



Πολυτεχνείο Κρήτης - Σχολή Χημικών Μηχανικών και  
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών  
Συστημάτων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Περιβαλλοντική Μηχανική»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΝΗΣΙΟΥ, ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΟΥ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ, ΝΗΣΟΣ ΜΗΛΟΣ»**

**ΒΗΧΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

**(2020057540)**

Εξεταστική επιτροπή

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ

ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΡΥΦΩΝ ΔΑΡΑΣ

Χανιά, 2022

"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 τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το 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

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου Θεοχάρη Τσούτσο, υπεύθυνο του Εργαστηρίου Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων, στον Τομέα της Περιβαλλοντικής Διαχείρισης, ο οποίος ήταν πάντοτε παρών για να με καθοδηγήσει στα πλαίσια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες προς τον Διδάκτορα Νικόλαο Σηφάκη για την άριστη συνεργασία μας, καθώς μου προσέφερε χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις, συμβάλλοντας με καθοριστικό τρόπο στην εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής μου .

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια Διονυσία Κολοκοτσά, κοσμήτορα της σχολής ΧΗΜΗΠΕΡ και υπεύθυνη του Εργαστηρίου Δομημένου Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Ενέργειας, στον τομέα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Βιώσιμης Ανάπτυξης και Κλιματικής Αλλαγής, η οποία διετέλεσε μέλος της τριμελούς επιτροπής μου.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή Καθηγητή Τρύφων Δάρα, υπεύθυνο του Εργαστηρίου Στοχαστικών Μοντέλων ανάπτυξης καρκινικών όγκων στον τομέα Ανάπτυξης, Ανάλυσης & Σχεδιασμού Διεργασιών, ο οποίος διετέλεσε μέλος της τριμελούς επιτροπής μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς το διευθυντή του τοπικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής στο νησί της Μήλου, Φώτη Καμπανό, για την εξασφάλιση του νόμιμου δικαιώματος συλλογής των πραγματικών δεδομένων ενεργειακής καταναλώσεως για το νησί της Μήλου.

Τέλος, θα ήθελα να αποδώσω τη σημαντικότερη ευχαριστία μου προς την οικογένεια μου και τους φίλους μου, οι οποίοι μου παρείχαν την καθολική και ανιδιοτελή τους υποστήριξη, σε κάθε στάδιο των σπουδών μου.

## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	i
Abstract.....	ii
Πίνακας Συντομογραφιών .....	iii
Κατάλογος Πινάκων .....	iii
Κατάλογος εξισώσεων .....	iv
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	iv
Κατάλογος Εικόνων .....	vii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας .....	1
1.2. Βιωσιμότητα σε νησιά ανά τον κόσμο.....	3
1.3. Βιωσιμότητα στα νησιά της Ελλάδας.....	5
1.4. Συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας.....	6
1.5. Μοντέλα Πρόβλεψης.....	8
1.5.1. Γιατί οφείλει να γίνει πρόβλεψη για το μέλλον; .....	8
1.5.2. Γενικά .....	9
1.5.3. Τύποι ποσοτικών προβλέψεων.....	11
1.6. Στόχος .....	13
1.7. Δομή επόμενων κεφαλαίων.....	14
2. Κριτική Βιβλιογραφίας .....	15
3. Μεθοδολογία.....	28
3.1. Περιγραφή περίπτωσης μελέτης .....	28
3.1.1. Ηλιακό δυναμικό περιοχής μελέτης .....	29
3.1.2. Αιολικό δυναμικό περιοχής μελέτης.....	30
3.1.3. Ενεργειακό προφίλ νησιού .....	32
3.2. Περιγραφή μοντέλων πρόβλεψης.....	34
3.2.1. Μοντέλα Γραμμικής Παλινδρόμησης (Linear Regression Models).....	34
3.2.2. Δέντρα Αποφάσεων (Decision Trees) .....	35
3.2.3. Παλινδρόμηση Διαδικασίας Gauss (Gaussian Process Regression-GPR) .....	36
3.2.4. Συνδυαστικές Μέθοδοι (Ensemble Method) .....	37
3.2.5. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks).....	37
3.3. Δείκτες σύγκρισης μοντέλων .....	38
3.3.1. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Squared Error – MSE) .....	38
3.3.2. Ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error – RMSE)...	39
3.4. Περιγραφή διαδικασίας μοντελοποίησης.....	39
3.4.1. Δεδομένα προς συλλογή.....	39

3.4.1.1.	NASA-Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER).....	40
3.4.1.2.	Meteonorm .....	40
3.4.2.	Λογισμικά πρόβλεψης και μοντελοποίησης.....	41
3.4.2.1.	MATLAB .....	41
3.4.2.2.	Homer PRO .....	42
3.4.3.	Ενεργειακό μίγμα .....	43
3.4.4.	Τεχνολογίες συστήματος.....	44
3.4.4.1.	Φωτοβολταϊκό (Φ/Β) πλαίσιο .....	44
3.4.4.2.	Ανεμογεννήτρια (Α/Γ).....	46
3.4.4.3.	Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (ΣΑΕ) .....	48
3.5.	Περιγραφή σεναρίων προς μοντελοποίηση .....	48
4.	Αποτελέσματα.....	50
4.1.	Παρουσίαση μοντέλων πρόβλεψης.....	50
4.1.1.	Optimizable Ensemble .....	51
4.1.2.	Optimizable GPR .....	53
4.1.3.	Επιλογή βέλτιστου μοντέλου πρόβλεψης .....	54
4.1.4.	Πρόβλεψη ενεργειακού προφίλ για το έτος 2030.....	57
4.2.	Βέλτιστη διαστασιολόγηση συστήματος ΑΠΕ .....	58
4.2.1.	Σενάριο 1: Baseline.....	58
4.2.2.	Σενάριο 2: Προσθήκη Φ/Β πλαισίου .....	59
4.2.3.	Σενάριο 3: Προσθήκης Α/Γ .....	62
4.2.4.	Σενάριο 4: Συνδυασμός Φ/Β πλαισίου και Α/Γ .....	65
4.2.5.	Σενάριο 5: Προσθήκη Φ/Β πλαισίου και ΣΑΕ .....	68
4.2.6.	Σενάριο 6: Προσθήκη Α/Γ και ΣΑΕ .....	71
4.2.7.	Σενάριο 7: Συνδυασμός Φ/Β πλαισίου Α/Γ και ΣΑΕ.....	74
4.3.	Σύγκριση σεναρίων .....	78
4.4.	Ανάλυση ευαισθησίας .....	81
4.4.1.	Πυκνότητα ηλιακής ισχύος .....	81
4.4.2.	Ταχύτητα ανέμου .....	81
4.4.3.	Περιβαλλοντικό πρόστιμο .....	81
4.4.4.	Απαιτούμενη ισχύς.....	82
5.	Συμπεράσματα.....	87
5.1.	Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	87
5.2.	Προτάσεις για το μέλλον .....	89
6.	Βιβλιογραφία.....	90

## Περίληψη

Η ενεργειακή αναβάθμιση των νησιών διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στα πλαίσια του παγκόσμιου στόχου βιώσιμης ανάπτυξης, καθώς προϋποθέτει ταυτόχρονα τον εκσυγχρονισμό στη παραγωγή ενέργειας, καθώς επίσης και την εξάλειψη του οικολογικού αποτυπώματος της διαδικασίας. Όμως, είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί ότι η εξάλειψη των αέριων ρύπων θα επιτευχθεί λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες οικονομικής ευφορίας και κοινωνικής αποδοχής.

Στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή μελετήθηκε η προοπτική αναβάθμισης ενός νησιού μικρού μεγέθους, το οποίο βασίζεται στην καύση ορυκτών καυσίμων για να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες. Αρχικά, συλλέχθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή από την ιστοσελίδα της NASA, καθώς και τα αντίστοιχα εκτιμώμενα για το έτος 2030, μέσω του λογισμικού MeteorNorm. Έπειτα, έγινε συλλογή ωριαίων δεδομένων ενεργειακής κατανάλωσης για το νησί, ώστε να προσδιοριστεί το μελλοντικό του ενεργειακό προφίλ, μέσω της χρήσης μοντέλων πρόβλεψης στο λογισμικό Matlab. Έπειτα, τα δεδομένα αξιοποιήθηκαν από το λογισμικό βελτιστοποίησης Homer-PRO, για τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση 7 διαφορετικών σεναρίων, αποσκοπώντας στην εύρεση της βέλτιστης λύσης για την επίτευξη αειφόρου ανάπτυξης. Οι βασικές ρυθμιστικές παράμετροι για τη μοντελοποίηση των σεναρίων αφορούν την πηγή παραγωγής ενέργειας (φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννήτριες) και την αξιοποίηση συστημάτων αποθήκευσης της παραχθείσας περίσσειας ενέργειας.

Μέσω της προσομοίωσης και της σύγκρισης των συστημάτων κάθε σεναρίου, καθίσταται σαφής η ανάγκη αναβάθμισης του τρέχοντος συστήματος, το οποίο δε συνάδει με την τεχνολογική πρόοδο και τις ανάγκες της εποχής. Επιπλέον, προσδιορίστηκε η βέλτιστη λύση για την εξασφάλιση βιώσιμης ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης, η οποία προϋποθέτει το συνδυασμό διαφορετικών πηγών ανανεώσιμης ενέργειας, καθώς και χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για την εξασφάλιση ενεργειακής αυτονομίας. Συγκεκριμένα, απεδείχθη πως το βέλτιστο προτεινόμενο σενάριο εξασφαλίζει πλήρη εξάλειψη του οικολογικού αποτυπώματος της περιοχής, ενώ παράλληλα μειώνεται δραστικά το ισοδύναμο κόστος ενέργειας (κατά 0,182€/kWh). Μέσω της διεξαγωγής ανάλυσης ευαισθησίας, εξετάστηκε η ευστάθεια του συστήματος σε ενδεχόμενες μεταβολές, φανερώνοντας ότι η μειωμένη ταχύτητα ανέμου ή/και η αυξημένη ισχύς λειτουργίας δύνανται να μεταβάλουν σημαντικά το σύστημα, σε αντίθεση με την μειωμένη πυκνότητα ηλιακής ισχύος (μέτρια μεταβολή) και την επιβολή περιβαλλοντικού προστίμου ρύπων (αμελητέα μεταβολή). Τέλος, αναφέρονται ενδεικτικές προτάσεις προς μελλοντική έρευνα.

## Abstract

The islands' energy enhancement is a vital global goal to achieve sustainable development, as it simultaneously requires the energy production's modernization, as well as the ecological footprint' elimination of the process. But it is essential to ensure that the elimination of air pollutants is accomplished by reckoning in the sectors of economic euphoria and social acceptance.

In this master's thesis, the prospect of upgrading a small-sized island, which relies on fossil fuels' burning to cover its energy needs, was examined. Initially, meteorological data for the region were collected from the NASA website, as well as the corresponding estimates for the year 2030, through the Meteonorm software. Then, hourly energy consumption data was collected for the island, in order to determine its future energy profile, through the use of prediction models in Matlab software. The data was then used by Homer-PRO optimization software to model and simulate 7 different scenarios, aiming to find the optimal solution to achieve sustainable development. The main regulatory parameters for scenarios' modeling concern the source of energy production (photovoltaic panels, wind turbines) and the utilization of storage systems for the excess generated energy.

Through the simulation and comparison of each scenario's system, the need to upgrade the current system was proven, as it is not in line with technological progress and the needs of the times. In addition, the optimal solution was determined, to ensure sustainable development in the case-study area, requiring the combination of different renewable energy sources, as well as the use of energy storage systems, to ensure energy autonomy. Specifically, the optimal proposed scenario ensures complete elimination of the region's ecological footprint, while at the same time drastically reducing the levelized cost of energy (by €0.182/kWh). A sensitivity analysis was conducted, to evaluate the system's stability to potential changes, showing that reduced wind speed or/and increased power demand can significantly change the system, in contrast to reduced solar power density (moderate change) and the imposition of an environmental penalty for pollutants (negligible change). Finally, indicative suggestions for future research are mentioned.

## Πίνακας Συντομογραφιών

ΑΠΕ, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	ARIMA, Autoregressive Integrated Moving Average
Φ/Β, Φωτοβολταϊκό	GPR, Gaussian Process Regression
Α/Γ, Ανεμογεννήτριες	POWER, Prediction of Worldwide Energy Resources
ΣΑΕ, Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας	MSE, Mean Squared Error
Δ, Δίκτυο	RMSE, Root Mean Squared Error
ΧΑΣ, Χρόνος Αυτονομίας Συστήματος	
ΚΠΑ, Καθαρή Παρούσα Αξία	
ΙΚΕ, Ισοδύναμο Κόστος Ενέργειας	
ΕΛΚ, Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος	
ΣΚΑΕ, Συνολικό Κόστος Αρχικής Επένδυσης	
ΧΑ, Χρόνος Αποπληρωμής	
ΑΕ, Απόδοση Επένδυσης	
ΕΒΑ, Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης	

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1. Ετήσια ηλιακά δεδομένα για την περιοχή μελέτης.....	29
Πίνακας 3.2. Ετήσια αιολικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης .....	31
Πίνακας 3.3. Μεταβλητές που εφαρμόστηκαν κατά τη διαδικασία της πρόβλεψης.....	39
Πίνακας 3.4. Συντελεστές μετατροπής της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε πρωτογενή και εκπομπής ρύπων.....	44
Πίνακας 3.5. Τεχνικά Χαρακτηριστικά για το Φ/Β πλαίσιο SunPower X21-335-BLK. ....	44
Πίνακας 3.6. Μεταβολή του κόστους (€) ως προς την εγκατεστημένη ισχύ (kW) για το Φ/Β πλαίσιο SunPower X21-335-BLK. ....	45
Πίνακας 3.7. Τεχνικά Χαρακτηριστικά της Α/Γ Aeolos H-10kW .....	46
Πίνακας 3.8. Τεχνικά χαρακτηριστικά μπαταριών συστήματος .....	48
Πίνακας 3.9. Ρυθμιστικές παράμετροι για το κάθε σενάριο .....	49
Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και νευρωνικών δικτύων .....	50
Πίνακας 4.2. Διακύμανση ωριαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) μοντέλου Optimizable Ensemble .....	51
Πίνακας 4.3. Διακύμανση ωριαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) μοντέλου Optimizable GPR .....	53
Πίνακας 4.4. Σύγκριση δεικτών μοντέλων πρόβλεψης.....	55
Πίνακας 4.5. Διακύμανση ωριαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) για το έτος 2030 .....	57
Πίνακας 4.6. Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος πρώτου σεναρίου .....	58
Πίνακας 4.7. Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος δευτέρου σεναρίου .....	59
Πίνακας 4.8. Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος τρίτου σεναρίου .....	62
Πίνακας 4.9. Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος τέταρτου σεναρίου .....	65
Πίνακας 4.10. Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος πέμπτου σεναρίου .....	68



<b>Πίνακας 4.11.</b> Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος έκτου σεναρίου .....	71
<b>Πίνακας 4.12.</b> Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος έβδομου σεναρίου .....	74
<b>Πίνακας 4.13.</b> Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για κάθε προσομοιωμένο σενάριο σχετικά με τη συμμετοχή των πηγών παραγωγής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, το χρόνο αυτόνομης λειτουργίας του κάθε συστήματος, το κόστος και τις ετήσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα .....	80

## Κατάλογος εξισώσεων

<b>Εξίσωση 3.1.</b> Εξίσωση απλής γραμμικής παλινδρόμησης.....	34
<b>Εξίσωση 3.2.</b> Εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης με $n$ ανεξάρτητες μεταβλητές.....	34
<b>Εξίσωση 3.3.</b> Εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης με $n$ ανεξάρτητες μεταβλητές και αλληλεπίδραση .....	34
<b>Εξίσωση 3.4.</b> Προσέγγιση απλής γραμμικής συνάρτησης κατά Bayes .....	36
<b>Εξίσωση 3.5.</b> Συνάρτηση παλινδρόμησης GPR .....	36
<b>Εξίσωση 3.6.</b> Εξίσωση ελαχιστοποίησης μέσου τετραγωνικού σφάλματος .....	38
<b>Εξίσωση 3.7.</b> Εξίσωση υπολογισμού μέσου τετραγωνικού σφάλματος .....	38
<b>Εξίσωση 3.8.</b> Εξίσωση υπολογισμού τετραγωνικής ρίζας μέσου τετραγωνικού σφάλματος .....	39
<b>Εξίσωση 3.9.</b> Συνολικό κόστος συστήματος .....	43
<b>Εξίσωση 3.10.</b> Υπολογισμός κόστους για κάθε τεχνολογία του συστήματος .....	43
<b>Εξίσωση 3.11.</b> Υπολογισμός καθαρής παρούσας αξίας του συστήματος .....	43
<b>Εξίσωση 3.12.</b> Υπολογισμός ισοδύναμου κόστους ενέργειας.....	43
<b>Εξίσωση 3.13.</b> Συντελεστής εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα με βάση το ενεργειακό μίγμα για την περιοχή μελέτης.....	44
<b>Εξίσωση 3.14.</b> Υπολογισμός ωριαίου δυναμικού παραγωγής Φ/Β πάνελ .....	45
<b>Εξίσωση 3.15.</b> Υπολογισμός συνολικής ακτινοβολίας Φ/Β .....	46
<b>Εξίσωση 3.16.</b> Υπολογισμός μέγιστης ισχύος Φ/Β πλαισίου .....	46
<b>Εξίσωση 3.17.</b> Υπολογισμός ταχύτητας ανέμου .....	47
<b>Εξίσωση 3.18.</b> Υπολογισμός μηχανικής ισχύος Α/Γ .....	47
<b>Εξίσωση 3.19.</b> Υπολογισμός ισχύος Α/Γ .....	47
<b>Εξίσωση 3.20.</b> Υπολογισμός ενέργειας ενός ΣΑΕ .....	48

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

<b>Διάγραμμα 1.1.</b> Ενεργειακό μίγμα Ελλάδας για τις χρονολογίες 2011 και 2021 (Admie.gr, n.d.) .....	7
<b>Διάγραμμα 1.2.</b> Πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για κάθε ημερολογιακό έτος (Admie.gr, n.d.).....	8
<b>Διάγραμμα 3.1.</b> Ηλιακό δυναμικό περιοχής μελέτης.....	30
<b>Διάγραμμα 3.2.</b> Μηνιαία πυκνότητα ηλιακής ισχύος.....	30
<b>Διάγραμμα 3.3.</b> Ιστόγραμμα συχνότητας για την ταχύτητα ανέμου στην περιοχή μελέτης ..	31
<b>Διάγραμμα 3.4.</b> Αιολικό δυναμικό περιοχής μελέτης .....	31
<b>Διάγραμμα 3.5.</b> Μέση ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί της Μήλου ....	32
<b>Διάγραμμα 3.6.</b> Μέση μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί της Μήλου ...	33
<b>Διάγραμμα 3.7.</b> Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί της Μήλου.....	33
<b>Διάγραμμα 3.8.</b> Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Μήλου.....	34

<b>Διάγραμμα 3.9.</b> Μεταβολή κόστους (€) ως προς την εγκατεστημένη ισχύ λειτουργίας (kW) για το Φ/Β πλαίσιο SunPower X21-335-BLK.....	45
<b>Διάγραμμα 3.10.</b> Μεταβολή στην ισχύ της Α/Γ (kW) ως προς την ταχύτητα του ανέμου (m/s) .....	47
<b>Διάγραμμα 4.1.</b> Διάγραμμα παλινδρόμησης για το μοντέλο Optimizable Ensemble .....	51
<b>Διάγραμμα 4.2.</b> Διακύμανση σφαλμάτων μοντέλου Optimizable Ensemble.....	52
<b>Διάγραμμα 4.3.</b> Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Μήλου για τα έτη 2017-2019 μέσω του μοντέλου Optimizable Ensemble .....	52
<b>Διάγραμμα 4.4.</b> Διάγραμμα παλινδρόμησης για το μοντέλο Optimizable GPR.....	53
<b>Διάγραμμα 4.5.</b> Διακύμανση σφαλμάτων μοντέλου Optimizable GPR.....	54
<b>Διάγραμμα 4.6.</b> Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Μήλου για τα έτη 2017-2019 μέσω του μοντέλου Optimizable GPR .....	54
<b>Διάγραμμα 4.7.</b> Ημερήσια κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μοντέλου Optimizable Ensemble.....	55
<b>Διάγραμμα 4.8.</b> Ημερήσια κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μοντέλου Optimizable GPR .....	55
<b>Διάγραμμα 4.9.</b> Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Μήλου για τα έτη 2017-2019 (α) Πραγματική κατανάλωση, (β) Μοντέλο Optimizable Ensemble, (γ) Μοντέλο Optimizable GPR .....	56
<b>Διάγραμμα 4.10.</b> Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Μήλου για το έτος 2030 .....	57
<b>Διάγραμμα 4.11.</b> Ημερήσιο προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2030 ..	57
<b>Διάγραμμα 4.12.</b> Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου .....	58
<b>Διάγραμμα 4.13.</b> Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου .....	59
<b>Διάγραμμα 4.14.</b> Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου.....	60
<b>Διάγραμμα 4.15.</b> Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου .....	60
<b>Διάγραμμα 4.16.</b> Ετήσια ενέργεια που παροχετεύθηκε στο δίκτυο από το σύστημα του δεύτερου σεναρίου .....	61
<b>Διάγραμμα 4.17.</b> Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του τρίτου σεναρίου .....	62
<b>Διάγραμμα 4.18.</b> Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του τρίτου σεναρίου .....	63
<b>Διάγραμμα 4.19.</b> Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του τρίτου σεναρίου .....	63
<b>Διάγραμμα 4.20.</b> Ετήσια ενέργεια που παροχετεύθηκε στο δίκτυο από το σύστημα του τρίτου σεναρίου .....	64
<b>Διάγραμμα 4.21.</b> Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου .....	65
<b>Διάγραμμα 4.22.</b> Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου .....	66
<b>Διάγραμμα 4.23.</b> Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου.....	66
<b>Διάγραμμα 4.24.</b> Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου .....	67

<b>Διάγραμμα 4.25.</b> Ετήσια ενέργεια που παροχετεύθηκε στο δίκτυο από το σύστημα του τέταρτου σεναρίου.....	67
<b>Διάγραμμα 4.26.</b> Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου .....	68
<b>Διάγραμμα 4.27.</b> Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου .....	69
<b>Διάγραμμα 4.28.</b> Μεταβολή πληρότητας ΣΑΕ για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου .....	69
<b>Διάγραμμα 4.29.</b> Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου .....	70
<b>Διάγραμμα 4.30.</b> Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του έκτου σεναρίου .....	71
<b>Διάγραμμα 4.31.</b> Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του έκτου σεναρίου .....	72
<b>Διάγραμμα 4.32.</b> Μεταβολή πληρότητας ΣΑΕ για το σύστημα του έκτου σεναρίου .....	72
<b>Διάγραμμα 4.33.</b> Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του έκτου σεναρίου .....	73
<b>Διάγραμμα 4.34.</b> Ετήσια ενέργεια που παροχετεύθηκε στο δίκτυο από το σύστημα του έκτου σεναρίου .....	73
<b>Διάγραμμα 4.35.</b> Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του έβδομου σεναρίου .....	74
<b>Διάγραμμα 4.36.</b> Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του έβδομου σεναρίου.....	75
<b>Διάγραμμα 4.37.</b> Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του έβδομου σεναρίου .....	75
<b>Διάγραμμα 4.38.</b> Μεταβολή πληρότητας ΣΑΕ για το σύστημα του έβδομου σεναρίου.....	76
<b>Διάγραμμα 4.39.</b> Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του έβδομου σεναρίου .....	76
<b>Διάγραμμα 4.40.</b> Ετήσια ενέργεια που παροχετεύθηκε στο δίκτυο από το σύστημα του έβδομου σεναρίου .....	77
<b>Διάγραμμα 4.41.</b> Ανάλυση ευαισθησίας του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (α), του ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (β), του χρόνου αυτονομίας του συστήματος (γ) και των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (δ) ως προς τη μεταβολή της πυκνότητας ηλιακής ισχύος .....	83
<b>Διάγραμμα 4.42.</b> Ανάλυση ευαισθησίας του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (α), του ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (β), του χρόνου αυτονομίας του συστήματος (γ) και των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (δ) ως προς τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου .....	84
<b>Διάγραμμα 4.43.</b> Ανάλυση ευαισθησίας του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (α), του ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (β), του χρόνου αυτονομίας του συστήματος (γ) και των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (δ) ως προς την επιβολή περιβαλλοντικού προστίμου .....	85
<b>Διάγραμμα 4.44.</b> Ανάλυση ευαισθησίας του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (α), του ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (β), του χρόνου αυτονομίας του συστήματος (γ) και των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (δ) ως προς τη μεταβολή της απαιτούμενης ισχύος λειτουργίας .....	86

## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1.1.</b> Χάρτης χωρικής κατανομής του σύνθετου δείκτη ενεργειακής φτώχειας 64 χωρών (Sadath & Acharya, 2017).....	2
<b>Εικόνα 1.2.</b> Οι 17 στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης με βάση τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (Un.org, n.d.).....	3
<b>Εικόνα 2.1.</b> Το λιμάνι της Σιγκαπούρης (Maritimeinfo.org, n.d.).....	16
<b>Εικόνα 2.2.</b> Σχηματική απεικόνιση της μεθοδολογίας του C. Schipper (Schipper et al., 2017) .....	16
<b>Εικόνα 2.3.</b> Σχηματική όψη ενός βαθέως νευρωνικού δικτύου με πολλαπλά επίπεδα αυτόματων κωδικοποιητών στοιβαγμένων με ένα κλασικό νευρωνικό δίκτυο (Hamedmoghadam et al., 2018).....	18
<b>Εικόνα 2.4.</b> Το λογότυπο του προγράμματος Green Marine (Marineinsight.com, n.d.).....	19
<b>Εικόνα 2.5.</b> Σύγκριση μεταξύ παραδοσιακών μοντέλων μηχανικής μάθησης: (a) χειροκίνητη εξαγωγή χαρακτηριστικών και σύγχρονες δομές βαθιάς μάθησης (b) αυτοματοποίηση των χαρακτηριστικών και της διαδικασίας εκπαίδευσης σε μια δομή εκμάθησης από άκρο σε άκρο. (Del Real et al., 2020) .....	20
<b>Εικόνα 2.6.</b> Η βιωσιμότητα μέσα από τα 5 διαφορετικά κεφάλαια (Fang et al., 2020) .....	21
<b>Εικόνα 2.7.</b> Το λιμάνι του Jingtang (En.gmw.cn, n.d.).....	22
<b>Εικόνα 2.8.</b> Το νησί Χαϊνάν της Κίνας (Daoinsights.com, n.d.).....	24
<b>Εικόνα 2.9.</b> Χάρτης του αρχιπελάγους Ζουσάν (Zhang et al., 2021).....	25
<b>Εικόνα 2.10.</b> Η περιοχή Long Island (παράκτιο τμήμα) (Cnn.com, n.d.) .....	26
<b>Εικόνα 3.1.</b> Χάρτης της περιοχής μελέτης μέσω του λογισμικού Google Maps.....	29
<b>Εικόνα 3.2.</b> Παράδειγμα δέντρου αποφάσεων (Akbari et al., 2021).....	35
<b>Εικόνα 3.3.</b> Συλλογή δεδομένων από το σύστημα της NASA-POWER.....	40
<b>Εικόνα 3.4.</b> Εξαγωγή πρόβλεψης με το λογισμικό Meteororm .....	41
<b>Εικόνα 3.5.</b> Περιβάλλον εργασίας λογισμικού Homer PRO.....	42

# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο της συνεχούς αύξησης στο κόστος και στη ζήτηση της ενέργειας, με συνέπεια ένα μεγάλο πλήθος ανθρώπων να αδυνατεί να εξασφαλίσει οικονομικά τις βασικές ενεργειακές υπηρεσίες, οι οποίες απαιτούνται για τις καθημερινές ανάγκες διαβίωσης. Αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να αλλάζουν από χώρα σε χώρα και από περιοχή σε περιοχή. Το φαινόμενο αυτό, το οποίο είναι ευρέως γνωστό ως «ενεργειακή φτώχεια», αποτελεί ένα ευρέως διαδεδομένο ζήτημα προς αντιμετώπιση, καθώς πλήττει ένα τεράστιο μέρος του ανθρωπίνου πληθυσμού παγκοσμίως. Συγκεκριμένα, μόνο για την Ευρώπη εκτιμάται πως επηρεάζεται άμεσα ένα σύνολο μεταξύ 50 και 125 εκατομμυρίων ανθρώπων.

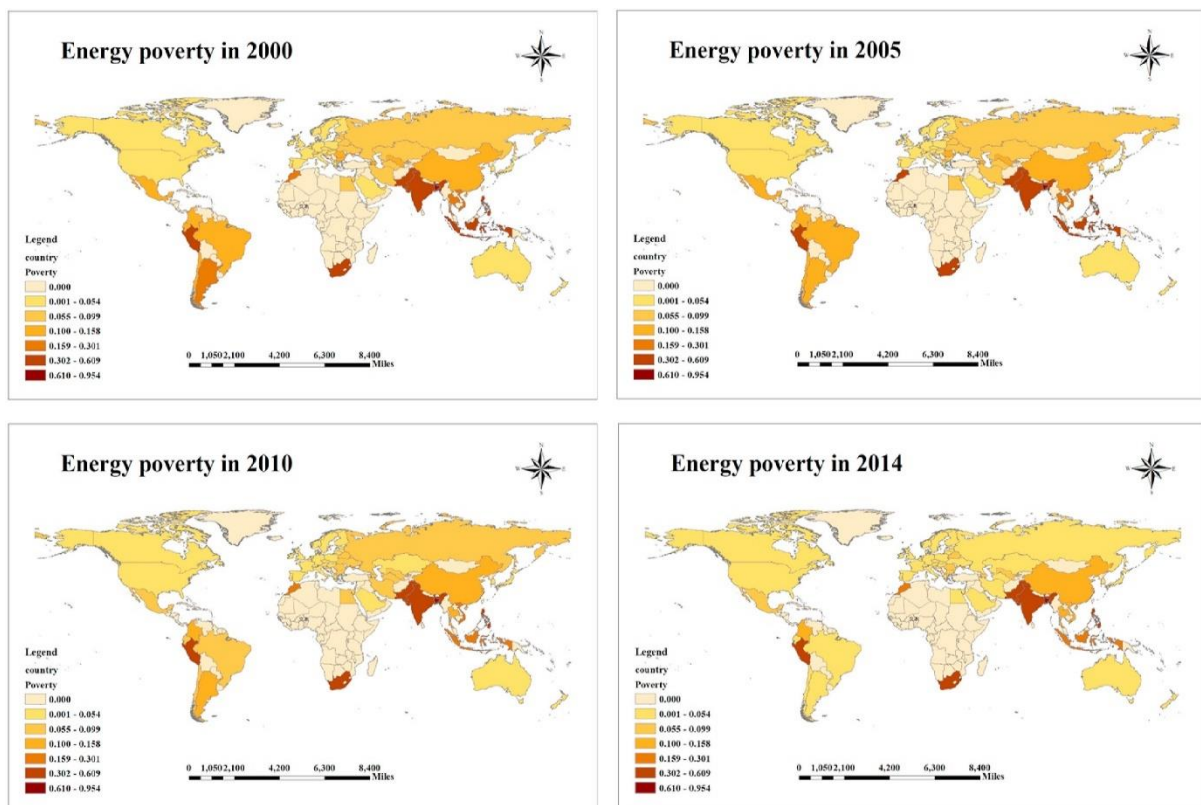
Δεν υπάρχει ακόμη σαφής ευρωπαϊκός ορισμός, αλλά πολλά κράτη μέλη αναγνωρίζουν την κλίμακα αυτής της κοινωνικοοικονομικής κατάστασης και τον αρνητικό αντίκτυπό της, ο οποίος μεταφράζεται σε σοβαρά προβλήματα υγείας και κοινωνικής απομόνωσης. Διαφορετικοί όροι χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα επηρεαζόμενα άτομα: «φτωχοί σε καύσιμα», «ενεργειακά φτωχοί», «ευάλωτοι καταναλωτές ενέργειας» ή, με την ευρύτερη έννοια, «άτομα με κίνδυνο φτώχειας» ή «άτομα με χαμηλό εισόδημα». Σύμφωνα με μια έρευνα, η οποία διεξήχθη σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση για το χρονολογικό έτος 2020, το 8% του πληθυσμού της δήλωσε ότι δεν ήταν σε θέση να διατηρήσει τη θερμική άνεση στο εσωτερικό των σπιτιών τους. Ως εκ τούτου, η ενεργειακή φτώχεια παραμένει μια μεγάλη πρόκληση και η απομάκρυνση των ευάλωτων πολιτών από αυτήν αποτελεί επείγον καθήκον για την Ευρωπαϊκή Ένωση και τα μέλη της (Nikolaos Sifakis et al., 2019).

Η ενεργειακή φτώχεια προκύπτει από ένα συνδυασμό χαμηλού εισοδήματος, υψηλών δαπανών διαθέσιμου εισοδήματος για ενέργεια και χαμηλής ενεργειακής απόδοσης, ιδίως όσον αφορά την απόδοση των κτιρίων. Οι άνθρωποι, οι οποίοι διαμένουν σε παλαιά κτίρια, όπου οι τεχνολογίες κατασκευής κρίνονται απαρχαιωμένες, είναι άμεσα εκτεθειμένοι σε κρυολογήματα, καύσιμα και άλλες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η έλλειψη συνθηκών άνεσης και υγιεινής στους χώρους στέγασης και εργασίας, όπως οι ανεπαρκείς εσωτερικές θερμοκρασίες, ο ελλιπής αερισμός και η έκθεση σε επιβλαβείς χημικές ουσίες ή υλικά, συμβάλλουν σε χαμηλότερη παραγωγικότητα, προβλήματα υγείας και υψηλότερη θνησιμότητα και νοσηρότητα. Για δεκαετίες, η Ευρωπαϊκή Ένωση αντιμετωπίζει μια οξεία και επίμονη πρόκληση για την οικονομική προσιτότητα της στέγασης, με έναν ανησυχητικό αριθμό Ευρωπαίων να μην μπορούν να αντέξουν οικονομικά τα ενοίκια ή να καλύψουν το βασικό κόστος στέγασης. Οι δυσμενείς επιπτώσεις στην ψυχική υγεία μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονες, λόγω του άγχους εξαιτίας των μη προσιτών λογαριασμών ενέργειας. Δεδομένου του εύρους στο φάσμα κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που περιβάλλουν τη γενική φτώχεια και των προκλήσεων σχετικά με τα συστήματα κατοχής στέγασης, το ζήτημα απαιτεί μια πολύπλευρη προσέγγιση (Ec.europa.eu, n.d.).

Η ενεργειακή φτώχεια δεν προσδιορίζεται εύκολα από έναν δείκτη. Συχνά αξιολογείται από απλήρωτους λογαριασμούς ενέργειας ανά περιοχή, ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις δεν είναι εφικτό να εντοπιστεί. Η ενεργειακή φτώχεια επηρεάζει πολλούς τομείς πολιτικής, όπως η υγειονομική περίθαλψη και τα ποσοστά απασχόλησης. Ο τερματισμός της θα μπορούσε να επιφέρει αύξηση της ευημερίας και της σωματικής υγείας, λιγότερα χρήματα προς δαπάνη

από τις κυβερνήσεις για την υγειονομική περίθαλψη, μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, βελτίωση των προϋπολογισμών των νοικοκυριών και αύξηση της οικονομικής δραστηριότητας.

Άξια αναφοράς είναι η σημαντική διαφορά ανάμεσα στην ενεργειακή φτώχεια των αναπτυσσόμενων και των αναπτυγμένων χωρών. Συγκεκριμένα, η έλλειψη ηλεκτρικής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες και η έλλειψη καυσίμων θέρμανσης στις ανεπτυγμένες χώρες είναι και τα δύο σημάδια ενεργειακής φτώχειας, με παρόμοιες συνέπειες για την κοινωνικοοικονομική ευημερία (Sadath & Acharya, 2017). Στην **Εικόνα 1.1** απεικονίζεται ένας χάρτης χωρικής κατανομής για το σύνθετο δείκτη ενεργειακής φτώχειας σε 64 χώρες για τα χρονολογικά έτη 2000, 2005, 2010 και 2014. Είναι σαφές ότι η παγκόσμια ενεργειακή φτώχεια δείχνει σημάδια ανακούφισης, ειδικά στην Ευρώπη, τη Νότια Αμερική και τις χώρες του Ειρηνικού. Παρόλα αυτά, η πλήρης εξάλειψή της θεωρείται ακόμη ως ένα μακροχρόνιο σενάριο (Sadath & Acharya, 2017).



**Εικόνα 1.1.** Χάρτης χωρικής κατανομής του σύνθετου δείκτη ενεργειακής φτώχειας 64 χωρών (Sadath & Acharya, 2017)

Για τη μέτρηση της ενεργειακής φτώχειας στην Ελλάδα, πραγματοποιήθηκε μια συστηματική προσέγγιση, με τη διεξαγωγή πρωτογενούς έρευνας με βάση αντικειμενικούς και υποκειμενικούς δείκτες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 45% των νοικοκυριών στην Ελλάδα συμπίεζον τις ενεργειακές τους ανάγκες ξοδεύοντας για ενέργεια λιγότερο από το 80% της αντίστοιχης απαιτούμενης ποσότητας, ενώ μόνο ένα μικρό ποσοστό (17%) βρίσκεται σε σχετική ισορροπία, καλύπτοντας επαρκώς τις ενεργειακές ανάγκες του. Σημαντικό εύρημα επίσης, αποτελεί το σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού (38%), το οποίο σπαταλά ενέργεια, ξοδεύοντας περισσότερα χρήματα από τα αντίστοιχα απαιτούμενα. Επιπλέον, μεγάλος βαθμός συμπίεσης των ενεργειακών αναγκών (55%) εντοπίζεται στα ενεργειακά φτωχά νοικοκυριά της χώρας (μετρούμενο με τον δείκτη 10% με βάση το απαιτούμενο ενεργειακό

κόστος), μαζί με χαμηλότερο βαθμό σπατάλης ενέργειας (28%), όπως αναμενόταν (Papada & Kaliampakos, 2020).

Τα ποσοστά ενεργειακής φτώχειας έχουν εκτοξευθεί στα ύψη λόγω της νόσου Covid-19, καθώς η πλειοψηφία των ανθρώπων ξοδεύει περισσότερες ώρες στο σπίτι, με αποτέλεσμα να αδυνατούν να πληρώσουν τους λογαριασμούς ενέργειας, να ζουν σε ανθυγιεινά σπίτια ή να λαμβάνουν προειδοποιήσεις αποσύνδεσης. Οι πιο ευάλωτοι εξακολουθούν να πλήττονται περισσότερο από την ενεργειακή φτώχεια. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι οικογένειες με χαμηλό εισόδημα, τα μονογονεϊκά νοικοκυριά, οι ηλικιωμένοι και οι οικονομικοί μετανάστες. Ο τερματισμός της ενεργειακής φτώχειας αποτελεί ζήτημα ζωτικής σημασίας για την κοινωνική δικαιοσύνη και την καταπολέμηση της κλιματικής κρίσης. Η πρόσβαση στην ενέργεια κρίνεται ως μια βασική προϋπόθεση για την αξιοπρεπή διαβίωση ενός ατόμου και για αυτό έχει αναχθεί σε ένα ζήτημα κοινωνικής δικαιοσύνης (Righttoenergy.org, n.d.).

## 1.2. Βιωσιμότητα σε νησιά ανά τον κόσμο

Διάφορα σχέδια με σκοπό την αειφόρο ανάπτυξη έχουν σχεδιαστεί και εφαρμοστεί σε πολλά νησιά παγκοσμίως, μέσω της δημιουργίας δεικτών για τη μέτρηση της παγκόσμιας προόδου, οι οποίοι εξελίχθηκαν στους «Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης» το 2015: ένα περίπλοκο, ολοκληρωμένο, λεπτομερές και καθολικό σύνολο 17 στόχων (με 169 συγκεκριμένους σκοπούς) από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών. Οι στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης παρέχουν μια ευρεία προσέγγιση στους πολλαπλούς παράγοντες που εμπλέκονται στην αειφορία. Σχηματική αναπαράστασή τους παρατίθεται στην **Εικόνα 1.2**. Σημαντικοί περιορισμοί έχουν παρατηρηθεί, ιδίως στην περίπτωση μικρών νησιών και νησιωτικών κρατιδίων στον Ειρηνικό Ωκεανό, όπου τα ζητήματα βιωσιμότητας συζητούνται συχνά και τα νησιά είναι περισσότερο ευάλωτα σε κινδύνους, αλλά και στον τουρισμό, ο οποίος έχει θεσπιστεί ευρέως ως κεντρικός άξονας της οικονομικής ανάπτυξης των νησιών, αλλά υπό περιπτώσεις ενδέχεται να επιφέρει σημαντικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις (Polido et al., 2014).



**Εικόνα 1.2.** Οι 17 στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης με βάση τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (Un.org, n.d.)

Τα νησιά παρουσιάζουν ιδιαίτερες προκλήσεις, λόγω της ποικιλίας των πιθανών κινδύνων, τους οποίους ενδέχεται να συναντήσουν. Οι περιορισμένες ευκαιρίες, η απομόνωση και η απόσταση έχουν εξασφαλίσει ότι οι περισσότερες οικονομίες που βασίζονται στην συντήρηση, δύνανται να επιβιώσουν και μάλιστα βρίσκονται σε καλύτερη κατάσταση, συγκριτικά με τις αντίστοιχες στα μεγαλύτερα αστικά κέντρα. Ωστόσο, ο τομέας της γεωργίας έχει απειληθεί σημαντικά, με κυριότερα αίτια τις μετατοπίσεις εργασιακών προτιμήσεων, τη μετανάστευση, τις εισαγωγές τροφίμων και τη συνεχή πίεση στη γη, μειώνοντας έτσι την επισιτιστική ασφάλεια (McCubbin et al., 2017). Τα νησιά εξειδικεύονταν παραδοσιακά σε ένα περιορισμένο εύρος εξαγωγών, προσπαθώντας να αναπτύξουν εξειδικευμένες οικονομίες. Η παράκτια αλιεία έχει υποστεί μη βιώσιμες πιέσεις, ειδικά σε περιοχές, όπου καταγράφηκε αύξηση του πληθυσμού, μείωση της τοπικής γνώσης, ραγδαία βελτίωση της τεχνολογίας και αναποτελεσματική διαχείριση. Τα περισσότερα οικοσυστήματα έχουν γίνει πιο φτωχά και εύθραυστα, οι γηγενείς τεχνικές γνώσεις έχουν περιθωριοποιηθεί και η περιβαλλοντική υποβάθμιση έχει ενταθεί, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το νησί Ραπανούι (Νησί του Πάσχα), το οποίο έχει γίνει αποδέκτης σχολίων περιβαλλοντικής ηθικής (Diamond, 2005).

Ο ενεργειακός σχεδιασμός σε ένα νησιωτικό περιβάλλον είναι πολύπλοκος και απαιτεί αυστηρό σχεδιασμό και κατάλληλα εργαλεία αξιολόγησης που θα βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων. Οι σημαντικότερες πτυχές, οι οποίες οφείλουν να ληφθούν υπόψιν, είναι η ασφάλεια του εφοδιασμού, η οικονομική βιωσιμότητα, η κοινωνική αποδοχή και η προστασία του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, στον αποκεντρωμένο ενεργειακό σχεδιασμό, το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση μοντέλων υποδηλώνει ότι παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού συστημάτων παροχής ενέργειας. Τα νησιά αντιμετωπίζουν συγκεκριμένα προβλήματα, τα οποία έχουν ως συνέπεια τον περιορισμό στις ενεργειακές τους πολιτικές. Συγκεκριμένα:

- Η σύνδεση με πηγές ηπειρωτικής παραγωγής είναι αδύνατη στις περισσότερες περιπτώσεις, ενώ παράλληλα η υποδομή για τη διασύνδεση με την ηπειρωτική χώρα είναι εξαιρετικά δαπανηρή.
- Το επίπεδο εξάρτησης από τα εισαγόμενα καύσιμα είναι ιδιαίτερα υψηλό, καθιστώντας τα περισσότερα νησιά ιδιαίτερα ευάλωτα στις διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων.
- Υπάρχουν πολλές σημαντικές διακυμάνσεις στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του εποχιακού τουρισμού (Haurant et al., 2011).

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσεγγίσεις για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας, εξετάζοντας συγκεκριμένα τη σχέση μεταξύ της εκτίμησης της ανάπτυξης των νησιών και της κατασκευής τους. Ως πρώτο βήμα ορίζεται η δημιουργία ενός συστήματος για την αξιολόγηση της ανάπτυξης των νησιών, το οποίο έχει μελετηθεί εκτενώς και λαμβάνει υπόψιν τους κοινωνικούς και τους δημογραφικούς πόρους, τους τεχνολογικούς δείκτες και την οικολογική βιωσιμότητα. Έπειτα, καθίσταται εφικτός ο σχεδιασμός στρατηγικών κατασκευής, με βάση την ατομική αξιολόγηση ανάπτυξης του κάθε νησιού (Chang & Sheppard, 2013). Υπάρχουν πολλά παραδείγματα επιτυχιών σε συγκεκριμένα μέρη και τομείς, όπου η πρόοδος έχει αποδειχθεί σχετικά εύκολη και οικονομικά «απαραίτητη», όπως ο τουρισμός ή εφικτή, όπως στην προώθηση των οικιακών κήπων, της ανακύκλωσης, των θαλάσσιων προστατευόμενων περιοχών, της ηλιακής ενέργειας, της διατήρησης του φυσικού περιβάλλοντος και του οικοτουρισμού, αλλά αποτελούν αποσπασματικές, σπασμωδικές και σποραδικές εκδοχές «ασθενούς βιωσιμότητας». Όμως, ο συντονισμός και η σύνδεση αυτών των προόδων και των τομεακών επιτευγμάτων στο πλαίσιο πολλαπλών προσεγγίσεων, ώστε να διασφαλιστεί ότι



συνάδουν και συμπίπτουν στην αιεφόρο ανάπτυξη, απαιτεί πολύ μεγαλύτερη πληρότητα (Walker, 2017).

Ο τουρισμός στα νησιά αποτελεί τον πιο τεκμηριωμένο τομέα οικονομικής ευημερίας και ως εκ τούτου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον τομέα της αιεφόρου ανάπτυξης τους. Πάντως, η άνοδος του τουρισμού ενδέχεται να επιφέρει σημαντικές κοινωνικές αλλά και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς αυξάνονται οι πιέσεις ως προς τη ζήτηση της ενέργειας, του νερού και της γης, ενώ παράλληλα υποβαθμίζονται περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι, οι οποίοι αποτελούν βασικούς πυλώνες στην παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων. Υπό το πρόσχημα της βιωσιμότητας, πολλά νησιά έχουν υιοθετήσει μια σειρά πολιτικών και πρακτικών που σχετίζονται με τους μέγιστους αριθμούς τουρισμού (για ολόκληρο το νησί ή ορισμένες τοποθεσίες του), την πολιτική ενοικίασης οχημάτων, τους περιορισμούς σε ορισμένες δραστηριότητες (κυρίως θαλάσσιες), τη διαχείριση απορριμμάτων, την αναφύτευση, την προστασία παραλιών, την αποκατάσταση κοραλλιών και τη διαχείριση προστατευόμενων περιοχών (Grydehoj & Kelman, 2017).

### **1.3. Βιωσιμότητα στα νησιά της Ελλάδας**

Στην Ελλάδα η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζεται από δύο υποσυστήματα, το κύριο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο καλύπτει τη ζήτηση στο ηπειρωτικό μέρος της χώρας και τα επιμέρους νησιωτικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η πλειονότητα των νησιών, με εξαίρεση ορισμένα που είναι συνδεδεμένα με το πλησιέστερο ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο, δεν είναι διασυνδεδεμένα. Κατά συνέπεια, η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται σχεδόν αποκλειστικά από υφιστάμενους αυτόνομους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς μικρού μεγέθους, οι οποίοι, σε μεγάλο ποσοστό, λειτουργούν βασιζόμενοι σε κινητήρες εσωτερικής καύσης (που λειτουργούν με Mazut - Heavy Fuel Oil) και αεριοστροβίλους (που λειτουργούν με Light Diesel Oil), οι οποίοι ανήκουν στην Ελληνική δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού. Επιπλέον, το σύστημα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος στα νησιά χαρακτηρίζεται από χαμηλή ευστάθεια, καθώς παρατηρούνται γρήγορες και συχνές μεταβολές των φορτίων αιχμής. Αυτές οι συνθήκες περιορίζουν το μέγιστο φορτίο, το οποίο παρέχεται από ενεργειακά συστήματα που δεν λειτουργούν συνεχώς (με χαρακτηριστικό παράδειγμα τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - ΑΠΕ), καθώς οι ξαφνικές μεταβολές δύναται να επιφέρουν αναστάτωση στο τοπικό δίκτυο διανομής. (Strantzali et al., 2017).

Η Ελλάδα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τουρισμό, ο οποίος αποτελεί την κύρια οικονομική δραστηριότητα της χώρας. Η επίτευξη της μακροπρόθεσμης βιώσιμης ανάπτυξης στα ελληνικά νησιά προϋποθέτει την εύρεση μιας δημιουργικής και ελπιδοφόρας προοπτικής, μέσω των δεικτών αξιολόγησης φέρουσας ικανότητας, για την εφαρμογή μιας βιώσιμης πολιτικής προορισμού με βάση τις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά ενός τουριστικού προορισμού. Η κλιματική αλλαγή απαιτεί μια ριζική αλλαγή στα ενεργειακά συστήματα που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα, τα οποία είναι οι πρωταρχικές πηγές των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός πως η πλειοψηφία των νησιών διαθέτει υψηλό δυναμικό ΑΠΕ, παρέχοντας τη δυνατότητα πλήρους ενεργειακής ανεξαρτησίας, απαλλαγμένη από τη χρήση ορυκτών καυσίμων που αποτελούν βασική αιτία υποβάθμισης του περιβάλλοντος (Papadopoulos & Karagiannidis, 2008). Πληθώρα ερευνών έχει πραγματοποιηθεί στα νησιά της Ελλάδας επιδιώκοντας την επίτευξη της βιώσιμης

ανάπτυξής τους. Ορισμένες από τις σημαντικότερες παρατίθενται παρακάτω σε χρονολογική σειρά:

- Στο νησί της Πάρου, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο βελτιστοποίησης, το οποίο ελαχιστοποιεί την Καθαρή Παρούσα Αξία του προβλεπόμενου κόστους παροχής νερού για την περίοδο 2002–2030 (Voivontas et al., 2003).
- Στη Λέσβο, χρησιμοποιήθηκε ένα πολυκριτηριακό μοντέλο λήψης αποφάσεων, για να προσδιορίσει το καλύτερο μείγμα καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα απομονωμένο ελληνικό νησί (Strantzali et al., 2017).
- Στο νησί του Πόρου, έχει εφαρμοστεί εκτίμηση χωρητικότητας προκειμένου να υποστηριχθεί η τουριστική προώθηση με αποτελεσματικό και βιώσιμο τρόπο (Prokoriou et al., 2017).
- Στη Σίφνο μελετήθηκαν οι τεχνικοοικονομικές λεπτομέρειες ενός υβριδικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, με σκοπό την πλήρη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την αυτονομία του νησιού (Katsaprakakis & Voumnoulakis, 2018).
- Στο νησί της Γαύδου, εφαρμόστηκε μια ολιστική μεθοδολογία αξιολόγησης του τοπίου, με νέα και πρακτικά εργαλεία, τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν τη βιώσιμη ανάπτυξη του τοπίου για μικρά νησιά (Gkoltsiou & Mougialou, 2021).
- Στην Κρήτη, έλαβε χώρα μια αξιολόγηση των παραθαλάσσιων περιοχών του νησιού, ώστε να αναδειχθούν τα πιο βιώσιμα σενάρια, σχετικά με την εγκατάσταση αιολικών πάρκων ανοικτής θάλασσας (Gkeka-Serpetsidaki & Tsoutsos, 2021).
- Στο Ρέθυμνο, αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία για την ανάλυση και αξιολόγηση διαφόρων ενεργειακών δεδομένων, ώστε να επιτευχθεί μέσω ενός υποθετικού μοντέλου η μετατροπή ενός συμβατικού λιμανιού σε σύγχρονο (σχεδόν) μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (N. Sifakis & Tsoutsos, 2020).
- Στο νησί της Νάξου, έγινε προσέγγιση της τουριστικής μεταφορικής ικανότητας ως μέσο για την αξιολόγηση και τη σταθερή παρακολούθηση της πορείας της τουριστικής ανάπτυξης σε παράκτιες περιοχές των νησιών της Μεσογείου (Leka et al., 2022).

