσομοιώσεις με την χρήση του γενετικού αλγορίθμου για το κάθε σενάριο που μοντελοποιήθηκε στο περιβάλλον Python , προέκυψαν χρήσιμα αποτελέσματα, με την βοήθεια των οποίων θα διεξαχθεί η σύγκριση των σεναρίων, με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου σεναρίου. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα για το σύστημα του κάθε σεναρίου παρουσιάζονται στον **Πίνακας 13** και στον **Πίνακας 14**. Συγκεκριμένα στον πρώτο παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τις πηγές παραγωγής όπως: τα ποσοστά συμμετοχής της παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάθε επιμέρους πηγή( Δίκτυο :Δ, Φωτοβολταϊκά πλαίσια :Φ/Β, Ανεμογεννήτριες : Α/Γ , υδροκινητικές γεννήτριες : Υ/Γ, συνολικό ποσοστό ΑΠΕ) και στον δεύτερο οικονομικά στοιχεία: Καθαρή Παρούσα Αξία( ΚΠΑ), Ισοδύναμο Κόστος Ενέργειας(ΙΚΕ), Συνολικό Κόστος Αρχικής Επένδυσης (ΣΚΑΕ), Παρούσα Αξία (ΠΑ), Ετήσια Αξίας (ΕΑ), Απόδοση Επένδυσης(ΑΕ), Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (ΕΒΑ), Χρόνος Αποπληρωμής (ΧΑ).

Αρχικά θα γίνει μία ανάλυση του σεναρίου μηδέν, το οποίο αποτελεί το σενάριο βάσης χωρίς παρέμβαση ΑΠΕ. Έπειτα θα γίνει σύγκριση του πρώτου και του δεύτερου σεναρίου τα οποία δεν χρησιμοποιούν την τεχνολογία Net Metering. Στην συνέχεια θα συγκριθούν το τρίτο και το τέταρτο σενάριο τα οποία ενσωματώνουν την τεχνολογία Net Metering.Τέλος θα πραγματοποιηθεί σύγκριση του πέμπτου σεναρίου που χρησιμοποιεί το Net Metering 2.0 με τα σενάρια δύο και τέσσερα.

Το σύστημα του μηδενικού σεναρίου βασίζεται μόνο στην ενέργεια από το τοπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, με μηδενική ενσωμάτωση ΑΠΕ, για να καλύψει τη ζήτηση ενέργειας. Η μέθοδος αυτή είναι οικονομικά μη ωφέλιμη καθώς έχει πολύ υψηλό ισοδύναμο κόστος ενέργειας ιδιαίτερα στις μέρες μας, με την επικρατούσα ενεργειακή κρίση.

Έπειτα πραγματοποιείται σύγκριση του πρώτου και δεύτερου σεναρίου. Το πρώτο σενάριο προσομοιώνει την λειτουργία του λογισμικού Homer σε περιβάλλον Python και το δεύτερο βελτιστοποιεί αυτήν την λειτουργία, διότι στο σενάριο αυτό δεν χρησιμοποιούνται οι διορθωτικοί συντελεστές για την ενέργεια του δικτύου, που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα. Αρχικά και τα δύο σενάρια παρουσιάζουν μεγάλο ποσοστό ενσωμάτωσης ΑΠΕ με τον δεύτερο σενάριο να παρουσιάζει μια αύξηση του ποσοστού καθώς έχει μειώσει την χρήση του δικτύου. Επίσης το Ισοδύναμο κόστος ενέργειας του δεύτερου σεναρίου είναι κατά 11% μικρότερο το οποίο και αποτυπώνεται στους οικονομικούς δείκτες καθιστώντας το σύστημα του δεύτερου σεναρίου φθηνότερο και την επένδυση πιο πρόσφορη. Συνεπώς από τα δύο αυτά σενάρια καλύτερο καθίσταται το δεύτερο σενάριο.

Στην συνέχεια έχουμε την σύγκριση των σεναρίων τρία και τέσσερα τα οποία ενσωματώνουν την τεχνολογία Net Metering. Αρχικά και τα δύο συστήματα εμφανίζουν ικανοποιητικό ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας, με το σύστημα του τρίτου σεναρίου να έχει ελάχιστα αυξημένο το ποσοστό αυτό. Επιπλέον και τα δύο σενάρια έχουν αρνητική τιμή στην καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο, το οποίο σημαίνει ότι εξάγουν προς το δίκτυο περισσότερη ενέργεια από ότι προμηθεύονται από αυτό. Το σύστημα του 3 σεναρίου μπορεί να έχει μικρότερο ποσοστό συμμετοχής του δικτύου ,ωστόσο το σύστημα του σεναρίου 4 παρουσιάζει

αρκετά μικρότερη τιμή στην καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια, δείχνοντας καλύτερη αξιοποίηση του Net metering διότι δεν χρειάζεται να πουλήσει όση ενέργεια όση το σύστημα του σεναρίου με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη ευστάθεια. Όσον αφορά το Ισοδύναμο κόστος ενέργειας το τέταρτο σενάριο εμφανίζει μια μείωση της τάξης του 13,6%, οδηγώντας σε αρχικά πιο φθηνό σύστημα, αλλά και σε καλύτερες οικονομικές επιδόσεις του συστήματος, καθώς παρατηρείται αύξηση στις τιμές των δεικτών μεταξύ του 15%-19%, καθιστώντας το σύστημα του τέταρτου σεναρίου πιο ωφέλιμη επένδυση και άρα συγκριτικά καλύτερο μεταξύ των δύο.

Έχοντας ολοκληρώσει τις επιμέρους συγκρίσεις των σεναρίων και αξιολογήσει τα βέλτιστα, διεξάγεται εκ νέου σύγκριση ανάμεσα στα συστήματα του δεύτερου, τέταρτου και πέμπτου σεναρίου. Αρχικά το σύστημα του δεύτερου σεναρίου έχει λίγο μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ, και άρα μικρότερη συμμετοχή δικτύου, από το σύστημα του τέταρτου σεναρίου. Ωστόσο επειδή το σενάριο τέσσερα αξιοποιεί την τεχνολογία net metering πουλάει ενέργεια πίσω στο δίκτυο και άρα πληρώνει μόνο την καθαρή εισαγόμενη ενέργεια από το δίκτυο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται πολύ το Ισοδύναμο Κόστος Ενέργειας, περίπου κατά 69% οδηγώντας σε αρκετά φθηνότερο σύστημα, με καλύτερους οικονομικούς δείκτες. Άρα το σύστημα του σεναρίου δύο απορρίπτεται. Όσον αφορά το σενάριο πέντε χρησιμοποιείται πάγιο 0.1€/kWh για την χρήση της τεχνολογίας net metering. Αυτό οδηγεί σε αύξηση του Ισοδύναμου Κόστους Ενέργειας κατά 33% και ακριβό σύστημα. Όμως με την χρήση του παγίου το σύστημα αποθαρρύνεται ακόμη περισσότερο να χρησιμοποιεί το δίκτυο, το οποίο φαίνεται από τα αποτελέσματα του σεναρίου πέντε, καθώς έχουμε μικρότερο ποσοστό συμμετοχής του δικτύου και μεγαλύτερη συμμετοχή των ΑΠΕ. Επίσης οι οικονομικοί δείκτες του σεναρίου πέντε καθιστούν το σύστημα πιο πρόσφορο, άρα και την επένδυση πιο επιθυμητή. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη ότι ακόμα και με την χρήση του παγίου έχουμε πιο επικερδές σύστημα, το σύστημα του σεναρίου πέντε αξιολογείται ως το βέλτιστο.