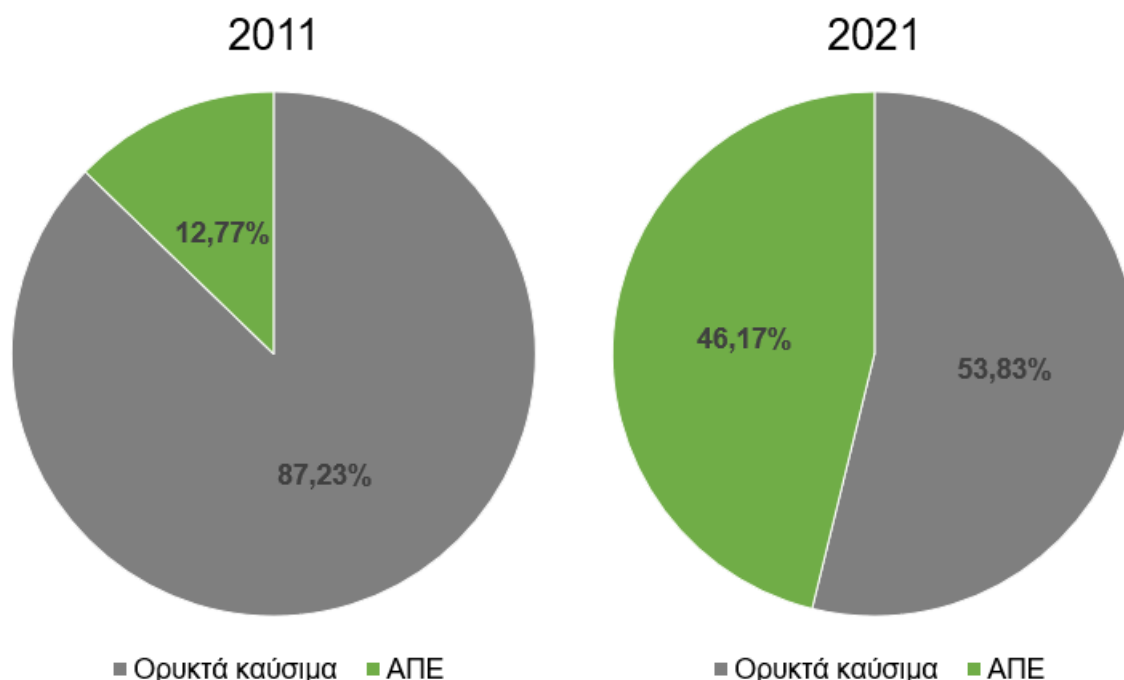
#### **1.4. Συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας**

Από την εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης, το ενεργειακό μείγμα των περισσότερων χωρών παγκοσμίως περιλαμβάνει σε συντριπτικό ποσοστό ορυκτά καύσιμα. Μάλιστα, η καύση τους, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οφείλεται για το 75% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, επιφέροντας σημαντικές επιπτώσεις για το παγκόσμιο κλίμα, καθώς και την ανθρώπινη υγεία. Συγκεκριμένα, τα ορυκτά καύσιμα είναι υπεύθυνα για μεγάλες ποσότητες τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η οποία αποτελεί επιπλέον ένα πρόβλημα υγείας που ευθύνεται για τουλάχιστον 5 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους ετησίως. Ο περιορισμός των εκπομπών του CO<sub>2</sub> και κατ' επέκτασιν της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης, προϋποθέτει την άμεση μετάβαση προς πηγές ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα, δηλαδή τεχνολογίες βασισμένες στις ΑΠΕ και στην πυρηνική ενέργεια (Ritchie et al., 2020).

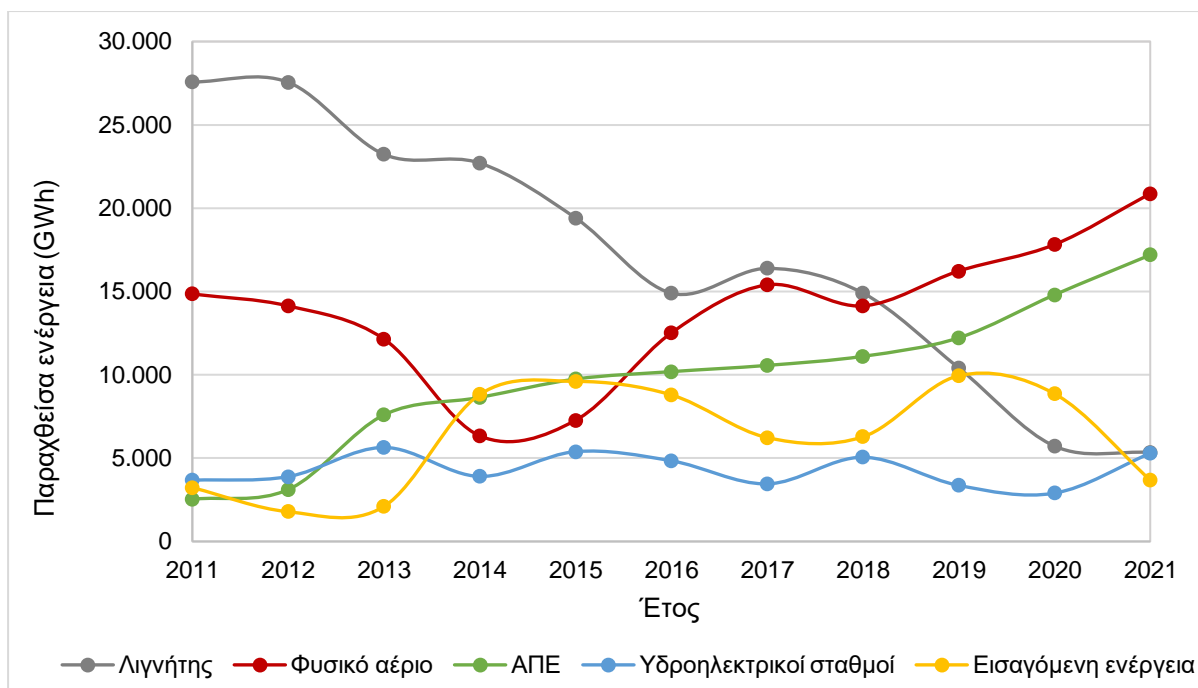
Για το χρονολογικό έτος 2020, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξασφάλισε τον πρωταρχικό της στόχο, ο οποίος θεσπίστηκε σχετικά με τις πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, επιδιώκοντας την σταδιακή μεταστροφή των κρατών μελών της προς τη χρήση ΑΠΕ αντί των συμβατικών ορυκτών καυσίμων, ορίστηκε στο 20% το προσδοκώμενο ποσοστό για καταναλισκόμενη ενέργεια, η οποία θα πηγάζει από ΑΠΕ. Ο στόχος επετεύχθη,

εξασφαλίζοντας ποσοστό 22,1% της συνολικής ενέργειας, σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat. Πάντως, άξιες αναφοράς είναι οι διαταραχές, οι οποίες παρατηρήθηκαν σε όλους τους τομείς λόγω της πανδημίας Covid-19, οι οποίες συνέβαλαν θετικά στην επίτευξη του στόχου χρήσης των ΑΠΕ, καθώς παρουσιάστηκε σημαντική μείωση στη συνολική ποσότητα καταναλισκόμενης ενέργειας. Παρόλα αυτά, η επίτευξη του τρέχοντος στόχου για το 2030 (32%) παραμένει αμφίρροπη και συνεπώς, το τρέχον ενεργειακό σύστημα οφείλει να αναδιαρθρωθεί (Eea.europa.eu, n.d.).

Στην Ελλάδα, παρουσιάζεται μια συνεχής άνοδος στο ποσοστό που λαμβάνουν οι ΑΠΕ επί του συνολικού ενεργειακού μίγματος της χώρας (Nikolaos Sifakis, Daras, et al., 2020). Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψιν τα δεδομένα για τα τελευταία 11 ημερολογιακά έτη (2011-2021), παρατηρείται η τάση ισοσκελισμού των 2 βασικότερων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ-ορυκτά καύσιμα). Στο **Διάγραμμα 1.1** παρουσιάζεται το ενεργειακό μίγμα της χώρας για τα έτη 2011 και 2021. Ως ορυκτά καύσιμα ορίζονται ο λιγνίτης και το φυσικό/ορυκτό αέριο και ως ΑΠΕ ορίζονται οι διάφορες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας (κυρίως αιολική και ηλιακή), καθώς επίσης και η ενέργεια που παράγεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Η κάθε επιμέρους πηγή παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και η ποσότητα εισαγόμενης ενέργειας ανά ημερολογιακό έτος στην Ελλάδα αποτυπώνονται στο **Διάγραμμα 1.2**. Άξια αναφοράς είναι η τάση απολιγνιτοποίησης, η οποία προωθείται στη χώρα τα τελευταία χρόνια αντικαθιστώντας τη χρήση του λιγνίτη με ΑΠΕ, αλλά και φυσικό αέριο, το οποίο, αν και αποτελεί ορυκτό καύσιμο, δεν επιφέρει εξίσου σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση κατά τη διαδικασία της καύσης του όσο ο λιγνίτης. Πάντως, για να επιτύχει τους κλιματικούς της στόχους, Η Ελλάδα οφείλει να αποφύγει νέες επενδύσεις στο ορυκτό αέριο και να εστιάσει στην αποθήκευση ενέργειας και την περαιτέρω ανάπτυξη των υποδομών ΑΠΕ (Thegreentank.gr, n.d.).



**Διάγραμμα 1.1.** Ενεργειακό μίγμα Ελλάδας για τις χρονολογίες 2011 και 2021 (Admie.gr, n.d.)



**Διάγραμμα 1.2.** Πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για κάθε ημερολογιακό έτος (Admie.gr, n.d.)

## 1.5. Μοντέλα Πρόβλεψης

### 1.5.1. Γιατί οφείλει να γίνει πρόβλεψη για το μέλλον;

Σύμφωνα με την οικονομική θεωρία, η ορθή λειτουργία της βιομηχανικής παραγωγής εξαρτάται άμεσα από τη διαθεσιμότητα πόρων, όπως η ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι, η πρόβλεψη της κατανάλωσης της διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό της προσφοράς και της ζήτησης παγκοσμίως και οφείλει να πληροί τις απαιτήσεις της κάθε χώρας σχετικά με τη βιώσιμη ανάπτυξη (Nikolaos Sifakis, Baradakis, et al., 2020). Η επίτευξη προβλέψεων με υψηλή ακρίβεια μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση της ποσότητας και της τάσης της μελλοντικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων να μπορούν να σχεδιάζουν καλύτερα τις λειτουργίες διαφόρων τμημάτων (Roozbeh Nia et al., 2021).

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια συνεχώς αυξανόμενη τάση σχετικά με τη ζήτηση ενέργειας, ενώ παράλληλα, η έρευνα και η επένδυση σε διάφορες μορφές ΑΠΕ εντείνεται, αποσκοπώντας στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η υψηλή διείσδυση των ΑΠΕ στο σύστημα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας επιφέρει πολλά περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη. Όμως, η λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο βασίζεται εξ' ολοκλήρου στις ΑΠΕ εγκυμονεί ένα πολύ σημαντικό ρίσκο, εξαιτίας της διαλείψεως και της μεταβλητότητας που παρουσιάζουν σε βάθος χρόνου, υπονομεύοντας την αξιοπιστία και την ασφαλή λειτουργία του συστήματος (Khan et al., 2022). Συγκεκριμένα, οι διαχειριστές του εκάστοτε δικτύου και οι αρμόδιοι για τη λήψη σχετικών αποφάσεων οφείλουν να γνωρίζουν την ποσότητα ενέργειας, η οποία δύναται να παραχθεί από τις ΑΠΕ για τις επόμενες ώρες και ημέρες, ώστε να ελεγχθεί το ενδεχόμενο ανεπάρκειας στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του δικτύου. Συνεπώς, η πρόβλεψη της ζήτησης και της κατανάλωσης φορτίου διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην ορθή λειτουργία αλλά

και στο σχεδιασμό ενός σύγχρονου «πράσινου» συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο θα είναι ανεξαρτητοποιημένο από τη χρήση ορυκτών καυσίμων (Dobschinski et al., 2017).

Παράλληλα, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται απαραίτητη, ιδίως στην περίπτωση κατά την οποία υπάρχει πλεονάζουσα παραγωγή από τις ΑΠΕ και η παρούσα ζήτηση φορτίου είναι μικρότερη. Ωστόσο, η μαζική αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας κρίνεται ανέφικτη, αφενός εξαιτίας του υπέρογκου κόστους για τις απαιτούμενες υποδομές, αφετέρου λόγω της ανάγκης για αυστηρή συντήρηση και της περιορισμένης διάρκειας ζωής. Έτσι, απαιτείται από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να εξισορροπούν, τόσο την τρέχουσα προσφορά και ζήτηση ενέργειας, όσο και τη μελλοντική. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να ισοσταθμιστούν μέσω της πρόβλεψης ενέργειας, επιτελώντας διαδικασίες όπως η συλλογή αληθινών δεδομένων και η εξασφάλιση υψηλής ακρίβειας. Πιθανά σφάλματα δύνανται να επιφέρουν μη ισορροπημένη προσφορά-ζήτηση, η οποία αυξάνει το λειτουργικό κόστος, την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Συνεπώς, η πρόβλεψη της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας έχει τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσει και τον τομέα του σχεδιασμού ενός συστήματος παραγωγής-αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο θα ανταποκρίνεται στο διαθέσιμο δυναμικό των ΑΠΕ της περιοχής, εξασφαλίζοντας την συνεχή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (Sharma, 2018).

### **1.5.2. Γενικά**

Η πρόβλεψη φορτίου είναι μια τεχνική, η οποία χρησιμοποιείται από εταιρείες παροχής ενέργειας, ώστε να προβλέψουν την ισχύ/ενέργεια που απαιτείται για την εξασφάλιση της ισορροπίας μεταξύ ζήτησης και προσφοράς. Η ακρίβεια της πρόβλεψης έχει μεγάλη σημασία για την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου, καθώς μειώνεται η εγγενής αβεβαιότητα της ζήτησης και της παραγωγής, ενώ παράλληλα εξισορροπούνται η προσφορά και η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, ενισχύεται η απόδοση της λειτουργίας του συστήματος, βελτιώνοντας τον προγραμματισμό της παραγωγής και μειώνοντας τη χρήση των αποθεμάτων (Hong et al., 2020).

Ένα πολύ σημαντικό πεδίο έρευνας, όπου εφαρμόζονται τα μοντέλα πρόβλεψης, αφορά τις διάφορες ΑΠΕ και ειδικότερα την αιολική και την ηλιακή ενέργεια, οι οποίες αποτελούν τις πιο διαδεδομένες μορφές. Το γεγονός αυτό προσδίδει εξαιρετική σημασία στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας πρόβλεψης του διαθέσιμου δυναμικού τους, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η αβεβαιότητα, η οποία οφείλεται στην μεταβλητή παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Για την ανάπτυξη προβλέψεων αιολικής και ηλιακής παραγωγής, οι διαχειριστές συστημάτων χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό παρατηρήσεων καιρού, δορυφορικών δεδομένων, αριθμητικών μοντέλων πρόβλεψης καιρού και στατιστικής ανάλυσης για να ενημερώσουν τις εκτιμήσεις για το επίπεδο και τη θέση παραγωγής στο εγγύς μέλλον. Αυτές οι τεχνικές πρόβλεψης εφαρμόζουν τα ακόλουθα βασικά δεδομένα για την ανάπτυξη πρόγνωσης αιολικού ή ηλιακού δυναμικού:

- Ακρίβης τοποθεσία (γεωγραφικό πλάτος και μήκος).
- Ύψος πλήμνης (αφορά μόνο το αιολικό).
- Τρέχουσα και ιστορική μετρούμενη ισχύς εξόδου της εγκατεστημένης γεννήτριας.
- Καμπύλη τροφοδοσίας.
- Χωρητικότητα των εγκαταστάσεων ή των τμημάτων τους που είναι σε λειτουργία (Greeningthegrid.org, n.d.).

Διάφορες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί σχετικά με τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας προβλέψεων, αποσκοπώντας στην εξομάλυνση των σφαλμάτων, τα οποία παρέχουν ακριβέστερες πληροφορίες σε επίπεδο συστήματος. Οι πληροφορίες είναι απαραίτητες για την παρακολούθηση των τρεχουσών συνθηκών και τον προγραμματισμό της μελλοντικής παραγωγής. Έτσι, μειώνεται το επίπεδο του κινδύνου του συστήματος και βελτιώνεται η αξιοπιστία του. Ορισμένες ενδεικτικές μέθοδοι είναι οι εξής:

- Βελτίωση της ποσότητας και της ποιότητας της ηλιακής και αιολικής παραγωγής, καθώς και αύξηση των προγνωστικών δεδομένων, με σκοπό τη βελτίωση της ικανότητας του διαχειριστή συστήματος να παρακολουθεί με ακρίβεια τα κατανεμημένα συστήματα μεταβλητών ΑΠΕ στο δίκτυο.
- Συχνότερες μετρήσεις και παρατηρήσεις των καιρικών και ατμοσφαιρικών συνθηκών της περιοχής μελέτης.
- Εφαρμογή τακτικών ενημερώσεων στα μοντέλα αριθμητικής πρόβλεψης καιρικών συνθηκών.
- Εφαρμογή κεντρικής πρόβλεψης από το διαχειριστή συστήματος αντί των προβλέψεων από μεμονωμένους παραγωγούς (NREL, 2015).

Η Εφαρμογή μιας πρόβλεψης ως κριτήριο για την ορθή λήψη αποφάσεων διακρίνεται σε 3 βασικά είδη:

#### **I. Ποιοτική πρόβλεψη**

Η ποιοτική πρόβλεψη δεν προϋποθέτει τη διαχείριση των διαθέσιμων δεδομένων ή δεν υπάρχουν διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα. Βασίζεται στην εμπειρία και την κρίση του διαχειριστή και συνεπώς, ενέχει τον παράγοντα της αβεβαιότητας. Ως σημαντικότεροι ποιοτικές μέθοδοι ορίζονται:

- η τεχνική Delphi
- η έρευνα αγοράς

#### **II. Ποσοτική πρόβλεψη**

Η ποσοτική πρόβλεψη αποτελεί μια μηχανική μαθηματική διαδικασία και καταλήγει σε ποσοτικά αποτελέσματα. Δεν απαιτεί ανθρώπινη κρίση και γι' αυτό είναι πιο αντικειμενική, παράγοντας (συνήθως) προβλέψεις μεγάλης ακρίβειας.

#### **III. Ποιοτική-Ποσοτική πρόβλεψη**

Ο συνδυασμός ποιοτικής και ποσοτικής πρόβλεψης βασίζεται στη χρήση μαθηματικών μοντέλων, όμως η τελική πρόβλεψη επηρεάζεται από την εμπειρία και την κρίση του διαχειριστή. Ο ορθός συνδυασμός των δύο διαφορετικών προβλέψεων αποτελεί το βέλτιστο εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων, ελαχιστοποιώντας την αβεβαιότητα (Hanke & Wichern, 2013).

### **1.5.3. Τύποι ποσοτικών προβλέψεων**

Η εφαρμογή μοντέλων τα οποία βασίζονται σε ποσοτικές προβλέψεις βασίζεται στην εφαρμογή μαθηματικής μοντελοποίησης, η οποία αποτελείται από την κωδικοποίηση των επιμέρους διαδικασιών ενός φαινομένου προς ανάλυση με μαθηματική γλώσσα. Έτσι, επιτυγχάνεται η περιγραφή και η ερμηνεία της κάθε επιμέρους διαδικασίας, μέσα από διαδοχικά και λογικά βήματα. Η μαθηματική μοντελοποίηση αξιοποιεί υπάρχοντα δεδομένα ή σε ορισμένες περιπτώσεις δημιουργεί νέα, αποσκοπώντας στην παραγωγή του βέλτιστου αποτελέσματος, λαμβάνοντας υπόψιν αφενός την πληρότητα και εγκυρότητα των επεξεργασμένων δεδομένων και αφετέρου, την αξιοπιστία και την επάρκεια του μοντέλου. Οι σημαντικότερες ποσοτικές μέθοδοι παρουσιάζονται παρακάτω: (Katti, 2018)

#### **I. Στατικά και Δυναμικά Μοντέλα**

Στα στατικά μοντέλα, ο χρόνος δε λαμβάνεται υπόψιν σε σχέση με τις τιμές των μεταβλητών. Αντίθετα, στην περίπτωση των δυναμικών μοντέλων ο χρόνος αποτελεί σημαντική παράμετρο.

#### **II. Μηχανιστικά και Εμπειρικά Μοντέλα**

Τα μηχανιστικά μοντέλα λαμβάνουν υπόψιν το υπάρχον θεωρητικό υπόβαθρο, καθώς επίσης και τους μηχανισμούς που δύνανται να το μεταβάλουν. Τα εμπειρικά μοντέλα εστιάζουν μόνο την ποσοτική πλευρά των μεταβολών που πραγματοποιούνται στο σύστημα.

#### **III. Αιτιοκρατικά (Ντετερμινιστικά) και Στοχαστικά Μοντέλα**

Τα αιτιοκρατικά μοντέλα αντιμετωπίζουν ως αμελητέο παράγοντα οποιαδήποτε τυχαία μεταβολή και παράγουν κοινά αποτελέσματα/προβλέψεις, εφόσον το σύνολο δεδομένων είναι όμοιο. Αντίθετα, στα στοχαστικά μοντέλα τα χαρακτηριστικά, τόσο της τυχειότητας, όσο και της πιθανότητας, λαμβάνονται υπόψιν και επηρεάζουν το εξαχθέν αποτέλεσμα/πρόβλεψη.

#### **IV. Μη Πεπλεγμένα και Πεπλεγμένα Μοντέλα**

Στην περίπτωση ενός μη πεπλεγμένου μοντέλου, είναι γνωστά όλα τα απαραίτητα δεδομένα και τα αποτελέσματα υπολογίζονται από κλειστούς μαθηματικούς τύπους, οι οποίοι επιλύονται αναλυτικά. Στην περίπτωση των πεπλεγμένων μοντέλων τα αποτελέσματα εισόδου βρίσκονται σε μαθηματικούς τύπους, οι οποίοι δεν μπορούν να λυθούν αναλυτικά.

#### **V. Διακριτά και Συνεχή Μοντέλα**

Τα διακριτά μοντέλα δέχονται μόνο διακριτές τιμές ως ορίσματα των μεταβλητών. Αντίθετα, στην περίπτωση των συνεχών μοντέλων οι μεταβλητές λαμβάνουν συνεχώς δεδομένα, τα οποία και επεξεργάζονται.

#### **VI. Γραμμικά και Μη Γραμμικά Μοντέλα**

Στα γραμμικά μοντέλα η σύνδεση των μεταβλητών πραγματοποιείται μέσα από γραμμικές εξισώσεις. Στα μη γραμμικά μοντέλα υπάρχει τουλάχιστον μία μη γραμμική εξίσωση. Λόγω της μεγάλης δυσκολίας στη μοντελοποίηση των μη γραμμικών μοντέλων, ανάγονται σε γραμμικά, εκτελώντας τη διαδικασία της γραμμικοποίησης των εξισώσεων μέσω αλγορίθμων.

## **VII. Μοντέλα Προσομοίωσης**

Στα μοντέλα προσομοίωσης ορίζεται ένα πραγματικό σύστημα, για το οποίο γίνεται πρόβλεψη της συμπεριφοράς του υπό μεταβλητές συνθήκες, μέσω ενός αλγορίθμου που επεξεργάζεται διάφορα δεδομένα εισόδου. Αξιοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις, όπου ο πραγματικός πειραματισμός ενδέχεται να είναι ανέφικτος, λόγω επικινδυνότητας, μεγάλου απαιτούμενου χρόνου, ή υψηλού οικονομικού κόστους.

## **VIII. Στατιστικά Μοντέλα**

Τα στατιστικά μοντέλα λαμβάνουν υπόψιν εμπειρικά δεδομένα, ώστε είτε να αναλύσουν μια υπάρχουσα κατάσταση, είτε να αναλύσουν και να προβλέψουν τη συμπεριφορά ενός συστήματος μελλοντικά.

## **IX. Στοιχειώδεις μαθηματικές μέθοδοι πρόβλεψης**

- **Προσέγγιση με το μέσο όρο**

Οι μελλοντικές τιμές των μεταβλητών του συστήματος ισούνται με το μέσο όρο των τιμών που είχαν οι μεταβλητές στο παρελθόν. Διακρίνεται στη μέθοδο κινούμενων μέσων όρων, στη μέθοδο εκθετικής εξομάλυνσης, μία εκ των οποίων είναι η μέθοδος Holt.

- **Απλή παρελθοντική μέθοδος**

Η πρόβλεψη για τη χρονική στιγμή  $t$  ισούται με την τελευταία παρατήρηση. Εφαρμόζεται στην περίπτωση αστάθμητων παραγόντων, οι οποίοι είναι εφικτό να υπολογιστούν με ακρίβεια.

- **Απλή μέση παρελθοντική μέθοδος**

Η πρόβλεψη ενδέχεται να μεταβληθεί. Σε αυτή την περίπτωση, η μεταβολή της για τη χρονική στιγμή  $t$  θα είναι ίση με το μέσο όρο των μεταβολών που παρατηρήθηκαν στο παρελθόν.

- **Απλή εποχική μέθοδος**

Αποτελεί μια εποχική προσέγγιση της απλής παρελθοντικής μεθόδου. Ορίζει πως η κάθε πρόβλεψη μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου  $t$ , θα ισούται με την τελευταία τιμή της παρατήρησης που πραγματοποιήθηκε την περίοδο  $t$ .

## **X. Προηγμένες μαθηματικές μέθοδοι πρόβλεψης**

- **Μέθοδος χρονοσειρών**

Η μέθοδος των χρονοσειρών μελετά ένα δείγμα δεδομένων ως προς τη συμπεριφορά του. Το υπό μελέτη δείγμα συλλέγεται με την πάροδο του χρόνου και χαρακτηρίζεται από εσωτερική επαναλαμβανόμενη δομή. Οι πιο ενδεικτικές μέθοδοι χρονοσειρών είναι:

- Η μέθοδος εξομάλυνσης
- Η μέθοδος διάσπασης χρονοσειρών μιας μεταβλητής
- Τα μοντέλα Box-Jenkins



- Οι μέθοδοι πολυμεταβλητών χρονοσειρών
- **Μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης**

#### ➤ **Μηχανική Μάθηση**

Η μηχανική μάθηση ορίζεται ως εξής: «Ένα πρόγραμμα υπολογιστή λέγεται ότι μαθαίνει από εμπειρία *E* ως προς μια κλάση εργασιών *T* και ένα μέτρο επίδοσης *P*, αν η επίδοσή του σε εργασίες της κλάσης *T*, όπως αποτιμάται από το μέτρο *P*, βελτιώνεται με την εμπειρία *E*» (Mitchell, 1997).

Η μηχανική μάθηση αποτελεί υποπεδίο της επιστήμης των ηλεκτρικών υπολογιστών, το οποίο αναπτύχθηκε από τη μελέτη της αναγνώρισης προτύπων και της θεωρίας υπολογιστικής μάθησης στην τεχνητή νοημοσύνη. Ο κλάδος της μηχανικής μάθησης ασχολείται με τη μελέτη και την κατασκευή αλγορίθμων, οι οποίοι λαμβάνουν δεδομένα και τα αξιοποιούν, παράγοντας μοντέλα μέσω των οποίων διεξάγονται προβλέψεις ή λαμβάνονται αποφάσεις. Κύρια εφαρμογή της αποτελούν υπολογιστικές εργασίες, όπου ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός των αλγορίθμων είναι ανέφικτος. Διακρίνονται 3 κύριες κατηγορίες μηχανικής μάθησης: «Επιτηρούμενη μάθηση», «Μη Επιτηρούμενη μάθηση» και «Ενισχυτική μάθηση» (Dastile et al., 2020).

#### ➤ **Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα**

Τα ΤΝΔ είναι συστήματα που εκτελούν αλγόριθμους βασισμένους σε βιολογικά νευρωνικά δίκτυα. Η αρχική ιδέα των ΤΝΔ βασίζεται σε διεργασίες του εγκεφάλου των ζώων, αλλά αργότερα, ο στόχος ήταν η δημιουργία αλγορίθμων, με σκοπό την επίλυση προβλημάτων σύμφωνα με τον τρόπο σκέψης του ανθρωπίνου εγκεφάλου.

Στα ΤΝΔ, οι έξοδοι και οι παλιές διεργασίες αποτελούν γνώση, η οποία είναι διαθέσιμη προς μελλοντική χρήση, εάν χρειαστεί. Επιπλέον, έχουν την ικανότητα συγχώνευσης, σύνθεσης και συνδυασμού νέων δεδομένων και διαδικασιών με αντίστοιχα παλαιότερα και να τα επεξεργάζονται με διάφορους τρόπους. Ενδεικτικοί τρόποι είναι η μεταφορά πληροφοριών προς την αντίθετη κατεύθυνση και η εκτέλεση ενός αλγορίθμου αντίστροφου πολλαπλασιασμού, επιτυγχάνοντας την εκπαίδευσή τους, πέρα από την εξυπηρέτηση αιτημάτων πληροφοριών. Σημαντικές χρήσεις τους είναι η ταξινόμηση, η ομαδοποίηση, η πρόβλεψη και η συσχέτιση.

Η αξία τους φανερώνεται από την εφαρμογή τους σχεδόν σε κάθε κλάδο, παρέχοντας αξιόπιστες λύσεις σε προβλήματα συνάρτησης μεταξύ μεταβλητών πρόβλεψης και προβλεπόμενων μεταβλητών (Guijo-Rubio et al., 2020).

## **1.6. Στόχος**

Η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα, η οποία περιλαμβάνει 6000 νησιά, εκ των οποίων τα 227 είναι κατοικημένα. Συνεπώς, γίνεται σαφές η ύπαρξη πολλών σταθμών μικρού μεγέθους, οι οποίοι αξιοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και καλύπτουν τις ανάγκες των τοπικών κοινωνιών. Το κίνητρο για την εκπόνηση αυτής της μελέτης πηγάζει από την ανάγκη ενεργειακής αναβάθμισης των νησιών, λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση παλαιών τεχνολογιών και την ισχυρή εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα. Συγκεκριμένα, η υπάρχουσα κατάσταση επιφέρει σημαντικές συνέπειες, τόσο στην οικονομία (συνεχώς αυξανόμενο κόστος

ενέργειας, περιβαλλοντικοί φόροι χρήσης ορυκτών καυσίμων), όσο και στο περιβάλλον (επιβάρυνση λόγω εκπομπής αέριων ρύπων, θορύβου) και την κοινωνία (προβλήματα υγείας, δυσφορία τοπικής κοινωνίας). Για την περιοχή μελέτης συλλέχθηκαν αληθινά δεδομένα, σχετικά με τα μετεωρολογικά στοιχεία (από τη ιστοσελίδα της NASA) και την ενεργειακή κατανάλωση του νησιού (από την ευγενική παραχώρηση του τοπικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής) και προσφέρουν τη δυνατότητα διεξαγωγής πιο ρεαλιστικών αποτελεσμάτων. Παράλληλα, αξιοποιώντας μοντέλα πρόβλεψης, καθίσταται εφικτή η εκτίμηση της μελλοντικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, ο στόχος της διπλωματικής εργασίας αφορά την προώθηση ενός μοντέλου, το οποίο θα είναι σε θέση να ικανοποιήσει τόσο τις τρέχουσες όσο και τις μελλοντικές ενεργειακές απαιτήσεις ενός νησιού μικρού μεγέθους, εξασφαλίζοντας τη βιώσιμη ανάπτυξή του.

## **1.7. Δομή επόμενων κεφαλαίων**

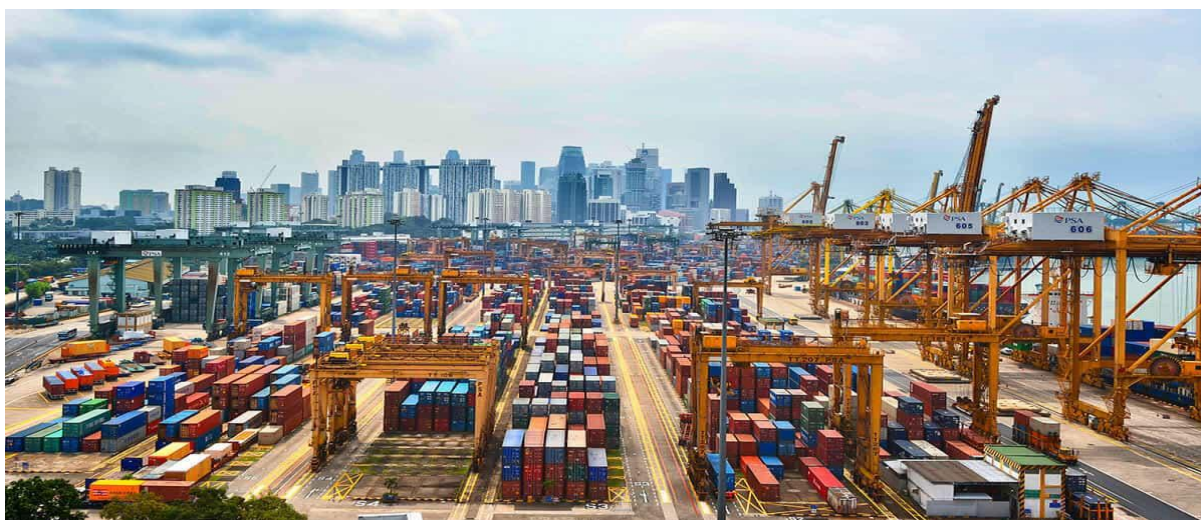
Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια ανασκόπηση της τρέχουσας βιβλιογραφίας, σχετικά με τις προσπάθειες επίτευξης βιώσιμης ανάπτυξης σε νησιά ανά τον κόσμο και την εφαρμογή μοντέλων πρόβλεψης. Για την κάθε επιμέρους μελέτη διεξάγεται μια σύντομη περίληψη της, αποδίδοντας σε μία παράγραφο τα σημαντικότερα στοιχεία της. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περίπτωση μελέτης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, παρέχοντας χρήσιμα στοιχεία. Παράλληλα, αναλύεται η μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί, περιγράφοντας τα μοντέλα πρόβλεψης, καθώς επίσης και τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν. Έπειτα, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη χρήση των μοντέλων πρόβλεψης και του λογισμικού βελτιστοποίησης. Στη συνέχεια, στο έκτο κεφάλαιο διεξάγεται η ανάλυση των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και παρατίθενται προτάσεις προς μελλοντική έρευνα. Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο καταγράφονται (με ονομαστική σειρά) όλες οι βιβλιογραφικές πηγές, οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν στα προηγούμενα κεφάλαια.

## 2. Κριτική Βιβλιογραφίας

Τα τελευταία χρόνια έχει πραγματοποιηθεί σημαντική μελέτη, τόσο στον τομέα της βιώσιμης ανάπτυξης νησιών και λιμένων, όσο και στην πρόβλεψη της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, στην πλειοψηφία των συγκεκριμένων ερευνών απουσιάζει η συσχέτιση των δύο κλάδων, η οποία δύναται να εγγυηθεί την μακροχρόνια αειφορία των νησιών, βασιζόμενη σε αξιόπιστα επιστημονικά δεδομένα. Επιπλέον, η δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχει εμπεριστατωθεί σε επίπεδο νησιών και συνεπώς, θα παρατεθούν μελέτες από διαφορετικούς τομείς.

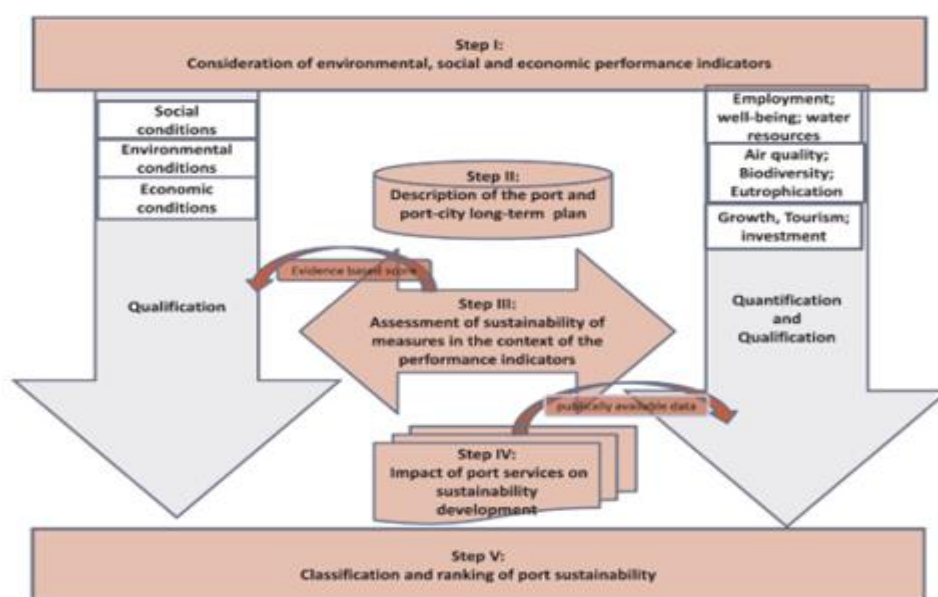
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί μια σύντομη ανασκόπηση των ερευνών που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί, ταξινομημένες σε χρονολογική σειρά. Σκοπός της συγκεκριμένης ανασκόπησης είναι να γίνει αναφορά στις σημαντικότερες πληροφορίες της κάθε επιμέρους μελέτης, ικανοποιώντας τις ακόλουθες προϋποθέσεις: κάθε έρευνα θα έχει έκταση μίας παραγράφου, όπου θα εμπεριέχονται όλα τα σημαντικά στοιχεία, τα οποία θα μπορούσαν να συμβάλουν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας, επιχειρώντας παράλληλα την ορθή διαμόρφωσή τους, ώστε να είναι ευανάγνωστες και κατανοήσιμες. Μια σημαντική σημείωση, είναι ότι όλες οι έρευνες, οι οποίες θα παρουσιαστούν έχουν δημοσιευτεί (προσφάτως) σε επιστημονικά περιοδικά. Συνεπώς, κρίνονται αξιόπιστες πηγές, τόσο για την βέλτιστη κατανόηση του αντικειμένου προς μελέτη, όσο και για την διεύρυνση του γνωσιακού μας επιπέδου αναφορικά με αυτό.

Αρχικά, ο Ζ. Χiao επιχείρησε να γεφυρώσει ένα χάσμα, το οποίο εντοπίζεται στη διεθνή βιβλιογραφία, αναφορικά με τη βιώσιμη ανάπτυξη των πόλεων-λιμένων, την οποία δεν κρίνει ολοκληρωμένη. Μάλιστα, οι υπάρχουσες εμπειρικές μελέτες, οι οποίες αναλύουν το σύστημα λιμάνι-πόλη, πραγματοποιούνται ανεξάρτητα, με αποτέλεσμα την ανεπάρκεια έρευνας αναφορικά με το συνδυασμό των 2 υποσυστημάτων. Αφού αναλύθηκαν οι τρεις πτυχές της βιωσιμότητας, τόσο για το σύστημα πόλη-λιμένας, όσο και για την πόλη και το λιμένα ξεχωριστά, αποδείχτηκε ότι οι θετικές σχέσεις μεταξύ λιμανιού και πόλης υπερτερούν των αντίστοιχων αρνητικών. Συνεπώς, η Σιγκαπούρη θα μπορούσε να συνεχίσει να αναπτύσσει το λιμάνι της **Εικόνα 2.1**, μεγιστοποιώντας τις θετικές οικονομικές και κοινωνικές σχέσεις της και ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις αρνητικές περιβαλλοντικές. Ως προς μελλοντική μελέτη προτείνεται η συμπερίληψη περισσότερων πόλεων-λιμένων (ως προς το μέγεθος, την οικονομική κατάσταση της χώρας και τον τύπο φορτίων προς διαχείριση), ώστε να εμπεριστατωθεί η ανάπτυξή τους υπό διαφορετικές συνθήκες. (Xiao & Lam, 2017)



**Εικόνα 2.1.** Το λιμάνι της Σιγκαπούρης (Maritimeinfo.org, n.d.)

Ο C. Schipper ανέπτυξε μια συγκριτική μεθοδολογία για την αξιολόγηση της απόδοσης, ως προς τη βιωσιμότητα, ενός μικτού συνόλου λιμένων, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την τοποθεσία και το μέγεθος. Το συγκεκριμένο εγχείρημα αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των μακροπρόθεσμων αβεβαιοτήτων, οι οποίες σχετίζονται με τις λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα στο λιμάνι, τον κίνδυνο αυξημένου κόστους και τις μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτή η μεθοδολογία περιλαμβάνει την κατάταξη διαφόρων μακροπρόθεσμων λιμενικών σχεδίων και εγγράφων σχετικά με ένα σύνολο κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών δεικτών απόδοσης, προκειμένου να αξιολογηθούν και να ερμηνευτούν μελλοντικά σχέδια βιώσιμης ανάπτυξης πόλεως-λιμένος. Σχηματική αναπαράσταση της μεθοδολογίας απεικονίζεται στην **Εικόνα 2.2**. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τα λιμάνια της υψηλότερης κατάταξης έχουν αναπτύξει έναν συνδυασμό ολοκληρωμένων σχεδίων, μέτρων και κανονισμών για βιώσιμες λιμενικές εξελίξεις. Συνεπώς, οι πολιτικές «πράσινων» λιμένων οφείλουν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω της κοινωνικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής διάστασης χρησιμοποιώντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση προκειμένου να αξιοποιηθούν οι μέγιστες δυνατότητες και να ενισχυθούν οι λιμενικές διαδικασίες που στοχεύουν στη βιώσιμη ανάπτυξη ενός λιμένα. (Schipper et al., 2017)

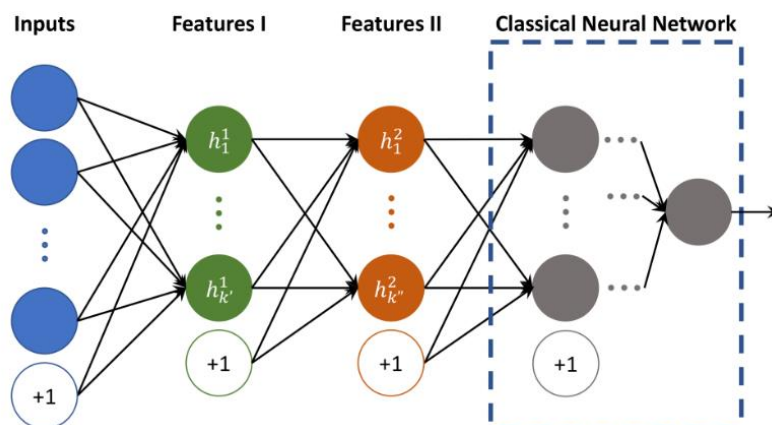


**Εικόνα 2.2.** Σχηματική απεικόνιση της μεθοδολογίας του C. Schipper (Schipper et al., 2017)

Ο J. Praene πραγματοποίησε μια στατιστική προσέγγιση, η οποία δύναται να διευρύνει μια ολοκληρωμένη μελέτη σχετικά με τη βιωσιμότητα των μικρών νησιών, αναφορικά με την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κίνητρο για την έρευνά του αποτέλεσε η πρόκληση, η οποία παρουσιάζεται στα νησιά, ώστε να εξασφαλίσουν την ενεργειακή τους ανεξαρτησία και τη μετάβασή τους σε μια βιώσιμη κατάσταση εντός των επομένων δεκαετιών. Η προσέγγισή του επιτυγχάνεται μέσα από 3 στάδια. Το πρώτο αφορά την ανάλυση βασικών συνιστωσών, για να προσδιοριστούν οι επεξηγηματικές μεταβλητές, οι οποίες έχουν σημαντική συνεισφορά στο ποσοστό της διακύμανσης των δεδομένων. Το δεύτερο περιλαμβάνει την ιεραρχική ομαδοποίηση, βάσει της ανάλυσης των κύριων συστατικών, αναδεικνύοντας τη νησιωτική οργάνωση σε δύο διαφορετικά έτη (2010 και 2014). Στο τρίτο στάδιο προτείνεται ένας δείκτης βιωσιμότητας μέσω του οποίου μπορεί να αξιολογηθεί το επίπεδο βιωσιμότητας κάθε ομάδας νησιών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά του, η δυναμική της βιώσιμης μετάβασης δεν επηρεάζεται σαφώς για τα μικρά νησιά. Μάλιστα, η πλειοψηφία τους έχει γίνει πιο ευάλωτη κατά τη χρονική περίοδο 2010-2014. (Praene et al., 2018)

Ο J. Hua ερεύνησε την προοπτική επίτευξης ενεργειακής αυτονομίας στο νησί Wangan, η οποία θα βασίζεται στη χρήση **ΑΠΕ**. Ως αφορμή του συγκεκριμένου εγχειρήματος στάθηκε η ανάγκη μείωσης των αέριων εκπομπών, η οποία διασφαλίζεται από τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του νησιού. Μάλιστα, αυτή η μείωση μπορεί να καταδειχθεί από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η οποία βασίζεται στη χρήση του λογισμικού Homer-Pro. Ενδεικτικά, μια μείωση των αέριων εκπομπών κατά 30-40% δύναται να επιτευχθεί χάρις στην αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης. Επιπλέον, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σημείωσαν πτώση άνω του 50% σε δύο διαφορετικά σενάρια. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης φανερώνουν ότι οι **ΑΠΕ** θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τους συμβατικούς κινητήρες ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Wangan, αποτελώντας ένα επιτυχημένο παράδειγμα βιώσιμης ανάπτυξης. (Hua & Shiu, 2018)

Ο H. Hamedmoghadam επιχείρησε να προβλέψει τη μακροπρόθεσμη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της Αυστραλίας, εφαρμόζοντας «βαθιά» νευρωνικά δίκτυα (**Εικόνα 2.3**). Η έρευνα κρίνεται επιτακτική, λόγω του σπουδαίου ρόλου που διαδραματίζει η ακριβής πρόβλεψη της μακροπρόθεσμης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο στη διαχείριση της ζήτησης, όσο και στον προγραμματισμό και τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, ώστε να αποφευχθούν η αύξηση του κόστους ενέργειας (υπερεκτίμηση της ζήτησης) και η παροχή αναξιόπιστης ή ανασφαλούς ηλεκτρικής ενέργειας (υποεκτίμηση της ζήτησης). Έτσι, έκανε χρήση ενός συσσωρευμένου αυτόματου κωδικοποιητή, ο οποίος σε συνδυασμό με πολυστρωματικά perceptrons (είδος τεχνητού νευρωνικού δικτύου) ή cascade-forward πολυστρωματικά perceptrons προέβλεψε το ρυθμό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε εθνικό επίπεδο, για χρονικό διάστημα μεταξύ 1-24 μηνών. Σύμφωνα με τα πειραματικά του αποτελέσματα, οι «βαθείς» δομές έχουν καλύτερη απόδοση από τα κλασικά νευρωνικά δίκτυα, ειδικά για ορίζοντα πρόβλεψης 12-24 μηνών. Τέλος, ως προς μελλοντική μελέτη προτείνεται να εφαρμοστούν παρόμοιες δομές «βαθιών» νευρωνικών δικτύων, ώστε να καταστεί εφικτή η πρόβλεψη της βραχυπρόθεσμης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε διαφορετικά επίπεδα ευαισθησίας, είτε πρόκειται για κάποιο μεμονωμένο νοικοκυριό είτε για έναν υποσταθμό, τόσο σε πολιτειακά, όσο και σε διεθνή επίπεδα. (Hamedmoghadam et al., 2018)



**Εικόνα 2.3.** Σχηματική όψη ενός βαθέως νευρωνικού δικτύου με πολλαπλά επίπεδα αυτόματων κωδικοποιητών στοιβαγμένων με ένα κλασικό νευρωνικό δίκτυο (Hamedmoghadam et al., 2018)

Ο Α. Rahman διαμόρφωσε ένα μοντέλο επαναλαμβανόμενου νευρωνικού δικτύου, το οποίο διεξάγει μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες προβλέψεις, με ωριαία ανάλυση, σε χρονικό πλαίσιο τουλάχιστον 1 εβδομάδας των προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για εμπορικά και οικιστικά κτίρια, τα οποία ευθύνονται για ένα σημαντικό μέρος της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης των Η.Π.Α. Μάλιστα, η πρόοδος στον τομέα των αισθητήρων και των έξυπνων τεχνολογιών, ενισχύει την ανάγκη διεξαγωγής των προβλέψεων ενεργειακής κατανάλωσης, οι οποίες θα συμβάλουν άμεσα στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις λειτουργίες, τις στρατηγικές απόκρισης και ζήτησης και την εγκατάσταση συστημάτων καταναλωμένης παραγωγής. Η μελέτη διαιρείται σε 3 στάδια. Αρχικά, αναπτύσσονται και βελτιστοποιούνται νέα μοντέλα «βαθιών» επαναλαμβανόμενων νευρωνικών δικτύων που στοχεύουν στην πρόβλεψη του ηλεκτρικού φορτίου, με ωριαία ανάλυση. Έπειτα, αναλύεται η σχετική απόδοση του μοντέλου για διαφορετικούς τύπους προτύπων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Στο τελευταίο στάδιο εκτελείται, μέσω των βαθιών νευρωνικών δικτύων, καταλογισμός στο σύνολο δεδομένων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας συμπληρώνοντας τις κενές τιμές. Για την πρόβλεψη του προφίλ φορτίου ενός εμπορικού κτιρίου, τα προτεινόμενα μοντέλα ακολουθίας σε ακολουθία επαναλαμβανόμενου νευρωνικού δικτύου αντιστοιχούν σε χαμηλότερο σχετικό σφάλμα, σε σύγκριση με το συμβατικό πολυεπίπεδο νευρωνικό δίκτυο perceptron. Αντίθετα, για την αντίστοιχη πρόβλεψη σε κτίρια κατοικιών, το προτεινόμενο μοντέλο δεν παρέχει κέρδη στην ακρίβεια σε σύγκριση με το μοντέλο πολυεπίπεδων perceptron. (Rahman et al., 2018)

Μια σημαντική έρευνα από τον Τ. Hossain αξιολόγησε ως προς τη βιωσιμότητα και τις περιβαλλοντικές επιδόσεις τους 18 μεγάλα λιμάνια του Καναδά, καθώς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην οικονομική αλλά και την οικονομική ανάπτυξη της χώρας. Επιπλέον, η προσδοκία της κοινωνίας για την επίτευξη μιας ισορροπίας ανάμεσα στην οικονομική ευημερία και τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον και την κοινωνία εντείνεται συνεχώς. Έτσι, αναπτύχθηκαν 25 δείκτες, μέσω των οποίων προσδιορίστηκαν οι επιχειρησιακές τάσεις των λιμένων που συνδέονται με τη βιωσιμότητά τους. Για χρονικό διάστημα 8 ετών, αναλύθηκαν οι ετήσιες εκθέσεις απόδοσης που δημοσιεύτηκαν στο πρόγραμμα Green Marine (**Εικόνα 2.4**) και αξιολογήθηκαν οι τάσεις τους ως προς την περιβαλλοντική τους επίδοση. Τα αποτελέσματα της μελέτης φανέρωσαν ότι, παρά την καθολική συμμετοχή των λιμένων, μόνο τα 7 ενσωμάτωσαν ενεργά τη βιωσιμότητα στις λειτουργίες τους. Τέλος, ως προς τις αρμόδιες ομοσπονδιακές και επαρχιακές κυβερνήσεις και οργανισμούς συνιστάται να ενισχύσουν τα λιμάνια της χώρας ώστε να επιτύχουν τη βιώσιμη ανάπτυξη τους. (Hossain et al., 2019)





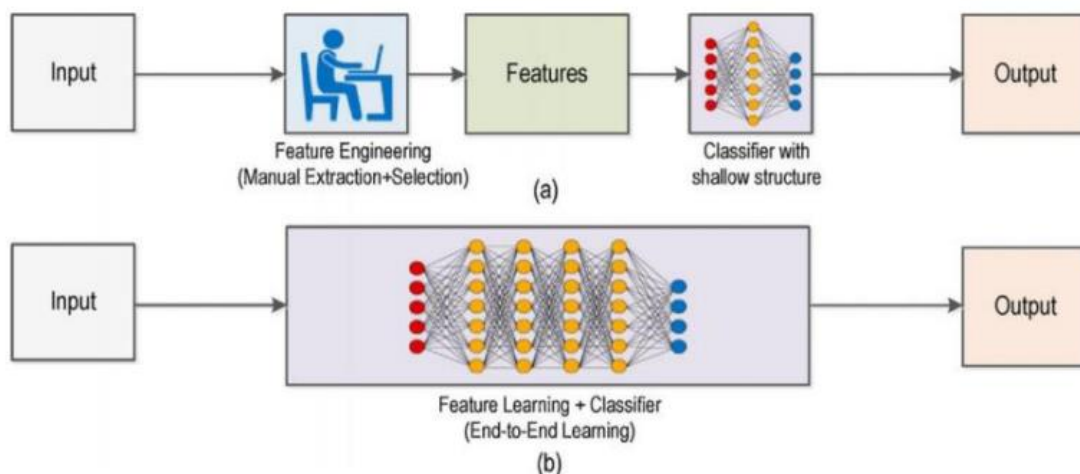
**Εικόνα 2.4.** Το λογότυπο του προγράμματος Green Marine (Marineinsight.com, n.d.)

Ο J. Moon κατασκεύασε διάφορα μοντέλα πρόβλεψης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κτιρίων, βασισμένα σε τεχνητό νευρωνικό δίκτυο, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς των δύο υπερπαραμέτρων και συνέκρινε την απόδοσή τους. Το εγχείρημα της πρόβλεψης της καταναλισκόμενης ενέργειας πηγάζει από την ανάγκη παραγωγής αποτελεσματικών στρατηγικών ενεργειακής διαχείρισης, τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των «έξυπνων» δικτύων. Ένα κρίσιμο στάδιο για την υλοποίηση αυτής της μελέτης αποτέλεσε ο προσδιορισμός αποτελεσματικών υπερπαραμέτρων για τα νευρωνικά δίκτυα, αναφορικά με τον τύπο της συνάρτησης ενεργοποίησης και τον αριθμό των κρυφών επιπέδων. Τα πειραματικά αποτελέσματα φανερώνουν ότι τα νευρωνικά δίκτυα με κλιμακωμένες εκθετικές γραμμικές μονάδες και 5 κρυφά επίπεδα, παρουσιάζουν την καλύτερη απόδοση, κατά μέσο όρο, συγκριτικά με άλλα μοντέλα πρόβλεψης. (Moon et al., 2019)

Η L. Cao ανέπτυξε 8 μοντέλα μηχανικής μάθησης (μεμονωμένης μάθησης και εκμάθησης συνόλου), με σκοπό την πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης εγκαταστάσεων υγειονομικής περίθαλψης, τα οποία χαρακτηρίζονται από πολύπλοκα ενεργειακά συστήματα και υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Επομένως, αποτελούν βασικούς τομείς για την επίτευξη των στόχων εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Για την επικύρωση της απόδοσης του προτεινόμενου μοντέλου, διεξήχθη ένα πείραμα σε ένα γενικό νοσοκομείο στη Σαγκάη της Κίνας. Με βάση τα αποτελέσματα της πρόβλεψης, αναμένεται ότι οι διαχειριστές νοσοκομειακών εγκαταστάσεων θα έχουν την ικανότητα να αξιολογούν εύκολα την αναμενόμενη χρήση ενέργειας των νοσοκομείων τους με τα μοντέλα μηχανικής μάθησης. Ως μελλοντική έρευνα, προτείνεται ο έλεγχος της απόδοσης της προτεινόμενης διαδικασίας σε περισσότερα νοσοκομεία, καθώς επίσης και η συμπερίληψη κάθε τύπου ασθενή, ώστε να διεξαχθεί μια βαθύτερη ανάλυση στην επίδραση της πληρότητας. (Cao et al., 2020)

Ο A. Del Real ερεύνει τη χρήση τεχνικών βαθιάς μάθησης προκειμένου να πραγματοποιηθεί πρόβλεψη ενεργειακής ζήτησης, η οποία κρίνεται επιτακτική για τη βιομηχανία παραγωγής και παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Συγκεκριμένα, προτάθηκε μια μίξη δύο δομών: ενός συνελκτικού νευρωνικού δικτύου (με δυνατότητες εξαγωγής χαρακτηριστικών) και ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου (με δυνατότητες παλινδρόμησης), προσδοκώντας στην παράλληλη αξιοποίηση και των δύο. Τα αποτελέσματα φανερώνουν ότι αυτή η προσέγγιση υπερέχει της συνδρομητικής υπηρεσίας αναφοράς «Réseau de Transport d'Electricité» (γαλλικός διαχειριστής συστήματος μεταφοράς ενέργειας). Επιπλέον, η προτεινόμενη λύση λαμβάνει την υψηλότερη βαθμολογία απόδοσης σε σύγκριση με άλλες εναλλακτικές λύσεις,

συμπεριλαμβανομένου του Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) και των παραδοσιακών μοντέλων από τεχνικά νευρωνικά δίκτυα (**Εικόνα 2.5**). (Del Real et al., 2020)

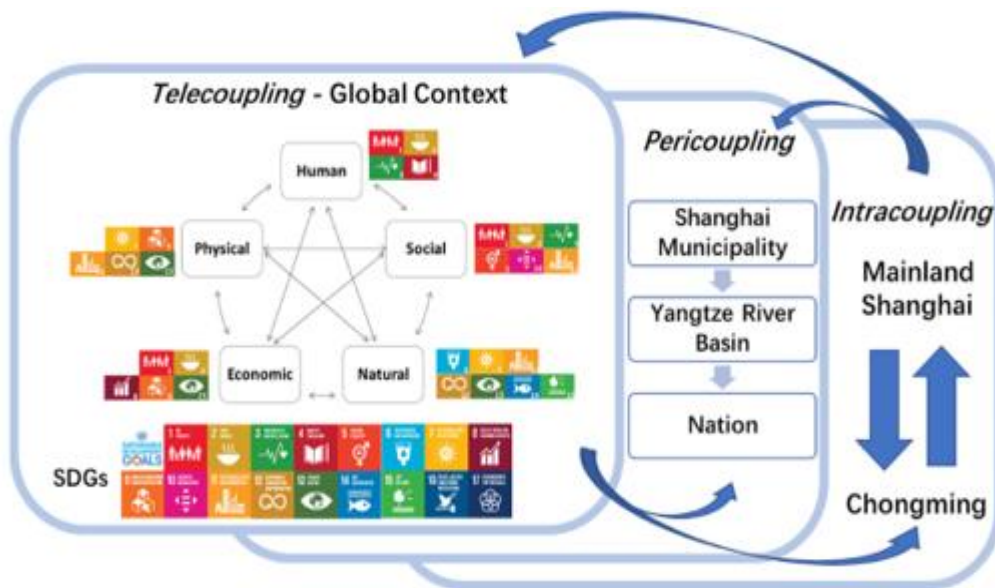


**Εικόνα 2.5.** Σύγκριση μεταξύ παραδοσιακών μοντέλων μηχανικής μάθησης: (α) χειροκίνητη εξαγωγή χαρακτηριστικών και σύγχρονες δομές βαθιάς μάθησης (β) αυτοματοποίηση των χαρακτηριστικών και της διαδικασίας εκπαίδευσης σε μια δομή εκμάθησης από άκρο σε άκρο. (Del Real et al., 2020)

Ο M. Kalimoldayev πραγματοποιήσε ανασκόπηση των εσωτερικών (τεχνικών, οικονομικών, δομικών) και εξωτερικών (μετεωρολογικών, περιβαλλοντικών, μακροοικονομικών) παραγόντων, αποσκοπώντας στη δημιουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης ενέργειας, μέσω του οποίου θα μπορεί να προβλεφθεί η μελλοντική ζήτηση του ηλεκτρικού ρεύματος, αξιολογώντας και συγκρίνοντας διάφορες τεχνικές μοντελοποίησης. Η έρευνα χωρίζεται σε 2 τομείς: την πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης με βάση δεδομένα από πάνελ (ανάλογα με τη χώρα, την περιοχή, τον τομέα και τη βιομηχανία) και από μεμονωμένα αντικείμενα που διαθέτουν τον κατάλληλο εξοπλισμό για την καταγραφή της κατανάλωσης υψηλής συχνότητας. Η μελέτη επικεντρώνεται σε τεχνικές κλασικών χρονοσειρών (αυτοπαλινδρομήσεις, εκθετικά μοντέλα εξομάλυνσης, δυναμική παλινδρόμηση), μοντέλα συνόλου και νευρωνικά δίκτυα. Τα ευρήματά του αποδεικνύουν την συνεχώς εξελισσόμενη μετάβαση από τα κλασικά μοντέλα παλινδρόμησης και τους στατιστικούς αλγορίθμους, στους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης και στα νευρωνικά δίκτυα, λόγω της αποτελεσματικότερης πρόβλεψης, ιδίως στην περίπτωση των «μακρών» δειγμάτων. (Kalimoldayev et al., 2020)

Η J. Fang επιχείρησε να αξιολογήσει τη βιωσιμότητα στο νησί Chongming και τις αλληλεπιδράσεις του με την κοντινή ηπειρωτική Σαγκάη, για να εκτιμήσει τις δυναμικές αλλαγές του (και τους υπεύθυνους παράγοντες), μέσα από μια προσέγγιση βασισμένη στο κεφάλαιο. Κίνητρο για το εγχείρημά της αποτέλεσε ο κομβικός ρόλος που διαδραματίζουν τα νησιά στον τομέα της βιώσιμης ανάπτυξης και ειδικότερα, η κατανόηση της εξέλιξής τους. Έτσι, ανέπτυξε ένα σύστημα δεικτών τριών επιπέδων με 31 δείκτες για να αντικατοπτρίσει τη βιωσιμότητα μέσα από 5 διαφορετικά κεφάλαια: το φυσικό, το κοινωνικό, το ανθρώπινο, το οικονομικό και το σωματικό (**Εικόνα 2.6**). Έπειτα, διεξήχθη μια λεπτομερής ανάλυση, ώστε να προσδιοριστούν οι δυναμικές μεταβολές κάθε κεφαλαίου για το χρονικό διάστημα 2000-2017, τόσο για το νησί Chongming, όσο και για τη Σαγκάη. Η μελέτη της φανέρωσε ότι το φυσικό, το σωματικό, και το οικονομικό κεφάλαιο ακολουθούν μια σημαντική ανοδική τάση, σε αντίθεση με το κοινωνικό. Όσον αφορά την ηπειρωτική χώρα, φαίνεται να υπερτερεί συγκριτικά με το νησί ως προς τη βιώσιμη ανάπτυξή της. Τέλος, συνιστάται προς το νησί Chongming η ενίσχυση του κοινωνικού και ανθρωπίνου κεφαλαίου. (Fang et al., 2020)





**Εικόνα 2.6.** Η βιωσιμότητα μέσα από τα 5 διαφορετικά κεφάλαια (Fang et al., 2020)

Ο D. Kontogiannis συνέκρινε τη βασική απόδοση και τη δομή διαφορετικών τύπων νευρωνικών δικτύων σε δεδομένα οικιακής ενέργειας, διαμορφώνοντας ένα κατάλληλο εποπτευόμενο μαθησιακό πρόβλημα, βασισμένο σε πραγματικά δεδομένα. Κίνητρο για αυτή τη μελέτη αποτέλεσε το αυξανόμενο ενδιαφέρον για αυτοματισμούς σε πραγματικό χρόνο και πιο ευέλικτα προγράμματα απόκρισης-ζήτησης, το οποίο έχει αναγάγει την πρόβλεψη χρονοσειρών υψηλής ευκρίνειας στην πρώτη γραμμή της έρευνας σχετικά με την ενέργεια και την τεχνητή νοημοσύνη. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διαφόρων παραλλαγών δικτύου μακράς βραχυπρόθεσμης μνήμης, ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο και ένα πολυστρωματικό perceptron. Το εξαχθέν συμπέρασμα ήταν πως το πολυστρωματικό perceptron απέδωσε καλύτερα από τα υπόλοιπα στο δεδομένο πρόβλημα, καθώς κατέγραψε το χαμηλότερο μέσο απόλυτο σφάλμα, όντας το ταχύτερο. Ως πρόταση για μελλοντική έρευνα αναφέρεται η εφαρμογή τεχνικών αναζήτησης πλέγματος, οι οποίες θα βελτιστοποιήσουν τις υπερπαραμέτρους, επιτυγχάνοντας τη συνολική βελτίωση των μοντέλων. (Kontogiannis et al., 2020)

Η K. Lammers μελέτησε την τρέχουσα κατάσταση της πρόσβασης σε ηλεκτρική ενέργεια και της έκθεσης σε πιθανούς κινδύνους για τα μη-ηλεκτροδοτούμενα νησιά της νοτιοανατολικής Ασίας, η οποία είναι μια από τις περιοχές που πλήττονται περισσότερο από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, γεγονός που αποτελεί τη βάση της επείγουσας ανάγκης για δημιουργία μιας ανθεκτικής δομής, ειδικά για τις απομακρυσμένες και απομονωμένες νησιωτικές κοινότητες. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν 1932 νησιά με πληθυσμό άνω των 21 εκατομμυρίων, που έχουν περιορισμένη πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια. Αρχικά, έγινε χρήση γεωχωρικής ανάλυσης για να αξιολογηθεί το νησιωτικό τοπίο και να αντληθούν οι βασικές πληροφορίες για τους πληθυσμούς και τους κλιματικούς κινδύνους. Έπειτα, εφαρμόστηκε μια ανάλυση συστάδων κινδύνου, για να διερευνηθούν και να εντοπιστούν παρόμοια μοτίβα και αρχέτυπα νησιών σε σχέση με τους κλιματικούς κινδύνους. Η μελέτη αποκαλύπτει τρία νησιωτικά αρχέτυπα, τα οποία χρειάζονται διαφορετικά τεχνικά μέτρα για την ενίσχυση της κλιματικής ανθεκτικότητας των μελλοντικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, ως μελλοντική πρόταση προς αποφυγή δαπανηρών μελλοντικών επενδύσεων, αναφέρεται η χρήση προσδιορισμένων ομάδων από συστάδες. (Lammers et al., 2020)

Μια πολύ σημαντική μελέτη της Υ. Peng παρουσίασε μια μεθοδολογία για την πρόβλεψη της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από τα ελλιμενιζόμενα πλοία και στρατηγικές για τη μείωσή της, αξιοποιώντας μοντέλα πρόβλεψης. Η σημασία αυτού του εγχειρήματος έγκειται στις συνεχώς αυξανόμενες πιέσεις που λαμβάνουν τα λιμάνια, ώστε να συνδυάσουν την οικονομική τους ανάπτυξη με την οικονομική και κοινωνική αειφορία. Αρχικά 15 χαρακτηριστικά που έχουν αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας των πλοίων συλλέχθηκαν από το λιμάνι Jingtang (**Εικόνα 2.7**) στην Κίνα και αναλύθηκαν. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν 5 μοντέλα μηχανικής εκμάθησης και ορίστηκαν ως είσοδοι 15 χαρακτηριστικά που αποτελούνται από εγγενή ιδιότητα των πλοίων και εξωτερικά χαρακτηριστικά των λιμένων. Ακολούθησε η επαλήθευση της αποτελεσματικότητας των μοντέλων και υπολογίστηκε η σημασία του κάθε χαρακτηριστικού, ώστε να επιλεγθούν τα σημαντικότερα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η καθαρή χωρητικότητα, το «νεκρό» φορτίο, το πραγματικό βάρος και η απόδοση των εγκαταστάσεων είναι τα 4 κορυφαία χαρακτηριστικά για την πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης των πλοίων. (Peng et al., 2020)



**Εικόνα 2.7.** Το λιμάνι του Jingtang (En.gmw.cn, n.d.)

Η Χ. Long ερεύνησε τέσσερις νησιωτικές περιοχές στην Κίνα σχετικά με τη βιώσιμη ανάπτυξή τους. Η μελέτη της κρίνεται επιτακτική, καθώς τα νησιά αποτελούν ένα βασικό βήμα για την επίτευξη των διεθνών στόχων βιώσιμης ανάπτυξης, λόγω της πολυπλοκότητάς των χαρακτηριστικών τους (γεωγραφική απομόνωση, σπάνιοι πόροι και συχνές φυσικές καταστροφές). Συγκεκριμένα, ανέπτυξε ένα μοντέλο, το οποίο μετρά την απόδοση οικολογικής ευημερίας με βάση το βελτιωμένο τρισδιάστατο οικολογικό αποτύπωμα και τον δείκτη ανθρώπινης ανάπτυξης σε αστική κλίμακα, προσδοκώντας να αξιολογήσει και να αναλύσει συνθετικά την αειφορία των τεσσάρων νησιών. Τα ευρήματά της αποδεικνύουν ότι και οι τέσσερις περιφέρειες παρουσιάζουν οικολογικά ελλείμματα, ως αντάλλαγμα για την οικονομική ευημερία. Επιπλέον, υποστηρίζει ότι αυξάνοντας το δείκτη ανθρώπινης ανάπτυξης και μειώνοντας παράλληλα το οικολογικό τους αποτύπωμα, μπορεί να εγγυηθεί τη βελτίωση της αποδοτικότητας των οικολογικών πόρων και την επίτευξη της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης. Τέλος, προτείνονται η κατασκευή παράκτιων σταθμών αιολικής ενέργειας (λαμβάνοντας υπόψιν τους ανέμους που πνέουν σταθερά στα νησιά) και η βελτίωση της κοινωνικής ευημερίας. (Long et al., 2020)

Ο Α. Nestico δημιούργησε ένα σύνολο δεδομένων από δείκτες βιωσιμότητας, οι οποίοι ταξινομήθηκαν και σταθμίστηκαν σύμφωνα με ένα μοντέλο αξιολόγησης πολλαπλών κριτηρίων. Η αιφόρος τουριστική ανάπτυξη αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα για την ενίσχυση των νησιωτικών κρατών, ανάγοντας την ανάγκη ενσωμάτωσης των πολλαπλών πτυχών της βιωσιμότητας στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων σε εξέχουσα θέση. Το σύνολο των απαραίτητων δεδομένων λήφθηκε με τον καθορισμό μιας διαδικασίας ανάλυσης που στοχεύει: στην επιλογή επιστημονικά έγκυρων δεικτών, άμεσα διαθέσιμων από τους αναλυτές και εύκολους στην ερμηνεία τους. Η στάθμιση των δεικτών καθορίστηκε σύμφωνα με κριτήρια που κοινοποιούνται στη βιβλιογραφία, ενώ λήφθηκε υπόψιν η μοναδικότητα του εδαφικού συστήματος αναφοράς. Το αποτέλεσμα αυτής της έρευνας αποτελεί προϋπόθεση για τον μετέπειτα χαρακτηρισμό ενός μοντέλου αξιολόγησης πολλαπλών κριτηρίων, το οποίο θα επιλέξει επενδυτικά έργα που εξισορροπούν τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές ιδιαιτερότητες του νησιού, καθορίζοντας με μεγάλη αποτελεσματικότητα την κατανομή των δημόσιων αλλά και των ιδιωτικών πόρων. (Nesticò & Maselli, 2020)

Η Η. Son πρότεινε ένα μοντέλο πρόβλεψης με μεταβλητές κοινωνικές και σχετικές με τον καιρό, εισάγοντας τη μακρά βραχυπρόθεσμη μνήμη, ώστε να εκτιμηθεί η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στον οικιστικό τομέα. Κίνητρο για αυτή την έρευνα αποτέλεσε ο πρωταγωνιστικός ρόλος που διαδραματίζει η εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων των κατοικήσιμων περιοχών για το σχεδιασμό του συστήματος ισχύος (είτε σε περιφερειακό, είτε σε εθνικό επίπεδο), σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης δεν έχουν εφαρμοστεί στον τομέα της πρόβλεψης της μηνιαίας ενεργειακής ζήτησης για οικιστικές περιοχές. Η επικύρωση του προτεινόμενου μοντέλου βασίστηκε στη χρήση ενός συνόλου δεδομένων από τη Ν. Κορέα με συνολική χρονική διάρκεια 22 έτη. Η απόδοση των προβλέψεων αξιολογήθηκε με βάση 6 μέτρα απόδοσης και η απόδοση του μοντέλου υποβλήθηκε σε περεταίρω σύγκριση με την αντίστοιχη από 4 πρότυπα αναφοράς. Σύμφωνα με όλα τα μέτρα και τις συγκρίσεις που πραγματοποιήθηκαν, το προτεινόμενο μοντέλο σημείωσε εξαιρετική απόδοση και δύναται να βελτιώσει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με τον προγραμματισμό του συστήματος ισχύος, προβλέποντας με ακρίβεια τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας του οικιακού τομέα. Συνεπώς, μπορεί να συμβάλει στην αποτελεσματική παραγωγή και χρήση των διαθέσιμων πόρων. (Son & Kim, 2020)

Η Ε. Vivas πραγματοποίησε μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση για να προσδιορίσει τον τύπο μοντέλου που εξασφαλίζει, με την υψηλότερη τάση, ακρίβεια στο πλαίσιο της πρόβλεψης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να βελτιστοποιηθούν η διαχείριση και η ισορροπία των υφιστάμενων συστημάτων ισχύος. Συγκεκριμένα, απαιτούνται ακριβείς προβλέψεις για τις απαιτήσεις εξυπηρέτησης, ώστε να αναπτυχθεί ένας καλύτερος προγραμματισμός της παραγωγής και της διανομής ενέργειας και να μειωθούν οι κίνδυνοι ευπάθειας του συστήματος. Το μοντέλο της ανασκόπησης της καθορίστηκε από τα επιμέρους αποτελέσματα που καταγράφηκαν σε 257 δοκιμές, οι οποίες έλαβαν χώρα σε 5 γεωγραφικά διαφορετικές περιοχές. Έπειτα, συγκρίθηκαν δύο κατηγορίες μοντέλων πρόβλεψης: τα κλασικά στατιστικά ή μαθηματικά μοντέλα και τα μοντέλα μηχανικής μάθησης. Επίσης, εντοπίστηκε η χρήση υβριδικών μοντέλων, τα οποία έχουν συμβάλει σημαντικά στην πρόβλεψη της ηλεκτρικής ενέργειας, για να αποδειχθεί η καλή τους απόδοση σε σύγκριση με τα παραδοσιακά μοντέλα. Τα σημαντικότερα ευρήματα που αναφέρονται είναι τα ελαχιστοποιημένα σφάλματα πρόβλεψης (μέσω του μειωμένου χρονικού ορίζοντα), η καλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης των μοντέλων μηχανικής μάθησης (λαμβάνοντας υπόψιν διάφορες πηγές εξωγενούς μεταβλητότητας) και η σημαντική αύξηση της ακρίβειας των μοντέλων, η οποία έχει σημειωθεί



τα τελευταία 5 χρόνια. Ως περαιτέρω έρευνα προτείνεται η κατανόηση της σχέσης μεταξύ του τύπου ενέργειας, του κλίματος, των τεχνικών προεπεξεργασίας και της απόδοσης των μοντέλων μηχανικής μάθησης κάτω από διάφορες κανονικοποιημένες μετρήσεις υπολειμμάτων. (Vivas et al., 2020)

Η L. Yang σχεδίασε ένα πλαίσιο βασισμένο στην έκτακτη ανάγκη, ώστε να αξιολογηθεί η βιωσιμότητα 3 νησιωτικών κρατών σε μια χρονολογική σειρά (2000, 2005, 2010 και 2015). Συγκριτικά με άλλες περιοχές, τα νησιά είναι ευαίσθητα στις περιβαλλοντικές προκλήσεις που απειλούν τα οικοσυστήματα. Συνεπώς, η βιώσιμη ανάπτυξη τους συνεπάγεται την ολοκληρωμένη αναβάθμιση της γεωργίας, του τουρισμού, του εμπορίου και της βιομηχανίας μακροπρόθεσμα. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε 3 τυπικές νησιωτικές χώρες της νοτιοανατολικής Ασίας (Ινδονησία, Μαλαισία και Φιλιππίνες), λόγω των πλουσίων φυσικών πόρων τους, οι οποίες δύνανται να εξασφαλίσουν ταχεία οικονομική ανάπτυξη, καθώς επίσης και αστικοποίηση. Η προσέγγισή της βασίστηκε σε επείγουσες καταστάσεις και συνδυάστηκε με το κοινωνικό-οικονομικό-φυσικό πλαίσιο για τη μέτρηση της βιωσιμότητας του κάθε νησιού, μέσω ολιστικής κλίμακας. Τα αποτελέσματά της καταδεικνύουν την αναγκαιότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης (με καινοτόμες τεχνολογίες), της κατάργησης των επιδοτήσεων στα ορυκτά καύσιμα και της ενίσχυσης του ελέγχου της ρύπανσης. Επιπλέον, παρέχουν πληροφορίες για πολιτικές ενίσχυσης της βιωσιμότητας παρομοίων νησιωτικών οικονομιών. (Yang et al., 2020)

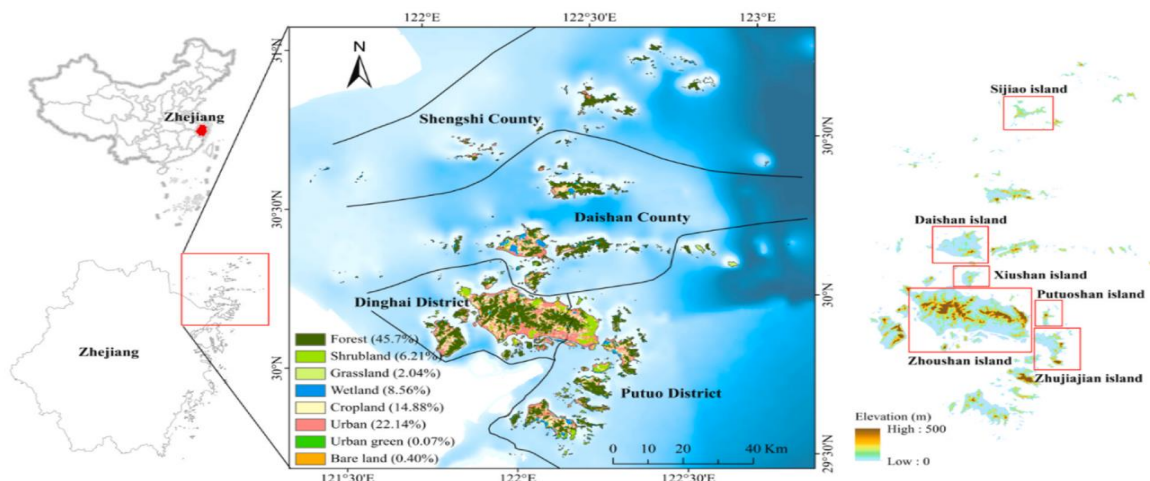
Ο X. Fang αξιολόγησε και ανέλυσε την προοπτική βιώσιμης ανάπτυξής της «γαλάζιας» οικονομίας (εκμετάλλευση, διατήρηση και αναγέννηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος) στο νησί Χαϊνάν της Κίνας (**Εικόνα 2.8**), καθώς απαιτείται περισσότερη έρευνα για την αξιολόγηση της βιωσιμότητάς του. Στην έρευνά του, η οποία βασίστηκε στο πλαίσιο «οδηγός-πίεση-κατάσταση-επίπτωση-απόκριση» (driver-pressure-state-impact-response), χρησιμοποιήθηκε μια ανάλυση γκρι συσχέτισης (grey correlation) και η τεχνική ταξινόμησης βάσει ομοιότητας (με μεθόδους ιδανικών λύσεων). Έπειτα, διεξήχθη μια ανάλυση συντονισμού σύζευξης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, φανερώνεται μια σαφή πτωτική τάση της ικανότητας βιώσιμης ανάπτυξης της γαλάζιας οικονομίας από το 2010, καθώς και μείωση του βαθμού συντονισμού σύζευξης από το 2009. Αυτή η αλλαγή πιθανότατα προκλήθηκε από τη συνεχιζόμενη αύξηση της πίεσης. (Fang et al., 2021)



**Εικόνα 2.8.** Το νησί Χαϊνάν της Κίνας (Daoinsights.com, n.d.)

Ο J. Liu εισήγαγε ένα νέο υβριδικό μοντέλο για την αξιολόγηση βιώσιμων λιμένων-πόλεων, επεκτείνοντας τις υπάρχουσες θεωρίες αιεφορίας. Οι πόλεις-λιμάνια αποτελούν σημαντικό μέρος των θαλάσσιων οικονομικών δραστηριοτήτων, η ανάπτυξη των οποίων συμβάλλει στη σύνδεση της οικονομίας και του περιβάλλοντος μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού. Παρόλα αυτά, η υπάρχουσα βιβλιογραφία είναι περιορισμένη και αφορά κυρίως την ποιοτική προοπτική, με ελάχιστη ποσοτική ανάλυση. 21 λιμάνια εμπορευματοκιβωτίων της Κίνας, τα οποία βρίσκονται στη λίστα με τα 100 κορυφαία στον κόσμο, επιλέχθηκαν για ποσοτική μελέτη, χρησιμοποιώντας το μοντέλο THPD. Αρχικά, σχεδιάζεται ένα σύστημα ευρετηρίου και υπολογίζεται η απόδοσή του. Έπειτα λειτουργεί ένας μηχανισμός επικύρωσης επιρροής, ώστε να υπολογιστούν τα ενδογενή βάρη και να ληφθεί η βέλτιστη τιμή για τον κάθε επιμέρους δείκτη. Παράλληλα, ανιχνεύονται οι πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστημάτων. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης αποδεικνύουν ότι το βιώσιμο επίπεδο των πόλεων-λιμένων στην Κίνα βρίσκεται σε μεσαίο επίπεδο, με ποικίλες αδυναμίες και κρίσιμους παράγοντες που οφείλουν να ληφθούν υπόψιν. Ως προτάσεις μελλοντικής έρευνας αναφέρονται η βελτίωση του μοντέλου για χρήση ακατέργαστων δεδομένων, η πιο ορθολογική κατανομή βάρους και η χρήση ενός πιο λεπτομερούς συνόλου δεδομένων, για τη δημιουργία ενός λογικού συστήματος ευρετηρίου. (Liu et al., 2021)

Ο H. Zhang δημιούργησε ένα πλαίσιο αξιολόγησης των νησιωτικών οικοσυστημάτων (μέσω της ανάλυσης βασικών συνιστωσών), το οποίο ακολουθείται από το σχεδιασμό στρατηγικών βιώσιμης ανάπτυξης. Το εγχείρημά του βασίστηκε στην υποχρέωση εφαρμογής πλάνων βιώσιμης ανάπτυξης στα νησιωτικά οικοσυστήματα, τα οποία είναι ευάλωτα και απαιτούν ακριβή αξιολόγηση. Σαν περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το αρχιπέλαγος Ζουσάν (**Εικόνα 2.9**). Αρχικά, επιλέχθηκαν 15 τυπικοί δείκτες νησιωτικών οικοσυστημάτων, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν 5 διαστάσεις: κλίμα, γεωγραφία, τοπίο, κοινωνία και βιολογία. Σύμφωνα με τις βαθμολογίες αυτών των 5 διαστάσεων, τα νησιά του Αρχιπελάγους Ζουσάν κατηγοριοποιήθηκαν στη συνέχεια σε 3 ομάδες: νησιά ειδικής προώθησης, νησιά μερικής ανακαίνισης και νησιά οικολογικά ελεγχόμενα. Κατόπιν, σχεδιάστηκαν στρατηγικές βιώσιμης ανάπτυξης για κάθε τύπο νησιού. Μια σπουδαία θεωρητική συμβολή αυτής της μελέτης εντοπίζεται στην απόδειξη ότι τα νησιωτικά οικοσυστήματα είναι ετερογενή, αντίθετα με την πρόσφατη αντιμετώπισή τους ως ομοιογενή σε προηγούμενες μελέτες. Η εμπειρική συνεισφορά αυτής της έρευνας αφορά την ακριβή αξιολόγηση των νησιωτικών οικοσυστημάτων, για να καταστεί εφικτός ο σχεδιασμός στοχευμένων στρατηγικών βιώσιμης ανάπτυξης για διαφορετικά νησιά. (Zhang et al., 2021)



**Εικόνα 2.9.** Χάρτης του αρχιπελάγους Ζουσάν (Zhang et al., 2021)



Ο D. Wang παρουσίασε μια καινοτόμα δομή για την πρόβλεψη του ηλεκτρικού φορτίου (σε πολλαπλά βήματα), η οποία συγκεντρώνει συνεχώς περισσότερη προσοχή, λόγω της αναγκαιότητας για εξισορρόπηση της παραγωγής και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, το ηλεκτρικό φορτίο έχει προφανή χαρακτηριστικά ισχυρής μεταβλητότητας και υψηλής τυχαιότητας, γεγονός που καθιστά τα παραδοσιακά μοντέλα πρόβλεψης, τα οποία λειτουργούν μόνο στην αρχική σειρά του φορτίου, να μην μπορούν να λάβουν πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα πρόβλεψης. Η μεθοδολογία του βασίστηκε στη χρήση ενός υβριδικού μοντέλου μάθησης, σε συνδυασμό με μια στρατηγική διόρθωσης σφαλμάτων. Κατόπιν παρουσιάστηκαν και διερευνήθηκαν 2 διαφορετικές περιοχές που βασίζονται στα δεδομένα των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας (PJM, Οντάριο) για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης δομής. Μέσα από την αξιολόγησή του αποδεικνύεται ότι η προτεινόμενη δομή μπορεί να αποφέρει αποτελέσματα με υψηλότερη ακρίβεια από άλλα μοντέλα αναφοράς που εξετάστηκαν σε αυτή τη μελέτη. Τέλος, ως μελλοντική έρευνα αναφέρονται ο επιστημονικός προσδιορισμός της δομής του νευρωνικού δικτύου και η ενσωμάτωση σημαντικών παραγόντων που επηρεάζουν την τρέχουσα δομή του. (Wang et al., 2021)

Η Χ. Wu εξέτασε το πεδίο της πρόβλεψης ηλεκτρικής ενέργειας με ακρίβεια, το οποίο διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη βιώσιμη λειτουργία ενός συστήματος ενέργειας και παρουσιάζει μεγάλη πολυπλοκότητα, καθώς επηρεάζεται άμεσα από πολλούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, εισάγει τους δείκτες μηχανών αναζήτησης, οι οποίοι αποτελούν μια μεταβλητή, η οποία ενδέχεται να σχετίζεται με τα δεδομένα φορτίου, αλλά δεν έχει ληφθεί ποτέ υπόψη σε προηγούμενες μελέτες. Έπειτα, προτείνεται ένα μοντέλο νευρωνικών δικτύων μακροπρόθεσμης μνήμης, βασισμένο στον αλγόριθμο πλήθους κβαντικών σωματιδίων. Η απόδοση της πρόβλεψης φορτίου για την περιοχή Long Island (**Εικόνα 2.10**), η οποία λαμβάνει δεδομένα Google Trends και καιρού ως μεταβλητές εισόδου, συγκρίνεται με εκείνη που λαμβάνει μόνο δεδομένα καιρού, γεγονός που δείχνει ότι η εισαγωγή του Google Trends βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης. (Wu et al., 2021)



**Εικόνα 2.10.** Η περιοχή Long Island (παράκτιο τμήμα) (Cnn.com, n.d.)

Ο S. Nwokolo ερευνήσε τρόπους παραγωγής βιώσιμης ενέργειας, μέσω της χρήσης των συντελεστών του μοντέλου Angstrom-Prescott. Κίνητρο για αυτή τη μελέτη αποτέλεσε η επιτάχυνση της πράσινης οικονομίας στη Νιγηρία, η οποία δοκιμάζεται από την αδυναμία της πλειοψηφίας των κυβερνητικών σταθμών να ρυθμίζουν συνεχώς ή να μετράνε την ηλιακή ακτινοβολία στις περισσότερες μητροπολιτικές πόλεις και στα απομακρυσμένα χωριά (περιοχές με σοβαρή ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια). Έτσι, αξιολόγησε την ακρίβεια και την καταλληλότητα 36 υπαρχόντων και ανεπτυγμένων εμπειρικών μοντέλων Angstrom-Prescott, καθώς και 11 προσαρμοσμένων πιθανολογικών μοντέλων Gumbel για να εκτιμήσει την παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία σε διαφορετικές κλιματικές περιοχές της Νιγηρίας. Τα ευρήματά του αποδεικνύουν ότι το προτεινόμενο μοντέλο Gumbel επαρκεί ως έγκυρο μοντέλο πρόβλεψης και δύναται να συμβάλει στην ολιστική κατανόηση των διαθέσιμων ηλιακών πόρων στη Νιγηρία, αλλά και να διαδώσει την τεχνολογία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στη χώρα. (Nwokolo et al., 2022)

Ο P. St Flour ανέπτυξε ένα πολύ σημαντικό εργαλείο ποσοτικής μοντελοποίησης για τη μέτρηση της απόδοσης της βιωσιμότητας για μικρά νησιωτικά κράτη, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις τρεις πτυχές της βιωσιμότητας (περιβάλλον, κοινωνία, οικονομία) με ολοκληρωμένο τρόπο. Το κίνητρο για αυτή τη μελέτη πηγάζει από την επιτακτική ανάγκη πρωτοβουλιών με γνώμονα τα ανθρώπινα οφέλη, την οικονομική ευημερία και την προστασία του περιβάλλοντος, καθώς τα νησιά έχουν γίνει πιο ευάλωτα στις μη-αναστρέψιμες αλλαγές που έχουν επέλθει λόγω της κλιματικής αλλαγής. Έτσι, ανέπτυξε ένα εργαλείο αξιολόγησης βιωσιμότητας για μικρά νησιωτικά κράτη με βάση μια ασαφή μεθοδολογική προσέγγιση, ξεκινώντας την έρευνά του με τον εντοπισμό των δεικτών για το νησί του Μαυρίκιου. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν οι βέλτιστοι, ανάλογα με το επίπεδο σπουδαιότητάς τους για αυτήν την ερευνητική μελέτη, συλλέχθηκαν δεδομένα και εφαρμόστηκαν στο προτεινόμενο μοντέλο. Κατόπιν, διεξήχθη ανάλυση ευαισθησίας προκειμένου να τονιστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο το συνολικό σύστημα και τέλος, το μοντέλο επικυρώθηκε, χρησιμοποιώντας πρόσφατα δεδομένα. Οι παρατηρήσεις του οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η προσέγγιση ασαφούς λογικής επιδεικνύει μεγάλες συλλογιστικές ικανότητες, τις οποίες τα παραδοσιακά μαθηματικά εργαλεία δεν κατάφεραν να παράγουν. (St Flour & Bokhoree, 2022)

### 3. Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, παρατίθενται μερικές πληροφορίες για την περιοχή μελέτης, καθώς και για το διαθέσιμο δυναμικό ΑΠΕ, αλλά και το ενεργειακό προφίλ του νησιού. Έπειτα, πραγματοποιείται περιγραφή των μοντέλων πρόβλεψης και γίνεται αναφορά στους δείκτες, με τους οποίους συγκρίνονται και αξιολογούνται τα μοντέλα, με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου. Κατόπιν, αναλύεται η διαδικασία της μοντελοποίησης, αναφέροντας τις πηγές συλλογής δεδομένων, τα λογισμικά που αξιοποιήθηκαν, τον προσδιορισμό του ενεργειακού μίγματος και τις τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν. Τέλος, παρουσιάζονται τα σενάρια που σχεδιάστηκαν και προσομοιώθηκαν, προσδοκώντας στην επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης.

#### 3.1. Περιγραφή περίπτωσης μελέτης

Ως περίπτωση μελέτης ορίζεται το νησί της Μήλου, το οποίο βρίσκεται στην Ελλάδα και συγκεκριμένα, στο Αιγαίο πέλαγος. Η Μήλος εντάσσεται στην περιφέρεια των Κυκλάδων και ειδικά τα τελευταία είκοσι χρόνια αποτελεί ένα ιδιαίτερα διάσημο τουριστικό προορισμό κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, λόγω της μεγάλης ποσότητας παραλιών, των εντυπωσιακών φυσικών τοπίων (περιοχές όπως το Σαρακήνικο, το Κλέφτικο και η σπηλιά της Συκιάς), καθώς και της σημαντικής πολιτιστικής αξίας του (στο νησί βρέθηκε το άγαλμα της Αφροδίτης, το οποίο κοσμεί το μουσείο του Λούβρου). Στο νησί κατοικούν 5.193 κάτοικοι, σύμφωνα με τη διεθνή απογραφή του 2021 από την Elstat, ενώ η συνολική του έκταση ορίζεται στα 150,6 km<sup>2</sup>. Η πρωτεύουσα του νησιού ονομάζεται Πλάκα και αποτελεί το χωριό με το μεγαλύτερο υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας (220m), γεγονός το οποίο προσέδιδε στους κατοίκους του νησιού αμυντικό πλεονέκτημα εναντίον πιθανών εισβολών. Ακόμη και σήμερα αποτελεί έδρα για τις βασικότερες δημόσιες υπηρεσίες του νησιού (Δημαρχείο, Κέντρο υγείας, Αστυνομικό τμήμα, σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης) (E-kyklades.gr, n.d.).

Η Μήλος διαθέτει έναν από τους μεγαλύτερους φυσικούς όρμους στη Μεσόγειο και στο βορειοανατολικό άκρο του βρίσκεται το χωριό του Αδάμαντα, του οποίου το λιμάνι εξυπηρετεί την πλειοψηφία των ακτοπλοϊκών συγκοινωνιών. Παράλληλα, σημαντική ποσότητα σκαφών και πλοίων, ανεξαρτήτου μεγέθους, αξιοποιούν τον όρμο του Αδάμαντα με σκοπό την ολιγοήμερη επίσκεψη του νησιού, αλλά και την προστασία από μια ενδεχόμενη θαλασσοταραχή. Μάλιστα, κατά τη διάρκεια της επίσκεψής τους, παρέχεται από το λιμάνι ηλεκτρικό ρεύμα και πόσιμο νερό, συντελώντας στην οικονομική ενίσχυση του λιμένος, αλλά και ολοκλήρου του νησιού κατ' επέκτασιν (υποστήριξη τοπικών επιχειρήσεων). Από αυτό το γεγονός προέκυψε και το όνομα του χωριού, καθώς λόγω της εμπορικής του αξίας, αλλά και της γεωμορφολογικής μορφής του κόλπου που περιβάλλει το χωριό, το λιμάνι χαρακτηρίζεται ως το διαμάντι και ο κόλπος του ως ο δακτύλιος που το υποστηρίζει (Milosislandinfo.gr, n.d.).

Το νησί κατοικείται από τα προϊστορικά χρόνια και αποτελεί έως και σήμερα σημαντικό εμπορικό σταθμό, λόγω της σημαντικής ποικιλίας διαθέσιμων μεταλλευμάτων (οψιδιανός, καολίνη, ποζολάνη, μπεντονίτης, περλίτης, μυλόπετρες, πυριτικό, ζεόλιθοι, μαγγάνιο, βαρύτης, θείο), η οποία οφείλεται στις εκρήξεις των ηφαιστειών του νησιού (Milosminingmuseum.com, n.d.). Η βιομηχανία εξόρυξης ορυκτών πόρων αποτελεί μια πολύ σημαντική πηγή οικονομικού κέρδους για το νησί, καθώς προσφέρονται πολλές θέσεις μόνιμης εργασίας στους κατοίκους του. Στην **Εικόνα 3.1** παρουσιάζεται ένας δορυφορικός χάρτης του νησιού, μέσω του λογισμικού Google Maps.





**Εικόνα 3.1.** Χάρτης της περιοχής μελέτης μέσω του λογισμικού Google Maps

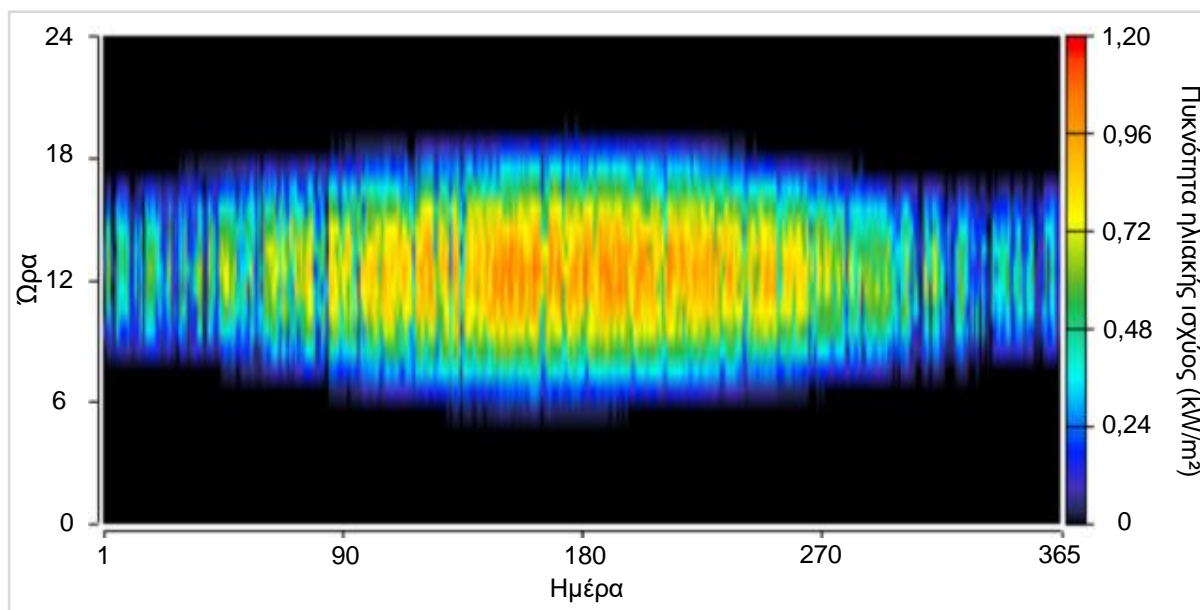
Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι το νησί της Μήλου διαθέτει υψηλό διαθέσιμο δυναμικό ΑΠΕ, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες μορφές. Οι πιο ενδεικτικές μορφές ΑΠΕ είναι η ηλιακή και η αιολική, οι οποίες υπερτερούν των υπολοίπων, λόγω του μεγαλύτερου διαθέσιμου δυναμικού, αλλά και της πιο εμπειριστατωμένης τεχνογνωσίας ως προς την εφαρμογή τους, η οποία συνεπάγεται πιο βελτιωμένους οικονομικούς όρους.

### 3.1.1. Ηλιακό δυναμικό περιοχής μελέτης

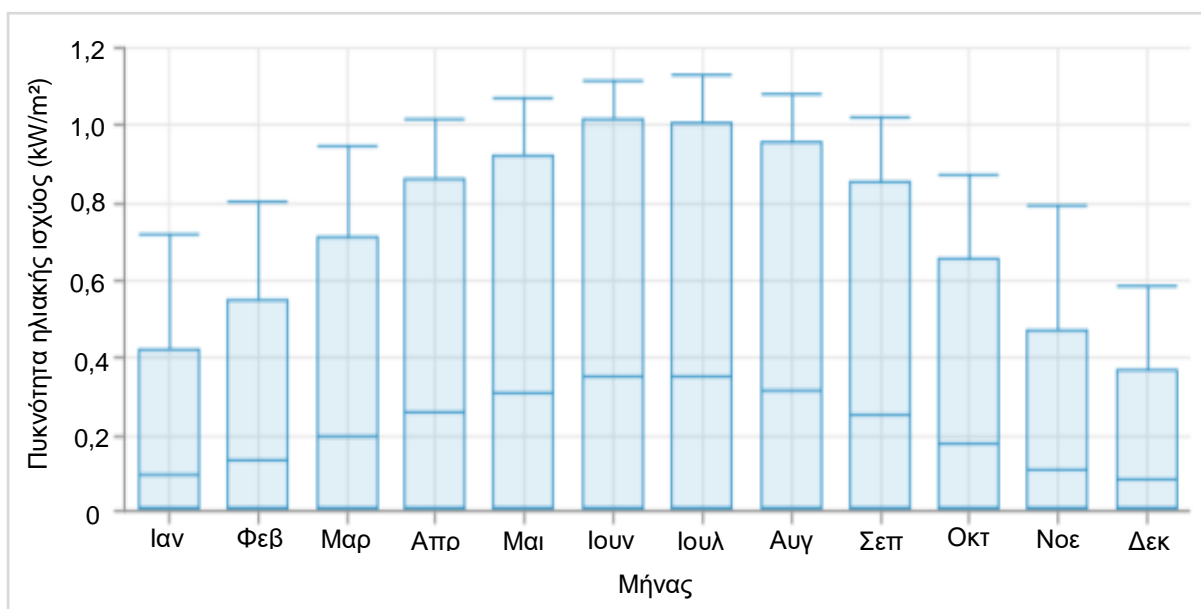
Στον **Πίνακα 3.1** παρατίθενται δεδομένα σχετικά με το ηλιακό δυναμικό της περιοχής μελέτης (Globalsolaratlas.info, n.d.), τα οποία επιβεβαιώνουν ότι η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου είναι ιδανική για την περιοχή μελέτης. Η παραπάνω παρατήρηση επιβεβαιώνεται από το **Διάγραμμα 3.1**, στο οποίο παρουσιάζεται το ωριαίο ηλιακό δυναμικό για την περιοχή μελέτης, καθώς και από το **Διάγραμμα 3.2**, όπου παρουσιάζεται η μηνιαία πυκνότητα ηλιακής ισχύος (Homereenergy.com, n.d.), καθώς εντοπίζονται πολλές ηλιόλουστες ημέρες κατά τη διάρκεια του έτους. Συγκεκριμένα, με μαύρο χρώμα απεικονίζονται οι νυχτερινές ώρες (μηδενική ηλιακή ακτινοβολία), με μπλε και πράσινο οι πρωινές και απογευματινές ώρες ( $<0,72\text{kW/m}^2$ ), ενώ με κίτρινο και κόκκινο φαίνονται οι μεσημβρινές, όταν η ηλιακή ισχύς λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της ( $>0,720,72\text{kW/m}^2$ ).

**Πίνακας 3.1.** Ετήσια ηλιακά δεδομένα για την περιοχή μελέτης

<b>Ειδική παραγωγή ισχύος φωτοβολταϊκού πλαισίου</b>	1.643,6 kWh/kWp
<b>Άμεση κανονική ακτινοβολία</b>	1.852,5 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία</b>	1.817,1 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία</b>	640,8 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Παγκόσμια ακτινοβολία υπό βέλτιστη γωνία κλίσης</b>	2.032,2 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Βέλτιστη κλίση φωτοβολταϊκών πλαισίων</b>	28/180°
<b>Θερμοκρασία αέρα</b>	18,6 °C
<b>Υψόμετρο εδάφους</b>	4 m



**Διάγραμμα 3.1.** Ηλιακό δυναμικό περιοχής μελέτης



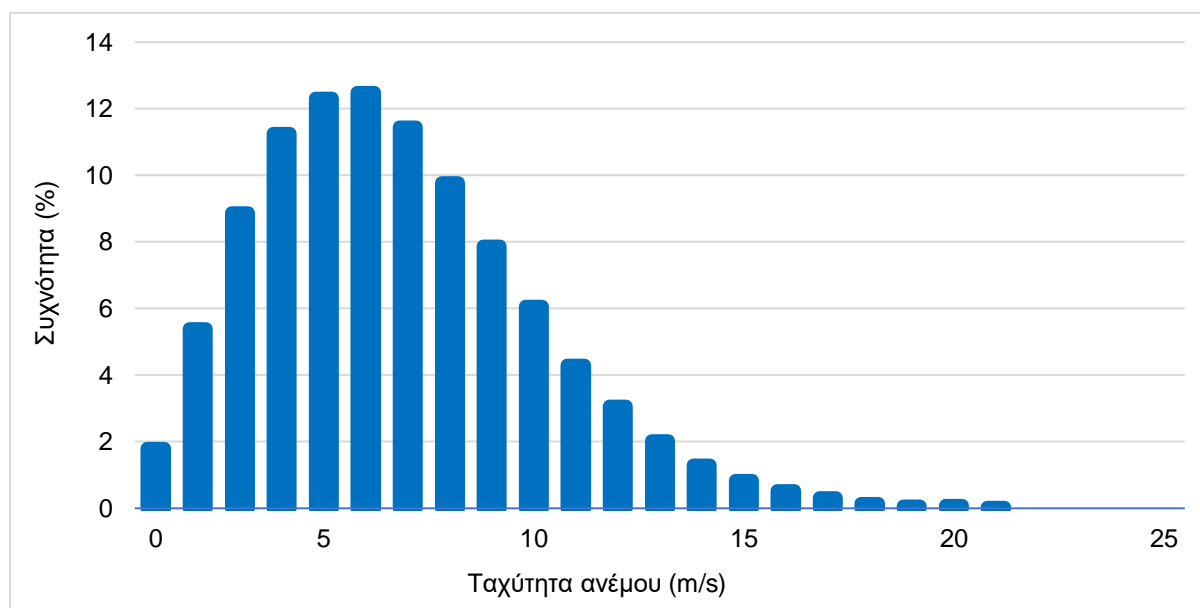
**Διάγραμμα 3.2.** Μηνιαία πυκνότητα ηλιακής ισχύος

### 3.1.2. Αιολικό δυναμικό περιοχής μελέτης

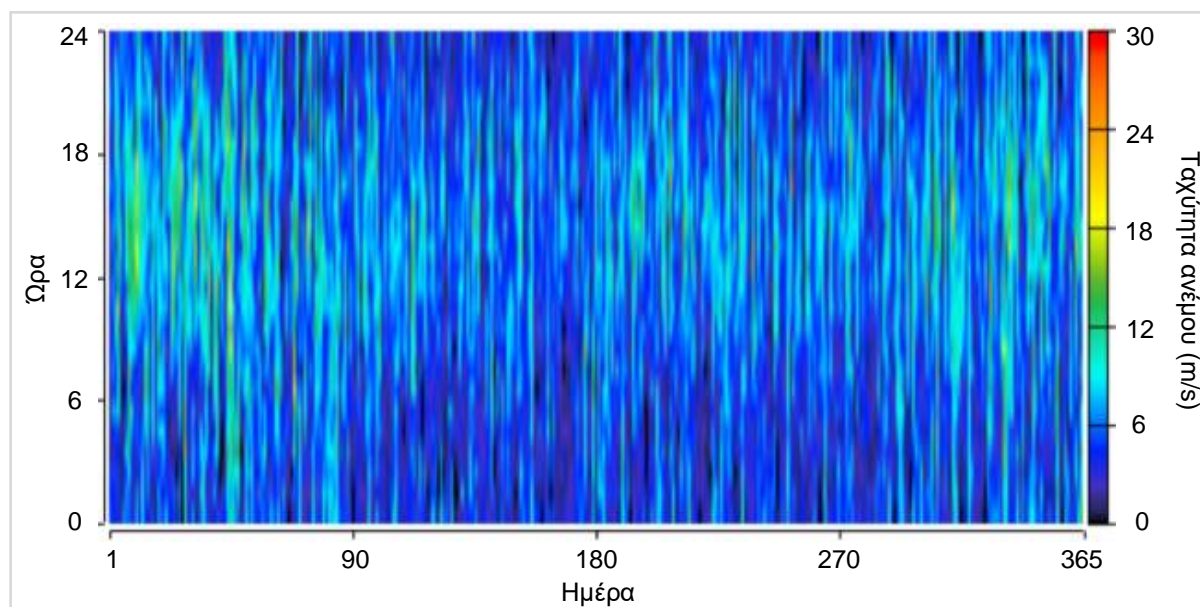
Στον **Πίνακα 3.2** παρατίθενται δεδομένα σχετικά με το αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης, τα οποία επιβεβαιώνουν ότι η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου είναι εφικτή (Globalwindatlas.info, n.d.). Η παραπάνω παρατήρηση επιβεβαιώνεται από το **Διάγραμμα 3.3**, στο οποίο παρουσιάζεται η συχνότητα εκδήλωσης της εκάστοτε ταχύτητας ανέμου για την περιοχή μελέτης, καθώς και από το **Διάγραμμα 3.4**, όπου παρουσιάζεται το ωριαίο ηλιακό δυναμικό της περιοχής (Homeenergy.com, n.d.), καθώς η πλειοψηφία των ημερών καθόλη τη διάρκεια του έτους δεν παρουσιάζει ακραίες τιμές ταχύτητας ανέμου (<20m/s). Συγκεκριμένα, με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι χαμηλές ταχύτητες ανέμου (<6m/s), με πράσινο οι μέτριες (<18m/s) και με κόκκινο οι υψηλές τιμές (>24m/s), οι οποίες και κρίνονται επικίνδυνες για τη λειτουργία ενός αιολικού πάρκου.