**Πίνακας 13** Συγκεντρωτικά στοιχεία για το κάθε προσομοιωμένο σενάριο σχετικά με την συμμετοχή των πηγών παραγωγής στην ηλεκτροπαραγωγή

Σενάριο	Δίκτυο(%)	ΑΠΕ(%)	Φ/Β(%)	Α/Γ(%)	Υ/Γ(%)
<b>0</b>	100	-	-	-	-
<b>1</b>	22,26	77,74	37	35,2	5,54
<b>2</b>	20,58	79,42	35,56	36,26	7,6
<b>3</b>	22,99	77,01	45,86	29,1	2,06
<b>4</b>	26,4	73,6	46,16	24,04	3,4
<b>5</b>	22,64	77,36	30,6	38,66	8,1



**Πίνακας 14** Συγκεντρωτικά στοιχεία για το κάθε προσομοιωμένο σενάριο σχετικά τους οικονομικούς δείκτες

<b>ΣΕΝΑΡΙΟ</b>						
<b>Κόστος</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>ΚΠΑ(€)</b>	13,735,504.41	8,520,310	8,015,031	4,556,048	3,941,036	5,145,397
<b>ΙΚΕ(€)</b>	0,33	0,1570	0.1405	0.0784	0.0687	0.0961
<b>ΣΚΑΕ(€)</b>	-	4,205,000.	4,140,000.	4,556,000.	3,941,000.	3,764,000.10
<b>ΠΑ(€)</b>	-	5,215,195	5,720,473	9,179,456	9,794,468	8,590,107
<b>ΕΑ(€)</b>	-	403.418.2	442,503.7	704,489.4	757,645	664,482.4
<b>ΑΕ(%)</b>	-	12,76	14,29	18,5	22,20	20,27
<b>ΕΒΑ(%)</b>	-	16,68	18,13	23,20	26,89	27,33
<b>ΧΑ(γ)</b>	-	5,78	5,42	4,29	3,71	3,65

## 5. Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο διεξάγεται ανάλυση των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν στην διάρκεια τις πτυχιακής διατριβής, αναφορικά με την χρήση γενετικών αλγορίθμων για την βελτιστοποίηση του συστήματος και την προσομοίωση των σεναρίων σχετικά με τις πηγές παραγωγής ενέργειας. Τέλος παρατίθενται προτάσεις προς μελλοντική έρευνα.

### 5.1. Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Σε αυτήν την πτυχιακή διατριβή σε πρώτο στάδιο συλλέχθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα, μέσα από την ιστοσελίδα της NASA-POWER και το PVGIS. Επίσης από τον τοπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής του νησιού συλλέχθηκαν τα δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για να μοντελοποιηθούν οι τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν (Φ/Β πλαίσια, Α/Γ, Υ/Γ) τόσο στο λογισμικό Homer PRO, όσο και στο περιβάλλον Python. Το επόμενο στάδιο αφορά την δημιουργία της αντικειμενικής συνάρτησης για την βελτιστοποίηση του συστήματος με την χρήση γενετικών αλγορίθμων στην Python. Οι ρυθμιστικές παράμετροι που αξιοποιήθηκαν για την δημιουργία των σεναρίων προσομοίωσης ήταν η εγκατεστημένη ισχύς των τεχνολογιών ΑΠΕ ( Φ/Β πλαίσια, Α/Γ, Υ/Γ), και η ενσωμάτωση της τεχνολογίας net metering. Τα αποτελέσματα του εκάστοτε σεναρίου αξιολογήθηκαν με βάση τα οικονομικά τους στοιχεία(ΚΠΑ, ΙΚΕ,ΣΚΑΕ,ΠΑ,ΕΤ,ΑΕ,ΕΒΑ,ΧΑ).

Αξιολογώντας το μηδενικό σενάριο το οποίο δεν εφαρμόζει καθόλου τεχνολογίες ΑΠΕ, φανερώνεται η επιτακτική ανάγκη ενσωμάτωσης ΑΠΕ και περιορισμού της χρήσης του δικτύου, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους ενέργειας. Στην συνέχεια εξετάζοντας το πρώτο και δεύτερο σενάριο παρατηρείται ότι έχει περιοριστεί αρκετά η χρήση του δικτύου και έχει επιτευχθεί ικανοποιητικό ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ, με αποτέλεσμα την μείωση του ΙΚΕ, και παράλληλα έγινε μια ενίσχυση της λειτουργίας του Homer(πρώτο σενάριο) στο δεύτερο σενάριο, όπου και παρατηρήθηκε περαιτέρω μείωση του ΙΚΕ. Έπειτα αξιολογώντας τα σενάρια τρία και τέσσερα, τα οποία ενσωματώνουν και την χρήση της τεχνολογίας net metering παρατηρείται μια σημαντική μείωση του ΙΚΕ , σε σχέση με τα σενάρια ένα και δύο, η οποία οφείλεται στο ότι εξάγεται ενέργεια πίσω στο δίκτυο και άρα το σύστημα χρεώνεται μόνο την καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια. Στο τέταρτο σενάριο επιτεύχθηκε βελτιστοποίηση της λειτουργίας του Homer(σενάριο τρία) με ακόμα χαμηλότερο ΙΚΕ, καλύτερη ευστάθεια συστήματος και καλύτερους οικονομικούς δείκτες. Για την εύρεση του βέλτιστου σεναρίου για την ελαχιστοποίηση του ΙΚΕ, εξετάζονται τα συστήματα του τέταρτου και πέμπτου σεναρίου. Όπως προαναφέρθηκε και τα δύο σενάρια έχουν πολύ καλό ποσοστό ενσωμάτωσης ΑΠΕ και αρκετά καλό ΙΚΕ, ωστόσο παρόλο που το σενάριο πέντε εφαρμόζει πάγιο στην χρήση του net metering, οι οικονομικοί του δείκτες το καθιστούν πιο πρόσφορο από το σενάριο τέσσερα και κρίνεται ως το βέλτιστο σενάριο ελαχιστοποίησης του ΙΚΕ.

## 5.2. Προτάσεις για το μέλλον

Αναφορικά με το αντικείμενο της μελέτης, προτείνονται ως μελλοντική έρευνα:

- Η εισαγωγή μεγαλύτερης ποικιλίας ΑΠΕ όπως γεωθερμία, βιομάζα, κύματα, με σκοπό να ενισχυθεί ακόμα περισσότερο η ενεργειακή αποδοτικότητα του συστήματος.
- Χρήση Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας ,ώστε να γίνει προσπάθεια αυτονομίας του συστήματος.
- Πιο λεπτομερής καταγραφή των διαθέσιμων πόρων ΑΠΕ της εκάστοτε περιοχής μελέτης, για να δοθεί η ανάλογη προτεραιότητα.
- Εκπόνηση κοινωνικών ερευνών για να αποτυπωθεί και να αξιολογηθεί το κοινωνικό αντίκτυπο ενός τέτοιου συστήματος.
- Διερεύνηση και εκπόνηση παρόμοιας έρευνας σε διαφορετική περιοχή μελέτης για να εξεταστεί η εφαρμοστικότητα της .