**Πίνακας 3.2.** Ετήσια αιολικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης

Μέση πυκνότητα ισχύος ανέμου (W/m <sup>2</sup> )	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)	Ύψος καταγραφής (m)
299	5,79	10
517	7,38	50
625	8,26	100
697	8,59	150
774	8,91	200



**Διάγραμμα 3.3.** Ιστόγραμμα συχνότητας για την ταχύτητα ανέμου στην περιοχή μελέτης

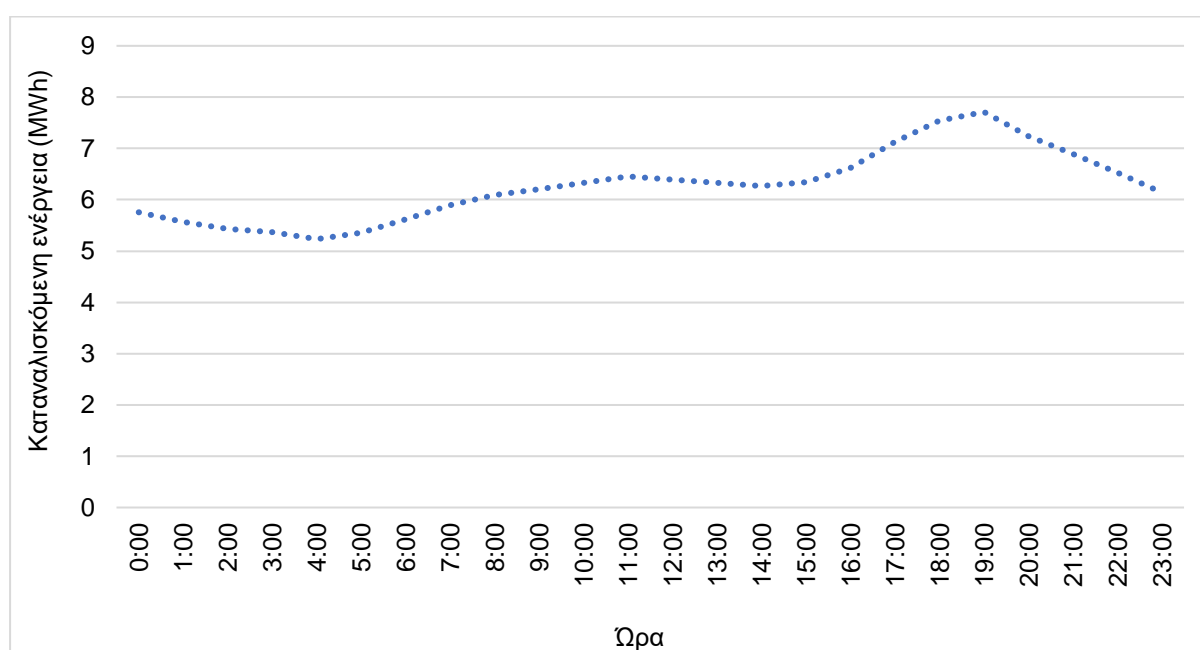


**Διάγραμμα 3.4.** Αιολικό δυναμικό περιοχής μελέτης

### 3.1.3. Ενεργειακό προφίλ νησιού

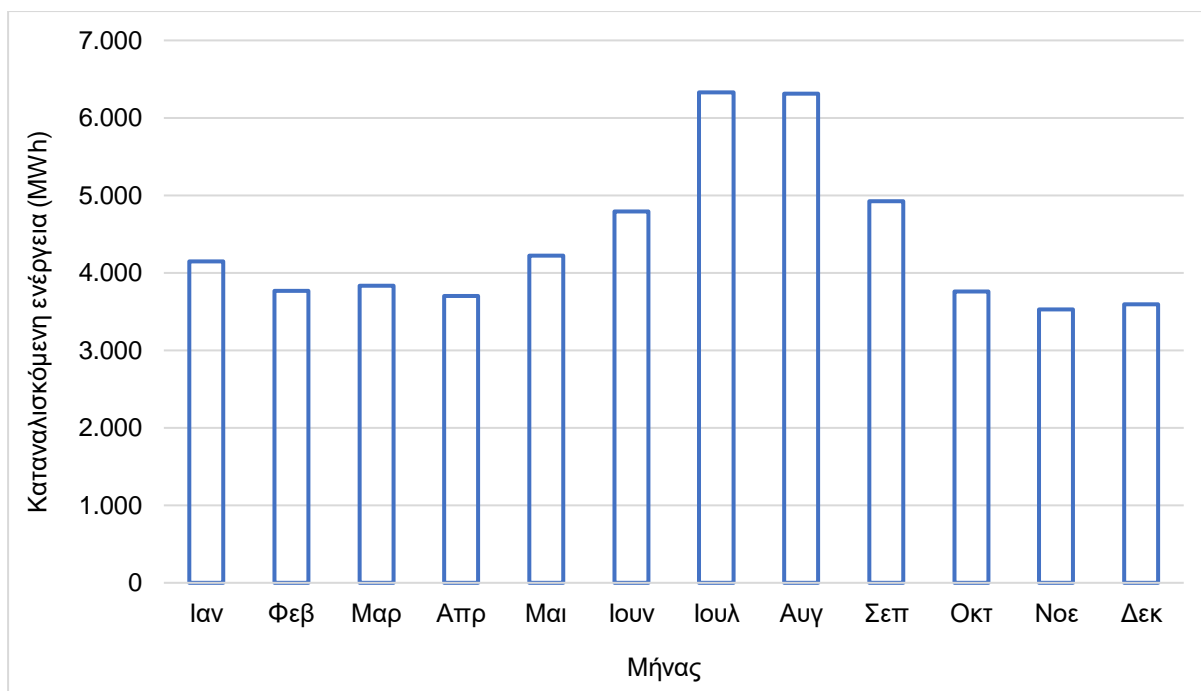
Κατόπιν επικοινωνίας και εξασφάλισης σχετικού δικαιώματος, λήφθηκαν από το τοπικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεδομένα σχετικά με την ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις χρονολογίες 2017, 2018 και 2019 για το νησί της Μήλου. Ο σταθμός εξυπηρετεί τις ανάγκες των μονίμων κατοίκων καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, καθώς επίσης και την εγκατάσταση της εταιρείας Imerys, η οποία εδρεύει στο νησί και αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες μονάδες στα Βαλκάνια, πραγματοποιώντας εξορύξεις και εκφορτώσεις ορυκτών μεταλλευμάτων.

Στο **Διάγραμμα 3.5** απεικονίζεται η μέση ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της περιοχής μελέτης, όπου γίνεται σαφής η αύξησή της κατά τη διάρκεια των πρώτων νυχτερινών ωρών (ενέργεια που ξοδεύεται στο φωτισμό).



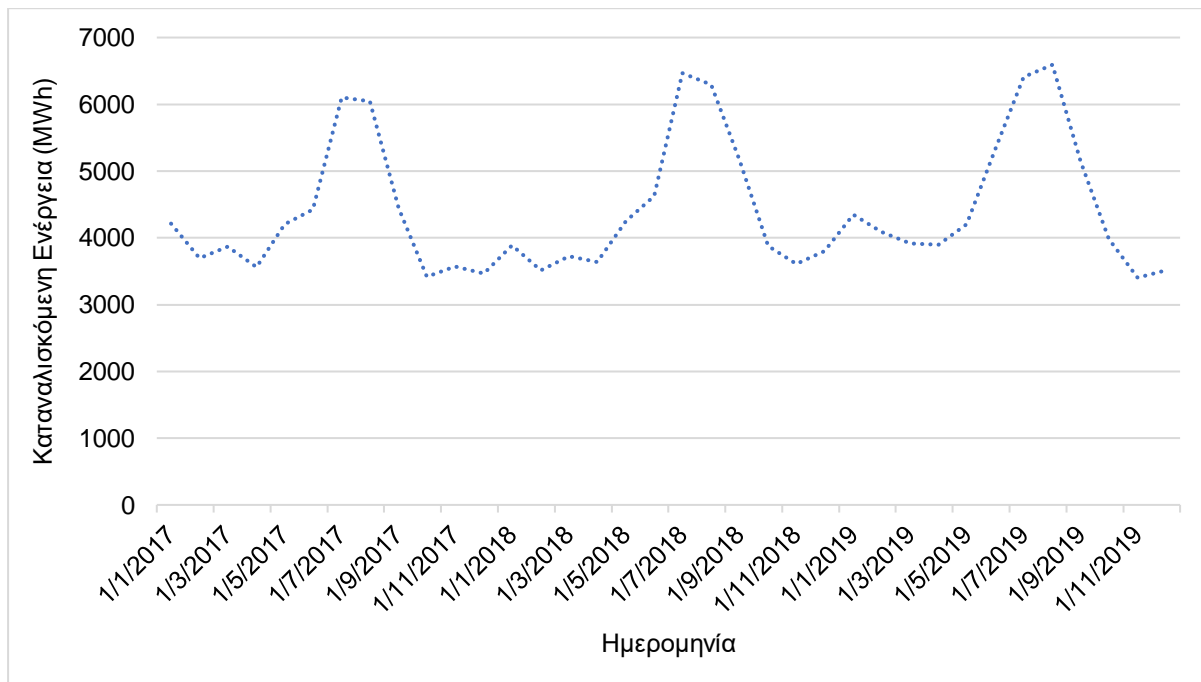
**Διάγραμμα 3.5.** Μέση ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί της Μήλου

Επιπλέον, παρατηρείται μια σταθερή μέση μηνιαία καταναλισκόμενη ενέργεια, η οποία διακόπτεται κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών και φανερώνεται από το **Διάγραμμα 3.6**. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην εποχική αύξηση της επισκεψιμότητας της περιοχής μελέτης από τουρίστες, η οποία σταδιακά ξεκινάει τον Ιούνιο, κορυφώνεται κατά τη διάρκεια του Ιουλίου και του Αυγούστου και λήγει κατά τον Σεπτέμβριο.



**Διάγραμμα 3.6.** Μέση μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί της Μήλου

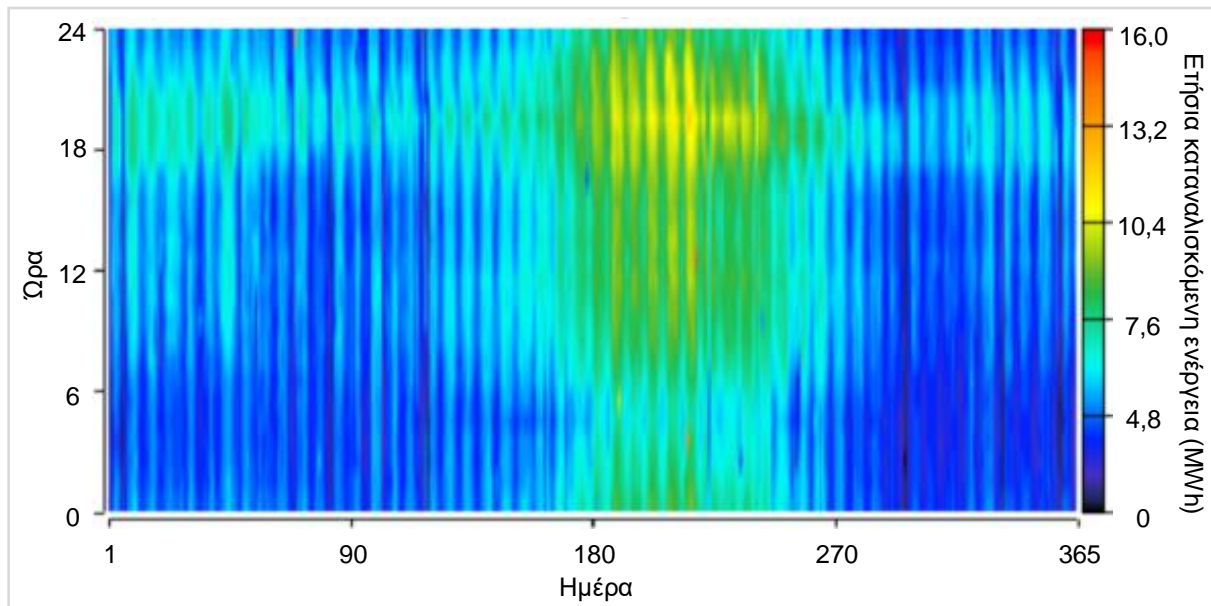
Στο **Διάγραμμα 3.7** απεικονίζεται η μηνιαία καταναλισκόμενη ενέργεια για κάθε έτος ξεχωριστά στην περιοχή μελέτης, και φανερώνεται εκ νέου η εποχική άνοδος της κατανάλωσης, η οποία οφείλεται στον τουρισμό, καθώς επίσης και η διαχρονικότητα των δεδομένων, καθώς η μηνιαία συμπεριφορά των 3 ετών είναι πανομοιότυπη.



**Διάγραμμα 3.7.** Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί της Μήλου

Τέλος, στο **Διάγραμμα 3.8** παρουσιάζεται η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του νησιού για κάθε ώρα του έτους (Nikolaos Sifakis et al., 2022). Συγκεκριμένα, με μπλε χρώμα φανερώνονται οι ώρες χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (<5MWh) και με πράσινο χρώμα

και κίτρινο χρώμα οι ώρες αυξημένης κατανάλωσης (>8MWh). Γίνεται λοιπόν σαφές ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις στην ωριαία καταναλισκόμενη ενέργεια.



**Διάγραμμα 3.8.** Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Μήλου

## 3.2. Περιγραφή μοντέλων πρόβλεψης

Στη συγκεκριμένη υποενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία πρόβλεψης του ενεργειακού προφίλ της περίπτωσης μελέτης για το έτος 2030.

### 3.2.1. Μοντέλα Γραμμικής Παλινδρόμησης (Linear Regression Models)

Η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης αποτελεί την πιο απλή και γνωστή μέθοδο στατιστικής και αξιοποιείται στη μοντελοποίηση της σχέσης ανάμεσα σε μια εξαρτώμενη μεταβλητή και μία ανεξάρτητη (ή περισσότερες). Περιγράφεται από την **Εξίσωση 3.1**.

$$Y = a \cdot X + b$$

**Εξίσωση 3.1.** Εξίσωση απλής γραμμικής παλινδρόμησης

Το  $Y$  αποτελεί την εξαρτώμενη μεταβλητή, το  $a$  δείχνει την κλίση της ευθείας, το  $X$  αποτελεί την ανεξάρτητη μεταβλητή και το  $b$  αποτελεί μια σταθερή τιμή. Στην περίπτωση περισσότερων ανεξαρτητών μεταβλητών (πλήθους  $n$ ), προκύπτει η **Εξίσωση 3.2**.

$$Y = a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \dots + a_n \cdot X_n + b$$

**Εξίσωση 3.2.** Εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης με  $n$  ανεξάρτητες μεταβλητές

Επιπλέον, στη γραμμική παλινδρόμηση υπάρχει το ενδεχόμενο αλληλεπίδρασης (interaction) ανάμεσα στις ανεξάρτητες μεταβλητές. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει η **Εξίσωση 3.3**.

$$Y = a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 \cdot X_4 + \dots + a_n \cdot X_n + b$$

**Εξίσωση 3.3.** Εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης με  $n$  ανεξάρτητες μεταβλητές και αλληλεπίδραση

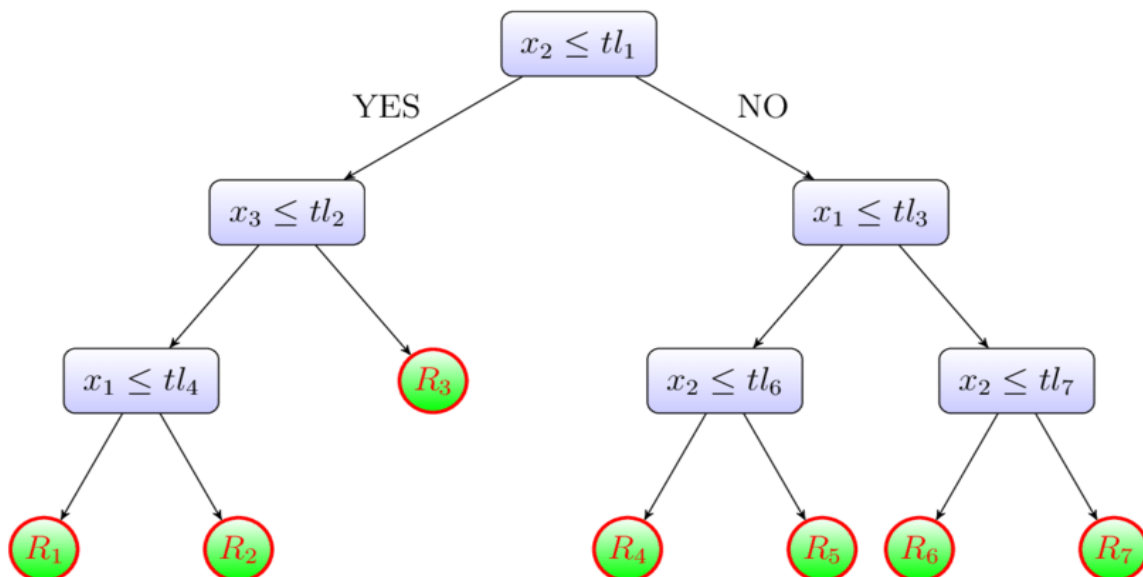


Μια ακόμη γραμμική μέθοδος προσαρμογής είναι η σταδιακή πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (stepwise regression), στην οποία η επιλογή των προγνωστικών μεταβλητών πραγματοποιείται με μια αυτόματη διαδικασία. Συγκεκριμένα, σε κάθε βήμα λαμβάνεται υπόψη μια μεταβλητή, είτε για πρόσθεση είτε για αφαίρεση από το σύνολο των ανεξάρτητων μεταβλητών, με βάση κάποιο προκαθορισμένο κριτήριο. Οι συνηθέστερες επιπλέον μορφές πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι η προς τα εμπρός, η προς τα πίσω και η συνδυασμένη ακολουθία.

Τέλος, κατά την περίπτωση της ισχυρής παλινδρόμησης (robust regression), ορίζεται ο στόχος εύρεσης μιας σχέσης ανάμεσα στις ανεξάρτητες μεταβλητές και την εξαρτώμενη, ώστε να ξεπεραστούν ενδεχόμενοι περιορισμοί των παραμετρικών και μη παραμετρικών μεθόδων. Ενδεικτικότερη μορφή ισχυρής παλινδρόμησης αποτελεί η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων (Cohen et al., 2013).

### 3.2.2. Δέντρα Αποφάσεων (Decision Trees)

Τα δέντρα αποφάσεων αποτελούν μια μέθοδο, κατά την οποία το μοντέλο πρόβλεψης χρησιμοποιείται για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με ένα σύνολο παρατηρήσεων (μεταβλητές εισαγωγής). Ένα δέντρο αποφάσεων διαχωρίζεται σε επιμέρους κόμβους, οι οποίοι αποτελούν τις ρίζες του και είναι συνδεδεμένοι με τις εκάστοτε μεταβλητές εισαγωγής, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά ταξινόμησής τους. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε παραγόμενο υποσύνολο, με αναδρομικό τρόπο και ονομάζεται αναδρομική κατάτμηση. Όταν το υποσύνολο ενός κόμβου έχει λάβει τις ίδιες τιμές (φύλλα δέντρου) με τη μεταβλητή στόχου ή ο διαχωρισμός δεν προσθέτει περεταίρω αξία στις προβλέψεις, η διαδικασία της αναδρομής ολοκληρώνεται (Rokach & Maimon, 2013). Ένα παράδειγμα δέντρου αποφάσεων παρουσιάζεται στην **Εικόνα 3.2**.



**Εικόνα 3.2.** Παράδειγμα δέντρου αποφάσεων (Akbari et al., 2021)

### 3.2.3. Παλινδρόμηση Διαδικασίας Gauss (Gaussian Process Regression-GPR)

Η παλινδρόμηση διαδικασίας Gauss είναι μια στοχαστική, μη παραμετρική προσέγγιση, η οποία βασίζεται στο θεώρημα του Bayes. Το βασικότερο χαρακτηριστικό της διαδικασίας είναι η δυνατότητα υπολογισμού της κατανομής πιθανότητας σε κάθε αποδεκτή συνάρτηση (αντί μιας συγκεκριμένης), λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα δεδομένα.

Η προσέγγιση μιας απλής γραμμικής συνάρτησης  $Y = a \cdot X + b$  βασίζεται στον προσδιορισμό της προηγούμενης κατανομής  $p(a)$ , στην παράμετρο  $a$  και τη μετατόπιση των πιθανοτήτων λαμβάνοντας υπόψη την παρατήρηση δεδομένων, σύμφωνα με τον κανόνα Bayes (**Εξίσωση 3.4**).

$$p(a|Y, X) = \frac{p(Y|X, a) \cdot p(a)}{p(Y|X)}$$

**Εξίσωση 3.4.** Προσέγγιση απλής γραμμικής συνάρτησης κατά Bayes

Ένα μοντέλο πρόβλεψης GPR αξιοποιεί το "κόλπο του πυρήνα" (kernel trick), ώστε να προσαρμοστεί στη συνάρτηση στόχου. Έπειτα, υπολογίζει τη συνδιακύμανση της προηγούμενης κατανομής με την αντικειμενική συνάρτηση και τα παρατηρούμενα δεδομένα εκπαίδευσης, αξιοποιώντας τον πυρήνα και προσδιορίζει τη συνάρτηση πιθανότητας. Η επιλογή των βασικών υπερπαραμέτρων πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη την κλίση της συνάρτησης οριακής πιθανότητας και παράγει ένα σημαντικό αριθμό διαστημάτων εμπιστοσύνης, καθώς επίσης και οπίσθιων δειγμάτων και προβλέψεων, μέσω της διαδικασίας εκμάθησης ενός μοντέλου γενετικής πιθανότητας της αντικειμενικής συνάρτησης.

Η συνάρτηση παλινδρόμησης που μοντελοποιείται από ένα GPR φαίνεται στην **Εξίσωση 3.5**.

$$P(f|X) = N(f|\mu, K)$$

**Εξίσωση 3.5.** Συνάρτηση παλινδρόμησης GPR

όπου  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ ,  $f = [f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)]$ ,  $\mu = [m(x_1), m(x_2), \dots, m(x_n)]$  και  $K_{i,j} = k(x_i, x_j)$ .

Τα  $X$  είναι τα παρατηρούμενα σημεία δεδομένων, το  $m$  αντιπροσωπεύει τη μέση συνάρτηση και το  $k$  αποτελεί μια θετική καθορισμένη συνάρτηση πυρήνα. Χωρίς παρατήρηση, η μέση συνάρτηση ορίζεται από προεπιλογή ως  $m(X) = 0$ , δεδομένου ότι τα δεδομένα συχνά κανονικοποιούνται σε μηδενικό μέσο όρο. Το μοντέλο διεργασιών Gauss είναι μια κατανομή σε συναρτήσεις των οποίων το σχήμα (ομαλότητα) ορίζεται από το  $K$ . Εάν τα σημεία  $x_i$  και  $x_j$  θεωρούνται παρόμοια από τον πυρήνα, οι έξοδοι συνάρτησης των δύο σημείων,  $f(x_i)$  και  $f(x_j)$ , αναμένεται επίσης να είναι παρόμοιες (Wang, 2020).



### 3.2.4. Συνδυαστικές Μέθοδοι (Ensemble Method)

Οι συνδυαστικές μέθοδοι βασίζονται στη χρήση πολλαπλών αλγορίθμων μάθησης για να επιτύχουν καλύτερη προγνωστική απόδοση, συγκριτικά με έναν επιμέρους αλγόριθμο μάθησης, ο οποίος αποτελεί συστατικό τους. Κάθε αλγόριθμος που χρησιμοποιεί ένα συνδυαστικό μοντέλο εκμάθησης, διαιρεί τυχαία το σύνολο δεδομένων σε διαφορετικά υποσύνολα προς εκπαίδευση (train). Στη συνέχεια, διεξάγεται ψηφοφορία (vote) και δίνεται σε κάθε μέθοδο ίσο ή διαφορετικό βάρος (weight), λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις αξιολόγησης και σε περίπτωση παλινδρόμησης, επιλέγεται η τιμή με τις περισσότερες ψήφους. Η αξιολόγηση της πρόβλεψης ενός συνόλου απαιτεί κατά κανόνα περισσότερους υπολογισμούς από την αξιολόγηση της πρόβλεψης ενός μεμονωμένου μοντέλου. Συνεπώς, η εκμάθηση συνόλου μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τρόπος αντιστάθμισης αλγορίθμων μάθησης με χαμηλή ακρίβεια, εκτελώντας περισσότερους υπολογισμούς.

Ένα σύστημα συνόλου μπορεί να είναι αποτελεσματικότερο στη βελτίωση της συνολικής ακρίβειας για την ίδια αύξηση στους πόρους υπολογισμού, αποθήκευσης ή επικοινωνίας, χρησιμοποιώντας αυτήν την αύξηση σε δύο ή περισσότερες μεθόδους, απ' ό,τι θα βελτιωνόταν με την αύξηση της χρήσης πόρων για μία μόνο μέθοδο. Γρήγοροι αλγόριθμοι όπως τα δέντρα αποφάσεων χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεθόδους συνόλου αν και πιο αργοί αλγόριθμοι μπορούν επίσης να ωφεληθούν από τις τεχνικές συνόλου.

Η μέθοδος των ενισχυμένων δέντρων (Boosted Trees), η οποία βασίζεται στη διεξαγωγή ψηφοφορίας αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη συνδυαστική μέθοδο μάθησης. Συγκεκριμένα, εκχωρούνται βάρη, σε μορφή ψήφων, με βάση την εμπιστοσύνη του κάθε μοντέλου και στη συνέχεια, συνδυάζονται μοντέλα του ίδιου αλγορίθμου. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη οποιαδήποτε γνώση αποκτήθηκε από προηγούμενα μοντέλα, εκτελείται μια επαναληπτική διαδικασία, αποσκοπώντας στη βελτίωση το επόμενου μοντέλου προς ανάπτυξη.

Επιπλέον, μια άλλη μέθοδος είναι ο αλγόριθμος Bagged Trees, ο οποίος περιγράφει μια κλασική προσέγγιση αλγορίθμου εκμάθησης και χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό των ίδιων μεθόδων. Συγκεκριμένα, αξιοποιούνται πολλαπλά δέντρα απόφασης, όπου το αντίστοιχο σύνολο εκπαίδευσης που θα ληφθεί ως είσοδος, επιλέγεται τυχαία. Το κάθε υποσύνολο εκπαίδευσης είναι ένα μέρος του αρχικού προπονητικού συνόλου και η κάθε επιμέρους επανάληψη της μάθησης δημιουργεί νέους συνδυασμούς, αφαιρώντας κάθε φορά τους πιο ανακριβείς (Bonab & Can, 2016).

### 3.2.5. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks)

Το νευρωνικό δίκτυο ορίζεται ως μια σειρά αλγορίθμων, η οποία προσπαθεί να αναγνωρίσει τις υποκείμενες σχέσεις σε ένα σύνολο δεδομένων μέσω μιας διαδικασίας που μιμείται τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Ένα τεχνικό νευρωνικό δίκτυο φέρει την ικανότητα εκπαίδευσης, καθώς επίσης και εκτέλεσης μιας συγκεκριμένης λειτουργίας, προσαρμόζοντας τις τιμές των συνδέσεων (βάρη) μεταξύ των στοιχείων έτσι ώστε μια καθορισμένη είσοδος να οδηγεί σε μια καθορισμένη έξοδο, η οποία αποτελεί στόχο. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες νευρωνικών δικτύων αναφορικά με τον τρόπο σύνδεσης των στοιχείων:

- Οπίσθια τροφοδότηση
- Πρόσθια τροφοδότηση

Στα οπισθίως τροφοδοτούμενα νευρωνικά δίκτυα, τα οποία ονομάζονται και ανατροφοδοτούμενα, τα στοιχεία ενός επιπέδου δύνανται να τροφοδοτήσουν τις μονάδες του ίδιου, αλλά και του προηγούμενου επιπέδου. Σε περίπτωση ανατροφοδότησης κόμβων ιδίου επιπέδου, τα τεχνικά νευρωνικά δίκτυα ορίζονται ως αυτοσυσχετιζόμενες μνήμες. Ειδικά, ορίζονται ως ετεροσυσχετιζόμενες.

Στην περίπτωση της πρόσθιας τροφοδότησης (γνωστή και ως πολυστρωματικό perceptron), η οποία είναι και η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη, τα επιμέρους στοιχεία ταξινομούνται σε διαφορετικά επίπεδα, ώστε τα στοιχεία του προηγούμενου επιπέδου να τροφοδοτούν τα αντίστοιχα του επομένου. Η πρόσθια τροφοδότηση είναι οργανωμένη σε στρώματα συλλογής νευρώνων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρεμβολή κάποιας συνάρτησης  $f^*$ , στοχεύοντας στη βέλτιστη προσέγγισή της από τη συνάρτηση  $f$ . Η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου επιτελείται αφού ολοκληρωθεί η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης απώλειας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (**Εξίσωση 3.6**) (Mao et al., 2021).

$$Loss_{MSE} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (f^*(u) - f(u))^2$$

**Εξίσωση 3.6.** Εξίσωση ελαχιστοποίησης μέσου τετραγωνικού σφάλματος

### 3.3. Δείκτες σύγκρισης μοντέλων

Για κάθε μοντέλο, επιτελείται η διαδικασία της εκπαίδευσης (train), αξιοποιώντας αληθινά μετεωρολογικά δεδομένα και στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης, τα οποία πηγάζουν από τη NASA και τον τοπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής της Μήλου αντίστοιχα, καλύπτοντας τα χρονολογικά έτη 2017, 2018 και 2019. Έπειτα, ελέγχεται η ακρίβεια της πρόβλεψης κάθε μοντέλου για τις τιμές καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Έτσι, φανερώνονται ενδεχόμενες διαφορές ανάμεσα στα μοντέλα και τις πραγματικές τιμές. Οι δείκτες μέσω των οποίων συγκρίνονται τα μοντέλα ως προς την ακρίβειά τους σε πρόβλεψη, λαμβάνοντας υπόψιν και τα αληθινά δεδομένα, παρουσιάζονται παρακάτω (Statology.org, n.d.):

#### 3.3.1. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Squared Error – MSE)

Το μέσο τετράγωνο σφάλμα (MSE) είναι ένα μέτρο του πόσο κοντά είναι μια προσαρμοσμένη γραμμή στα σημεία δεδομένων. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των επιμέρους σφαλμάτων, ο οποίος αποτελεί τη μέση τετραγωνική διαφορά ανάμεσα στις εκτιμώμενες και στις πραγματικές τιμές. Στην ουσία, καθορίζει την ποιότητα του εκτιμητή, καθώς είναι πάντοτε μη αρνητικό και λαμβάνει ως βέλτιστη τιμή το μηδέν.

Για ένα διάνυσμα, το οποίο αποτελείται από  $n$  προβλέψεις και σχηματίζεται από ένα δείγμα σημείων  $n$  δεδομένων σε όλες τις μεταβλητές, όπου το  $Y$  αποτελεί το διάνυσμα των τιμών που παρατηρούνται σχετικά με την προς πρόβλεψη μεταβλητή και το  $\hat{Y}$  ορίζει τις προβλεπόμενες τιμές, το MSE υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.7**.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n}$$

**Εξίσωση 3.7.** Εξίσωση υπολογισμού μέσου τετραγωνικού σφάλματος

### 3.3.2. Ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error – RMSE)

Το RMSE αποτελεί την τετραγωνική ρίζα του δείκτη MSE. Ο βασικός λόγος χρήσης της ρίζας του MSE είναι οι κοινές μονάδες μέτρησης με την εκτιμώμενη ποσότητα. Υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.8**.

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

**Εξίσωση 3.8.** Εξίσωση υπολογισμού τετραγωνικής ρίζας μέσου τετραγωνικού σφάλματος

## 3.4. Περιγραφή διαδικασίας μοντελοποίησης

Σε αυτό το υποκεφάλαιο αναλύονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και αξιοποιήθηκαν, τα προγράμματα που κατέστησαν εφικτή την πρόβλεψη της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2030 και της μοντελοποίησης του νησιού, το τρέχον ενεργειακό μίγμα του νησιού, καθώς επίσης και οι τεχνολογίες που εξετάστηκαν στο σύστημα.

### 3.4.1. Δεδομένα προς συλλογή

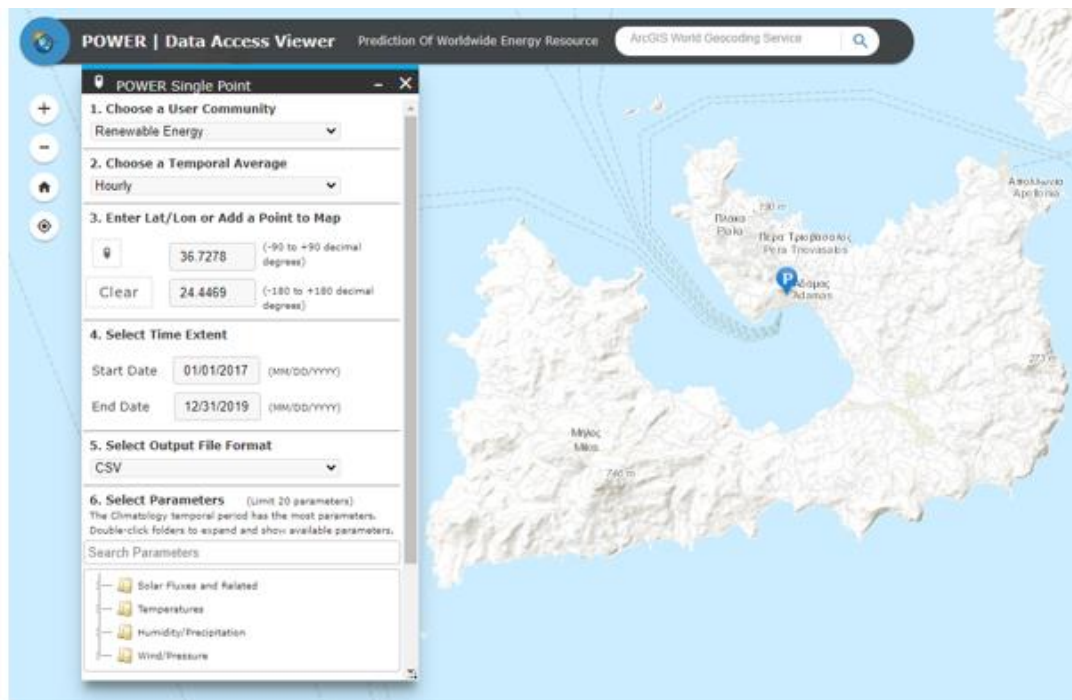
Η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων για τη δημιουργία και την εφαρμογή των μοντέλων πρόβλεψης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την περιοχή μελέτης κατά το χρονολογικό έτος 2030 βασίστηκε σε 3 διαφορετικές πηγές. Αρχικά, έγινε συλλογή των υπαρχόντων ωριαίων δεδομένων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα έτη 2017, 2018 και 2019, μετά από σχετική παραχώρησή τους από τον τοπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής. Έπειτα, συλλέχθηκαν από το σύστημα της NASA μετεωρολογικά στοιχεία για τις προαναφερθείσες χρονολογίες. Στη συνέχεια, μέσω του λογισμικού Meteoporm εκτιμήθηκαν τα αντίστοιχα μετεωρολογικά δεδομένα για τη χρονολογία 2030, ώστε να καταστεί εφικτή η διεξαγωγή πρόβλεψης. Η μεταβλητή πρόβλεψης (response) ορίζεται από το χρήστη να είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (σε MWh). Στον **Πίνακα 3.3** παρατίθενται τα δεδομένα για τις μεταβλητές που συλλέχθηκαν:

**Πίνακας 3.3.** Μεταβλητές που εφαρμόστηκαν κατά τη διαδικασία της πρόβλεψης

Μεταβλητή	Μονάδα μέτρησης
Χρονικό Βήμα (Timestep)	-
Εποχή του έτους (Season)	-
Μήνας του έτους (Month)	-
Ημέρα της εβδομάδας (Week's day)	-
Ημέρα του έτους (Year's day)	-
Ώρα του έτους (Hour)	-
Θερμοκρασία (Temperature)	°C
Σχετική Υγρασία (Relative Humidity)	%
Σημείο Δρόσου (Dewpoint)	°C
Ύψος κατακρήμνισης (Precipitation)	mm
Ταχύτητα Ανέμου (Wind Speed)	km/h
Ηλιακή Ακτινοβολία (Solar Radiation)	W/m <sup>2</sup>

#### 3.4.1.1. NASA-Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)

Μέσω της ιστοσελίδας της NASA-POWER παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα συλλογής ηλιακών και μετεωρολογικών δεδομένων, σε μορφή χρονοσειρών, από την έρευνα της NASA για τα τελευταία 40 ημερολογιακά έτη. Το πρόγραμμα βασίζεται στη λειτουργία δορυφόρων και μοντέλων, τα οποία έχουν αποδειχθεί αρκετά ακριβή ώστε να παρέχουν αξιόπιστα δεδομένα, ακόμα και σε δυσπρόσιτες περιοχές, όπου οι επιφανειακές μετρήσεις είναι αραιές ή ανύπαρκτες. Σκοπός της έρευνας είναι η υποστήριξη μιας ενδεχόμενης εγκατάστασης συστημάτων ΑΠΕ, ο καθορισμός της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και η βελτιστοποίηση γεωργικών δραστηριοτήτων. Στην **Εικόνα 3.3** παρουσιάζεται η διαδικασία συλλογής ωριαίων δεδομένων για την περιοχή μελέτης για τις χρονολογίες 2017, 2018 και 2019 (Power.larc.nasa.gov, n.d.).



**Εικόνα 3.3.** Συλλογή δεδομένων από το σύστημα της NASA-POWER

#### 3.4.1.2. Meteonorm

Το Meteonorm (έκδοση 7.3.4) αποτελεί ένα λογισμικό, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων, παράγοντας ακριβείς χρονοσειρές δεδομένων, τόσο για το παρελθόν, όσο και για το μέλλον. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψιν σενάρια, τα οποία πηγάζουν από την επιστημονική διακυβερνητική επιτροπή IPCC, το λογισμικό επιτρέπει την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών για την κάθε παράμετρο. Στην **Εικόνα 3.4** παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού (Meteonorm.com, n.d.)



Εικόνα 3.4. Εξαγωγή πρόβλεψης με το λογισμικό Meteonorm

### 3.4.2. Λογισμικά πρόβλεψης και μοντελοποίησης

Για την εξαγωγή προβλέψεων της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιήθηκε το λογισμικό Matlab, τόσο για την περίπτωση των προβλέψεων με χρήση μηχανικής μάθησης, όσο και για την αντίστοιχη των νευρωνικών δικτύων. Έπειτα, αξιοποιήθηκε το λογισμικό Homer PRO, ώστε να προσομοιωθούν διάφορα σενάρια, με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης, η οποία ικανοποιεί όλες τις πτυχές της βιωσιμότητας (οικονομική ευημερία, κοινωνική αποδοχή, προστασία του περιβάλλοντος).

#### 3.4.2.1. MATLAB

Το MATLAB είναι μια πλατφόρμα προγραμματισμού και αριθμητικών υπολογιστών που χρησιμοποιείται από εκατομμύρια μηχανικούς και επιστήμονες για την ανάλυση δεδομένων, την ανάπτυξη αλγορίθμων και τη δημιουργία μοντέλων. Θεωρείται πολύ εύχρηστο, καθώς παρέχει μια τεράστια εργαλειοθήκη η οποία προσδίδει πολλές δυνατότητες, όπως η επεξεργασία σήματος και εικόνας, τα συστήματα ελέγχου, οι ασύρματες επικοινωνίες, η υπολογιστική χρηματοδότηση, η ρομποτική, η βαθιά μάθηση, η τεχνητή νοημοσύνη, τα νευρωνικά δίκτυα και άλλα. Οι σημαντικότεροι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης και νευρωνικών δικτύων, οι οποίοι παρέχονται στο Matlab παρατίθενται παρακάτω (Mathworks.com, n.d.):

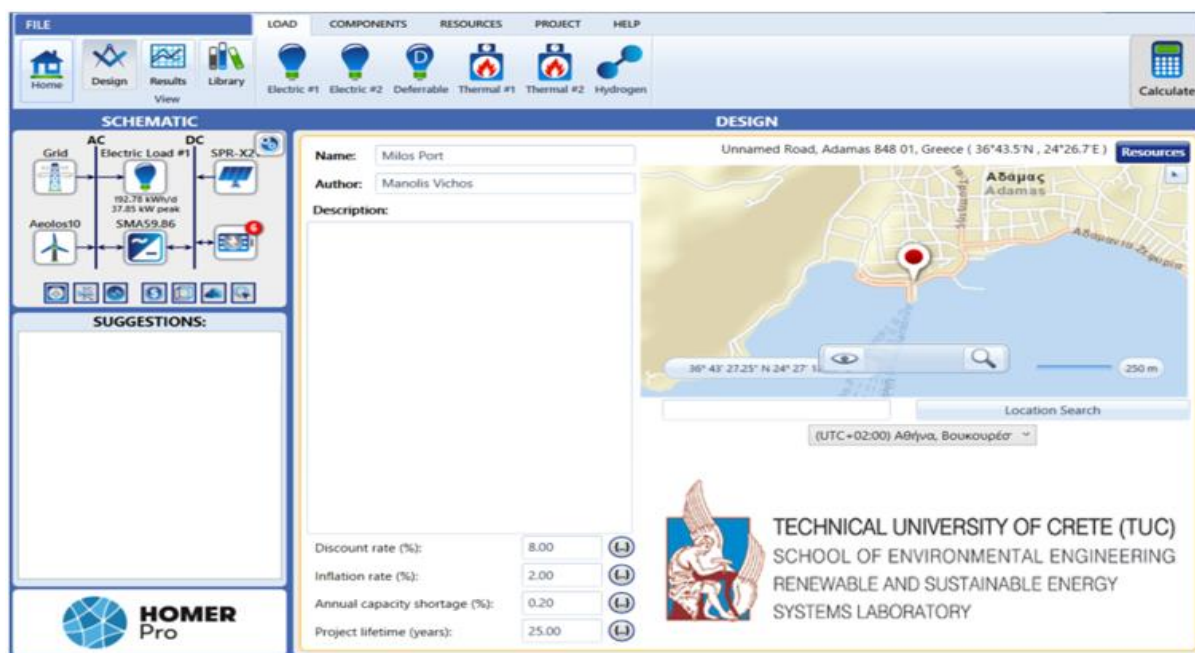
- Linear Regression
- Interactions Linear Regression
- Robust Linear Regression
- Stepwise Linear Regression
- Fine Tree
- Medium Tree
- Coarse Tree
- Optimizable Tree
- Boosted Trees
- Bagged Trees
- Optimizable Ensemble
- Squared Exponential GPR
- Mattern 5/2 GPR
- Exponential GPR
- Rational Quadratic GPR
- Optimizable GPR
- Narrow Neural Network
- Medium Neural Network
- Wide Neural Network
- Bilayered Neural Network
- Trilayered Neural Network

### 3.4.2.2. Homer PRO

Το Homer Pro® microgrid αποτελεί λογισμικό της HOMER Energy (έκδοση 3.14.2), το οποίο αξιοποιείται παγκοσμίως ως ένα εργαλείο βελτιστοποίησης για το σχεδιασμό μιας ενεργειακής κοινότητας. Το λογισμικό έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται στην εκάστοτε περιοχή μελέτης, ανεξαρτήτως τομέα εφαρμογής και συνεπώς προσδίδει στο χρήστη τη δυνατότητα αξιολόγησης ενεργειακών σχεδίων, τα οποία σχετίζονται με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, ανεξαρτήτως πηγής τροφοδοσίας (συμβατικό δίκτυο παροχής ή αυτόνομη μονάδα).

Για την επίτευξη του ορθού σχεδιασμού ενός συστήματος, απαιτείται ο συντονισμός ορισμένων βασικών παραμέτρων, όπως η στοχευμένη αξιοποίηση τεχνολογιών για την παραγωγή ενέργειας, ανάλογα με την υφιστάμενη περιοχή μελέτης. Ο ορισμός των παραμέτρων σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των τεχνολογικών επιλογών, τις ενδεχόμενες αλλαγές του κόστους, αλλά και τη διαθεσιμότητα πηγών παραγωγής ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη κάθε ρυθμιστική παράμετρο, το Homer PRO προσομοιώνει το υπό μελέτη ενεργειακό σύστημα και προτείνει εναλλακτικές λύσεις, οι οποίες προσφέρουν μια ποικιλία διαφορετικών προοπτικών αποσκοπώντας στην ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους και του κόστους επένδυσης, ενώ παράλληλα, η χρήση ορυκτών καυσίμων αντικαθίσταται από ΑΠΕ, εξαλείφοντας τους εκπνεύμενους αέριους ρύπους. Επιπλέον, εξασφαλίζεται η δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας του συστήματος, για ορισμένο χρονικό διάστημα, μέσω της χρήσης τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας και διεξάγεται ανάλυση της ευαισθησίας και του κύκλου ζωής των επιμέρους έργων. Στην **Εικόνα 3.5** παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού (Homerenergy.com, n.d.).

Τέλος, η αξιοποίηση πραγματικών δεδομένων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία συλλέχθηκαν από τον τοπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής του υπό μελέτη νησιού, καθώς επίσης και η διεξαγωγή προβλέψεων μέσω των μοντέλων, εξασφαλίζουν μια εκτίμηση της μελλοντικής κατανάλωσης ενέργειας για την περιοχή μελέτης, βελτιστοποιώντας τη διαδικασία. Η πρόβλεψη αυτή γίνεται με την υπόθεση ότι θα συνεχιστεί το ίδιο μοτίβο κατανάλωσης και στο μέλλον. Ως χρόνος ζωής του έργου ορίζονται τα 25 έτη.



Εικόνα 3.5. Περιβάλλον εργασίας λογισμικού Homer PRO

Το κόστος του προτεινόμενου συστήματος υπολογίζεται ως το άθροισμα κάθε επιμέρους στοιχείου. Συγκεκριμένα, τα προστιθέμενα έξοδα αφορούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τις ανεμογεννήτριες και το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (**Εξίσωση 3.9**) (Homerenergy.com, n.d.).

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

**Εξίσωση 3.9.** Συνολικό κόστος συστήματος

Όπου  $C_{PV}$  είναι το κόστος για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια,  $C_{WT}$  το κόστος των ανεμογεννητριών και  $C_{ESS}$  το κόστος των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.

Καθένα από αυτά τα κόστη υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.10** (Homerenergy.com, n.d.).

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

**Εξίσωση 3.10.** Υπολογισμός κόστους για κάθε τεχνολογία του συστήματος

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 3.11** (Homerenergy.com, n.d.).

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

**Εξίσωση 3.11.** Υπολογισμός καθαρής παρούσας αξίας του συστήματος

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

Το ισοδύναμο κόστος ενέργειας υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.12** (Homerenergy.com, n.d.).

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

**Εξίσωση 3.12.** Υπολογισμός ισοδύναμου κόστους ενέργειας

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

### 3.4.3. Ενεργειακό μίγμα

Ένα πολύ σημαντικό στάδιο στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο προσδιορισμός του τρέχοντος ενεργειακού μίγματος για την περιοχή μελέτης. Ως ενεργειακό μίγμα ορίζεται η καταγραφή της κάθε επιμέρους συνεισφοράς από όλες τις ενεργειακές πηγές, οι οποίες αξιοποιούνται στην ηλεκτροπαραγωγή. Έτσι, καθίσταται εφικτός ο προσδιορισμός του οικολογικού αποτυπώματος για την περιοχή, ενώ παράλληλα, προστίθεται ο παράγοντας της περιβαλλοντικής υπόστασης στην αξιολόγηση των ενδεχόμενων σεναρίων που προσομοιώνονται (Vichos et al., 2022).

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η συλλογή ωριαίων δεδομένων σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τον τοπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής και λήφθηκαν στοιχεία σχετικά με τους ενεργειακούς πόρους, οι οποίοι αξιοποιούνται. Έτσι, προσδιορίστηκε το ποσοστό συνεισφοράς της κάθε ενεργειακής πηγής, είτε πρόκειται για τις υφιστάμενες μονάδες ΑΠΕ (φωτοβολταϊκό πάρκο και αιολικό πάρκο), είτε για τις μηχανές καύσης ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο diesel και αργό πετρέλαιο/mazut) του σταθμού. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή μελέτης βασίζεται σε πολύ σημαντικό βαθμό στην καύση ορυκτών καυσίμων, καθώς αποτελεί το 88,86% επί της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής, ενώ οι ΑΠΕ συνεισφέρουν το υπόλοιπο 11,14%.

Έπειτα, λαμβάνοντας υπόψιν το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, προσδιορίστηκε ο συντελεστής σχετικά με την εκπομπή αέριων ρύπων προς την ατμόσφαιρα (σε μονάδες ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub>-e) ανά παραχθείσα kWh ηλεκτρικής ενέργειας. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 3.4** (Technical Chamber of Greece, 2017).

**Πίνακας 3.4.** Συντελεστές μετατροπής της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε πρωτογενή και εκπομπής ρύπων

Μορφή παραγόμενης ενέργειας	Ηλεκτρική
Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας $\left(\frac{\text{kg CO}_2\text{-e}}{\text{kWh}}\right)$	0,989

Έπειτα, για τα γνωστά ποσοστά συμμετοχής κάθε ενεργειακής πηγής στην ηλεκτροπαραγωγή, λαμβάνοντας υπόψιν τις μηδενικές εκπομπές ρύπων από ΑΠΕ, προκύπτει η **Εξίσωση 3.13**.

$$\left. \begin{aligned} EF_{\text{Diesel+Mazut}} &= 88,86\% \cdot 0,989 = 0,879 \\ EF_{\text{ΑΠΕ}} &= 11,14\% \cdot 0 = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow EF_{\text{Total}} = 0,879 \frac{\text{kgCO}_2 - \text{e}}{\text{kWh}}$$

**Εξίσωση 3.13.** Συντελεστής εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα με βάση το ενεργειακό μίγμα για την περιοχή μελέτης

#### 3.4.4. Τεχνολογίες συστήματος

Στο στάδιο της μοντελοποίησης προσομοιώθηκαν διάφορα σενάρια, προσδοκώντας στην εύρεση του βέλτιστου, λαμβάνοντας υπόψιν τον οικονομικό παράγοντα, ενώ παράλληλα, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ σε σημαντικότερο ποσοστό, αξιοποιήθηκαν οι εξής τεχνολογίες: **φωτοβολταϊκό πλαίσιο, μετατροπέας τάσης, ανεμογεννήτρια και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.**

##### 3.4.4.1. Φωτοβολταϊκό (Φ/Β) πλαίσιο

Το επιλεγμένο Φ/Β πλαίσιο είναι το μοντέλο X21-335-BLK της εταιρείας SunPower και συνδυάστηκε με το μετατροπέας τάσης STP 60-US-10 (400 VAC) της εταιρείας SMA America. Στον **Πίνακα 3.5** περιγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Φ/Β.

**Πίνακας 3.5.** Τεχνικά Χαρακτηριστικά για το Φ/Β πλαίσιο SunPower X21-335-BLK.

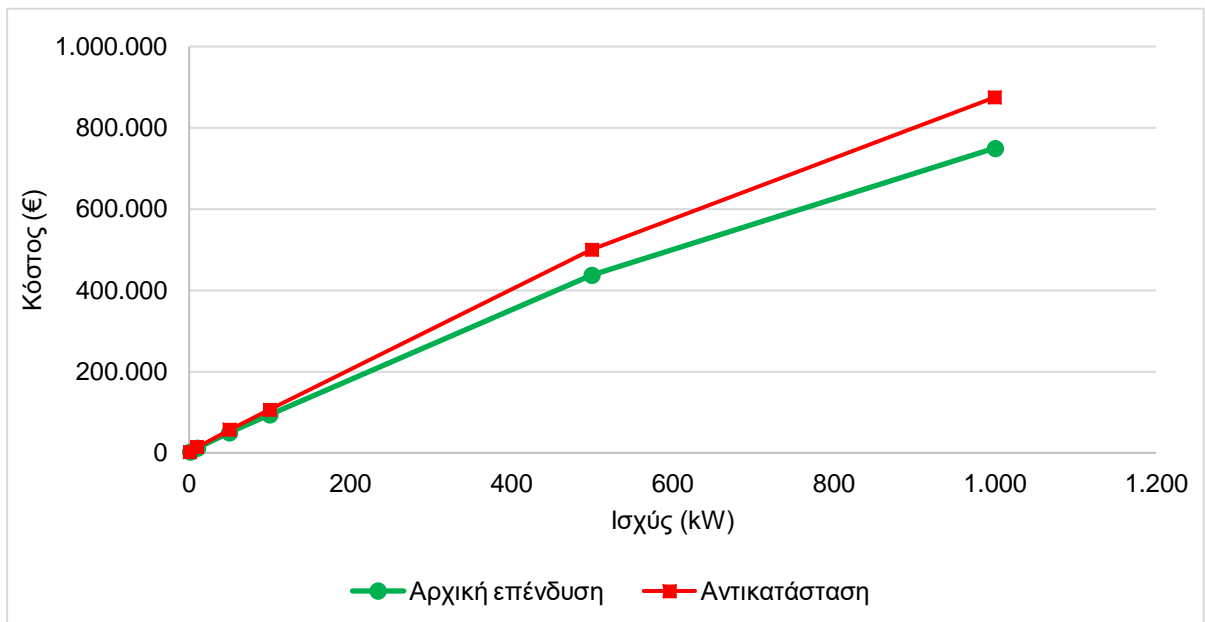
Ισχύς ανά πλαίσιο (kW)	0,335
Βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	43
Αποδοτικότητα (%)	21
Χρόνος ζωής (y)	25



Κατόπιν, προσδιορίστηκε αθροιστικά το κόστος για το Φ/Β πλαίσιο και το μετατροπέα τάσης, λαμβάνοντας υπόψιν ότι η αύξηση της επένδυσης δύναται να επιφέρει μια πιο συμφέρουσα οικονομική συμφωνία, όπως φανερώνεται στον **Πίνακας 3.6** και στο **Διάγραμμα 3.9**. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψιν τον παράγοντα χωρητικότητας, ορίζεται ως μέγιστη δυνατή εγκατεστημένη ισχύ η κατασκευή ενός Φ/Β πάρκου των 10MW.

**Πίνακας 3.6.** Μεταβολή του κόστους (€) ως προς την εγκατεστημένη ισχύ (kW) για το Φ/Β πλαίσιο SunPower X21-335-BLK.

Ισχύς (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Ετήσιο κόστος συντήρησης (€/y)
1	1.750	2.000	10
10	11.250	13.750	100
50	50.000	55.000	500
100	90.000	100.000	1.000
500	425.000	500.000	5.000
1.000	750.000	850.000	10.000



**Διάγραμμα 3.9.** Μεταβολή κόστους (€) ως προς την εγκατεστημένη ισχύ λειτουργίας (kW) για το Φ/Β πλαίσιο SunPower X21-335-BLK.

Το ωριαίο δυναμικό παραγωγής ενέργειας για το Φ/Β πάνελ υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.14** (Jahangir et al., 2020).

$$P_{PV} = Y_{PV} \cdot f_{PV} \cdot \frac{I_T}{I_S} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_{cell} - T_S)]$$

**Εξίσωση 3.14.** Υπολογισμός ωριαίου δυναμικού παραγωγής Φ/Β πάνελ

Όπου  $Y_{PV}$  είναι η ονομαστική χωρητικότητα του Φ/Β,  $f_{PV}$  ο λόγος μείωσης,  $I_T$  η προσπίπτουσα ακτινοβολία,  $I_S$  η τυπική ακτινοβολία δοκιμής,  $\alpha$  ο συντελεστής θερμοκρασίας,  $T_{cell}$  η θερμοκρασία του στοιχείου και  $T_S$  η θερμοκρασία σε κανονικές συνθήκες δοκιμής.

Η συνολική ακτινοβολία για το Φ/Β υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.15** (Nikolaos Sifakis et al., 2021).

$$I_{ts} = I_{bs} \cdot R_{sh,s} + I_{ds} \cdot R_{ds} + (I_{bs} + I_{ds}) \cdot R_{rs}$$

**Εξίσωση 3.15.** Υπολογισμός συνολικής ακτινοβολίας Φ/Β

Όπου  $I_{bs}$  είναι η μέση ηλιακή ακτινοβολία,  $R_{sh,s}$  η αντίσταση διακλάδωσης του ήλιου,  $I_{ds}$  η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία του Φ/Β,  $R_{ds}$  ο συντελεστής διάχυτης κλίσης και  $R_{rs}$  ο συντελεστής κλίσης για τις ανακλώμενες ηλιακές ακτινοβολίες.

Η μέγιστη ισχύς των ηλιακών Φ/Β υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.16** (Dawoud, 2021).

$$P_{ARR} = N_{ss} \cdot N_{ps} \cdot P_{Ms}$$

**Εξίσωση 3.16.** Υπολογισμός μέγιστης ισχύος Φ/Β πλαισίου

Όπου  $N_{ss}$  είναι τα συνδεδεμένα ηλιακά φωτοβολταϊκά πλαίσια στη σειρά,  $N_{ps}$  τα συνδεδεμένα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία σε διακλάδωση, and  $P_{Ms}$  η ηλιακή ισχύς του Φ/Β.

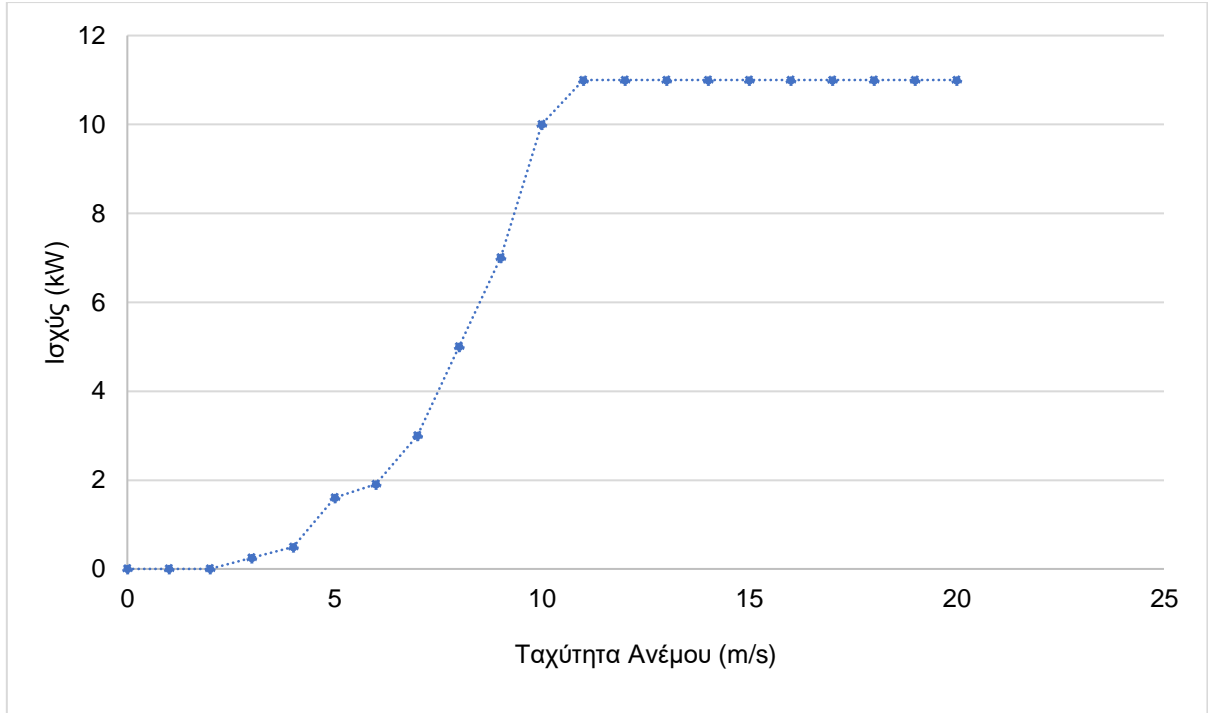
Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι στην περιοχή μελέτης η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ονομαστικής ισχύος 100kW, απαιτεί 2.700 m<sup>2</sup> έκτασης. Λαμβάνοντας υπόψιν το διαθέσιμο χώρο προς εγκατάσταση μιας σχετικής μονάδας στο νησί της Μήλου, όπου η πλειοψηφία του νησιού αποτελείται είτε από κατοικήσιμες είτε από προστατευόμενες περιοχές, η μέγιστη διαθέσιμη έκταση ισούται με 270.000 m<sup>2</sup>. Συνεπώς, η μέγιστη ονομαστική ισχύς δεν μπορεί να ξεπερνά τα 10.000 kW.

### 3.4.4.2. Ανεμογεννήτρια (Α/Γ)

Η Α/Γ που επιλέχθηκε είναι το μοντέλο LTW80 1000kW από την εταιρεία Leitwind. Τα τεχνικά της χαρακτηριστικά παρατίθενται στον **Πίνακα 3.7**. Ως προς την απόδοσή της, όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 3.10**, η τιμή ισχύος ως προς την ταχύτητα του ανέμου δεν ακολουθεί γραμμική συμπεριφορά, καθώς οι υψηλές ταχύτητες ανέμου ενδέχεται να προκαλέσουν φθορά και για αυτό η λειτουργία της Α/Γ περιορίζεται.

**Πίνακας 3.7.** Τεχνικά Χαρακτηριστικά της Α/Γ Aeolos H-10kW

Ονομαστική Ισχύς (kW)	1000
Ελάχιστη επαρκής ταχύτητα ανέμου (m/s)	2,50
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου (m/s)	10
Ύψος πλήμνης (m)	80
Χρόνος Ζωής (y)	20
Αποδοτικότητα (%)	95
Κόστος Αρχικής επένδυσης ανά τεμάχιο (€)	2.000.000
Κόστος αντικατάστασης ανά τεμάχιο (€)	2.250.000
Ετήσιο κόστος συντήρησης ανά τεμάχιο (€/y)	50.000



**Διάγραμμα 3.10.** Μεταβολή στην ισχύ της Α/Γ (kW) ως προς την ταχύτητα του ανέμου (m/s)

Η ταχύτητα του ανέμου, σύμφωνα με το ύψος της πλήμνης, υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.17** (Dawoud, 2021).

$$U_s = U_i \cdot \left[ \frac{h}{h_i} \right]^x$$

**Εξίσωση 3.17.** Υπολογισμός ταχύτητας ανέμου

Όπου  $U_s$  είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $h$ ,  $U_i$  η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $h_i$  και  $x$  ο νόμος ισχύος.

Η μηχανική ισχύς μιας Α/Γ υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.18** (Dawoud, 2021).

$$P_m = C_p(\lambda, \beta) \cdot \frac{\rho \cdot A}{2} \cdot U_w^3$$

**Εξίσωση 3.18.** Υπολογισμός μηχανικής ισχύος Α/Γ

Όπου  $P_m$  είναι η μηχανική ισχύς της Α/Γ,  $C_p$  ο συντελεστής απόδοσης,  $\lambda$  ο λόγος ταχύτητας προς κορυφή ενός πτερυγίου ρότορα,  $\beta$  η γωνία κλίσης του πτερυγίου σε μοίρες,  $\rho$  η πυκνότητα του αέρα,  $A$  η περιοχή σάρωσης της Α/Γ, and  $U_w$  η ταχύτητα του ανέμου.

Η ισχύς της Α/Γ υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.19** (Amrollahi & Bathaee, 2017).

$$P_{WT}(t) = \begin{cases} 0, & U_w \leq U_{cut-in} \text{ or } U_w \geq U_{cut-out} \\ P_r \cdot \left( \frac{U_w^3 - U_{cut-in}^3}{U_r^3 - U_{cut-in}^3} \right), & U_{cut-in} < U_w \leq U_r \\ P_r, & U_r < U_w \leq U_{cut-out} \end{cases}$$

**Εξίσωση 3.19.** Υπολογισμός ισχύος Α/Γ

Όπου  $U_r$  είναι η ονομαστική ταχύτητα,  $U_{\text{cut-in}}$  η ταχύτητα αποκοπής εντός,  $U_{\text{cut-out}}$  η ταχύτητα αποκοπής εκτός και  $P_r$  η ισχύς στην ονομαστική ταχύτητα.

#### 3.4.4.3. Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (ΣΑΕ)

Η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί μια διαδικασία άρρηκτα συνδεδεμένη με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Ο βασικότερος τρόπος αποθήκευσης της (περίσσειας) παραχθείσας ενέργειας εστιάζεται στη χρήση μπαταριών. Το μοντέλο που επιλέχθηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι το 250kW-8h Cellcube® FB250-2000 από την εταιρεία Gildemeister. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον **Πίνακας 3.8**.

**Πίνακας 3.8.** Τεχνικά χαρακτηριστικά μπαταριών συστήματος

Gildemeister 250kW-8h Cellcube® FB250-2000	Ονομαστική Τάση (V)	700
	Ονομαστική Χωρητικότητα (kWh)	2.480
	Μέγιστη Χωρητικότητα (kAh)	3.54
	Χρόνος ζωής (y)	25,10
	Κόστος Αρχικής επένδυσης ανά τεμάχιο (€)	600.000
	Κόστος αντικατάστασης ανά τεμάχιο (€)	600.000
	Κόστος συντήρησης ανά τεμάχιο (€)	1.000

Η ενέργεια ενός ΣΑΕ υπολογίζεται από την **Εξίσωση 3.20** (Baneshi & Hadianfard, 2016).

$$Q_{ESS} = Q_{ESS,0} + \int_0^t V_{ESS} \cdot I_{ESS} dt$$

**Εξίσωση 3.20.** Υπολογισμός ενέργειας ενός ΣΑΕ

Όπου  $Q_{ESS,0}$  είναι η αρχική στάθμη φόρτισης,  $V_{ESS}$  είναι η τάση του ΣΑΕ και  $I_{ESS}$  η ένταση του ΣΑΕ.

### 3.5. Περιγραφή σεναρίων προς μοντελοποίηση

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορα εναλλακτικά σενάρια, τα οποία αποσκοπούν στον εκσυγχρονισμό του νησιού της Μήλου, μετατρέποντάς το από συμβατικό σε σύγχρονο. Το κάθε σενάριο αξιολογείται με βάση τις τρεις πτυχές της βιωσιμότητας (περιβάλλον, οικονομία, κοινωνία) και προσομοιώνεται, λαμβάνοντας υπόψιν τη βέλτιστη πρόβλεψη για την ενεργειακή κατανάλωση του έτους 2030.

Αρχικά, στα συστήματα του πρώτου σεναρίου, παρουσιάζεται μια προσομοίωση, κατά την οποία δεν πραγματοποιείται καμία παρέμβαση στο σύστημα, αναδεικνύοντας τη μελλοντική κατάσταση στο νησί, με βάση το προβλεφθέν ενεργειακό του μίγμα. Κατόπιν, εξετάζονται τρία σενάρια, στα οποία πραγματοποιείται προσθήκη ΑΠΕ στο σύστημα. Συγκεκριμένα, στο σύστημα του δεύτερου σεναρίου γίνεται προσθήκη Φ/Β πλαισίων, στο σύστημα του τρίτου σεναρίου προστίθεται στο σύστημα η τεχνολογία των Α/Γ, ενώ στο σύστημα του τέταρτου σεναρίου εξετάζεται η περίπτωση του συνδυασμού των δύο προαναφερθέντων τεχνολογιών. Στη συνέχεια, προσομοιώνονται τρία επιπλέον σενάρια, τα οποία έχουν κοινές ρυθμιστικές παραμέτρους με τα συστήματα του δεύτερου, του τρίτου και του τέταρτου σεναρίου κατ'αντιστοιχία, ενώ παράλληλα εισάγεται και η τεχνολογία των ΣΑΕ. Έτσι, καθίσταται εφικτή η αποθήκευση της περίσσειας παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ, προσφέροντας

ευστάθεια στο σύστημα. Μάλιστα, το κάθε σύστημα εξασφαλίζει ενεργειακή αυτονομία για χρονικό διάστημα ίσο με 12 ώρες, προσφέροντας τη δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας για ένα επαρκές χρονικό διάστημα, ώστε να αποκατασταθεί μια ενδεχόμενη βλάβη.

Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός πως σε κάθε προσομοιωμένο σενάριο λαμβάνεται υπόψιν ο συμψηφισμός ανάμεσα στην παραγόμενη και την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (Net-Metering), προσδίδοντας στο σύστημα τη δυνατότητα αντιστάθμισης της ιδιοκατανάλωσης του. Οι ρυθμιστικές παράμετροι για κάθε σενάριο που προσομοιώθηκε παρουσιάζονται στον **Πίνακας 3.9**.

**Πίνακας 3.9.** Ρυθμιστικές παράμετροι για το κάθε σενάριο

Σενάριο	Φ/Β	Α/Γ	ΣΑΕ
1	×	×	×
2	✓	×	×
3	×	✓	×
4	✓	✓	×
5	✓	×	✓
6	×	✓	✓
7	✓	✓	✓

## 4. Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται αρχικά μια παρουσίαση των μοντέλων πρόβλεψης που εξετάστηκαν, προσδοκώντας στη βέλτιστη πρόβλεψη, μέσω συγκρίσεων, της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί της Μήλου κατά το έτος 2030. Έπειτα, αξιοποιώντας τα δεδομένα του μοντέλου, λαμβάνει χώρα μια σειρά από προσομοιώσεις σεναρίων, τα οποία αξιολογούνται, προσδοκώντας στην εύρεση του βέλτιστου σεναρίου για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης. Τέλος, πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας του προτεινόμενου βέλτιστου σεναρίου, εξετάζοντας πιθανές μεταβολές των παραμέτρων του συστήματός του.

### 4.1. Παρουσίαση μοντέλων πρόβλεψης

Κατά τη διεξαγωγή πρόβλεψης της μελλοντικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για το 2030, λήφθηκαν υπόψιν διάφοροι τύπων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και νευρωνικών δικτύων. Σε κάθε ένα από τα μοντέλα που εξετάστηκαν, χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες μεταβλητές, οι οποίες αναγράφονται στον **Πίνακας 3.3**. Τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται στον **Πίνακας 4.1**.

**Πίνακας 4.1.** Αποτελέσματα αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και νευρωνικών δικτύων

	<b>Αλγόριθμος Μηχανικής Μάθησης</b>	<b>RMSE</b>
<b>Linear Regression</b>	Interactions Linear Regression	0,939
	Robust Linear Regression	1,178
	Stepwise Linear Regression	0,940
<b>Tree</b>	Fine Tree	0,618
	Medium Tree	0,673
	Coarse Tree	0,751
	Optimizable Tree	0,618
<b>Ensemble methods</b>	Boosted Trees	0,887
	Bagged Trees	0,547
	Optimizable Ensemble	0,500
<b>Gaussian Process Regression</b>	Squared Exponential GPR	0,749
	Matern 5/2 GPR	0,686
	Exponential GPR	0,514
	Rational Quadratic GPR	0,609
	Optimizable GPR	0,458
<b>Neural Network</b>	Narrow Neural Network	0,874
	Medium Neural Network	0,765
	Wide Neural Network	0,664
	Bilayered Neural Network	0,823
	Trilayered Neural Network	0,797

Ελέγχοντας την τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE), φανερώνεται ότι τα δύο μοντέλα με τη βέλτιστη απόδοση είναι το **Optimizable Ensemble** και το **Optimizable GPR**.

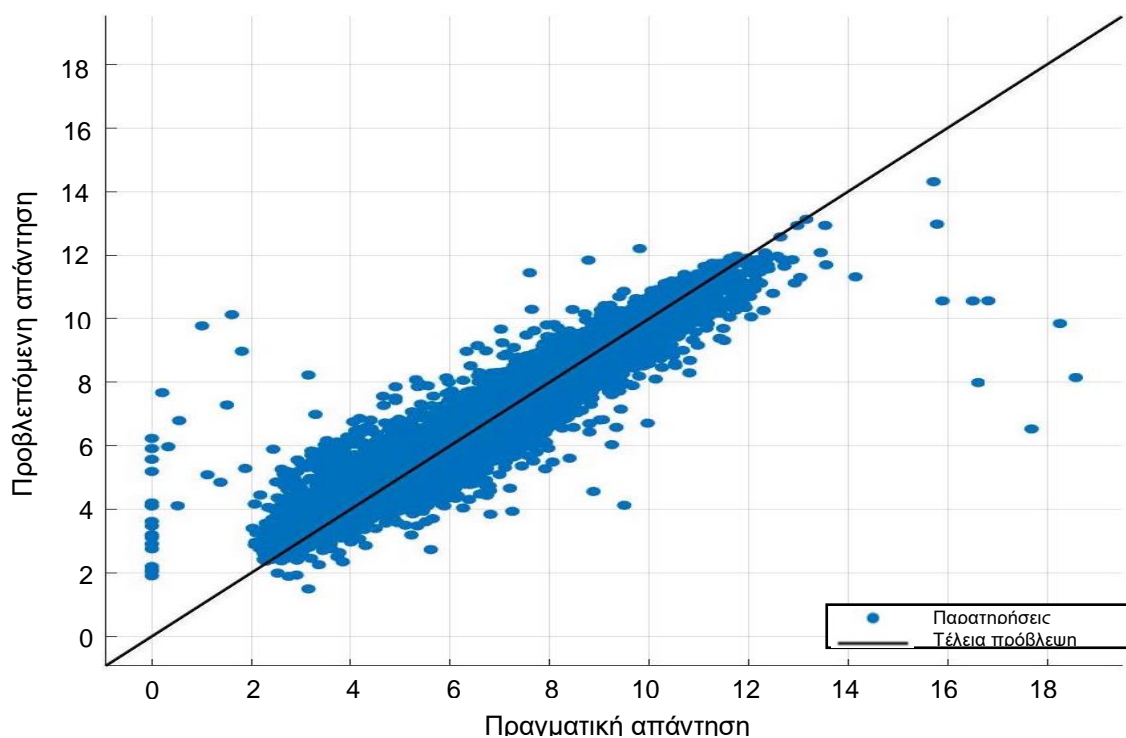
#### 4.1.1. Optimizable Ensemble

Το μοντέλο μηχανικής μάθησης Optimizable Ensemble σημείωσε τη δεύτερη χαμηλότερη ρίζα τετραγωνικού σφάλματος (RMSE=0,500 MWh), κατά το στάδιο της εκπαίδευσης, ενώ παράλληλα επετεύχθη υψηλή ακρίβεια, όπως φανερώνεται από το συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2=0,93$ ). Στον **Πίνακας 4.2** παρατίθενται οι τιμές μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ωριαίας κατανάλωσης με βάση το μοντέλο optimizable Ensemble. Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 4.1**, το μοντέλο παρουσιάζει καλή προσαρμογή στα δεδομένα, καθώς η πλειοψηφία των μετρήσεων προσεγγίζει τις πραγματικές τιμές. Αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνεται από το **Διάγραμμα 4.2**, όπου φαίνονται οι διακυμάνσεις του σφάλματος του μοντέλου, οι οποίες είναι σχετικά σταθερές, παρουσιάζοντας ελάχιστες διακυμάνσεις. Στο **Διάγραμμα 4.3** παρουσιάζεται η εκτίμηση του ενεργειακού προφίλ για το νησί της Μήλου για τις χρονολογίες 2017, 2018 και 2019 με βάση το μοντέλο Optimizable Ensemble.

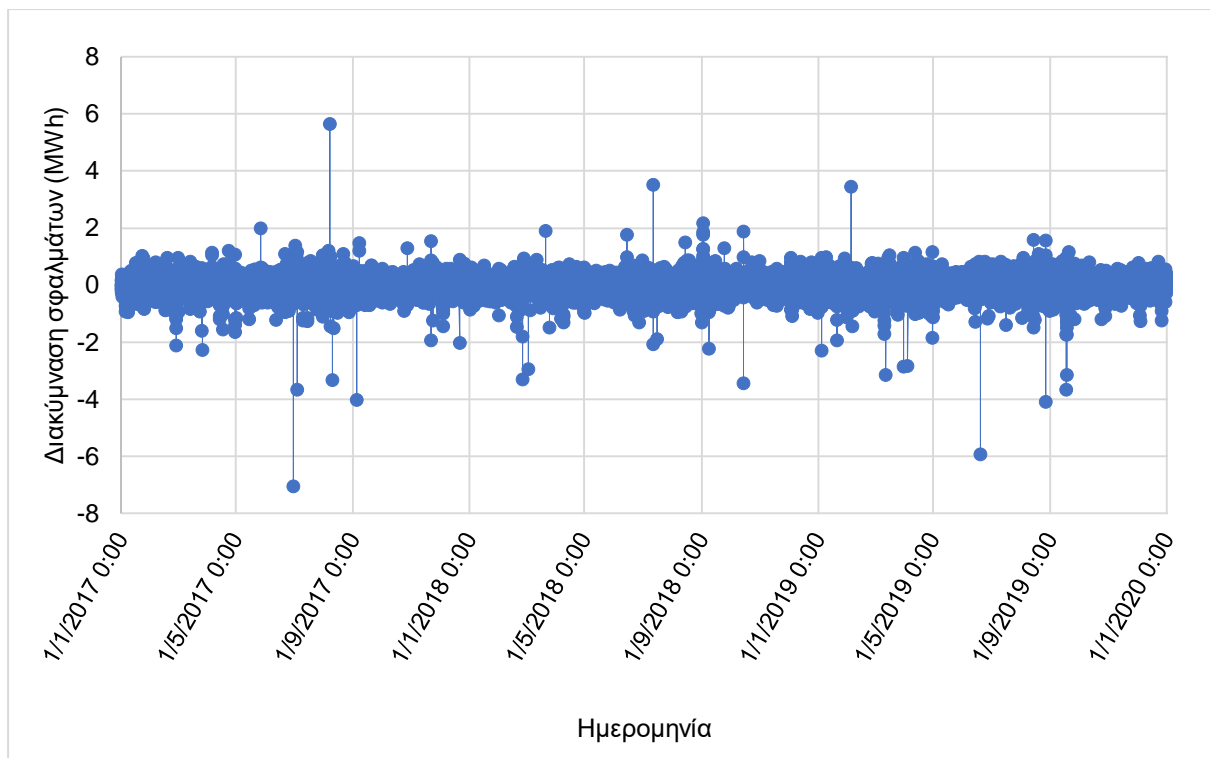
**Πίνακας 4.2.** Διακύμανση ωριαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) μοντέλου Optimizable Ensemble

	Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη
<b>2017</b>	1,205	5,822	12,932
<b>2018</b>	0,372	6,036	151
<b>2019</b>	0,688	6,251	12,176

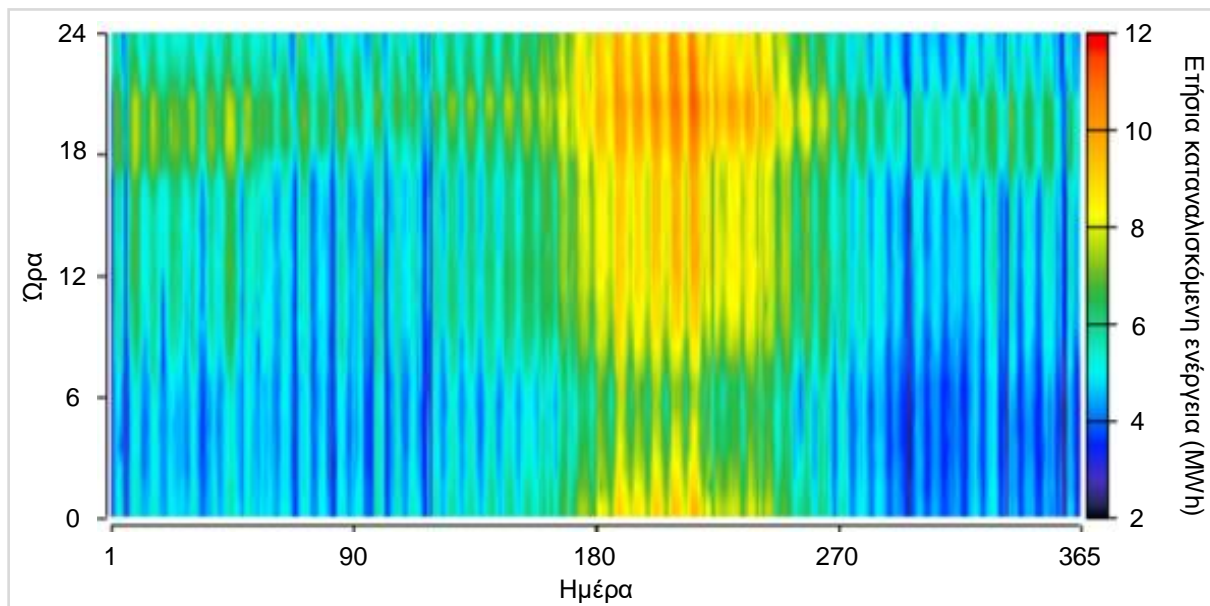
Μοντέλο πρόβλεψης: Optimizable Ensemble)



**Διάγραμμα 4.1.** Διάγραμμα παλινδρόμησης για το μοντέλο Optimizable Ensemble



**Διάγραμμα 4.2.** Διακύμανση σφαλμάτων μοντέλου Optimizable Ensemble



**Διάγραμμα 4.3.** Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Μήλου για τα έτη 2017-2019 μέσω του μοντέλου Optimizable Ensemble



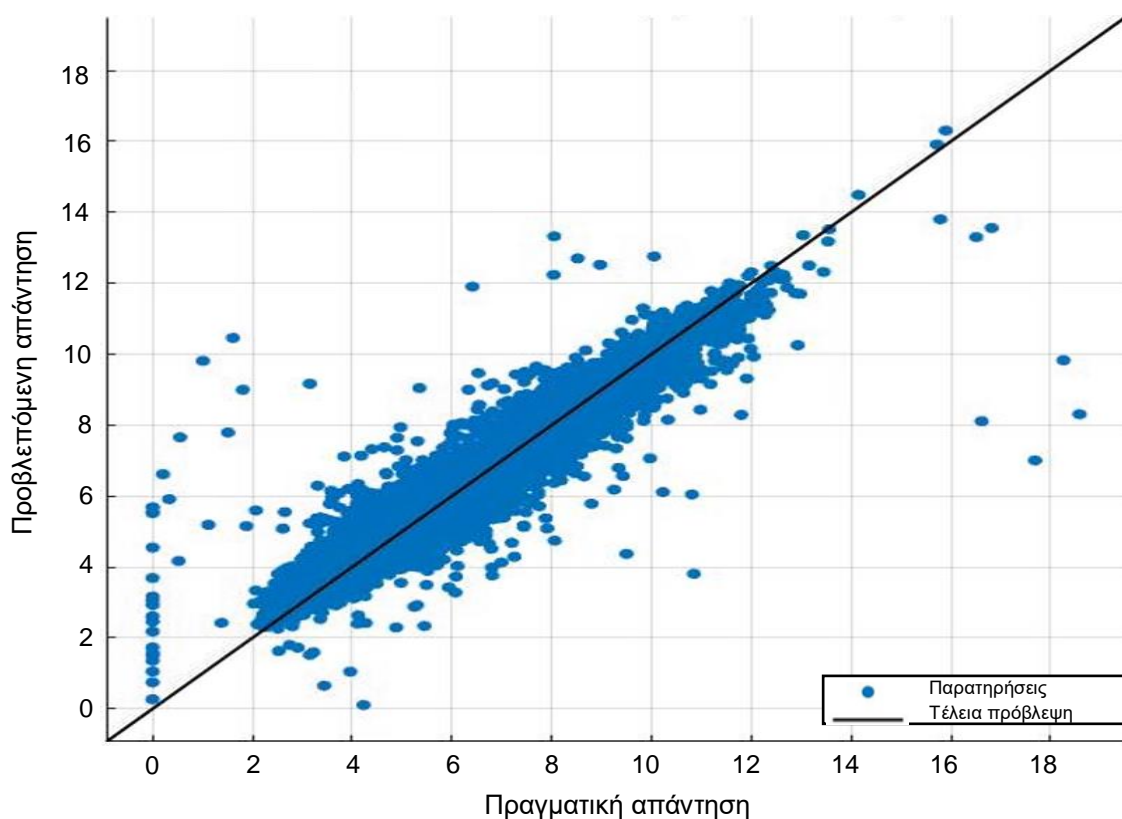
#### 4.1.2. Optimizable GPR

Το μοντέλο μηχανικής μάθησης Optimizable GPR σημείωσε τη χαμηλότερη ρίζα τετραγωνικού σφάλματος ( $RMSE=0,458$  MWh), κατά το στάδιο της εκπαίδευσης, ενώ παράλληλα επετεύχθη υψηλή ακρίβεια, όπως φανερώνεται από το συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2=0,94$ ), καθώς επίσης και από το χαμηλό δείκτη μέσου τετραγωνικού σφάλματος ( $MSE=0,209$  MWh<sup>2</sup>). Στον **Πίνακα 4.3** παρατίθενται οι τιμές μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ωριαίας κατανάλωσης με βάση το μοντέλο optimizable Ensemble. Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 4.4**, το μοντέλο παρουσιάζει πολύ καλή προσαρμογή στα δεδομένα, καθώς η πλειοψηφία των μετρήσεων προσεγγίζει τις πραγματικές τιμές. Αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνεται από το **Διάγραμμα 4.5**, όπου φαίνονται οι διακυμάνσεις του σφάλματος του μοντέλου, οι οποίες είναι σταθερές. Ελάχιστες εξ' αυτών αποκλίνουν και κυμαίνονται μεταξύ -3,2 έως 3 MWh. Στο **Διάγραμμα 4.6** παρουσιάζεται η εκτίμηση του ενεργειακού προφίλ για το νησί της Μήλου για τις χρονολογίες 2017, 2018 και 2019 με βάση το μοντέλο Optimizable GPR.

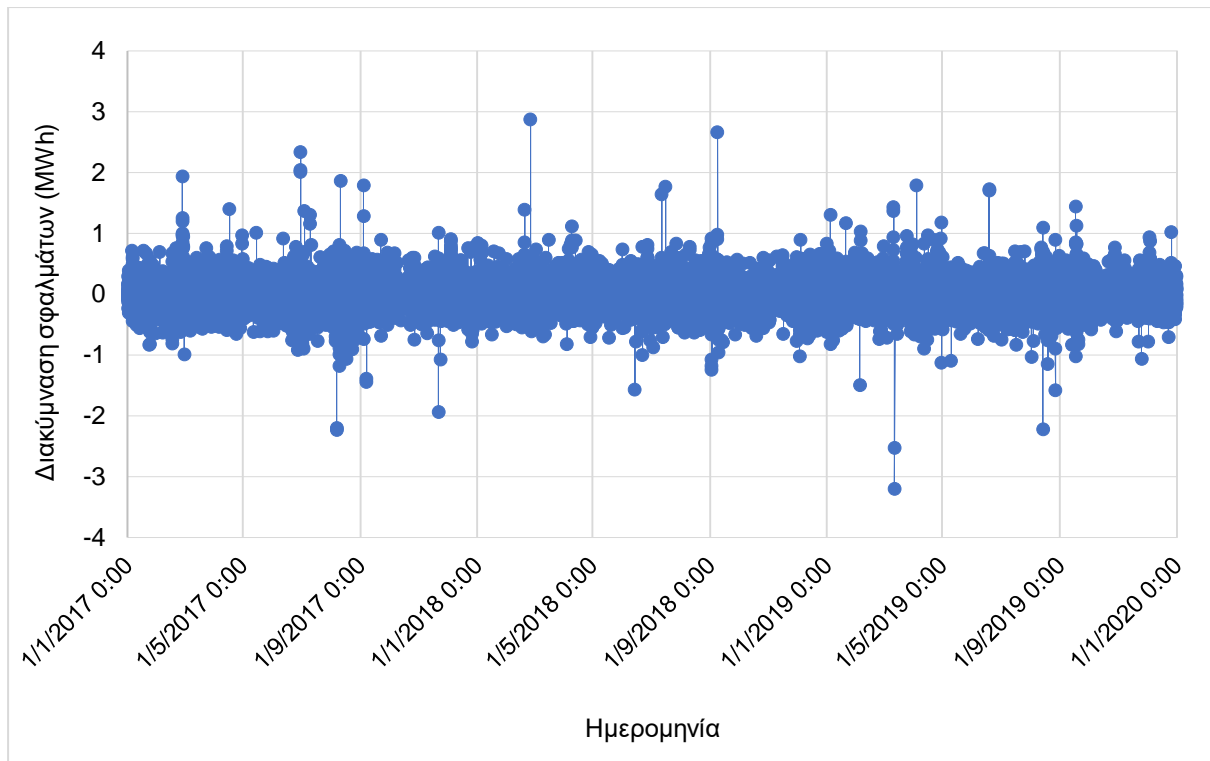
**Πίνακας 4.3.** Διακύμανση ωριαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) μοντέλου Optimizable GPR

Έτος	Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη
2017	0,236	5,817	12,762
2018	0,372	6,036	157
2019	0,688	6,251	12,176

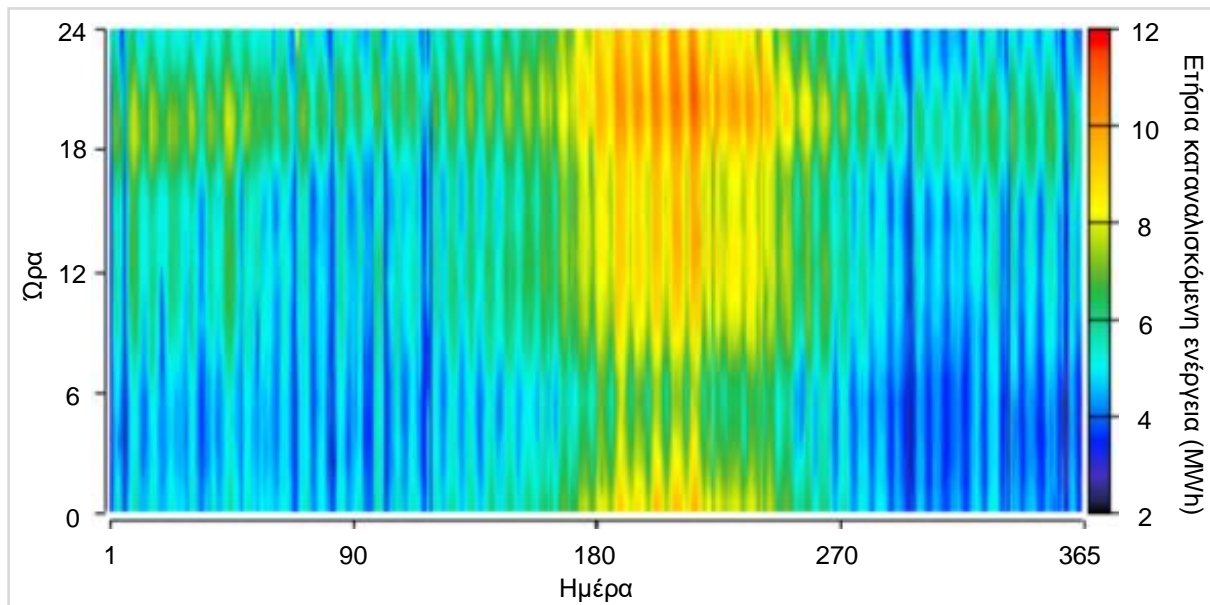
Μοντέλο πρόβλεψης: Optimizable GPR)



**Διάγραμμα 4.4.** Διάγραμμα παλινδρόμησης για το μοντέλο Optimizable GPR



**Διάγραμμα 4.5.** Διακύμανση σφαλμάτων μοντέλου Optimizable GPR



**Διάγραμμα 4.6.** Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Μήλου για τα έτη 2017-2019 μέσω του μοντέλου Optimizable GPR

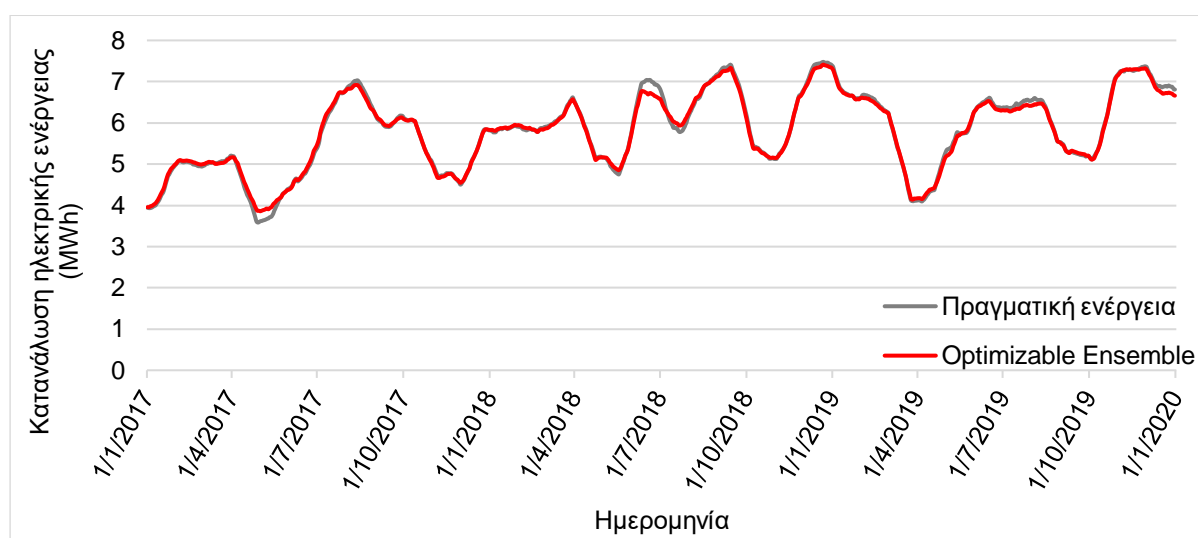
#### 4.1.3. Επιλογή βέλτιστου μοντέλου πρόβλεψης

Για την εύρεση του βέλτιστου από τα 2 μοντέλα πρόβλεψης, πραγματοποιείται σύγκριση των δεικτών τους (μέσο τετραγωνικό σφάλμα, ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος και συντελεστής προσδιορισμού), καθώς και σύγκριση της συμπεριφοράς των αποτελεσμάτων τους, σε σχέση με το πραγματικό ενεργειακό προφίλ της περιοχής μελέτης (Πίνακας 4.4).

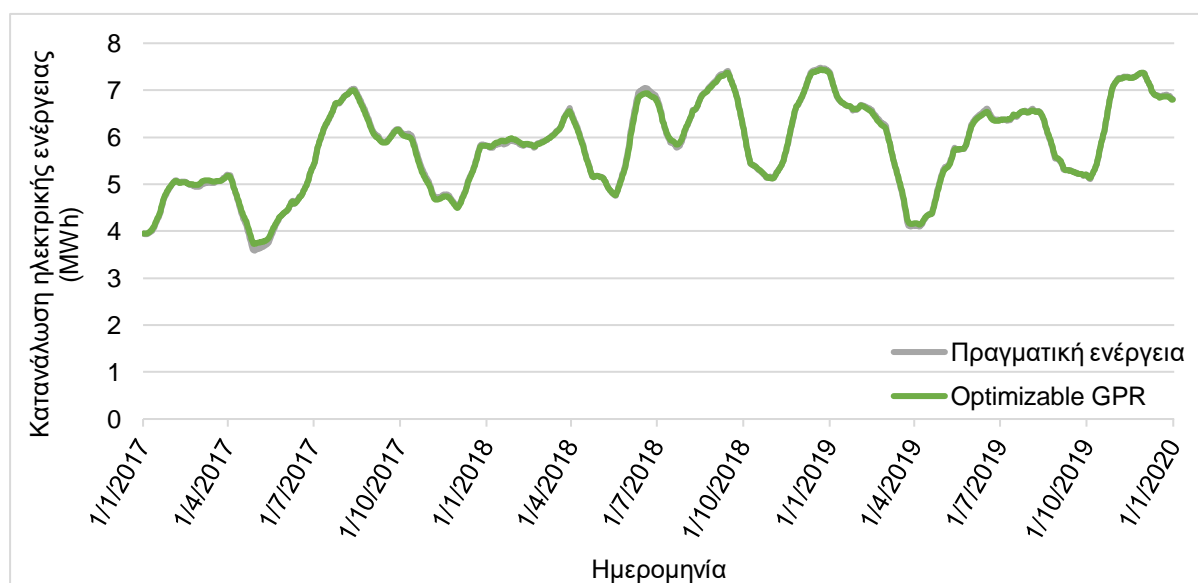
**Πίνακας 4.4.** Σύγκριση δεικτών μοντέλων πρόβλεψης

Μοντέλο	MSE (MWh <sup>2</sup> )	RMSE (MWh)	R <sup>2</sup>
Optimizable Ensemble	0,250	0,500	0,93
Optimizable GPR	0,209	0,458	0,94

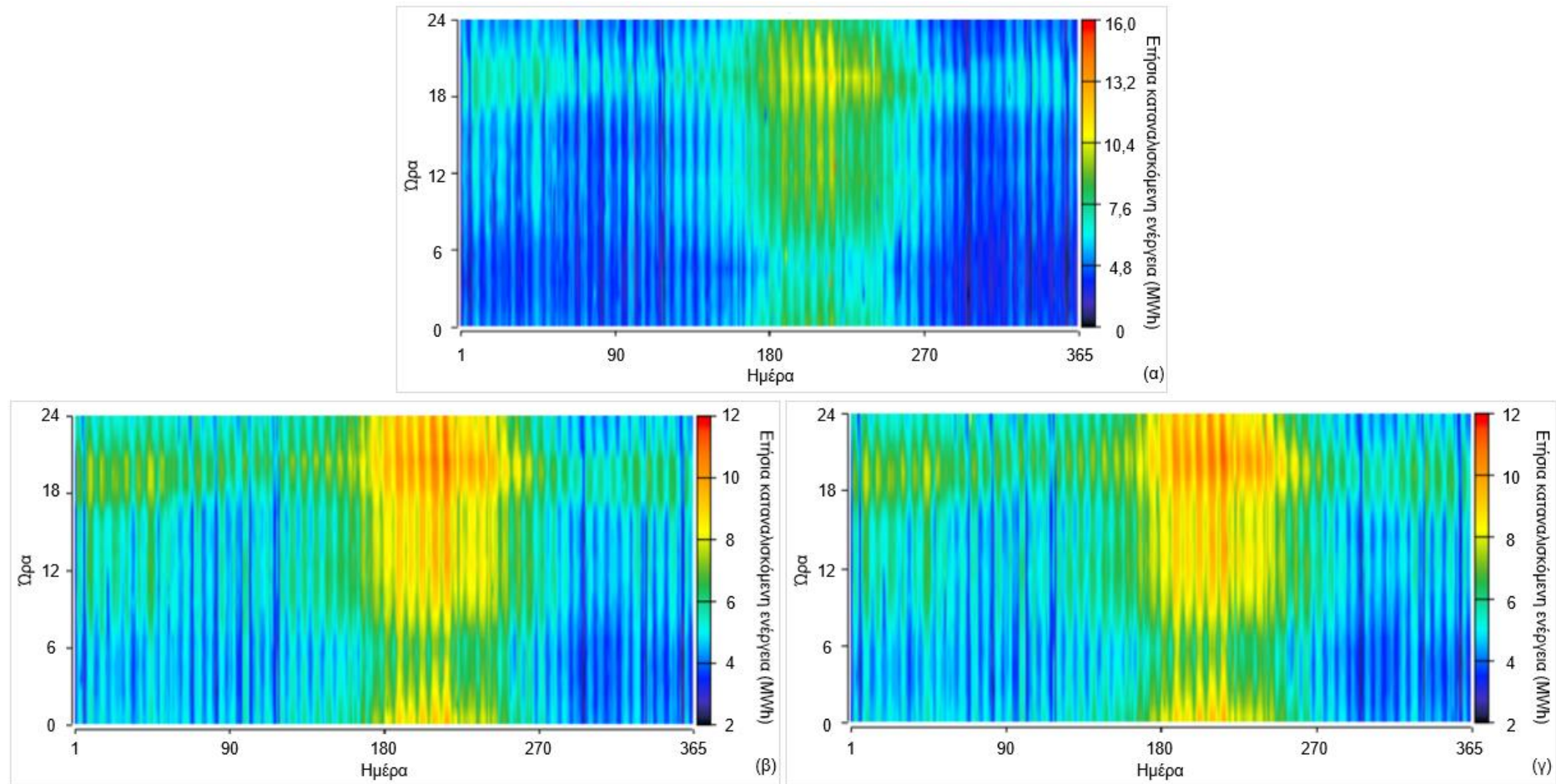
Το καλύτερο μοντέλο πρόβλεψης, λαμβάνοντας υπόψιν το δείκτη μέσου τετραγωνικού σφάλματος (μικρότερη τιμή), είναι το Optimizable GPR, ενώ παράλληλα, ο συντελεστής προσδιορισμού είναι επίσης μεγαλύτερος. Τα δύο μοντέλα ακολουθούν με πανομοιότυπο τρόπο τη συμπεριφορά του πραγματικού προφίλ ενεργειακής κατανάλωσης της περιοχής μελέτης, επιβεβαιώνοντας την εποχική συμπεριφορά του (αύξηση της ισχύος κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών), όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 4.9**. Όμως, το μοντέλο Optimizable GPR, εξασφαλίζει τη βέλτιστη ακολουθία του ενεργειακού προφίλ της περιοχής μελέτης, όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 4.7** και στο **Διάγραμμα 4.8**, όπου απεικονίζεται η πραγματική ημερήσια απαίτηση ισχύος ως προς τις εκτιμήσεις των μοντέλων.



**Διάγραμμα 4.7.** Ημερήσια κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μοντέλου Optimizable Ensemble



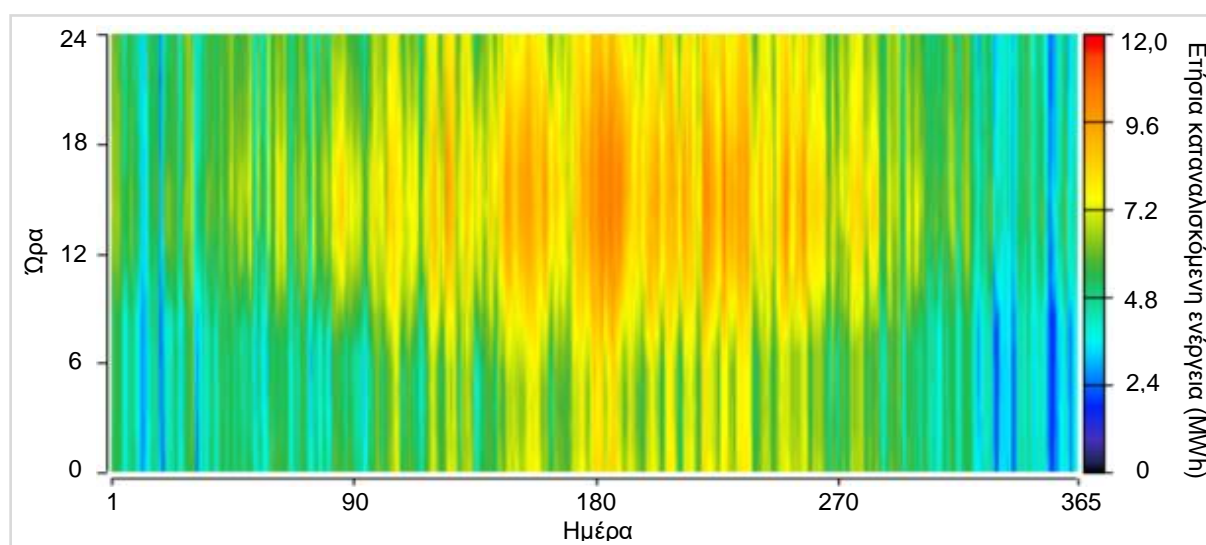
**Διάγραμμα 4.8.** Ημερήσια κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μοντέλου Optimizable GPR



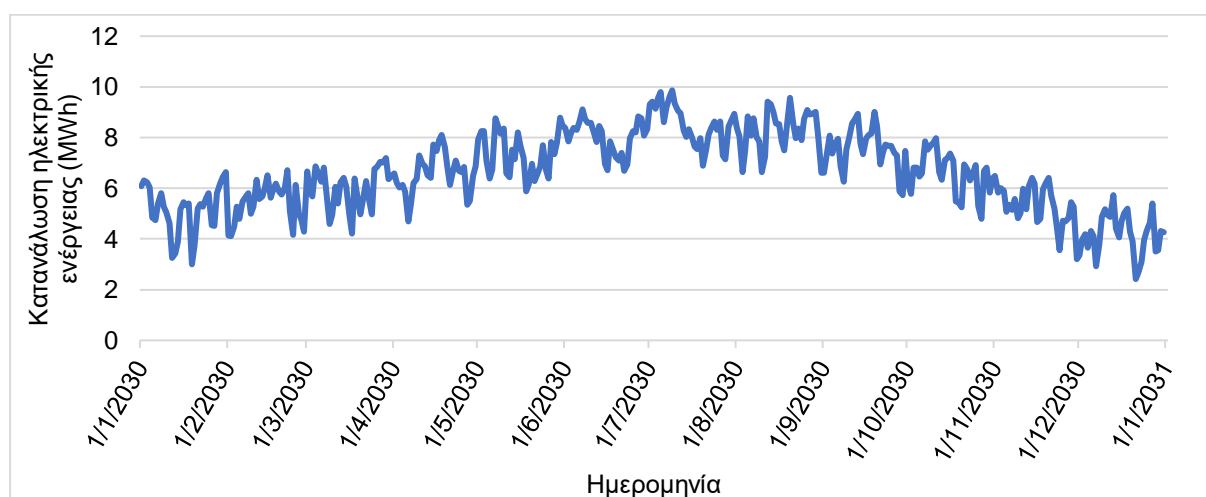
**Διάγραμμα 4.9.** Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Μήλου για τα έτη 2017-2019  
 (α) Πραγματική κατανάλωση, (β) Μοντέλο Optimizable Ensemble, (γ) Μοντέλο Optimizable GPR

#### 4.1.4. Πρόβλεψη ενεργειακού προφίλ για το έτος 2030

Σε αυτή την υποενότητα παρουσιάζεται η πρόβλεψη της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2030 στην περιοχή μελέτης, έχοντας αξιολογήσει κάθε μοντέλο πρόβλεψης και προκρίνει το βέλτιστο. Συγκεκριμένα, παρατηρώντας το **Διάγραμμα 4.10**, γίνεται σαφές ότι εκτιμάται αύξηση στην ωριαία κατανάλωση, τόσο κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών (χαμηλή ζήτηση ενέργειας) όσο και κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (αυξημένη ζήτηση λόγω της τουριστικής ανόδου του νησιού). Η συγκεκριμένη παρατήρηση επιβεβαιώνεται από το **Διάγραμμα 4.11**, όπου παρουσιάζεται η ημερήσια απαιτούμενη ισχύς για τη λειτουργία του νησιού. Τέλος, με τη βοήθεια του μοντέλου *optimizable GPR* και χρήση των μεταβλητών του **Πίνακας 3.3** για τα έτη 2017, 2018, 2019 παρουσιάζονται για το έτος 2030 οι προβλέψεις σχετικά με τη μέση, τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (**Πίνακας 4.5**), θεωρώντας σταθερή την τάση στην κατανάλωσή της.



**Διάγραμμα 4.10.** Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το νησί της Μήλου για το έτος 2030



**Διάγραμμα 4.11.** Ημερήσιο προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2030

**Πίνακας 4.5.** Διακύμανση ωριαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) για το έτος 2030

Ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (MWh)	1,8
Μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (MWh)	6,6
Μέγιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (MWh)	11,2

## 4.2. Βέλτιστη διαστασιολόγηση συστήματος ΑΠΕ

Σε αυτή την υποενότητα παρατίθενται τα αποτελέσματα που διεξήχθησαν από την προσομοίωση του κάθε επιμέρους σεναρίου για το νησί της Μήλου, επιδιώκοντας την εύρεση της βέλτιστης λύσης, ώστε να επιτευχθεί η βιώσιμη ανάπτυξη του νησιού. Τα συστήματα των σεναρίων σχεδιάστηκαν με βάση την πρόβλεψη της ηλεκτρικής κατανάλωσης του νησιού κατά το έτος 2030, με βάση το μοντέλο πρόβλεψης Optimizable GPR.