## 6. Βιβλιογραφία

- [1] “Αρχική - The Green Tank.” Accessed: Sep. 28, 2024. [Online]. Available: <https://thegreentank.gr/>
- [2] “Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας | ΑΔΜΗΕ.” Accessed: Sep. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.admie.gr/>
- [3] “John Henry Holland | Pioneering Genetic Algorithm Developer | Britannica.” Accessed: Sep. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/biography/John-Henry-Holland>
- [4] “Welcome to HOMER.” Accessed: Sep. 28, 2024. [Online]. Available: <https://homerenergy.com/products/pro/docs/3.15/index.html>
- [5] M. H. Elkholy, M. Elymany, A. Yona, T. Senjyu, H. Takahashi, and M. Elsayed Lotfy, “Experimental validation of an AI-embedded FPGA-based Real-Time smart energy management system using Multi-Objective Reptile search algorithm and gorilla troops optimizer,” *Energy Convers Manag*, vol. 282, p. 116860, Apr. 2023, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2023.116860.
- [6] S. Gupta, A. Maulik, D. Das, and A. Singh, “Coordinated stochastic optimal energy management of grid-connected microgrids considering demand response, plug-in hybrid electric vehicles, and smart transformers,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 155, p. 111861, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.RSER.2021.111861.
- [7] M. Casini, G. G. Zanvettor, M. Kovjanic, and A. Vicino, “Optimal Energy Management and Control of an Industrial Microgrid With Plug-in Electric Vehicles,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 101729–101740, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2930274.
- [8] G. K. Venayagamoorthy, R. K. Sharma, P. K. Gautam, and A. Ahmadi, “Dynamic Energy Management System for a Smart Microgrid,” *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*, vol. 27, no. 8, pp. 1643–1656, 2016, doi: 10.1109/TNNLS.2016.2514358.
- [9] A. Merabet, A. Al-Durra, and E. F. El-Saadany, “Energy management system for optimal cost and storage utilization of renewable hybrid energy microgrid,” *Energy Convers Manag*, vol. 252, p. 115116, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2021.115116.
- [10] M. H. Elkholy, M. Elymany, H. Metwally, M. A. Farahat, T. Senjyu, and M. Elsayed Lotfy, “Design and implementation of a Real-time energy management system for an isolated Microgrid: Experimental validation,” *Appl Energy*, vol. 327, p. 120105, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.APENERGY.2022.120105.
- [11] U. B. Tayab, J. Lu, S. Taghizadeh, A. S. M. Metwally, and M. Kashif, “Microgrid Energy Management System for Residential Microgrid Using an Ensemble

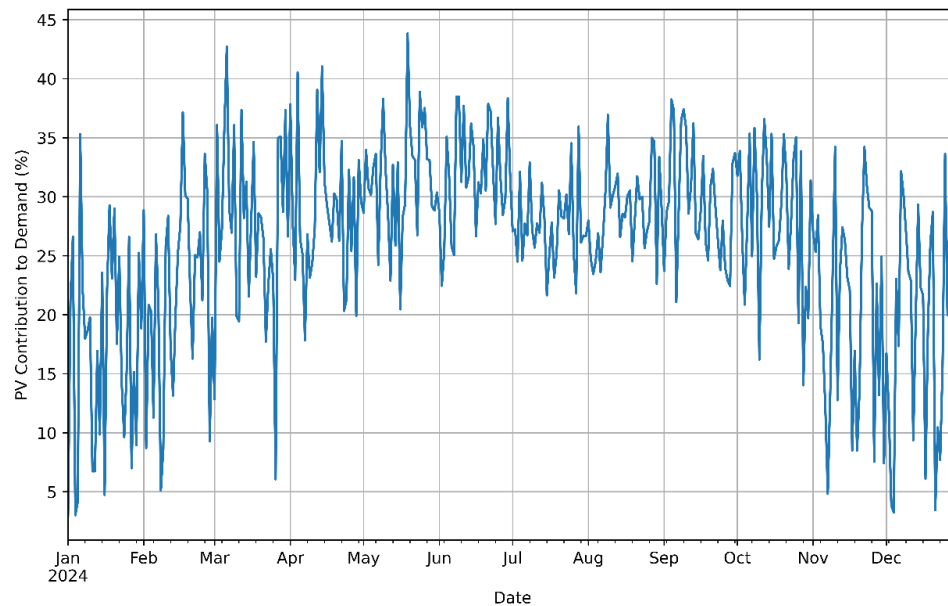
- Forecasting Strategy and Grey Wolf Optimization,” *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 24, 2021, doi: 10.3390/en14248489.
- [12] I. M. Abdelqawee, A. W. Emam, M. S. ElBages, and M. A. Ebrahim, “An improved energy management strategy for fuel cell/battery/supercapacitor system using a novel hybrid jellyfish/particle swarm/BAT optimizers,” *J Energy Storage*, vol. 57, p. 106276, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.EST.2022.106276.
  - [13] C. Cecati, C. Buccella, P. Siano, and A. Piccolo, “Optimal operation of Smart Grids with demand side management,” in *2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2013, pp. 2010–2015. doi: 10.1109/ICIT.2013.6505987.
  - [14] S. Murugan, M. Jaishankar, and K. Premkumar, “Hybrid DC–AC Microgrid Energy Management System Using an Artificial Gorilla Troops Optimizer Optimized Neural Network,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 21, 2022, doi: 10.3390/en15218187.
  - [15] S. Rahim *et al.*, “Exploiting heuristic algorithms to efficiently utilize energy management controllers with renewable energy sources,” *Energy Build*, vol. 129, pp. 452–470, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2016.08.008.
  - [16] M. N. Babu, “Energy Management For Renewable Hybrid System Based On Artificial Neural Networks (ANN),” *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 11, no. 4, pp. 121–132, Apr. 2023, doi: 10.22214/ijraset.2023.50025.
  - [17] A. K. Bhise, S. G. Kanade, and A. P. Kinge, “Artificial Intelligence Based Smart Home Energy Management System,” *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 2023, doi: 10.55041/IJSREM17433.
  - [18] N. C. Gaitan, I. Ungurean, G. Corotinschi, and C. Roman, “An Intelligent Energy Management System Solution for Multiple Renewable Energy Sources,” *Sustainability*, vol. 15, no. 3, 2023, doi: 10.3390/su15032531.
  - [19] A. Rochd *et al.*, “Design and implementation of an AI-based & IoT-enabled Home Energy Management System: A case study in Benguerir — Morocco,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 699–719, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.EGYR.2021.07.084.
  - [20] S. Leonori, M. Paschero, A. Rizzi, and F. M. F. Mascioli, “An optimized microgrid energy management system based on FIS-MO-GA paradigm,” in *2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2017.8015438.
  - [21] Y. Boujoudar, M. Azeroual, H. Elmoussaoui, and T. Lamhamdi, “Intelligent control of battery energy storage for microgrid energy management using ANN,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 2760–2767, Aug. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i4.pp2760-2767.
  - [22] A. Nammouchi, P. Aupke, A. Kassler, A. Theocharis, V. Raffa, and M. Di Felice, “Integration of AI, IoT and Edge-Computing for Smart Microgrid Energy Management,” in *2021 IEEE International Conference on Environment and*

- Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope51590.2021.9584756.
- [23] A. Gupta and A. K. Srivastava, “Artificial Intelligence - Smart Energy Distribution and Management System for small autonomous Photo-voltaic Systems,” in *2023 1st International Conference on Intelligent Computing and Research Trends (ICRT)*, 2023, pp. 1–7. doi: 10.1109/ICRT57042.2023.10146714.
- [24] M. Ramezani, D. Bahmanyar, and N. Razmjoooy, “A new optimal energy management strategy based on improved multi-objective antlion optimization algorithm: applications in smart home,” *SN Appl Sci*, vol. 2, no. 12, Dec. 2020, doi: 10.1007/s42452-020-03885-7.
- [25] K. Kwon, S. Lee, and S. Kim, “AI-Based Home Energy Management System Considering Energy Efficiency and Resident Satisfaction,” *IEEE Internet Things J*, vol. 9, no. 2, pp. 1608–1621, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2021.3104830.
- [26] Sri K. Suneelgoutham, P. Kireetireddy, U. Likitha, D. Rajesh, and CH. Mahesh, “Design and Implementation of Smart Energy Management System,” *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, pp. 453–461, Apr. 2023, doi: 10.48175/ijarsct-9159.
- [27] A. R. Boynuegri, B. Yagcitekin, M. Baysal, A. Karakas, and M. Uzunoglu, “Energy management algorithm for smart home with renewable energy sources,” in *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, 2013, pp. 1753–1758. doi: 10.1109/PowerEng.2013.6635883.
- [28] “Τεχνικά για την Κρήτη | VisitCrete.com®.” Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: <https://visitcrete.com/el/plirofories/genika-stoixeia-tis-kritis/>
- [29] “Google Earth.” Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: [https://earth.google.com/web/@35.37362743,24.67059943,135.39732808a,533957.20643163d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAGgBOgMKATBKDQj\\_\\_\\_\\_\\_8BEAA](https://earth.google.com/web/@35.37362743,24.67059943,135.39732808a,533957.20643163d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAGgBOgMKATBKDQj_____8BEAA)
- [30] “Global Solar Atlas.” Accessed: Sep. 28, 2024. [Online]. Available: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=34.427423,25.196045,7&s=35.190303,25.196045&m=site&pv=ground,180,28,1000>
- [31] “Global Wind Atlas.” Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: <https://globalwindatlas.info/en>
- [32] “NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources.” Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/>
- [33] “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#TMY](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY)

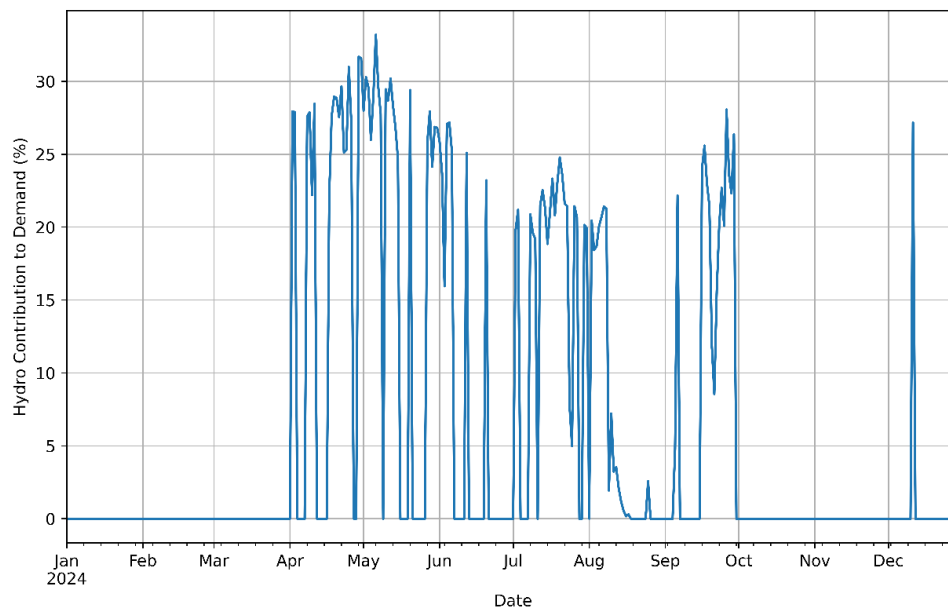
- [34] “Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” Accessed: Sep. 28, 2024. [Online]. Available: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en)
- [35] “HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software.” Accessed: Sep. 28, 2024. [Online]. Available: <https://homerenergy.com/>
- [36] “LONGi Solar | LR6-60PH 300-320 | Solar Panel Datasheet | ENF Panel Directory.” Accessed: Sep. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/34690>
- [37] “Eunice Wind GR | Eunice Group.” Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: <https://eunice-group.com/el/eunice-wind-gr/>
- [38] N. Sifakis, S. Konidakis, and T. Tsoutsos, “Hybrid renewable energy system optimum design and smart dispatch for nearly Zero Energy Ports,” *J Clean Prod*, vol. 310, p. 127397, Aug. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.127397.
- [39] “PyGAD - Python Genetic Algorithm! — PyGAD 3.3.1 documentation.” Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: <https://pygad.readthedocs.io/en/latest/>
- [40] “Internal Rate of Return (IRR): Formula and Examples.” Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/i/irr.asp>

## 7 Παράρτημα

Στο παράρτημα θα παρουσιαστούν μερικές εικόνες από κάθε σενάριο οι οποίες δεν παρουσιάστηκαν στα αποτελέσματα, και οι οποίες αφορούν τις πηγές παραγωγής ενέργειας (Φ/Β πλαίσιο, Α/Γ, Υ.Γ) και προσφέρουν παραπάνω δεδομένα για τον αναγνώστη.