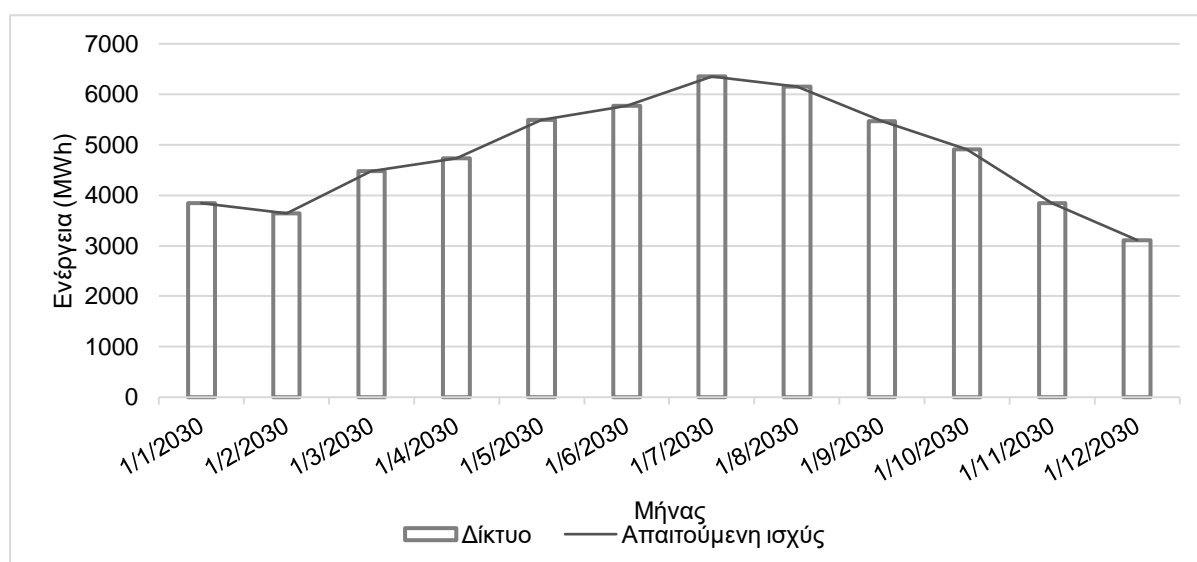
### 4.2.1. Σενάριο 1: Baseline

Σύμφωνα με το πρώτο σενάριο, κατά το οποίο δεν υφίσταται καμία παρέμβαση στο υπάρχον σύστημα, το νησί παραμένει εξαρτημένο σε σημαντικό βαθμό από την καύση ορυκτών καυσίμων. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η οποία διεξήχθη στο λογισμικό Homer Pro, παραπέμπονται στον **Πίνακα 4.6**.

**Πίνακας 4.6.** Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος πρώτου σεναρίου

Καθαρή παρούσα αξία (€)	186.804.800
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας (€)	0,250
Ετήσιο λειτουργικό κόστος (€/y)	14.450.170
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην άμεσα καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	11,1
Συνολική προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	57.800,7
Ποσοστό προμηθευμένης ενέργειας από το τοπικό δίκτυο (%)	88,9

Στο **Διάγραμμα 4.12** απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση το σύστημα του πρώτου σεναρίου, η οποία βασίζεται εξ' ολοκλήρου στο τοπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής.



**Διάγραμμα 4.12.** Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του πρώτου σεναρίου

Έπειτα, υπολογίζονται οι ετήσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για το σύστημα του πρώτου σεναρίου, ως το γινόμενο της ετήσιας παραχθείσας ενέργειας για τη λειτουργία του συστήματος επί το συντελεστή αέριων εκπομπών ενεργειακού μίγματος για την υπό μελέτη περιοχή, ο οποίος υπολογίστηκε στην **Εξίσωση 3.13**.

$$E_{CO_2-e}^{(1)} = 0,879 \frac{kgCO_2-e}{kWh} \cdot 57.800,69 \frac{MWh}{y} \Rightarrow E_{CO_2-e}^{(1)} = 50.806,8 \frac{tnCO_2-e}{y}$$



#### 4.2.2. Σενάριο 2: Προσθήκη Φ/Β πλαισίου

Για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου, εισήχθησαν στο λογισμικό βελτιστοποίησης οι εξής τεχνολογίες:

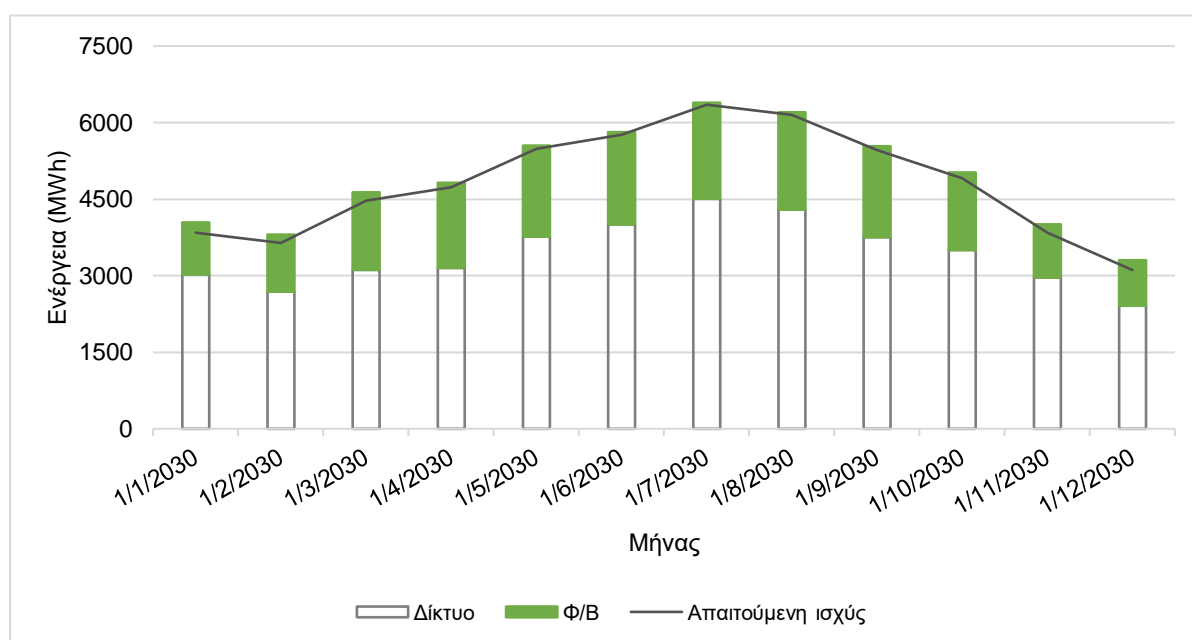
- Φ/Β πλαίσια SunPower X21-335-BLK συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 10 MW.
- Μετατροπέας τάσης SMA America STP 60-US-10 (400 VAC) συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 11.199 kW.

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης, παραπέμπονται στον **Πίνακα 4.7**.

**Πίνακας 4.7.** Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος δεύτερου σεναρίου

Καθαρή παρούσα αξία (€)	138.020.400
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας (€)	0,182
Ετήσιο λειτουργικό κόστος (€/y)	10.165.940
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	6.600.000
Απόδοση Επένδυσης (%)	60,9
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	64,9
Χρόνος αποπληρωμής (y)	1,54
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην άμεσα καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	30,3
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Φ/Β (MWh/y)	17.894,8
Συνολική προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	41.218,0
Συνολική ενέργεια που παροχετεύθηκε στο τοπικό δίκτυο (MWh/y)	954,2
Ποσοστό προμηθευμένης ενέργειας από το τοπικό δίκτυο (%)	69,7
Καθαρή ετήσια προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	40.263,8

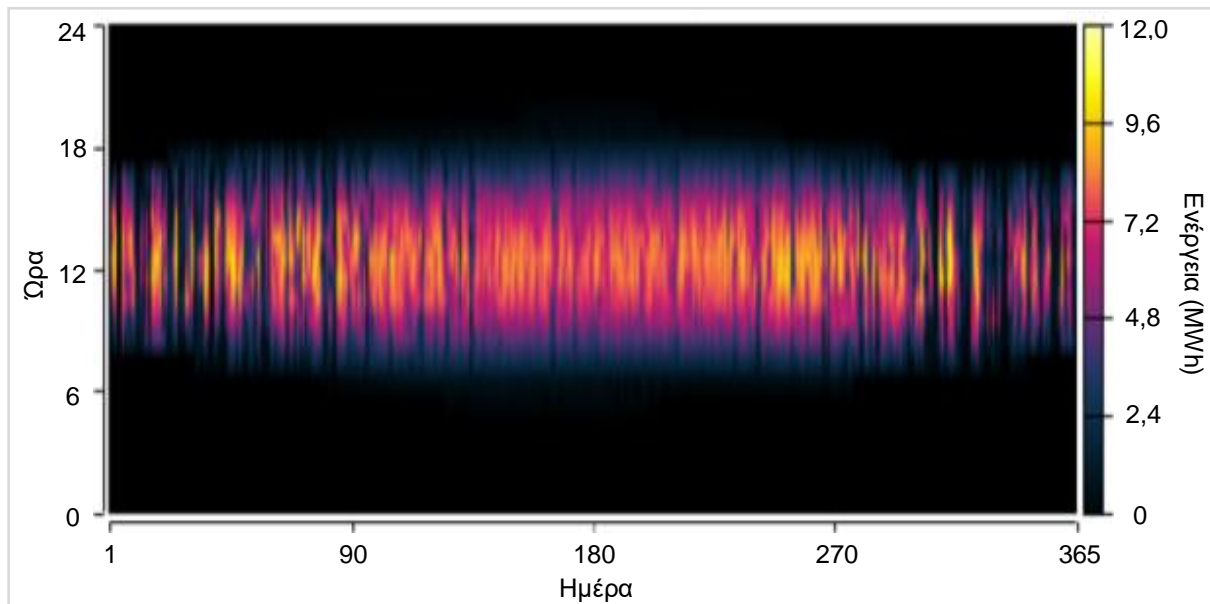
Στο **Διάγραμμα 4.13** απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη της προβλεπόμενης απαίτησης ισχύος, με βάση το σύστημα του δεύτερου σεναρίου. Η συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή μειώνει το οικολογικό αποτύπωμα της υπό μελέτη περιοχής, αν και το σύστημα παραμένει σε ισχυρή εξάρτηση από το τοπικό δίκτυο.



**Διάγραμμα 4.13.** Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου

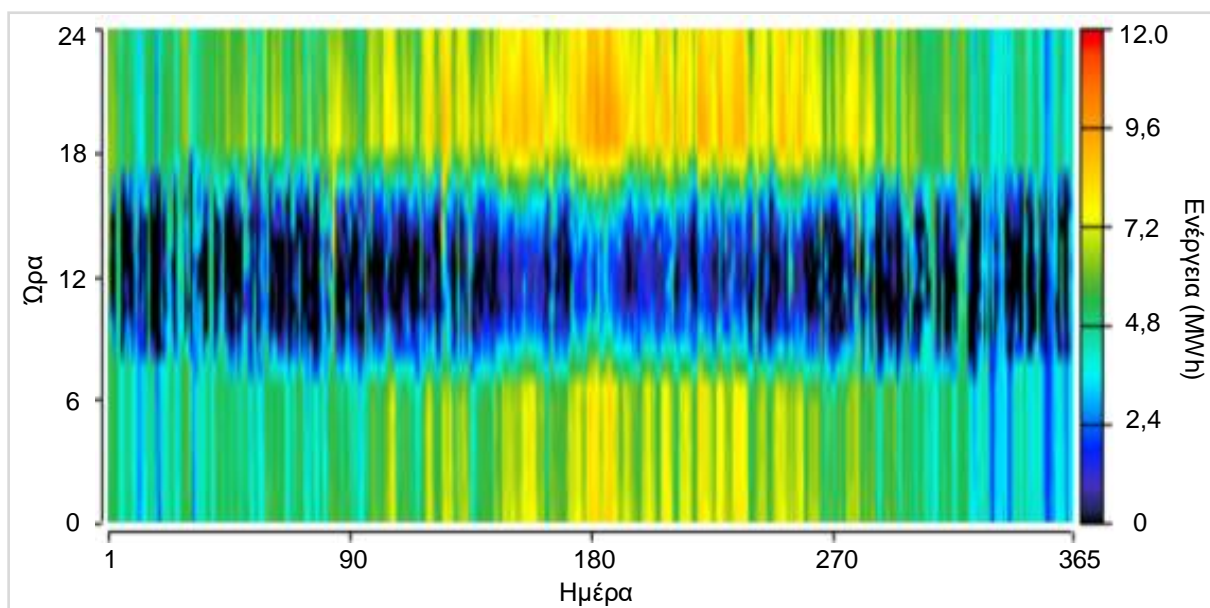


Στο **Διάγραμμα 4.14** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια, λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, επιβεβαιώνοντας το ευνοϊκό ηλιακό δυναμικό της περιοχής μελέτης (**Διάγραμμα 3.1**).



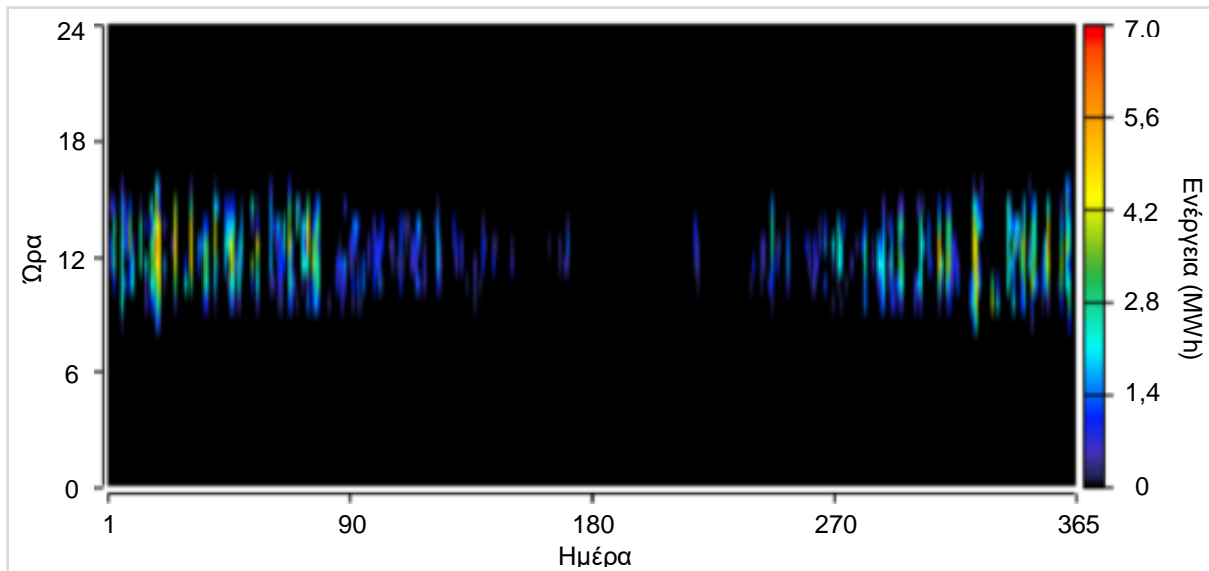
**Διάγραμμα 4.14.** Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του δευτέρου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.15** φαίνεται η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία το σύστημα προμηθεύεται από το δίκτυο. Όπως ήταν αναμενόμενο, το σύστημα αδυνατεί να καλύψει τις ανάγκες του κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (ιδίως κατά τις νυχτερινές ώρες), όταν η απαιτούμενη ισχύς αυξάνεται λόγω της προσέλευσης τουριστών στην υπό μελέτη περιοχή.



**Διάγραμμα 4.15.** Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του δευτέρου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.16** παρατίθεται η περίσσεια παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια, η οποία παροχετεύεται από το σύστημα προς το δίκτυο. Συγκεκριμένα, η ενέργεια από τα Φ/Β πλαίσια καλύπτει εν μέρει τις ανάγκες του συστήματος και δεν προκύπτει σημαντική ποσότητα περίσσειας ενέργειας. Συνεπώς, το σύστημα αδυνατεί να παράξει σημαντική ποσότητα περίσσειας ενέργειας, ώστε να αξιοποιήσει τον ενεργειακό συμψηφισμό παραγόμενης καταναλισκόμενης ενέργειας (Net-Metering).



**Διάγραμμα 4.16.** Ετήσια ενέργεια που παροχετεύθηκε στο δίκτυο από το σύστημα του δευτέρου σεναρίου

Έπειτα, υπολογίζονται οι ετήσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για το σύστημα του δεύτερου σεναρίου, ως το γινόμενο της ετήσιας παραχθείσας ενέργειας για τη λειτουργία του συστήματος επί το συντελεστή αέριων εκπομπών ενεργειακού μίγματος για την υπό μελέτη περιοχή, ο οποίος υπολογίστηκε στην **Εξίσωση 3.13**.

$$E_{CO_2-e}^{(2)} = 0,879 \frac{kgCO_2-e}{kWh} \cdot 40.263,8 \frac{MWh}{y} \Rightarrow E_{CO_2-e}^{(2)} = 35.391,8 \frac{tnCO_2-e}{y}$$

### 4.2.3. Σενάριο 3: Προσθήκης Α/Γ

Για το σύστημα του τρίτου σεναρίου, εισήχθησαν στο λογισμικό βελτιστοποίησης οι εξής τεχνολογίες:

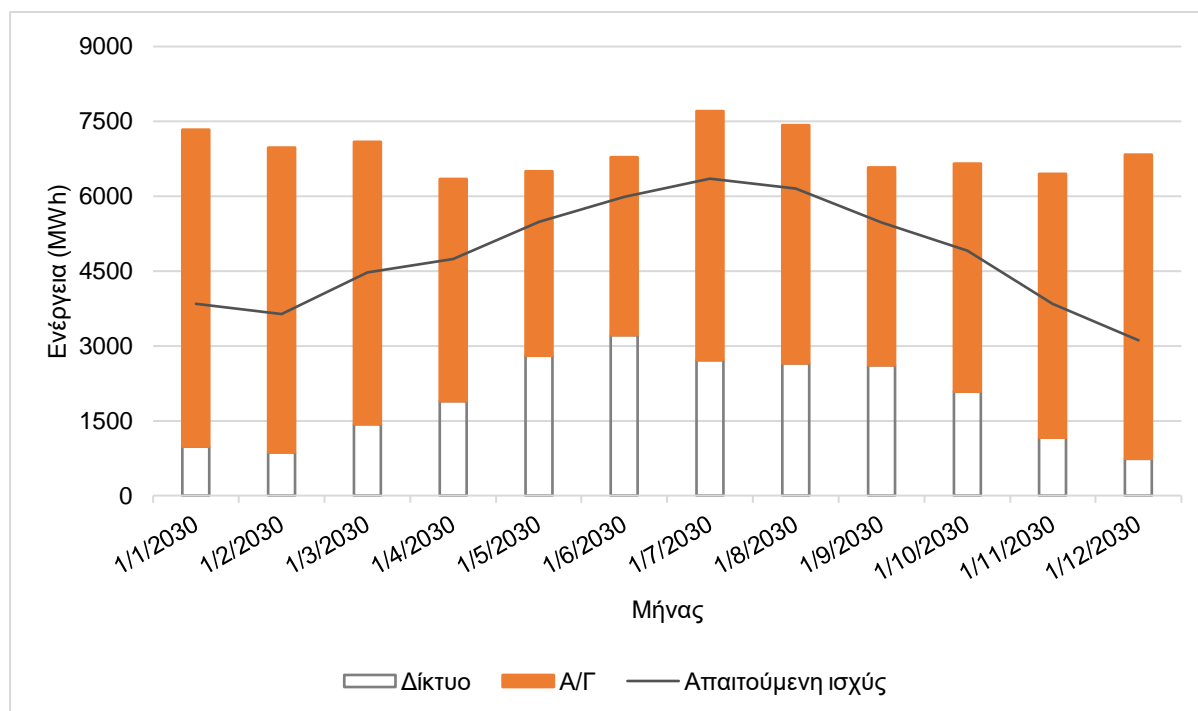
- Α/Γ Leitwind 80 1.000kW (16 τεμάχια).

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης, παραπέμπονται στον **Πίνακας 4.8**.

**Πίνακας 4.8.** Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος τρίτου σεναρίου

Καθαρή παρούσα αξία (€)	47.351.020
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας (€)	0,044
Ετήσιο λειτουργικό κόστος (€/y)	1.187.468
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	32.000.000
Απόδοση Επένδυσης (%)	37,5
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	42,6
Χρόνος αποπληρωμής (y)	2,34
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην άμεσα καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	72
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Α/Γ (MWh/y)	59.327,6
Συνολική προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	23.056,7
Συνολική ενέργεια που παροχετεύθηκε στο τοπικό δίκτυο (MWh/y)	24.583,6
Ποσοστό προμηθευμένης ενέργειας από το τοπικό δίκτυο (%)	28
Καθαρή ετήσια προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	0

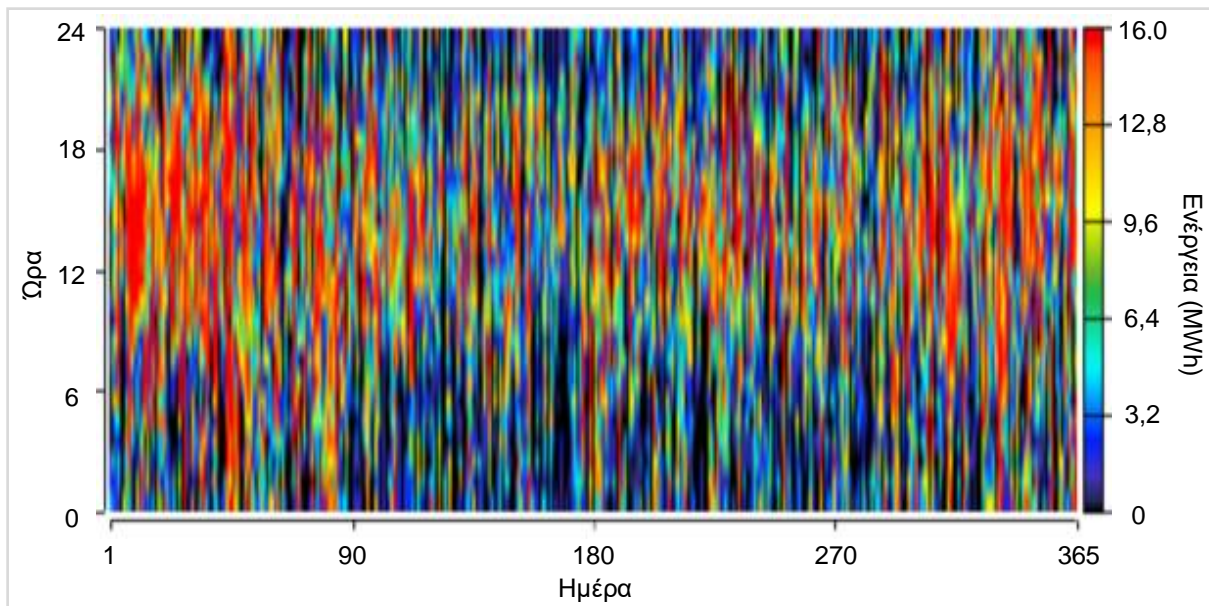
Στο **Διάγραμμα 4.17** απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη της προβλεπόμενης απαίτησης ισχύος, με βάση το σύστημα του τρίτου σεναρίου. Η συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή εδραιώνεται για την υπό μελέτη περιοχή, επιφέροντας σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη στο σύστημα.



**Διάγραμμα 4.17.** Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

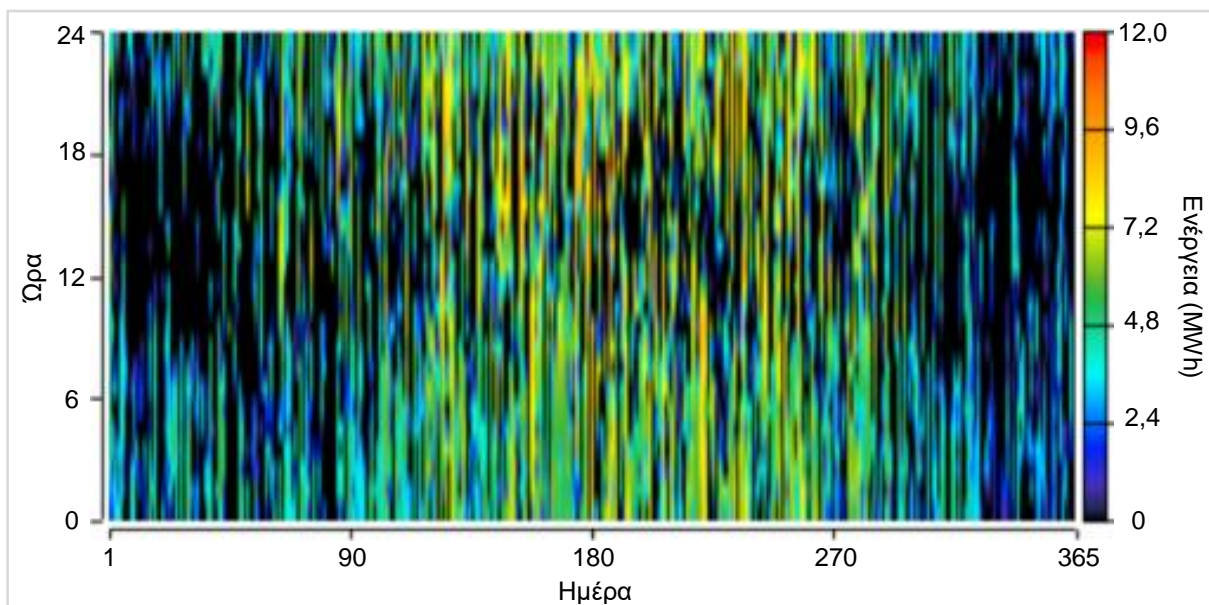
Στο **Διάγραμμα 4.18** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια, λόγω της λειτουργίας των Α/Γ. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη τη

διάρκεια του χρόνου, επιβεβαιώνοντας το ευνοϊκό αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης (Διάγραμμα 3.4).



**Διάγραμμα 4.18.** Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

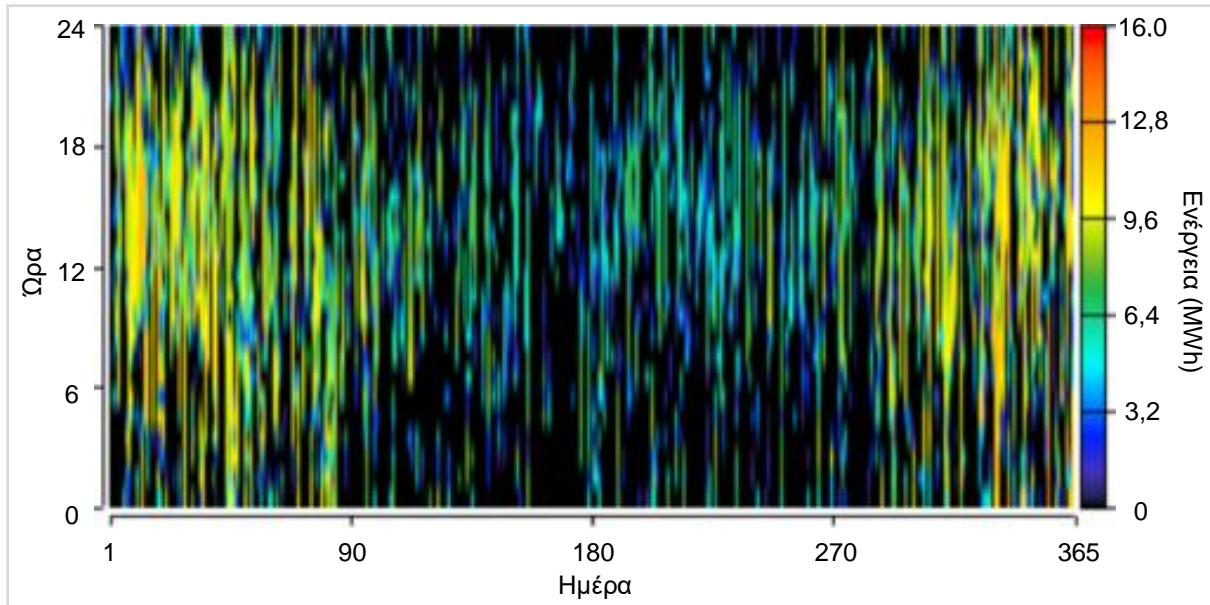
Στο **Διάγραμμα 4.19** φαίνεται η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία το σύστημα προμηθεύεται από το δίκτυο. Όπως ήταν αναμενόμενο, το σύστημα αδυνατεί να καλύψει τις ανάγκες του κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, όταν η απαιτούμενη ισχύς αυξάνεται λόγω της προσέλευσης τουριστών στην υπό μελέτη περιοχή.



**Διάγραμμα 4.19.** Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του τρίτου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.20** παρατίθεται η περίσσεια παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια, η οποία παροχετεύεται από το σύστημα προς το δίκτυο. Συγκεκριμένα, η ενέργεια από τις Α/Γ υπερκαλύπτει τις ανάγκες του συστήματος, παράγοντας σημαντική ποσότητα περίσσειας

ενέργειας. Έτσι, καθίσταται εφικτός ο συμψηφισμός της παραγόμενης-καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Net-Metering).



**Διάγραμμα 4.20.** Ετήσια ενέργεια που παροχετεύθηκε στο δίκτυο από το σύστημα του τρίτου σεναρίου

Έπειτα, υπολογίζονται οι ετήσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για το σύστημα του τρίτου σεναρίου, ως το γινόμενο της ετήσιας παραχθείσας ενέργειας για τη λειτουργία του συστήματος επί το συντελεστή αέριων εκπομπών ενεργειακού μίγματος για την υπό μελέτη περιοχή, ο οποίος υπολογίστηκε στην **Εξίσωση 3.13**.

$$E_{\text{CO}_2-e}^{(3)} = 0,879 \frac{\text{kgCO}_2-e}{\text{kWh}} \cdot 0 \frac{\text{MWh}}{\text{y}} \Rightarrow E_{\text{CO}_2-e}^{(3)} = 0 \frac{\text{tnCO}_2-e}{\text{y}}$$



#### 4.2.4. Σενάριο 4: Συνδυασμός Φ/Β πλαισίου και Α/Γ

Για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου, εισήχθησαν στο λογισμικό βελτιστοποίησης οι εξής τεχνολογίες:

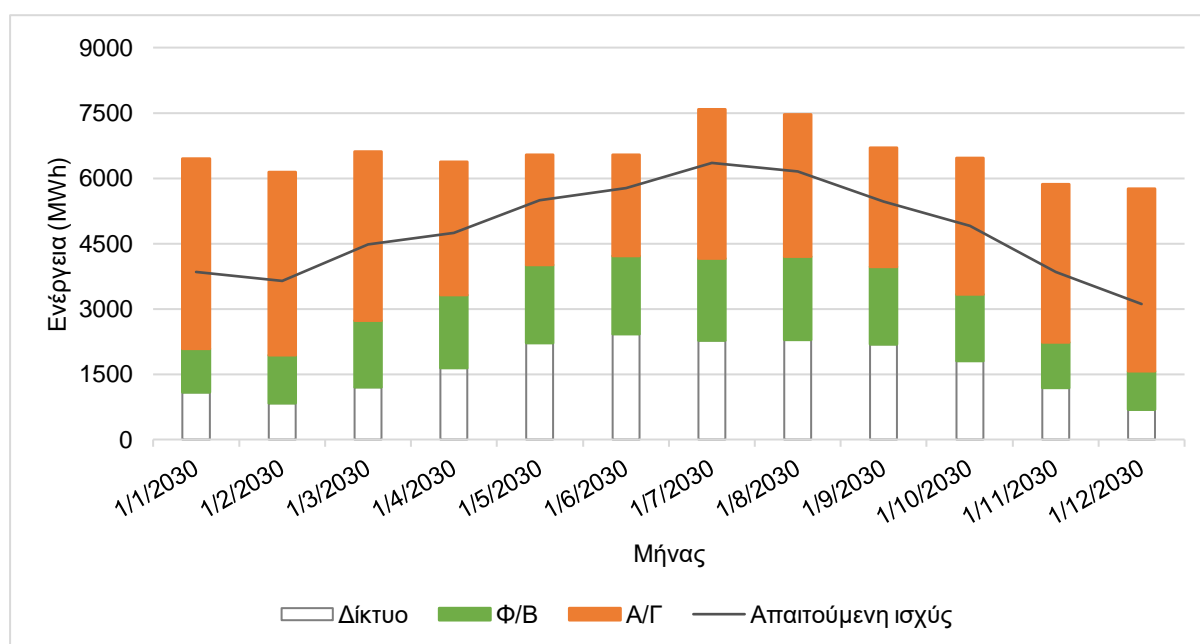
- Φ/Β πλαίσια SunPower X21-335-BLK συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 10 MW
- Μετατροπέας τάσης SMA America STP 60-US-10 (400 VAC) συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 7.459 kW
- Α/Γ Leitwind 80 1.000kW (11 τεμάχια)

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης, παραπέμπονται στον **Πίνακα 4.9**.

**Πίνακας 4.9.** Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος τέταρτου σεναρίου

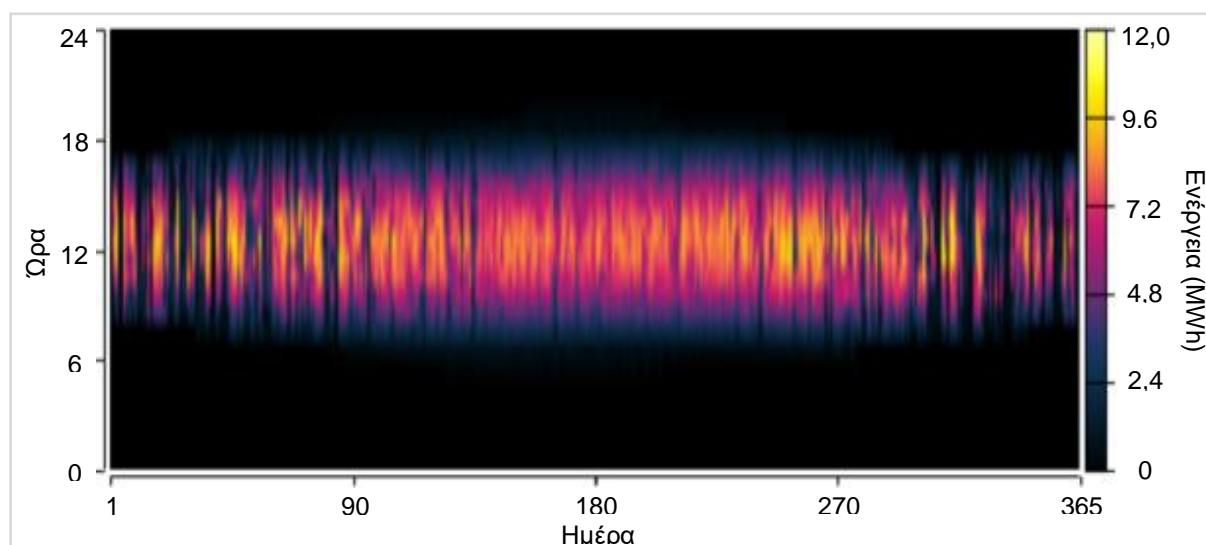
Καθαρή παρούσα αξία (€)	40.446.580
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας (€)	0,040
Ετήσιο λειτουργικό κόστος (€/y)	916.384
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	28.600.000
Απόδοση Επένδυσης (%)	43,4
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	48,2
Χρόνος αποπληρωμής (y)	2,07
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην άμεσα καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	74,7
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Α/Γ (MWh/y)	40.787,7
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Φ/Β (MWh/y)	17.894,8
Συνολική προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	19.843,3
Συνολική ενέργεια που παροχετεύθηκε στο τοπικό δίκτυο (MWh/y)	19.881,8
Ποσοστό προμηθευμένης ενέργειας από το τοπικό δίκτυο (%)	25,3
Καθαρή ετήσια προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	0

Στο **Διάγραμμα 4.21** απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη της προβλεπόμενης απαίτησης ισχύος, με βάση το σύστημα του τέταρτου σεναρίου. Η συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή εδραιώνεται για την υπό μελέτη περιοχή, αξιοποιώντας το συνδυασμό διαφορετικών τεχνολογιών και επιφέρει σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη στο σύστημα.



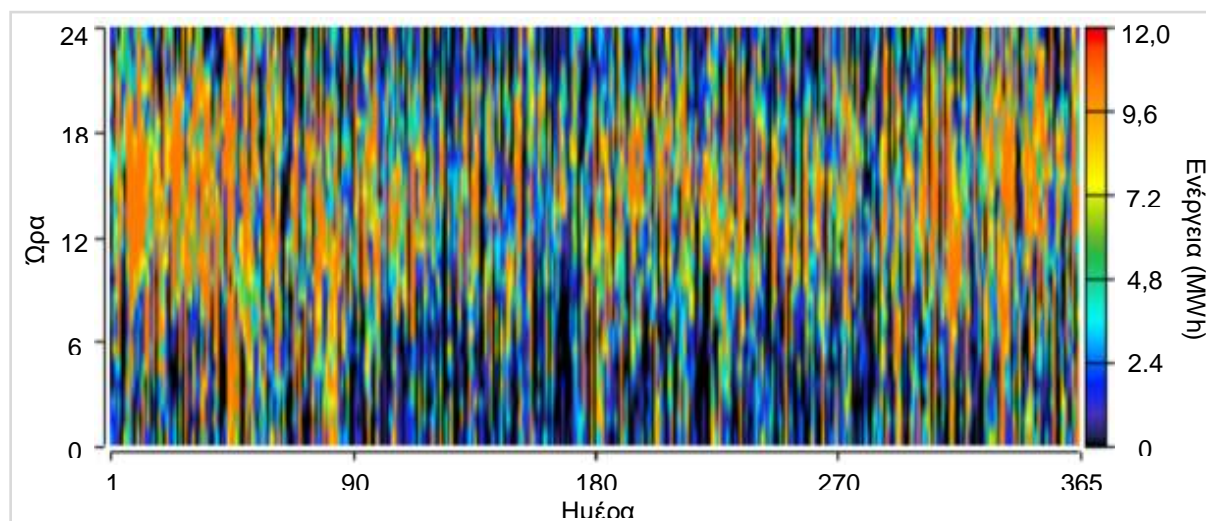
**Διάγραμμα 4.21.** Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.22** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια, λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, επιβεβαιώνοντας το ευνοϊκό ηλιακό δυναμικό της περιοχής μελέτης (Διάγραμμα 3.1).



**Διάγραμμα 4.22.** Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

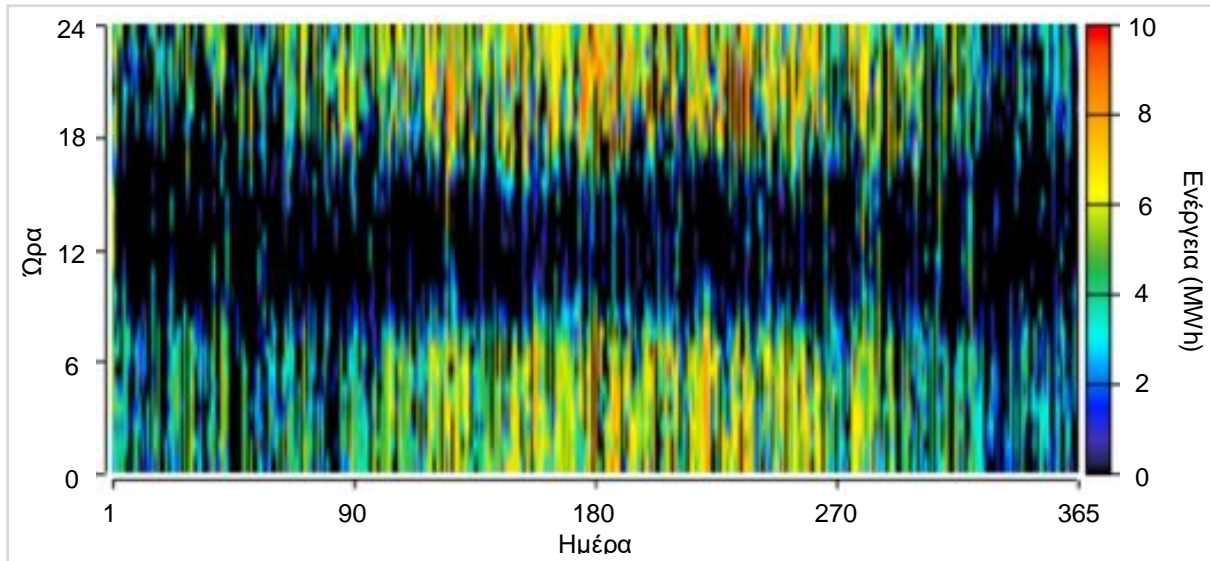
Στο **Διάγραμμα 4.23** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια, λόγω της λειτουργίας των Α/Γ. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, επιβεβαιώνοντας το ευνοϊκό αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης (Διάγραμμα 3.4).



**Διάγραμμα 4.23.** Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

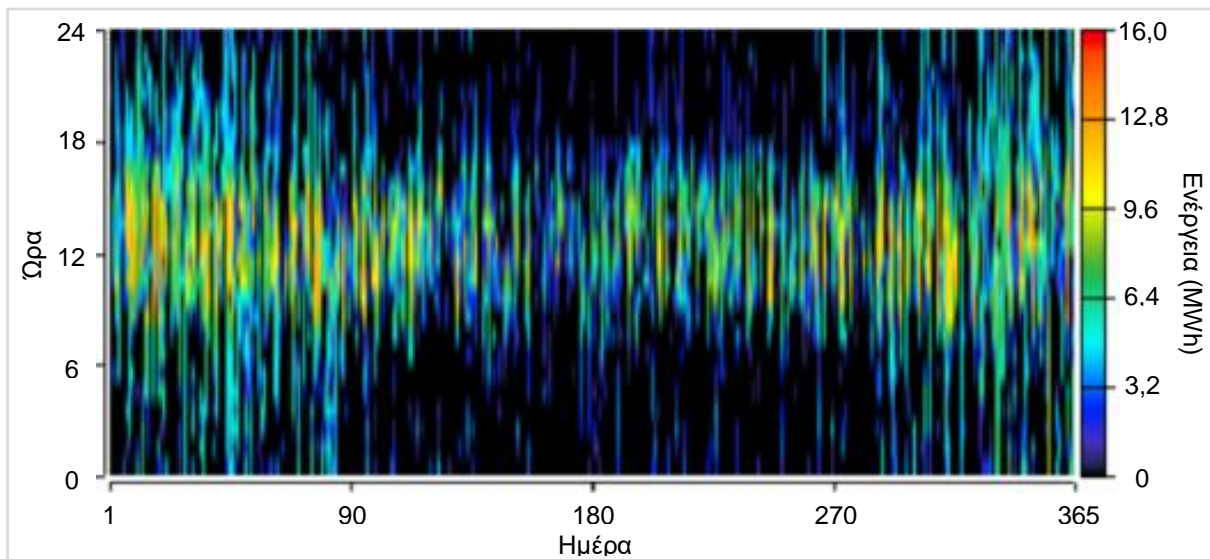
Στο **Διάγραμμα 4.24** φαίνεται η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία το σύστημα προμηθεύεται από το δίκτυο. Όπως ήταν αναμενόμενο, το σύστημα αδυνατεί να καλύψει τις ανάγκες του κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (ιδίως κατά τις νυχτερινές ώρες), όταν η απαιτούμενη ισχύς αυξάνεται λόγω της προσέλευσης τουριστών στην υπό μελέτη περιοχή.





**Διάγραμμα 4.24.** Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.25** παρατίθεται η περίσσεια παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια, η οποία παροχετεύεται από το σύστημα προς το δίκτυο. Συγκεκριμένα, ο συνδυασμός της ενέργειας που παράγεται από τα Φ/Β πλαίσια και τις Α/Γ υπερκαλύπτει τις ανάγκες του συστήματος, παράγοντας σημαντική ποσότητα περίσσειας ενέργειας. Έτσι, καθίσταται εφικτός ο συμψηφισμός της παραγόμενης-καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Net-Metering).



**Διάγραμμα 4.25.** Ετήσια ενέργεια που παροχετεύθηκε στο δίκτυο από το σύστημα του τέταρτου σεναρίου

Έπειτα, υπολογίζονται οι ετήσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για το σύστημα του τέταρτου σεναρίου, ως το γινόμενο της ετήσιας παραχθείσας ενέργειας για τη λειτουργία του συστήματος επί το συντελεστή αέριων εκπομπών ενεργειακού μίγματος για την υπό μελέτη περιοχή, ο οποίος υπολογίστηκε στην **Εξίσωση 3.13**.

$$E_{CO_2-e}^{(4)} = 0,879 \frac{kgCO_2-e}{kWh} \cdot 0 \frac{MWh}{y} \Rightarrow E_{CO_2-e}^{(4)} = 0 \frac{tnCO_2-e}{y}$$

#### 4.2.5. Σενάριο 5: Προσθήκη Φ/Β πλαισίου και ΣΑΕ

Για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου, εισήχθησαν στο λογισμικό βελτιστοποίησης οι εξής τεχνολογίες:

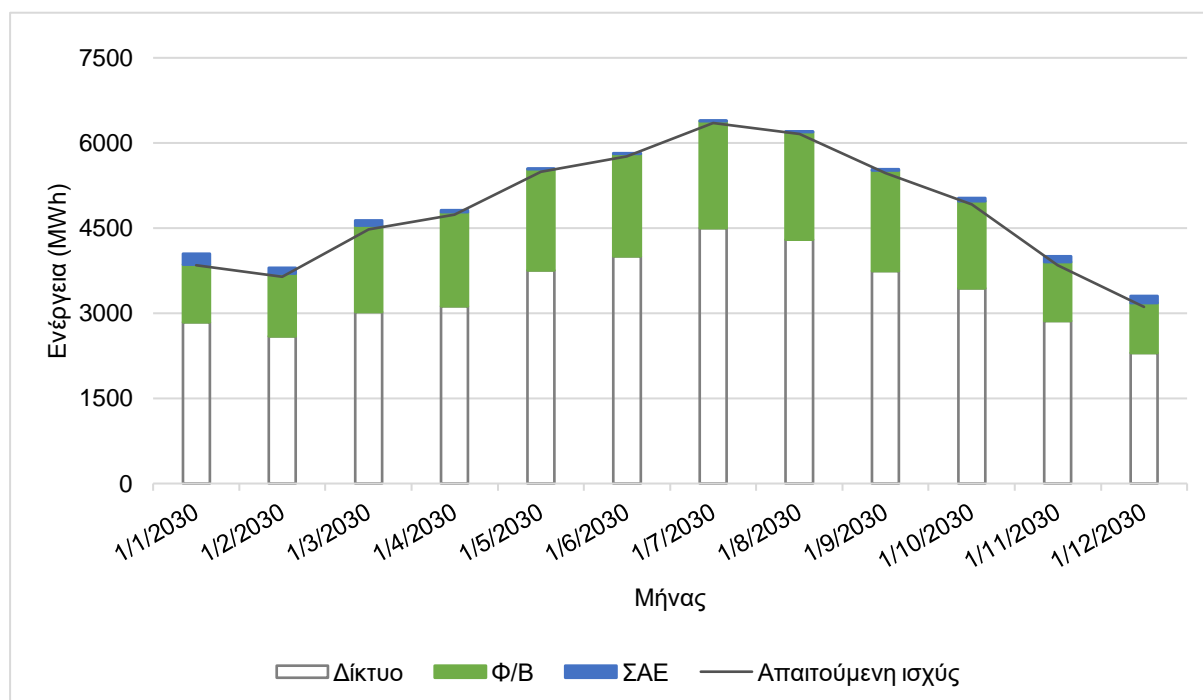
- Φ/Β πλαίσια SunPower X21-335-BLK συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 10 MW
- Μετατροπέας τάσης SMA America STP 60-US-10 (400 VAC) συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 11.199 kW
- Μπαταρίες Gildemeister 250kW-8hr CELLCUBE® FB 250-2MW (32 τεμάχια)

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης, παραπέμπονται στον **Πίνακα 4.10**.

**Πίνακας 4.10.** Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος πέμπτου σεναρίου

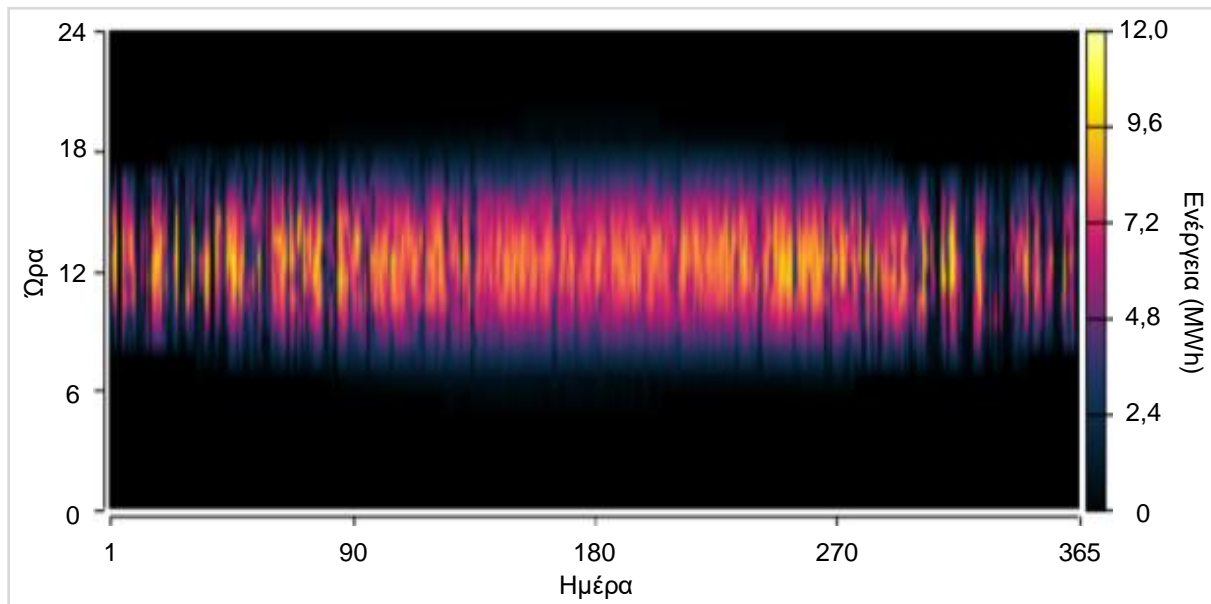
Καθαρή παρούσα αξία (€)	158.330.900
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας (€)	0,212
Ετήσιο λειτουργικό κόστος (€/y)	10.251.840
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	25.800.000
Απόδοση Επένδυσης (%)	12,3
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	15,9
Χρόνος αποπληρωμής (y)	6,15
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην άμεσα καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	30,7
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Φ/Β (MWh/y)	17.894.815
Συνολική προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	40.485.045
Συνολική ενέργεια που παροχετεύθηκε στο τοπικό δίκτυο (MWh/y)	0
Ποσοστό προμηθευμένης ενέργειας από το τοπικό δίκτυο (%)	69,3
Καθαρή ετήσια προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	40.485.045

Στο **Διάγραμμα 4.26** απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη της προβλεπόμενης απαίτησης ισχύος, με βάση το σύστημα του πέμπτου σεναρίου. Η συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή μειώνει το οικολογικό αποτύπωμα στην υπό μελέτη περιοχή, αν και το σύστημα παραμένει σε ισχυρή εξάρτηση από το τοπικό δίκτυο.



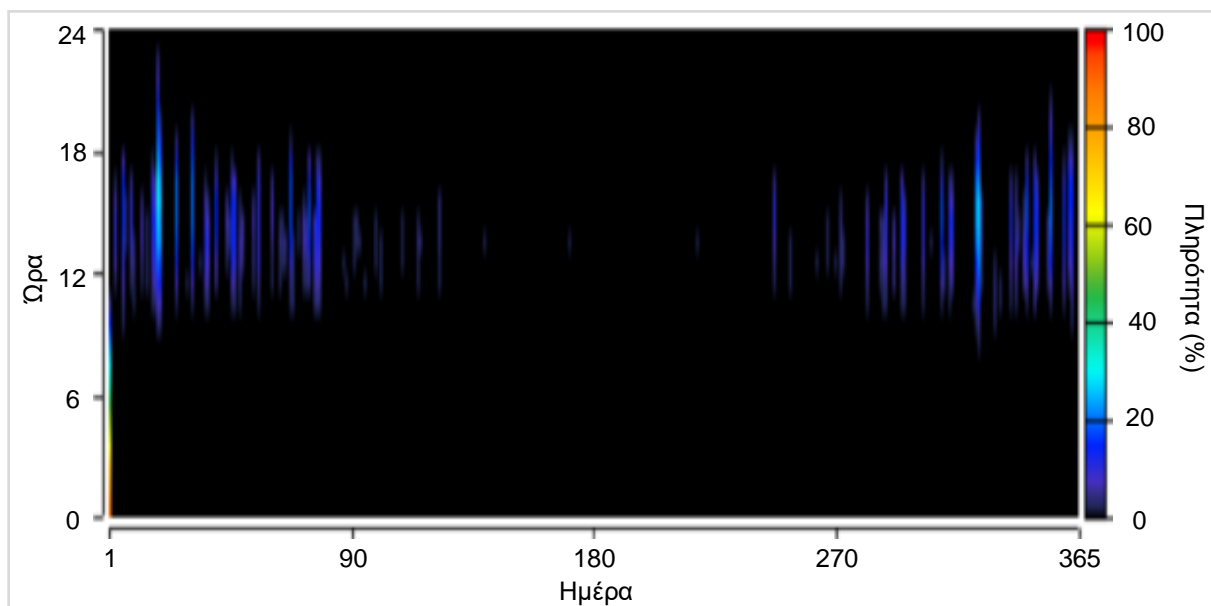
**Διάγραμμα 4.26.** Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.27** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια, λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, επιβεβαιώνοντας το ευνοϊκό ηλιακό δυναμικό της περιοχής μελέτης (**Διάγραμμα 3.1**).



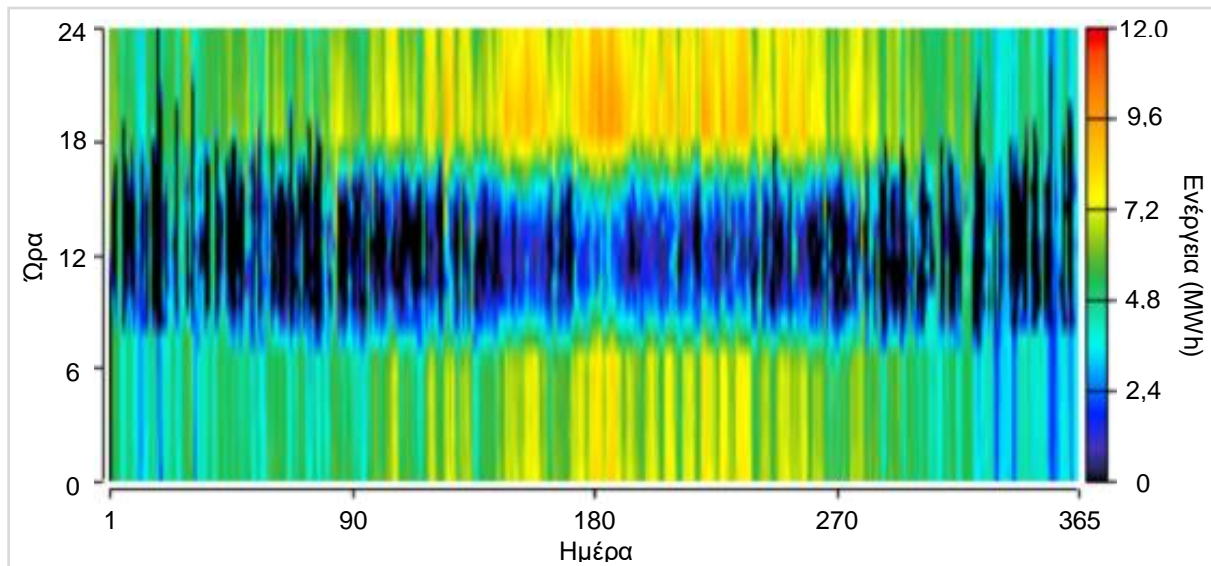
**Διάγραμμα 4.27.** Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.28** παρουσιάζεται η μεταβολή της πληρότητας του ΣΑΕ. Συγκεκριμένα, λόγω της περιορισμένης εγκατεστημένης ισχύος, η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ δεν επαρκεί για την παραγωγή περίσσειας και την αποθήκευσή της. Συνεπώς, με εξαίρεση ορισμένες από τις μεσημβρινές ώρες κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, η πληρότητα του ΣΑΕ, παραμένει μηδενική.



**Διάγραμμα 4.28.** Μεταβολή πληρότητας ΣΑΕ για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.29** φαίνεται η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία το σύστημα προμηθεύεται από το δίκτυο. Όπως ήταν αναμενόμενο, το σύστημα αδυνατεί να καλύψει τις ανάγκες του κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (ιδίως κατά τις νυχτερινές ώρες), όταν η απαιτούμενη ισχύς αυξάνεται λόγω της προσέλευσης τουριστών στην υπό μελέτη περιοχή.



**Διάγραμμα 4.29.** Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου

Έπειτα, υπολογίζονται οι ετήσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για το σύστημα του πέμπτου σεναρίου, ως το γινόμενο της ετήσιας παραχθείσας ενέργειας για τη λειτουργία του συστήματος επί το συντελεστή αέριων εκπομπών ενεργειακού μίγματος για την υπό μελέτη περιοχή, ο οποίος υπολογίστηκε στην **Εξίσωση 3.13**.

$$E_{CO_2-e}^{(5)} = 0,879 \frac{kgCO_2-e}{kWh} \cdot 40.485.045 \frac{MWh}{y} \Rightarrow E_{CO_2-e}^{(5)} = 35.586,4 \frac{tnCO_2-e}{y}$$

#### 4.2.6. Σενάριο 6: Προσθήκη Α/Γ και ΣΑΕ

Για το σύστημα του έκτου σεναρίου, εισήχθησαν στο λογισμικό βελτιστοποίησης οι εξής τεχνολογίες:

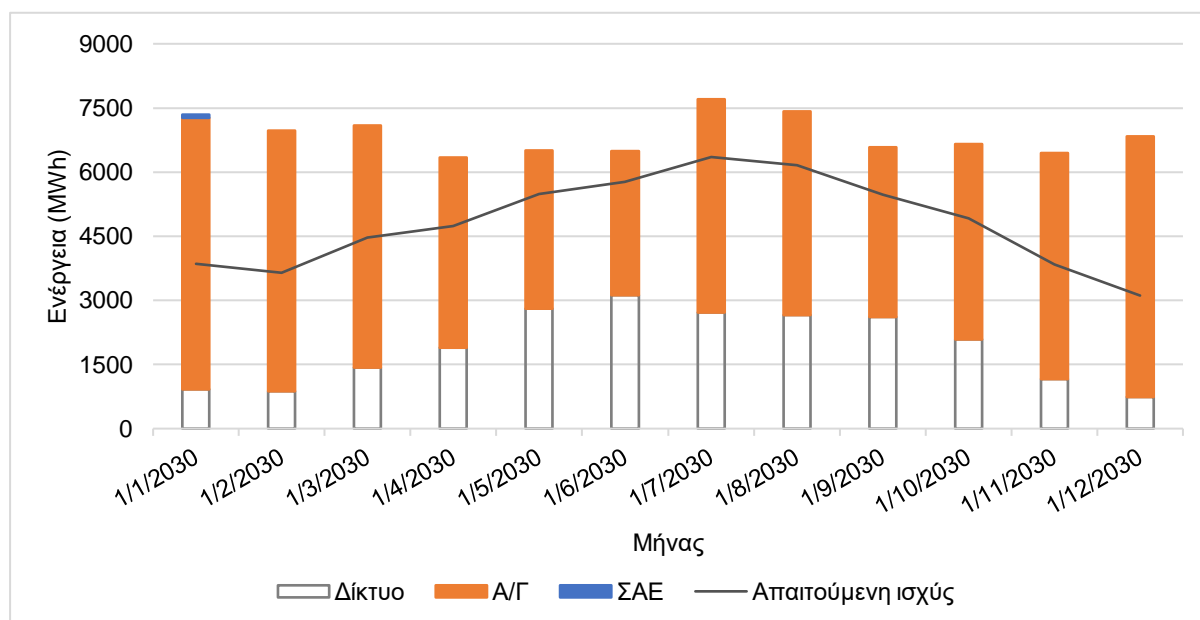
- Α/Γ Leitwind 80 1.000kW (16 τεμάχια)
- Μπαταρίες Gildemeister 250kW-8hr CELLCUBE® FB 250-2MW (32 τεμάχια)

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης, παραπέμπονται στον **Πίνακα 4.11**.

**Πίνακας 4.11.** Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος έκτου σεναρίου.

Καθαρή παρούσα αξία (€)	66.946.370
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας (€)	0,063
Ετήσιο λειτουργικό κόστος (€/y)	1.218.051
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	51.200.000
Απόδοση Επένδυσης (%)	21,9
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	26,4
Χρόνος αποπληρωμής (y)	3,76
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην άμεσα καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	72,1
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Α/Γ (MWh/y)	59.327.609
Συνολική προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	22.991.684
Συνολική ενέργεια που παροχετεύθηκε στο τοπικό δίκτυο (MWh/y)	24.583.586
Ποσοστό προμηθευμένης ενέργειας από το τοπικό δίκτυο (%)	27,9
Καθαρή ετήσια προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	0

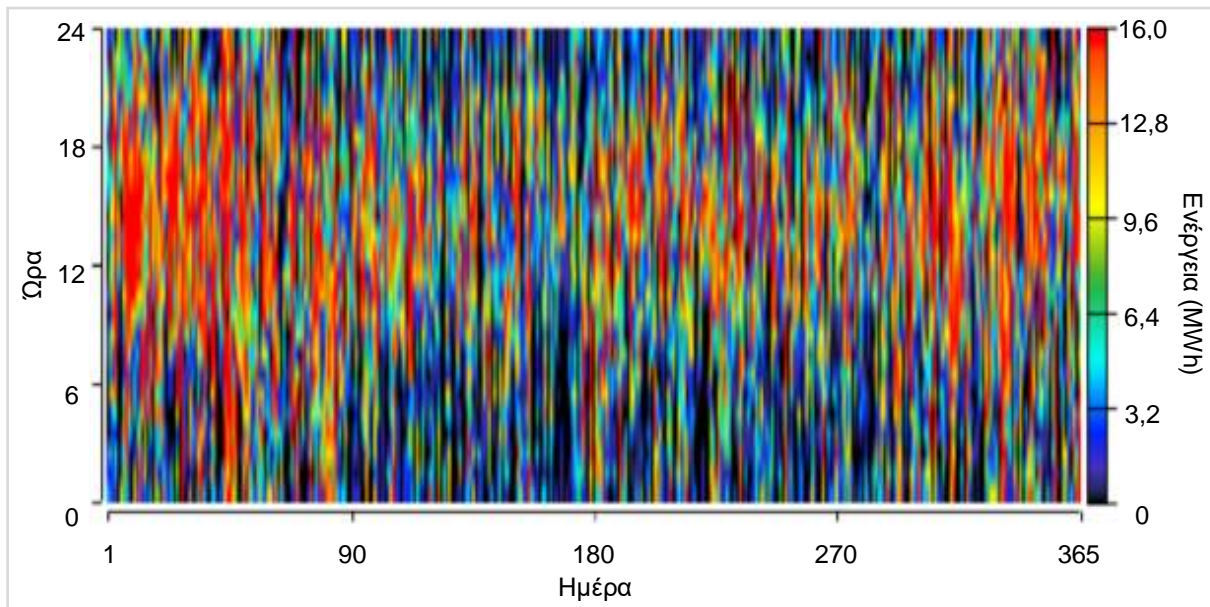
Στο **Διάγραμμα 4.30** απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη της προβλεπόμενης απαίτησης ισχύος, με βάση το σύστημα του έκτου σεναρίου. Η συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή εδραιώνεται για την υπό μελέτη περιοχή, επιφέροντας σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη στο σύστημα.



**Διάγραμμα 4.30.** Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του έκτου σεναρίου

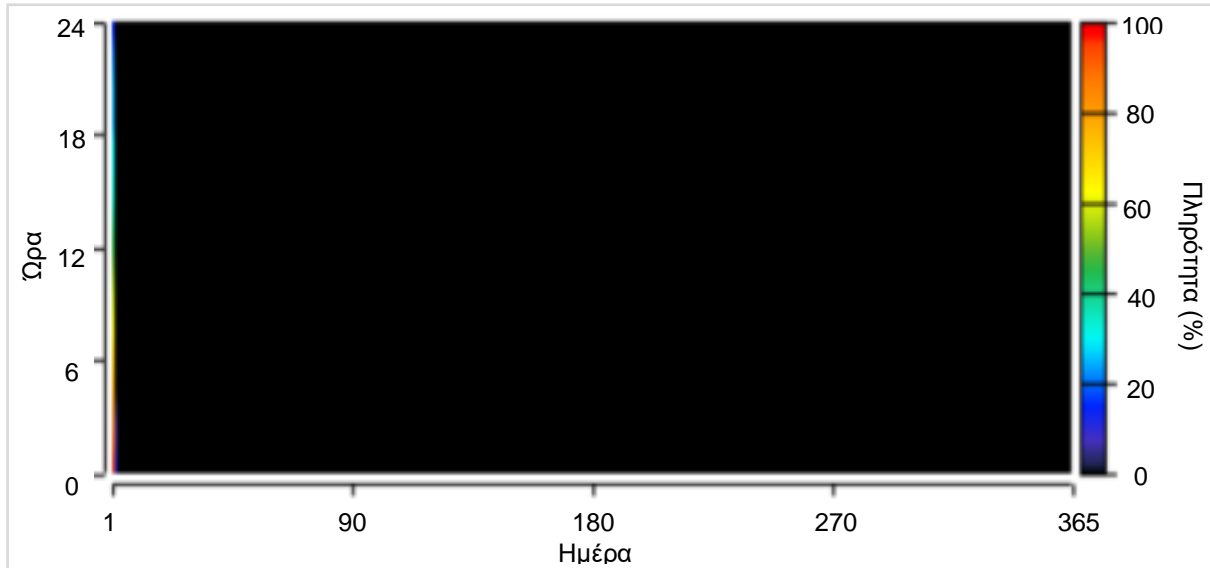
Στο **Διάγραμμα 4.31** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια, λόγω της λειτουργίας των Α/Γ. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, επιβεβαιώνοντας το ευνοϊκό αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης (**Διάγραμμα 3.4**).





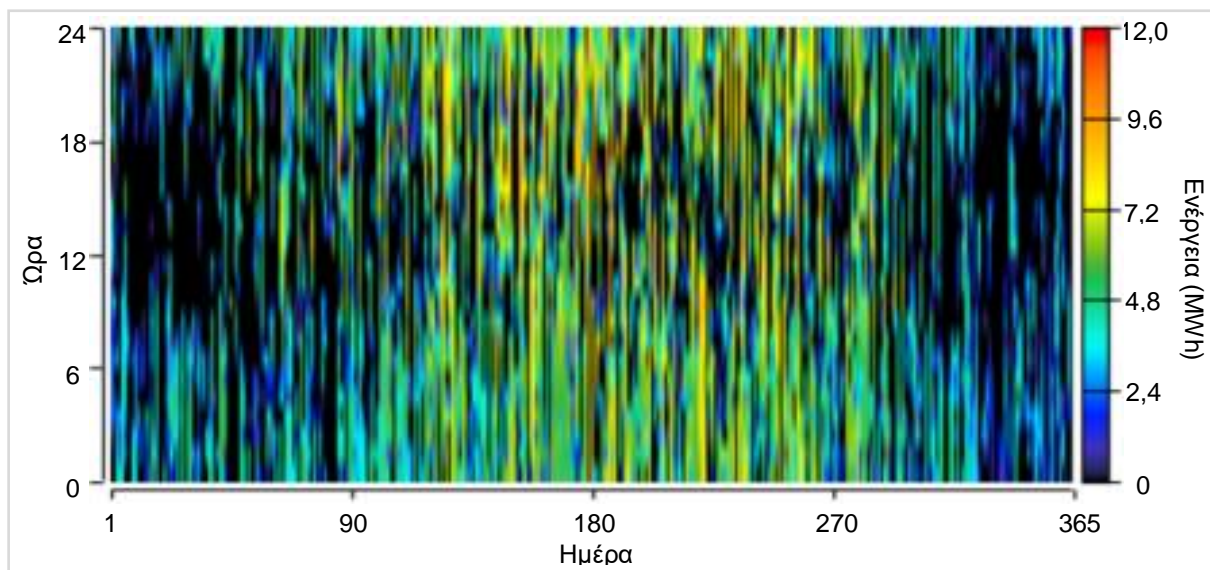
**Διάγραμμα 4.31.** Παραχθείσα ενέργεια από τη λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του έκτου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.32** παρουσιάζεται η μεταβολή της πληρότητας του ΣΑΕ. Συγκεκριμένα, το σύστημα κρίνει οικονομικά ασύμφορη τη χρήση των ΣΑΕ, καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής από Α/Γ είναι ευσταθής καθόλη τη διάρκεια του χρόνου. Έτσι, μετά την εισαγωγή τους και την πρώτη αποφόρτισή τους, το σύστημα απορρίπτει την επαναφόρτισή τους, παροχετεύοντας την περίσσεια παραχθείσα ενέργεια προς το δίκτυο (Net-Metering).



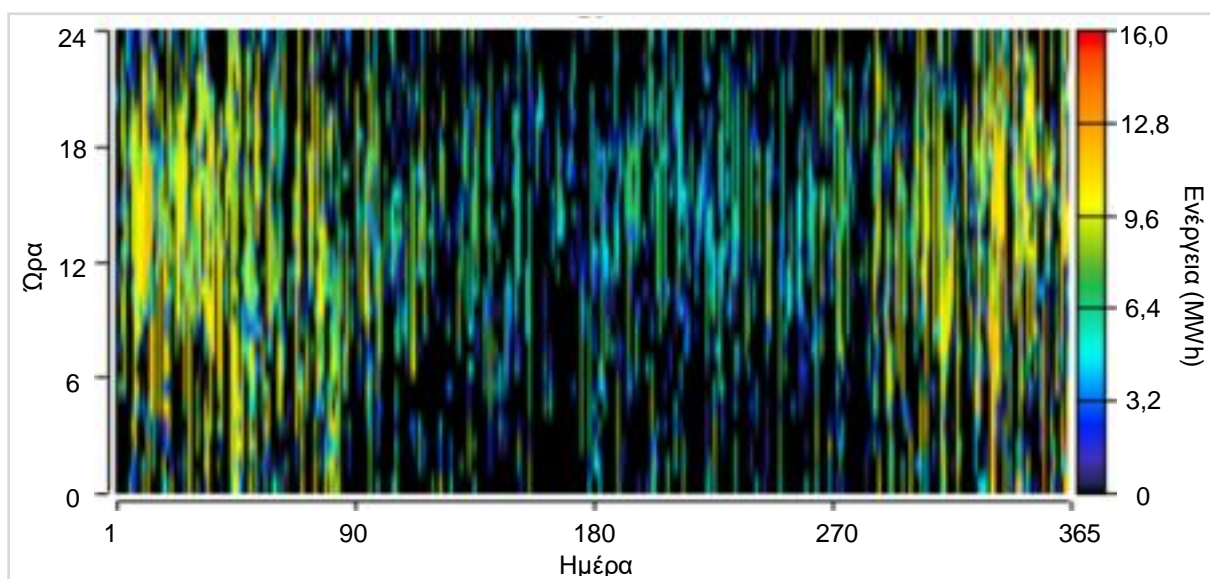
**Διάγραμμα 4.32.** Μεταβολή πληρότητας ΣΑΕ για το σύστημα του έκτου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.33** φαίνεται η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία το σύστημα προμηθεύεται από το δίκτυο. Όπως ήταν αναμενόμενο, το σύστημα αξιοποιεί την ενέργεια του δικτύου για να καλύψει τις ανάγκες του κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (ιδίως κατά τις νυχτερινές ώρες), όταν η απαιτούμενη ισχύς αυξάνεται λόγω της προσέλευσης τουριστών στην υπό μελέτη περιοχή. Αντίθετα, η προμηθευόμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι αισθητά μειωμένη, καθώς το σύστημα λειτουργεί σχεδόν αυτόνομα.



**Διάγραμμα 4.33.** Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του έκτου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.34** παρατίθεται η περίσσεια παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια, η οποία παροχετεύεται από το σύστημα προς το δίκτυο. Συγκεκριμένα, η ενέργεια που παράγεται από τις Α/Γ υπερκαλύπτει τις ανάγκες του συστήματος, παράγοντας σημαντική ποσότητα περίσσειας ενέργειας, ιδίως κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Έτσι, καθίσταται εφικτός ο συμψηφισμός της παραγόμενης-καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Net-Metering).



**Διάγραμμα 4.34.** Ετήσια ενέργεια που παροχετεύθηκε στο δίκτυο από το σύστημα του έκτου σεναρίου

Έπειτα, υπολογίζονται οι ετήσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για το σύστημα του έκτου σεναρίου, ως το γινόμενο της ετήσιας παραχθείσας ενέργειας για τη λειτουργία του συστήματος επί το συντελεστή αέριων εκπομπών ενεργειακού μίγματος για την υπό μελέτη περιοχή, ο οποίος υπολογίστηκε στην **Εξίσωση 3.13**.

$$E_{CO_2-e}^{(6)} = 0,879 \frac{kgCO_2-e}{kWh} \cdot 0 \frac{MWh}{y} \Rightarrow E_{CO_2-e}^{(6)} = 0 \frac{tnCO_2-e}{y}$$



#### 4.2.7. Σενάριο 7: Συνδυασμός Φ/Β πλαισίου Α/Γ και ΣΑΕ

Για το σύστημα του έβδομου σεναρίου, εισήχθησαν στο λογισμικό βελτιστοποίησης οι εξής τεχνολογίες:

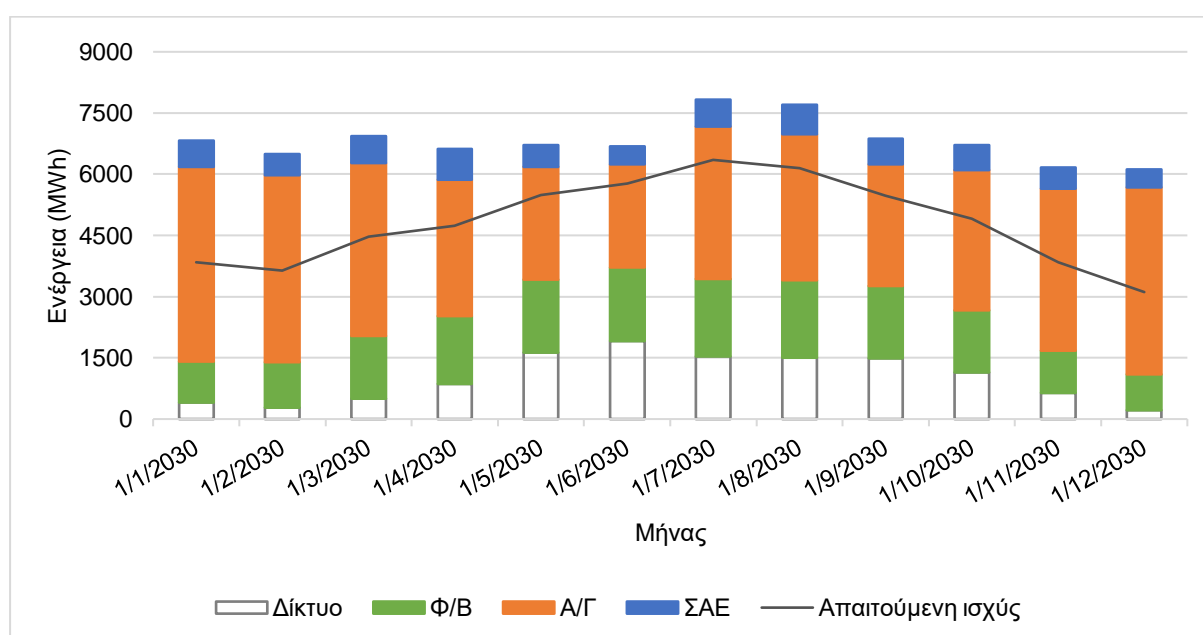
- Φ/Β πλαίσια SunPower X21-335-BLK συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 10 MW
- Μετατροπέας τάσης SMA America STP 60-US-10 (400 VAC) συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 7.459 kW
- Α/Γ Leitwind 80 1.000kW συνολικής ποσότητας (11 τεμάχια)
- Μπαταρίες Gildemeister 250kW-8hr CELLCUBE® FB 250-2MW (32 τεμάχια)

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης, παραπέμπονται στον **Πίνακα 4.12**.

**Πίνακας 4.12.** Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος έβδομου σεναρίου

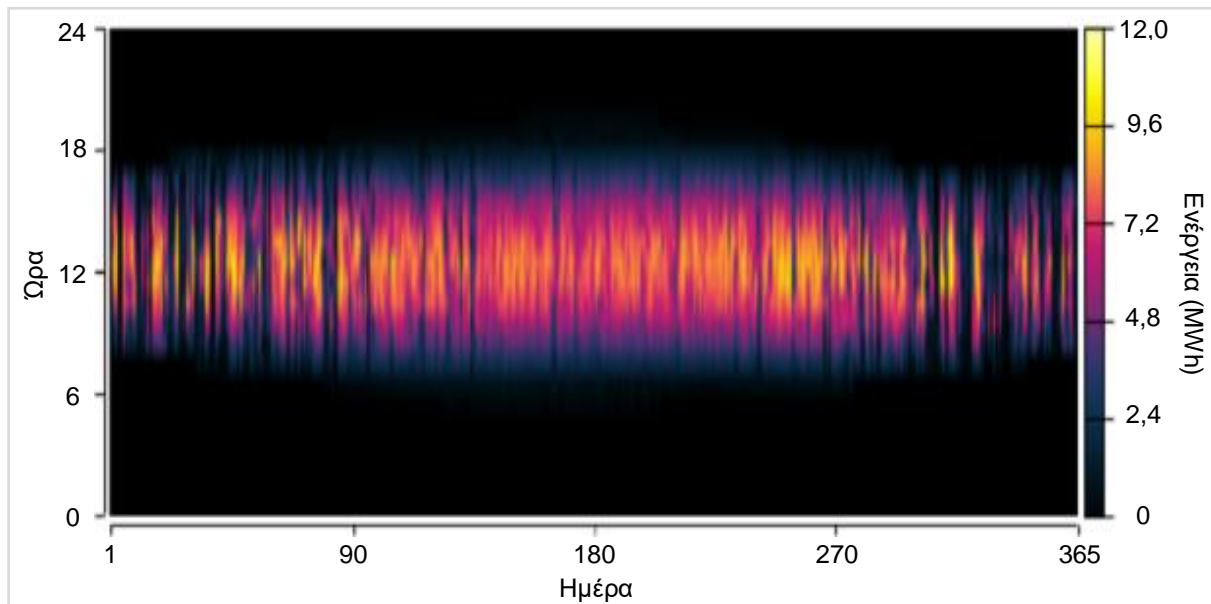
Καθαρή παρούσα αξία (€)	63.001.370
Ισοδύναμο κόστος ενέργειας (€)	0,068
Ετήσιο λειτουργικό κόστος (€/y)	1.021.184
Συνολικό κόστος αρχικής επένδυσης (€)	49.800.000
Απόδοση Επένδυσης (%)	23,0
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	27,4
Χρόνος αποπληρωμής (y)	3,63
Ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην άμεσα καταναλισκόμενη ενέργεια (%)	83,7
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Α/Γ (MWh/y)	44.495.707
Ετήσια παραχθείσα ενέργεια από Φ/Β (MWh/y)	17.894.815
Συνολική προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	12.143.941
Συνολική ενέργεια που παροχετεύθηκε στο τοπικό δίκτυο (MWh/y)	13.443.174
Ποσοστό προμηθευμένης ενέργειας από το τοπικό δίκτυο (%)	16,3
Καθαρή ετήσια προμηθευμένη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο (MWh/y)	0

Στο **Διάγραμμα 4.35** απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη της προβλεπόμενης απαίτησης ισχύος, με βάση το σύστημα του έβδομου σεναρίου. Η συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή εδραιώνεται για την υπό μελέτη περιοχή, αξιοποιώντας το συνδυασμό διαφορετικών τεχνολογιών και επιφέρει σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη στο σύστημα.



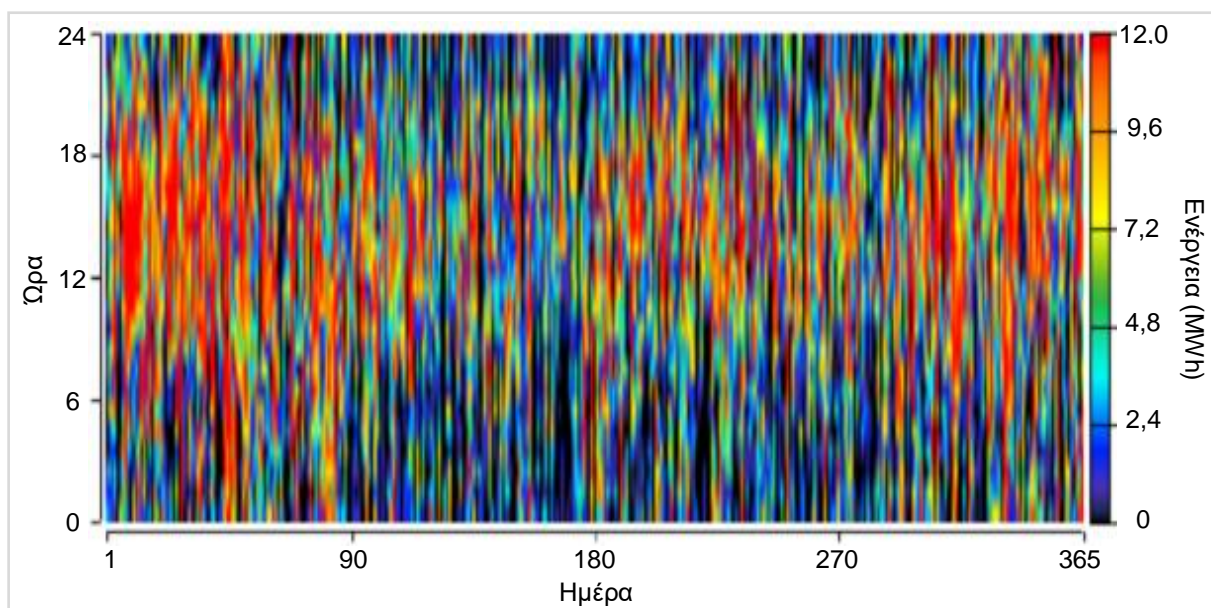
**Διάγραμμα 4.35.** Μηνιαία παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα του έβδομου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.36** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια, λόγω της λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, επιβεβαιώνοντας το ευνοϊκό ηλιακό δυναμικό της περιοχής μελέτης (Διάγραμμα 3.1).



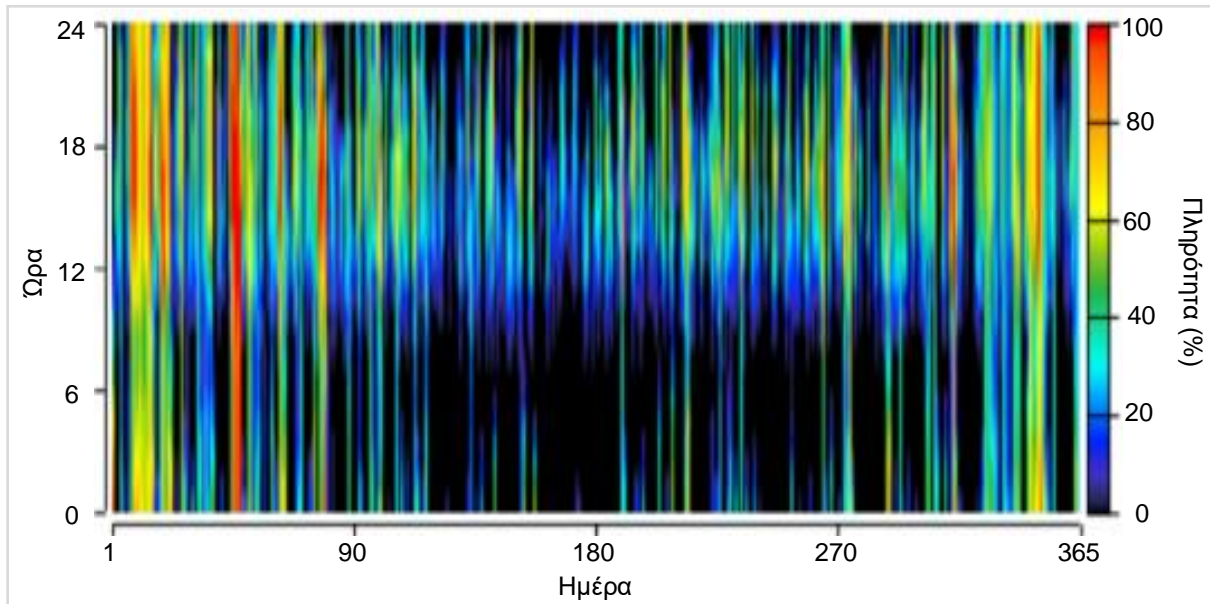
**Διάγραμμα 4.36.** Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Φ/Β πλαισίων για το σύστημα του έβδομου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.37** παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια, λόγω της λειτουργίας των Α/Γ. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια ευσταθής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, επιβεβαιώνοντας το ευνοϊκό αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης (Διάγραμμα 3.4).



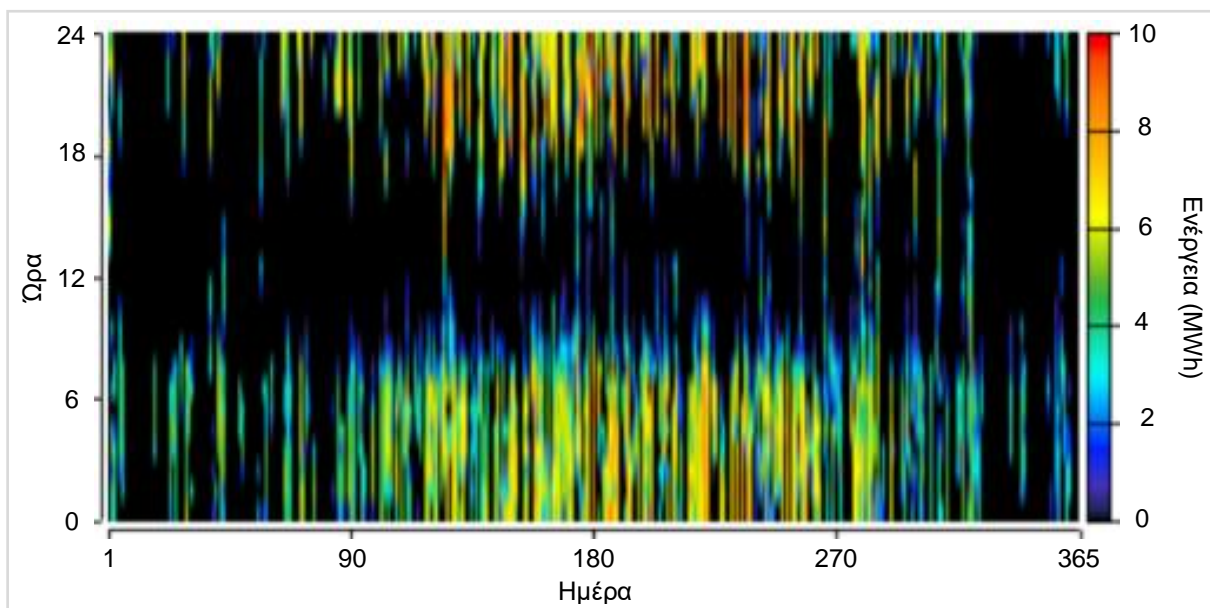
**Διάγραμμα 4.37.** Παραχθείσα ενέργεια απο τη λειτουργία των Α/Γ για το σύστημα του έβδομου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.38** παρουσιάζεται η μεταβολή της πληρότητας του ΣΑΕ. Συγκεκριμένα, ο συνδυασμός διαφορετικών μορφών ΑΠΕ εξασφαλίζει την ευσταθή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, γεγονός που εξασφαλίζει σημαντική ποσότητα περίσσειας, η οποία αποθηκεύεται στις μπαταρίες και είναι διαθέσιμη προς μελλοντική χρήση.



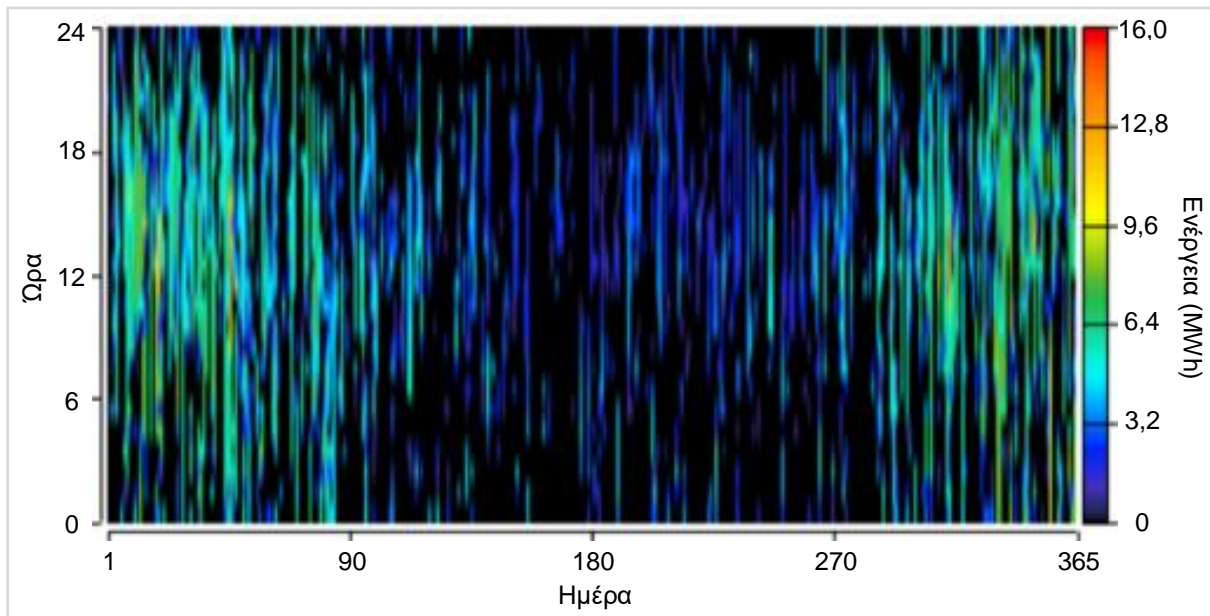
**Διάγραμμα 4.38.** Μεταβολή πληρότητας ΣΑΕ για το σύστημα του έβδομου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.39** φαίνεται η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία το σύστημα προμηθεύεται από το δίκτυο. Συγκεκριμένα, λόγω του συνδυασμού διαφορετικών μορφών ΑΠΕ, εξασφαλίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, ελαχιστοποιώντας την προμηθευόμενη ενέργεια από το τοπικό δίκτυο, η οποία κρίνεται απαραίτητη μόνο κατά τους θερινούς μήνες, κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών.



**Διάγραμμα 4.39.** Ετήσια προμηθευόμενη ενέργεια απο το δίκτυο για το σύστημα του έβδομου σεναρίου

Στο **Διάγραμμα 4.40** παρατίθεται η περίσσεια παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια, η οποία παροχετεύεται από το σύστημα προς το δίκτυο. Συγκεκριμένα, η ενέργεια που παράγεται από τα Φ/Β και τις Α/Γ υπερκαλύπτει τις ανάγκες του συστήματος, παράγοντας σημαντική ποσότητα περίσσειας ενέργειας, ιδίως κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Έτσι, καθίσταται εφικτός ο συμψηφισμός της παραγόμενης-καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Net-Metering).



**Διάγραμμα 4.40.** Ετήσια ενέργεια που παροχετεύθηκε στο δίκτυο από το σύστημα του έβδομου σεναρίου

Έπειτα, υπολογίζονται οι ετήσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για το σύστημα του έβδομου σεναρίου, ως το γινόμενο της ετήσιας παραχθείσας ενέργειας για τη λειτουργία του συστήματος επί το συντελεστή αέριων εκπομπών ενεργειακού μίγματος για την υπό μελέτη περιοχή, ο οποίος υπολογίστηκε στην **Εξίσωση 3.13**.

$$E_{CO_2-e}^{(7)} = 0,879 \frac{kgCO_2-e}{kWh} \cdot 0 \frac{MWh}{y} \Rightarrow E_{CO_2-e}^{(7)} = 0 \frac{tnCO_2-e}{y}$$

### 4.3. Σύγκριση σεναρίων

Κατόπιν ολοκλήρωσης της προσομοίωσης για το κάθε σενάριο που μοντελοποιήθηκε στο λογισμικό Homer Pro, προέκυψαν χρήσιμα αποτελέσματα, μέσω των οποίων δύναται να διεξαχθεί σύγκριση των σεναρίων, με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου για την περιοχή μελέτης. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα για το σύστημα του κάθε σεναρίου παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.13**. Συγκεκριμένα, παρατίθενται τα ποσοστά συμμετοχής στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάθε επιμέρους πηγή (Δ: Δίκτυο, ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Φ/Β: Φωτοβολταϊκά πλαίσια, Α/Γ: Ανεμογεννήτριες), η ποσότητα των απαιτούμενων ΣΑΕ, η οποία εξασφαλίζει χρόνο αυτονομίας συστήματος (ΧΑΣ) ίσο με 12 ώρες, καθώς επίσης και οικονομικά στοιχεία (ΚΠΑ: Καθαρή Παρούσα Αξία, ΙΚΕ: Ισοδύναμο Κόστος Ενέργειας, ΕΛΚ: Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος, ΣΚΑΕ: Συνολικό Κόστος Αρχικής Επένδυσης, ΧΑ: Χρόνος Αποπληρωμής, ΑΕ: Απόδοση Επένδυσης, ΕΒΑ: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης), αλλά και περιβαλλοντικά (CO<sub>2</sub>-e: ετήσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για κάθε προσομοιωμένο σενάριο).

Λόγω του μεγάλου αριθμού σεναρίων που προσομοιώθηκαν, η ταυτόχρονη σύγκριση μεταξύ τους, με σκοπό τον καθορισμό του βέλτιστου, κρίνεται δύσκολη και συνεπώς, θα πραγματοποιηθούν επιμέρους συγκρίσεις των σεναρίων, ανάλογα με τις ρυθμιστικές παραμέτρους του κάθε συστήματος. Αρχικά, θα λάβει χώρα η ανάλυση του συστήματος του πρώτου σεναρίου, το οποίο αποτελεί την αποτύπωση της κατάστασης που θα επικρατεί στην περιοχή μελέτης το έτος 2030, χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση. Έπειτα θα εξεταστούν το δεύτερο με το τρίτο και με το τέταρτο σενάριο, ώστε να προκριθεί το βέλτιστο σενάριο χωρίς να ληφθεί υπόψη η ενσωμάτωση ΣΑΕ στο σύστημα. Τέλος, θα συγκριθούν μεταξύ τους τα συστήματα του πέμπτου, του έκτου και του έβδομου σεναρίου, ώστε να προκύψει το βέλτιστο σενάριο λαμβάνοντας υπόψη την ενσωμάτωση ΣΑΕ, τα οποία δύνανται να αποθηκεύουν την περίσσεια παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια.

Στο σύστημα του πρώτου σεναρίου, στο οποίο παρουσιάζεται η προβλεπόμενη κατάσταση στην περιοχή μελέτης κατά το 2030 χωρίς καμία παρέμβαση (baseline scenario), γίνεται σαφής η άμεση εξάρτηση του συστήματος από τον τοπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, η λειτουργία του οποίου βασίζεται στην καύση ορυκτών καυσίμων. Το ισοδύναμο κόστος ενέργειας, λόγω και της επικρατούσας ενεργειακής κρίσης, είναι πολύ υψηλό. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη περιορισμού των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου, γίνεται σαφής η επιτακτική ανάγκη για ενεργειακή αναβάθμιση του συστήματος.

Έπειτα, πραγματοποιείται σύγκριση ανάμεσα στα συστήματα του δεύτερου, του τρίτου και του τέταρτου σεναρίου, τα οποία έχουν ως κοινή ρυθμιστική παράμετρο την απουσία ΣΑΕ. Στο δεύτερο σενάριο είναι εμφανής η χαμηλή συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς, όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4.4.1, η υλοποίηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος από 10.000kW, λαμβάνοντας υπόψη το διαθέσιμο χώρο στην υπό μελέτη περιοχή, κρίνεται ανέφικτη. Συνεπώς, παρά τον περιορισμό των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (κατά 30%), το ισοδύναμο κόστος ενέργειας παραμένει υψηλό. Συνεπώς, το σύστημα του δεύτερου σεναρίου απορρίπτεται και διεξάγεται σύγκριση ανάμεσα στα αντίστοιχα του τρίτου και του τέταρτου σεναρίου. Τα δύο συστήματα εξασφαλίζουν την εξάλειψη των αέριων ρύπων, οι οποίοι παράγονται κατά τη διαδικασία της ηλεκτροπαραγωγής. Έπειτα, αξιολογώντας τους οικονομικούς δείκτες και των δύο σεναρίων, παρατηρείται ότι το σύστημα του τέταρτου



σεναρίου είναι ακριβότερο, όμως, ο συνδυασμός διαφορετικών μορφών ΑΠΕ προσδίδει μεγαλύτερη ευστάθεια, καθώς επίσης και αποτελεσματικότερη λειτουργία. Συνεπώς, το σύστημα του τέταρτου σεναρίου καθίσταται ως το βέλτιστο σε σύγκριση με τα σενάρια, όπου απουσιάζει η τεχνολογία των ΣΑΕ.

Στη συνέχεια διεξάγεται σύγκριση ανάμεσα στα συστήματα του πέμπτου, του έκτου και του έβδομου σεναρίου, τα οποία μοντελοποιήθηκαν με κοινές ρυθμιστικές παραμέτρους όπως το δεύτερο, το τρίτο και το τέταρτο σενάριο αντίστοιχα, όμως πλέον, εισάγονται ΣΑΕ, ώστε να καταστεί εφικτή η αποθήκευση ενδεχόμενης περίσσειας παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα του πέμπτου σεναρίου, όπως το αντίστοιχο του δεύτερου, παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, καθώς, όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4.4.1, η υλοποίηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος από 10.000kW, λαμβάνοντας υπόψη το διαθέσιμο χώρο στην υπό μελέτη περιοχή, κρίνεται ανέφικτη. Συνεπώς, το πέμπτο σενάριο απορρίπτεται και διεξάγεται σύγκριση ανάμεσα στα συστήματα του έκτου και του έβδομου. Το σύστημα του έβδομου σεναρίου, στο οποίο μοντελοποιήθηκε τόσο ο συνδυασμός διαφορετικών μορφών ΑΠΕ, όσο και η εγκατάσταση ΣΑΕ εξασφαλίζει το χαμηλότερο ποσοστό συμμετοχής του δικτύου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ παράλληλα, οι οικονομικοί του δείκτες προσεγγίζουν τους αντίστοιχους του έκτου σεναρίου. Λαμβάνοντας όμως υπόψη τη μεγαλύτερη ευστάθεια του συστήματος, λόγω της αξιοποίησης δύο διαφορετικών μορφών ΑΠΕ για την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας, το έβδομο σενάριο προκρίνεται ως το βέλτιστο μεταξύ των συστημάτων, τα οποία αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργεια σε μπαταρίες για μελλοντική χρήση.

Έχοντας ολοκληρώσει τις επιμέρους συγκρίσεις των σεναρίων και αξιολογήσει τα βέλτιστα, αναφορικά με την παρουσία ΣΑΕ, διεξάγεται εκ νέου σύγκριση ανάμεσα στα συστήματα του τέταρτου και του έβδομου σεναρίου, με σκοπό την ανάδειξη της βέλτιστης λύσης, ώστε να καταστεί εφικτή η βιώσιμη ανάπτυξη της περιοχής μελέτης. Αναφορικά με την περιβαλλοντική τους υπόσταση, και τα 2 σενάρια επιτυγχάνουν την εξάλειψη των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα προς την ατμόσφαιρα, αξιοποιώντας το συμψηφισμό παραγόμενης-καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη τον οικονομικό παράγοντα, το τέταρτο σενάριο είναι το βέλτιστο, καθώς εξασφαλίζει το χαμηλότερο ισοδύναμο κόστος ενέργειας, ενώ παράλληλα, η απαιτούμενη συνολική αρχική επένδυση είναι οικονομικότερη. Όμως, η πρόκριση ενός συστήματος, το οποίο αξιοποιεί ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς τη χρήση ΣΑΕ, είναι ασταθής, και επηρεάζεται άμεσα από μια ενδεχόμενη αλλαγή καιρικών συνθηκών, ενώ παράλληλα, η πρόκληση ενδεχόμενης βλάβης θα επιφέρει έντονη δυσφορία, καθώς το σύστημα αδυνατεί να λειτουργήσει αυτόνομα. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη και τον κοινωνικό παράγοντα, το σύστημα του έβδομου σεναρίου αξιολογείται ως το βέλτιστο για την περιοχή μελέτης.

**Πίνακας 4.13.** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για κάθε προσομοιωμένο σενάριο σχετικά με τη συμμετοχή των πηγών παραγωγής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, το χρόνο αυτόνομης λειτουργίας του κάθε συστήματος, το κόστος και τις ετήσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα

Σενάριο	Πηγές παραγωγής				ΣΑΕ (τμχ)	ΧΑΣ (h)	Κόστος							CO <sub>2</sub> -e (tn/y)
	Δ (%)	ΑΠΕ (%)	Φ/Β (%)	Α/Γ (%)			ΚΠΑ (10 <sup>6</sup> €)	ΙΚΕ (€)	ΕΛΚ (10 <sup>6</sup> €)	ΣΚΑΕ (10 <sup>6</sup> €)	ΧΑ (y)	ΑΕ (%)	ΕΒΑ (%)	
1	88,9	11,1	4,1	7,0	×	0	186,8	0,250	14,4	0	×	×	×	50.806,8
2	69,7	30,3	30,3	0	×	0	138,0	0,182	10,2	6,6	1,54	60,9	64,9	35.391,8
3	28,0	72,0	0	72,0	×	0	47,5	0,044	1,2	32,0	2,34	37,5	42,6	0
4	25,3	74,7	22,8	51,9	×	0	40,4	0,040	0,9	28,6	2,07	43,4	48,2	0
5	69,3	30,7	30,7	0	32	12	158,3	0,212	10,2	25,8	6,15	12,3	15,9	35.586,4
6	27,9	72,1	0	72,1	32	12	66,9	0,063	1,2	51,2	3,76	21,9	26,4	0
7	16,3	83,7	24,0	59,7	32	12	63,0	0,068	1,0	49,8	3,63	23,0	27,4	0

#### 4.4. Ανάλυση ευαισθησίας

Σε αυτή την υποενότητα διεξάγεται ανάλυση ευαισθησίας, ώστε να αξιολογηθεί και να αναλυθεί η επίπτωση μιας ενδεχόμενης μεταβολής στην ευστάθεια του συστήματος. Για τη συγκεκριμένη διαδικασία παρουσιάζεται το σύστημα του έβδομου σεναρίου, καθώς εξετάζονται παράλληλα ο συνδυασμός διαφορετικών συστημάτων ΑΠΕ και η δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας του συστήματος, μέσω της χρήσης ΣΑΕ. Ο έλεγχος της ευστάθειας του συστήματος, μέσω της μεταβολής σημαντικών παραγόντων του, αξιολογείται λαμβάνοντας υπόψη την αυξομείωση τεσσάρων παραμέτρων, οι οποίες είναι το ισοδύναμο κόστος ενέργειας (IKE), η συνολική ποσοστιαία συμμετοχή των διαφόρων μορφών ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΑΠΕ), ο χρόνος αυτονομίας του συστήματος (ΧΑΣ) και οι εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>-e). Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν τέσσερις διαφορετικοί παράγοντες, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ουσιώδεις και ενδεχόμενη μεταβολή τους μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ευστάθεια του συστήματος.

##### 4.4.1. Πυκνότητα ηλιακής ισχύος

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας για τη διαθέσιμη πυκνότητα ηλιακής ισχύος της περιοχής μελέτης (**Διάγραμμα 4.41**), καθώς ενδεχόμενη προσαύξησή της δύναται να επηρεάσει ένα σημαντικό ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο οφείλεται στη λειτουργία των Φ/Β πλαισίων, ενώ παράλληλα, εμφανίζει τόσο οικονομικές, όσο και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, ενδεχόμενη μείωση της διαθέσιμης πυκνότητας ηλιακής ισχύος δύναται να αυξήσει το ισοδύναμο κόστος ενέργειας (έως και 33%), καθώς επίσης και τις εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (άνοδος έως και 5.700tn CO<sub>2</sub>-e/y). Αντίθετα, το ποσοστό παραχθείσας ενέργειας από ΑΠΕ του συστήματος μειώνεται (10% πτώση), ενώ δεν παρατηρείται καμία μεταβολή στο χρόνο αυτονομίας του συστήματος. Στην περίπτωση της αυξημένης πυκνότητας ηλιακής ισχύος, η μόνη μεταβολή στο σύστημα αφορά το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (αύξηση κατά 4%).

##### 4.4.2. Ταχύτητα ανέμου

Έπειτα, πραγματοποιείται πανομοιότυπη διαδικασία για την ταχύτητα ανέμου της περιοχής (**Διάγραμμα 4.42**), καθώς το υπό μελέτη σύστημα βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από την εγκατάσταση και τη λειτουργία των Α/Γ, οι οποίες καλύπτουν παραπάνω από το 50% της απαιτούμενης ισχύος του συστήματος και συνεπώς, δύνανται να μεταβάλουν δραστικά την ευστάθειά του. Συγκεκριμένα, ενδεχόμενη μείωση της ταχύτητας του ανέμου δύναται να αυξήσει ραγδαία την τιμή του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (έως και 227%), καθώς επίσης και τις εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (άνοδος έως και 28.800tn CO<sub>2</sub>-e/y). Αντίθετα, το ποσοστό παραχθείσας ενέργειας από ΑΠΕ του συστήματος μειώνεται (40% πτώση), ενώ δεν παρατηρείται καμία μεταβολή στο χρόνο αυτονομίας του συστήματος. Στην περίπτωση της αυξημένης ταχύτητας ανέμου, η μόνη μεταβολή στο σύστημα αφορά το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (αύξηση κατά 13%).