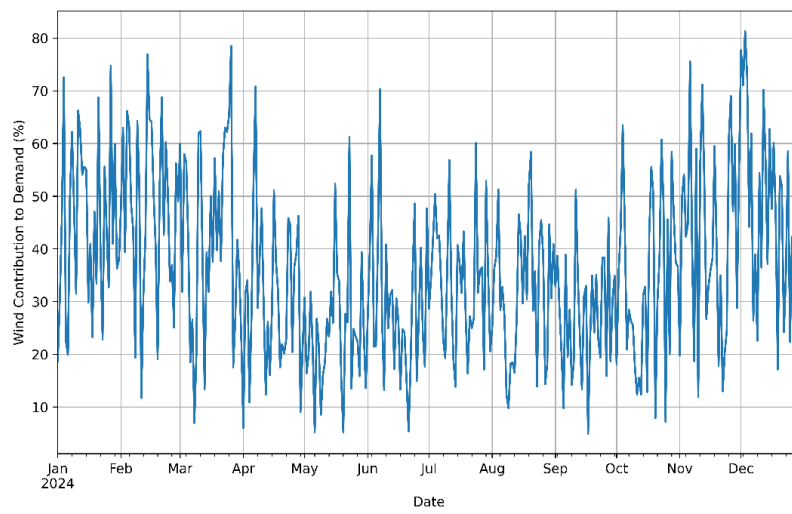


Εικόνα 58 Ποσοστό συμμετοχής Φ/Β στην ηλεκτροπαραγωγή ανά ημέρα σενάριο 1

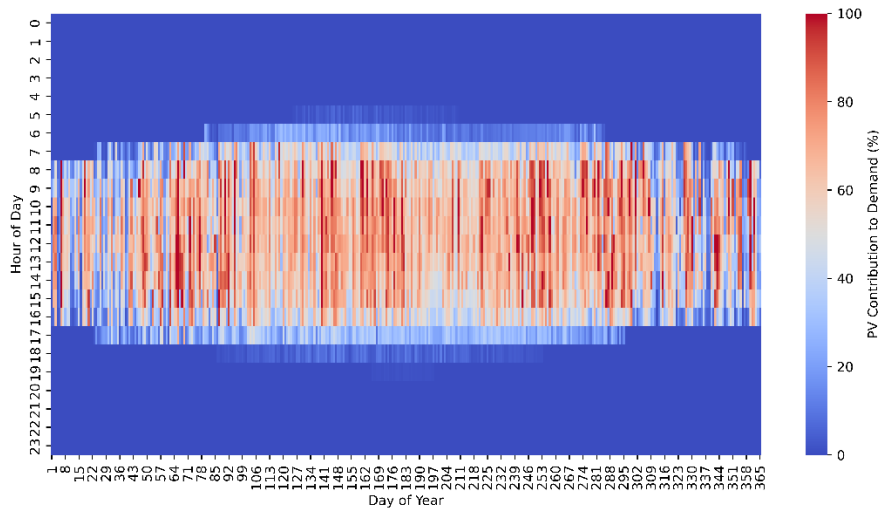


Εικόνα 59 Ποσοστό συμμετοχής Υ/Γ στην ηλεκτροπαραγωγή ανά ημέρα σενάριο 1

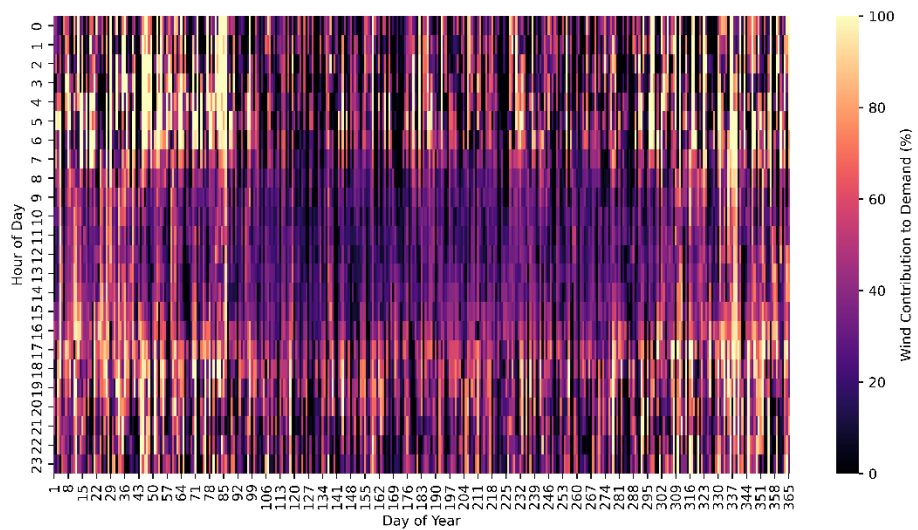




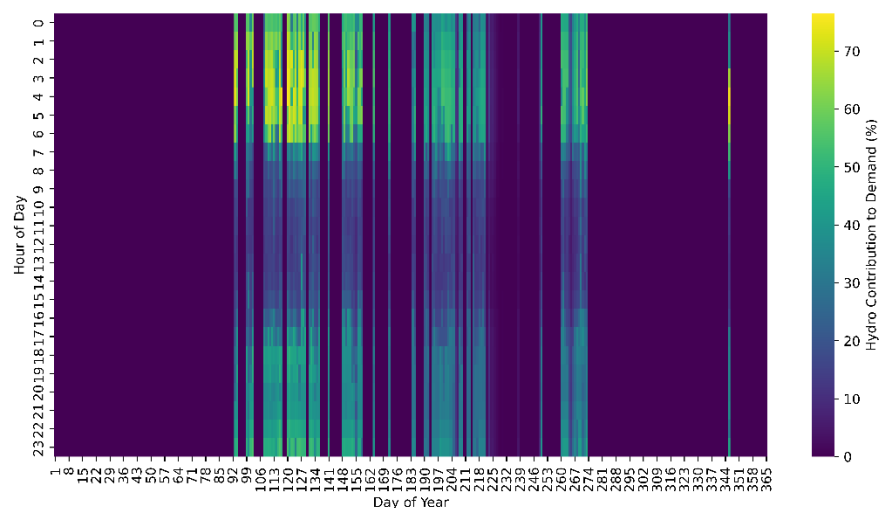
Εικόνα 60 Ποσοστό συμμετοχής Α/Γ στην ηλεκτροπαραγωγή ανά ημέρα, σενάριο 1



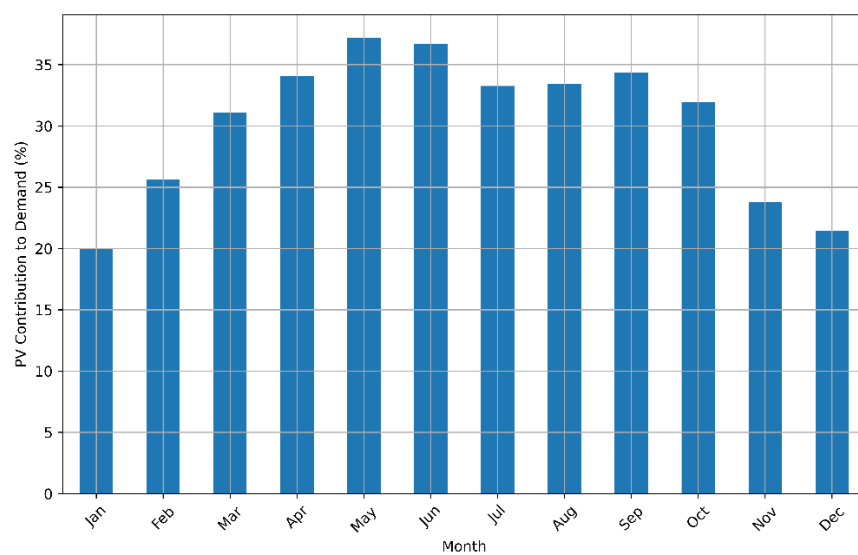
Εικόνα 61 Ποσοστό συμμετοχής Φ/Β στην ηλεκτροπαραγωγή ανά ώρα σενάριο 2



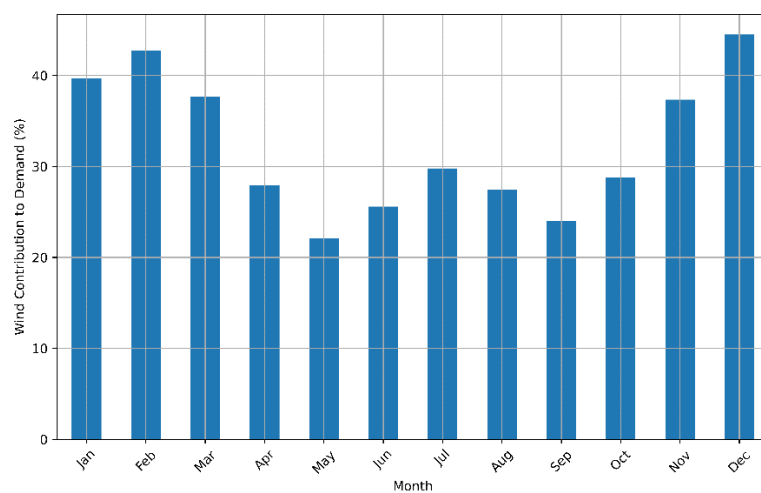
Εικόνα 62 Ποσοστό συμμετοχής Α/Γ στην ηλεκτροπαραγωγή ανά ώρα σενάριο 2



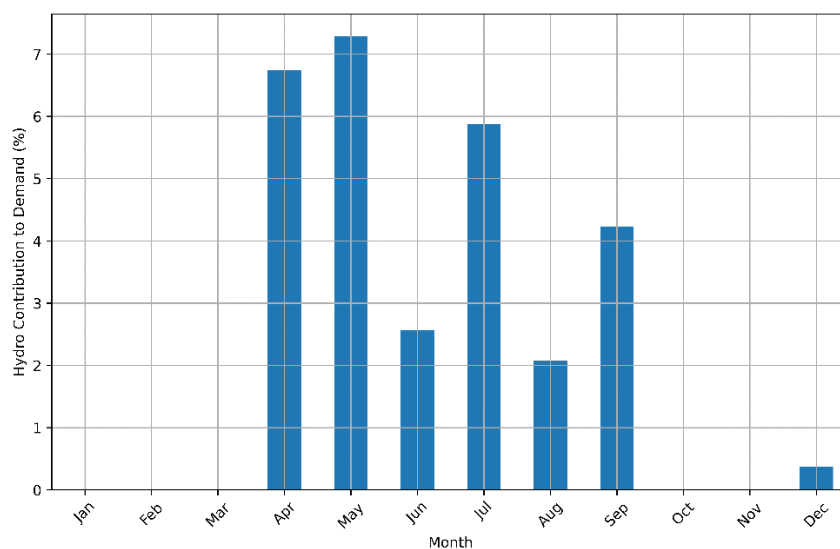
Εικόνα 63 Ποσοστό συμμετοχής Υ/Γ στην ηλεκτροπαραγωγή ανά ώρα σενάριο 2



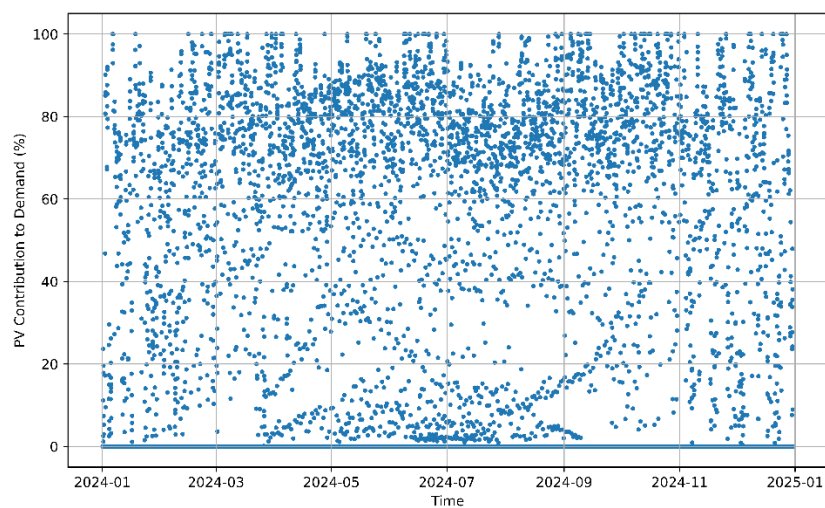
Εικόνα 64 Ποσοστό συμμετοχής Φ/Β στην ηλεκτροπαραγωγή ανά μήνα σενάριο 3



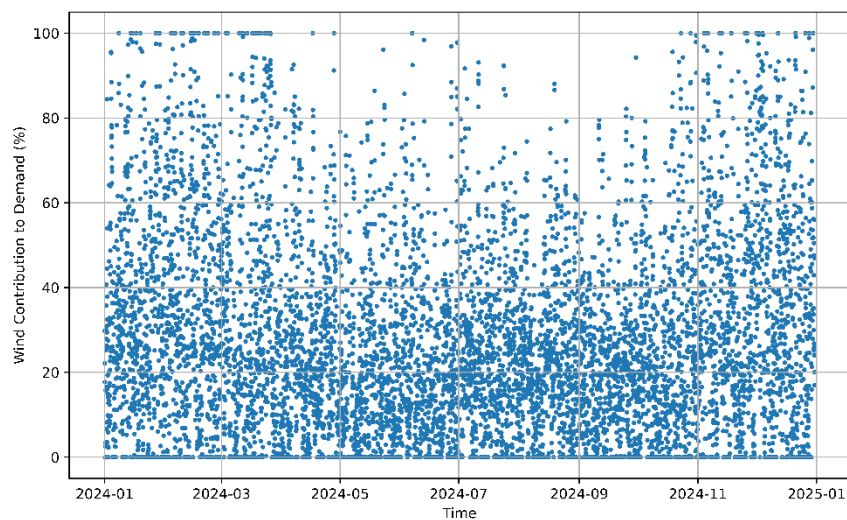
Εικόνα 65 Ποσοστό συμμετοχής Α/Γ στην ηλεκτροπαραγωγή ανά μήνα σενάριο 3