##### 4.4.3. Περιβαλλοντικό πρόστιμο

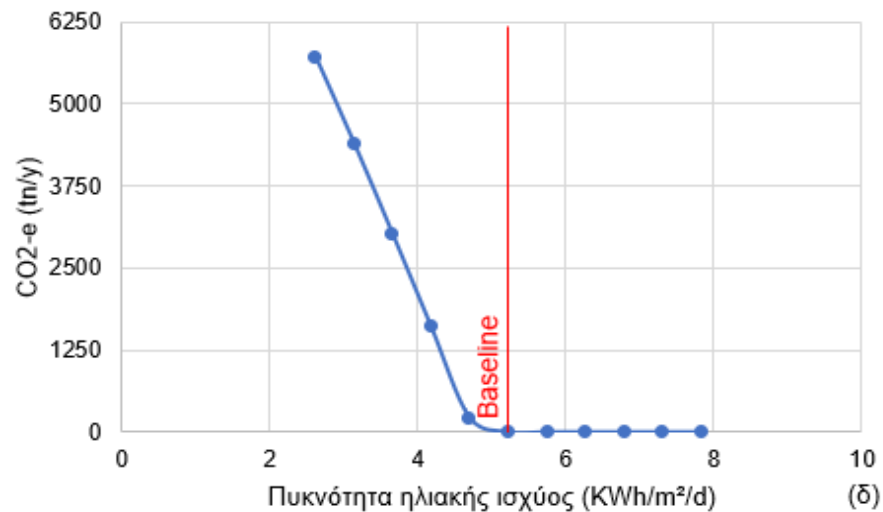
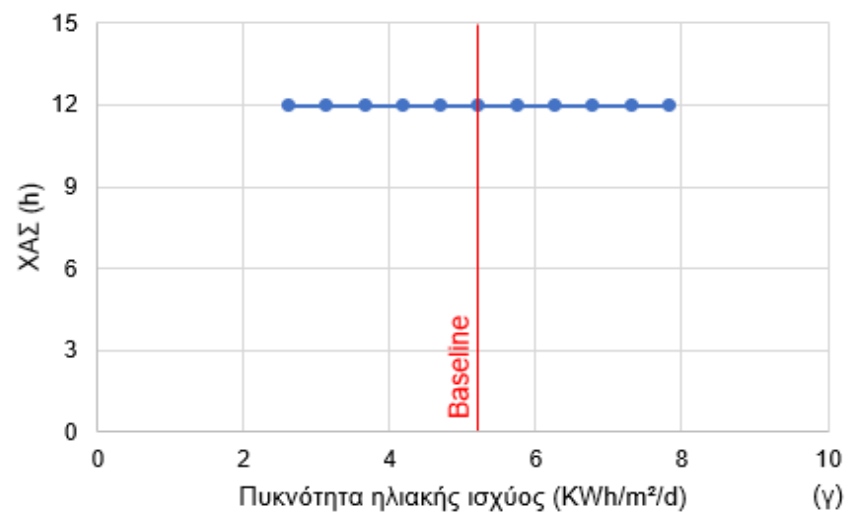
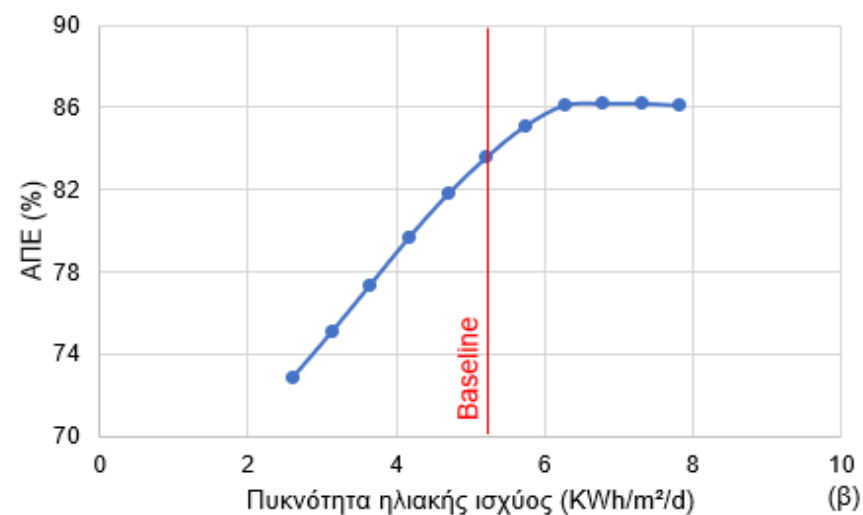
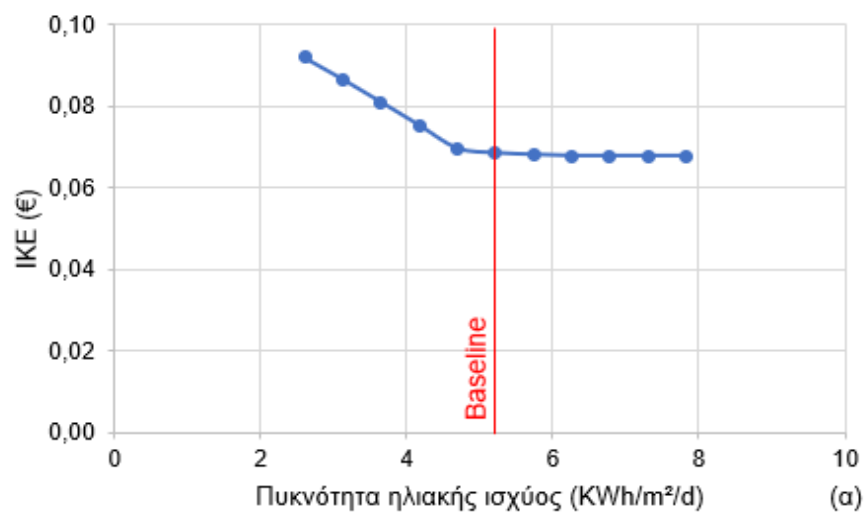
Στη συνέχεια, εξετάζεται η επιβολή περιβαλλοντικών προστίμων για την καύση άνθρακα (**Διάγραμμα 4.43**), καθώς αν και αυτό το μέτρο δεν έχει εφαρμοστεί στην Ελλάδα, αποτελεί



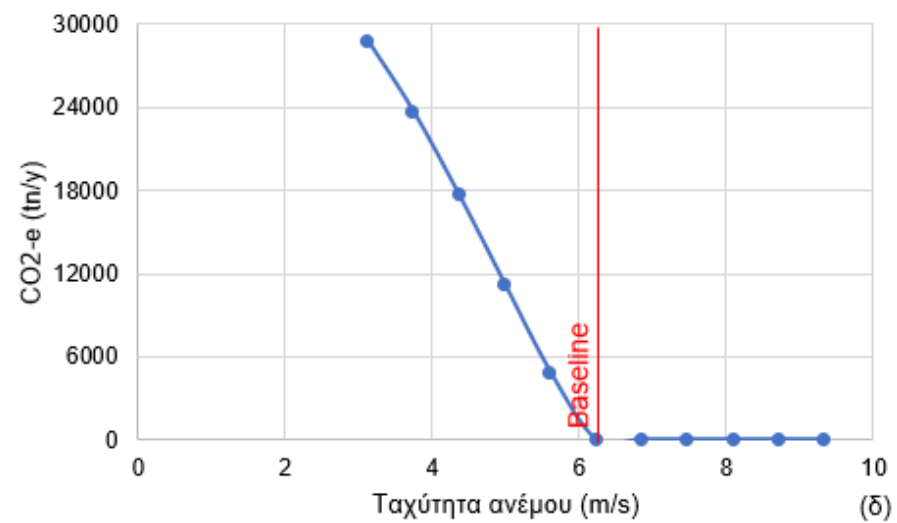
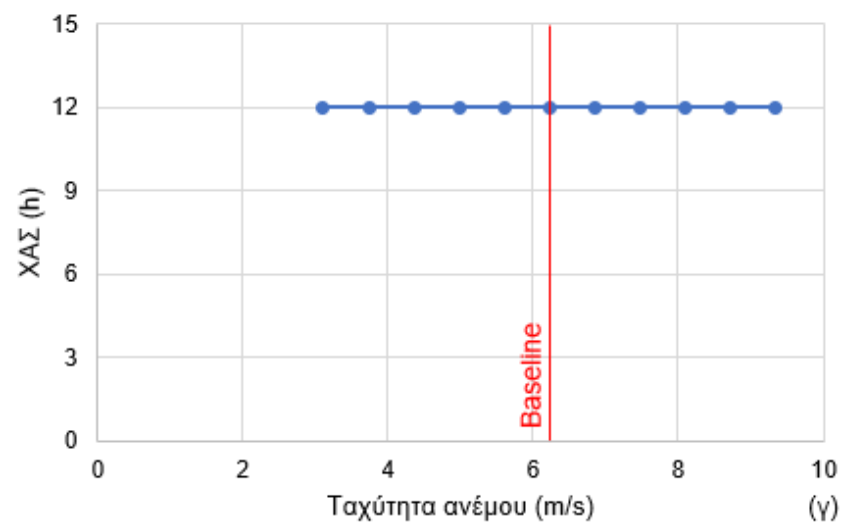
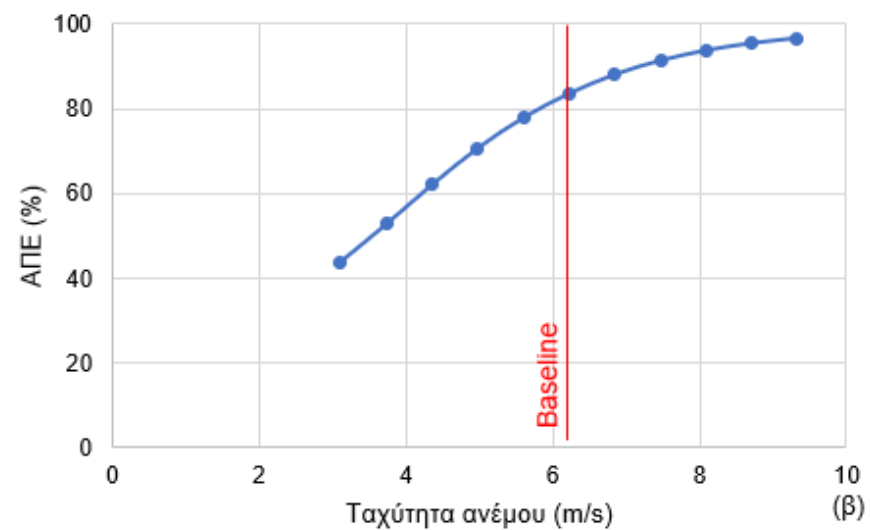
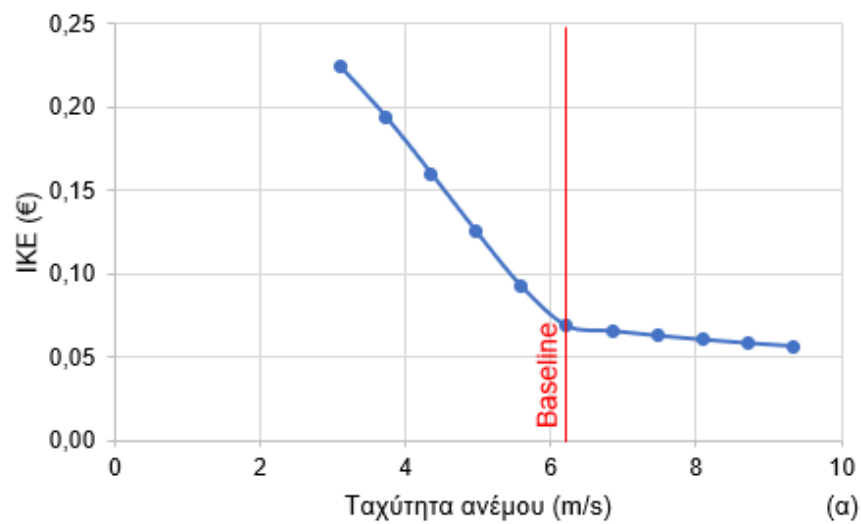
μια εδραιωμένη τακτική σε άλλες χώρες, η οποία αποσκοπεί στην εξάλειψη του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος. Η μόνη σημαντική μεταβολή που παρατηρείται στο σύστημα αφορά το ισοδύναμο κόστος ενέργειας (αύξηση κατά 43,6%), ενώ η μεταβολή στις ετήσιες εκπομπές αέριων ρύπων και του ποσοστού συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή κρίνεται αμελητέα (1%). Ως προς το χρόνο αυτονομίας του συστήματος, δεν σημειώθηκε καμία μεταβολή.

#### **4.4.4. Απαιτούμενη ισχύς**

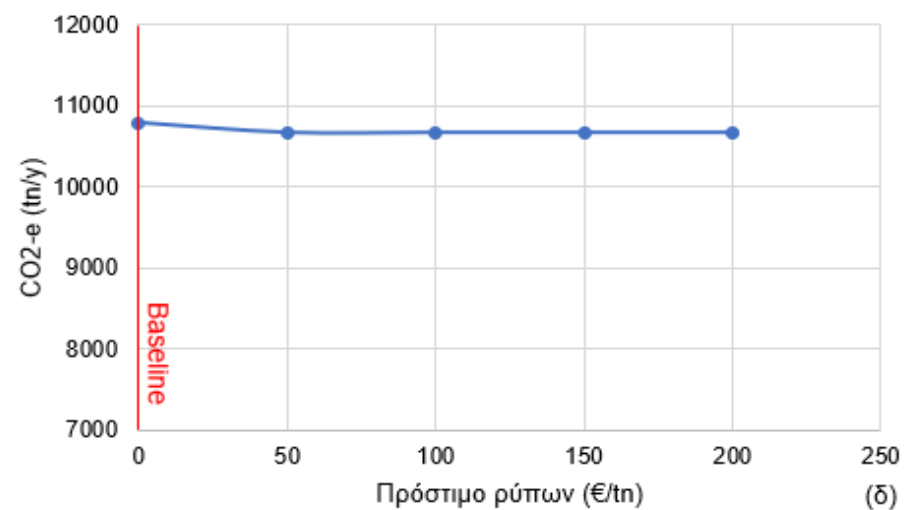
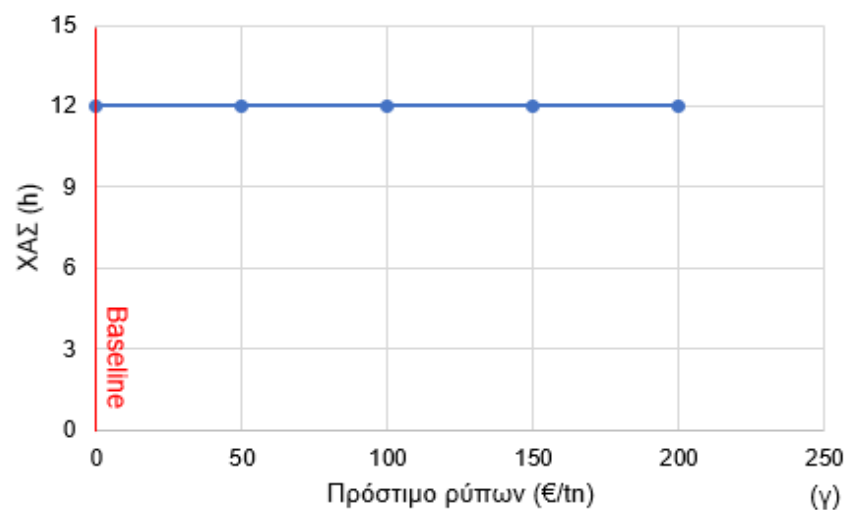
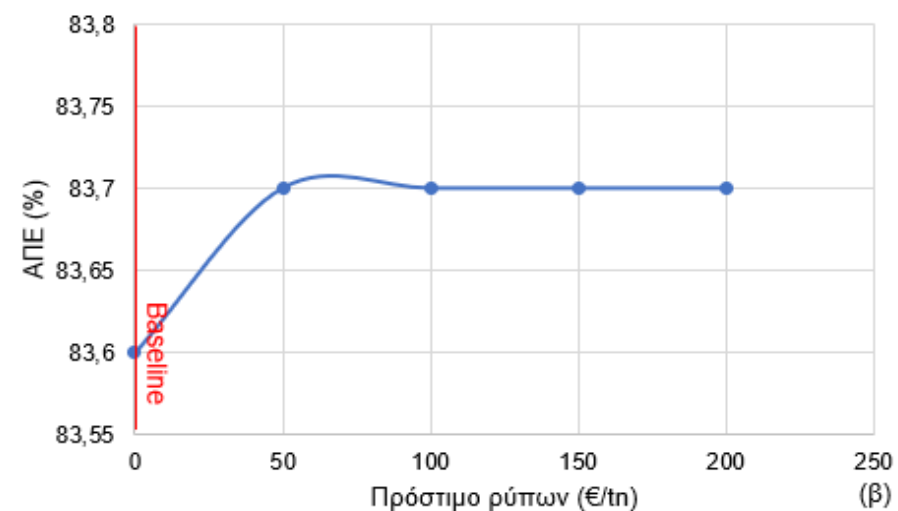
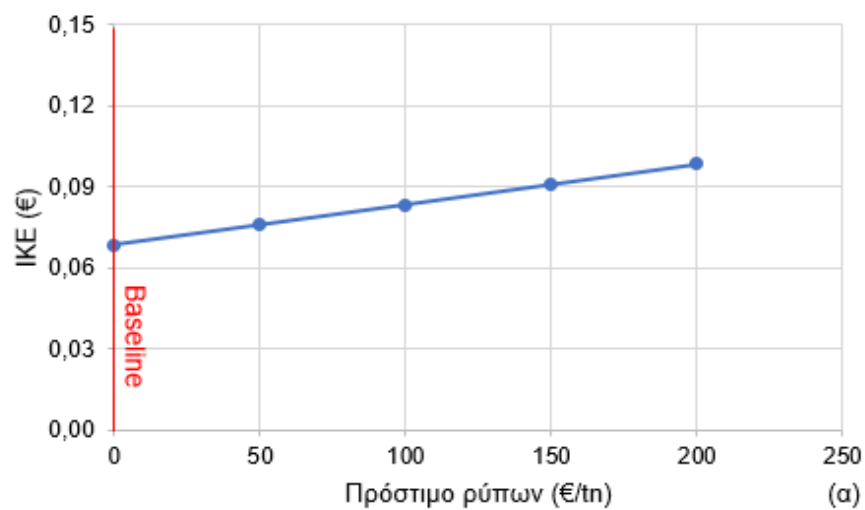
Τέλος, μια ακόμη παράμετρος, η οποία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ευστάθεια του συστήματος και ενδεχόμενη αυξομείωση της δύναται να μεταβάλει εξ' ολοκλήρου το σύστημα, είναι η απαιτούμενη ισχύς, η οποία οφείλει να καλυφθεί (**Διάγραμμα 4.44**). Συγκεκριμένα, η αύξηση της απαιτούμενης ισχύος του συστήματος επιφέρει άνοδο στην τιμή του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (έως και 82,3%) και των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (έως και 23.380tn CO<sub>2</sub>-e/y), ενώ παράλληλα μειώνεται το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (έως και 17,8%) και ο χρόνος αυτονομίας του συστήματος (κατά 4h). Αντίθετα, σε περίπτωση μείωσης της απαιτούμενης ισχύος, παρατηρείται εκ νέου αύξηση στην τιμή του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (έως και 19,7%), ενώ παράλληλα, αυξάνονται το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (έως και 16%), καθώς επίσης και ο χρόνος αυτονομίας του συστήματος (κατά 12h). Όσον αφορά τις εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα, δεν παρατηρείται καμία μεταβολή.



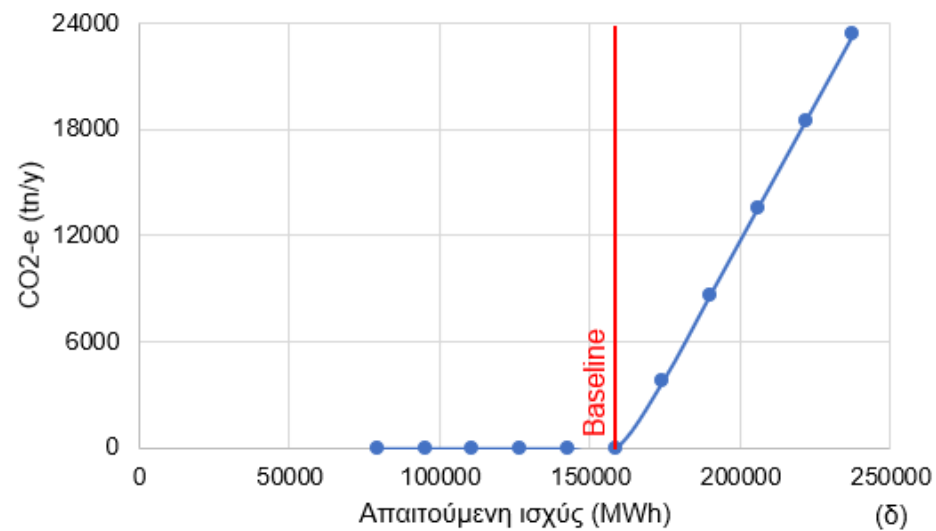
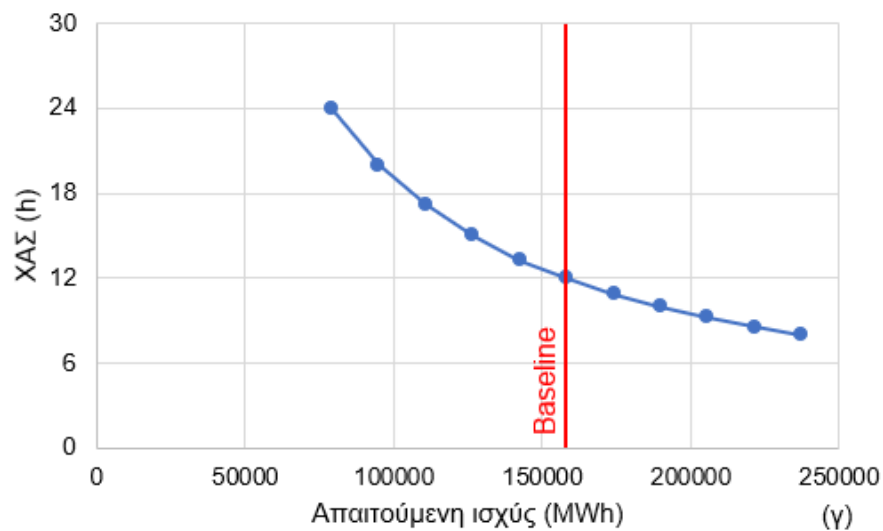
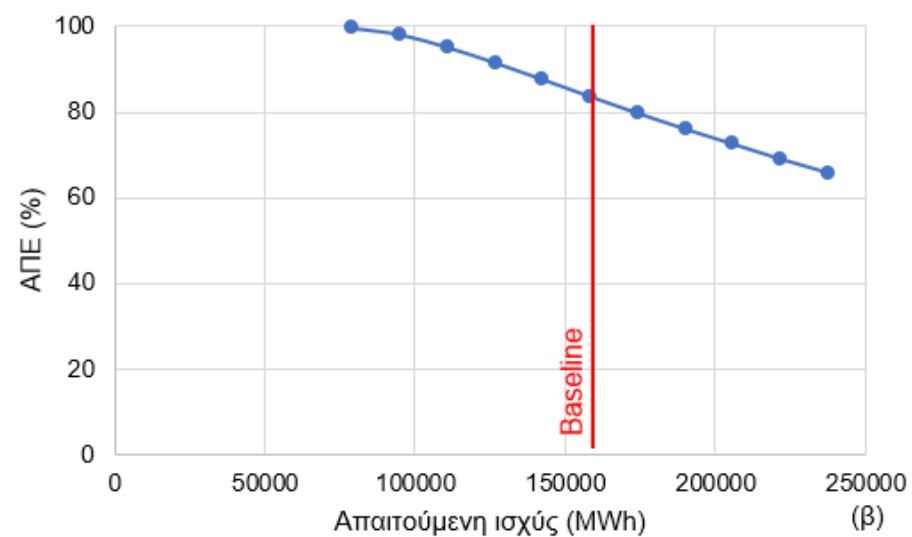
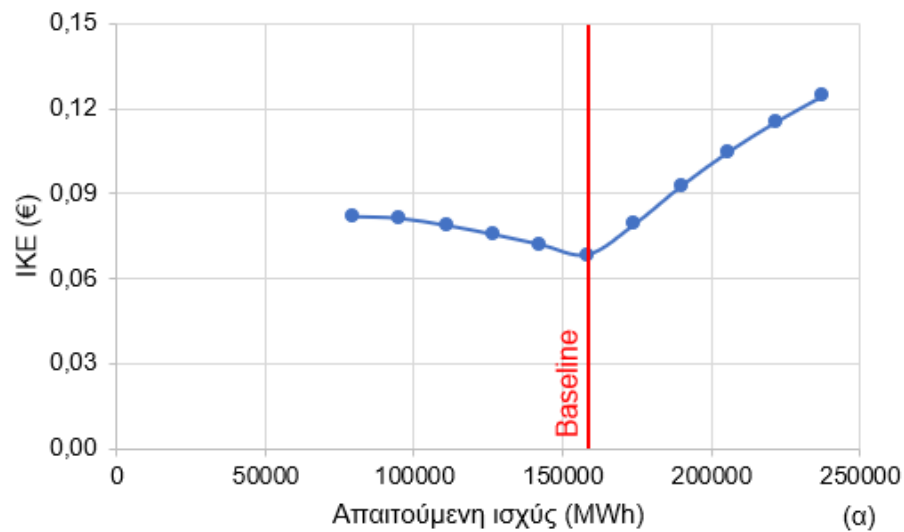
**Διάγραμμα 4.41.** Ανάλυση ευαισθησίας του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (α), του ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (β), του χρόνου αυτονομίας του συστήματος (γ) και των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (δ) ως προς τη μεταβολή της πυκνότητας ηλιακής ισχύος



**Διάγραμμα 4.42.** Ανάλυση ευαισθησίας του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (α), του ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (β), του χρόνου αυτονομίας του συστήματος (γ) και των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (δ) ως προς τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου



**Διάγραμμα 4.43.** Ανάλυση ευαισθησίας του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (α), του ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (β), του χρόνου αυτονομίας του συστήματος (γ) και των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (δ) ως προς την επιβολή περιβαλλοντικού προστίμου



**Διάγραμμα 4.44.** Ανάλυση ευαισθησίας του ισοδύναμου κόστους ενέργειας (α), του ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (β), του χρόνου αυτονομίας του συστήματος (γ) και των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (δ) ως προς τη μεταβολή της απαιτούμενης ισχύος λειτουργίας

## 5. Συμπεράσματα

Στο πέμπτο κεφάλαιο διεξάγεται ανάλυση των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν κατά την εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής, αναφορικά με τη χρήση των μοντέλων πρόβλεψης για την εκτίμηση της ενέργειας που καταναλώνεται, την προσομοίωση σεναρίων αναφορικά με τη σύνθεση των πηγών παραγόμενης ενέργειας, καθώς επίσης και με την ανάλυση ευαισθησίας βασικών παραγόντων του συστήματος. Παράλληλα, παρατίθενται προτάσεις προς μελλοντική έρευνα.

### 5.1. Ανάλυση αποτελεσμάτων

Στο πρώτο στάδιο της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διατριβής διεξήχθη έρευνα διαφόρων μοντέλων πρόβλεψης, με σκοπό την εκτίμηση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί της Μήλου κατά το έτος 2030. Η εκπαίδευση των μοντέλων βασίστηκε στη χρήση μετεωρολογικών δεδομένων, τα οποία προέρχονται από την ιστοσελίδα της NASA, στοιχείων ενεργειακής κατανάλωσης, τα οποία συλλέχθηκαν από τον τοπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής του νησιού και μελλοντικών μετεωρολογικών δεδομένων, τα οποία πηγάζουν από το λογισμικό Meteororm, λαμβάνοντας υπόψη την επιστημονική διακυβερνητική επιτροπή IPCC. Οι βασικές κατηγορίες που εκπαιδεύτηκαν και αξιολογήθηκαν είναι τα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης, δέντρων αποφάσεων, παλινδρόμησης διαδικασίας Gauss, συνδυαστικών μεθόδων και τεχνικών νευρωνικών δικτύων.

Τα μοντέλα δημιουργήθηκαν και προσομοιώθηκαν, μέσω της χρήσης του λογισμικού Matlab και αξιολογήθηκαν, με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου. Συγκεκριμένα, η αξιολόγησή τους βασίστηκε σε μαθηματικούς δείκτες (μέσο τετραγωνικό σφάλμα, ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος, συντελεστής προσδιορισμού), συγκρίνοντας τα αποτελέσματά τους με τα αντίστοιχα πραγματικά δεδομένα. Το μοντέλο πρόβλεψης που προσομοιάζει με τον καλύτερο τρόπο τα πραγματικά δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης είναι το Optimizable GPR, το οποίο εξασφαλίζει δείκτη μέσου τετραγωνικού σφάλματος ίσο με 0,458MWh και συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  ίσο με 0,94.

Το επόμενο στάδιο αφορά την αξιοποίηση του βέλτιστου ενεργειακού προφίλ για την εκτιμώμενη καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια της περιοχής μελέτης για το έτος 2030, με σκοπό τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση διαφόρων σεναρίων, ώστε να καταστεί εφικτή η βιώσιμη ανάπτυξη του νησιού της Μήλου. Οι διάφορες ρυθμιστικοί παράμετροι που αξιοποιήθηκαν στην κατάρτιση των σεναρίων ήταν οι τεχνολογίες φωτοβολταϊκών πλαισίων, ανεμογεννητριών και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Τα αποτελέσματα για κάθε σενάριο αξιολογήθηκαν ως προς το περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο (εξάλειψη εκπομπών αέριων ρύπων), τα οικονομικά τους στοιχεία (ΚΠΑ, ΙΚΕ, ΕΛΚ, ΣΚΑΕ), καθώς και την κοινωνική τους υπόσταση (εξασφάλιση αποδοχής).

Αξιολογώντας το σύστημα του πρώτου σεναρίου, το οποίο αποτυπώνει την κατάσταση που θα επικρατεί στην περιοχή μελέτης το έτος 2030 χωρίς καμία παρέμβαση, φανερώνεται η επιτακτική ανάγκη ενεργειακής αναβάθμισης και περιορισμού της καύσης ορυκτών καυσίμων, τα οποία είναι υπεύθυνα για το υψηλό κόστος στην αγορά ενέργειας, αλλά και την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας. Έπειτα, εξετάζοντας τα συστήματα του δεύτερου, του τρίτου και του τέταρτου σεναρίου, στα οποία δεν εφαρμόστηκαν ΣΑΕ για εξασφάλιση ενεργειακής αυτονομίας, καθίσταται σαφής η αδυναμία επίτευξης βιώσιμης ανάπτυξης για την περιοχή

μελέτης αξιοποιώντας μόνο φωτοβολταϊκά πλαίσια (δεύτερο σενάριο), καθώς προκύπτει χωροταξικό θέμα. Τα συστήματα του τρίτου και του τέταρτου σεναρίου παρουσιάζουν παρεμφερή οικονομικά στοιχεία, ενώ παράλληλα, οι εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα μηδενίζονται. Όμως το τέταρτο σενάριο προσδίδει τη δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών μορφών ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα του συστήματος. Συνεπώς, προκρίνεται ως το βέλτιστο, μεταξύ των σεναρίων όπου δεν αξιοποιούνται ΣΑΕ. Έπειτα, αξιολογήθηκαν τα συστήματα του πέμπτου, του έκτου και του έβδομου σεναρίου, στα οποία προστέθηκαν ΣΑΕ, ώστε να διασφαλιστεί χρόνος αυτόνομης λειτουργίας 12h. Το σύστημα του πέμπτου σεναρίου όπως και το αντίστοιχο του δεύτερου, επιβεβαιώνει την αδυναμία επίτευξης βιώσιμης ανάπτυξης λόγω της περιορισμένης διαθέσιμης έκτασης για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου στην περιοχή μελέτης. Κατόπιν αξιολογήθηκαν τα συστήματα του έκτου και του έβδομου σεναρίου, στα οποία εξασφαλίζεται εξάλειψη των αέριων ρύπων, με παρεμφερή οικονομικά στοιχεία. Αν και το βέλτιστο σενάριο, λαμβάνοντας υπόψη τον οικονομικό παράγοντα είναι το έκτο, το έβδομο σενάριο, όπου αξιοποιείται ο συνδυασμός ΑΠΕ, κρίνεται ως πιο ευσταθές, και συνεπώς προκρίνεται ως το βέλτιστο μεταξύ των σεναρίων, τα οποία αξιοποιούν τη χρήση ΣΑΕ.

Για την εύρεση του βέλτιστου σεναρίου για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης εξετάζονται πλέον τα συστήματα του τέταρτου και του έβδομου σεναρίου. Όπως προαναφέρθηκε, και στα δύο σενάρια εξασφαλίζεται η εξάλειψη των εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα, ενώ παράλληλα, η ενεργειακή τους αποδοτικότητα βελτιώνεται από την αξιοποίηση ενός συνδυασμού διαφορετικών ΑΠΕ. Λαμβάνοντας υπόψη τον οικονομικό παράγοντα, το βέλτιστο σενάριο είναι το τέταρτο. Όμως, η απουσία ΣΑΕ, εγκυμονεί σημαντικό ρίσκο αδυναμίας κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων του συστήματος σε περίπτωση βλάβης, γεγονός το οποίο ενδέχεται να προκαλέσει κοινωνική δυσφορία. Συνεπώς, αξιολογώντας με βάση και τον κοινωνικό παράγοντα, το σύστημα του έβδομου σεναρίου προκρίνεται ως το βέλτιστο για την περιοχή μελέτης, εξασφαλίζοντας σημαντική μείωση στο ισοδύναμο κόστος ενέργειας, καθώς επίσης και ικανοποιητικό διάστημα αυτόνομης λειτουργίας (12h).

Κατά τη διεξαγωγή ανάλυση ευαισθησίας, ώστε να προσδιοριστεί η ευστάθεια του συστήματος σε ενδεχόμενες μεταβολές σημαντικών παραγόντων του (πυκνότητα ηλιακής ισχύος, ταχύτητα ανέμου, περιβαλλοντικό πρόστιμο καύσης άνθρακα και απαιτούμενη ενεργειακή ισχύς). Ο πιο επιδραστικός παράγοντας, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή τεσσάρων διαφορετικών παραμέτρων του συστήματος (ισοδύναμο κόστος ενέργειας, ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, χρόνος αυτονομίας συστήματος και εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα), ήταν η ταχύτητα του ανέμου, καθώς η λειτουργία των Α/Γ εξασφαλίζει το 50% της απαιτούμενης ισχύος του συστήματος και ενδεχόμενη μείωσή της θα μπορούσε να μεταβάλει ολόκληρο το σύστημα. Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας ήταν η απαιτούμενη ισχύς για τη λειτουργία του συστήματος, καθώς η αύξησή της επέφερε άνοδο στις εκπομπές αέριων ρύπων και στο ισοδύναμο κόστος ενέργειας, ενώ παράλληλα, μειώθηκε το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και ο χρόνος αυτονομίας του συστήματος. Κατά την περίπτωση μείωσης της ενεργειακής ισχύος, το ισοδύναμο κόστος ενέργειας παρουσιάζει εκ νέου αυξημένη τιμή, καθώς και στις δύο περιπτώσεις προκύπτει εσφαλμένη διαστασιολόγηση συστήματος, αν και πλέον το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή καθώς και ο χρόνος αυτόνομης λειτουργίας του συστήματος αυξάνονται. Η μεταβολή στην πυκνότητα της ηλιακής ισχύος και συγκεκριμένα η μείωσή της, δύναται επίσης να αυξήσει το ισοδύναμο κόστος ενέργειας, καθώς και τις εκπομπές αέριων ρύπων.



Όμως, λόγω του χαμηλότερου ποσοστού συμμετοχής των Φ/Β πλαισίων στην ηλεκτροπαραγωγή, η μεταβολή δεν είναι τόσο σημαντική, ώστε να μεταβάλει την ευστάθεια του συστήματος. Τέλος, η επιβολή περιβαλλοντικού προστίμου δεν επηρεάζει το σύστημα λόγω του χαμηλού ποσοστού συμμετοχής του δικτύου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

## **5.2. Προτάσεις για το μέλλον**

Ως προς μελλοντική έρευνα, αναφορικά με το αντικείμενο μελέτης, προτείνονται:

- Η εισαγωγή μεγαλύτερης ποικιλίας ΑΠΕ, ώστε να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο η ενεργειακή αποδοτικότητα του συστήματος.
- Η καταγραφή των ήδη διαθέσιμων πόρων ΑΠΕ της εκάστοτε περιοχής μελέτης, ώστε να αποδοθεί σχετική προτεραιότητα.
- Διεξαγωγή κοινωνικής έρευνας στην περιοχή μελέτης, ώστε να διευκρινιστεί η γνώμη της εκάστοτε τοπικής κοινωνίας αναφορικά με το προτεινόμενο έργο.
- Εκπόνηση παρεμφερούς έρευνας σε διαφορετική περιοχή μελέτης, ώστε να αξιολογηθεί η εφαρμοστικότητα της.

## 6. Βιβλιογραφία

Admie.gr. (n.d.). *admie.gr*. Retrieved May 25, 2022, from <https://www.admie.gr/>

Akbari, A., Ng, L., & Solnik, B. (2021). Drivers of economic and financial integration: A machine learning approach. *Journal of Empirical Finance*, 61(January), 82–102. <https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2020.12.005>

Amrollahi, M. H., & Bathaee, S. M. T. (2017). Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind generation together with energy storage system in a stand-alone micro-grid subjected to demand response. *Applied Energy*, 202, 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.116>

Baneshi, M., & Hadianfard, F. (2016). Techno-economic feasibility of hybrid diesel/PV/wind/battery electricity generation systems for non-residential large electricity consumers under southern Iran climate conditions. *Energy Conversion and Management*, 127, 233–244. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.008>

Bonab, H. R., & Can, F. (2016). A theoretical framework on the ideal number of classifiers for online ensembles in data streams. *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings*, 24-28-Octo(February), 2053–2056. <https://doi.org/10.1145/2983323.2983907>

Cao, L., Li, Y., Zhang, J., Jiang, Y., Han, Y., & Wei, J. (2020). Electrical load prediction of healthcare buildings through single and ensemble learning. In *Energy Reports* (Vol. 6, pp. 2751–2767). <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.10.005>

Chang, I.-C., & Sheppard, E. (2013). China's Eco-Cities as Variegated Urban Sustainability: Dongtan Eco-City and Chongming Eco-Island. *Journal of Urban Technology*, 20. <https://doi.org/10.1080/10630732.2012.735104>

Cnn.com. (n.d.). *cnn.com*. Retrieved April 10, 2022, from <https://edition.cnn.com/2020/08/15/us/long-island-shark-sightings-trnd/index.html>

Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2013). *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. Taylor & Francis. <https://books.google.gr/books?id=fAnSOgbdFXIC>

Daoinsights.com. (n.d.). *daoinsights.com*. Retrieved April 10, 2022, from <https://daoinsights.com/opinions/chinas-hainan-much-more-than-the-next-hong-kong/>

Dastile, X., Celik, T., & Potsane, M. (2020). Statistical and machine learning models in credit scoring: A systematic literature survey. *Applied Soft Computing*, 91, 106263. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106263>

Dawoud, S. M. (2021). Developing different hybrid renewable sources of residential loads as a reliable method to realize energy sustainability. *Alexandria Engineering Journal*, 60(2), 2435–2445. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.12.024>

Del Real, A. J., Dorado, F., & Durán, J. (2020). Energy demand forecasting using deep learning: Applications for the French grid. In *Energies* (Vol. 13, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/en13092242>

Diamond, J. M. (2005). *Collapse : how societies choose to fail or succeed*. New York : Viking, 2005. <https://search.library.wisc.edu/catalog/999977204402121>

- Dobschinski, J., Bessa, R., Du, P., Geisler, K., Haupt, S. E., Lange, M., Möhrle, C., Nakafuji, D., & de la Torre Rodriguez, M. (2017). Uncertainty Forecasting in a Nutshell: Prediction Models Designed to Prevent Significant Errors. *IEEE Power and Energy Magazine*, 15(6), 40–49. <https://doi.org/10.1109/MPE.2017.2729100>
- E-kyklades.gr. (n.d.). *e-kyklades.gr*. Retrieved June 6, 2022, from <https://www.e-kyklades.gr/travel/tourism/milos?lang=el>
- Ec.europa.eu. (n.d.). *Ec.europa.eu*. Retrieved April 17, 2022, from [energy.ec.europa.eu](https://energy.ec.europa.eu)
- Eea.europa.eu. (n.d.). *eea.europa.eu*. <https://www.eea.europa.eu/ims/share-of-energy-consumption-from>
- En.gmw.cn. (n.d.). *en.gmw.cn*. Retrieved April 10, 2022, from [https://en.gmw.cn/2018-01/10/content\\_27312040\\_2.htm](https://en.gmw.cn/2018-01/10/content_27312040_2.htm)
- Fang, Liu, M., Liu, W., Pathak, S., Li, S., Tang, X., Zhou, L., & Sun, F. (2020). Piloting a capital-based approach for characterizing and evaluating drivers of island sustainability- An application in Chongming Island. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121123. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121123>
- Fang, X., Zou, J., Wu, Y., Zhang, Y., Zhao, Y., & Zhang, H. (2021). Evaluation of the sustainable development of an island “Blue Economy”: A case study of Hainan, China. *Sustainable Cities and Society*, 66(36), 102662. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102662>
- Gkeka-Serpetsidaki, P., & Tsoutsos, T. (2021). Sustainable site selection of offshore wind farms using GIS-based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process. Case study: Island of Crete (Greece). *Low Carbon Energy Technologies in Sustainable Energy Systems*, 329–342. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822897-5.00013-4>
- Gkoltsiou, A., & Mougiakou, E. (2021). The use of Islandscape character assessment and participatory spatial SWOT analysis to the strategic planning and sustainable development of small islands. The case of Gavdos. *Land Use Policy*, 103, 105277. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2021.105277>
- Globalsolaratlas.info. (n.d.). *globalsolaratlas.info*. Retrieved June 12, 2022, from <https://globalsolaratlas.info>
- Globalwindatlas.info. (n.d.). *globalwindatlas.info*. Retrieved June 12, 2022, from <https://globalwindatlas.info>
- Greeningthegrid.org. (n.d.). *greeningthegrid.org*. Retrieved May 26, 2022, from <https://greeningthegrid.org/integration-in-depth/forecasting>
- Grydehoj, A., & Kelman, I. (2017). The eco-island trap: Climate change mitigation and conspicuous sustainability. *Area*, 49. <https://doi.org/10.1111/area.12300>
- Guijo-Rubio, D., Durán-Rosal, A. M., Gutiérrez, P. A., Gómez-Orellana, A. M., Casanova-Mateo, C., Sanz-Justo, J., Salcedo-Sanz, S., & Hervás-Martínez, C. (2020). Evolutionary artificial neural networks for accurate solar radiation prediction. *Energy*, 210, 118374. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118374>
- Hamedmoghadam, H., Joorabloo, N., & Jalili, M. (2018). *Australia’s long-term electricity demand forecasting using deep neural networks*. <http://arxiv.org/abs/1801.02148>

- Hanke, J. E., & Wichern, D. W. (2013). *Business Forecasting*. Pearson. <https://books.google.gr/books?id=hYTAngEACAAJ>
- Haurant, P., Oberti, P., & Muselli, M. (2011). Multicriteria selection aiding related to photovoltaic plants on farming fields on Corsica island: A real case study using the ELECTRE outranking framework. *Energy Policy*, 39(2), 676–688. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2010.10.040>
- Homerenergy.com. (n.d.). *Homer-PRO*. Retrieved July 7, 2020, from <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/index.html>
- Hong, T., Pinson, P., Wang, Y., Weron, R., Yang, D., & Zareipour, H. (2020). Energy Forecasting: A Review and Outlook. *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, 7, 376–388. <https://doi.org/10.1109/OAJPE.2020.3029979>
- Hossain, T., Adams, M., & Walker, T. R. (2019). Sustainability initiatives in Canadian ports. *Marine Policy*, 106(October 2018), 103519. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103519>
- Hua, J., & Shiu, H. G. (2018). Sustainable development of renewable energy on Wangan Island, Taiwan. *Utilities Policy*, 55(October), 200–208. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.10.003>
- Jahangir, M. H., Shahsavari, A., & Vaziri Rad, M. A. (2020). Feasibility study of a zero emission PV/Wind turbine/Wave energy converter hybrid system for stand-alone power supply: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121250. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121250>
- Kalimoldayev, M., Drozdenko, A., Koplyk, I., Marinich, T., Abdildayeva, A., & Zhukabayeva, T. (2020). Analysis of modern approaches for the prediction of electric energy consumption. In *Open Engineering* (Vol. 10, Issue 1, pp. 350–361). <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0028>
- Katsaprakakis, D. A., & Voumvoulakis, M. (2018). A hybrid power plant towards 100% energy autonomy for the island of Sifnos, Greece. Perspectives created from energy cooperatives. *Energy*, 161, 680–698. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.07.198>
- Katti, E. (2018). ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ. *Σχολή Μηχανικών Παραγωγής Και Διοίκησης, Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά*, 1–131.
- Khan, W., Walker, S., & Zeiler, W. (2022). Improved solar photovoltaic energy generation forecast using deep learning-based ensemble stacking approach. *Energy*, 240, 122812. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122812>
- Kontogiannis, D., Bargiotas, D., & Daskalopulu, A. (2020). Minutely active power forecasting models using neural networks. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 8, p. 3177). <https://doi.org/10.3390/SU12083177>
- Lammers, K., Bertheau, P., & Blechinger, P. (2020). Exploring requirements for sustainable energy supply planning with regard to climate resilience of Southeast Asian islands. *Energy Policy*, 146(August 2019), 111770. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111770>
- Leka, A., Lagarias, A., Panagiotopoulou, M., & Stratigea, A. (2022). Development of a Tourism Carrying Capacity Index (TCCI) for sustainable management of coastal areas in

- Mediterranean islands – Case study Naxos, Greece. *Ocean & Coastal Management*, 216, 105978. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2021.105978>
- Liu, J., Kong, Y., Li, S., & Wu, J. (2021). Sustainability assessment of port cities with a hybrid model-empirical evidence from China. *Sustainable Cities and Society*, 75(May), 103301. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103301>
- Long, X., Yu, H., Sun, M., Wang, X. C., Klemeš, J. J., Xie, W., Wang, C., Li, W., & Wang, Y. (2020). Sustainability evaluation based on the Three-dimensional Ecological Footprint and Human Development Index: A case study on the four island regions in China. *Journal of Environmental Management*, 265(March). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110509>
- Mao, T., Shi, Z., & Zhou, D.-X. (2021). Theory of deep convolutional neural networks III: Approximating radial functions. *Neural Networks*, 144, 778–790. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neunet.2021.09.027>
- Marineinsight.com. (n.d.). *marineinsight.com*. Retrieved April 10, 2022, from <https://www.marineinsight.com/green-shipping/the-green-marine-environmental-program-a-general-overview/>
- Maritimeinfo.org. (n.d.). *maritimeinfo.org*. Retrieved April 5, 2022, from <https://www.maritimeinfo.org/en/Maritime-Directory/port-singapore>
- Mathworks.com. (n.d.). *mathworks.com*. <https://www.mathworks.com>
- McCubbin, S. G., Pearce, T., Ford, J. D., & Smit, B. (2017). Social&#8211;ecological change and implications for food security in Funafuti, Tuvalu. *Ecology and Society*, 22(1). <https://doi.org/10.5751/ES-09129-220153>
- Meteonorm.com. (n.d.). *meteonorm.com*. Retrieved June 11, 2022, from [meteonorm.com](https://www.meteonorm.com)
- Milosislandinfo.gr. (n.d.). *milosislandinfo.gr*. Retrieved June 6, 2022, from <https://milosislandinfo.gr/>
- Milosminingmuseum.com. (n.d.). *milosminingmuseum.com*. Retrieved June 6, 2022, from <https://www.milosminingmuseum.com/>
- Mitchell, T. M. (1997). Machine learning. In *EEG Signal Processing and Feature Extraction*. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9113-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9113-2_15)
- Moon, J., Park, S., Rho, S., & Hwang, E. (2019). A comparative analysis of artificial neural network architectures for building energy consumption forecasting. In *International Journal of Distributed Sensor Networks* (Vol. 15, Issue 9). <https://doi.org/10.1177/1550147719877616>
- Nesticò, A., & Maselli, G. (2020). Sustainability indicators for the economic evaluation of tourism investments on islands. *Journal of Cleaner Production*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119217>
- NREL. (2015). *Forecasting Wind and Solar Generation* :
- Nwokolo, S. C., Amadi, S. O., Obiwulu, A. U., Ogbulezie, J. C., & Eyibio, E. E. (2022). Prediction of global solar radiation potential for sustainable and cleaner energy generation using improved Angstrom-Prescott and Gumbel probabilistic models. In

- Papada, L., & Kaliampakos, D. (2020). Being forced to skimp on energy needs: A new look at energy poverty in Greece. *Energy Research & Social Science*, 64, 101450. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2020.101450>
- Papadopoulos, A., & Karagiannidis, A. (2008). Application of the multi-criteria method ELECTRE III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega*, 36, 766–776. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.01.004>
- Peng, Y., Liu, H., Li, X., Huang, J., & Wang, W. (2020). Machine learning method for energy consumption prediction of ships in port considering green ports. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 264). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121564>
- Polido, A., João, E., & Ramos, T. B. (2014). Sustainability approaches and strategic environmental assessment in small islands: An integrative review. *Ocean & Coastal Management*, 96, 138–148. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2014.05.005>
- Power.larc.nasa.gov. (n.d.). *power.larc.nasa.gov*. Retrieved June 3, 2022, from [power.larc.nasa.gov](https://power.larc.nasa.gov)
- Praene, J. P., Payet, M., & Bénard-Sora, F. (2018). Sustainable transition in small island developing states: Assessing the current situation. *Utilities Policy*, 54(March), 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.08.006>
- Prokopiou, D., Nikolaidou, E., Mavridoglou, G., Manologlou, S., & Tselentis, B. (2017). Sustainable tourism and destination management: The Greek island of Poros. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 226(1), 505–515. <https://doi.org/10.2495/SDP170441>
- Rahman, A., Srikumar, V., & Smith, A. D. (2018). Predicting electricity consumption for commercial and residential buildings using deep recurrent neural networks. In *Applied Energy* (Vol. 212, pp. 372–385). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.051>
- Righttoenergy.org. (n.d.). *righttoenergy.org*. Retrieved April 17, 2022, from <https://righttoenergy.org/about-energy-poverty/>
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). *ourworldindata.org*. Energy. <https://ourworldindata.org/renewable-energy>
- Rokach, L., & Maimon, O. (2013). Data Mining with Decision Trees. In *Series in Machine Perception and Artificial Intelligence: Vol. Volume 81*. WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/doi:10.1142/9097>
- Roosbeh Nia, A., Awasthi, A., & Bhuiyan, N. (2021). Industry 4.0 and demand forecasting of the energy supply chain: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107128>
- Sadath, A. C., & Acharya, R. H. (2017). Assessing the extent and intensity of energy poverty using Multidimensional Energy Poverty Index: Empirical evidence from households in India. *Energy Policy*, 102, 540–550. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2016.12.056>
- Schipper, C. A., Vreugdenhil, H., & de Jong, M. P. C. (2017). A sustainability assessment of ports and port-city plans: Comparing ambitions with achievements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57, 84–111.

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.08.017>

Sharma, E. (2018). Energy forecasting based on predictive data mining techniques in smart energy grids. *Energy Informatics*, 1(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s42162-018-0048-9>

Sifakis, N., & Tsoutsos, T. (2020). Nearly Zero Energy Ports: A necessity or a green upgrade? *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 410(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012037>

Sifakis, Nikolaos, Baradakis, E., Psychis, S., & Tsoutsos, T. (2020). *The Green Vision of Technical University of Crete's Campus BT - Green Engineering for Campus Sustainability* (A. Z. Yaser (ed.); pp. 19–33). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7260-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7260-5_3)

Sifakis, Nikolaos, Daras, T., & Tsoutsos, T. (2020). How much energy efficient are renewable energy sources cooperatives' initiatives? *Energies*, 13(5), 1V. <https://doi.org/10.3390/en13051136>

Sifakis, Nikolaos, Savvakis, N., Daras, T., & Tsoutsos, T. (2019). Analysis of the energy consumption behavior of European RES cooperative members. *Energies*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/en12060970>

Sifakis, Nikolaos, Tsoutsos, T., & Konidakis, S. (2021). Hybrid renewable energy system optimum design and smart dispatch for nearly Zero Energy Ports. *Journal of Cleaner Production*.

Sifakis, Nikolaos, Vichos, E., Smaragdakis, A., Zoulias, E., & Tsoutsos, T. (2022). Introducing the cold-ironing technique and a hydrogen-based hybrid renewable energy system into ports. *International Journal of Energy Research*, n/a(n/a). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/er.8059>

Son, H., & Kim, C. (2020). A deep learning approach to forecasting monthly demand for residential-sector electricity. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 8, p. 3103). <https://doi.org/10.3390/SU12083103>

St Flour, P. O., & Bokhoree, C. (2022). A fuzzy based sustainability assessment tool for small island states. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100123>

Statology.org. (n.d.). *statology.org*. <https://www.statology.org/mse-vs-rmse/>

Strantzali, E., Aravossis, K., & Livanos, G. A. (2017). Evaluation of future sustainable electricity generation alternatives: The case of a Greek island. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 775–787. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.03.085>

Technical Chamber of Greece. (2017). *Technical Directive 20701-1: National Specifications of Parameters for Calculating the Energy Performance of Buildings and the Issue of the Energy Performance Certificate*.

Thegreentank.gr. (n.d.). *thegreentank.gr*. Retrieved May 25, 2022, from [https://thegreentank.gr/2022/01/25/admie\\_december2021\\_el/](https://thegreentank.gr/2022/01/25/admie_december2021_el/)

Un.org. (n.d.). *un.org*. <https://sdgs.un.org/goals>

Vichos, E., Sifakis, N., & Tsoutsos, T. (2022). Challenges of integrating hydrogen energy



- storage systems into nearly zero-energy ports. *Energy*, 241, 122878. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122878>
- Vivas, E., Allende-Cid, H., & Salas, R. (2020). A systematic review of statistical and machine learning methods for electrical power forecasting with reported mape score. In *Entropy* (Vol. 22, Issue 12, pp. 1–24). <https://doi.org/10.3390/e22121412>
- Voivontas, D., Arampatzis, G., Manoli, E., Karavitis, C., & Assimacopoulos, D. (2003). Water supply modeling towards sustainable environmental management in small islands: the case of Paros, Greece. *Desalination*, 156(1–3), 127–135. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00335-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00335-7)
- Walker, P. (2017). Sustainability: a discipline and a political agenda? *Environmental Hazards*, 16(2), 93–98. <https://doi.org/10.1080/17477891.2017.1296810>
- Wang. (2020). *An Intuitive Tutorial to Gaussian Processes Regression*. <https://arxiv.org/abs/2009.10862>
- Wang, D., Yue, C., & ElAmraoui, A. (2021). Multi-step-ahead electricity load forecasting using a novel hybrid architecture with decomposition-based error correction strategy. In *Chaos, Solitons and Fractals* (Vol. 152). <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111453>
- Wu, X., Dou, C., & Yue, D. (2021). Electricity load forecast considering search engine indices. In *Electric Power Systems Research* (Vol. 199). <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107398>
- Xiao, Z., & Lam, J. S. L. (2017). A systems framework for the sustainable development of a Port City: A case study of Singapore's policies. *Research in Transportation Business and Management*, 22, 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2016.10.003>
- Yang, L., Wang, C., Yu, H., Yang, M., Wang, S., Chiu, A. S. F., & Wang, Y. (2020). Can an island economy be more sustainable? A comparative study of Indonesia, Malaysia, and the Philippines. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118572. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118572>
- Zhang, H., Xiao, Y., & Deng, Y. (2021). Island ecosystem evaluation and sustainable development strategies: A case study of the Zhoushan Archipelago. *Global Ecology and Conservation*, 28, e01603. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01603>
- Homerenergy.com. (n.d.). *Homerenergy.com*. Retrieved March 29, 2021, from [https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/homers\\_calculations.html](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/homers_calculations.html)