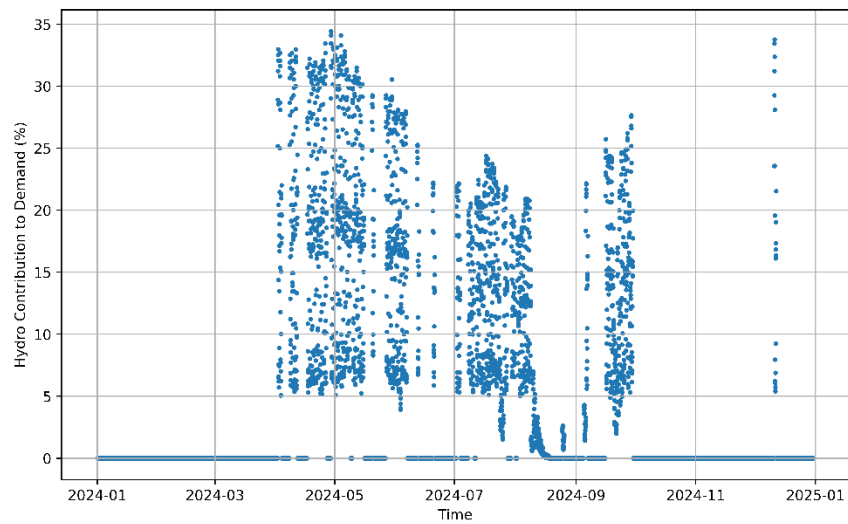
Εικόνα 66 Ποσοστό συμμετοχής Υ/Γ στην ηλεκτροπαραγωγή ανά μήνα σενάριο 3



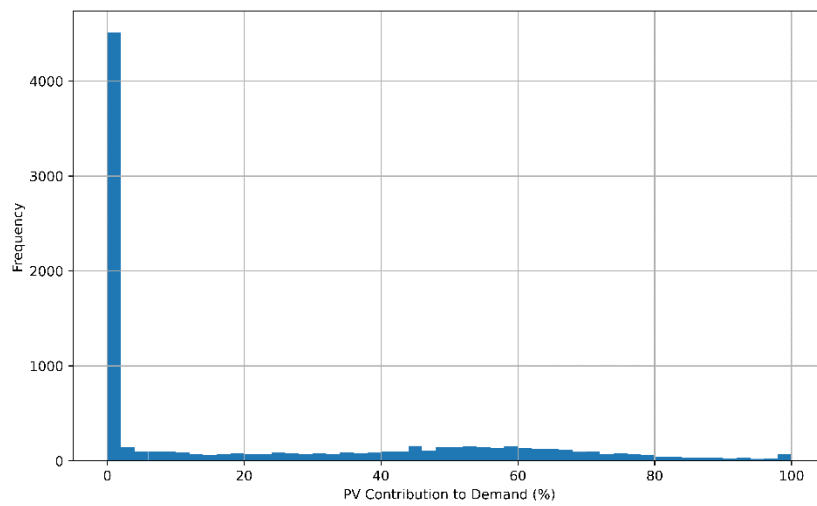
Εικόνα 67 Ποσοστό συμμετοχής Φ/Β στην ηλεκτροπαραγωγή ανά ώρα σενάριο 4



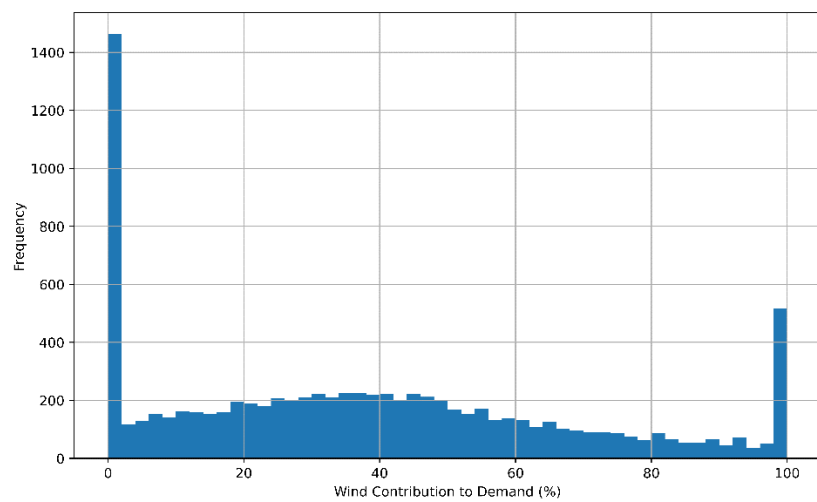
Εικόνα 68 Ποσοστό συμμετοχής Α/Γ στην ηλεκτροπαραγωγή ανά ώρα σενάριο 4



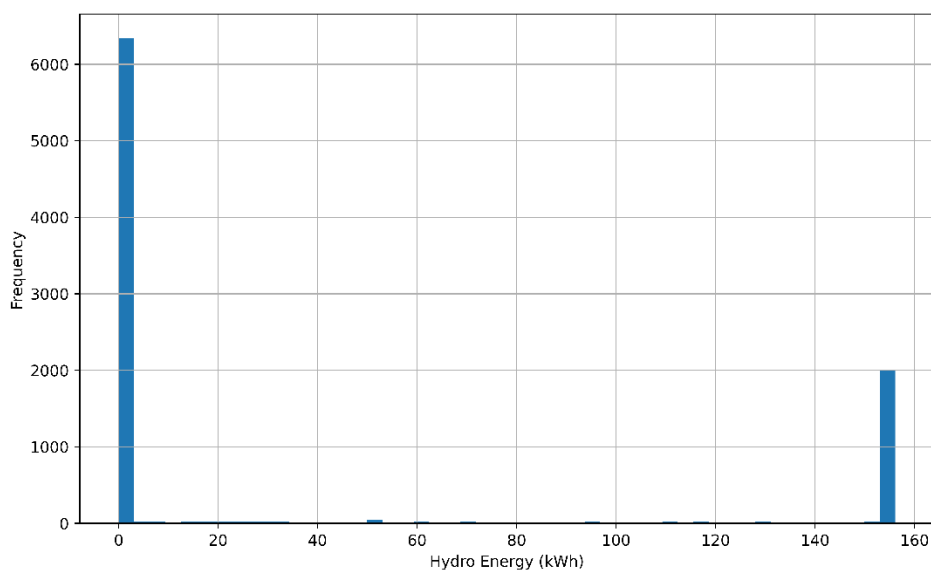
Εικόνα 69 Ποσοστό συμμετοχής Υ/Γ στην ηλεκτροπαραγωγή ανά ώρα σενάριο 4



Εικόνα 70 Ιστόγραμμα ποσοστού συμμετοχής Φ/Β στην ηλεκτροπαραγωγή σενάριο 5



Εικόνα 71 Ιστόγραμμα ποσοστού συμμετοχής Α/Γ στην ηλεκτροπαραγωγή σενάριο 5



Εικόνα 72 Ιστόγραμμα ποσοστού συμμετοχής Υ/Γ στην ηλεκτροπαραγωγή σενάριο 5

## Κατάλογος Εξισώσεων

**Εξίσωση 1.** Εξίσωση Κόστους συστήματος στο Homer PRO

**Εξίσωση 2** Υπολογισμός αυτοτελούς κόστους τεχνολογιών στο Homer PRO

**Εξίσωση 3** Υπολογισμός NPC στο Homer PRO

**Εξίσωση 4** Υπολογισμός Ισοδύναμου Κόστους Ενέργειας στο Homer PRO

**Εξίσωση 5** Ωριαίο δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β πλαισίου

**Εξίσωση 6** Ταχύτητα ανέμου με βάση το ύψος πλήμνης.

**Εξίσωση 7** Υπολογισμός της ισχύς Α/Γ.

**Εξίσωση 8** Υπολογισμός Ισχύος Υ/Γ

**Εξίσωση 9** Αντικειμενική συνάρτηση

**Εξίσωση 10** Υπολογισμός Ισοδύναμου Ενεργειακού Κόστους

**Εξίσωση 11** Συνολικό Ετήσιο Κόστος

**Εξίσωση 12** Υπολογισμός καθαρού κόστους παρούσας αξίας

**Εξίσωση 13** Υπολογισμός αρχικού κεφαλαίου συστήματος

**Εξίσωση 14** Υπολογισμός συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου.

**Εξίσωση 15** Υπολογισμός Παρούσας αξίας

**Εξίσωση 16** Υπολογισμός Ετήσιας Αξίας

**Εξίσωση 17** Υπολογισμός Απόδοσης Επένδυσης

**Εξίσωση 18** Υπολογισμός Εσωτερικής Απόδοσης

**Εξίσωση 19** Υπολογισμός Περιόδου Απόσβεσής.

## **Κατάλογος Πινάκων**

**Πίνακας 1.** Ετήσια ηλιακά δεδομένα περιοχής μελέτης

**Πίνακας 2** Ετήσια αιολικά δεδομένα περιοχής μελέτης

**Πίνακας 3** Μεταβλητές που προσομοιώθηκαν κατά την διαδικασία βελτιστοποίησης

**Πίνακας 4** Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου Longi Solar LR6-60PH

**Πίνακας 5** Τεχνικά Χαρακτηριστικά Α/Γ EW16 Thetis

**Πίνακας 6** Ρυθμιστικές Παράμετροι για το κάθε σενάριο

**Πίνακας 7 .** Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος σεναρίου μηδέν

**Πίνακας 8** Αποτελέσματα προσομοίωσης πρώτου σεναρίου

**Πίνακας 9** Αποτελέσματα προσομοίωσης δεύτερου σεναρίου

**Πίνακας 10** Αποτελέσματα Προσομοίωσης τρίτου σεναρίου

**Πίνακας 11** Αποτελέσματα Προσομοίωσης τέταρτου σεναρίου

**Πίνακας 12** Αποτελέσματα Προσομοίωσης πέμπτου σεναρίου

**Πίνακας 13** Συγκεντρωτικά στοιχεία για το κάθε προσομοιωμένο σενάριο σχετικά με την συμμετοχή των πηγών παραγωγής στην ηλεκτροπαραγωγή

**Πίνακας 14** Συγκεντρωτικά στοιχεία για το κάθε προσομοιωμένο σενάριο σχετικά τους οικονομικούς δείκτες

## **Κατάλογος Εικόνων**

**Εικόνα 1.** Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για τους πρώτους 7 μήνες κάθε έτους για την δεκαετία 2014-2024 (admie.gr)

**Εικόνα 2** Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για τους πρώτους 7 μήνες κάθε έτους για την δεκαετία 2014-2024(admie.gr)

**Εικόνα 3** Τυπικό Διάγραμμα Ροής Γενετικού Αλγορίθμου

**Εικόνα 4.Διάγραμμα** Προτεινόμενου Συστήματος με FPGA

**Εικόνα 5** Σχηματική όψη ενός νευρωνικού δικτύου προώθησης

**Εικόνα 6** Προτεινόμενο Σύστημα Διαχείριση Ενέργεια Μικροδικτύου.

**Εικόνα 7** Διάγραμμα συστήματος διανομής υβριδικού AC/DC μικροδικτύου.

**Εικόνα 8** Σύστημα διαχείρισης ενέργειας με Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο(ANN)

**Εικόνα 9** Σχέδιο Λειτουργίας Συστήματος

- Εικόνα 10** Συνολική Αρχιτεκτονική του Συστήματος.
- Εικόνα 11** Διάταξη Προτεινόμενης Μεθόδου
- Εικόνα 12** Χάρτης της περιοχής μελέτης μέσω του λογισμικού Google Maps
- Εικόνα 13** Ηλιακό Δυναμικό Περιοχής μελέτης
- Εικόνα 14** Μηνιαία Πυκνότητα Ηλιακής Ισχύος
- Εικόνα 15** Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Ανέμου περιοχής μελέτης
- Εικόνα 16** Αιολικό δυναμικό περιοχής μελέτης
- Εικόνα 17** Μέση μηνιαία ταχύτητα του νερού περιοχή μελέτης
- Εικόνα 18** Υδροδυναμικό προφίλ περιοχής μελέτης
- Εικόνα 19** Ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρική ενέργειας για το νησί της Κρήτης
- Εικόνα 20** Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Κρήτης
- Εικόνα 21** Διαδικασία συλλογής δεδομένων από την ιστοσελίδα της NASA-POWER
- Εικόνα 22** Λογισμικό συλλογής ηλιακών δεδομένων PVGIS
- Εικόνα 23** Περιβάλλον εργασίας λογισμικού Homer PRO Microgrid
- Εικόνα 24** Καμπύλη Ισχύος της Α/Γ EW16 Thetis
- Εικόνα 25** Καμπύλη Ισχύος της Υ/Γ μοντέλο SMART Free Stream 5kw
- Εικόνα 26** Ωριαία Εισαγόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σύστημα του σεναρίου μηδέν
- Εικόνα 27** Συνολική εισαγόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σενάριο μηδέν
- Εικόνα 28** Μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου
- Εικόνα 29** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του πρώτου σεναρίου
- Εικόνα 30** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του πρώτου σεναρίου
- Εικόνα 31** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Υ/Γ για το σύστημα του πρώτου σεναρίου
- Εικόνα 32** Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια από την λειτουργία του δικτύου για το σύστημα του πρώτου σεναρίου
- Εικόνα 33** Μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου.
- Εικόνα 34** Μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου
- Εικόνα 35** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου

**Εικόνα 36** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου

**Εικόνα 37** Παραχθείσα ενέργεια από την λειτουργία των Υ/Γ για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου

**Εικόνα 38** Συνολική προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου.

**Εικόνα 39** Μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου.

**Εικόνα 40** Μηνιαία παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

**Εικόνα 41** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

**Εικόνα 42** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Α/Γ για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

**Εικόνα 43** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Υ/Γ για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

**Εικόνα 44** Ετήσια Καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σύστημα του τρίτου σεναρίου.

**Εικόνα 45** Μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου.

**Εικόνα 46** Μηνιαία Παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

**Εικόνα 47** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

**Εικόνα 48** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Α/Γ για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

**Εικόνα 49** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Υ/Γ για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

**Εικόνα 50** Ετήσια Καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου.

**Εικόνα 51** Μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου.

**Εικόνα 52** Μηνιαία Παραχθείσα ενέργεια για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

**Εικόνα 53** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

**Εικόνα 54** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Α/Γ για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου



**Εικόνα 55** Ετήσια Παραγόμενη ενέργεια λόγω της λειτουργίας των Υ/Γ για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

**Εικόνα 56** Ετήσια Καθαρή προμηθευόμενη ενέργεια από το δίκτυο για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου.

**Εικόνα 57** Μηνιαίο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου.